

平常時及び災害時の貨物輸送の 時間価値計測に関する新たな手法の提案

(神戸大学大学院, 工学研究科教授, 小池敦司)

概要:

本研究では、貨物輸送の時間短縮の価値 (VFTTS: Value of Freight Travel Time Saving) について新しい推計手法を提案する。推計手法としてはこれまで、貨物輸送の所要時間の短縮に伴うドライバーやトラック利用等の節約分を評価する所得近接法や、実際の人々の行動結果やアンケート等から推計する選好近接法が提案されている。しかしこれらの推計手法が捉えるのは貨物輸送に関連する経済活動の一部である。本研究では空間応用一般均衡(SCGE: Spatial Computable General Equilibrium)モデルを利用し、貨物輸送の時間短縮が経済全体に与える影響を考慮したVFTTSの推計手法を提案する。またSCGEモデルを利用し災害時の経済状況を再現する事により、災害時におけるVFTTSも推計を試みる。

キーワード: 貨物輸送 時間短縮 災害 空間応用一般均衡モデル

1. 研究の目的

貨物輸送の時間短縮の経済的な価値(Value of Freight Travel Time Savings; VFTTS)については数多くの先行研究がある。De Jong(2007)¹⁾によれば、これまでの推定手法は貨物輸送の時間短縮に伴い節約される投入物や生産要素から推計する要素費用法と、観察される行動データやアンケート調査から推計する選好近似法(顕示選好法や表明選好法)に分類される。日本政府は要素費用法に基づいてVFTTSを推計している²⁾。しかしこれまでの推計手法は貨物輸送の時間短縮がもたらす現象の一部に着目したモデルやデータを利用したものである。貨物輸送は経済活動全体にとって欠かせない活動であり、貨物輸送の時間短縮の効果は経済全体への影響を踏まえた上で推計されるべきである。本研究は、貨物輸送の時間短縮について経済全体への影響を考慮した上でその経済的便益を評価できる空間応用一般均衡(SCGE: Spatial Computable General Equilibrium)モデルを利用しVFTTSの推定を行う。またSCGEモデルを利用する事により災害時の経済状態を再現できるため、近年重要性が増している災害時のVFTTSの推計についても試みる。

2. 貨物輸送の時間価値の定義と定式化

本研究では、VFTTSを貨物の輸送時間が1単位減少することによる経済厚生増加分と定義し、式(1)として定式化する。

$$VFTTS = \frac{\sum_r EV^r}{TF_a - TF_b} \quad (1)$$

$$TF_a = \sum_r \sum_s \sum_i T_i^{rs} a QR_i^{rs} \quad (2)$$

$$TF_b = \sum_r \sum_s \sum_i T_i^{rs} b QR_i^{rs} \quad (3)$$

$$QR_i^{rs} = qf_i^{rs} + \sum_j q_{ij}^{rs} \quad (4)$$

ただし、 $VFTTS$: 単位取引額当たりの貨物輸送の時間価値[円/分]、 EV^r : 地域別等価変分[円]、 TF : 貨物の輸送時間[分]、 QR_i^{rs} : 地域間物流量、 T_i^{rs} : 産業別の地域間道路所要時間[分](ただし非製造業は0とする)、 q_{ij}^{rs} : 地域*r*産業*i*から地域*s*産業*j*への中間投入量、 qf_i^{rs} : 地域*s*の家計の地域*r*財*i*の需要量、 a, b : 道路整備のなし(without)およびあり(with)を表す添え字である。式(2)は道路整備がなかった場合の貨物の輸送時間であり、式(3)は道路整備があった場合の貨物の輸送時間である。すなわち式(1)の分母は道路整備によって節約された貨物の輸送時間を示している。式(4)は、式(2)および式(3)の物流量が産業間の中間財取引のみならず最終消費財の取引も含んでいることを示す。また等価変分の増加分はモデルで想定する地域の全ての便益の和である。VFTTSの単位について、従来は輸送車両1台当たりもしくは単位重量当たりの時間価値[円/分]で表されていた。一方、式(1)で求められるのは取引額1円当たりのVFTTSである。本研究は道路輸送に着目している事もあり、輸送車両1台当たり換算する。変換するにあたり、営業用普通貨物車の1台当たり輸送貨物の価値額³⁾513,346[円/台]を用いる。

3. 空間的応用一般均衡モデルの概説

本研究で用いる SCGE モデルは、経済主体の最適化行動と完全競争市場を仮定している。一般均衡モデルの表現方法として双対アプローチを採用しているが、家計の効用関数と産業の生産関数は入れ子型のCES型関数でモデル化している。以下でモデルが採用する各種の仮定について説明する。なお以下の説明で採用する添え字は以下の通りである。財の生産地を表す添え字： $r \in \{1, 2, \dots, R\}$ ，財の消費地を表す添え字： $s \in \{1, 2, \dots, S\}$ ，生産地での財種別を表す添え字： $i \in \{1, 2, \dots, I\}$ ，消費地での財種別を表す添え字： $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ ，生産要素の種別を表す添え字： $f \in \{lab, cap\}$ 。

(1) 家計の行動について

効用の単位価格を PU^r とすれば代表的家計の名目所得水準 I^r と効用水準 U^r の関係は式(5)として表現できる。所得水準 I^r は式(6)の通りである。ただし、名目所得移転額の全地域での和が0となるように、実質所得移転額は特定の地域の効用等の価格で評価されなければならない。本モデルでは、最も経済規模が大きいという理由から東京都を含む地域3の効用の価格を採用している。

$$U^r = \frac{I^r}{PU^r} \quad (5)$$

$$I^r = \sum_f (PF_f^r \text{endow}_{of}^r) + PU^{r3} \text{trn}_0^r \quad (6)$$

U^r ：地域 r の家計の効用関数， I^r ：地域 r の家計の所得， PU^{r3} ：地域3における効用の価格， PF_f^r ：地域 r における生産要素 f の価格， endow_{of}^r ：地域 r の家計が保有する生産要素 f の量， trn_0^r ：地域 r の実質所得移転額(ただし、 $\sum_r \text{trn}_0^r = 0$)である。

家計の効用関数は、2段階の入れ子型CES型関数によってモデル化する。第1段階の家計の支出最小化問題を式(7)および式(8)として定式化する。

ただし、 Qf_i^s ：地域 s における産業 i の消費合成財消費量， PQf_i^s ：地域 s における産業 i の消費合成財価格， ω_i^s ：消費合成財シェアパラメータ， σ_u ：消費合成財に関する代替弾力性である。

$$\min_{Qf_i^s} \sum_{i \in I} PQf_i^s Qf_i^s \quad (7)$$

$$s. t. U^s(Qf_1^s, Qf_2^s, \dots, Qf_I^s) = \left(\sum_{i \in I} \omega_i^s Qf_i^s \frac{\sigma_u - 1}{\sigma_u} \right)^{\frac{\sigma_u}{\sigma_u - 1}} \quad (8)$$

地域 s における効用の価格は上記の最適化問題に関する費用最小化条件およびゼロ利潤条件から式(9)のように得られる。

$$PU^s = \left[\sum_{i \in I} (\omega_i^s)^{\sigma_u} (PQf_i^s)^{1 - \sigma_u} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma_u}} \quad (9)$$

続いて第2段階の費用最小化問題を式(10)および式(11)

として定式化する。ただし、 t_i^{rs} ：地域 r から地域 s への財の輸送費用のマークアップ率， Py_i^r ：地域 r 産業 i の財価格， qf_i^{rs} ：地域 s における地域 r 産業 i の財消費量， θ_i^{rs} ：財消費シェアパラメータ， σ_{q_i} ：財 i の地域間の代替弾力性である。

$$\min_{qf_i^{rs}} \sum_{r \in R} (1 + t_i^{rs}) Py_i^r qf_i^{rs} \quad (10)$$

$$s. t. Qf_i^s(qf_i^{1s}, qf_i^{2s}, \dots, qf_i^{Rs}) = \left(\sum_{r \in R} \theta_i^{rs} qf_i^{rs} \frac{\sigma_{q_i} - 1}{\sigma_{q_i}} \right)^{\frac{\sigma_{q_i}}{\sigma_{q_i} - 1}} \quad (11)$$

上記の費用最小問題を解くことにより、家計の消費財需要量が式(12)の通り得られる。

$$qf_i^{rs} = \left[\frac{\theta_i^{rs} P Qf_i^s}{(1 + t_i^{rs}) Py_i^r} \right]^{\sigma_{q_i}} Qf_i^s \quad (12)$$

(2) 産業の行動について

各地域の各産業の生産関数は3段階のNested-CES型生産関数によってモデル化されている。まず、第1段階の中間合成財および付加価値の産業別の投入関係を式(13)のように定式化する。

$$y_j^s = \min \left[\frac{V_j^s}{\alpha_{v_j^s}}, \frac{Q_{1j}^s}{\alpha_{1j^s}}, \frac{Q_{2j}^s}{\alpha_{2j^s}}, \dots, \frac{Q_{Ij}^s}{\alpha_{Ij^s}} \right] \quad (13)$$

ただし、 y_j^s ：地域 s 産業 j の生産量， V_j^s ：地域 s 産業 j における付加価値投入量， Q_{ij}^s ：地域 s 産業 j における産業 i の中間合成財投入量， $\alpha_{v_j^s}$ ：付加価値比率， α_{ij^s} ：投入係数である。次に、第2段階の産業の中間合成財に関する費用最小化行動を式(14)および式(15)のように定式化する。

$$\min_{q_{ij}^{rs}} \sum_{r \in R} (1 + t_i^{rs}) Py_i^r q_{ij}^{rs} \quad (14)$$

$$s. t. Q_{ij}^s(q_{ij}^{1s}, q_{ij}^{2s}, \dots, q_{ij}^{Rs}) = \left(\sum_{r \in R} \theta_{ij}^{rs} q_{ij}^{rs} \frac{\sigma_{q_i} - 1}{\sigma_{q_i}} \right)^{\frac{\sigma_{q_i}}{\sigma_{q_i} - 1}} \quad (15)$$

ただし、 q_{ij}^{rs} ：地域 s 産業 j における地域 r 産業 i の中間財投入量， θ_{ij}^{rs} ：中間財投入シェアパラメータである。

上記の費用最小問題を解くことにより、産業の中間財需要関数が式(16)のように得られる。

$$q_{ij}^{rs} = \left[\frac{\theta_{ij}^{rs} P Q_{ij}^s}{(1 + t_i^{rs}) Py_i^r} \right]^{\sigma_{q_i}} Q_{ij}^s \quad (16)$$

また、同じく第2段階の産業の付加価値に関する費用最小問題を式(17)および式(18)のように定式化する。

$$\min_{v_{fj}^s} \sum_{f \in \phi} P v_{fj}^s v_{fj}^s \quad (17)$$

$$s. t. V_j^s = \left(\sum_{f \in \phi} \beta_{fj}^s v_{fj}^s \frac{\sigma_{v_j} - 1}{\sigma_{v_j}} \right)^{\frac{\sigma_{v_j}}{\sigma_{v_j} - 1}} \quad (18)$$

ただし、 v_{fj}^s ：地域 s 産業 j における生産要素投入量， $P v_{fj}^s$ ：地域 s 産業 j における生産要素価格， σ_{v_j} ：産業 j における生産要素の代替弾力性， β_{fj}^s ：要素投入シェアパラメータである。最後に、第3段階の産業の生産要素に関する費用最小化

行動を式(19)および式(20)のように定式化する。

$$\min \sum_{r \in R} PF_f^r F_{fj}^{rs} \quad (19)$$

$$s. t. v_{fj}^s = \left(\sum_{r \in R} \delta_{fj}^{rs} F_{fj}^{rs} \frac{\sigma_f - 1}{\sigma_f} \right)^{\frac{\sigma_f}{\sigma_f - 1}} \quad (20)$$

ただし、 F_{fj}^{rs} ：地域s産業jにおける地域rの生産要素投入量、 PF_f^r ：地域rにおける生産要素価格、 σ_f ：生産要素の供給地間の代替弾力性、 δ_{fj}^{rs} ：供給地別の要素投入シェアパラメータである。

上記の費用最小問題を解くことにより、産業の生産要素に対する需要関数が式(21)のように表される。

$$F_{fj}^{rs} = \left(\frac{\delta_{fj}^{rs} P v_{fj}^s}{PF_f^r} \right)^{\sigma_f} v_{fj}^s \quad (21)$$

(3) 市場均衡条件について

本モデルでは財市場の需給均衡条件が式(22)の通り成立する。生産要素市場の需給均衡条件は式(23)の通り成立するものとしている。

$$y_i^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \{(1 + t_i^{rs}) q_{ij}^{rs}\} + \sum_{s \in S} \{(1 + t_i^{rs}) a f_i^{rs}\} \quad (22)$$

$$endow_{of}^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \left[\left(\frac{\delta_{fj}^{rs} P v_{fj}^s}{PF_f^r} \right)^{\sigma_f} v_{fj}^s \right] \quad (23)$$

(4) 便益の定義について

Iceberg型輸送費用の低下に伴う地域別便益を等価変分(Equivalent Variation: EV)を用いて式(24)のように定義する。ただし、 PF_{of}^r ：基準均衡時点における生産要素価格、 PU_0^{r3} ：基準均衡時点における効用の価格である。

$$EV^r = \left(\sum_f PF_{of}^r endow_{of}^r + PU_0^{r3} trn_0^r \right) \left(\frac{U_b^r - U_a^r}{U_a^r} \right) \quad (24)$$

(5) パラメータの設定について

本研究では災害時のVFTTSの推計のため、SCGEモデルにおいて東日本大震災の経済状況を再現する。SCGEモデルで各種の代替の弾力性の値を変更し、また資本ストックを外生的に減少させることで災害時の経済状況をシミュレーションする。災害時の各種の代替の弾力性および資本ストック毀損率については、Yamazaki, et al. (2018)⁴⁾において推定されている。本研究においても、Yamazaki, et al. (2018)⁴⁾と同じ設定値を用いる。輸送費用のマークアップ率については、平常時および災害時の地域間道路所要時間より算出している。これらの推定方法を表-1に示す。

なお、SCGEモデルのカリブレーションにはYamazaki (2018)⁴⁾と同じく9地域間産業連関表⁵⁾を用いてい

る。ただし地域数は8地域に、業種数は21に集約している。

表-1 東日本大震災前後の所要時間算出条件

検討項目	設定内容
対象路線	一般都道府県道以上の道路及び指定市の市道
平常時の道路ネットワーク	H25年度のDRMをベースに高規格幹線道路のみH23年度時点のネットワークとなるよう調整
災害時の道路ネットワーク	平常時の道路ネットワークに対して、東日本大震災翌日の道路途絶状況を反映
所要時間の算出	一般化費用最小ルートをダイクストラ法により算出、有料道路料金を時間換算
旅行速度の設定	H22道路交通センサスの混雑時旅行速度または規制速度、ただし東北地方においては民間プローブデータ(2011年3月4日~4月14日)の速度を利用 ⁶⁾ ※途絶区間の道路網は0.1km/hと設定

4. シミュレーション分析

本研究における平常時および災害時の貨物の時間価値(VFTTS)の計測には、代替の弾力性、輸送費用のマークアップ率、資本ストックの毀損率が深く関わっていると考える。よってこれらのパラメータおよび外生変数に着目し、設定値の組み合わせに応じたシナリオを想定する。

(1) シナリオ設定

本研究では道路整備(with)により地域間道路所要時間の東北-関東間が10分、東北内々が5分減少するシナリオを想定する。SCGEモデルでは輸送費用のマークアップ率が低下する。この輸送時間短縮に関するシナリオは次節で示す全てのシミュレーションのケースで共通している。

(2) シミュレーションのケース設定

まず、東日本大震災発生前を平常時(case0)と考え、この時の経済状況をモデル上で再現する。次に、東日本大震災発生直後を災害時と考える。このときの経済状況を、代替の弾力性の値と外生変数を平常時の値から変更させることで災害時の経済状態をモデル上で再現する。具体的には下記の通りである。

まずは代替の弾力性の値を低下させる。これは災害時に情報の入手が困難であったり、取引先との調整が平時よりも困難であったりするためである。続いて基準均衡時の輸送費用のマークアップ率を増大させる。これは、道路途絶区間において貨物輸送にかかる時間が増大し、費用が増大することを表現している。そして地震動や津波の被害を想定し民間資本ストックを減少させる。資本ストックの毀損率についてはYamazaki, et al, (2018)⁴⁾を参考にした。上記の要素がそれぞれVFTTSに与える影響を分析するため、表-

2のようにケース設定をする。ただし、 $\zeta^0 = \{\sigma_{v,j}^0, \sigma_{q,i}^0, \sigma_u^0, \sigma_f^0\}$: 平常時の各種代替弾力性、0は平常時は災害時を示す添え字である。

表-2 ケース別の各外生変数の設定値

	case0	case1	case2	case3	case4
代替弾力性	ζ^0	$\sigma'_{v,j}, \sigma'_{q,i}, \sigma'_u, \sigma'_f$			
マークアップ	t_i^{rs0}	t_i^{rs}	$t_i^{rs'}$	t_i^{rs0}	$t_i^{rs'}$
資本ストックの投入量	K_j^{s0}	K_j^s	K_j^{s0}	$K_j^{s'}$	$K_j^{s'}$

(3) シミュレーション結果

国内の時間価値原単位の算出方法²⁾におけるVFTTSは、貨物輸送に要する人・車両・貨物の機会費用を積み上げる要素費用法で推計される。推計によれば営業用普通貨物車の時間価値は64.35[円/分]である。本研究のシミュレーションによって得られた結果を図-1から図-3に示す。平常時を表現したcase0については、単位取引額当たりのVFTTSは182.5[円/分]と計測された。これは既往の推計値²⁾である64.35 [円/分]より2.8倍以上大きい。続いて災害時のVFTTSについて、代替弾力性を低く設定したcase1では平常時のcase0と比較すると7.4[円/分]、4.1%大きいVFTTS計測値が得られた。case1はcase0に地域間交易

の代替の弾力性の値が小さい。この場合に、本研究のモデルでは、代替弾力性の値が低い方が貨物の輸送時間の減少量が大いだが、それ以上に経済厚生が増加分が大きく、結果として平時よりVFTTSが大きく計測された。またcase1に対してもととの貨物の所要時間が大きいと想定したcase2における道路整備によるVFTTSは、case1に比べて3.2[円/分]、2.1%大きいVFTTS計測値が得られた。民間資本ストックの毀損を想定したcase3では、case2に比べて48.7[円/分]、26.7%大きいVFTTSとなった。計測値が得られた。最後に、災害時を表現したcase4では平常時のcase0に比べ50.7[円/分]、27.8%大きいVFTTSの計測値が得られた。このことは災害時に貨物の経済的重要性は高く、災害時に備えた道路整備が重要であることを示唆する。

5. おわりに

本研究ではVFTTSを経済厚生を増加分と貨物の輸送時間を用いて定義し、計測のためにSCGEモデルを用いる新たな手法を提案した。この手法により貨物輸送の時間短縮の経済影響を包括的かつ整合的に捉えた上でVFTTSの計測が可能となった。さらにSCGEモデルを利用する事で災害時の経済状況を再現し、災害時のVFTTSの計測も試みた。

推計結果について、平時については従来の推計値よりも



図-1 ケース別の単位取引額当たりVFTTS[円/分]計測結果

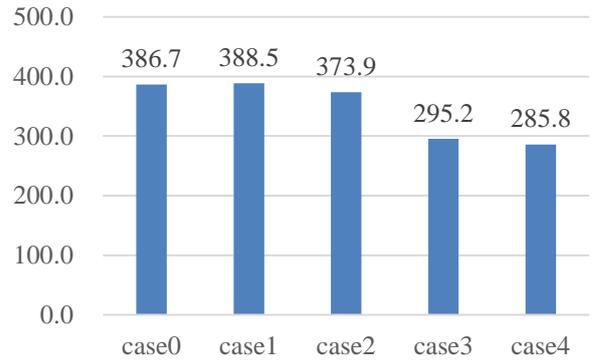


図-2 ケース別のTFa - TFb (単位: 10⁶分)算出結果

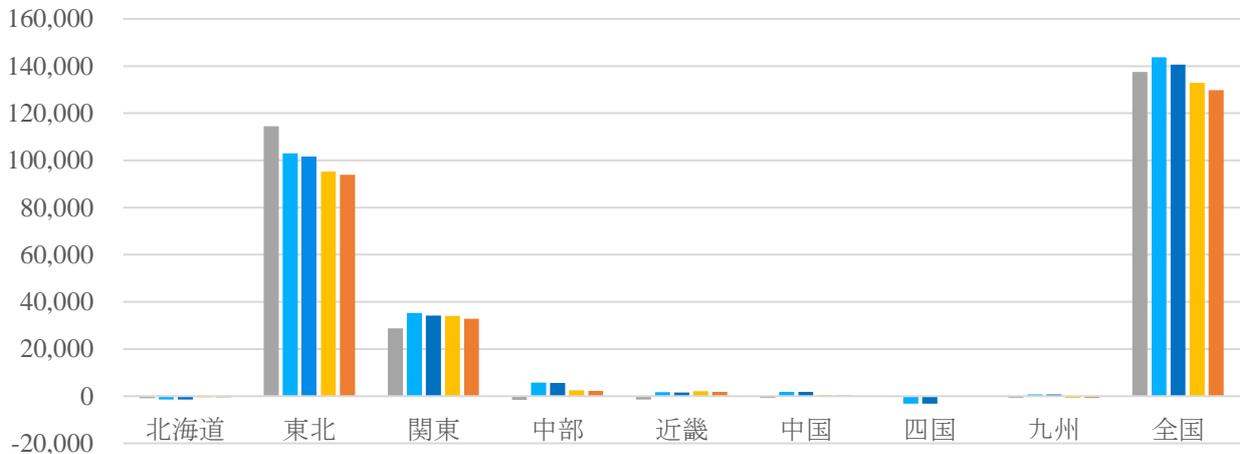


図-3 ケース別の地域別経済厚生(単位: 100万円)算出結果

高く示された。また同じ手法でも災害時については平時よりも高い推計値が示された。ただし上記の結果を得た理論的背景について引き続き研究が必要である。

参考文献

- 1) De Jong, G.: Value of freight travel-time savings, Chapter 34 in Hensher, D.A. and Button, K.J. (Eds.) Handbook of Transportation Modelling (2nd Edition), Emerald Group Publishing Limited, 2007.
- 2) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編), 2009.
- 3) 国土交通省: 時間価値原単位および走行経費原単位(平成20年価格)の算出方法, 第4回道路事業の評価手法に関する検討委

員会, 参考資料1.

- 4) Masato Yamazaki, Atsushi Koike and Yoshinori Sone: A Heuristic Approach to the Estimation of Key Parameters for a Monthly, Recursive, Dynamic CGE Model, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, 04 May 2018. 7)
- 5) 経済産業省: 2005年地域間産業連関表(作成報告書, 取引基本表), 2010.