

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01560

研究課題名（和文）社会経済ビッグデータに基づく幹線交通網整備効果検証手法の開発

研究課題名（英文）A Statistical Approach to Stock Effects of Inter-regional Transport Network on the basis of Socio-economic Big Data

研究代表者

塚井 誠人（Tsukai, Makoto）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・准教授

研究者番号：70304409

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、地域の生産活動に対する道路インフラの効果を明らかにするため、統計的因果探索手法によって道路アクセスの生産力効果を事後的に明らかにする方法論の開発と、実データを用いた検証を行った。前者については推計モデルの回帰変動に関して、安定的な推計が可能となる範囲があることを明らかにした。後者については、市町村と県庁所在地間の道路距離を用いた場合のみ、アクセシビリティが地域総生産に対して有意な影響を及ぼすという結果が得られた。また道路アクセスの生産力効果には、地域間の異質性が存在することが明らかとなった。以上より道路整備によって連携する地域には、効果的な組み合わせが存在することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

統計的因果探索により、道路アクセスの良さと地域生産額の間には、正の生産力効果が確認できた。ただし地域生産に貢献する道路アクセスは、各市町村と都道府県を代表する県庁所在地を結ぶものであり、その他の市町村とのアクセス改善が地域生産に資するわけではないことが明らかとなった。この点は地域政策の立案時に十分に注意する必要がある。得られた知見は、地域間道路の整備目的と整合的に活用することで、インフラストック効果に関する議論を整理できると思われる。

研究成果の概要（英文）：In order to clarify the effect of road infrastructure on gross regional product (GRP), this study developed a methodology for ex-post clarification of the productivity effect of road access using a statistical causal discovery method, and verified it using real data. For the former, we found that there is a stable range of regression variation in the estimation model. For the latter, accessibility by road was found to have a significant effect on regional GDP only when road distances between municipalities and prefectural capitals were used. The results also indicate that there is heterogeneity in the productivity effects of road accessibility across regions. The results indicate that there is an effective combination of regions that can be linked by road accessibility.

研究分野：土木計画学

キーワード：統計的因果推論 道路アクセス ストック効果 事後検証

### 1. 研究開始当初の背景

国土交通省は少子高齢化が進み、税収に限られる状況下で、経済成長や安全・安心の確保、ならびに国民生活の質の向上を持続的に実現するために、ストック効果を最大限発揮する社会基盤整備事業の推進を掲げている。ストック効果とは、社会基盤が中長期的に地域経済に及ぼす影響を指している。これに対して、事業期間中に発生する生産や雇用などの短期的な影響は、フロー効果と呼ばれる。両手法に共通する課題は、便益が発生する時点としてモデル内で設定した予測対象年次（将来または現在）と、分析者がそのような予測を行う年次（現在または過去）との間で生じる技術革新、または大災害や世界的な経済動向などの予期し難い事象や、別の社会基盤整備事業による間接的な波及効果等の影響が生じるため、過去時点  $t_0$  に行われた事業効果の（事前の）予測値  $t_0'$  と現在入手できる（事後の）観測値  $t_1'$  の間では、常に乖離が生じることである。他方で、平成 28 年 11 月に国土交通省が策定した「ストック効果の最大化に向けて～その具体的戦略の提言～」では、発現した様々なストック効果を把握し、可視化すること、つまり“見える化”することも推奨されている。さらにこの方針では、ストック効果に関して得られる知見を事業に有効活用するという、社会基盤のマネジメントサイクルの確立の必要性が述べられている。

国土交通省が上述した 2 方針を示す理由は、モデルの不完全性や、モデル推定時に入力するデータの不完備性を認識しているためと考えられる。いずれの要因が支配的だとしても、発現するストック効果は、その一部が事前に想定した便益発生メカニズムによらない、または事前の予想を超えて様々な面に及ぶことは論を俟たない。ここからは、以上の議論を踏まえて少し丁寧にこの問題を考察しよう。標準的な経済モデルでは、関係主体の経済学的な行動指針を踏まえた最適化問題から演繹的にモデル構造を導出する。他方で、そのようにして導出したモデルに基づく実証分析の際は、入手可能なデータに適合するように、ある程度簡略化したモデル構造を用いる。これはデータ負荷（必要なデータの種類の観測コスト）とそれに続く実務上の配慮、言い換えれば入手可能なデータの範囲でモデルの適用性を担保する要請だが、この簡略化に関して 2 つの課題を指摘できる。一つは繰り返し指摘されているように、既存手法に基づいてストック効果の便益発生メカニズムを精緻にとらえることは実際には困難なことである。しかし、より重要な課題がある。それは、一連のモデル同定手順では、モデル構造を根本的に省みる余地は少なく、せいぜいモデルパラメータの推定手順の見直し程度しか行われていないことである。ましてや予測の基盤となる経済モデルのロジックやモデル構造そのものの妥当性や限界が再検討されることは、これまでほとんどなかった、と考えられる。つまりもう 1 つの課題は、モデル構造の妥当性を検証する方法がないことであろう。

しかし「ストック効果に関して得られる知見を事業に有効活用する」には、本来モデルと現実との乖離が生じる原因をモデル構造に遡って検討し、新たな経済モデルを開発するという、後者の手順も含まれるべきである。ただしその実現には、経済モデルが想定した因果構造の妥当性を、事後的に検証する分析手法が必要である。経済モデルの前提が満たされているか否かを判断する手法があれば、現行の費用便益手法の技術的な課題が明らかになり、社会基盤整備の「ストック効果の見える化」に関する錯綜した議論を、ある程度は整理できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究は、社会資本整備のストック効果の分析手法に関する事後的検証が不十分であるという問題意識の下で、そのような検証手法として統計的因果推論の適用に関する検証を行う。同手法については、その精度や安定性について昨年までの研究において基礎的な成果を得ているが、算出した因果構造の経済学的な含意（解釈）が困難という課題があった。そこで本論文では、まず生産関数フロンティアを設定して各地域の下限生産額を算出し、その値と観測総生産との差分に統計的因果探索を適用することで、生産関数で説明されない余剰分の付加価値への寄与要因を明らかにする。対象地域は国内の約 1700 市町村とする。使用する変数は、上述した域内総生産の差分に加え、人口分布や産業分布の社会経済属性やある地域のアクセス性を表すアクセス指標などの乖離要因の候補である。これらの変数に対して複数の観測データ間の因果関係を明らかにする LiNGAM を用いて、生産関数の下限フロンティアからの乖離要因が示す因果関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

統計的因果探索とはデータから因果グラフを推測する手法である。本研究では、統計的因果探索の中でも関数形に線形性、誤差変数に非ガウス分布、因果グラフに閉路を持たない非巡回仮定を置く LiNGAM モデル (liner non-Gaussian acyclic model)<sup>2)</sup> を用いる。p 個の観測変数に対する LiNGAM モデルは式(1)で示される。

$$x_i = \sum_{j \neq i} b_{ij} x_j + e_i \quad (i = 1, \dots, p) \quad (1)$$

式(1)の変数は  $x$  : 観測変数,  $b$  : 係数,  $e$  : 誤差変数である。式(1)を 行列式で表すと式(2)のように書ける。

$$x = Bx + e \quad (2)$$

式(2)の係数行列  $B$  のゼロ・非ゼロパターンから因果の順序や強さを推計する。

#### 4. 研究成果

インフラストック効果は空間的にスピルオーバーするため、実効サンプル数は見かけのサンプル数よりも小さくなり、パラメータ推定が不安定になるおそれがある。そこで、サンプル数と因果構造探索の関係について、数値シミュレーションを行った。まず LiNGAM の仮定をすべて満たし、因果的順序が明確な 6 変数の擬似データを、乱数を用いて作成する。そして、作成したデータサンプルから因果的順序を導出する試行を 1000 回繰り返し、正しい順序が得られた割合を算出する。サンプル数ごとの結果を表-1 に示す。同表より、正しい因果的順序が推計されるには 1000 サンプル以上が望ましいことが分かる。

また正しい因果的順序が推計される条件として、係数行列  $B$  の要素  $b_{ij}$  のスケールが考えられる。この理由として、次のようなトレードオフが想定できる。独立成分分析 (Independent Component Analysis, 以下 ICA) を用いた LiNGAM アプローチでは、回帰成分のスケールが独立成分のスケールに対して大きいと、有効な独立成分の検出が難しくなる。逆に小さいと、独立成分の僅かな攪乱の影響を受けて混合係数の推定が不安定になる。つまり、どちらにせよ ICA から正しい因果的順序を得ることが難しくなると予想される。 $b_{ij}$  のスケールの条件について得たシミュレーションの結果を表-2 に示す。結果は想定を満たしており、因果的順序が正しく推計できる範囲が存在していた。この係数のスケールの範囲を基に、因果構造を推計した際に算出される決定係数の妥当性を評価する。

表-1 正しい因果的順序が推計された割合

サンプル数	推計割合[%]
10000	100
1000	97.7
100	40.1

表-2 正しい因果的順序が推計された割合

係数行列の要素 $b_{ij}$ の条件	推計割合[%]
$0.05 \leq  b_{ij}  \leq 0.10$	62.4
$0.10 \leq  b_{ij}  \leq 0.20$	99.6
$0.20 \leq  b_{ij}  \leq 0.50$	100
$0.50 \leq  b_{ij}  \leq 1.00$	99.9
$1.00 \leq  b_{ij}  \leq 1.50$	99.4
$1.50 \leq  b_{ij}  \leq 2.00$	96.4

以上の分析結果を踏まえて、地域生産額の下限フロンティアとの乖離成分について、LinGam を適用した分析を行った。地域の下限生産額を算出する生産関数フロンティアとして、式(3)の生産関数<sup>4)</sup>を用いる。

$$\ln(y_n) = f(K_n, L_n; \beta) + v_n + u_n \quad (3)$$

ここで、 $y_n$  : 地域  $n$  の域内総生産額,  $K_n$  : 地域  $n$  の投入資本額,  $L_n$  : 地域  $n$  の労働量,  $\beta$  : パラメータ,  $v_n$  : 攪乱項,  $u_n$  : 効率性を表現する確率項である。この  $u_n$  が下限フロンティアと観測総生産との残差であり、以降「 $eff\_cd$ 」と表記する。

本研究で使用したデータを表-3 に示す。アクセス指標の定義は式(4)に示す。

$$AC_i = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{t_{ij}^2} \quad (4)$$

表-3 使用データの詳細

年次	平成 22 年，平成 27 年
範囲	国内の約 1700 市町村
変数	人口/国勢調査 事業所数/経済センサス 従業者数/経済センサス アクセス指標/NITAS eff_cd (下限フロンティアとの残差)

観測年次が異なるデータは直近の平成 21 年，平成 23 年，平成 26 年，平成 28 年の値を用いる

/以下はデータの出典を表す

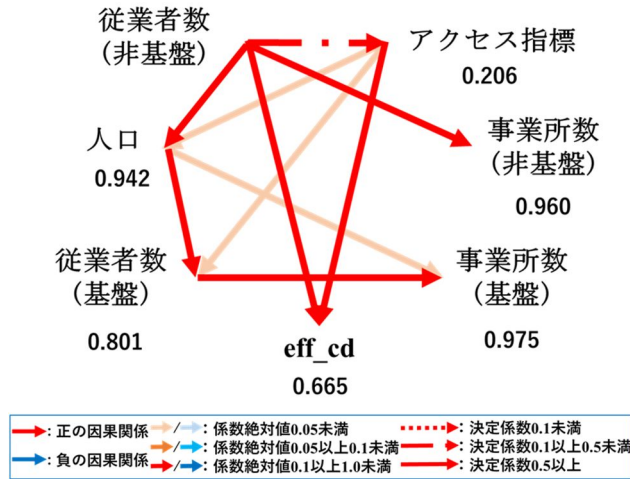


図-1 推計された因果グラフ

ここで， $i$ ：対象地域（市町村）， $j$ ：市町村役場あるいは都道府県庁， $t_{ij}$ ： $i$ から $j$ への自動車所要時間， $n$ ：地域数， $P_j$ ：地域 $j$ の人口である．本研究では産業別の生産額への寄与を明らかにするため，従業者数と事業所数を基盤産業と非基盤産業に分割した．その分割方法は，1)中分類した各産業の従業者数を地域の人口で除する，2)その値を産業ごとで標準化する，3)全市町村×全産業の中で上位3分の1を基盤産業，残りを非基盤産業とする，4)従業者数の基盤・非基盤を基に事業所の基盤・非基盤を割り当てる，という手順で求めた．

表-3のアクセス指標について，終点を市町村役場と都道府県庁の2通りの場合でそれぞれLiNGAMを適用して結果を比較したところ，後者のほうが，推計モデルの精度ならびに符号条件とも，良好だった．後者を基に推計した因果的順序に基づいて作成した因果グラフを図-1に示す．なお図-1のモデルは，表-2の係数条件を満たしている．同図より，下限フロンティアとの残差を表す「eff\_cd」には，非基盤産業の従業者数とアクセス指標が正の影響を与えていることが明らかとなった．

本研究では，LiNGAMに基づいて，社会基盤整備のストック効果の分析手法に関する事後的検証手法を提案した．その結果，下限フロンティアとの残差には，非基盤産業の従業者数とアクセス指標が正の因果関係が確認された．また，因果的順序の妥当性の評価条件を新たに発見した．本研究の課題は，産業の基盤・非基盤の分割基準やより妥当なアクセス指標の検討，少標本時の推計結果の安定性確保である．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 杉原 豪・塚井 誠人	4. 巻 75-6
2. 論文標題 統計的因果探索による社会基盤整備のストック効果の検証	5. 発行年 2020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 583-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.75.6_1_583	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 Canh DO and Makoto TSUKAI	4. 巻 6
2. 論文標題 Extracting Travel Patterns through A Matrix Decomposition Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asian Transport Studies	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 該当する
1. 著者名 Makoto Okumura, Masataka Hoso, Huseyin Tirtom	4. 巻 12
2. 論文標題 Multimodal Intercity Network Manageable on the Collected Fare --- Optimization Model Approach - --	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, in Battaramulla, Sri Lanka	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 該当する
1. 著者名 山口裕通・大村暁子・奥村誠・中山晶一郎	4. 巻 57
2. 論文標題 連休効果を考慮した都市間旅行需要の時系列モデル	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hiromichi Yamaguchi, Shoichiro Nakayama
2. 発表標題 Number of Base Travel Patterns for Understanding the Effect of New High-speed Rail Service
3. 学会等名 The 7th International Conference on Transportation and Space-time Economics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qiao Fang, Hiromichi Yamaguchi, Shoichiro Nakayama
2. 発表標題 Non-negative Matrix Factorization Approach for estimating Travel Purposes of Mobile Phone Location Data
3. 学会等名 The 7th International Conference on Transportation and Space-time Economics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口裕通, 柴田真嵩, 中山晶一郎
2. 発表標題 OD 表分解による都市間旅行コストと到着地価値の推計
3. 学会等名 第60回 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口裕通, 三宅寛之, 中山晶一郎
2. 発表標題 非負値テンソル因子分解を用いた旅行需要の北陸新幹線開業に対する感度の計測
3. 学会等名 第59回 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須ヶ間淳・奥村誠
2. 発表標題 都市圏郊外部における多モード公共交通の空間構成最適化モデル
3. 学会等名 第60回 土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅原優志・塚井誠人
2. 発表標題 データフュージョンのための都市間旅客需要調査の特性比較手法の提案
3. 学会等名 第33回応用地域学会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Canh DO and Makoto TSUKAI
2. 発表標題 Extracting Travel Patterns through A Matrix Decomposition Method
3. 学会等名 13th East Asian Transportation Studies Conference in Sri Lanka (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口裕通・大村暁子・奥村誠・中山晶一郎
2. 発表標題 連休効果を考慮した都市間旅行需要の時系列モデル
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塚井誠人・杉原豪
2. 発表標題 統計的因果探索に基づく 全国道路アクセスのストック効果検証
3. 学会等名 応用地域学会
4. 発表年 2022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	奥村 誠  (Okumura Makoto)  (00194514)	東北大学・災害科学国際研究所・教授   (11301)	
研究分担者	山口 裕通  (Yamaguchi Hiromichi)  (10786031)	金沢大学・地球社会基盤学系・助教   (13301)	
研究分担者	力石 真  (Chikaraishi Makoto)  (90585845)	広島大学・先進理工系科学研究科(国)・准教授   (15401)	
研究分担者	原 祐輔  (Hara Yusuke)  (50647683)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・助教   (12601)	削除：2018年7月4日

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
---------	---------