

コンケン市を対象とする低炭素社会ビジョンの設定に関する研究

伊藤 雄太¹・福田 敦²・長田 哲平²・池下 英典³

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社
(〒278-0002 千葉県野田市木野崎1758-32)
E-mail:ice3m-br406@hotmail.co.jp

²正会員 日本大学 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台七丁目24-1)
E-mail:fukuda.atsushi@nihon-u.ac.jp

³学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台七丁目24-1)
E-mail: h.ikeshita@hotmail.co.jp

環境研究総合推進費S-6-5「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」では、CO₂排出量の大幅な削減を可能とする低炭素社会を合理的に設定することで、これを出発点としてバックキャスティングアプローチを適用することを検討している。本研究では、タイ東北部の中心都市であるコンケン市を対象に、現在計画中の5路線のBRTの導入と合わせて、車での移動をより減少させるためのTOD施策を導入することを前提に、合理的な低炭素社会ビジョンを作成する方法を提案する。また、現地で生産するバイオエタノールを運行されるバスの燃料に使うなどの技術的改善策をさらに取り入れた場合に策定する低炭素社会ビジョンにおいては、現状のCO₂排出量と比較して目標とする大幅な削減が可能となることを、CO₂排出量を比較し示すことを目的とする。

Key Words : *Low Carbon Society Vision, BRT, TOD, GIS, Khon Kaen*

1. はじめに

近年、地球温暖化防止の観点から持続可能な都市構造と交通システムの在り方に関して様々な議論と取り組みが行われている。その中で、交通機関からのCO₂排出量の抑制・削減が世界的に急務となっている。これに対し、各国の都市では、公共交通機関の積極的な導入や環境負荷の小さい自動車の開発や普及を実施し、成果を挙げている。しかし、これらの取り組みだけで温室効果ガス排出量を地球温暖化防止の観点から必要とされる50%程度まで削減¹⁾することは極めて難しいとされ、特に現在もモータリゼーションや人口増加、市街地の拡大が進む開発途上の都市においては、都市構造や土地利用を含めた改善策が必要である。そこで、環境研究総合推進費S-6-5「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」では、温室効果ガスの大きな削減を可能とする将来の低炭素社会ビジョンを先に提示し、これを出発点にバックキャスティングアプローチを用いて、削減に向けて実施すべき政策のロードマップを作成する考え方を提案している。しかしながら、低炭素社会ビジョンは無数に設定することが可能であり、合理的に設定する

必要がある。そこで本研究では、合理的に低炭素社会ビジョンを設定する方法を提案すると共に、現状のCO₂排出量と比較して大幅な削減が可能となることを示す事を目的とする。

2. 研究の位置づけ

低炭素社会に向けた研究は数多くなされている。例えば、脱温暖化2050プロジェクト・交通チーム(2009)²⁾は、2050年時点を見据えた長期的な低炭素交通ビジョンについて、近隣の集約化、土地利用の高密度化を進め、郊外部の開発を抑制することにより、移動距離の10%程度の削減が可能であるという試算結果を得ている。地方都市部ではLRT(Light Rail Transit)やBRT(Bus Rapid Transit)の導入によるCO₂排出量の削減見込みを大きく見ている。低炭素社会の将来ビジョンの構築に関して、松橋(2007)³⁾は望ましい土地利用の方向性を踏まえた、具体的な低炭素社会の将来像について早期に議論を始めしていくことが重要であるとしている。また池下ら⁴⁾は、BRT導入と共に地理情報システム(以下GIS)を用いて

低炭素社会ビジョンにおける都市構造を設定する方法を提案している。この研究では、現況、土地利用を変更せずにBRTを導入するケース、BRT沿線をTOD開発するケースを作成し、各ケースのCO₂排出量を比較し、排出削減量を推計している。しかし、将来の土地利用計画は外生的に与えており、合理的に将来ビジョンの元となる都市構造を作成しているとは言えない。

以上のことから、長期的な視野で温室効果ガスの大きな削減を達成するために、低炭素社会ビジョンを合理的に設定する方法が必要であり、その効果についても示す必要がある。

3. 研究方法

本研究では、低炭素社会ビジョンを合理的に設定する方法として、はじめに都市交通起源のCO₂排出量を最小化する都市構造を設定し、この都市構造において燃料変更等の技術的改善策の削減効果を加えることで低炭素社会ビジョンを設定する方法を提案する。

CO₂排出量を最小化する都市構造は、次章で定式化する二段階最適化モデルを計算した結果に基づいて設定する。まず、対象都市におけるゾーン別の発生・集中交通量の上限值を設定し、この制約の範囲内で、都市内の分布交通量を移動させ、都市交通起源のCO₂排出量を最小化する。算出される各ゾーン別の発生・集中交通量から各ゾーン内人口を算出し、GISを用いて250mメッシュ上に人口分布を表現することで、CO₂排出量を最小化する都市構造を具体的に設定する。なお、設定年度はBRT全線が開業する2022年とする。そして、CO₂排出量を最小化する都市構造において燃料変更等の技術的改善策を加えることで低炭素社会ビジョンを設定し、CO₂排出量を推計する。

また、低炭素社会ビジョンにおけるCO₂排出削減可能性を明らかにするため、2007年現況の都市構造、現況の都市構造から何も施策を実施せずに都市が2022年まで成長したケース（以下BAUケース）、土地利用を変更せずに2022年にBRT路線を導入し、ソフテウを置き換えるケース（以下BRT導入ケース）、CO₂排出量を最小化する都市構造についてもCO₂排出量を推計し、これらの差を比較する。

4. 二段階最適化モデルの定式化

本章では、低炭素社会ビジョンを設定するために必要なCO₂排出量を最小化する都市構造を設定するために、二段階最適化問題の定式化を行う。利用できる交通手段は乗用車とBRTの2種類である。以降のモデルにおい

て、リンク集合を $a \in A$ 、起点集合を $r \in R$ 、終点集合を $s \in S$ 、ODペア rs 間の経路集合を $k \in K$ 、ODペア rs 間の利用可能な交通手段集合を $m \in M$ とする。

(1) 上位問題

上位問題は、各ゾーンの発生・集中交通量の制約範囲の中で、各OD間トリップ量を変更し、都市交通起源のCO₂排出量の最小化を行う。以下に上位問題を示す。

$$\text{Min. } E = \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^m l_{rs}^m EF_{rs}^m \quad (1)$$

$$r \in R, s \in S, m \in M$$

Subject to:

$$\sum_{m \in M} q_{rs}^m = q_{rs} \quad r \in R, s \in S, m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} q_{rs} = O_r \quad s \in S \quad (3)$$

$$\sum_{r \in R} q_{rs} = D_s \quad r \in R \quad (4)$$

$$\sum_{r \in R} O_r = \sum_{s \in S} D_s = T \quad r \in R, s \in S \quad (5)$$

$$O_r \leq O_r^{\max} \quad r \in R \quad (6)$$

$$D_s \leq D_s^{\max} \quad s \in S \quad (7)$$

$$q_{rs} \geq 0 \quad r \in R, s \in S \quad (8)$$

$$EF_{rs}^m = (a^m V_{rs,m}^2 + b^m V_{rs,m} + c^m) \quad (9)$$

$$r \in R, s \in S, m \in M$$

ここで、 E ：総CO₂排出量、 q_{rs}^m ：ゾーン rs 間の手段別分布交通量、 l_{rs}^m ：ゾーン rs 間の手段別最短経路距離、 EF_{rs}^m ：車種別CO₂排出係数、 q_{rs} ：ゾーン rs 間の分布交通量、 O_r ：ゾーン r の発生交通量、 D_s ：ゾーン s の集中交通量、 T ：生成交通量（一定値）、 O_r^{\max} ：ゾーン r の発生交通量の上限值、 D_s^{\max} ：ゾーン s の集中交通量の上限值、 $V_{rs,m}$ ：車種別ゾーン rs 間平均速度、 a^m, b^m, c^m ：車種別排出係数パラメータである。

(2) 下位問題

下位問題は利用者の交通行動を記述しており、公共交通を考慮した分担・配分統合均衡モデルである。

$$\text{Min. } \sum_{a \in A} \int_0^{x_a^c} u_a^c(x_a^c) d\omega + \frac{1}{\theta_1} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} (q_{rs} \ln q_{rs}) \quad (10)$$

$$+ \frac{1}{\theta_2} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} [q_{rs} \sum_{m \in M} P_{m|rs} \ln P_{m|rs}]$$

Subject to:

$$q_{rs} \geq 0 \quad r \in R, s \in S \quad (11)$$

$$x_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad a \in A, k \in K \quad (12)$$

$$P_{m|rs} > 0 \quad r \in R, s \in S, m \in M \quad (13)$$

$$\sum_{m \in M} P_{m|rs} = 1 \quad r \in R, s \in S \quad (14)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad r \in R, s \in S, k \in K \quad (15)$$

$$E = \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^m l_{rs}^m EF_{rs}^m \quad r \in R, s \in S, m \in M \quad (16)$$

$$EF_{rs}^m = (a^m V_{rs,m}^2 + b^m V_{rs,m} + c^m) \quad r \in R, \forall s \in S, m \in M \quad (17)$$

ここで、 x_a : リンク交通量 $u_a(x_a)$: リンク a のリンクコスト関数、 q_{rs}^m : ゾーン rs 間の手段別交通量、 θ_1, θ_2 : パラメータ、 f_k^{rs} : ゾーン rs 間経路 k の交通量、 q_{rs} : ゾーン rs 間分布交通量、 $P_{m|rs}$: ゾーン rs 間の交通手段 m の選択確率、 $\delta_{a,k}^{rs}$: ODペア rs 間の第 k 経路がリンク a を含むときは1、そうでないときは0、 l_{rs}^m : ゾーン rs 間最短経路距離、 EF_{rs}^m : 車種別CO₂排出係数、 $V_{rs,m}$: 車種別ゾーン rs 間平均速度、 a^m, b^m, c^m : 車種別排出係数パラメータである。

なお排出係数は、「地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム (CDM) 推進事業 (国土交通省)」の中で、タイのバンコクを対象に構築された排出係数⁵⁾が対象都市の状況に近いと判断し用いた。

5. コンケン市への適用

定式化した二段階最適化モデルをタイの地方都市であるコンケン市に適用し、CO₂排出量を最小化する都市構造の設定を行い、低炭素社会ビジョンの設定を行う。

(1) 対象都市の概要

コンケン市は、首都バンコクの北東約 450km に位置するタイ東北地方の中心都市である。コンケン市では現在もモータリゼーションが進み、交通渋滞や交通整備の遅れが問題とされている。都市内の公共交通機関はソンテウと呼ばれるパトランジットが中心で、路線バスはほとんど運用されていない。また幹線道路沿いを中心に開発が進み、モータリゼーションの進行とともに都市の郊外化が進んでいる。一方で、コンケン市では5つのBRT路線の建設が計画されており、2007年から2022年

の15年間で合計5路線が完成し、運行を開始する予定である。GISを用いて2007年の都市構造を再現した人口分布図を図-1に、計画中のBRT路線図を図-2に示す。

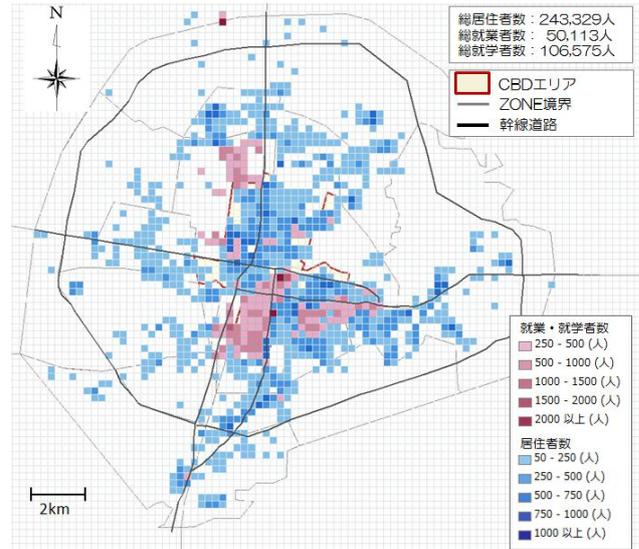


図-1 現況の都市構造 (2007年)

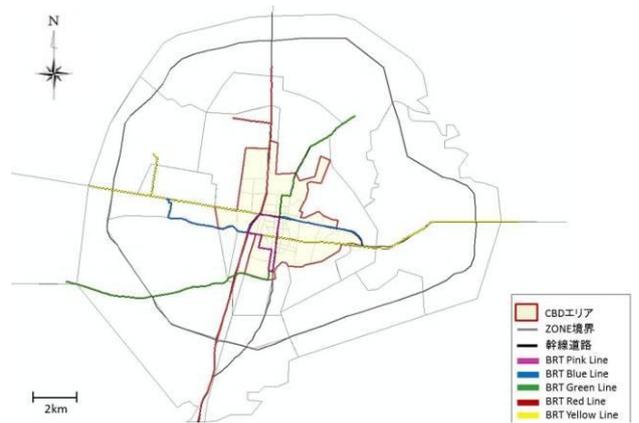


図-2 計画中のBRT路線図

(2) 都市構造の設定結果

定式化した二段階最適化モデルの計算結果から算出されたゾーン別の発生・集中交通量に基づき、CO₂排出量を最小化する都市構造における居住人口と就業・就学人口の分布を、GISを用いて図-3のように設定した。上位問題の発生・集中交通量の上限值については、BRTを交通軸とするTOD型都市を想定し、設定した。BRTの沿線500m以内をCalthorpe⁹⁾の提唱する理想的TOD密度を基に高密度開発することを想定し、BRT沿線の500mから1000mは低層住宅地を想定した密度、1000m以上離れた地区は居住できないものとしてゾーン別に設定した。GISを用いてメッシュ上に人口を配分する際には、ゾーン人口が高密度開発地区である沿線500m以内の最大許容人口以下の場合には、全人口を高密度開発地区に均等に配分し、許容人口を上回る場合は、許容できなかった人口を沿線の500mから1000mの地区に均等に配分した。

なお、計算に用いた OD 表は、2003 年の朝ピーク 1 時間の OD 表を、2022 年の将来予想人口に合わせて拡大したものをを用いた。また、道路ネットワークの新設は BRT の導入以外は無いのとし、ソントウは BRT に置き換えるものとした。

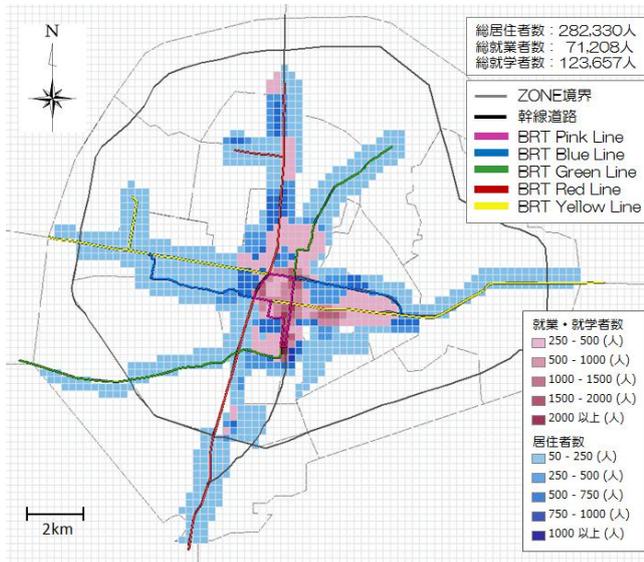


図-3 CO₂排出量を最小化する都市構造 (2022年)

(3) 低炭素社会ビジョンの設定

設定したCO₂排出量を最小化する都市構造に技術的改善策を加え、低炭素社会ビジョンを設定する。今回は運行するBRT車両の燃料に現地で生産されるバイオエタノールを使用することとした。なお、CO₂排出量の推計に当たっては、燃料となるバイオエタノールの生産のために排出される排出量についても考慮した。また乗用車では、ハイブリッド (以下HV) 車が普及したと仮定して排出量を40%減少させた。

6. 推計結果

現況と2種類の将来ケース、CO₂排出量最小化、及び低炭素社会ビジョンにおけるCO₂排出量の推計結果を図-4に示す。現況と比較してBAUケースでは人口の増加に伴い排出量は約15%増加する結果を得た。またBRT導入ケースでは、自動車からBRTへの利用転換により、BAUケースに比べ約40%、現況に比べて約30%のCO₂排出量の削減が可能であることを明らかにした。そしてCO₂排出量を最小化する都市構造では、BAUケースと比較して約60%、現況と比較して約55%のCO₂排出量の削減を可能とし、BRT導入ケースと比較しても、約40%のCO₂排出量を削減する事が可能であることを明らかにした。これはBRTへの利用転換に加えて、都市のコンパクト化によりトリップ長が減少したため、自動車

からのCO₂排出量が減少したと考えられる。

低炭素社会ビジョンにおいては、BRT車両のバイオエタノール燃料化と自動車のHV車が普及したと仮定したため、現況と比べて約75%、CO₂排出量を最小化する都市構造と比較しても約50%の削減が可能であり、現況と比べて大幅に削減可能であることを明らかにした。

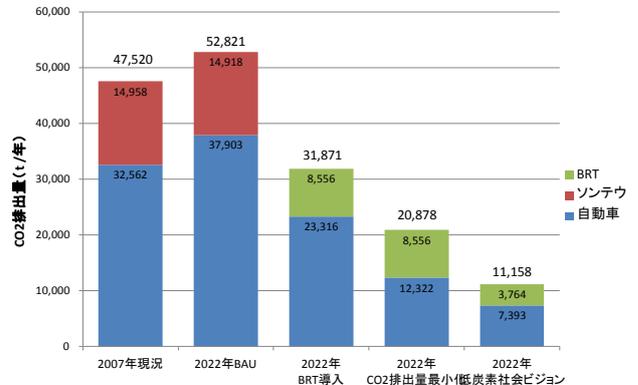


図-4 CO₂排出量推計結果

7. おわりに

本研究では、合理的に低炭素社会ビジョンを構築するための設定方法を提案すると共に、設定した低炭素社会ビジョンにおけるCO₂排出量が現況と比較して大幅に削減可能であることを明らかにした。

今後の課題として、二段階最適化モデル中の下位問題の交通手段に2輪車を追加し、発展途上の都市の現状を反映させることや、上位問題に土地の供給モデルを追加することで、より現実に即したモデルに改良することが挙げられる。また、今回は技術的改善案としてBRT車両の燃料変更と乗用車のHV車普及について検討したが、BRT車両や乗用車の電動車両化等、複数の施策についても考慮して削減量を推計する事が必要と考えられる。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費の一部である「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」(S-65)の支援のもと実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国立環境研究所：脱温暖化2050研究プロジェクト、http://2050.nies.go.jp/index_j.html
- 2) 脱温暖化2050研究プロジェクト・交通チーム：低炭素社会に向けた交通システムの評価と中長期戦略、http://2050.nies.go.jp/index_j.html, 2009
- 3) 松橋啓介：低炭素社会に向けた交通システムの将来ビジョンの構築について、都市計画論文集, No.42-3, pp.889-894, 2007.
- 4) 松橋啓介：低炭素社会に向けた交通システムの将来ビジョンの構築について、都市計画論文集, No.42-3, pp.889-894, 2007.
- 5) 海外運輸協力協会、日本大学理工学部、日本気象協会：国際協力銀行委託調査 タイ王国円借款環境改善効果評価のための委託調査報告書、2006.
- 6) Peter Calhorne：倉田直道 倉田洋子訳、「次世代のアメリカの都市づくり—ニューアーバニズムの手法—」, 学芸出版社, 2014年