

途上国における空間構造変化と 低炭素地域間交通システムによるCO₂削減効果 ～タイを事例として～

三室 碧人¹・奥田 隆明²・林 良嗣³

¹学生会員 日本学術振興会特別研究員DC (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

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

²正会員 公益財団法人中部圏社会経済研究所 (〒460-0008 名古屋市中区栄二丁目1番1号)

³フェロー会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

途上国では都市への集積が進み急激な経済成長を遂げており、経済効率性の追求が求められている。他方で、今後は環境問題への対応も不可欠であり、経済効率性の追求だけでなく、将来の環境制約を予め考慮した地域間交通システムの構築に向けた方策の検討が急務の課題となっている。環境制約下における途上国を対象として、低炭素な地域間交通システムの構築に向けて、将来の人口分布や生産・消費の空間構造の変化に対して、CO₂排出量削減をするために必要な低炭素地域間交通システムの整備効果を定量的に評価するモデルを開発した。

Key Words : *Low carbon, intercity transport, Spatial structure, Accumulation*

1. 研究の背景と目的

世界では経済連携の強化が進展し、国単位での貿易の障壁が小さくなり、途上国においては首都や大都市に人口や産業の急激な集積が進み、都市化の原動力を活かした経済成長が進んでいる。そして、さらなる経済成長を実現するには経済効率性の改善が急務であり、交通コストの低減に向けた地域間交通システムの整備が不可欠となっている。他方で、急激な都市化は、都市部と地方部の地域間格差を必然的に生み出し、格差是正という意味においても、地域間交通システムの整備は重要になっている。しかし、これらの議論には、CO₂排出量の削減といった環境効率性の改善は重要視されておらず、具体的な方策の検討が遅れていると言える。そのため、途上国において今後の地域間交通システム整備の方向性を考えるには、鉄道などの環境負荷の小さな交通手段の促進や技術革新に期待するだけでなく、国土の人口分布や消費・生産などの空間構造との関係も合わせて検討することが求められる。

地域間交通システムにおけるCO₂排出量削減に向けた取り組みとして日本の過去からの経緯を考えることが参考になる。かつてはCO₂排出量削減に対する問題意識は希薄であったこともあり、経済成長に伴う交通部門からのCO₂排出量は急激に増加してきた。そのため、日本に

においてもCO₂排出削減に向けた方策の検討がなされてきた。しかし、今後は少子高齢化の加速や低成長時代への突入により、環境負荷削減に対して投資をする財源が乏しく、低炭素型の地域間交通システムへの大転換は容易ではない。他方で、今後はアジアなどの途上国においても急激な高齢化の加速が懸念されており、途上国が現在の先進国と同じような成長過程を経た後に環境問題への対応策を実施することは、同様の問題に直面することが懸念され、CO₂排出量の大幅な削減が困難になることが想定される。

これらの課題に対して、低炭素な地域間交通システムの構築を考えるには、1)需要抑制(Avoid)、2)交通機関分担の変化(Shift)、そして3)技術革新(Improve)の三つを組み合わせて考える必要がある。特に、途上国においては、地域間の交通需要発生を小さくする将来の人口分布や消費・生産の空間構造のあり方まで検討することが求められる(Avoid)。さらに、地域間交通システムの導入路線やその整備水準の差異による交通手段の分担率変化(Shift)や、技術革新によるCO₂排出原単位の改善(Improve)の効果も合わせて分析することが重要である。

本研究では経済モデルとして空間構造の変化に地域間交易係数を用いて集積の効果を反映させたモデルを開発する。また、環境負荷費用や移動時間、距離を考慮した交通モデル、そして地域間交通部門からのCO₂排出

量の推計モデルの三つを構築する。

以上より本研究の目的は、途上国を対象として、将来の低炭素な地域間交通システムの構築に向けて、人口分布や生産・消費の空間構造の変化と交通システム整備との関係を表現する新たなモデルを開発する。そして、CO₂排出量を削減するために必要な空間構造のあり方や地域間交通システムの導入量、および路線について定量的に評価することである。尚、本研究ではケーススタディとして、人口集中問題と地域間格差が存在するタイを取り上げる。

2. 既往研究

(1) 空間構造の研究事例

これまで、空間構造の変化に着目した研究として、阿部(1995)¹⁾ではタイにおける人口分布について1970年代からの変化を整理し、経済成長に合わせて都市への人口集中をしてきている。他方で、石井(2003)²⁾では更なる経済成長を続ける状況における産業構造の変化と地域間格差に着目し、中所得地域群と低所得地域群の格差が拡大していることを指摘している。しかし、低炭素性や地域間交通システム整備との関係は考慮されていない。

(2) 地域間交通の研究事例

地域間交通システムに着目した研究としては、Tamura et.al(2010)³⁾ではタイとミャンマーのCross-border transport(CBT)に焦点を当て、生産構造の変化による交通需要の発生状況を分析し、現在の機関選択においては費用より信頼性が重要であることを指摘している。同様のプロジェクトはJICA(2008)⁴⁾においても取り組まれているが、主に地域開発に主眼を置いており将来の環境制約への対応は検討をされていない。これらに対して、花岡ら(2010)⁵⁾では、貨物におけるインターモーダル輸送によるエネルギー節約効果を明らかにするために、エネルギー消費量、輸送時間、輸送料金の多目的最適化問題を解き、バンコクーハジャイ間における機関分担などを算出している。一方、旅客を対象とした研究事例としては、Peter R. Stopher et.al(2007)⁶⁾では、タイ国内における高速鉄道のフィージビリティスタディーを行い、高速鉄道整備による人口やGDPへの影響を分析している。しかし、ここでも将来の空間構造の変化と環境制約を同時に検討はされていない。

(3) 本研究の位置付けと分析対象範囲

のように、急激な経済成長による人口分布の変化や産業構造の変化による地域間格差の拡大など空間構造の

大きな変化を遂げる途上国において、低炭素な地域間交通システムを構築するためには、先進国のような交通分野における分担率改善(shift)や技術革新(Improve)に頼るセクターアプローチだけを検討するのではなく、交通需要の発生その物を抑制する(Avoid)ような人口分布や生産・消費の空間構造の変化を合わせて検討することが大切である。そのため、本研究では将来の空間構造の変化において、低炭素な地域間交通システムを構築するために必要な整備効果について、経済モデルと交通モデル、そして地域間交通からのCO₂排出量推計モデルを構築することで、定量的に明らかにする。

ただし、本研究における分析対象範囲は、国内の地域間旅客交通、及び地域間貨物交通のみであり国際地域間交通の分析は捨象されることに注意されたい。

3. 分析モデルの全体構造

本研究で開発するモデルは、全三段階で構成され、1)経済モデル、2)交通モデル、そして3)地域間交通からのCO₂排出量推計モデルである。これらのモデルを用いて、CO₂排出量を削減するために必要な三つの政策(Avoid, Shift, Improve)を導入した場合の影響を分析する。

(1) モデルの全体構造

本研究で構築するモデルは、空間構造パターンを表現する経済モデルと、地域間の交通サービス水準などを表現する交通モデル、そして地域間交通からのCO₂排出量の推計モデルの三つから構成される(図1)。経済モデルでは、将来の人口分布シナリオの変化を外生的に与えた場合の産業間取引や最終需要の発生状況などを算出する。交通モデルでは、交通ネットワーク変化による交通費用の変化を算出する。そして、空間構造の変化による地域間の経済取引の状況に応じて、旅客交通及び貨物交通の部門からのCO₂排出量を分担率変化や技術革新などを組み込んだ交通モデルから算出し、低炭素な地域間交通システムの整備によるCO₂削減効果を求める。

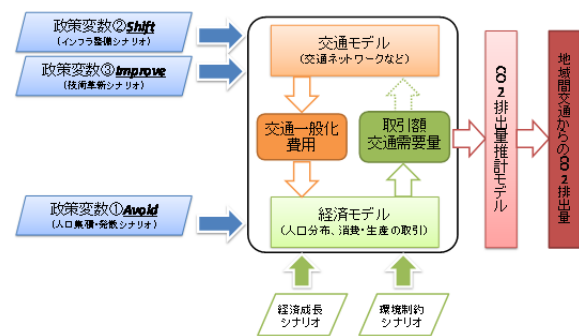


図-1 モデル全体構造

(2) 経済モデル

a) CALTAS経済モデル

本研究で構築する経済モデルは、人口分布や消費・生産の空間構造を把握し、集積の効果も反映できるモデル構造であることが必要である。さらに、データ量が少ない途上国を対象とすることから、本研究では消費・生産の取引関係を簡易に記述した中村ら(1983)⁷⁾において開発されたCALUTASU土地利用モデルの一部である商業業務モデルを応用し、途上国の消費・生産の取引構造を記述する。具体的には、式(1)のようになる。

$$X_i^{r,t+1} = \alpha \left(\sum_s \sum_j a_{ij}^s X_i^{r,t} t_i^{rs} \right) + \beta \sum_s Com_i^{rs} b^s Pop^s t_i^{rs} + \varphi^s_{dummy} \quad (1)$$

ここで、 r :発地、 s :着地、 i :地域 r における産業の業種、 j :地域 s における産業の業種、 t :分析の対象年次(年)、 $X_i^{r,t+1}$: $t+1$ 期における地域 r 産業 i の生産額、 $X_i^{r,t}$: t 期における地域 r 産業 i の生産額、 a_{ij}^s :投入係数、 Com_i^{rs} :地域 s における地域 r 産業 i に対する一人当たり消費係数、 b^s :地域 s の一人当たり所得、 Pop^s :地域 s の人口、 t_i^{rs} :地域間取引係数、 α, β :パラメータである。

経済モデルの構造は、第一項が中間需要を、第二項が最終需要を、第三項が地域別のダミー変数となっている。これにより、将来の人口分布シナリオを外生的に与えた際に、最終需要の変化を通じて、地域間取引や地域の総生産額を算出できる。

b) 地域間取引係数

本研究では地域間取引の関係の強さを表す指標として地域間取引係数(式(2))を設定する。アジアの途上国では経済成長の過程で急激な都市化と人口や産業の集積が発生しているため、地域間の取引対象地域を左右するのは、地域間の距離や交通費用の存在による交通抵抗の影響だけでなく、取引の相手地域の産規模や集積度合いの影響も受けると考えられる。そこで、本研究では交通抵抗に取引相手先の生産額を掛け合わせ、集積の大きな地域との取引が増加するように表現される構造とした。具体的には下記の式(2)のようになる。

$$t_i^{rs} = \frac{X_i^{rs,t} \exp(-\gamma c^{rs})}{\sum_s X_i^{rs,t} \exp(-\gamma c^{rs})} \quad (2)$$

ここで、 c^{rs} :地域 r 間の旅客における交通一般化費用、 γ :距離低減パラメータである。

(3) 交通モデル

a) 交通一般化費用の定式化

交通モデルは、地域間の交通一般化費用の算出及び統合の方法である。式(2)でも用いた c^{rs} は三項から構成され、第一項は交通費用、第二項は時間価値、最後に第三項はCO₂排出量に対する環境負荷費用から成る。具体的には、式(3)のように記述される。

$$c^{rs,k} = c_{fare}^{rs,k} + w^r t_{time}^{rs,k} + \varepsilon^k e_{CO_2,passenger}^{rs,k} L_{dis\ tan\ ce}^{rs,k} \quad (3)$$

ここで、 k :モード(Car, Air, Rail, IT)、 $c^{rs,k}$:地域 r 間の交通モード k の交通一般化費用、 $w^{r,k}$:地域 r の交通モード k に対する時間価値、 $t_{time}^{rs,k}$:地域 r 間、交通モード k の所要時間、 ε^k :交通モード k に対するCO₂排出削減の限界費用、 $e_{CO_2,passenger}^{rs,k}$:地域 r 間の交通モード k におけるCO₂排出原単位、 $L_{dis\ tan\ ce}^{rs,k}$:地域 r 間の交通モード k の距離である。

b) 交通一般化費用の統合化

図-2は、モード別の交通一般化費用から、全交通手段を考慮した際の統合交通一般化費用を算出するフローである。行程は全四段階である。第一段階では、式(3)を用いて、航空、鉄道、自動車それぞれの $c^{rs,k}$ を算出する。第二段階では、式(4)のように航空と鉄道の $c^{rs,k}$ に対して、OD毎の分担率を掛け合わせ、公共交通一般化費用を算出する。第三段階では、式(5)のように、公共交通と自動車の $c^{rs,k}$ を用いて、総合交通一般化費用を算出する。最後の四段階では、将来のIT化による動向を考慮するために、式(6)のようにITと総合交通一般化費用を用いた統合交通一般化費用を算出することとなる。

$$c^{rs,pub} = u_{share,passenger}^{rs,Air} c^{rs,Air} + u_{share,passenger}^{rs,Rail} c^{rs,Rail} \quad (4)$$

$$c^{rs} = u_{share,passenger}^{rs,pub} c^{rs,pub} + u_{share,passenger}^{rs,Car} c^{rs,Car} \quad (5)$$

$$c^{rs} = u_{share,IT}^{rs,pub} c^{rs,pub} + u_{share,transport}^{rs,Car} c^{rs,Transport} \quad (6)$$

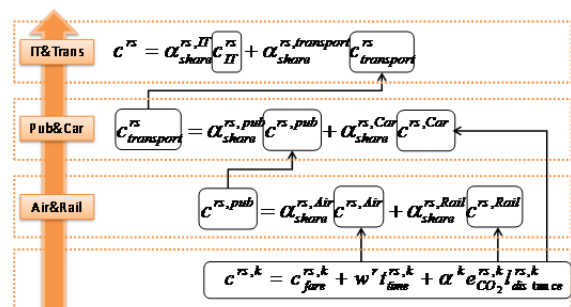


図-2 交通一般化費用の算出構造

(4) 地域間交通からのCO₂排出量推計モデル

本研究で構築する地域間交通からのCO₂排出量推計モデルは、旅客交通、及び貨物交通の両方を扱う。ここでは、式(1)で計算される地域間の総取引金額に対して、交通分野に対する支出割合の原単位を掛け合わせることで交通支出額を算出した後で、単位取引当たりの交通需要の発生量を求める。地域間交通システム整備によるOD間の分担率の変化や技術革新によるCO₂排出原単位の改善も表現できるようにする。具体的には、式(7)が旅客のCO₂排出量を、式(8)が貨物のCO₂排出量を表す。

$$E_{passenger}^r = Trade_{ij}^{rs} \times Trans^r \times Q^r \times \left\{ u_{share,passenger}^{rs,k} \times e_{CO_2,passenger}^{rs,k} \times L_{dis tan ce}^{rs,k} \right\} \quad (7)$$

$$E^r = Trade_{ij}^{rs} \times Trans^r \times P^r \times \left\{ u_{share,Cargo}^{rs,k} \times e_{CO_2,Cargo}^{rs,k} \times L_{dis tan ce}^{rs,k} \right\} \quad (8)$$

ここで、 $E_{passenger}^r$:地域rにおける旅客交通からのCO₂排出量、 E_{Cargo}^r :地域rにおける貨物交通からのCO₂排出量、 $Trade_{ij}^{rs}$:地域r産業iと地域s産業jの取引額、 $Trans^r$:地域rs間、交通モードkの所要時間、 Q^r :地域rにおける総支出に占める交通費用の割合、 P^r :単位当たり取引額に対する貨物交通需要の発生原単位、 $u_{share,Cargo}^{rs,k}$:地域rs間における貨物交通のモード別分担率、 $e_{CO_2,Cargo}^{rs,k}$:貨物交通モード別CO₂排出原単位である。

4. 分析の対象地域

本研究では、途上国における人口や産業集積が著しいタイを対象とする。タイは2009年時点でバンコクに全人口の17%、全生産額の42%が集積している一方で、地方では一人当たり所得がバンコクの13%~32%程度しか得られていない状況であり、地域間格差が大きな国である。国連統計によると、2030年には人口が現在より400万人増加をしてピークを迎えるとの推計もされており、巨大集積都市を持つ空間構造を環境制約下においてもCO₂排出量を交通部門から減少させるための地域間交通の分析を行うには適していると考えられる。

空間構造の変化と地域間交通整備のCO₂排出量の削減

効果の影響を分かりやすくするために、本研究ではタイ国内の76県の行政区分を7地域に統合する。統合の方法は、National Statistical office Thailandの7地域別生産額調査の行政区分と一致するように設定した。(1.北部、2.北東部、3.中央部、4.西部、5.東部、6.南部、7.バンコク)。各地域における代表都市は、1.Chengrai、2.Khon Kaen、3.Lop Buri、4. Hua Hin、5. Leam-chabang、6.Hat Yai、7.Bangkokとして設定した。また、地域内の内々交通の取り扱いに関しては、地域内の各都市から代表都市への自動車による所要時間に対して出発地の人口による重み付けを行うことで対応した。経済データも同様にタイ国家統計局を用いる。一方、交通需要に関しては地域間の総需要量や分担率に関する統計入手が容易ではないため、基準年時点では長距離の分担率を全て自動車と仮定して、パラメータ推計を行う。尚、パラメータ推定や分析結果の詳細については、研究発表会当日に報告する。

参考文献

- 1) 阿部和俊:タイの人口の地域構造, 愛知教育大学研究報告. 社会科学, Vol.44, pp1-18, 1995,
- 2) 石井優子:タイの産業構造の変化と国内地域間格差(国際的な富および所得分配の不平等), 国際経済 Vol.55, pp 274-276, 2004
- 3) Kocichiro TAMURA, Tsuneaki YOSHIDA: Regionalization and Cross-Border Transport: -Empirical Study on Thailand and Malaysia-: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 8(0), pp867-882, 2010
- 4) Hiroshi Takeuchi: The Research on the Cross-border Transportation Infrastructure, Workshop on statistics of Asian traffic and transportation, theme(4), 2008
- 5) 花岡信也, タクシム・ハスナイン, 川崎智也, ピシエ・クナダムラクス: 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-タイを事例として-, 運輸政策研究 Vol.12, No.4, pp24-31, 2010 Winter.
- 6) Peter R. Sttopher, Helen M.A. Metcalf, Chester G. Wilmot et al: Estimating Patronage for a Feasibility Study of High-Speed Rail in Thailand, Journal of the Transportation Research Board, Vol.1691, pp12-18, 2007
- 7) 中村英夫・林良嗣・宮本和明: 広域都市圏土地利用交通分析システム, 土木学会論文集, No.335, pp141-153, 1983

A Study Of Reducing CO₂ Emission From Intercity Transport Sector Considering Change Of Spatial Structure In A Developing Country

~Thailand As A Case Study Field~

Aoto MIMURO¹, Takaaki OKUDA², Yoshitsugu Hayashi³