

交通施設整備計画の難しさ

奥村 誠

(広島大学大学院工学研究科 助教授)

1. はじめに

国際競争の激化や長引く不況の影響により地方産業の空洞化や疲弊が深刻であり、多くの自治体で財政運営には予断を許さない状況にある。一方で国の財政も逼迫状況にあり、国から地方への権限と役割の再分配に見合うだけの十分な財源の委譲がなされるかどうか、不透明な情勢にある。国、地方ともに、民間にできる部分は極力民間に任せて、行財政のスリム化を図ることが重要な課題とされている。

今後の社会資本の整備に当たっても、PFI等の導入を促進して民間活力を積極的に活用することが求められており、国や地方が直接行うべき社会資本整備は、民間活力活用の基礎条件となる公共性の高い基礎的なものに限定されていくことになろう。

都市間の交通サービスは、それぞれの地域が人口や経済活動を維持し、発展させていくための基礎的な条件を提供するものであり、極めて公共性の高いものである。しかし現実には、鉄道および航空サービスは民間企業の手によって運営されており、高速道路網も民営化の方向に進みつつある。それでは、今後の都市間交通ネットワークの改良、維持、あるいは縮小の方針を、民間企業それぞれの利潤の追及という観点で決定した場合に、都市間交通サービスの効率化が達成され、望ましい国土構造が作り出せるのであろうか。

本稿は、交通政策にはいくつかのパラドックスが存在するため、直感的に正しいと思われる政策

が必ずしも効率的な結果をもたらさないことを示し、民間活力を活用するとしても、より広域的、長期的な「国土計画」の視点からの政策誘導が必要となることを述べる。具体的には、交通サービス網によって複数の都市が連結された「都市群システム」のモデルを用いたシミュレーション分析を行い、「都市間交通の局所的な効率性を重視した整備は、長期的に望ましい国土構造を作り出さない」ことを示す。そして、国土計画の観点から合理的に整備計画を立案するために、現時点において、われわれが手にしているツールを使ってどのように立ち向かっていくべきかについての私見を述べる。

2. 交通施設整備におけるパラドックス

(1) 2都市モデル

一般に都市の規模が大きくなれば、より遠くから通勤する必要が生じ、たとえ同じ地点に居住す

おくむら まこと 1962年京都府生まれ/京都大学大学院工学研究科交通土木工学専攻修士課程修了、博士(工学)/京都大学助手、講師を経て1995年より現職/主な著書に『知識社会と都市の発展』(共著、森北出版1999年)、『MPECにもとづく交通・地域政策分析』(分担、勁草書房2003年)、「複数経路を考慮した鉄道・航空ネットワークの評価」(『土木計画学研究論文集』2003年)、「交通データに基づく業務ネットワークと管理機能立地の比較」(『都市計画論文集』2003年)、「観測地価と詳細地理情報に基づく土地利用モデル」(『都市計画論文集』2002年)。

るにも、より高い地代を負担しなければならないため、効用水準は低下する。一方で、都市の人口規模が大きいほど商業などの産業活動は顧客を集めやすく有利となるし、労働者にとっても多様な就職先が存在して、各自の能力により適した収入の高い就職先が見つかる可能性が大きくなる。よって都市人口の増加に伴い所得は増加すると考えられる。

都市人口が小さいうちは人口増加の所得への影響が強いが、人口が多くなってくると通勤問題の深刻さが増してくるであろう。従ってある都市に居住し働くときの効用水準は、人口に対して始めは増加し、ある水準からは減少する逆U字型の関数になると考えられる。

いま、国土に2つの都市のみが存在するとしよう。1つの都市（東京と呼ぶ）は住宅地として使える土地が広く広がり、通勤鉄道も整備されているため、通勤問題は人口がかなり大きくなった時点で発生する（大きい人口に効用のピークがある）。他方の都市（広島と呼ぶ）は後背地が限られており通勤鉄道も貧弱なため、人口が少し多くなると通勤問題が卓越する（効用のピークが小さい人口で起こる）。

2都市間の人口の配分を図1のようなグラフを用いて分析しよう。横軸の幅を全人口に等しく描き、左端から東京の人口を取ると、そこから右端までの距離が広島の人口になる。縦軸に効用水準を取り、東京の効用の曲線を左から、広島の効用の曲線を右からプロットする。ある人口比からどのような人口移動が起こるかは、2つの曲線の上下関係に依存する。東京の曲線が広島より上にあれば人口は東京に移動し図上右方向に動く。逆に広島の曲線が上にあればその点から左方向に移動する。このような人口移動の結果、東京と広島の効用曲線の交点（均衡点）の位置に人口比が落ち着くこととなる。

グラフの交点の位置に着目すると、図1のようにどちらの都市の効用曲線もピークを越えて低下

図1 2都市モデルと均衡点

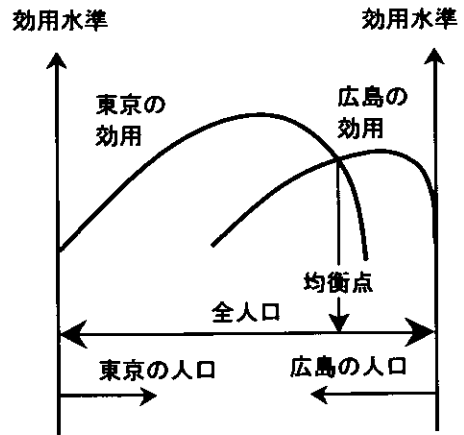
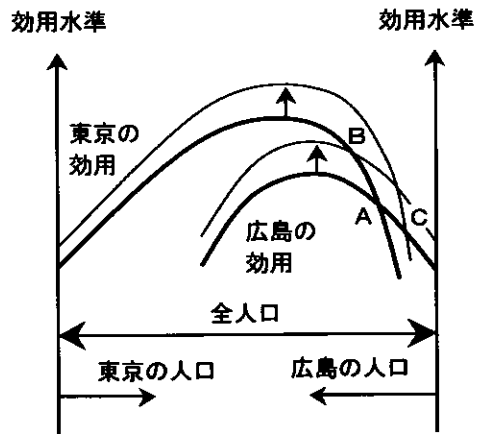


図2 2都市問題における効用のわな



し始めたところで交わる場合のほかに、図2のように東京の効用曲線はピークを越えて減少しているが、広島の曲線はまだピークに達しない段階で交わっている場合がある。以下では図2に示した後者のケースを考える。

(2) 効用のわな

都市において通勤交通のための施設整備が行われたとする。すると同じ人口規模では通勤問題が緩和されて効用は上昇するため、その都市の効用曲線は上方にシフトする。

まず広島で整備が行われたとする。この時、均

均衡点の位置は左上方に移動し、東京から広島への人口移動が発生する。新しい均衡点の効用水準は元の均衡点よりも高く、全員が便益を受ける (図2のAからBへの変化)。一方、東京で整備が行われた場合には、広島から東京への人口移動が起こり、均衡点は右下に動くため、新しい均衡点の効用水準は元の状態よりも低下する。すなわち、整備を行うことにより、かえって状況が悪化する (図2のAからCへの変化)。

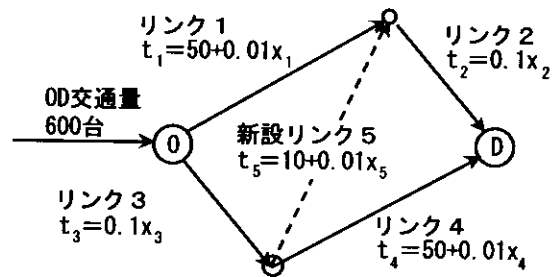
この現象は「効用のわなのパラドックス」と呼ばれるものであり、自動車と公共交通とが競合関係にあるときに自動車交通改善のための整備が全体の効用水準を低めてしまうという「ダウンズ・トマソンのパラドックス」(北村隆一編著[2001])と同じ構造を持っている。

(3) ネットワーク整備におけるパラドックス

交通ネットワークにおいては、個々の利用者は自分の選択し得るルート of 所要時間や費用を比較して、利用するルートを選択する。4本のリンクからなる図3のようなネットワークにおいては、リンク1とリンク2を通る経路とリンク3とリンク4を通る経路にはそれぞれ300台の交通量が流れ、OD間の所要時間はいずれの経路も83分となる。ここでサービスレベルの改善を目指して図3の破線のようなリンク5が整備されると、新たにリンク3、リンク5、リンク2を通る経路が選択可能となる。3つのルートの所要時間が等しいという均衡条件を解くと、それぞれのルートには200台ずつの交通量が流れ、OD間の所要時間は92分に伸びてしまう。このケースは「ブラッセのパラドックス」と呼ばれており(土木学会土木計画学研究委員会編[1998])、交通施設整備が必ずしもネットワーク全体の効率性を高めるとは限らないことを示している。

われわれが「社会資本整備」というとき、その社会資本の整備によって何らかの便益が発生することが前提となっている。ここで紹介した「効用

図3 Braessのパラドックス



(注) x_i, t_i はそれぞれリンク i の交通量と所要時間を表わす

(資料) 土木学会土木計画学研究委員会編 (1998)

のわな」や「ブラッセのパラドックス」が存在する場合には、便益を期待して局所的な交通施設の整備を行うことでかえって事前よりも状況を悪くしてしまうことが起こる。

3. ネットワーク整備シミュレーション

(1) 都市群モデル

高速旅客交通網が生産活動に必要な知識や情報の伝達に寄与することを表現するため、筆者らが以前に開発した都市群モデル(小林・奥村[1996])から、知識および資本の蓄積を簡略化したモデルを用いる。

本モデルでは以下のような仮定を置く。国民(総人口 N) はいずれかの都市の一定面積の区画に住居し、都市間の人口移動は自由である。各都市の雇用機会は CBD に集積し、人口 N_i は郊外の住宅地から混雑のない都市内交通手段(単位距離通勤費用 c) で通勤する。都市間の旅客交通 R_{ij} を通じて知識・情報が交換される。

家計の効用関数を合成財消費量で表す。地価により裁定がなされ、都市面積は人口に比例する条件から、都市 i の間接効用 V_i は所得 y_i と人口 N_i の関数となる。

$$V_i = y_i - c \left(\frac{N_i}{\pi} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 π は円周率である。

都市産業は労働力と知識を投入し次の集計的生産関数によりニューメラル財 Y_i を生産する。

$$Y_i = N_i^\alpha \left[\sum_j \left(\frac{R_{ij}}{N_j} \right)^\xi \right]^\gamma \quad (2)$$

ただし、 α, γ, ξ はパラメータである。

企業は生産額から賃金と都市間交通コストを差し引いた利潤を最大化する。その結果、都市間OD交通量 R_{ij} は、リンク交通コストを d_{ij} とすると、以下ようになる。

$$R_{ij} = \gamma \xi Y_i \frac{N_j d_{ij}^{\mu-1}}{\sum_k N_k d_{ik}^\mu} \quad (3)$$

ただし、 $\mu = \xi / (\xi - 1)$ である。

各都市ごとの土地の共有を仮定すると人口1人当たりの所得 y_i は次式で表わされる。

$$y_i = \alpha \frac{Y_i}{N_i} + \frac{1}{3} c \left(\frac{N_i}{\pi} \right)^{1/2} \quad (4)$$

人口移動に関する均衡条件は均衡効用 \bar{V} を用いて次式で与えられる。

$$\sum_i N_i = N, \quad (V_i - \bar{V}) N_i = 0 \quad (5)$$

以上の体系の外生変数は総人口 N と交通条件を表す政策変数の c, d_{ij} である。内生変数は $Y_i, y_i, R_{ij}, V_i, N_i$ および均衡効用水準の \bar{V} である。

ここで得られたOD交通量を費用最小の経路に配分する。同一費用の経路が複数ある場合には各経路に等分に配分する。これらを集計すればリンク交通量 X_{kl} が求まる。

(2) 投資リンクの決定ルール

ここでは、都市間交通網として鉄道をイメージ

し、各リンクにおいて線形改良や1線スルー化、信号設備の増強などの高速化プロジェクトが一律の費用で実施でき、その結果リンク交通コスト d_{kl} が0.8倍に変化する($d'_{kl} = 0.8d_{kl}$)と仮定する。ただしリンク交通コストは交通量 X_{kl} の影響を受けないと考える。

整備費用の負担方式として、①全国で一括負担、②リンク両端の都市で負担、③全国を4つに分割した地域ごとに負担、という3つの方式を考える。費用便益分析を簡便化するため、誘発交通量が現況交通量にほぼ比例すると見なし、次のような簡便な式で便益を算定する。

$$B = \sum_{kl} X_{kl} (d_{kl} - d'_{kl}) \quad (6)$$

整備費用の負担が一部の都市に限定されている場合には、当該リンクの交通量のうち、費用分担を行う都市群から発生する交通量のみを用いて(6)式を評価することとする。評価値が高い順に整備が行われると仮定する。

(3) シミュレーションの結果

図4のような28都市が84本のリンクで連結されている都市群システムを考える。モデルのパラメータ値は、 $\alpha = 0.7, \gamma = 0.5, \xi = 0.6, c = 0.3, N = 2800$ であり、整備によりリンクコストが $d_{kl} = 2.0$ から $d'_{kl} = 1.6$ に低下すると仮定する。

図4には、①全国的負担のもとでの28本のリンクの整備順序と、事前事後の人口分布を表している。首都圏内のリンクから整備が進み、首都圏の都市は人口増、他の地域の都市は人口減となる。首都圏以外の周辺地域内部に位置するリンクは整備されずに残っている。図5は3つの負担方式での整備順序を比較している。②リンク両端都市の負担のもとでは、既に改善がなされた都市間の整備が優先されるため、後半においては整備リンクの地域的な拡がり①よりも劣る結果となる。③地域ごとに負担が行われるケースとして、ここで

図4 28都市のシステムと28リンク整備前後の人口分布

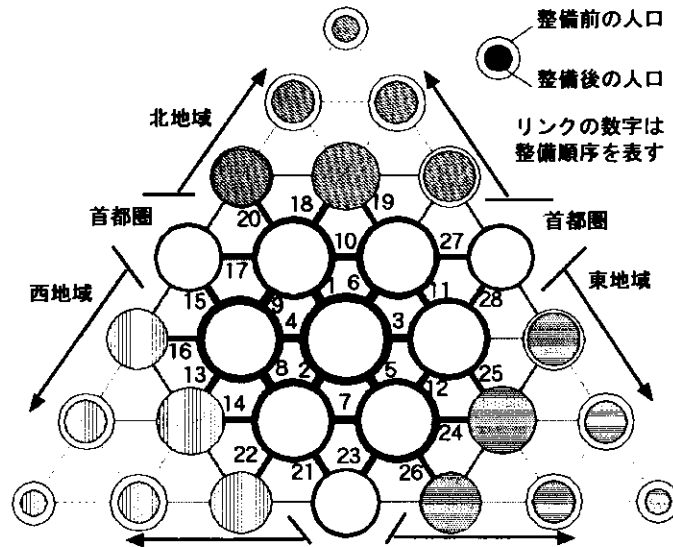
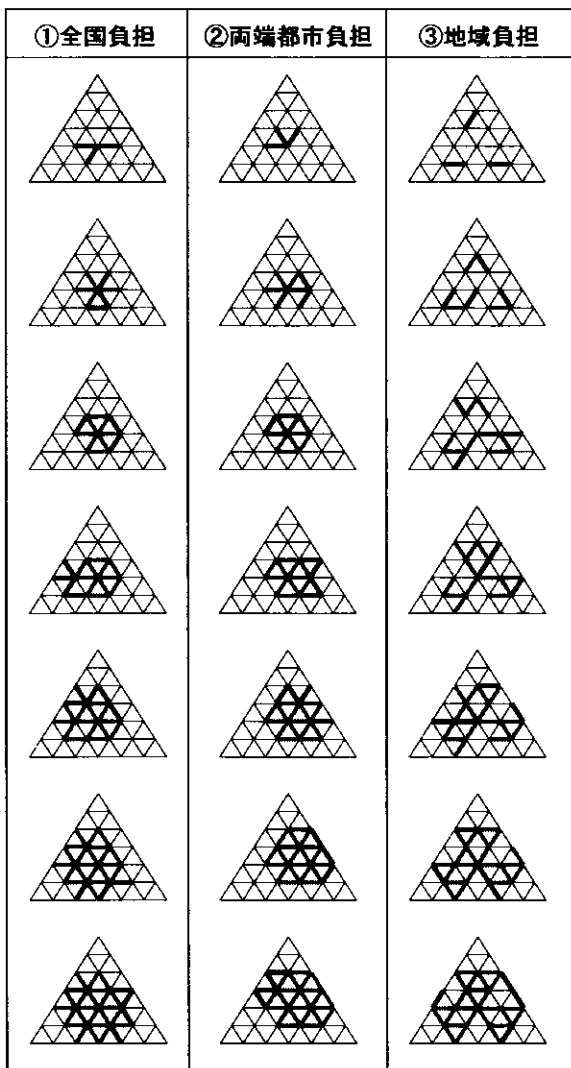


図5 3つの負担方式によるリンク整備順序



は首都圏、北地域、東地域、西地域の順に1リンクずつ整備することを7回繰り返した。結果として各地域と首都圏を結ぶリンクから整備が進み、各地域を外側で結ぶ路線の整備も進んでいるが、首都圏内の環状路が整備されずに残る。

図6は3つの方式における均衡効用水準の推移を比較している。①全国一括負担と②両端都市負担のケースの均衡効用水準が高く、③地域ごとの負担では首都圏以外のリンクの整備効果が小さいため均衡効用水準の伸びは低くなる。また3つの成長経路は交わらない。つまり当初効率的ではないリンクに先行投資を行うことによって、発展過程の後半にその果実が現れるという状況は発生していない。

このことから、交通コストが交通量に依存しないという単純なケースでは、国土の中でその時々で最も効率的と思われるリンクから順次改善をしていけば経済的な効率性は達成できる。仮に整備費用に限界があり途中段階で整備が中断したとしても、整備リンク数が同じ代替案の中で最大の整備便益が得られるから、近視眼的な計画でも十分であるように見える。さらに、②の両端都市負担のスキームでも、①とほぼ同様の成長経路が達成

図6 総効用水準の変化過程

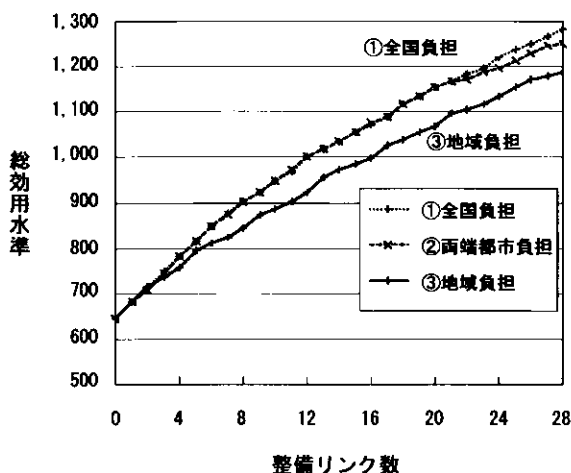
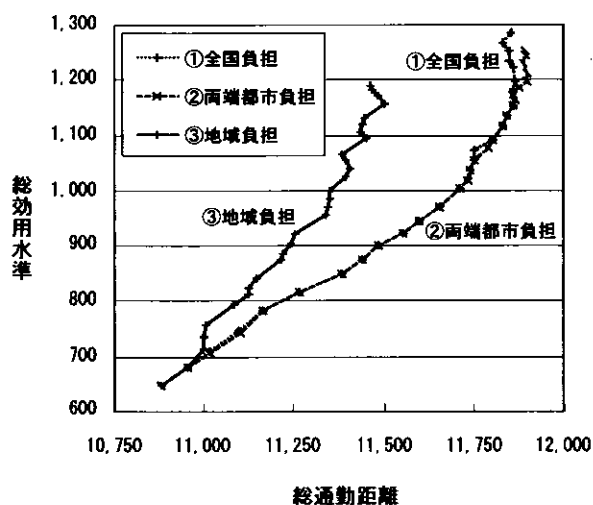


図7 総効用水準と総通勤距離の変化



できる。このことから、国土全体を考える広域的な計画主体も必要ではないことを示唆している。

(4) 経済便益と環境負荷とのトレード・オフ

通勤交通は都市間交通より自動車交通の分担率が高いことから、CO₂などの環境負荷量は総通勤距離との関係が強い。図7は、3つの方式の各整備段階での総通勤距離と総効用との関係を表している。これより両者には正の相関がみられ、より多くの経済便益を追求するためにはより多くの環境負荷が発生するというトレード・オフの関係があることが確認できる。しかし、3つの方式の間でトレード・オフの比率は異なる。ケース①②による首都圏集中型と比べると、ケース③の地方分散型のパターンは同じ環境負荷量でより高い効用水準を得ることができる。

もし経済的効率性と環境負荷の組み合わせについての順位付けが可能であれば、図7の上に無差別曲線群を重ねることができよう。環境負荷のウェイトが高い場合には無差別曲線は強い右上がりとなる。同一の整備リンク数で比較すると、先に経済的効率性を達成できるとしたケース①②の整備方式よりも、ケース③の整備方式の方が望ましいという結論になる。

4. 交通施設計画問題へのアプローチ

(1) 総合的な視点からの分析の必要性

これまでに紹介した事例を通じて、都市間交通施設整備では、直感的に有効でありそうに見える政策が必ずしも効率的な結果をもたらさないというパラドックスが潜んでおり、その計画の立案は一筋縄ではいかないことが分かった。このパラドックスは、複数の都市が相互に影響を及ぼし合っているという状況を一体のシステムとしてとらえることによって、初めて理解できるものである。従って交通事業主体の局所的、短期的な判断に任せることには問題があり、長期的、総合的な観点からの国土計画が重要であるといえる。(上田・松葉 [1996] 奥村誠ほか [1999])

(2) 最適計画の限界

ではわれわれは、このような総合的な検討を行うに十分な知識と能力を有しているであろうか。残念ながら、私の答えは否定的である。

前章で示したように、経済的な効率性という観点で見たときに望ましい整備案を明らかにすることは可能である。しかしその際に考慮されていなかった環境負荷という視点を加えた途端、それま

で最適と思われていた整備案には問題があり、別の整備過程の方が望ましいということが示された。このことは、国土計画をどのように立てていくべきかについて、重要な問題を投げかけている。

われわれの問題の把握能力や分析能力には限界があり、都市群システムの計画に関連する重要項目をすべて考慮して分析を行うことは事実上不可能である。相対的に重要度が低い項目には目をつぶって分析するしかない。ところが便宜的に無視していた要因を考慮に入れた途端に、それまでの答えとかなり異なるような答えが出てきてしまうのである。よって、都市群システムのような複雑なシステムに対して、最適な計画を立案することは不可能であると言わざるを得ない。

今後、全国的な人口減少が進む中で、都市間交通計画においては新たな施設整備ばかりでなく、既存の施設においてどの程度の頻度でサービスを提供していくのが重要な論点になってくる（榎元淳平ほか〔2003a〕）。この場合、公共交通機関の便数というサービスレベルは、利用客数が多いほど高くできるという関係にある。これは2章で紹介した2都市モデルにおいて、「効用のわな」のパラドックスがより発生しやすいような状況に対応する。都市間交通計画問題は、ますます難しい問題になってくると予想される（奥村誠ほか〔2002〕）。

(3) 漸進的なアプローチ

最適な計画の立案が不可能であるからといって、計画問題の分析をすべて放棄してしまうことは許されない。本稿で紹介したようなシミュレーションモデルなど、われわれが手にしているツールを可能な限り駆使して、都市群システムの本質的な挙動を理解する努力が必要であろう。その上で絶えずモデルと現実との整合性に注意を払い、見落とししていた要因が重大な影響をもたらしていないかどうかをチェックする必要がある。

これまで国土計画として、理想的な絵姿を提案

することはなされてきたが、現状を冷静に把握し、既定計画を事後評価することはできていないのが実情である。国土計画という複雑な問題に取り組んでいく上では、時々刻々と姿を変える地域の姿や都市間流動の実態を敏速に把握し、変化を見極めることが重要となる。

筆者らは近年、チケット販売データに基づくOD交通量の推定（榎元淳平ほか〔2003b〕）や、高速道路上の車両自動カウントデータの解析方法の研究（井上英彦ほか〔2003〕）を行っている。こうした研究成果が漸進的な交通計画の実用化に結びついていくことを期待している。

【参考文献】

- [1] 井上英彦・塚井誠人・奥村誠（2003）「カレンダー情報を利用した本四連絡橋日交通量の時系列分析」『土木計画学研究論文集』No. 20 pp. 843-848
- [2] 上田孝行・松葉保隆（1996）「都市群システムにおける構造の安定性と変化に関するモデル分析」『土木学会論文集』No. 542 IV-32 pp. 33-44
- [3] 奥村誠・トゥンチェル・メヒメット・アリ・小林潔司（1999）「都市群モデルによる大規模鉄道網整備便益の動学的分析」『都市計画論文集』No. 34 pp. 79-84
- [4] 奥村誠・中川大・山口勝弘・土屋和之・奥村泰宏・日野智・塚井誠人（2002）「都市間交通の分析と評価の課題」『土木計画学研究講演集』CD-ROM vol. 25 No. 803（スペシャルセッション）
- [5] 北村隆一編著（2001）『ポスト・モータリゼーション—21世紀の都市と交通戦略』学芸出版社 pp. 32-34
- [6] 小林潔司・奥村誠（1996）「高速交通体系が都市システムの発展に及ぼす影響に関する研究」『土木計画学研究・論文集』13号 pp. 57-66
- [7] 土木学会土木計画学研究委員会編（1998）『交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—』土木学会 pp. 47-49