

誘発交通による混雑悪化の可能性と公共投資のパラドックス*

Congestion Deterioration and Paradox of Public Investment*

河野達仁**・宮原 史***・森杉壽芳****

By Tatsuhito KONO**・Fumi MIYAHARA***・Hisa MORISUGI****

1. はじめに

近年の大都市では、交通施設整備が新たな交通需要を誘発し、結局混雑緩和にはつながらないという現象が生じている可能性がある。

現在各省庁において整備されている費用便益分析マニュアルで採用されている便益評価手法は、ファーストベストの経済を仮定し、交通市場における一般均衡需要曲線に基づく消費者余剰で交通施設整備の便益を計測する。したがって、交通施設整備後に交通所要時間が上昇する先の例、すなわち「誘発交通による混雑悪化」が生じる場合、現在の費用便益分析マニュアルを用いると、交通施設整備の便益は負であるという分析結果が得られる。このような結果は正しいのであろうか？

一方、関連する議論として既存集積地への交通施設整備がかえって効用水準を低下させる「公共投資のパラドックス」(例えば上田ほか(1992)¹⁾、小池(1999)²⁾)がある。このような効用水準の低下現象は、誘発交通による混雑悪化に付随して発生すると考えられる。

そこで本研究では、Kono et al.³⁾の2都市の一般均衡モデルに直接効用関数、集積の経済を表す関数、交通所要時間関数等の関数の特定化とパラメータの設定を行い、いくつかの条件設定で数値シミュレーションを行うことで、どのような状況において「誘発交通による混雑悪化」および「公共投資のパラドックス」が発生するかを分析する。さらに、そのような状況での交通施設整備の便益の交通市場における消費者余剰との違い、および項目別の便益を比較することにより、誘発交通による混雑悪化や公共投資のパラドックスが発生するメカニズムについて考察し、集積の経済や人口移動が存在するもとの便益評価手法、および都市整備についての提言を行う。

*キーワード：公共事業評価法、整備効果計測法、地域計画、交通計画評価

**正員、博(学術)、東北大学大学院工学研究科
(宮城県仙台市青葉区青葉06,

TEL022-795-7501, FAX022-795-7500)

***学生員、東北大学大学院情報科学研究科

****正員、工博、東北大学大学院情報科学研究科

2. モデル

(1) 定式化

本モデルには、主体として都市1, 2にそれぞれ消費者および企業が存在する。また、都市1, 2にはそれぞれ交通施設が存在する。なお、都市間の人口移動が存在する一方、都市間の通勤は認めない。ただし、合成財の移出移入は存在する。また、都市1, 2で発生する地代収入は、それぞれ都市1, 2の消費者に分配されるものとする。以下、サブスクリプト c は消費者、サブスクリプト f は企業、サブスクリプト i は都市番号を表す。

消費者

消費者は、所得制約式(2)および時間制約式(3)のもとで式(1)で表される効用を最大化する。直接効用関数 $u(\cdot)$ は、式(1)で表されるコブ・ダグラス型効用関数を用いる。

$$\max_{x_{ci}, t_{ci}, l_{ci}, h_{ci}, L_{ci}} u(x_{ci}, t_{ci}, l_{ci}, h_{ci}) = x_{ci}^{\alpha} t_{ci}^{\beta} l_{ci}^{\gamma} h_{ci}^{\delta} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad x_{ci} + r_i h_{ci} = w_i L_{ci} + K_i \quad (2)$$

$$\tau_i (t_{ci} + \bar{t}_{ci}) + L_{ci} + l_{ci} = \bar{\Omega} \quad (3)$$

ただし、 $u(\cdot)$ ：直接効用関数($\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ：パラメータ)、 x_{ci} ：合成財需要量(合成財の価格は1)、 t_{ci} ：交通需要量、 l_{ci} ：余暇時間、 h_{ci} ：敷地面積、 L_{ci} ：労働時間、 r_i ：地価、 w_i ：賃金率、 K_i ：財産所得、 τ_i ：交通所要時間、 \bar{t}_{ci} ：通勤・通学など義務的な交通を表すパラメータ(固定)、 $\bar{\Omega}$ ：利用可能時間(固定)とする。

なお、財産所得は式(4)を満たす。また、全人口は式(5)を満たし固定されている。

$$N_i K_i = r_i \bar{H}_i \quad (i=1,2) \quad (4)$$

$$N_1 + N_2 = \bar{N} \quad (5)$$

ただし、 N_i ：都市人口、 \bar{H}_i ：都市面積(固定)、 \bar{N} ：全人口(固定)とする。

企業

企業は、生産関数を表す式(7)と交通に関する技術制約式(8)、(9)のもとで式(6)で表される利潤を最大化する。生産関数は、集積の経済を表す関数 $a(N_i) = \bar{a}N_i^{\alpha_p}$ と、生産関数の一部を表す $f(Q_{fi}) = \bar{b}Q_{fi}$ によって表される。

$$\max_{X_{fi}, L_{fi}, Q_{fi}} \pi_{fi} = X_{fi} - w_i L_{fi} \quad (6)$$

$$\text{s.t.} \quad X_{fi} = a(N_i) f(Q_{fi}) = \bar{a}N_i^{\alpha_p} \cdot \bar{b}Q_{fi} \quad (7)$$

$$Q_{fi} = L_{fi} - \tau_i t_{fi} \quad (8)$$

$$t_{fi} = \bar{t}_{fi} X_{fi} \quad (9)$$

ただし、 π_{fi} ：企業利潤、 X_{fi} ：合成財生産量、 $a(N_i)$ ：集積の経済を表す関数(\bar{a}, α_p ：パラメータ)、 Q_{fi} ：生産に従事できる純労働時間、 $f(Q_{fi})$ ：生産関数の一部(\bar{b} ：パラメータ)、 L_{fi} ：労働需要時間、 t_{fi} ：業務交通量、 \bar{t}_{fi} ：業務交通量の合成財生産量に対する比率(固定)とする。

市場均衡

以上の消費者および企業の行動において、以下の市場均衡を表す式が成り立つ。

$$\text{合成財：} \quad N_1 x_{c1} + N_2 x_{c2} = X_{f1} + X_{f2} \quad (10)$$

$$\text{労働：} \quad N_i L_{ci} = L_{fi} \quad (i=1,2) \quad (11)$$

$$\text{敷地：} \quad N_i h_{ci} = \bar{H}_i \quad (i=1,2) \quad (12)$$

$$\text{効用：} \quad v_1 = v_2 \quad (13)$$

ただし、 v_1, v_2 ：各都市で達成される効用水準とする。

交通市場

交通市場において、以下の式が成り立つ。交通所要時間関数 $g(T_i, s_i)$ は式(15)で表されるBPR関数を用いる。

$$\text{需要側：} \quad N_i (t_{ci} + \bar{t}_{ci}) + t_{fi} = T_i \quad (i=1,2) \quad (14)$$

$$\text{供給側：} \quad \tau_i = g(T_i, s_i) = \bar{\tau} \left\{ 1 + \alpha_T \left(\frac{T_i}{s_i} \right)^{\beta_T} \right\} \quad (i=1,2) \quad (15)$$

ただし、 T_i ：全交通量、 $g(T_i, s_i)$ ：交通所要時間関数($\bar{\tau}, \alpha_T, \beta_T$ ：パラメータ)、 s_i ：交通施設量とする。

(2) 便益計測

本モデルにおける便益計測式は式(16)で表される。

$$dB = \sum_i \left[N_i (x_{ci}^* \frac{dA_i}{A_i} - A_i (t_{ci}^* + \bar{t}_{ci}^*) d\tau_i) - r_i h_{ci}^* dN_i \right] \quad (16)$$

ただし、 $A_i(N_i, \tau_i) = \bar{a} N_i^{\alpha_p} \bar{b} / (1 + \bar{a} N_i^{\alpha_p} \bar{b} \tau_i \bar{t}_{fi})$ とする。各項についてみると、 $x_{ci}^* dA_i / A_i$ は集積の経済、 $A_i (t_{ci}^* + \bar{t}_{ci}^*) d\tau_i$ は時間節約便益、 $r_i h_{ci}^* dN_i$ は人口移動の財政外部性を表す。本研究では、交通施設整備の費用ではなく便益に注目するために交通施設整備による土地の減少を無視する。さらに交通施設整備の費用も無視する。

3. 数値シミュレーション設定

(1) 条件設定

本研究では、既存交通施設量 s_i 、集積の経済を表すパラメータ α_p および都市面積 \bar{H}_i が交通施設整備の便益に与える影響に着目した。よって、表-1に示す4種類の条件で、それぞれ既存交通施設量 s_i が交通施設整備の便益に与える影響をみる「既存交通施設量に関するシミュレーション」および集積の経済を表すパラメータ α_p が交通施設整備の便益に与える影響をみる「集積の

経済に関するシミュレーション」を行う。

表-1 シミュレーションの条件

シミュレーション名	条件		
	\bar{H}_1	\bar{H}_2	交通施設整備
面積同一-1	50000	50000	都市1
面積同一-2	50000	50000	都市2
面積格差1	70000	30000	都市1
面積格差2	70000	30000	都市2

(2) パラメータの設定

消費者

コブ・ダグラス型効用関数のパラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ はH16年 家計調査およびH13年 社会生活基本調査を参考にして、 $\alpha = 0.48$ 、 $\beta = 0.06$ 、 $\gamma = 0.38$ 、 $\delta = 0.08$ と設定する。

企業

集積の経済を表す関数のパラメータ \bar{a}, α_p は、 \bar{a} については $\bar{a} = 0.2$ と設定する。 α_p については、本研究では0.15から0.20についてシミュレーションを行う。

交通市場

BPR関数のパラメータ $\bar{\tau}, \alpha_T, \beta_T$ は、 $\bar{\tau}$ については $\bar{\tau} = 0.35$ と設定する。 α_T, β_T の値については多くの研究(例えば松井・山田(1998)⁴⁾、吉田・原田(2002)⁵⁾がなされていて、 α_T はおよそ0.1から2.5の値を、 β_T はおよそ1.0から5.0の値をとると推定されている。そこで、本研究では $\alpha_T = 0.5$ 、 $\beta_T = 1.2$ と設定する。

その他のパラメータの設定の記述は割愛する。

4. 数値シミュレーション結果

(1) 都市1、2の面積同一、都市1に交通施設整備のケース(面積同一-1)

既存交通施設量に関するシミュレーション

$\bar{H}_1 = 50000$ 、 $\bar{H}_2 = 50000$ と設定し、都市1の既存交通施設量 s_1 以外のパラメータを固定し、 s_1 を0.5%大きくする交通施設整備のシミュレーションを行う。ただし、 $s_2 = 100000$ 、 $\alpha_p = 0.2$ で固定して s_1 を250000から280000まで変化させる。

図-1に都市1、2の合計の便益を示す。横軸は都市1の既存交通施設量 s_1 、縦軸は s_1 を0.5%大きくした時の便益を表す。

図-1のグラフは、都市1の既存交通施設量 s_1 の大きさにより領域1-①～領域1-④の4つの領域に分けることができる。領域1-①では便益の項目別の値をみると、時間節約便益が集積の経済を上回る。領域1-②では集積の経済が時間節約便益を上回る。ただし、領域

1-①および領域1-②では時間節約便益が正であり、都市1, 2の合計で交通所要時間は上昇しない。領域1-③では時間節約便益が負となり、都市1, 2の合計で交通所要時間が上昇する。しかし、領域1-③では便益の計は正であり、公共投資のパラドックスは発生していない。領域1-④では時間節約便益が負であり、都市1, 2の合計で交通所要時間が上昇し、さらに便益の計が負となり、公共投資のパラドックスが発生している。

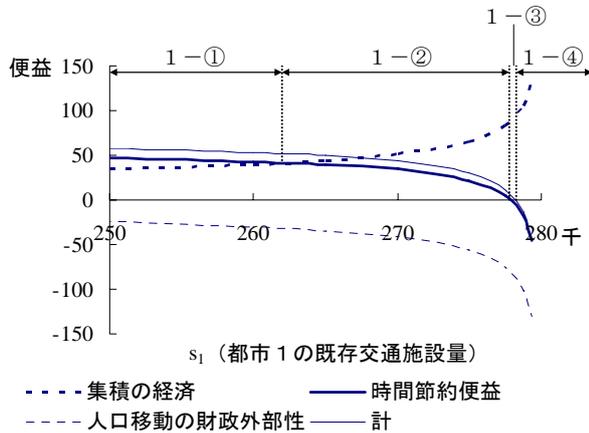


図-1 都市1, 2の合計の便益
(面積同一1 既存交通施設量に関するシミュレーション)

このような現象は、都市1の既存交通施設量 s_1 が大きくなり、都市1が一極集中状態になると、集積の経済による都市1, 2の生産性の格差から、都市1に交通施設整備を行う結果、都市2から都市1へ誘発交通による混雑悪化が発生する程の激しい人口移動が起こることにより起こる。誘発交通による混雑悪化により、都市1の時間節約便益が大きく負となると、公共投資のパラドックスが発生する。これが、誘発交通による混雑悪化や公共投資のパラドックスが発生するメカニズムである。

また、このような現象は、集積の経済に関するシミュレーションにおいて集積の経済を表すパラメータ α_p を大きくしても同様に生じる。以下、全ての条件設定において、集積の経済に関するシミュレーションでは既存交通施設量に関するシミュレーションと同じ傾向の現象が起こる。

(2) 都市1, 2の面積同一, 都市2に交通施設整備のケース (面積同一-2)

既存交通施設量に関するシミュレーション

$\bar{H}_1 = 50000$, $\bar{H}_2 = 50000$ と設定し、都市1の既存交通施設量 s_1 以外のパラメータを固定し、 s_2 を s_1 の0.5%分大きくするシミュレーションを行う。ただし、 $s_2 = 100000$, $\alpha_p = 0.2$ で固定して s_1 を250000から280000まで変化させる。すなわち、このシミュレーションは面積同一1の既存交通施設量に関するシミュレー

ションにおいて都市1に行う分の交通施設整備を、都市2に行うシミュレーションに相当する。

図-2に都市1, 2の合計の便益を示す。横軸は都市1の既存交通施設量 s_1 , 縦軸は s_2 を s_1 の0.5%分大きくした時の便益を表す。ただし、都市1に交通施設整備を行う場合の便益と比較するために、図-1に示した面積同一1の既存交通施設量に関するシミュレーションにおける都市1, 2の合計の便益の計を一点鎖線で再掲する。

図-2のグラフは、都市1の既存交通施設量 s_1 の大きさにより領域2-①と領域2-②の2つの領域に分けることができる。領域2-①では都市2に交通施設整備を行うよりも、都市1に交通施設整備を行う方が便益の計が大きい。領域2-②では都市1に交通施設整備を行うよりも、都市2に交通施設整備を行う方が便益の計が大きい。

領域1-④は、図-1に示した、都市1に交通施設整備を行うと都市1, 2の合計で交通所要時間が上昇し、さらに公共投資のパラドックスが発生する領域である。領域1-④では都市1に交通施設整備を行うと便益の計が負であるものの、都市2に交通施設整備を行う場合、図-2に示した全ての領域において時間節約便益および便益の計は正であり、都市1, 2の合計での交通所要時間の上昇や公共投資のパラドックスは発生していない。

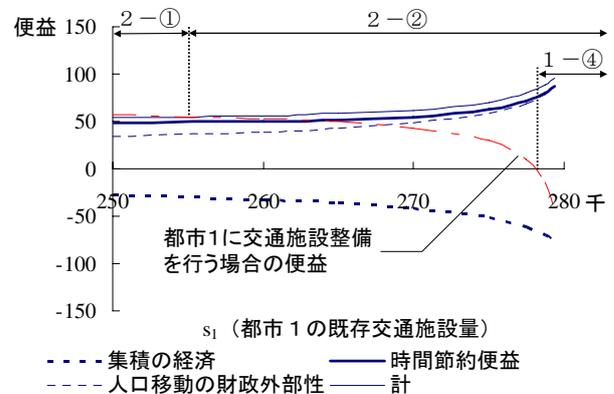


図-2 都市1, 2の合計の便益
(面積同一-2 既存交通施設量に関するシミュレーション)

(3) 都市1, 2の面積格差, 都市1に交通施設整備のケース (面積格差1)

既存交通施設量に関するシミュレーション

$\bar{H}_1 = 70000$, $\bar{H}_2 = 30000$ と設定し、都市1の既存交通施設量 s_1 以外のパラメータを固定し、 s_1 を0.5%大きくする交通施設整備のシミュレーションを行う。ただし、 $s_2 = 100000$, $\alpha_p = 0.2$ で固定して s_1 を60000から90000まで変化させる。

図-3に都市1, 2の合計の便益を示す。横軸は都市

1の既存交通施設量 s_1 ，縦軸は s_1 を0.5%大きくした時の便益を表す。

図-3のグラフは，都市1の既存交通施設量 s_1 の大きさにより図-1のグラフのように領域1'-①～領域1'-④の4つの領域に分けることができる。領域1'-①では便益の項目別の値をみると，時間節約便益が集積の経済を上回る。領域1'-②では集積の経済が時間節約便益を上回る。ただし，領域1'-①および領域1'-②では時間節約便益が正であり，都市1，2の合計で交通所要時間は上昇しない。領域1'-③では時間節約便益が正であり，都市1，2の合計で交通所要時間は上昇しないものの，便益の計が負となり，公共投資のパラドックスが発生している。領域1'-④では時間節約便益が負となり，都市1，2の合計で交通所要時間が上昇し，さらに便益の計が負であり，公共投資のパラドックスが発生している。

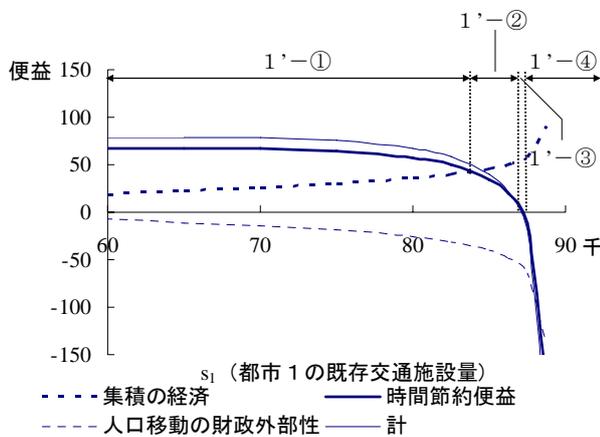


図-3 都市1，2の合計の便益

(面積格差1 既存交通施設量に関するシミュレーション)

このように，面積格差の場合は，面積同一の場合よりも都市1の既存交通施設量 s_1 が小さい領域において，面積同一の場合とほぼ同じ傾向の現象が起こることがわかる。

5. 結論

交通施設量が大きい，都市面積が大きい，集積の経済が大きい等の原因により一極集中状態になっている都市では，集積の経済による生産性の格差から交通施設整備を行う結果激しい人口移動が起こることにより，誘発交通による混雑悪化および公共投資のパラドックスが発生しやすい。一方，そのような状態では，ある都市が一極集中状態になることにより過疎になっている都市では交通施設整備の便益が大きい。すなわち，本研究の結論は，東京への一極集中に代表される中央集中型の都市整備で

はなく，「国土の均衡ある発展」という言葉で表される地方分散型の都市整備を行うことを効率性の観点からも推奨するものである。

また，全てのシミュレーションにおいて時間節約便益，すなわち現在の費用便益分析マニュアルで計測される便益と，本研究で用いた2都市の一般均衡モデルにおける便益の計には乖離があったことなどから，新たな便益評価手法を整備する必要がある。集積の経済と人口移動が存在する現実の都市では，ショートカット理論は使うことができず，一般均衡分析を使った便益評価が必要となる。

本研究では集積の経済を表すパラメータ α_p は0.15から0.20についてシミュレーションを行った。この値は，産業別生産関数を推計したNakamura(1985)⁶⁾が，本研究と同様の集積の経済を表す関数のパラメータとして0.00から0.07，文(1997)⁷⁾が0.01から0.22と推定していることを考慮すると，比較的大きい値であるといえる。しかし，集積の経済の大きさは人口規模等にも影響を受けるため，本研究における α_p の値が比較的大きいからといって，現実の経済では誘発交通による混雑悪化および公共投資のパラドックスが発生しない，ということはいえない。また，面積格差1，面積格差2の結果より，都市面積の格差が大きい場合は誘発交通による混雑悪化および公共投資のパラドックスがより発生しやすい。すなわち，都市面積の格差が大きい場合は， α_p が小さくても誘発交通による混雑悪化および公共投資のパラドックスは発生する。

参考文献

- 1) 上田孝行，谷下雅義，川口有一郎：立地均衡を考慮した国土整備に関する一考察，土木学会第45回年次学術講演会，IV，pp.562-563，1992。
- 2) 小池淳司：国土政策評価のための都市群モデルと便益帰着構成表，岐阜大学博士論文，1999。
- 3) Tatsuhiro Kono, Hisa Morisugi, Fumi Miyahara: Congestion Deterioration and Transportation Project Evaluation, Annals of Regional Science (in Press)
- 4) 松井寛，山田周治：道路交通センサスに基づくBPR関数の設定，交通工学，Vol.33，No.6，pp.9-16，1998。
- 5) 吉田禎雄，原田昇：均衡配分用BPR式のパラメータの推計，土木学会論文集，No.695，IV-54，pp.91-102，2002。
- 6) Nakamura, R.: Agglomeration Economies in Urban Manufacturing Industries: A Case of Japanese Cities, Journal of Urban Economics, Vol.17, No.1, pp.108-124, 1985.
- 7) 文世一：地域間人口配分からみた交通ネットワークの評価，東北建設協会 建設事業の技術開発に関する助成，助成番号95-06，1997。