

バンコク地下鉄事業の環境影響評価と環境会計

京都大学大学院	稲積真哉 ^{*1}
京都大学大学院	大津宏康 ^{*2}
(独)国際協力機構	澤井克紀 ^{*3}
京都大学大学院	塩谷智基 ^{*4}
京都大学大学院	勝見 武 ^{*5}
京都大学大学院	谷澤勇氣 ^{*6}

By Shinya INAZUMI, Hiroyasu OHTSU, Katsunori SAWAI,
Tomoki SHIOTANI, Takeshi KATSUMI and Yuuki TANIZAWA

公共性の高い社会基盤構造物の整備事業に関する効率性を総合的に評価するためには、事業母体に係る財務的な費用便益に加え、社会システム全体に係る社会経済的な費用便益までを対象に加えることが重要である。特に、社会経済的な費用便益要因の一つである社会基盤構造物の整備が及ぼす環境影響、例えば温室効果ガスの一つである CO₂ の排出ならびに排出削減は、整備事業の効率性判断指標として重要な要因を与えている。

本研究は、バンコク地下鉄のライフサイクルにおける環境影響を定量的に推定する環境影響評価手法を示し、環境影響評価に基づく環境会計を取り入れたバンコク地下鉄の効率性を議論する。具体的には、バンコク地下鉄の効率性に対して環境会計を導入するための環境影響評価を実施する。さらに、環境影響評価の実施によって定量化されたバンコク地下鉄の環境影響を貨幣価値化（環境コスト化）した上、環境会計として貨幣評価指標の一つである正味現在価値（NPV）に供することでバンコク地下鉄の効率性を評価するものである。

【キーワード】バンコク地下鉄、環境影響評価、環境会計、正味現在価値、効率性

1. はじめに

本研究の対象であるタイ王国・バンコク首都圏（バンコク都にサムートプラカン、パトンタニ、サムートサコン、ナコンパトムおよびノンタブリの周辺 5 県を加えた地域）では、慢性的な交通渋滞および大規模公共交通施設の欠如等に起因する環境問題が深刻化している。そこで、タイ国高速鉄道公社（Mass Rapid Transit Authority ; MRTA）は、1996 年よりバンコク首都圏における地下鉄整備（以後、“バンコク地下鉄”と略称する）を推進している。その内、

ブルーラインと称される一部区間（図-1 参照）の整備においては、国際協力機構（Japan International Cooperation Agency ; JICA）（旧国際協力銀行（Japan Bank for International Cooperation ; JBIC））の円借款事業として 1996 年に着工され、2004 年には運行が開始された。

バンコク地下鉄で代表されるように社会基盤構造物の整備は、公共機関が事業母体となり実施されることが多い。また、社会基盤構造物は当該整備に伴う安全性の向上、利便性の向上、さらには環境負荷

*1 京都大学 大学院工学研究科	075-383-3262	inazumi@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp
*2 京都大学 大学院経営管理研究部	075-383-3260	ohtsu@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp
*3 (独)国際協力機構 民間連携室	03-5652-5373	Sawai.Katsunori@jica.go.jp
*4 京都大学 大学院工学研究科	075-383-3261	shiotani@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp
*5 京都大学 大学院地球環境学堂	075-753-9205	tkatsumi@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp
*6 京都大学 大学院工学研究科	075-383-3263	tanizawa@toshi.kuciv.kyoto-u.ac.jp

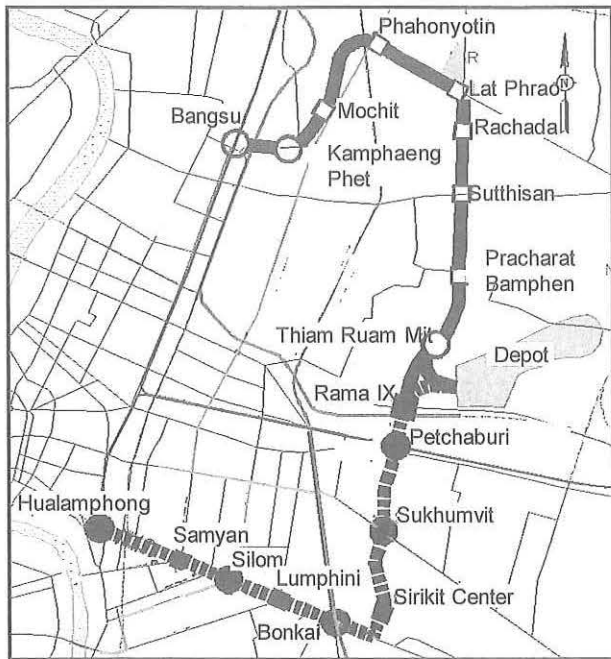


図-1 バンコク地下鉄事業におけるブルーライン線

改善（環境修復および環境保全）のように社会経済的な便益をもたらす。そこで、社会基盤構造物の整備を総合的に判断（整備事業の効率性を評価）するためには、事業母体に係る財務的な費用便益に加え、社会システム全体に係る社会経済的な費用便益までを対象に加えることが重要である。特に、環境への関心が高い現在では社会基盤構造物の整備が及ぼす環境影響、例えば温室効果ガスの一つである CO_2 の排出ならびに排出削減を定量的に予測・評価し、社会基盤構造物の整備事業の効率性に対して環境影響を考慮する必要がある、環境影響は整備事業の効率性判断指標として重要な要因を与えている。なお、社会基盤構造物が及ぼす環境影響は環境影響評価の一つであるライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment ; LCA）^{1), 2)} によって定量化することが可能であり、さらに定量化された環境影響を貨幣価値として事業効率性の判断要素に取り入れることは、“環境会計”として総称される³⁾。

本研究は、バンコク地下鉄のライフサイクルにおける環境影響を定量的に推定する LCA 手法を示し、LCA に基づく環境会計を取り入れたバンコク地下鉄の効率性を議論する。具体的には、バンコク地下鉄の効率性に対して環境会計を導入するための LCA を実施する。さらに、LCA の実施によって定量化されたバンコク地下鉄の環境影響を貨幣価値化（環境コ

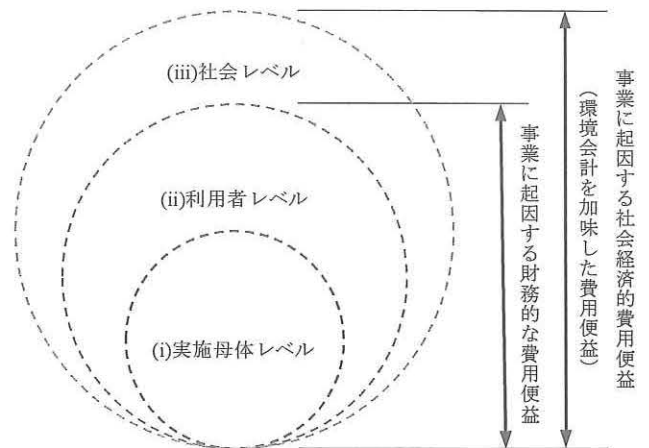


図-2 費用便益の三層構造と環境会計の位置付け

スト化）した上、環境会計として供することでバンコク地下鉄の効率性を評価するものである。

2. 環境影響評価と環境会計

(1) 環境会計を加味した事業評価の必要性

公共性の高い社会基盤構造物の効率性に関して、我が国では既に多くの指針が整備されている。ただし、既往指針の多くは社会基盤構造物の財務的な費用便益、すなわち、社会基盤構造物の計画、設計、建設および運用自体において事業母体が被る狭義の費用便益を主として評価するものであり、既に定型化された費用便益分析に依拠している。しかしながら、例えば社会基盤構造物の一つである交通施設整備では、上記した財務的な費用便益のみならず、社会や周辺地域における長期的な環境修復、環境保全および産業立地に伴う周辺地域の所得拡大等、いわゆる社会経済的な費用便益（広義の費用便益）も発現する。なお、社会経済的な費用便益会計の一部は環境会計として定義される³⁾。よって、公共性の高い社会基盤構造物の効率性に対しては、整備事業自体に起因する財務的な費用便益に加え、環境会計までを導入した効率性を評価しなければならないと考えている（図-2 参照）。ただし、社会基盤構造物に対する環境会計の導入は未だ発展途上である。そこで、本研究では社会基盤構造物の効率性を評価するため、環境会計（社会経済的な費用便益）を考慮した費用便益分析を実施する。

(2) 環境影響評価に基づく環境会計

バンコク地下鉄で代表される社会基盤構造物の効率性に対して環境会計を導入するためには、社会基盤構造物に対する LCA を実施し、ライフサイクルにおいて対象とする各環境影響物質の排出量および排出削減量を定量的に推計する必要がある。さらに、各々定量化された環境影響物質の排出量および排出削減量は、後述する被害費用原単位を用いて貨幣価値化（環境コスト化）した上、環境会計として社会基盤構造物の効率性の評価に供することができる。

社会基盤構造物に対する LCA は 1990 年代以降、主として土木環境システム分野において多数の研究が実施されており、ニュータウンや輸送機関といった様々な対象に適用されている^{4), 5), 6)}。また、(社)土木学会は上記の成果を基に、LCA に用いる CO₂ 排出係数（排出原単位）の推奨値を整備し、さらに建設業における LCA 適用の考え方について整理を行っている^{4), 5), 6)}。ただし、工業製品とは異なる特徴を有する社会基盤構造物に対する LCA 適用に際しては、以下の課題が指摘されている^{4), 5), 6)}。

- (i) ライフサイクル（耐用年数）：社会基盤構造物には、維持管理の方法によって半永久的に存在し続ける構造物もあるため、事前のライフタイム（耐用年数）設定ならびに将来予測が困難である。
- (ii) 環境影響物質の排出係数：社会基盤構造物に対して LCA を適用するためには、各段階（例えば、建設段階や操業段階等）において使用される各要

素（資材類、燃料および電力等）の使用量や環境影響物質の排出係数を詳細に検討しなければならない。しかしながら、LCA に用いる CO₂ 排出係数の推奨値は整備されているものの、使用条件や評価目的に応じた係数の設定には困難を要する。

- (iii) 社会への波及効果：社会基盤構造物の整備は社会全体に広範な波及効果を及ぼすことから、LCA はその範囲を包括する必要がある。土木計画分野では産業連関分析のような経済理論をベースとして、国民経済全体への対策影響を無限の波及段階まで捕捉可能とする手法を用いて環境影響の推計を行う研究も実施されている⁶⁾。

特に、上記(i)では社会基盤構造物は工業製品に比べて検討年数が長期にわたるため、技術革新や産業構造の変化に伴う将来における不確実性を、適切に考慮することが重要である。

本研究において、社会基盤構造物の一つであるバンコク地下鉄のライフサイクルにおいて定量予測された各環境影響物質の排出量は、被害費用原単位を用いて環境コストとして換算し、環境会計の導入を試みる。なお、社会基盤構造物の建設事業に伴う環境影響の貨幣換算は、2.(1)で述べたとおり当該事業における事業者ならびに利用者レベル（直接効果）に加え、社会レベルを網羅した環境会計（間接効果）に基づく費用便益分析を実施する目的である（図-2 参照）。ここで、被害費用原単位とは CO₂ の排出権取引で代表されるように、環境影響物質排出に対する対価であり、現在に至るまで多くの研究が実施されている^{1), 7)}。なお、各々企業においては様々な研究ならびに排出権取引における市場価格を参考として、自社の社会的責任を明確にするべく環境影響物質の被害費用原単位を企業独自で設定している。そのため、被害費用原単位のばらつきも大きく、統一された被害費用原単位として定まっていない現状に

表-1 CO₂、SO₂ および NO₂ に関する被害費用原単位

環境負荷物質	被害費用原単位
CO ₂	2.6～9.6 (円/kg-CO ₂)
SO ₂	67.3～1,010 (円/kg-SO ₂)
NO ₂	73.7～113 (円/kg-NO ₂)

表-2 CO₂、SO₂ および NO₂ に関する排出係数

	CO ₂ 排出係数	SO ₂ 排出係数	NO ₂ 排出係数
コンクリート	0.205 (t-CO ₂ /t)	0.099 (kg-SO ₂ /t)	0.461 (kg-NO ₂ /t)
鉄 筋	0.941 (t-CO ₂ /t)	1.496 (kg-SO ₂ /t)	3.376 (kg-NO ₂ /t)
燃料（軽油）	3.004 (t-CO ₂ /kL)	4.390 (kg-SO ₂ /kL)	19.90 (kg-NO ₂ /kL)
燃料（ガソリン）	2.880 (t-CO ₂ /kL)	2.740 (kg-SO ₂ /kL)	6.080 (kg-NO ₂ /kL)
電 力	0.564 (kg-CO ₂ /kWh)	0.461 (g-SO ₂ /kWh)	0.615 (g-NO ₂ /kWh)

ある。よって、本研究では既往研究^{8), 9)}や企業が算定した環境影響物質の被害費用原単位（表－1 参照）を参照^{1), 7)}し、バンコク地下鉄の建設整備が及ぼす環境影響のコスト化および環境会計の導入を試みる。

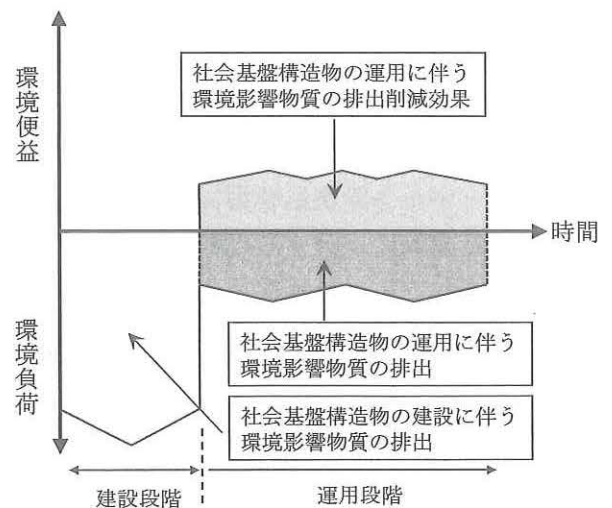
3. バンコク地下鉄の環境影響評価

(1) 既往評価事例

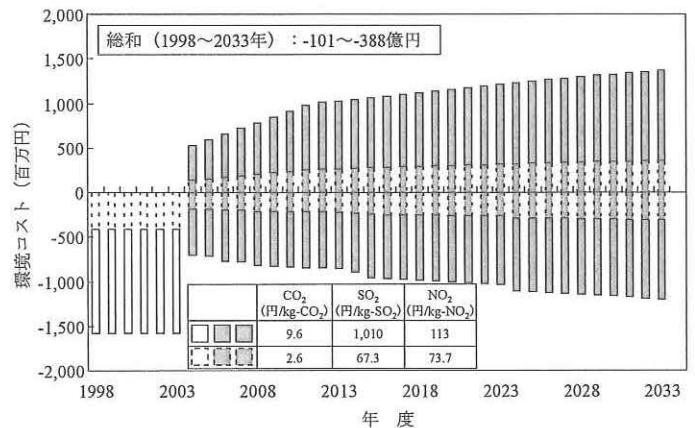
筆者らは、社会基盤構造物の整備事業が与える環境影響を定量的に予測し、環境影響を考慮した整備事業評価に貢献し得る環境負荷・便益評価手法を検討している^{8), 9)}。また、当該手法は本研究と同様、バンコク地下鉄におけるブルーラインと称される区間（図－1 参照）に対して適用しており、バンコク地下鉄の建設および運用段階における環境負荷便益の定量化を試みている（以降、“既往評価”と略称する）。

具体的には、産業連関分析法（日本の産業連関表に基づく）によって推定されたCO₂、SO₂およびNO₂の排出係数（表－2 参照）¹⁰⁾を用い、図－3に概念を示すとおり(i)バンコク地下鉄の建設段階における資材、燃料および電力の使用に伴う環境負荷、(ii)バンコク地下鉄の運用段階における電力消費に伴う環境負荷、および(iii)バンコク地下鉄の運用段階における自動車交通量減少に伴う環境負荷削減（環境便益）を定量的に評価している。さらに、定量化された環境負荷および環境便益に関する社会負担を、CO₂、SO₂およびNO₂の被害費用原単位（表－1 参照）によって貨幣価値に換算し（図－4 参照）、環境コストとして貨幣評価指標の一つである経済的内部収益率（Economic Internal Rate of Return；EIRR）に組み込み、バンコク地下鉄が及ぼす環境影響を環境経済学的な観点から評価している。

本研究は上記した既往評価^{8), 9)}と同様、バンコク地下鉄におけるブルーライン（図－1 参照、以降、“バンコク地下鉄”と略称する）を対象としており、且つ既往評価によって得られた成果を母体としている。ただし、本研究では既往評価^{8), 9)}において考慮しておらず、且つ環境影響が大きいと事前推測した(i)バンコク地下鉄の建設段階における工事占用帯設置に伴う環境負荷、ならびに(ii)バンコク地下鉄の運用段階における将来の不確実性を可能な限り考慮した環境便益を定量的に予測評価した上、環境会計を



図－3 既往評価におけるバンコク地下鉄の環境評価項目



図－4 既往評価に基づくバンコク地下鉄の環境コスト推移

加味した事業評価を試みる。

なお、バンコク地下鉄の建設段階は6年間（1998～2003年）であり、運用期間（供用年数）は30年間（2004～2033年）として想定している。また、本研究においても数多く存在する環境影響物質の内、CO₂、SO₂およびNO₂を対象としている。

(2) 建設段階の工事占用帯設置に伴う環境影響評価

バンコク地下鉄のトンネル部はシールド工法で施工されており、地上道路上には建設資材を地下に運び込むための工事占用帯が局所的に設置されている。道路上に工事占用帯を設置（図－5 参照）すると、局所的に自動車可能交通容量が低下し、自動車平均走行速度は低下する。さらに、低速域における自動車平均走行速度の低下は自動車に起因するCO₂、SO₂お

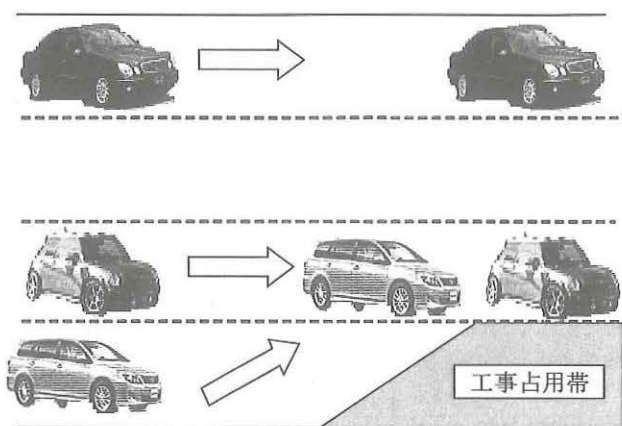


図-5 道路上における工事占用帯の設置イメージ

よび NO_2 排出量の増大をもたらす。

本研究では地上道路における自動車可能交通容量の低下に伴う自動車平均走行速度減少を BPR 関数¹¹⁾によって推定する。なお、BPR 関数は米国道路開発局 (U.S. Bureau of Public Road) で開発され、リンク交通量とリンク走行時間との関係を表す走行時間関数 (式-1) である。

$$t_a(f_a) = t(0) \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{f_a}{Q_a} \right)^\beta \right\} \quad \text{式-1}$$

ここで、 t_a : リンク a の走行時間 (h)、 $t(0)$: リンク a の自由走行時間 (h)、 f_a : リンク a の交通量 (台/h)、 Q_a : リンク a の可能交通容量 (台/h)、 α および β : 道路状況によって決定するパラメータを表している。なお、自動車可能交通容量は 1 車線あたり 2,200 台/h が一般的である¹¹⁾。さらに、式-2 はリンク a の距離を走行時間関数である式-1 の両辺で除すことで、走行速度関数として変形している。

$$v(f_a) = \frac{v(0)}{\left\{ 1 + \alpha \left(\frac{f_a}{Q_a} \right)^\beta \right\}} \quad \text{式-2}$$

ここで、 $v(f_a)$: リンク a の走行速度 (km/h)、 $v(0)$: 自由走行速度 (km/h) である。なお、本研究では自由走行速度を 60km/h と仮定している。

工事占用帯設置の前後において自動車交通量が変化しない仮定すると、工事占用帯設置前後の自動車平均走行速度は式-2 から求められる。一方、図-6 は自動車平均走行速度と環境影響物質の排出係数の関係を求めるシャシダイナモ試験から得られた、タイにおけるガソリン自動車の平均走行速度と CO_2 お

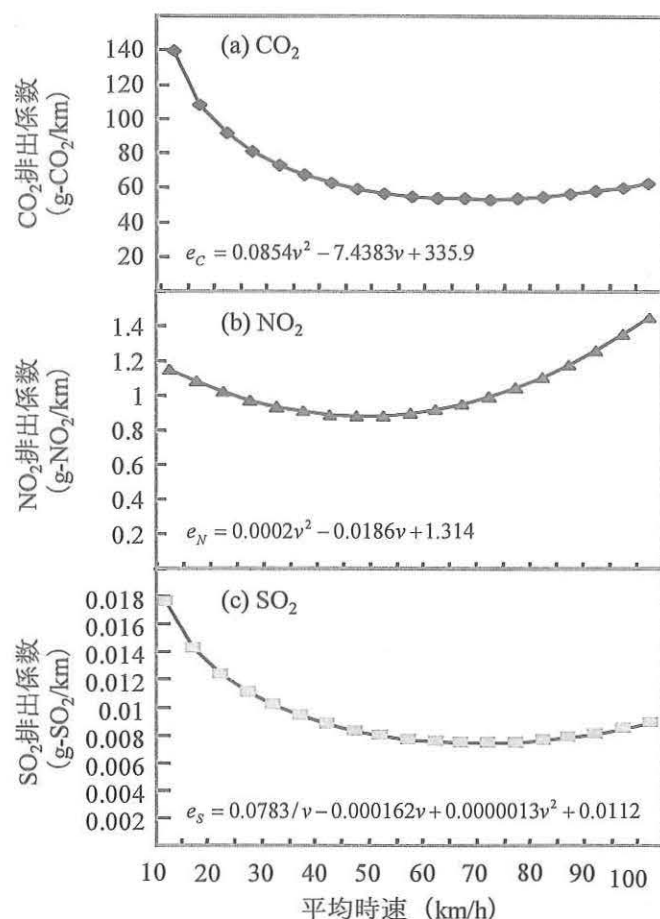


図-6 自動車平均走行速度と環境影響物質の排出係数 (シャシダイナモ試験)

よび NO_2 排出係数の関係である¹²⁾。ただし、 SO_2 についてはタイの自動車に関する当該試験が実施されておらず、国土技術政策総合研究所資料¹³⁾を引用している。式-2 および図-6 より、工事占用帯設置前後における自動車平均走行速度が起因する CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出量は定量化することができる。ここで、バンコク地下鉄に対する具体的な算出推定方法は以下に示す。

- (i) 評価対象地域 (速度減少区間) として、ラマ4通りにおける自動車交通量を用いたファランブーン駅からシリキットコンベンションセンター駅までの 1.219km 区間、およびラチャダピセック通りの自動車交通量を用いたスクンビット駅からバーンス駅までの 3.426km 区間を選択する (図-7 参照)¹⁴⁾。
- (ii) 式-1 において 2 区間の道路状況に適した α および β を決定する。具体的には α および β を 1.0~5.0 まで変化させ、上記 2 区間における自動

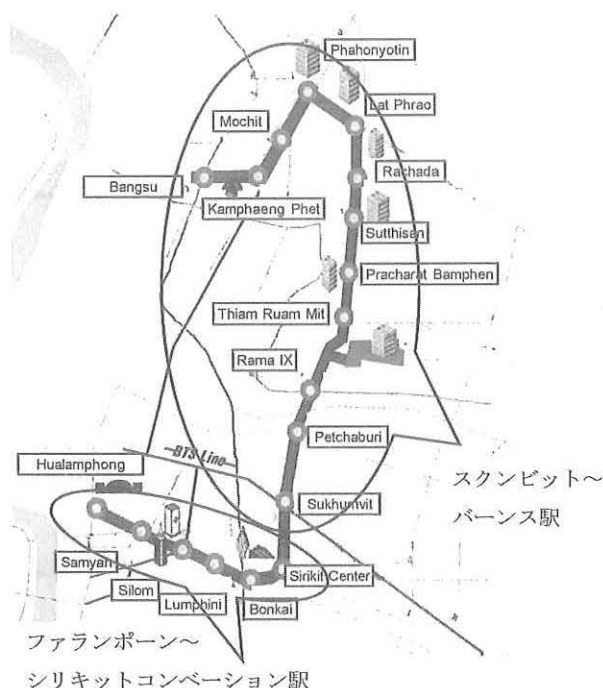


図-7 バンコク地下鉄における工事専用帯の設置対象区間

車交通量（表-3 参照）¹⁴⁾を用いて自動車走行速度を算出し、自動車平均走行速度（表-3 参照）¹⁴⁾と同等の値が得られる α および β を求める。

(iii) 自動車交通量の多い 7 時から 19 時における自動車可能交通容量から求められる自動車平均走行速度に着目する（式-2 参照）。すなわち、工事占用帯を設置することによって車線が 4 車線から 3 車線に減少したと仮定した上、自動車可能交通容量を 105,600 台/day から 79,200 台/day に減少させる。なお、上記において求められる工事占用帯設置の有無と自動車平均走行速度は、速度減少区間とともに表-3 に示している。

(iv) 自動車平均走行速度の変化に伴う排出係数の変分（図-6 参照）に年間自動車交通量および速度減少区間を乗ずることで、工事占用帯設置前後における自動車平均走行速度が起因する CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出量を求める。

(v) 推定された CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出量に対して各被害費用原単位（表-1 参照）を乗じ、貨幣価値（環境コスト）における環境負荷を推定する。

上記の結果として、バンコク地下鉄の建設期間（6 年間）における工事占用帯の設置によって $26 \sim 91 \times 10^6$ 円の環境コストを社会全体が被ると推定できる。

表-3 工事専用帯の設置対象区間における自動車交通状況

	ラマ 4 ($\alpha=4.82$, $\beta=1$)	ラチャダピセック ($\alpha=2.22$, $\beta=1$)
速度減少区間	1.219 km	3.426 km
自動車交通量	64,537 台	59,225 台
実測自動車平均速度 (工事占用帯なし)	15.2 km/h	26.7 km/h
BPR関数に基づく 推定自動車平均速度 (工事占用帯あり)	12.2 km/h	22.6 km/h

ここで、既往評価事例^{8), 9)}ではバンコク地下鉄の建設段階における資材、燃料および電力の使用によって $21 \sim 82 \times 10^8$ 円の環境コストを社会全体が被ることが推定されている。すなわち、バンコク地下鉄の建設段階における工事占用帯設置に伴う環境負荷は相対的に小さい。ただし、速度減少区間の延長や可能交通容量の顕著な低下等が生じた場合には環境負荷が増大するため、建設段階における工事占用帯の設置に伴う環境負荷についても、建設段階における環境影響評価に考慮することが肝要である。また、社会基盤構造物の建設においては、建設コストと上記した環境影響評価に基づく環境コストの相互関係に基づいて最適な工法が選択されることを提案する。

(3) 運用段階の不確実性を考慮した環境影響評価

a) 地下鉄利用客数の将来予測

バンコク地下鉄の運用段階における環境影響評価では、運用の将来動向を予測することが基本となる。そこで、バンコク地下鉄の運用の将来動向ならびに不確実性を予測するため、本研究では幾何ブラウン運動を用い、バンコク地下鉄日平均利用客数の推移に関する将来予測を実施する。具体的には、幾何ブラウン運動の数理モデルである式-3 を用いて運用段階として想定した 30 年間におけるバンコク地下鉄の日平均利用客数推移を複数求め、確率統計的に将来予測を実施する。

$$M_t = M_{t-1} \exp(\mu + \sigma \varepsilon_t) \quad \text{式-3}$$

表一4 バンコク地下鉄日平均利用客数の実績推移
(2004～2007 年)

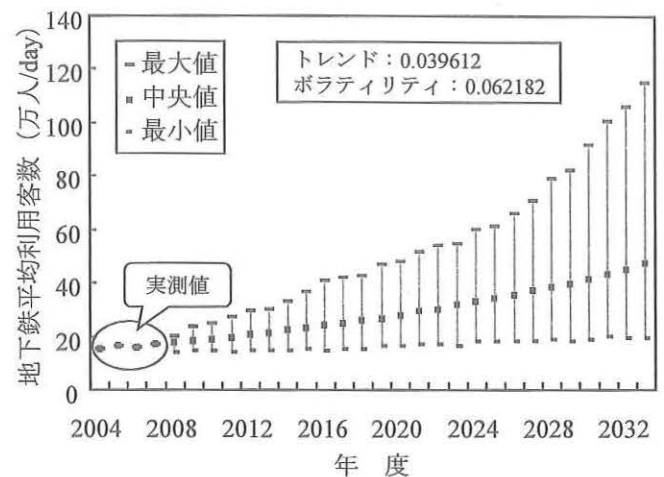
年	地下鉄利用客数 (人/day)	対数の差
2004	147,489	
2005	162,500	0.09692
2006	158,250	-0.02650
2007	166,100	0.04841
$\mu=0.03961$ $s=0.06218$		

ここで、 M_t ：時間 t におけるある値、 μ ：平均的変動（以後、“トレンド”と略称する）、 σ ：平均的変動周りの変動（以後、“ボラティリティ”と略称する）、 ε_t ：標準正規分布から無作為に選び出した値（標準正規乱数）である。幾何ブラウン運動を用いる際には、トレンド μ とボラティリティ σ を過去の変動実績から求めて将来予測を行う（そのため、ボラティリティ σ はヒストリカルボラティリティと呼ばれる）。

本研究ではバンコク地下鉄が開通した 2004 年から 2007 年まで 4 年間の日平均利用客数の報告¹⁴⁾を用い（表一4 参照）、トレンド μ を過去 4 年における地下鉄の日平均利用客数の平均対数差である 0.03961 ならびにボラティリティ σ を同様に平均対数差の分散である 0.06218 として設定し、運用段階として想定した 30 年間におけるバンコク地下鉄の日平均利用客数の推移を予測した。図一8 は 30 年間における日平均利用客数予測値に関する 1000 通りの確率パスを算定した結果を示している。これより、過去 4 年間におけるバンコク地下鉄の日平均利用客数実績値に基づく、将来において地下鉄利用客数の微増が予測できる。ただし、年数の経過とともに予測した利用客数の変動幅は大きくなる。

b) 自動車交通量の減少に伴う環境影響評価

バンコク地下鉄の開業以前において自動車やバスを移動手段として利用していた人々は地下鉄開業に伴い、バンコク地下鉄へ移動手段のシフトが生じる。よって、バンコク地下鉄が建設された場合（以降、“with”と略称する）における地下鉄周囲の自動車交通量および付随する燃料消費量は、バンコク地下鉄が建設されなかった場合（以降、“without”と略称



図一8 幾何ブラウン運動を用いたバンコク地下鉄
日平均利用客数の将来予測

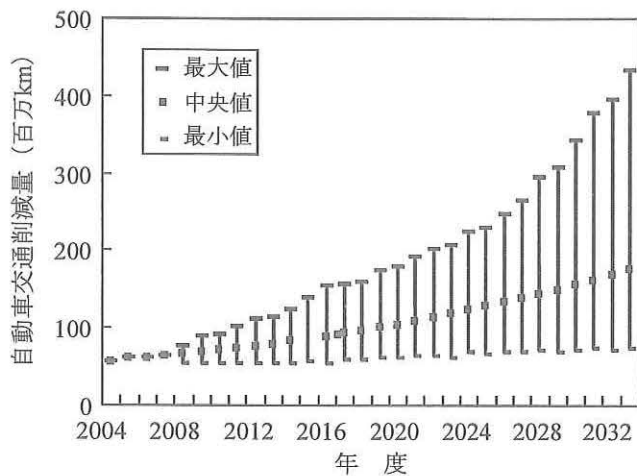
する）に比べて削減が予想される。その結果、自動車交通に必要な燃料消費に伴う CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出量も抑制される（環境便益を及ぼす）。なお、既往評価^{8), 9)}では、交通量モデルシミュレーション¹⁴⁾から求められた自動車交通削減量および燃料の CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出係数（表一2 参照）を用いて、自動車交通量の減少に伴う環境影響評価が実施されている。本研究では 3.(3)a)にて推定したバンコク地下鉄利用客数の将来予測に基づいてバンコク地下鉄周囲における自動車交通削減量を求めている。

自動車交通削減量 L (km) は式一4 から求められる。

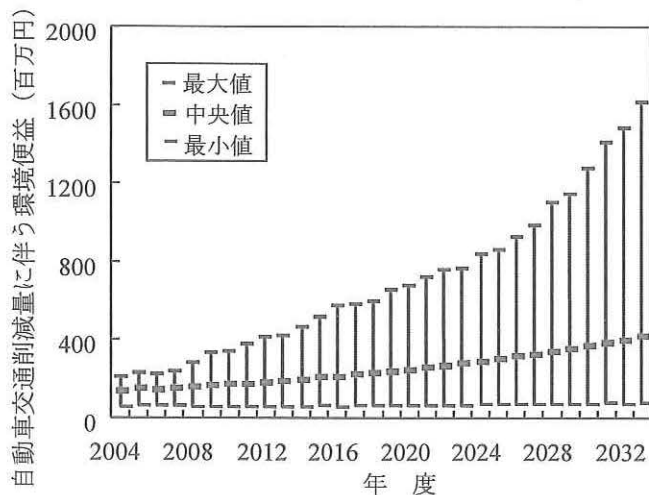
$$L = \sum \frac{M \times R_i \times L_a}{P_i} \quad \text{式一4}$$

ここで、 M ：地下鉄日平均利用客数（人）、 R_i ：without における交通手段の割合、 L_a ：地下鉄利用客 1 人あたりの平均乗車距離 (km)、 P_i ：交通手段 i の平均乗車人数（人）である。なお、バンコク地下鉄利用客 1 人あたりの平均乗車距離は 6.1km である。また、地下鉄開業以前において使用していた交通手段は、自動車（平均乗車人数 1.41 人）が約 20%およびバス（平均乗車人数 30.3 人）が約 80%と報告されている¹⁴⁾。

図一9 は、3.(3)a)で求めた地下鉄利用客数推移と式一4 を用いて算出した自動車交通削減量を示している。さらに、図一9 に示された自動車交通削減量を燃費（0.12L/km）で除すことで燃料消費量を求め、 CO_2 、 SO_2 および NO_2 の排出係数（表一2 参照）ならびに被



図－9 バンコク地下鉄の運用に伴う自動車交通削減量の将来予測



図－10 バンコク地下鉄の運用における自動車交通削減量に伴う環境便益の将来予測

害費用原単位（表－1 参照）を乗じることで自動車交通削減量に伴う環境コストとしての環境便益を推定した（図－10 参照）。これより、バンコク地下鉄の運用は自動車交通削減量に基づき、 $18 \sim 209 \times 10^8$ 円の環境便益（30 年累計）を社会へ及ぼすことが推定される。すなわち、バンコク首都圏における自動車依存に伴う交通問題を抜本的に解決するために建設されたバンコク地下鉄は、その長期的な運用に伴い自動車交通問題の解消に起因する環境便益を社会へ還元できることを示した一例である。

c) 自動車走行速度の上昇に伴う環境影響評価

① 環境影響物質の排出量削減効果

バンコク地下鉄が運用されることによって自動車交通量の削減が期待される。すなわち、自動車交通

表－5 既往評価に基づく自動車交通状況予測（2007 年）

2007年	with	without	with－without
自動車総走行距離 (km/day)	93,220,433	93,335,548	115,115
自動車総走行時間 (hour/day)	3,671,578	3,682,469	10,891
自動車平均走行速度 (km/h)	25.39	25.35	0.04

における渋滞の緩和によって、地下鉄周囲における自動車走行速度の上昇がもたらされ、速度上昇によって環境影響物質排出量が抑制される。

バンコク首都圏全体の自動車平均速度は、with が without と比較して 0.04 km/h の速度増であると予測されている（表－5 参照）¹⁴⁾。ここで、当該自動車平均速度差（with－without）を 30 年間 0.04 km/h の一定値、また、with における自動車平均速度を 30 年間 25 km/h の一定値として仮定した上、 CO_2 、 SO_2 および NO_2 排出係数を図－6 より求める。最終的には求められた排出係数に対して日交通量（交通量モデルシミュレーションより $16,918,496$ 台/day）¹⁴⁾、平均走行距離（ 5.5 km ）¹⁴⁾、日数（365 日）および被害費用原単位（表－2 参照）を乗じることで自動車走行速度の上昇に伴う年間の環境便益を算出することができる。ただし、3.(3)a)b)で述べたように、元来は自動車平均速度差においても将来の不確実性を有していることに留意する必要がある。

上記の結果として、バンコク地下鉄の運用は自動車走行速度の上昇をもたらし、30 年間で $4.5 \sim 18 \times 10^8$ 円の環境便益を社会へ及ぼすことが推定される。よって、バンコク地下鉄の運用は前述した自動車交通量の減少に伴う環境便益の発現に止まらず、自動車交通量の減少に追従する自動車走行速度の上昇に伴う環境便益の発現も期待・計上することができる。

② 自動車償却費の削減効果

自動車の走行速度が上昇することによって走行時間が短縮され、走行時間に依存する車両償却費の削減に基づく便益（以後、“車両償却費便益”と略称する）が得られる。なお、本研究では車両償却費便益に関しても、バンコク地下鉄が及ぼす広義の環境便益の一つとして想定している。

車両償却費とは自動車走行経費の一つである。自動車走行経費とは燃料費（ガソリンおよび軽油に要する費用）、油脂費（エンジンオイル等に要する費用）、タイヤ・チューブ費、整備費および車両償却費の5つに分類されており、これら5つの費用は全て走行距離に依存する。ただし、車両償却費は自動車の走行距離とともに走行時間にも依存する¹⁵⁾。

一般的に車両価格は自動車を所有後、時間の経過とともに徐々に減少し、法定耐用年数に達する時点においてほぼ価値がなくなる。しかしながら、外的要因（例えば、バンコク地下鉄の運用開始）等によってその価格減少を抑制することができれば、すなわち、それは外的要因によってもたらされる車両償却費便益である。

車両償却費は2つに区別され、(i)走行距離に依存する車両償却費便益および(ii)走行時間に依存する車両償却費便益である。ここで、(ii)走行時間に依存する車両償却費便益は主として欧州諸国で用いられている概念である。一方、日本では一般的に(i)走行距離に依存する車両償却費便益の概念が用いられており、(ii)走行時間に依存する車両償却費便益に対する評価手法は確立されていない現状にある。(i)走行距離に依存する車両償却費便益とは、バンコク地下鉄の建設前に自動車を利用していた人々が建設後に自動車を運転する機会が減少することに基づく便益であり、当該便益は既に事業母体によって事前に算出されている¹⁴⁾。一方、(ii)走行時間に依存する車両償却費とは、バンコク地下鉄の建設前後における自動車走行速度の上昇に伴い、走行時間が短縮されることに基づく便益である。ここで、当該便益は走行時間に依存する車両償却費の原単位 b (円/min) に対して走行短縮時間を乗ずることで求められる。原単位 b は式-5によって求められる¹⁵⁾。

$$b = \frac{BR}{T} \quad \text{式-5}$$

ここで、 BR ：走行時間に依存する車両償却費（円）、 T ：法定耐用年数内における総走行時間（min）である。本研究では、タイに即した原単位 b を求める。なお、走行時間に依存する車両償却費の考え方は評価手法が確立されていないため、走行時間に依存する車両償却費 BR はバンコクの平均車両価格

（1,750,000 円）の10%と仮定した。また、車両の法定耐用年数6年、年平均走行距離25,000kmおよび自動車平均速度を25km/hと仮定すると法定耐用年数内における総走行時間 T が求められる。また、走行短縮時間は表-5に示すとおり、2007年の予測値10,891hour/dayが30年間一定であると仮定している。ここで、走行短縮時間に関しても前述の自動車平均速度差と同様、将来において不確実性を有していることに留意しなければならない。

上述の手法で算出した、バンコク地下鉄の運用に伴う車両償却費便益（走行時間に依存する）は、30年累計として 35×10^8 円相当であることが推定される。これより、当初、バンコク首都圏における自動車に依存した交通問題を解消する目的であったバンコク地下鉄は、交通問題の解消に伴う環境便益の発現に止まらず、追従して自動車車両自体の償却費を削減する効用も有していることが判明し、それら全てはバンコク地下鉄が及ぼす環境便益として計上・評価することが可能である。また、本節において、バンコク地下鉄の運用は周辺自動車交通の交通量削減、自動車走行速度の上昇および車両償却費の減少に伴う環境便益を発現することを述べるとともに、当該環境便益は本研究で適用したLCA手法によって定量化できる可能性を示した。

4. 環境会計を加味したバンコク地下鉄の事業評価

図-11は既往評価^{8), 9)}および本研究によって推定された、バンコク地下鉄のライフサイクル（建設および運用段階）における環境負荷ならびに環境便益の推移を環境コストとして示している。これより、建設段階および運用段階を通じたバンコク地下鉄のライフサイクルにおいて推計される環境コストを合計すると、 $-205 \sim -18 \times 10^8$ 円を要することに相当する。特に、建設段階において支出する環境コストは顕著である。よって、バンコク地下鉄では建設段階において支出した環境コストを、運用段階において長期的に返済できる将来構想（運用構想）を構築することが望ましい。一方、バンコク地下鉄に限ることなく社会基盤構造物の建設においては、前述のとおり建設コストと環境コストの相互関係に基づいて最適な工法が選択されることが環境コスト、また後述する環境会計を加味した効率性評価の観点から重

要である。

本研究では図-11 で示された環境コストの推移を用い、バンコク地下鉄に対して環境会計を加味した効率性評価を実施する。なお、環境会計を加味した効率性評価においては、費用便益指標（貨幣評価指標）の一つである正味現在価値（Net Present Value；NPV）に環境コストを考慮する費用便益分析を実施している。環境コストを考慮した NPV は式-6 で表され、純便益の総現在価値と費用の総現在価値の差である。

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{b_{ft} - c_{ft}}{(1+r_f)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{b_{et} - c_{et}}{(1+r_e)^t} \quad \text{式-6}$$

ここで、 n ：プロジェクトライフ、 b_{ft} ：年次 t の財務的便益、 c_{ft} ：年次 t の財務的費用、 r_f ：財務的費用便益に関する社会的割引率、 b_{et} ：年次 t の社会経済的便益、 c_{et} ：年次 t の社会経済的費用、 r_e ：社会経済的費用便益に関する社会的割引率を表している。なお、0 以上（正值）の NPV は、当該プロジェクトが貨幣評価において効率的であることを示すものである。なお、本研究では財務的な費用便益（2.(1)参照）に関する社会的割引率 r_f として東南アジアで一般的に用いられる 12%を設定しており、一方、環境負荷便益（環境コスト）で代表される社会経済的な費用便益（2.(1)参照）に関する社会的割引率 r_e には米国環境保護庁が提唱している 0%を設定している。

バンコク地下鉄建設事業において事業主体が事前に算出した費用（地下鉄整備費用および運営・維持管理費用）および便益（走行費用削減効果ならびに時間短縮効果）（2.(1)における財務的な費用便益）¹⁴⁾に、既往評価^{8), 9)}ならびに本研究によって推定された環境コストの推移（2.(1)における社会経済的な費用便益）を環境会計として加味し、NPV によって総合的に評価した場合、バンコク地下鉄の建設（6 年間）ならびに運用（30 年間）において $NPV = -2,563 \sim -114 \times 10^8$ 円であり、総じて負値である。ただし、NPV は負値を示したものの、一概にバンコク地下鉄が貨幣評価において効率的でないと断定することはできない。この背景には、本研究で得られた NPV が 30 年間の将来予測の範囲に基づいており、一般的な交通システムでは 50～60 年のより長期的な期間で費用便益を評価しなければならない報告⁶⁾もある。また、

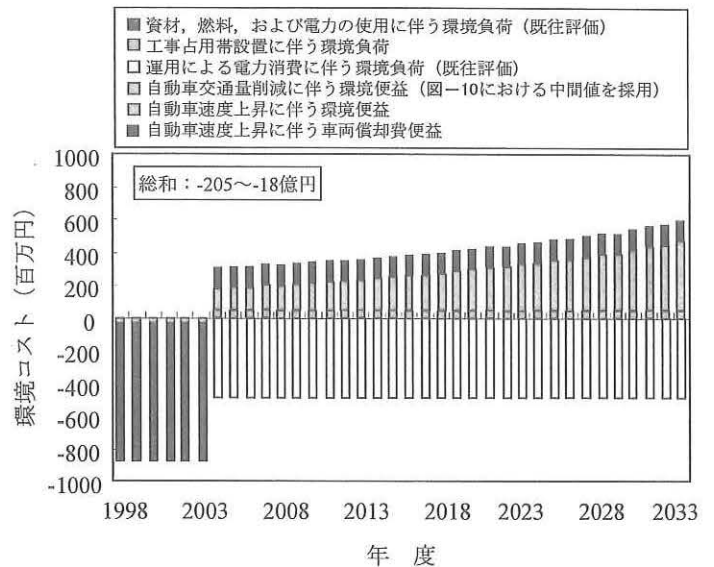


図-11 バンコク地下鉄事業において推定された環境コストの推移

本研究で考慮した社会経済的な費用便益要因のみでは、考慮すべき要因が必ずしも十分でない可能性がある。

上記のとおり、式-6 で示された NPV の結果に何らかの影響を与える可能性のある要因は、数多く存在すると考えられる。また、特定の要因を設定したのみで NPV に関する最終結果を導出することは非常に危険である。そこで、今後はプロジェクトの時間的視野、社会的割引率、財務的費用便益の算定に関わる財やサービスの市場価値、さらには社会経済的費用便益の算定に関わる環境等の評価価値をより深く追究し、社会基盤構造物の効率性を評価するため環境会計を考慮した費用便益分析を実施することが重要であると考えられる。

5. おわりに

本研究は LCA に基づく環境会計を取り入れたバンコク地下鉄の効率性を議論した。具体的には、LCA の実施によって定量化されたバンコク地下鉄の環境影響を貨幣価値化した上、環境会計として NPV に供することでバンコク地下鉄の効率性を評価した。

得られた成果は以下のとおりである。

- (1) バンコク地下鉄の建設段階における工事占用帯設置に伴う環境負荷は、建設段階における資材、燃料および電力の使用に起因する環境負荷と比較して小さい結果を得た。ただし、建設段階における

工事占用帯の設置に伴う環境負荷についても、建設段階における環境影響評価に考慮することが重要であることを示した。

- (2) バンコク地下鉄の運用は、周辺自動車交通の交通量削減、走行速度上昇ならびに車両償却費減少に伴う環境便益を発現することができる。また、当該環境便益は本研究で適用した LCA 手法によって定量化できる可能性を示した。
- (3) バンコク地下鉄において定量化した環境負荷ならびに便益は、対象環境影響物質の被害費用原単位を用い環境コストとして考慮することを可能とした。さらに、環境コストを正味現在価値 (NPV) に取り入れることで、バンコク地下鉄に対する環境会計を加味した効率性を評価することができた。

本研究では社会基盤構造物の効率性として、これまでは社会基盤構造物が与える直接的効果を中心に評価されてきたが、新たに社会に与える影響（環境会計）を加味した貨幣価値ベースでの評価手法を提案した。ただし、国際社会では一般に「善か悪か」「良いか悪いか」という判断を全て貨幣評価で行うことに、必ずしも広範な了解があるわけでない。さらに、公共性のある問題については貨幣評価よりも、より倫理的・道徳的評価が優先すべきである意識も、国際社会の中では希薄でない。今後は上記を含めて、社会基盤構造物の環境影響評価ならびに環境会計を社会環境学および環境経済学的に高度化する予定である。

謝 辞

本研究は、京都大学グローバル COE プログラム「アジア・メガシティの人間安全保障工学拠点」の一環として援助を受け、実施したものである。ここに記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 國部克彦・伊坪徳宏・水口 剛：環境経営・会計，丸善，pp.81-90，2007。
- 2) 伊坪徳宏・稲葉 敦：ライフサイクル環境影響評価手法，産業環境管理協会，2005。
- 3) 下村恭民・稲葉 敦・クロード・シーゲンターラー：タイ開発事業を対象とした環境会計による環境評価手法の拡充，円借款事業評価報告書

2007，国際協力機構，pp.53-54，2007。

- 4) 井村秀文：建設の LCA，オーム社，2001。
- 5) 土木学会地球環境委員会 LCA 評価／環境パフォーマンス評価研究小委員会編：ISO-14030-40 の規格化による建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント，鹿島出版会，2000。
- 6) 加藤博和・柴原尚希：土木計画へのライフサイクルアセスメント適用に関する諸課題，第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，日本 LCA 学会，pp.72-73，2008。
- 7) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案)，日本総合研究所，pp.77-84，1998。
- 8) 稲積真哉・大津宏康・勝見 武・有菌大樹：環境コストを考慮した地下鉄構造物のライフサイクルアセスメント，地盤工学会誌，地盤工学会，Vol.57，No.3，pp.18-21，2009。
- 9) 稲積真哉・大津宏康・勝見 武・有菌大樹：社会基盤構造物の環境負荷・便益評価とバンコク地下鉄建設事業への適用例，土木学会論文集 F，土木学会，2008(投稿中)。
- 10) 日本建築学会：建物の LCA 指針，日本建築学会，CD-ROM，2001。
- 11) 井上紳一・中村毅一郎・森田緯之・松井 浩・森尾 淳：首都圏における BPR 関数の推定，土木計画学研究講演集，Vol. 29，2004。
- 12) 日本大学理工学部：タイ王国円借款の環境改善効果評価のための委託調査報告書，円借款事業評価報告書 2005，国際協力機構，pp.44，2006。
- 13) 並河良治・高井嘉親・大城 温：自動車排出係数の算定根拠，国土技術政策総合研究所資料，No.141，pp.1-193，2003。
- 14) Pacific Consultants International: MRT Blue Line Post Evaluation Project: Final Draft Report, Pacific Consultants International, 2007。
- 15) 山本俊行・松田忠士・北村隆一：保有期間との比較に基づく世帯における自動車保有期間の分析，土木計画学研究論文集，土木学会，No.14，pp.799-807，1997。

Environmental Assessment and Accounting on Bangkok Subway Project

By Shinya INAZUMI, Hiroyasu OHTSU, Katsunori SAWAI,
Tomoki SHIOTANI, Takeshi KATSUMI and Yuuki TANIZAWA

Generally, evaluation of projects is conducted by a viewpoint from burden and benefit of project owner. However, the public project which is constructed and operated with aid from taxes is insufficient to evaluate with a viewpoint from project owner level. In short, evaluation of public project should take into consideration not only from a viewpoint of project owner but also from viewpoints of impact of surrounding residents and environments. This study focuses on the emission of environmental pollutants as the impact on the project of infrastructure equipment. If the project emits large amount of CO₂, it may remain a huge negative legacy to generations in future. In the time when concerns regarding the environments as a whole are increasing, the impact on environments should be quantitatively evaluated. Then, we should quantify the emission amount of environment pollutants and evaluate through the project lifecycle.