

バックキャスティングからみた交通環境にやさしい都市構造に関する研究*

A Study on the Urban Structure for Environmental Sustainable Transport Using Back Casting Method *

丸山健太**・森本章倫***・中井秀信****

By Kenta MARUYAMA**・Akinori MORIMOTO***・Hidenobu NAKAI****

1. はじめに

(1) 背景・目的

近年、人類の活動範囲や規模の拡大に伴い、気候変動や砂漠化等の地球環境問題が顕在化している。これらの地球環境問題に対し、これまでにいくつもの国際環境条約や国際的枠組が発効されている。特に、地球温暖化に関する条約として、1992年の地球環境サミットでは、温室効果ガス濃度を安定化させることを目的として気候変動枠組条約が採択された。さらに、この条約の排出削減約束を強化するため、1997年に開催された第3回締約国会議において京都議定書が採択され、先進国および市場経済移行国が温室効果ガスの排出量を2008～2012年に1990年の水準から最低5%削減する数値目標が課せられた。なお、先進国である我が国においては、1990年比の6%を削減することが定められている。

しかし、近年では京都議定書の削減目標を達成しても、温暖化の防止は困難であるとの見解もあり¹⁾、そのため、世界全体の温室効果ガスの排出量を2050年までに1990年比の50%以上を削減する必要があるとされている。なお、日本では60～80%の削減が必要であると考えられている。

そこで、京都議定書の様な現在の社会情勢から達成できることを定めるフォアキャスティングから、地球温暖化を防ぐにはどうすべきかを議論するバックキャスティングという考え方が環境問題解決の重要なテーマになりつつある。つまり、将来あるべき都市像を定め、その姿に近づくために現時点で何をしなくてはならないかを考え実施することが重要となっている。

それらを踏まえ、本研究では宇都宮都市圏を対象に、バックキャスティングの観点から2050年までにCO₂排出量を、1990年比の60%削減することのできる都市構

造について検討することを目的とする。削減対策として、土地利用規制や誘導によるコンパクトな市街地形成や公共交通網の充実などを総合的に検討し、2050年の都市のあるべき姿について提案を行う。

(2) 研究の位置付け

これまでに環境負荷低減に関する研究は数多くされてきた。その中でも、本研究のキーワードとなっている“都市構造”、“バックキャスティング”に関するものを以下にまとめる。

都市構造と交通施策に関するものとして、森本ら²⁾は都市構造と都市施策との関連性に着目し、モーダルシフトやトリップ長の減少といった施策が輸送エネルギーの減少に与える影響を推計している。その結果、公共交通促進や職住近接施策は、都市構造によって異なる政策効果が生じることを提言している。また、小島ら³⁾は仙台都市圏を対象に環境負荷の少ない都市構造と交通施策について分析しており、その中で、趨勢型・都心居住型・副都心型の3つの都市構造を想定しCO₂排出量を算出している。その結果、趨勢型を都心居住型に誘導することでCO₂排出量の削減が期待できるが、副都心型に誘導すると逆にCO₂排出量を増大させることを明らかにしている。以上のことから、コンパクトな都市構造や公共交通網の充実が環境負荷を低減するが、バックキャスティングの考え方は考慮されていないため、現時点でどのような取り組みを行うべきか明らかになっていない。

また、バックキャスティングの手法を用いた研究として、2004年から国立環境研究所などによりスタートした「脱温暖化2050プロジェクト」¹⁾がある。このプロジェクトは、エネルギーに依存した現状の社会インフラを変更するための制度変革、技術開発等に関してバックキャスティングによる環境基準の実現可能性を分析している。これまでに、人口減少や合理的なエネルギー利用等によりCO₂削減が可能であると推定しているが、各都市における取り組みや居住者のライフスタイルについては具体化されていない。

以上のことから、本研究では宇都宮都市圏を対象とし、CO₂削減効果の高い都市構造に関してバックキャス

*キーワード：地球環境問題

**正員、工修、株式会社復建技術コンサルタント 交通計画部
(宮城県仙台市青葉区錦町一丁目7番地25号、
TEL 022-217-2025、FAX 022-217-2036)

***正員、工博、宇都宮大学 工学部 建設学科
(栃木県宇都宮市陽東七丁目1番2号、
TEL/FAX 028-689-6224)

****正員、工修、東京電力株式会社 建設部

ディングの視点から分析を行う。具体的には、2050年の将来像として数通りのシナリオを想定し、各シナリオにおけるCO₂排出量を推計する。そして、それぞれを1990年次のCO₂排出量と比較することで、削減量が60%を満たすのかを確認する。なお、満たしていない場合は、削減量が60%を達するまで、バックキャストシナリオの条件を再設定する。

2. 研究概要

(1) 対象エリア・使用データ

本研究では、宇都宮都市圏を研究対象とし、パーソントリップ調査において用いられている計画基本ゾーン（圏域内全84ゾーン）をベースとして分析を行う。また、対象とする道路網は、宇都宮都市圏に敷設されている高速自動車国道、一般国道、主要地方道、一般県道とし、鉄道網は、JRの4路線、東武鉄道の4路線、真岡鐵道1路線を対象にした。LRTについては、導入の検討がされている図-1に示す全長15kmのルートとした。なお、本研究では第2回宇都宮都市圏パーソントリップ調査データ(1992)を使用し将来交通量の推計を行う。

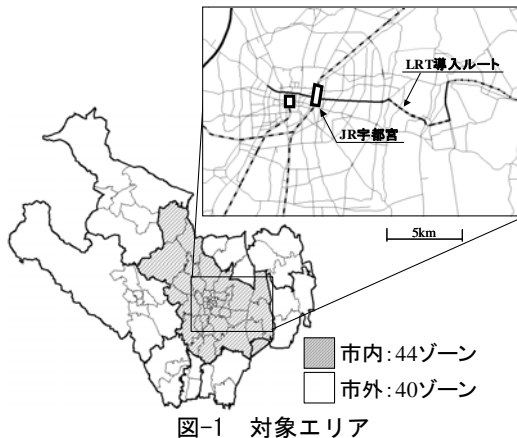


図-1 対象エリア

(2) シナリオの設定

宇都宮都市圏の2050年のあるべき姿として、趨勢型、都心居住型、TOD（公共交通指向型開発）型の3通りのシナリオを設定し、それぞれのシナリオについてCO₂排出量を算出する。趨勢型は、現在の都市形態を2050年においても維持した形態である。このシナリオは、土地利用規制や交通施策を実施しないため、CO₂排出量の大幅な減少は期待できない。よって、このシナリオは、他の2つのシナリオを行う際の目安とする。都心居住型については、都心部に住宅床面積を集約させることでトリップ長を減少させCO₂の削減を図る。また、TOD型はLRTを整備し、且つTOD圏内に住宅床面積を集約させることで自動車からLRTへのモーダルシフトを促

しCO₂の削減を図る。

(3) CO₂排出原単位について

自動車のCO₂排出原単位は、基本的にガソリン車の値を使用する。なお、走行速度による変化を捉えるため大城ら⁴⁾の算出したCO₂排出係数を使用する。推計式を式(1)に示す。また、今後、低公害車が広く普及することも考慮し、2050年次の低公害車の普及率を推計した。その結果、低公害車の普及率が約75%となったため、それらについては、低公害車の排出原単位を使用する。なお、低公害車の排出原単位は環境白書⁵⁾より一律に、ガソリン車の3割減の値と仮定した。また、バスや鉄道、LRTなどの公共交通のCO₂排出原単位については、国土交通白書⁶⁾に記載の値を使用した。

$$EF = b_1 \frac{1}{v} + b_2 v + b_3 v^2 + b_0 \begin{cases} EF: \text{CO}_2 \text{ 排出原単位 (g-CO}_2/\text{km)} \\ v: \text{平均旅行速度 (km/h)} \\ b_n: \text{パラメータ} \end{cases} \quad (1)$$

3. 将来予測モデルの構築

(1) ゾーン別将来人口の推計

将来の人口に大幅な変化がないと仮定し、トレンド型モデルを基本として人口予測をする。予測方法は表-1に示す3種類とし、各ゾーンの将来人口を推計する。そして、最終的には、推定年次の宇都宮市全体の人口をコントロールトータルし、宇都宮市内44ゾーンの推定結果の合計に一致させている。

表-1 予測方法の分類

人口増加率：A (%)	予測方法	予測式	ゾーン数
A ≥ 5	ロジスティック曲線法	$y = \frac{\gamma}{1 + e^{-\alpha - \beta x}}$	7
-10 < A < 5	線形近似法	$y = f(t) + c$	36
A ≤ -10	累乗近似法	$y = \{f(t)\}^n$	1

以上の予測式から得られた2050年のゾーン別人口を用い、1990年から60年間の人口増加率を図-2に示す。

市全体の人口が2015年をピークに減少傾向にあるため、減少したゾーンが多くを占めている。また、中心部での人口減少が顕著に表

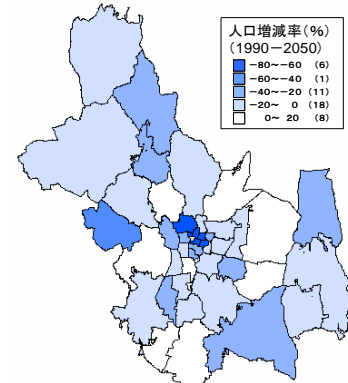


図-2 ゾーン別人口増減率

われている。これは中心市街地の衰退化の影響が大きいと考えられる。

(2) 将来交通量の推計

本研究では、基本的に四段階推定法を用いて、交通需

要予測を行う。まず、成長率法により発生集中交通量を推計し、続いて、現在パターン法の平均成長率法を用いて分布交通量を推計する。なお、成長率は前節で推計したゾーン別の2050年の将来人口と1990年の人口の比を使用する。

続いて、交通機関分担率の予測には交通機関の効用差を考えた集計ロジックモデル・バイナリーチョイス型を用いる。推計式を(2)に示す。バイナリーチョイスの分割の設定に関しては、最も推計精度が高いケースを採用した。図-3に推計パターンとその精度を示す。また交通機関の効用を表-2に、自動車の効用を表-3に示す。

$$P_m = \frac{\exp(Z_m)}{\exp(Z_m) + \exp(Z_c)} = \frac{1}{1 + \exp(Z_c - Z_m)} \quad \left\{ \begin{array}{l} P: \text{選択率} (0 \leq P \leq 1) \\ Z: \text{効用} \end{array} \right. \quad (2)$$

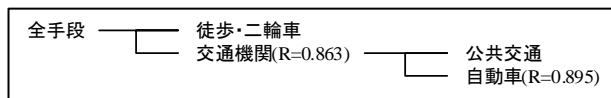


図-3 バイナリーチョイスの分割パターン

表-2 交通機関の効用

説明変数	定数項	ln(距離)	免許保有率0	免許保有率D
偏回帰係数	-2.761	0.451	2.955	3.200
t 値	-3.743	12.749	3.122	3.379
説明変数	住宅密度0	住宅密度D	学校密度0	学校密度D
偏回帰係数	0.402	0.542	-0.779	-0.795
t 値	1.184	1.584	-2.114	-2.154

表-3 自動車の効用

説明変数	定数項	ln(距離)	最寄駅0	最寄駅D
偏回帰係数	-0.130	-0.341	0.064	0.067
t 値	-0.144	-5.425	3.024	3.148
説明変数	免許保有率0	免許保有率D	住宅密度0	住宅密度D
偏回帰係数	2.842	3.333	-2.694	-2.755
t 値	2.667	3.138	-6.136	-6.297
説明変数	自動車平均時間			
偏回帰係数	-0.004			
t 値	-1.207			

配分交通量の推計には、旅行時間が最短となる経路選択を行うように利用者均衡配分を用いた。なお、経路選択にはBPR関数を用いる。推計式を(3)に示す。ここで、パラメータ α 、 β については、松井ら⁷⁾により算出された道路センサデータから推計した値を採用した。

$$T = T_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{q}{c} \right)^\beta \right] \quad (3)$$

T : リンク旅行時間
 T_0 : リンクフローゼロ時の旅行時間
 q : リンク交通量
 c : 交通容量

4. 各シナリオのCO₂排出量の算出

(1) ネットワークの作成

各シナリオの自動車によるCO₂排出量を算出するにあたり、マクロ交通流シミュレータのTransCAD4.0⁸⁾を使用する。今回の分析では、1990年、2050年のCO₂排出量を算出するため、シミュレータ上に2つのレイヤーを作成した。なお、2050年の将来道路網については都市計画図に記載されている都市計画決定された道路について

作成した。

(2) 1990年次のCO₂排出量

ここで、基準となる1990年次のCO₂排出量を算出する。算出方法は公共交通と自動車で異なり、公共交通の場合は、CO₂排出原単位にトリップ数とトリップ長を乗じて算出する。一方、自動車の場合は、交通流シミュレータを使用しリンク毎に算出するため、断面交通量にリンク長と排出原単位を乗じて算出する。なお、自動車の内々トリップに関しては、シミュレータが使用できないため、公共交通の場合と同様に算出する。以上により、1990年次の総CO₂排出量は1日あたり1882.2 t-CO₂と算出された。また、その内訳として、自動車による排出量は1792.7 t-CO₂と全体の約95%を占めている。

(3) 趨勢型シナリオのCO₂排出量

趨勢型シナリオのCO₂排出量を算出するにあたり、前章の将来交通量予測モデルにより2050年次の交通量を推計する。その後、推計した交通量を用いシミュレーションを行ったところ表-4の値が得られた。平均のトリップ長は1990年次よりも伸びているが総トリップ数が大幅に減少しているためCO₂排出量も減少している。また、公共交通のCO₂排出量を算出すると趨勢型の総排出量は1215.1 t-CO₂/日と算出され、削減率は約35%まで達している。なお、この値は低公害車の普及を考慮したものであり、考慮しない場合の総排出量は1551.2 t-CO₂/日となり、削減量は約18%に留まった。

表-4 趨勢型シナリオのCO₂排出量 (t-CO₂/日)

	人口 (人)	交通機関別トリップ数(トリップ/日)		
		徒歩・二輪	自動車	公共交通
1990年次	428,901	437,182	1,250,591	135,150
趨勢型	371,438	259,930	1,119,883	79,721
		自動車のゾーン間移動に関わる各値		自動車の内々
		平均旅行速度 (km/h)	平均トリップ長 (km/トリップ)	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /日)
1990年次		35.9	1.04	1524.8
趨勢型		36.9	1.25	964.7
		機関別CO ₂ 排出量(t-CO ₂ /日)		総CO ₂ 排出量
		自動車	公共交通	(t-CO ₂ /日)
1990年次		1792.7	89.5	1882.2
趨勢型		1157.9	57.2	1215.1
				削減率 (%)
				35.4

(4) 都心居住型シナリオのCO₂排出量

都心居住型では、宇都宮都市圏を図-4に示す5つの地域に分類し、都心エリア及び内環状エリアの住宅床面積をCO₂排出量が1990年比の60%削減できるまで誘導させる。CO₂排出量を算出する

にあたり、まず、どのエリアに住宅密度を誘導するのか選定する。都心エリアに関しては、宇都宮市の中心市街地にあたるエリアであり、公共交通網も充実しているが、既に商業や業務用途で高密度となっているため、これ以上高密化することは困難であると考え、

本分析では内環状エリアに住宅密度を集約させることとした。

外環状エリアと郊外エリアの全ての住宅床面積、そして市外都市圏内エリアの一部の住宅床面積、合計 1199.71 ha を内

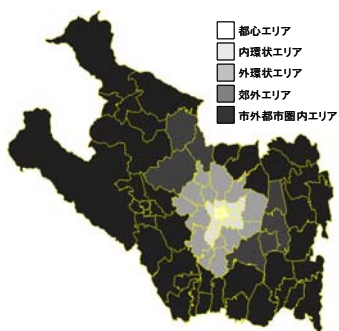


図-4 都心居住型の地域分類

環状エリアに集約させると CO₂ 排出量は 821.8 t-CO₂/日と算出され、削減量は約 56%に達した。さらに、ゾーン内の交通手段を徒歩や二輪車と仮定することで、約 63%の削減が可能となる。

よって、都心居住型シナリオにおいて、CO₂ 排出量を環境基準値まで削減する為には、宇都宮都市圏内の居住者が宇都宮市内の内環状エリアに移住しなくてはならない。さらに、その生活スタイルとして、ゾーン内の移動は徒歩・二輪車を使用しなくてはならない。

(5) TOD 型シナリオの CO₂ 排出量

TOD 型シナリオでは、宇都宮都市圏を図-5 に示す 4 つのエリアに分類し、LRT 路線を含む TOD エリアにおいて住宅床面積を誘導させることで TOD を再現する。このシナリオにおいても、CO₂ 排出量が 1990 年比の 60%削減できるまで誘導させることとする。

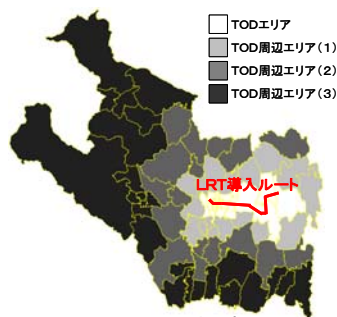


図-5 TOD型の地域分類

TOD 周辺エリア(1)(2)の全ての住宅床面積 1211.21 ha を TOD エリアに誘導させると CO₂ 排出量は 919.3 t-CO₂/日と算出され、削減量は約 51%に達した。ここで、都心居住型シナリオと同様に、ゾーン内の移動手段を規制することで CO₂ 排出量は 773 t-CO₂/日と算出され、削減量は約 59%に達した。

以上のことから、TOD 型シナリオにおいて、CO₂ 排出量を環境基準値まで削減する為には、LRT の導入に伴い、その沿線の宅地開発を行う必

要がある。さらに、LRT 沿線の TOD エリアに移住しなくてはならない。そして、その生活スタイルとしては、ゾーン内の移動は徒歩・二輪車を使用しなくてはならない。

5. おわりに

本研究ではバックキャストイングの手法を用いて、2050 年までに宇都宮都市圏における運輸部門の CO₂ 排出量を 1990 年比の 60%削減することを目標とし、交通施策や土地利用規制を組み合わせ、将来あるべき姿の理想的な都市像を総合的に検討した。その結果として、都心居住型シナリオと TOD 型シナリオともに、目標の CO₂ 排出量を削減することが可能となった。ただし、1990 年比の 60%の CO₂ 排出量を削減するためには、より強力な土地利用規制をかけると同時に、ゾーン内の移動についても規制をかけ自動車から他の手段へモーダルシフトさせなくてはならない。そのため、現行の法体制では目標の削減量を達成することは非常に困難である。さらに、本分析では、住宅床面積を変化させることで都心居住や TOD を再現したが、住宅床面積を高めることにより新たな交通渋滞が引き起こされていることが分かった。よって、土地利用の誘導・規制を行う場合は、同時に道路整備を行う必要があると考える。

今後の課題として、作成した集計ロジックモデルでは、LRT の導入による分担率の変化を十分に捉えることができなかったため、今後は、SP 調査・非集計モデル等を用い、LRT 分担率を独自に推計する必要がある。そうすることにより、本分析では比較的低めに推計された LRT の分担率を向上させ、TOD 型シナリオにおける CO₂ 排出量をさらに削減する可能性がある。

参考文献

- 1) 脱温暖化 2050 プロジェクト : <http://2050.nies.go.jp/>
- 2) 森本章倫, 古池弘隆: 「都市構造からみた輸送エネルギー削減施策の効果推計に関する研究」, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.33, pp181-186, 1998
- 3) 小島浩, 吉田朗, 森田哲夫: 「環境負荷を小さくするための都市構造及び交通施策に関する研究—仙台都市圏を対象として—」, 日本都市計画学会都市計画論文集, No.39-3, pp541-546, 2004
- 4) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 「自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数」, 土木技術資料, Vol.43 No.11 pp.50-55, 2001
- 5) 平成 12 年度環境白書: <http://www.env.go.jp/policy/hakusyoo/>
- 6) 平成 14 年度国土交通白書: <http://www.mlit.go.jp/hakusyoo/mlit/h14>
- 7) 松井寛, 山田周治: 「道路交通センサスデータに基づく BPR 関数の設定」, 交通工学, Vol.33, No.6, pp9-16, 1998
- 8) TransCAD4.0 : <http://www.caliper.com/tcovu.htm>