

土地利用交通モデルを利用した 都市政策によるCO2削減効果の分析手法

紀伊 雅敦¹・秋元 圭吾²

¹正会員 香川大学准教授 工学部安全システム建設工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町221-20)
E-mail:kii@eng.kagawa-u.ac.jp

²非会員 (財)地球環境産業技術研究機構副主席研究員 システム研究グループ
(〒619-0292 京都府木津市木津川台9-2) E-mail: aki@rite.or.jp

本研究では、都市の活動主体の行動を明示的に考慮した土地利用交通モデルを構築し、仮想的な都市条件の下で、自動車交通課金、郊外開発規制といった2つの政策を例に適用し、交通起因のCO2排出量と持続可能性指標に与える長期的な影響を統合的に評価することを試みた。

その結果、2つの政策は家計、企業の立地、交通行動を変化させ、ともにCO2排出量を削減するが、世帯便益を低下させると推計された。すなわち、今回想定した条件下では、これらの政策によるCO2削減と世帯便益はトレードオフの関係にあることが示された。このケーススタディにより、土地利用交通モデルを用いることで、これまで、個別的あるいは定性的に検討されてきた都市政策のCO2削減効果と持続可能性への影響を、統合的、定量的に分析できる可能性が示された。

Key Words : *land use-transport model, carbon dioxide emission reduction, urban policy*

1. はじめに

地球温暖化緩和策として都市のコンパクト化とモーダルシフトが注目されており、その具体化が検討されている。これらは、世帯や企業の立地場所や利用交通機関の変更など、都市の活動主体の行動変化を通じて実現される。施設整備や規制、課金・補助といった都市政策は、都市条件を変更し、そこで活動する主体の行動変化を誘導する。その結果、CO2排出量は変化するが、同時に居住者の幸福度や生活の質といった持続可能性の要素も変化する。

生活の質を低下させる対策は、将来世代のニーズを損なうため持続可能とはいえない。したがって、緩和策としての都市政策の評価には、CO2削減効果とともに、持続可能性指標として人々の生活への影響も把握すべきである。

都市政策が人々の活動量や生活の質に与える影響を分析する手法の一つとして土地利用交通モデルがある。これは、世帯や企業といった都市活動主体の交通と立地に関わる行動原理を想定し、政策が活動主体の行動変化を通じてCO2排出を含む都市活動に与える影響を分析するとともに、想定する行動原理に照らして人々の幸福度や生活の質への影響把握をも試みるものである。

本研究では、都市政策がCO2削減と持続可能性に与える影響を評価するために、都市の活動主体の行動を明示した土地利用交通モデルを構築する。これを都市構造を単純化した仮想的な都市に適用して、コンパクト化策、モーダルシフト策の潜在的な効果、影響を試算する。以上により、都市の緩和策を複眼的に評価する方法論として、土地利用交通モデルの利用可能性を示すことが本研究の目的である。

2. 土地利用交通モデル

都市交通分析を精緻化するために、都市経済モデルと交通行動モデルを統合した土地利用交通モデルには多くの研究が見られる(レビュー論文として、Wegener¹⁾、宮本²⁾など)。例えば、Anas³⁾は交通課金や住宅政策などの都市政策を評価することを目的として、住民・企業の立地・交通行動を離散選択モデルにより表現した一般均衡モデルを構築している。モデルでは都市空間を数十のゾーンに分割し、床市場、労働市場、交通市場がすべてのゾーンで同時に均衡する多市場同時均衡状態を、政策の有無で比較し、各種政策効果を分析している。

本研究では、人口、経済水準等の異なる様々な都市について、都市政策によるCO2削減効果と持続可能性への

影響評価手法の構築を目的とする。その際、持続可能性については、所得、住宅面積、通勤時間など生活に関わる基礎的な指標を評価し、政策効果の発現メカニズムを合理的に説明できるようにした。このため、本研究の基本的なアプローチは土地利用交通モデルに依拠するが、企業の立地行動や建物の建設行動などを改良し、都市のCO2排出と持続可能性を詳細に分析できるようにした。具体的には、企業活動では生産要素として企業間取引を新たに導入し、その効率を都市内の全地点の労働投入量を用いたポテンシャルとして表現することで、企業集積の効果を考慮している。またデベロッパーによる建物の建設行動を想定し、床供給面積を内生化している。また、床市場のモデル化においては付値理論を用い、多市場同時均衡アプローチと比較して計算の省力化を図っている。なお、対象とする交通は旅客のみであり、交通機関は乗用車と鉄道を想定する。

各主体の活動と市場の連関の概略を図1に示す。図の矢印はサービスの対価として費用が生ずることを表し、受け渡される主要な変数を記載している。ある交通条件の下で都市経済モデルを解くとOD（Origin - destination）間の交通量が算定され、その交通量の下でネットワーク均衡モデルを解くとOD間の時間・費用が求められる。得られた時間・費用は都市経済モデルの交通条件となり、ここでは交通量と時間・費用を介して両モデルを交互に解くことで均衡状態を求めている。

3. 都市政策の影響分析

本稿では例として都心部での自動車交通課金と郊外開発規制を取り上げ、その影響を分析する。ここでは、一辺2kmのグリッドが東西南北に7つ並んだエリアに有業家計20万世帯、非有業家計10万世帯が居住する仮想的な都市を想定する。都市には道路網と鉄道網が存在すると仮定し、鉄道網は中心グリッドから東西南北方向に十字に供給され、道路網はすべてのグリッドを連絡しているが、中心部ほど道路交通容量が大きいと想定する。

なお、都市をグリッド型としているのは分析の便宜上に過ぎず、実都市での分析に際し、他のゾーンシステムの利用を妨げるものではない。また、道路や鉄道は簡略ネットワークを想定しており、混雑状況や機関分担状況を集約的に表現している。こうした想定は実際の都市条件と必ずしも一致しないが、中心部ほどインフラ整備水準が高く、また生活圏が他の都市とは独立した、宇都宮や松山といった地方中核市を想定した設定となっている。

道路網は乗用車のみ利用し、使用燃料はガソリンである。乗用車の燃費は速度と車両重量の関数で与え、速度はリンクごとに内生的に算定し、車両重量は12トンと設定する。また乗車率は1とし、人キロと台キロが等し

いと仮定する。

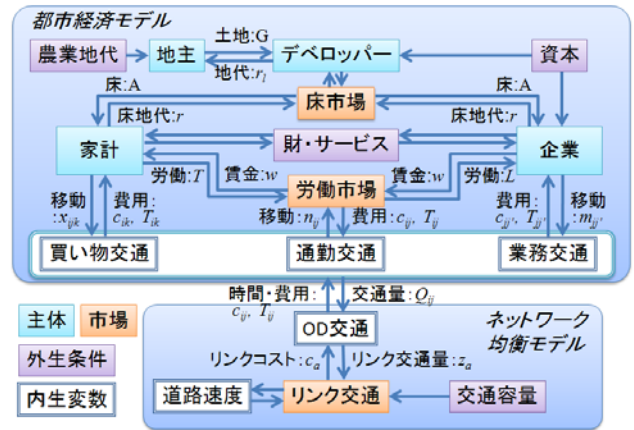


図1 活動主体と市場の連関

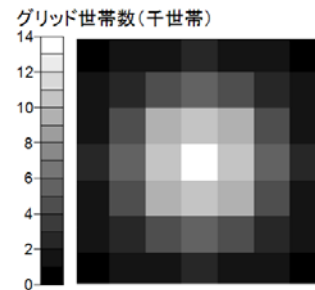


図2 基準条件における有業世帯分布

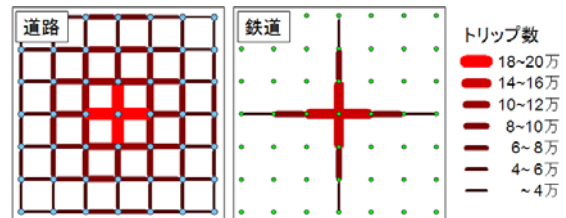


図3 基準条件におけるリンク交通量分布

鉄道については、運行距離は不変と仮定する。交通量の変化は乗車率にのみ影響し、運行に伴うエネルギー消費量は変化しないと想定する。

この条件のもとで、均衡状態の有業世帯分布および鉄道、道路のリンク交通量を図2、3に示す。世帯分布を見ると中心部の世帯数が最も多く、鉄道沿線での立地量が多くなっているが、それ以外のグリッドでも立地が生じている。業務立地も同様の傾向であり、立地量の多さを反映して、鉄道、道路ともに中心部の交通量が多くなっている。

この状態を基準として2つの政策の影響を試算する。政策影響は、他の条件を不変として交通分布、立地分布の変化がバランスする時点のものである。政策に対し、交通機関選択や経路選択等の交通行動は直ちに变化しう

るが、立地は通常、建物の建て替えを通じて徐々に変化する。このため、推計される政策影響は、実施してから大部分の建物が建て替わる30~40年後に実現しうる影響と解釈できる。

(1) 自動車交通課金の影響分析

自動車交通課金の効果・影響は、短期的には交通手段の変更にとどまるが、長期的には企業・世帯の立地を課金エリア外に誘導し、交通分布や地代等に幅広く及ぶ可能性がある。ここでは、後者の影響評価まで含めた分析を試みる。

自動車交通課金では、中心グリッドに接続する道路リンクに1回の通行あたり200円~1400円の通行料を課す場合を算定した。なお、1400円以上では当該リンクの通行車両はゼロになる。道路交通のCO2排出量(図4)は課金額に対して一貫して減少している。ただし、千円以上では減少幅は小さい。図5より、課金額が増加するに従い交通量が減少し、鉄道のシェアが増加している。ただし、千円以上では、課金されたリンクの交通量はごく小さくなるため、その変化はわずかとなっている。

一方、図6の便益を見ると課金額に対し減少している。ここで、便益は所得、住宅面積、非拘束時間(従業、移動以外の時間)で構成されており、現在のモデルは道路課金、および土地への支出額について、世帯、企業への還元を含めていない。

道路課金による料金収入は400円まで増加し、その額は便益減少額を大きく上回っている。もし、課金の徴収コストが十分安く、料金収入が適切に還元されれば、一定程度の課金は便益を改善する可能性が示唆される。これは混雑外部性が存在する場合の交通課金が社会厚生を改善しうることを示した交通経済学の研究成果と整合する⁴⁾。一方、課金額が千円以上では料金収入よりも便益減少額のほうが大きく、高すぎる課金は社会厚生を低下させる。

地代収入を見ると、課金額が600円までは増加している。これは課金を避けようと家計、企業の中心部の立地が増加し、地代が上昇することを反映している。一方、800円以上では、中心部のコストが高くなり周辺部に立地が移動するため、地代総額が減少している。

(2) 郊外開発規制の影響分析

郊外開発規制では、図2の都市の外周部から家計、企業の立地を規制する場合を分析する。開発可能面積は、規制がない場合約200km²であり、外周1グリッド分規制する場合は100km²、2グリッド分規制する場合は36km²である。

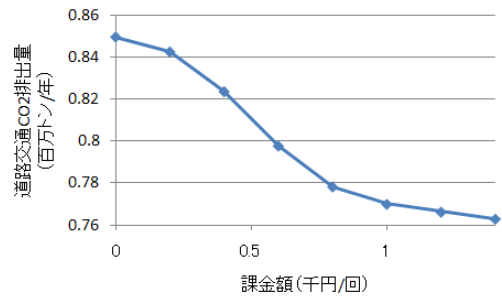


図4 道路課金に対するCO2排出量変化

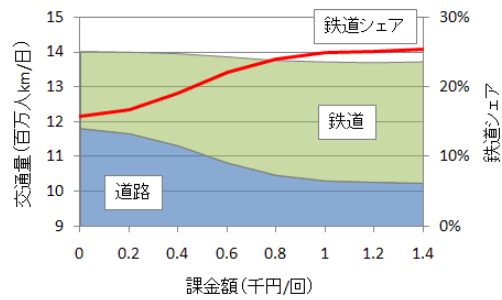


図5 道路課金に対する交通量変化

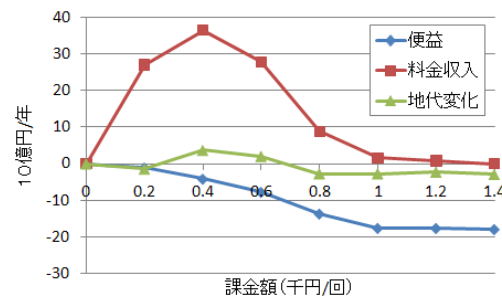


図6 道路課金に対する便益、料金収入、地代の変化

交通からのCO2排出量(図7)は開発可能面積に応じて減少している。特に、規制区域を外周2グリッドにする場合減少率が高い。図8の交通量変化をみると、総交通量が大きく減少するとともに、鉄道シェアが増加しており、両者が相まって排出量が大きく減少している。

図9の便益を見ると、特に2グリッド分規制する場合に大きく減少していることがわかる。開発可能面積が減少すると、本稿の想定では、土地の希少性が高まり家賃が上昇するため、平均住宅面積は減少することになる。また、家賃の上昇に伴い企業の生産コストが増加するため賃率は低下し、労働時間は増加する。便益の変化はこうした都市活動の構造を反映した結果となっている。

一方、土地地代の上昇は、地主の収入を増加させる。これは、地主と家計が異なる場合、政策により家計から地主への所得移転が生じることを意味する。推計された家計の便益低下の一部はこの所得移転によるものである。ただし、地代収入変化と便益の合計額を見ると、やはり開発可能面積に応じて減少しており、所得移転を考慮しても社会厚生が低下すると算定されている。

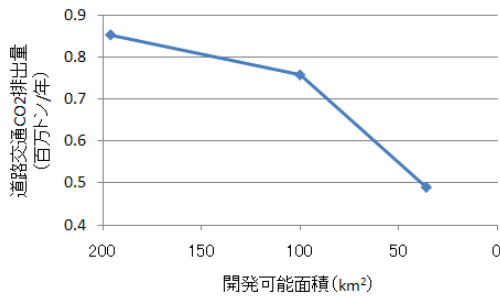


図7 開発区域面積に対するCO2排出量変化

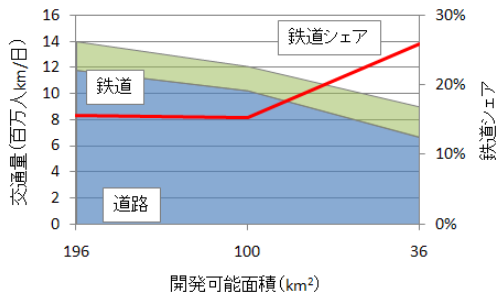


図8 開発区域面積に対する交通量変化

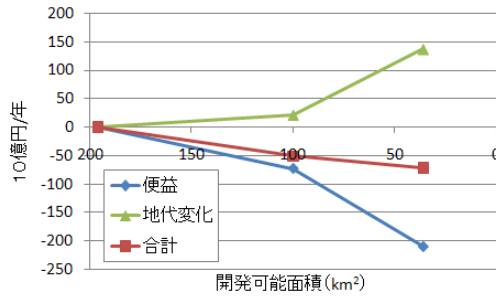


図9 開発区域面積に対する便益、地代の変化

4. まとめ

本研究では、家計、企業などの都市の活動主体の行動を明示的に考慮した土地利用交通モデルを構築し、これを仮想的な都市条件の下で、自動車交通課金、郊外開発規制といった2つの政策を例に適用し、交通起因のCO2排出量と持続可能性指標に与える長期的な影響を整合的に評価することを試みた。

その結果、2つの政策は家計、企業の立地、交通行動を変化させ、ともにCO2排出量を削減するが、世帯便益を低下させると推計された。すなわち、今回想定した条件とバウンダリの下では、これらの政策によるCO2削減と世帯便益はトレードオフの関係にあることが示された。このケーススタディにより、これまで、個別的あるいは定性的に検討されてきた都市政策のCO2削減効果と持続可能性への影響を、土地利用交通モデルを用いることで整合的、定量的に分析できる可能性が示された。

なお、本稿では、課金、規制といった都市活動に負荷

を課す政策のみ取り上げており、また課金収入の還元を考慮していないことから、便益が低下するのは当然の帰結と考えられる。環境負荷低減と便益向上の両立には、こうした政策と公共交通サービスの改善等といった都市機能の向上政策のポリシーミックスが必要であろう。

また、交通関連指標としてCO2排出量と機関別交通量、持続可能性指標として世帯便益といった集約的な指標のみを示したが、前者についてはリンク別の速度や交通量、後者についてはグリッド別の住宅面積や家賃、賃率の変化など、よりブレークダウンした指標を推計することも可能である。都市の温暖化緩和策は人々の生活に大きな影響を与えるものであり、幅広い主体を巻き込んだ合意形成に資するためには、政策代替案の効果影響を、実感を持って理解できるアウトカム指標が重要になる。本モデルが推計する各主体の活動に関わる指標群は、こうしたアウトカム評価においても活用しうると考えられる。

ただし、今回の結果は、あくまでも想定した都市条件と分析のバウンダリを前提としていることに留意が必要である。当然だが、都市人口が異なれば政策効果も異なる可能性がある。また、モデルパラメータの多くを日本全国の平均値で設定しているが、これは都市により異なる可能性もある。本稿では仮想的な都市を想定したが、現実都市への適用には、交通分布や立地量、経済活動量等といった、当該都市の各種活動データに基づくモデル調整が必要となる。

分析のバウンダリに関しては、本稿では公共交通サービスや道路インフラの供給量は固定し、また建物建設に伴うCO2排出も考慮していない。特に、郊外部の交通インフラやサービスの供給コストを考慮するならば、郊外開発規制はそのコストを低下させるため、社会厚生変化は正となる可能性がある。

今後は、より包括的な政策評価を行えるよう、分析のバウンダリを拡張するとともに、現実の都市を対象としたモデルの再現性の検証が必要である。

参考文献

- 1) Wegener, M.; Overview of land-use transportation models, The 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, (2003), 20-40.
- 2) 宮本和明, V. Vichiensan, 杉木直, 北詰恵一; 先進諸国における都市モデルの適用状況-土地利用モデルを中心として-, 土木計画学研究・講演集, 33, (2006), CD-ROM.
- 3) Anas, A. and R. Xu, Congestion, Land Use, and Job Dispersion: A General Equilibrium Model, Journal of Urban Economics, 45-3, (1999), 451-473.
- 4) 土井正幸, 坂下昇; 交通経済学, 東洋経済新報社, (2002).