

アジアの中規模都市における 低炭素都市の実現可能性 —タイ・コンケン市を対象として—

石坂 哲宏¹・菊池 浩紀²・福田 敦¹・伊東 英幸¹

¹正会員 日本大学理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail:ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp, fukuda.atsushi@nihon-u.ac.jp, ito.hideyuki@nihon-u.ac.jp

²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7-24-1)

E-mail: cshi13008@g.nihon-u.ac.jp

CO₂排出量削減に向けて、どのような交通施策と土地利用施策を総合的に組み合わせて実施していくべきかを検討することは重要である。特に成長段階にあるアジアの中規模都市は、開発や政策オプションの余地も大きいことから、低炭素都市の実現可能性を定量的な効果と合わせて示すことの意義は大きい。そこで、本研究ではまず、Bus Rapid Transit (BRT) を導入する計画が進められているタイ・コンケン市を対象に、BRTの整備に合わせて公共交通指向型開発 (TOD)、電気自動車・ハイブリッド自動車へ転換など、実現可能なシナリオの検討を行った。そのうえでシナリオ毎にCO₂排出削減量を推計し、総合的施策を実施した場合の効果を明らかにした。具体的には、BRTの導入、TOD施策の実施、電気自動車・ハイブリッド自動車への転換を行った場合、Business As Usualシナリオ比で、最大で約48%CO₂排出量を削減できることを示し、低炭素都市としての実現可能性を検討した。

Key Words : *Transit Oriented Development, BRT, CO₂ Emissions, Low Carbon Society, Diffusion of EV and HV*

1. はじめに

本研究ではアジアの途上国における交通特性やデータ制約といった条件に対応し、交通システム改変に伴うCO₂削減量を定量的に推計し、低炭素都市の実現可能性に関して検討することを目的としている。本研究では中規模中核都市に着目し、導入が進むと想定される公共交通導入施策、都市開発、自動車環境技術の革新策など、政策オプションを柔軟に取り入れて、その組み合わせの中からCO₂削減量の検討を行った。この検討により、アジアの途上国の中規模中核都市におけるCO₂削減の可能性を明らかにすることとする。

中規模中核都市における政策オプションとして、公共交通の導入、それに伴う土地利用・公共交通利用への誘導などの施策、貨物交通や乗用車のEV・HVへの転換などの実現可能な政策オプションが多数挙げられる。一方、アジアの途上国における中規模中核都市は、人口増加や都市開発など、今後急速に発展することが想定されることから、各国の首都圏のように開発がかなり進んでいる都市と比較して、土地利用の誘導や移動に対する社会規

範を柔軟に形成していける可能性がある。

2050年にCO₂半減の目標達成を念頭に低炭素都市のビジョンを明らかにするためには、これまで構築してきたフォアキャスト手法で考慮した細かいモデルを活用する必要があるといえる。加えて、都市圏全体のCO₂排出量の推計に当たり、必要な交通データが地方都市では不足していることが多いことを踏まえて、対象都市でデータの整備を並行して行い、推計方法に組み込むこととする。また、時系列的には2050年だけでなく2030年など、それに至るまでの発展パスを明らかにすることも重要であるといえる。

2. これまでの研究および取り組みの整理

複数で且つ異なる構成要素を持つ都市・交通施策に関して、それぞれ個別にデータの制約等を加味して評価方法を検討し、評価を実施してきた。本研究では個々の評価手法を総合的に統合し、アジアの中規模中核都市における政策オプションを取り込めるように拡張を行う必要があるため、これまでの研究や本研究で対象とするタ

イにおける取り組みを中心に整理を行った。

公共交通の導入によるCO₂削減効果の推計として、著者らは交通需要予測モデル及び現地のCO₂排出量原単位等を利用して、中規模中核都市における推計手法の改善を行ってきた。例えば、BRT(Bus Rapid Transit)導入による効果を推計する際に、四段階推定法による需要推計だけでなく、BRTの専用車線導入による車線閉塞や交通流への影響を加味して、マイクロ交通シミュレーションを併用する形で推計を行う手法を構築してきた。また、幹線における公共交通の導入だけでは、公共交通の導入効果を十分に生かし切れないとの観点から、VarametやThanedらはアジア特有の交通形態を加味し、端末アクセス手段や歩行環境の改善による施策評価も合わせて行っている。

Heらは公共交通指向型開発(TOD)と公共交通導入によるCO₂削減効果を、複数のシナリオを設定して、中国の都市に適用し検討を行った。複数のシナリオを考慮し、通常の都市の成長シナリオより、TOD施策を実施した場合において、総走行距離が減少することにより、CO₂削減効果が出現することを証明している。Newmanや森本らが都市の人口密度と効率性の高い公共交通機関の関係性に関して分析を行っているが、TODによる公共交通沿線への人口集中や技術革新など総合的に評価を加えていく必要があるといえる。Varametらはバンコクにおいて鉄道の整備とTOD施策を組み合わせた際の効果を検証している。

貨物施策に関しては、物流拠点の集約による交通量削減や環境改善効果をタイのバンコクを例に、金子らが検証している。また、マニラを対象にCastroらがトラックの流入規制の効果について推計を行っている。しながら、地方中規模中核都市を含め殆どの途上国の都市では、都市内貨物輸送に関するデータが整備されておらず、物流を交通需要予測に組み込めないため、物流施策による影響は、多くの場合、検討されない。

これらの交通需要を管理する施策だけでなく、排出量を削減するための自動車の技術革新に関して十分な検討を進める必要がある。技術革新による効果を定量的に推計した都市の交通状態に対応させ推計した研究としては、Matthewらの論文がある。技術革新の種類によって改善効果を精緻に算出しているが、公共交通やTOD施策と合わせた検討は行っていない。

また、燃料自体の改変として、バイオ燃料やバイオエタノールの利用によるCO₂削減の議論も多くなされている。2007年以降、タイにおいてもバイオディーゼルの利用が急激に増加しており、タイではタイ国立金属材料技術センターのNewongらが、バンコクにおいてバイオエタノールを燃料とするSCANIAのエタノールバスを使って実際に運行実験を行っている。バンコクだけでなく、地方中規模中核都市においても、現地で生産したバイオ

エタノールを利用して、エタノール車両を走行させることが実現可能な段階になっている。

一方、多くのデータを必要とする交通需要予測モデルやマイクロ交通シミュレーションを用いて交通状態を推計し、そこからCO₂排出量を推計する方法とは別に、車種別平均Vehicle Kilometer of Travel(以下、VKT)を調査して、そこから燃料消費量、さらにCO₂排出量を推計する方法に関する研究も行われている。例えば、Thairayootらは、バンコクとナコンラチャシマにおいて総走行台キロを定量的に調査・推計し、車種や車齢ごとの走行特性と燃料消費量との関係性を明らかにしている。本研究で対象とするタイの地方中核都市のコンケン市においては、筆者らが同様の調査を行い、VKTを求めており、この結果に基づいてコンケン市全体での燃料消費量およびCO₂排出量の総量を推計している。これらの結果は、本研究で採用する推計モデルの検証に用いることができる。

3. 研究方法

本研究では、タイの東北部に位置し、地域の中核として機能しているコンケン市を対象に低炭素都市の可能性を検討する。具体的な推計手法としては、四段階推定法の交通需要予測手法に複数の政策オプションを同時に考慮するための設定を行い、シナリオ分析を行うこととする。図-1に研究の流れを示す。

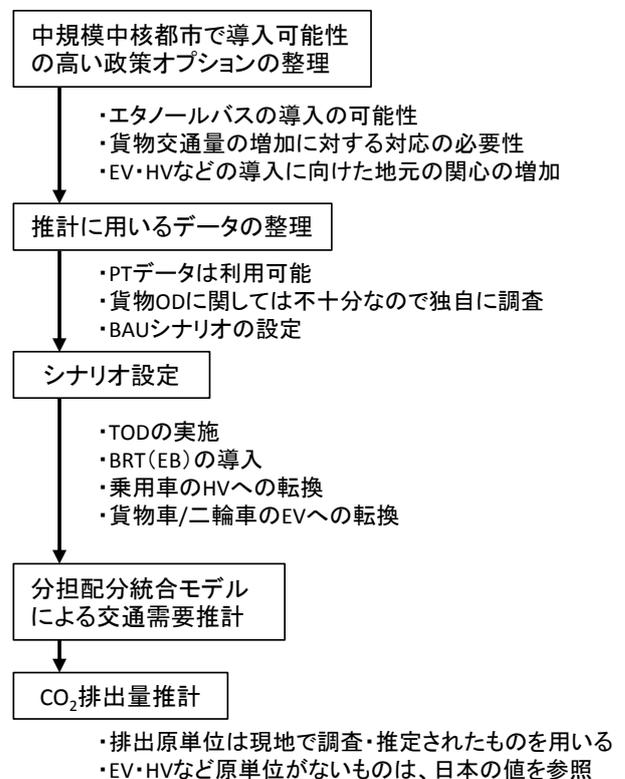


図-1 研究フロー

(1) 交通需要予測データの整備

対象とするコンケン市では、2007年にパーソントリップ調査が実施され、人の移動に関する基礎データは整備されている。

一方、都市内の貨物流動に関しては、ODデータが存在しないが、登録台数ベースでは貨物使用として供されることが多いピックアップトラックの登録台数が20%を超えており、その流動を本推計にも考慮する必要がある。そこで、本研究と関連して本学の水口、コンケン大学のThanedらが事業所アンケートに基づいて推計した都市内貨物発生集中交通量と都市内貨物車OD交通量を、本分析においても用いることとした。

具体的には、パーソントリップで使用したゾーンを集約した大ゾーンごとに業種別事業所数を抽出し、この事業所から133事業所を抽出し、その事業主に対して貨物車交通に関するインタビュー調査を実施した。調査では、業種、車両の種類、出発地・到着地（業種、ゾーン番号、所在地）、配送を行う頻度について把握した。この中から現況の貨物ODパターンを作成し、これを事業所数から求めた発生・集中貨物車交通量を周辺分布として、フレータ法により拡大して求めた。

なお、コンケン市では将来年次として2022年が想定されているが、本研究の評価対象年は、他の都市における政策評価と整合を取る観点から2030年とした。コンケン市の人口や人口密度等のデータから人口を推計し、2030年のBusiness As Usual(BAU)シナリオのOD表の作成を行う。

(2) 政策オプションごとのシナリオ設定

TOD施策を導入したOD表は、発生交通量を全て元のゾーンからBRT沿線のゾーンへ10%、30%、50%集約したと仮定し作成した。また、本研究では、下記のシナリオを設定し比較・推計を行った。各シナリオの詳細は表-1に示す。

- ・ 2030年の将来推計とする
- ・ BAUシナリオ、TOD施策の導入とEV・HVに転換したシナリオを設定
- ・ TOD施策はBRT路線沿線にそれ以外の地域から設定した割合だけ移住したと仮定
- ・ BRTのバスとして、ディーゼルエンジンを搭載する一般的なバスを使用する場合と、バイオエタノールを燃料とするエタノールバスを使用する場合を想定。バイオエタノール燃料は、現地でキャッサバから製造することを仮定
- ・ EVとHVの転換率は、乗用車・二輪車・貨物車それぞれ30%・30%・50%と設定
- ・ 公共交通は、ソントウ路線を全て廃止し、今までソントウを利用していた人は全てBRTを利用とする設定

なお、2030年におけるEV・HVへの転換率の設定は経済産業省(Ministry of Economy, Trade and Industry)より発行された「次世代自動車戦略2010」の予想値を用いた。

(3) 交通需要推定モデル

次にJICA STRADAで行った分担配分統合モデルの結果からCO₂排出量の推計、比較を行った。ここでは、既存研究のCO₂排出係数を用いて、BRT (Bioethanol Bus)・貨物 (EV)・乗用車 (HV)・二輪車 (EV) を導入・転換するシナリオと導入・転換しないシナリオのCO₂排出量の推計を行った。そして、最後にCO₂排出量の推計結果からTOD施策の導入効果の分析を行った。ネットワークは、2030年におけるBAUシナリオとBRT導入シナリオのネットワークとした。ODは、2007年のODをコンケン市の将来予測人口データを基に2030年のODを作成した。ODには貨物車も含まれている。交通需要の推計は、式(1)に示す分担配分統合モデルに基づいて求めた。

$$\begin{aligned} \min . Z(x(f), q, O) = & \sum_m \sum_a \int_0^{x_a^m} t_a^m(\omega) d\omega \\ & + \sum_{rs} \sum_m \sum_p \sum_k \frac{1}{\theta_1^p} f_{m,k}^{rs,p} \ln(f_{m,k}^{rs,p} / q_m^{rs,p}) \\ & + \sum_{rs} \sum_m \sum_p \frac{1}{\theta_2^p} q_m^{rs,p} \ln(q_m^{rs,p} / q^{rs,p}) \\ & + \sum_{rs} \sum_m \sum_p q_m^{rs,p} C_m^{rs,p} \end{aligned} \quad (1)$$

また、リンクコスト関数は、式(2)に示す通りBPR関数とし、Jaensirisakらが推計したタイ・バンコクのパラメータを用いた。

$$c_a^{auto}(V_a^{auto}) = t_a^0 \left(1 + 0.73 \left(\frac{V_a^{auto}}{C_a} \right)^3 \right) \quad (2)$$

ここで、 t_a^0 : リンクaの自由走行時間、 V_a^{auto} : リンクaのリンク交通量、 C_a : リンクaの交通容量

CO₂排出量の推計は式(3)、式(4)に示す算定式を用いた。

$$E = \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^m l_{rs}^m EF_{rs}^m \quad (3)$$

$$EF_{rs}^m = (a^m V_{rs,m}^2 + b^m V_{rs,m} + c^m) \quad (4)$$

ここで、 $m \in M$: ODペアrs間の利用可能な交通手段集合、 $r \in R$: 起点集合、 $s \in S$: 終点集合、 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、 $V_{rs,m}$: 車種

別ゾーンrs間平均速度、 d^m , b^m , c^m : 車種別排出係数パラメータ

(4) CO₂排出量推計

CO₂排出量の推計には、国土交通省「地球環境問題解決のためのクリーン開発メカニズム推進事業」の中で、タイ・バンコクを対象に構築された排出係数が対象都市の状況に近いと判断し用いた。なお、排出係数は車種別に算定されているが、上記の事業ではエタノールバス、電気自動車、ハイブリッド自動車の排出係数が算定されていない。そのため、本研究では、エタノールバスとハイブリッド自動車は既存研究・調査の排出係数を用いて、電気自動車は日産リーフ(LEAF)、エタノールバスはHINOブルーリボンIIを導入すると仮定し、図-2の流れでCO₂排出量を推計する。

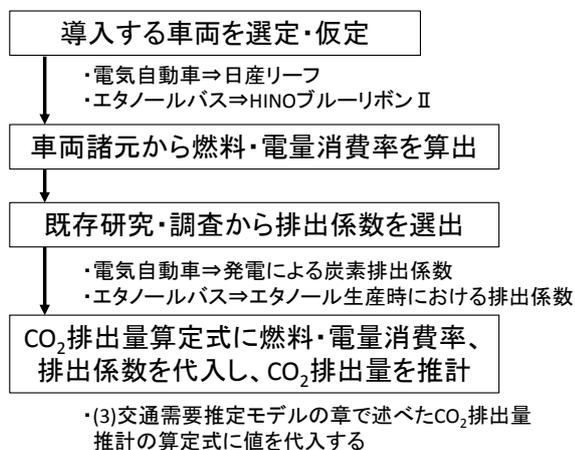


図-2 CO₂排出量の推計

4. 推計結果

表-1は、2030年におけるBRT(EB)・貨物(EV)・乗用車(HV)・二輪車(EV)を導入・転換した場合のCO₂排出量とBAUシナリオと比較した各シナリオのCO₂排出増減量とCO₂排出増減率を示したものである。

A・B・CシナリオはTOD施策を導入し、それぞれ10%・30%・50%の割合だけBRT沿線に移住した場合である。1シナリオはBRTを導入せずにソントウを公共交通として利用し、乗用車・二輪車・貨物車それぞれをEV・HVに転換した場合、2シナリオはBRTのみ導入した場合、3シナリオはBRTを導入し、乗用車と二輪車のみEV・HVに転換した場合、4シナリオはBRTを導入し、貨物車のみEVに転換した場合、5シナリオはBRTを導入し、乗用車と貨物車のみEV・HVに転換した場合、6シナリオはBRTを導入し、乗用車・二輪車・貨物車をEV・HVに転換した場合である。

表-1 全てのシナリオにおけるCO₂排出量の結果

シナリオ	TOD[%]	BRT(EB)の導入	貨物(EV)への転換率[%]	乗用車(HV)への転換率[%]	二輪車(EV)への転換率[%]	CO ₂ 排出量 [t-CO ₂ /year]	削減量 (BAU比) [t-CO ₂ /year]	削減率 (BAU比) [%]
BAU	0		0	0	0	96,829	—	—
A-1	10		50	30	30	78,037	-18792.4	-19.4
A-2	10	✓	0	0	0	86,434	-10395.4	-10.7
A-3	10	✓	0	30	30	75,814	-21015.4	-21.7
A-4	10	✓	50	0	0	80,334	-16495.4	-17.0
A-5	10	✓	50	30	0	71,035	-25794.4	-26.6
A-6	10	✓	50	30	30	69,713	-27116.4	-28.0
B-1	30		50	30	30	68,450	-28379.4	-29.3
B-2	30	✓	0	0	0	73,964	-22865.4	-23.6
B-3	30	✓	0	30	30	63,554	-33275.4	-34.4
B-4	30	✓	50	0	0	68,936	-27893.4	-28.8
B-5	30	✓	50	30	0	59,799	-37030.4	-38.2
B-6	30	✓	50	30	30	58,525	-38304.4	-39.6
C-1	50		50	30	30	63,467	-33362.4	-34.5
C-2	50	✓	0	0	0	65,464	-31365.4	-32.4
C-3	50	✓	0	30	30	55,140	-41689.4	-43.1
C-4	50	✓	50	0	0	60,512	-36317.4	-37.5
C-5	50	✓	50	30	0	51,429	-45400.4	-46.9
C-6	50	✓	50	30	30	50,187	-46642.4	-48.2

図-3は、表-1における各シナリオのCO₂排出量を車種別に示したものである。このグラフから、TOD施策の転換率を変更してもBRTの導入と貨物・乗用車・二輪車をEV・HVへ転換したシナリオが最もCO₂排出量削減できることがわかった。また、TOD施策の導入とHV・EVへ転換率が異なっても、A・B・Cシナリオの各車種の割合は変わらないことがわかる。これらのシナリオの中でC-6シナリオがBAUシナリオ比でCO₂排出量を48.2%削減可能であることが示せた。

個々の政策オプションの導入効果の検証を行う。まず、TODの導入効果は、BAUとA、B、Cそれぞれの2シナリオの比較することで、約10%、20%、30%の効果が得られていることがわかる。次にBRT(EB)の導入による効果は、他の条件が同じシナリオと6シナリオを比較すると、A、B、Cいずれにおいても10%程度の削減効果が得られていることが確認できる。A-2はBRTによる改善効果も含まれることから、TODの導入設定Aでは大きな効果が得られないと考えられる。

貨物車をEVへ、乗用車をHVへ転換したシナリオの4、5シナリオを2シナリオと比較すると、A、B、Cいずれにおいても約5%の削減が見られている。二輪車をEVに転換する6シナリオでは、数%の削減効果が得られるといえる。

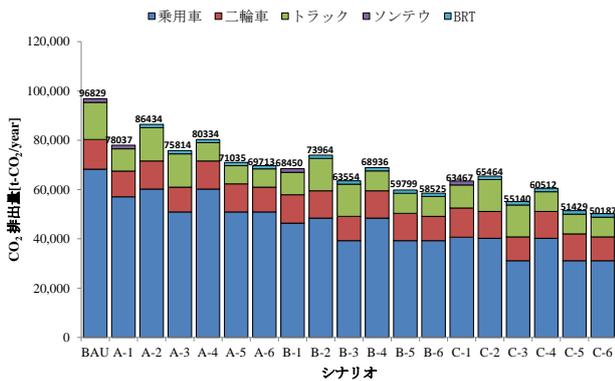


図-3 全てのシナリオにおけるCO₂排出量

5. おわりに

推計結果から、TODの実施と共にBRTの導入、HV・EVへ転換などの様々なシナリオを検討することで、CO₂排出量を最大48%削減可能であること示せた。また、TOD施策のみの実施や貨物・乗用車・二輪車の一部のみをEV・HVに転換したとしても、CO₂排出量削減に与える影響が低いことが明らかとなり、低炭素都市を構築する上では、TOD施策の実施と同時に公共交通機関の整備などの総合的な施策の検討が必要であることがわかった。

今後の課題として、BRT路線を基準に端末交通の整備を同時に行うことによる需要の変化をモデルに織り込むことやTODを考慮した物流施設の配置方法を考慮した上でCO₂排出量を削減に繋がるのか検討の必要がある。

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」(S6-5)の支援のもと実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) Kaneko, Y. and Fukuda, A. (2007) The Combined Trip Distribution, Modal Split and Traffic Assignment Equilibrium Model to Evaluate the Transit Oriented Development Policy, Selected

Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research.

2) Rodiera, C., Johnstona, R. and Abraham, J.(2002) Heuristic policy analysis of regional land use, transit, and travel pricing scenarios using two urban models, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 7, Issue 4, 243–254 2002.

3) Japan International Cooperation Agency-JICA. (2005) STRADA Version3 Tutorial.

4) Sittha J., Agachai S., Sumet O., Julio H. W. H., Paramet L. (2009) Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit Systems in Bangkok. ATRANS Final Report, 16-17.

5) Japan Transport Cooperation Association in Collaboration with Japan Whether Association Nihon University. (2006) Study for Development of Atmospheric Environmental Impact Assessment Methodology in Bangkok.

6) Castro, T. J. and Kuse, H (2005) Impacts of Large Truck Restriction in Freight carrier operations in Metro Manila. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 6, pp. 2947–2962

7) Thapat et al. (2011) Long-Term Bioethanol System and Its Implications on GHG Emissions : A Case Study of Thailand, *Environmental Science & Technology*, Vol. 45, pp.4920-4928

8) Sone et al. (2010) Investigation to Motor Vehicle Emission Factors Using Environment Impact Assessment, Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, Annual Report of Road-related Research in FY2011

9) Varameth et al. (2007) Land Use-Transportation Interaction in Bangkok : Impact of Urban Rail Transit and Pilot Model Development, TRB 86th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM

10) Matthew et al. (2013) Generalized Methodology for Establishing CO₂ Off-Cycle Credits as Part of Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards, TRB Annual Meeting 2013

11) Thairayoot et al. (2010) An Analysis of Vehicle Kilometers of Travel of Major Cities in Thailand, ATRANS Final Report, 2009.

12) 平成 13 年度環境省請負事業「温暖化対策クリーン開発メカニズム事業調査タイのバイオマス発電プロジェクトにおける炭素クレジット獲得プロセスの実態調査」報告書, 東京三菱証券株式会社, 2002

Possibility to Realize Low Carbon Cities in Middle-sized City of Asia -Case Study in Khon Kaen City, Thailand-

Tetsuhiro ISHIZAKA, Hiroki KIKUCHI, Atsushi FUKUDA and Hideyuki ITO

The shift to a Low Carbon Society is required for dealing with global warming. However, it is not clear how much CO₂ emissions by introduction of integrated transportation and land use policies will be decreased in medium-sized city of Asia. Therefore, in this study, CO₂ emissions were estimated by applying some those policies such as TOD and BRT used EVs, HVs and Ethanol Buses in Khon Kaen City, Thailand based on some forecast scenarios. In conclusion, the reduction of CO₂ emissions of up to approximately 48% as compared to BAU scenario was indicated by introducing those policies in Khon Kaen city, Thailand.