

5. バンコクにおける乗用車及び二輪車起源 CO₂排出量の将来予測

田島 祐也^{1*}・山本 充洋¹・加藤 博和¹・中村 一樹¹・福本 雅之¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8603名古屋市千種区不老町C1-2(651)）

* E-mail: ytajima@urban.env.nagoya-u.ac.jp

経済成長が著しいアジア途上国大都市では、モータリゼーションの進展や都市域の拡大に伴い、運輸部門において急激なCO₂排出量の増加が生じている。多くのアジア途上国大都市では先進国と比べて二輪車の保有率が非常に高く、これを考慮したCO₂排出抑制策が必要である。本稿ではバンコクを対象に、将来の二輪車保有動向と技術進歩をシナリオ化し、乗用車及び二輪車によるCO₂排出量の予測値を示す。技術進歩を考慮しない場合、二輪車保有水準によりCO₂排出量に20%程度の差が出る。技術進歩を考慮すると、二輪車の電化が進むことで、二輪車保有シナリオ間でほとんど差はない。また、2050年の2000年比CO₂排出削減目標30～60%を達成するのに必要な低環境負荷車普及率を明らかにした。

Key Words : CO₂ emission, two-wheel ownership ratio, diffusion rate of low environmental load

1. はじめに

気候変動の原因となる温室効果ガスの排出において、アジア途上国が与える影響は今後非常に大きくなると予想される。IPCC¹⁾が示した2050年までに温室効果ガスを世界で半減する目標を実現するためには、経済成長途中であるアジア途上国において、早急に対策を講じる必要がある。

運輸部門は特に急激なCO₂排出量の増加が見込まれ、その抑制は必須である。経済成長に伴う所得の増加や都市部への人口流入は、モータリゼーションの進展や都市域の拡大を通して、急激なCO₂排出量の増加を引き起こす。しかし、現在多くのアジア途上国では、先進国とは異なる交通形態が見られ、同様の抑制策が必ずしも効果的とは言えない。また、技術の水準や種類についても、先進国が歩んだ道をそのままなぞるとは考え難い。途上国独自の交通形態に合った技術が普及することで、先進国とは全く異なる状況が生まれる可能性もあり得る。

例えば、多くの途上国大都市では、二輪車の保有率が先進国に比べ非常に高いという特徴がある。そのため、二輪車が運輸部門CO₂排出量に与える影響の考慮が必要となる。

そこで本研究では、バンコクを対象として、乗用車と二輪車の保有率の推移と技術革新の普及を考慮し、乗用車及び二輪車起源CO₂排出量の将来予測を行う。

2. 既往研究と本論文の位置付け

乗用車及び二輪車起源CO₂排出量推計に関する既往研究として、Ribeiroら²⁾は、自動車とバスの台数、1台1日あたりの走行距離、燃費の実データからCO₂排出量を推計している。また、Dasら³⁾は、二輪車、自動車、三輪車、タクシー、バス、トラックの台数を目的変数、平均所得とGDPを説明変数としてモデルを構築し、経済成長について、現状維持、低成長、高成長の3つのシナリオを設定し、台数を予測している。それに、車種別の平均走行距離、燃費、燃料別のCO₂排出原単位を乗じて2050年のCO₂排出量を推計している。

しかしこれらの研究では、パラメータが各都市固有のものになることや、都市によっては推定に必要な実データの入手が困難であり、同じモデルで各都市の差異を表現することができないといった課題が

ある。

丸田ら⁴⁾は、日本の政令指定都市のパネルデータから、トリップ生成原単位、交通手段分担率、乗用車保有率、平均走行距離、排出原単位について、平均所得、DID人口密度、駅数、道路延長を説明変数としてモデルを構築している。そして、CO₂排出量を削減するための政策を分析している。しかし、アジア途上国への適用を考えると、日本の都市と他のアジアの都市におけるデータの定義の違い、パトランジット等途上国独自の交通手段による影響の考慮、日本のパラメータを用いて推定することによる実績値との乖離等の課題が残る。

梅ら⁵⁾は、それらの問題点を修正し、丸田ら⁴⁾のモデルをアジア途上国へ適用した。更に、推計値と実績値の乖離の補正方法を検討し、その結果を示している。山本ら⁶⁾は、先進国における技術革新が中国に普及するシナリオを設定し、2050年までの乗用車起源CO₂排出量を推計した。しかし、これらの研究では二輪車の保有水準や技術革新による影響は分析されていない。

途上国大都市における交通形態に関する既往研究では、外尾ら⁷⁾は、途上国のパトランジットのうち、バンコクのバイクタクシーとフィリピンのジープニーに注目し、特徴、運営主体と営業ライセンス、営業地域及びルート規制について比較している。福田ら⁸⁾は、東南アジア大都市の二輪車普及の実態を都市別で比較し、免許制度と安全対策、交通施設及び交通計画上の取り扱いを述べている。山崎ら⁹⁾は、バンコクにおいてアンケートを実施し、バイクタクシー利用者の特性を、利用距離、利用時間について分析している。以上の既往研究では、途上国大都市における交通形態に関して分析されているが、CO₂排出量の推計には至っていない。

本研究では、アジア都市における都市内旅客交通起源CO₂排出に関する既往研究において考慮されてこなかった二輪車の影響を考慮し、バンコクにおける乗用車及び二輪車によるCO₂排出量の将来予測を行う。そのため、途上国大都市における交通形態に関する既往研究を参考に、モデルの構築及びシナリオ設定を行う。

3. 乗用車及び二輪車起源CO₂排出量推計手法

乗用車及び二輪車の保有台数をそれぞれ推計し、年間走行距離とCO₂排出原単位を保有台数に乗ずることでCO₂排出量を推計する。それぞれの推計フロ

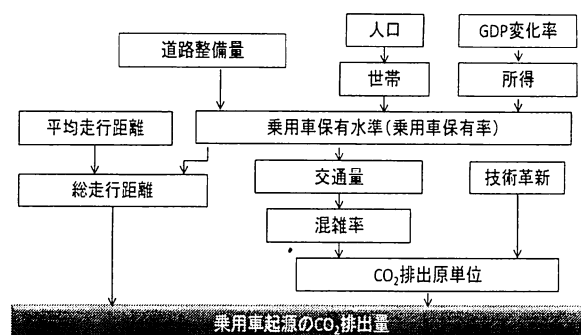


図-1 乗用車起源 CO₂ 排出量推計フロー

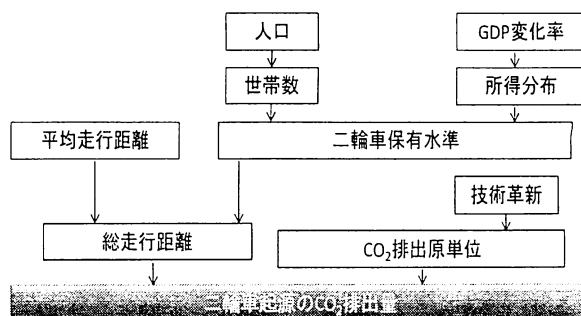


図-2 二輪車起源 CO₂ 排出量推計フロー

ーを図-1、図-2に示す。

(1) 乗用車

乗用車保有率推計モデルを用いて乗用車保有台数を推計し、これから算出される年間総走行距離とCO₂原単位の積として乗用車起源CO₂排出量を推計する。

年間総走行距離は平均走行距離と乗用車保有台数の積として算出する。平均走行距離は固定値として3,100km/年・台を用いる(小林ら¹⁰⁾)。CO₂排出原単位は、大城ら¹¹⁾の平均旅行速度による推計式を用いて、Wirojら¹²⁾によるバンコク中心市街の1997年における平均旅行速度10.9km/h(混雑率0.94)から算定する。また、技術革新によるCO₂排出原単位の低下については、山本ら⁶⁾による分析の結果を用いる。

実データの入手が困難な途上国において、その国独自のパラメータを推定することは困難である。そこで、梅ら⁵⁾の手法と同様に、日本のデータを用いてパラメータを推定し、それを途上国に適用する。しかし、日本のパラメータが他の国に無条件に適用できる訳ではない。例えば、日本の都市を対象とした乗用車保有率推計モデルをバンコクに適用した場合、実績値と推計値との間に大きな乖離が生じる。この補正の方法については後に述べる。本研究では、加藤ら¹³⁾による乗用車保有率推計モデルを参考に、

世帯あたり保有率を推計する．式(1a)にモデルの詳細を示す．パラメータ推定に用いたのは、札幌市、東京23区、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、北九州市の1970年から2005年の5年ピッチのデータである．表-1にパラメータ推定結果を示す．

$$C = \frac{\gamma_1 \cdot r^{\gamma_2} \cdot D_{DID}^{\gamma_3}}{1 + \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot I)} \quad (1a)$$

ここで、 D_{DID} ：DID人口密度[人/km²]、 C ：乗用車保有率[台/1000人]、 I ：乗用車基準化世帯所得(平均世帯収入/最低乗用車価格)、 r ：1人あたり舗装道路延長[m/人]、 H ：1世帯あたりの人数[人/世帯]、 $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ：パラメータ

(2) 二輪車

二輪車起源CO₂排出量は乗用車の場合と同様に、保有水準に年間総走行距離とCO₂排出原単位を乗じることで推計する．ただし、乗用車と異なり渋滞による影響は少ないと考え、交通量によるCO₂排出原単位の変化は考慮しない．二輪車の平均走行距離は、乗用車と同様に3,100km/年・台を用いる．

所得上昇は二輪車から自動車への移行を促すと考えられる．そこで本研究では、経済成長により二輪車保有が減少するシナリオを想定し、所得分布を用いて各所得層における世帯数を求め、その所得層における二輪車の購入確率を乗じることで二輪車保有水準を推計する．式(1b)にモデルの詳細を示す．

$$B = \frac{\sum_i h_{ii} p_i}{P} \quad (1b)$$

ここで、 B ：二輪車保有率[台/1000人]、 h_{ii} ： i 期の所得層 i における世帯数、 p_i ：所得層 i における1世帯あたりの二輪車保有台数[台/世帯]、 P ：人口[人]

所得分布が対数正規分布に従うと仮定し、所得分布を推計した．バンコクにおける2007年時の実績値と推計値を比較したところ、大きな相違は見られなかった(図-3)．そこで、GDPの推移を基にバンコクの所得分布の推移を推計し、各所得層における世帯数を算出した．

各所得層における世帯あたりの二輪車保有台数(図-4)が実績値に合うように平均及び分散をパラメータとして推定を行った．

表-1 パラメータ推定結果

パラメータ	γ_1	γ_2	γ_3	α	β
数値	2.36×10^4	0.358	0.422	15.2	0.423
t 値	-	5.56	33.8	3.58	26.3
R ² 値	0.762				

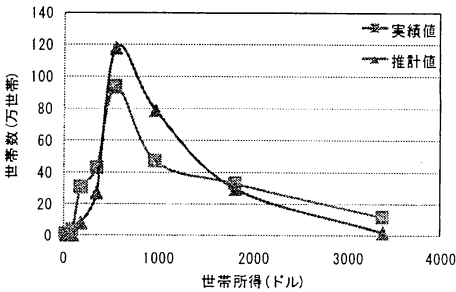


図-3 所得分布の推計値と実績値

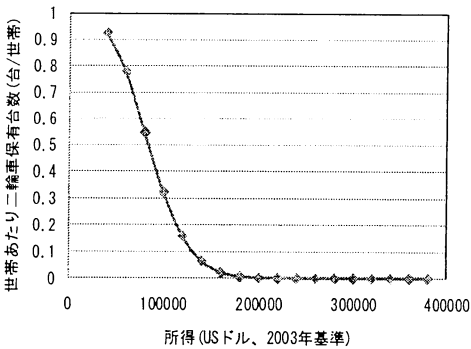


図-4 世帯あたり二輪車保有台数

4. シナリオ設定

(1) 二輪車保有シナリオ

上記の二輪車保有率推計モデルは、所得上昇に伴い二輪車保有が減少するという仮定の上で成立するものであるが、他の保有推移シナリオについても考慮する必要がある．そこで、下記の3つのシナリオについて結果を比較する．

1) 二輪車保有水準減少シナリオ

所得上昇により、二輪車から乗用車への移行が起こることを表現するため、二輪車保有率として式(1b)で示したモデルによる推計値を用いる．

2) 二輪車保有水準現状維持シナリオ

乗用車の普及は進むが、渋滞の影響を避けるため、二輪車も保有し続けると考え、二輪車保有率は2010年度の実績値を保つと仮定する．

3) 二輪車保有水準増加シナリオ

多くの人が乗用車と二輪車を共に保有することを望み、所得の上昇に比例して二輪車保有率も増加していくと考え、二輪車保有率は乗用車保有率と同水準で増加していくと仮定する．

(2) 燃料・技術シナリオ

本研究では、電気自動車(EV)・ガソリンハイブリッド車(HV)・電動バイクの普及をシナリオとして与える。燃料電池自動車の普及はないものとする。普及の予測は、山本ら⁶⁾が拡張Bassモデルで推計した値を参考にした。また、技術革新の進展により車両重量比やTtW(Tank to Wheel)効率が変わると考えられることから、進展が遅い場合(低水準)、速い場合(高水準)の各シナリオを考慮する。

燃費と電力のエネルギー原単位からCO₂排出原単位を算出する。電気自動車の利用には充電が必要である。2007年のタイの電源構成では、石炭13%、天然ガス70%、水力12%、その他が5%となっている。タイのPower Development Plan (PDP) 2010¹⁴⁾によると、2030年末の目標は、天然ガスを40%程度に削減し、再生可能エネルギーを10%程度に増加するとしている。このように電源構成が変化することで、電力のエネルギー原単位が変わり、それによりEV・電動バイクの燃費が変化する。本研究では2010年については2007年の電源構成を、2050年の電源構成は2008年の日本の電源構成と同じになるように、各電源の経年変化率を設定した。

5. 乗用車及び二輪車走行起源CO₂排出量の将来予測

(1) 保有台数推計

各シナリオにおける二輪車の保有率の推移を図-5に示す。2050年には二輪車保有増加シナリオでは361台/1000人にまで達する一方、減少シナリオでは6台/1000人となり、ほとんどの人が乗用車に乗り換える設定になっている。

乗用車保有率では推計値と実績値の間にかい離が見られた。現地の状況に詳しい研究者にヒアリングを行ったところ、バンコクの実際の人口は登録されている人より多いと考えられていることや、廃車になった乗用車の登録解除がされないケースが多いことが示唆されたため、次のように補正を行った。

- 1) 統計上の人口の値に300万人加えたものにする。
- 2) 乗用車保有台数の実績値を、統計上の値から4割減らす。

補正を行った結果を図-6に示す。

(2) 低環境負荷車両導入を考慮しない場合のCO₂排出量推計

技術革新を考慮せず、乗用車及び二輪車は全てガ

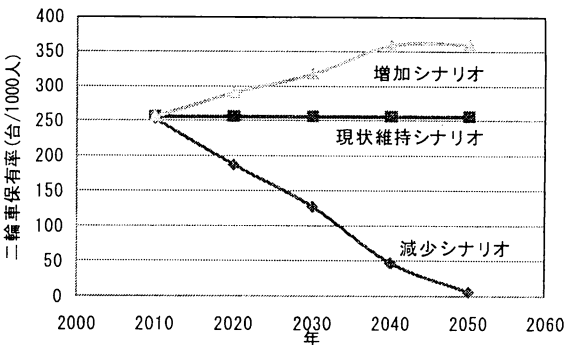


図-5 二輪車保有率の推移

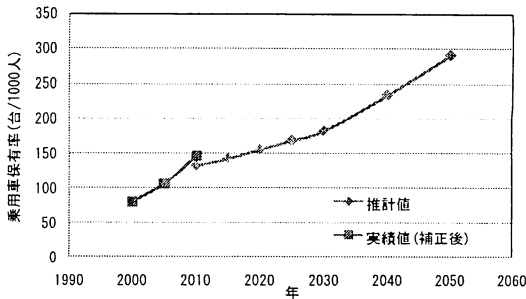


図-6 乗用車保有率の推計値補正

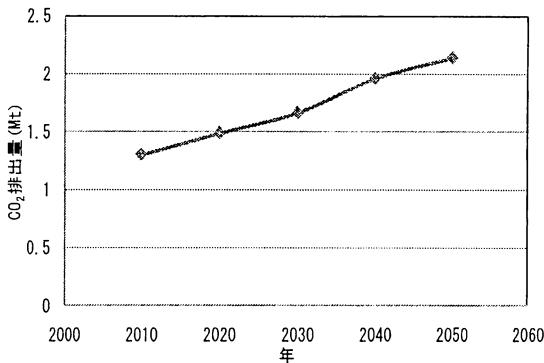


図-7 乗用車起源 CO₂排出量

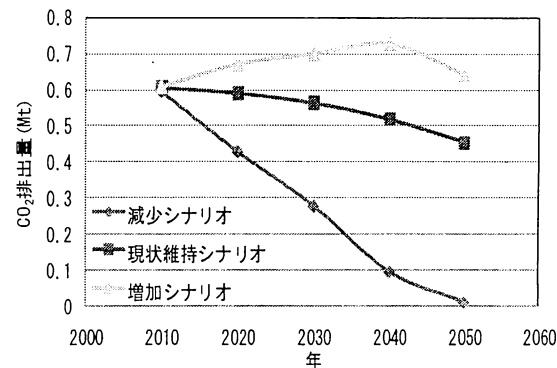


図-8 二輪車起源CO₂排出量

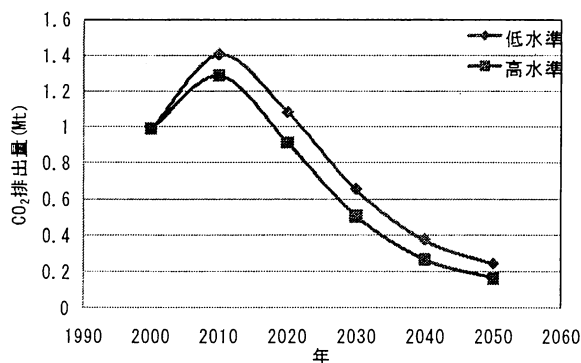


図-9 減少シナリオにおける CO₂ 排出量

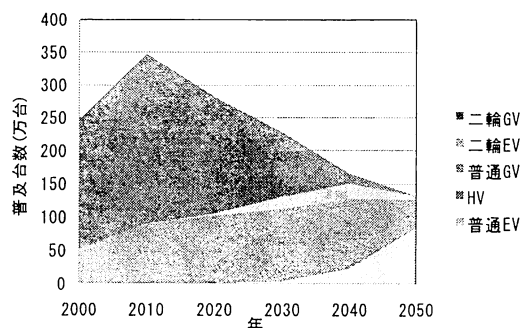


図-10 減少シナリオにおける各車種台数

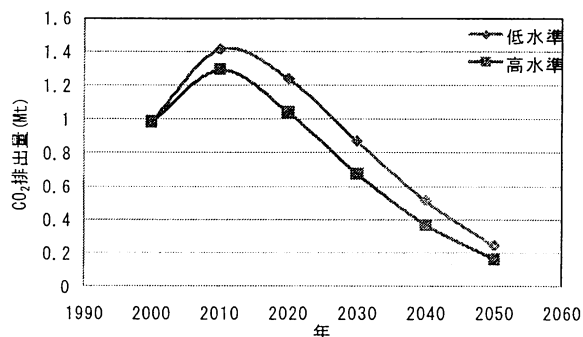


図-11 現状維持シナリオにおける CO₂ 排出量

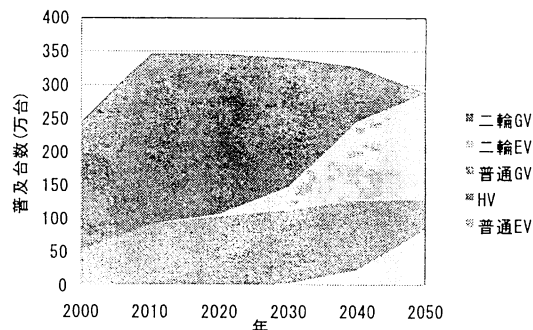


図-12 現状維持シナリオにおける各車種台数

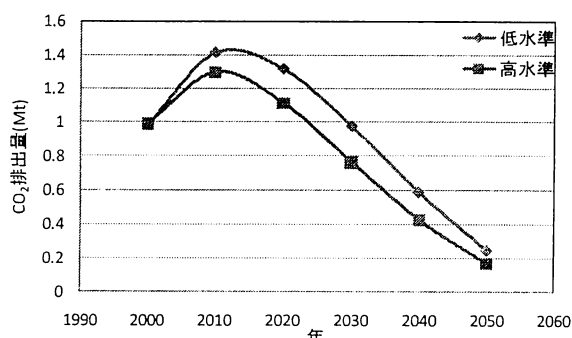


図-13 増加シナリオにおける CO₂ 排出量

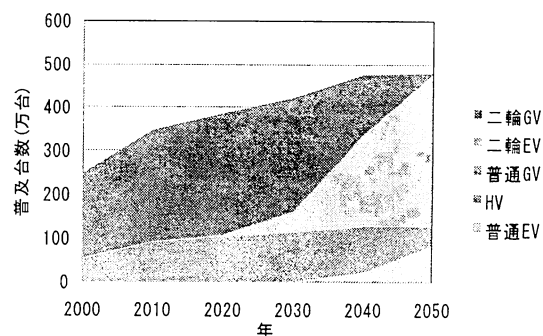


図-14 増加シナリオにおける各車種台数

ソリン車とした場合の走行起源CO₂排出量の結果を図-7、図-8に示す。

乗用車起源CO₂排出量は2010年では1.3Mtだが、乗用車保有率の上昇とともにCO₂排出量も増加して、2050年には2.1Mtに達する。

二輪車起源CO₂排出量は、2010年では1.9Mtである。増加シナリオでは、2040年まではCO₂排出量も増加するが、2050年では人口の減少により保有台数が減少するので、0.64Mtとなっている。現状維持シナリオでは二輪車保有率が一定であるが、人口減少による保有台数の減少とともにCO₂排出量も減少し、2050年では0.45Mtとなっている。減少シナリオでは、乗用車への乗り換えが行われるため二輪車保有台数が大幅に減少し、2050年のCO₂排出量は0.01Mtとなっている。

(3) 低環境負荷車両導入を考慮する場合の乗用車及び二輪車走行起源CO₂排出量推計

技術革新を考慮した場合の、各シナリオにおける乗用車及び二輪車起源CO₂排出量と低環境負荷車の普及台数を図-9～図-14に示す。

二輪車保有水準減少シナリオでは、2010年までは二輪車保有台数とともにCO₂排出量が多くなり、2010年以降から減少し始める。この結果2050年には、低水準では0.24Mt、高水準では0.16Mtとなり、2000年比それぞれ75.4%、83.5%の削減となった。

二輪車保有水準現状維持シナリオでは、二輪車保有はより増えるが、2010年以降は乗用車の中にEVやHV車が普及するので、年を経るにつれてCO₂排出量は減少している。2050年には低水準は0.25Mt、高水準は0.17Mtとなり、2000年比それぞれ75.0%、

83.2%の削減となった。

二輪車保有水準増加シナリオでは、2020年までCO₂排出量は増加している。2020年以降はCO₂排出量は減少し、2050年では2000年比で低水準においては74.8%、高水準においては83.0%削減されている。また、EV、HVによるCO₂削減効果について、2050年の2000年比CO₂削減率の目標値を複数提示し、それをEV・HV普及のみで達成するために必要な普及率を推計した(表-2)。技術進歩には不確実な面はあるものの、低環境負荷車の普及率が高まることで削減効果を着実に大きくすることが分かった。

6. 結論

本研究では、バンコクにおける将来の乗用車及び二輪車の保有率の推移と燃料・車両技術の革新を考慮し、2050年までのCO₂排出量を推計した。

その結果、電気自動車、ガソリンハイブリッド車、電動バイクの普及がないとした場合、2050年の二輪車起源CO₂排出量は乗用車起源CO₂排出量に対して、多いときで20%程度となることが分かった。また、電気自動車、ハイブリッド車、電動バイクの普及により、2050年時の2000年比削減率は低水準で75%、高水準で83%となり、シナリオによって差があまり出ないということが把握できた。削減目標達成に必要な低環境負荷車普及率を計算したところ、HVよりもEVの方がCO₂排出原単位が低いため、どの目標値においても、HVの普及率はEVより低くなっている。

本研究では、年間走行距離や都市内の平均旅行速度はバンコクのデータを用いており、原単位は都市固有のものになっている。今後はバンコク以外の途上国大都市においてデータを収集し、乗用車及び二輪車起源CO₂排出量推計を行っていく。

謝辞：本研究は、環境省・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」の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

1) IPCC：第4評価報告書第1作業部会報告書，2007。

表-2 目標値別に必要な低環境負荷車の普及率 (%)

目標値	30%	40%	50%	60%
普通EV	0-44.3	13.0-50.2	26.1-56.1	39.1-62.0
二輪EV	0-67.1	19.7-76.0	39.5-84.8	59.2-93.7
HV	0-23.7	7.0-26.8	13.9-29.9	20.9-33.0

- Ribeiro, S.K. and Balassiano, R.: CO₂ emissions from passenger transport in Reo de Janeiro, Transport Policy, Vol.4, No.2, pp.135-139, 1997.
- Das, A. and Parikh, J.: Transport senarios in two metropolitan cities in India: Delhi and Mumbai, Energy Conversion and Management, Vol.45, Issue 15-16, pp.2603-2625, 2004.
- 丸田浩史, 加藤博和, 林良嗣: モータリゼーション進展過程を考慮した都市交通に伴う CO₂ 排出量の長期的変化の分析, 土木学会中部支部研究発表会講演概論集, pp.493-494, 1999.
- 梅達郎, 加藤博和, 林良嗣: アジア大都市におけるモータリゼーション進展を考慮した旅客交通部門 CO₂ 排出量の長期予測, 第 18 回地球環境シンポジウム講演集, pp.67-74, 2010.
- 山本充洋, 加藤博和, 伊藤圭: 将来の車両・エネルギー技術進歩が運輸部門 CO₂ 排出量に与える影響の評価, 第 18 回地球環境シンポジウム講演集, pp.75-80, 2010.
- 外尾一則, ヨッポンタナボリブーン: 開発途上国におけるパラトランジットの特質, 土木計画学研究・講演集 No.16(1), pp.917-924, 1993.
- 福田敦, 中村文彦, 竹下健蔵: 東南アジアの大都市におけるオートバイの現状と課題, 国際交通安全学会誌, Vol.29, No.3, pp.162-170, 2004.
- 山崎隆之, 大蔵泉, 中村文彦, 矢部努: バンコクにおけるバイクタクシーの端末交通手段としての可能性に関する研究, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM), Vol.28, pp.162-166, 2004.
- 小林良邦, 中村英夫, 有村幹治: 都市交通と環境: 諸都市における大気の質, 運輸政策研究, Vol.6, No.1, 2003.
- 大城温, 森下雅行, 並河良治, 大西博文: 自動車走行時の燃費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.
- Wiroj, R.: BANGKOK ACCESSIBILITY UNDER THE 8th TRANSPORT AND LAND USE PLAN, Proceedings of the Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, 2000.
- 加藤博和, 林良嗣: 経済成長レベルと都市構造要因を考慮した乗用車保有水準の分析とモデル化, 交通工学 Vol.32, No.5, pp.41-50, 1997.
- Ministry of Energy: Power Development Plan(PDP), 2010.