

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：12703

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02257

研究課題名（和文）アジアの都市鉄道PPPプロジェクトのあり方に関する研究

研究課題名（英文）Study for the Better PPP Urban Railway Projects in Asian Megacities

研究代表者

森地 茂（Morichi, Shigeru）

政策研究大学院大学・政策研究科・名誉教授

研究者番号：40016473

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,600,000円

研究成果の概要（和文）：官民連携によるアジアの大都市の鉄道事業の多くが破綻していることに着目し、第1に各種リスクの費用換算方法を提示し、更に、各リスクに対するモンテカルロシミュレーションによるリスクの評価方法を提示した。第2に、破綻の原因である意思決定者の誤解に対し、運賃改定の可能性分析、沿線開発の実態把握方法の開発、需要定着遅れに対する事業スキームなど6種の誤解に対する知見を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アジア各国での破綻事例を、現地の教授の協力を得て分析をした初めての研究であり、各国の研究者の活動の契機となった。また各国で始まっている多くの都市鉄道事業に対して、各種リスクの分析、運賃設定、沿線都市開発、適正な公的財政支援などに関する知見は実務上も意義があり、研究代表者はバンコクの計画策定、マニラの事業スキームに関し、JICAと両国交通大臣からアドバイスの依頼を受けて対応している。

研究成果の概要（英文）：Focusing on the fact that many of the PPP (Public-Private Partnerships) railway projects in Asian mega-cities have collapsed, we presented cost conversion methods for various risks, and then presented risk evaluation methods using Monte Carlo simulation for each risk.

Next, regarding the misunderstandings of decision makers related to the bankruptcy, we presented findings on six types of misunderstandings, such as analysis of the possibility of fare revisions, development of methods for grasping the actual situation of development along railway lines, and business schemes for delays in demand settlement.

研究分野：国土計画、交通政策、観光政策、インフラ政策、アジアの都市・交通政策など

キーワード：都市鉄道 アジアの大都市交通 PPP TOD 事業スキーム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アジアの大都市では交通渋滞改善のため都市鉄道整備が急速に進展しているが、財源不足のためそのほとんどが PPP(Public-Private Partnership) によっており、それらが殆ど破綻している。第 1 に、その原因としてのリスクを分析し、リスク分析の方法を作成することと、第 2 に、多くの意思決定者の誤解している事項についての客観的知見を提供することにより、今後の事業スキームの設計に役立てる成果を得ることが急務である。

2. 研究の目的

研究の目的としての上記第 1 については、事業スキーム、需要、建設費、工期、運賃設定、運営コストなど、顕在化したリスクをもとに、リスク分析の方法とその評価方法を作成することである。

第 2 に対応する誤解とは、需要定着時期、PPP での事業成立、都市開発事業収益による都市鉄道損失の補填、沿線都市開発の進展速度、上下分離による事業成立、低運賃であり、これらに対する客観的判断可能な知見を提供することが第 2 の目的である。

3. 研究の方法

第 1 の目的に対しては、アジアの既設路線の年次報告書と財務諸表から費目ごとの費用と収入のデータを得て財務シミュレーションモデルを作成する。次に、各種リスクに対するモンテカルロシミュレーションモデルを作成し、既存路線の時系列財務評価を行い、今後の事業スキーム設計のツールとすると同時に、そのための知見を得る。

第 2 の目的については紙数制限のため、以下研究成果と共にして記述する。

4. 研究成果

(1) リスク分析方法の開発とリスク分析

第 1 の目的に対する研究成果は、得られたデータをもとに財務シミュレーションモデルを作成したこと、顕在化した各種リスクを損失費用換算したこと、モンテカルロシミュレーションにより、各リスクの分散による財務上の影響を計測したこと、各種リスクの組み合わせについても分析できるモデルを作成したことである。

表-1 顕在化したリスクと定量化

| ステージ | リスク | リスクソース | リスクイベント | 結果 | 配分比率 | | | 廃棄物量 (mil THB) /ディレイ タイム |
|------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-------|---------------------------|-----------|--------------------------------------|
| | | | | | ガバメント | ブルート コン シ フ ト | ファイ アー | |
| 企画 | 計画変更 | 地下鉄への計画変更 | 新計画の変更・承認に伴う遅れ | 開始時期の遅延 | ● | | | 3年 |
| | 民間企業の進定による遅れ | BOT 契約の交渉・承認に時間がかかる | 当初予定していた開始年からの遅延 | 開始時期の遅延 事業収益化までの期間の遅延 | ● | | | 22ヶ月 22ヶ月 |
| 操作方法 | 需要不足 | コンセッションナーによる需要の過大予測 | 想定を大幅に下回る需要 | 運賃収入の減少 商業開発収入の減少 | | ● | | 15,023 [12.0%] 7,757 [6.2%] |
| | 他の交通プロジェクトの遅延 | パープルラインとブルーラインの延伸開始の遅れ | 他の輸送手段による需要不足 | 運賃収入の減少 商業開発収入の減少 | | ● | | 457 [0.4%] 325 [0.3%] |
| | 運転資金不足 | 開始以来の継続的な損失 | 資本金不足 | 政府からの資本注入 民間からの資本注入 | ● | | | 4,387 [3.5%] 13,150 [10.5%] |
| | 利益還元の見定値 | 開始以来の継続的な損失 | 借金返済の原資がない 利益不足 | 返済のリスケジュール 配当金の減少 | | | ● | - [-%] 5,511 [4.4%] |
| | 支払利息の増加 | 開始以来の継続的な損失 | 借金返済の原資がない | 返済期限延長に伴う支払利息の増加 | | ● | | 8,002 [6.4%] |
| | 政治的な動き | 2011年の反政府デモ | 旅客数の減少 | 運賃収入の減少 | | ● | | 16 [0.01%] |
| | 金融危機 | 2008年のリーマンショック | コンセッションナーによる運賃の割引 | 運賃収入の減少 | | ● | | 47 [0.04%] |

注 1) [xx %] はリスクインパクトで、Wastage / 初期プロジェクトコストと定義される。 × 100

注 2) Concr: コンセプター、SH: 株主、FI: 金融機関

例として、バンコクのブルーラインの利用者数は図-1 のように月別では毎年大きく変動している。年単位では図-2 のように、相対的な変動分は少なく見えるものの、各種リスクの顕在化の影響が見てとれる。図-3 のようにして各種リスクの損失額を定義し、予測需要と実際の需要の差異による収入減、学生デモによる需要減少、需要増加が期待されていたブルーラインの延伸とパープルライン開業の遅れによる需要減少なども分析できた。顕在化したリスクを表-1 の通り定量化できた。また、モンテカルロシミュレーションの計算結果の一例を図-4 に示すが、この場合 PPP 契約期間（2025 年）には資本回収はできていないものの、毎年の黒字化で財務状況は好転している。一般にアジアの都市鉄道 PPP では需要リスクを官民で如何に分担するかが議論になり、MRG (Minimum Revenue Guarantee) などが採用されてきたが、人口が急増し、経済成長も続くアジアの大都市では、需要は確実に増加し得るため、需要予測値との差異は需要定着の遅れとして顕在化する場合が多い。従って、むしろ契約期間延長を事前の官民の契約にどう位置付けるかが重要であることを示唆している。

(2) 意思決定のための知見

次に第 2 の目的については、需要定着時期、PPP での事業成立、都市開発事業収益による都市鉄道損失の補填、沿線都市開発の進展速度、上下分離による事業成立、低運賃を研究計画時に設定した。、について日本や各国の事例として各種リスクを示す文献¹⁾²⁾と同時に、上記モデルでの検証を可能とした。最も重要な情報として、欧米諸国の都市鉄道は、建設費のみならず運営費についても政府の補助金を必要としている。日本の各種財政支援のアジア各国の支援策を整理し、その課題を提示した。また、多くの私鉄が補助金なく良好な経営を保っていることが、アジアの意思決定者が PPP による都市鉄道整備を志向する理由の一つとなっている。しかし東京メトロでさえ、新しい線は赤字であり、既存路線の内部補助で採算性が保たれているという事実が重要な情報となる。また、

に関連しては、以下に示す(3)日本の私鉄が都市開発事業や沿線での商業・サービス業など各種事業と鉄道事業を組み合わせていること、経済成長で地価が確実に上昇することから、鉄道事業の赤字を都市開発の事業で埋め合わせするために、両方をセットで PPP 事業にするスキームが一般的になった。しかし、都市開発事業のリスクがあり、その収益は長期的で、鉄道の赤字は開業当初に大きいため、このミスマッチが事業破綻につながっていることも事例調査から明らかになった。

(3) 運賃に係る実態調査と分析

当初はバスの運賃より高くなると鉄道利用者が減少することや、高い運賃は政治的に難しいというのが通説になっていた。しかし、バンコクのグリーンラインの経営破綻後の 2 度の値上げの結果は、自動車利用が一般的であった高所得者の鉄道利用が増え、それは道路混雑を背景とするものであることが分かった。この点に着目して、日大・福田教授、バンコクのカセッサート大・ワラメート准教授、マニラのデ・ラサール大学・アレックス教授の協力で、両都市の鉄道利用者実態調査が実施できた。その結果が図-5、図-6 に示すとおりである。すな

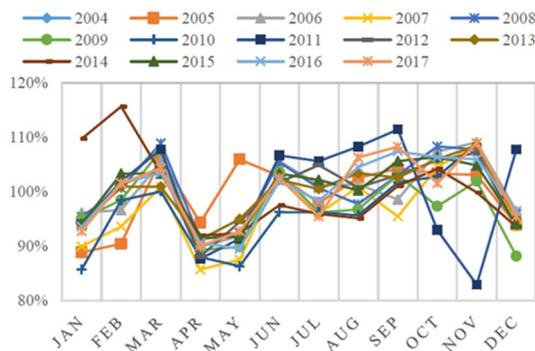


図-1 月別1日平均乗客数割合

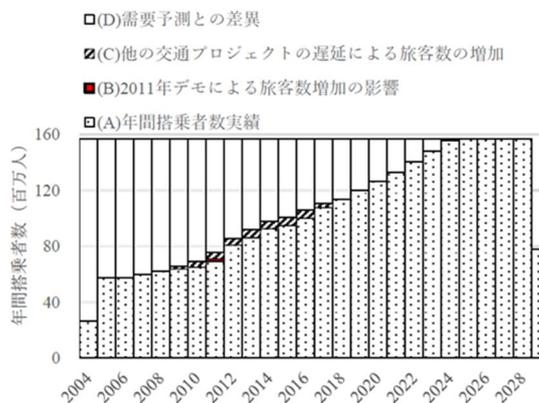
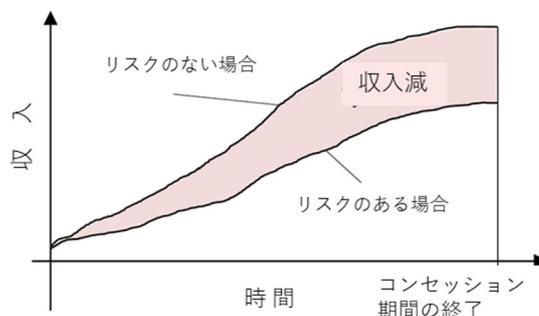


図-2 年間乗客数



注：費用の場合は上下が逆

図-3 リスクの費用換算

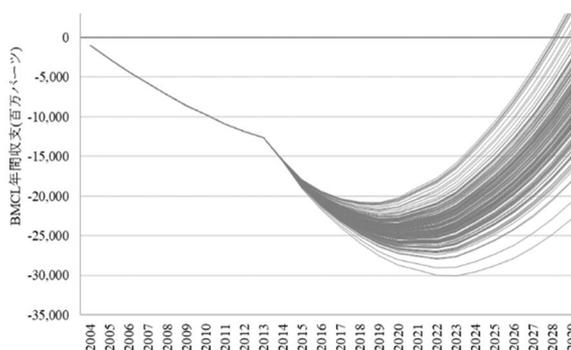


図-4 モンテカルロシミュレーション結果の例

わち両都市共に鉄道運賃の10パーツ、10ペソの値上げでも利用者の減少は10%程度であり、その弾性値から値上げによる大幅な収益増も期待できることが明らかになった。また、所得が上昇すると自動車に転換するというアジア各国の市場下で、道路混雑を解消するためには高所得者層の鉄道利用が求められることから、70年代までロンドン、パリに存在していた、地下鉄での1等車両導入の是非を調査で聞いたところそれを受容する意見が過半を占めたことも本調査の収穫であった。

(4) 鉄道沿線の市街化に関する方法論開発と分析

研究計画時の視点 に関係するのは、沿線開発の市街化速度であるが、土地利用データの不備なアジアの都市ではその分析が困難であった。そこで市街化の実態を把握する方法の開発と、沿線開発の進行速度を分析することを本研究の中心課題の一つとした。

鉄道沿線の都市化については、日本の事例で各都市の鉄道整備後の都市化の進展を駅圏人口と乗降客数の時系列推移から計測している¹⁾²⁾。また新幹線の全駅についても駅周辺の区画整理事業地区内で実際に建築物など土地利用が進むまでの期間を分析した³⁾。勿論、これらの結果はそのままアジアで適用できるわけではないが、その期間が15年から30年を要していること、逆に鉄道経営では沿線の土地の値上がりを待って開発することにより長期的な収益を志向していることなどは、有用な知見である。

アジアの都市でも都市化の進展を分析するために、土地利用データや詳細ゾーンごとの人口データがないことが制約となる。このため、衛星光学情報を用いて、都市化の実態を簡便な方法で計測することとした⁴⁾。具体的には、バンコクを事例に都市圏40km四方の圏域について、1ピクセル(30m四方)ごとに、農地や緑地と市街地の判別を行う。具体的には緑地判定の指標の中からNDVI(正規化植生指標)を用いることにした。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$$

ここで、IR: 近赤外領域の反射率

R: 可視領域の赤の反射率

その際、誤判定要因として、季節による植栽の変化の影響、雲の存在など天候の影響、衛星画像取得時間帯の差による影響、水面や道路の影響、衛星画像の位置のずれの影響などを考慮する必要があった。これらの問題に対しては、⁵⁾については、緑地が最もよく見えている2年間の最大値を取ることで対応し、⁶⁾については、対象地域の面積から緑地面積を引いた面積の変化量を、各期間の都市化面積とした。水面は変化がなく、道路面積の増加は市街化面積の増加と識別される。⁷⁾については、隣接ピクセルと判定結果の連続性から判定した。

各面積の判定はあらかじめ、教師データ地点の航空写真とNDVI値を用いて判別関数を設定した。結果は図-7の通りである。毎年の判定と市街化面積計測定法は以下の通りである。緑地、市街地の判別関数により得られた閾値により判定される各期間の緑地ピクセルを透過度0.1の白色、それ以外のピクセルを黒色として、初年度の判定図から、第n期まで毎期間の画面を重ねていくと、n期の画面で白色のところは緑地となる。白色面積の合計の差異から毎年の市街化面積を計測できるのである。教師データ地点の時系列の判定結果を見ると、緑地を市街地と、市街地を緑地と誤判定した地点が読み取れる。その結果により、一

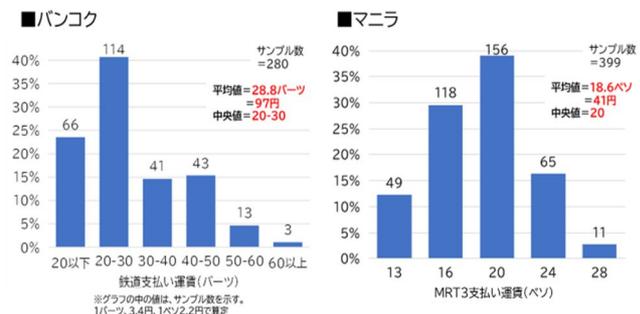


図-5 鉄道の運賃

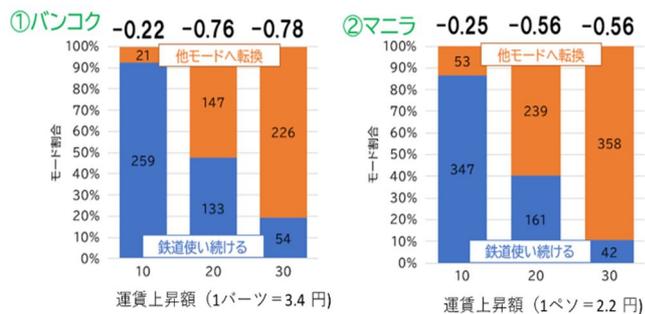


図-6 運賃値上げに対する鉄道利用変化と運賃弾性値

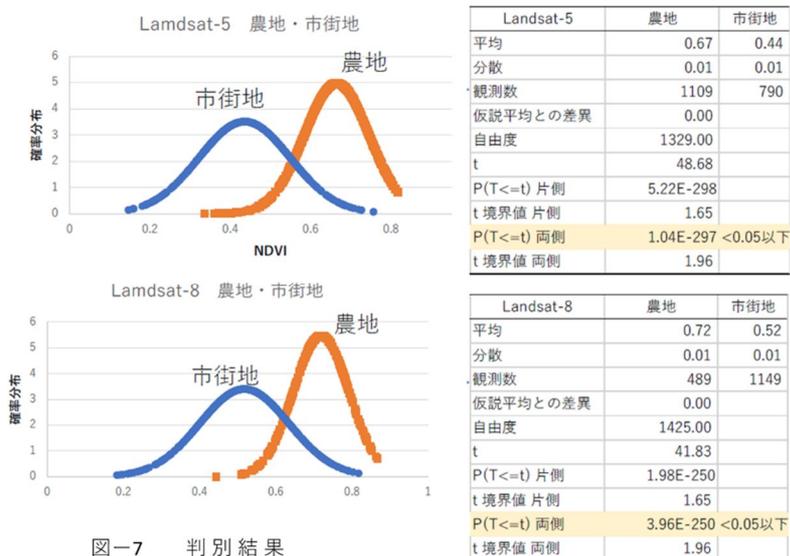


図-7 判別結果

旦市街地化した地点は緑地には戻らないという制約を付けることにより判定精度を上げられる事が分かり採用した。この方法では、一度市街地と誤判定すると、その後は無条件で市街地と判定されるという問題がある。逆に、一旦市街化したピクセルが緑地に戻るケースは再開発による公園新設などに限られるため、市街化したら緑地に戻らないという条件を入れることにより、市街地を緑地と誤判定することは防げる。より正確を期するには、最初に市街地と判定されても、その後、緑地との判定が続く場合は、最初の年の判定を緑地とするなど、後年の結果を統計処理して判定を行う方法も考えられる。判別率中率が 80%程度というモデルであるので、上記の方法で十分と判断したのである。

測定地域は上述のように 40km 四方(図-8)であるが、都心から南北東西方面別、距離帯別(10km 内、10-20km、20-30km、30-40km)に時系列の市街地化の進展を計測し(図-9、10) また、各都市鉄道の各駅からの距離帯別(2km 内、2-4km、4-6km)に市街地化の進展を計測し、鉄道沿線の影響を視覚的にかつ定量的に把握できるようになった(図-11)。

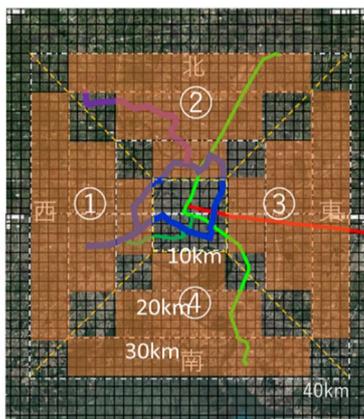


図-8 バンコク都市圏の地域区分

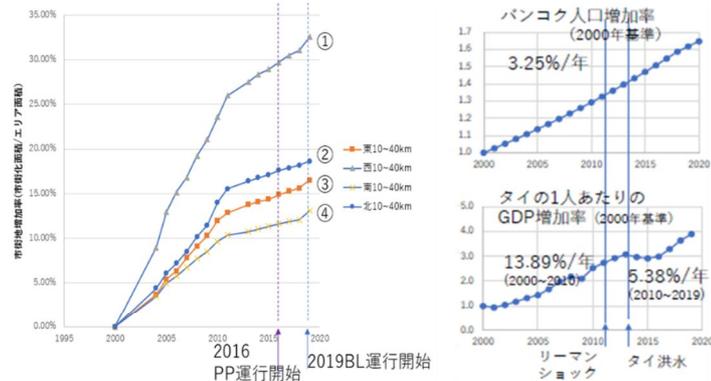


図-9 方面別市街化面積率の推移

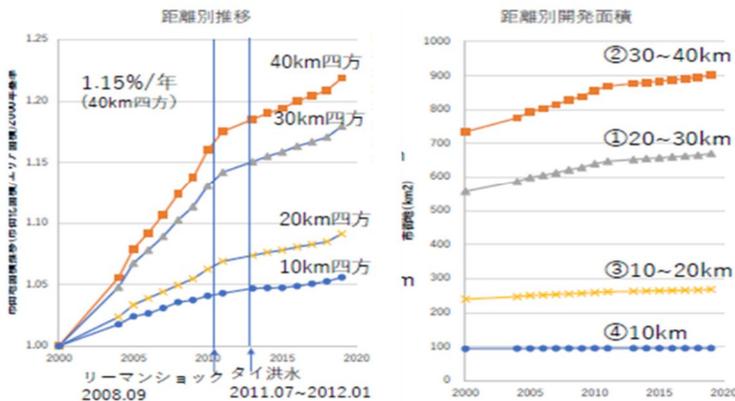


図-10 距離帯市街化の進展

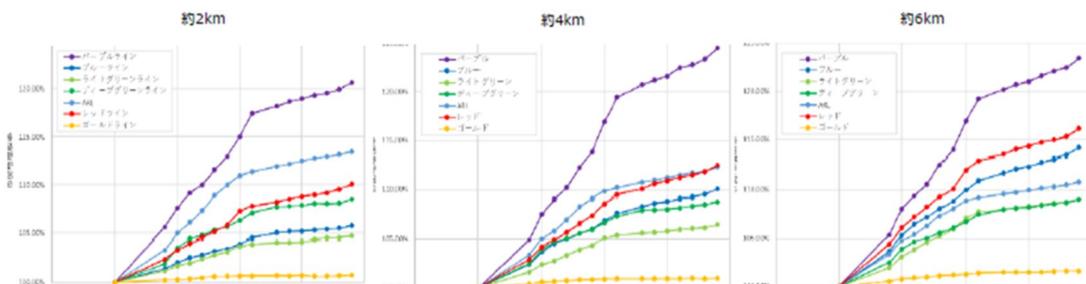


図-11 鉄道沿線別市街化の進展

【参考文献】

- 1) 小森賢, 森地茂, 「都市鉄道の開業後における需要増減の要因分析」, 土木計画学研究・講演集, Vol.61, 2020.
- 2) 大竹司真, 稲村肇, 菊池輝, 「バスアクセスを考慮した2時点データの比較による鉄道旅客需要の分析 仙台市営地下鉄南北線を例に」, 土木計画学研究・論文集 D3(土木計画学), 76巻, 1_785-1_792, 2021.
- 3) 西川晃司, 森地茂, 「新幹線駅周辺整備の変遷とアジア諸国における新幹線建設への示唆」, 土木計画学研究・講演集, Vol.58, 2018.
- 4) 塩田彩夏, 森地茂, 稲村肇, 日比野直彦, 「時系列光学衛星データを用いた都市鉄道沿線開発状況の把握 - バンコクを事例として -」, 土木計画学研究・講演集, Vol.64(CD-ROM), 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 小森賢, 森地茂 | 4. 巻 Vol.61 |
| 2. 論文標題 都市鉄道の開業後における需要増減の要因分析 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 第61回土木計画学研究発表会・講演集 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 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 大竹司真, 稲村肇, 菊池輝 | 4. 巻 Vol.61 |
| 2. 論文標題 バスアクセスを考慮した2時点データの比較による鉄道旅客需要の分析 - 仙台市営地下鉄南北線を例に | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 第61回土木計画学研究・講演集 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 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 Hidetoshi MATSUSHITA, Shigeru MORICHI | 4. 巻 Vol.13 |
| 2. 論文標題 Risk Analysis of PPP Urban railway Projects in Asia | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies | 6. 最初と最後の頁 482-502 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11175/easts.13.482 | 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 OTAKE Tsukasa, INAMURA Hajime, KIKUCHI Akira | 4. 巻 76 |
| 2. 論文標題 ANALYSIS OF RAILWAY PASSENGERS BY TWO-POINT DATA CONSIDERING BUS ACCESS | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management) | 6. 最初と最後の頁 I_785 ~ I_792 |
| 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_785 | 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 Tomohiro Takano, Vichiensan Varameth, Shigeru Morichi, Atsushi Fukuda | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 On the Relationship Between Travel Behavior and Price Sensitivity of Public Transit in Bangkok | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies | 6. 最初と最後の頁 391-405 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11175/easts.14.391 | 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 該当する |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 塩田彩夏, 森地茂, 稲村肇, 日比野直彦 | 4. 巻 Vol.64 |
| 2. 論文標題 時系列光学衛星データを用いた都市鉄道沿線開発状況の把握 - バンコクを事例として - | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 第64回土木計画学研究・講演集 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 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 高野友宏, 森地茂, 福田敦 | 4. 巻 Vol.64 |
| 2. 論文標題 東南アジアにおける都市鉄道の運賃弾力性の検討 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 第64回土木計画学研究・講演集 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 大竹司真, 稲村 肇, 菊池 輝 |
| 2. 発表標題 バスアクセスを考慮した2時点データ比較による鉄道旅客分析 地下鉄南北線を例に - |
| 3. 学会等名 令和元年度東北支部技術研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 塩田彩夏, 森地茂, 稲村肇, 日比野直彦 |
| 2. 発表標題 時系列光学衛星データを用いた都市鉄道沿線開発状況の把握 - バンコクを事例として - |
| 3. 学会等名 土木学会第64回土木計画学研究発表会(春大会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 高野友宏, 森地茂, 福田敦 |
| 2. 発表標題 東南アジアにおける都市鉄道の運賃弾力性の検討 |
| 3. 学会等名 土木学会第64回土木計画学研究発表会(春大会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tomohiro Takano, Vichiensan Varameth, Shigeru Morichi, Atsushi Fukuda |
| 2. 発表標題 On the Relationship Between Travel Behavior and Price Sensitivity of Public Transit in Bangkok |
| 3. 学会等名 The 14th EASTS International Virtual Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 小森賢, 森地茂 |
| 2. 発表標題 都市鉄道の開業後における需要増減の要因分析 |
| 3. 学会等名 土木学会第61回土木計画学研究発表会(春大会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大竹司真、稲村肇、菊池輝 |
| 2. 発表標題 バスアクセスを考慮した2時点データの比較による鉄道旅客需要の分析 - 仙台市営地下鉄南北線を例に |
| 3. 学会等名 土木学会第61回土木計画学研究発表会(春大会) |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 宿利正史, 軸丸真二, 森地茂 | 4. 発行年 2022年 |
| 2. 出版社 東京大学出版会 | 5. 総ページ数 296 |
| 3. 書名 国際交通論 - 政策・産業とその展望 - (第5章3 アジアの大都市の鉄道整備) | |

〔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 | 稲村 肇 (Inamura Hajime) (50168415) | 東北工業大学・工学部・名誉教授 (31303) | |

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 |
|---------|---------|