

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02276

研究課題名（和文）中山間地域における移動サービスの統合に向けた計画方法論

研究課題名（英文）Planning Methodology for Integration of the Mobility Services in Rural Areas

研究代表者

谷本 圭志（Tanimoto, Keishi）

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：20304199

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：中山間地域における公共交通サービスの持続可能性を高めるためには、旅客運送サービスに様々なサービスを統合したビジネスモデルの確立が一つの有効な戦略である。そこで本研究では、そのビジネスモデルの概念や意義を整理するとともにその事例を概略的に把握し、その類型を整理した。また、統合した場合の実行可能性、効果を定量的に明らかにするための手法を開発した。具体的には、小規模な需要に対応しうるタクシーの供給能力、タクシーを活用した統合的なサービスの持続可能性、効果を評価するための数理計画モデルを混合整数計画法に基づいて開発した上で、実際の地域のデータを用いてこれらを実証的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持続可能性の維持には旅客運送サービスと様々なサービスとの統合が必要であることを理論的ならびに実例から整理することができた。統合はタクシーが最も実現性があるが、その供給能力を定量的に明らかにすることが可能になった。また、貨客混載を対象とした統合については、その持続可能性を評価できるようになるとともに、その改善に影響を及ぼす条件についても特定することができた。加えて、貨客混載以外の一般的な場面については、ある特定の時間帯に何人の運転手が兼業に従事するとどれほどの損失が本業に生じるかを明らかにする数理計画モデルを開発することができた。以上により、統合に関する意思決定を支援する手法を確立できた。

研究成果の概要（英文）：In order to improve the sustainability of public transportation services in rural areas, establishment of a business model that integrates various services with passenger transportation services is an effective strategy. Therefore, in this study, we organized the concept and significance of the business model, roughly grasped the cases, and arranged the types. We also developed a method to quantitatively clarify the feasibility and effect of integration. Specifically, a mathematical planning model was developed based on mixed integer programming to evaluate the supply capacity of taxis that can meet small-scale demand, the sustainability of integrated services that utilize taxis, and the effectiveness of these services. In addition, we clarified the sustainability empirically using the actual regional data.

研究分野：土木計画学

キーワード：モビリティ 生活交通 中山間地域

1. 研究開始当初の背景

MaaS (Mobility as a Service)の概念の登場により、公共交通のビジネスモデルが大きく変わろうとしている。実際、フィンランドの Whim のように、ICT を活用して様々な旅客輸送サービスを統合し、顧客の利便性を向上する営みに多くの関心が集まっている。この統合は、旅客を輸送するという意味で同質のサービスの統合であることから「水平的な統合」と言うことができる。交通や情報分野では技術面、運用面、社会的な影響評価など、水平的な統合をイメージして様々な学術研究が進んでおり、社会実装を試みる地域も国内外で増えている。

一方、中山間地域では、担い手の不足に応じた持続可能な公共交通の確立が課題であるが、利便性の向上を目指す水平的な統合だけでこれを解決するのは困難である。むしろ、求められる統合は、経営不振や人手不足に伴って消えそうな様々なサービスの移動部門を公共交通の運営組織に統合しつつ、旅客運送サービスのみならず様々なサービスの生産性を向上することで持続可能性を維持するという「垂直的な統合」であり、実際にその試みが進んでいる地域もある。

一方で、その試みに踏み出せない地域も多い。そのような地域では「統合をすべきか?」「統合後に現在の供給力で対応可能か?」「持続可能性は向上するのか?」という不安の声があり、統合に躊躇するケースが少なくない。このような事象が生じる理由の一つには、統合を支援するための研究の蓄積がないことがあげられる。

2. 研究の目的

垂直的な統合(以下、「統合」と略す)に基づいて公共交通サービスを再構築する場合、これまでに想定していた前提とは異なる前提に準拠した計画方法論を必要とする。すなわち、統合を前提とする場合、車両や人員などをそれらのサービスに柔軟に配置していくとの発想が必要である。また、それを実現するには乗合を前提とした大型車両ではなく、タクシーや共助交通のような小規模な車両や個別的な輸送を前提とした運送が現実的である。加えて、統合によって生産性や持続可能性がどれほど改善するかの評価も必要である。本研究では、これらの新たな前提に基づいた計画方法論の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) タクシーの供給能力の評価手法の開発

サービスの統合には小規模な車両や個別的な輸送を前提とした運送が現実的であるとの認識のもと、タクシー事業において運転手一人当たりどれほどの輸送距離(以下、これを「供給能力」と言う)を供給することが可能かを定量的に把握するための数理計画モデルを構築する。さらに、タクシー事業では運転手の都合にあわせて顧客による予約の時刻と配車時刻を調整することが行われるため、調整時間と供給能力の関係を特定しうよう定式化する。その上で、実際の地域を対象とした実証分析を行い、供給能力を実際に評価することを試みる。

(2) 統合した場合の車両の運行の再現手法の開発

タクシー事業者が旅客の運送とそれ以外のサービスを実施する場面に着目し、これらを統合してサービス供給する場合に車両がどのような運行となるのかを再現する数理計画モデルを構築する。また、このモデルを用いて、利益がどれほど改善するか、ならびに、所与の人手(運転手)で供給が可能かを判断する。具体的な統合の例として貨客混載を取り上げ、それを想定したモデルを構築した上で、ある地域のタクシーの運行履歴データを用いて、このモデルの有効性を検証する。

(3) 統合による持続可能性の評価

現在において貨客混載という形でサービスの統合を実装している事例を取り上げ、そのデータを収集するとともに、上記で開発した数理計画モデルを用いて、統合による持続可能性の評価を試みる。あわせて、どのエリアを対象として統合することが有効かを検討するとともに、その効果の大きさがどのような条件に影響を受けるかについても統計的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) タクシーの供給能力の評価手法の開発

数理計画モデルを用いて、個々の事業者を対象に供給能力を評価する。具体的には、このモデルにより運転手が不足するか否かの境界となる走行距離を特定することができる。この走行距離は事業者が供給できる走行距離、すなわち供給能力である。

運転手の多い事業所（A社）とそうでない事業所（B～F社）に区別して検討する。顧客が予約時に求める乗車時刻と実際の配車時刻の乖離の上限を予約の調整可能時間と呼び、それが0, 30, 60分の3ケースを設定し、それぞれのもとでの供給能力を求める。

A社に関する結果（調整可能時間が0分の場合）を図-1に示す。図の解釈は以下の通りである。例えば、図-1において一日当たりの乗客数が38人の日に着目する。この日に関して、運転手の数を10人であるとしてモデルを計算すると運転手一人当たりの走行距離は85(km/日)ほどである。これを図では「10人」の文字が付された黒いプロットで表している。運転手の数が9, 8, 7人の場合についても同様である。しかし、運転手の数が6人の場合は、運転手が不足する。これを赤いプロットで表している。よって、運転手が6人と7人の間に、供給能力に相当する走行距離が存在するため、この日の供給能力は125～155(km/日)である。

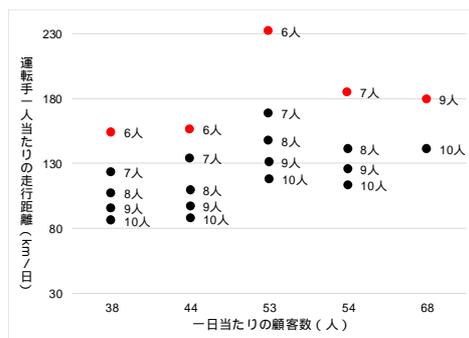


図-1 運転手一人当たりの走行距離（A社，調整可能時間：0分）

表-1 供給能力（単位：km/日）

事業者	調整可能時間		
	0分	30分	60分
A社	155～170	240～260	240～320
B～F社	115～150	145～180	245

以上の考え方に基づいて供給能力を導出した結果が表-1である。なお、実際のタクシー事業においても多少の予約の調整は既に行われていることから、調整可能時間が0分の供給能力は実際の供給能力の安全側の数値である。このため、調整可能時間が0～30分の間にある供給能力が実際の数値に近いと考えられる。

(2) 統合した場合の車両の運行の再現手法の開発

以下の前提に基づいて、混合整数計画モデルを構築する。

- 1) 運転手は、車庫がある拠点（以下、「営業所」という）で仕事を開始し、営業所にもどって仕事を終える。
- 2) 運転手は、営業所において所定の時間帯の中で所定の時間の休憩をとる。
- 3) 運転手は、所定の勤務時間以内で仕事を終える。
- 4) 乗客や貨物の運送を終えた時点で、その次の運送が決まっていなかった場合、運転手は営業所に戻って待機する。
- 5) 物流会社は運転手の仕事が始まる前と休憩を終える前に貨物を営業所に持ちこむ。
- 6) 運転手は、所定の時間帯の中で貨物を配送する。配送した貨物は必ず受け取ってもらえる。
- 7) 乗客の運送は乗客が希望する時刻通りに運送する。希望とは異なる時刻に変更することはない。このため、貨物は乗客の運送を合間に配送される。
- 8) 乗客の乗り合いはない。
- 9) 乗客を運送している最中に貨物を同時に運送することはあるが、届け先に貨物を受け渡すことはない。
- 10) 乗客による配車の予約は、即時の配車の要求とする。つまり、乗客が配車を希望する時刻より乗客の出発場所から営業所までの所要時間だけ前の時刻に予約する。実際には乗客による配車の予約は様々なタイミングで入るが、ここでは、運転手にとって事前に配送の計画を立てることができないという意味で最も制約が厳しいタイミングで予約が入るものとし、貨客混載の実行可能性を安全側から評価する。
- 11) 運転手は、乗客と貨物の運送を断らない。

- 12) 同一の集落に複数の貨物を配送する場合は、それらをまとめて運送する。
- 13) 車両における貨物の収容能力は考慮しない。これは、i) タクシーの車両は小型であるため、タクシーでの貨客混載はそもそも小型の貨物のみを扱うことになる、ii) 中山間地域では貨物の数が少ないとの理由による。

20日分のデータを用いて、それぞれの日の利益を算出した。その結果を図-2に示す。乗客がいない結果は図の最も右側に位置する20の日付に示す。この図より、どの日においても貨客混載の導入によって利益が生じる。具体的には、配送量が平均で50(個/日)の場合はほぼ3,800(円/日)であるのに対して、60, 70, 80(個/日)の場合はそれぞれ4,900, 5,900, 6,400(円/日)である。

運転手が3人の場合、どの日においても運転手が不足することはなかった。しかし、何らかの理由で運転手が減った場合、必ずしもすべての乗客と貨物を運送できない場合が生じる可能性がある。そこで、運転手が1人減った場合、すなわち、運転手を2人とした場合に、すべての乗客と貨物を運送できるか日がどれほどあるかを確認した。その結果を図-3に示す。図より、多くの日には運転手が不足しないが、いくつかの日には運転手が不足することが分かる。特に、配送する貨物の量が多い場合には不足するのが多くなることが分かる。

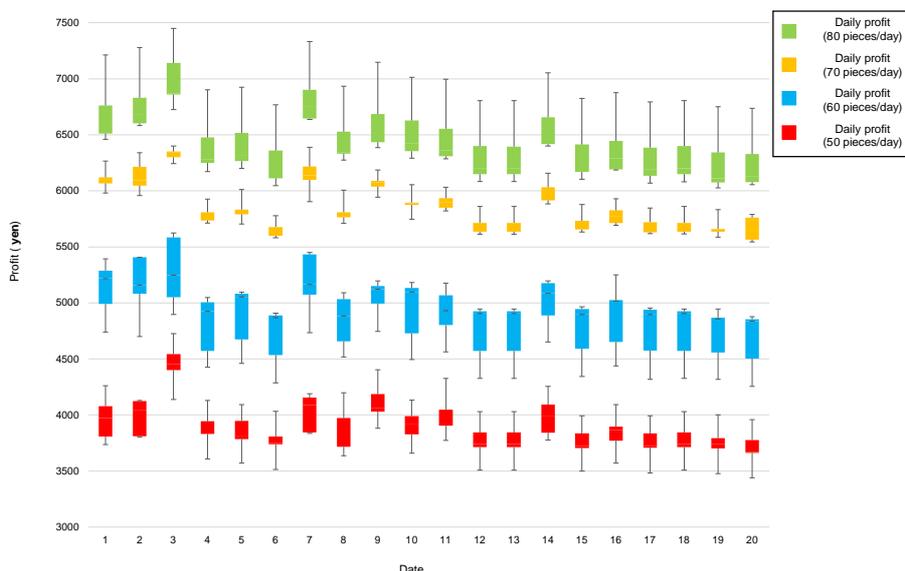


図-2 日ごとの利益

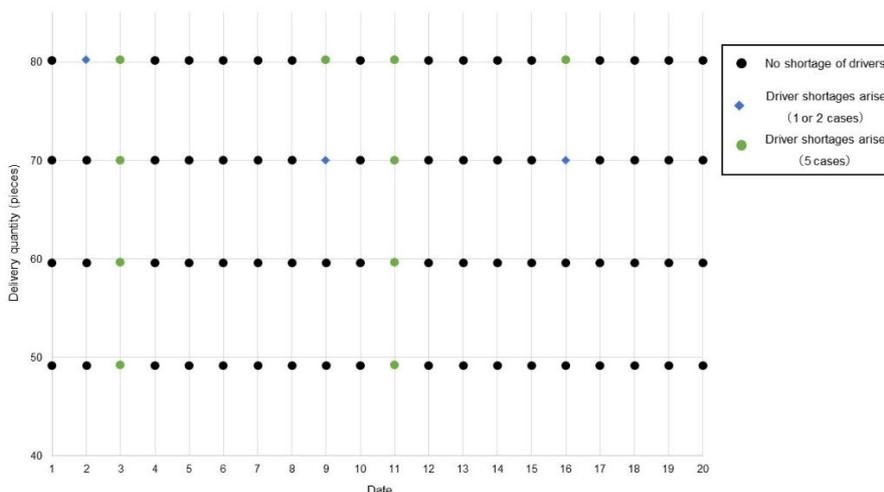


図-3 日ごとの運転手の不足(運転手:2人)

(3) 統合による持続可能性の評価

貨客混載を実装している鳥取県大山町を対象とし、タクシー事業者が貨客混載を導入することによってどのような条件で持続可能性が高まるのかを検証する。ここでは、経済的な持続可能性として利益に着目する。大山町では一部の地域を対象として貨客混載を導入している。そこで、

現在貨客混載が導入されている地域(この地域を「現エリア」と呼ぶ)のみならず貨物を配達していないエリアを現エリアに追加し、貨物量やエリアという条件を変化させた場合の利益を分析する。具体的には、図-4 に示す ~ のエリアを設定して分析する。

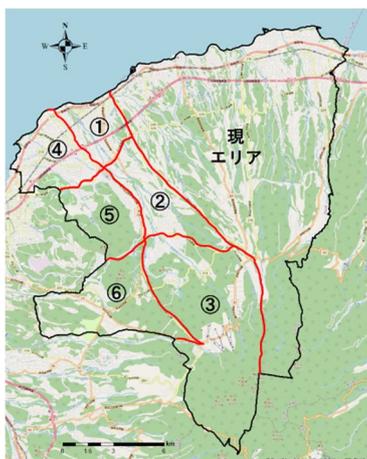


図-4 大山町のエリア区分

貨客混載の導入前と比べて利益がどれほど増えたかについて検討する。すなわち、貨客混載の導入後の利益と導入前の利益の差(以後、これを「追加的利益」と呼ぶ)に着目する。その結果を図-5 に示す。この図より、貨物量が増えると追加的利益も増えることが分かる。また、ある一定の貨物量になると、新たに運転手を雇用できるほどの追加的利益が得られることも分かる。

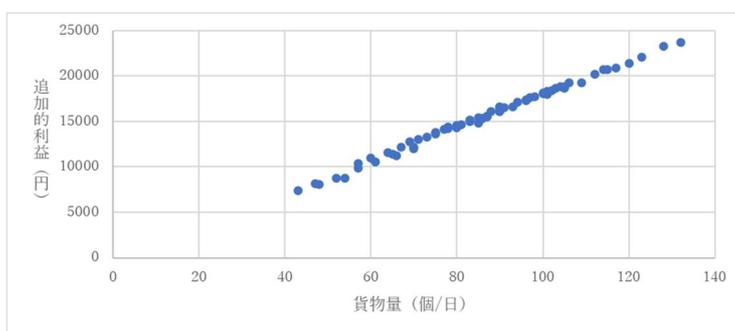


図-5 貨物量と追加的利益

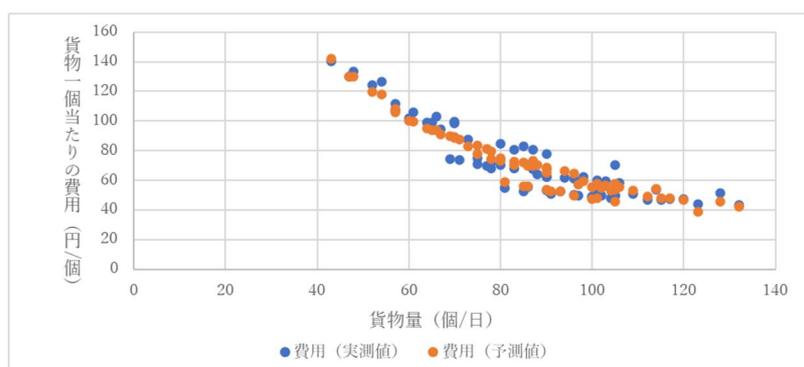


図-6 貨物量と実測値、予測値との関係の比較

利益の大きさについては、貨物量に応じて収入が増えるという要因はもちろんあるが、それに加えて規模の経済性が働くことが確認できた(図-6を参照)。すなわち、貨物量が多くなると貨物一個当たりの費用が減少する。ただし、統計的な分析により、貨物一個当たりの費用は貨物量のみならず、旅客数の多さや運送や配達先がどれほど遠方かによっても影響を受けることが明らかになるとともに、その影響を定量的に把握することができた。範囲の経済性については、遠方への運送や配達先が多い場合、旅客が少ないほど大きいとの結果であった。これは、遠方に行くついでに他の用事も済ませることができると、旅客数が多いと貨物を配達する上での時間的な制約が厳しくなることに伴って効率的に貨物を配達できなくなるためと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10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 5件）

1. 著者名 馮文浩, 谷本圭志, 丹呉允	4. 巻 77
2. 論文標題 中山間地域におけるタクシー事業の供給能力に関する分析手法の提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 280-290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.77.3_280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 桑野将司, 升谷史歩, 森山卓, 細江美欧	4. 巻 56
2. 論文標題 コミュニティ・カーシェアリング導入前後における利用者とドライバーの意識変化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 都市計画論文集	6. 最初と最後の頁 850-856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11361/journalcpj.56.850	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 馮文浩, 谷本圭志, 丹呉允	4. 巻 なし
2. 論文標題 中山間地域におけるタクシー事業の持続可能性の分析手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第62回土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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 長曾我部まどか, 桑野将司, 谷本圭志	4. 巻 76
2. 論文標題 市民組織の種類に着目した参加動機の特徴分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_101 ~ I_111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.76.5_I_101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 馮文浩, 谷本圭志	4. 巻 77
2. 論文標題 中山間地域におけるタクシー事業の供給能力と予約の調整に関する分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_745 ~ I_755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.77.5_I_745	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Feng Wenhao, Tanimoto Keishi, Chosokabe Madoka	4. 巻 101539
2. 論文標題 Feasibility analysis of freight-passenger integration using taxis in rural areas by a mixed-integer programming model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Socio-Economic Planning Sciences	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seps.2023.101539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 谷本圭志	4. 巻 66
2. 論文標題 中山間地域における公共交通ビジネスモデルの再構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第66回土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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 谷本圭志, 橋本礼記, 長曾我部まどか	4. 巻 66
2. 論文標題 タクシー事業者による兼業の実行可能性に関する評価手法の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第66回土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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 森山昌幸, 藤原章正, 谷本圭志, 加藤博和, 福井のり子, 森山日向子	4. 巻 66
2. 論文標題 持続可能な地域交通に向けた提案 Passengers MobilityからStakeholders Mobilityへ	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第66回土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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 森山昌幸, 宮下和也, 西村智明, 藤原章正, 谷本圭志	4. 巻 65
2. 論文標題 過疎地域における定額乗合タクシーの取組	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第65回土木計画学研究・講演集	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
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 無
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9件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 藤本隆志, 谷本圭志, 馮文浩
2. 発表標題 中山間地域における乗合タクシーの供給能力に関する分析
3. 学会等名 第73回土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馮文浩, 谷本圭志
2. 発表標題 予約の調整を考慮したタクシー事業の供給能力に関する分析
3. 学会等名 第73回土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本隆志, 谷本圭志, 馮文浩
2. 発表標題 中山間地域における乗合タクシーの供給能力に関する考察
3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馮文浩, 谷本圭志, 丹呉允
2. 発表標題 中山間地域におけるタクシー事業の持続可能性の分析手法
3. 学会等名 第62回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷本圭志, 橋本礼記, 長曾我部まどか
2. 発表標題 タクシー事業者による兼業の実行可能性に関する評価手法
3. 学会等名 第74回土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷本圭志
2. 発表標題 これからの公共交通の戦略
3. 学会等名 鳥取県MaaSエコシステム共創コンソーシアム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷本圭志
2. 発表標題 中山間地域における今後の公共交通の戦略
3. 学会等名 JCoMaaS (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑野将司
2. 発表標題 データ活用の重要性
3. 学会等名 鳥取県MaaSエコシステム共創コンソーシアム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩田千良加, 桑野将司
2. 発表標題 地域密着型宅配サービス事業の利用者特性の把握
3. 学会等名 計測自動制御学会
4. 発表年 2023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	長曾我部 まどか (Chosokabe Madoka) (50757268)	鳥取大学・工学研究科・准教授 (15101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	桑野 将司 (Kuwano Masashi) (70432680)	鳥取大学・工学研究科・教授 (15101)	

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