

巨視的・微視的統合モデルによる 環境・交通施策の導入効果の検証 —ハノイにおけるBRT導入による CO₂削減可能性を例として—

中村 友哉¹, 福田 敦², 長田 哲平³, 石坂 哲宏⁴, 端野 良彦⁵

¹学生員 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 739C)
E-mail: csto11014@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学教授 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 739D)
E-mail: fukuda.atsushi@nihon-u.ac.jp

³正会員 日本大学助教 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 739C)
E-mail: osada.teppey@nihon-u.ac.jp

⁴正会員 日本大学助教 理工学部社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1 7212)
E-mail: ishizaka.tetsuhiro@nihon-u.ac.jp

⁵正会員 PTVサポートセンタージャパン株式会社 (〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 1-12-2 クロスオフィス6階)
E-mail: yoshihiko.hashino@ptvjapan.com

開発途上国の都市では、交通渋滞の改善に加え、温室効果ガス削減の観点から環境に優しい車両を使ったBRTの導入が計画あるいは実施されている。著者らは、BRTが一般交通と同空間を共有することから、両者の関係を考慮しBRT沿線での交通制御などの影響も評価できるよう、都市全体では4段階推計法に基づく交通需要予測ソフトを用い、BRT沿線ではバス優先制御やバス専用車線の導入等のBRT優先施策の効果を評価可能なマイクロ交通シミュレーションソフトを用いた巨視的・微視的統合モデルを構築し、バンコクなどでBRT導入の評価を行ってきた。本研究では、ベトナム社会主義共和国ハノイ市で世界銀行が提案しているBRT計画案のうち、路線長約26.5kmの1号線を対象路線として、CNGバスを使ったBRTを導入した場合の、交通起源CO₂削減量の削減可能性を巨視的・微視的統合モデルを使って検証した。巨視的モデルの推計によれば、2005年の現況時点から推計対象年の2020年では、トリップが大幅に増えると予測されるためハノイ市全体としてはCO₂排出量は増加するも、BRTを導入することでCO₂排出量の増加を抑制できることがわかった。

Key Words : bus rapid transit, CO₂ emission, traffic demand forecast model, VISUM, VISSIM

1. はじめに

アジアの大都市では、経済成長や急速な都市化に伴ってモータリゼーションが急激に進んでおり、道路ネットワークの整備に力が注がれている。しかしながら、都市が高密度に発展していることや、政府予算が不足する開発途上国ではインフラ整備の資金が少なく、モータリゼーションの進む速さに整備が追いつかない問題がある。さらには、公共交通機関の整備が遅れているため、公共交通機関の利用が減少、都市内における交通渋滞の発生、大気汚染の深刻化等の問題が起きている。これにより、主な公共交通機関である路線バスの定時性が確保できな

い等、交通サービスの低下が問題となっている。これらの問題を解決する方法として、都市鉄道や地下鉄等の軌道系公共交通機関に比べて建設費や運営費が安価であるBus Rapid Transit (以下、BRT) が注目されている。既にジャカルタやバンコク等のいくつかの都市で BRT が導入されている。

一般に、軌道系公共交通機関の整備の場合、交通需要に加え、環境や土地利用、市街地形成等への影響を考慮して評価が行われる。しかし、BRT導入の場合は走行路が一般道路上に設置されることから、これらの影響に加え、一般交通への影響や、その結果から生じる環境への影響、あるいはBRTに利用される車両による影響も考慮

する必要があると考えられる。しかしながら、これまでのBRTの導入事例では計画段階の評価は、費用対効果や土地利用等の観点から評価を行っているものが多く、具体的な交通への影響やその影響を加味して環境の改善効果を評価している事例はみられない。

そこで本研究では、BRTの導入が検討されているベトナム社会主義共和国の首都ハノイ市を対象として、ドイツPTV社の交通需要予測ソフト「VISUM」とマイクロ交通シミュレーションソフト「VISSIM」を用いて巨視的・微視的統合モデルを構築し、環境・交通施策としてBRTを導入した際の効果を一般交通への影響も含めて評価することを目的とする。

2. 分析方法

本研究では、2005年のデータを用いて現況再現を行い、推計対象年とする2020年にBRTが導入されていないケースをWithout Case、BRTが導入されたケースをWith Caseとして推計を行った。With Caseでは、BRT沿線のゾーン間トリップにおいて、乗用車とオートバイの交通需要を公共交通機関（路線バス、BRT）へそれぞれ10%、30%、50%転換すると仮定し推計した。研究の流れを図-1に示す。

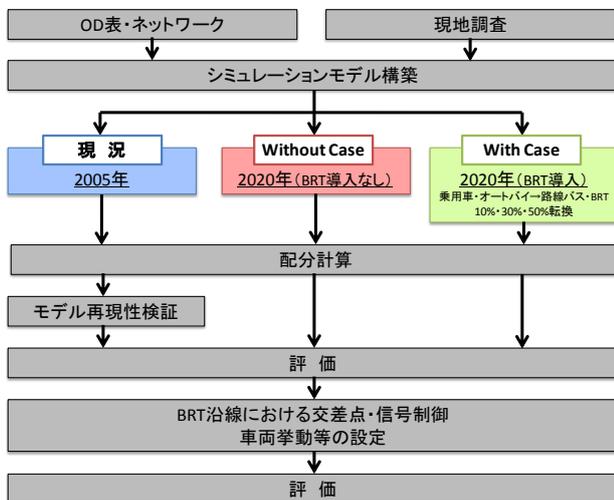


図-1 研究の流れ

評価指標では、乗用車、オートバイ、トラックの3車種の平均速度と、乗用車、オートバイ、トラック、路線バス、BRTから排出される二酸化炭素（以下、CO₂）の排出量を用いる。平均速度は、リンクごとの速度を車種別に求めた後に、全てのリンクで平均を算出してネットワーク上の平均速度とした。CO₂排出量は下記の式(1)、(2)をもとに算出した。CO₂排出量の算出にあたっては、ベトナムにおける排出係数が存在しないため、タイ・バ

ンコクの値を用いた。各車種の排出係数を表-1に示す。なお、路線バス車両のエンジンはディーゼル、BRT車両のエンジンはCNGとして排出係数を設定をした。

$$CO_2 \text{ Emission} = \sum D \times V \times EF \quad (1)$$

$$EF = aV^2 + bV + c \quad (2)$$

ただし、 D ：各リンク距離、 V ：各車両の速度、 a, b, c ：排出係数とする。

表-1 各車種の排出係数¹⁾

| | a | b | c |
|-------|--------|---------|--------|
| 乗用車 | 0.0585 | -7.4522 | 336.22 |
| オートバイ | 0.0308 | -3.6385 | 165.98 |
| トラック | 0.0688 | -9.0791 | 457.52 |
| 路線バス | 0.0258 | -3.1662 | 150.06 |
| BRT | 0.0876 | -9.1386 | 275.14 |

3. 対象路線の概要

本研究では世界銀行が提案しているハノイBRT計画案のうち1号線を対象とする。1号線はKim MaバスターミナルからBa Laバスターミナルまでを結ぶ往復約26.5kmの路線である。1号線には23駅が設置され、運行間隔は2～5分、往復約60分で結ぶ計画となっている。図-2にBRTの路線図を示す。²⁾



図-2 BRT路線図

4. 現地調査の概要

シミュレーションモデルの構築及び路線バス、BRT路線の再現に必要なデータの収集を行うために、ハノイにおいて現地調査を2010年12月15日～17日に実施した。調査によって得られたデータを用いて、道路ネットワークや車両挙動等を現況に近づけるための修正や、路線バス

とBRTの運行に関する設定を行った。調査は以下の4つを実施した。各調査地点を図-3に示す。

(1) バス車内における乗降客数調査

1号線の一部をルートとする路線バス2路線（ルート2、22）に乗車し、バス停ごとの乗降客数を計測した。これにより、BRT導入時の利用客数の根拠とした。

(2) 旅行時間調査

GPSロガーを用いて、1号線の一部を走行する路線バス2路線（ルート2、22）における旅行時間を、乗用車と路線バスにより計測を行った。

(3) バスの停車時間調査

バス車内における乗降客数調査と同時に各バス停における停車時間を計測した。

(4) BRT沿線のビデオ撮影

BRT沿線の開発状況を確認するために車載ビデオによる撮影を行った。



図-3 現地調査地点

5. 巨視的・微視的統合モデルの構築

(1) 巨視的・微視的統合モデルの概要

BRTの導入による効果とその影響について評価可能なシミュレーションモデルを構築するため、ハノイ市全域のネットワークを再現した。また、微視的モデルではBRT沿線を対象として交差点形状や信号制御等、詳細な設定を行った。ネットワークデータは、2004～2007年に独立行政法人国際協力機構（JICA）が行ったハノイ市総合都市開発計画調査（以下、HAIDEP）の調査結果³⁾を用いた。

本研究では、乗用車、オートバイ、トラック、路線バス、BRT、自転車、歩行者の7分類について推計を行っ

た。表-2に構築したネットワークの概要について、表-3に公共交通機関の設定について、表-4にシミュレーションモデルにおける各交通手段の設定について示す。

表-2 構築したネットワークの概要

| ノード数 | リンク数 (方向別) | リンク 総延長 | ゾーン数 |
|-------|---------------|------------|------|
| 1,702 | 4,804 | 2,165 km | 313 |

表-3 公共交通機関の設定

| | 系統数 | 停留所 ・ 駅数 | 運賃 (均一) | 車両/着席 定員 |
|------|-----|-------------|------------|-------------|
| 路線バス | 60 | 147 | 3,000ドン | 50 / 25人 |
| BRT | 1 | 23 | 6,000ドン | 80 / 40人 |

表-4 各交通手段の設定

| | 乗用車換算係数 | 平均乗車人数 | 最高速度 |
|-------|--------------|--------|---------|
| 乗用車 | 1.00 | 2.6 | 30 km/h |
| オートバイ | 現況 | 0.25 | 1.4 |
| | Without Case | 0.50 | |
| | With Case | 0.50 | |
| トラック | 1.50 | 1.0 | 20 km/h |
| 路線バス | 2.50 | 21.0 | 25 km/h |
| BRT | 3.00 | 34.0 | 30 km/h |
| 自転車 | 0.10 | 1.1 | 8 km/h |
| 歩行者 | 0.00 | 1.0 | 4 km/h |

(2) 現況再現性の検証

本研究で作成したシミュレーションモデルの現況再現性を検証するため、HAIDEPで行われたスクリーンライン調査結果（観測断面交通量）と現況のシミュレーションモデルにおける交通量（推計断面交通量）を車種ごとに比較を行った。その結果、図-4のグラフのようになり、相関係数は0.8197となったことから、高い現況再現性を有するモデルであることを確認した。

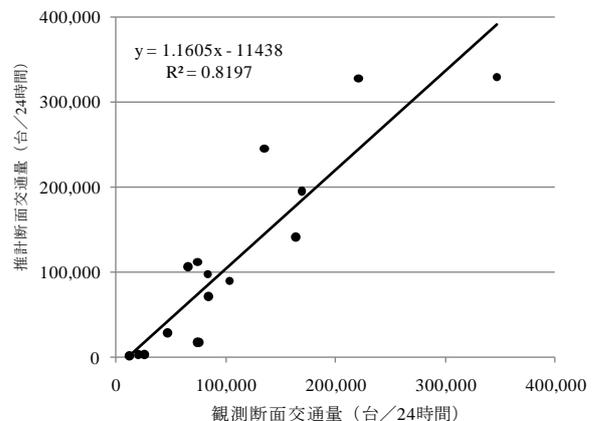


図-4 観測断面交通量と推計断面交通量の関係

6. シミュレーション結果

(1) 平均速度

ハノイ市全域とBRT沿線を対象とした3車種の平均速度を表-5、表-6に示した。Without Caseでは現況と比較して3車種ともに平均速度が低下するが、With Caseでは乗用車とオートバイから路線バスとBRTへ交通需要が転換するため、Without Caseに比べて速度が転換率に応じて上昇することが推測される。

表-5 平均速度 (ハノイ市全域)

| | 現況 | Without Case | Withcase | | |
|-------|------|--------------|----------|-------|-------|
| | | | 10%転換 | 30%転換 | 50%転換 |
| 乗用車 | 29.3 | 21.3 | 22.2 | 26.0 | 26.0 |
| オートバイ | 29.3 | 21.3 | 22.2 | 24.1 | 26.0 |
| トラック | 29.3 | 21.3 | 20.0 | 21.0 | 26.0 |

単位：km/h

表-6 平均速度 (BRT沿線)

| | 現況 | Without Case | Withcase | | |
|-------|------|--------------|----------|-------|-------|
| | | | 10%転換 | 30%転換 | 50%転換 |
| 乗用車 | 35.6 | 23.5 | 25.1 | 28.4 | 32.0 |
| オートバイ | 35.6 | 23.5 | 25.1 | 28.4 | 32.0 |
| トラック | 35.6 | 23.5 | 18.0 | 25.0 | 30.0 |

単位：km/h

(2) CO₂排出量

ハノイ市全域を対象としたCO₂排出量について図-5に、BRT沿線を対象としたCO₂排出量について図-6に示す。巨視的モデルでの推計によれば、2005年の現況時点と推計対象年とした2020年のWithout Caseを比較すると、4車種(乗用車、オートバイ、トラック、路線バス)とも総トリップ数が増加するためCO₂排出量は増加している。2020年時点では、BRTを導入することで、BRTを導入しない場合に比べてCO₂排出量の増加を抑制できることがわかった。また、乗用車とオートバイから公共交通機関(路線バス、BRT)への転換率が大きくなるほどCO₂排出量を削減することができると推測される。

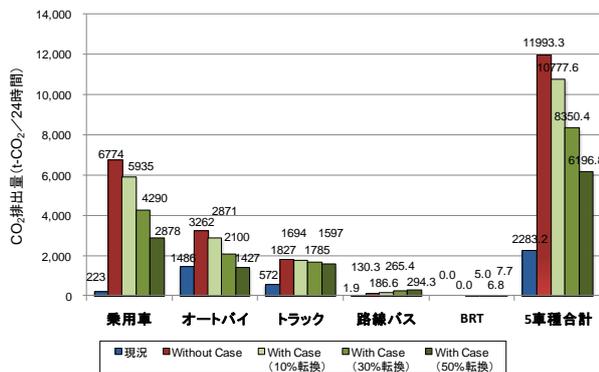


図-5 CO₂排出量 (ハノイ市全域)

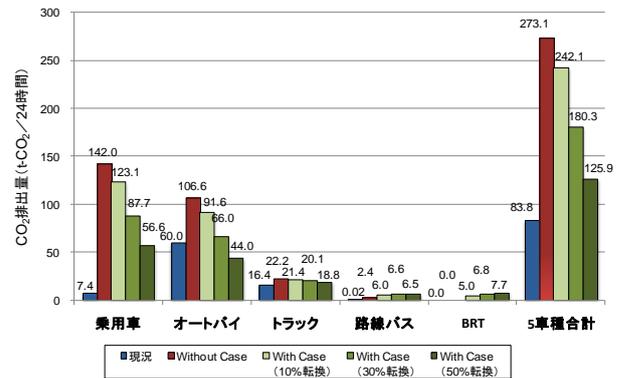


図-6 CO₂排出量 (BRT沿線)

7. おわりに

本研究では、巨視的・微視的統合モデルを構築し、十分な精度を持ったシミュレーションモデルを構築することができた。構築したシミュレーションモデルを用いて、BRT導入に伴う効果の検証を行い、BRTの導入によりBRTを導入しない場合と比べて平均速度が上昇し、CO₂排出量を抑制できることが明らかになった。

今後は、構築した微視的・巨視的統合モデルの再現性の向上と、さらにBRT駅開発などを考慮に入れた詳細な推計を行い、BRT導入効果の検証を行っていく。

謝辞：ハノイでの現地調査ではハノイ交通通信大学のKhuat Viet Hung先生、Nguyen Van Truong氏のほか学生諸氏、シミュレーションモデルの構築に関してはPTVブラジルのSidney Schreiner氏にご協力いただいた。また本研究は、環境省・環境研究総合推進費(旧地球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-6-5)として実施した。ご協力いただいた関係者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人海外運輸協力協会、日本大学理工学部、財団法人日本気象協会：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。
- 2) Socialist Republic of Viet Nam, Hanoi People's Committee, Department of Transport, Hanoi Urban Transport Development Project management Unit : Hanoi Urban Transport Development Project Detailed Designs of BRT Component BRT Line1 : Kim Ma - Ba La Bong Do Bus Operations Design, 2009.
- 3) 独立行政法人国際協力機構、ハノイ市人民委員会：ベトナム国ハノイ市総合都市開発計画調査最終報告書、2007。