

# 合成人口データを活用した 就業者の通勤手段・通勤経路・通勤所要時間の推定

○北下慎太郎 村田忠彦（関西大学）

## Estimation of Commuting Methods, Route, and Time Using Synthetic Population

\* S. Kitashita and T. Murata (Kansai University)

**概要** 本研究では、合成人口データの就業者を対象に、個々人が通勤に用いる交通手段と所要時間、鉄道を用いる場合に利用する経路を推定する手法を提案する。合成人口とは統計を基に家族構成とその構成員の属性を合成した個票データである。先行研究で木全らは、鉄道での経路を探索するために、Dijkstra法を用い、鉄道の時速を一律40km/hとして所要時間を推定する手法を提案している。本研究では、常住地・従業地それぞれに利用候補駅を設定し、候補駅間で経路探索APIを用いて経路・所要時間を推定することで、移動経路をより正確に表現する推定方法を提案する。

**キーワード:** 通勤経路探索, 端末交通, 合成人口データ

### 1 はじめに

本研究では、合成人口データ<sup>1,2)</sup>の就業者を対象に、個々人が通勤に用いる交通手段と所要時間、鉄道を用いる場合に利用する経路を推定する手法を提案する。合成人口データとは、統計をもとに家族構成とその構成員の属性を合成した個票データである。常住地から従業地までの通勤経路と通勤所要時間を推定するため、常住地・従業地での利用候補駅を推定し、続いて通勤経路・通勤所要時間を推定する。利用交通手段のうち、候補駅を用いる経路については公開されている経路探索APIを用いて推定する。

先行研究で木全ら<sup>3)</sup>は通勤経路・通勤所要時間を次のように推定している。常住地から従業地までの直線距離に基づいて主たる交通手段を、Fig.1に示す近畿圏

パーソントリップ調査結果のデータから5種類の交通手段を確率的に割り当てる。交通手段として鉄道が割り当てられる場合、常住地・従業地それぞれで直線距離が最も近い鉄道駅を「最寄鉄道駅」とし、最寄鉄道駅までの交通手段を、Fig.2に示す大都市交通センサス調査結果のデータから、最寄鉄道駅までの直線距離に基づいて確率的に割り当てる。最寄鉄道駅間の経路推定は実際の鉄道ネットワーク上をDijkstra法で探索し、鉄道の速度を一律40km/h、乗り換え時間を200秒として所要時間を求めている。Table 1に先行研究と本研究の主な相違点を示す。これに加え、先行研究においてFig.1のデータから割り当てられるのが「主たる交通手段」であるため「バス及び自転車」などの利用が推定できない点、所要時間推計に用いる速度を一律にしているため快速電車などの優等種別の利用が考慮されていない点などを、本研究では推定を可能にしている。

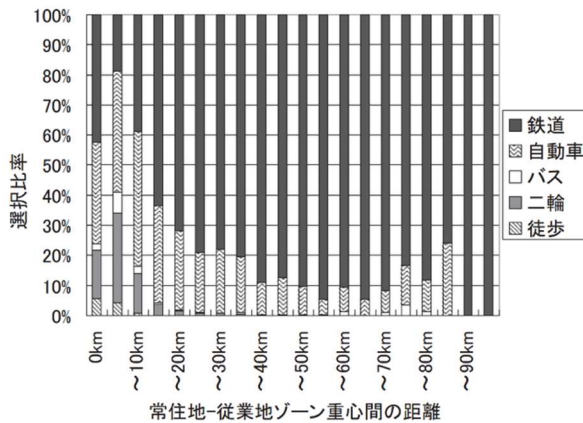


Fig.1: 交通機関選択比率 (先行研究より引用)

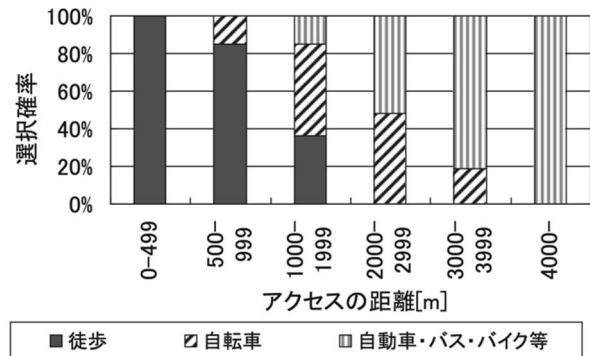


Fig.2: 端末交通手段選択比率 (先行研究より引用)

Table 1: 先行研究と本研究の比較

相違点	先行研究	本研究
利用交通手段の推定方法	常住地-従業地間の直線距離から図1を用いて確率的に割り当て	駅までの所要時間や常住地の都道府県、通勤所要時間などから総合的に推定
利用候補駅の推定方法	最も直線距離に近い1駅を推定	端末交通手段別人員表を用いて最大3駅まで推定
端末交通手段の推定方法	最寄鉄道駅までの直線距離から図2を用いて確率的に割り当て (常住地側・従業地側に関わらず図2を用いる)	端末交通手段別人員表を用いて推定 (常住地側・従業地側で別の表を用いる)
候補駅間の経路・所要時間推定方法	鉄道ネットワーク上をDijkstra法で経路探索し、速度を一律40km/h、乗り換え時間を200秒として推計 (鉄道のみ用いた探索)	経路探索APIを用いて推定 (鉄道だけでなくバスなども含む全ての公共交通機関の時刻表情報に準じた探索)

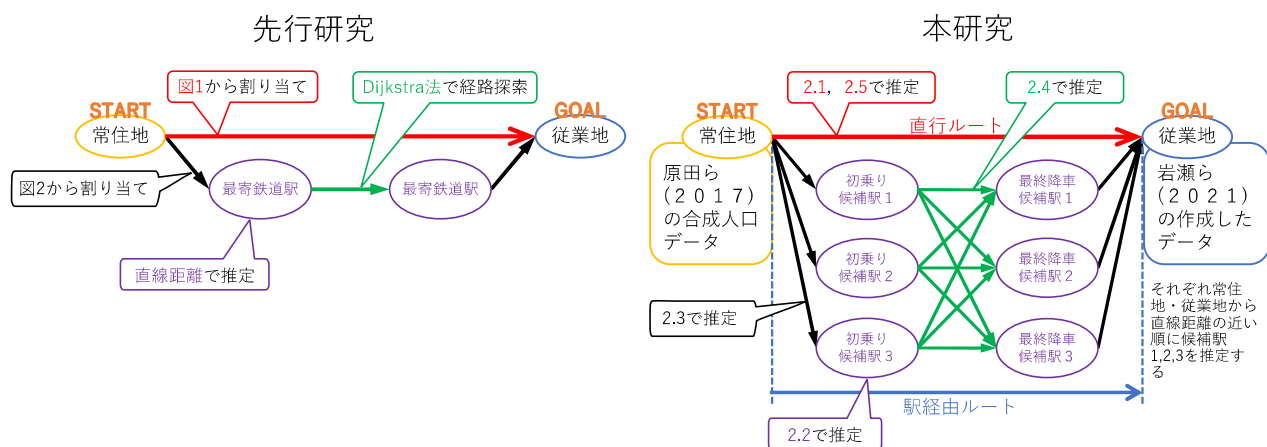


Fig.3: 先行研究と本研究における推定手順のイメージ比較

## 2 通勤経路と通勤所要時間の推定方法

平成27年度国勢調査の結果をもとに作成された合成人口データの各常住地の緯度・経度を含む住所データおよび年齢データと、合成人口データの常住地・産業分類のデータおよび経済センサス調査結果から作成された岩瀬ら<sup>4)</sup>のデータの各従業地が所在する小地域の中心座標の緯度・経度データをもとに、Fig.3に示すように、常住地を出発地点、従業地を到着地点とする通勤経路および通勤所要時間の推定を行う。まず、常住地側と従業地側それぞれで利用候補駅を最大3つ選択する。次に、常住地（もしくは従業地）と候補駅間の交通手段（端末交通手段）を推定する。その後、常住地と従業地それぞれの利用候補駅間の最大9通りの経路を計算し、常住地と従業地を結ぶ合計所要時間が最短の経路を、候補駅を利用した場合の通勤経路（駅経由ルート）とする。最後に、常住地から従業地まで直接車などで向かった場合（直行ルート）との比較を行い、最終的な通勤経路を推定する。以下に、利用候補駅の選択方法(2.1)、端末交通手段の推定方法(2.2)、端末交通手段での所要時間の推計方法(2.3)、候補駅間の経路・所要時間の推定方法(2.4)、最終的な通勤経路推定方法(2.5)を説明する。また、合成人口データはその合成手法上、統計的にデータに整合する様々な世帯の合成が考えられることから、一意に定まるものではないため、複数セットの合成人口データが提供されており、本研究では、大阪府高槻市在住の就業者150,529人×10セットのデータを対象とした例を示し、得られた結果は10セットの平均の値となっている。なお、常住地が自宅・外国以外の就業者のうち、常住地から従業地までの、2.1で後述する手法で求めた直線距離の平均は13.2585kmであり、各セットの平均の標準偏差は0.0066kmであった。

### 2.1 利用候補駅の推定

最初に、常住地と従業地間の直線距離をそれぞれの緯度・経度データをもとに計算する。なお、本研究では緯度・経度を用いた2点間の直線距離の計算にはすべてヒュベニ(Hubeny)の公式<sup>5)</sup>を用いる。この式は、国土地理院のサイトで公開されている計算式<sup>6)</sup>と比べて精度は劣るものの計算コストが少なく、計測する直線距離が1,000kmのとき、誤差が約0.06%と小さいため、

調査対象を日本国内とする本研究において採用する。なお、計算された直線距離が1km以下、もしくは常住地から最寄りの候補駅までの直線距離より短い場合、候補駅を経由しないと考え、直行ルートを利用するものとする。また、鉄道定期券の発売が運賃計算キロで300km以内であること、航空券の定期券が存在しないことから、計算された直線距離が250km以上の場合、単身赴任で常住地から住民票を移さないまま従業地近辺に住んでいるなどの理由で常住地から「定期的な通勤をしていない人」とする。ただし、1ヶ月に数回程度は常住地と従業地の間で移動をしていると考えられるため、以下で説明する通勤経路・通勤所要時間の推定は行うが、複数の経路を考慮する必要はないと考え、利用候補駅は常住地側と従業地側それぞれ1駅ずつとする。

次に、常住地側の利用候補駅（初乗り候補駅）を推定する。推定には株式会社コードプラスが公開しているWebサイト、駅データ.jp<sup>7)</sup>の駅データと、国土交通省が実施した平成27年度第12回大都市交通センサス調査結果<sup>8)</sup>の端末交通手段別人員表（初乗り駅別・居住地基本ゾーン別）を用いる。駅データには、全国の駅の所属路線名や位置座標といった情報が格納されており、端末交通手段別人員表には、通勤・通学定期券購入者が常住・従業（就学）するゾーンコードから初乗り駅・最終降車駅までの端末交通手段別の利用人員が記載されており、各駅の利用者の常住地・従業地のゾーンコードを知ることができる。単純に常住地や従業地からの直線距離で利用候補駅を推定しないのは、川や山などで、実際の道路距離では大きく迂回しなければいけない場合があるからである。

具体的には、次の手順で利用候補駅を選定する。2021年3月12日時点の駅データから、合成人口データの作成時期に合わせるため、平成27年度国勢調査が行われた2015年10月以降に開業した駅、臨時駅など通年営業していない駅、始発の出発時刻が2.4で後述する到着時間（平日午前8時30分）以降である駅を除いた日本全国の約9,300駅すべての緯度・経度のデータを用いて個々の就業者の常住地から各駅までの直線距離を計算し、直線距離で近い順に10駅を列挙する。そのうち直線距離の短い駅から順に、端末交通手段別人員表に記載されている当該駅の定期券購入者が在住するゾーンコードに就業者の常住地の小地域が含まれている場合、利用

候補駅とする。ここで、ゾーンコードとは、定期券購入者が居住する住所を含む地域をまとめたゾーンのIDのことであり、合成人口データの小地域（町丁目）の区画よりも広いゾーンが指定されていることが多い。常住地の小地域名がゾーンに含まれている場合、当該駅の定期券購入者が存在する地域として判断する。10駅のうちどの駅の定期券購入者が在住するゾーンコードにも就業者の常住地の小地域が含まれていない場合、その就業者を直行ルート利用者とした上で直線距離が最も近い駅を利用候補駅とする。この方法で直線距離の近い順に最大3つの駅を利用候補駅として定める。最大で3駅とした理由は、端末交通手段別人員表より、大阪府内のゾーンコード1つあたりの平均初乗り駅数が3.86駅であったためである。この結果、高槻市の就業者150,529人には1人あたり平均約2.3駅の初乗り候補駅が割り当てられた。同様の手法で従業地側の利用候補駅（最終降車候補駅）を、端末交通手段別人員表（最終降車駅別・勤務・就学地基本ゾーン別）を用いて推定する。ただし、列挙された10駅のうちどの駅の定期券購入者が在住するゾーンコードにも就業者の従業地の小地域が存在しない場合、その従業地が2.2で示す、今回利用している端末交通手段別人員表（近畿圏）の範囲外である場合、端末交通手段別人員表でカバーできていない就業者である可能性があるため、直行ルート利用者とはせず利用候補駅を直線距離の近い順に2駅選ぶこととする。

## 2.2 端末交通手段の推定

次に、常住地（または従業地）と利用候補駅間の交通手段について推定する。ここでの推定には、先に示した端末交通手段別人員表を用いる。端末交通手段は表から「その他」「不明」を除いた「徒歩」「自転車」「バイク」「車（送迎）」「車（その他）」「バス・路面電車」「送迎バス」「タクシー」の8種類を、各

交通手段の利用者数の割合に応じて確率的に割り当てる。なお、本研究では、「車（その他）」に関しては就業者自身が運転することを想定している。同様の手法で従業地側の利用候補駅から従業地までの交通手段を、端末交通手段別人員表（最終降車駅別・勤務・就学地基本ゾーン別）を用いて推定する。ただし、合成人口データの年齢データをもとに、「バイク」「車（その他）」はそれぞれに応じた免許を取得可能な年齢以上の就業者に割り当てる。

Table 2 と Table 3 に、上記の方法で割り当てを行ない算出した高槻市の就業者を対象とした、常住地側と従業地側の利用候補駅までの直線距離別の端末交通の割合を示す。同じ距離区分の中でのそれぞれの交通手段の利用割合を示している。Table 2 から、常住地側では従業地側に比べて、自転車やバイクなどの駐車・駐輪が必要な交通手段が多く使われていることがわかる。一方、Table 3 から、従業地側では常住地側に比べて、徒歩の割合が高く、バス・路面電車、タクシーなど料金が必要な交通手段が使われる割合が多くなっている。居住する常住地側では、自転車やバイクなどの交通手段が使えるが、目的地である従業地側では、自転車やバイクなどが使えない場合が多いことがわかる。

なお、今回利用した端末交通手段別人員表は首都圏（東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県、群馬県、茨城県、山梨県）・中京圏（愛知県、岐阜県、三重県（北東部））・近畿圏（大阪府、兵庫県、京都府、奈良県、滋賀県、和歌山県、三重県（伊賀市、名張市））の1都2府13県と三重県の一部のデータしか存在しないため、それ以外の地域において端末交通手段を推定する場合、15歳以上自宅外就業者・通学者が常住地から通勤・通学地までどの交通手段を利用しているかを集計したデータである、平成22年国勢調査 常住地による利用交通手段（都道府県別・31区分）<sup>11)</sup>の鉄道利用者における各利用交通手段の割合から端末交通

Table 2: 大阪府高槻市在住の就業者における常住地から初乗り駅までの直線距離と端末交通手段の関係

初乗り駅までの直線距離	徒歩	自転車	バイク	車（送迎）	車（その他）	バス・路面電車	送迎バス	タクシー
～0.5km	84.75%	13.29%	0.13%	0.71%	0.00%	1.12%	0.00%	0.00%
0.5～1km	74.47%	19.83%	0.30%	1.00%	0.04%	4.35%	0.00%	0.00%
1～1.5km	48.50%	32.04%	3.58%	0.89%	1.80%	13.16%	0.00%	0.04%
1.5～2km	29.30%	40.44%	6.05%	0.80%	2.23%	21.10%	0.00%	0.08%
2～3km	8.84%	30.59%	9.35%	1.42%	0.65%	49.11%	0.00%	0.04%
3～5km	5.14%	21.62%	24.38%	0.92%	0.31%	47.63%	0.00%	0.00%
5km～	33.74%	1.00%	32.57%	0.02%	0.00%	32.67%	0.00%	0.00%
全体の割合	32.45%	29.06%	8.77%	0.99%	1.07%	27.62%	0.00%	0.03%

Table 3: 大阪府高槻市在住の就業者における最終降車駅から従業地までの直線距離と端末交通手段の関係

最終降車駅からの直線距離	徒歩	自転車	バイク	車（送迎）	車（その他）	バス・路面電車	送迎バス	タクシー
～0.5km	96.93%	2.37%	0.01%	0.05%	0.02%	0.52%	0.10%	0.00%
0.5～1km	90.28%	7.20%	0.03%	0.06%	0.01%	1.84%	0.56%	0.01%
1～1.5km	75.97%	13.82%	0.10%	0.15%	0.06%	7.74%	1.96%	0.21%
1.5～2km	59.22%	13.49%	0.71%	0.38%	0.16%	22.88%	3.02%	0.15%
2～3km	26.03%	12.02%	3.42%	0.98%	0.32%	49.65%	7.18%	0.40%
3～5km	10.03%	2.14%	2.17%	0.68%	0.53%	76.23%	8.00%	0.22%
5km～	22.55%	2.35%	0.37%	3.32%	1.81%	67.95%	1.62%	0.02%
全体の割合	71.75%	7.49%	0.69%	0.29%	0.13%	17.21%	2.32%	0.12%



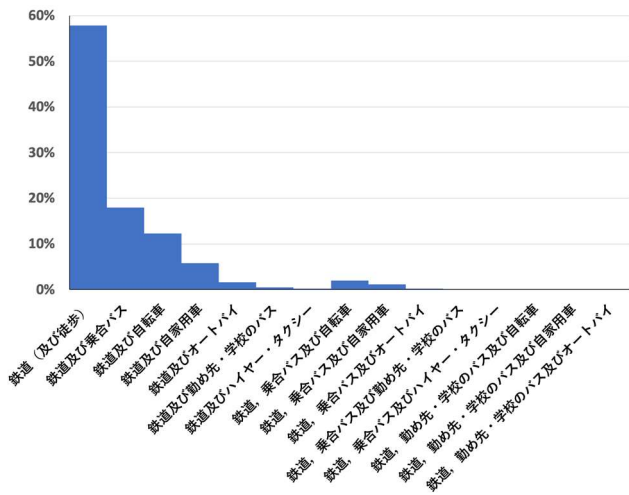


Fig.4: 鉄道利用者における交通手段割合（福岡県）

Table 4: 各交通手段の速度情報

交通手段	平均時速	移動以外にかかる時間
徒歩	5km/h <sup>9)</sup>	なし
自転車	15km/h <sup>9)</sup>	入出庫4分 <sup>10)</sup>
車（送迎）		出庫2分
車（その他）	OSRMを用いて	入出庫7分 <sup>10)</sup>
自家用車	所要時間を求める	
タクシー		待ち時間5分
ハイヤー・タクシー		
バイク	OSRMを用いて	入出庫6分
オートバイ	求めた自動車速度/1.3	
バス・路面電車		徒歩6分(発着地計)
乗合バス	14km/h <sup>10)</sup>	待ち時間4分 <sup>10)</sup>
送迎バス		徒歩6分(発着地計)
勤め先・学校のバス	14km/h	待ち時間4分

手段を確率的に割り当てる。Fig.4では、首都圏・中京圏・近畿圏を除き最も鉄道利用者割合の高い福岡県を例に鉄道利用者における交通手段割合を示している。

### 2.3 端末所要時間の推計

2.1で求めた常住地から利用候補駅までの直線距離と、2.2で求めた端末交通手段をもとに、利用候補駅までの端末所要時間を推定する。直線距離を道路距離に変換するため、森田ら<sup>12)</sup>の研究をもとに、全国一律で道直比を1.3035とおいた。これにより変換した道路距離とTable 4に示す各交通手段の平均時速、移動以外に要する時間を用いて所要時間を計算する。同様の手法で従業地側の利用候補駅から従業地までの所要時間も計算を行う。

本研究では、自動車・バイクの移動に関して、オープンソースソフトウェアの経路探索システムであるOSRM (Open Source Routing Machine)<sup>13)</sup>を用いる。Table 5に平成27年度全国道路・街路交通情勢調査<sup>14)</sup>より、日本全国平均と大阪府全域の道路種別ごとの速度を示す。OSRMは道路の混雑情報を参照することができないため、Table 5とTable 6に示すようにルーティング計算の際に用いる各道路上の車の速度を、全国平均の混雑時旅行速度に設定し、渋滞時の速度を仮定して計算した。大阪府の値ではなく全国平均の値を用いたのは、従業地が大阪府外で、複数の都道府県を跨いだ移

Table 5: 全国と大阪府全域の混雑時旅行速度比較

道路種別	全国 (km/h)	大阪府全域 (km/h)
高速道路計	76.0	47.9
一般国道計	35.3	19.5
主要地方道計	31.1	16.9
一般都道府県道	30.5	17.1
一般道路計	32.0	17.7
合計	33.0	19.0

Table 6: OSRM ルーティング計算の際に変更した速度値

道路種別	初期値 (km/h)	本研究 (km/h)
motorway		90
高速道路		76
motorway_link		45
高速道路への接続路		35
trunk		85
国道		35.3
trunk_link		40
国道への接続路		15
primary		65
主要地方道		31.1
primary_link		30
主要地方道への接続路		15
secondary		55
一般都道府県道		30.5
secondary_link		25
一般都道府県道への接続路		15
tertiary		40
一般道（2車線以上）		32
tertiary_link		20
一般道への接続路		15

動をする就業者に対応するためである。ただし、Table 5に示すように全国平均の混雑時旅行速度は、大阪府のものより速いデータとなっているため実際より所要時間が短い傾向になってしまっている点で注意が必要である。また、バイクの平均速度は排気量や種類によって大きく異なるが、本研究では混雑時旅行速度が約25km/hのオートバイを想定する。Table 6より、自動車の全国平均の混雑時旅行速度がバイクよりも約1.3倍速い33.0km/hであるため、バイクの所要時間を（車の所要時間×1.3）として求めている。なお、本研究では算出された所要時間は全て小数点以下を切り上げて1以上の整数数となるようにしている。

### 2.4 常住地側の利用候補駅から従業地側の利用候補駅までの経路と所要時間の推定

常住地と従業地それぞれの利用候補駅間の経路、所要時間の推定には株式会社ヴァル研究所が提供するWeb APIサービス、駅すばあとWebサービス API<sup>15)</sup>を利用する。

経路探索のためAPIに与えるパラメータをTable 7に示す。到着時刻は、Fig.5に示す第11回大都市交通セン

Table 7: API に与えるパラメータについて

項目名	与えた情報
探索日付	2021年12月1日（水曜・平日）
探索時刻	午前8時30分
探索種別	探索時刻に到着するように探索
探索ソート	探索時刻に到着するルートのうち出発時刻が遅い順
特急・新幹線の利用	候補駅間の直線距離が20km（地方圏なら10km）以上なら利用可

サス調査結果<sup>16)</sup>の時間帯別の鉄道利用者による駅滞留者数のグラフより、「鉄道利用者数による駅滞留者数」が最も多い午前8時30分とした。有料特急・新幹線の利用に関しては、近畿圏で最も運行距離の短い全車有料特急である南海電鉄・泉北高速鉄道の「泉北ライナー」を参考に、泉北ライナーの運行区間である南海難波駅から泉北高速鉄道と泉中央駅までの直線距離が約22.8kmであったため、候補駅間の直線距離が20km以上で利用可、首都圏・中京圏・近畿圏以外の地方圏では1時間あたりの運行本数が都市圏に比べ少ない傾向にあることから半分の10km以上で利用可とした。

APIから返却される経路は最大で20通りあり、Table 7に示す探索ソート順に基づき返却される。そのうち最も出発時刻が遅い経路が有料列車を利用しない場合、その経路を「候補駅間の経路」とする。最も出発時刻が遅い経路が有料列車を利用する場合、その経路と、有料列車利用をしない経路のうち最も出発時刻が遅い経路とで比較を行い、（候補駅間の所要時間）×（3ヶ月定期代）の値が小さい方の経路を「候補駅間の経路」とする。返却された経路が全て有料列車を利用する場合、最も出発時刻が遅い経路を「候補駅間の経路」とする。ただし、所要時間の短い経路と料金の安い経路どちらを取るかは就業者によって異なると考えられるため、この点は注意が必要である。また、候補駅間の経路の交通手段が徒歩のみであった場合、候補駅を経由する必要はないと考え、直行ルート利用者とする。また、8時30分に到着するために一般的な始発電車の発車時刻である午前5時より前に移動を開始しなければならない場合、その候補駅間の経路を通る就業者は定期的な通勤が現実的でないと考え、駅経由ルートで所要時間が210分を超える場合、「定期的な通勤をしていない人」とする。

注意点として、駅すばあとWebサービス APIはAPI利用時点の公共交通機関に準じたサービスのため、平成27年度国勢調査が行われた2015年10月以降に開業した路線や駅を経路上で利用してしまう可能性、工事や

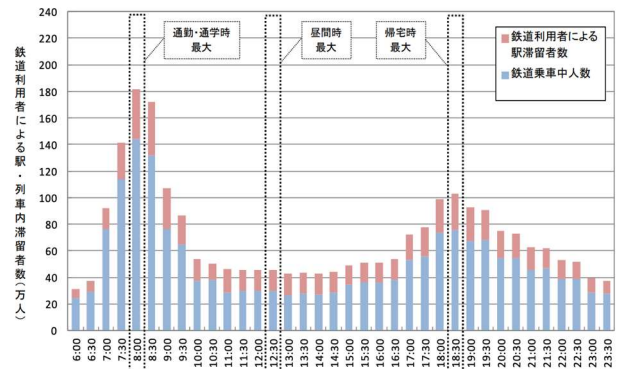


Fig.5: 首都圏における鉄道利用者による駅滞留者数の時刻分布（第11回大都市交通センサス 平成24年度分析結果報告書より引用）

災害で不通・代行バスでの運転になっている可能性や、消費税増税に伴う運賃改定などの理由で定期代が変更している可能性がある点から、当時の通勤経路を再現できないことがあるため注意が必要である。

こうして求めた候補駅間の経路において、初乗り候補駅と経路上の初乗り駅が異なる場合がある。ここで初乗り候補駅と経路上の初乗り駅が異なるとは、一例を挙げると、初乗り候補駅を阪急大阪梅田駅、最終降車候補駅をJR京都駅としてAPIを用いて探索を行なった場合、阪急梅田駅からJR大阪駅まで徒歩で向かい、JR大阪駅からJR京都駅までJRで向かうルートが一般的に返却される。このとき、初乗り候補駅は阪急梅田駅であるが実際に初乗り乗車を行っている駅はJR大阪駅となる。このことを本研究では「初乗り候補駅と経路上の初乗り駅が異なる」と表現し、この場合改めて2.1, 2.2, 2.3の手順を用い、常住地から経路上の初乗り駅までの端末交通手段の再割り当て及び端末所要時間の再推計を行う。また、この際就業者の常住地のゾーンコードから経路上の初乗り駅まで通勤で利用している人が端末交通手段別人員表にない場合、直行ルート利用者とする。最終降車候補駅と経路上の最終降車駅が異なる際も同様に再推定を行う。

Fig.3に示したように最大3×3=9通りの所要時間のうち、2.2で推定した端末交通手段に基づき、2.3で推計した端末所要時間（移動以外にかかる時間を除く）に「係数」を掛け、候補駅間の経路の所要時間を加えたものを「合計所要時間（比較用）」とする。この係数は、Table 8の高槻市（端末交通手段別人員表）の行に示す高槻市内在住者の初乗り駅までの端末交通手段割合に近づくように、交通手段ごとかつ端末交通手段別人員表がカバーしている全ての市区町村ごとに設定する数値であり、公共交通機関であるバス・路面電車の

Table 8: 高槻市における端末交通手段別人員表と提案手法の初乗り駅までの端末交通手段比率の比較

参考データ	徒歩	自転車	バイク	車 (送迎)	車 (その他)	バス・ 路面電車	送迎バス	タクシー
大阪府（端末交通手段別人員表）	64.70%	22.44%	1.84%	3.34%	0.59%	7.02%	0.06%	0.01%
高槻市（端末交通手段別人員表）	42.30%	27.86%	5.35%	1.78%	0.58%	22.09%	0.00%	0.04%
高槻市（提案手法による推計・係数を利用しない）	23.51%	39.18%	12.72%	2.15%	1.15%	21.24%	0.00%	0.05%
高槻市（提案手法による推計・係数を利用）	43.06%	28.05%	5.83%	1.90%	0.57%	20.54%	0.00%	0.06%
設定した係数	0.35	1.15	1.7	1.2	1.2	1	1	1.2

係数を1で固定し、他の交通手段の係数を、0.1から2.0の間で0.05ずつ変化させ、初乗り駅までの端末交通手段割合との端末交通手段ごとの誤差の合計が最も小さくなるように設定した。また、係数設定の際に参考にした端末交通手段別人員表は通学定期券の所持者を含むため、本研究では対象が就業者であることから、改めて係数の設定が必要となる点で注意が必要である。最大9通りの経路のうち合計所要時間（比較用）が最も短い経路を「駅経由ルートの経路」とする。

## 2.5 通勤経路の決定

直行ルートの交通手段の割り当てには、15歳以上の自宅外就業者・通学者が常住地から通勤・通学地までの交通手段を利用しているかを集計した平成22年国勢調査 常住地による利用交通手段（市区町村別・16区分）<sup>17)</sup>の高槻市のデータに基づき、「徒歩」「自転車」「自家用車」「オートバイ」「乗合バス」「勤め先・学校のバス」「ハイヤー・タクシー」の7種類を、各交通手段の利用者数に応じて確率的に割り当て、2.3で端末所要時間を用いる際に使用したTable 3を用いて所要時間を計算する。また、2.2と同様に、免許が必要な交通手段に関しては免許取得可能な年齢以上の就業者に割り当てる。このとき、直行ルートで所要時間が150分を超える場合、定期的な通勤は現実的でないと考え、「定期的な通勤をしていない人」とする。その後、（駅経由ルートの所要時間×0.8）>（直行ルートの所要時間）のとき、直行ルートを選ぶこととする。駅経由ルートの所要時間に0.8の係数を掛けているのは、国勢調査のデータから大阪府の鉄道利用者割合（約42.20%）に合わせるためである。この係数は市区町村

ごとに設定する数値であり、0.1から0.05ずつ変化させ、大阪府の鉄道利用者割合との誤差が最も小さくなるように設定した。このとき、提案手法による推計の結果、鉄道利用者は55,596.4人（約40.82%）であった。

## 3 結果と考察

提案手法で合成人口データの10セットを対象に割り当てを行なった結果、大阪府高槻市在住で、従業地が自宅・外国以外で定期的な通勤が可能と推定される10セットの平均で138633.7人の就業者を対象に、2.5で示した平成22年国勢調査 常住地による利用交通手段（市区町村別・16区分）<sup>17)</sup>の大阪府と高槻市のデータと比較したものをFig.6に示す。国勢調査の項目に合わせるため、本研究における端末交通手段の「車（送迎・その他）」は「自家用車」、「バス・路面電車」は「乗合バス」、「送迎バス」は「勤め先・学校のバス」、「タクシー」は「ハイヤー・タクシー」として集計を行っている。Fig.6では、大阪府のデータと比べ「鉄道のみ」の項目の割合が低い代わりに、「鉄道及び〇〇」といった利用交通手段が計2種類で鉄道を含む項目の割合が高いことがわかる。これはTable 8の大阪府と高槻市の端末交通手段別人員表の比較に示すように、初乗り駅までの端末交通手段の割合において徒歩の割合が少なく、自転車、バイク、バス・路面電車の割合が高いためである。このように同じ府内で大きな差が出ているのは、Table 9に示すように、高槻市の可住地面積1km<sup>2</sup>あたりの駅の数が高槻市全体と比較して少なく、常住地から初乗り駅までが遠い傾向にあることが理由であると考えられる。また、高槻市の国勢調査のデータと比べ「自転車のみ」の項目の割合が低い代わりに、「自家用車のみ」「オートバイのみ」の項目の割合が高いことがわかる。これは本研究では推定の対象が「15歳以上の就業者」であるのに対し、比較対象である国勢調査では集計の対象が「15歳以上の自宅外就業者・通学者」であり、自家用車・オートバイの利用が少ない学生が含まれていないことが原因であると考えられる。

Table 9: 大阪府と高槻市の駅に関する比較

	大阪府	高槻市
駅の数（2015年度）	517	5
可住地面積（km <sup>2</sup> ）	1324.05	57.18
可住地面積1km <sup>2</sup> あたりの駅の数	0.390	0.087

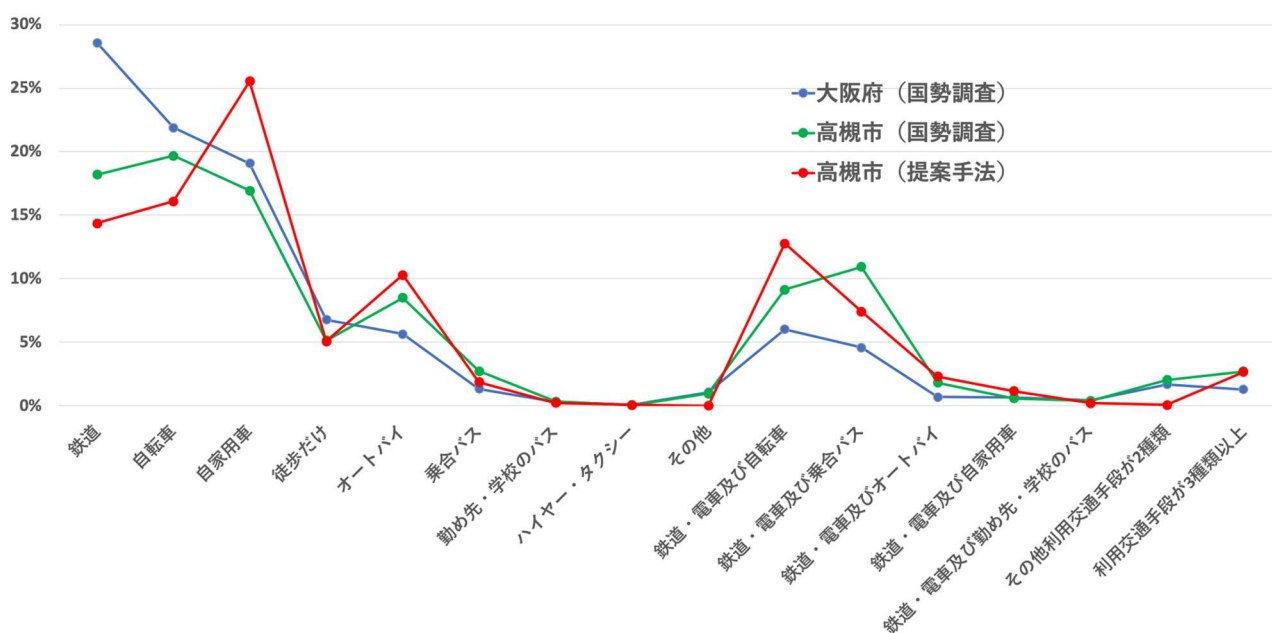


Fig.6: 大阪府と高槻市の利用交通手段割合の比較



Table 10: 高槻市内の5駅における提案手法による推定初乗り乗車人数と乗降客数の比較

駅名	推定初乗り乗車人数(A)	2015年度乗降客数(B)	(A/B)
高槻 (JR)	23,026.7	127,640	18.04%
高槻市 (阪急)	10,179.9	64,824	15.70%
摂津富田 (JR)	10,985.2	41,098	26.73%
富田 (阪急)	4,878.8	20,910	23.33%
上牧 (阪急)	2,228.4	10,729	20.77%

高槻市に常住し、鉄道利用者と推定された就業者を対象に、高槻市内の5駅の初乗り乗車人数と国土交通省が公表している平成27年度乗降客数データ<sup>18)</sup>を比較したものをTable 10に示す。(A)列が提案手法で推定された初乗り乗車人数を表わし、(B)列が乗降客数を表している。(B)列の乗降客数には乗車人数だけでなく、降車人数も含まれていることに注意が必要である。Table 10では、乗降客数からも見てとれるように高槻市の中心駅であるJR高槻駅・阪急高槻市駅に比べて、JR摂津富田駅・阪急富田駅の乗降客数と比較した推定初乗り乗車割合が高いことがわかる。これは、JR高槻駅・阪急高槻市駅の駅付近を従業地とし、この2つの駅を最終降車駅としている就業者が多いことが理由であると考えられる。また、阪急上牧駅の利用者割合が少し低い値となっているのは、阪急上牧駅が高槻市の端にあり、高槻市の東に位置する大阪府島本町からの利用者が多いことが理由であると考えられる。

高槻市に常住し、鉄道利用者と推定された就業者を対象に、大阪府大阪市北区梅田地区の鉄道7駅における最終降車人数と各駅への乗り換え人数をTable 11に示す。Table 11では、JR大阪駅と阪急大阪梅田駅の最

Table 11: 大阪市北区梅田地区の鉄道7駅における提案手法による推定最終降車人数と乗り換え人数

駅名	推定最終降車人数	乗り換え人数						
		大阪 (JR)	大阪梅田 (阪急)	大阪梅田 (阪神)	梅田 (地下鉄)	東梅田 (地下鉄)	西梅田 (地下鉄)	北新地 (JR)
大阪 (JR)	3636.2		230.1	655.1	515.5	1060.3	4852.9	376.0
大阪梅田 (阪急)	311.2	25.1		9.3	8.9	0.0	0.2	0.0
大阪梅田 (阪神)	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0
梅田 (地下鉄)	0.1	0.0	0.7	0.3		0.0	4.8	0.0
東梅田 (地下鉄)	19.4	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
西梅田 (地下鉄)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0
北新地 (JR)	43.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0

終降車人数が多いことがわかる。これは、Table 10に示したように高槻市内を通っている鉄道会社がJRと阪急の2社のみであり、先に示した2駅には別の路線に乗り換えをすることなく行くことができることが理由である。JR大阪駅の利用者の方が阪急大阪梅田駅より圧倒的に利用者が多いのは、JRの方が阪急より速度が速く、所要時間が短いためだと考えられる。また、大阪メトロ谷町線東梅田駅とJR北新地駅を最終降車駅として利用している人が少数いるのは、高槻市の南に位置する大阪府枚方市にある京阪枚方市駅を初乗り駅としている就業者が少数(約1,170人)おり、京阪電鉄を利用したのち乗り換えをすることでこれらの2駅に行っていることが理由である。また、乗り換え人数に関して、JR大阪駅から大阪メトロ四つ橋線西梅田駅に乗り換えている人数が約4,850人と他の駅への乗り換えと比較して非常に多く見られた。この4,850人に対しさらなる集計を行なったところ、四つ橋線の駅を最終降車駅としている就業者は約3,350人おり、そのうち西梅田駅の隣駅である肥後橋駅を最終降車駅としている就業者が約1,350人と最多であった。

定期通勤が可能と思われる就業者を対象に、常住地

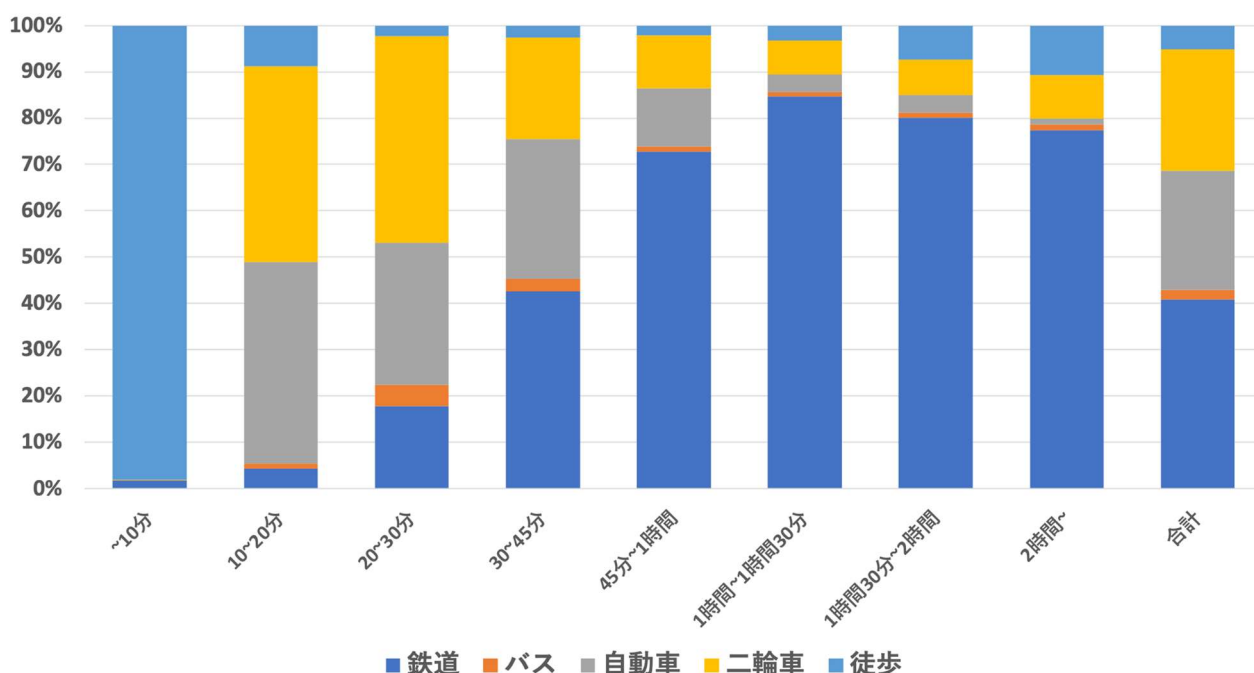


Fig.7: 常住地から従業地までの所要時間と代表交通手段の関係

から従業地までの所要時間と代表交通手段の関係を Fig.7 に示す. ここで, 代表交通手段とは主にパーソントリップ調査<sup>19)</sup>で使われる用語であり, 移動の際1つ以上の交通手段を使用した場合の主な交通手段のことをいい, 交通手段の集計上の優先順位は, 鉄道, バス, 自動車, 二輪車, 徒歩の順とするものである. パーソントリップ調査の項目に合わせるため, 本研究における「バス・路面電車」「乗合バス」「送迎バス」「勤め先・学校のバス」は「バス」, 「車(送迎・その他)」「自家用車」「ハイヤー・タクシー」は「自動車」, 「自転車」「バイク」「オートバイ」は「二輪車」として集計している. Fig.7 では, 所要時間が10分未満の場合には徒歩が大部分を占め, 10分以上30分未満の場合には自動車・二輪車の利用が合わせて約8割を占め, 45分以上の場合には鉄道の利用が約7割以上を占めるといふ風に遷移する, 想定に近い結果が得られた. ただし, 所要時間が2時間以上かかっている就業者は1,200人ほどしかいなかったが約10%の人が徒歩を選択する結果となっており, 現実的な数値であるとは考えにくいと推定の精度をさらに高めていくことが必要であると考えている.

#### 4 今後の展望と課題

本研究では大阪府高槻市の就業者を対象に推定を行った. Table 11 で大阪都市近郊7駅を例に示したように, カバーする市区町村を増やすことで, ある地点に滞留する可能性のある人がどの市区町村から来ているのかといった推定や, 通勤所要時間から個々人の生活時間の推定が可能になると考えている.

今後の課題として, 本研究では推定の大部分で通勤・通学定期券利用者を対象に集計された端末交通手段別人員表を参考にしたが, 端末交通手段別人員表では大阪府内のゾーンコードから初乗り駅に行っている人は約110万人である一方, 国勢調査のデータでは大阪府内から鉄道を利用して通勤・通学をしている人は約157万人いるため, 約47万人が定期券以外を用いて鉄道を利用しており, 端末交通手段別人員表でカバーできていないことがわかる. そのため, 端末交通手段別人員表では初乗り駅として利用されていない駅が実際は利用されているということが起こる可能性がある. また, 2.2 で示したように端末交通手段別人員表があるのは首都圏・中京圏・近畿圏のみであるため, それ以外の地域では利用候補駅および端末交通手段の推定が候補駅までの直線距離に基づいた推定になってしまううえ, 大都市圏以外では鉄道の通勤利用が盛んではなく通勤利用する人が希少であるため, 通勤に鉄道を利用する人をより精密に抽出する必要がある.

#### 謝辞

本研究は, 2020年度関西大学研究拠点形成支援経費, JST 未来社会創造事業(JPMJMI20B3), 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(jh210040-MDH), HPCI システム利用研究課題による支援(hp200262)を受け, 実施しました.

#### 参考文献

1) Tadahiko Murata, Takuya Harada, Daiki Masui: Comparing transition procedures in modified simulated-annealing-based synthetic reconstruction method without samples,

SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, vol. 10, no. 6, pp. 513-519, 2017.

2) Takuya Harada, Tadahiko Murata: Projecting household of synthetic population on buildings using fundamental geo-spatial data, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 10-6, 505/512 (2017)

3) 木全淳平, 樋本圭佑, 西野智研, 田中哮義: 全国的に整備される統計資料を利用した都市圏内就業者の時刻別空間分布の推定 - 京阪神大都市圏を対象としたケーススタディー, 日本建築学会計画系論文集, 78-686, 891/898 (2013)

4) 岩瀬大樹, 村田忠彦: 合成人口データにおける就業者の従業地の割当て, 計測自動制御学会第26回社会システム部会研究会, GS6-1-3, 295/298 (2021)

5) 三浦英俊: 緯度経度を用いた3つの距離計算方法, オペレーション・リサーチ, 60, 701/705 (2015)

6) 国土地理院: 経緯度を用いた2地点間の測地線長, 方位角を求める計算. <https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>

7) 株式会社データプラス: 駅データ.jp. <https://www.ekidat.a.jp/>

8) 国土交通省: 第12回大都市交通センサス調査結果集計表. [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei\\_transport\\_tk\\_000035.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000035.html)

9) 株式会社ナビタイムジャパン: NAVITIME API. <https://api-sdk.navitime.co.jp/api/>

10) 小川圭一, 宮本達弥: 地方都市における自転車利用促進のための有効な距離帯に関する地域比較分析, 土木計画学研究・論文集, 29, 883/892 (2012)

11) 国土交通省: 平成22年国勢調査 常住地又は従業地・通学地による利用交通手段(31区分)別15歳以上自宅外就業者・通学者数 - 都道府県. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003063774>

12) 森田匡俊, 鈴木克哉, 奥貫圭一: 日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究, Theory and Applications of GIS, 22-1, 1/7 (2014)

13) OSRM (Open Source Routing Machine) : <http://project-osrm.org>

14) 国土交通省: 平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計結果整理表 旅行速度整理表(都道府県別道路種別別). <https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>

15) 株式会社ヴァル研究所: 駅すばあとWebサービス スタンダードプラン. <https://ekiworld.net/service/sier/webservice/api.html>

16) 国土交通省: 第11回大都市交通センサス調査結果 平成24年度分析結果報告. [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei\\_transport\\_tk\\_000047.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000047.html)

17) 国土交通省: 平成22年国勢調査 常住地又は従業地・通学地による利用交通手段(16区分)別15歳以上自宅外就業者・通学者数 - 市区町村. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003063775>

18) 国土交通省: 国土数値情報 平成27年度駅別乗降客数データ. [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-S12-v2\\_3.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-S12-v2_3.html)

19) 国土交通省: 都市交通調査・都市計画調査 パーソントリップ調査. [https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/toshi\\_tosiko\\_tk\\_000031.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/toshi_tosiko_tk_000031.html)