

課題名	S-6-5 アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究
課題代表者名	林 良嗣（名古屋大学大学院環境学研究科附属交通・都市国際研究センター長・教授）
研究実施期間	平成21～25年度
累計予算額	189,586千円（うち25年度38,472千円） 予算額は、間接経費を含む。
本研究のキーワード	都市交通、大量輸送機関、端末交通、公共交通指向型開発、バンコク、地域間交通、インターモーダル輸送、サプライチェーン、鉄道指向型経済・工業開発、大メコン圏

#### 研究体制

- (1) アジアにおける低炭素都市・国土構造と交通システム設計に関する研究（名古屋大学）
- (2) アジアにおける都市内交通の低炭素化策評価に関する研究（日本大学）
- (3) アジアにおける低炭素な都市間交通システム設計に関する研究（東京工業大学）
- (4) アジアにおける低炭素交通・都市構造実現可能性評価に関する研究（横浜国立大学）
- (5) アジアにおける交通・国土構造の経済・環境バランスへの影響モデルに関する研究（南山大学）

#### 研究協力機関

東洋大学、カセサート大学（タイ）、ウボンラチャタニ大学（タイ）、コンケン大学（タイ）、プリンスオブソクラ大学（タイ）、交通通信大学（ベトナム）、デ・ラサール大学（フィリピン）、四川大学（中国）

#### 研究概要

##### 1. はじめに（研究背景等）

今後、世界の CO<sub>2</sub> 排出量増加の多くはアジア開発途上国において生じると見込まれる。中でも運輸部門の伸びは他部門に比べ大きいと予想され、その増加を抑制する施策をいかに立案し実施するかは極めて重要な課題である。運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量の趨勢を決定する主因は経済発展に伴うモータリゼーション進展の動向であることを考えると、経済発展と CO<sub>2</sub> 増加とをデカップリングする新たな交通体系モデルの提示は、アジア途上国において「持続可能な交通」を実現するために必要不可欠である。ところが、アジア途上国で実施されている交通政策にはこのような視点は十分考慮されておらず、多くの地域ではモータリゼーション進展に伴う渋滞を解消するために道路建設を進めるという対症的な施策に終始している。これは長期的には自動車交通の増加を誘発し、いっそうの CO<sub>2</sub> 増加をもたらすことになる。これは先進国都市が経験してきた失敗であるが、アジア途上国もすでに同じ道をたどりつつある。

また、成長過程にあるアジアでは、都市内交通以上に都市間を結ぶ地域間スケールの旅客及び貨物交通需要の成長率が高く推移すると見込まれる。アジア全域の地域間貨物輸送は現状でも低炭素な海上輸送が支配的であるが、内陸部の発展に伴い短距離・中距離でトラック輸送が増加している事に加え、地域間旅客輸送では、LCC (Low Cost Carrier) の成長により CO<sub>2</sub> 排出量が増えている。今後は、グローバル経済の進展と 2015 年の AEC (ASEAN Economic Community) 成立により、国内経済成長以上に地域間輸送は増加すると見込まれており、低炭素化方策の検討が急務である。

このような点を踏まえ、2050 年のアジア低炭素社会を実現しうる具体的な交通システム及び都市像をバックキャストアプローチにより提示するとともに、そこにリープフロッグ的に至るための施策群を提案することが今まさに求められている。

##### 2. 研究開発目的

本研究は、2050 年におけるアジア低炭素社会実現のための具体的な交通体系のビジョン及びその実現に向けた施策ロードマップ提示を目的とする。研究のアプローチとして、経済成長著しいアジアの CO<sub>2</sub> 排出構造の診断を行い、アジアの低炭素交通システム構築のための治療へと繋げる。まず、診断では、アジアの経済成長と CO<sub>2</sub> 排出構造について、アジア途上国と日本の過去のトレンドを比較することで、分析対象地域の欠点（病状）を特定する。続いて、治療では、S-6 プロジェクト全体の研究アプローチであるバックキャストアプローチを用

いて、低炭素交通システムのビジョニング、その実現のためのリープフロッグ施策の抽出、ロードマップの検証を行う。リープフロッグ施策は、不必要な交通需要の抑制(AVOID)、低炭素交通モードへの利用転換(SHIFT)、交通エネルギー消費の効率化(IMPROVE)の各戦略に分類し、アジアの社会像を踏まえた低炭素交通システムのビジョンを実現するための統合施策(処方箋)を提示する。

分析のスケールとしては、人々の生活を支える都市内交通システムの低炭素化の分析と、より大きいスケールで都市間・国間の経済取引を支える地域間交通システムの低炭素化の分析とで研究を行う。さらに、都市内交通分析は、より単純な都市圏単位の指標で都市特性に応じた低炭素交通モードを提示するマクロ分析と、より詳細な地区空間スケールでアジア都市のライフスタイルを踏まえた低炭素な都市空間構成と交通システムを提案するミクロ分析とで構成される。

本 S-6 プロジェクトにおける S-6-5 の位置づけとして、S-6-5 では、S-6-1 で提示される社会経済シナリオを基に将来社会像と交通行動の変化シナリオを設定し、その中で低炭素交通システムのあり方と実現手法の分析を行う。S-6-5 の分析結果として、アジアにおける交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の削減可能性が示され、これが S-6-1 の分析モデルにフィードバックされる。

S-6-5 内の研究体制として、都市内交通分析は、S-6-5-1(名古屋大学)が全体のとりまとめを行い、診断と都市圏スケールの治療分析に加え、大都市・中都市をケーススタディとした地区スケール分析を S-6-5-4(横浜国立大学)と S-6-5-2(日本大学)と協力して行う。地域間交通分析は、都市内交通と同様な研究アプローチをとり、診断とビジョン提示・施策検討といった治療分析を主に S-6-5-3(東京工業大学)が担当し、ロードマップ検証を主に S-6-5-5(南山大学)が行う。

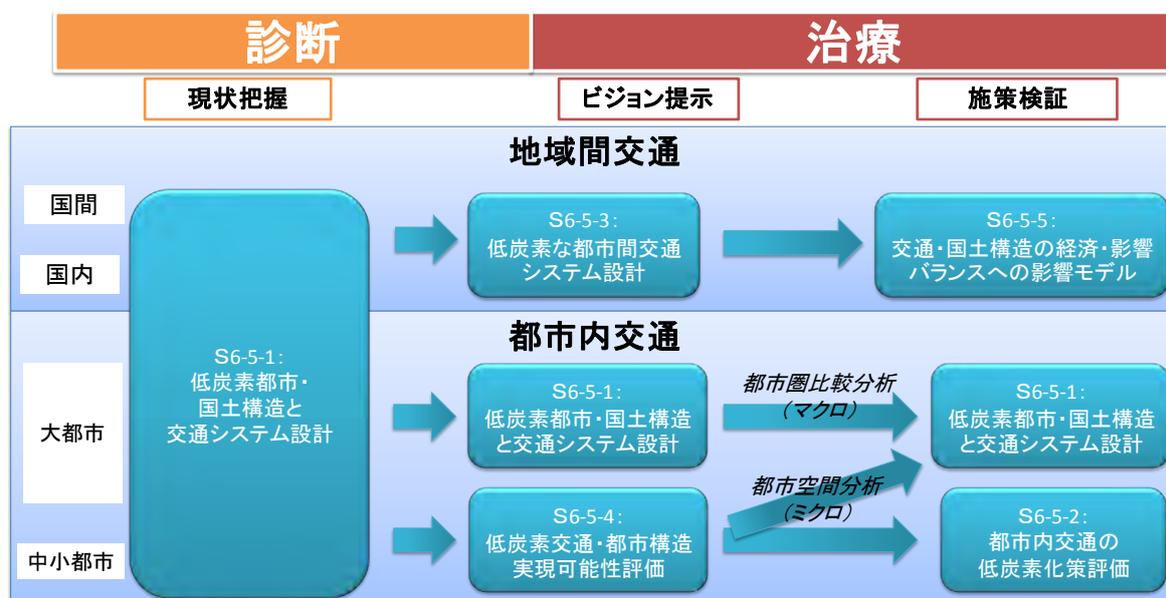


図 1 S-6-5 研究のアプローチ

### 3. 研究開発の方法

#### (1) アジアにおける低炭素都市・国土構造と交通システム設計に関する研究

##### 1) CO<sub>2</sub>排出構造の診断

アジア途上国の CO<sub>2</sub> 排出構造を簡易に診断するため、経済発展レベル、生産・消費需要、移動需要、自動車利用需要、交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の関係を 4 象限の図(排出構造 4 象限図)で示す手法を構築した。この手法を用いて、まず、アジア途上国における地域間交通 CO<sub>2</sub> 排出構造を診断するため、日本と中国の排出構造を比較した。また、この手法をアジア途上国都市で発展中期にあるバンコクとアジア先進国都市の東京に適用し、それぞれの CO<sub>2</sub> 排出構造の特徴を比較分析した。

##### 2) マクロ治療ビジョン提示

アジア途上国における道路優先整備に伴う急速なモータリゼーション・スプロールの問題や、将来想定される少子高齢化によって新たに起こりうる問題点への対策として、AVOID・SHIFT・IMPROVE 戦略を組み合わせ、低炭素都市に必要な土地利用交通システムの将来ビジョンを提示し、その実現手法を検討した。また、近年、道路優先整備から鉄道優先整備に大転換してきているバンコクの事例に注目し、交通低炭素化の軸となる施策である鉄道整備の実現に必要な要素を整理した。

##### 3) マクロ治療(都市圏スケール)

アジア途上国都市の交通低炭素化の簡易な治療法として、都市圏レベルで最も低炭素となる幹線交通のモード選定手法と CO<sub>2</sub> 削減目標達成に必要なその整備量の特定手法を、北京、上海、バンコク、東京、大阪、名古屋といった大都市の時系列データを用いて構築した。まず、ASEAN 大都市において、鉄道、BRT、自動車と比較して、それぞれの交通需要と車両技術レベルから、最も低炭素なモードを選定した。さらに、CO<sub>2</sub> 削減目標値をインプットとし、これを実現するのに必要な鉄道整備量を特定した。

#### 4) ミクロ治療 (地区スケール)

都市空間構成を含めた低炭素交通システムが生活の質 (QOL) に与える影響を考慮して、低炭素都市・交通システムのビジョン・ロードマップの有効性を検証した。この生活の質について、居住環境と交通機関の質に分け、それぞれの構成要素に対するバンコク市民の価値観を属性別に分析した。これを踏まえて、都市鉄道網の整備と駅前開発を早期に行う鉄道優先整備シナリオと、投資額を道路整備のみに投入する道路優先整備シナリオとが、CO<sub>2</sub> 排出量と QOL に与える影響を比較した。

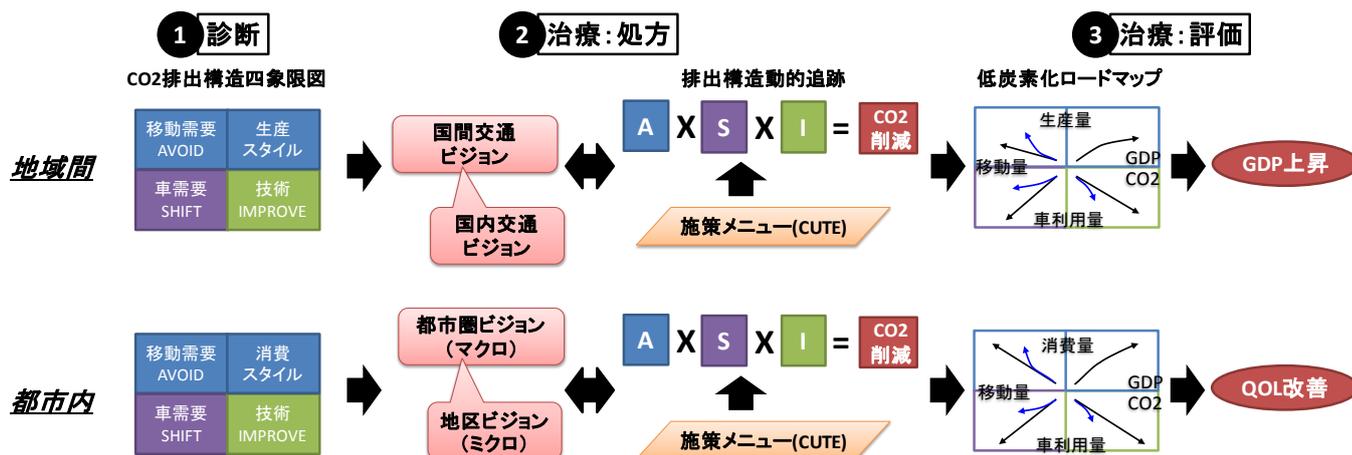


図 2 S-6-5 分析の枠組み

## (2) アジアにおける都市内交通の低炭素化策評価に関する研究

### 1) 発展初期中都市における治療

タイ・コンケンにおいて計画されている 5 路線の BRT の導入にあわせて、公共交通指向型開発 (TOD)、電気自動車・二輪車 (EV)、ハイブリッド自動車 (HV) への転換、バイオエタノールの製造と使用などからなる複数の施策パッケージを策定し、CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計した。

また、ラオス・ビエンチャンにおいて計画されている BRT 整備の 1 路線を対象とし、BRT の導入と合わせて都心において自動車駐車場の供給規制、BRT 駅での P&R 駐車場からなる総合的な駐車施策を導入する場合の CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計した。

### 2) 発展初期大都市における治療

フィリピン・マニラにおける既存の LRT、MRT を繋ぎ、軌道系公共交通のネットワーク機能を向上させる目的から計画されている複数の BRT (バス高速システム) 整備の 1 路線を対象として、その導入による CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計した。

ベトナム・ハノイで世界銀行が提案する BRT 整備の 1 路線を対象として、その導入による CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計した。BRT の導入と合わせて、BRT 沿線のゾーン間トリップからオートバイと乗用車の需要が BRT へそれぞれ 10%、30%、50% 転換すると仮定した場合を設定した。各ビジョンに合わせた CO<sub>2</sub> 排出削減量を車種別に推計した。

## (3) アジアにおける低炭素な都市間交通システム設計に関する研究

### 1) 地域間貨物交通の施策処方

中央アジア及び GMS (大メコン圏) でのインタビュー調査から、単位貨物あたりの CO<sub>2</sub> 排出量が低い鉄道を利用したインターモーダル輸送 (コンテナなどを用いてトラック、鉄道、船舶など異なった輸送機関を組み合わせる輸送形態) への転換の可能性を検討し、CO<sub>2</sub> 排出量削減の可能性を分析した。これを踏まえ、GMS での複数の CO<sub>2</sub> 削減目標に対する最適機関分担率を目標計画法により示した。

また、サプライヤー数の多い自動車製造業を対象に、組立工場及びサプライヤーの立地や輸送の現状を把握した上で、その立地の変化による生産・輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量の変化を分析した。

水運については、世界の主要 3 航路のコンテナ船を対象として、環境費用である CO<sub>2</sub> 排出量を内部化すると

きの最適運搬速度を、船社の利益を考慮して、船舶サイズ別に推計した。

さらに、地域間貨物交通の端末となる都市内貨物輸送についても、今後貨物交通の要所となるタイのコンケンでのトラック輸送を対象に、現地での交通調査を行い、TOD 導入や流入規制、電気貨物自動車導入によるCO<sub>2</sub> 排出量の将来推定を行った。

#### 2) 地域間旅客交通の施策処方

上海を対象に、高速鉄道と航空の旅客特性の分析と、機関選択モデルの推定を行った。また、日中韓の国際直行便を対象に、航空機の機材サイズ変更によるCO<sub>2</sub> 排出量変化を推定した。

#### 3) 治療ビジョン提示

アジア途上国における低炭素地域間交通システムの将来ビジョンについて検討し、これを実現するために必要なロードマップを定性的に検討した。GMS における交通投資の動向を踏まえ、貨物輸送におけるトラック輸送の普及、旅客輸送におけるLCCの普及をそれぞれ抑制するための低炭素地域間交通システムのビジョンを、AVOID・SHIFT・IMPROVEの3つの観点から検討し、その実現手法を検討した。

### (4) アジアにおける低炭素交通・都市構造実現可能性評価に関する研究

#### 1) 交通システム運用の診断

アジアの典型都市において、近年導入が進んでいる都市鉄道、将来的にも都市の公共交通の中心的な役割を担い得るバスシステム、及び都市鉄道導入後に端末輸送手段としての役割が期待されるパラトランジットシステムに着目して、制度面や技術面での現状と課題及び将来動向について調査した。

#### 2) 交通システム運用方法の処方

先進的な取り組みをしている都市の事例として、公共交通運営のみならず、公共交通指向型開発、都心や郊外拠点における歩行者空間設計、自家用車利用抑制などの施策についての政策経験のある都市を選定し、現地ヒアリングを行って導入時の課題等を考察した。

#### 3) ミクロ治療ビジョン提示

大都市での低炭素都市交通システムのビジョンについては、導入する鉄道のサービスのあり方、駅周りの空間構成の考え方、駅周縁部までのアクセス交通のあり方、自家用車利用の抑制策等を提案した。また、中都市のビジョンとして、BRT及び他のバス輸送の運営体制のあり方を検討した。最後に、これらの実現可能性について、技術面、制度面から考察し、政策立案に向けての知見をまとめた。

### (5) アジアにおける交通・国土構造の経済・環境バランスへの影響モデルに関する研究

#### 1) 国内都市間交通の治療

AVOID・SHIFT・IMPROVEの各戦略の地域間交通政策がCO<sub>2</sub> 排出に与える影響を評価するため、環境・経済統合型モデルを開発した。このモデルは、地域経済に与える影響を評価するモデル、地域間交通に与える影響を評価するモデル、CO<sub>2</sub> 排出に与える影響を評価するモデルから構成されている。本モデルを、タイ国内の都市圏間交通のスケールに適用して、国土構造の空間開発パターンを考慮した施策の有効性を検証した。

#### 2) 国際交通の治療

環境・経済統合型モデルを、中国と大メコン圏(タイ、ベトナム、ラオス、カンボジア、マレーシア、シンガポール)という国際スケールに拡張し、国際的な交通システム整備が地域経済に与える影響を考慮した施策の有効性を検証した。

## 4. 結果及び考察

### (1) アジアにおける低炭素都市・国土構造と交通システム設計に関する研究

#### 1) CO<sub>2</sub> 排出構造の診断

日本と中国のCO<sub>2</sub> 排出構造を比較した結果、中国は日本より貨物鉄道が利用され、貨物輸送量におけるトラック輸送割合は小さいのにも関わらず、CO<sub>2</sub> 排出量は同じ経済発展段階のデータで比較しても約12倍大きいことが示された。この要因の1つとして、中国における貨物重量に対する貨物輸送キロが日本より高いことから、国土構造において生産地と消費地の都市がより拡散的に開発され、サプライチェーンが大きく拡大していることが考えられる。また、急速な高速道路整備により貨物輸送量におけるトラック輸送量も近年増加傾向にあり、今後もCO<sub>2</sub> 排出の増加がより大きくなると予想される。

また、人口レベルが同規模のバンコク大都市圏と東京都のデータを用いて、4象限の図を描いた結果、トリップ当たりの移動距離と移動距離当たりの自動車移動距離がバンコクで大きいことが示された。この要因として、バンコクでは、鉄道整備レベルがより低く都市スプロールとモータリゼーションがより進んでいることが分かった。一方で、自動車移動距離に対するCO<sub>2</sub> 排出量は、バンコクと東京は同程度であった。これは、乗用車に比べエネルギー効率が高い2輪車利用がバンコクでより高いことに起因するが、今後のモータリゼーションの進行により、

乗用車への転換が進み、交通エネルギー消費の効率も悪化することが予想される。

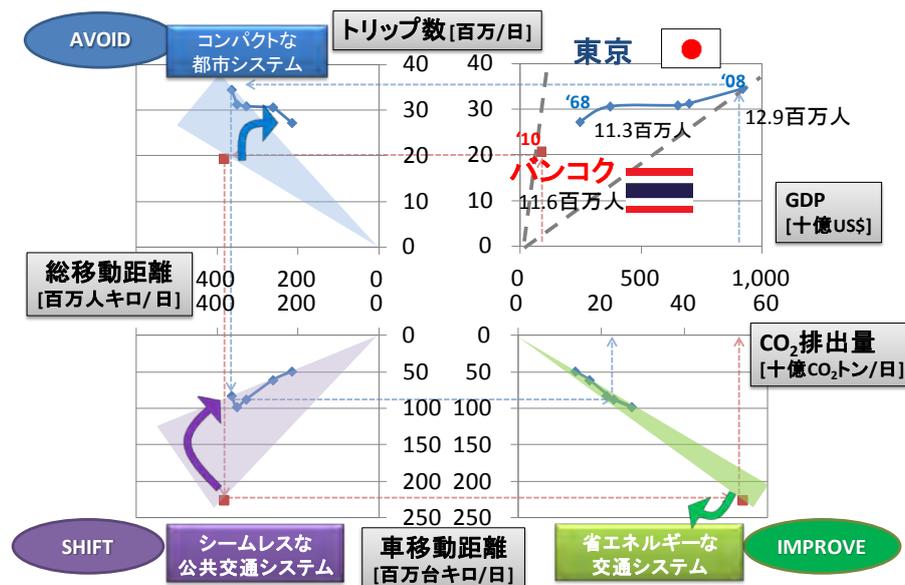


図3 都市交通起源CO<sub>2</sub>排出構造の4象限図

## 2) マクロ治療ビジョン提示

低炭素都市・交通システムの将来ビジョンを、コンパクトで階層的な中心機能配置(AVOID)、シームレスな階層交通システム(SHIFT)、自動車の低炭素化(IMPROVE)の概念の組合せで提示した。このようなシステムを実現するための施策については、都市発展初期ではモビリティ需要の増大に対応可能なインフラ整備を中心とした施策を、発展後期では経済効率性重視から社会充足性重視へとライフスタイル・価値観の変化を啓発するような施策が重要であることが分かった。

また、バンコクにおける近年の鉄道優先整備への転換の経緯を整理した結果、整備事業を成功させるには財源確保・事業者の体力強化・行政リーダーシップといった要素が必要であることが分かった。

## 3) マクロ治療(都市圏スケール)

ASEAN 大・中都市で低炭素モードを選定した結果、車両技術の進歩を考慮しても、多くの都市で鉄道・BRT導入が低炭素であることが示された。この低炭素交通モードに対して、2050年に現況比約40%の都市旅客交通起源CO<sub>2</sub>排出量の削減に必要な整備量を検討した結果、2010年から30年までの早期整備をした場合、鉄道は平均約800km、BRTは平均約1000kmの整備が必要であることが示された。

## 4) ミクロ治療(地区スケール)

バンコク市民の交通機関と居住環境への価値観を分析した結果、低所得層はコストと安全性を重視したアクセス性、中所得層は移動時間を重視したアクセス性、高所得層と中所得高齢層では移動・居住の快適性をそれぞれ重視していることが分かった。このような選好を踏まえて将来の交通行動変化を推計した結果、車両技術の向上を考慮しても鉄道優先整備は道路優先整備より低炭素であることが示された。鉄道優先整備シナリオの中でも、駅前から車利用を排除し高質な駅前整備を行うカーフリーシナリオのCO<sub>2</sub>削減が最も高く、渋滞抑制・QOL向上にも効果的であることが分かった。

## (2) アジアにおける都市内交通の低炭素化策評価に関する研究

### 1) 発展初期中都市における治療

タイ・コンケンにおいて、車両技術向上に加えBRT・TODを導入する施策パッケージの効果を分析した結果、2030年におけるCO<sub>2</sub>排出削減量は最大でBaU比約50%と大幅に削減できることを示した。

また、ラオス・ビエンチャンのBRT導入に合わせて、都心で駐車場供給量を規制する場合、2030年においてCO<sub>2</sub>排出をBaU比6%、P&Rを実施する場合、3%削減可能であることが分かった。

### 2) 発展初期大都市における治療

人口規模の大きいフィリピン・マニラでのBRT導入効果を分析した結果、BRT導入規模が小さい場合の交通行動変化は限定的で、2015年においてCO<sub>2</sub>排出削減量はBaU比1%以下となった。

また、ベトナム・ハノイのBRT導入において、オートバイ、乗用車からBRTへ需要が転換し渋滞が解消する場合、2020年において各車種ともCO<sub>2</sub>排出量を最大BaU比5%削減可能であることを明らかにした。

### (3) アジアにおける低炭素な都市間交通システム設計に関する研究 1) 地域間貨物交通の施策処方

調査の結果、GMS 域内の鉄道インターモーダル輸送の促進には積替施設の整備が不可欠であることが分かった。ラオスにおけるドライポートの整備では、シナリオ分析により 40%近く CO<sub>2</sub> 排出量を削減する結果となった。また、GMS において貨物鉄道の整備により、高い削減目標達成が可能になることが分かった。

サプライチェーンについての分析では、貨物鉄道の路線沿いにサプライヤーや組立工場の立地を促し、産業コリドーの形成を促すことが有効であることが示唆された。また、コストとともに立地先の国の電力排出係数を考慮することで、コストと排出量の同時削減を達成できることを示した。

海上輸送では、減速運航により船社の小さな利益変化率で大きな CO<sub>2</sub> 削減率を達成可能であることを示した。

さらに、端末の都市内貨物交通では、TOD で産業・業務機能も集約し、電気貨物自動車の普及も同時に進めることで、渋滞と CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待できることが明らかになった。

#### 1) 地域間旅客交通の施策処方

旅客部門における高速鉄道と航空の競争状況を表す機関選択モデルを推計した結果、中所得層は高速鉄道を、高所得層は航空を利用する傾向があり、これまで先進国における両者の競争では見られなかった所得階層の違いによる影響が明らかになった。また、航空機の機材サイズ変更の影響を分析した結果、大型から中型・小型に変更することによっても CO<sub>2</sub> 排出量が削減可能となることを示した。

#### 2) 治療ビジョン提示

低炭素地域間交通システムの将来ビジョンとして「鉄道・水運の主流化」を提示した。具体的には、貨物高速鉄道による産業コリドー形成(AVOID)、鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流交通システム(SHIFT)、自動車・航空機の低炭素化(IMPROVE)の3つの観点から将来ビジョンを整理した。これらの将来ビジョンを実現するための方策として、経済成長期に高速鉄道や水運の整備(SHIFT)に積極的な投資を行い、鉄道輸送を主体とした産業構造の転換を図ること(鉄道指向型経済・工業開発: Rail Oriented Development)が重要であることを示した。

### (4) アジアにおける低炭素交通・都市構造実現可能性評価に関する研究

#### 1) 交通システム運用の診断

バンコクの都市鉄道の分析では、駅周辺開発では機能集積の魅力が鉄道自体の交通手段としての魅力よりも卓越し自家用車利用抑制への効果は現状では高くないこと、端末輸送の多くがパトランジットで駅前広場が整備されていないこと、エアポートレールリンクにみる最高速度時速 160km のサービスが自家用車利用者を惹きつける効果があることが確認できた。

バスの分析では、運転士の給与体制や、車両の管理方式に前近代的な仕組みが残存し、適切な運賃収入、安全運転やスケジュール通りの運行を阻害する要因となっていることが明らかになった。パトランジットの分析では、事業形態・雇用契約・運行形態の多様性がある中、代替燃料や電気自動車化が進んでいる例もあり、将来的により低炭素なシステムとして成立可能であることが分かった。

#### 2) 交通システム運用方法の処方

欧州のドイツ及びフランスの数都市、南米のブラジル及びコロンビアの数都市への現地ヒアリング調査の結果より、都市鉄道やバス等の公共交通の一元的な運営、都心歩行者空間実現のための社会実験、バス専用走行空間確保のための土地区画整理事業の活用、公共交通インフラ整備費用捻出目的での地域的なガソリン税増税策、等が有効であることを明らかにした。

#### 3) ミクロ治療ビジョン提示

アジア大都市における詳細ビジョンでは、高速運行も行える都市鉄道の整備、各駅での大胆な歩行者空間の確保、郊外駅での鉄道駅前ゲートコミュニティの建設、低環境負荷で効率的運行管理のパトランジットの導入、シェアリングシステムの導入等を提示した。中都市では、バス運営システムの近代化と、土地利用規制や自家用車利用抑制(登録番号規制や都心駐車規制等)を組み合わせた案を提示した。

これらの実現可能性について、土地所有制度と建築規制関連法の強化、運賃政策への過度な政治介入の見直し等の課題を明らかにした。さらにビエンチャン市でのケーススタディを通して、BRT を担い得る運営事業者としての運営体制近代化は、地道な技術支援の蓄積の上に可能であることを確認した。

### (5) アジアにおける交通・国土構造の経済・環境バランスへの影響モデルに関する研究

#### 1) 国内都市間交通の治療

タイにおける空間開発パターンを評価した結果、CO<sub>2</sub> 排出量を減らすためには、首都バンコクに集中した産業をその周辺地域も含めた地域にもう少し分散させていく必要があることが分かった。

## 2) 国際交通の治療

大メコン圏では、炭素税の導入や貨物の高付加価値化を推進しながら貨物輸送量を抑制し、貨物鉄道技術等を活用した低炭素な地域間交通システムへの投資を積極的に推進することができれば、トラック輸送量は抑制され、この地域の CO<sub>2</sub> 排出量を抑制することが可能であることが明らかになった。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

#### 1) アジアにおける低炭素都市・国土構造と交通システム設計に関する研究

バックキャストによるアジアの低炭素交通システムの設計手法を新たに具体化し、ビジョンづくりから政策選択までのプロセスを、一貫したシステムとして提示した。アジアの長期的将来における社会経済や都市開発の変化に伴う交通需要の大きな変化を想定した上で、データの利用可能性に応じてアジア途上国都市の低炭素交通システムの設計を行う手法体系を構築した。

#### 2) アジアにおける都市内交通の低炭素化策評価に関する研究

アジア途上国における都市レベルのデータ不足により、定量化が困難であった都市交通の低炭素化について、様々な都市での現地調査からモデル分析を行うことで、その施策の妥当性を明らかにした。

#### 3) アジアにおける低炭素な都市間交通システム設計に関する研究

都市内交通に比べ施策メニューが限られた地域間交通施策について、将来の産業構造の変化を考慮して、費用削減と CO<sub>2</sub> 排出量削減を両立できる施策を提示した。

#### 4) アジアにおける低炭素交通・都市構造実現可能性評価に関する研究

これまで必ずしも十分に分析されていなかったアジアの都市交通の運営や制度上の課題を明らかにし、アジアでの都市交通戦略立案におけた計画理論を体系化した。

#### 5) アジアにおける交通・国土構造の経済・環境バランスへの影響モデルに関する研究

これまで個別に検討が行われてきたアジアの地域経済と環境について、交通モデル・経済モデル・環境モデルの統合型モデルを開発することで、より包括的な評価を行うことが可能になった。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

国土交通省自動車交通局でのバス事業の海外展開の検討において、本研究の成果であるラオス・ビエンチャン市でのバス運営公社運営体質改善についての研究成果を紹介し、今後のアジア途上国都市へのバス事業展開政策立案作成に貢献した。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

交通分野における気候変動対策の重要性の世界レベルでの周知に努めるため、本研究成果を踏まえて、75 개국から 1500 名の研究者・政策実務担当者の集まる世界交通学会(WCTRS)における議論を集約したリーフレットを作成し、それを国連気候変動枠組条約締約国会議(COP15-19)でのサイドイベントや、アメリカ交通学会(TRB)等の各種国際会議やシンポジウム等で配布し、その成果を広く広報してきた。

本研究で提示したアジア低炭素交通システムの将来ビジョンや実現施策についての成果は、コンケンでは、知事、市長、副市長、ビエンチャンではラオス公共事業交通省の交通局長、交通技術環境室長といった行政関係者にも内容を紹介しており、今後の BRT の導入などにおいて分析内容が利用される可能性がある。また、タイに続いてモータリゼーションによる渋滞が深刻化し大量輸送機関整備を進めているマニラ、ハノイといった多くのアジア都市において交通計画、都市計画に関するマスタープランが作成段階であり、そのような都市への適用も期待される。インドネシア交通省も、本研究手法のインドネシアへの適用について興味を示している。

環境省が主導的にアジア途上国大都市及び中規模都市の低炭素都市交通実現のための海外支援に携わる際に、本研究成果を踏まえて、都市特性に応じた大量輸送機関と道路・鉄軌道の交通インフラの整備規模を特定し、鉄道・BRT 整備時の駅前地区改善歩行者化、郊外での鉄道駅直結型ゲートコミュニティ開発、端末パラトランジットサービス等のシステムのメニューと、既存運輸事業者の体力強化といった実現手法のメニューを、システム利用に伴う新たなライフスタイルを含めて提案することができる。

また、国際的に環境対策への関心が高まる中で、アジア途上国でも、環境的に持続可能な交通システム(EST)、クリーン開発メカニズム(CDM)、国別緩和行動(NAMA: Nationally Appropriate Mitigation Actions)、二国間オフセット・クレジット制度(BOCM: Bilateral Offset Credit Mechanism)などを利用した交通プロジェクトへの取り組みを実施している。本研究で構築したアジア途上国における CO<sub>2</sub> 推計手法についての成果は、対象国政府、国際協力機構をはじめ、わが国の ODA 関連機関、地球温暖化の対策に関連する組織などの業務に、大きく貢献できるものである。

加えて、アジアにおける都市間・国間といった地域間のスケールでも、タイ、ベトナム、インドなどを中心に鉄道整備計画が進められている。インターモーダル輸送による CO<sub>2</sub> 排出量削減効果と経済効果は、シンガポールから中国に至る鉄道整備計画等において活用が期待されるとともに、アジアのインターモーダル輸送を促進している UNESCAP などの国際機関にとっても有益な情報である。事業者の排出量の算定及び報告の基準が世界的に浸透しつつある中で、本研究が示すサプライチェーンの立地を考慮した鉄道指向型経済・工業開発(産業 ROD: Rail Oriented Development)は新たな低炭素化手法の概念であり、途上国の経済成長の方向性を一転させうるものである。日本政府によるインフラ輸出の動きの中で、インフラ運用・産業開発の点も含めて日本政府がイニシアティブを取るために、このような研究成果を活用していくことが期待される。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) S. HANAOKA and M. B. REGMI: IATSS Research, Vol.35, No.1, pp.16-23 (2011)  
“Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective”
- 2) K. ITO, H. KATO, N. SHIBAHARA and Y. HAYASHI: Transport Research Record, 2252/2011 (2012)  
“Estimating Additional Mass Transit Needed to Reduce Carbon Dioxide Emissions from Regional Passenger Transport in Japan”
- 3) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: Journal of Society for Social Management Systems, SMS11-7593 (2012)  
“Strategic Land-use Transport Planning to Realise Low-carbon Systems for Asian Developing Cities”
- 4) 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 土木学会論文集D3(土木計画学), 68(5), (土木計画学研究・論文集第29巻), pp.I\_823-I\_830 (2012).  
「アジア途上国大都市における鉄道整備時期を考慮したモータリゼーション進展の将来予測」
- 5) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 中村文彦, 花岡伸也: 土木学会論文集D3(土木計画学), 68(5), (土木計画学研究・論文集第29巻), pp.I\_857- I\_866 (2012).  
「アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出」
- 6) K. ITO, K. NAKAMURA, H. KATO and Y. HAYASHI: The Journal of Society for Social Management Systems, SMS12-1209 (2012)  
“A Methodology to Identify Low Carbon Passenger Transport Modes for Intra-Urban Travel in Asian Developing Countries”
- 7) 花岡伸也: 交通学研究, 2011年研究年報, pp.133-142 (2012)  
「中国における高速鉄道と航空の旅客特性と機関選択」
- 8) 花岡伸也, 川崎智也: 日本物流学会誌, No.20, pp.229-235 (2012)  
「中央アジアを対象とした内陸国貨物輸送における港湾アクセス」
- 9) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and W. RUI: Journal of International City Planning, pp.111-123 (2012)  
“Evaluating Transit-Oriented Development along Urban Railway in Bangkok, Thailand”
- 10) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: Global Environmental Research, Vol.17 No.1, pp.47-60 (2013)  
“Mocrosopic Design of Measures to Realise Low-Carbon Land-Use Transport System in Asian Developing Cities”
- 11) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, ワスタラースク・ワシニー: 土木学会論文集D3, Vol.69, No.2, pp.146-159 (2013)  
「アジア途上国都市における土地利用交通施策の早期実施によるスプロール抑制効果」
- 12) K. NAKAMURA and Y. HAYASHI: Transport Policy, Vol.29, pp264-274 (2013)  
“Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects”
- 13) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, (2013)  
“Low-carbon land-use transport systems to improve liveability for Asian developing cities.”
- 14) K. ITO, K. NAKAMURA, H. KATO and Y. HAYASHI: The Slected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil, (2013)  
“Identifying Most Carbon-Efficient Transport Systems for Conurbations in Asian Developing Countries.”

- 15) Y. HASHINO, K. KINOSHITA, A. FUKUDA, S. SCHREINER, T. FUKUDA and H. IKESHITA: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transportation Research (2013)  
“Measuring the Carbon Dioxide Impacts of Urban Transportation Projects in Vientiane, Lao PDR”
- 16) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and W. RUI: The Selected Proceeding of the 13th WCTR, Rio de Janeiro, Brazil (2013)  
“Residential Location Choice Analysis along the Urban Railway Corridor in Bangkok, Thailand”
- 17) Y. TOYAMA and F. NAKAMURA: The Selected Proceeding of the 13th WCTR, Rio de Janeiro, Brazil (2013)  
“A STUDY ON BRT APPLICABILITY ON LARGE CITIES IN DEVELOPING COUNTRIES”
- 18) A. FUKUDA, T. SATIENAM, H. ITO, D. IMURA and S. KEDSADAYURAT: The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies, Vol.10, pp.113-130 (2013)  
“Study on Estimation of VKT and Fuel Consumption in Khon Kaen City, Thailand”
- 19) 花岡伸也: 海運経済研究, No.47, pp.85-93 (2013)  
「国際海運における環境費用を考慮した船舶速度の推計」
- 20) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and W. RUI: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.10 (2013)  
“Location and Mode Choice Decision Mechanism Analysis of Multi-Worker Household in Bangkok, Thailand”
- 21) 藤田将人, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 環境共生, Vol.24, pp.62-70 (2014)  
「アジア途上国大都市におけるパラトランジットを活用した低炭素旅客交通システムの検討」
- 22) M. B. REGMI and S. HANAOKA: International Journal of Sustainable Transportation (2014) (in press)  
“Assessment of modal shift and emissions along a freight transport corridor between Laos and Thailand”

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象:社会・政策研究の分野)

特に記載すべき事項はない。

## (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) A. FUKUDA: WCTRS-SIG11 International Symposium, Japan (2009)  
“CDM and the Problems for Applications in Asia”
- 2) M. B. REGMI and S. HANAOKA: The 3rd International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2010), Fukuoka (2010)  
“A framework to evaluate carbon emissions from freight transport and policies to reduce CO<sub>2</sub> emissions through mode shift in Asia”
- 3) 房小琳, 花岡伸也: 土木計画学研究・講演集, No.43 (2011)  
「中国鉄道コンテナ貨物輸送の課題と将来需要推計」
- 4) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: The 91st Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., US (2011)  
“A Backcasting Approach to Designing Low-Carbon Urban Transport Systems for Asian Developing Cities; Application to Bangkok”
- 5) 山本充洋, 中村一樹, 藤田将人, 加藤博和, 林良嗣: 第46回土木計画学研究発表会 (2012).  
「アジア途上国大都市における長期的将来の低炭素都市・交通システム構成要素の検討」
- 6) T. NAKAMURA, A. FUKUDA, H. ITO, Y. HASHINO and Y. SEKI: The 5th ATRANS Symposium (2012)  
“Evaluation of Impacts of Bus Priority Measures on Reliability of Bus Operation Using Micro Traffic Simulation - Case Study in Hanoi, Vietnam”
- 7) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: The 92nd Annual Meeting of Transportation Research Board (2013)  
“Comparison between Long-term Effects of Road Development and Railway Development for a Low-Carbon Urban Transport System in Bangkok”
- 8) 藤田将人, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣, Vasinee WASUNTARASOOK: 日本環境共生学会第16回学術大会 (2013)  
「バンコクにおける世代・収入によるQOL価値観の違いに関する分析」
- 9) K. NAKAMURA, V. VARAMETH, H. KATO, Y. HAYASHI and T. MAEDA: The 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, Taiwan (2013)  
“Assessment for Transport Development with Attractiveness Measurement of Travel in Asian Developing

Cities: a Case Study of Bangkok.”

- 10) V. WASUNTARASOOK and Y. HAYASHI: The 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, Taiwan, PP1005, (2013)  
 “A Historic Review on Consequences of Critical Events Leading Revolution in Mass Rapid Transit in Bangkok.”
- 11) 中道久美子, 花岡伸也, 川原優輝: 土木計画学研究・講演集, No.47 (2013)  
 「自動車製造業の立地を考慮したグローバルサプライチェーンにおけるCO<sub>2</sub>排出量の推計」
- 12) 花岡伸也, 加藤智明, 中道久美子: 土木計画学研究・講演集, No.48 (2013)  
 「大メコン圏の地域間貨物輸送における環境を考慮した機関分担率の算出」
- 13) S. HANAOKA: Transport Side Event of COP19: WCTRS and NU-BCES Symposium, Warsaw (2013)  
 “Challenges and visions of low-carbon inter-regional transport development”

## 7. 研究者略歴

課題代表者: 林 良嗣

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。東京大学講師、名古屋大学講師、助教授を経て、現在名古屋大学大学院環境学研究科附属交通・都市国際研究センター長・教授。

研究分担者(サブテーマ代表者)

- 1) 福田 敦  
 日本大学大学院理工学研究科博士課程修了、日本大学助手、タイ王国アジア工科大学院助教授、日本大学講師・助教授を経て、現在、日本大学理工学部教授
- 2) 花岡 伸也  
 東北大学大学院情報科学研究科博士課程修了、(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員、タイ王国アジア工科大学院助教授を経て、現在、東京工業大学大学院理工学研究科准教授
- 3) 中村 文彦  
 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、東京大学助手、横浜国立大学助教授を経て、現在、横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院長・教授
- 4) 奥田 隆行  
 名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了、名古屋大学助手、助教授、教授、(公財)中部圏社会経済研究所主席研究員を経て、現在、南山大学大学院ビジネス研究科教授

## 5. アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究

### (1) アジアにおける低炭素都市・国土構造と交通システム設計に関する研究

名古屋大学

大学院環境学研究科

林 良嗣・加藤 博和

<研究協力者>

名古屋大学

大学院環境学研究科

中村 一樹・伊藤 圭・藤田 将人

平成21～25年度累計予算額：109,825千円

(うち、平成25年度予算額：22,544千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

経済発展と CO<sub>2</sub> 増加とをデカップリングする新たな交通体系モデルの提示は、アジア途上国において「持続可能な交通」をリープフロッグで実現するために必要不可欠である。本研究は、2050年におけるアジア低炭素社会実現のための具体的な都市交通体系のビジョン及びその実現に向けた施策ロードマップを、不必要な交通需要の抑制（AVOID）、低炭素交通モードへの利用転換（SHIFT）、交通エネルギー消費の効率化（IMPROVE）の各戦略を組み合わせ提示する。

まず、アジア途上国の CO<sub>2</sub> 排出構造の診断として、経済発展レベル、生産・消費需要、移動需要、車利用需要、交通起源 CO<sub>2</sub> 排出の関係を 4 象限で示した結果、バンコクの CO<sub>2</sub> 排出量は東京の 2 倍以上多く、その主要因として移動距離の増大と車利用の増大が顕著であることが分かった。

これを踏まえた交通低炭素化の治療として、低炭素都市・交通システムの将来ビジョンを、コンパクトで階層的な中心機能配置（AVOID）、シームレスな階層交通システム（SHIFT）、自動車の低炭素化（IMPROVE）の概念の組合せで提示した。そして、長期的将来の社会経済変化を想定して都市内交通の ASI 戦略の施策パッケージが CO<sub>2</sub> 排出に与える影響を推計するモデルを構築し、低炭素交通システムの実現ロードマップを検証した。ASEAN 大・中都市で低炭素モードを選定した結果、車両技術の進歩を考慮しても、多くの都市で鉄道・BRT 導入が低炭素であり、2050年に現況比約 40%の CO<sub>2</sub> 排出削減をするためには、2010年から30年までの早期整備をしても、鉄道は1都市当り平均約 800km、BRTは平均約 1000kmの整備が必要であることが示された。

バンコク市民の交通機関と居住環境への選好を踏まえて、土地利用交通システムの高質化が将来の交通行動変化を推計した結果、鉄道優先整備シナリオの中でも、駅前から車利用を排除し高質な駅前整備を行うカーフリーシナリオの CO<sub>2</sub> 削減が最も高く、渋滞抑制・生活の質（QOL）向上にも効果的であることが分かった。

#### [キーワード]

都市交通、大量輸送機関、端末交通、公共交通指向型開発、バンコク

## 1. はじめに

今後、世界の CO<sub>2</sub> 排出量増加の多くはアジア開発途上国において生じると見込まれる。中でも運輸部門の伸びは他部門に比べ大きいと予想され、その増加を抑制する施策をいかに立案し実施するかは極めて重要な課題である。運輸部門の CO<sub>2</sub> 排出量の趨勢を決定する主因は経済発展に伴うモータリゼーション進展の動向であることを考えると、経済発展と CO<sub>2</sub> 増加とをデカップリングする新たな交通体系モデルの提示は、アジア途上国において「持続可能な交通」を実現するために必要不可欠である。ところが、アジア途上国で実施されている交通政策にはこのような視点は十分考慮されておらず、多くの地域ではモータリゼーション進展に伴う渋滞を解消するために道路建設を進めるといった対症療法的な施策に終始している。これは長期的には自動車交通の増加を誘発し、いっそうの CO<sub>2</sub> 増加をもたらすことになる。これは先進国都市が経験してきた失敗であるが、アジア途上国もすでに同じ道をたどりつつある。

このような点を踏まえ、2050 年のアジア低炭素社会を実現しうる具体的な交通システム及び都市像をバックキャスティングアプローチにより提示するとともに、そこにリープフロッグ的に至るための施策群を提案することが今まさに求められている。

## 2. 研究開発目的

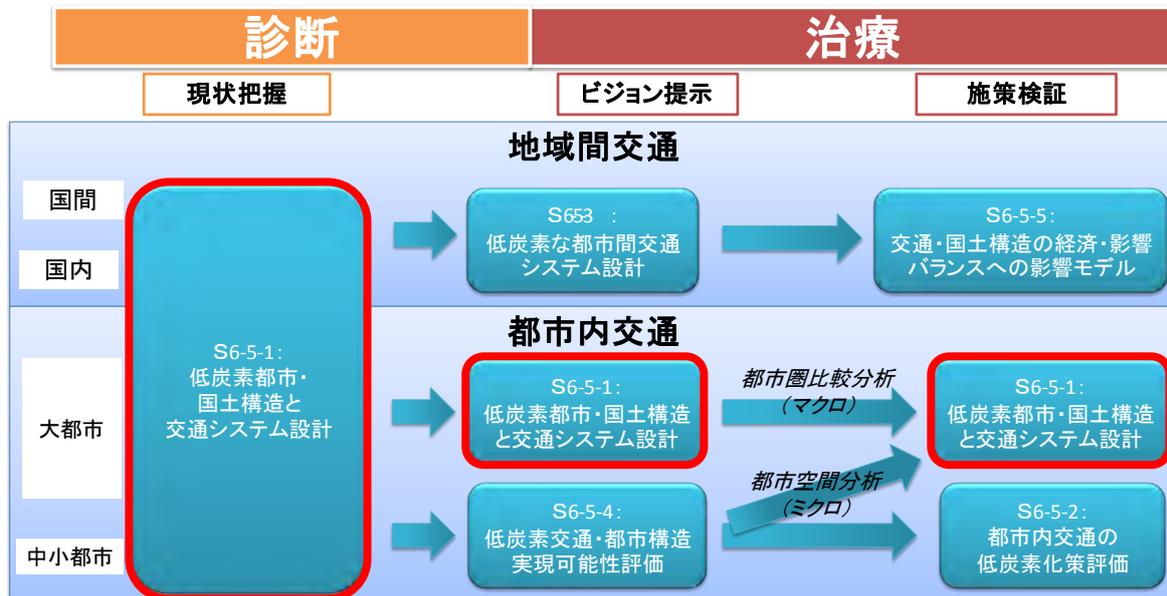
本研究は、2050 年におけるアジア低炭素社会実現のための具体的な交通体系のビジョン及びその実現に向けた施策ロードマップ提示を目的とする。研究のアプローチとして、経済成長著しいアジアの CO<sub>2</sub> 排出構造の診断を行い、アジアの低炭素交通システム構築のための治療へと繋げる。まず、診断では、アジアの経済成長と CO<sub>2</sub> 排出構造について、アジア途上国と日本の過去のトレンドを比較することで、分析対象地域の欠点（病状）を特定する。続いて、治療では、S-6 プロジェクト全体の研究アプローチであるバックキャスティングアプローチを用いて、低炭素交通システムのビジョニング、その実現のためのリープフロッグ施策の抽出、ロードマップの検証を行う。リープフロッグ施策は、不要な交通需要の抑制（AVOID）、低炭素交通モードへの利用転換（SHIFT）、交通エネルギー消費の効率化（IMPROVE）の各戦略に分類し、アジアの社会像を踏まえた低炭素交通システムのビジョンを実現するための統合施策（処方箋）を提示する。

分析のスケールとしては、人々の生活を支える都市内交通システムの低炭素化の分析について研究を行う。本研究は、より単純な都市圏単位の指標で都市特性に応じた低炭素交通モードを提示するマクロ分析と、より詳細な地区空間スケールでアジア都市のライフスタイルを踏まえた低炭素な都市空間構成と交通システムを提案するミクロ分析とで構成される。

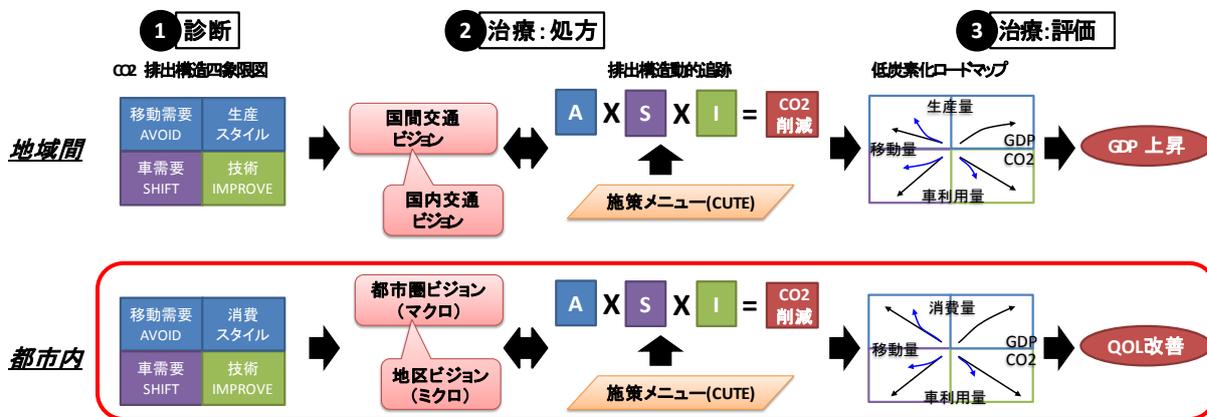
S-6 プロジェクトにおける S-6-5 の位置づけとして、S-6-5 では、S-6-1 で提示される社会経済シナリオを基に将来社会像と交通行動の変化シナリオを設定し、その中で低炭素交通システムのあり方と実現手法の分析を行う。S-6-5 の分析結果として、アジアにおける交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の削減可能性が示され、これが S-6-1 の分析モデルにフィードバックされる。

S-6-5 内の研究体制として、都市内交通分析は、S-6-5-1（名古屋大学）が全体のとりまとめを行い、診断と都市圏スケールの治療分析に加え、大都市・中都市をケーススタディとした地区スケール分析を S-6-5-4（横浜国立大学）と S-6-5-2（日本大学）と協力して行う。ビジョン提示において、地区スケールのビジョンの検討を S-6-5-4（横浜国立大学）を協力して行う。また、S-6-5-1（名古屋大学）はバンコクを中心としたケーススタディを行うが、より多様な都市特性の分析を S-6-5-2

(日本大学)が担当する。地域間交通分析は、主に S-6-5-3 (東京工業大学) と S-6-5-5 (南山大学) が行うが、診断については S-6-5-1 (名古屋大学) が都市内交通と同様に行う。



図(1)-1 S-6-5(1)研究の位置づけ



図(1)-2 S-6-5-1 分析の重点

### 3. 研究開発方法

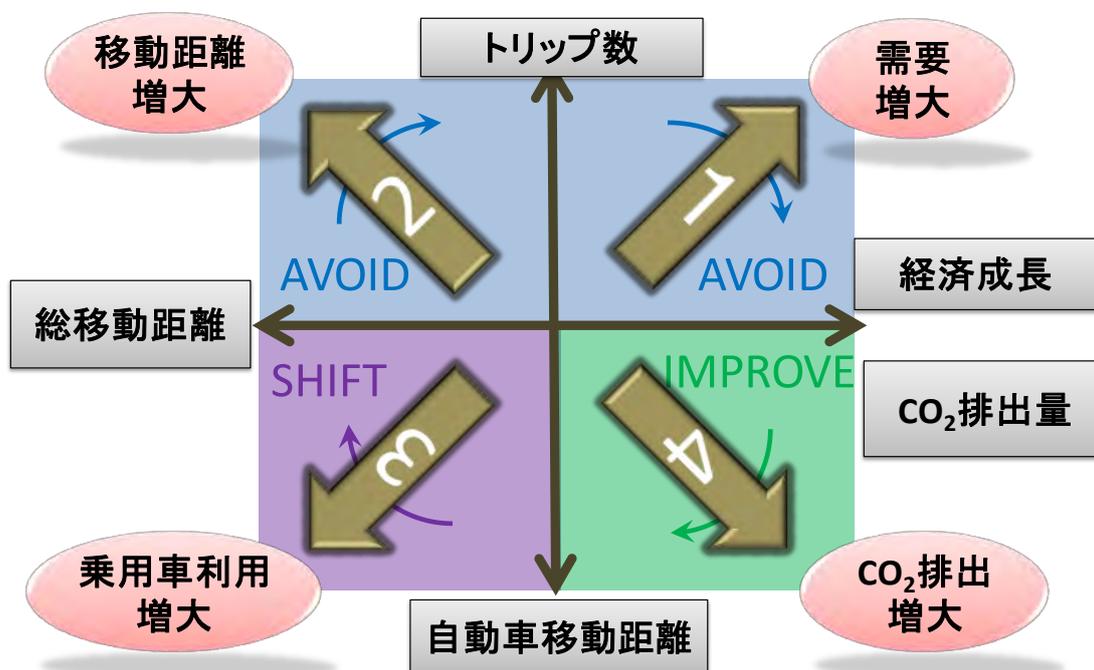
#### (1) CO<sub>2</sub>排出構造の診断

利用データの限られたアジア途上国において、低炭素交通実現のための診断を簡易に行う手法を構築することが重要である。このため、1) 経済成長に伴う生産・消費需要の増加、2) 生産・消費需要増に対する移動需要の増加、3) 移動需要増に対する CO<sub>2</sub> 排出量の多い自動車利用需要の増加、4) 自動車需要増に対する交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の増加の関係を 4 象限の図 (排出構造四象限図) で示す手法を構築した (図(1)-3)。この手法では、それぞれの象限における、2) 生産・消費需要量に対する移動距離、3) 移動距離に対する自動車走行距離、4) 自動車走行距離に対する交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の傾きから、各都市における都市スプロール (AVOID)、自動車依存度 (SHIFT)、

交通エネルギー消費効率（IMPROVE）の度合いを把握することができる。

## 1) 国内交通

まず、都市間交通を含めた国内交通起源の CO<sub>2</sub> 排出構造について、1)経済成長（GDP）に伴う重量ベースの貨物輸送量、2)輸送距離の増加によるトンキロベースの貨物輸送量、3)トラック貨物輸送量（トンキロ）、4)交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量をそれぞれ時系列で表示した。この手法を、国内交通ではアジアで経済成長著しく人口規模も大きい中国と先進国の日本に適用し、それぞれの CO<sub>2</sub> 排出構造の特徴を比較分析した。これらのデータについて、国レベルでは途上国でも比較的整備されており、世界銀行が提供している各国の社会経済に関する基本指標を示す World Development Indicators<sup>1)</sup>のデータベースを用いた。

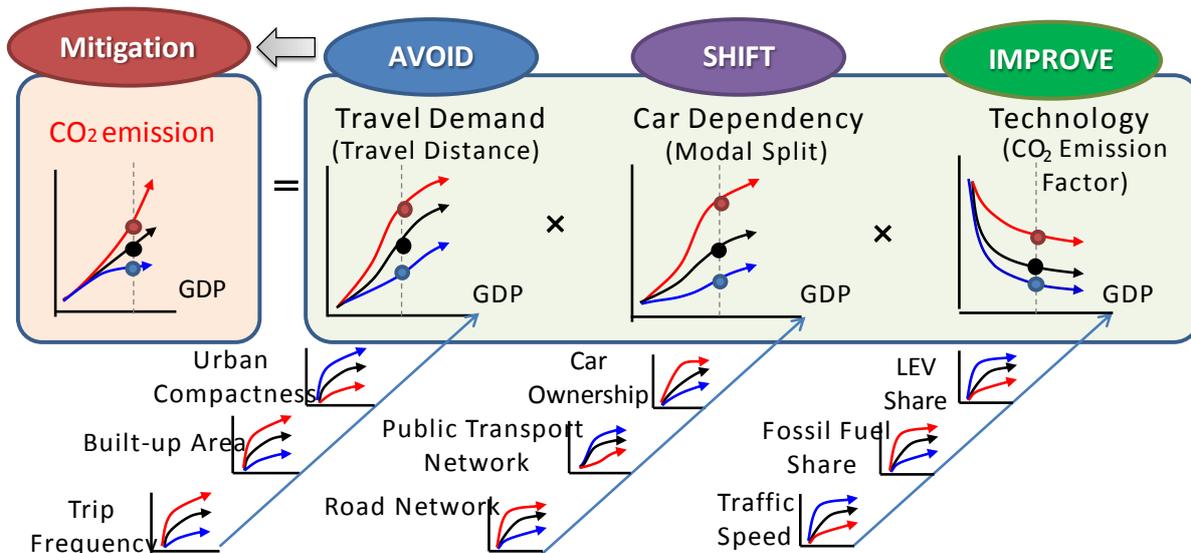


図(1)-3 排出構造四象限図

## 2) 都市内交通

アジア途上国都市の都市内交通起源の CO<sub>2</sub> 排出構造の診断については、経済発展段階（GDP）、移動数（トリップ数）、移動距離（トリップ人キロ）、自動車移動距離（自動車走行台キロ）、交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の関係を 4 象限の図で示した。そして、アジア途上国都市で発展中期にあるバンコクとアジア先進国都市の東京において、それぞれの CO<sub>2</sub> 排出構造の特徴を比較分析した。これらについて都市レベルのデータは十分に整備されていないため、トリップ情報はパーソントリップ調査から、移動距離情報は陸運統計や個別研究から収集した。

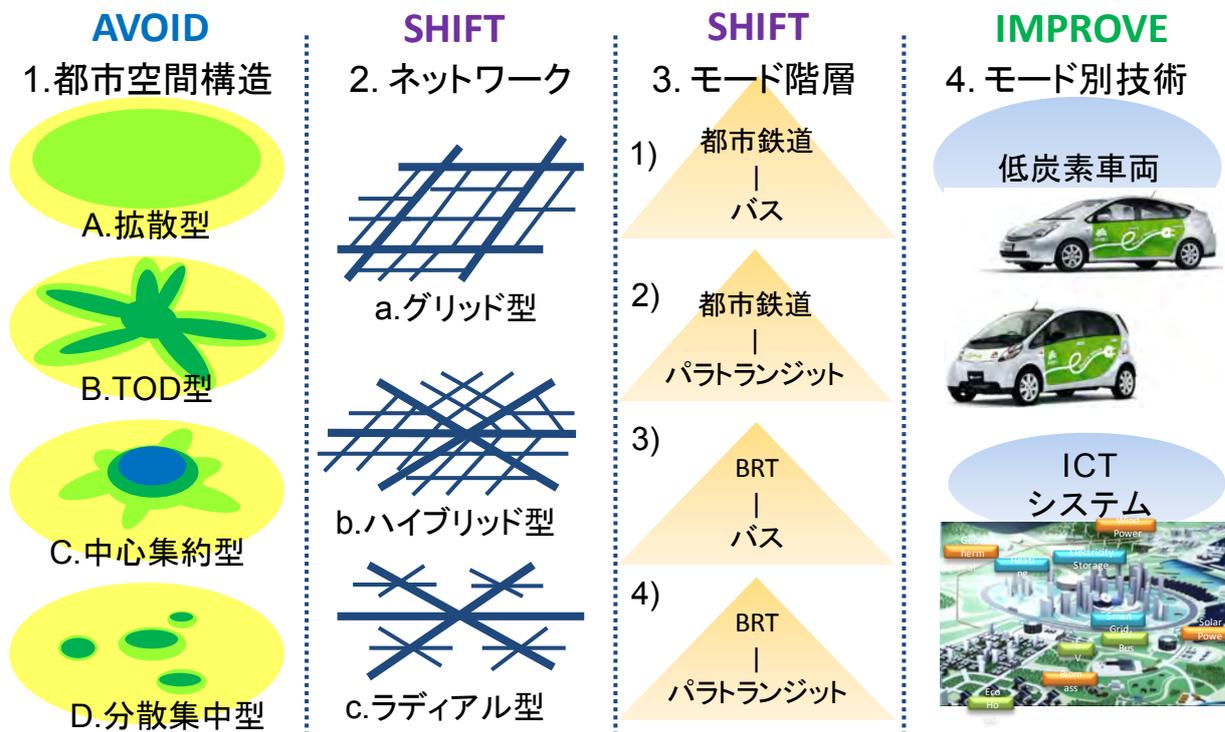
また、この手法は CO<sub>2</sub> 排出量を主要因に分解する茅恒等式を動的に表現したものであり、アジア途上国でも取得可能なデータを用いることで、この要素を更に分解し交通起源 CO<sub>2</sub> 排出構造の動的追跡を行うことができる（分解動的追跡法）（図(1)-4）。本研究では、都市内交通についてバンコクと東京とで共通して利用可能なデータを用いて分解した排出構造の比較も行った。



図(1)-4 排出構造の分解動的追跡図

(2) マクロ治療ビジョン提示

1) ビジョン



図(1)-5 都市内交通システム構成要素

アジア途上国都市において低炭素都市を形成するためにあるべき交通システムのビジョンと、それを実現するために必要なロードマップについて、アジア途上国都市に対してより一般的なあ

り方を検討し、定性的な提案を行った。まず、現在のアジア途上国における道路優先整備に伴う急速なモータリゼーション・スプロールの問題点と、将来想定される少子高齢化によって新たに起こりうる問題点を整理した。そして、このような問題点への対策として、都市空間構造の改変による AVOID、交通ネットワークとモード階層の形成による SHIFT、交通モード別の技術革新による IMPROVE 戦略を組み合わせ（図(1)-5）、低炭素都市に必要な土地利用交通システムの将来ビジョンを提示した。

## 2) ロードマップ

そして、各戦略の手段を、戦略（AVOID、SHIFT、IMPROVE）と手段（技術、規制、情報、経済）を行列形式に整理した CUTE マトリクス（図(1)-6）を用いて、アジア都市での低炭素交通システムのビジョンの実現のために必要な施策を抽出し、都市発展段階に応じた実施順序のあり方を検討した。まず、世界各都市で実施されている低炭素交通に関連した先進的な施策事例を CUTE マトリクスから抽出し、各都市の施策の実施順序のパスをその行列上に表現した。そして、その実施プロセスの傾向を経済発展段階と都市交通システムの形態によって整理した。このようなベストプラクティスの傾向と、今後アジアで予想される社会経済変化を踏まえて、アジア都市における低炭素交通システム実現のロードマップを定性的に提示した。

戦略 手段	AVOID	SHIFT	IMPROVE
技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 公共交通指向型開発</li> <li>■ 多極型開発</li> <li>■ 物流効率化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 鉄道・バス高速輸送システム整備</li> <li>■ 軌道系輸送システム・バス・パトランジットの接続改善</li> <li>■ 新パーソナルモビリティシェア用施設・歩行空間整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 自動車の電化</li> <li>■ 再生可能エネルギー・バイオマス燃料開発</li> <li>■ スマートグリッド</li> </ul>
規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ スプロール開発規制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ バス幹線・端末分離</li> <li>■ 小地区内巡回交通サービス</li> <li>■ 自動車通行・駐車規制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 排出基準</li> </ul>
情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ テレワーキング</li> <li>■ ネットショッピング</li> <li>■ ライフスタイル啓発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 高度道路交通システム公共交通運行管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ エコドライブ</li> <li>■ 高度道路交通システム交通流管理</li> <li>■ 車両性能ラベリング</li> </ul>
経済	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 立地補助・課税</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ パーク&amp;ライド</li> <li>■ 連携的な運賃体系</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 燃料税・炭素税</li> <li>■ 低排出車減税</li> </ul>

図(1)-6 低炭素交通施策メニュー（CUTE マトリクス）

## 3) 国際支援枠組み

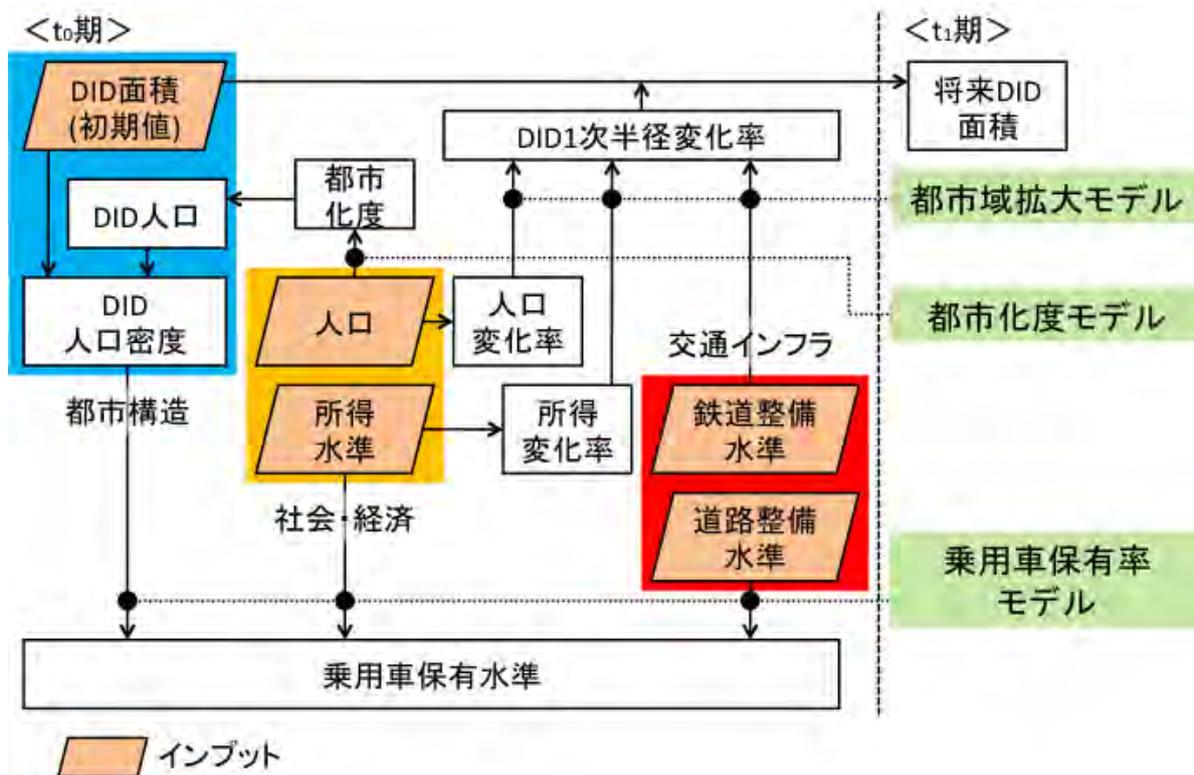
さらに、その実現手法である低炭素施策の国際的な支援枠組みの主要なオプションとして、クリーン開発メカニズム（CDM）と国別緩和行動（NAMA: Nationally Appropriate Mitigation Actions）の違いを整理し、その交通分野への適用可能性を検討した。そして、近年、道路優先整備から鉄道優先整備に大転換してきているバンコクの事例に注目し、交通低炭素化の軸となる施策である鉄道整備事業の失敗例と成功例を比較することで、その実現に必要な要素を整理し、国際的な資金支援がどのような役割を果たしているかを検討した。

(3) マクロ治療（都市圏スケール）

アジア途上国都市の交通低炭素化の簡易な治療法として、都市圏レベルで最も低炭素となる幹線交通のモード選定手法（ビジョニング）と CO<sub>2</sub> 削減目標達成に必要なその整備量（ロードマップ）を定量的に特定する手法を構築した。

1) 大量輸送機関の長期的な整備効果

まず、長期的将来の都市内交通の乗用車起源 CO<sub>2</sub> 排出を都市レベルのマクロ指標を用いて簡易に推計するため、モータリゼーションに伴う都市スプロールと、大量輸送機関の早期整備によるその抑制効果を考慮し、モータリゼーションの一般的メカニズムを表現したモデル（図(1)-7）を構築し、アジア途上国都市に広く適用可能なものとした。経済成長に伴う都市人口の上昇（都市化度モデル）と、モータリゼーションに伴う市街地面積拡大と鉄道早期整備によるその抑制効果についてモデル化（市街地拡大モデル）し、これに経済レベルと人口密度変化から乗用車保有率変化を推計するモデル（乗用車保有率モデル）を構築した。モデルのパラメータ推計は、北京、上海、バンコク、東京、大阪、名古屋といった大都市の時系列データで行った。

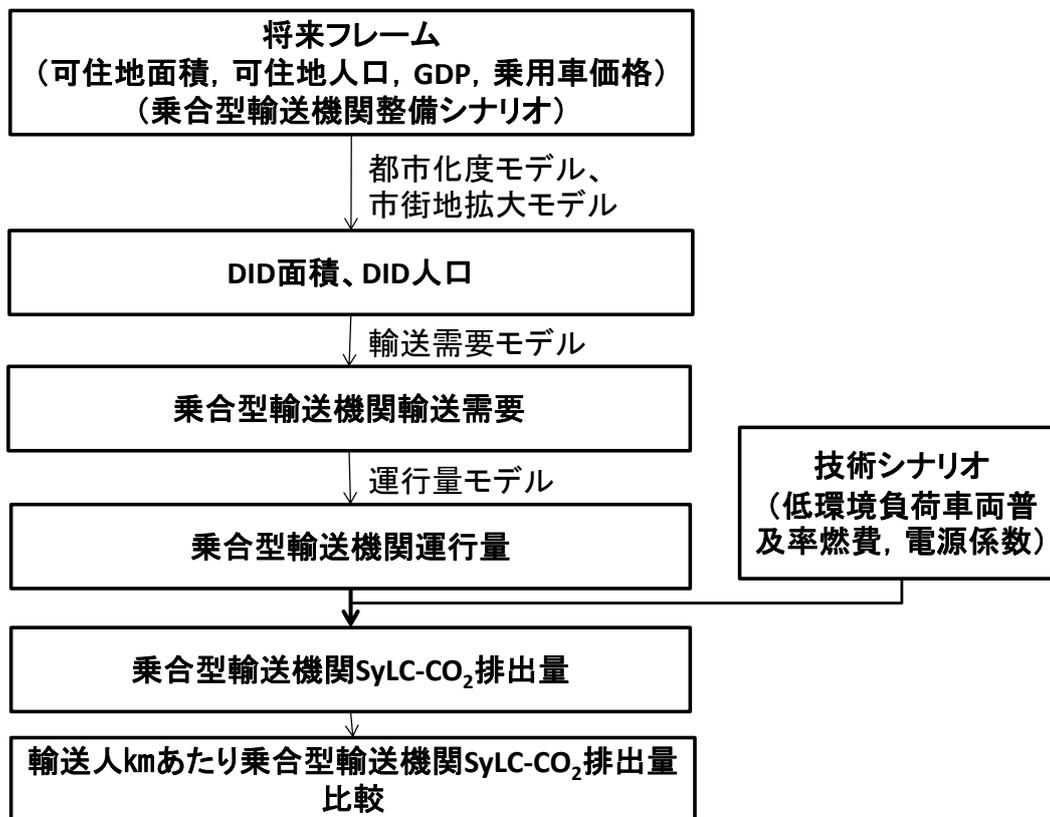


図(1)-7 モータリゼーションの進展メカニズムのモデル化

## 2) 低炭素交通モード

次に、公共交通に起因する CO<sub>2</sub> 排出量の推計モデルを構築し、鉄道、高速バスシステム (Bus Rapid Transit : BRT)、自動車の交通モードを比較して、最も低炭素な交通モードを選定した (図(1)-8)。それぞれの交通モードの低炭素性は、輸送機関の導入時におけるインフラ建設時に生じる発生量、車両製造において発生する排出量、輸送機関の運行時における車両走行に使用されるエネルギー消費から発生する排出量を合計した、輸送人 km あたりのシステムライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量 (SyLC-CO<sub>2</sub>) で評価する。この CO<sub>2</sub> 排出量は、車両技術レベルと公共交通の運行量で決定し、運行量は公共交通需要から (運行量モデル)、公共交通需要は都市特性を考慮して人口密度により決定する (輸送需要モデル)。人口密度は、都市化モデル・市街地拡大モデルを用いて推計した。

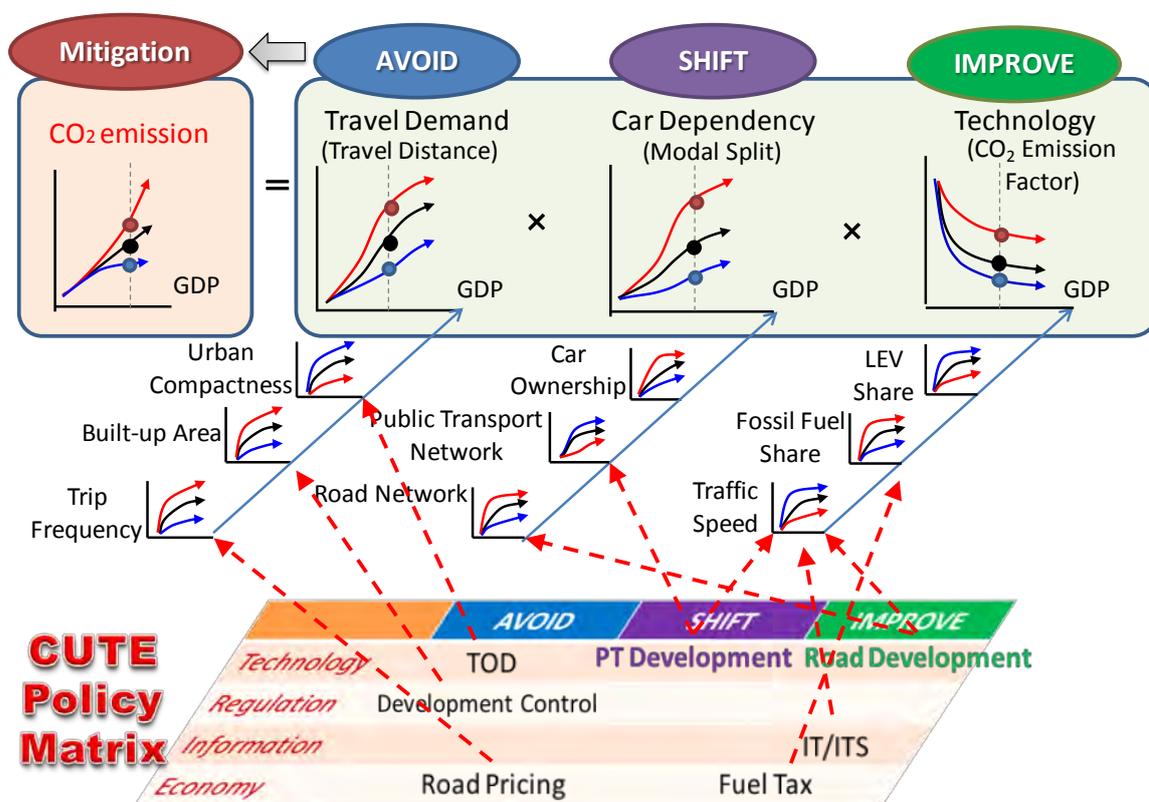
このモデルを用いて、S-6-1 のアジアの将来社会経済変化と技術革新のシナリオを参考に、経済成長、人口変化と電源構成変化のインプットを設定し、鉄道整備量・時期と乗用車燃費・燃料構成比 (ガソリン、電気、ハイブリッド) を交通政策インプットとして、ASEAN 大都市に適用し各都市の低炭素交通モードを選定した。よって、この低炭素交通モードは、主に経済レベル、車両技術レベル、人口密度で決まるものとなっている。また政策変数として、公共交通の導入規模による人口密度変化を通じた低炭素モードの選定を分析可能としている。経済成長や人口成長といった都市の成長が大きい都市では、大量輸送機関の需要も増えていくため、5年毎に低炭素交通モードの選定を行い、成長に応じて BRT から鉄道へと低炭素交通モードを転換することも表現した。



図(1)-8 低炭素輸送機関選定のフロー

### 3) 低炭素化に必要な施策パッケージ

以上の手法を用いて、ASEAN 都市を対象に、2005 年比 40%削減を 2050 年の CO<sub>2</sub> 削減目標値をインプットとし、将来の車両技術の革新を想定し、これを実現するのに必要な大量輸送機関の整備量を特定した。各都市で導入する大量輸送機関は、選定された低炭素交通モード（鉄道か BRT）とする。CUTE マトリックスの施策は、排出構造の分解動的追跡図の各要素に影響するものであり、施策効果としてそれぞれの指標の動的変化をとらえることで、ロードマップを表現できる（図(1)-9）。本モデルは、排出構造の分解動的追跡図にある主要素の指標を用いており、CUTE マトリックスにある鉄道整備や車両技術革新といった施策による低炭素化のロードマップをこの分解図で表現した。



図(1)-9 分解動的追跡図による交通低炭素化のロードマップ

### (4) ミクロ治療（地区スケール）

低炭素交通システムの利用を普及させるためには、その利用によって生活の質を上げるものでなければいけない。この生活の質（QOL）について、居住環境と交通機関の質に分け、それぞれの構成要素に対するアジア都市の民の価値観を属性別に分析した。バンコクを対象に街頭アンケート調査を行い、このデータを用いて属性別の価値観のパラメータを推計し、居住と移動による生活の質を QOL 指標として定量化した。この指標を用いて、車利用と鉄道利用から得られる生活の質の違いを比較し、鉄道利用普及に求められる鉄道システムや駅周辺の環境の質の改善の効果について検討することが可能となる。

## 1) 生活の質

本研究におけるアンケート調査は、交通手段選択と居住地選択における魅力要素への選好度合いに関する SP (Stated Preference : 表明選好) データを集めるために行った。この結果を用いて、魅力度指標を利便性・快適性・安全性で整理し、それぞれの選好度パラメータをコンジョイント分析により推定した。聞き取りにおける質問は、魅力度を規定する項目 (表(1)-1、表(1)-2) について異なる水準をもつ仮想的な 2 つの交通手段を提示する一対比較法を用いた。聞き取り調査は、2012 年の 11 月 26 日から 12 月 1 日までの 5 日間で、合計約 1000 人を対象としたサンプルを収集した。また、属性による価値観の違いを把握するため、パラメータ推定は、所得や年齢の違いによって行った。所得については、1 ヶ月当たりの世帯収入が 2 万パーツ以下の人を低所得層、10 万パーツより多い人を高所得層、それ以外を中所得層とする。中所得層については年齢による分析も行い、60 歳以上を高年層とし、それ以外の若・中年層とで分類した。

表(1)-1 交通機関の質の魅力度要素

分類	要素	鉄道	自動車
一般的なコスト	移動時間	沿線移動は短時間	渋滞で長時間
	費用	運賃はやや高め	車保有していれば安い
利便性	遅延	なし	あり
	応時性	出発時刻選べない	出発時刻選べる
	アクセス	駅周辺の 5~10 分圏	家に駐車場が隣接
快適性	空間の大きさ	混雑で小さく	大きい
	空間の質	端末移動は低保護	保護されている
	乗り換え	多い	なし
安全性	事故遭遇率	安全	より危険
	犯罪遭遇率	より危険	安全
	プライバシー	低い	高い

表(1)-2 居住環境の質の魅力度要素

分類	要素	駅前	郊外
一般的なコスト	費用	家賃高め	車保有していれば安い
利便性	通勤アクセス	駅前勤務先は便利	都心通勤で渋滞
	買い物アクセス	都心での買い物便利	郊外大型施設へは便利
	学校アクセス	学校の場所次第	学校の場所次第
	病院アクセス	病院の場所次第	病院の場所次第
快適性	空間の大きさ	比較的小さい	大きい
	空間の質	街路環境悪	新規住宅敷地内は良質
	緑地	少ない	多い
安全性	事故遭遇率	交通量が多く危険	車利用なら比較的安全
	犯罪遭遇率	危険地区も多い	新規住宅敷地内は安全
	洪水	地形次第	地形次第
	大気汚染	交通量次第	交通量次第

具体的に、交通機関の質への選好パラメータは以下の式で推計した。

$$UT_{z,i,p,m} = -t_{i,p,m} + \sum_l \beta_{1z,l} \cdot X_{1i,p,m,l}$$

$$PT_{z,i,p,m} = \frac{\exp(\alpha_1 \cdot UT_{z,i,p,m})}{\sum_q \exp(\alpha_1 \cdot UT_{z,i,p,q})}$$

$UT_{z,i,p,m}$ : 属性 $z$ の人が居住地 $i$ で交通目的 $p$ の移動を行う際の交通モード $m$ の魅力度（効用）

$t_{i,p,m}$ : 居住地 $i$ で交通目的 $p$ の移動を行う際の交通モード $m$ の交通移動時間

$PT_{z,i,p,m}$ : 属性 $z$ の人が居住地 $i$ で交通目的 $p$ の移動を行う際の交通モード $m$ の選択確率

$\beta_{1z,l}, \alpha_1$ : パラメータ

$X_{1i,p,m,l}$ : 交通機関の質の要素

また、居住環境の質への選好パラメータは以下の式で推計した。

$$UR_{z,i} = \sum_p -\beta_{21z,p} \cdot t_{i,p,m} + \sum_k \beta_{22z,k} \cdot X_{2i,k}$$

$$PR_{z,i} = \frac{\exp(\alpha_2 \cdot UR_{z,i})}{\sum_n \exp(\alpha_2 \cdot UR_{z,i})}$$

$UR_{z,i}$ : 属性 $z$ の人が居住地 $i$ で居住する際の魅力度（効用）

$PR_{z,i}$ : 属性 $z$ の人が居住地 $i$ で居住する際の選択確率

$\beta_{21z,p}, \beta_{22z,k}, \alpha_2$ : パラメータ

$X_{2i,p,m,i}$ : 快適性・安全性に関する居住環境の質の要素

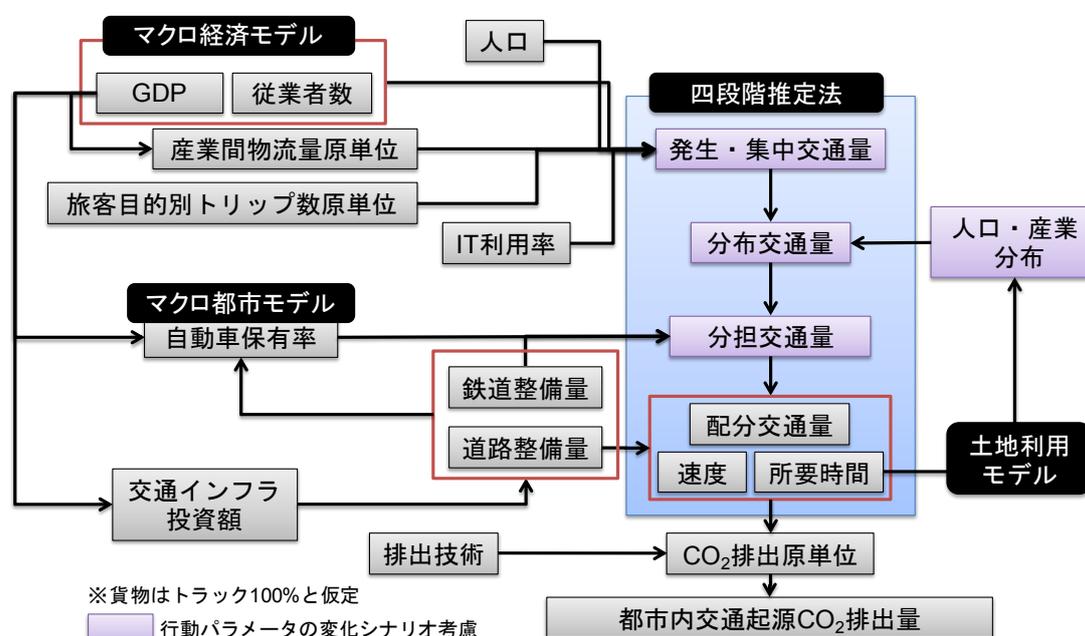
そして、移動時間を媒介変数としてこれらを統合し、以下のように QOL を推計した。

$$QOL_{z,i} = \sum_p \beta_{21z,p} \cdot \frac{1}{\alpha} \log \left( \sum_m \exp(\alpha \cdot UT_{z,i,p,m}) \right) + \sum_k \beta_{22z,k} \cdot X_{2i,k}$$

$QOL_{z,i}$ : 交通移動の質を考慮した属性 $z$ の人が居住地 $i$ で居住する際の魅力度（効用）

## 2) ビジョンの評価

属性別の価値観・QOL を踏まえて、より詳細な空間スケールで、低炭素な都市空間構成を含めた交通システムのビジョン・ロードマップの低炭素化や生活の質改善における有効性を検証した。本研究では、低炭素土地利用交通システムの空間構成要素を考慮して 2050 年までの都市内交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量推計を行うため、S-6-1 で構築しているマクロ経済モデルと、前節で構築したマクロ都市モデルのアウトプットを用いて、土地利用交通のモデルの構築を行った（図(1)-10）。ここで、生活の質の変化による居住・交通行動の変化を表現するため、QOL 分析から得られたな居住地選択と交通機関選択行動のパラメータを用いており、居住環境や交通機関の質の変化による QOL の変化を考慮して、長期的な経済成長や高齢化によって属性の内訳が変わることで交通需要が変化することを表現した。本モデルは、2005 年を初期値として 5 年周期でシミュレーションを行い、2050 年のアウトプットを推計する。



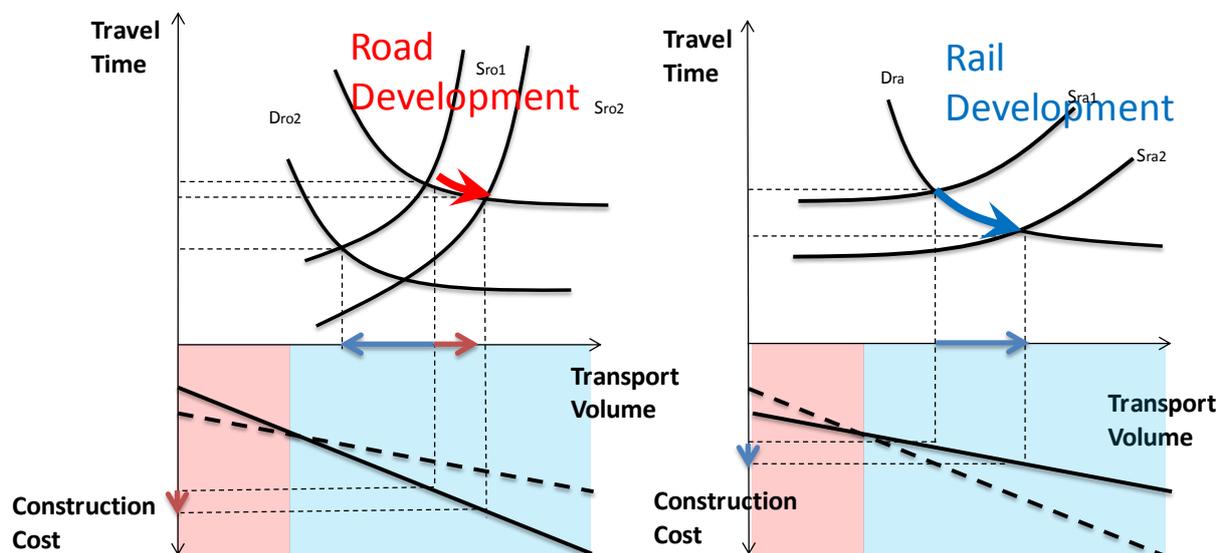
図(1)-10 都市空間構成を考慮した都市内交通起源 CO<sub>2</sub> 排出推計モデルのフロー

土地利用交通システムのビジョンとして、サブテーマ（4）と協力して検討したより詳細な都市内交通ビジョンをもとに、バンコクで計画される約 500km の都市鉄道網の整備を早期に行う鉄道優先整備シナリオを設定し、その投資額を道路整備のみに投入する道路優先整備シナリオとを比較した。道路整備は、道路容量を拡大することで渋滞を解消する（IMPROVE）ことを期待するが、道路交通の誘発需要を発生させることでその効果は低下してしまう。一方で、鉄道整備は、道路交通の需要を鉄道へと転換（SHIFT）することで、道路需要そのものを削減することができ、渋滞解消効果がより大きいと考えられる（図(1)-11）。

この渋滞抑制メカニズムについて、都心、近郊、郊外といった地区別のデータを分析することで、鉄道ネットワーク形状による渋滞抑制効果を空間的に比較できる。本研究では、対象地域であるバンコク首都圏を、内環状道路内の都心、都心から外環状道路内の近郊、近郊から外の郊外、

という3つの区分けで分析した。

また、鉄道優先整備シナリオにおける地区スケールでのビジョンとして駅周辺の整備に注目し、駅前に車依存の開発を許容する車中心駅前シナリオ、駅の周辺地区への端末交通サービスを改善する端末改善シナリオ、駅前から車利用を排除するカーフリーシナリオについて分析を行った。



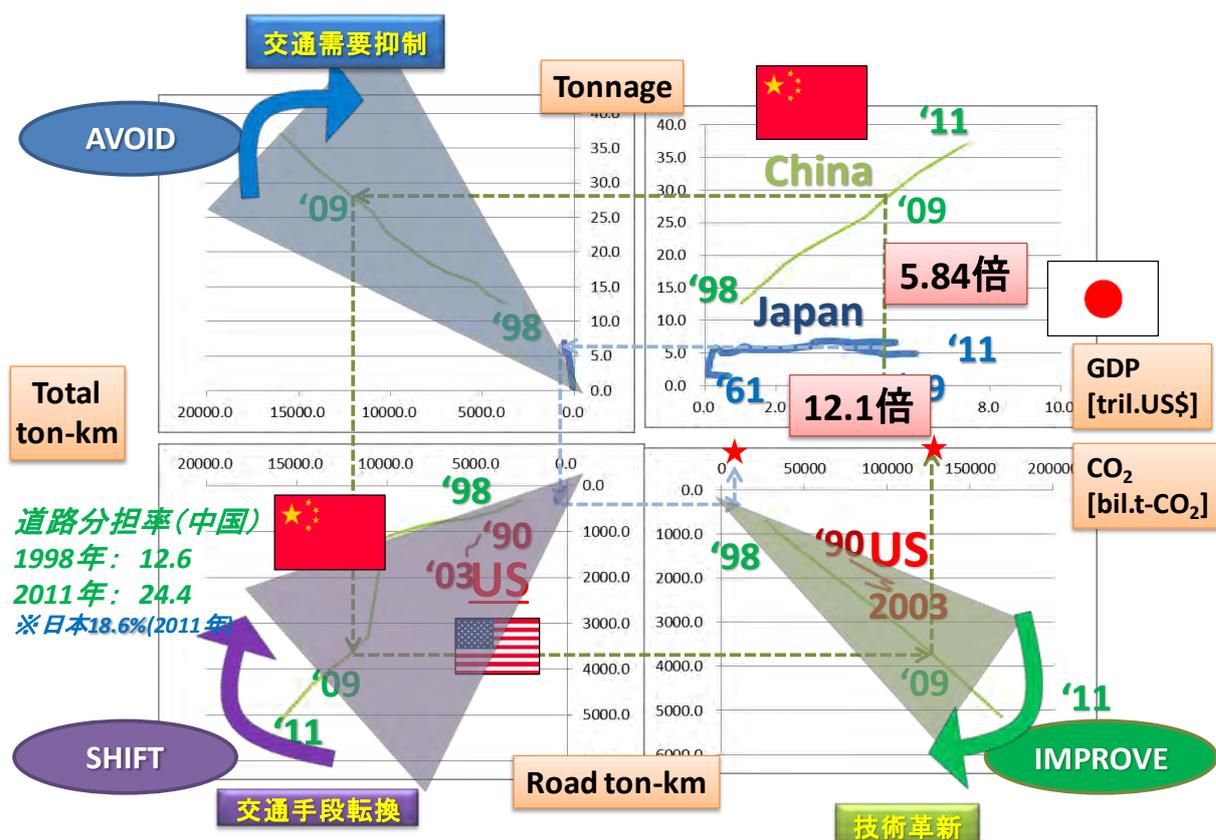
図(1)-11 道路整備と鉄道整備の渋滞解消効果の比較

#### 4. 結果及び考察

##### (1) CO<sub>2</sub>排出構造の診断

##### 1) 国内交通

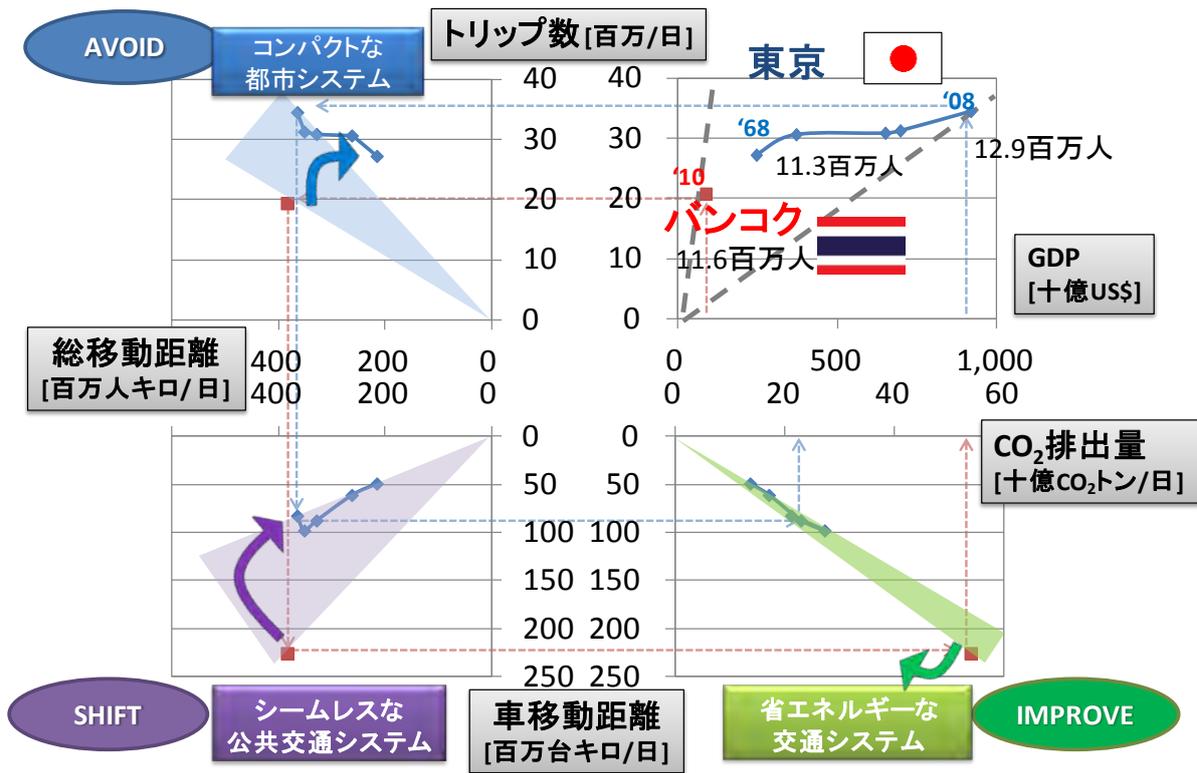
日本と中国の国内交通のCO<sub>2</sub>排出構造を比較した結果(図(1)-12)、中国は日本より貨物鉄道が利用され、貨物輸送量におけるトラック輸送割合は小さいのにも関わらず、CO<sub>2</sub>排出量は同じ経済発展段階のデータで比較しても約12倍大きいことが示された。この要因の1つとして、中国における貨物重量に対する貨物輸送キロが日本より高いことから、国土構造において生産地と消費地の都市がより拡散的に開発され、サプライチェーンが大きく拡大していることが考えられる。また、貨物トラック輸送の割合は、2008年までの中国のデータは日本より低いものとなっているが、それ以降では急速な高速道路整備により貨物輸送量におけるトラック輸送量が増加傾向にあり、今後もこれによるCO<sub>2</sub>排出の増加がより大きくなると予想される。トラック輸送距離に対するCO<sub>2</sub>排出量については、日本と中国で大きな差は見られなかった。

図(1)-12 地域間交通起源 CO<sub>2</sub> 排出構造の四象限図

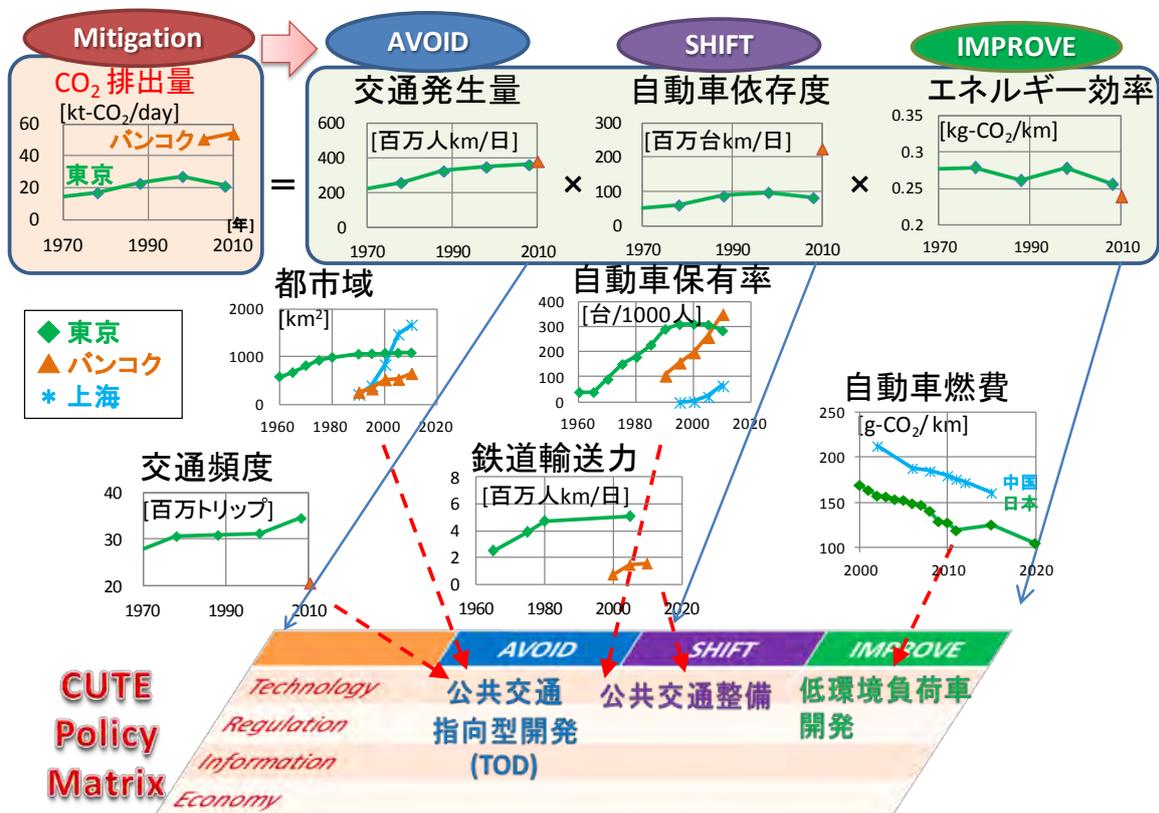
## 2) 都市内交通

また、人口レベルが同規模のバンコク大都市圏と東京都のデータを用いて、4象限の図を描いた結果（図(1)-13）、国内交通の排出構造と同様に、トリップ当たりの移動距離と移動距離当たりの自動車移動距離がバンコクで大きいことが示された。バンコクの GDP はまだ東京の 10 分の 1 程度であるにもかかわらず、移動距離と車移動距離はほぼ同等で、CO<sub>2</sub> 排出量は約 2.5 倍と、非常に高炭素な都市交通システムになっていることが分かった。この要因を把握するため分解動的追跡図を作成した結果（図(1)-14）、バンコクでは、東京に比べ鉄道輸送力がかなり低く、都市域拡大と乗用車保有率の増加が経済成長に対してより早いペースで進んでいることが分かった。

一方で、自動車移動距離に対する CO<sub>2</sub> 排出量は、バンコクと東京は同程度であった。これは、乗用車に比べエネルギー効率が低い 2 輪車利用がバンコクでより高いことに起因するが、今後のモータリゼーションの進行により、乗用車への転換が進み、交通エネルギー消費の効率も悪化することも予想される。



図(1)-13 都市内交通起源 CO2 排出構造の四象限図

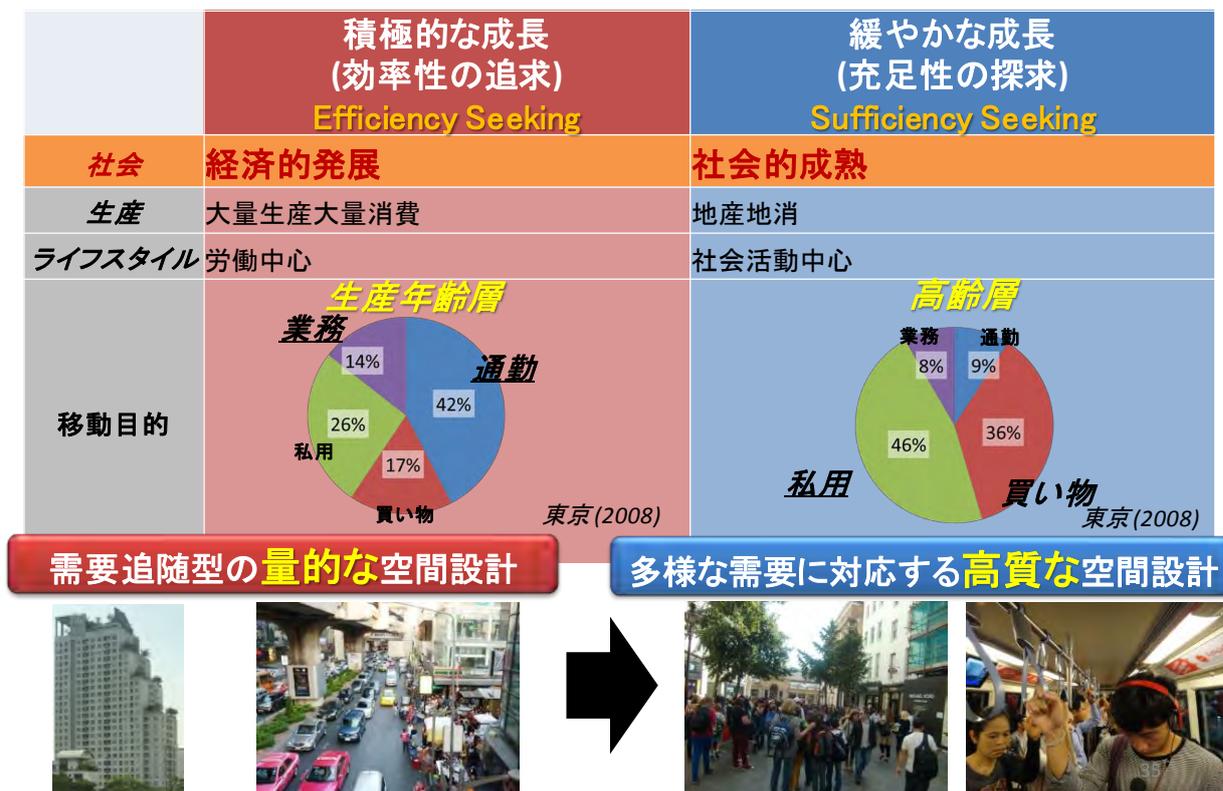


図(1)-14 分解動的追跡によるバンコクと東京の CO<sub>2</sub> 排出構造の比較

(2) マクロ治療ビジョン提示

1) ビジョン

CO<sub>2</sub> 排出構造の診断から分かるように、都市内交通システムのビジョンは、都市域の拡大と乗用車利用の増大を抑制するものであることが重要である。まず、これを実現する上での将来のアジアの社会像を検討する。アジア途上国では、2050年までに1人当たりGDPは数倍に増加していくが、2030年頃から高齢化による人口減少が顕著になると予測されている。この背景を踏まえ、本研究では、経済的な効率性を追求した積極的な成長を遂げる発展初期から、徐々に社会的な充足性を探求する緩やかな成長を目指す発展成熟期へと向かうことを想定する(図(1)-15)。これは、生産スタイルとしては大量生産・消費から地産地消へ、ライフスタイルとして労働重視から社会活動重視へと産業構造や価値観が変化することを意味する。交通においては、現在でも生産年層と高齢層の交通目的の違いに見られるように、通勤交通から私用交通が増加していくことが考えられる。



図(1)-15 将来の社会像

このような社会像を踏まえ、将来の交通システムに求められるものは、需要追従方の量的な空間設計から、多様な需要に対応する高質な空間設計へと転換することであると考える。アジア途上国都市における急速なモータリゼーション・スプロールは、自動車依存社会を形成することにより過度な渋滞を発生させアクセシビリティを低下させただけでなく、将来の高齢化社会におけるモビリティの確保をも難しくする。しかし、経済成長初期では、交通モビリティの改善が経済成

長を大きく支えるものとなっており、その交通需要の抑制（AVOID）を行うことには限界がある。このため、旅客交通については、交通機関の転換（SHIFT）を軸とし、都市内の公共交通システムを整備・改善することが必要となる。一方で、多様な移動需要の増加に適用可能な高質な公共交通システムを、都市インフラのストックとして構築する必要がある。これらを踏まえ、本研究では、アジアの低炭素都市・交通システムのビジョンとして、高性能な大量輸送機関がパラトランジット端末交通と連携したシームレスな公共交通システムを構築し、その拠点駅周辺に駅と接続性の高い魅力的な居住地開発と、郊外拠点駅を含めて都市中心機能の多極展開をしていくことが必要であるという結論に至った。よって、この将来ビジョンを、コンパクトで階層的な中心機能配置（AVOID）、シームレスで階層的な公共交通システム（SHIFT）、自動車の低炭素化（IMPROVE）の概念の組合せで提示した（図(1)-16）。



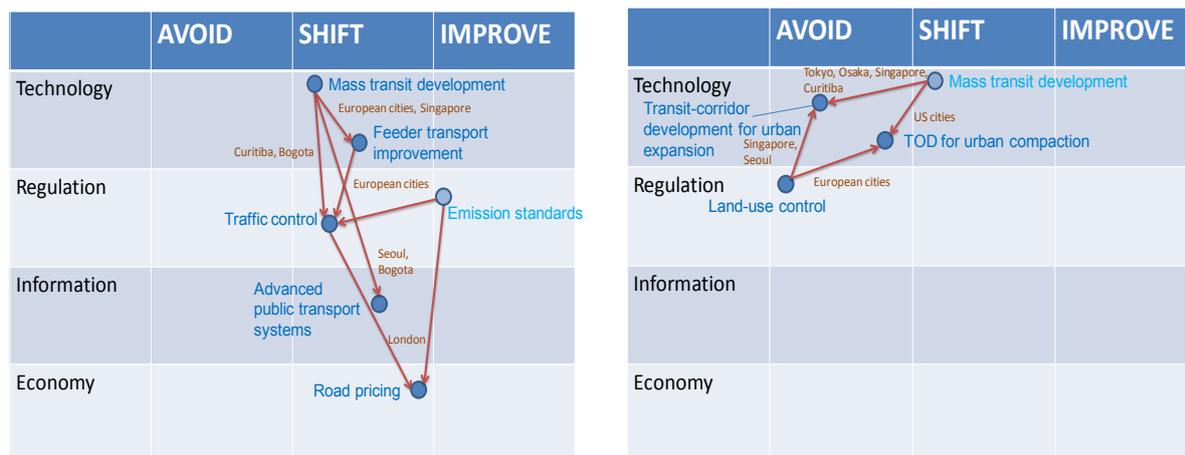
図(1)-16 都市内交通ビジョン：階層的に連結したコンパクトシティ

また、アジアの国間スケールで整備が進む地域間交通システムとの連携を高めることで、道路渋滞を抑制していくことも重要となる。2050年には、国際的な旅客・貨物用の高速鉄道網整備が沿線都市への産業・人口集積を促進することが予想されるため、これらの戦略を早期に実施することによって、沿線都市の特性に応じて車に依存しない低炭素で持続可能な土地利用交通システムの形成をしなければならない。特に、地域間交通と連携した都市物流の効率化や都市公共交通の高速化により、グローバルな経済活動に必要な交通需要を支える必要がある。

このビジョンについて、より具体的な地区スケールのデザインをサブテーマ（4）で、地域間貨物交通における都市交通との接続をサブテーマ（3）で示す。

## 2) ロードマップ

このような低炭素土地利用交通システムを実現するための施策のロードマップを検討するため、世界各都市における低炭素交通施策の実施プロセスを整理した結果（図(1)-17）、経済発展初期段階では沿線開発・鉄道インフラ整備や立地規制に関する技術的手段と規制的手段が、経済発展成熟期段階では ICT 活用や交通課税に関する情報的手段と経済的手段がより用いられる傾向にあることが分かった。AVOID については、鉄道整備や土地利用規制が発展初期段階において実施された都市では、都市域の拡大においても、鉄道沿線開発やニュータウン型開発といった計画的な開発が実施され、近年では同様な手法が公共交通指向型開発 (Transit Oriented Development: TOD) といった都市域抑制策として注目されている。SHIFT については、鉄道や BRT といった幹線整備が、交通需要の成長に対応するよう端末整備や自動車規制と組み合わせて公共交通システムを発展させてきた。一方で、都市が成熟するにつれ交通渋滞緩和や環境負荷排出削減への取り組みが高まり、公共交通サービス水準が高い都市では、高度情報管理システムやロードプライシングといった自動車利用を直接的に抑制する需要管理手法がより用いられるようになった。



図(1)-17 経済発展段階によるAVOID（左）とSHIFT（右）戦略の施策実施プロセス

このような AVOID と SHIFT の施策実施プロセスでは、初期に施策を行っていない都市では成熟期においても施策適用があまり見られない。これは、施策実施プロセスと都市・交通システム形態は相互依存しており、初期に施策実施が遅れると低密度で車依存の都市が形成され、成熟期になっても施策適用が難しくなることを示している。この傾向は、実証分析においても示されている。途上国都市ではモビリティ改善のための大規模インフラ整備の有効性が見込まれるのに対して、先進国の都市では交通行動の変化を促すような規制と課金がより有効であり、高度情報管理システムはその有効性を高めるものとして期待されている。IMPROVE の施策効果は、主に技術レベルによるが、AVOID や SHIFT の施策効果が限られるような車依存都市では、その相対的な有効性がより高くなるため、その技術普及のための排出規制や課金・補助金施策がより検討されていることが分かった。

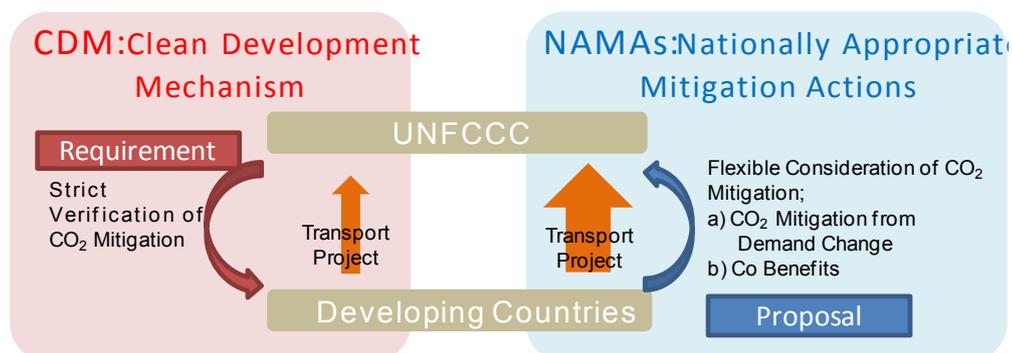
これらを踏まえ、低炭素都市・交通システムの実現ロードマップについては、都市発展初期ではモビリティ需要の増大に対応可能なインフラ整備（SHIFT）を中心としたより技術・規制的な施策を、発展後期では経済効率性重視から社会充足性重視へとライフスタイル・価値観の変化を啓発するような情動的な施策（AVOID）を提示した（図(1)-18）。都市発展初期においては、幹線公共交通システムの整備とそれを軸とした都市中心機能の分散集中を促進すると同時に、低炭素技術の導入がより容易な小型車両の普及を目指す。そして、アジア途上国で高齢化による人口減少が顕著になる 2030 年頃からは、多極に都市中心機能を発展させ、それぞれの中心で小型車両を用いたパーソナルモビリティのシェアの促進等を通して近距離交通システムを整備する。



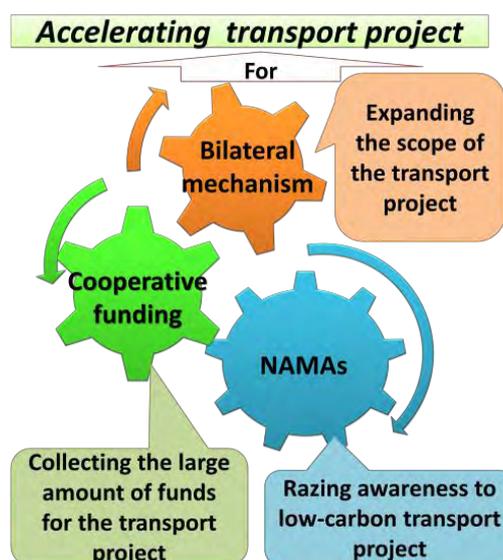
図(1)-18 低炭素都市・交通システムのための実現施策のロードマップ

### 3) 国際支援枠組み

低炭素交通施策の実現手法として、CDM と NAMA における全部門のプロジェクトにおける交通プロジェクトの採択率を比較したところ、CDM では 0.3%程度であるのに対し、NAMA では 19%と大きくなっていることが分かった。これは、画一的で厳格な CO<sub>2</sub> 計測基準を要求している CDM では、より不確実な需要変化に伴う CO<sub>2</sub> 削減を十分に考慮することが困難であることに起因する（図(1)-19）。NAMA では、Co-Benefit をより重視して各途上国が必要としている政策を提示する仕組みのため、経済や社会への Co-Benefit の大きい交通プロジェクトにより関心が高まる。NAMA を実現するための資金メカニズムはまだ確立されていないが、CO<sub>2</sub> 削減をより柔軟に扱える二国間協定や、低炭素化に限らない多様な国際ファンドの活用が有効であると考えられる（図(1)-20）。実際、国際開発金融機関（MDB）はその投資対象の転換を図っており、2013 年の国連持続可能開発会議（Rio+20）において、今後 10 年間で 1.75 兆ドルを持続可能な交通に貢献するプロジェクトに投資すると表明している。このようなファンドを活用するためには、低炭素のみを目的とした交通システム整備ではなく、経済・社会の Co-Benefit を合わせて特定するツールが必要であると考えられる。



図(1)-19 CDM と NAMAS の比較



図(1)-20 資金メカニズムに関する支援枠組みのあり方

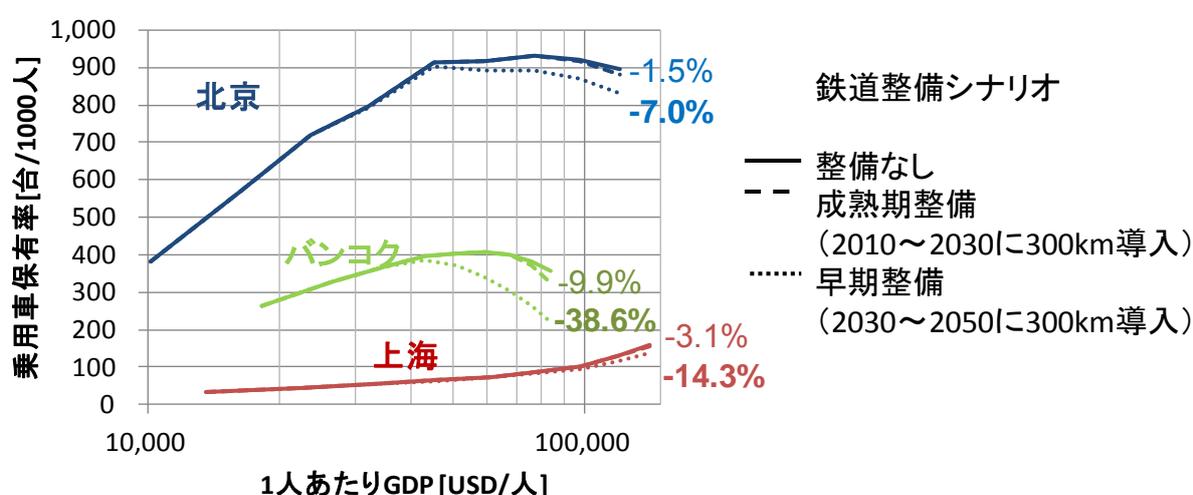
資金面での国際支援は、途上国の大量輸送機関整備にとっては必要不可欠である。バンコクにおける近年の鉄道優先整備への転換の経緯を整理した結果、鉄道整備は立案から最初の路線が開通するまで 20 年以上も経過しており、初期の事業失敗の主要因は投機的な事業運営と投資リスクの大きさにあることが分かった。1999 年に開通した 1 路線目の BTS は、バンコク市長のリーダーシップと地元銀行の支援により、2004 年に開通した 2 路線目の地下鉄 Blue Line は日本政府の資金援助により実現している。これらの鉄道整備により鉄道利用が普及することで、より大きな投資へと繋がる。現在のバンコク鉄道整備では、タイ政府が約 460km の鉄道網を 2020 年までに整備する計画を進めている。このように、大量輸送機関整備事業の成功には、初期投資が非常に重要であり、事業者の体力強化を含めて国際的な支援を早期に行う必要があることが分かった。

### (3) マクロ治療（都市圏スケール）

#### 1) 大量輸送機関の長期的な整備効果

モータリゼーション進展の長期推計モデルを行って、鉄道早期整備が後のモータリゼーション

進展をどの程度抑制できるかについて分析を行った結果、鉄道早期整備シナリオは、鉄道整備なしシナリオに対して、自動車保有を抑制し最大約 30%以上の CO<sub>2</sub>削減効果があることが示された（図(1)-21）。一方、鉄道を後で整備するシナリオにおいては、鉄道整備なしシナリオに対し約 10%以下の削減効果となった。このことから、鉄道早期整備の有効性が示された。この効果は都市のスプロールが進んでいると小さくなると考えられ、スプロールが進行している北京では、乗用車保有率は他都市より高く、スプロール初期にある他都市より削減効果が低い。このことより、現時点ですでに都市の低密化が進行している北京では、今後鉄道整備を行っても高密度な都市に転換することが難しいといえる。その他の 3 都市を見ると、都市は高密度に保たれ、鉄道早期整備によるモータリゼーション抑制効果がより大きいことが分かる。

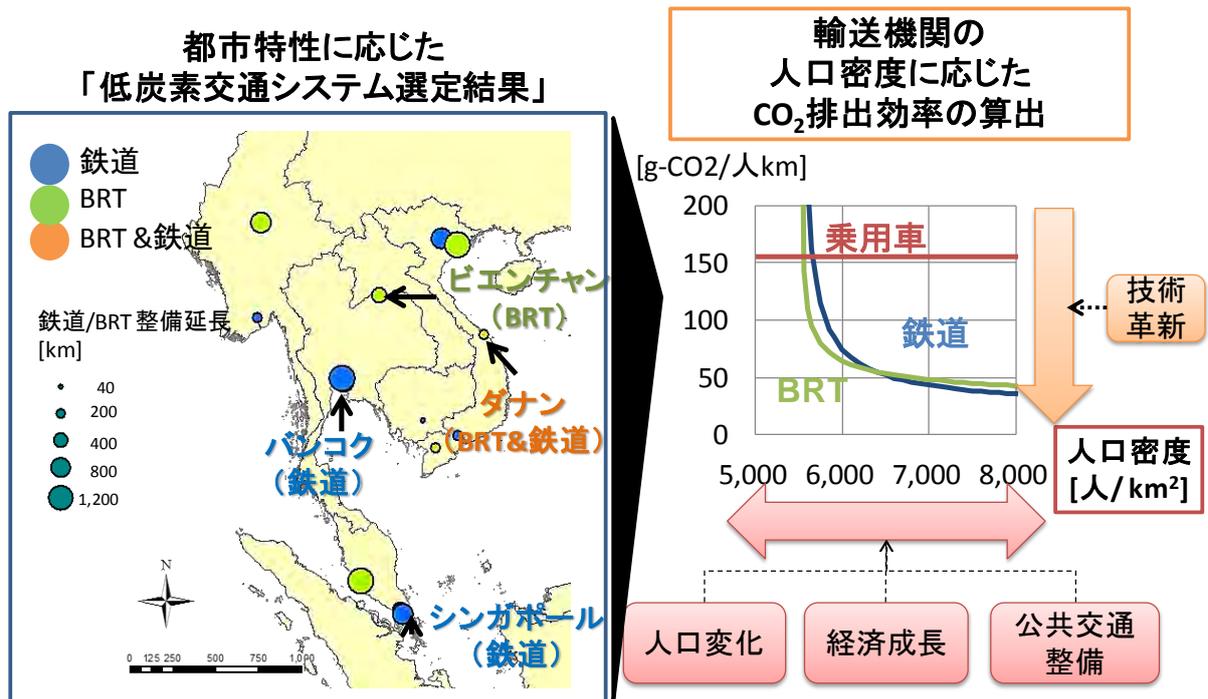


数値: 整備なしシナリオの050年CO<sub>2</sub>排出量に対する各シナリオのCO<sub>2</sub>排出削減率  
 (細字: 成熟期整備、太字: 早期整備)

図(1)-21 鉄道早期整備によるモータリゼーション抑制

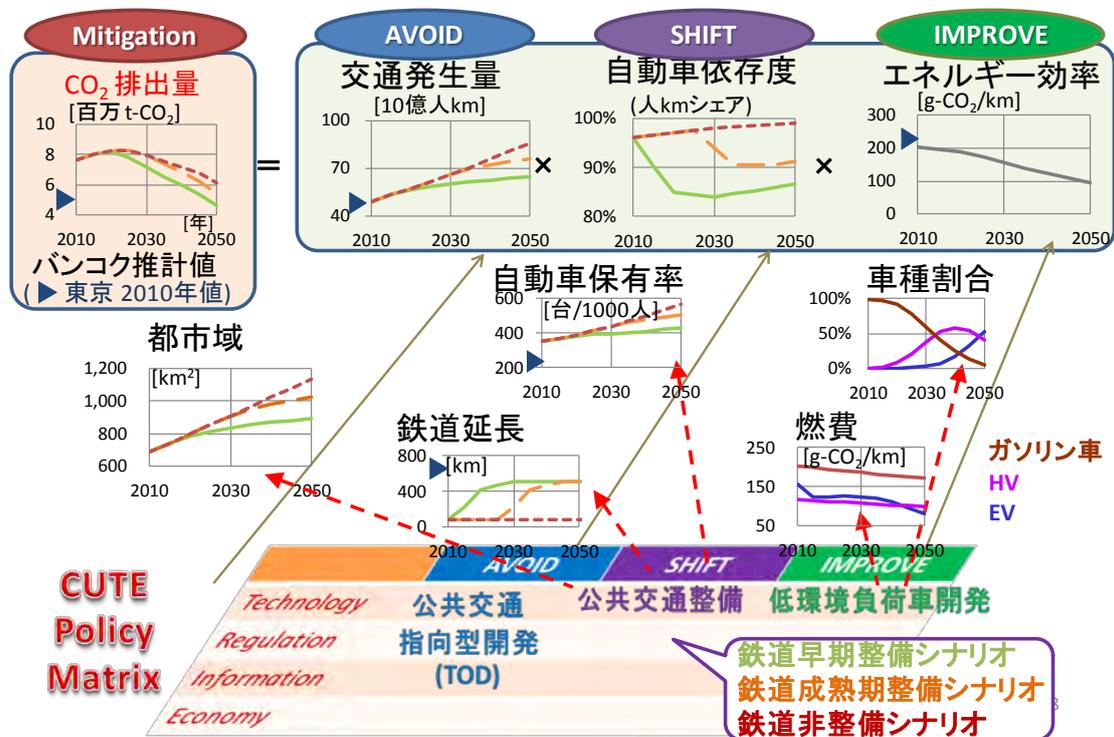
## 2) 低炭素交通モード

人口 100 万人以上の ASEAN 大都市を対象に低炭素輸送機関を選定した結果、車両技術の進歩を考慮しても、多くの都市で鉄道・BRT 導入が低炭素であることが示された（図(1)-22）。バンコク、シンガポールといった大規模かつ高密度な都市では、大きな輸送力を持つ鉄道の導入が旅客交通の低炭素化につながる。それらの都市では、経済活動の中心となり人口流入も期待できることから、乗合型輸送機関を先行開発することで、乗用車の利用を前提としない都市交通システムが構築できることが示唆された。人口規模がより小さいビエンチャンといった中都市では、輸送力が鉄道より低い建設・運行による CO<sub>2</sub> 排出の低い BRT が最も低炭素となった。また、現在都市化の初期段階にある都市でも、将来的に大きな都市成長が期待される場合、BRT から鉄道整備へ低炭素システムが転換する都市もあることが分かった。人口密度が比較的低い中小都市では、将来的に乗用車が最も低炭素な輸送機関に変化する可能性が高いが、土地利用を乗合輸送機関周辺へと集約し輸送需要を高めることも、乗合型輸送機関の低炭素施策としての有効性を維持することにつながると思われる。



図(1)-22 ASEAN 都市における低炭素輸送機関の選定

低炭素化に必要な施策パッケージ



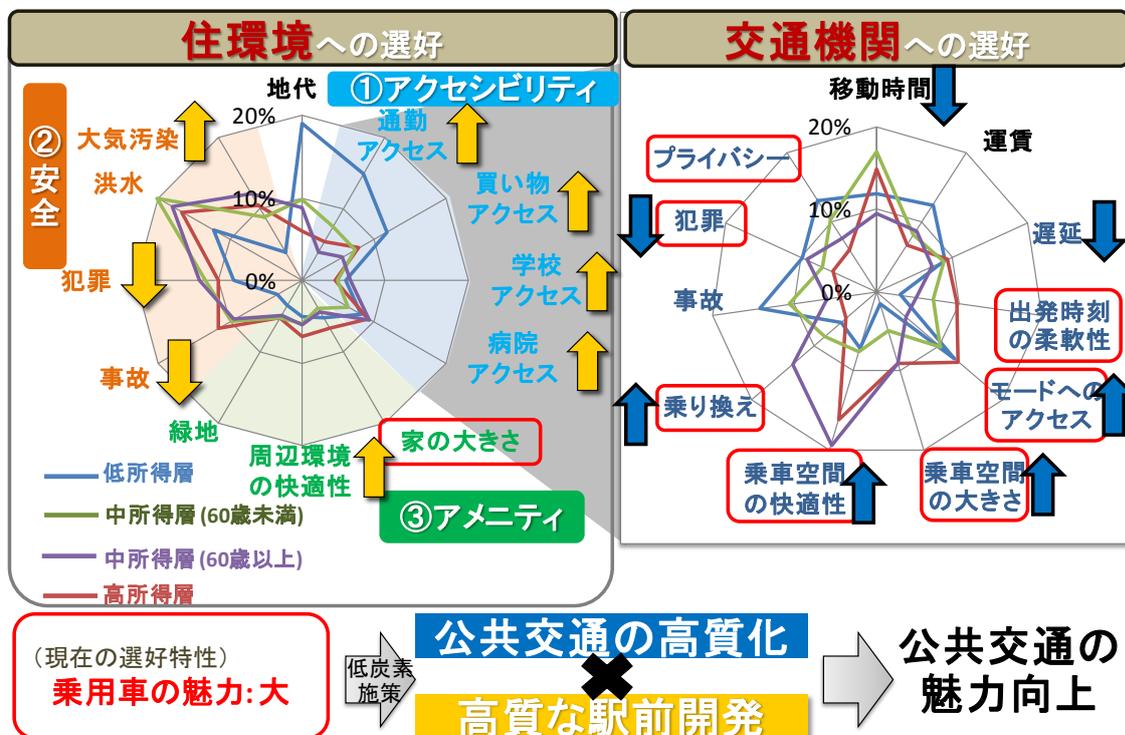
図(1)-23 ASEAN 都市における交通低炭素化のロードマップ

ASEAN 都市を対象に、各都市の低炭素輸送機関に対して、2050 年に現況比約 40%の都市旅客交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の削減に必要な整備量を検討した結果（図(1)-23）、2010 年から 30 年までの早期整備をした場合、鉄道は平均約 800km、B R T は平均約 1000km の整備が必要であることが示された。

(4) ミクロ治療 (地区スケール)

1) 生活の質

低炭素利用普及に必要な低炭素交通システムの魅力度を QOL 指標で計るため、バンコク市民の交通機関の価値観を分析した結果（図(1)-24）、低所得層は移動コストと安全性、中所得層は移動時間、高所得層と中所得高齢層では移動の快適性をそれぞれ重視していることが分かった。これは、高所得層や高齢者層が所得や年齢に伴いモビリティを高めていくプロセスの中で、移動快適性の高い乗用車利用を愛好していくという従来のモビリティ進展のパスを示している。一方で、交通渋滞の影響が少なく事故率も低い鉄道利用は、移動時間と安全性において利点があり、中・低所得層にとってより魅力的であることも示されている。ただし、これは鉄道駅周辺間の移動を行う場合であって、バンコクでもまだ鉄道路線が限定的でネットワークとして十分に整備・機能しておらず、端末交通として利用されるパラトランジット等も十分に安全とはいえない。このように、乗用車利用は快適性において利点があるが、利便性・快適性・安全性それぞれについて都市鉄道の質改善の余地があることが分かった。

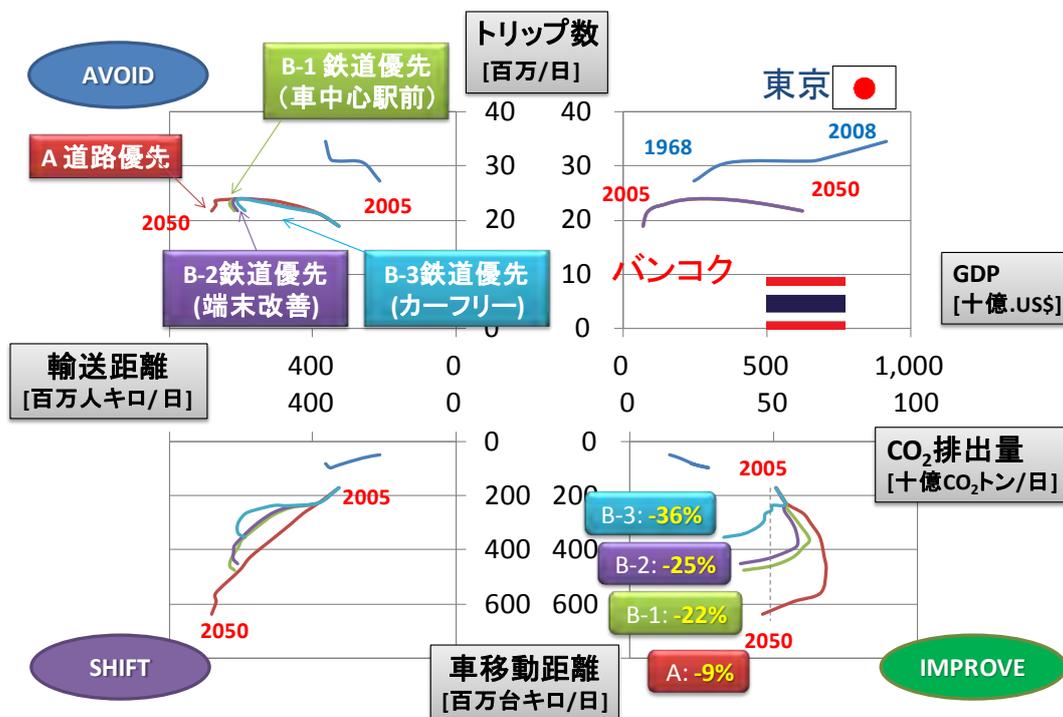


図(1)-24 生活の質 (QOL) の指標化

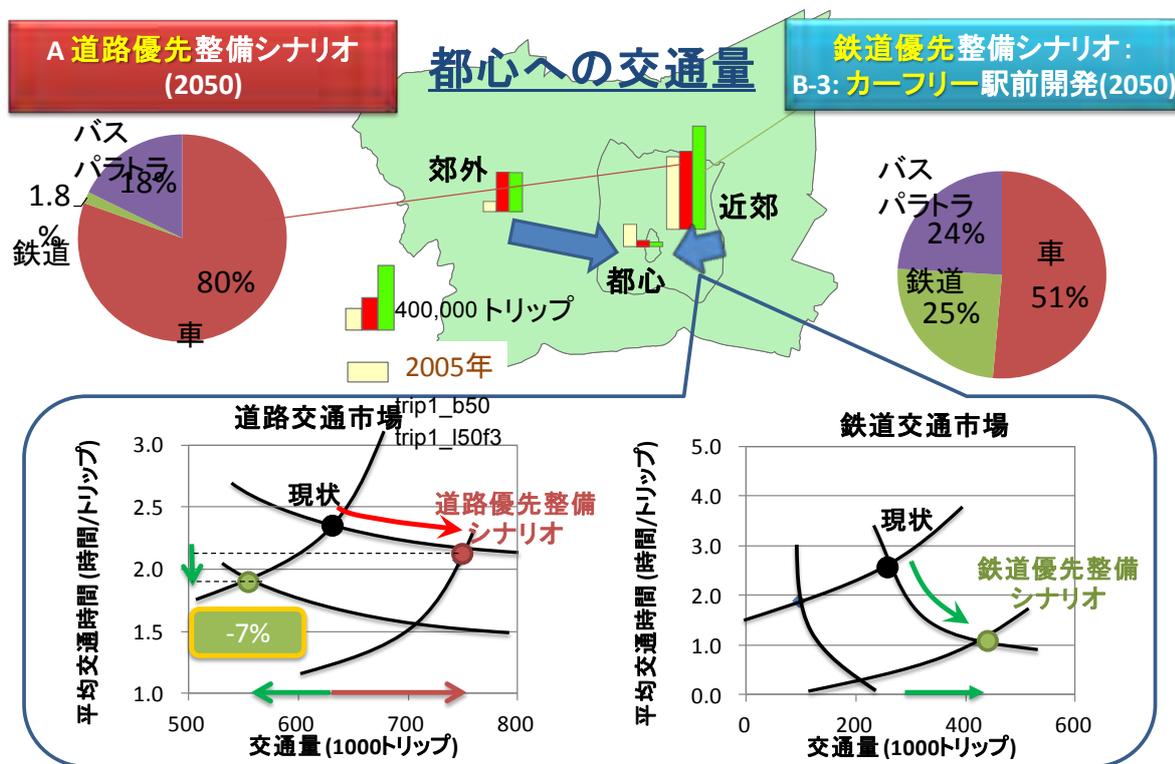
また、居住環境への価値観については、全体的に居住の安全性を重視している中、低所得層は居住コストとアクセス性を重視しているのに対し、高所得層は居住の快適性を重視していることが示された。乗用車利用の選好が高い高所得層は、郊外の大きい家に居住するライフスタイルを好むことを表していると考えられる。一方で、低所得層は乗用車保有率が低いため公共交通へのアクセス性が重要となるが、都市鉄道の駅周辺駅は高級開発が進んでおり、車利用を中心とした高所得層の居住が増えている。このため、鉄道駅周辺に鉄道利用を選好する居住者を増やす開発を行うことが重要となる。これらのことから、鉄道整備において、駅周辺に安全性・利便性・快適性の高い高質な居住空間を整備すると同時に、駐車場開発といった車利用の規制を行い、駅周辺居住による鉄道利用を中心とする新たなライフスタイルをより幅広い層に提供することが有効であると考えられる。

## 2) ビジョンの評価

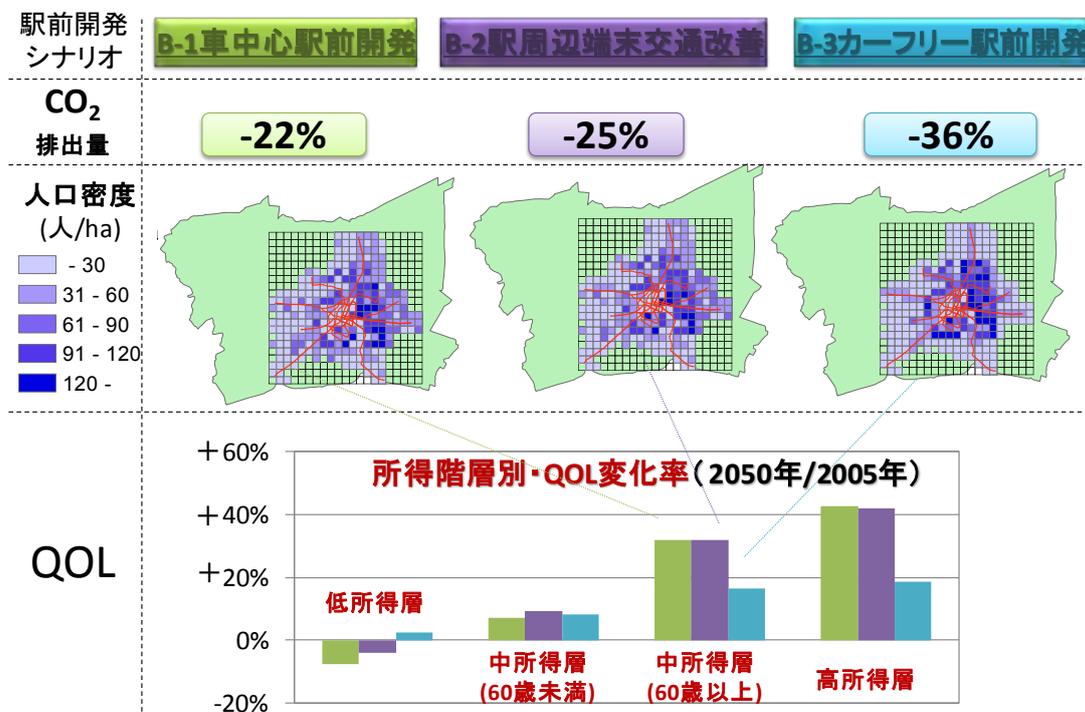
このような高質な鉄道整備・駅前開発による交通行動変化を考慮して、低炭素交通システムの空間構成の検討を行った結果、現況の都心の鉄道システムに対して道路整備のみを行う道路優先整備を行った場合は、CO<sub>2</sub>削減率は現況比9%にとどまる一方で、都市全体を網羅する500kmの鉄道網整備を実現する鉄道優先整備の場合は、CO<sub>2</sub>削減率は現況比22~36%となることが示された(図(1)-25)。道路優先整備に対して鉄道優先整備は29%のCO<sub>2</sub>排出減となり、ここでは、移動距離を14%、車移動距離を45%減らすことが可能であることが分かった。鉄道優先整備シナリオの中では、トリップ数に対する輸送距離(AVOID)は大きな違いが無く、輸送距離に対する車移動距離(SHIFT)において違いが見られ、駅前から車利用を排除するカーフリーシナリオでCO<sub>2</sub>削減が最も高い結果となった。



図(1)-25 鉄道優先整備によるCO<sub>2</sub>削減効果



図(1)-26 鉄道優先整備による渋滞抑制効果



図(1)-27 鉄道優先整備による QOL 改善効果

カーフリーシナリオの CO<sub>2</sub> 削減に伴う渋滞抑制効果の空間分布を分析した結果、約 25%の鉄道分担率を実現することで、都心部への乗用車交通量を道路優先整備シナリオに対して 26%減らし、その平均移動時間を約 7%減らすことが可能であることが示された（図(1)-26）。特に、都心部内の道路交通需要は約 70%削減され、平均移動時間を約 36%減らしその渋滞抑制効果が高いことが分かった。

一方で、カーフリーシナリオは各属性の QOL を現在より向上させることが可能であるが、高所得層や中所得高齢層にとっては駅前居住と同時に車利用が可能なシナリオがより QOL が高い結果となった（図(1)-27）。これより、これらの層にとって車利用以上に魅力的な鉄道利用のライフスタイルを提供する、高質な駅前整備が課題であることが示された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

バックキャストによるアジアの低炭素交通システムの設計手法を新たに具体化し、ビジョンづくりから政策選択までのプロセスを一貫したシステムとして提示した。アジアの長期的将来における社会経済や都市開発の変化に伴う交通需要の大きな変化を想定した上で、データの利用可能性に応じてアジア途上国都市の低炭素交通システムの設計を行う手法体系を構築した。また、生活の質を低炭素交通システムの分析に組み込み、その実現手法をより多面的に評価することを可能とした。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

交通分野における気候変動対策の重要性の世界レベルでの周知に努めるため、本研究成果を踏まえて、75 カ国から 1500 名の研究者・政策実務担当者の集まる世界交通学会（WCTRS）における議論を集約したリーフレットを作成し、それを国連気候変動枠組条約締約国会議（COP15-19）でのサイドイベントや、アメリカ交通学会（TRB）等の各種国際会議やシンポジウム等で配布し、その成果を広く広報してきた。

本研究で提示したアジア低炭素交通システムの将来ビジョンや実現施策についての成果は、タイに続いてモータリゼーションによる渋滞が深刻化し交通計画、都市計画に関するマスタープランが作成段階である多くのアジア都市において、その適用が期待される。インドネシア交通省のも、本研究手法のインドネシアへの適用について興味を示している。

環境省が主導的にアジア途上国都市の低炭素都市交通実現のための海外支援に携わる際に、本研究成果を踏まえて、低炭素都市・交通システムとその実現手法のメニューを、システム利用に伴う新たなライフスタイルを含めて提案することができる。

## 6. 国際共同研究等の状況

- 1) バンコクにおける価値観調査：Varameth VICHENSAN、カセサート大学・タイ  
2012年に、バンコクにおけるQOL調査を共同で実施した。
- 2) バンコクにおける鉄道整備経緯の整理：Wiroj RUJOPAKARN・Varameth VICHENSAN、カセサート大学・タイ  
2013年に、バンコクにおける鉄道整備経緯の整理を共同で行った。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上发表

#### <論文(査読あり)>

- 1) 伊藤圭, 加藤博和, 柴原尚希: 地球環境研究論文集, Vol.18, pp37-43 (2010)  
「乗車人数を考慮した地域内旅客輸送機関のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量比較」
- 2) K. ITO, H. KATO and N. SHIBAHARA: Journal of Global Environment Engineering, Vol.16, pp.43-49 (2011)  
“Life Cycle Co2 Emissions Of Various Passenger Transport Modes At Different Passenger Occupancies”
- 3) Y. HAYASHI, X. MAI and H. KATO: Transport Moving to Climate Intelligence, Springer, 161-174 (2011)  
“Chapter 11, The Role of Rail Transport for Sustainable Urban Transport”
- 4) 伊藤圭, 加藤博和, 柴原尚希: 土木学会論文集D3, 67, 5, I\_145-I\_153 (2011)  
「日本における地域内旅客交通CO<sub>2</sub>大幅削減のための乗合輸送機関導入必要量の算定」
- 5) C. WU, Y. HAYASHI and C. FUNCK: Journal of Air Transport Management, 22, 21-27 (2012)  
“The Role of Charter Flights in Sino-Japanese Tourism.”
- 6) K. ITO, H. KATO, N. SHIBAHARA and Y. HAYASHI: Transport Research Record, 2252/2011 (2012)  
“Estimating Additional Mass Transit Needed to Reduce Carbon Dioxide Emissions from Regional Passenger Transport in Japan.”
- 7) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: Journal of Society for Social Management Systems, SMS11-7593 (2012)  
“Strategic Land-use Transport Planning to Realise Low-carbon Systems for Asian Developing Cities.”
- 8) X. LUO and Y. HAYASHI: 土木学会論文集G (環境), 68 (6), 環境システム論文集 第40 巻, II\_99-II\_107 (2012)  
”Freight Transport CO<sub>2</sub> Emission and Its Decomposition in Mega Cities of China -A Case study of Beijing and Shanghai”
- 9) 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 土木学会論文集D3 (土木計画学), 68 (5), (土木計画学研究・論文集第29巻), pp.I\_823-I\_830 (2012)  
「アジア途上国大都市における鉄道整備時期を考慮したモータリゼーション進展の将来予測」
- 10) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 中村文彦, 花岡伸也: 土木学会論文集D3 (土木計画学), 68 (5), (土木計画学研究・論文集第29巻), pp.I\_857-I\_866 (2012)

「アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出」

- 11) K. ITO, K. NAKAMURA, H. KATO and Y. HAYASHI: The Journal of Society for Social Management Systems, SMS12-1209 (2012)  
 “A Methodology to Identify Low Carbon Passenger Transport Modes for Intra-Urban Travel in Asian Developing Countries”
- 12) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: Global Environmental Research, Vol.17 No.1, pp.47-60 (2013)  
 “Microscopic Design of Measures to Realise Low-Carbon Land-Use Transport System in Asian Developing Cities”
- 13) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, ワスタラースク・ワシニー: 土木学会論文集D3, Vol.69, No.2, pp.146-159 (2013)  
 「アジア途上国都市における土地利用交通施策の早期実施によるスプロール抑制効果」
- 14) K. NAKAMURA and Y. HAYASHI: Transport Policy, Vol.29, pp264-274 (2013)  
 “Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects.”
- 15) K. ITO, K. NAKAMURA, H. KATO, Y. HAYASHI: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (2013)  
 “Identifying Most Carbon-Efficient Transport Systems for Conurbations in Asian Developing Countries”
- 16) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI, H. KATO: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (2013)  
 “Low-carbon land-use transport systems to improve liveability for Asian developing cities”
- 17) K. ITO, K. NAKAMURA, H. KATO and Y. HAYASHI: The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies, Vol.10, pp.1112-1128 (2013)  
 “Influence of Urban Railway Development Timing on Long-term Car Ownership”
- 18) 藤田将人, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 環境共生, Vol.24, pp.62-70 (2014)  
 「アジア途上国大都市におけるパラトランジットを活用した低炭素旅客交通システムの検討」

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 林良嗣, 中村一樹: 運輸と経済, pp.4-14 (2011)  
 「低炭素都市のための交通戦略と政策・技術」
- 2) 林良嗣: 運輸と経済, 第73巻, 第2号, 63-69 (2013)  
 「グリーン経済政策と交通—経済・エネルギー危機への対応戦略 基調講演, 途上国における持続不可能な交通への対応戦略としての鉄道システム文化の移転」
- 3) 奥田隆明: 中部圏研究中部圏社会経済研究所調査季報, 197, 99-89 (2012)  
 「大都市圏戦略としてのリニア中央新幹線整備～計量分析の結果を踏まえて～」

## (2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 沢山愛, 加藤博和, 林良嗣: 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM(29) (2009)  
「CO<sub>2</sub>削減を意図した都市交通政策の効果に関する日独比較」
- 2) 矢尾和也, 伊藤圭, 加藤博和, 林良嗣: 平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.343-344 (2010)  
「パラトランジットのCO<sub>2</sub>排出量評価と技術革新による低炭素化の検討」
- 3) 山本充洋, 伊藤圭, 加藤博和: 平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.345-346 (2010)  
「車両・電力供給技術進歩が運輸部門CO<sub>2</sub>排出量に与える影響の評価」
- 4) 伊藤圭, 柴原尚希, 加藤博和: 平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.565-566 (2010)  
「都市域縮退策と大量輸送機関整備の同時実施による地域内旅客交通システムの低炭素化に関する検討」
- 5) 矢尾和也, 伊藤圭, 沢山愛, 加藤博和, 林良嗣: 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM(31) (2010)  
アジア途上国大都市におけるパラトランジットを活用した低炭素交通施策の検討
- 6) 梅達郎, 加藤博和, 林良嗣: 第18回地球環境シンポジウム講演集, pp.67-74 (2010)  
「アジア大都市におけるモータリゼーション進展過程を考慮した旅客交通部門CO<sub>2</sub>排出量の長期予測」
- 7) 山本充洋, 加藤博和, 伊藤圭: 第18回地球環境シンポジウム講演集, pp.75-80 (2010)  
「将来の車両・エネルギー技術進歩が運輸部門CO<sub>2</sub>排出量に与える影響の評価」
- 8) 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 花岡伸也, 中村文彦: 日本環境共生学会2010年度学術大会発表論文集, pp.20-21 (2010)  
「アジアにおける低炭素交通システム実現に向けて」
- 9) H. KATO, K. ITO, N. SHIBAHARA and Y. HAYASHI: The Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research Society, pp.F6-02666, (2010)  
“Estimating The Amount Of Additional Mass Transit Needed To Reduce Co<sub>2</sub> Emissions From Regional Passenger Transport In Japan”
- 10) K. ITO, H. KATO and N. SHIBAHARA: The Proceedings of the 9th International Conference on EcoBalance, Tokyo, CD-ROM(P-080), pp.763-766 (2010)  
“Life Cycle Co<sub>2</sub> Emissions For Local Passenger Transport Modes Of Different Passenger Flow Volume”
- 11) 伊藤圭, 加藤博和, 柴原尚希: 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM(6) (2010)  
「日本における地域内旅客交通CO<sub>2</sub>大幅削減のための乗合輸送機関導入必要量の算定」
- 12) 島田亮太, 加藤博和, 林良嗣: 平成22年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.383-384 (2011)  
「鉄道整備時期の違いがモータリゼーション進展に与える影響のモデル化」
- 13) 伊藤圭, 柴原尚希, 加藤博和: 第6回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, pp.44-45 (2011)

- 「輸送密度と混雑率を考慮した地域内旅客交通機関のライフサイクルCO<sub>2</sub>比較」
- 14) 伊藤圭、加藤博和、柴原尚希：第43回土木計画学研究発表会（2011）  
「低炭素性と財政制約に着目した市区町村レベルでの地域持続性評価」
- 15) 田島祐也、山本充洋、加藤博和、中村一樹、福本雅之：第19回地球環境シンポジウム（2011）  
「バンコクにおける乗用車及び二輪車起源CO<sub>2</sub>排出量の将来予測」
- 16) Y. WANG, Y. HAYASHI and H. KATO: The 13th International Summer Symposium, Uji, Japan (2011)  
“The Evolution of Passenger Transport CO<sub>2</sub> Emissions and Driving Forces Analysis in Beijing”
- 17) 伊藤圭、中村一樹、加藤博和、林良嗣：日本環境共生学会第14回学術大会（2011）  
「ライフサイクル手法を用いたアジア途上国における低炭素旅客輸送機関の地域別選定」
- 18) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: The 91st Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C., US (2011)  
“A Backcasting Approach to Designing Low-Carbon Urban Transport Systems for Asian Developing Cities; Application to Bangkok”
- 19) 藤田将人、中村一樹、伊藤圭、山本充洋、加藤博和、林良嗣：平成23年度土木学会中部支部研究発表会（2012）  
「アジア途上国大都市の低炭素化に向けた端末交通システムの検討」
- 20) 伊藤圭、中村一樹、加藤博和：第45回土木計画学研究発表会（2012）  
「アジア開発途上国における地域ごとの低炭素旅客輸送機関選定手法」
- 21) 藤田将人、中村一樹、伊藤圭、加藤博和、林良嗣：第45回土木計画学研究発表会（2012）  
「アジア途上国大都市におけるパラトランジットを活用した低炭素端末旅客交通システム実現可能性の検討」
- 22) 山本充洋、中村一樹、藤田将人、加藤博和、林良嗣：第46回土木計画学研究発表会（2012）.  
「アジア途上国大都市における長期的将来の低炭素都市・交通システム構成要素の検討」
- 23) K. NAKAMURA, Y. HAYASHI and H. KATO: The 92nd Annual Meeting of Transportation Research Board (2013)  
“Comparison between Long-term Effects of Road Development and Railway Development for a Low-Carbon Urban Transport System in Bangkok”
- 24) 伊藤圭、中村一樹、加藤博和、林良嗣：日本環境共生学会第16回地域シンポジウム（2013）  
「アジア開発途上国都市の幹線旅客交通を対象とした低炭素輸送機関選定手法」
- 25) 藤田将人、中村一樹、加藤博和、林良嗣：第47回土木計画学研究発表会（2013）  
「アジア途上国大都市におけるインフラ整備による交通手段の魅力度改善評価」
- 26) X. LUO and Y. HAYASHI: The 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, Brazil (2013)  
“Analysing CO<sub>2</sub> Emission from Freight Transport in China - Decomposition into Factors due to Changes in Life Style and Inter-industries Relations -“
- 27) 藤田将人、中村一樹、加藤博和、林良嗣、Vasinee WASUNTARASOOK：日本環境共生学会第16回学術大会（2013）  
「バンコクにおける世代・収入によるQOL価値観の違いに関する分析」

- 28) K. NAKAMURA, V. VICHENSAN, H. KATO, Y. HAYASHI and T. MAEDA: The 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, Taiwan, 13-00090 (2013)  
 “Assessment for Transport Development with Attractiveness Measurement of Travel in Asian Developing Cities: a Case Study of Bangkok”
- 29) V. WASUNTARASOOK and Y. HAYASHI: The 10th Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, Taiwan, PP1005 (2013)  
 “A Historic Review on Consequences of Critical Events Leading Revolution in Mass Rapid Transit in Bangkok”
- 30) 藤田将人, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 第48回土木計画学研究発表会 (2013)  
 「アジア途上国大都市における低炭素旅客交通システムの実現に向けた端末交通システムの将来ビジョンの検討」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) WCTRS-SIG11国際シンポジウム「交通と気候変動」  
 (2009年11月13日～14日、名古屋大学・野依記念学術交流館、参加者150名)
- 2) 日本環境共生学会年会、低炭素交通セッション  
 (2010年9月26日、名古屋大学環境総合館、参加者20名)
- 3) 第45回土木計画学研究発表会、低炭素交通セッション  
 (2012年6月3日、京都大学吉田南総合館、参加者30名)
- 4) 国際セミナー「アジアの低炭素都市交通システムに向けて」  
 (2012年12月18日、愛知県名古屋都市センター金山南ビル14階、観客40名)
- 5) 13th WCTR Special Session (SS21) "From Car Congestion Hell towards Rail Transit Heaven: Air Pollution, Low-Carbon and EST"  
 (2013年7月16日、Windsor Bara Hotel, Rio de Janeiro, Brazil, 参加者30名)
- 6) International Seminar "How to Develop Sustainable and Resilient Transport: the case of Indonesia"  
 (2013年9月7日、名古屋大学工学部9号館312, 参加者10名)
- 7) International Symposium "From Visioning to Implementation of Low-Carbon Transport in Asia" Day 1  
 (2013年10月16日、日本大学理工学部CSTホール, 参加者50名)
- 8) International Symposium "From Visioning to Implementation of Low-Carbon Transport in Asia" Day 2  
 (2013年10月17日、国連大学ウ・タント国際会議場, 参加者70名)
- 9) International Workshop "Putting Transport into Climate Policy Agenda; Recommendations from WCTRS to COP19"  
 (2013年10月18日、日本大学理工学部駿河台キャンパス10号館5階特別会議室, 参加者20名)
- 10) International Workshop "Low-Carbon City and Transport; comparison between Shanghai and Bangkok"  
 (2013年10月19日、名古屋大学工学部9号館312, 参加者10名)
- 11) International Seminar "Transport Futures: Thinking the Unthinkable"

(2014年2月21日, 名城大学サテライト多目的室, 参加者30名)

#### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) NHK名古屋ニュース「ホットイブニング」(2010年11月13日、18時10分) : WCTRS-SIG11国際シンポジウム「交通と気候変動」(S-6-5、名古屋大学大学院環境学研究科、同グローバルCOE「地球学から基礎・臨床環境学への展開」の共同主催、林良嗣実行委員長、2009年11月13日～14日、名古屋大学・野依記念学術交流館、観客150名)の紹介報道。
- 2) NHKニュース23(2010年12月11日、23時、全国放送) : 代表者の林良嗣が、コペンハーゲンCOP15会場におけるサイドイベントでの報告者として、従来2100件を超えるCDM実績の中で、交通プロジェクトが僅か2件であることを問題とし、これを大幅に増やす必要性と、その具体方策の提案・討議している場面、および、その後の会場でのインタビューが放映された。
- 3) COP15～19「Putting Transport into Climate Policy Agenda: Recommendations from WCTRS to COP」(2009年～2013年、毎年11～12月に開催される気候変動締約国会議(COP)にてS-6-5の研究成果を踏まえて世界交通学会(WCTRS)と共同で作成したリーフレットを配布し内容をサイドイベントで発表)

#### (6) その他

- 1) Japan Society of Civil Engineering, the 13th Summer Symposium, the Best Presentation Award in Session of Environmental System : Wang YUNJING (2011)
- 2) 日本環境共生学会第14回研究発表大会学生発表賞 : 伊藤圭 (2011)

### 8. 引用文献

- 1) World Bank: World Development Indicators (2013)  
<http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

## (2) アジアにおける都市内交通の低炭素化策評価に関する研究

日本大学理工学部交通システム工学科

福田 敦

<研究協力者>

日本大学理工学部交通システム工学科

石坂 哲宏

有村 幹治 (平成21～22年度)

長田 哲平 (平成23年度)

伊東 英幸 (平成24～25年度)

日本大学理工学研究所

福田 トウエンチャイ

カリフォルニア大学リバーサイド校 (アメリカ)

Matthew BARTH

ウボンラチャタニ大学 (タイ)

Sittha JAENSIRISAK

カセサート大学 (タイ)

Varameth VICHENSAN

コンケン大学 (タイ)

Thaned SATIENAM

プリンスオブソンクラ大学 (タイ)

Paramet LUATHEP

タイ国立金属材料技術研究センター (タイ)

Nuwong CHOLLACOOP

ベトナム交通省 (ベトナム)

Viet Hung KHUAT

交通通信大学 (ベトナム)

Nguyen Van TRUONG

デ・ラサール大学 (フィリピン)

Allexis FILLONE

平成21～25年度累計予算額：30,792千円

(うち、平成25年度予算額：5,405千円)

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

アジアの開発途上都市において低炭素交通システムのビジョンの実現手法を検証するため、SHIFTに関する施策である高速バスシステム (BRT: Bus Rapid Transit) の導入と、AVOIDを可能とする公共交通指向型都市開発 (TOD) や、中心市街地へ自動車を流入させないための駐車場施策 (SHIFT) の組み合わせによるCO<sub>2</sub>排出削減量の推計を行った。

発展初期の中規模都市での統合的な施策パッケージの検証として、タイ・コンケン市を対象として、BRTの導入にあわせてTOD、電気自動車・二輪車 (EV)、ハイブリッド自動車 (HV) への転換など実現可能な各ビジョンの検討を行った。その結果、これらの施策を全て組み合わせた場合、最大でBaU比約48%CO<sub>2</sub>排出量を削減できることを明らかにした。

また、発展初期の中規模都市のケーススタディとして、今後、交通問題の深刻化が懸念され、BRTが計画されているラオスの首都ヴィエンチャンも対象とし、早期の段階で駐車場容量を制限する総合的な駐車施策を導入した際のBRTの手段選択に与える影響を、現地でのアンケート調査に基づいて交通手段選択モデルを構築し、交通需要変化を推計することで環境への影響を明らかにした。これより、対象都市ではBRT導入と同時に総合的な駐車施策を実施することでBRTの利

用促進を示唆することができ、都市部への自動車流入を抑制することができる結果を示した。

アジア途上国における発展初期の大都市のケーススタディとしては、フィリピンの首都マニラを対象とし、環状道路に BRT が導入された場合の交通需要を推計し、都市全体の CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を推計した。さらに、ベトナムの首都ハノイにおいても、世界銀行が提案した市の中心部キンマから郊外のバラまで BRT が導入された場合の交通需要を推計し、都市全体での CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果を推計した。

[キーワード]

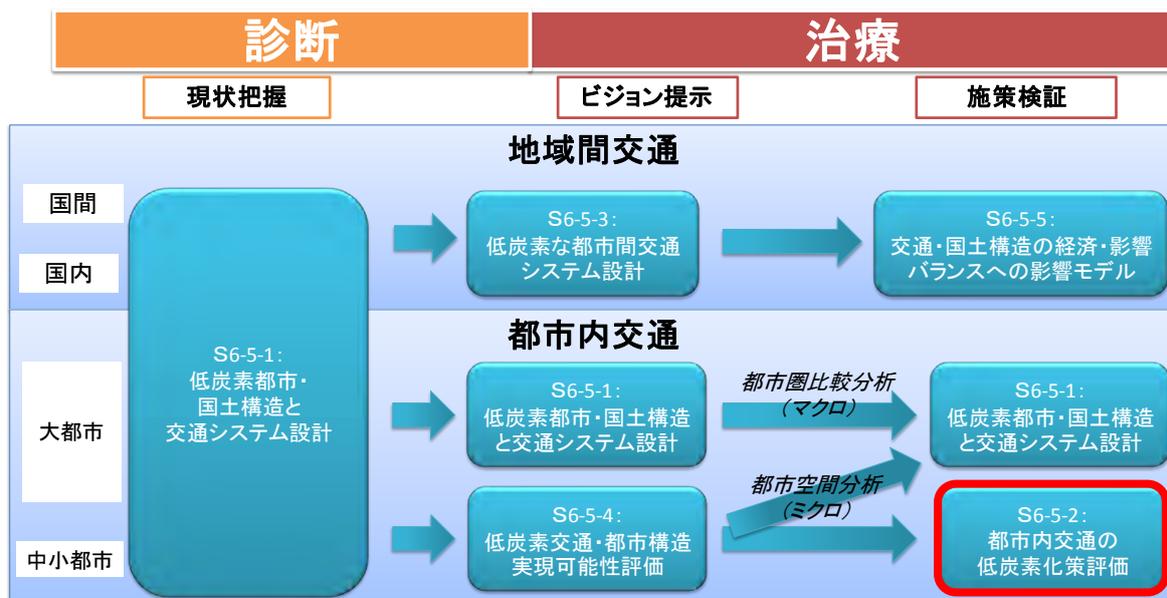
低炭素社会、公共交通指向型開発、CO<sub>2</sub>排出量、駐車場施策、P&R

1. はじめに

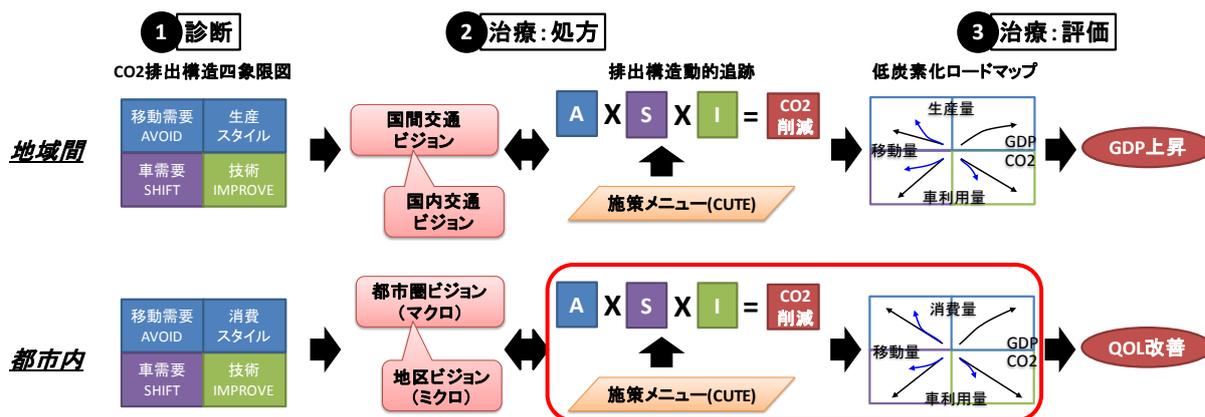
アジアの開発途上国の発展初期の都市では、急速な経済成長により将来の CO<sub>2</sub> 排出量が著しく大きくなることが予想される。中規模中核都市における政策オプションとして、公共交通の導入、それに伴う土地利用・公共交通利用への誘導などの施策、貨物交通や乗用車の EV・HV への転換などの実現可能な政策オプションが多数挙げられる。これらの都市は、人口増加や都市開発など、今後急速に発展することが想定されることから、開発がかなり進んでいる大都市と比較して、土地利用の誘導や移動に対する社会規範を柔軟に形成していける可能性がある。

しかし、このような低炭素交通システムの実現手法の有効性を明らかにするためには、交通需要推計モデルを活用する必要があるが、交通データが地方都市では不足していることが多い。これを踏まえて、アジア途上国の中都市にも適用可能な、交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量の推計手法を構築する必要がある。

2. 研究開発目的



図(2)-1 S-6-5-2 研究の位置づけ



図(2)-2 S-6-5-2 分析の重点

本研究では、アジアの開発途上国における発展初期の都市に着目し、その交通特性やデータ制約を考慮して、低炭素化の治療のための交通システム改変に伴う CO<sub>2</sub> 削減量を定量的に推計することで、CO<sub>2</sub> 削減の可能性を明らかにすることを目的としている。アジア途上国の中都市でも導入が進むと想定される公共交通導入施策に加え、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、その組み合わせによる CO<sub>2</sub> 削減の検討を行う。タイ・コンケンとラオス・ヴィエンチャンを主な対象地域としつつ、フィリピン・マニラ、ベトナム・ハノイも含めたアジア各都市でのケーススタディを実施し、各施策を実施した場合の CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計する方法を構築、施策の有効性を検討する。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 発展初期中都市における治療 (タイ・コンケン)

人口約180万人で1人当たりGDPが2400ドルのタイ・コンケンは、タイの東北部に位置し、地域の中核として機能している。ケーススタディとして、そのコンケン市に低炭素ビジョンを実現した際のCO<sub>2</sub>排出量を推計した。具体的な推計手法としては、四段階推定法による交通需要予測手法を用いて、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、ビジョン分析を行った。図(2)-3に研究の流れを示す。

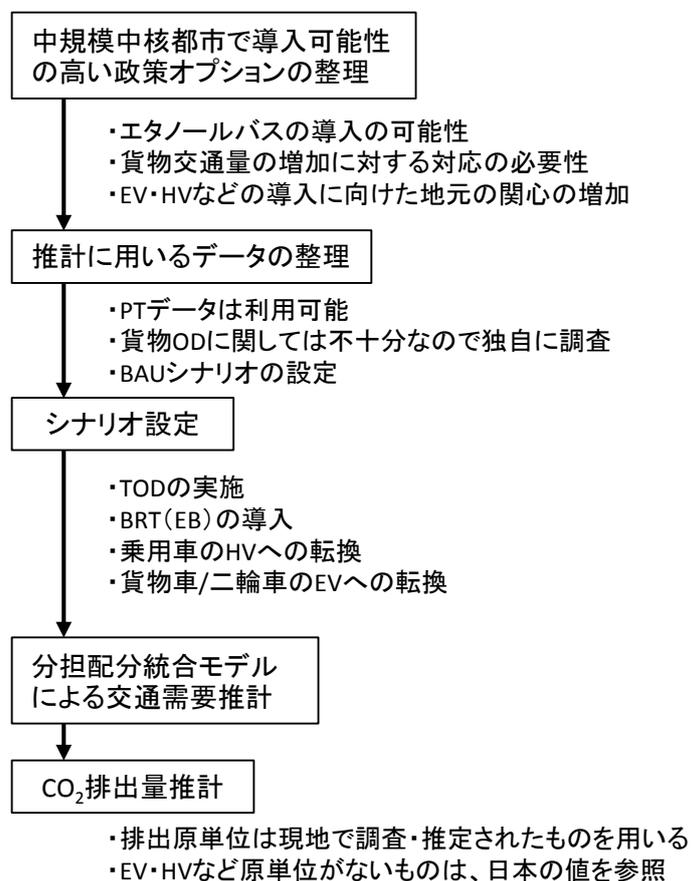
#### 1) データ整備

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。しかし、将来予測に基づいたOD(地区間の交通発生・集中)表が存在しないため、基礎データを人口成長率に基づいて2030年の将来ODを作成した。

一方、ODには貨物車も含まれている。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、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

ユー調査を実施した。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。



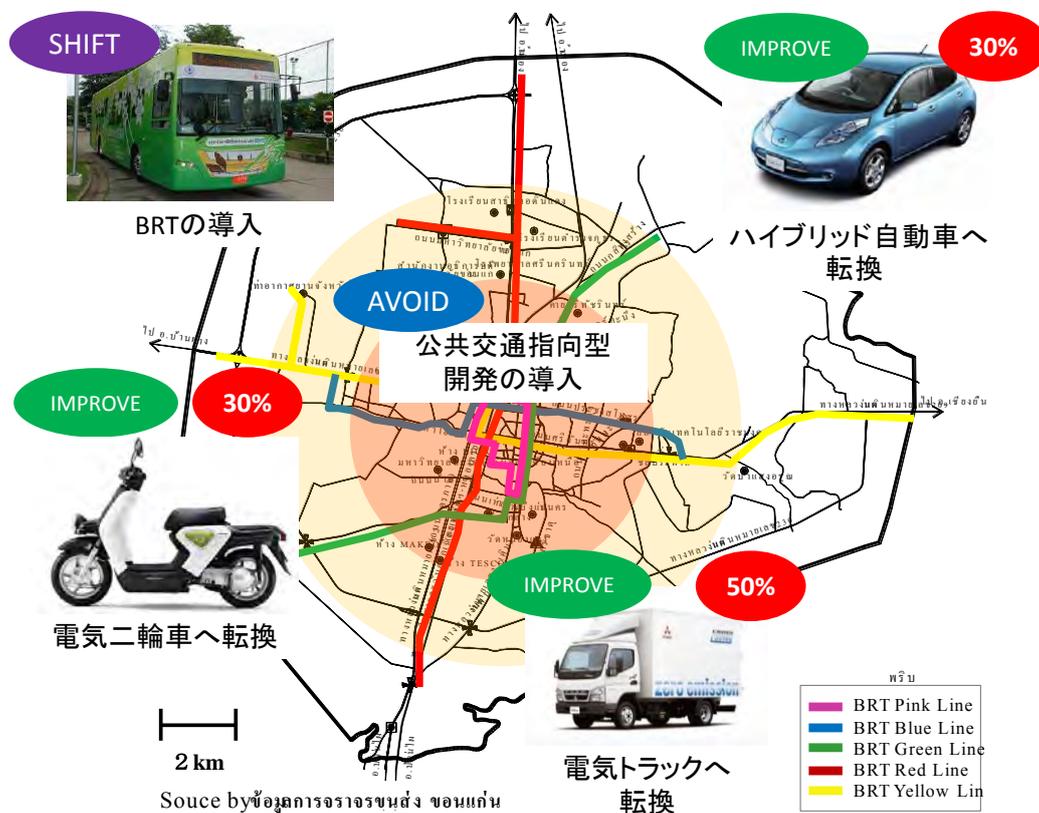
図(2)-3 研究の流れ

## 2) シナリオ設定

本研究で分析するコンケンの低炭素交通システムのビジョンのイメージを図(2)-4 に示す。このビジョンを表現するため、下記のシナリオを設定し比較・推計を行った。

- ・ 2030年の将来推計とする。
- ・ IMPROVE、IMPROVE+SHIFT、IMPROVE+SHIFT+AVOIDビジョンを設定。
- ・ IMPROVEについて、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。
- ・ IMPROVEについて、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。なお、2030年におけるEV・HVへの転換率の設定は、参考として日本の経済産業省より発行された「次世代自動車戦略2010」の予想値を用いた。
- ・ SHIFTについて、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を利用すると設定。

- AVOIDについて、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。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50%集約したと仮定し作成した。



図(2)-4 コンケン交通システムのビジョン

### 3) 交通需要推計

これらのシナリオに対して、交通需要予測ソフト JICA STRADA で交通需要推計を行い、CO<sub>2</sub>排出量を推計した。交通需要の推計は、以下に示す分担配分統合モデルに基づいて求めた。

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

交通ネットワークは、現在のネットワークに、コンケン市で計画されている BRT 導入路線を加

えたものとした。交通量に対する道路所要時間を表すリンクコスト関数は、以下に示す通り BPR 関数とし、Jaensirisak ら<sup>1)</sup>が推計したタイ・バンコクのパラメータを用いた。

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

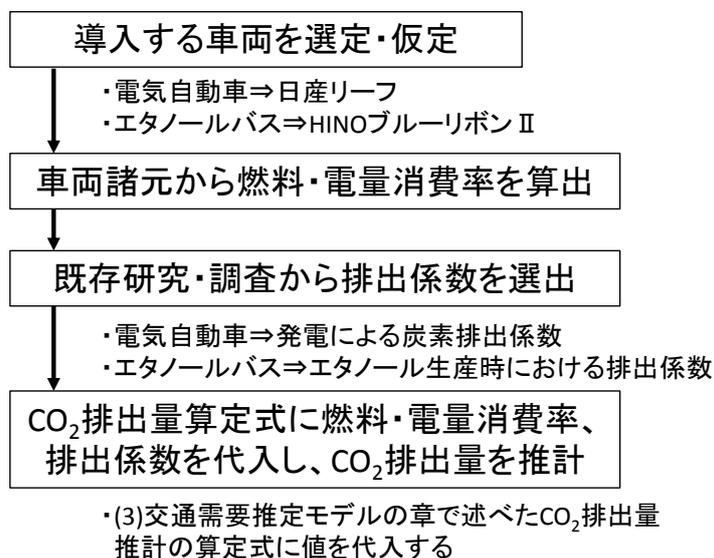
$t_a^0$  : リンク  $a$  の自由走行時間

$V_a^{auto}$  : リンク  $a$  のリンク交通量

$C_a$  : リンク  $a$  の交通容量

#### 4) CO<sub>2</sub> 排出量推計

CO<sub>2</sub> 排出量の推計には、2006 年の社団法人海外運輸協力協会ら<sup>2)</sup>のデータより、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)-5 の流れで CO<sub>2</sub> 排出量を推計する。



図(2)-5 CO<sub>2</sub> 排出量の推計

CO<sub>2</sub> 排出量の推計は、以下に示す算定式を用いた。

$$E = \sum_{m \in M} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs}^m I_{rs}^m EF_{rs}^m$$

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

$m \in M$  : 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

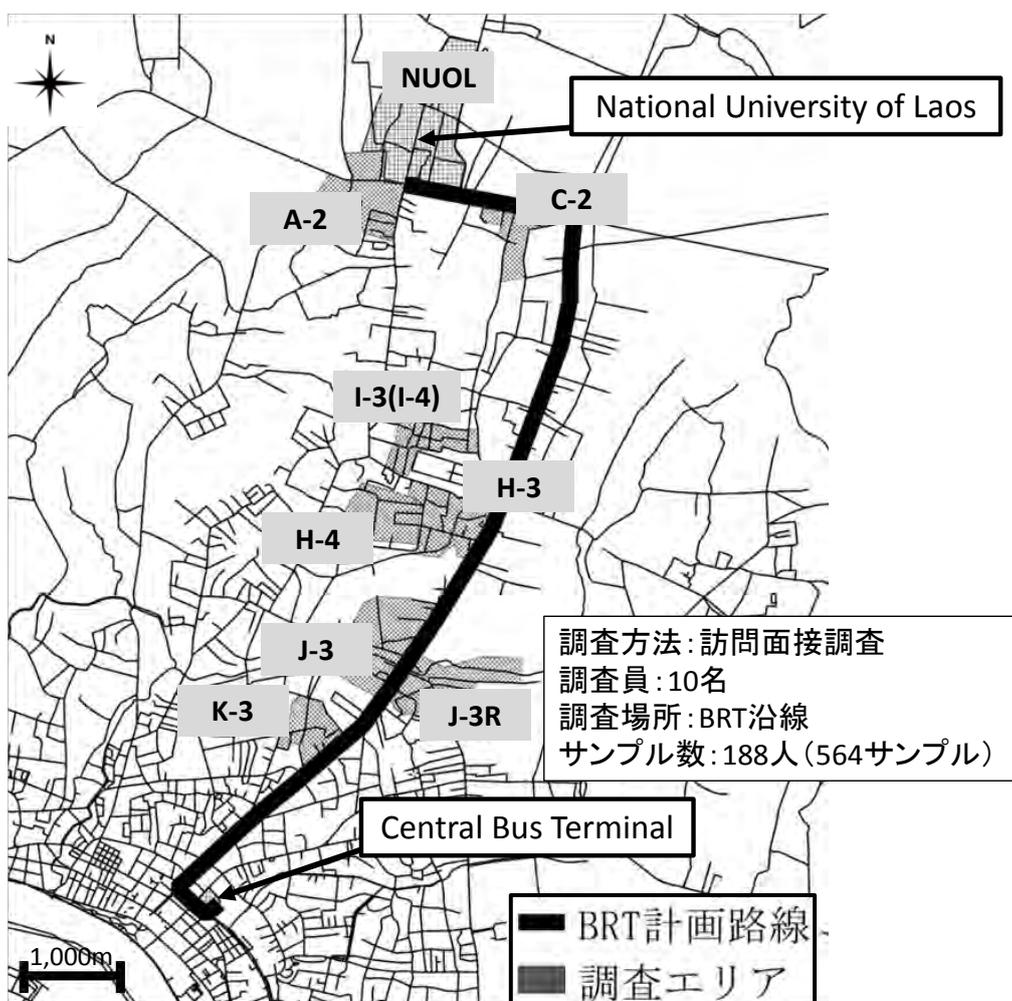
$l_{rs}^m$  : ゾーン  $rs$ 間の手段別最短経路距離

$EF_{rs}^m$  : 車種別CO<sub>2</sub>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

## (2) 発展初期中都市における治療 (ラオス・ビエンチャン)



図(2)-6 調査場所

対象都市であるラオス・ビエンチャンは、東南アジアの内陸に位置するラオス国の首都であり、市域面積は3920km<sup>2</sup>で人口は約80万人（1人当たりGDP1400ドル）の都市である。専用軌道系交通機関は整備されておらず、主な交通手段はオートバイと自動車となっている。ここ数年で、著しく経済成長していることから自動車利用者が増加し、ピーク時には都心部で渋滞が発生する。公共交通機関として路線バスも運行されているが、国際協力機構（JICA）による2008年の調査<sup>3)</sup>では分担率が4%と大変低い状態である。そこで、都心部～郊外部を結ぶ3路線のBRTの中で都市部～ラオス国立大学の路線（10.6km）を対象とし、早期段階での総合的な駐車施策を導入した際のBRTの手段選択与える影響をモデル化し、交通流や環境等への影響を明らかとした。

## 1) データ整備

自動車からBRTへの転換率を推計するために、現地でのアンケート調査に基づいて交通手段選択モデルを構築した。アンケート調査は、2013年12月に、ラオス国立大学の学生の協力で実施した。調査場所は、図(2)-6に示す9ゾーンを対象とし、1ゾーンあたり約20人（60サンプル）を採取した。アンケートは、表(2)-1に示す項目に対して3水準を設定し、実験計画法に基づいて直行配列表を用いて割り当て、設計した。

表(2)-1 アンケート項目

項目	内容
① 現在使用している 交通手段について	交通行動の目的、交通手段、費用、旅行時間
	乗車場所・降車場所 ※バス利用者のみ
	駐車までの待ち時間に関する質問 ※自動車利用者のみ
② 駐車施策を含む将来 の交通手段について	13属性3水準について直行配列表 $L_{27}(3^3)$ を用いた実験計画法で9パターン作成した。
③ 個人属性について	性別、年齢、職業、自動車・オートバイの所有、自動車・オートバイの免許の所有、BRTの利用について、家族の収入
④ 現在使用している交通手段 のイメージについて	速達性・移動の価格・時間の安定性・寄り道のし易さ・ステータス・荷物の運搬性・移動の安心性・安全性・プライバシー・駐車場の探し易さ・渋滞の影響

## 2) シナリオ設定

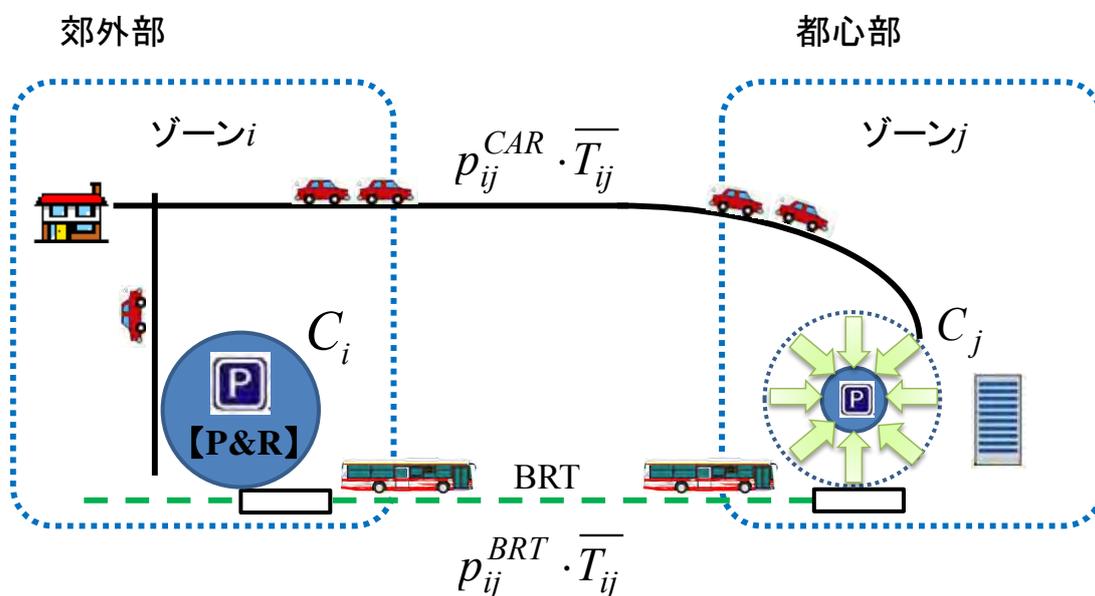
本研究では、総合的な駐車施策として都心部での駐車場供給の規制と郊外部でのP&Rの供給を検討した。これらの施策の組み合わせを、表(2)-2のように5つ設定した。なお、P&Rについては郊外部の3か所に設定した。

表(2)-2 対象とするビジョン

		ラオス・ヴィエンチャン		
		BRT導入しない	BRT導入	BRT導入+P&R
都心部の 駐車場の 供給	規制しない	【BAU】 BRT: × 都市部の規制: × P&R: ×	【ビジョン1】 BRT: ○ 都市部の規制: × P&R: ×	【ビジョン3】 BRT: ○ 都市部の規制: × P&R: ○
	規制	---	【ビジョン2】 BRT: ○ 都市部の規制: ○ P&R: ×	【ビジョン4】 BRT: ○ 都市部の規制: ○ P&R: ○

## 3) 交通需要推計

このシナリオ設定に対して、四段階推計法によって交通需要を推計した。駐車施策の基本的考え方は、以下の通りである。図(2)-7に示すように、郊外部ゾーン*i*と都心部ゾーン*j*の間に自動車とBRTの2つの交通手段しかない都市を想定した。



図(2)-7 駐車施策のイメージ

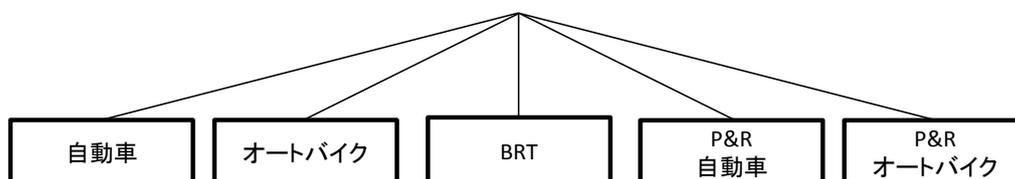
自動車の選択確率は、ロジット型の手段選択モデル以下のように推計した。

$$p_{ij}^{CAR} = \frac{\exp(V_{ij}^{CAR})}{\exp(V_{ij}^{CAR}) + \exp(V_{ij}^{BRT})}$$

$p_{ij}^{CAR}$  : ゾーン*i*、*j*間での自動車の選択確率

$V_{ij}^m$  : ゾーン*i*、*j*間での手段*m*を利用する効用の確定項

交通手段選択モデルを推計する上で、主要交通手段として自動車のほかにオートバイが想定される。また、BRTへのアクセス交通として自動車の他に、徒歩、オートバイが想定されることから、多項ロジットモデル（MLモデル）を構築した（図(2)-8）。それぞれの効用の確定項として、費用、時間、乗り換え回数などが効用の説明変数とし、以下の式で定義する。



図(2)-8 MLモデルの選択ツリー

$$V_{ij}^m = \beta_1^m Z_{1ij} + \beta_2^m Z_{2ij} + \dots + \beta_n^m Z_{nij}$$

$Z_{nij}$  : ゾーン*i*、*j*間での手段*m*の説明変数

$\beta_n^m$  : 手段*m*のパラメータ

将来の交通量は、JICAが2008年に調査した結果を用いて2030年時点を推計したものを使用する。交通量を1時間あたりに変換し、対象都市のピーク率である15.0%を乗じることでピーク1時間の交通量を求め、JICA STRADAのTransit Assignmentを使用してトランジット配分を行った。また、これらのデータをJICA STRADAのIncremental Assignmentを用いて、道路交通量の配分を行った。

施策効果を分析する上で、都心部における駐車場のサービス水準は、自動車を利用する場合の効用、郊外部におけるP&Rのサービス水準は、BRTを利用する場合の効用に、説明変数として明示的に含めて表現した。具体的に、変数として想定できるのは、駐車料金、駐車待ち時間（駐車場探索時間も含む）などの変数である。

また、都心部における駐車場の供給量を $C_j$ とすれば、以下の制約が成立しなければならない。

$$\sum_{i=1}^N p_{ij}^{CAR} \cdot \bar{T}_{ij} \leq C_j$$

$C_j$  : ゾーン*j*の駐車供給量

$\bar{T}_{ij}$  : ゾーン*i*からゾーン*j*の全交通量

一方、郊外部におけるP&R駐車場の供給量は、以下を満たすように供給する必要がある。ただし、実際には他手段でのアクセスするトリップを除く。

$$\sum_{i=1}^N p_{ij}^{BRT} \cdot \bar{T}_{ij} \geq C_i$$

$C_i$  : ゾーン*i*のP&Rの駐車供給量

総合的な駐車施策を実施する際に、上の式が成り立つように、自動車とBRTの効用に施策効果を表現する駐車料金などの変数を入れることで、都市部での駐車場供給を規制とP&Rのサービス水準を検討した。

#### 4) CO<sub>2</sub>排出量推計

交通需要推計結果を基に、CO<sub>2</sub>排出量の推計を行った。推計方法は、配分結果からリンクごとの交通量と平均速度、リンク長、車種別自動車排出係数を用いて以下のように算出した。

$$Ef_{ki} = aV^2 + bV + c$$

$$CO_2 Emissions = \sum \sum D_k \times T_{ki} \times Ef_{ki}$$

$Ef_{ki}$  : 排出係数

$V$  : リンク速度

$D_k$  : リンク距離 (km)

$T_{ki}$  : リンク交通量 (台/日)

本研究の対象都市では、排出係数が整備されていないため、タイ国の首都バンコクを対象に構築された排出係数を用いた。排出係数を表(2)-3に示す。

表(2)-3 排出係数 (タイ・バンコクの実験値)

	$a$	$b$	$c$
自動車	0.0585	-7.4522	336.
オートバイク	0.0308	-3.6385	165.
バス	0.0378	-4.2744	178.

#### (3) 発展初期大都市における治療 (フィリピン・マニラ)

人口約1000万人で1人当たりGDPが2600ドルのフィリピンの首都マニラでは、図(2)-9に示すと

おり既に複数のLRT、MRT（青色）が運行されているが、まだネットワークとしては十分形成されていない。そこで、これらの路線を繋ぎ、ネットワークとして機能するように複数のBRT路線の導入が検討されている。本研究では、最も効果が大きいと想定されるEDSA通りの一つ外側の環状道路5号線（C5）のSLEX-Commonwealth Avenue 間の区間で提案されているBRTを対象として取り上げ、その導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果と沿道大気汚染の削減効果を推計した。

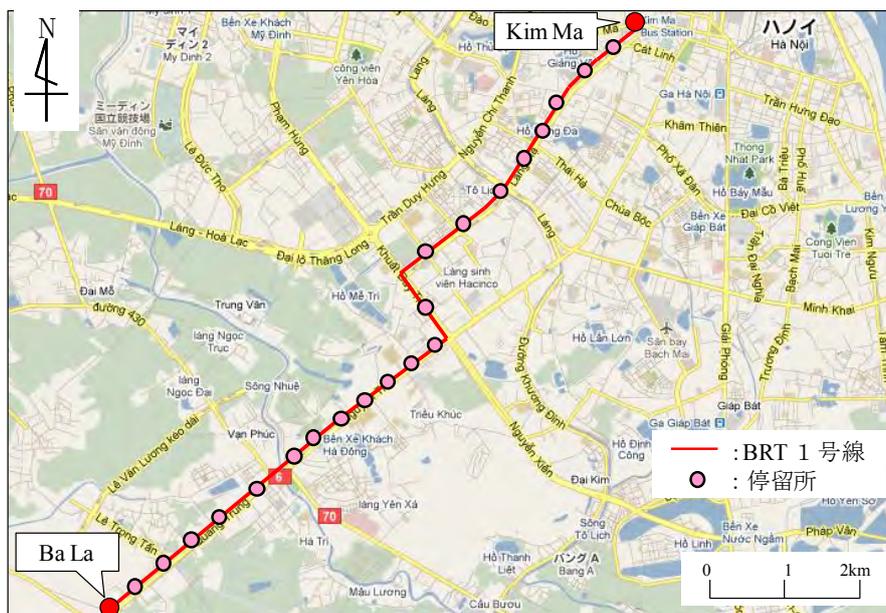


図(2)-9 対象BRT路線

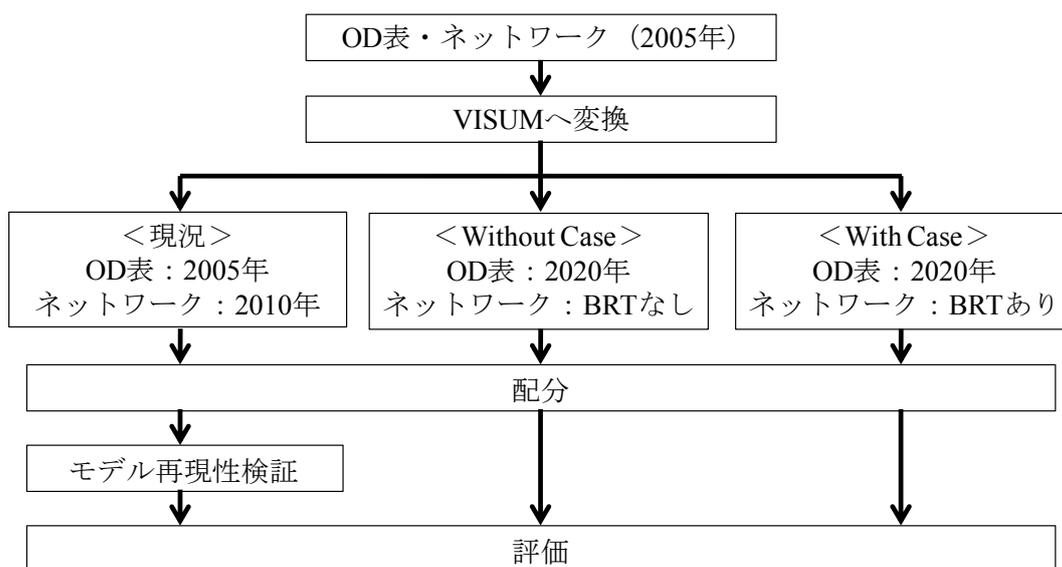
基本的には、他都市同様に四段階推計法によって都市全体の交通需要を推計した。推計に用いるデータは、JICAが実施したマニラ首都圏総合都市交通改善計画（MMUTIS ; Metro Manila Urban Transportation Integration Study、1999）によって整備された交通データベースを使用した。具体的には、共同研究者であるデ・ラサール大学のAlexis FILLONE准教授が、MMUTISデータを基に2010年と2015年におけるネットワークとODデータを作成しており、これをもとに基本年を2010年、将来年を2015年として推計を行った。したがって、ネットワークに関しては2015年において、BRTの導入ありと無しの状況を作成している。推計には、交通需要推計ソフトであるEMME/2を使用した。ここでは、マイクロ交通シミュレーションモデルを用いて車両の詳細な挙動を推計し、BRTの導入がある場合のCO<sub>2</sub>排出削減量を推計した。

(4) 発展初期大都市における治療 (ベトナム・ハノイ)

人口約670万人で1人当たりGDP1600ドルのベトナム・ハノイでは、オートバイが市民の足となっているが、今後経済成長等により自動車の利用が増加すると予想されている。また、主な公共交通機関は路線バスであるが、朝夕のラッシュ時には都心部の渋滞により定時性が確保できていない等の問題がある。そのため新しい公共交通機関の整備が求められており、BRTの導入が検討されている。本研究では、世界銀行が提案するBRT計画案のうち、路線長約26.5kmの1号線を対象路線とし(図(2)-10)、分析を行った。



図(2)-10 ハノイBRT1号線路線図



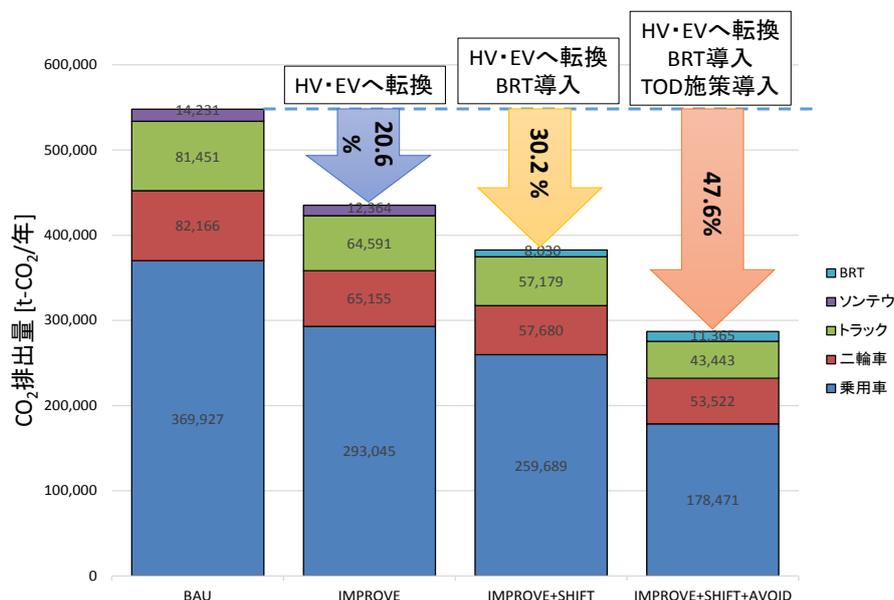
図(2)-11 分析の流れ

OD表とネットワークは、JICAが2004年から2007年に実施したハノイ市総合都市発計画調査（以下、HAIDEP）のデータを使用し、OD表と2010年のネットワークをもとに現況再現を行った。そして、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を比較分析した。With Caseでは、BRT沿線のゾーン間トリップからオートバイと乗用車の需要をBRTへそれぞれ10%、30%、50%転換すると仮定した。評価指標は、オートバイ、乗用車、トラック、路線バスの平均速度と、それらから排出されるCO<sub>2</sub>排出量を用いた。分析の流れを図(2)-11に示す。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 発展初期中都市における治療（タイ・コンケン）

図(2)-11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CO<sub>2</sub>排出量と、BaU比のCO<sub>2</sub>排出削減率を示している。IMPROVEビジョンは自動車・二輪車・貨物車をEV・HVへ転換した場合、IMPROVE+SHIFTビジョンはIMPROVEビジョンにBRTを導入した場合、IMPROVE+SHIFT+AVOIDビジョンはIMPROVE+SHIFTビジョンにTODを導入した場合である。この結果、EV・HVへ転換し、BRT・TODを導入するIMPROVE+SHIFT+AVOIDビジョンが最もCO<sub>2</sub>排出量削減できることがわかった。



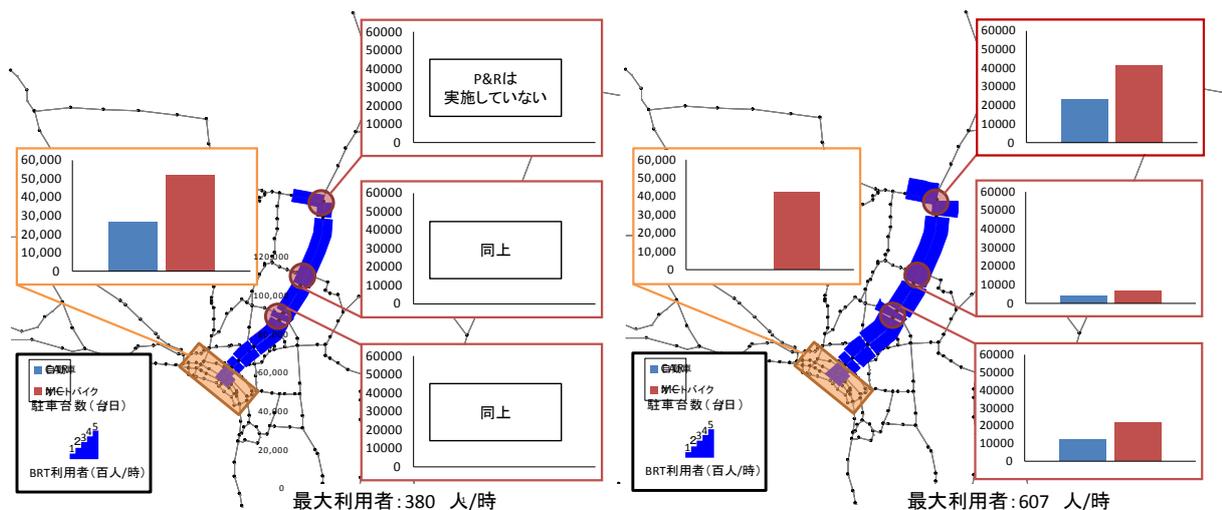
図(2)-12 コンケンにおける交通起源CO<sub>2</sub>排出削減

##### (2) 発展初期中都市における治療（ラオス・ビエンチャン）

交通手段選択モデルの、パラメータ推計結果を表(2)-4に示す。時間と費用の説明変数は、統計的に有意な結果となっている。また、この分析結果より都心部での駐車場供給の規制による影響は駐車待ち時間で表現し、郊外でのP&Rのサービス水準はアクセス時間とアクセス費用で表現した。

表(2)-4 交通手段選択モデルのパラメータ推計結果

項目		パラメータ	T値
定数項	自動車	-3.84E-01	-3.132
	オートバイク	-1.04E-01	-0.698
	BRT	8.24E-01	3.714
	P&R自動車	-6.57E-01	-3.347
共通変数 (レベル)	時間	-2.92E-02	-3.401
	費用	-9.08E-05	-4.100
自動車	駐車待ち時間	-1.79E-02	-0.720
BRT	アクセス時間	-5.54E-02	-2.381
	BRTの待ち時間	-9.11E-03	-0.397
P&R自動車	アクセス費用	2.09E-05	0.302
P&Rオートバイク	アクセス時間	-5.65E-02	-2.231
尤度比( $\rho^2$ )		0.1688	
カイ2乗値( $\chi^2$ )		221.66	
修正済みの中率(%)		46.57	
的中率(%)		31.77	

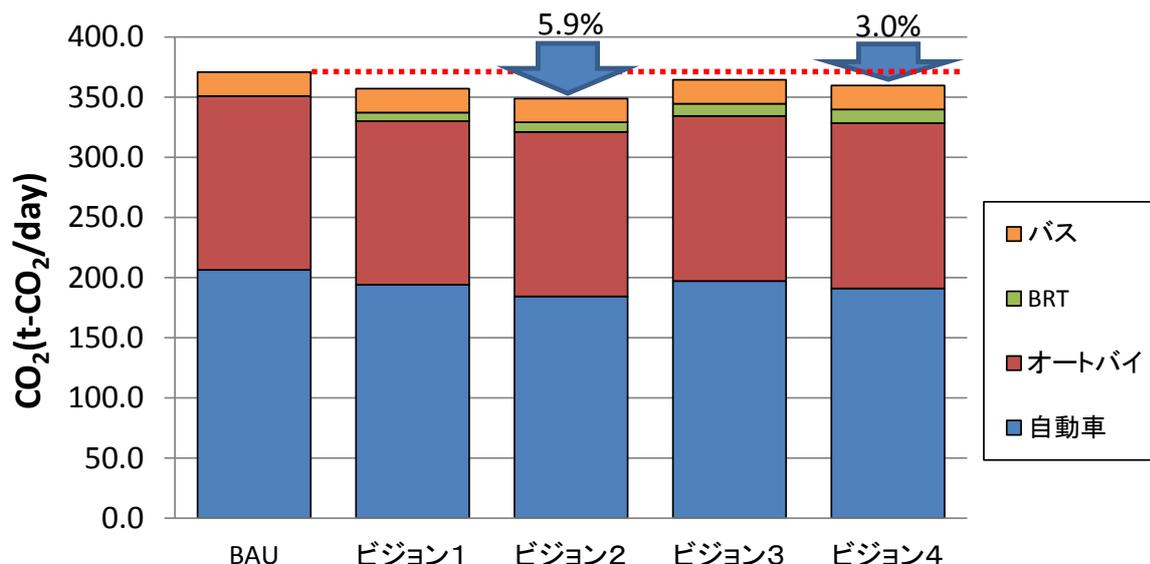


図(2)-13 トランジット配分結果 (ビジョン1) とトランジット配分結果 (ビジョン4)

このモデルを用いてBRTの利用者数を推計した結果の一部を図(2)-13に示す。このトランジット配分結果は、ネットワーク上の青線の太さがBRTの利用者であり、ビジョン1の最大利用者は380[人/時]に対して、ビジョン4では607[人/時]という結果が得られた。また、図中のグラフはP&RとBRT沿線ゾーンから都市部への自動車利用者を示しており、ビジョン1では都市部へは自動車利用者は2.7万[台/日]、オートバイ利用者は5.2万[台/日]、ビジョン4では都心部での駐車場供給の規制が実施されており自動車利用者はなく、オートバイ利用者は4.2万[台/日]という結果が得られた。これらの結果から総合的な駐車施策の実施を再現していることを確認し、対象都市ではBRT導入と同時に総合的な駐車施策を実施することでBRTの利用促進を示唆することができ、都市部への自動

車流入を抑制することができる結果を示した。

次に都市全体の CO<sub>2</sub> 排出量を図(2)-14 に示す。BaU と各ビジョンを比較して 6.4~22.0[t-CO<sub>2</sub>/日] 削減できる結果となった。最も削減量が多いと推計されたのはビジョン 2 であり、BaU ビジョンと比較すると 5.9%削減できる結果である。これは、BRT の整備はされているが P&R を実施していないため、アクセス交通による CO<sub>2</sub> 排出がないためであると考えられる。これらの結果から、BRT と駐車施策を実施することで CO<sub>2</sub> 排出量を削減できることを明らかにした。



図(2)-14 ビエンチャンにおける交通期限CO<sub>2</sub>排出削減

### (3) 発展初期大都市における治療 (フィリピン・マニラ)

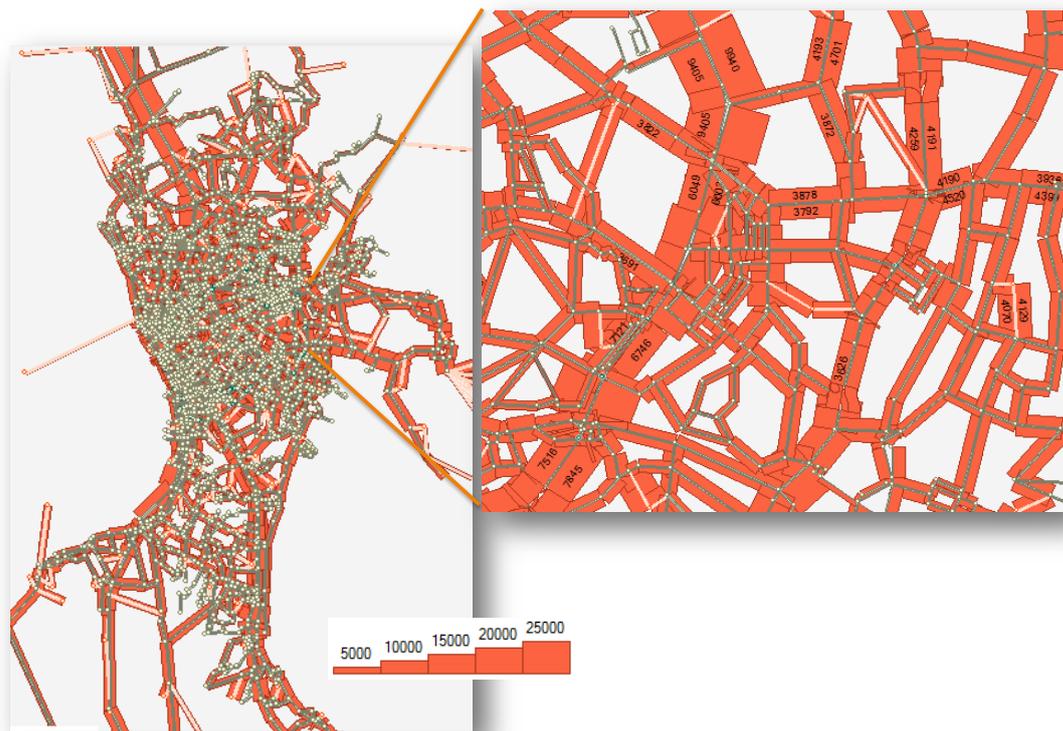
都市全体での交通需要を推計した結果を表(2)-5に、道路ネットワーク上の交通量を図(2)-15に示す。2015年におけるBRTあり、なしの場合の総走行人時、総走行人キロ、総走行台時、総走行台キロの差は、それぞれ0.27%、0.02%、0.12%、0.06%となった。都市全体で見ると一路線のBRTだけの導入であるため走行時間、走行距離とも非常に小さくなった。

ミクロ交通シミュレーションを行うために、推計した都市全体の交通量から、対象路線の交通量を抜き出した。上り、下り別の乗車人数、想定されるバス停での乗降者数を図(2)-16に示す。

交通需要推計の結果に基づいて、大気汚染物質と CO<sub>2</sub> の排出量と BRT が導入された場合の削減量を推計した。表(2)-6 に示す通り、各削減量は 1% 以下となった。

表(2)-5 マニラ都市圏での交通需要推計結果

		Daily Estimate	
		Pass-hr	Pass-km
2010 (Wo BRT)	Public	10,570,888.8	177,806,448
2015 (Wo BRT)	Public	11,405,366.4	192,693,048
2015(Wi BRT)	Public	11,374,452	192,650,016
Reduction 2015(Wo BRT – Wi BRT)		30914.4	43032
Reduction rate (Wo BRT – Wi BRT)/Wo BRT		0.27%	0.02%
		Veh-hr	Veh-km
2010 (No BRT)	Private+Public	2,503,185.6	48,995,448
2015 (No BRT)	Private+Public	3,563,637.6	61,720,968
2015(With BRT)	Private+Public	3,559,233.6	61,683,576
Reduction 2015(Wo BRT – Wi BRT)		4404	37392
Reduction rate (Wo BRT – Wi BRT)/Wo BRT		0.12%	0.06%



図(2)-15 マニラ都市圏での交通需要推計結果 (リンク交通量)



図(2)-16 BRTの区間乗客数と乗降客数

表(2)-6 大気汚染物質とCO<sub>2</sub>の排出量の推計結果

Emission Type	Specific Types	Modeling period	Representative Hourly Emission Estimates (kgs)	Daily Emission Estimates (kgs)
Air pollutants	NOx	2010 base year	6,804.14	163,299.38
		2015 (without BRT)	8,349.73	200,393.55
		2015 (with BRT)	8,343.09	200,234.20
		Reduction (Without –With BRT)	6.64	159.35
		Reduction rate	0.08 %	
	CO	2010 base year	41,403.38	993,681.11
		2015 (without BRT)	54,172.78	1,300,146.77
		2015 (with BRT)	53,757.66	1,290,183.75
		Reduction (Without –With BRT)	415.12	9,963.02
		Reduction rate	0.77 %	
PM	2010 base year	243.30	5,839.22	
	2015 (without BRT)	279.22	6,701.20	
	2015 (with BRT)	277.53	6,660.62	
	Reduction (Without –With BRT)	1.69	40.58	
	Reduction rate	0.61 %		
Greenhouse Gas	CO <sub>2</sub>	2010 base year	390,111.04	9,362,665.04
		2015 (without BRT)	516,293.86	12,391,052.54
		2015 (with BRT)	515,875.73	12,381,017.52
		Reduction (Without –With BRT)	418.13	10,035.02
		Reduction rate	0.08 %	

#### (4) 発展初期大都市における治療（ベトナム・ハノイ）

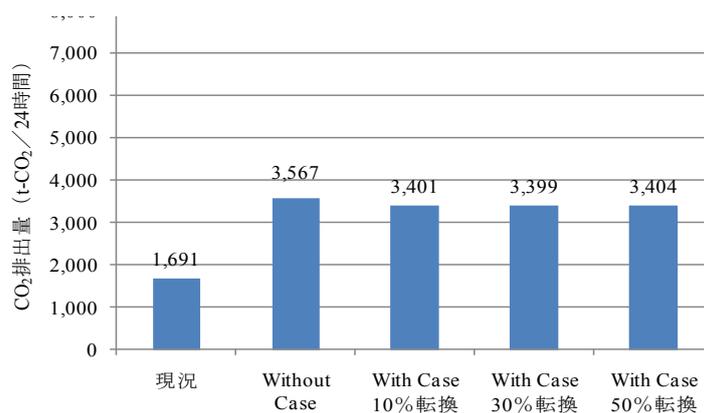
全車種全リンクの平均速度を表(2)-7に示した。Without caseでは現況と比較し3車種ともに平均速度が低下するが、With caseではオートバイや乗用車からBRTへ需要が転換するため、Without caseに比べて速度が上昇することがわかった。

表(2)-7 平均速度の比較

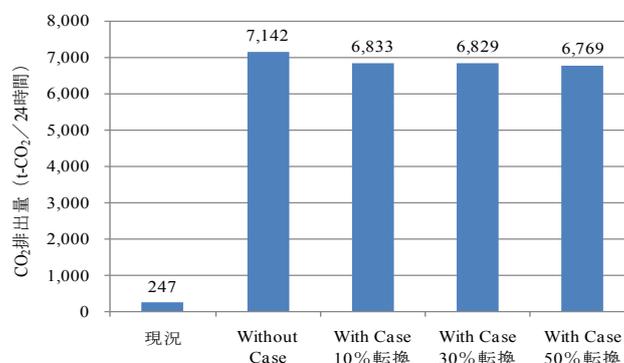
	現況	Without Case	With Case
オートバイ	24.3	17.8	19.5
乗用車	27.0	18.6	20.5
トラック	19.8	16.1	17.3

単位：km/時

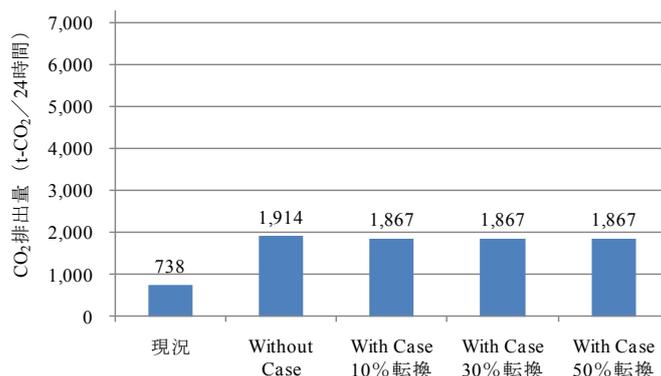
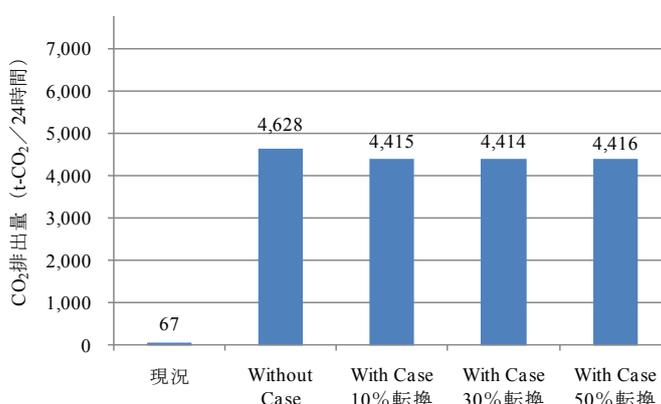
また、図(2)-17～図(2)-20に各車種のCO<sub>2</sub>排出量を示した。4車種ともに総トリップ数が増加するためWithout caseでは現況よりCO<sub>2</sub>排出量が増加するが、BRTを導入することによりCO<sub>2</sub>排出量の増加を抑制できることがわかった。



図(2)-17 CO<sub>2</sub>排出量の比較（オートバイ）



図(2)-18 CO<sub>2</sub>排出量の比較（乗用車）

図(2)-19 CO<sub>2</sub>排出量の比較（トラック）図(2)-20 CO<sub>2</sub>排出量の比較（トラック）

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

アジア途上国都市における有効な低炭素交通施策による CO<sub>2</sub> 排出削減量を推計する方法を構築するため、推計するために必要な交通関連データを整理し、CO<sub>2</sub> 排出量の推計方法や推計方法のマニュアル化を行った。また、不確実性の高い交通施策の実施による CO<sub>2</sub> 排出削減の可能性に関して、交通特性の大きく違う複数の都市で検証し、より一般的に削減の可能性を示した。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

アジア各国では、クリーン開発メカニズム、国別緩和行動（NAMA: Nationally Appropriate Mitigation Actions）、二国間オフセット・クレジット制度（BOCM: Bilateral Offset Credit Mechanism）などを利用した交通プロジェクトへの取り組みを実施している。これらの枠組みでは、国際的に通用するCO<sub>2</sub>排出削減量の「測定、報告及び検証（MRV; Measurement, Reporting and Verification）」の方法が重要となっているが、技術的改善（IMPROVE）や需要の転換（SHIFT）を対象とする

MRV（例えば、ACM0017やAC0031）は幾つか開発されているが、TODのような土地利用政策のような需要の抑制（AVOID）や都市全体で総合的な交通政策に適用されるMRVは構築されていない。本研究で構築した交通需要の推計方法やCO<sub>2</sub>排出削減量の推計方法などの成果は、対象国政府、国際協力機構、地球温暖化の対策に関連する組織などが、このような排出権取引の枠組みを利用するプロジェクトにおいて、CO<sub>2</sub>削減効果を定量的に推計することが可能となるため、環境政策の策定などにおいて貢献する可能性が高い。

また、東南アジアで交通を研究している交通研究者と幅広く意見交換を実施し、地球環境問題検討の枠組について普及に努めた。例えば、2011年から2013年にタイ・コンケンで開催されたセミナー"Low Carbon Society: Case of Khon Kaen City"において、本研究の研究協力者と協働して、地元自治体や住民と様々な意見交換を実施するなどの活動を行っており、アジアにおける環境政策に貢献するものと考えられる。

## 6. 国際共同研究等の状況

- 1) カリフォルニア大学リバーサイド校（アメリカ）、環境研究センター所長のマシュー・バース（Matthew BARTH）教授には、2012年に東京で開催したAn International Workshop on Research on Measures to Establish a Low Carbon Transport System in Asia [S-6-5]などにご参加頂き、自動車から排出されるCO<sub>2</sub>や大気汚染物質などの計測方法等に関してご講演を頂き、同時に研究の内容にも多くの技術的アドバイスを頂いた。
- 2) ウボンラチャタニ大学（タイ）のDr.Sittha JAENSIRISAK、カセサート大学（タイ）のDr.Varameth VICHENSAN、コンケン大学（タイ）のDr.Thaned SATIENNAM、プリンスオブソンクラ大学（タイ）のDr.Paramet LUATHEP、タイ国立金属材料技術研究センターのDr.Nuwong CHOLLACOOOPには、タイ・コンケンにおけるBRTの導入可能性に関する議論や各種現地でのデータ提供、現地調査のサポート、タイで毎年開催したワークショップの開催など多岐に渡りご支援を頂いた。また、CO<sub>2</sub>排出量の削減ビジョンの設定や削減量の推計などを協働で実施して頂いた。さらに、日本で開催した国際シンポジウムやワークショップにもご参加頂き、検討結果の報告などをして頂いた。
- 3) ベトナム交通省（ベトナム）交通局長のDr.Viet Hung KHUAT（元交通通信大学准教授）や交通通信大学（ベトナム）の講師であるMr.Nguyen Van TRUONGには、ベトナム・ハノイにおけるBRT導入策に関する検討にあたり、各種データの提供、現地調査のサポート、ワークショップの開催やCO<sub>2</sub>削減量の推計に関して多大なご協力を頂いた。
- 4) デ・ラサール大学（フィリピン）のDr.Alexis FILLONEには、フィリピン・マニラにおけるBRTの導入によるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果の推計をして頂いた。また、日本で開催したワークショップでの報告や他都市におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減効果の推計に関しても支援して頂いた。

## 7. 研究成果の発表状況

### （1）誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) N. NESTOR, F. ESPENILLA, N. S. LIM, G. MARTIN, L. PIQUE and A. M. FILLONE:  
Proceeding of the Twelfth International Summer Symposium (2010)

- “Determination of passenger car unit equivalent for motorcycles: the case of Metro Manila”
- 2) Y. HASHINO, K. KINOSHITA, A. FUKUDA, S. SCHREINER, T. FUKUDA and H. IKESHITA: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transportation Research (2013)  
“Measuring the Carbon Dioxide Impacts of Urban Transportation Projects in Vientiane, Lao PDR”
- 3) H. IKESHITA, A. FUKUDA, P. LUATHEP, A. M. FILLONE, S. JAENSIRISAK, V. VICHIANAN, Y. SHIRAKAWA and P. T. Thet HTUN: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transportation Research (2013)  
“Measuring Emission Reduction Impacts of Mass Rapid Transit in Bangkok: The Effect of A Full Network”
- 4) A. FUKUDA, T. SATHIENAM, H. ITO, D. IMURA and S. KEDSADAYURAT: The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies, Vol.10, pp.113-130 (2013)  
“Study on Estimation of VKT and Fuel Consumption in Khon Kaen City, Thailand”

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) A. FUKUDA: WCTRS-SIG11 International Symposium “Transportation and Climate Change – Recommendations from WCTRS to COP15 and Beyond-“ (2009)  
“CDM and the Problems for Applications in Asia”
- 2) A. FUKUDA, M. ARIMURA, T. ISHIZAKA: Poster Session on WCTRS-SIG11 International Symposium “Transportation and Climate Change –Recommendations from WCTRS to COP15 and Beyond-“ (2009)  
“Evaluation of the CO<sub>2</sub> Reduction Measures in Transportation Sector and its Implementation in Asian Countries”
- 3) A. FUKUDA: An International Workshop on Co-Benefit Approach for Transportation Sector (2010)  
“Explanation of Benefits of Transport Project”
- 4) T. SATHIENAM: An International Workshop on Co-Benefit Approach for Transportation Sector (2010)  
“Case Study: Bangkok BRT”
- 5) 福田敦、有村幹治、石坂哲宏、池下英典：第41回土木計画学研究発表会（2010）  
「ELCELによる東南アジア諸都市におけるBRT導入によるCO<sub>2</sub>排出削減効果の比較分析」
- 6) S. MATT, Y. ITO, A. FUKUDA, M. ARIMURA: Asian Transportation Research Society (2010)  
“Estimation of trip generation from residential area in Bangkok”
- 7) 伊藤雄太、福田敦、有村幹治：土木学会平成22年度全国大会第65回年次学術講演会（2010）  
「衛星写真を用いたバンコクにおけるソイからの発生交通量推計手法に関する研究」
- 8) T. ISHIZAKA: Institute of Transport Planning and Management/University of Transport and Communications (2010)

- “Evaluation of the CO<sub>2</sub> reduction measures in transportation sector in Asian Countries, Seminar for Transport Solutions for a Low Carbon City/Nihon University, Hiroshima University and University of Transport and Communications”
- 9) M. SHIINA, A. FUKUDA: 土木学会関東支部第38回技術研究発表会 (2010)  
 “Study on establishment of future urban structure based on Transit Oriented Development for back casting”
  - 10) 池下英典、伊藤雄太、福田敦、石坂哲宏、長田哲平、田中絵里子、椎名翠：第43回土木計画学研究発表会 (2011)  
 「コンケンにおけるBRT導入を対象とする低炭素社会ビジョンの設定方法に関する研究」
  - 11) 中村友哉、福田敦、長田哲平、石坂哲宏、端野良彦：第43回土木計画学研究発表会 (2011)  
 「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ーハノイにおけるBRT導入によるCO<sub>2</sub>削減可能性を例としてー」
  - 12) 石坂哲宏、福田敦、池下英典、伊藤雄太：第43回土木計画学研究発表会 (2011)  
 「アジアの開発途上都市におけるバックキャストを用いた低炭素交通システム実現に向けた検討」
  - 13) 池下英典、端野良彦、福田敦、長田哲平、木下紘輔：第44回土木計画学研究発表会 (2011)  
 「ヴィエンチャンにおける総合的交通施策の実施による効果の推計に関する研究」
  - 14) 伊藤雄太、福田敦、長田哲平、池下英典：第45回土木計画学研究発表会 (2012)  
 「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」
  - 15) 木下紘輔、端野良彦、福田敦、長田哲平、池下英典：第45回土木計画学研究発表会 (2012)  
 「ヴィエンチャンにおけるBRT導入効果の分析に関する研究」
  - 16) H. ITO: 5th ATRANS Symposium (2012)  
 “Assessment of Adverse Impacts on Ecosystem and CO<sub>2</sub> Emissions on Road Project”
  - 17) S. TOMA, A. FUKUDA, Y. HASHINO and T. SATIENNAM: 5th ATRANS Symposium STUDENT CHAPTER SESSION (2012)  
 “Analysis of BRT Priority Signal Control System Implementation in Major Intersections of Khon Kaen City”
  - 18) T. NAKAMURA, A. FUKUDA, H. ITO, Y. HASHINO and Y. SEKI: 5th ATRANS Symposium (2012)  
 “Evaluation of Impacts of Bus Priority Measures on Reliability of Bus Operation Using Micro Traffic Simulation - Case Study in Hanoi, Vietnam”
  - 19) 井村大介、福田敦、タネードサティエンナム、伊東英幸：土木学会関東支部第40回技術研究発表会 (2013)  
 「タイ・コンケン市におけるVKT及び燃費の推計に関する研究」
  - 20) 石坂哲宏、菊池浩紀、福田敦、伊東英幸：第47回土木計画学研究発表会 (2013)  
 「アジアの中規模都市における低炭素都市の実現可能性ータイ・コンケン市を対象としてー」
  - 21) H. KUKUCHI, A. FUKUDA, T. ISHIZAKA and H. ITO: Asian Transportation Research Society (2013)

- “Possibility to Realize Low Carbon City in Medium-sized City of Asia: Case Study in Khon Kaen City, Thailand”
- 22) D. IMURA, S. KEDSADAYURAT, T. SATIENNAM, A. FUKUDA and H. ITO: 18th National Convention on Civil Engineering (2013)  
“Study on Measurement of Vehicle Kilometer of Traveled in Khon Kaen City”
- 23) H. KUKUCHI, A. FUKUDA, T. ISHIZAKA, H. ITO and T. SATIENNAM: 土木学会平成25年度全国大会第68回年次学術講演会 (2013)  
“Possibility to Realize Low Carbon City in Middle-sized City of Asia-Case Study in Khon Kaen City, Thailand-”
- 24) S. PHOMMACHANH, K. KINOSHITA, A. FUKUDA and H. ITO: 土木学会平成25年度全国大会第68回年次学術講演会 (2013)  
“Travel Demand Forecasting for Planning BRT by Using Stated Preference Approach-Case Study in Vientiane, Laos-”
- 25) H. KUKUCHI, A. FUKUDA, T. ISHIZAKA, H. ITO and T. SATIENNAM: the 10th Eastern Asia Society for Transport Studies Conference in Taipei (2013)  
“Possibility to Realize Low Carbon City in Medium-sized City of Asia -Case Study in Khon Kaen City, Thailand-”
- 26) S. PHOMMACHANH, K. KINOSHITA, A. FUKUDA, T. ISHIZAKA and H. ITO: the 10th Eastern Asia Society for Transport Studies Conference in Taipei (2013)  
“Possibility to Realize Low Carbon City in Medium-sized City of Asia -Case Study in Vientiane, Lao People's Democratic Republic”
- 27) 木下紘輔、ポムマジャン・ソーラシン、福田敦：土木学会関東支部第41回技術研究発表会 (2014)  
「専用軌道系交通機関の導入が計画されている発展途上都市における駐車施策に関する研究—ラオス国・ヴィエンチャンを例として—」（概要提出済み）

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) 交通分野におけるコベネフィットアプローチに関する国際ワークショップ  
(2010年2月17日、日本大学理工学部駿河台キャンパス5号館524室、参加者数：18名)
- 2) Seminar for Transport Solutions for a Low Carbon City  
(2010年8月30日、日本大学、広島大学、交通通信大学の共同で実施、参加者約30名)
- 3) Workshop on “Research on Realization of Measures for Low Carbon Transport System in Asia – S-6-5-” under S-6 Research Project on Establishing of Methodology to Evaluate Middle to Long Term Environmental Policy Options toward Asian Low-Carbon Society by Ministry of Environment, Japan  
(2010年9月20日、交通通信大学（ベトナム・ハノイ）、参加者：約30名)
- 4) Workshop on “Research on Realization of Measures for Low Carbon Transport System in Asia –

- S-6-5-”under S-6 Research Project on Establishing of Methodology to Evaluate Middle to Long Term Environmental Policy Options toward Asian Low-Carbon Society by Ministry of Environment, Japan  
(2010年9月22日、カセサート大学 (タイ・バンコク)、参加者：約20名)
- 5) Workshop on “Research on Realization of Measures for Low Carbon Transport System in Asia – S-6-5-”under S-6 Research Project on Establishing of Methodology to Evaluate Middle to Long Term Environmental Policy Options toward Asian Low-Carbon Society“Presentation of invitee about sub theme related to Nihon University’s study”  
(2011年3月2日、日本大学理工学部駿河台キャンパス1号館132教室、参加者：28名)
  - 6) Seminar on “Introduction of Urban Transportation Management to Realize Sustainable Transportation System in Vientiane, Laos”  
(2011年7月19日、The International Cooperation and Training Center (ラオス・ビエンチャン)、参加者：約50名)
  - 7) Seminar on “Low-Carbon Society: Case of Khon Kaen City, Phase 1”  
(2011年8月24日、Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel (タイ・コンケン)、参加者：約50名)
  - 8) Workshop on “Research on Measures to Establish a Low Carbon Transport System in Asia”  
(2012年2月24日、日本大学理工学部駿河台キャンパス1号館122会議室、参加者：約30名)
  - 9) Seminar on "Low Carbon Society: Case of Khon Kaen City, Phase 2"  
(2012年8月31日、Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel (タイ・コンケン)、参加者：約50名)
  - 10) Round-Table Meeting “Toward Realizing a Low-Carbon Transport Society in Khon Kaen, Thailand”  
(2012年12月20日、日本大学理工学部駿河台キャンパス1号館122会議室、参加者：約30名)
  - 11) Seminar on "Low Carbon Society: Case of Khon Kaen City, Phase 3"  
(2013年8月27日、Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel (タイ・コンケン)、参加者：約50名)
  - 12) Seminar on“Toward to Realization of Low-Carbon Transportation in Khon Kaen City”  
(2013年8月28日、Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel (タイ・コンケン)、参加者：約50名)

#### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) KTV Cable TV (2011年8月24日)：タイのニュース番組でコンケンでの取り組みを紹介された。
- 2) Matichon：タイの日刊新聞 (2011年8月25日、1頁)：タイの全国紙でコンケンでの取り組みを紹介された。

#### (6) その他

- 1) T. NAKAMURA: The Best Paper and Presentation Award, 5th ATRANS Symposium (2012)  
“Evaluation of Impacts of Bus Priority Measures on Reliability of Bus Operation Using Micro Traffic Simulation—Case Study in Hanoi, Vietnam—”
- 2) H. KUKUCHI: 土木学会平成25年度全国大会優秀講演者賞 (2013)  
“Possibility to Realize Low Carbon City in Middle-sized City of Asia-Case Study in Khon Kaen City, Thailand-”
- 3) S. PHOMMACHANH: 土木学会平成25年度全国大会優秀講演者賞 (2013)  
“Travel Demand Forecasting for Planning BRT by Using Stated Preference Approach-Case Study in

Vientiane, Laos-”

## 8. 引用文献

- 1) S. Jaensirisak, S. Agachai, O. Sumet, H. W. H. Julio, L and Paramet: ATRANS Final Report, 16-17 (2009)  
“Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit Systems in Bangkok”
- 2) 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 (2006)  
「タイ王国円借款環境改善のための委託調査報告」
- 3) Japan International Cooperation Agency: (2008)  
“THE STUDY OF MASTER PLAN ON COMPREHENSIVE URBAN TRANSPORT IN VIENTIANE IN LAO PDR”

### (3) アジアにおける低炭素な都市間交通システム設計に関する研究

東京工業大学大学院理工学研究科

国際開発工学専攻

花岡 伸也

<研究協力者>

東京工業大学大学院理工学研究科

川崎 智也	(平成21～24年度)
Madan Bandhu Regmi	(平成21～23年度)
喬 穎	(平成21年度)
Puspita Dirgahayani	(平成22年度)
房 小琳	(平成22年度)
沈 倩茜	(平成22年度)
張 霽芳	(平成23年度)
中道 久美子	(平成24～25年度)
川原 優輝	(平成24年度)
茂木 慎祐	(平成24年度)
加藤 智明	(平成25年度)
谷 蘊	(平成25年度)

平成21～25年度累計予算額：19,823千円

(うち、平成25年度予算額：3,441千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

成長過程にあるアジアの途上国では、今後も世界の他地域と比較して地域間の旅客及び貨物需要の成長率が高く推移すると見込まれる。アジア全域の地域間貨物輸送は海上輸送が支配的であり、現状が低炭素輸送であるものの、短距離・中距離でトラック輸送が増加している。地域間旅客輸送は、LCCの成長により距離あたり平均航空運賃が低下した影響もあり、需要とCO<sub>2</sub>排出量が増えている。今後は、グローバル経済の進展と2015年のAEC（ASEAN Economic Community）成立により、国内経済成長以上に地域間輸送は増加すると見込まれている。アジアにおいて低炭素な地域間交通を実現させるには、不必要な交通需要を回避するAVOID戦略、低炭素交通手段に転換するSHIFT戦略、輸送エネルギー消費効率を改善するIMPROVE戦略が有効である。特に中国から大メコン圏（GMS：Greater Mekong Subregion）や中央アジアに至る大陸域内の貨物輸送に関しては、トラックから鉄道・水運へ転換するSHIFT戦略の効果が大きい。そこで、本サブテーマでは、低炭素な鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダル輸送の可能性について、現地調査による現状把握、インターモーダル輸送導入によるCO<sub>2</sub>排出量削減、排出量削減目標に対する最適な輸送機関分担率について検討した。また、AVOID戦略としてサプライチェーンの立地を考慮したCO<sub>2</sub>排出量削減方策の提示、IMPROVE戦略として船舶速度の改善によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の分析、端末

輸送手段としてのトラック輸送の土地利用（AVOID）、車種変更（IMPROVE）によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の分析を行った。一方で、旅客輸送に関しては、中国からGMSに至る大陸域内での高速鉄道整備による航空需要減少（SHIFT）に伴うCO<sub>2</sub>削減効果、大陸を越える国際間航空の機材サイズの変更（IMPROVE）によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果についても分析した。研究の結果、産業立地を含む土地利用を考慮した貨物輸送のインターモーダル輸送への転換を中心とした水運・鉄道の主流化が、低炭素化に有効であるが明らかになった。

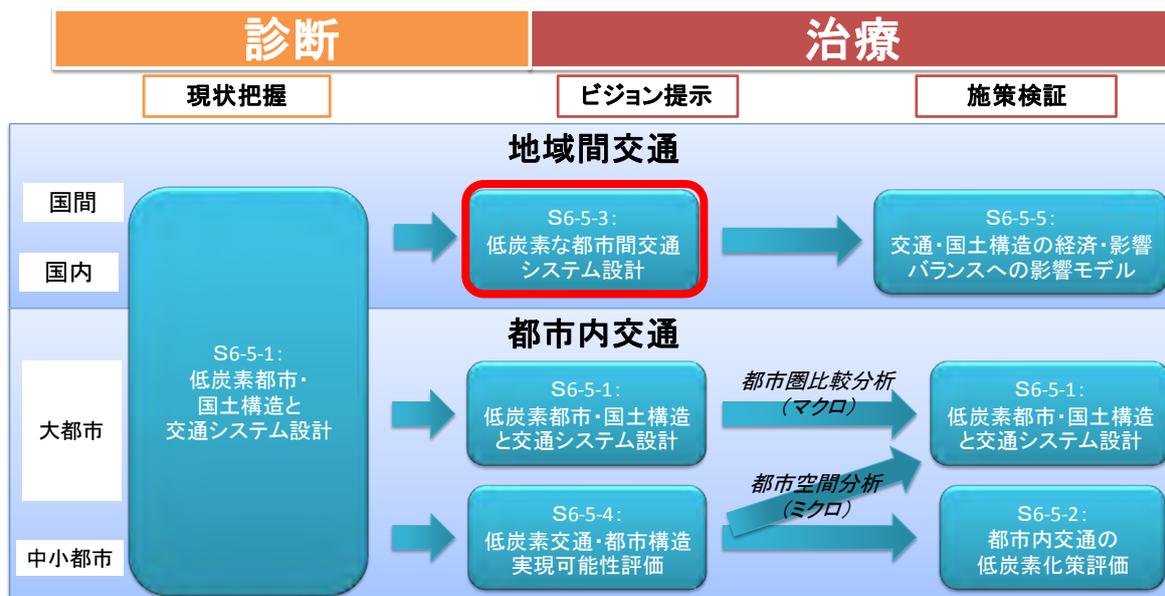
[キーワード]

地域間輸送、鉄道・水運の主流化、インターモーダル輸送、モーダルシフト、サプライチェーン

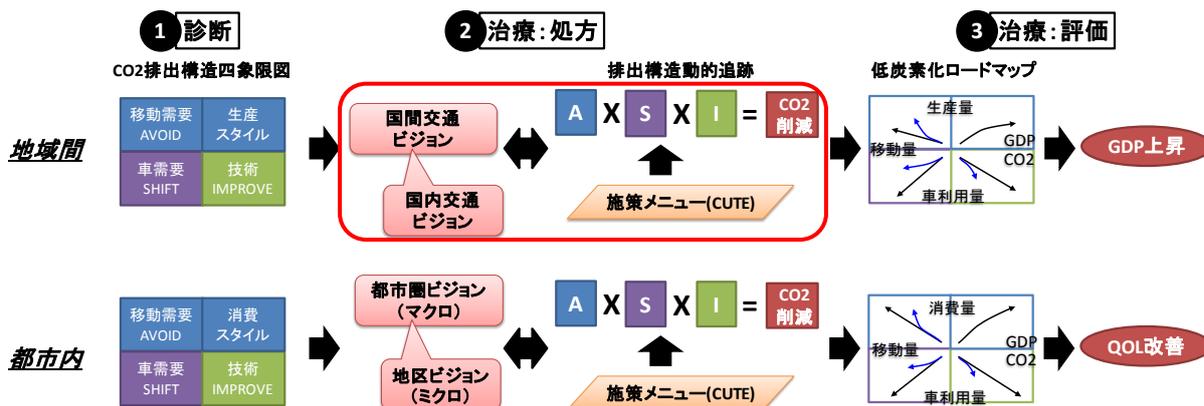
1. はじめに

成長過程にあるアジアの途上国では、今後も世界の他地域と比較して、国際・地域間旅客・貨物需要の成長率が高く推移すると見込まれる。アジア全域の地域間貨物輸送は海上輸送が支配的であり、現状が低炭素輸送であるものの、短距離・中距離でトラック輸送が増加している。国際・地域間旅客は、LCCの成長により距離あたり平均航空運賃が低下した影響もあり、需要とCO<sub>2</sub>排出量が増えている。今後は、グローバル経済の進展とASEANにおける2015年のAEC(ASEAN Economic Community) 成立により、国内経済成長以上に国際・地域間輸送は増加すると見込まれている。アジアにおいて低炭素な地域間交通を実現させるには、都市内交通と同様に、不必要な交通需要を回避するAVOID戦略、低炭素交通手段に転換するSHIFT戦略、輸送エネルギー消費効率を改善するIMPROVE戦略が有効である。特に中国からGMS（大メコン圏）や中央アジアに至る大陸域内の貨物輸送に関しては、トラックから鉄道・水運へ転換するSHIFT戦略の効果が高いと考えられる。

2. 研究開発目的



図(3)-1 S-6-5-3 研究の位置づけ



図(3)-2 S-6-5(3)分析の重点

		AVOID戦略	SHIFT戦略	IMPROVE戦略
貨物交通	国際・地域間	(11) 貨物交通ビジョンの構築		
	都市内 (端末交通)	(5) 自動車産業サプライチェーンの立地変化 (6) 自動車産業サプライチェーンの立地変化・貨物鉄道活用	(1)~(4) 鉄道インターモーダル輸送の活用	(7) 海上輸送の船舶速度改善
旅客交通	国際・地域間		(9) 航空から高速鉄道への転換	(6) 完成車使用時のエネルギー効率改善 (10) 航空機の機材サイズ改善

図(3)-3 S-6-5-3研究の全体構成

本サブテーマでは、AVOID・SHIFT・IMPROVE戦略の3つのそれぞれの観点から、国際・地域間の貨物・旅客輸送の低炭素化について研究を行う。

まず貨物輸送に関して、低炭素な鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダル交通システムの構築のため、(1) 中央アジアにおけるインタビュー調査による現状把握とインターモーダル輸送への転換の可能性、(2) 中国内陸部におけるコンテナ貨物に着目した鉄道インターモーダル輸送によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の可能性、(3) GMS域内における貨物輸送の現状把握と鉄道インターモーダル輸送によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の可能性、(4) GMS域内におけるCO<sub>2</sub>排出量削減目標達成のための輸送機関分担率の推定に関する研究を行う。

次に、これらのSHIFT戦略を有効に行うためには、産業を構成するサプライチェーンの立地自体を変更するAVOID戦略も重要である。賃金が比較的低廉なGMSや中国では製造業の工場が進出し続けており、今後も貨物交通の急増が見込まれることから、部品数が多く、その分サプライヤー数も多い自動車製造業に着目し、(5) GMSにおけるサプライチェーンの現状把握とサプライヤ

一及び完成車組立工場の立地変化を考慮したCO<sub>2</sub>排出量削減方策、(6)中国におけるサプライチェーン構造と完成車の使用によるCO<sub>2</sub>排出量を考慮した低減策について検討する。

また、IMPROVE戦略については、(7)国間貨物交通における船舶の運航速度改善によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果についても研究を行う。

以上に加え、トラック単独輸送から鉄道や船舶を利用したインターモーダル輸送に転換しても、端末輸送としては道路でのトラック輸送が必要であるため、都市内交通における低炭素化も同時に進める必要がある。そこで、(8)タイの都市における都市内貨物の流入規制やTOD(公共交通志向型開発)のような土地利用施策(AVOID)、電気貨物自動車の普及(IMPROVE)によるCO<sub>2</sub>排出量削減の可能性について分析する。

一方、旅客交通については、国土構造や地域の成長は国策に委ねられており、アジアの途上国での今後ますますの経済成長を鑑みると、交通需要の管理(AVOID)は現実的ではない。特に、中国からGMSに至る大陸域内では、航空から高速鉄道へ転換するSHIFTの効果が大きい。そこで、

(9)中国を対象に、競争関係にある航空と高速鉄道の都市間旅客輸送機関分担モデルを構築し、高速鉄道開通による航空需要減少に伴うCO<sub>2</sub>削減効果について検討する。また、大陸を越える旅客輸送については航空自由化の進展やLCCの成長から航空需要が大きくなることが予想されるため、(10)日中韓の国際路線における機材サイズの変更等のIMPROVE戦略によるCO<sub>2</sub>削減効果についても分析を行う。

最後に、これらの分析結果を踏まえ、アジアにおける低炭素地域間交通システムのビジョンを提示する。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 地域間貨物交通の施策処方(中央アジアのインターモーダル輸送)

交通部門におけるCO<sub>2</sub>排出量の3分の1はトラック輸送に起因しており<sup>1)</sup>、貨物輸送部門のCO<sub>2</sub>排出量削減策が強く求められている。中央アジア諸国は内陸国であるため、貨物の輸出入は他国の通過を含めた陸上輸送に大きく依存している。その輸送手段の多くはトラックであることから、単位貨物あたりのCO<sub>2</sub>排出量が相対的に低い鉄道などを利用したインターモーダル輸送(コンテナなどを用いてトラック、鉄道、船舶など異なった輸送機関を組み合わせる輸送形態)への転換(モーダルシフト)により、CO<sub>2</sub>排出量削減が期待できる<sup>2)</sup>(SHIFT)。しかし、中央アジアでは貨物の損傷・盗難・遅延、国境通過など、インターモーダル輸送の利用促進を妨げるリスクが存在しており、輸送経路も未知の部分が多い。

そこで、より現実に即した経路・機関選択モデルの構築に資することを目的として、中央アジアの物流関係者へのインタビュー調査および現地調査を実施した。ウズベキスタン、カザフスタン、キルギスの3ヶ国でのインタビュー調査および現地調査により、輸送経路の実態を把握し、インターモーダル輸送の輸送リスクを同定した。インタビュー対象機関はウズベキスタンが5機関、カザフスタンが3機関で、実施時期は2009年9月27日から10月3日の7日間である。

#### (2) 地域間貨物交通の施策処方(中国内陸部のインターモーダル輸送)

アジアにおけるCO<sub>2</sub>排出量の大部分を占める中国の陸上貨物輸送では、トラック輸送が大部分を占めている。CO<sub>2</sub>排出削減には、トラックから、単位貨物量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が低い鉄道インタ

一モーダル輸送への転換（SHIFT）が大きく貢献すると考えられる。特に中国では、近年の経済発展に伴い、CO<sub>2</sub>排出量増加の速度が加速しており、2010年には世界の24%を占めアメリカを抜いて第1位となった<sup>3)</sup>。その中でも、交通部門のCO<sub>2</sub>排出量は産業部門、建設部門に続き3番目であり、中国国内の総CO<sub>2</sub>排出量の約2割を占めている。中国の陸上コンテナ貨物量は非常に多く、今後も増加が見込まれる。しかしながら、中国の陸上コンテナ輸送を対象にしたCO<sub>2</sub>排出量は推定されていない。

そこで、アジアの中で陸上貨物量の大幅な増加が見込まれる中国内陸部の貨物輸送に着目し、単位貨物量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が低い鉄道を利用したインターモーダル輸送による、CO<sub>2</sub>排出量削減可能性を検討した。具体的には、コンテナ貨物に着目し、インターモーダル輸送を活用した場合の2020年、30年、40年、50年の4地点のCO<sub>2</sub>排出量を推定した。この推定には、コンテナ貨物量の予測が計算の中心となるボトムアップアプローチを用いる。コンテナ貨物量はGDP成長率および産業構造の変化と深い関係がある。2020年のコンテナ貨物量の予測には1999年から2008年までのGDP成長率と貨物量の線形関係を用いて推定し、2030年以降は産業構造の変化も考慮して推定した。鉄道貨物の平均輸送距離は、2005年の鉄道輸送ODデータと鉄道インフラ整備計画を参考に設定する。中国の過去の道路輸送ODデータは入手できなかったため、過去数10年間の平均輸送距離の増加傾向を参考に2020年の平均輸送距離を想定した。2030年以降の平均輸送距離は、今後の経済発展および中国政府のインフラ整備計画などを参考に設定した。

### （3）地域間貨物交通の施策処方（GMSのインターモーダル輸送）

GMSでは、急速な経済成長に伴い、域内の経済交流は特に2000年代以降に活発になっており、貨物需要が増加している。タイを例にとると、ミャンマー向け以外では輸出が大きく拡大しており、GMS5か国の輸出総額に占める割合は、2000年の7.1%から2009年には16.8%へ上昇している。輸出品目としては、鉱産燃料、車両関連製品、機械類電気電子製品などがある<sup>4)</sup>。また、GMSでは、国際援助機関や各国援助機関の協力の下、経済回廊として道路インフラに集中的な整備を行い、陸路のコネクティビティを高めることに注力してきた。主要3回廊と言われる、東西回廊（西はミャンマーのモラミヤインから東はベトナムのダナンまで）、南北回廊（北は中国の昆明から南はタイのバンコクまで）、南部回廊（西はタイのバンコクから東はベトナムのホーチミンまで）を中心に経済回廊の道路インフラはここ数十年で大きな進歩を遂げた。さらに、GMSでは、域内のヒト・モノの往来を活発化させるため、国境でのボトルネックの解消に向けたソフトインフラに対する取り組みも行っている。越境交通協定（Cross-Border Trade Agreement: CBTA）もGMS6か国での合意が形成され、シングルウィンドウとシングルストップの2本立てで構成される越境手続きの簡素化が進められている。

このように、昨今の目覚ましい経済発展とASEANにおける2015年のAEC（ASEAN Economic Community）成立により、貨物量増加が見込まれるGMS域内の陸上貨物輸送でも、トラック輸送が大部分を占めている。トラックから、単位貨物量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が低い鉄道インターモーダル輸送への転換（SHIFT）が、CO<sub>2</sub>排出量削減に有効と考えられる。このGMS域内においても、物流によるCO<sub>2</sub>排出の構造および将来予測は不十分である。

そこで、GMS域内を対象に、鉄道インターモーダル輸送促進のシナリオ作成を通して、将来のCO<sub>2</sub>排出量を計測した。GMS域内ではインフラ整備が不十分であることから、貨物輸送の現状を理

解した上で域内貨物輸送における鉄道インターモーダル輸送促進のシナリオ作成を行うため、ラオスの首都ビエンチャンにおける物流企業へのインタビュー調査（2010年9月16～21日）を実施した。そして、その結果に基づき、需要の見込まれるタイのラムチャバン港からラオスのターナレーン駅への貨物輸送コリドーにおける輸送費用と輸送時間の変化のシナリオを作成し、CO<sub>2</sub>排出量を推定した。この際、目標計画法による定式化によって、輸送費用や輸送時間の目標値を実現するトラックと鉄道の輸送機関分担率を算出した上で、ボトムアップアプローチを用いてCO<sub>2</sub>排出量を推定した。

#### （４）地域間貨物交通の施策処方（GMSの貨物鉄道輸送分担率）

本研究では、SHIFT 戦略に着目し、GMS を対象地域として、CO<sub>2</sub> 排出量削減目標達成のための最適な輸送機関分担率の提示を行った。インターモーダル輸送の優位性が種々の研究で指摘される一方で、マクロな視点でバックキャスティングによる最適な機関分担率は定量的に論じられていない。そのため、目標指標の一つとして機関分担率の目標設定が必要とされている。そこで、地域間貨物輸送について複数の貨物輸送機関のサービス水準、CO<sub>2</sub> 排出量、輸送機関分担率を明示的に反映した形で問題の定式化を行った。そして、それを利用し、GMS における将来のインフラ開発シナリオや、輸送費用または輸送時間と組み合わせた CO<sub>2</sub> 排出量の削減目標に対応した適切な機関分担を特定した。

本研究で対象とする輸送機関は、トラック輸送、海上船舶→トラックのインターモーダル輸送（海上輸送）、鉄道→トラックのインターモーダル輸送（鉄道輸送）の3つである。バンコク→ハノイとバンコク→ヤンゴンの2つの路線をケーススタディとして取り上げ、既存輸送機関の改善と貨物鉄道導入の2つのインフラ開発シナリオに対して分析を行った。

#### （５）地域間貨物交通の施策処方（GMSのサプライチェーン）

前述のインターモーダル輸送促進（SHIFT）を有効に行うためには、産業を構成するサプライチェーン構造を解明し、それを構成するサプライヤーや組立工場の立地自体を変更することで、港湾や鉄道貨物沿いに立地を集約して輸送距離短縮や低炭素な輸送機関の利用を促すAVOID戦略も有効と考えられる。特にアジアの途上国では、産業のグローバル化に伴い国境を越えた輸送が活発化する中で、そもそも現状のサプライチェーンで製造拠点がどのような分布で立地しており、今後の市場の成長や賃金、投資費用を加味すると立地やそれによるCO<sub>2</sub>排出量がどう変化するか、明らかにされていない。

そこで、本研究では製造業の中でも、サプライヤー数が多いことから経済的影響が大きく、途上国で今後も需要が伸び続ける自動車製造業に着目し、アジアの中でも自動車生産台数が多く完成車輸出の割合も多いタイを中心とした地域を対象に、市場や企業の国際的な立地条件の変化状況から、2030年のサプライヤーおよび生産拠点の変化のシナリオを構築し、生産拠点の変化がもたらす将来のCO<sub>2</sub>排出量と生産コストの変化を推定することで、アジア国際輸送部門における低炭素輸送システムのための産業立地のあり方を検討した。シナリオ作成にあたっては、文献調査から分析対象会社を含む日系自動車メーカーの過去の海外進出における傾向を把握した上で、既存研究の自動車保有台数と一人当たりGDPの関係から、国ごとに2030年の自動車市場の規模を予測した。また、GMS各国の人件費や土地の賃料、光熱費等の情報を収集し、国ごとに生産コストを

比較した。これらの情報を基に生産拠点分布のシナリオを作成し、それぞれの将来CO<sub>2</sub>排出量を推計した。

具体的な分析対象は、先進国だけでなく途上国市場も狙った車両の中で主軸となっている小型ピックアップトラックに注目し、輸送部門においては88のサプライヤーと77部品（エンジン、車体を含む）、生産部門においては31のサプライヤーと31部品とした。輸送部門のCO<sub>2</sub>排出量推計に関しては、陸上のトラック輸送は改良トンキロ法を、海上輸送は従来トンキロ法を使用した。陸上輸送地点間の距離データは、分析対象会社の所在地情報を収集して地図上に独自にプロットし、道路ネットワークを考慮して算出した。生産部門のCO<sub>2</sub>排出量は、LCA日本フォーラム(JLCA)データベースの部品データにある分析対象と同種の車種の部品重量と電気使用量、各国の排出原単位を使用して、CO<sub>2</sub>排出量を算定した。

#### （6）地域間貨物交通の施策処方（中国のサプライチェーン）

火力発電に依存しているエネルギー大国でCO<sub>2</sub>排出量が世界一である中国において、CO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、生産・輸送・使用段階における化石燃料の使用量が多い自動車産業の対策に力を入れる必要がある。経済成長によって、中国は自動車の生産・販売台数が世界第1位になったにも関わらず、千人当たり保有台数で見ると、まだ71.42台であり、世界平均の140台より遥かに少ない。今後、人口増加と経済成長、そして消費者の購買力の増大によって、自動車産業市場がますます拡大することが予想される。本研究では、中国の自動車製造業を対象に、部品調達、生産、輸送、使用の各段階における乗用車一台当たりの直接・間接CO<sub>2</sub>排出量を、サプライチェーン全体を考慮して推計し、その削減策を示した。ここでは、サプライチェーンによるAVOID戦略とともに、鉄道貨物輸送へのSHIFT戦略、再生可能エネルギー利用によるIMPROVE戦略を考慮し、これらのCO<sub>2</sub>排出量への影響を分析した。

まず、現状のサプライチェーン構造を把握するため、複数の調査結果の組み合わせと、サプライヤーへの聞き取り調査による輸送機関や調達情報の確認を行い、独自にサプライヤーリストとその取引情報の構造図を作成した。そして、部品の重量や使用電力量のデータ、中国における電力のエネルギー構成と排出原係数のデータ、サプライヤーリストの各サプライヤーの所在地情報からのマッピングによる輸送距離データ、輸送機関別の排出原単位データ、乗用車1台の年平均走行距離と使用年数のデータを収集し、現状の排出量を推計した。さらに、将来の発電エネルギー構成の変化、走行燃費の向上、クリーンエネルギー自動車の普及、鉄道貨物輸送の活用、完成車組立工場の立地変化を考慮したシナリオを作成し、CO<sub>2</sub>排出量削減方策を検討した。

#### （7）地域間貨物交通の施策処方（船舶速度）

海上輸送は単位貨物当たりで最も低炭素な貨物輸送機関であるが、国際海運部門の燃料消費によるCO<sub>2</sub>排出量は、世界の全排出量の約3%である。現状のまま削減策を取らない場合、国際貨物量の増加に比例して、2050年には2007年と比べて2.5~3.5倍に増加すると予測されている<sup>5)</sup>。本研究では、国際海運部門におけるCO<sub>2</sub>排出量削減の運搬的手法の一つである減速運搬(IMPROVE)に着目する。燃料価格高騰に伴い、燃料費削減を主目的として、コンテナ船の減速運航は大型コンテナ船を中心に既に継続的に行われているが、船舶サイズを考慮したCO<sub>2</sub>排出量と利益への影響に関する研究は十分に行われていない。将来は、消費燃料やCO<sub>2</sub>排出量に課金される可能性も

あり、船社の利益や船舶速度に与える影響を把握しておく必要がある。そこで、コンテナ船を対象として、環境費用である CO<sub>2</sub> 排出量を内部化するときの最適運搬速度を、船社の利益および船舶からの CO<sub>2</sub> 排出量を考慮した推定モデルにより、船舶サイズ別に推計する。

2010 年の合計輸送量が世界の約 5 割を占める 3 航路（上海港→ロサンゼルス港：北米航路、上海港→ロッテルダム港：欧州航路、上海港→シンガポール港：アジア域内航路）のコンテナ船を対象に、船社の利益と CO<sub>2</sub> 排出量の関係を考慮した船舶運航速度を推計した。CO<sub>2</sub> 排出量が最小となる速度は非常に遅く、船社利益が最大となる速度とは大きく異なる。そのため船社の最大利益から減速するとき、その利益減少分が CO<sub>2</sub> 排出社会的費用の減少分と一致する速度、つまり外部費用を内部化する速度を実現可能な減速速度とした。船舶サイズは国際海事機関の分類基準に従い、+8,000TEU、5,000～7,999TEU、3,000～4,999TEU、2,000～2,999TEU、1,000～1,999TEU、～999TEU の 6 つとした。

### （8）地域間貨物交通の施策処方（端末都市内輸送）

今後、アジアの製造拠点及び物流拠点の増加によって、その端末交通として都市内でも貨物車の燃料消費量が増加し、CO<sub>2</sub> 排出量も大きく増加すると考えられる。しかし、旅客の場合と比較して、貨物に関する調査は開発途上国の多くの都市で行われておらず、そもそも貨物関連データが存在しない都市が多い。まずは現地調査によって都市内物流の実態を把握した上で、様々な物流施策導入による走行貨物車からの CO<sub>2</sub> 排出量の変化を定量化する必要がある。また、開発途上国の都市部の開発による土地利用変化は年々激しくなっており、貨物車トリップに与える影響も大きいと予想される。そこで、本研究では、現地での交通調査に基づき、土地利用変化（AVOID）や電気貨物自動車導入（IMPROVE）を考慮した都市内貨物車量及び CO<sub>2</sub> 排出量の推定モデルを開発し、都市内貨物車による CO<sub>2</sub> 排出量の将来推定を行った。研究対象地域は、GMS の東西回廊の通過地点であり、物流拠点の増加が期待されるタイ国コンケン市とした。

まず、コンケンにおいて、物流調査としてサブテーマ（2）と共同で事業所インタビュー調査を行った。この調査の目的は、貨物車の発生地及び到着地を特定することであり、直接事業所を訪問し企業概要や貨物車発着地に関する情報をインタビューによって入手した。調査の結果、127 の事業所サンプル（コンケン全事業所の 8.26%）、330 の貨物車サンプル（コンケン車両登録台数の 2.97%）を得た。次に、50 ゾーン別に都市内物流による車種別の貨物車交通量及び CO<sub>2</sub> 排出量の現況推定を行った。最後に、物流施策及び事業所立地変化を基に、異なる複数のシナリオを設定し、都市内貨物車交通量及び CO<sub>2</sub> 排出量の将来推定値をシナリオ間で比較することによって、最も CO<sub>2</sub> 排出量削減効果のある施策を考察した。

設定したシナリオは、BaU、TOD、大型貨物車進入規制、電気ピックアップ普及の 4 つである。まず、BaU シナリオでは、コンケン市将来予測人口及び従業員数<sup>6)</sup>を用いて将来推定を行った。TOD シナリオについては、コンケンでは TOD のコンセプトのもとに、2022 年に BRT が 5 線開業する予定であり、BRT 開業に伴い T 駅周辺での商業地域開発が行われると予測される。BRT 全線開業年の 2022 年におけるコンケン都市内旅客輸送 CO<sub>2</sub> 排出量を最小化する人口分布<sup>7)</sup>を参考に、BRT 駅周辺に事業所が集中すると仮定し、将来発生集中量を推定した。また、バンコク都市圏では 2002 年から 10 輪以上のトラックは 5:00 から 22:00 の間 Middle Ring Road 内進入禁止及び駐車禁止となっている。そこで、大型貨物車進入規制シナリオでは、コンケンでも将来、Ring Road 内に同様の進入規

制(トラックバン)が課せられたとして、将来推定を行った。さらに、トラックバンに伴い、各事業主がトラック移動距離を減少させるため、事業所がRing Road内の一定の地域に集中して増加することが考えられる。よって、CBD及びその周辺地域に20%従業員が増加したシナリオも作成した。最後に、電気ピックアップ普及シナリオでは、Ring Road内にて電気ピックアップが普及したとして、将来推定を行った。ここでは、ラオスにおけるEV普及目標値を参考に、電気ピックアップが80%、従来ピックアップが20%となると仮定した。

### (9) 地域間旅客交通の施策処方（中国の高速鉄道）

地域間旅客交通については、交通需要の管理（AVOID）が難しいため、ここでは、都市間旅客交通における航空から高速鉄道への転換（SHIFT）の有効性を分析する。近年、中国では多くの高速鉄道が開通しており、一部で競合する航空路線の運休や減便が生じるなど、航空輸送との競争が激しくなっている。このような高速鉄道と航空の競争は、これまで日本、韓国、台湾、欧州各地など、高速鉄道の発達した地域でも生じている。こうした先進諸国では、利用者の所得階層が比較的一定しており、高速鉄道と航空輸送の旅客特性の違いは大きくない。一方で、高速鉄道と航空の機関選択モデルの推定事例はいくつかあるものの、中国を対象とした事例はない。また、高速鉄道は航空と比較して旅客一人当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少ないことから、航空から高速鉄道への転換により、CO<sub>2</sub>排出量削減効果が期待できる。

そこで、複数の高速鉄道路線があり、競合する航空路線の多い上海をケーススタディとして、高速鉄道と航空の旅客特性の分析および高速鉄道と航空の機関選択モデルの推定を行った。具体的には、高速鉄道の停車駅があり、かつ虹橋空港と浦東空港から航空路線のある都市として、合肥、武漢と温州、福州、厦門の5都市を選定し、現状把握のためのアンケート調査を行った。そして、そのデータから、上海虹橋駅（高速鉄道）、虹橋空港（航空）、浦東空港（航空）の3選択肢による多項ロジットモデルを用いて機関選択モデルを推定した。

### (10) 地域間旅客交通の施策処方（航空機サイズ）

旅客部門の国際輸送では、航空部門のCO<sub>2</sub>排出量が非常に大きく、世界の総排出量の2.5~3.0%を占めている<sup>8)</sup>。また、国際民間航空機関（ICAO）によると、2002年から2015年のアジアにおける航空需要の平均成長率は6.1%と推測されており、世界平均（4.4%）よりも高い<sup>9)</sup>。よって、アジアを対象に航空機からのCO<sub>2</sub>排出量の将来予測とその削減策を検討する必要がある。航空部門のCO<sub>2</sub>排出量に関する研究は欧州・米国を対象にしたものが中心であり、アジアを対象にした研究は少ない。また、各フライトの離発着サイクルを考慮した精度の高い手法はデータの整理に時間を要することから、単独路線の評価には用いられているものの、地域間レベルの評価には利用された例がない。

そこで、本研究では、アジアの中でも航空需要が急増している「日本・中国・韓国」間の国際直行便を対象に、現在のCO<sub>2</sub>排出量を推定する。また、航空機からのCO<sub>2</sub>排出量推定手法をレビューし、各手法の利点と課題を明らかにする。さらに、使用機材の改善（IMPROVE）による将来のCO<sub>2</sub>排出量削減効果について推定した。

航空機からのCO<sub>2</sub>排出量推定手法としては、各航空機の離発着サイクルを用いた方法が最も精度が高い。そこで、国際民間航空機関（ICAO）が公表しているLanding and Take Off（LTO、離発

着) サイクルのエンジンエミッションデータ、EUROCONTROL 実験センターによる The Base Of Aircraft Data(BADA)、OAG 時刻表等を用いて、日中韓国際路線の 2008 年の CO<sub>2</sub> 排出量を路線別に算出した。次に、Grey 予測モデルを用いて 2020 年の日中韓国際路線の旅客需要を予測し、航空機の機材サイズが同じ構成であると仮定して CO<sub>2</sub> 排出量を推定した。また、航空機の機材サイズ変更の影響を分析するため、「大型機→中型機」および「大型機→小型機」の 2 ケースについて、大型機が利用されていてかつ旅客数が年間 10 万人以上の路線を対象に CO<sub>2</sub> 排出量を計算した。

#### (11) 治療ビジョン提示 (地域間交通)

2050年におけるCO<sub>2</sub>排出量半減を実現するためには、具体的なビジョンを描くことが重要である。本サブテーマが行った分析全体のまとめとして、アジアにおける低炭素な地域間交通システムのビジョンを示した。ここでは、GMSから中国南部にかけての地域を例として挙げ、具体的なビジョンを示した。

### 4. 結果及び考察

#### (1) 地域間貨物交通の施策処方 (中央アジアのインターモーダル輸送)

ウズベキスタン発着の輸送については、ロシア向け貨物輸送では、カザフスタン経由のトラック輸送が多い。中国向け貨物輸送では、ドストゥク/阿拉山口国境経由の鉄道輸送が一般的である。欧州向け貨物輸送では、カザフスタン・ロシア経由のトラック輸送が多い。トラック輸送は輸送時間が 5 日~1 週間と短く、費用は 1 台当たり 4,000~5,000US ドルである。イラン経由で海上輸送を利用する場合、輸送時間は約 20 日間と長くなるが、費用は 1 台当たり 2,500~3,000US ドルと安くなる。ウズベキスタンの欧州向け貨物では、バンダル・アッパース港経由、カザフスタン・ロシア経由、黒海経由の 3 つのルートがある。

カザフスタン発着の輸送については、ロシア向け貨物輸送では、ノボシビルスク経由の鉄道輸送が多く、最終目的地はモスクワ、サンクトペテルブルクなどの大都市が多い。トラックによるアルマトイ-モスクワ間輸送の距離は約 4,000km で、輸送時間はおよそ 3~4 日間である。運賃は約 1.5US ドル/km である。鉄道によるアルマトイ-モスクワ間輸送時間は約 10~12 日間である。中国向け貨物輸送では、鉄道による上海-ドストゥク間の輸送時間は約 1 週間である。ドストゥク/阿拉山口国境では、500~600 車両で 1 日~3 日間程度の積替時間が必要となる。欧州発着の貨物輸送では、ロシア経由が多い。

インタビュー調査の結果から、比較的問題となる主な輸送リスクを以下のようにまとめる。

- 鉄道車両の故障。2009年初めから9月までで、約20回車両が故障した。
- 鉄道輸送でも渋滞が原因の待ち時間がある。全体の5%ほどがダイヤに従わない。
- 国境での貨物スキャン用機械の不足。待ち時間が長くなる原因となる。
- 長い待ち時間によるドライバーのビザ期限切れ。
- トレース機能の欠如<sup>10)</sup>。

貨物輸送の経路選択においては、従来考慮されてきた輸送時間および輸送費用に加え、国境での待ち時間による遅延などのリスク要因が大きく影響していることが明らかになった。中央アジア地域では、ウズベキスタン-トルクメニスタン-イラン経路でのトラック輸送をインターモーダル輸送へ転換することが、CO<sub>2</sub> 排出量削減に効果的である。ただし、中央アジア諸国とイランでは、

ゲージサイズ（線路幅）が異なることがインターモーダル輸送促進の阻害要因となっている。中国向け貨物輸送では鉄道が既に多く利用されている。なお、国境で遅延が頻繁に発生しており、多くの輸送経路で国境が貨物輸送上のボトルネックとなっている。国境では車両の行列が形成されており、遅延の長さは状況によって大きく異なるため、それを考慮した経路・機関選択モデルの構築が必要であることを示した。

## （２）地域間貨物交通の施策処方（中国内陸部のインターモーダル輸送）

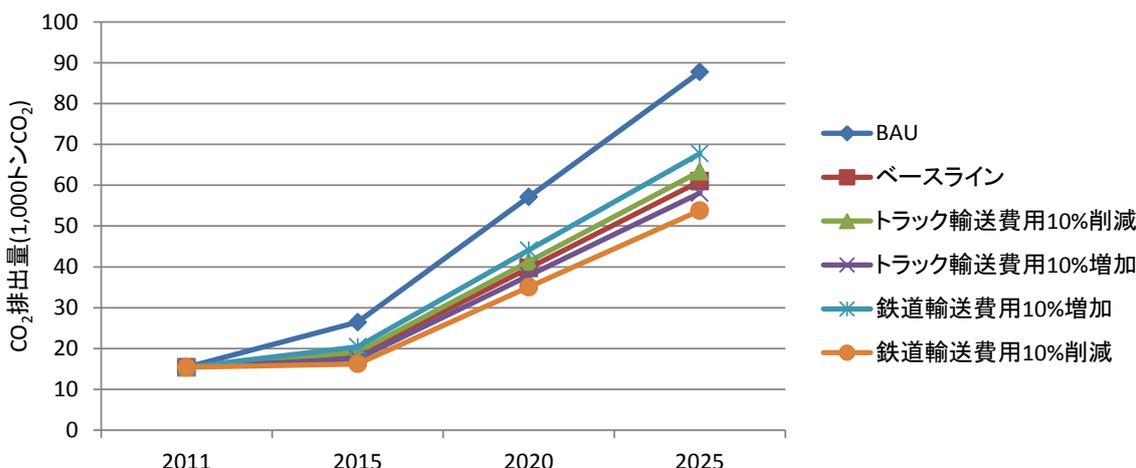
中国内陸部のインターモーダル輸送によるCO<sub>2</sub>排出量を推計した結果、2020年から2050年までのコンテナ貨物量の推定結果（万トン）は、鉄道が51,042万トンから287,263万トンに、道路が135,563万トンから407,608万トンに上昇する結果となった。なお、鉄道コンテナ貨物の平均輸送距離は1,555.6km、道路コンテナ貨物輸送は85kmと設定した。

CO<sub>2</sub>排出原単位は、10年毎の中国政府によるCO<sub>2</sub>削減目標に基づき推定した。2020年から2050年までの推定結果（単位：kg/10<sup>4</sup>ton-km）は、鉄道コンテナ貨物輸送が174.65から145.54に、道路コンテナ貨物輸送が1,941から1,414に変化する結果となった。以上の結果を用いて、中国内陸部のインターモーダルコンテナ貨物輸送のCO<sub>2</sub>排出量は、2020年から2050年までに、3,623万トンから11,403万トンに上昇すると推定され、30年間で3倍以上に増加する見込みであることが分かった。

コンテナ貨物量の予測結果には、注意すべき点がある。1点目は、道路コンテナ貨物輸送に関する情報が少なかったため、条件設定に困難があったことである。2点目は、今後の中国経済の不確実性である。経済成長率および産業構造の変化は貨物輸送に大きな影響を与えるため、結果の数値の扱いには注意が必要である。ただし、鉄道コンテナ貨物輸送量の推定に用いた仮定は、鉄道インフラ整備計画などに基づいており、信頼性は高い。

## （３）地域間貨物交通の施策処方（GMSのインターモーダル輸送）

GMS域内の陸上インフラ整備の進展により、海上輸送を利用している企業がトラック輸送に転換する可能性が、インタビュー調査から判明した。GMS域内では、タイ・ベトナム間の輸送の貨物量が比較的多く、両国間の陸路の輸出入はラオス経由で行われる。タイとベトナムをつなぐ東西経済回廊の中心に位置するサワナケットは経済特区にも指定され、貨物量が年々増加しており、近年急激に整備されているベトナムのダナン港へのアクセスも距離的・地形的に容易である。鉄道へのモーダルシフト促進には、積替がより安全かつ円滑に行われる必要があり、十分な設備が整ったドライポートの建設が望まれる。タイのラムチャバン港からラオスのターナレーン駅に至る貨物輸送コリドーを対象に、ターナレーン駅でのドライポート建設を想定して、輸送費用と輸送時間の変化のシナリオを作成し、CO<sub>2</sub>排出量を推定した結果の一部を、図(3)-4に示す。ベースラインシナリオでも、トラック輸送から鉄道輸送へ43.2%転換させることにより、BaUと比較してCO<sub>2</sub>排出量を30.5%削減でき、鉄道輸送費用を10%削減した場合には、54.8%を鉄道輸送へ転換させることでCO<sub>2</sub>排出量を38.7%も削減できる可能性があることが示された。

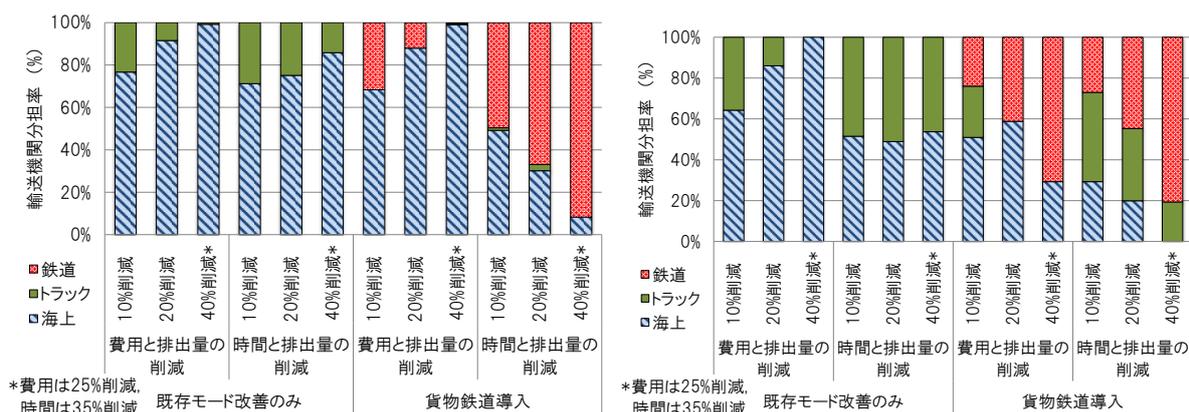


図(3)-4 ドライポート建設によるCO<sub>2</sub>排出量算定結果

#### (4) 地域間貨物交通の施策処方 (GMSの貨物鉄道輸送分担率)

分析の結果、路線、削減目標、開発シナリオごとに異なる目標機関分担率が得られた(図(3)-5)。具体的には、ハノイ路線に比べ、ヤンゴン路線は鉄道の優位性が大きく、全体的に鉄道の分担率が高くなった。削減目標別に見ると、輸送時間を削減目標に加えると、トラック輸送や鉄道輸送のシェアが高くなり、輸送費用を削減目標に加えると、海上輸送や鉄道輸送のシェアが高くなった。開発シナリオ別に見ると、貨物鉄道を導入することで、目標の達成度が大幅に改善されることが分かった。両路線ともに時間短縮と排出量削減を同時に目指す場合には高い鉄道輸送の分担率が望ましいことが示された。

なお、本研究で算出した、輸送機関分担率の推定結果は、サブテーマ(5)の分析モデルのインプットにおいて参考値として活用した。



図(3)-5 目標機関分担率の算出結果 (左: バンコク-ハノイ、右: バンコク-ヤンゴン)

#### (5) 地域間貨物交通の施策処方 (GMSのサプライチェーン)

収集した現状の所在地データによると、サプライヤー・組立工場はバンコク周辺地域に広く点在して立地しており、多くのサプライヤーが湾岸の工業団地に立地している傾向があることが分

かった。また、アジア国間貨物輸送および内陸貨物輸送における輸送機関は、海上輸送と道路輸送が利用されていることが分かった。2011年にタイで生じた洪水により生産拠点の移転が検討されているが、これは洪水の影響から逃れるためだけではなく、人件費の高騰が大きな影響を及ぼしていることが分かった。洪水被害を受けた地域にも、依然として数社点在している。一方で、人件費が特に安いカンボジアとミャンマーが最も生産コストが低く、これらの地域への移転が進むことも予想されることが分かった。

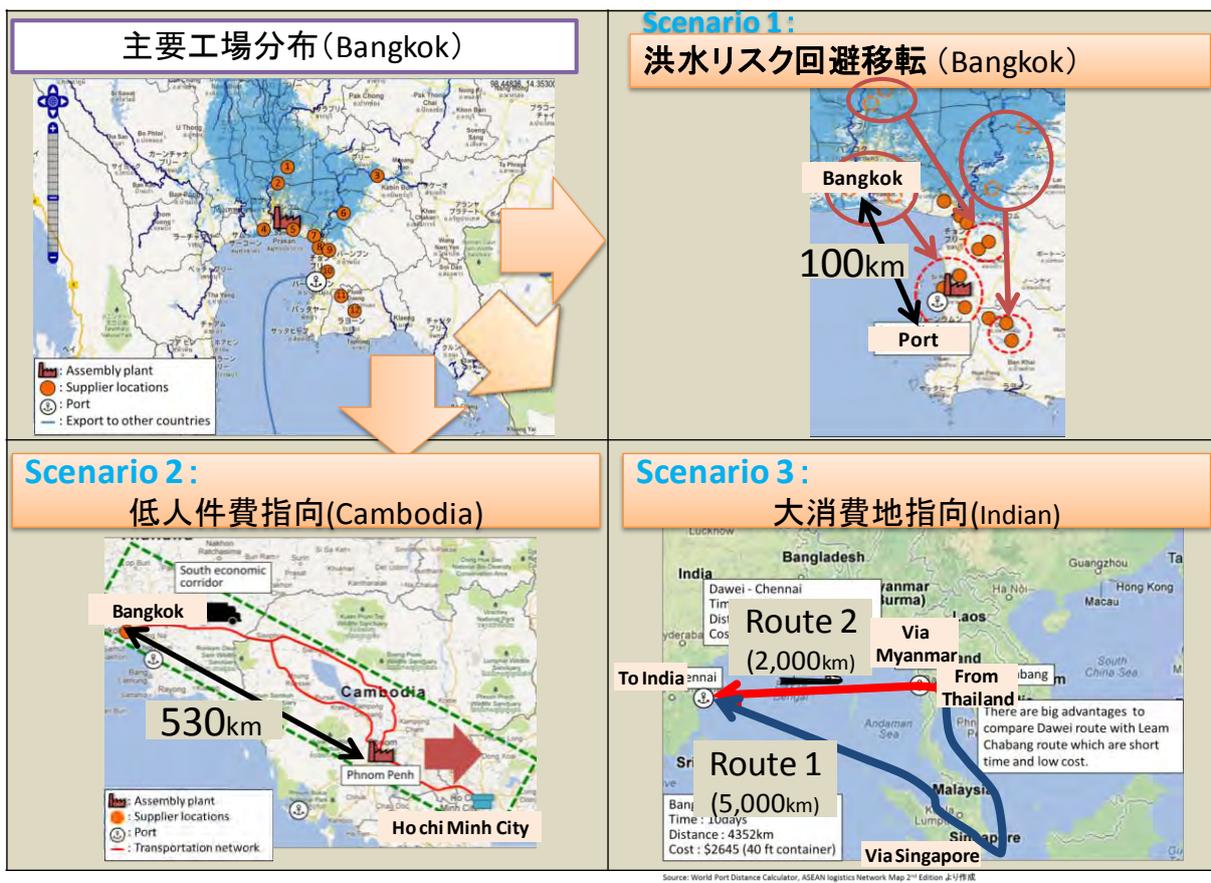
これを踏まえた現状での排出量算定結果より、輸送部門に関しては国際間輸送における排出量が大半を占めており、その次に、組立工場から輸出港までの排出量が大きい結果となった。これは、長距離を移動するというだけでなく、輸送するモノの単位がコンテナ船と比較して大きいという、自動車専用船の特性による影響もあると考えられる。生産部門においては、部品1つあたりの排出量は少量となり、組立工場における排出量の方が大きかった。

これらの情報をもとに検討した4つの将来シナリオを表(3)-1と図(3)-6に、そのCO<sub>2</sub>排出量の推計結果と輸送コストを図(3)-7に示す。東部移転シナリオでは、サプライヤーと組立工場との距離の短縮により輸送でのCO<sub>2</sub>排出量が減少するとともに、組立工場から港までのCO<sub>2</sub>排出量も減少したが、全体の排出量の増減は現状とほとんど違いがなかった。ベトナムの市場を見据えたカンボジア拠点シナリオでは、カンボジアのプノンペンにある工業団地に組立工場を新設したことで、サプライヤーの輸送による排出量が5倍以上増加した上に、カンボジアの発電における排出原単位が大きいため、生産によるCO<sub>2</sub>排出量も大きく増加した。ミャンマー一部移転シナリオでは、洪水危険地域の工場をミャンマーのダウエイにある工業団地に移転させたことで輸送における排出量が増加したが、ミャンマーでの電力排出原単位が小さいためサプライヤーの生産による排出量が減少し、全体での排出量が減少した。インド市場を狙ったミャンマー拠点シナリオでは、ダウエイに組立工場を新設することでサプライヤーの輸送による排出量は増加するが、海上輸送における排出量が大幅に減少した。また、生産における排出量は、排出原単位がタイに比べ小さいため減少し、全体では約34%減少する結果となった。

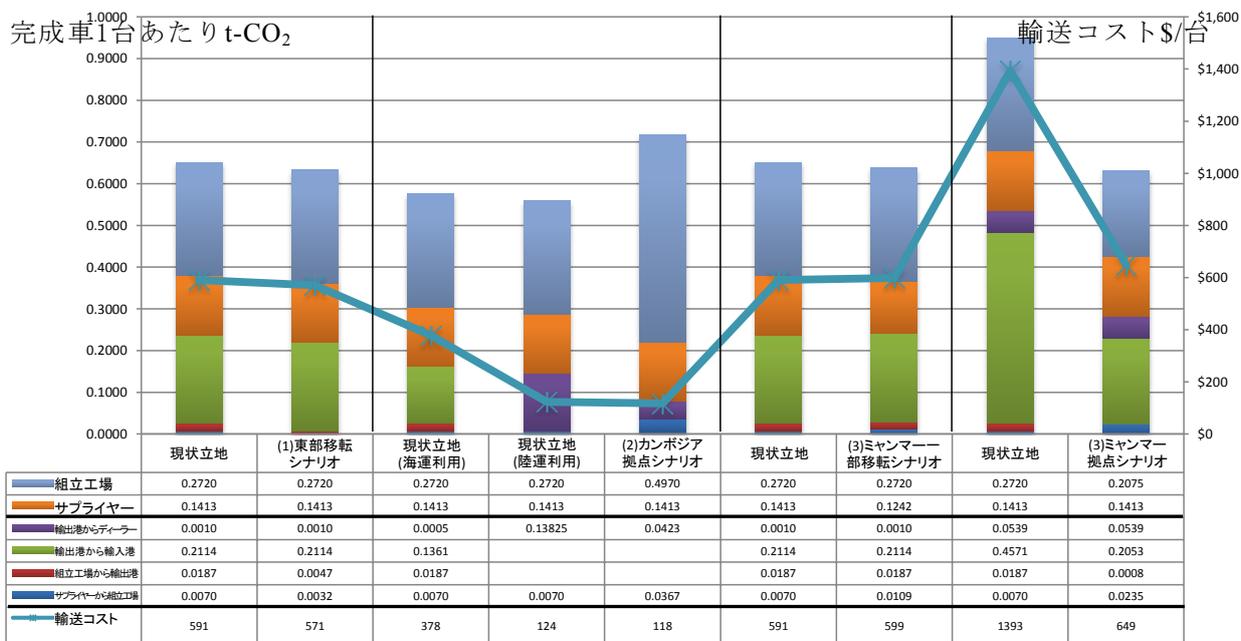
このように、市場に近い場所で生産することは、一般的に環境面だけでなく経済的な面でも有益であるが、その立地戦略によってコストが削減できてもCO<sub>2</sub>排出量は増加し得ることが分かった。

表(3)-1 構築した国際産業立地シナリオの内容

	シナリオ名	シナリオの種類	組立工場	サプライヤー工場	市場	2030年の市場規模(百万台)	脆弱性
(1)	東部移転シナリオ	災害対策	タイ	タイ	ASEAN	141	一極集中、災害発生に弱い
(2)	カンボジア拠点シナリオ	市場考慮	カンボジア	タイ	ベトナム、カンボジア	22	交通インフラ、関税
(3)	ミャンマー一部移転シナリオ	コスト削減	タイ	ミャンマー	ASEAN	141	交通インフラ、輸送コスト
(4)	ミャンマー拠点シナリオ	市場考慮	ミャンマー	タイ	インド	156	交通インフラ、関税



図(3)-6 構築した国際産業立地シナリオの内容



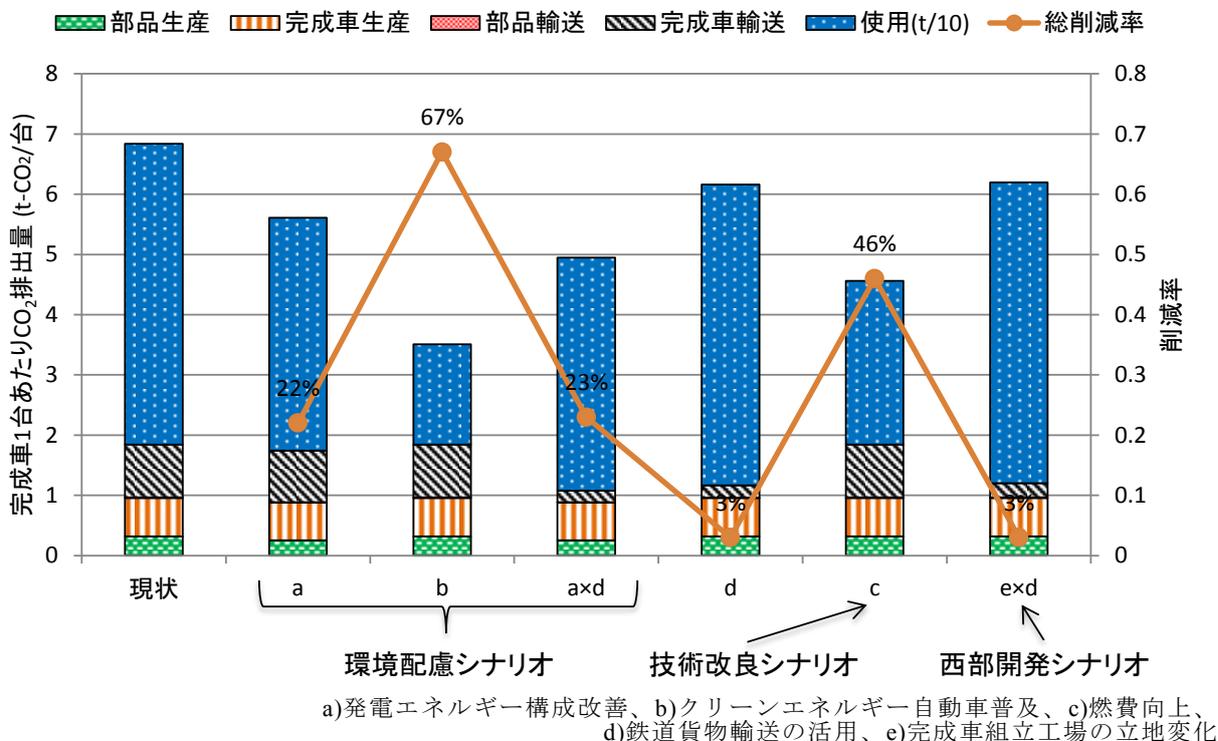
図(3)-7 2030年のシナリオ別CO<sub>2</sub>排出量と輸送コストの推計結果

(6) 地域間貨物交通の施策処方（中国のサプライチェーン）

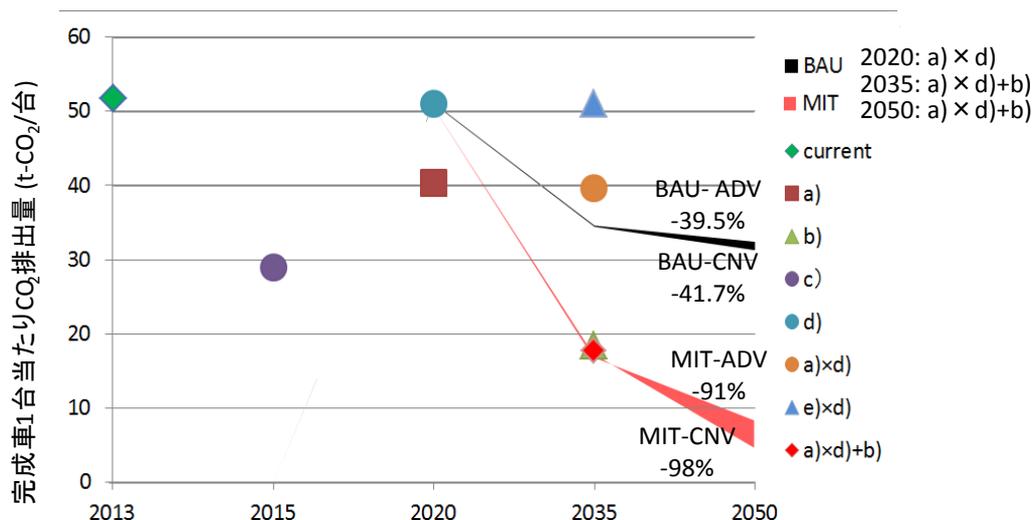
中国の自動車産業のサプライチェーンによるCO<sub>2</sub>排出量の推計を行った結果、輸送段階では貨物鉄道輸送への転換（SHIFT）による削減が大きいことが分かった（図(3)-8）。輸送段階においては、サプライヤーによる部品輸送における排出量は、部品当りに換算すると非常に小さいため、全体に対する環境負荷への影響は小さいことが明らかになった。また、排出係数が大きいトラック輸送に依存している中国では、完成車輸送における排出量が輸送全体の排出量の99%を占めており、今後は鉄道輸送を活用することで排出量削減が見込めることが示された。分析の結果から、特に、完成車輸送に鉄道輸送を活用することで、排出量が4分の1になることが示された。以上より、貨物鉄道の路線沿いに工場の集積を促し、産業コリドーを形成することによってサプライチェーンの低炭素化が可能であることが示唆された。

使用段階による排出量は、自動車ライフサイクル全体の90%以上を占めており、燃費の向上とクリーンエネルギー車の普及によって、大幅に削減できることが分かった。しかし、クリーンエネルギー自動車も普及してもそのエネルギー源として電気を使用するため、発電のエネルギー構成を同時に変えていかないと効果がないことが分かった。また、自動車保有量が増え続けている中国においては、性能燃費が向上しても、渋滞などの道路状況によっては、実走行燃費は向上しない可能性もあるため、地域間と都市内の統合的な交通計画を進める必要がある。

また、S-6-1のシナリオによる発電CO<sub>2</sub>排出係数の想定に基づき、2020年、2035年、2050年それぞれのCO<sub>2</sub>排出量を推計した結果（図(3)-9）、大幅な削減を示す結果となった。



図(3)-8 シナリオ別CO<sub>2</sub>排出量と削減率の推計結果（完成車1台あたり）



図(3)-9 S-6-1シナリオを考慮したシナリオ別CO2排出量と削減率の推計結果

### (7) 地域間貨物交通の施策処方（船舶速度）

船社の利益減少分がCO<sub>2</sub>排出社会的費用の減少分と一致する速度を推定した結果を、表(3)-2に示す。ケーススタディとして主要3航路を対象に計算した結果、いずれも現状より13~23%の減速が必要になり、約20%までの幅でCO<sub>2</sub>排出量を削減できることが分かった。減速実施による船社の利益、CO<sub>2</sub>排出量の変化を推定したところ、3航路において、利益の変化率が最小なのはアジア域内航路で、次いで北米航路、最大は欧州航路となった。減速を実施した場合の船舶サイズと利益損失額とCO<sub>2</sub>排出量の関係は、船舶サイズが小さいほど、TEU当たりの損失額及びCO<sub>2</sub>排出量削減量が大きくなる傾向があることが分かった。

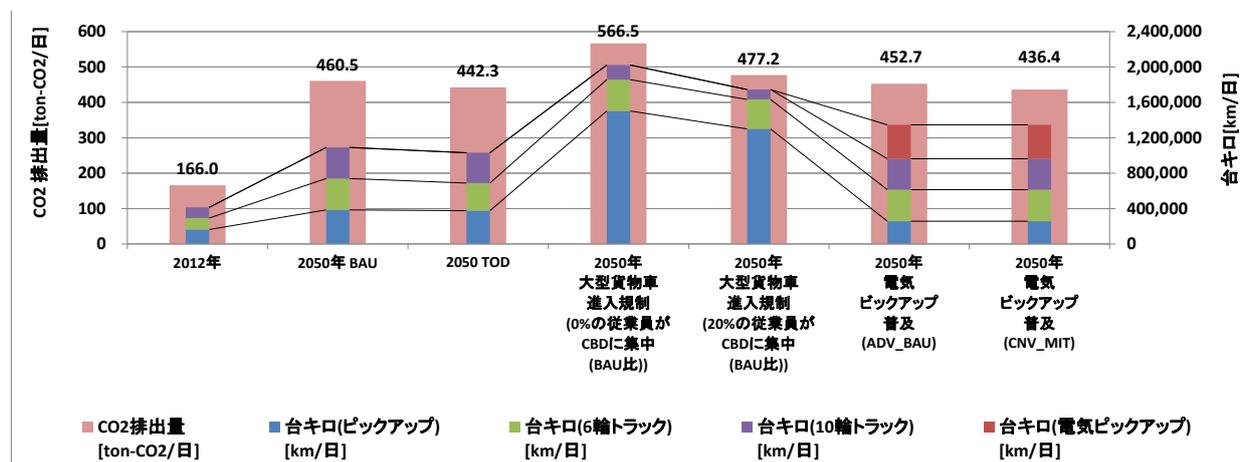
表(3)-2 航路別推奨速度(knot)

船舶サイズ (TEU)	北米航路	欧州航路	アジア域内航路
+8,000	18.5	19.5	19.3
5,000~7,999	18.9	19.4	19.2
3,000~4,999	17.5	17.8	18.3
2,000~2,999	16.6	17.8	17.8
1,000~1,999	14.3	14.9	14.5
~999	13.2	14.1	14.4

### (8) 地域間貨物交通の施策処方（端末都市内輸送）

コンケンにおける貨物車交通のCO<sub>2</sub>排出量の推定を行った結果を、図(3)-10に示す。大型貨物車進入規制シナリオ（トラックバン）では、台キロはBaUと比較して1.9倍であるが、CO<sub>2</sub>排出量は1.2倍の値である。これは、台キロの4分の3がピックアップであり、そのCO<sub>2</sub>排出量は大型貨物車と比べて小さいためである。このことより、バンコク都市圏と同様に、コンケンでもRing Road内への

大型貨物車の進入規制を行った場合、Ring Road内で小型のピックアップが増加してしまい、あまり削減できないことが分かった。一方で、TODの概念に則って、居住人口だけでなく従業員人口の集約を進めることで、貨物車の走行距離の減少によるCO<sub>2</sub>排出量の削減が望め、TODは旅客部門だけでなく貨物部門においてもCO<sub>2</sub>排出削減効果があることが分かった。同時に電気ピックアップの普及を進めることで、さらなるCO<sub>2</sub>排出削減効果が期待できることが示唆された。



図(3)-10 各シナリオ別2050年推定CO<sub>2</sub>排出量及び2050年推定台キロ

### (9) 地域間旅客交通の施策処方 (中国の高速鉄道)

上海でアンケート調査を行い高速鉄道と航空の旅客特性の分析を行った結果、高速鉄道と航空の利用者間の所得階層が異なることが明らかになり、中所得層は高速鉄道を、高所得層は航空を利用する傾向が顕著に現れた。機関選択モデルを推定した結果、機関選択モデルでは、アクセス時間とラインホール時間が説明力のある変数として推定された。また、運賃よりも所得階層の影響が大きいことが示された。

### (10) 地域間旅客交通の施策処方 (航空機サイズ)

計算の結果、2008年において、日中韓の全国際路線における航空機からのCO<sub>2</sub>排出量は合計で約435万トンであった。また2020年の需要予測結果は約6,087万人となり、2008年の2,279万人と比較して2.67倍となった。2020年のCO<sub>2</sub>排出量は約970万トンと推定され、2008年のCO<sub>2</sub>排出量の2.23倍となった。機材サイズ変更について分析した結果、「大型機→中型機」の場合はCO<sub>2</sub>排出量が約4万トン削減され、「大型機→小型機」の場合は約18万トン削減された。以上より、航空機の機材サイズを大型から中小型に変更することによって、将来のCO<sub>2</sub>排出量が削減可能となることを示した。

### (11) 治療ビジョン提示 (地域間交通)

2050年には中国、タイ、マレーシア、ベトナム、ミャンマーが製造業の中心となり、1人あたりGDPが高水準に達すると予想される。さらに、AEC成立により国家間の人流・物流の動きが飛躍的に活発化することは間違いない。このような経済成長による大陸域内の国際旅客・貨物の需要増加や、各国の産業構造変化に対応しながら、低炭素化を実現するためには、(1)～(4)の

研究のように鉄道インターモーダル輸送の活用（SHIFT戦略）と、（５）、（６）のように国による投資コストや人件費、電力排出係数等の違いを考慮しながら貨物鉄道沿線に産業集積を促すこと（AVOID戦略）が有効である。

そこで、中国国内の一般貨物の鉄道利用を促進するとともに、GMS域内にも貨物専用鉄道を新規整備し、中国とGMSを結ぶことが重要であることを踏まえて、図(3)-11に示す貨物交通ビジョンを描いた。まず、1) 中国南部の玄関口となる昆明からバンコクを通りシンガポールへ至る南北軸の旅客高速鉄道路線の構想（SKRL: Singapore Kunming Railway Link）がある。この構想において、貨物鉄道を併せて整備することが有効であると考えられる。また、2) 所得の上昇からバンコクから産業が分散することが予想され、これに対応するGMS域内路線として、バンコクから成長著しいミャンマーのヤンゴンに至る旅客普通鉄道整備計画がある。この計画を貨物にも利用できる鉄道整備計画として再構築し、バンコクからベトナムのハノイを加えた2路線の整備も必要であろう。さらに、3) ミャンマー西側に位置するチャオピュー港は水深が深く、タンカーのような大規模船舶が寄港可能な玄関口となることが期待される。そこで、チャオピュー港をコンテナ等の一般貨物のハブ港として位置づけ、ここからヤンゴンと昆明へと結ぶ貨物専用鉄道を整備することも有効であると思われる。

物流の都市間ネットワークについては都心を通らなくてもよいが、インターモーダル輸送の端末交通手段としての都市内配送は必須である。（８）でも示された通り、大型貨物車進入規制やTOD、電気自動車の活用を行うとともに、図(3)-12、図(3)-13のように、貨物専用鉄道、外環道路、放射道路が交わる都市郊外部の交通利便性の高い地点にドライポート（内陸物流拠点）を整備することが有効である。これによって、ドライポートを拠点とした集配送システムの効率化を促して都市内の道路渋滞を軽減するとともに、住宅、オフィスへの配達における速達性等のサービスの向上と低炭素化の両立を図る。加えて、ドライポートの周辺に産業集積を促すことにより、サプライヤーとサプライヤー、サプライヤーと組立工場、組立工場と需要地の輸送距離が短縮され、貨物専用鉄道を活用したサプライチェーンが効率化する。貨物専用鉄道沿線の産業集積を促すためのインフラ整備として、工業団地やそれに伴う引き込み線やヤードを一体的に整備する必要がある。その周辺では、再生可能エネルギーによる電力供給を積極的に活用し安定供給できる高効率なエネルギー供給プラントを整備することで、一層の産業集積が期待される。また、貨物ターミナルでの集配送においても、技術革新によるAGV（Automated Guided Vehicles）の高度化、ITを活用したクロスドッキングの推進といった電化・自動化・合理化を進め、太陽光発電・洋上発電の活用を併用することで、ターミナルの低炭素化を図る取り組み（IMPROVE戦略）が期待される。

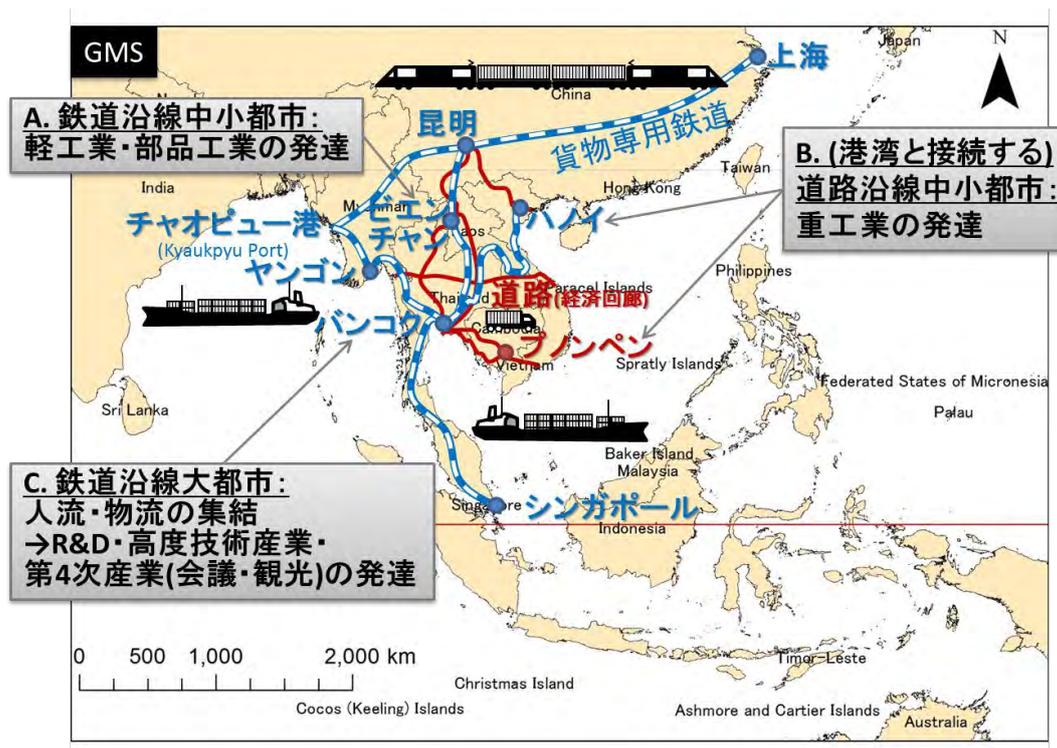
具体的に、貨物鉄道沿線の産業集積を、都市の成長と結びつけて議論するため、貨物鉄道輸送と道路輸送の特色の違いを表(3)-3の通り整理した上で、以下の3つの成長パターンの分布を提示する。

- A：貨物鉄道整備により沿線中小都市（ビエンチャン、コンケン等）の工業化による成長が期待される。鉄道輸送の容易性を考慮したとき、軽工業もしくは小型部品製造が主体となる。
- B：在来鉄道のみ場所や港湾と結ばれる高速道路（Asian Highway等）の沿線（ハノイ、プノンペン等）では重工業主体の都市成長が予想される。鉄道で運んだ部品を組立工場に道路輸送し港湾へ運び、他地域への輸出も行う。
- C：貨物鉄道沿線の大都市（バンコク等）では、情報化に伴う新産業（第4次産業）の成長に

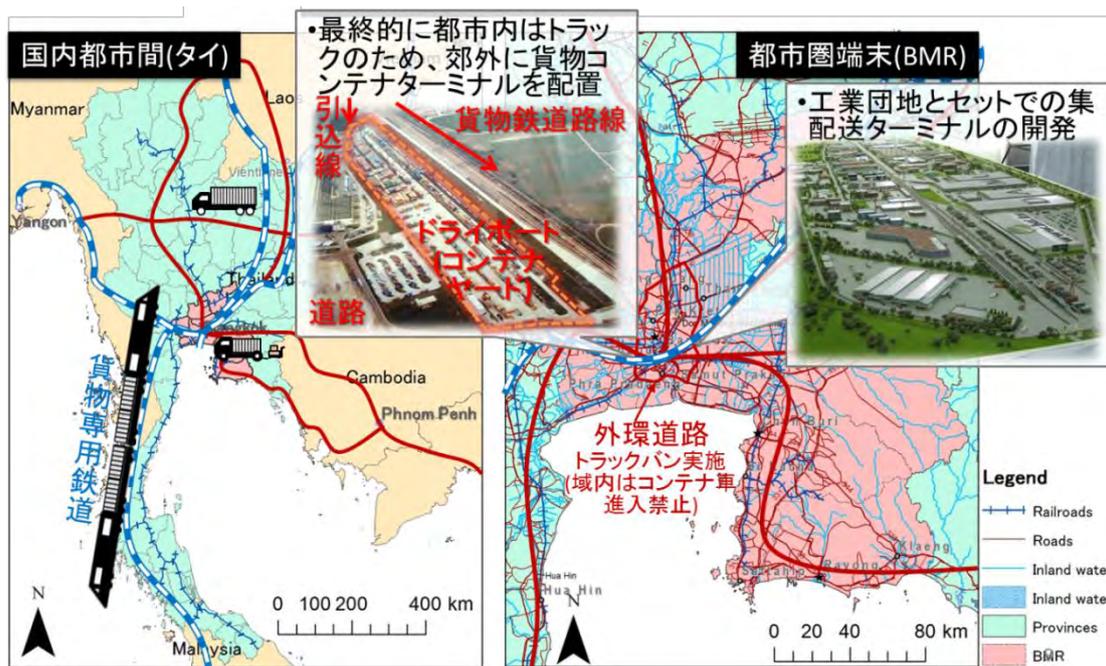
より、観光・会議の需要が増えることが予想される。工業については、組立工場は港湾に近い大都市でも成長すると思われる。大型配送施設の需要は増加する。

なお、その際、オペレーション技術の習得教育は貨物を円滑に運用するためのキーポイントであり、そのための教育と雇用が重要である。

これらのビジョンを進めるにあたり、政府は目標CO<sub>2</sub>排出量からのバックキャストにより、必要となる鉄道、港湾、ドライポート、及び各交通機関を繋ぐインターモーダルな低炭素地域間交通システムを特定し、その実現のための制度を制定する役割を持つ。一方で、産業界は、工場間や需要地への輸送距離が短く鉄道・海運を積極的に利用するサプライチェーンネットワークを構築し、自動車や航空機も低環境負荷な技術へと更新を進めることで、今後需要が大きく伸びる地域間旅客・貨物移動の低炭素化に貢献できる。また、GHGプロトコルの算定・報告基準<sup>11)</sup>やISOなどの製品の生産における直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の世界的な算定基準の浸透や、環境負荷に応じた課税を実施することで、産業立地やサプライチェーンの構築にコストと環境負荷の両面が考慮されるようになり、鉄道・水運を中心にした低炭素地域間交通システム沿線に産業集積が進むことが期待される。



図(3)-11 貨物交通ビジョン (中国南部からGMS)



図(3)-12 貨物交通ビジョン (国・都市圏スケール)



図(3)-13 貨物交通ビジョン (都市内スケール)

表(3)-3 貨物鉄道輸送と道路輸送の特色

	貨物(専用)鉄道	道路(トラック)
輸送品目	・ 輸送技術、コンテナの発達で道路との差はほとんどなくなっているが、資源等の密度が高くて重いものは鉄道で運ぶのが主流(例:石炭)	・ 重いものに適しておらず、石炭や鉱石用のトラックが道路を傷める
費用	・ 中距離以上では単位当たり輸送コストが下がる	・ 短距離で有利
インフラ	・ 鉄道運用の成功(定時性の確保等)はオペレーション技術にもかかってくるため、技術の習得が必須	・ 過積載問題(路面が傷みやすい)
路線	・ 高速鉄道を整備する重要路線は貨物鉄道も整備 ・ その他に、産業構造として重要な地点は貨物専用鉄道で結ぶ	・ 鉄道のみでドアツードア輸送はできないため、端末交通手段として重要
その他	—	・ 鉄道と比べてセキュリティが低い

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

GMS域内の地域間貨物輸送の低炭素化について、国際・国内・都市圏と異なるスケールで施策を提示し、その有効性を分析する手法を構築した。特に、貨物鉄道に注目し、その導入は、経済的であると同時に高いCO<sub>2</sub>削減目標の達成も可能にすることが分かった。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

インターモーダル輸送による CO<sub>2</sub> 排出量削減効果と経済効果は、シンガポールから中国に至る鉄道整備計画等において活用が期待されるとともに、アジアのインターモーダル輸送を促進している UNESCAP などの国際機関にとっても有益な情報である。実際に整備が進行している、シンガポールから中国南部・雲南省の昆明の間の ASEAN の大陸部（インドシナ半島等）を縦断する Singapore-Kunming Rail Link (SKRL) を始めとする鉄道整備計画において、算定手法や研究成果の活用が期待される。

また、現在、世界環境経済人協議会と世界資源研究所によって設立された GHG プロトコルイニシアチブによる事業者の排出量の算定及び報告の基準が、産業界を中心に世界基準として浸透しつつある中で、排出責任の拡大解釈による CO<sub>2</sub> 排出量の削減を検討する際に有用な情報になる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) S. HANAOKA and M. B. REGMI: IATSS Research, Vol.35, No.1, pp.16-23 (2011)  
 “Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective”
- 2) 花岡伸也：交通学研究，2011年研究年報，pp.133-142 (2012)  
 「中国における高速鉄道と航空の旅客特性と機関選択」
- 3) 花岡伸也，川崎智也：日本物流学会誌，No.20, pp.229-235 (2012)  
 「中央アジアを対象とした内陸国貨物輸送における港湾アクセス」
- 4) 中村一樹，林良嗣，加藤博和，福田敦，中村文彦，花岡伸也：土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.68, No.5, pp.857-866 (2012)  
 「アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出」
- 5) 花岡伸也：海運経済研究，No.47, pp.85-93 (2013)  
 「国際海運における環境費用を考慮した船舶速度の推計」
- 6) M. B. REGMI, and S. HANAOKA: International Journal of Sustainable Transportation (2014 in press)  
 “Assessment of modal shift and emissions along a freight transport corridor between Laos and Thailand”

#### <査読付論文に準ずる成果発表>（対象：社会・政策研究の分野）

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 花岡伸也，川崎智也：国際開発工学報告，TRIDE-2010-01，東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻（2010）  
 「中央アジアを対象とした内陸国貨物輸送問題調査報告書」
- 2) S. HANAOKA and P. DIRGAHAYANI: TRIDE-2010-05, Technical Report of International Development Engineering, Department of International Development Engineering, Tokyo Institute of Technology (2010)  
 “Review on the Applications of Bottom-up Approach for Aviation Emission Inventory and Carbon Calculator”

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) S. HANAOKA: Workshop on Research on Realization of Measures for Low Carbon Transport System in Asia, University of Transportation and Communications, Hanoi (2010)  
 "Low carbonization of aviation and freight transport in Asia"
- 2) 花岡伸也：日本環境共生学会（2010）  
 「アジアにおける地域間物流および航空の低炭素化，ワークショップ：アジアにおける低炭素交通システム実現に向けて」

- 3) T. KAWASAKI and S. HANAOKA: Proceedings of Infrastructure Planning, No.41 (2010)  
“Analysis of bottlenecks impeding stable supply of international inland freight transport”
- 4) T. KAWASAKI and S. HANAOKA: Proceedings of Infrastructure Planning, No.42 (2010)  
“A model for estimation of shipping time based on experience of past shipping in landlocked developing countries”
- 5) M. B. REGMI and S. HANAOKA: The 3rd International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2010), Fukuoka (2010)  
“A framework to evaluate carbon emissions from freight transport and policies to reduce CO<sub>2</sub> emissions through mode shift in Asia”
- 6) 花岡伸也：早稲田大学ソーシャル・ロジスティクス研究所，第8回ソーシャル・ロジスティクス研究会コロキウム (2011)  
「中国の鉄道コンテナ貨物輸送」
- 7) 房小琳，花岡伸也：土木計画学研究・講演集，No.43 (2011)  
「中国鉄道コンテナ貨物輸送の課題と将来需要推計」
- 8) 中道久美子，花岡伸也，川原優輝：土木計画学研究・講演集，No.47 (2013)  
「自動車製造業の立地を考慮したグローバルサプライチェーンにおけるCO<sub>2</sub>排出量の推計」
- 9) 花岡伸也，加藤智明，中道久美子：土木計画学研究・講演集，No.48 (2013)  
「大メコン圏の地域間貨物輸送における環境を考慮した機関分担率の算出」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

- 1) European Conference of Ministers of Transport: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris (2007)  
“Cutting transport CO<sub>2</sub> emissions”
- 2) 花岡伸也，T. Husnain，川崎智也，P. Kunadhamraks：運輸政策研究，Vol. 12, No.4, pp.24-31 (2010)  
「インターモーダル輸送によるエネルギー削減効果の計測」
- 3) International Energy Agency (IEA): Soregraph (2013)  
“CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion highlights 2013”

- 4) JICA : (2011)  
「メコン地域における物流促進のための通関業務の改善にかかる調査 ファイナルレポート」
- 5) International Maritime Organization (IMO): (2009)  
“Second OMO GHG study”
- 6) Khon Kaen City: (2008)  
“Database of land use survey of Khon Kaen City year 2008”
- 7) 伊藤雄太, 福田敦, 長田哲平, 池下英典 : 第45回土木計画学研究発表会・講演集, No.45 (2012)  
「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」
- 8) Kim, B. et al.: System for Assessing Aviation's Global Emissions (SAGE) version 1.5, Global Aviation Emissions Inventories for 2000 through 2004, Washington DC, USA, 2005.
- 9) Airbus Industrie: Global market forecast: The future of flying 2006-2025. Airbus S.A.S., Blagnac Cedex, France, 2006.
- 10) 国際協力機構 : (2007)  
「カザフスタン国総合物流システム向上計画調査ファイナルレポート」 (和文)
- 11) World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development: (2011)  
“Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard, Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard”  
[http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613.pdf](http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf)

#### (4) アジアにおける低炭素交通・都市構造実現可能性評価に関する研究

横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院      中村 文彦  
東洋大学国際地域科学部                                      岡村 敏之

##### <研究協力者>

東京工業大学大学院理工学研究科                              中道 久美子（平成24～25年度）

平成21～25年度累計予算額：22,496千円

（うち、平成25年度予算額：3,932千円）

予算額は、間接経費を含む。

##### [要旨]

アジアの途上国の大規模都市及び中規模都市を想定し、将来の都市交通のビジョンを提案することを最終目標に、現在のアジアの途上国の都市の現状診断を行い、その問題点、そのポテンシャルを明らかにした。そして、将来の都市交通の骨格をなす新交通システムの先進事例として、専用道路を用いて定時性及び輸送能力の向上を通して従来のバスのイメージの打破をめざす高速バスシステム（BRT: Bus Rapid Transit）に主に着目して、その事例分析と、公共交通の運営体制、自動車需要への対応、公共交通と連動した都市開発等の先進都市事例を精力的に分析した。それらの結果をもとに、タイのバンコクとラオスのビエンチャンを主な対象にし、パラトランジットやバス、鉄道についてのさらなる分析検討を通して長期的な将来における具体的な都市交通システムのビジョンを提示し、そのロードマップと実現可能性を検討する。この結果、大都市鉄道駅近傍においては、自家用車を必要とせずとも安全で快適な移動が実現できるカーフリー型のシナリオを提案し、中規模都市においては、BRTを基軸とした都市交通の再構成を提案した。

##### [キーワード]

都市交通、実現可能性評価、公共交通運営、BRT、パラトランジット

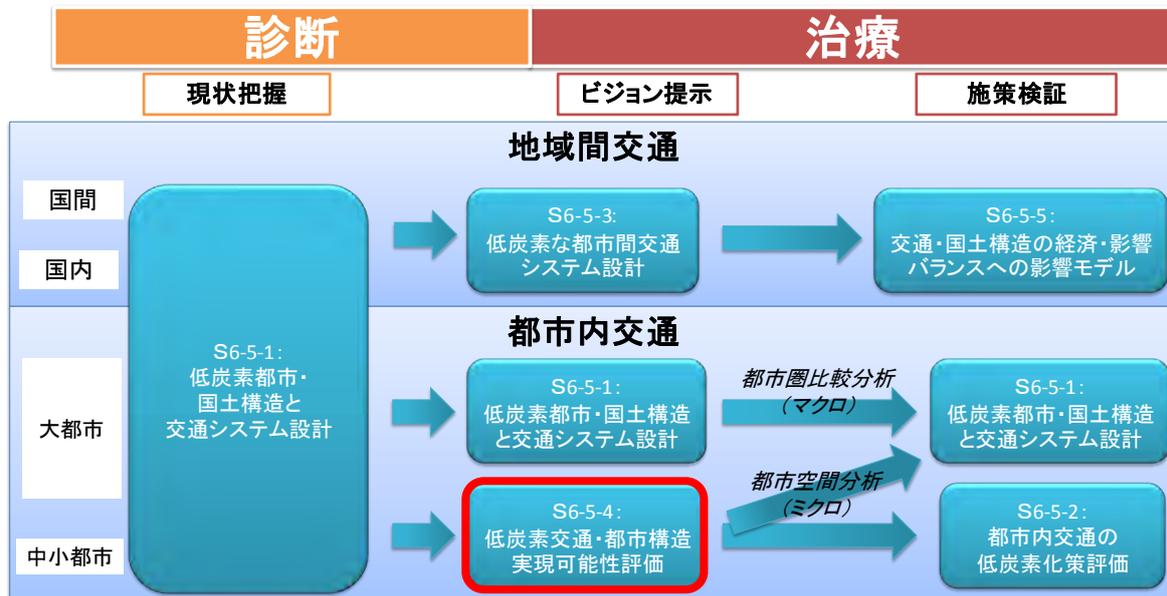
#### 1. はじめに

アジアの都市交通問題に対して、軌道系導入など公共交通網の整備や、それに対応した公共交通指向型開発の提案等がなされているが、自家用車保有の急増に伴う自家用車利用の増加に対して、具体的にどのように政策パッケージに取り組んでいくべきなのか、実現方策についての検討は必ずしもなされていない。欧州や北米、そして南米のいくつかの都市での先進事例が参照されるが、それらの都市事例での苦労や産みの苦しみのプロセス、それらを実際にアジアの大都市あるいは中規模都市に導入する際の具体的な課題についての考察も十分ではない。

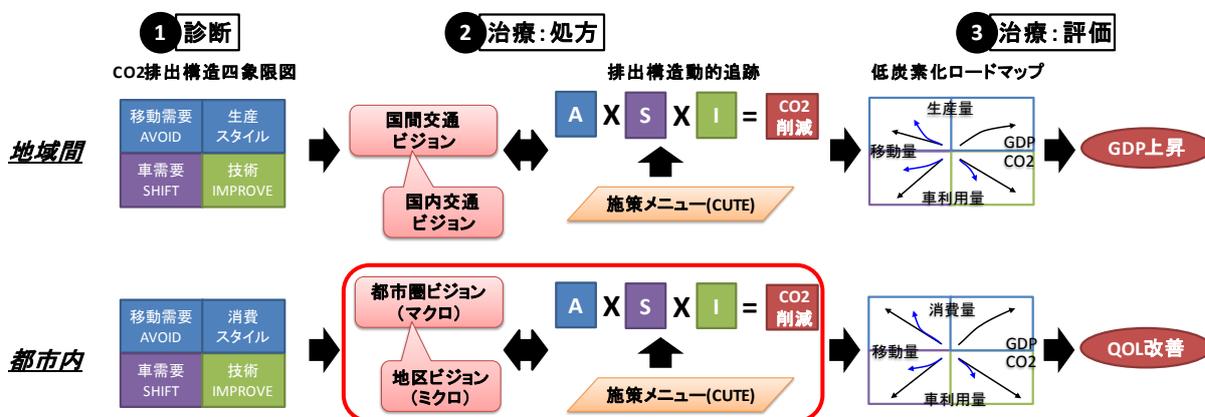
#### 2. 研究開発目的

アジアの発展途上の大都市及び中規模都市を念頭に、交通部門でのCO<sub>2</sub>排出を減らすために必要な自家用車利用に過度に依存しない都市になるための交通体系及び都市構造について、アジア

での典型都市における実態分析及び先進国や南米の先進都市事例分析を通して、実現方策の提案及びその実現可能性の評価を行い、アジアでの政策立案に向けての知見を得ることを目的とする。



図(4)-1 S-6-5-4 研究の位置づけ



図(4)-2 S-6-5-4 分析の重点

### 3. 研究開発方法

本研究は、アジアの典型都市での実態診断、将来の都市交通像の提案に対して有用と想定できる先進的取り組みを行う都市の事例調査、これらを踏まえたアジアの開発途上都市に対する具体的な提案という段階で行った。

#### (1) 交通システム運用の診断

##### 1) 交通計画の分析

アジア途上国都市での交通計画を運用する上で根拠とされる分析の手法及びデータ管理状況について、各都市の行政機関、研究機関へのヒアリングによって調査し、問題点の診断と課題整理

を行った。この対象都市として、現地の信頼のできる研究機関と研究者が存在することとともに、都市交通において特徴的な様相を示し、都市交通特に公共交通の活用可能性に関して課題を有するベトナムのハノイ、中国の大連市、タイのバンコク、バングラデシュのダッカを選定した。ベトナムのハノイについては、バス、オートバイ（保有と利用）、オートバイタクシーの実態について、現地研究機関での調査動向、データ収集解析動向等を、ハノイ交通通信大学のフン准教授にヒアリングした。中国・大連市では、バス、軌道系公共交通機関、三輪タクシーの実態について、現地での研究調査動向、データ収集解析動向等を、都市交通研究の中心的存在である大連理工大学の趙勝川教授にヒアリングした。タイのバンコクでは、中間的公共交通機関（パラトランジット）について、現地の研究調査動向、データ収集解析動向等をチュラロンコン大学のノパナント・タパナント准教授、及びキングモンクット工科大学のターサック・ロンピニヤバリジ助教にヒアリングした。バングラデシュのダッカでは、当地の中間的公共交通機関であるオートリキシャについての、現地の研究調査動向、データ収集解析動向等を、バングラデシュ工科大学のミザヌール准教授にヒアリングした。

## 2) バスシステムの運用

アジア途上国都市の公共交通の中心を担っているバスシステムの運用について、その実態の診断を行った。多くのアジア途上国都市のバスの現状の問題が運転士の給与システムに起因していると想定し、組織体制、規制体制、管理システム、システム性能、費用構造、運転士給与方式の都市間比較を通して、その問題点と改善方向性を導出した。そして、開発途上国の大都市のバス輸送の管理システムに関して、システム性能と、市場参入方式、運賃価格設定方法、運賃收受方法、運転士給与方式との包括的な関連性を明らかにし、推奨される方式、方法の導入意義を示した。ケーススタディ都市として、経済成長水準や生活形態が似ており、バス輸送需要が多く、管理システムが異なるハノイ、バンコク、ジャカルタ（専用道路線）を取り上げ、参照事例として、データ提供協力体制を得られた横浜市交通局も加えた。

### (2) 交通システム運用方法の処方

CUTE マトリクスで AVOID、SHIFT、IMPROVE と整理されている、都市交通の低炭素化施策の運用のあり方について、先進的な取り組みを行う都市の事例を参考に検討した。都市鉄道、バス及びパラトランジットといった公共交通機関の運営体制、自家用車利用の抑制と交通需要管理、公共交通指向型開発（TOD）等の土地利用計画と公共交通計画の連携に注目し、参考となる事例の調査を行った。具体的な対象都市としては、クリチバ（ブラジル）、ボゴタ（コロンビア）、メデジン（コロンビア）、フライブルク（ドイツ）、リヨン（フランス）、ナント（フランス）、ケンブリッジ（イギリス）、ソウル（韓国）、香港（中国）、東南アジアで BRT 導入経験のあるジャカルタ（インドネシア）とバンコク（タイ）を選んだ。加えて、特徴的な都市鉄道となっているバンコクの郊外鉄道 ARL についての調査も行った。そして、それぞれの都市についての分析結果を踏まえて、アジア途上国都市における低炭素交通施策の運用における課題を整理した。

### (3) ミクロ治療ビジョン提示

以上の成果をもとにして、サブチーム間の検討に基づいて、本研究では、大都市としてタイの

バンコク、中規模都市としてラオスのビエンチャンに焦点をあてて、低炭素都市・交通システムのより具体的なビジョンの提示を行った。まず、提示するビジョンの前提として、バスとパラトランジットの運用のあり方を示した。これを踏まえ、バンコクについては、都市空間構成を含めた都市内交通システムのビジョンを、ビエンチャンについては、主に都市バス運営に関するビジョンを提示した。今後、大きな成長が予想されるビエンチャン市においては、独占的にバスを運営しているビエンチャンバス公社に継続的にヒアリングを実施した。さらに、ビジョンの実現方策についても検討を行った。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 交通システム運用の診断

###### 1) 交通計画の分析

ベトナムのハノイ市では、2001年以降にバス運用の改革が進み、特に学割定期導入後学生利用が増大し、将来のBRTへの拡大可能性があるシステムとなっていることが分かった。オートバイについては多くの研究調査がなされており、その行動動向は明らかになっているものの、世帯での共有の方法や所得上昇に伴う自家用車への転換のメカニズムなど不明な点が多いことが分かった。オートバイタクシーについては、すべてインフォーマルに行われており、実態の定量的把握ができていないこと、その一方で、バス利用者のバス停へのアクセスなど利用は少なからずあることがわかった。

中国・大連市では、バス及び軌道系公共交通機関は、一元的に計画、運営されていてデータ管理も比較的整備されている一方で、三輪タクシーについては、もともと身体障害者用に許可された登録車両の不法運用で黙認されており、輸送動向のデータなどが存在しないことが確認された。BRTについては、中国全土数都市で展開しているプロジェクトの一環で、データは整理されているが、公共交通の端末利用、すなわち個々の移動の起点からBRTのバス停までのアクセス交通、BRTのバス停から目的地までのイグレス交通、についての詳細データはなく、調査が必要なことが明らかになった。

タイ・バンコクの交通システムについては、すでに多くの研究調査が展開されている中で、わが国の中古軽トラックを改造してつくられた、7ないし10人乗りのシーローレックについてはこれまで調査がないこと、その中で、ターサック助教のグループがシーローレックの運営特性についての調査に着手していることを確認した。一般的にタイの中間的公共交通機関の代表格とされるトゥクトゥクと比べ、シーローレックの車両寸法、回転半径、車両運動性能がほぼ同一であることに加え、4輪なので安定性は高く、定員は多く、燃費が良いことから、環境にやさしいシステムとしてはシーローレックのほうが優れていること、また組合形式での管理がしっかりしており、在来バスや軌道系公共交通機関と連携させるサービス展開を効率的、計画的に実施できる素地があることが明らかとなった。シーローレックの諸性能、利用実態に関する定量的データの入手可能性も明らかとなった。

バングラデシュ・ダッカでは、オートリキシャは3年前からすべて圧縮天然ガス利用になっており、近年では電気走行の試作車も走行するなど、環境配慮の大きな動きがあるが、それらの施策の効果は計測されていないことが明らかになった。すべての車両が登録制になっているが、その走行実態などについてのデータ解析は十分には行われていないことが確認できた。また、バス

や鉄道と組み合わせた使われ方は一部ではすでに実施されているが、それらの動向の量的把握及び、所得上昇による自家用車への転換を食い止める効果などについては、分析がされていないことが明らかになった。

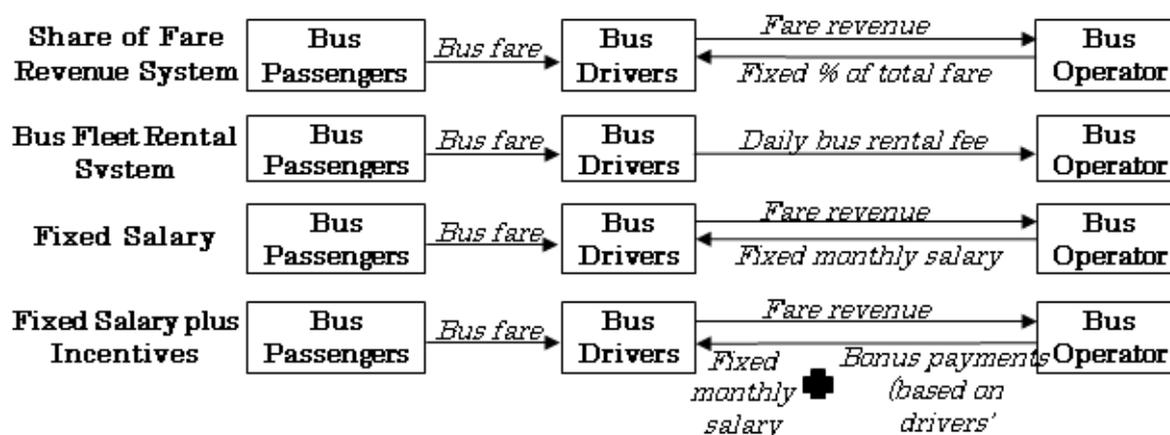
## 2) バスシステムの運用

ケーススタディ都市でのバス運転士の給与体系の違いを表(4)-1 に、検討結果から得られた典型的な給与支払い方法の分類結果を図(4)-3 に示す。運賃収入と給与を比例させる方式は、乱暴な運転やバス車両同士の無用な競争を招くので望ましくないが、一方で、なんの動機づけもないと業務が怠惰になるため望ましくないことが分かった。これを踏まえて、固定給与プラス動機づけ増額の組み合わせが望ましいと考えられる。また、運転士による運賃のネコババは大きな課題であることも分かった。これを防ぐためには、車両レンタル方式が挙げられるが、BRT での車外収受やICカード導入によって防ぐことも可能であると考えられる。

これらを踏まえて、政策、規制及び体制を比較した結果、運営及び財務の点から、入札型事業者市場参入方式、車外運賃収受方式の有効性を明らかにした。次に、旅客密度、車両密度、車両稼働率、日稼働距離、走行距離あたり費用及び収益を比較し、市民受容可能性と事業財政自立性を満たす運賃価格設定方法の有効性を明らかにした。そして、燃料単価、運転士給与方式、事業規模、道路混雑（運行速度）等の費用構造への影響を明らかにした。それに基づいて、運転士給与方式のうち、運賃収入歩合給与方式や車両貸与方式での労働管理強化効果と危険運転増による事故リスク増加、一定給与方式での事故リスク削減と運転士の運賃横取り等不正行為リスク増加、交通事故減俸方式での事故リスク大幅減少効果を含めた因果関係構造を明らかにした。

表(4)-1 バス運転士の給与システム実態

都市	バス運転士給与体制	情報源
ハノイ	固定給＋担当車両の燃費に応じた追加報酬	ハノイ市交通管理運行センターヒアリングに基づく(2009.10)
バンコク	固定給＋担当車両の運賃収入に応じた追加報酬	バンコク都交通局ヒアリングに基づく(2009.10)
ジャカルタ	BRT事業：固定給 在来バス：乗務員が車両所有者に借料を支払う。運賃収入は全額乗務員へ。	ジャカルタ市交通管理局及びBRT事業を運営するトランスジャカルタヒアリングに基づく(2010.1)
ヤンゴン	例1；当該車両運賃収入の一定割合 例2：固定給＋担当車両の運賃収入に応じた追加報酬	現地ヒアリングに基づく(2011.3)



図(4)-3 バス運転士の給与方式の分類

## (2) 交通システム運用方法の処方

### 1) クリチバ

ブラジル連邦のクリチバ市へのヒアリングを実施した結果、統合したバスシステムと土地利用のあり方についての知見を得た。クリチバでは、マスタープランのコンセプトに忠実なまちづくりをする中で、バスシステムは熟成しており、中所得者及び低所得者の都市活動への参加を十分に支えていること、それができる背景には、市役所による強力な管理体制があることが分かった。土地利用計画を連動させることでバスの需要を確保し（図(4)-4）、需要が確保されることで補助金のない民間事業による運営を成立させ、その仕組みの中で市役所がイニシアチブをとっている。

クリチバの交通システム運用の成功の要素として、以下が挙げられる。

- 1966年策定のマスタープランが、開発軸を徐々に延ばしていく点などで、きわめてシンプルかつ持続性と柔軟性に富んでいる。
- BRTの第一期運行区間での運行開始（1974年）まで、8年で実現した。
- 乗客数歩合制のバス運転士雇用制度を、BRT運行開始までに廃止した。
- 市街地内の歴史的建造物の保全、及び市域全体の公園緑地空間確保の推進のためのインセンティブゾーニング制度を、市街化が進みはじめる黎明期に導入した。
- 都市の経済成長に伴う貧困層の流入や環境悪化問題について、交通システムと雇用・環境・教育の各分野を絡めて、有機的かつ持続的に取り組んできた。

最後の点について、クリチバでは、途上国の都市の構造を底辺で支えている貧困層に対して、市民としての意識の向上、犯罪世界との絶縁による市民生活の質の向上をめざし、徹底的な環境教育と動機づけを実施してきた。貧困地区内での自主的なゴミ分別に対して、食糧、学用品、バス乗車券との交換制度を設けること、不法占拠地区の市による土地買い取りと貧困層への無利子分譲及び職業斡旋・食事提供もあわせて行う放課後寺子屋教育の導入、及び知の灯台と呼ばれる児童館の設置、等を貧困地区限定で徹底的に行い、BRT路線の一部も先行的にこれらの地区に関連させて路線設定し、ターミナル構内には低所得層限定の市営によるスーパーマーケットも設置している。

以上のように、クリチバでは、1980年代以前の取り組みが、その後2000年頃までの持続可能な環境首都としての高い評価に繋がったことが分かった。しかし、クリチバでも、近年は自動車保有率の急激な増加に伴って、都心地区を中心に道路混雑が激化している。また、幹線バス路線で輸送能力超過の問題が顕在化しており、鉄道整備の計画が検討されていることも確認できた。



図(4)-4 クリチバ市のバス専用道路と沿道開発

## 2) ボゴタ

ボゴタのBRTシステムの運用は、世界で最も先進的であるといえる(図(4)-5)。BRT及び支線路線導入区間でのバス運転士の雇用において乗客数に比例する給与システムを撤廃し、情報通信技術を活用して安全運転技術をリアルタイムで確認しそれを給与査定に用いるといったように、バス運転士の動機づけと管理技法を工夫している。加えて、依然として残っている在来バスシステムを段階的にBRTシステムに組み入れていく漸次的アプローチをとっており、施設のセキュリティと速達性に腐心し、中所得者以上のホワイトカラーの利用者の確保に成功している。また、毎週の自転車天国、年に一度のカーフリーデーを通して、バスや自転車の存在感を高め意義を啓発する努力を継続的に行っており、都心地区での歩行者空間及び自転車空間整備が充実している(道路容量を減らしているのでピーク時の道路渋滞は著しいが)。さらに、ガソリン税値上げやナンバープレート規制による都心流入抑制等、自家用車利用に圧力を与える施策を取り入れている。

しかし、交差点信号制御との連動の不十分さ、舗装面維持管理の問題などが露呈してきていることも分かった。前者については、都心側交差点でバス専用道路を横断する自家用車の渋滞長が塞いでしまう場合があり、結果的に BRT のバスの著しい遅れを生じさせることがあった。舗装については、施工技術的な問題があったようで、現状では、穴があいているところ、応急処置が間に合わないところなどがあり、バスの速度低下、回避運転による乗り心地の低下といった問題が発生している。



図(4)-5 ボゴタのBRT駅

### 3) メデジン

コロンビア第二の都市のメデジンの視察を通して、高架鉄道と BRT との連携に加え、スラム地区へのアクセスとしてロープウェイシステム（図(4)-6）を整備し高架鉄道と連携しており、幅広い所得層のモビリティを確保するため、階層的な交通システムが有効であることを確認した。また、土地利用計画においても同様に階層的な機能配置がされており、各スラム地域の中心拠点としての図書館公園の整備とそれを核にした教育活動が行われていることが分かった。



図(4)-6 メデジン（コロンビア）のスラム地区用ロープウェイ（メトロカブレ）

#### 4) ヨーロッパの都市

フライブルクでは、都市圏での鉄道とバスの各事業者が運輸連合という組織の中に入り、路線網、時刻表、運賃体系の相互調整を行っていること、その体系としての公共交通網が、中心市街地のまちづくり、道路交通需要調整策と連携していることを確認した。運輸連合の仕組み自体は、ドイツ独特ではあるものの、例えばバンコク都交通局が、その傘下に小規模事業者を抱え、運行免許を与えている仕組みや、ハノイでバス運営組織がバス事業者を束ねている仕組みと、何もかもが根本的に異なるわけではなく、むしろ、アジアの大都市地域での公共交通事業の管理体制に応用できるものであることがわかった。リヨン及びナントといったフランスの中規模都市でも、包括的な公共交通と、シェアリングシステムの体系が確立していることを確認した。

しかし、世界最長のガイドウェイバスシステムとして知られるケンブリッジの幹線バス輸送では、複数事業者間の調整が必ずしも十分には整理されておらず、運行スケジュールや運賃体系において、バスの使い勝手に問題がある事が分かった。

#### 5) アジアの都市

ソウルのバスシステムは、約3年をかけて全面的改編を実現したもので、前述のクリチバ市の経験から多くを学んでいるものの、土地利用との関係、環境や教育分野との連携、貧困層対策等は含まれていない。地下鉄等軌道系との役割分担、清溪川プロジェクトをはじめとする歩行者空間整備事例との連携といった点が重要な視点といえる。

香港では地形的制約もある中での強い土地利用規制の結果として、公共交通と住宅開発の連携が実現し、質の高い公共交通の導入と相まって、所得階層にかかわらず公共交通利用が実現している。軌道系への徹底的な投資と、早々に共通化したICカードによる運賃システムとが相乗的な効果を創出している。



図(4)-7 ジャカルタのBRT (トランスジャカルタ1号線)

BRTの先行事例としてのジャカルタ(図(4)-7)では、都市圏のバス輸送全体の運営体制を崩すことなく、BRTという新しいシステムの運営を共存させる仕組みが成立していることを確認した。一方で、バンコクのBRTでは(図(4)-8)、都交通局の在来バス路線との調整ができないこと、陸

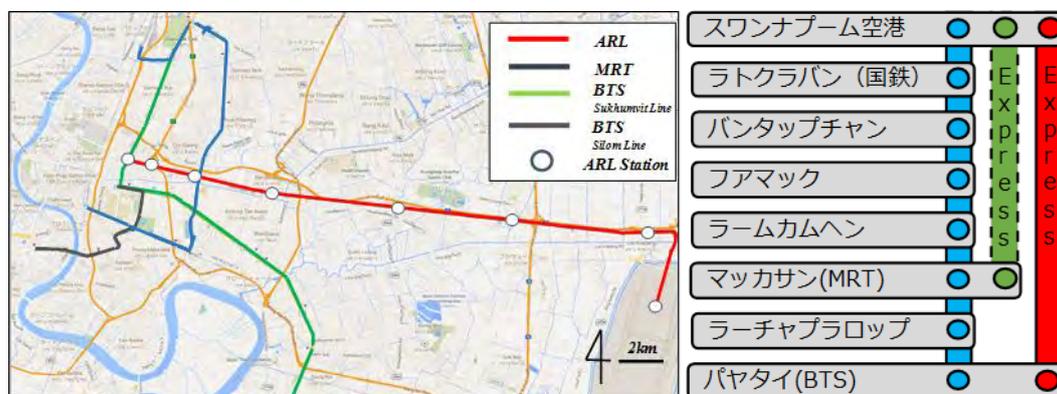
橋等での専用空間走行ができないこと、運行頻度が多くはないことなどから、利用状況が今のところ芳しくなく、走行空間、事業体制に課題があることが明らかになった。しかし、ジャカルタで問題点として指摘されていた停車施設でのプラットフォームと車両の間のギャップについて、バンコクでは、ガイドウェイバス技術を援用した工夫を、この種の BRT システムとしては世界で最初に導入し、一定の効果をもたらしていることを確認できた。



図(4)-8 バンコクのBRT

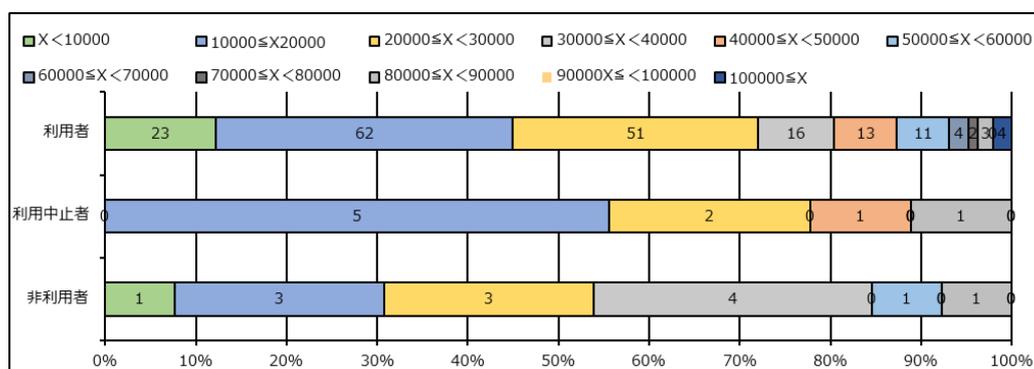
#### 6) バンコク (郊外鉄道)

2007年の新空港開設の後に、都心と空港を結ぶアクセスの郊外鉄道 ARL が開業した。都心から一直線に空港を結ぶ高架鉄道で、在来鉄道の用地の真上に建設された(図(4)-9)。最高速度 160km/h のサービスは、東南アジアにおいて画期的なものである。主たるターゲットは空港利用者であるが、沿線に数駅を新設し、沿線住民を対象に各駅に止まるサービスも始めた。こちらはシティラインと呼ばれ、最高速度は同様に 160km/h となっている。



図(4)-9 バンコクの ARL の路線図と停車パターン (右図青線がシティライン)

シティラインはあくまでおまけのサービスであったが、今日では、ピーク時に7ないし15分間隔で運行し満員の利用者を輸送する、立派な通勤鉄道になっている。利用者へのアンケート調査を実施し、そこから得られたのは、その速達性への高い評価であった。一方で、途中の各駅は在来鉄道に併設して設置されたもので、バンコクの都市の広がりや鉄道ではなくて道路に基づいて、展開してきた歴史を思い出すとわかるように、市街地の空間構成と駅がまったくリンクしていない。駅前に駐車場等の空間はもともとあった駅もあるが、駅アクセスへの不満はきわめて高く、それを理由に、いったんは利用を開始したものの中止した住民もいる。利用者に関して言えば、これまでの鉄道の常識とも言えた、低所得者層主導ということは必ずしもなく、中位の所得者層の利用もそれなりにある（図(4)-10）。



図(4)-10 バンコクの空港連絡鉄道ARLでの沿線通勤利用者の所得層分布（所得単位は月額バーツ）

## 7) アジア途上国都市への知見

先進事例都市の分析を重ねることによって、アジアの途上国都市の都市交通の低炭素化のために公共交通及び関連施策としてターゲットにするべき点、それを実現する上での課題を論点とし、CUTEマトリクスをベースに整理した（表4-(2)）。アジア途上国都市におけるバスとパラトランジットは、それぞれ安全、清潔性、定時性等に大きな問題があり、運賃が安価なこともあって、低所得者層の交通手段で発展していないことの象徴として理解されることが多く、どの都市でも将来的な交通計画やマスタープランにおいて、バスやパラトランジットを積極的に取り入れることはほぼなかった。しかしながら、クリチバやボゴタの例が示すように、バスは必ずしもネガティブイメージにおさまらず、むしろ丁寧にデザインすればイメージ向上は可能なことがわかる。幹線的な輸送がしっかりとしてくれば、必ず末端輸送が必要となり、居住形態、空間構成、道路網整備にもよるが、小回りのきく乗り物が必要なことは、先進国の例を待たずとも明らかである。よって、パラトランジットというリソースは活用の方向を考えることが望ましい。

バスやパラトランジットの運営に関しては、乗務員の給与システムが根本の問題になっている。公共交通をビジネスの視点だけで考えるならば、利用者を増やす努力は運行事業者が実施するのは当然であるが、それが無用な道路上での競争など、全体のシステムからみて外部不経済を発生させているとなると、行政の介入が必要となる。バスやパラトランジットに求められているものが、安全性や信頼性、そして低環境負荷であるとするれば、そこに努力が向かうような仕組みが必要で、そのためには給与システムの抜本的変更と、運転士の質の保証、すなわち給与の保証も必要となる。

表(4)-2 CUTEマトリクスによる都市公共交通の課題の整理

交通手段	Avoid	Shift	Improve	備考
都市軌道 + 端末パララ ンジット		運賃制度見直し 運輸連合型	出改札装置 日本製高機能化 路線間互換性	
BRT + 在来バス再編 + 端末パララ ンジット	TOD 駅徒歩圏集合住宅開発 住戸形態多様化 個人属性多様化 →持続可能な住宅地 主要駅公共施設併設 区役所、 低所得者支援 公共的賃貸空間 都心駅商業業務併設 費用負担ルール整備	運行本数増強 混雑緩和策  10km超路線で 急行運転 (速度向上)  乗継時配慮 移動距離削減 接続ダイヤ配慮 一元的運賃 情報提供  運行時間帯拡大  治安維持継続  郊外主要駅 P&R施設導入	定時性確保 優先信号改善 停車時間短縮 ドア数増加 ホームギャップ 改善工夫 安全運転 運転士給与 制度見直し 運転士教育 日本主導 クリチバ型体制へ 行政の計画段階 事項への介入 路線網階層化 (コストダウンへ)  →バスイメージの 大幅改善へ	バス車両自体の低 環境負荷化 天然ガス ハイブリッド  路線を見直す仕組 みづくり 交通調査と連携し た行政主導の立 案と推進へ

市街地内の鉄道については、今後導入されるものは幹線道路上あるいは既存鉄道用地上となるものがほとんどと想定される。前者の場合は、交通結節点機能を幹線道路上に組み込まなくてはならないため、道路空間の再配分の検討が必要となる。後者の場合、既存市街地及びそれを支える道路網と無関係に、在来鉄道の駅が立地していることから大規模な改良が必要となる。そして、ARLの経験からわかるように、都市鉄道においても高速性能が自家用車利用者をひきつけ得る。我が国の通勤鉄道の多くが、通勤快速や通勤急行といったサービスを実施しているが、このノウハウを積極的に盛り込むことが期待される。

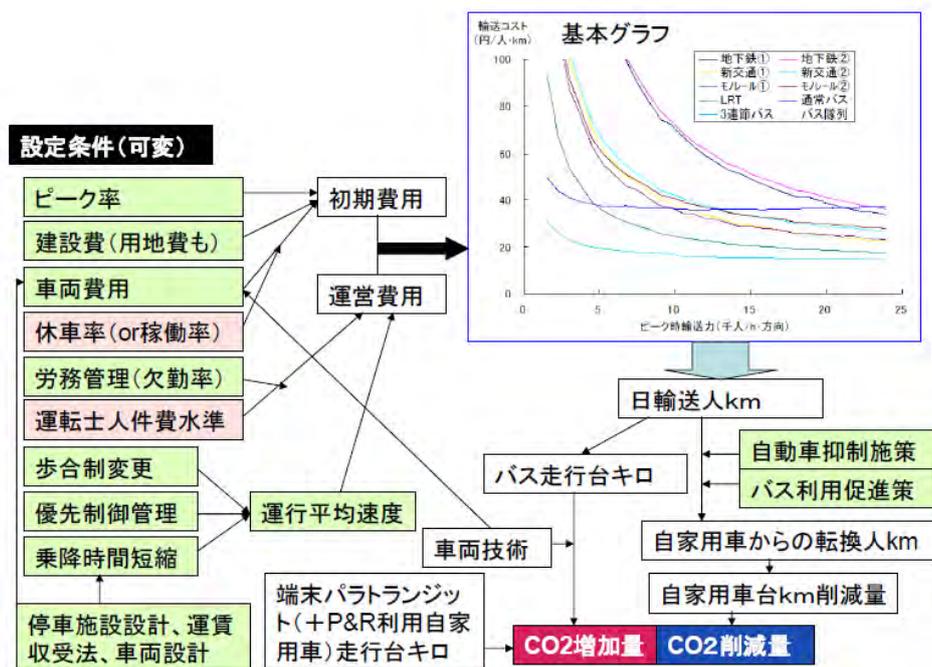
自家用車需要の調整については、保有は決して大きな問題ではなく、利用であり、駐車場及び路上駐車規制運用が大きな鍵となる。この部分は都市交通全体の枠組みの中に位置付けるべきで、決して、独立な交通取り締まり業務、都市計画誘導規制に位置付けさせてはいけない。都心に駐車場が増える限り自家用車需要は減らず、公共交通が期待されている役割を果たすことも容易ではない。自家用車利用者の外部費用を内部化し、支払った費用を公共交通に回すような、先進国での発想は、そのまま途上国大都市にもあてはまる。

土地利用計画については、制度の設計上の問題はむしろ少なく、それを実際に運用していくときの戦略が重要となる。クリチバの事例については、大地主の意思決定にターゲットをあてて制度設計をして運用しているところを理解する必要がある。BRTや都市鉄道の駅周りに、いわゆる公共交通指向型の開発を誘導するためには、駅周りの土地を所有している大地主たちが、その方向の開発が「美味しい」と思えるような制度設計はどうしてもかかせない。バンコクのBTSで、開業から数年を経て、自主的に沿線商業施設から駅舎への歩道橋が建設されるようになったことからわかるように、鉄道が魅力的であれば、都市のかたちは変わっていく。その仕掛けづくりと、土地所有者への動機づけ戦略が必要といえる。

(3) ミクロ治療ビジョン提示

1) バスシステムの運用

アジア途上国都市におけるバスシステムの運用のあり方を提示するため、バスの輸送能力を計算し、本研究で重要性が確認できた各要素および費用項目等を組み込んで、与えられた需要を処理するバスシステムの必要経費を算出するフローを構築した。多くの教科書やマニュアルで、鉄道、LRT、BRT、通常バス等の一時間片方向あたりの輸送能力の標準値が示されているが、それらの値は明示されたものと明示されていないものを含む数々の条件下での標準値に過ぎない。例えば極論すれば、片側 5 車線のバス専用道路を導入して、大規模な立体バスターミナルを各駅に導入し、大量の車両と運転士を用意すれば、相当量の輸送能力になる。現実には、駅部分で追い越しを可能とし、同時に 12 台まで発着できる駅を用意することで、1 時間 300 台の連節バスを運行し、1 時間 1 方向あたり 4 万 5 千人の輸送能力を確保しているボゴタの例などをみると、輸送能力の標準値は、ある常識で考えた場合の値に過ぎないことに気づく。むしろ輸送能力は、さまざまな要因によって可変になり、そこで想定される要因は費用換算できると仮定することが適切である。さらに、これまでの分析で明らかになったように、運転士の給与体制や、車両の運用管理方法なども運営費に大きく影響する。



図(4)-11 バス輸送能力計算フローと二酸化炭素排出量推計計算の整理

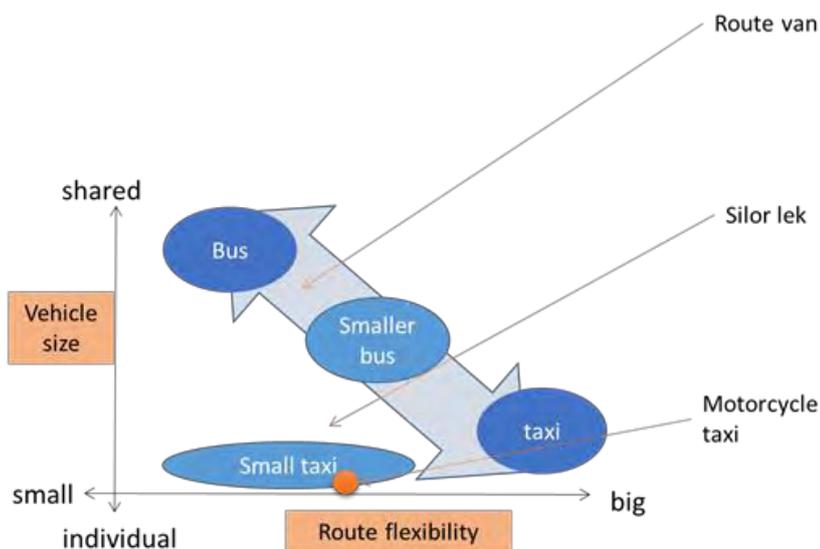
このフローと、自家用車抑制策や公共交通利用促進策を組み合わせることで、どのようなバスシステムがどれだけ二酸化炭素削減に貢献できるかを示す手法を構築することができた(図(4)-9)。フローへのインプットをつなげることにより、在来型のバス運営体制や労務管理体制からの脱却、バス車両や停車施設の設計及び運用の工夫が、質の高いバスシステムには必要かつ、二酸化炭素削減の面でも効果がありえることを確認した。

## 2) パラトランジットの運用

軌道系交通機関やBRTを整備したときに必須の課題となる端末輸送について、開発途上国の大都市でインフォーマルセクターに位置付けられているものの、十分な量が存在しているパラトランジットの活用可能性に着目した。例として、バンコクにおいて各交通手段がこれまでどのような経緯を辿ってきて、今後どうなり得るかを整理した（表(4)-3）。

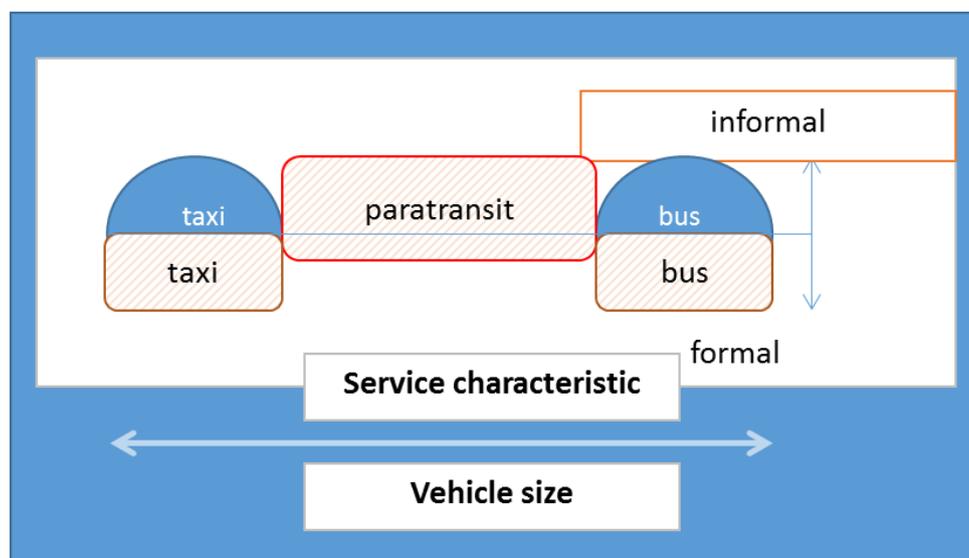
表(4)-3 バンコクの交通手段の変化の可能性

分類	交通手段	20世紀終り	21世紀初頭	近未来
個人交通	オートバイ	普及台頭	若干陰り	電動オートバイへ
	自家用車	大幅増加	依然増加	低公害車普及 利用形態は変化
タクシー型道路公共交通	ソイバイク	ソイ輸送で普及	都市軌道端末へ	電動化、軌道端末として地位確立
	トゥクトゥク	観光商品化	マンション送迎等	電動化。マンション送迎、観光商品で残存
	タクシー	大人気(中所得者など)	都市軌道に負け始める	供給過剰脱却
乗合型道路公共交通	シーローレック	一部地区組織化	一部地区で安定	電動化。一部地区残存。運営技術は電動ソイバイク等に波及
	ソンテオ	バス路線補完	バス路線補完	残存
	バス	低運賃。低所得者向けサービスイメージ	再編進まず	クリチバ型運営形態へ 転換し路線再編へ
軌道型幹線公共交通	BRT	×	1路線開業	複数路線開業
	都市軌道	×	路線開業が進む	ネットワーク効果発揮
	在来鉄道	低運賃、低所得者向けサービスイメージ	再生進まず	長距離路線に特化



図(4)-12 パラトランジットの分類概念図とバンコクの事例の位置づけ

パトランジットは、バスと自家用車の中間的な役割を担う交通手段として位置づけられるが、実際には、かなりバス寄りのもの、かなりタクシー寄りのものがある。タクシーは多くの場合、ある程度広域の営業区域を与えられるが、オートバイタクシーに代表されるように、営業区域をかなり狭く限定される場合がある。よって、乗合の程度（車両寸法）と、営業区域の広がり（路線の柔軟性）の2軸で各事例を分類することが望ましい（図(4)-12）。



図(4)-13 パトランジットのフォーマル性の概念図

また、一般にインフォーマルセクターと言われるが、税務署申告ベースで統計的にマネーフローが処理されるかどうか、で区分する限りはインフォーマルセクターと言えるものの、運輸事業制度が後追いにせよ整備されているものについては、合法的なシステムとして分類すべきである（図(4)-13）。なお、合法的なシステムのもと運転士が個人的に違法行為を働いている場合は、この限りでない。

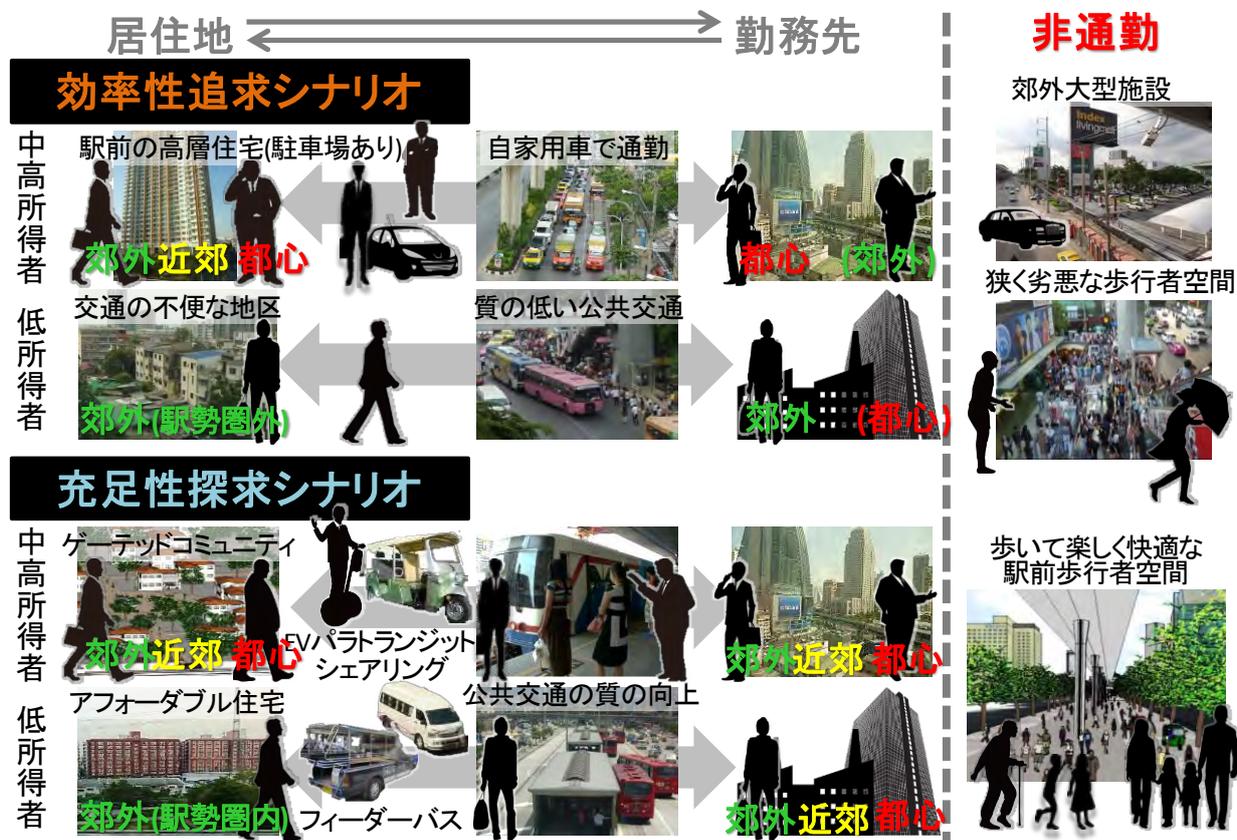
本研究では、バンコク都西部のエカチャイ地区にあるナパナコン組合でのシーローレックの運営が模範例となることを確認している。同事例では、苦情受付体制を有し、苦情が一度でもある運転士の営業を停止することによってサービスの質を担保し、地元に着した活動により、出稼ぎ運転士よりも地元のベテラン運転士を多く雇用し、地元で親しまれるシステムの位置づけを確立している。これにより、片側2車線道路でも、バス利用よりもシーローレック利用が好まれる状況を達成した。ちなみに日中でも約1分間隔で運行され、満席になると途中を通過するので、運転速度は法定速度ながら、ターミナルまでの所要時間はバスよりも速い場合が多い。

パトランジットの乗り継ぎにおける課題について、公共交通利用者と自家用車利用者へのアンケート調査を行った結果、安全で運賃システムが明確なシステムへであれば、乗り継ぎ抵抗が低くなることが分かった。特に、アジア途上国都市で利用が多いバイクタクシーについては、フレキシビリティは高いが、一方で事故危険性も懸念されるため、保険加入も含め、その安全性担保が大きな鍵となることが確認できた。

さらに、道路運用のあり方として、マイクロ交通流シミュレーションを用いて、パラトランジットと路線バスを含む自動車との混合交通状況下での交通容量の試算を行った結果、端末輸送で想定される需要量の場合、パラトランジットとの車線分離はかえって輸送効率を低下させる可能性をもたらすことを確認した。

### 3) ビジョン提示（大都市）

本研究の成果をもとに、他サブチームとの議論にも基づいて都市内交通ビジョンの提案に至った。図(4)-14に、将来ビジョンのライフスタイルに基づいて想定する交通行動の例を示す。また、これを支える土地利用交通システムのビジョンについて、都心、近郊（都心地区の外縁部）、郊外（市街化された都市域の辺縁部）にわけ、地区スケールでの空間構成について描いたものを表(4)-4と図(4)-15に示す。



図(4)-14 都市内交通ビジョンでのライフスタイル

例えば、バンコクについては、これまでのように、ただ鉄道を整備し郊外駅に公共交通指向型の開発を誘導する、というだけでは、長期を見据えた戦略のこたえとしては不十分という結論に達した。軌道系を軸とした都市への変革をより確実なものにするためには、都心側での徹底した歩行者優先、郊外駅での中所得者以上住民の公共交通利用誘導、点在する低所得者地域での教育活動の充実とそれに連携した公共交通政策等を加えるべきという提案に至った。

表(4)-4 都市内交通のビジョンの空間構成

	BAUシナリオ 駅前高層	中間シナリオ 駅間高層+端末輸送	カーフリーシナリオ
都心	徒歩圏空間	・100ha ・商業業務 ・高所得者用超高層住宅 (100人/ha)	・100ha ・商業業務 ・多様な超高層住宅 (150人/ha)
	駅勢圏空間	・徒歩圏内	・100~400ha ・商業業務 ・多様な高層住宅
	アクセス交通	・徒歩のみ	・バス型輸送 ・2km程度
近郊	徒歩圏空間	・100ha ・高所得者用高層住宅 ・若干商業	・100ha gated ・多様な高層住宅、若干商業
	駅勢圏空間	・徒歩圏内	・100~600ha gated ones ・多様な中低層住宅
	アクセス交通	・徒歩のみ	・バス型輸送&シェアリング ・2km程度
郊外	徒歩圏空間	・100ha ・中所得者用高層住宅 ・若干商業	・100ha gated ・多様な中低層住宅、若干商業
	駅勢圏空間	・徒歩圏内	・100~800ha gated ones ・多様な低層住宅
	アクセス交通	・徒歩のみ	・バス型輸送&シェアリング ・4km程度



図(4)-15 都市内交通ビジョンでの空間構成

この具体的なビジョンとして、原則的には鉄道（場合によっては BRT）を放射状ネットワークで設定し、その駅周り、駅までの徒歩圏アクセス、さらに広いエリアでの駅勢圏アクセスと空間構成を描いた。放射状の路線網を想定するので、都心側では路線密度が高くなり、結果的に駅勢

圏は小さくなり徒歩圏で用が足りるため、本プロジェクトでは、より大胆に都心から車を排除するカーフリーシナリオをめざしていくことを提案する（図(4)-16）。都心歩行空間化について、例えば、サイアム地区とシーロム地区で、周辺道路の一時的な混雑悪化を覚悟の上での歩行者空間化の実施が望まれる。

一方で、郊外については、駅勢圏を徒歩圏に限定することには無理があり、端末輸送が必要となる。ここでは、パラトランジットの活用を念頭に置き、カーシェアや自転車シェア、場合によっては電動オートバイシェアも視野に入れることになる。郊外駅前開発について、ゲーテッドコミュニティの片側の門を道路側に設けつつ、反対側の門を鉄道駅に直結するようなデザインを提示した（図(4)-17）。



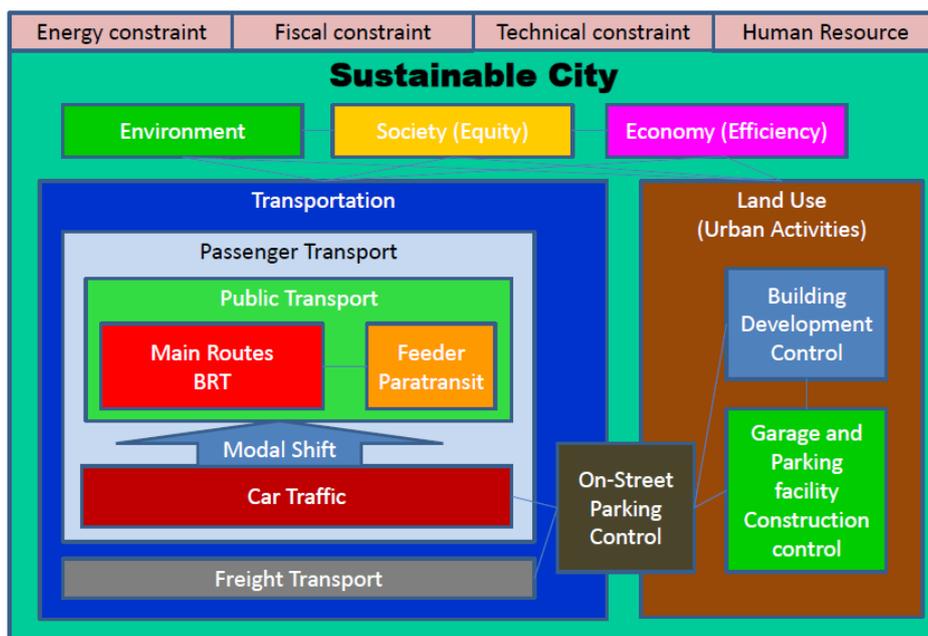
図(4)-16 地区交通ビジョン（都心）



図(4)-17 地区交通ビジョン（郊外）

4) ビジョン提示（中都市）

人口 100 万人前後の中規模都市については、都市バス輸送の事業者の体質強化を基本として、モータリゼーションに伴って顕在化している駐車問題等と連携をとる枠組み（図(4)-18）を理解して、各国の援助に基づいて BRT を基軸としたシステム展開（図(4)-19）を提案する。BRT システムが導入される前段階で、バス事業者としてのマネジメント能力を強化することの意義が大きいことは、クリチバやボゴタといった成功的事例と、ジャカルタやケンブリッジのように問題をかかえている事例からも明らかである。



図(4)-18 中規模都市に向けたBRTの位置づけについての提言



図(4)-19 ビエンチャンでのBRTを基軸とした都市交通体系提案

ビエンチャンの都市内バスは、レンタル方式の給与体制になっており、結果的にバス運転士はバス停外でも積極的に停車して乗降を行っている。利用者もバス停以外での乗降が当然のものとして理解しており、アンケート調査によると、バス停の存在を知らない、知っていても気にしない層が大半である。バスの運行速度が低い理由のひとつが、必ずしも道路混雑ではなく、その乗降箇所数に起因していることを確認し、またバスの速度が遅いことが、自家用車利用やオートバイ利用の増加にも影響していることを踏まえ、バス停以外乗降禁止の可能性について実証実験を行った結果、バス停以外での乗降は若干減少し、バスの所要時間の標準偏差を小さくすることができた。

本研究の成果を踏まえ、ビエンチャンのバス公社に運営改善の助言をした結果、時刻表の導入、クロックワイズダイヤ（毎時同じ時刻にバスが発車する）、新造車両によるワンマン運転の導入などの実現の支援ができた。さらに、日本支援で導入されたデジタルタコグラフを用いたバス停位置見直し案の作成や、安全運転技術評価制度の導入などの提案を行う準備までを行った。このケーススタディの中で、運営事業者のクオリティ向上、労務管理を含む財務システムの向上、配車や運転士管理の効率化、車両メンテナンス技術の確保などの重要性が明らかになり、長期ビジョンの提案において、具体的に現在のものをどう変えていけばよいかを示す土台をつくることに貢献できた。

## 5) 実現手法

我々が対象としている都市のスケールや現状は必ずしも一様ではない。すでに軌道系交通機関の導入が進みさらに展開が期待されているバンコクのような巨大都市から、一国の首都とはいえ、軌道系の計画には程遠く、バスシステムも必ずしも充実していないビエンチャンのような都市まで様々である。しかしながら、都市交通の改善に向けた方向性の中で共通点は多く、本研究の成果も共通項で集約できる部分は多いため、低炭素都市・交通システムの実現手法について、仕組みにかかること、連携にかかること、詳細な都市交通システムの設計にかかることにおいて整理した。仕組みについては、長期ビジョンの策定において、現時点から何をどのように変化させて目標を達成し、その持続を実現するのかを考えた場合、現在のシステムのどこを伸ばし、どこを変えていくのかを明確にすること、持続的なシステムとするためには、短期間で実現できるリーディングプロジェクトを明確にすること、その後の様々な不確実性に対して柔軟に対応できる仕組みを用意すること、が必須条件といえる。

連携について、まず労働政策との連携に関して、現在の交通システムを支えている労働市場について考える場合、さらなる都市の拡大、人口増は、一般的に農村からの人口流入と雇用拡大を無視できない。多くの都市で、これまでパラトランジットや在来バスシステムが担ってきたこの機能をどのように変えていくのか、人件費単価の変化を見据えた戦略が必要である。クリチバでもボゴタでも、システムの効率化をしながらも雇用人数規模の縮小は行っていない。むしろ人材の適正配置に工夫している面が強い。駅施設やパラトランジットの工夫は常に人材配置との連携で考える必要がある。バンコクでの調査分析から、パラトランジットが全面的に撤退するというシナリオを考える必要はなく、むしろ工夫して残すあるいは変革させていく可能性がある。

環境問題及び教育問題との連携については、特に低所得者層への教育の充実や環境保全活動への参加の仕組みが、将来の都市の担い手を育てるとともに、治安悪化防止につながる。治安の向上はそのまま自家用車から公共交通への転換につながるものであり、質の高い公共交通システムを用意できれば、それを維持する技術という面でも、財務的自立性を支える需要の確保という点でも、教育活動の間接的な効果は大きいといえる。近年のクリチバの状況は、その機能が一部不全に陥ったためとも考察でき、反面教師的に考えれば、教育の質の重要性を裏付けたともいえる。コミュニティ単位での地域の力を強める場として、クリチバの知の灯台や、メデジンの図書館公園のような施設の整備を、地区の歩行者空間確保や公共交通駅への動線確保と連携することの効果が大いだと考察できる。

これらのことを動かす上で、法制度の適切な見直しと、より費用効果的に機能させるために、労働市場や教育効果とバッティングしないかたちでの情報通信技術の活用は、とても重要な視点である。クリチバの現在の機能不全も情報通信技術に起因する部分もあること、ボゴタのBRTのトラブルも技術面での抜け（施工管理や道路交通制御の面）につながっていること、などからも重要性を確認できた。また、政治的配慮からの低運賃バスが経営を不安定にすることを踏まえ、基本運賃値上げをする一方で低所得者の公共交通利用をバスのみでなく軌道系まで拡大できる割引制度をICカード活用によって導入、といったメニューを具体的に設計する必要性もある。

アジアの都市交通のバスの運用では、運転士の給与体制や、車両の管理方式に多くの事例で前近代的な仕組みが残存している。ビエンチャンでのケーススタディで見られるように、BRTといった大量輸送機関を担い得る運営事業者としての運営体制近代化の可能性は、地道な技術支援の蓄積の上に可能である。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

これまで必ずしも十分に分析されていなかったアジアの都市交通の運営や制度上の課題を明らかにした。そして、アジア途上国の大都市及び中都市での低炭素交通システムの実現方策提案において、リアリティのある戦略立案のための計画理論を体系化することで、途上国の都市交通計画の研究における枠組みの強化に大きく貢献した。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

国土交通省自動車交通局でのバス事業の海外展開の検討において、本研究成果の一部である、ラオス国ビエンチャン市でのバス運営公社運営体質改善研究成果を紹介し、今後のアジア途上国都市へのバス事業展開政策立案作成に貢献した。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

環境省が主導的にアジア途上国大都市及び中規模都市の低炭素都市交通実現のための海外支援に携わる際に、既存運輸事業者の体力強化、鉄道や BRT 整備時の都心駅及び郊外駅の駅前地区改善歩行者化、郊外での鉄道駅直結型ゲーティドコミュニティ開発の支援、等のメニューをあげることができる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) P. T. T. HTUN, F. NAKAMURA, and T. OKAMURA: Journal of International City Planning, pp. 65-74 (2010)  
“A Comparative Study on Organizational Structure and Management System of Urban Bus Transport System in Metropolitan Cities of Developing Countries”,
- 2) P. T. T. HTUN, F. NAKAMURA, T. OKAMURA and R. WANG: Asian Transport Studies Journal (2011)  
“Influences of Bus Drivers’ Salary System on their Behaviors: Experience from Urban Bus Market of Developing Countries”,
- 3) P. T. T. HTUN, F. NAKAMURA, T. OKAMURA and R. WANG: Journal of International City Planning (2011)  
“A Study on Cost Structure of Urban Bus Operators in Asian Countries”
- 4) P. T. T. HTUN, F. NAKAMURA and T. OKAMURA: Journal of Japan Society of Civil Engineers (2011)  
“Comparative Study of Public Bus Transit Performance in Megacities of Developed and Developing Countries: Cases of Yokohama, Hanoi, Bangkok, and Jakarta”
- 5) S. PEAMSOOK, F. NAKAMURA, T. OKAMURA and R. WANG: Journal of International City Planning, pp.111-123. (2012)  
“Evaluating Transit-Oriented Development along Urban Railway in Bangkok, Thailand”
- 6) J. M. ASHRAF, T. OKAMURA, F. NAKAMURA and R. WANG: Journal of International City Planning, pp. 225-236 (2012)  
“A Study on Commuter’s Preferences and Satisfaction towards Public Transportation: A Case of Para-Transit Service in Lahore, Pakistan”
- 7) J. M. ASHRAF, T. OKAMURA, F. NAKAMURA, S. TANAKA and R. WANG: Journal of Recent Trends in Civil Engineering and Technology, 2(3), pp. 45-59 (2012)  
“Methodology for Evaluating the Driver’s Attitudes towards Transportation DeMuhhamand Ashurafnd Muhhamand Ashurafnagement Measures in Lahore, Pakistan”

- 8) 外山友里絵、中村文彦：日本都市計画学会都市計画論文集 (2012)  
「開発途上国大中都市へのBRT導入に関する研究 - クリチバ・ボゴタ・ジャカルタから学んで -」
- 9) J. M. ASHRAF, T. OKAMURA, F. NAKAMURA, S. TANAKA and R. WANG: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (2013)  
“Public attitudes towards TDM strategies in Lahore, Pakistan: Importance of lifestyles, social and travel related beliefs”
- 10) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and R. WANG: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (2013)  
“Residential Location Choice Analysis along the Urban Railway Corridor in Bangkok, Thailand”
- 11) Y. TOYAMA and F. NAKAMURA: The Selected Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research (2013)  
“A STUDY ON BRT APPLICABILITY ON LARGE CITIES IN DEVELOPING COUNTRIES”
- 12) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and R. WANG: Journal of International City Planning (2013)  
“Analysis of Location Choice Behavior and Urban Railway Commuting of Bangkok’s Households”
- 13) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and R. WANG: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 10 (2013)  
“Location and Mode Choice Decision Mechanism Analysis of Multi-Worker Household in Bangkok, Thailand”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない、

(2) 口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない。

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない、

(6) その他

特に記載すべき事項はない、

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない、

## (5) アジアにおける交通・国土構造の経済・環境バランスへの影響モデルに関する研究

南山大学ビジネス研究科

奥田 隆明

平成24～25年度累計予算額：6,650千円

(うち、平成25年度予算額：3,150千円)

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

今後、東アジアでは急激な経済成長によってその空間開発パターンが大きく変化することが予想される。また、これに伴って実施される交通投資、中でも都市間交通への投資は東アジアの空間開発パターンにも影響を与え、これによって東アジアのCO<sub>2</sub>排出量は大きく変化するものと予想される。本研究では、都市間交通への投資が東アジアの空間開発パターンに与える影響を評価しながら、都市間交通から排出される環境負荷の大きさを把握する環境・経済統合型モデルを開発した。そして、この評価モデルを空間スケールの異なる地域に適用し、それぞれの地域で低炭素アジアを実現するために必要な都市間交通政策について分析を行なった。

まず、大メコン流域圏を対象にした分析では、今後、経済成長に伴うGDPの増加が貨物輸送量を増加させ、トラック輸送が主流化するとCO<sub>2</sub>排出量が急激に増加すること、そのため、炭素税の導入などによって貨物需要を抑制しながら、鉄道貨物のような低炭素都市間交通システムへの投資を進めることが重要であることを明らかにした。また、タイを対象にした分析では、これまで首都バンコクに産業を集積させながら高い経済成長を実現してきたが、今後、こうした空間開発パターンではCO<sub>2</sub>排出量がさらに増加すること、CO<sub>2</sub>排出量を削減するためには首都圏以外の地域に産業を分散化させる必要があることを明らかにした。

### [キーワード]

都市間交通政策、空間開発パターン、大メコン流域圏、貨物鉄道

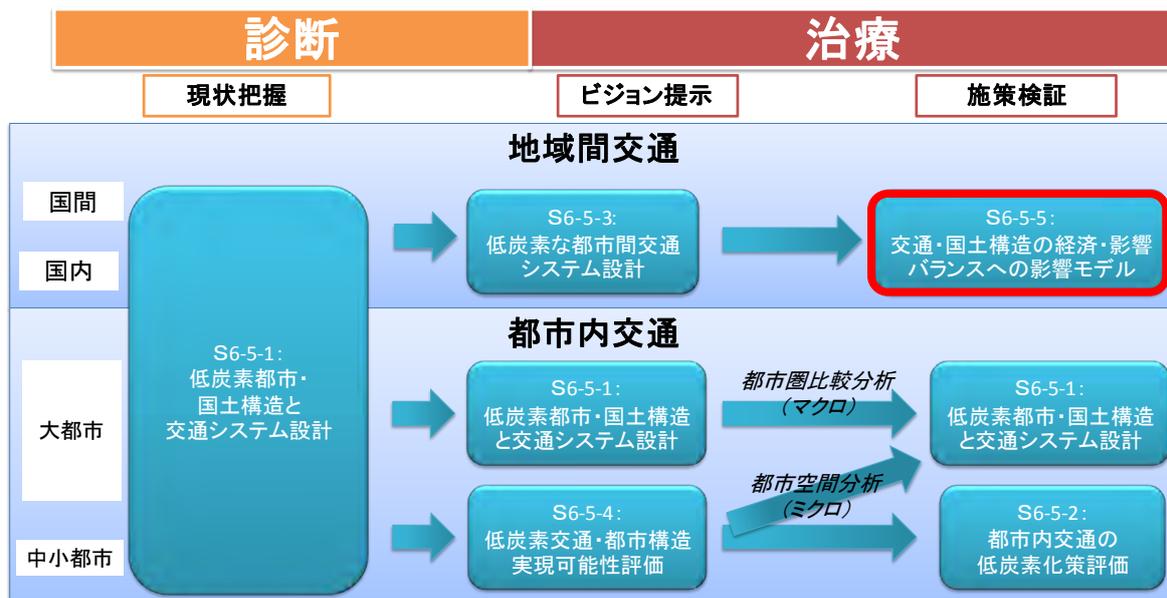
### 1. はじめに

これまで東アジアでは、海上輸送を中心にした貨物輸送が行われ、こうした海上輸送に適した沿海都市では高い経済成長を実現してきた。しかし、今後、さらなる経済成長を実現するためには、これらの沿海都市を相互に結ぶ陸上輸送や、沿海都市と内陸都市を結ぶ陸上輸送が重要になることが予想される。また、こうした輸送がトラック輸送によって行われはじめると、CO<sub>2</sub>排出量が急激に増加することも予想される。現在、ヨーロッパやアメリカでは、こうした都市間交通部門のCO<sub>2</sub>排出量を削減するために多くの取り組みが行われているが、一度、高速道路への投資が進み、トラック輸送が主流化すると、これを低炭素な交通システムに変更することはきわめて難しくなる。こうした先進国の経験も踏まえながら、今後、東アジアの都市間交通システムをどのように構築していくかは、地球環境問題を考える上できわめて重要な問題となる。

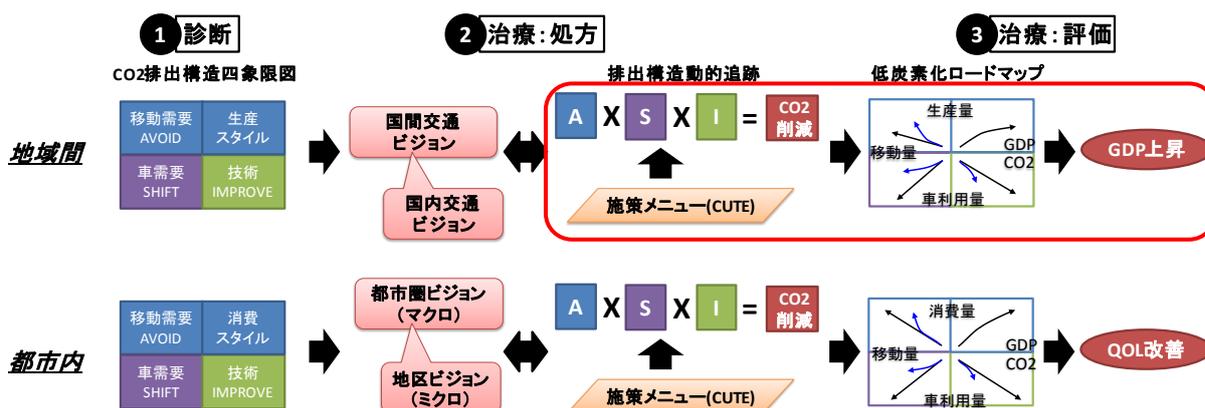
他方で、都市間交通投資は東アジアの空間開発パターンに大きな影響を与えることが予想される。つまり、沿海都市と内陸都市を結ぶ都市間交通投資が行われれば、これまで開発の進まなか

った内陸都市でも開発が進み、これによって東アジアの CO<sub>2</sub> 排出量も大きく変化する。そのため、こうした都市間交通投資が東アジアの空間開発パターンに与える影響も考慮しながら、東アジアの CO<sub>2</sub> 排出量を把握して行く必要がある。さらに、低炭素な都市間交通投資が進んだとしても、これによって交通利便性が向上すると、交通需要が増加することも予想される。そのため、低炭素な都市間交通システムを構築するためには、単に低炭素な都市間交通投資を行うだけではなく、交通需要を抑制するような政策もあわせて実施し、これらの交通政策を総合的に推進することが重要になるものと考えられる。

2. 研究開発目的



図(5)-1 S-6-5-5 研究の位置づけ



図(5)-2 S-6-5-5 分析の重点

本研究では、サブテーマ（3）と連携しながら、今後、急速な経済成長が見込まれる東アジアにおいて、都市間交通システムの将来ビジョンを実現するために必要な都市間交通政策のロード

マップを明らかにすることを目的とする。そのために、低炭素アジアを実現するために必要な都市間交通政策を整理し、これらの都市間交通政策を評価するための環境・経済統合型モデルを開発する。そして、このモデルを空間スケールの異なる地域に適用し、それぞれの地域で低炭素化を実現するために必要な都市間交通政策の組合せを明らかにする。

### 3. 研究開発方法

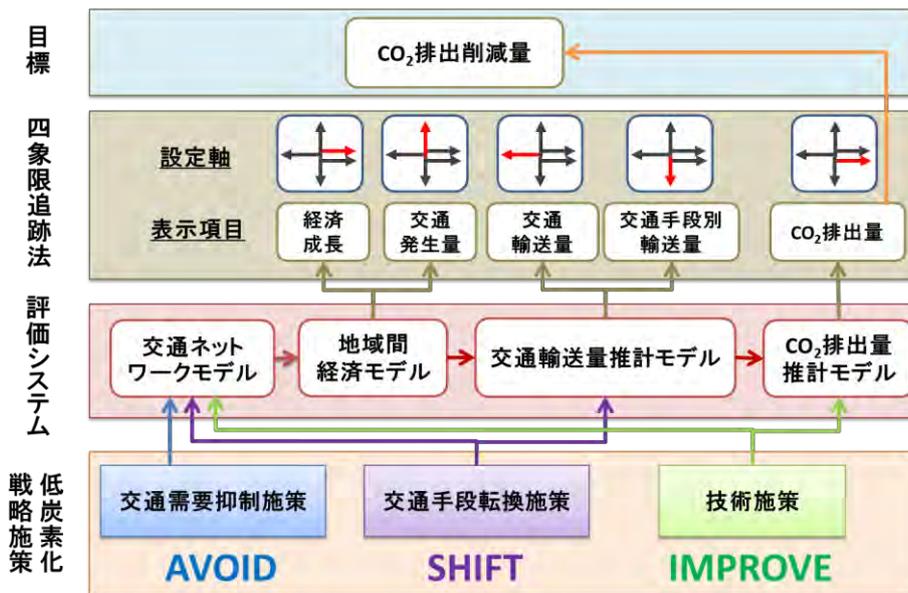
#### 1) 国内都市間交通の治療（タイ）

東アジアのような開発途上国では大都市圏（特に首都圏）で経済成長がスタートし、経済成長によって市場規模が拡大すると、これがさらに多様な産業を大都市圏に集積させる。タイにおいても、これまで首都バンコクに産業と人口を集積させながら、高い経済成長を実現してきた。逆に、多様な産業が集積した大都市圏の周辺地域にはいわゆるロックイン効果が働いて、新たな産業の集積を妨げる。本研究では、今後、経済成長によって東アジア諸国にどのような空間開発パターンが生まれるのかを分析するために、産業集積を考慮した経済モデルを開発した。そして、これをタイ国内の都市圏毎の開発に適用し、新しい都市間交通投資がタイ国内の都市圏毎の産業集積にどのような影響を与えるのか、こうした新たな空間開発パターンがこの地域から排出されるCO<sub>2</sub>にどのような影響を与えるのかについて分析を行った。

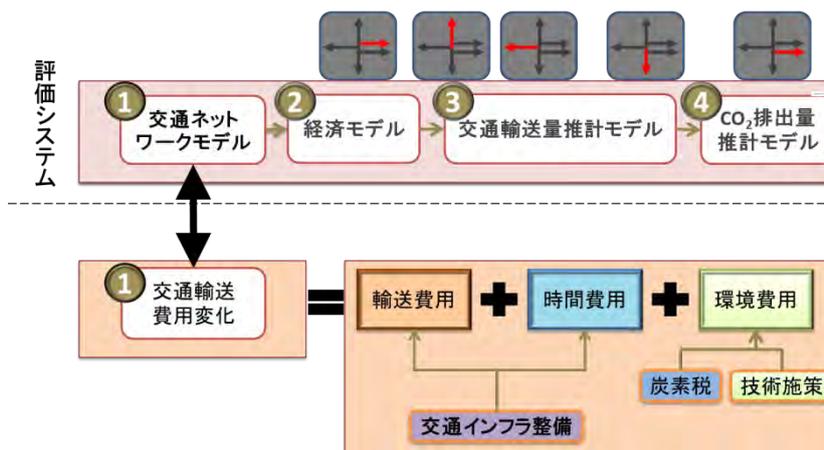
#### 2) 国際交通の治療（大メコン圏）

サブテーマ（3）が提示した地域間交通のビジョンを実現するために必要な都市間交通政策がCO<sub>2</sub>排出量に与える影響を評価する環境・経済統合型モデルを開発した（図(5)-3、図(5)-4）。この評価モデルは、1)都市間交通に与える影響を評価する交通モデル（交通ネットワークモデル及び交通輸送量推計モデル）、2)地域経済に与える影響を評価する経済モデル（地域間経済モデル）、3)CO<sub>2</sub>排出に与える影響を評価する環境モデル（CO<sub>2</sub>排出量推計モデル）から構成されている。本研究では、交通ビジョン実現による交通費用変化、時間費用変化、環境費用変化を織り込んだ交通ネットワークを独自に設定する。さらに、東アジアは経済成長が著しいことから、交通ビジョン実現による空間開発パターンの大きな変化の発生も見込まれる。従って、交通ビジョン実現による空間開発パターン変化の定量化を行うために、経済モデルを構築する。そこでは、各国のGDP変化、及び前述の交通ネットワーク変化による空間取引パターンの変化を組み込むことで、交通便利性の変化が地域間取引に与える影響を評価する。また、地域間取引が変化すると交通需要も変化するため、環境モデルでは交通需要の変化に伴うCO<sub>2</sub>排出量の変化を評価する。

分析にあたり、個別施策効果による影響を把握するために、ここでは四段階のシナリオを設定し、施策追加による低炭素化への影響を分析している（図(5)-5）。具体的に検討する施策としては、鉄道導入による効果、貨物の物量が軽量化することによる効果（貨物の高付加価値化）、炭素税導入による効果、燃費改善などの技術革新効果の四つである。これらを一一つ積み上げて分析を行った。



図(5-3) モデルの全体構成



図(5-4) 地域間交通ビジョンとモデル構造の関係性

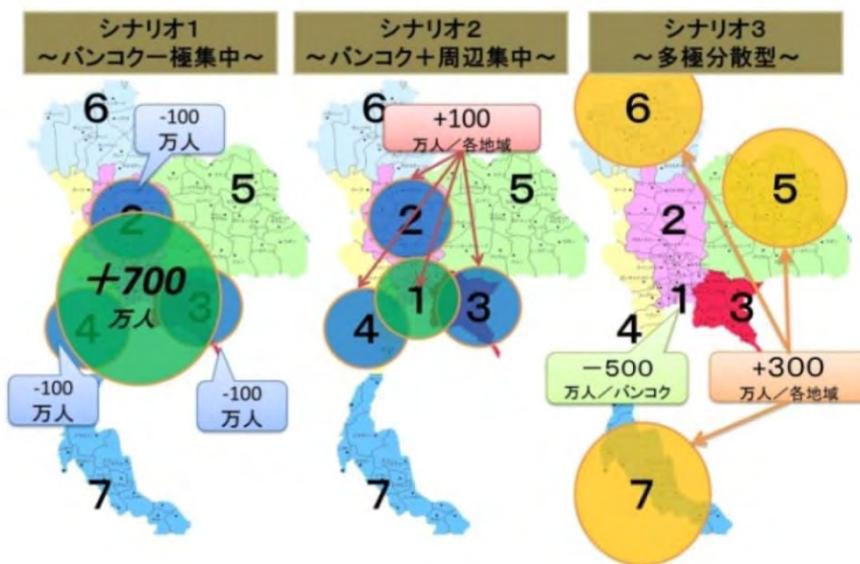
	BAU vs 鉄道導入	鉄道導入 + 貨物高付加価値化	鉄道導入 + 炭素税	鉄道導入 + 技術革新
鉄道導入	○	○	○	○
貨物の 高付加 価値化	×	○	○	○
炭素税	×	×	○	○
技術革新	×	×	×	○ (10%)

図(5-5) 四段階の分析シナリオ設定

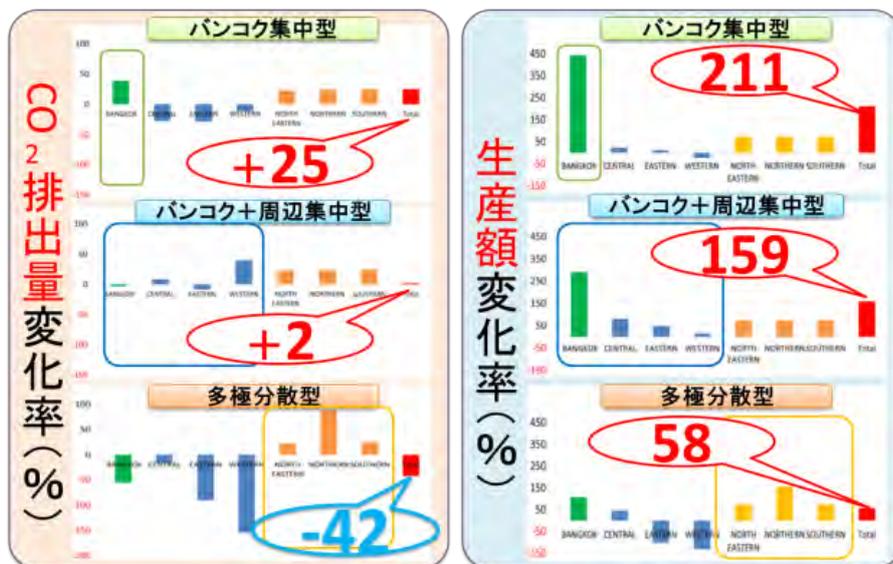
4. 結果及び考察

1) 国内都市間交通の治療 (タイ)

モデル分析結果について、図(5)-6 にタイの都市圏毎の人口分布を、図(5)-7 に人口分布によるCO<sub>2</sub>排出量と生産額の違いを示す。



図(5)-6 タイの人口分布シナリオ



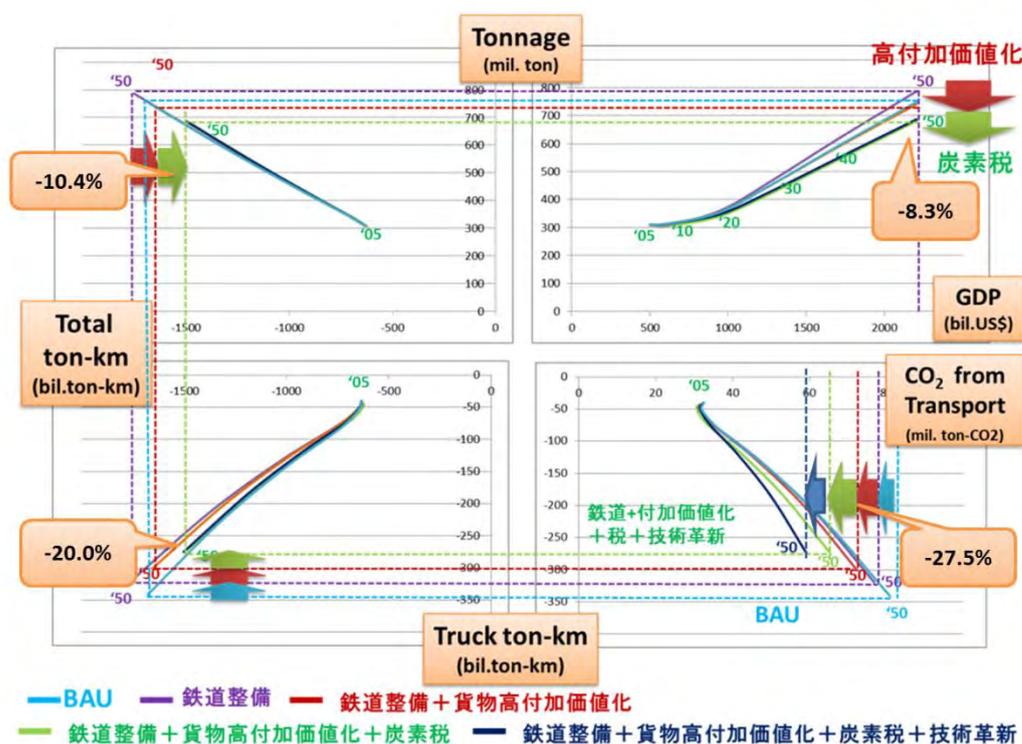
図(5)-7 タイにおけるCO<sub>2</sub>排出量と生産額のトレードオフ関係  
(2005年から2030年までの変化率)

今後、首都バンコクに人口を集中させた場合（シナリオ1）、タイの経済は最も成長するものの（211%増加）、CO<sub>2</sub>排出量も最も増加する（25%増加）。他方で、首都バンコクの人口を減らし、地方圏に人口を分散化させた場合（シナリオ3）、タイのCO<sub>2</sub>排出量は低下するが（42%減少）、こうした空間開発パターンはタイの産業競争力を低下させ、経済成長を鈍化させることになる（58%増加）。このようにCO<sub>2</sub>排出量と生産額はトレードオフ関係にあり、タイの国民がどちらを重要視するかによって望ましい空間開発パターンも異なったものとなる。何れにしても、CO<sub>2</sub>排出量を減らすためには、首都バンコクに集中した人口をその周辺地域も含めた地域にもう少し分散させていく必要があることが明らかになった（シナリオ2）。

## 2) 国際交通の治療（大メコン圏）

開発した都市間交通政策の総合的評価手法を大メコン流域圏（中国・タイ、ベトナム、ラオス、カンボジア、マレーシア、シンガポール）に適用して、その有用性を確認した。大メコン流域圏では、今後、経済成長に伴うGDPの増加が重量（Tonnage）ベースの貨物輸送量を増加させ、あわせて輸送距離の増加がトンキロ（Total ton-km）ベースの貨物輸送量を増加させる（図(5)-8）。このとき、トラック輸送（Truck ton-km）が主流化すると都市間交通部門のCO<sub>2</sub>排出量は急速に増加し、2050年には2005年の2.5倍にまで増加することが見込まれる（BaUシナリオ結果）。このように、低炭素化施策が導入されなければ増大するCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、各種施策の導入が必要である。まず初めに、鉄道非導入に対して、新規に貨物鉄道（スピードは60km/h）を導入することで、CO<sub>2</sub>排出量はBaUに対して2050年において6.1%削減する。次に、長期的に貨物が軽量化されることを考慮した貨物の高付加価値化（1980年～2010年の日本と同レベル）により、同じGDP当たりの貨物発生量が抑制されることにより、貨物輸送量（ton-km）も抑制されることで、最終的に貨物の高付加価値化によって二酸化炭素排出量は5.4%削減する。これに加えて、二酸化炭素排出量の削減には、空間取引輸送距離の短縮化が重要であることから、短距離かに資する施策として炭素税（2,500\$/t-C）を導入する。その結果、交通費用の上昇により短距離取引が増加することで、ton-kmの増加が抑制されることで、2050年のCO<sub>2</sub>排出量を貨物の高付加価値化によるCO<sub>2</sub>排出量の減少量に対して、さらに9.0%削減することが可能となる。最後に、低炭素な貨物鉄道技術の開発（CO<sub>2</sub>排出原単位が10%低下）を組み合わせることで導入することにより、炭素税導入に加えてさらに7.0%削減する。

これらの各施策導入による結果を整理すると、交通需要削減策（AVOID策：炭素税導入、貨物の高付加価値化）によって14.4%、交通手段転換策（SHIFT策：鉄道導入）によって6.1%、新技術開発(IMPROVE策：燃費改善などの技術開発)によって7.0%、全体で2050年のCO<sub>2</sub>排出量をBAUに対して27.5%削減できることが明らかになった。ただし、この地域では高い経済成長によって都市間交通需要が大幅に増加することが見込まれるため、2005年と比較すると2050年のCO<sub>2</sub>排出量は80.7%増加することになる。途上国で経済成長に伴い増加する都市間交通部門のCO<sub>2</sub>排出量を削減するためには、貨物鉄道等、低炭素都市間交通システムへの投資と、あわせて炭素税のような交通需要抑制策をパッケージ化して総合的に推進することが重要であることが明らかになった。



図(5)-8 大メコン流域圏におけるCO<sub>2</sub>排出量の変化

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

アジアのような開発途上地域では地域間交通投資が空間開発パターンに大きな影響を与える。これまでアジアのCO<sub>2</sub>排出量を予測する上で、こうした地域間交通政策の影響を考慮することは困難であったが、1)交通モデル、2)経済モデル、3)環境モデルからなる、環境・経済統合型モデルを開発することにより可能になった。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

アジアにおける都市間・国間といった地域間のスケールでも、タイ、ベトナム、インドなどを中心に鉄道整備計画が進められている。本研究が示すサプライチェーンの立地を考慮した鉄道指向型経済・工業開発（産業 ROD: Rail Oriented Development）は新たな低炭素化手法の概念であり、途上国の経済成長の方向性を一転させうるものである。日本政府によるインフラ輸出の動きの中で、インフラ運用・産業開発の点も含めて日本政府がイニシアティブを取るために、このような研究成果を活用していくことが期待される。

## 6. 国際共同研究等の状況

四川大学観光学部（中国）の呉春涛准教授との共同研究を実施した。この共同研究の中で、中国と日本、中国と大メコン圏との旅客交通について情報収集を行った。この研究成果の一部は南山大学経営研究センターのワークショップでも報告頂き、中国と日本、中国と大メコン流域圏の都市間交通に関する新しい共同研究の可能性について検討した。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

#### <査読付論文に準ずる成果発表>（対象：社会・政策研究の分野）

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

### (2) 口頭発表（学会等）

特に記載すべき事項はない

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

### (4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 建設工業新聞（2013年10月15日、創刊85周年記念特集号「国土のかたちを考える」、27頁）  
「世界に例のない大交流圏が誕生」

### (6) その他

特に記載すべき事項はない

## 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない

## **Research on Realization of Measures for Low-Carbon Transport System in Asia**

Principal Investigator: Yoshitsugu HAYASHI

Institution: Nagoya University

C1-2(651), Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan

Tel: +81-52-789-2772 / Fax: +81-52-789-1454

E-mail: yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

Cooperated by: Nihon University, Tokyo Institute of Technology, Yokohama National University, Nanzan University

### **Abstract**

**Keywords:** Urban transport, Mass rapid transit, Feeder transport, Transit-oriented development, Bangkok, Interregional transport, Intermodal transport, Supply chain, Rail-oriented development, Greater Mekong Subregion

Low-carbon transport systems decoupled from economic growth need to be designed to avoid rapid increases in CO<sub>2</sub> emissions in Asian developing countries. In this study, a tool was developed to systematically propose low-carbon transport systems for these countries as well as roadmaps to realize them by flexibly designing a policy package among a range of options in a leapfrog manner using a backcasting approach. In the initial stage of the study, a diagnosis was implemented to clarify the mechanisms of CO<sub>2</sub> emissions from transport in Asia. Measures for CO<sub>2</sub> mitigation can be classified into three strategies: to AVOID unnecessary travel, to SHIFT transport modes to those with low emissions, and to IMPROVE transport energy efficiencies. By decomposing CO<sub>2</sub> emissions into causal factors, we found that rapid growth in CO<sub>2</sub> emissions in Asian developing countries is largely caused by increases in transport distances (AVOID) and road transport share (SHIFT), due to rapid motorization and unplanned spatial development.

Based on this diagnosis, we proposed visions of transport systems to meet expanding transport demand and improve quality of life, taking future changes in transport demand into consideration. The proposed vision of an urban land-use transport system consists of compact cities having well-connected urban centers (AVOID), a seamless and hierarchical transport system (SHIFT), and technological development for road transport (IMPROVE). Moreover, it is important to integrate urban transport systems with interregional transport systems to reduce traffic congestion. The proposed vision of an interregional transport system consists of rail-oriented development of industries (industry ROD)

to develop a region-wide international rail network for both freight and passenger transport (SHIFT) and surrounding industrial corridors (AVOID), and technological development for trucks, marine vessels, and aircraft (IMPROVE).

This study also tested policy packages to realize the visions. The results of our analysis show that many megacities in the ASEAN region need to extensively develop mass rapid transit (MRT) at an early stage of urban development in order to realize drastic CO<sub>2</sub> mitigation. Moreover, a case study analysis of Bangkok shows the potential effectiveness of car-free station development not only in terms of CO<sub>2</sub> mitigation, but also reduction of traffic congestion and improvement of quality of life.

With regard to interregional transport, our analysis of domestic transport in Thailand found that polycentric development from existing megacities to surrounding cities is a more low-carbon approach. Moreover, the results of our analysis of international transport in the Greater Mekong Subregion (GMS) indicate that the development of an international rail network can contribute both to economic development and CO<sub>2</sub> mitigation.