

低炭素社会の実現のための土地利用と交通のコーディネーション

—ヴィジョンングモデルによる多核連携型都市構造の評価—

Land use for achievement of low carbon society and traffic coordination —Evaluation of decentralized-concentration urban structures by visioning model—

豊嶋以長**土井健司 ***伊藤由佳****

By Shigemichi TOYOSHIMA **・Kenji DOI ***・Yuka ITOU ****

1. はじめに

近年、低炭素社会への転換が求められる中、都市および交通の統合政策の重要性が指摘されている。環境制約に加え、人口減少に伴う財政制約等のもと、持続可能な都市を目指し、全国でコンパクトシティへの実現に向けた取り組みが行われている。香川県においては平成16年度に都市計画区域の拡大・再編と併せて線引き制度を廃止し、都市計画区域の再編や新たな土地利用規制の見直し（特定用途制限地域指定・風致地区指定・開発許可制度等）を行った。線引き廃止前に比べ、人口増加の重心が都市計画区域の内側にシフトしているが、農地転用および開発行為が線引き廃止後に旧市街地域に隣接する地域を中心に生じている。このことを受けて都市の拠点と骨格とを明示する都市構造ヴィジョンが平成19年度に都市計画区域マスタープランの中で記された。この都市構造ヴィジョンは広域拠点、地域拠点、コミュニティ拠点の三層の集約拠点を都市機能の集積度に応じて配置し、公共交通機関を主としたネットワークで有機的に連携した都市構造となっており、集約拠点およびコリドーの形成の考え方が時間軸に沿って描かれている。

今後の都市には、環境制約や資源制約の下で集約型の構造が求められる一方で、個々人の価値観変化や技術革新が生み出す新たなQoL ニーズへの対応が迫られる。これらマクロ・ミクロの要件を同時に満たすためには、多様な活動機会へのアクセシビリティの保証と、安全かつ環境負荷の小さなモビリティスタイルの選択が不可欠である¹⁾。これらの要素から要請される持続可能な都市交通の実現のための一つのソリューションとしてチェーン・モビリティ（連鎖交通環境）が挙げられている。

*キーワード：CO₂排出量削減・都市構造・モビリティ

** 正員、株式会社五星

(香川県三豊市高瀬町下勝間670-1, TEL 0875-72-4181)

*** 正員、工博、香川大学工学部

(香川県高松市林町2217-20, TEL 087-864-2165)

**** 学生員、名古屋大学大学院環境学研究所

(愛知県名古屋市千種区不老町, TEL 052-789-3452)

本研究では、こうしたチェーン・モビリティの形成を視野に置きながら、持続可能な土地利用・都市交通実現のためのヴィジョンングモデルを構築し、全国レベルおよび詳細な都市圏レベルで適用することを試みる。

2. 本研究の位置づけ

(1) 既往研究

都市構造と交通エネルギー消費に関する実証研究は数多く行われている。Newman and Kenworthy¹⁾ は世界の都市交通データを整備し、人口密度と一人あたりガソリン消費量との明確な負の相関を示し、コンパクトな都市構造がエネルギー需要を抑制するものとして多くの文献で引用されている。一方、都市の高密化は混雑を悪化させるため必ずしも環境負荷の削減に結びつかないとの指摘もある。谷口ら²⁾ は人口密度の上昇は一人あたりの交通エネルギー消費を減少させるが、単位面積あたりの消費量を増大させ局地環境負荷を悪化させる可能性を示している。国土交通省³⁾ は仮想的な都市構造と交通条件の下、一人当たり交通エネルギー消費は人口密度が高いほど低下するが、密度が高すぎるとエレベータ等、建物内移動のエネルギー増加が低下分を上回るとの結果を得ている。

一方、都市内の立地パターンや交通施設配置といった都市構造と交通エネルギー消費の関係については森本ら⁴⁾ の研究があるが、これらはモデル分析と実証を組み合わせたものであり、交通機関特性は簡略化されている。堀池ら⁵⁾ は乗用車のガソリン消費と都市特性の関係を家計調査、メッシュ統計より分析し、人口密度とエネルギー消費に負の関係があることを実証し、用途規制が自動車利用を抑制する可能性を示している。また、中井ら⁶⁾ は宇都宮を対象に都市のコンパクト化が民生、交通エネルギー消費を低減させるが、自動車依存度の低減にはそれほど寄与しない可能性を示している。

以上、多くの文献では都市構造のコンパクト化が交通エネルギー消費を低下させる傾向を示すが、一部の文献はその傾向を認めていない。コンパクト化が交通エネ

ルギー消費に与える影響は都市構造で異なり、人口密度と交通エネルギーのマクロな関係のみでは十分把握できないと考えられる。このため、都市内部の立地状況や交通状況より詳細な検討が必要であり、公共交通サービス供給のあり方も含めた検討が必要といえる。

上記の都市構造と交通エネルギーの関係は主に自動車のトリップ長変化に基づき分析されているが、コンパクトな都市では交通需要密度の高さから公共交通のサービス水準（以下、LOS）と機関分担率がともに高い傾向がある。温暖化対策として公共交通へのモーダルシフトの期待も大きいですが、コンパクト化はこれにも寄与する。ただし日本での公共交通CO₂排出原単位の低さは、主に高密度で効率的な地域の利用状況を反映しているとの指摘もある。大都市圏以外では自動車分担率が高いが、これは交通需要が低密度な地域では公共交通の採算性、LOSが低いことを反映している。こうした地域で公共交通の供給を強制的に増やしても、CO₂排出量は増加する可能性すらある。

これまで交通手段の役割分担と成立可能性を考察した研究は見られる。石田ら⁷⁾は交通機関の採算性を考慮した公共交通の成立可能領域の定量化を試み、都市圏の広さと都心での交通需要に対する交通手段別の成立可能領域を示し、公共交通への補助等が成立可能領域のギャップを埋める可能性を示している。しかし、成立可能性の推計では都市構造を大幅に簡略化しており、都市のコンパクト化の効果を分析する上では、現実の状況を十分反映しているとは言い難い。

(2) 本研究の位置づけ

都市のコンパクト化によるCO₂削減効果を計測するさまざまな研究が存在するが、従来研究ではコンパクト化に伴う交通機関毎のLOS変化の考慮が不十分と考えられる。また、CO₂排出削減に交通対策が効果を持ちうる地域条件の把握も重要であるが、それには全国の都市間で比較可能な分析が必要である。また交通手段選択や経路選択、あるいは立地行動を詳細に記述するモデルが用いられてきたが、データニーズが大きく、個別都市での適用にとどまっている。一方、全国を対象とした調査では、全国PTデータ等を用いた現況分析やマクロな効果分析にとどまる。そこで交通行動を簡略化しつつも都市圏毎の交通LOSを内生化した持続可能な土地利用・都市交通実現のためのビジョニングモデルの構築を本研究の位置づけとする。このモデルは、都市交通政策をめぐるステークホルダー間の合意形成を促す支援ツールとしての役割を果たすものである。

(3) 研究手法

効率性重視、公平性重視および環境重視というそれぞれの社会規範の追求が、ほかの規範の達成に及ぼす影

響をクロス・アセスメントできるかを探る。与えられた人口分布のもとで利潤最大化、利用者便益最大化およびCO₂排出量最小化という3つの都市交通戦略が利用者便益、CO₂排出量および事業者利潤に及ぼす影響を1kmグリッド単位で予測可能な土地利用・交通分析モデルを用いる。（図-1）まず全国269都市圏を対象に趨勢とコンパクト化を行った2種の都市構造シナリオのもとで全国分析を行い、その後、香川県を対象として都市構造の段階を想定した5種の都市構造シナリオのもとで高松都市圏、中讃地域、西讃地域の3圏域で詳細分析を行うものとする。

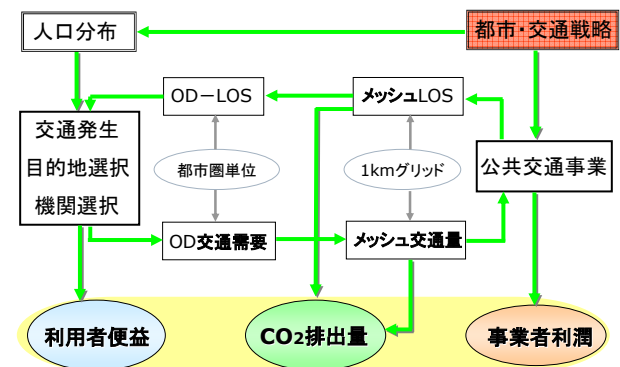


図-1 土地利用・交通分析モデル

3. ヴィジョニングモデルの構築

(1) ヴィジョニングモデルの概念

持続可能性の経済・社会・環境に関する基礎的観点から事業者・利用者・政府の三者のアクターを定義した上、政策規範を想定し、それを次の3つの戦略目標として表現する。

- ① 公共交通に関わる事業者利潤の最大化 (PM)
- ② 利用者便益と事業者利潤の和の最大化 (NBM)
- ③ 都市交通起源のCO₂排出量の最小化 (CO₂)

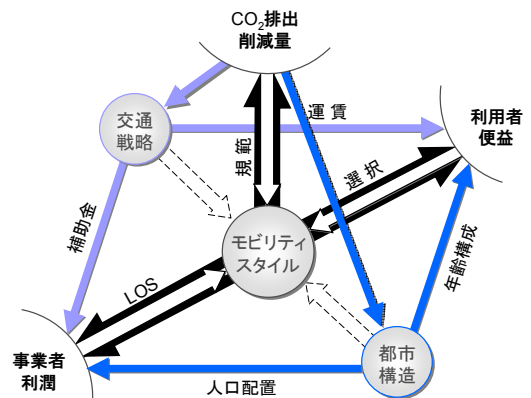


図-2 ヴィジョニングモデルの概念フレーム

図-2 は上記の戦略目標の相互関係を表わし、ビジョニングモデルの概念フレームを示している。3つの主

体を、それぞれの価値規範の尺度である利潤、便益、CO₂ 排出量に置き換え、さらに各価値規範の追求が他の規範の達成に及ぼす影響をクロス・アセスメントするという視方向を加えている。

(2) モデルの定式化と都市構造シナリオの設定

公共交通に関する戦略分析のためには、交通の LOS や人口配置を詳細な空間情報として表現できるモデルが必要となる。そこで本研究では、メッシュを空間単位とするモデルを構築することとし、事業者の利潤、利用者的一般化費用および CO₂ 排出量を定式化する。モデル化に際しては、まず以下のような仮定を置いた。

- ① 運賃、補助金等の交通政策変数、および人口配置、インフラ条件等の都市構造は外生的に与えられる。
- ② メッシュ内での公共交通および乗用車の走行速度は固定されている。
- ③ 都市圏内の鉄道およびバスは同一の事業者によって運行される。
- ④ 事業者の運賃収入は乗客の人キロに比例し、運行費用は運行距離に依存する。
- ⑤ 交通機関別の CO₂ 排出源単位 (gCO₂/km) は乗車人員によらず台(車両)キロで一定である。

また都市構造のシナリオの設定として将来人口は国立人口問題研究所の 2030 年の年齢階層別推計値を用い、市町村内の人口分布をメッシュ人口分布で表し、①趨勢のまま推移する場合と②コンパクト化が進む場合の 2 つのシナリオを設定する。

(3) 全国を対象とした分析結果の概要

全国の 269 都市圏を対象とした、3 種の交通戦略目標と 2 種の都市構造シナリオの下で達成しうる交通事業利潤、利用者便益および CO₂ 排出量を推計した。その結果は以下のように要約される。

- ① 利潤最大化戦略は CO₂ 排出量の削減に寄与するが、利用者便益を低下させる。
- ② CO₂ 戦略は公共交通事業収支の改善および利用者便益の若干の向上に寄与しうる。
- ③ コンパクト化は CO₂ 排出量の削減に寄与するが、利用者便益を低下させる。

なお、コンパクト化の効果は都市条件で異なり、多くの地方都市では CO₂ 最小化戦略をとると利用者便益が低下するが、コンパクト化はその負の影響を緩和する効果があることが示された。全国分析の結果については、文献 8) を参照されたい。

4. 地方都市圏を対象としたモデル分析

(1) 都市構造シナリオの設定

香川県においては、平成 19 年度に多核連携型の都市

構造を柱とする都市計画区域マスタープランを策定している。ここでは、県下の 3 つの都市圏を対象として、マスタープラン策定時に考慮された以下の都市構造シナリオについて、その効果を分析するものとする。

- ① 趨勢型 ……現在の都市構造
- ② コリドー型(1) ……非コリドーエリアからコリドーエリアへ 10% の人口配置
- ③ コリドー型(2) ……非コリドーエリアからコリドーエリアへ 20% の人口配置
- ④ 多核連携型(1) ……三層の集約拠点 (40 エリア) 内に人口を再配置
- ⑤ 多核連携型(2) ……人口高密度地域 (10 人/ha) に人口を再配置

① 趨勢型、⑤ 多核連携型(2) は全国分析同様の都市構造シナリオの設定である。都市構造のシナリオは趨勢型や現在の人口密度の高い地域に全人口を集中させるものだけでは当然ない。そこで、香川県の詳細分析では多核連携型(1)、コリドー型(1)、コリドー型(2) を加え、この 5 パターンで詳細分析を行うこととする。

多核連携型(1)、コリドー型(1)、コリドー型(2) は、現在の 2 次元的な面的広がりから公共交通を軸とする 1 次元的な集約であるコリドー、点をつなぐ線的な集約の集約拠点への時間軸を有する拠点の形成のそれぞれの段階であると考えられる都市構造シナリオを設定した。具体的には、多核連携型(1) は三層の集約拠点 (40 エリア) にその都市圏の全人口を集中させることとし、コリドー型(1)、コリドー型(2) は三層の集約拠点に公共交通を軸として、都市機能が帯状、回廊状に配置された都市構造でその都市圏のコリドー以外のエリア人口の 10% あるいは 20% をコリドーエリアへ再配置させることとする。

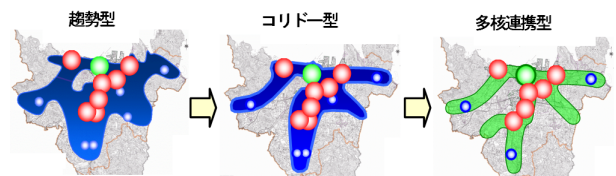


図-3 香川県の都市構造シナリオ

(2) モデル分析の結果

香川県の詳細分析のクロス・アセスメントの結果は全国分析のそれとほぼ同じ傾向を示した。しかし、高松都市圏と中讃地域の利潤最大化戦略では CO₂ 排出削減量、利用者便益ともに効果が見込めないことがわかり、既存の公共交通のネットワークでは改善は図れないことが伺える。つまり交通ネットワークの変更や新たな交通ネットワークの形成が必要である。都市構造シナリオに関しては 3 圏域とも集約拠点に全人口を集中させる人口配置の場合 (④ 多核連携型 (1)) に最も効果があり、表-1 に示す改善効果が得られることが捉えられた。

表-1 都市構造シナリオ別・交通戦略目標別の
アウトカムの整理（趨勢型 BAU 比）

		CO2排出削減量		利用者便益改善		事業者収支改善	
		改善率 (%)	千ton	改善率 (%)	10億円	改善率 (%)	百万円
趨勢型	BAU		38.50		31.92		-643.54
	NBM	-11.46	34.09	18.92	37.96	-273.93	-1762.89
	PM	-40.74	22.81	-111.58	-3.70	29.06	-456.56
	CO2	2.69	39.54	-5.78	30.08	76.02	-154.29
コリド一型 (1)	BAU	10.63	42.59	3.41	33.01	25.79	-477.58
	NBM	-40.38	22.95	59.01	50.76	-852.09	-5483.57
	PM	-32.61	29.95	-112.14	-3.87	27.98	-463.49
	CO2	13.05	43.52	-2.05	31.27	94.80	-34.78
コリド一型 (2)	BAU	6.91	41.16	-1.96	31.29	33.88	-425.54
	NBM	-19.19	31.11	33.31	42.56	-468.80	-3016.94
	PM	-37.53	24.05	-119.45	-6.21	31.95	-437.91
	CO2	9.33	42.09	-7.11	29.65	101.99	12.78
多核連携型 (1)	BAU	28.59	49.51	-8.16	29.00	142.34	272.50
	NBM	-2.55	34.96	28.49	41.02	-558.52	-3594.34
	PM	19.01	45.82	-127.96	-8.93	212.81	725.96
	CO2	47.24	56.69	-2.66	31.07	284.06	1184.49
多核連携型 (2)	BAU	25.63	48.37	-9.16	29.00	40.41	-383.51
	NBM	9.64	38.87	28.49	41.02	-440.03	-2831.76
	PM	-19.45	31.01	-127.96	-8.93	33.33	-429.08
	CO2	32.21	50.90	-2.66	31.07	99.48	-3.32

5. おわりに

(1) 研究の成果

本研究では都市交通に関する戦略代替案を俯瞰的視点から相互比較し政策統合の方向性を検討するヴィジョンモデルを構築し、全国の都市圏を対象に3つの価値規範に基づく都市交通戦略ならびに都市のコンパクト化が交通事業利潤、利用者便益、CO₂排出量に与える影響とその地域差の分析を行った。その後、香川県を対象にした詳細分析を行った。全国の分析結果より、交通事業利潤の向上とCO₂削減は両立しうるものであり、その実現のための複合戦略が望まれるが、戦略の取り方により利用者便益が改善も悪化もする。その原因はコンパクト化がアウトカムに与える影響には地域差が存在するためである。アウトカムの地域差については、CO₂最小化戦略に着目した分析を行い、1)この戦略は大都市でCO₂削減と便益向上を両立させるが、地方都市では両立させにくい、2)コンパクト化は地方都市のCO₂削減と便益向上の両立可能性を高める、3)交通インフラ条件等固定の下では、大都市のコンパクト化は交通量の削減やモーダルシフトを必ずしも促進するとは限らず、CO₂排出削減、便益向上に負の影響をもたらす可能性がある、などの知見を得た。

香川県を対象とした分析においても全国分析とほぼ同様な結果が得られ、CO₂最小化戦略が公共交通事業収支、利用者便益ともに改善させ、コンパクト化がはかれることが示された。5つの都市構造シナリオの比較結果から、比較的ゆるやかなコンパクト化シナリオである多核連携型(1)が三種の交通戦略目標をバランスよく向上させる

都市構造であることが確認された。また、高松都市圏と中讃地域では既存の公共交通ではCO₂排出削減量、利用者便益ともに効果が見込めないことがわかり、公共交通ネットワークの再編および公共交通と自家用車、自転車などの個別交通手段を効率的につなぐチェーン・モビリティの形成が求められることが示された。

ヴィジョンモデルの活用により、3つの価値規範は必ずしも相克するものではないこと、またCO₂排出削減については地域の特性を活かした都市・交通戦略がより大きなCO₂削減効果と便益向上効果をもたらすことがわかった。

(2) 今後の課題

本研究ではモデルの操作変数を公共交通の頻度のみとしており、運賃、補助金などの交通政策変数、および人口配置、インフラ条件等の都市構造は外生的に与えている。今後は、これらの交通政策変数の内生化および土地利用と交通の相互作用を考慮した分析手法の開発への拡張が望まれる。また LRT の導入など新たな交通手段の効果分析についても今後実施する予定である。

参考文献

- 1) Newman, P. W. G. and J. R. Kenworthy: *Cities and Automobile Dependence, A Source Book*, Gower Technical, 1989.
- 2) 谷口守, 村川威臣, 森田哲夫: 個人行動データを用いた都市特性と自動車利用量の関連分析, 都市計画論文, No. 34, pp. 967-972, 1999.
- 3) 国土交通省都市地域整備局都市計画課都市交通調査室, 岡建雄, 鳥栖那智夫: コンパクトな市街地構造とエネルギー負荷の関係について, 交通工学, vol. 37, pp. 35-42, 2002.
- 4) 森本章倫, 小池弘隆: 都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究, 都市計画学会学術研究論文集, pp. 685-690, 1995.
- 5) 堀池泰三, 那須幸一, 中村隆司: 一般世帯の自動車ガソリン消費の都市による違いをもたらす土地利用の面から見た要因の分析, 土木学会第54回年次学術講演会, pp.164-165, 1999.
- 6) 中井秀信, 森本章倫: コンパクトシティ政策が民生・交通部門のエネルギー消費量に与える影響に関する研究, 土木学会論文集D, Vol.64, No.1, pp.1-10, 2008.
- 7) 石田東生, 谷口守, 鈴木勉, 古屋秀樹: 交通手段の成立可能領域と有利地域に着目した交通政策の有効性の分析, 運輸政策研究, Vol.2, No.1, pp.14-25, 1999.
- 8) 紀伊雅敦, 鈴木徹也, 谷下雅義, 土井健司: 人口減少下で持続可能な都市交通に関するヴィジョンモデルの試み, 土木学会論文集 (投稿中)