

# 非集計モデルを用いたオンデマンド交通導入計画支援手法

47116711 長谷川 嵩  
指導教員 大和 裕幸 教授

In this paper, in order to make appropriate On-demand transit (ODT) implementation plan, transportation forecasting model including the existing public transportation is developed. This model uses Person Trip survey data and Land Use Data, and reproduces trip chain along the axis of time. The proposed model is composed of activity choice, destination choice, and mode choice. An on-demand transit implementation plan analysis technique using the model is developed. As a result of applying this model and technique to actual case and analyzing cost effective service level of on-demand transit plan, the model can evaluate the implementation plan at the same level as long-time experiment.

Key words: On-Demand Transit, Logit Model, Transportation Planning

## 1 序論

自治体財源の縮小による地域公共交通の見直し、高齢化社会の対策からオンデマンド交通の導入が検討されている。オンデマンド交通の地域への導入に際して、車両台数や運行エリアなど運行計画を適切に立案することは重要であるが、現状オンデマンド交通の需要予測とその導入効果を定量的に評価する手法は存在しない。

そこで本研究は、地域特性や導入目的にあったオンデマンド交通の導入計画に向けて、運行計画の定量的な評価方法を提案し、オンデマンド交通の導入に有効なデータを提供することを目的とする。Fig. 1 に本モデルを用いた導入計画評価手順を示す。まず、パーソントリップ調査(以下、PT 調査)データや土地利用 GIS データなど自治体が保有しているデータを用いて各自治体の地域住民の生活・交通行動を再現する交通行動モデルを構築し、新規にオンデマンド交通を導入した際の効果分析を行う。

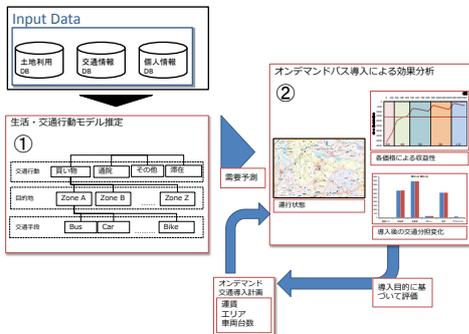


Fig. 1 Framework of ODT introduction plan evaluation

## 2 地域住民の活動・交通行動モデルの構築

### 2.1 活動・交通行動モデルの概要

本モデルでは、ある時間帯(1時間を設定) $t$ における個人の発生-目的地-手段の同時選択確率を、比較的同質と考えられる発生、目的地、手段選択の3段階に分けて選択する Fig. 2 に示すようなツリー構造によると仮定する。

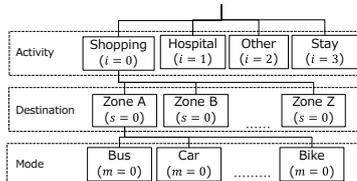


Fig. 2 Activity-Travel choice tree

### 2.1.1 交通手段選択(Mode Choice)

個人 $n$ がゾーン $r$ からゾーン $s$ までのトリップにおいて交通手段 $m$ を選択する確率 $P_{n,t}^r(m|i,s)$ は(1)のような多項ロジットモデルによって与えられる。

$$P_{n,t}^r(m|i,s) = \frac{\exp[-\theta_1 X_n^{s,m}]}{\sum_m \exp[-\theta_1 X_n^{s,m}]} \quad (1)$$

$X_n^{s,m}$ は、 $r$ に滞在する個人 $n$ のODペア $rs$ の手段選択における交通手段 $m$ の特性変数ベクトルである。移動時間や運賃がここで記述される。 $\theta_1$ は手段選択における地域住民固有の分散パラメータである。 $\theta_1$ による $X_n^{s,m}$ の重みづけで交通手段選択における一般化費用が求まる。交通手段としては、自家用車、路線バス、徒歩、自転車、タクシーの5つを設定する。

本モデルにおいて、PT調査から抽出できるトリップの空間的粒度であるOD小ゾーンはオンデマンド交通の対象となる都市レベルの交通を分析するにあたって不十分なため、潜在クラスモデルを用いた空間粒度補完を行う。トリップ単位となる個人が小ゾーン内のいずれかの町丁目に滞在しており、さらに目的地としてゾーン内のいずれかの町丁目を選択するとする。 $R_n(z)$ は個人 $n$ が町丁目 $z$ に滞在している確率、 $S_n(y)$ は個人 $n$ が町丁目 $y$ を目的地として選択する確率である。個人 $P_n(m|X_{n,y,z}^{i,s,m})$ は個人 $n$ が滞在ゾーン内潜在クラス $z$ かつ目的地選択エリア内潜在クラス $y$ に所属する際の手段選択特性変数 $X_{n,y,z}^{i,s,m}$ かつ地域住民が $\theta_1$ を持つと仮定するとき、 $m$ を選択する確率を示す。 $P_n(m|X_{n,y,z}^{i,s,m})$ は(2)で記述される。

$$P_n^r(m|i,s) = \sum_{z=1}^{Z_n} \sum_{y=1}^{Y_n} \{R_n(z)S_n(y)P_n(m|X_{n,y,z}^{i,s,m})\} \quad (2)$$

### 2.1.2 目的地選択(Destination Choice)

活動 $i$ を目的としてゾーン $r$ を出発した個人 $n$ がゾーン $s$ を目的地として選択する際の確率 $P_n^r(s|i)$ は、(3)、(4)によって与えられる。

$$P_n^r(s|i) = \frac{\exp[-(\theta_2^i X_{n,r}^{i,s} + \gamma^i C_{n,r}^{i,s})]}{\sum_s \exp[-(\theta_2^i X_{n,r}^{i,s} + \gamma^i C_{n,r}^{i,s})]} \quad (3)$$

$$C_{n,r}^{i,s} = -\ln \sum_m \exp[-\theta_1 X_n^{i,s,m}] \quad (4)$$

$X_n^{i,s}$ は $r$ に滞在する個人 $n$ が交通行動 $i$ において目的地として $s$ を選択する際の移動にかかる費用以外の選択要因に関する特性変数ベクトルである。病院や商業施設の数がここで記述される。 $C_{n,r}^{i,s}$ は個人 $n$ のODペア $rs$ の最小期待費

用である。 $\theta_2^i, \gamma^i$ は活動*i*を目的とするトリップでの目的地選択における地域住民固有の分散パラメータである。

2.1.3 活動選択(Activity Choice)

時刻*t*にゾーン*r*に滞在している個人*n*が活動*i*を目的として交通行動を発生させる確率 $P_{n,t}^r(s|i)$ は(5), (6)である。

$$P_{n,t}^r(i|r) = \frac{\exp[-(\theta_3 X_{n,r,t}^i + \delta^i \lambda_t C_{n,r}^{i,s})]}{1 + \sum_i \exp[-(\theta_3 X_{n,r,t}^i + \delta^i \lambda_t C_{n,r}^{i,s})]} \quad (5)$$

$$C_{n,r}^{i,s} = -\frac{1}{\gamma^i} \sum_s \exp[-(\theta_2^i X_{n,r}^{i,s} + \gamma^i C_{n,r}^{i,s})] \quad (6)$$

$X_{n,r,t}^i$ は*r*に滞在する個人*n*が時間帯*t*において活動*i*を目的とした交通行動を行う際の、その選択肢のみが持つ固有の特性変数ベクトルである。病院や商店の営業時間に関連する。 $C_{n,r}^{i,s}$ は*r*に滞在する個人*n*が活動*i*を目的とした交通行動を行う際の最小期待費用である。時間帯*t*における交通行動発生に関する重み指標 $\lambda_t$ で重み付けを行なうことで時間帯別のアクセシビリティ指標とする。 $\theta_3, \delta^i$ は活動内容選択における地域住民固有の分散パラメータである。その場に留まって移動しない「滞在」の効用を 0 として基準化している。本モデルでは、対象時間帯における一人あたりの最大トリップ数を 1 トリップ以下という仮定を置く。また、帰宅トリップに関しては、予め全交通発生を計算した上で、最後のトリップが発生した次の時間帯に利用者の自宅に向けて発生するものとする。

以上のようにして、行動選択パラメータ $\theta_1, \theta_2^i, \gamma^i, \theta_3, \delta^i$ を適切に決定することで、地域の交通行動の再現を行う。

2.2 行動選択パラメータ推定

本モデルにおけるパラメータ推定のフロー図を Fig. 3 に示す。各交通手段の時間帯別サービスレベル指標、PTデータおよび土地利用データ(人口密度、病院や商業施設数等)を入力データとし、交通行動を再現できる交通選択行動モデルの内生的パラメータを推定する。

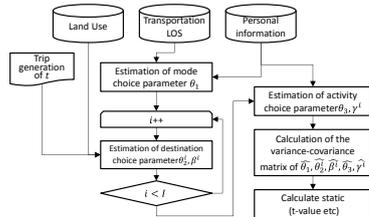


Fig. 3 Parameter estimation process

交通手段選択モデルで推定されたパラメータ値 $\hat{\theta}_1$ をもとに、交通手段選択における期待最小費用 $C_{n,r,t}^{i,s}$ を算出、その値を用いて目的*i*別の目的地選択パラメータ $\hat{\theta}_2^i, \hat{\gamma}^i$ の推定を行う。 $C_{n,r,t}^{i,s}, \hat{\theta}_2^i, \hat{\gamma}^i$ を用いて期待最小費用 $C_{n,r,t}^i$ を算出し、交通行動選択におけるパラメータ $\hat{\theta}_3, \hat{\delta}$ を算出する。推定には最尤推定法を用いているが、選択肢の数が膨大となる目的地選択のパラメータ $\hat{\theta}_2^i, \hat{\gamma}^i$ の推定に関しては、吉田らによる選択肢自己サンプリングのモデル(SSA model)<sup>1)</sup>によって最小二乗法を用いている。

2.3 モデル実行フレームワーク

本モデルの実行フレームワークを Fig. 4 に示す。入力データとしては土地利用データ、交通 LOS データ、PTデータから抽出した個人情報データおよび 2.2 で推定した行動選択パラメータである。各時間帯・各個人における活動・交通行動選択確率を算出することで、活動選択<sup>2)</sup>

も含めた交通行動選択を再現する。

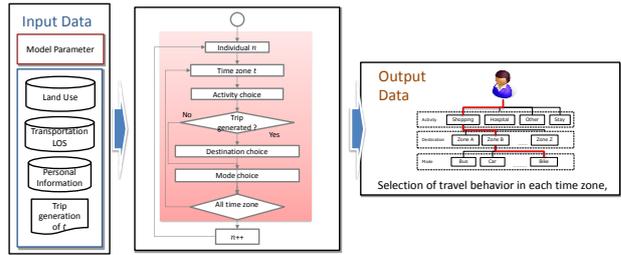


Fig. 4 Execution frame

2.4 ケーススタディによるモデルの再現性評価

提案したモデルを千葉県柏市に適用し、交通行動再現性の評価を行った。本モデルは時間・目的・手段 OD 別にトリップを変動需要として発生させることでオンデマンド交通の需要を算出することを目的とするため、まずその再現性を見る。Fig. 5 に目的別・時間帯別トリップ発生量を示す。買物移動のピークが 10 時と 17 時に発生するのに対して通院移動のピークが 9 時と 15 時に発生するなど、時間変動は概ね再現されていると言える。

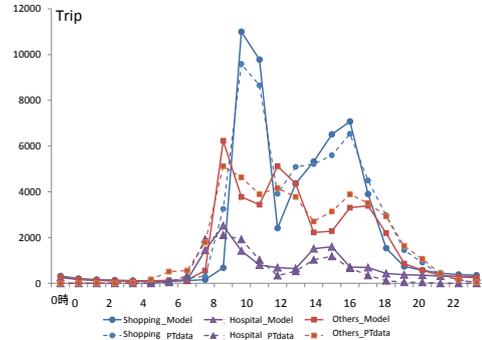


Fig. 5 Estimated and observed traffic generation value

目的別 OD 交通量を Fig. 6 に示す。左から順に買物移動・通院移動・その他移動となっている。全体としてどの交通目的についても相関係数は 0.8 以上となっており、OD 推計量は良好であるといえる。

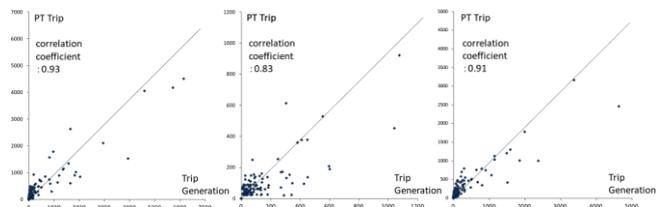


Fig. 6 Estimated and observed OD flows

代表交通手段別のトリップ数を Fig. 7 に示す。

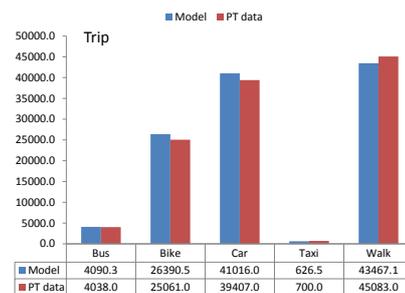


Fig. 7 Estimated and observed transportation share

全体として再現状況は良好であると言えるが、自転車・

自家用車が過大推定、徒歩が過小に推定される傾向にある。

### 3 本モデルを用いたオンデマンド交通需要予測

#### 3.1 オンデマンド交通のモデル化

2 で構築したモデルを用いて、オンデマンド交通需要予測を行う。本研究ではオンデマンド交通をバス・タクシーとは独立した一つの交通サービスとみなしてモデル化を行う。オンデマンド交通の交通一般化費用 $V_{odt}$ を(7)のように定義する。

$$V_{odt} = \sum \theta_1 X_n^{l,s,odt} + \beta_{odt} \quad (7)$$

$\beta_{odt}$ は、オンデマンド交通固有の交通行動変化における抵抗を表すパラメータで、オンデマンド交通利用に当たっての登録、予約、乗合に関する心理的抵抗を示す。これは、 $X_n^{l,s,m}$ に含まれる待ち時間・移動時間・運賃等の共通変数によって示されない交通モード変更に関する抵抗値である。本研究では $\beta_{odt}$ を円で基準化できるとする仮定を置く。

#### 3.2 オンデマンド交通を用いたモデルの実行プロセス

オンデマンド交通を用いた活動・交通行動選択モデルでは、2種類のフローを並行に計算する。一つは、オンデマンド交通の予約システムを用いた、交通手段選択と予約判定を同期しながら計算するモデル(同期モデル)、もう一つは、オンデマンド交通のサービスレベルを一定と仮定した上で、個人の交通手段選択のみを行うモデル(非同期モデル)である。前者はオンデマンド交通の実際の動きを、後者はオンデマンド交通の需要量を推計するために用いる。

非同期モデルは、オンデマンド交通の予約の有無にかかわらず、常に一定の待ち時間で移動する仮定を置く。動機モデルでは、オンデマンド交通の予約を行いながら交通行動を行うことで、実際の運行を再現する。

#### 3.3 実自治体運行データを用いた抵抗パラメータ推定

埼玉県北本市を例にして、 $\beta_{odt}$ 推定を行う。埼玉県北本市は東大オンデマンド交通を利用して運行を行なっている自治体である。コミュニティバスや路線バスの運行路線外の地域に存在していた交通空白・不便地帯の対策としてオンデマンド交通導入が検討され、平成21年10月1日から12月31日までテスト運行を行い、翌年4月1日から実証実験として運行を行なっている。運行エリアは北本市全域である。運行方式としてはワゴン車2台、普通車1台を利用しており、料金は市内均一で300円である。本自治体は導入期間が最も長く、また導入21ヶ月以降10ヶ月にわたってほぼ利用者が安定しているため、パラメータ推計におけるモデルケース自治体として選定した。

インプットデータとしては北本市のH20PT調査データ、H21経済センサスおよびH20国勢調査を用いた。推計した $\beta_{odt}$ の推移をFig. 8に示す。

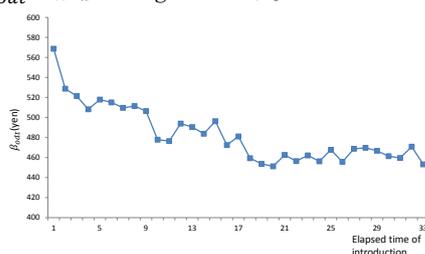


Fig. 8  $\beta_{odt}$  flow

導入による利用者増加のために、 $\beta_{odt}$ の値が徐々に減少している。これはオンデマンド交通導入から一定期間が経過したことで利用に対する心理的抵抗が弱まったことを示している。 $\beta_{odt}$ の値をデマンド交通需要が安定化した導入21ヶ月目以降の平均値として462.4円と設定する。

### 4 運行計画評価

オンデマンド交通の導入時に検討されるべきプロセスを、国土交通省によるオンデマンド交通の導入計画立案の際の検討項目をもとに作成する。Fig. 9に評価項目を示す。

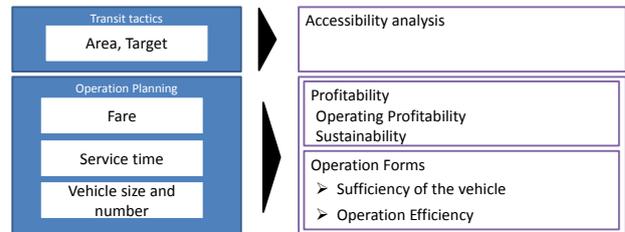


Fig. 9 Evaluation process of ODT introduction plan

各評価項目について、それぞれ順に説明する。

#### 4.1 対象者・エリア評価

$r$ に滞在する個人 $n$ の活動 $i$ を目的としたODペア $rs$ における一般化費用 $C_{n,r}^{i,s}$ は、ログサム変数によって求められる最小期待費用として(8)のように定義される。

$$C_{n,r}^{i,s} = -\ln \sum_m \exp[-\theta_1 X_n^{i,s,m}] \quad (8)$$

潜在クラスモデルを用いて大字町丁目毎にアクセシビリティの評価を行う。大字町丁目別アクセシビリティ $ACC_{n,r}^{i,Y_n}$ を(9)のように定義する。

$$ACC_{n,r}^{i,Y_n} = \sum_{y=1}^{Y_n} \{S_n(y) \cdot C_{n,r}^{i,y}\} \quad (9)$$

目的小ゾーン $Y_n$ は目的別・大字町丁目別にODを集計し、もっとも多く移動されている移動先小ゾーンを用いる。

#### 4.2 収益性の評価

オンデマンド交通の収支率(運行費用に対する運賃収入の割合)を用いて収益性の評価を行う。

#### 4.3 交通サービス水準の評価

利用者に十分なサービスを提供できる車両運行計画となっているのかを確認する。車両充足度は、利用者の見定める時間帯に運行をしているのか、利用者が見込めないにもかかわらず車両を供給し過ぎているかどうかを判断するパラメータであり、1台1時間の利用者数1.0を基準とする<sup>3)</sup>。予約成立率は、予約がどの程度受け付けられるかを示す指標で、80%を基準とする。

運行効率は、オンデマンド交通が利用者を乗せて移動した距離と、各利用者が乗合をせずに目的地へ移動した場合の移動距離で比率であり、これが1よりどの程度小さいかで、オンデマンド交通運行の効率性の評価を行う。

### 5 提案手法の実自治体への適用と評価

#### 5.1 千葉県成田市への本モデルの適用と評価

成田市では高齢者の通院や買物などへの外出機会を増やすための交通手段として平成23年12月からオンデマ

ンド交通が運行している。運行時間帯は 8 時から 17 時、運行エリアは成田市北部の中郷・久住・豊住・下総の 4 エリアである。乗車料金は 1 回 300 円、利用予約は乗車希望時刻 30 分前まで、運行台数は 3 台である。

ここでは、運行実績のうち車両充足度に関して Table.1 に示す。2012 年 9 月時点での予約実績が 20.88 名/日であったのに対して利用者数が 28.0 名/日とやや過大推計であった。7 時・8 時台と 16 時台利用人数が 1 を割っており、現状では車両台数が過大であることが示唆される。

Table.1 Service rate in Narita City

	Sep. 2012 Real data	Estimation data
7	0.27	0.27
8	0.61	0.77
9	0.83	1.13
10	1.12	1.57
11	0.63	1.27
12	0.67	0.77
13	1.12	0.83
14	0.73	1.23
15	0.49	1.33
16	0.49	0.70

5.2 オンデマンド交通導入自治体への適用結果の評価

Fig. 10 に予測した利用者値を基準とした時の各自治体のオンデマンド交通利用者を示す。鳩山町および成田市は 10%から 20%の過大推計、阿見町はピーク時点で予測値より 10%の過大推計、佐倉市は約 110%の過大推計となった。時間帯別の発生量では午前中を過小推計、午後を過大推計する傾向にあるものの、佐倉市に関しては現状 3 台で運行しているが、1 台で予約を十分に受け付けることが可能であるなど、運行計画における車両台数・運行時間の適切性に関する評価において実証実験後のログデータを用いた場合とほぼ同等の結果を得ることができた。

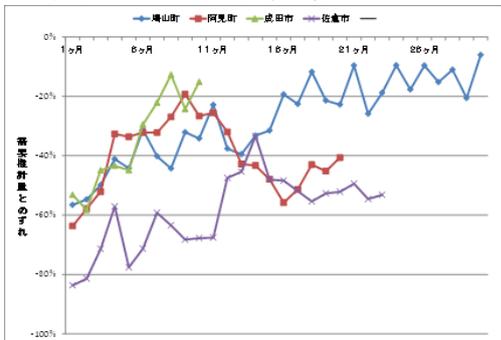


Fig. 10 Achievement rate to desired value

6 考察

本項では、運行結果がモデルと大きく乖離した阿見町と、佐倉市の 2 自治体に関してサービスレベル、地域特性による分析を加え、その原因を特定する。

6.1 オペレーション変化による利用者の増減

阿見町は導入 9 ヶ月目まで増加傾向にあったものの、導入 13 ヶ月後から利用者が急減し、その後回復していない。その時期に関して調査を行ったところ、導入 13 ヶ月目(平成 24 年 2 月)に車両事故を起こしており、車両台数を 2 台から 1 台に削減して運行している。結果、予約成立率が急減、翌月から事故車両が復帰したものの、利用人数の回復には至っていない。このような、予約が取れないことによる利用者離れは、適切なモビリティマネジメントによって利用促進を図ることで対処できる可能性がある。このような一時的な変化は本モデルでは再現できない。

6.2 統計ではあらわれない属性による利用者増減

佐倉市がオンデマンド交通導入対象地域に対して行ったアンケート結果から世帯人員に関する集計結果を Fig. 1 に示す<sup>4)</sup>。世帯人員 4 名以上の世帯が半数を超え、平均世帯人員は 4.0 人と、国勢調査から算出した世帯人数 2.68 よりも大きい。つまり、本地域は高齢化が進む地域ではあるが、現在デマンド交通の登録を行なっている高齢者の多くは通院や買物移動において必要に応じて家族による送迎が期待できるため、オンデマンド交通を利用する動機が薄いととも、利用登録が独居の老人などに適切になされていない可能性が示唆される。このような世帯構成に関するデータは現状オンデマンド交通利用者情報や統計情報から取得できないため、本モデルでは再現できない。

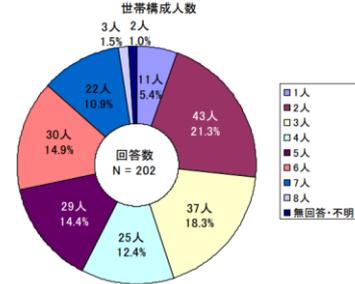


Fig. 11 Household composition

7 結論

本研究では、オンデマンド交通の導入計画策定の支援のために、パーソトリップ調査データ及び GIS データを用いて運行計画の評価法を提案した。アンケート等で行われてきたオンデマンド交通の導入計画を評価するため、各自治体の地域住民の生活・交通行動を再現する活動一目的地一交通手段の 3 段階からなる交通行動モデルを構築し、本モデルを用いた地域のオンデマンド交通の導入需要予測とその結果に基づいた導入計画の評価法を運行エリア・収益性・交通サービス水準の観点から提案した。

現在オンデマンド交通が導入されている鳩山町・成田市・阿見町・佐倉市に対して本モデルを適用し、運行時間や車両台数の評価に関して長期の実証実験と同等の運行計画の評価が行えることを示した。

本モデルの適用結果と実運行データとの乖離要因をサービスレベル・地域特性の 2 点から分析し、オンデマンド交通が選択される要因としてサービスレベルの低下による利用者離れや統計データからは得られない地域固有特性など、需要予測モデル外の要因を推定した。

文献

- 1) 吉田朗, 原田昇. 選択肢集合の確率的形成を考慮した集計型目的地選択モデルの研究, 土木学会論文集 (618), pp. 1-13, 1999
- 2) 金森亮, 森川高行, 山本俊行, 三輪富生. 総合交通戦略策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発, pp. 503-518, 土木学会論文集 D, 2009
- 3) 柳澤龍. 地域特性を考慮したオンデマンドバスの運行実績の評価, 東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻修士論文, 2012
- 4) 佐倉市地域公共交通会議. 第 8 回佐倉市地域公共交通活性化協議会資料