

中国地域別の交通部門における CO₂排出量の削減可能性に関する研究

黎 明¹・大西 暁生²・東 修³・白川 博章⁴・井村 秀文⁵

¹非会員 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

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

²正会員 博士 (工学) 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻

³正会員 博士 (環境) 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻

⁴正会員 博士 (学術) 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻

⁵正会員 工博 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻

中国の改革開放後、市場経済の急成長とともに交通量も増加してきた。1980年に比べ2006年現在の旅客輸送量が1.3倍、貨物輸送量は6倍に膨張し、更に都市部の自家用車需要の拡大も注目される。結果的に近年中国の総CO₂排出量を上回るスピードで交通部門排出量が増加している。既存研究では中国全体又は特定の地域のCO₂排出量を推計し評価するものが多かったが、多地域での横断的な研究が少なく、地域間での比較が困難である。このため、本研究では中国の直轄市、省、自治区を含めた31地域のデータを用いて、地域別発生交通量推計モデルを構築した。将来的な地域別の経済成長と人口の予測を行ったうえで、地域別交通部門の将来CO₂排出量推計を行った。また車両選択、燃料効率改善等の5つの排出削減シナリオを通じて地域別におけるCO₂削減効果を定量的に評価した。

Key Words : CO₂ emission, transportation sector, China, Passenger traffic, Freight traffic, Private car

1. 本研究の背景および目的

中国経済は、1978年の改革開放以降、漸進的に市場経済を拡大させながら、20年以上の長期にわたり実質GDP成長率が年平均で9%以上を達成する等の目覚ましい経済成長を遂げてきている。特に、沿海部の経済開放地区が飛躍的な経済成長を成し遂げ、製造加工業やサービス業が急速に拡大した。また、経済成長により都市部における消費活動が活発化し、自動車の需要も高まっている。

その結果、図-1にあるように中国全体CO₂排出量は1985年以降年々増加してきた。1995年から2001年の間は一時的な減少があったものの、2002年には再び増加傾向に転じ、過去最高の排出量を記録した。2002年中国交通部門のCO₂排出量は242.5Mtに達し、1985年の約2.5倍である。また、その排出量が年々増加している。その大きな要因として、自動車交通の拡大や自家用車保有台数の増加が挙げられる。

2006年現在、1980年に比べ旅客輸送量が1.3倍、貨物輸送量は6倍に膨張した。全国の自家用車保有台数についても1985年にはわずか30万台だったが、2006年は2,300万台に上り、凄まじい増加を見せた。オランダ環境評価機関 (NMP) ²⁾ の推計によれば、2006年の中国のCO₂排出

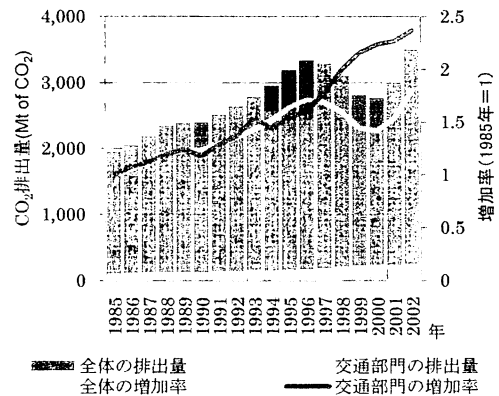


図-1 中国全体および交通部門のCO₂排出量
(データ出典: IEA¹⁾)

量は、62億トンに達し、米国の58億トンを上回り、世界第一位のCO₂排出国となった。

(1) 既往研究

これまで中国のモータリゼーションや交通部門CO₂排出量の予測に関して様々な研究が進められてきた。沈 (2006) ³⁾ は、所得分布曲線を利用した中国の自動車保

有台数を予測したところ、2030年における自動車台数が2億2,789万台に達し、自動車に占める家用乗用車の比率は64.7% (1億4,743万台) になるという結果を得た。また、Wangら (2008) ⁴⁾は、System Dynamics (SD)モデルを用いて、大連市の都市交通システムに関する研究を行っている。ここでは、GDPは自動車増加に大きな影響を有していることがわかった。Chenら (2005) ⁵⁾の研究によると、北京市においては、近年住宅団地改革が進められており、「都市で働き、郊外で住む」というライフスタイルが確立しつつある。その背景として都市部と郊外の住宅価格の差、またより良い環境を求める富裕層の増加が挙げられる。こうした背景から、通勤距離の増加によって自動車の需要が拡大し、都市の交通渋滞や大気汚染、燃料消費の拡大等の社会的な問題が浮上したことを指摘した。このように、経済成長により一人当たりGDPの増加や、都市の郊外化あるいはライフスタイルの変化などの要因が、自動車需要の拡大に大きな影響をもたらした。

また、交通部門のCO₂排出について中国清華大学のHeら (2005) ⁶⁾やWangら (2007) ⁷⁾が現地調査のデータをもとに、トラック、バス、そして家用車の一年あたり走行台キロを推計した。彼らの結果では、中国交通部門のCO₂排出量が2020年に700Mtを超え、2030年には最大1146Mtに達すると予測した。一方、Han et al. (2008) ⁸⁾は、SDモデルを用いて中国都市間旅客輸送によるCO₂排出の緩和シナリオを提案した。インフラ整備で鉄道、道路そして水運の輸送分担率を調整するシナリオと自動車燃料税率の引き上げるシナリオを通して、2020年のCO₂排出量を819Mtから最大32% (557Mt) 削減できることを示した。

既存研究の多くは、中国全体を、または特定の一部地域を対象としたものがほとんどである。しかし実情は、中国国内において地域間で格差が大きく、地域経済発展のレベルも異なっている。例えば、将来の中国全体のCO₂排出量が分かっている、どの地域が最も排出しているのか、地域別において、今度どの程度のCO₂排出量があるのか特定できない。一方、上海市や北京市など、特定のある地域だけの予測の場合は、その地域の排出量が分かっている、全国ではどの程度のCO₂排出量を占めているのかなどが分からない。当然、他の地域と比較することも不可能である。

(2) 本研究の目的

中国交通部門のCO₂排出問題に関する研究課題は、現状の把握、将来予測、問題解決または削減方法のあり方など多岐にわたる。そのため、対策を行うには地域における旅客輸送、貨物輸送、家用車などにわたり、車両技術、経済的なインセンティブや管理規制を含めた多角的な検討を要する。本研究では中国の直轄市、省、自治

区を含めた31地域を対象に、地域ごとに交通部門におけるCO₂排出量を2030年までの推計を行い、地域ごと、部門ごとの排出量を把握し、排出削減シナリオ分析によりCO₂排出の削減可能性を定量的に示すことを目的とする。

なお、本研究では地域の交通パターンを地域間と地域内に分けた。また、地域間輸送では旅客輸送、貨物輸送に分類し、それぞれ鉄道、道路、水運の輸送量を推計した。一方、地域内においては急速に拡大する家用車に注目した。本来なら地域内の営業用貨物車等も考慮すべきだが、データの入手ができないため今後の課題となる。

(3) 本研究の構成

本研究の構成は図-2のようにまず地域別のデータベースを構築し、推計モデルによるCO₂排出量を算出する。次に、削減シナリオを代入し地域別の削減可能性について検討する。

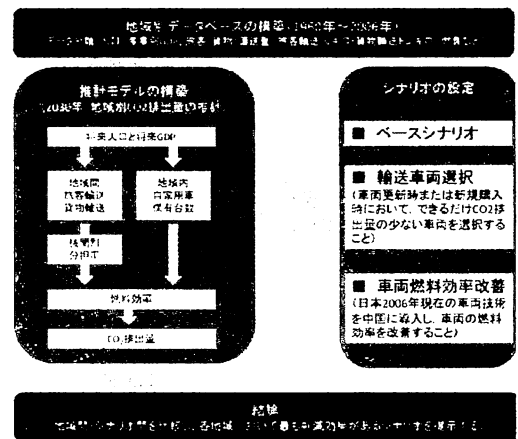


図-2 本研究の構成図

2. 推計モデル

(1) 推計のフロー

今回の地域別発生交通量推計モデル (図-3) は、国土交通省平成20年「道路の将来交通需要推計に関する検討会」⁹⁾で作成された交通需要予測フローをもとに構築し、2007年から2030年までの中国交通部門におけるCO₂排出量の推計を行った。

本モデルについては、各地域の発生交通量は人口およびGDPの変動に伴うものと設定し、地域の交通パターンを次の二つに分けた。

- 地域間交通 ⇒ 旅客輸送、貨物輸送
- 地域内交通 ⇒ 家用車保有台数

また、地域間交通の旅客輸送と貨物輸送においてさらに、それぞれの鉄道、道路、水運の輸送機関に再分類した。地域の各輸送機関について総輸送人員数 (貨物輸送

$$Y_{i,t} = \frac{k}{(1 + \alpha \cdot \exp(-\beta \cdot \text{GDP}_{i,t}^{\text{一人当たり}}))} \quad (7)$$

ここで、 V_{it} ：地域 i 、 t 年の自家用車<台>、 N_{it} ：地域 i 、 t 年の人口<万人>、 Y_{it} ：地域 i 、 t 年の一人当たり自家用車保有率<台/万人>、 GDP_{it} ：地域 i 、 t 年の一人当たりGDP<元/人>、 k ：上限値、 α, β ：パラメータ。

地域別のパラメータについて1985年から2006年までの自家用車保有率の一人当たりGDPを説明要因としたロジスティックモデルを構築し、回帰分析でもとめた。すべての決定係数が0.8を上回っている。

(3) 機関別輸送距離の推計

機関別の輸送距離について全国レベルでの測定データがないため、本研究では二つの手法を用いて輸送距離の推計を行った。

まず、地域別の平均距離の適応。機関別の平均距離について中国交通年鑑¹²⁾では輸送人キロ（トンキロ）として定義されており、輸送人数（トン数）に目的地までの輸送最短距離を乗じたものと示している。つまり、各地域の輸送機関別輸送人キロ（トンキロ）を輸送人数（トン数）で除せば、輸送機関別の平均輸送距離をもとめられる。従って推計モデルでは2006年値を固定にした。

そして、次に人口の移動や地域物流などの分析によく用いられる交通重力モデル交通重力モデルを用いた推計を試みた。交通重力モデルの基本的な考え方として大都市間の交通量が多いこと、また、大都市周辺の近隣小都市において、大都市に近ければ近いほど交通量が多く発生する。旅客輸送において、近年航空輸送が各地で発達しており、観光客やビジネスマンがよく利用される。一

方、鉄道や長距離バスは主に地方から都市へ労働者が利用する。そのため、低所得地域から高所得地域へシフトするように、地域の一人当たりGDPを影響要因にした推計モデルを構築した。一方貨物輸送では主に地域の経済発展に伴うものと想定し、地域のGDPを影響要因とし、推計モデルを構築した。

a) 旅客輸送

$$P_{i,j,t}^{\text{推定値}} = \alpha \cdot \frac{\text{GDP}_{i,t}^{\text{一人当たり}} \times \text{GDP}_{j,t}^{\text{一人当たり}}}{D_{i,j}} \quad (8)$$

$$\text{制約条件： } P_{i,t}^{\text{実際値}} - \sum_{j=0}^{30} P_{i,t}^{\text{推定値}} \rightarrow \min$$

ここで、 P_{ij} ：地域 i から地域 j への旅客輸送量<万人>、 GDP_i ：地域 i の一人当たりGDP<元>、 GDP_j ：地域 j の一人当たりGDP<元>、 D_{ij} ：地域 i から地域 j への距離（省都間の直線距離）<km>、 t ：年、 α ：パラメータ。

制約条件として推計値と実際値の残差がゼロに近づくようにパラメータを調整した。一部の結果を図4に示す。

b) 貨物輸送

$$F_{i,j,t}^{\text{推定値}} = \alpha \times \frac{\text{GDP}_{i,t} \times \text{GDP}_{j,t}}{D_{i,j}} \quad (9)$$

$$\text{制約条件： } F_{i,t}^{\text{実際値}} - \sum_{j=0}^{30} F_{i,t}^{\text{推定値}} \rightarrow \min$$

ここで、 F_{ij} ：地域 i から地域 j への貨物輸送量<万トン>、 GDP_i ：地域 i のGDP<億元>、 GDP_j ：地域 j のGDP<億元>、 D_{ij} ：地域 i から地域 j への距離（省都間の直線距離）<km>、 t ：年、 α ：パラメータ。推計値と実際値の残差がゼロ

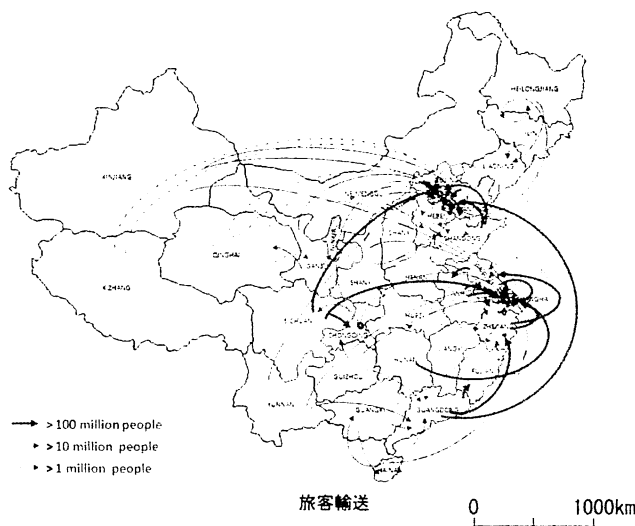


図4 旅客輸送交通重力モデルの推計結果

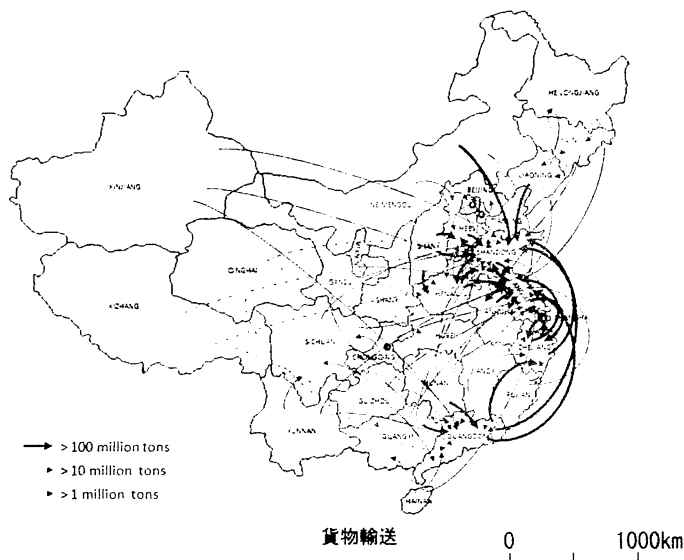


図-5 貨物輸送交通重力モデルの推計結果

に近づくようにパラメータを調整した。一部の結果を図-5に示す。しかし実際の地域間輸送量データがないため、交通重力モデルの結果が検証できないのが課題である。

c) 自家用車走行距離

地域の特徴に応じて、自家用車の走行距離が変わるのが一般的だが、中国の全国レベルの統計データが公表していないため、地域ごとの自家用車走行距離が把握できない。一方、日本の道路交通センサス(13)によれば、昭和49年から平成17年まで乗用車の平均トリップ距離は93%以上が30km未満である。そこで、今回は清華大学のHe(2005)の北京市で測定した自家用車走行距離(2万6千キロ/台・年間)を参考に推計を行った。また、この値を全国一律で、将来も変わらないことを仮定した。

(4) 輸送分担率、燃料効率および燃料別CO₂排出原単位

中国のほとんどの地域において、旅客輸送も貨物輸送も自動車を使った道路輸送が極めて高い分担率を占めている。そして短期的にこの現状を変えることは考えにくい。ため、本研究では2006年の地域別輸送機関分担率を固定値として推計を行った。

輸送車両の燃料消費量は中国交通年鑑⁽¹¹⁾で入手した。鉄道に関して2004年ではディーゼル車と電動車が主流となったが、1995年からの10年間に於ける両者の燃料効率の向上率がともに1%前後に留まっていた。また、道路輸送の長距離バス及びトラックは、95年に対しても3割〜4割悪化している。一方、水運では大幅な効率改善が見られ、95年比56%の燃費が向上した。しかし、これらは実際の測定値が計算値かについて公表していないため、事態を把握しにくい。当然将来予測も難しい。そのため、推計モデルでは2006年現在値を固定にし、推計を

行った。また、自家用車の燃料消費量に関して公表されていないため、He(2005)の測定値(11km/L)を代入した。

燃料別CO₂排出原単位については「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条(平成18年3月)」(環境省)⁽¹⁴⁾が公表したものを使用した。

3. 推計結果とシナリオ分析

(1) 推計結果

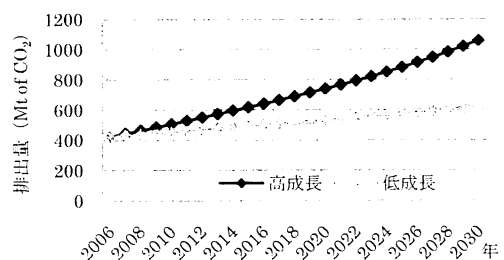


図-6 モデルの推計結果

前章で説明した地域別発生交通量推計モデルを用いて、①中国の経済規模が2006年の3倍となる場合(高成長)と、②1.5倍となる場合(低成長)の2030年までの中国交通部門のCO₂排出量を推計した(図-6)。2030には低成長の場合は618.8Mt(2004年の2.01倍)、高成長の場合は1,058Mt(3.44倍)に達す。また、高成長の場合が低成長の場合に比べ、CO₂排出量は1.7倍増することがわかった。

2030年の交通部門別のCO₂排出量(図-7)を比較した場合、CO₂排出量が最も大きいのは貨物輸送で、全体の

7割近くを占めている。低成長のCO₂排出量が387Mtで、全体の排出量の63%を占める。高成長の場合の排出量は774Mtで、全体の73%に達する。

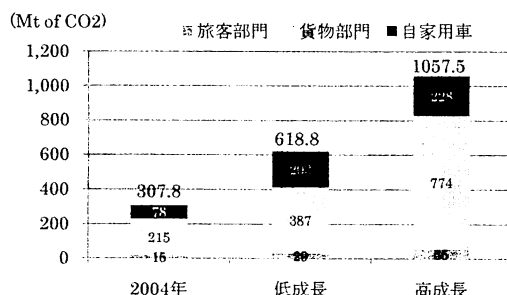


図-7 交通部門別のCO₂排出量の推計結果 (2030年)

地域別のCO₂排出量 (地域間交通と地域内交通の合計、図-8) では、まず、2004年と比べ平均最大3.5倍 (高成長) に増加することがわかった。排出量が最も多い地域は広東省 (98Mt)、山東省 (83Mt)、河北省 (75Mt) で、内陸地域は平均CO₂排出量が20Mtに対し、その他の地域は平均44Mtに達している。一方、増加率において、内陸地域の平均増加率が3.67倍に対し、沿海地域を含む他の地域の平均増加率が3.41倍に止まっている。その一因として自家用車の普及が挙げられる。自家用車部門のみでみたCO₂排出量の場合は、2004年に比べ沿海地域を含む他地域の平均増加率が2.5倍に対し、内陸地域の平均増加率は3.67倍に達し、急速に拡大している。沿海地域

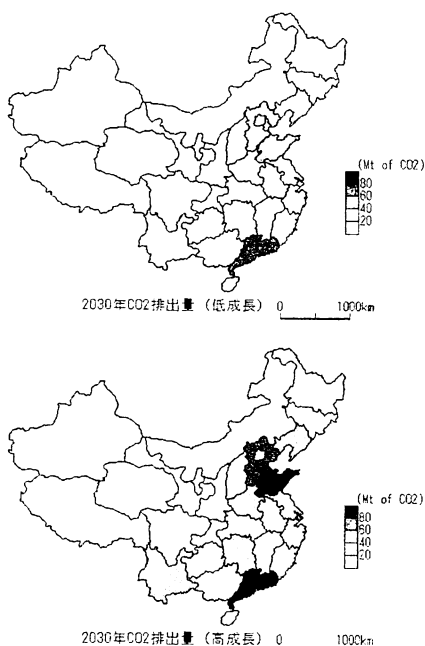


図-8 地域別CO₂排出量推計結果

の増加率の鈍化は都市交通機能の限界性が理由の一つとして挙げられる。近年、沿海地域で急速に自家用車の普及と同時に、道路の渋滞や駐車場の不足などの問題も深刻化している。都市の拡大及び大幅な改善がなければ、自家用車の需要にも影響を与えると考えている。

(2) シナリオ分析

CO₂排出削減シナリオの分析では、中国が高い成長率を維持したままで成長した場合を想定し、表-2に各シナリオの削減効果を比較した。

表-2 CO₂排出削減シナリオ一覧

シナリオ名	適応部門	内容
シナリオB-1	旅客輸送 (鉄道) 貨物輸送 (鉄道)	2030年中国の電動車普及率が90%に達する場合
シナリオB-2	自家用車	低公害車 (HV:1000万台、EV:500万台) 普及する場合
シナリオC-1	旅客輸送 (道路)	改善前 ^① : (G)7.8/(D)8.9 改善後 ^② : (G)11.3/(D)-
シナリオC-2	貨物輸送 (道路)	改善前: (G)12.7/(D)15.4 改善後: (G)18.1 ^③ /(D)17.6 ^④
シナリオC-3	自家用車	改善前: (G)11.03 改善後: (G)26.5 ^⑤

備考: ①改善前は2006年現在中国の燃料効率を示す。②改善後は2006年現在日本の燃料効率を示す (日本「自動車の燃費基準値」 (国土交通省 平成20年3月)¹⁹より)。③G: ガソリン車、D: ディーゼル車。④一般バス (車両重量 3.5~6t、燃費基準値+25%、重量車モード測定)。⑤ガソリン貨物自動車 (中量貨物車、燃費基準値+25%、10・15モード測定)。⑥ディーゼル貨物自動車 (中量貨物車、燃費基準値+25%、10・15モード測定)。⑦ガソリン乗用車 (燃費基準値+25%、10・15モード測定)。

シナリオB-1は今後鉄道部門において電動車の普及が進み、2030年には現在の日本レベルに達した場合。シナリオB-2は現在エコカーが主流になりつつあるなかで、中国でもエコカーの開発及び普及に力を注いでいる。2030年には日本の「低公害車開発普及アクションプラン¹⁶⁾」と同様な目標を達成した場合。そして、シナリオC-1、C-2、C-3は日本2006年現在の車両技術を中国に導入し、道路輸送の輸送車両 (長距離バス、トラック) 及び自家用車の車両燃費を日本現在のトップレベルに達する場合を想定したシナリオである。

シナリオ分析の結果 (表-3) によれば、輸送車両選択シナリオ (B-1、B-2) に比べ、車両燃料効率改善シナリオ (C-1、C-2、C-3) のほうがCO₂削減量が多いことがわかった。単独のシナリオで実行した場合、CO₂排出量を最大133.07Mt、12.58%を削減することが可能である。全て

表-3 シナリオ別CO₂削減効果

シナリオ名	B-1	B-2	C-1	C-2	C-3	全シナリオ ^②
削減量 (Mt)	5.7	57.8	14.0	98.9	133.1	203.5
削減割合 (%)	0.5	5.5	1.3	9.4	12.6	19.2

備考: ①削減割合: ベースラインの合計値1057Mtに対する割合。②全シナリオ: シナリオB-1、2とC-1、2、3を組み合わせたもの。

のシナリオを組み合わせた全シナリオの場合は最大203.47Mt、全体の19.24%の削減が見込まれる。また旅客輸送、貨物輸送、自家用車で比べた場合、最も削減効果が大きいのは貨物輸送104Mtで、次に自家用車85Mt、旅客輸送14Mtとなっている。地域別では広東省の削減ポテンシャルが最も高く、全シナリオの場合は21.84Mt

(全シナリオ削減量に占める割合の11%)となる。次に雲南省16.25Mt (8%)、河北省9.27Mt (8%)と上位3位を占めている。一方、北京市、上海市、天津市はそれぞれ7.27Mt (4%)、2.21Mt (1%)、2.45Mt (1%)と比較的に削減ポテンシャルが低いことがわかった。

また、自家用車における削減効果が貨物輸送と旅客輸送部門を上回った。その理由として統計データ上において燃料効率の面から貨物輸送車(トラック)より、中国の乗用車のほうが燃料効率が極めて低いと考えられる。

4. まとめ

本研究では、中国の31地域について旅客輸送、貨物輸送、自家用車保有台数のCO₂排出量を定量的に把握した。これによって、地域間、輸送手段別での横断的な比較することが可能となった。推計結果によれば、貨物輸送及び自家用車によるCO₂排出量が今後も大幅に増加する。自家用車部門では、内陸部地域において今後経済成長と共に地域内の自家用車保有台数が急速に増加する可能性がある。沿海地域だけではなく全国的にモータリゼーションが拡大する恐れがある。また、CO₂排出量削減のシナリオ分析において、輸送車両選択シナリオと車両燃費改善シナリオ計五つシナリオの削減効果を比較した結果、自家用車における削減効果が、貨物輸送と旅客輸送部門を上回り最も大きいことが分かった。

謝辞：本研究は平成20年度地球環境研究総合推進費(課題番号：Hc-086)、「低炭素型都市づくり施策の効果と

その評価に関する研究」(代表：井村秀文)によるものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国際エネルギー機関 (International Energy Agency, IEA) : CO₂ EMISSIONS FROM FUEL COMBUSTION (1971-2005).
- 2) オランダ環境評価機関 (Netherlands Environment Assessment Agency (NMP)) <http://www.mnp.nl/en/index.html>.
- 3) 沈中元：所得分布曲線を利用した中国のモータリゼーションの予測, IEEJ, 2006.
- 4) Wang Jifeng, Lu Huapu, Peng Hu.: System Dynamics Model of Urban Transportation System and Its Application. J Transpn Sys Eng & IT, volume 8, issue 3, 83-89, 2008.
- 5) Haiyan Chen, S. Ganesan, Beisi Jia : Environmental challenges of post-reform housing development in Beijing. Habitat International, 29, 571-589, 2005.
- 6) Kebin He, Hong Huo, Qiang Zhang, Dongquan He, Feng An, Michael Wang, Michael P. Walsh. : Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: current status, future trends, and policy implications, Energy Policy, 33, 1499-1507, 2005.
- 7) Can Wang, Wenjia Cai, Xuedu Lu, Jinjing Chen. : CO₂ mitigation scenarios in China's road transport sector, Energy Conversion and Management, 48, 2110-2118, 2007.
- 8) Ji Han, Yoshitsugu Hayashi. : A system dynamics model of CO₂ mitigation in China's inter-city passenger transport, Transportation Research Part D, 13, 298-305, 2008.
- 9) 国土交通省：「道路の将来交通需要推計に関する検討会」の関連資料, 2008.
- 10) 総務省統計局：世界の統計, 2008.
- 11) 気候変動に関する政府間パネル IPCC：第4次評価報告書, 2007.
- 12) 中国交通年鑑社：中国交通年鑑. 各巻.
- 13) 道路局：道路交通センサスからみた道路状況.
- 14) 環境省：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条.
- 15) 国土交通省：自動車の燃費基準値, 2008.
- 16) 経済産業省：低公害車開発普及アクションプラン, 2000.

A study on reduction possibility of CO₂ emission in transportation sector of Chinese provinces

Ming Li, Akio Onishi, Osamu Higashi, Hiroaki Shirakawa, Hidefumi Imura

The number of transported passengers in 2006 is 1.3 times of that in 1980, while the volume of transported logistic up to 6 times. Furthermore, due to increase of the private car possession numbers, the growth rate of CO₂ emissions by transportation sector has exceeded that of total CO₂ emissions in China. Previous studies have estimated and evaluated CO₂ emissions of whole China or some parts, but it still lack of the comparison at regional level. In the study, the data of 31 regions from 1960 to 2006 in China are used to build a traffic generation estimation model. Then the CO₂ emissions of transportation sector are predicted for each region according to economic growth and population forecasting. Finally, through five scenarios of discharge reduction such as vehicle choosing or improvement of fuel efficiency, the CO₂ reduction effect is quantitatively evaluated at regional level.