

令和 3 年 5 月 7 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04393

研究課題名（和文）自動運転技術とシェアリングが融合した新たなモビリティサービスに関する基礎研究

研究課題名（英文）A Study on the New Mobility Service combined Autonomous-driving and Car-sharing

研究代表者

溝上 章志（MIZOKAMI, SHOSHI）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・教授

研究者番号：20135403

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：欧州を中心に導入が進んでいるMaaSでは、鉄道やバスといった代表交通手段とカーシェアやバイクシェアなどのシェアモビリティから成るモーダルミックスに対する選好意識を分析し、事前に需要を予測し、整備効果を評価することが求められる。本研究では、1)公共交通利用の端末部分にシェアモビリティを導入した場合の選好意識調査を実施し、2)公共交通利用部分の類似性を考慮した手段選択モデルの構築を行い、3)このモデルを第4回熊本都市圏PT調査データに適用することにより、シェアモビリティによるモーダルコネクが公共交通の利用需要に及ぼす影響について評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MaaSを運用するためには、鉄道駅へのフィーダー部分に利便性の高い端末手段を準備しておく必要がある。カーシェアなどのシェアモビリティはその有用な候補であり、これらに対する需要予測と導入効果の評価を行う方法が求められている。

本研究では、1)意識調査により、フィーダー部分にシェアモビリティを導入した新たな経路に対して、被験者の約4割が利用意向を示すことが明らかになった。また、2)経路の一部が重複するため、経路選択モデルにはクロスネステッドモデルが有効であり、3)これを熊本都市圏に適用した結果、自動車利用者の約2%が転換すること、転換は公共交通の利便性の低い地域で起こることなどを示した。

研究成果の概要（英文）：When introducing MaaS (Mobility as a Service), it is required to enhance not only the conventional representative transport modes such as railroads and buses but also feeder transport services by shared mobility such as car sharing and bike sharing. However, there are not many studies on methods for forecasting demand and evaluating the effects of such mixed modes service.

In this study, 1) we conducted a preference survey when several types of share mobility was introduced in the access and egress part of representative transport modes. Next, Next, 2) a route choice model is formulated by the cross nested model, considering that a part of the routes are composed of the same representative transport mode. Furthermore, 3) by applying this model to the Kumamoto metropolitan area and confirmed the effect of the development of feeder services by shared mobility on the demand for public transportation.

研究分野：交通計画

キーワード：シェアリングサービス MaaS モーダルコネクト クロスネステッドモデル

## 1. 研究開始当初の背景

欧州を中心に新たなモビリティサービスとして導入が進んでいる MaaS (Mobility as a Service) は、あらゆる交通手段を統合し、その最適化を図った上で、マイカーと同等か、それ以上に快適な移動サービスを提供しようという新たな概念である。MaaS では、個人の出発地から目的地までの Door-to-Door の移動をサポートし、複数の移動選択肢を提示する。これらの選択肢の経路案内、情報提供、予約、決済が同一プラットフォーム上で行われることから、MaaS の利用によりシームレスでストレスフリーな移動が可能になる。今後、我が国でも MaaS 導入に向けたプラットフォームの開発が求められている。

しかし、それだけでは自動車依存度の高い我が国の公共交通の利用率が向上するとは考えにくい。MaaS の供給サイドはこれまでの交通事業者と新たな交通事業者、および MaaS プラットフォーム事業者で構成される。中でも以下の理由より新たな交通事業者が重要である。公共交通の利用が少ない最大の原因の一つとしてファースト・ラストワンマイル問題が挙げられる。そのため、MaaS を実現する上で既存の交通手段を組み合わせるだけでなく、アクセス・イグレス区間を補完する新たな交通手段の導入が求められる。欧州で MaaS を成功させているサービスに共通する特徴として、カーシェアリング（以後、CS と記す）やバイクシェアリング（以後、BS と記す）のようなアクセス・イグレス区間を補完する交通手段がサービスに含まれており、我が国でも MaaS 導入を本格的に進める前提として、シェアモビリティの整備が求められる。

## 2. 研究の目的

国内外を問わず、CS や BS は市民に浸透しつつあるため、それらのサービスに対する選好意識の分析や需要予測の方法、普及過程や導入効果についての研究が盛んに行われている。しかし、鉄道やバスといった代表交通手段との連携、および相乗効果を分析するような研究はほとんどみられない。一方で、MaaS の実証フィールド調査や効果分析に関する研究は増加しているものの、公共交通とシェアモビリティから成るモーダルミックスに対する選好意識を分析し、その需要を予測・評価するような方法について検討を行った研究は少ない。

本研究では、1)自動車の代替交通手段としての公共交通利用の端末部分にシェアモビリティを導入した場合の選好意識調査の実施、2)公共交通利用部分の類似性を考慮した手段選択モデルの構築を行う。さらに、3)このモデルを第4回熊本都市圏 PT 調査データに適用することにより、シェアモビリティによるモーダルコネク트가公共交通の利用需要に及ぼす影響について予測することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) シェアモビリティによるモーダルコネク트가に対する選好意識調査の実施

公共交通を利用する経路の一部であるアクセス・イグレス部分にシェアモビリティを導入することを想定した経路の利用意向を尋ねる SP (Stated Preference) 調査では、シェアモビリティと代表交通手段である公共交通とを組み合わせたミックスモード代替移動手段を提示する必要がある。そこで、独自に開発したシェアモビリティについての解説リーフレットを提示しながら、シェアモビリティを含む経路の利用意向に対する選好意識調査を行った。調査対象地は現状公共交通サービス利用が不便であり、トリップの多くがマイカー利用であるが、モーダルコネク트가実現することで、公共交通サービスの利便性が向上する見込みがありそうな豊肥本線肥後大津駅まで約 3km の大津町美咲野、光の森駅まで約 2km の菊陽町杉並台などの住宅地である。調査方法は世帯訪問・留置調査とした。

まず、常用手段と代替手段に関するデータ (RP データ) を収集するため、1 世帯につき 3 人分の調査票を配布し、回収した。171 世帯に調査票を配布し、115 世帯から回収を得た。その後、個人ごとにオーダーメイドでプロフィールを作成し、2 回目の訪問調査を行った。しかし、不在やお断りにより、配布は 85 世帯にとどまったが、回答まで協力してくれた世帯は 78 世帯であり、回収率は 9 割を超えた。取得できた有効トリップ数は RP データが 244、SP データでは 193 であった。

### (2) 移動手段選択モデルの構築

図-1 のケースで 4 つの移動手段の選択問題を説明する。これを図-2 の経路図に置き換えたとき、常用手段は OD 間全てでマイカーを利用するが、代替手段と 2 つの代替改善案では代表交通手段にバスを、代替改善案の 1 と 2 ではイグレス交通手段に BS を利用するため、黄色で示した部分で交通手段が重複する。そのため、代替改善案の端末部分はシェアモビリティで構成されて

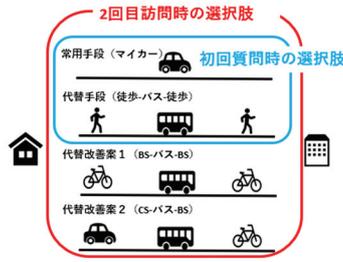


図-1 移動方法の例

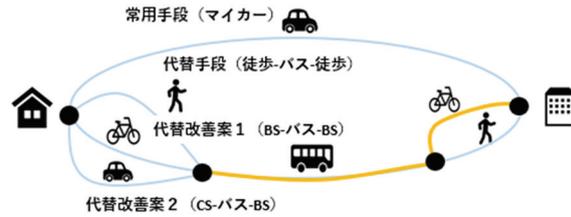


図-2 図-1 の経路の模式図

いるものの、主要部分は公共交通であることから、マイカーや公共交通との選択肢類似性を否定できない。

このような移動手段選択問題に対して Multinomial Logit (MNL) モデルを適用すると、IIA (Independence from Irrelevant Alternatives) 特性のために、類似した選択肢の選択確率を過大評価する。これに対して、IIA 特性を緩和するアプローチである Nested Logit (NL) モデルを適用する場合、シェアモビリティを含んだ移動手段は公共交通を含んだ移動手段の部分集合になることが多いが、シェアモビリティをマイカー代わりとして利用する場合もあるため、はじめからマイカーと独立した選択肢ツリーと仮定するのは適切でない。そこで、移動手段選択モデル構築の前段階として、シェアモビリティがマイカーと公共交通のどちらかと相関が大きいかを同定するシェアモビリティの分布比率決定モデルを推定する。分布比率決定モデルには、IIA 特性の制約を緩和することが可能であり、選択肢の類似性や選択肢ツリーの構想定に対する問題を解決するために、複数のネストに1つの選択肢が属することを許す Cross Nested Logit (CNL) モデルを採用した。

CNL モデルの選択確率式は

$$p(i) = \sum_m p(m)p(i|m) = \sum_m \frac{[\sum_{k \in C} (\alpha_{km} e^{V_k})^{1/\lambda}]^\lambda}{\sum_{m'} [\sum_{k \in C} (\alpha_{km'} e^{V_k})^{1/\lambda}]^\lambda} \cdot \frac{(\alpha_{im} e^{V_i})^{1/\lambda}}{\sum_{j \in C} (\alpha_{jm} e^{V_j})^{1/\lambda}} \quad (1)$$

である。 $\alpha_{jm}$ は選択肢分布特性パラメータとよばれ、 $0.0 \leq \alpha_{jm} \leq 1.0$ かつ $\sum_m \alpha_{jm} = 1.0$ であり、ネスト $m$ ごとの選択肢 $j$ の分布比率を特定化する。この $\alpha_{jm}$ により、選択肢 $j$ が1つ以上のネストに含まれることを可能にし、複数のネストに含まれる場合、各ネストへ含まれる比率を推定可能になる。一方、 $\lambda$ は類似性パラメータであり、 $0.0 \leq \lambda \leq 1.0$ ならばその選択ツリー構造の仮定は正しく、 $\lambda = 1$ のとき MNL モデルと一致する。また、手段 $i$ が単一のネスト $m$ だけに配置されている場合には NL モデルと一致する。

図-3 に分布比率決定モデルのツリー構造を示す。 $\alpha_{My car, Auto}$ と $\alpha_{Mass transit, Transit}$ を1.0、 $\alpha_{My car, Transit}$ と $\alpha_{Mass transit, Auto}$ を0.0と仮定した。これはマイカーと公共交通は相互に独立と仮定することであり、ツリー構造からも無理のない仮定であることがわかる。効用関数のパラメータと類似性パラメータ $\lambda$ とともに、シェアモビリティの Auto と Transit に対する選択肢分布特性パラメータ $\alpha_{Share mobility, Auto}$ と $\alpha_{Share mobility, Transit}$ を同時推定することで、シェアモビリティによるモーダルコネクタがマイカーと公共交通のどちらかに位置づけられるか判断する事が本モデルの推定目的である。推定結果は、代表手段での移動時間を除いた説明変数の符号条件で理論的な結果となった。また、類似性パラメータ $\lambda$ は0.64とツリー構造の仮定は妥当である。選択肢分布特性パラメータは $\alpha_{Share mobility, Auto} = 0.23$ 、 $\alpha_{Share mobility, Transit} = 0.77$ となり、シェアモビリティは公共交通に高い比率で分布する交通手段であることが示された。

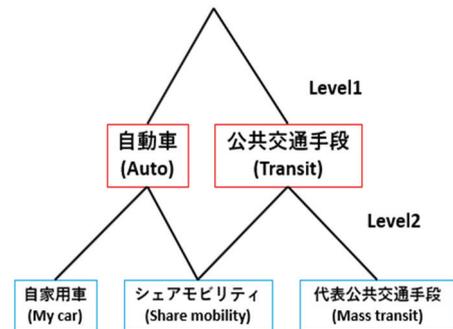


図-3 分布比率決定モデルのツリー構造図

#### 4. 研究成果

##### (1) 移動手段選択モデルの推定

常用手段、代替手段、2つの代替改善案に対する選好順位付けのうち、順位が1位であった移動手段を選択するものと見なし、移動手段選択モデルを推定する。選択肢間には相関が生まれるため、MNL モデルをはじめ、NL モデル、CNL モデルといった IIA 特性を緩和するモデルで推定を行う。

NLモデルの選択枝ツリー構造を図-4に示す。代替改善案1と2は公共交通機関とシェアモビリティの部分で選択枝間に類似性があると仮定して下位ツリーでネスト化した。CNLモデルの選択枝ツリー構造は図-5に示すように移動手段選択モデルの場合には、他モデルのツリー構造と異なり、上位レベルに各区間の交通手段がネスティングされ下位レベルで各移動手段の選択が行われるようになっていいる。そのため、選択確率は式(1)の通りであるが、選択枝分布パラメータ $\alpha_{jm}$ は無数に存在し、推定するのは容易ではない。そこで、多くの研究で使われているように、本来のCNLモデルの簡易型として $\alpha_{jm}$ を以下のように与える方法を用いた。

$$\alpha_{jm} = \left(\frac{T_m}{T_j}\right) \delta_{jm} \quad (\sum_m \alpha_{jm} = 1, \forall j) \quad (2)$$

ここで、 $T_j$ は選択枝 $j$ の総所要時間、 $T_m$ はある区間の交通手段 $m$ で移動する時間であり、 $\delta_{jm}$ は選択枝 $j$ と交通手段 $m$ の包含を示し、0と1で表現される。

RPデータとSPデータを組み合わせて推定したMNL, NL, CNLモデルの推定結果を表-1に示す。各モデルの中には説明変数の $t$ 値がやや低いものも見られるが、パラメータの符号条件はすべて理論的である。料金が低く、各区間の所要時間が短いほど、また、移動手段にマイカー、シェアモビリティが含まれていると選択枝の効用が高くなるモデルとなっている。端末部の交通に注目すると、アクセス時間よりもイグレス時間が短いほど効用が高まる。また、統計的信頼性も高い。尤度比はどのモデルでも0.24~0.27の値をとっており、モデル全体の適合性は高く、モデルによって大きな差はない。

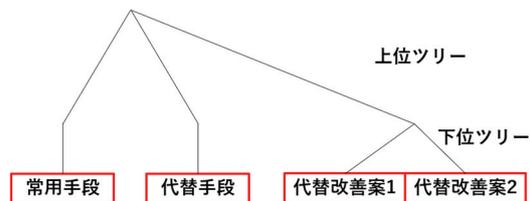


図-4 NLモデルのツリー構造図

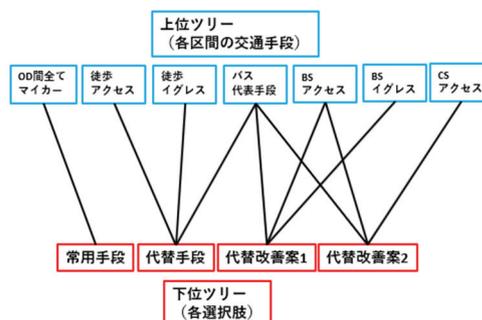


図-5 CNLモデルのツリー構造図

(2) 熊本都市圏におけるモーダルコネクトによる公共交通への転換需要の試算

熊本都市圏PT調査エリアにおいて、実際に代表利用手段として公共交通を利用しているトリップのアクセス・イグレス区間にシェアモビリティが導入されてモーダルコネクトが実現した場合、常用手段であるマイカーから代替改善案1, 2への転換需要の試算を行った。

代替改善案を作成可能な496,863トリップにCNLモデルを適用したところ、10,094トリップが公共交通へ転換すると試算された。これは全体の2.03%しかないものの、シェアモビリティによるモーダルコネクトが公共交通への転換を可能にすることが明らかとなった。また、選択された代替改善案1, 2の内訳はそれぞれ5,019と5,075であり、アクセス、イグレス区間をBS, CSのどちらで置き換えても両者に大きな差は見られないという知見も得られた。

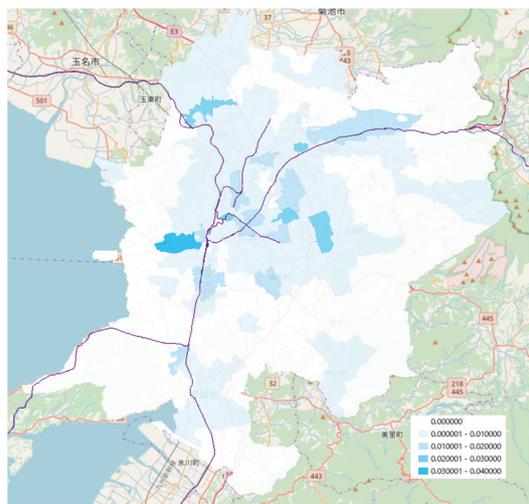


図-6 公共交通選択トリップの発生比率

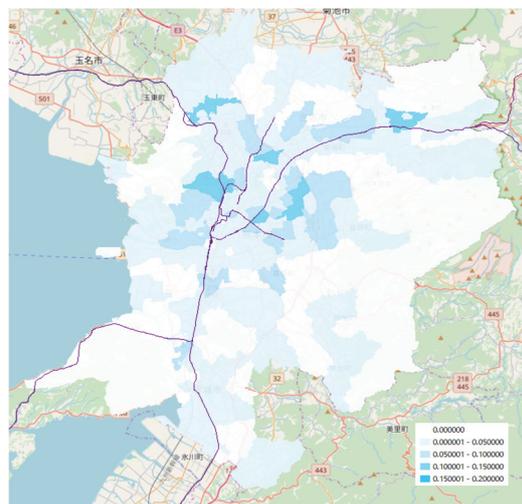


図-7 公共交通選択トリップの集中比率

図-6, 図-7 に代替改善案への総選択トリップに対する C ゾーン別選択トリップの発生・集中トリップ比率を示す。発生比率は、熊本市中心部やその北に位置する合志市や菊陽町、大津町など JR 豊肥本線や熊本電鉄沿線のゾーンで高い。中心部への代表交通手段が鉄道であり、そこへのアクセス利便性をシェアモビリティによって改善することで、公共交通への転換が生じることが考えられる。集中比率は熊本市中心部だけでなく、多くのゾーンで高くなっている。

### (3)まとめ

本研究から得られた成果を下記に箇条書きにする。

- 1) 公共交通の利便性が低い地域を対象に、常用手段と代替手段の実態把握調査を実施、また、代替手段をシェアモビリティで改善することによる公共交通の利用意向調査を行うことで、約4割が改善案の利用意向があることが明らかとなった。複数の交通モードを組み合わせた移動手段の利用意向調査の方法を提案した。
- 2) SP 調査データを元に、移動手段選択モデルを推定した。CNL モデルを推定することにより、代表手段部分の類似性を考慮し、選択肢の独立性を示した。選択には、アクセス時間に比べてイグレス時間が影響するモデルとなった。
- 3) 移動手段選択モデルを PT 調査に適用させることで公共交通への転換トリップの試算を行った。自動車利用者の約2%が転換する可能性があること、転換は公共交通の利便性の低い地域でも起こることなど、シェアモビリティによるモーダルコネクトの効果を示した。

### <参考文献>

- 1) 桑原昌広, 吉岡 顕, 本間由紀子, 宇野伸宏, 中村俊之, Jan-Drik Schmocker : トリップチェーン内におけるワンウェイ型カーシェアリングのトリップ判別モデル化と利用実態分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No. 5, pp. I\_1187-I\_1195, 2018.
- 2) 桑原昌広, 吉岡 顕, 松本浩和, 早田敏也 : 公共交通連携向けワンウェイ型カーシェアリングのステーション候補探索手法提案・検証, 交通工学研究会論文集 (CD-ROM), Vol. 39, pp. 513-519, 2019.
- 3) 西垣友貴, Jan-Drik Schmocker, 中村俊之, 宇野伸宏, 桑原昌広, 吉岡 顕 : アクセシビリティ指標を用いたワンウェイ型カーシェアリングシステムの評価, 第 56 回土木計画学研究発表会・講演集, 2017.
- 4) 兵藤哲朗, 室町泰徳 : 個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー, 土木計画学研究・論文集, Vol. 18, No. 3, pp. 517-522, 2001.
- 5) 原 祐輔, 赤松 隆 : Network GEV 型経路選択モデルを用いた確率的利用者均衡配分, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 5, pp. I\_611-I\_620, 2014.
- 6) Ma, J. and Fukuda, D.: A hyperpath-based network generalized extreme-value model for route choice under uncertain-ties, Transportation Research Part C, Vol. 59, pp. 19-31, 2015.
- 7) 溝上章志 : P&R 需要予測への GEV 型手段選択モデルの適用可能性, 都市計画論文集, No. 038-1, pp. 40-45, 2003.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上野優太, 八戸龍馬, 溝上章志	4. 巻 76, 3
2. 論文標題 シェアモビリティによるモーダルコネク트가公共交通の選好に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3	6. 最初と最後の頁 869-878
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 古澤悠吾, 溝上章志, 森 俊勝, 八戸龍馬	4. 巻 76, 3
2. 論文標題 完全自動運転カーシェアサービスの導入可能性に関するシミュレーション分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3	6. 最初と最後の頁 168-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山本真生, 溝上章志, 上野優太	4. 巻 76, 1
2. 論文標題 利便性と収益性から見た我が国でのカーシェアリングサービスのフィージビリティ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 18-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 溝上章志・森 俊勝	4. 巻 53(4)
2. 論文標題 AutoLib' 事業から見た我が国へのワンウェイ型カーシェアリングサービスの導入可能性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 交通工学	6. 最初と最後の頁 54-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 溝上章志・森 俊勝	4. 巻 53(5)
2. 論文標題 Autolib' 事業の契約解除とカーシェアリングサービスの行方	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 交通工学	6. 最初と最後の頁 43-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 上野優太・溝上章志・八戸龍馬
2. 発表標題 完全自動運転カーシェアサービスに対する利用意向の調査分析
3. 学会等名 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八戸龍馬, 溝上章志, 古賀逸人
2. 発表標題 完全自動運転シェアカーサービスが車両の移動と駐車時間に与える影響分析
3. 学会等名 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上野優太, 溝上章志
2. 発表標題 シェアモビリティによるモーダルコネク트가公共交通の選好に与える影響
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀逸人, 溝上章志
2. 発表標題 自動運転カーシェア普及前後の駐車場の最適容量に関する分析
3. 学会等名 土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古賀逸人, 八戸龍馬, 溝上章志
2. 発表標題 完全自動運転シェアカーサービスが車両の移動と駐車時間に与える影響分析
3. 学会等名 第17回ITSシンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古澤悠吾・溝上章志・森 利勝
2. 発表標題 運転カーシェアサービスの導入可能性に関するシミュレーション分析
3. 学会等名 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝上章志
2. 発表標題 自動運転技術とシェアリングを融合した新たなモビリティサービスのマネジメント
3. 学会等名 日本モビリティ・マネジメント会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 溝上章志・古澤悠吾・八戸龍馬
2. 発表標題 自動運転とシェアリングが融合した新たなモビリティとその社会
3. 学会等名 ITSシンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	圓山 琢也  (MARUYAMA TAKUYA)  (20361529)	熊本大学・くまもと水循環・減災研究教育センター・准教授   (17401)	
研究分担者	藤見 俊夫  (FUJIMI TOSHIO)  (40423024)	熊本大学・くまもと水循環・減災研究教育センター・准教授   (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------