

# 幹線交通の気象影響を考慮した 旅行時間信頼性の経済価値推計

芝浦工業大学工学部 教授 岩倉成志

## 概要：

大雪や豪雨、野生動物との接触、施設更新に伴う通行規制・運行規制の増加など、幹線交通機関の旅行時間信頼性が近年揺らいでおり、旅行時間信頼性の経済的価値を評価するために年間の旅行時間変動分析と旅行時間信頼価値の推計のために秋冬期の交通機関選択データを用いた平均分散モデルの構築を試みた。年間を通じた旅行時間変動分析では、新幹線の定時性が高いこと、高速道路はお盆の時期の変動が大きいこと、航空は豪雪地域を中心に冬季の定時性が大きく悪化することを示した。旅行時間信頼性価値の推計は、現時点では成果を得るに至っていない。プローブデータは年間通して得られる大きな利点がある一方で、道路交通の車種特定の技術が待たれること、同乗者数が不明で一人当たり移動費用の算出が難しいこと、航空は様々な券種を提供しているが、これを特定できないことなどがあげられる。現時点では幹線交通の旅行時間信頼性の推計には至っていないが、引き続き LOS データの精度向上を含め、旅行時間信頼性価値の再推計を進めたい。

キーワード：幹線交通、旅行時間変動、旅行時間信頼性価値、プローブデータ、平均 - 分散モデル

## 1. はじめに

旅行時間信頼性（道路交通の旅行時間の分散や公共交通機関の定時性）の経済評価は 2000 年前後から国内外で都市交通を中心に多くの研究が蓄積されたが、幹線交通に関する旅行時間信頼性の経済評価の研究成果はない。気候変動に伴う大雪・豪雨や野生動物との接触、施設更新に伴う通行規制が増加しており、旅行時間信頼性評価の重要性は益々高まっており、時間価値が高い中長距離移動における旅行時間信頼性の影響は大きいと考えられる。

本研究は、東北地方と北陸地方の高速道路、新幹線、航空を対象に年間の day-to-day の旅行時間変動の分析をおこなった上で、旅行時間信頼性の経済価値を明らかにする。幹線交通の旅行時間信頼性の経済評価を行うために取得した 2018 年前後 2 か年の日々の交通機関別時間帯別・運行別旅行時間データと、携帯位置情報データによる冬期を含んだ日別の幹線交通需要データを組み合わせて、非集計ロジットモデルによって幹線交通の旅行時間信頼性評価値を算出する。一般的に幹線交通の時間価値は都市交通に比して高く、旅行時間信頼性価値も相応に大きいと想定される。交通機関ごとの旅行時間変動の季節別変化が旅行需要にも影響する可能性を明らかにし、離散選択モデルの平均分散アプローチを用いて、幹線交通の旅行時間信頼性の

経済価値を計測する。異なる幹線交通の旅行時間変動を比較分析し、旅行者の携帯位置データで、旅行時間信頼性の経済価値を算出する従来に無い試みである。

## 2. 既存研究の概観

旅行時間変動に関わる既存研究として、若林ら (2009) <sup>1)</sup>は、道路の旅行時間信頼性指標の比較を行い、BT、PT、TTV、平均旅行時間の前後 10 分を示す  $P(ave \pm 10)$  とパーセンタイル値指標の「TT80-TT20」、「TT70-TT30」を、東名古屋 JC-名神吹田 IC 間を対象に分析した。なお、若林 (2001) <sup>2)</sup>は降雪等気象影響が道路旅行時間変動 TTV(Travel Time Variability)に与える影響に関わる分析もおこなっている。梅田・桑原ほか(2021) <sup>3)</sup>が冬季道路交通にて異常事象が発生した際に交通流に及ぼす影響の軽減を目的として、プローブデータと気象データを融合してリスクを評価する手法の提案をおこなった。福田・水口ほか(2017) <sup>4)</sup>は、広域で長期観測可能なプローブデータを利用した信頼性指標を算出する方法を提案した。12 月や 1 月の降雪期は非降雪期の 10 月に比して旅行時間信頼性が大きく低下することを示した。

坂下ら(2009) <sup>5)</sup>が航空遅延の現状把握を目的として、羽田空港の発着データと周辺気象データを用いて、運行ダイ

やや搭乗口の設備環境、天候が航空遅延に影響を及ぼしている要因を明らかにしている。また平田ら(2018)<sup>9)</sup>は、日本国内の航空ネットワークにおける航空機遅延の波及現象の実態把握と費用対効果分析のための波及遅延モデルを開発した。

幹線鉄道に関する旅行時間変動の研究は少ないが、Li, X.(2021)<sup>7)</sup>は 3000 km に及ぶ幹線交通（航空、幹線鉄道、高速バス）の交通機関選択における定時性の弾力性分析をおこなっている。都市鉄道に関しては、Wardman and Batley (2014)<sup>8)</sup>が Passenger Focus (2012) で Value for Money に次いで定時到着が旅客満足度の最も重要な要因とされていることを紹介し、都市鉄道の旅行時間信頼性研究の広範なレビューをおこなった。小林ら (2020)<sup>9)</sup>は列車編成ごとの 20 日間の運行実績データを用いて遅延状況を分析するとともに旅行時間信頼性価値 VTTV の算出もおこなっている。

旅行時間信頼性の経済評価の既存研究としては、Fosgerau and Fukuda et al. (2008)<sup>10)</sup>が、デンマークの都市交通サービス(鉄道、バス)を対象に、平均-分散アプローチとスケジューリングアプローチを統合した新しいアプローチ手法を用いてモデル解析をおこなった。Fosgerau and Karlström(2010)<sup>11)</sup>は、Small (1982)<sup>12)</sup>が提案したスケジューリングアプローチが平均-分散アプローチと整合的に取り扱えることを示した。福田(2010)<sup>13)</sup>と中山(2012)<sup>14)</sup>は、旅行時間変動の経済的価値の既存研究をレビューするとともに研究課題を述べている。旅行時間信頼性を評価する指標として信頼性比 RR (=旅行時間変動価値 VTTV(Value of Travel Time Variability)と時間価値 VTT(Value of Travel Time saving)の比較をおこなった。旅行時間変動を標準偏差とした場合の既存研究の信頼性は福田 (2010) によると、Transek(2002)が推定した 0.96 から Batley(2007)が推定した 3.28 まで存在し、中山 (2012) では、Black&Towriss(1993)の 0.55 から de Jong ら (2007) の 2.4 までが記されている。Wardman&Batley(2014)<sup>8)</sup>のレビューでも福田と中山の整理と同等である。信頼性比 RR は 0.5 ~ 3.3 までの間をとり、多くの研究成果では 1.0 ~ 2.0 となっている。荻原ほか(2013)<sup>15)</sup>は、羽田空港リムジンバスを対象に、旅行時間信頼性が利用者の交通機関選択に与える影響性について、旅行時間変動価値 VTTV のパラメータを過去の利用回数や乗車時間などの変数で構造化するモデルを開発し、信頼性比 RR が 0.54 ~ 2.15 で変動し、乗車時間が長く、リムジンバス利用頻度が低いと RR が増加することを示した。

### 3. 分析データ

東北地方と北陸地方の幹線交通の旅行時間データを季節別、交通機関別に分析する。

#### (1) 旅行時間変動データ

a)新幹線:JR 東日本の列車位置情報アプリから、路線区間、

運行位置を 5 分毎に記録した。遅延時間の算出は、停車駅での実到着時刻とダイヤ上の到着時刻との差分とした。

(2019/02/10-2020/01/10 の 290 日間)

b)航空:運航記録原簿データに基づく運航者、出発到着 spot、発着時遅延時間などのデータで欠測や欠航を含むデータ(2018/01/01-2018/12/31 の 365 日間 航空局提供)

c)高速道路:車両感知器データ(タイムスライス法による IC 間所要時間、平均旅行時間、距離などを 6 時~24 時の間を 5 分毎に記録) (2018/01/01-2018/12/31 の 365 日間 (株)道路計画提供)

#### (2)幹線交通移動データ

2018 年の秋季 10 月の 7 日間、冬季 1 月の 7 日間の計 14 日間分 (2018/01/10-/1/12、1/17-/1/18、1/25-1/26、10/15-10/21 の 14 日間) の関東・東北・北陸エリアの携帯位置情報データを (株) ブログウォッチャーから購入し、滞在・交通手段判定を行い、交通機関選択データ (RP データ) を作成した。滞在・交通手段判定の手順は以下のとおりである。

a)point データを個人別に時系列順に並べ、移動経路を整理する。

b)対象地域 (関東、東北・北陸間) の行動を抽出。

c)point データの緯度経度の観測時間から、207 ゾーン(対象地域のみ)ごとの滞在時間の算出を行う。

d)ゾーンごとにゾーンの輪郭があてはまる矩形を設定し、その長辺側の距離を 34km/h で移動した際の所要時間を算出する。

e)実際の移動では小休憩などを含むため、所要時間に 60 分を上乗せした時間を滞在時間の閾値とし、閾値以上滞在した人を滞在と判定する。

f)各 point データと空港敷地、港湾敷地、鉄道路線でマップマッチングを行い、交通手段判定を行う。

g)航空、フェリー、鉄道の判定を行った以外を道路の利用に設定する。

以上の操作に加えデータのクリーニングを行った。データ構築は日本能率協会総合研究所に依頼しておこなった。

### 4. 旅行時間信頼性の分析

季節間の旅行時間分布の差異を確認するため旅行時間変動データを用いて関東 - 東北・北陸間を交通機関別に分析する。東京から青森方面へ移動したデータを図-1 から図-3 に示す。

図-1 左に新幹線の運行データを横軸に遅延時間(分)、縦軸に計測回数を示した。定時に集中しており、新幹線の旅行時間信頼性の高さが見て取れる。また図-1 右は、定時老着の列車を除いて、月別に集計した。冬季に悪化しているように見えるが、折れ線グラフの遅延率で示した通り大きな差異は見られない。

図-2 左は、青森道的高速道路の移動データを横軸に所要

時間、縦軸に計測回数を与えたものである。平均所要時間を軸に正規分布形状を示すが、450-475 分は左右で異なる形状となっている。該当部分を抜粋し、月別にまとめたものが図-2 右である。高速道路は冬季の影響を受けやすいことがわかる。

図-3 左に羽田発青森着の航空機データの遅延時分を示した。定時を軸にすると分布の広がり確認でき、10 分の早着や 20 分近い遅着が散見される。早着と遅着に分けて抜粋したものが図-3 の右上と右下であり、季節別にみると図-3 右上では 6、11、2 月が高い値を示す。これは冬季ダイヤの切り替えが 10 月末に行われることや連休がないことで安定した運航ができると考える。また図-3 右下は冬季の折れ線グラフが他の時期に比べ高く、雪害影響を受けているとみられる。

図-4 左は、東京(羽田/成田)から小松空港への 2 月、図-4 右は、東京から北陸に向かう新幹線の 3 月のパーセンタイル値である。航空は高速道路のパーセンタイルの概形と類似の曲線を描くが、新幹線は冬季でも 90%以上の列車が遅延 0 分となっている。新幹線の定時性の高さがわかる。

次に、旅行時間信頼性指標の PT、BT、TTV、TT80-TT20、TT70-TT30 を分析した。高速道路が平均所要時間、新幹線、航空がダイヤ上の定時として BT を算出した。図-5 は時間信頼性指標を用いて横軸は月、縦軸が指標値(単位は分)である。図-5 左は BT で、新幹線が高速と航空に比べ特に低い値を示している。また高速道路は、航空に比べ概ね信頼性値が高いが、8 月は逆転している。道路特有のお盆の帰省渋滞によるものと考える。また、図-5 右は TTV 指標で、図-5 左と比べ航空の値はほぼ変わらないが、高速道路の 2 倍程度の値を示す。つまり道路の TTV の値は年間を通して一定であり、季節ごとの影響を受けにくい、航空は冬季に悪化するため影響があると考えられる。

## 5. 旅行時間信頼性価値の推計

平均-分散アプローチで幹線交通機関選択モデルの構築をおこなう。3. で述べた携帯位置情報による交通移動データを用いて非集計ロジットモデルを構築する。国土交通省の幹線旅客純流動調査データ<sup>17)</sup>は秋季のデータのみで、4. で分析したように旅行時間変動も比較的安定した時期のデータとなっている。本研究は day-to-day の交通移動が把握できる携帯位置情報データによって旅行時間変動の大きい冬季データと秋季データとをプールして交通機関選択結果を説明するモデリングをすることで旅行時間信頼性価値 VTTV の推計を試みる。

モデル式は次式である。LOS データの作成は、改善の余地はあるが、本稿では発着地の携帯座標を 207 ゾーンに変換して LOS データを整備した。費用  $C$  と期待所要時間  $ET$  は、国土交通省が提供する NITAS<sup>18)</sup>ベースの 2015 年 OD 別交通サービス水準(代表交通機関別 207 生活圏間)を使用した。移動費用  $C$  は正規運賃のため、航空費用は、平成

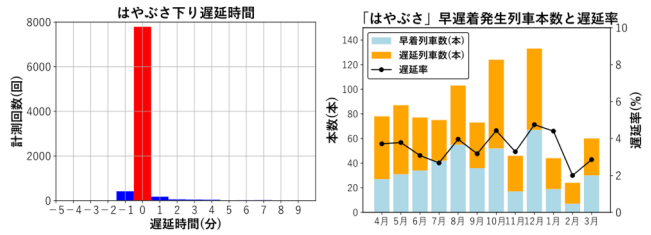


図-1 はやぶさの遅延時間分布と遅延列車の月別分布

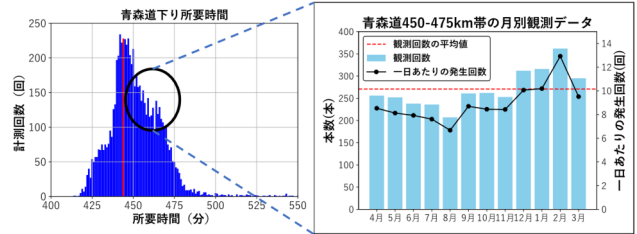


図-2 青森道の所要時間分布と 450-475 分帯月別分布

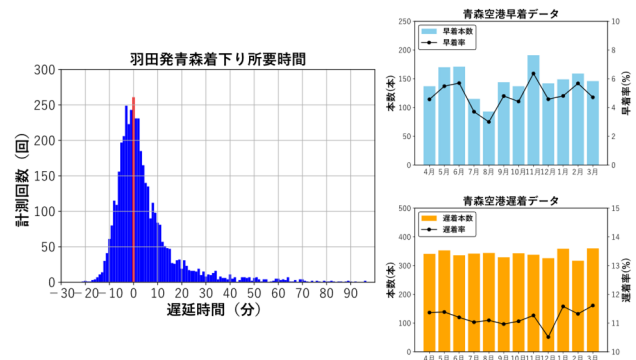


図-3 青森空港早遅着月別分布

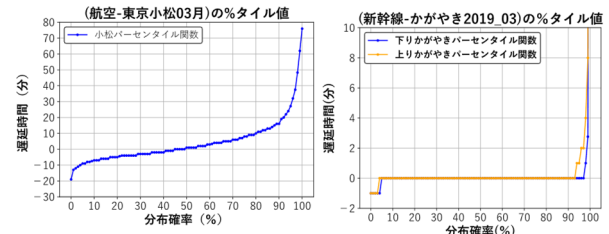


図-4 新幹線と航空のパーセンタイル指標

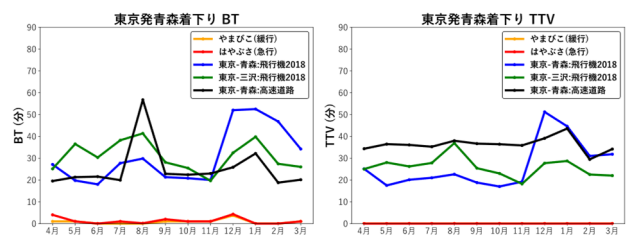


図-5 東京発青森着の月別時間信頼性分布

29 年度航空旅客動態調査報告書<sup>19)</sup>の利用券種割合を元に正規運賃に 0.68 を乗じた。また、自動車の移動費用は乗車人数で除す必要があるが、2015 年幹線旅客純流動調査<sup>17)</sup>の個票データを元に分析した結果、方面別にいくらかの差異が認められたが平均乗車人数 2.1 人として、一人当たりの移動費用に換算した。なお、携帯位置情報では券種や同

行者数は不明であること、自動車に関しては自家用車、高速バス、貨物車の車種分離が行えない点に LOS 整備上の課題がある。旅行時間変動データ  $\sigma$  は、4. で示した day-to-day データを月別 OD ごとに標準偏差を算定した値を用いている。なお、ダイヤをもつ新幹線と航空は、定刻からの遅延の標準偏差とした。OD 間の乗り換え回数  $NT$  は幹線交通部分だけではなく、アクセスとイグレスでの乗り換え回数を含んでいる。

$$P_{ijm} = \frac{\exp(V_{ijm})}{\sum_k \exp(V_{ijk})}$$

$$V_{ijk} = \delta C_{ijk} + \zeta ET_{ijk} + \rho \sigma_{T_{ijk}} + \kappa NT_{ijk} + ASC_k$$

幹線交通機関の選択データは、関東・東北・北陸間の秋冬期の 14 日間の全データの 15743 サンプルのうち、移動距離が 300 km 以上で、同日内の同一 OD 間移動で同一代表交通機関の選択が複数ある場合は一つに代表させて行動データの多様性を確保するようにして 2472 サンプルを抽出した。

パラメータ推定結果を表-1 に示す。尤度比は 0.4 を超えて一般的な幹線交通機関選択モデルと同等であるが、費用パラメータや、本研究の肝となる時間信頼性パラメータ  $\rho$  は有意なパラメータが得られていない。さらに公共交通（新幹線と航空）のパラメータ  $\rho$  は負であることが本来だが正の符号となった。サンプルの選択割合は冬季になれば自動車の割合が低下し、新幹線の利用割合が増加していることから、旅行時間変動データを一か月間の全日の標準偏差で与えている点に課題がある可能性がある。集計期間や時間帯に関するデータセットの工夫は必要と考える。信頼性比は公共交通の符号が負となり評価には値しないが、高速道路の信頼性比は 8.7 と算出された。ただし、時間信頼性パラメータが有意ではないこと、既存研究の都市交通の信頼性比がせいぜい 3.3 程度であることを考えれば過大推計となっている可能性が高い。

以上、現時点では課題が多い結果となっている。

## 6. おわりに

大雪や豪雨、野生動物との接触、施設更新に伴う通行規制・運行規制の増加など、幹線交通機関の旅行時間信頼性が近年揺らいでおり、その幹線交通の旅行時間信頼性の経済的価値を評価するために年間を通じた旅行時間変動の分析と旅行時間信頼価値を推計するために秋冬期の幹線交通機関選択行動データ (RP データ) を用いた平均分散モデルの構築を試みた。

年間を通じた旅行時間変動分析からは、新幹線の定時性が極めて高いことが明らかになった。高速道路はお盆の時期の変動が大きいことや、冬季に変動がやや大きくなること、航空は豪雪地帯を中心に定時性が大きく悪化することを示した。

表-1 平均分散モデルのパラメータ推定結果

| 説明変数                  | パラメータ      | t値     |
|-----------------------|------------|--------|
| ASC(鉄道400km未満)        | 1.21       | 2.71   |
| ASC(鉄道400km以上600km未満) | 0.514      | 1.19   |
| ASC(車400km未満)         | 1.26       | 2.55   |
| ASC(車400km以上600km未満)  | 0.838      | 1.63   |
| ASC(航空600km以上)        | -1.99      | -2.82  |
| 所要時間(分)               | -0.0028    | -3.11  |
| 費用(円)                 | -0.0000213 | -0.748 |
| 乗換回数(鉄道)              | -0.0126    | -0.138 |
| 乗換回数(航空)              | -0.169     | -2.43  |
| 時間信頼性(公共交通)           | 0.0195     | 1.15   |
| 時間信頼性(車)              | -0.0244    | -1.16  |
| LL(0)                 | -2200.9    |        |
| LL( $\theta$ )        | -1282.4    |        |
| サンプル数                 | 2427       |        |
| 時間価値(円/分)             | 131.5      |        |
| 信頼性比(公共交通)            | -6.96      |        |
| 信頼性比(車)               | 8.72       |        |

旅行時間信頼性の経済的価値の推計に関しては、現時点では成果を得るに至っていない。プローブデータは day-to-day かつ time of day の実績の移動データを年間通して得られるという大きな利点がある一方、欠点として、道路交通の車種（自動車、高速バス、貨物車など）特定の技術が待たれること、同乗者数が不明なため移動費用の算出ができないこと、航空会社は様々な券種を提供しているが、これを特定できないこと、トリップ目的が特定できないことなどがあげられる。こうした課題は鈴木・福田ほか(2019) 16) が提案するアンケート調査とプローブデータの融合とによって、いくつかを改良できる可能性はあると考える。

航空遅延に関しては平田ら(2018) 9) が指摘するように機材繰りによって波及影響が異なるため、毎期定常的に遅延が発生するわけではない。本研究でも 2 年間での差異も確認しており、利用者の認知、そして実際の交通機関選択の判断といった点でも利用空港の定時性の記憶、経験といった複雑な意思決定の反映も課題にあげられる。

本研究では幹線交通の旅行時間信頼性の推計には至らなかったが、引き続き、プローブデータの発着地座標に対応した詳細な LOS データ構築の検討も含めて、平均分散モデルの再推定を進めていきたい。

## 謝辞:

本研究の解析は本学大学院社会基盤専攻修士2年の竹村九二寿氏の尽力に依るところが大きい。ここに記して謝意を表す。また、高速道路所要時間データを作成いただいた道路計画の野中康弘様、石田貴志様、田口愛実様、航空遅延データ提供にご尽力いただいた茨城大学の平田輝満教授および航空局、携帯位置情報データの取得・解析にご尽

力いただいた日本能率協会総合研究所の久保田征志様、西尾和也様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 若林拓史、松本幸正、鈴木温、鈴木忠英：都市間高速道路の旅行時間の変動と管理者・利用者からみた旅行時間信頼性指標との関係、土木計画学研究・講演集、Vol.39、No.310、2009.
- 2) 若林拓史、坂部正治、吉崎理絵：降雪予報下における高規格道路網の所要時間信頼性解析、土木計画学研究・講演集No.24(2)、pp.385-388、2001.
- 3) 梅田 祥吾、川崎 洋輔、桑原 雅夫、飯星 明：プローブ車両データをを用いた冬季道路交通における異常事象の発生危険性評価、土木学会論文集 D3(土木計画学)、2021.
- 4) 福田大輔、水口正教、瀬尾亨、日下部貴彦、朝倉康夫：広域・長期観測プローブ情報を用いた エリアレベルでの旅行時間信頼性評価、土木学会論文集 D3(土木計画学)、Vol.73 No.5、I\_1105-I\_1118、2017.
- 5) 坂下文規、森地茂、日比野直彦：羽田空港における航空遅延に関する研究、土木計画学研究・講演集、2009.
- 6) 平田輝嵩、古田土渉、又吉直樹：国内航空ネットワークにおける波及遅延の 解析モデルと費用対効果分析への活用手法、土木学会論文集 D3(土木計画学)、2018.
- 7) Li, X., Ma, R., Guo, Y., Wang, W., Yan, B., Chen, J.: Investigation of factors and their dynamic effects on intercity travel modes competition、Travel Behaviour and Society 23、pp.166-176,2021.
- 8) Wardman M., Batley R.: Travel time reliability: a review of late time valuations, elasticities and demand impacts in the passenger rail market in Great Britain, Transportation 41:1041-1069,2014.
- 9) 小林 渉、福田 大輔、岩倉 成志、スケジューリングアプローチによる都市鉄道の列車遅延及び定時性の経済評価、土木学会論文集D3(土木計画学) 76 巻 3 号、pp. 236-250、2020.
- 10) Fosgerau, M. and Fukuda, D. et al.: Travel time variability Definition and valuation, DTU Transport ,2008.
- 11) Fosgerau, M. Karlström, A. : The value of reliability, Transportation Research Part B, Vol 44, Issue 1, pp.38-49, 2010.
- 12) K. Small: The scheduling of consumer activities: work trips, American Economic Review, 72 (3), pp. 467-479, 1982.
- 13) 福田大輔：旅行時間変動の価値づけに関する研究展望とプロジェクト評価への適用に向けた課題の整理、土木計画学研究・論文集、Vol. 27、No.3、pp.437-448、2010.
- 14) 中山晶一郎：道路の時間信頼性に関する研究レビュー、土木学会論文集 D3(土木計画学)、Vol. 67、No.1、pp.95-114、2011.
- 15) 荻原貴之、岩倉成志、野中康弘、伊東祐一郎：羽田空港リムジンバスにおける旅行時間信頼性分析、土木学会論文集 D3(土木計画学)、2013.
- 16) 鈴木新、山口裕通、福田大輔：データ融合による日別・旅行目的別都市間旅客流動量推計、学術研究論文、運輸政策研究、vol21、pp.48-59、2019
- 17) 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査、2015年、[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku\\_soukou\\_fr\\_000018.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000018.html)
- 18) 国土交通省：総合交通分析システム（N I T A S）、<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/content/001407589.pdf>
- 19) 国土交通省：平成29年度航空旅客動態調査報告書、<https://www.mlit.go.jp/common/001266967.pdf>