

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

山本 充洋¹・中村 一樹²・藤田 将人³・加藤 博和⁴・林 良嗣⁵

¹正会員 株式会社NTTデータ (〒135-6033 東京都江東区豊洲3-3-3 豊洲センタービル)
E-mail:michi0225@gmail.com

²正会員 名古屋大学 大学院環境学研究科
E-mail:k.naka@urban.env.nagoya-u.ac.jp

³学生会員 名古屋大学 大学院環境学研究科
E-mail:mfujita@genv.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学准教授 大学院環境学研究科
E-mail:kato@genv.nagoya-u.ac.jp

⁵フェロー 名古屋大学教授 大学院環境学研究科
E-mail:yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

急激なCO₂排出量の増加が見込まれるアジア途上国において、低炭素都市・交通システムの実現が求められることを背景とし、その効果的な構成要素の組み合わせを検討することを目的とする。アジア途上国では詳細なデータの入手が困難であるため、マクロな都市属性を予測した上で、それを満たす仮想的な都市空間構造を複数設定し、その設定が長期的将来に実現した場合の運輸部門CO₂排出量を推計するモデルを構築する。構築したモデルを用いて、バンコク首都圏を対象に、低炭素都市・交通システム構成要素の組み合わせによるCO₂排出量削減効果を分析する。その結果、一極集中型、多極分散型、線上集中型、それぞれの都市形状で、構成要素の組み合わせによる削減量が大きく異なることが示された。

Key Words : *low-carbon transport, land-use, transport system, Asian developing countries*

1. はじめに

今後、目覚ましい経済成長が見込まれるアジア途上国では、CO₂排出量の急増が予測されており、中でも運輸部門における排出量の増加は著しいことが懸念される。温暖化による被害を最小限に留めるためには、アジア途上国が先進国の轍を踏まず、早期に低炭素都市・交通システムへ移行するための戦略を立てることが不可欠である。低炭素交通施策は、車両・エネルギー技術の改善(IMPROVE)、低炭素交通手段への転換(SHIFT)、交通需要自体の抑制(AVOID)の3つに分けることができ、これらを効果的に組み合わせた包括的な施策実施が求められる。旅客交通についてはIMPROVE施策の効果が非常に大きく、SHIFT、AVOID施策も充実しているのに対して、貨物交通はIMPROVE、SHIFT施策による効果が小さいことが懸念される。特に、経済成長による物流量の増加が見込まれるアジア途上国においては、貨物交通の低炭素化を見込めるAVOID施策が特に重要となることが予想される。

AVOID施策の主なものとして、都市空間構造の変更によるトリップ長の減少が考えられる。CO₂排出の長期的な大幅抑制のためには、現状に捕われない大胆な都市空間構造の変更を視野に入れる必要があり、その検討のためには、先に到達すべき将来ビジョンを定めた上で、到達に必要な施策投入量を逆算するバックキャストイングアプローチの手法が有効である。しかし、経済成長の途中段階であり、分析に必要なデータが十分整理されていないアジア途上国においては、到達目標である将来ビジョンの検討が十分に進められていない。

本研究では、長期的将来のアジア途上国において、低炭素都市・交通システムの構成要素の組み合わせによるCO₂排出量削減効果を分析し、到達すべき将来ビジョンを示すことを目的とする。まず、アジア途上国の多様な将来ビジョンを表す仮想的な都市空間構造の影響を分析可能な都市内交通起源CO₂排出量推計モデルを構築する。そして、ケーススタディとして、このような都市空間構造が2050年のバンコク首都圏で形成された場合を想定し、低炭素都市・交通システム要素の組合せによるCO₂削減

効果の幅を示す。

2. 研究の位置づけ

都市内交通起源CO₂排出量推計手法は、その評価スケールによってマクロ分析とミクロ分析に分けられる。

マクロ分析は、対象都市全体や、それを大きなスケールで分割した各地域を単位としてCO₂排出量を推計する手法である。梅ら¹⁾は、丸田ら²⁾による日本都市のパネルデータを用いた、平均所得、DID人口密度、駅数、道路延長を説明変数とするCO₂排出量推計モデルを、上海・北京・デリーに適用し、2050年までのCO₂排出量を予測している。これらの分析は、限られた入手データで都市空間構造とCO₂排出量の関連性を分析できるが、具体的な都市形状による交通移動距離、交通機関分担率、道路混雑への影響を詳しく評価できないという欠点がある。

ミクロ分析は、個々人の交通行動に着目し、その総和からCO₂排出量を推計する手法で、詳細なスケールでの分析が可能である。池下ら³⁾は、タイ東部の中心都市であるコンケン市を対象に、実際に導入が検討されているBus Rapid Transit(BRT)路線の建設を前提に、同時に公共交通指向型都市開発(Transit Oriented Development : TOD)施策やBRT運行改善施策等を実施した場合のCO₂排出量を推計した。また、紀伊ら⁴⁾は、都市の活動主体の行動を明示的に考慮した土地利用交通モデルを構築し、仮想的な都市条件下で、郊外開発規制等の政策が運輸部門CO₂排出量に与える影響を分析している。これらの分析では、道路混雑や都市形状による影響を加味できるという利点があるが、スケールを詳細にすればするほど、実都市への適用に際して、必要データやモデル分析作業が膨大となる。また、現在のデータからモデルを構築しているため、長期的将来の変化を表現できない。

さらに、上記の既往研究ではいずれも、都市空間構造の改変によるCO₂削減効果の中でも特に期待が大きい、都市内貨物交通への影響評価ができていない。

以上の整理を踏まえて、本研究の視点を示す。アジア途上国における低炭素都市・交通システムの長期的将来のビジョンを示すためには、限られたデータで、都市形状の影響を加味できると同時に、貨物交通への影響も評価可能なCO₂排出量推計モデルが必要となる。本研究では、マクロ・ミクロ分析の中間的スケール用いた評価を試みることで、都市形状が交通行動に与える影響を、貨物交通にまで範囲を広げた分析を可能とするCO₂排出量推計モデルを構築する。

表-1 評価対象要素の分類

Avoid	Shift	Improve
<ul style="list-style-type: none"> 都市形状の集約化 ネットショッピング 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄道整備 	<ul style="list-style-type: none"> Tank to Wheel 効率の改善 Well to Tank 効率の改善 低炭素自動車の普及 低炭素発電方法への転換

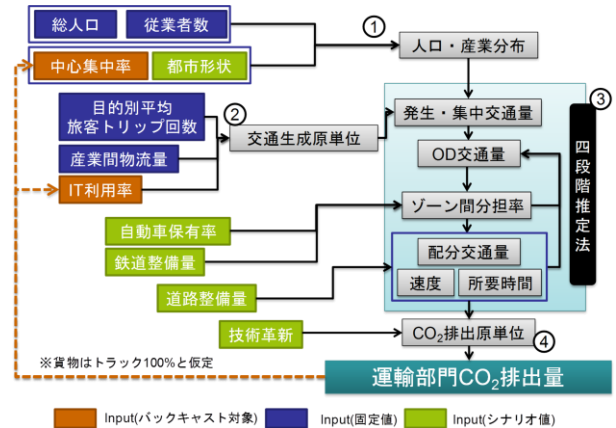


図-1 都市内交通起源CO₂排出量推計モデルの概要

3. 低炭素都市・交通システムによる都市内交通起源CO₂排出量分析手法

本研究では、表-1に示した低炭素都市・交通システムの構成要素を評価対象とし、長期的将来における都市内交通起源CO₂排出量推計モデルを構築する。図-1にその概要を示す。

本モデルは、①人口・従業者数の設定、②生成交通量原単位の推計、③交通量推計、④CO₂排出量の推計から成る。次項以降にて各段階の詳細を示す。

(1) 空間構造設定手法

アジア途上国において人口・産業の空間分布を考慮したミクロ分析による運輸部門CO₂排出量推計を行う際に、障害となるのはデータ入手の難度及び長期的将来の不確実性である。その対処として、本研究では、マクロ分析より得られた都市の将来人口・産業データを、空間に仮想的に分配することで、低炭素都市・交通システムの将来ビジョンを構成する理想的な都市空間構造を見いだす。代表的な都市空間構造として、一極集中型と多極分散型に、鉄道沿線により一様な開発を行う線上集中の3ケースについて比較検討を行う。

人口・産業を分配するゾーンの大きさは、3km×3kmメッシュを用いる。これは、おおよそ東京都やバンコク都の区に相当するスケールであり、アジア途上国においても人口データが比較的入手しやすい。都市空間構造は都心から30km圏内の地域を対象に設定する。ただし、

現在の大渋滞には、30km圏外からの交通による影響も大きいことが考えられるため、現状再現では最外部のゾーンに30km圏外の人口を加えることで、30km圏外からの交通の影響を評価に含める。

人口は、都市の中心となるゾーンを設定し、中心地からの距離に応じて配分を行う。実都市における分布傾向を参考に、式(1)を用いて、各ゾーンに配分する人口を決定する。

$$P_i = c \cdot \exp(-\chi d_i) \quad (1)$$

P_i : ゾーン*i*の人口[人]

c : 中心地人口[人]

d_i : 中心位置からゾーン*i*までの距離[km]

χ : パラメータ

線上集中については、鉄道移動における距離抵抗が低いと想定し、中心地からの距離における鉄道ネットワークの距離を実距離の1/5の距離として、沿線周辺の人口集約を表現する。

アジア途上国における産業の分布については、人口と同レベルの空間データを得ることが難しい。このため産業の分布割合は、人口に応じて業種別に決定するものとした。この分布割合の関係は、日本の実都市における分布傾向を参考に、一次産業のような人口に緩やかに比例する産業は人口の1/2乗に、サービス業のような中心に集中する産業は人口の4乗に比例するよう配分する(表-2)。

表-2 産業の分類

産業分類	立地分布の特徴	生成される交通(目的)
一次産業	人口に緩やかに比例	通勤, 物流
製造業	人口に緩やかに比例	通勤, 物流
インフラ・運輸業	人口にほぼ比例	通勤, 物流
商業	中心に集中	通勤, 物流, 買い物
サービス業	中心に集中	通勤, 物流, 業務サービス利用
医療業	人口にほぼ比例	通勤, 物流, 通院
教育業	人口にほぼ比例	通勤, 物流, 通学

(2) 生成交通量の推計手法

前項の手法で分布させた人口・従業者数に対して生成交通量原単位を乗ずることで、生成交通量を推計する。生成交通量原単位は、人口や産業規模1単位によって生成される交通量を表し、長期的将来のアジア途上国においても妥当な値を用いる必要がある。そのために、長期的な経済成長による変化が少ないと考えられる、1人が生成する目的別のトリップ数(旅客)⁹⁾、従業者1人が生成する輸送量(貨物)^{9,7)}を基に原単位を生成する。

また、ネットショッピング利用の影響も評価し、そ

の利用率に応じて、製造業から商業への貨物輸送、世帯から商業への買い物トリップの生成原単位を減少させ、製造業からインフラ・運輸業への貨物輸送、インフラ・運輸業から世帯への貨物輸送の生成原単位を増加させる。

(3) 交通量推計方法

前項の手法で算出した人口・産業分布と生成交通原単位を基に、4段階推定法を用いて交通量を推計する。

まず、生成交通原単位を、分配された人口・従業者数とかけあわせることで各ゾーンの発生・集中交通量を算出する。そして目的地選択と交通手段選択の同時選択によるネステッドロジットモデルによって、OD交通量及び分担交通量を算出する(式(2), (3))。

$$q_{pij} = q_{pi} \frac{prod_{pj} \cdot \exp(\alpha_p \cdot U_{ij} + attr_{pi})}{\sum (prod_{pj} \cdot \exp(\alpha_p \cdot U_{ij} + attr_{pi}))} \quad (2)$$

q_{pij} : ゾーン*i*から*j*への*p*を目的とした交通量[回/日]

q_{pi} : ゾーン*i*における*p*を目的とした発生交通量[回/日]

$prod_{pj}$: ゾーン*j*の目的*p*に関連する産業の従業者数[人]

U_{ij} : *ij*間移動時の一般化費用[分]

α_p : 拡散係数

$attr_{pi}$: *p*を目的とする交通におけるゾーン*j*の魅力度

$$Prob_{mij} = \frac{\exp(\beta \cdot GCost_{mij} + attr_m)}{\sum \exp(\beta \cdot GCost_{mij} + attr_m)} \quad (3)$$

$Prob_{mij}$: ゾーン*ij*間移動での交通手段*m*の選択確率[%]

β : 拡散係数

$GCost_{mij}$: ゾーン*ij*間移動での交通手段*m*の一般化費用[分]

$attr_m$: 交通手段*m*の魅力度

ここで、長期的な将来を対象とすることから、交通行動を決定する各計算式のパラメータは、現状値による推定値だけではなく、経済成長に伴う将来的な価値観の変化を想定した値として、名古屋のデータによる推定値を用いる。

目的地選択モデルでは、全交通手段の一般化費用のログサム変数を用いる。 $attr_{pi}$ は各ゾーンの交通コスト以外の魅力を示し、式(2)によって算出される集中交通量と、生成原単位から算出される集中交通量を一致させるための2重制約の調整係数として算出される。 α_p は対象都市の総移動距離実データを基に推定される。

交通手段選択モデルでは、旅客トリップでは鉄道・バス・自動車・徒歩の4種類、貨物輸送ではトラックのみを対象とする。式(3)の β , $attr_m$ は、対象都市の平均分担率データから推計する。

経済成長に伴い所得水準が向上すると、モータリゼーションが進展することが考慮される。そのため、乗用車

保有率を基に乗用車への乗車可能性を考慮する。

鉄道所要時間に影響する鉄道ネットワークの形状は、駅が存在するゾーンで表現する。東京都の可住地駅密度を参考に、鉄道駅が存在するゾーンの駅密度を 1.13 箇所/km²とした上で、総鉄道駅数を与え、駅が存在するゾーン数を算出し、その配置によって鉄道ネットワークを決定する。

以上の手法を用いて算出した道路 OD 交通量を用いて各道路の配分交通量を算出する。配分交通量は、所要時間が最小となるよう利用者均衡配分法を用いて推計する。乗用車利用の所要時間は、道路整備量の総量と、その整備箇所が大きく左右される。本研究では、鉄道ネットワークを簡易かつ柔軟に設定するため、ゾーンとゾーンを結ぶリンクは 2 車線道路のみで構成されるとし、推計された配分交通量が大きいリンクから順に道路整備量を配分する。これによって、都市空間構造に応じて、適切な道路整備箇所に道路ネットワークを設定することができる。

以上の各段階を平均所要時間が収束するよう数回繰り返す。各交通機関の OD 交通量、各 OD 間における乗用車の平均旅行速度をアウトプットとして得る。

(4) CO₂排出量推計手法

CO₂排出量は、前項の手法で得られた各 OD 間の交通量に対して各 OD 間の距離及び排出係数を乗じることで算出する。

長期的将来、途上国においてもハイブリッド自動車(HV)や電気自動車(EV)が普及することが想定される。そこで、走行台数をその普及割合で分配し、それぞれの燃料消費量、排出係数を用いて CO₂排出量を推計する。

また、平均旅行速度が燃料消費量に与える影響を加味するために、松橋ら⁸⁾による速度と燃料消費量の関係式を用いて、燃料消費量を算出する。ただし、EV については、速度と燃料消費量の関係式が得られなかったため、速度による燃料消費量の変化は考慮しない。

4. 長期的ビジョンを構成する要素のシナリオ設定

タイの首都であるバンコク都に周辺の5県を加えた、バンコク首都圏を想定して、2050年時の将来像を想定したシナリオを設定する。

(1) 人口・経済シナリオ

人口、収入、物価のシナリオを表-3 に示す。人口については、浮遊人口及び将来的な人口流入の影響を加味するため、中村ら⁹⁾による設定値を参考に、現状値及び将来値を決定する。

表-3 人口・収入・物価シナリオの設定(バンコク首都圏)

	2010年	2050年
人口[万人]	1467.4	1517.4
平均収入[万 Baht/人・年]	20.3	61.8
乗用車価格[万 Baht]	30.0	38.7
ガソリン価格[Baht/l]	30.0	48.4
電力価格[Baht/kWh]	3.1	4.7
鉄道運賃(初乗り)[Baht]	14.0	22.0
鉄道運賃(加算額)[Baht/3km]	6.0	9.0

将来の経済シナリオは、藤森ら¹⁰⁾によるタイの GDP 及び産業別生産高の将来予測値を基に、「平均収入」、「物価」、「従業者数」の3要素に対してそれぞれ設定値を与える。

労働者の平均収入は、GDP に比例して増減すると仮定する。

物価はデフレーターを用いて表現し、その変動を設定する。国民経済計算¹¹⁾による日本の1955年から1998年までのGDPと家計最終消費支出のデフレーターの相関は、途上国においても大きな差はないと想定し、日本のデータから算出される近似式を用いることで、GDPの増加に伴う物価の変化を求める。それに加えて、ガソリン及び電力の価格は原油価格の高騰、及び、発電コスト、発電方法の変化の影響を加味する。鉄道やバスの運賃は動力源となるガソリンや電気の費用に比例して増加する。ガソリン、電力、乗用車価格の現状値は、タイにおける実際の販売データを参考に設定した値である。

(2) 都市空間構造シナリオ

将来シナリオでは、都心への集約がより進むと考え、すべての人を 30km 圏内に分布させる。また、将来の人口分布を検討するにあたっては、全ての人口を再配置するのではなく、転居する人口のみを再配置する。2050年における全人口に占める転居者の割合は、都市の Quality Of Life (QOL)がより上昇するように変化すると仮定する。ここで、河村ら¹²⁾による設定値を参考に、一極集中型及び線上集中型の都市空間構造では 80%、多極分散型の都市空間構造では 40%と設定する。

作成した中心ゾーンでの人口密度が 5 万人/km²の都市空間構造シナリオを、人口分布を例として図-2 に示す。多極分散シナリオでは、都心の上下左右に 4 つの中心位置を設定している。線上集中シナリオでは、鉄道ネットワーク形状に合わせて、4 方向に線形集約する。

(3) 鉄道・道路整備量シナリオ

鉄道と道路は代替関係にあるため、両方が共に大量

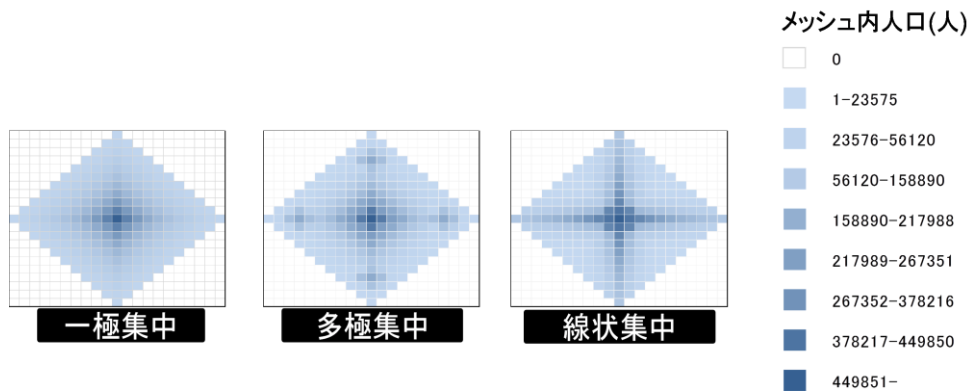


図-2 都市空間構造シナリオ

整備されることは考えにくい。そこで、鉄道・道路整備のバランスについてのシナリオとして「鉄道整備強化」と「鉄道既存計画」の2パターンを作成する。シナリオ作成にあたっては、インフラ整備費用の総和を制約とすることで、鉄道・道路整備量のトレードオフを表現する。

既存計画シナリオにおける鉄道の整備量は、現在から2029年までに建設が予定されている整備量¹⁹⁾に留まるものとし、整備強化シナリオではその倍量が整備された場合を想定する。

また、鉄道はその整備時期によってモータリゼーションの進展抑制効果が異なるため、中村ら¹⁹⁾の手法を用いて、鉄道早期整備・成熟期整備時の乗用車保有率の違いを表現することができる。せいシナリオでは、2010年に整備を開始し2030年までに整備し、成熟期整備シナリオでは、2030年に整備を開始し2050年で整備を完了する。整備強化シナリオでは、鉄道は早期に整備されるものとし、既存計画シナリオでは、鉄道は成熟期に整備されるものとする。

表-4 鉄道道路・整備量シナリオ

	2010	2050 整備強化	2050 既存計画
鉄道総延長[km]	45.7	1015.4	507.7
鉄道駅数[箇所]	43	624	312
道路総延長[km]	3541	5050	8892
乗用車保有率	159	292	317

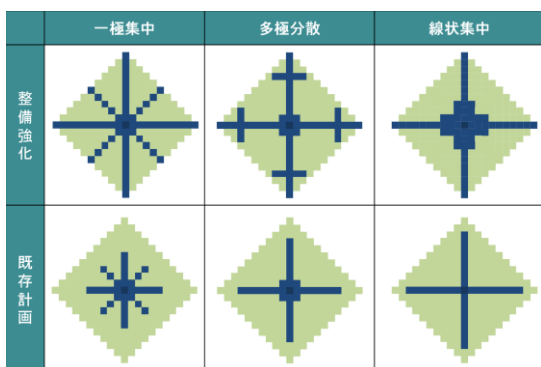


図-3 鉄道ネットワーク形状

以上の手法を用いて設定した鉄道・道路整備量シナリオを表-4に示す。

(4) 鉄道ネットワーク形状の設定

本研究の各都市構造シナリオにおける鉄道ネットワークの設定方法について説明する。一極集中シナリオでは、全方向に均等に人口が配分されているため、中心から8方向に均等に延長する。多極分散シナリオでは、まず、都心と各中心点を結び、続いて、都心周辺の8ゾーンを整備する。その後はそれぞれの中心から3方向に延長する。線状集中シナリオでは、4方向に延長し、その沿線に人口が集中するものとする。

以上の手法により、都市空間構造シナリオから導出される鉄道ネットワーク形状を図-3に示す。

(5) 交通行動変化のシナリオ

目的地選択行動において、将来的にはアジア途上国において、一般化費用に対する感度が先進国と同水準に達すると仮定し、現状についてはアジア都市のデータを、将来については先進国におけるデータを用いたパラメータ推定値を適用する。交通手段選択行動においては、将来鉄道整備とともにその利用が先進国レベルに普及していくと仮定し、現状についてはアジア都市のデータを、将来については名古屋市のデータを用いて推計したパラメータをそのまま適用する。ただし、所得格差が大きく低所得層の比較的多いアジア途上国では、バスの需要が高いと想定し、アジア途上国都市データによるパラメータをそのまま用いる。

交通行動変化の感度は、式(2)、(3)におけるパラメータによって表現される。表-5にそのパラメータ推計結果を示す。

5. バンコク首都圏における低炭素都市・交通システム導入によるCO₂削減可能性

本章では、4章で作成したシナリオを基に、バンコク

首都圏における低炭素都市・交通システム導入によるCO₂削減可能性を検討する。

(1) 都市形状及び道路・鉄道整備シナリオによるCO₂削減効果の比較

図-4に、中心ゾーンの人口密度を5万人/km²としたときの都市形状別のCO₂排出量の内訳を示し、図-5に、対応する分担率、図-6に、平均トリップ・輸送長、旅客トリップの平均所要時間を示す。

現状では、平均所要時間が約2時間と非常に大きく、大渋滞が発生していることが分かる。また、バスの分担率が25%と大きいのにに対し、全ての将来シナリオでは非常に小さくなっている。これは、経済成長に伴う所得の上昇が原因で、乗用車の保有が拡大して、乗用車を使用できる人口が増加しているからである。

BAUシナリオでは、インフラ整備や技術水準の向上等を一切考慮せず、人口増加及び経済成長による収入や費用の変化のみを考慮した推計結果を示している。その結果、CO₂排出量は旅客部門では現状値に対して約7割増加している。これは、人口増加に伴う交通需要の増加と、バスから乗用車に転換した影響によるものである。乗用車の交通量が大幅に増加したことにより道路渋滞が悪化し、燃費が悪化するためCO₂排出量が大幅に増加している。また、貨物部門においてもCO₂排出量が現状値に対して約3-4割増加している。人口の大きな増加が見られないので、物流のトリップ数に大きな違いは見られないが、商業やサービス業、インフラの部門の従業員が大きく増加し、一次産業や製造業が大きく減少することから、中心地への輸送が増加し、都市集約において交通渋滞の悪化を引き起こす一因となっている。

一極集中型シナリオは、都市の中心に対して同心円状に高密度な市街地が広がる場合である。このシナリオは交通の発生・集中を都心に集めることで、移動距離の削減を図ったものである。しかし、交通インフラ整備による渋滞抑制は、交通コストの低下を通してトリップ長を増加させ得るため、BAUに対してトリップ長の変化はあまりない結果になった。一方で、鉄道整備率の高い都心部における交通需要が増えることで、鉄道分担率が向上し、CO₂削減へと繋がっている。

多極分散型シナリオは、都市の中心を分散させその中心同士を鉄道ネットワークで結んだ分散型ネットワーク構造を取る。このシナリオでは、交通需要が複数の中心に分散することで、混雑が緩和されることと同時に、旅客トリップ長がより短くなり、CO₂排出量が減少する。しかし一方で、貨物輸送長は一極集中より長くなっている。これは、旅客に対して、貨物輸送では目的地の産業規模に対する需要が大きく、比較的規模の大きい中心が

表-5 パラメータ推定結果

パラメータ	使用段階	名古屋	バンコク
α_p : 拡散係数(旅客)	OD 交通量推計	-0.085	-0.064
α_g : 拡散係数(貨物)		-0.0014	-0.0014
β : 拡散係数	分担率推計	-0.12	-0.05
$attr_{car}$: 乗用車の魅力度		0	0
$attr_{rail}$: 鉄道の魅力度		0	-6.29
$attr_{bus}$: バスの魅力度		-10.4	-2.3

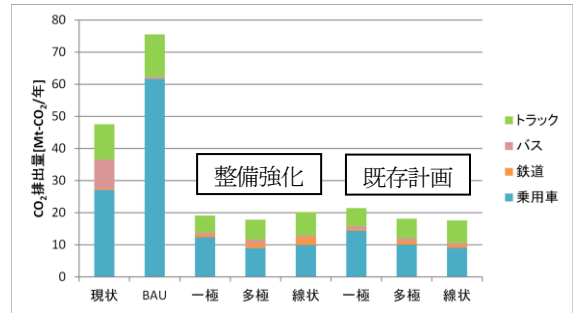


図-4 都市形状及び道路・鉄道整備シナリオ別CO₂排出量

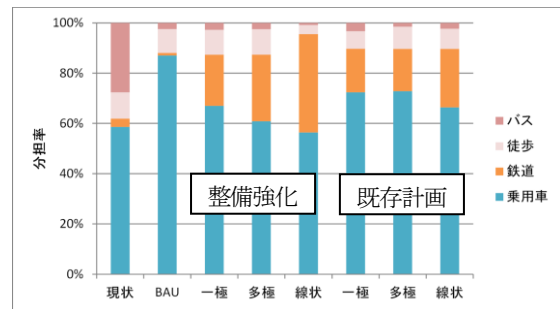


図-5 都市形状及び道路・鉄道整備シナリオ別分担率

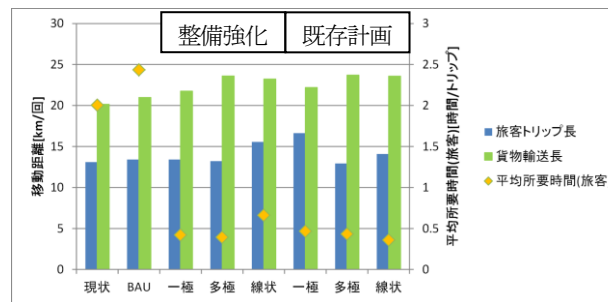


図-6 都市形状及び道路・鉄道整備シナリオ別平均移動

郊外に複数立地することで、各中心間の貨物交通が大きくなっていることが考えられる。

線上集中シナリオは、鉄道沿線上の集約度を上げて鉄道へのモーダルシフトや都市のコンパクト化を目指している。鉄道の分担率は他のシナリオよりも高い結果を得られ、整備強化シナリオでは4割近い鉄道の利用が示された。しかし、鉄道整備による道路渋滞緩和は、トリップ長の増加へとつながるため、CO₂排出削減効果を減少

させる点も見られた。

整備強化シナリオと道路シナリオの効果を比較すると、整備強化シナリオでは鉄道分担率が高くなる一方で、既存計画シナリオにおけるトリップ長は都市構造で異なる変化が見られた。これは、各シナリオにおける渋滞抑制効果によるものと考えられる。一極集中型では渋滞レベルが比較的高く、道路整備による交通流の効率化(IMPROVE)を通じた渋滞抑制効果がより高くなり、これによるコスト低下でトリップ長がより増加する。しかし、渋滞レベルが比較的低い多極型や線状集中型では、鉄道整備による交通機関の転換(SHIFT)を通じた渋滞抑制効果が高く、これがトリップ長をより増加させる。これらの効果のため、道路整備と鉄道整備のバランスは、IMPROVE と SHIFT の効果を考慮して検討する必要がある。

各シナリオにおいて、旅客で 60~70%程度、貨物で 30~50%程度の削減が可能である。また、都市構造によって 4.4Mt、現状からの削減率で 8%の CO₂削減の差異が見込まれる。

(2) 中心集中度によるCO₂削減効果

図-7 に、中心集中度を変化させた場合の都市空間構造及び鉄道・道路整備シナリオ別の CO₂排出量を示す。

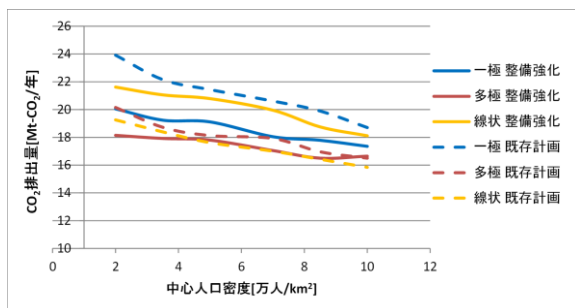


図-7 中心集中度による CO₂排出量変化

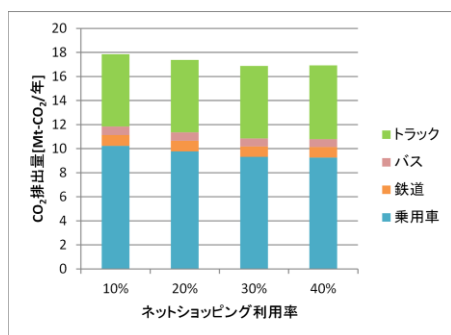


図-8 ネットショッピング利用時
CO₂排出量内訳

なお、中心集中度が等しい場合、全ての都市形状において都市中央のゾーンにおける人口密度が等しく、公平な比較が可能である。

全てのシナリオにおいて、中心人口密度の増加に伴いトリップ長が減少し、CO₂排出量が減少している。中心人口密度 4 万人/km²までは、多極分散・整備強化シナリオが CO₂排出量最小となる。一方で、それ以上に中心人口密度が増加した場合には、中心部における交通渋滞レベルが高くなり、渋滞抑制において道路整備がより効果的になるため、線状集中・既存計画シナリオが最小となる。

中心集中度の上昇による CO₂削減限界は 1~5Mt 程度であり、現状の CO₂排出量からみると、3~10%程度の削減が可能であると示された。

(3) IT 代替シナリオによる CO₂削減効果

図-7 に、ネットショッピング利用時 CO₂排出量の内訳を示す。表中の値は、全シナリオで最も CO₂排出量の少ない線状集中・既存計画シナリオの推計値である。

ネットショッピング利用率が 10~40%に増加することで、CO₂削減量は 1Mt 程度となり、その削減率は 5%である。その内訳として、旅客については買い物トリップの減少が原因で、8%の旅客起源 CO₂排出量を削減している。貨物については、トリップ数は増加して、2%の貨物起源 CO₂排出量を増加させる。製造業と商業の分布が大きく離れているのに対して、製造業と運輸業、運輸業と世帯の分布が比較的近いことから、貨物輸送距離が短くなり、旅客と貨物のトレードオフによって CO₂排出量が減少している。

6. まとめ

(1) 得られた知見

本研究では、仮想的な都市空間構造の影響を分析可能な運輸部門CO₂排出量推計モデルを構築し、バンコク首都圏を対象に、長期的な将来におけるCO₂削減目標達成に必要な低炭素都市・交通システムの構成要素を特定した。本研究の成果および得られた知見を以下にまとめる。

- 都市構造によって、それぞれトリップ長や分担率に違いを与え、現状から 50~60%削減し、都市構造によって CO₂削減率に 8%の差が出ることを示された。鉄道整備状況によって効果が大きくなる都市構造が、多極集中型と線状集中型と違う。
- 旅客起源 CO₂排出量は、技術革新(IMPROVE)、都市構造改変(AVOID)、鉄道整備(SHIFT)の組み合わせによって、60~70%程度の削減が見込まれると示された。
- 貨物起源 CO₂排出量は、技術革新(IMPROVE)と交通機関への転換(SHIFT)の効果は限られているが、都市構造改変(AVOID)によって、現状から 30~50%

程度の削減が見込まれることが示された。

(2) 今後の課題

本研究で残された課題を以下のように2点示す。

1点目は、都市空間構造設定手法上の問題である。本研究では、中心への人口分布の偏りを表す変数として中心集中率のみを用いている。しかしこの手法では、分布の分散が動かせないことから都市域の縮退や拡散を十分に表現することができず、それによるトリップ長や乗用車分担率の変化を考慮することができていない。

また、2点目として、交通行動変化の感度を表すパラメータを固定していることが考えられる。経済成長を考慮して先進国における推定値を用いてはいるものの、実際には都市空間構造によってパラメータが変化する可能性が十分にある。例えば、多極集中型シナリオにおいて、各極内に日常的に必要な目的地が揃っていれば、極内の移動で完結する可能性が高まるかもしれない。このような影響を評価するためには、都市空間構造に依存しない安定的な数値を制約として、都市空間構造の変化に合わせたパラメータ設定が必要となる。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費(S-6-5)

「アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究」の支援により実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 梅達郎, 加藤博和, 林良嗣 (2010): アジア大都市におけるモータリゼーション進展を考慮した旅客交通部門 CO₂排出量の長期予測, 第18回地球環境シンポジウム講演集, pp67-74
- 2) 丸田浩史, 加藤博和, 林良嗣 (1999): モータリゼーション進展過程を考慮した都市交通に伴う CO₂排出量の長期変化の分析, 土木学会中部支部研究発表会公演概論集, pp.493-434
- 3) 池下英典・伊藤雄太・福田敦・石坂哲宏・田中絵里子・長田哲平・椎名翠(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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.43, CD-ROM(221)資源エネルギー庁: エネルギー白書 2010.
- 4) 紀伊雅敦・秋元圭吾: 都市政策による CO₂ 削減効果と持続可能性評価のための土地利用交通モデル, *Journal of Japan Society of Energy and Resources*, Vol. 31, No. 1
- 5) 中京都市圏総合都市交通計画協議会(2001): 中京都市圏パーソントリップ調査, 平成 13 年国土交通省(2005): 第 8 回全国貨物物流純流動調査(物流センサス), 平成 17 年
- 6) 総務省(2005): 産業連関表, 平成 17 年度
- 7) 松橋啓介・工藤祐揮・森口祐一(2007): 交通部門における CO₂ 排出量の中長期的な大幅削減に向けた対策, 地球環境シンポジウム, Vol.12, No.2, pp.179-189
- 8) 中村一樹・林良嗣・加藤博和・福田敦・中村文彦・花岡伸也: 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, 土木計画学研究, 講演集, Vol.44, CD-ROM(25), 2011.11.
- 9) 藤森真一郎・増井利彦・松岡譲(2011): 世界温室効果ガス排出量の半減シナリオとその含意, 環境システム研究論文集, Vol.39, pp.243-254
- 10) 内閣府(2008): 国民経済計算
- 11) 河村幸宏: 名古屋都市圏におけるエコ・コンパクトな市街地形成, 平成 22 年度名古屋都市センター研究報告書, No.091, 2011.3
- 12) Atrans(2009): Integrating Congestion Charging Schemes and Mass Transit Systems in Bangkok, Final Report, Research Grant 2009Part A34, pp.171-205
- 13) 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣(2011): 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM(222)