

# 統計的手法による交通インフラストック効果の計測：課題と展望

塚井 誠人<sup>1</sup>・山本 航<sup>2</sup>・円山 琢也<sup>3</sup>・佐藤 啓介<sup>4</sup>・瀬谷 創<sup>5</sup>・嶋本 寛<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 広島大学大学院准教授 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:mtukai@hiroshima-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 広島大学大学院研究員 工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:wataruy9@hiroshima-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災研究教育センター  
(〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)

E-mail:takumaru@kumamoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 復建調査設計株式会社 (〒101-0032 東京都千代田区岩本町三丁目8-15)

E-mail: keisuke.sato@fukken.co.jp

<sup>5</sup>正会員 神戸大学准教授 工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail: hsey@people.kobe-u.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 宮崎大学准教授 社会環境システム工学科 (〒889-219 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1)

E-mail:shimamoto@cc.miyazaki-u.ac.jp

社会基盤整備に際しては、既に便益計測手法として経済学ベースの費用便益分析が社会実装されているほか、近年では応用一般均衡モデルの開発も進んでいる。これらの手法に必要なデータベースの整備がある程度進んだことにより、今日では事業前評価手法としての便益予測モデリング手法に開発は、かなり進んでいる。その一方で、事業中または事業後に行われる検証的事業評価では、インプットデータの更新が行われるものの、事業前評価手法に匹敵する検証的事業評価手法の開発は進んでいない。本研究では、主に統計的手法による社会基盤ストック効果計測手法を整理するとともに、その計測上の課題や、上述した経済学ベースのモデルとの関連性を整理し、今後の研究展望をまとめる。

**Key Words :** stock effect, statistical approach, causation

## 1. はじめに

社会基盤整備では、費用便益マニュアルが整備され、これに基づく事業評価が定着して久しい。たとえば道路事業の費用便益マニュアルでは、道路整備による所要時間短縮、走行費用縮減ならび交通事故削減の便益を計上する。道路と同様の評価体系は、河川堤防、港湾、公園など、各社会基盤施設ごとに評価すべき便益が定められており、その評価の場では、原則として費用便益比が1以上となる社会基盤整備事業のみが、採択される。

現在用いられている費用便益手法は、「発生ベース」の便益を計測する手法である。たとえば上述した道路事業では、その道路を利用する車両やドライバーが、直接享受する便益を計測する手法である。これに対して空間応用一般均衡分析 (SCGE) は、各地域の中間財と最終消費財の市場に加えて、地域間輸送市場と労働力市場を

明示的に考慮する。そのうえで、産業の生産連関と地域間交易の結果、各地域の経済主体が得る便益の大きさをそれぞれ計量できる手法である。この方法は、「帰着ベース」の便益を計測する手法とされる。なお生産連関の算出には、産業連関表が必要である。

発生ベースと帰着ベースの便益評価手法は、社会資本整備効果の「予測」手法としては、同一の便益を別の角度から計測しているに過ぎない。つまり、原理的に両便益の総和は一致するため、同一の事業をどちらの方法で計測しても、事業採択の判断は変わらない。

その一方で、平成28年度の国土交通白書で議論された社会基盤のストック効果は、上述した予測体系の中では捉えることが困難な社会基盤整備効果の把握を試みていた。樋野は、英国の交通投資に関して議論された「Wider Impact/拡張便益」を紹介した<sup>1)</sup>。樋野によれば、拡張便益は金銭評価可能な便益として、通常の費用便益

分析の便益額に加算される場合もある。具体的には、集積の経済から生じる生産効果、不完全競争市場を仮定した場合に生じる生産効果、ならびに労働市場の変化による税収効果の3効果が挙げられている。これらはいずれも、費用便益法が前提とする市場構造とは異なる想定に基づいて算出される便益であり、中～長期的に発現する社会基盤整備効果の候補として注目された。

本研究では、主に統計的手法による社会基盤ストック効果計測手法を整理するとともに、その計測上の課題や、費用便益法やSCGEなどの経済学ベースのモデルとの関連性を整理し、今後の研究展望をまとめる。

## 2. 便益計測手法別の特徴

本節では、主に道路ネットワークを念頭に置いて議論を行う。地域間幹線交通（鉄道や航空）や港湾の場合は、交通サービスの提供者と消費者が異なるため、交通企業の行動を考慮した定式化が行われる場合がある。一方道路ネットワークでは、公共交通を除いて、利用者が自ら運転することによって、交通サービスを生産し、かつ同時に消費するため、議論が単純化できる。なお以下本稿では、ストック効果と便益という用語は、同一の意味を表す。

### (1) 費用便益分析と空間一般均衡分析

費用便益分析は、交通サービスの便益を、その直接利用者が享受する便益として、発生側で計測する手法である。費用便益マニュアルでは、発生交通量を固定として、所要時間短縮効果と走行費用節減効果を算出する。すなわちOD交通量を所与として、時間短縮、走行費用削減に関わる換算原単位（時間価値と走行費用低下分）さえ設定できれば、その算出は容易である。

CGE (Computable General Equilibrium) モデルは、財の生産者と消費者、労働の供給主体と需要主体について、中間財の取引市場を含めてモデル化した多市場一般均衡分析である。地域間の交通条件の内生・外生の違いや、資本や労働の可搬性の仮定の違いによって、いくつかのバリエーションがある。またCGEにSpatialを付したSCGEは、地域ごとに異なる中間財、消費財、労働市場を仮定するモデルである。CGE/SCGEは、最終的な便益の帰着先を明らかにできる利点があり、後者ではさらに地域別の便益を算出できる。

両モデルの違いは、発生便益=費用便益分析、帰着便益=CGE/SCGEとして指摘されることが多い。しかし社会基盤ストック効果の算出上では、付加価値額を扱うか否かが、重要な相違点である。

費用便益分析では、付加価値額が求められているわけではない。一方で、CGE/SCGEでは付加価値生産が明

示的に考慮される。問題は、発生側の便益が帰着側の便益に、すなわち総付加価値が最終消費側の効用に100%伝達、あるいは変換されるか否かによって、両モデルの便益計測結果が異なる可能性があることである。

CGE/SCGEに現れる市場に外部性が無く、財の投入要素が価格メカニズムを通じて最適に調整されるなら、中間財生産の各段階で発生した付加価値は適正に価格転嫁されて、最終的には消費者の効用として計上される。つまり、このバランスが成り立つならば、両モデルの便益計測結果は一致する。この状態はまた、「交通インフラ供給便益は、中間財市場間でキャンセルアウトしながら、最終消費者に帰着する。このため交通インフラ供給便益は、その取引条件が変化した市場、つまり交通市場で発生する便益の計測結果に一致する」という知見となり、現行の費用便益分析の根拠を与える。

一方でこのバランスが成り立たない条件が存在すると、発生側の便益と帰着側の便益は異なる可能性がある。Kohno<sup>2)</sup>は、中間財投入を含む全市場に関して、財の供給側の便益の総和をeconomic effect in generation base、財の需要側の便益の総和をeconomic effect in incident baseと定義したうえで、後者から前者を差し引いた差分をpure indirect economic effectと呼んだ。Kohnoは、正のpure indirect effectが存在する場合は、市場に技術的外部性が存在することを指摘した（ゼロならば技術的外部性は存在しない）。Kohnoは、CGEの体系で両者が一致しない可能性を許容したモデルシステムを提案しており、その計測可能性について考察している。

CGEやSCGEは、一般均衡体系に明確な経済学的な井裏付けがあることが大きな利点である。その一方で、産業連関表を含むデータベース構築が大規模になるという問題や、外生的に与えるしかない中間投入財間の弾力性パラメータの妥当な値を推計するキャリブレーションをめぐる課題が知られている。

### (2) 生産関数アプローチなど

社会資本のストック効果に関しては、生産関数アプローチによる計測結果が、数多く蓄積されている。この手法は部分均衡アプローチながら、内生的経済成長理論の枠組みでの研究蓄積が多く、実証分析を通じたマイクロ経済学的な蓄積が進んでいる。典型的なクロスセクションの生産関数アプローチは、地域別の労働、民間資本、社会資本を総額ベースでデータ化して、地域の付加価値額に回帰する方法である。また時系列データの場合も、多時点の労働、民間資本、社会資本のデータベースと他時点の付加価値額の間で回帰分析を行う。この手法は、地域別の結合（付加価値額）生産関数を直接計量するマクロアプローチであり、地域別の社会資本ストックの限界生産性を算出できる。このため生産関数アプローチでは、

社会資本の地域間配分の効率性に着目した分析も行われる。

生産関数アプローチは付加価値額、つまり生産のプロセスで付加された価値をモデル化する。付加価値額は、市場の外部性が無い場合は、発生便益と帰着便益に一致するため、手法の違いによる便益額の違いはない。市場外部性に関しては、推計パラメータから、規模に対する収穫（逓増、一定、逓減）を判定できるという利点がある。他方で、生産関数の投入要素について内生性が疑われることがあること、社会資本ストックを金額ベースで評価するとそのネットワーク性が考慮できないなどの課題がある。ただしこの限界に関しては、空間計量経済分析に基づくスピルオーバー効果の検証が行われる場合がある。また生産関数アプローチでは、社会資本ストック額や民間資本ストック額の推計が必要となるため、分析に用いるデータベースの推計が大掛かりになるという課題がある。また社会資本ストックの種類別の寄与を算出することが困難な点も、この方法の課題である。さらに都道府県以下の小地域の分析ニーズに対して、小地域の付加価値額の推計が容易ではないことも、産業連関表を用いるCGEモデルと共通の実用上の課題である。

生産関数アプローチ以外の統計手法では、まず生産関数と双対関係にある費用関数アプローチが挙げられる<sup>3)</sup>。費用関数の目的変数は生産費用であり、投入要素の価格情報に基づいて、配分効率性の議論が行えるほか、社会資本の効果を、直接効果と民間資本に対する補完効果に分解することができる。ただし、社会資本の価格推計には工夫が必要である。

このほか、変数の内生性自体を検討できるVAR (Vector Auto Regressive model) がある。VARは、結果よりも時間的に先行する変数のパラメータが有意になる場合のみ、その変数が結果変数の原因となりうるというGranger因果（原因が結果よりも時間先行するという、因果関係の必要条件）の成立を検証できる手法である。またVARは、長期的な均衡関係を表す共和分関係にある変数組を抽出できる共和分分析へと発展しており、実証分析も数多く行われている<sup>4)</sup>。VARでは、特に地域のインフラストック額が付加価値額（GRP: Gross Regional Product）とGranger因果関係、または共和分関係にあるかが、モデル推計上の興味の対象である。このほか、立地均衡に基づいて雇用者の給与水準とインフラストックの関係をモデル化するアプローチや、資本化仮説に基づいて地価への影響要因を明らかにするヘドニックアプローチなどの方法も、盛んに試みられている。これらの手法においても、VARアプローチと同様に、地域のインフラストック額と給与水準、または地価の関係が、正のパラメータ推計値で結ばれるか否かが、モデル推計上の興味の対象である。

### 3. 交通インフラストック効果計測上の課題

本節では、交通インフラストック効果の計測に関して、議論が混乱しやすいポイントを整理したうえで、統計的手法に基づく効果計測手法の開発上の留意点を明らかにする。

#### (1) 予測と検証

交通インフラストック効果の計測において、CGEやSCGEなどの経済学的なバックグラウンドを持つ手法が開発されたことは、以下に述べるような意義がある。すなわち、事業実施前に各事業を比較して投資判断が可能になることや便益の帰着主体・地域が明らかにできることに留まらず、より簡便な費用便益分析と比較することで、費用便益分析の特徴や限界をを明らかにできたことも実務的には大きな成果だったと考えられる。

その一方で筆者は、少なくとも事後的な事業評価を行う際に、基準年の新しい交通データに基づいて費用便益分析を再試行する現行の事業（再）評価手法には、少し違和感を感じている。なぜなら、同じ交通インフラストック効果計測といっても、予測と検証では、その算出の狙いが全く異なるからだ。

事業採択の可否を判断する予測フェイズでは、特に経済理論と整合的な評価手法を採用することは、推計結果の内的妥当性を保証する上で、ほとんど必須の要件である。この点を考慮すると、多市場均衡を仮定することは、膨大な経済分析の知見と整合的な便益評価額を算出するという意味で、きわめて自然である。また同様に、応用的な経済学分野である都市経済学や空間経済学の中心的な課題であった集積の経済をはじめとする外部性を、ひとまず存在しないものとしてモデル化するスタンスは、より確かなベンチマークとしての近似解を与えるための仮定として、自然だったと思われる。

一方で、事業の妥当性を事後的に判断する検証フェイズでは、予測フェイズと同様の手法ながらも、最新のデータに基づく結果を算出するアプローチの意義は、相対的に低下する。その代わりに、地域間アクセシビリティの変化によっておこる立地、生産要素の代替や人口移動などの現象を、いかに経済学的な基礎と整合的に理解するか、あるいは現象を適切に捉えられる経済学的な手法が開発できるかなど、発展的でチャレンジングな手法開発につながる知見を蓄積するという意義が大きくなると思われる。しかし、現行のインフラ整備の再評価体系で報告される立地や交易の利便性や信頼性の向上といった内容は、ほとんど上述した課題に関連する発展には、寄与しないと思われる。

### (3) 因果と空間、そしてビッグデータ

生産関数アプローチ以下の（CGEやSCGEなどのような）一般均衡体系によらない既存の分析手法群は、それぞれモデル化のスタンスが大きく異なっているものの、いずれも因果性（たとえば、交通サービス水準と付加価値額間の因果）の有無を検証する点が、共通している。これはおそらく多くの研究が、仮説検証型の実証分析としてデザインされていることと、モデルの内的妥当性の根拠が、経済学だけに求められないという共通事情によると思われる。

上述した従来モデルにおいて、アクセス性が地域生産額に及ぼす因果性を検証する上では、データの取り扱いに関して、きわめて多くの留意点がある。たとえばアクセス性の変化が生産地の代替を引き起こす場合、まず従来のデータベース構築の考え方では、代替可能性のあるすべての地点を分析対象とするやり方が考えられる。しかし、国内の経済活動が国を超えて海外の生産地と直接連関する今日では、そのようなデータセットの入手は、きわめて困難である。

データの空間的な網羅性が保証できないのなら、因果性の検証に当たって、より統計学的な基礎への配慮が必要である。これは、科学的な実験データとして、交通インフラストックの検証データを取り扱う必要性が高まっていることを意味する。

また今日的な課題として、ビッグデータに対応した因果推論法の開発も急務である。ビッグデータは、従来の社会経済活動に関するデータとは異なり、サンプル数が膨大で、その多くは時間的・空間的なデータ密度が高い。しかし入手できるデータ属性が乏しいうえ、既往の研究デザインと合致しないケースが多い。そのようなデータに対して闇雲にデータマイニングを行うと、活用が困難な断片的な知見となるばかりか、論文としての価値が認められない可能性もある。統計学的な分析スタイルを確立するとともに、ビッグデータを念頭に置いた理論モデルの開発を進める必要がある。

### 4 おわりに

本稿では、統計的手法による交通インフラストック効果の計測について、経済学ベースの手法と統計学ベースの手法の橋渡しを狙って、既往の研究分野に対する見解を述べた。しかし原稿執筆にあたって予想外の豪雨災害に見舞われたため、十分な省察が行えず、分析手法に対する筆者の理解が十分に追いついていない点や、謬見を披露している部分がある可能性、ならびに十分な量の原稿が執筆できていないなど、多くの課題が残る現行となってしまった。本稿に関するすべての誤りは、第一著者の責任であることを強調しておく。願わくば、当日会場にて叱咤いただければ幸いである。

なお秋大会までには、本稿で十分に議論できなかった、Marshallの外部性とストック効果計測の関係について、整理した原稿をまとめる。

#### 参考文献

- 1) 樋野誠一, 国府田樹, 小林広和, 田中啓介: 英国の交通投資の新しい評価方法 “Wider Impacts” (広範な効果), IBS Annual Report 研究活動報告, 78-83, 2016.
- 2) Kohno, H.: Economic Effects of Public Investment – An Emphasis on Marshallian and Monetary External Economies, Springer (New Frontiers in Regional Science: Asian Perspectives 1), 2016.
- 3) Duran-Fernandez, R., Santos, G.: An empirical approach to public capital, infrastructure, and economic activity: A critical review, Research in Transportation Economics, 46, 3-16, 2014.
- 4) Maparu, T. and Mazmuder, T.: Transport infrastructure, economic development and urbanization in India (1990–2011): Is there any causal relationship?, Transportation Research Part A, 100, 319–336, 2017.
- 5) 清水昌平: 統計的因果探索, 講談社 (MLP 機械学習プロフェッショナルシリーズ), 2017.

(2018.7.31 受付)

## Measurement of Infrastructure Stock Effect by Statistical Approach : Problems and Perspectives

Makoto TSUAKI, Takuya MARUYAMA, Keisuke SATO, Hajime SEYA and Hiroshi SHIMAMOTO and Wataru YAMAMOTO,