

土地利用誘導によるカーシェアリング事業の 導入可能性と低炭素効果の検討

古明地哲夫¹・大島英幹²・牧誠也³・藤田壮³・五味馨⁴・Dou Yi⁵

¹会員 株式会社三菱総合研究所 〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目10-3

E-mail: komeiji@mri.co.jp

²非会員 エム・アール・アイ リサーチアソシエイツ株式会社 〒100-6105 東京都千代田区永田町二丁目11-1

³正会員 国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

⁴正会員 国立研究開発法人国立環境研究所 福島支部 (〒963-7707 福島県田村郡三春町深作10-2)

⁵非会員 国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

カーシェアリングには低炭素効果も期待されるが、事業として成立するには一定の人口及び人口密度が必要となる。その事業効果を算定するには、長期的な将来での土地利用の誘導により市街地に人口を集約し人口密度を高めることによる追加的な効果を視野に入れることが必要となる。本研究ではこれを評価するため、カーシェアリングと自家用乗用車を明示的に区別する交通機関選択モデルを開発し、これと与えられた土地利用の空間分布から発着地間交通量を推計するモデルを組み合わせて将来シナリオを分析する手法を開発した。これを福島県郡山市に適用した結果、2050年において拠点へ人口及び経済活動を集約し、かつ、カーシェアリングの費用を下げることで約17万t-CO₂の低炭素効果が生じると推計された。

Key Words : Land-use modeling, spatial analysis, urban planning, low-carbon society

1. はじめに

(1) 背景

気候変動の影響が顕在化する中、2015年に第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)が開催され、気候変動抑制に関する多国間の国際的な協定が合意された。このような炭素排出制約のもとで地域の自立的な経済成長を実現するために、同年に決定された国土形成計画(全国計画)では「コンパクト＋ネットワーク」として、土地利用と交通機関を効果的に連携させつつ地域を形成することが示された。それとともに、地域における低炭素化を進めることの必要性が示され、交通部門においては、カーシェアリングやオンデマンドバス、オンデマンドタクシー等の共有型の地域交通システムによる二酸化炭素排出量削減効果が注目されている。2016年5月に閣議決定された地球温暖化対策計画においても、低炭素な運輸サービスとしてカーシェアリングが位置づけられている。これらの地域交通システムは自家用乗用車(マイカー)の保有を減少させることから、短距離トリップの徒歩等への転換や公共交通機関の利用促進等による低炭素効果も期待されている。

これまでに、高野ら¹⁾は、地区の空間デザインによる低炭素な交通行動の誘導策を検討するため、居住地周辺の土地利

用・沿道環境や交通手段の利便性の違いによる交通行動の変化を示した交通手段選択モデルを構築し、名古屋都市圏を対象に、小学校区単位でカーシェアリング導入による低炭素効果の検討を行っている。また、倉内ら²⁾は、自動車依存度の高い地方都市において、自動車利用や保有にかかる費用の知覚値や普段の利用状況、カーシェアリングサービスの認知度や利用意向について、インタビュー調査を実施し、カーシェアリングサービスの利便性を過小に評価している可能性について分析を行った。

これらの研究では、将来の都市の低炭素化という視点で、カーシェアリングを取り扱い、将来推計を行う旅客交通モデルの構築や低炭素効果の評価を分析していない。

カーシェアリングによる二酸化炭素排出量削減効果に言及した研究には、山本ら³⁾による、アンケート調査を行い、カーシェアリングサイトへの会員と非会員の比較、非会員のカーシェアリングの認知度を確認し、削減された自動車購入量等から二酸化炭素削減量に言及したものやWang et al.⁴⁾によるLMDI法を用い、中国の交通機関における二酸化炭素排出量の削減の評価を目指したものやJörg et al.⁵⁾によるドイツ・ウルムにおいて、市内で乗り降り自由なフリーフロート型カーシェアリングを対象としてユーザー一人当たりの二酸化炭素排出削減量を評価したもの、Namazu et al.⁶⁾によるバンクーバーの

カーシェアリングを対象に家庭やそのトリップ特性を整理し、GHG排出削減量を評価したもの、Elliot et al.⁷⁾による北アメリカの主要なカーシェアリング機関を対象に、サービス加入することで自動車利用によるGHG排出量は微増するが、自動車購入に伴う排出量削減を明らかにした研究がある。

これらの研究は現状の交通特性でのカーシェアリングの導入効果の安定が主であり、将来の二酸化炭素削減量を旅客交通モデルによる算定は研究課題として残されている。また、土地利用(空間分布)の集約化によってカーシェアリングの導入可能性が拡大することについては、森田ら⁸⁾のように都市デザインの将来像の一つとして決定論的に扱ったものはあるが、集約化とカーシェアリングの効果に注目してはいない。

(2) 本研究の目的

以上の背景を受け、本研究では将来の土地利用誘導を考慮したカーシェアリング事業の導入可能性と、それによる低炭素効果の評価を行う手法を開発することを目的とする。そのためにカーシェアリングと自家用乗用車の違いを明示的に取り扱う旅客交通モデルを開発する。また、現状ではカーシェアが普及していないため、その利用に関する十分なデータが得られないため、旅客交通モデルのパラメータを推定するためにアンケート調査を併用した。開発した手法を福島県郡山市に適用し、土地利用誘導によるカーシェアリングの対象地域の増加と、低炭素効果を推計する。なお、本研究では、都市内の移動を対象としていることから、カーシェアリングは、中近距離(50km以内)のトリップを対象とする。

本研究で想定した市街地集約とカーシェアリングによる低炭素効果の構造は図-1のとおりである。

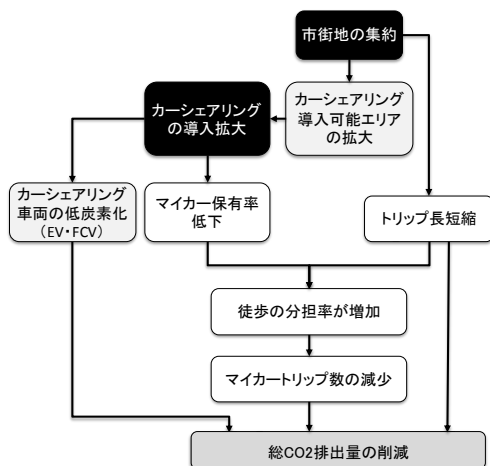


図-1 市街地の集約とカーシェアリングによる低炭素効果の構造

2. 開発した手法

(1) 手法の全体像

図-2に開発した手法の全体像を示す。第1段階として、自動車等の交通関連技術の効率、価格、技術の普及動向の推移、制度の変化と現状、カーシェアリング等の交通マネジメントシステムの実態を調査し、将来のシナリオを設定した。設定したシナリオのもとで、どのように交通手段が選択されるかを推計する非集計型の交通機関選択式を作成し、そのパラメータを確定するため、利用意向等のWEBアンケート調査を行い、将来交通機関の選択モデルを作成した。

次に、交通機関選択モデルによって推計されたマイカー、徒歩、カーシェアリングの各交通量をもとに二酸化炭素排出量を評価する地域交通低炭素効果推計モデルを作成し、カーシェアリングに伴う二酸化炭素排出量削減効果を評価した。

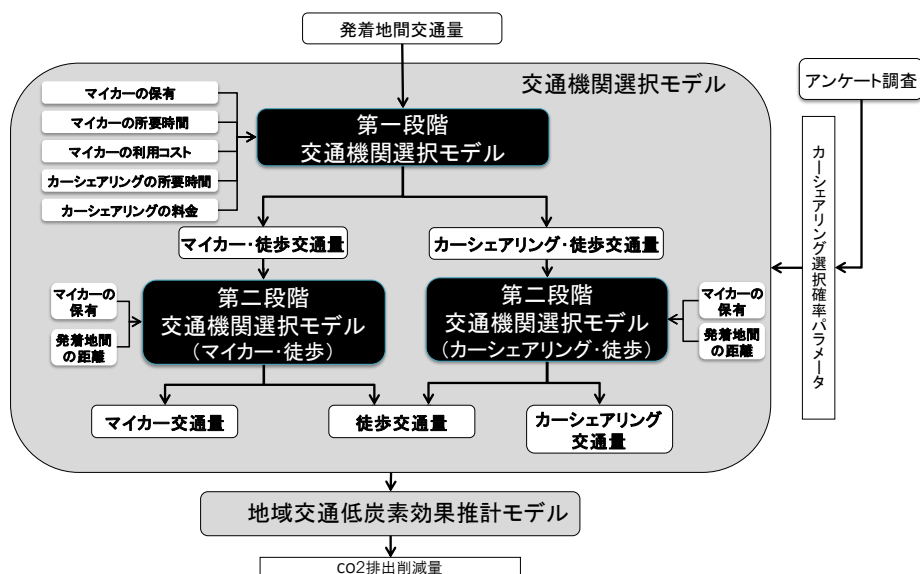


図-2 開発した手法の全体像

(2)カーシェアリング事業の導入対象地域

地域交通システム導入可能性(人口・人口密度)と交通量把握可能性(パーソントリップ調査最新実施年・対象圏域)から対象地域を選定した。交通関連技術・政策システム動向の調査結果より、福島県内で対象とする地域交通システムが導入可能な都市は郡山・福島・いわき市と推定され、市の人口密度が高く、カーシェアリング事業の採算性を確保できる可能性の高い郡山市を対象とした。

(3)発着地別交通量推計モデル

メッシュごとの発生・集中交通量は、携帯電話の位置情報から1kmメッシュ単位の交通量を推計したモバイル空間統計と、地域メッシュ統計から、人口1人あたり平均トリップ数原単位を推計し、将来のシナリオから推計した将来のメッシュ人口を乗じて求めた。なお、各メッシュの人口は、居住人口と従業人口のうち、大きい値のものを採用した。分布交通量は、メッシュ間の交通量がメッシュ間の時間距離の逆数に比例するグラビティモデルを用いて推計した。

$$FOD_{ij} = C \times \frac{FO_i \cdot FD_j}{T_{ij}} \quad (1)$$

FOD: 将来の分布交通量
FO: 将来の発生交通量
FD: 将来の集中交通量
T: 時間距離
C: パラメータ

(4)交通機関選択モデル

第一段階のモデルにおいては、自家用乗用保有の有無および費用と所要時間を考慮して、自家用乗用車利用かカーシェアリング利用かを決定し、第二段階のモデルではそれぞれと徒歩のどちらを選択するかを決定する二段階のモデルを開発した。

a)第一段階交通機関選択モデル

インターネットアンケート調査における選好意識(SP調査: Stated Preferences) 調査結果をもとに、マイカーとカーシェアリングサービスの分担モデルを構築した。なお、SP調査では、それぞれの回答者に各モードのサービスレベルが異なる5種類の設問を用意し、そのひとつひとつを1サンプルと扱ってモデルを構築した。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_c) + \exp(V_s)} \quad (2)$$

$$V_i = \alpha \cdot T_i + \beta \cdot C_i + \sum \gamma_k \cdot D_k \quad (3)$$

i: 各交通機関 (i=c…マイカー, i=s…カーシェアリング)
Pi: 交通機関iの選択確率
Vi: 交通機関iを利用した場合の効用
Ti: 交通機関iを利用した場合の総所要時間(分)
Ci: 交通機関iを利用した場合の総費用(円/日)
(マイカーの場合は日換算した購入・維持管理コストを含む)
Dk: ダミー変数
 α, β, γ : パラメータ

b)第二段階交通機関選択モデル

マイカーやカーシェアリングなどで自動車を利用可能な場合であっても、一般的には極めて短い距離の移動は徒歩を選択し、移動距離が長くなるにつれて自動車を選択する割合が増えると考えられる。また、利用可能な交通手段が自宅から直接乗車可能なマイカーか、あるいはステーションまでのアクセスが必要なカーシェアリングかによって徒歩の選択率が異なることが考えられる。そこで、インターネットアンケート調査における徒歩時間および歩行距離ごとの徒歩利用意向に係わる設問を対マイカー、対カーシェアリングの双方に組み込み、徒歩と自動車の対数線形型選択モデルを構築した。

$$CS = \alpha \text{LOG}(\text{time}) + \beta \quad (4)$$

CS: マイカー・カーシェアリング選択率
time: 徒歩での所要時間
 α, β : パラメータ

(5)WEBアンケート調査

交通機関モデルを構築するため、カーシェアリングの利用意向、マイカーの保有意向を把握するWEBアンケート調査を2017年2月3日(金)～6日(月)に実施した。

現状における交通行動の実態、交通周辺環境と、将来における地域交通システム導入時のマイカー保有意向、地域交通システム導入時の徒歩に関する意向、地域交通システム導入時の地域交通システムの利用意向、自動運転導入時のマイカーの保有、利用意向について質問した。

調査対象地域は、郡山都市圏の10市町村、および仙台都市圏を除く東北地方の都市圏(青森、弘前、八戸、盛岡、秋田、山形、福島、いわき)とした。その結果、得られたサンプル数は2,095人であった。

(6)将来シナリオの設定

土地利用誘導の強度、カーシェアリング事業の有無、カーシェアリングの利用料金と自宅・目的地とステーションの間の所要時間によって表-1に示すとおり「ケース①現状成り行き」「ケース②補助政策による利用促進」の各シナリオを設定した。また、土地利用のシナリオについては表-2の土地利用パターンに示す五味ら⁹⁾の方法を用い、集約化の度合いによって複数のシナリオを設定した。これらのシナリオの下で交通量を推計した結果を比較・分析することにより、カーシェアリング利用の増加とトリップ長の短縮による低炭素効果をそれぞれ推計した。

表-1 シナリオの設定

ケース	カーシェアリングの普及	カーシェアリングの車種	カーシェアリングのサービス水準		マイカーの車種
			ステーションまでの徒歩時間	5km (15分) 当たりの料金	
ケース① (現状成り行き)	あり	全車 EV または FCV	5 分	200 円	全車ガソリン車
ケース② (補助政策による利用促進)	あり+ステーション増設への補助+料金補助	全車 EV または FCV	3 分	100 円	全車ガソリン車

3. 郡山市への適用

(1) 適用の概要

郡山市への適用時の前提条件を表-2, 利用したデータを表-3に示した。

人口と従業者数の密度に着目し、ステーションが現在設置されている個所では、ほぼすべてのステーションで、人口密度、従業者密度の両方が6,000人/km²以上となっていた。また、現状のステーションの費用・収益単価と2050年のカーシェアリング選択率より利益率を推計した結果、人口または従業者数の密度が6,000人/km²が損益分岐点になっていることがわかった。上記より、本研究では、カーシェアリングの導入可能地域を、採算性が確保できる人口または従業者密度が6,000人/km²以上の地域とした。

表-2 検討の前提条件

項目	前提条件
検討対象年次	・ 2030年, 2050年
将来人口・従業者数を設定する際の経済の想定	・ 現状の人口減少トレンドが維持×1人当たり実質 GDP 成長率:1.0%/年 ・ 現状の人口減少トレンドの人口減少率が 3 割程度緩和×1人当たり実質 GDP 成長率:2.0%/年
土地利用のパターン	・ BAU: 将来にわたって現状の活動量の空間分布を維持。 ・ 集約化シナリオ α: 市街化区域への活動量の誘導を想定。市街化区域内の分布は維持。 ・ 集約化シナリオ β-1: 市街化区域内に自治体が計画する拠点への均等な活動量の誘導を想定。 ・ 集約化シナリオ β-2: 市街化区域内の自治体が計画する拠点のうち現状において活動量が大い拠点に集中的に活動量を誘導。

表-3 利用データ

データ名	出典
人口, 就業者数	・ 国勢調査 (2010年)
OD交通量	・ 郡山都市圏パーソントリップ調査 ・ モバイル空間統計 (2016年10月)
燃費データ	・ 環境省次世代自動車普及戦略検討会「次世代自動車普及戦略」(2009年) ・ 日産自動車株式会社「電気自動車 (EV) 総合情報サイト」
CO ₂ 排出係数	・ 環境省「市区町村別自動車交通CO ₂ 排出量推計データ提供システム」

(2) WEBアンケート調査の結果

図-3 は WEB アンケートの結果から確認された、交通手段ごとの目的地までの徒歩時間と徒歩選択確率の関係性を表

したものである。カーシェアリング導入により、徒歩の選択確率は所要時間 15 分以下の短距離で、15%高くなった。

また、図-4 はカーシェアリングが導入した場合のマイカー保有についてアンケートを行った結果である。この結果から、導入された場合でも 57%の人はマイカーの保有意向を示し、特に 25～49 歳の保有意向は全体平均より高かった。しかし、現状の 94%からは大幅に減少し、カーシェアリングによる自動車保有台数の減少の可能性が示唆された。

図-5 は交通機関を選択する際に重視する要素を 3 位まで調査した結果である。カーシェアリング等の地域交通システムが 2030 年に導入された場合、交通機関を選ぶ際に重視する要素として、「自宅～乗車場所」、「降車場所から目的地の移動時間」が最も多く、ステーションへの近接性が重要であることが確認された。

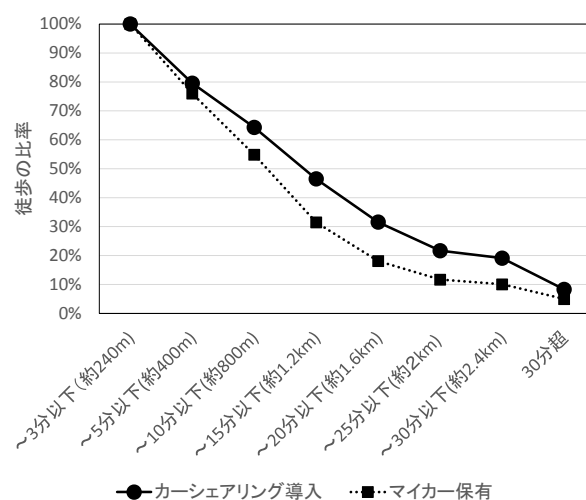


図-3 交通手段別移動距離帯別の歩行意向

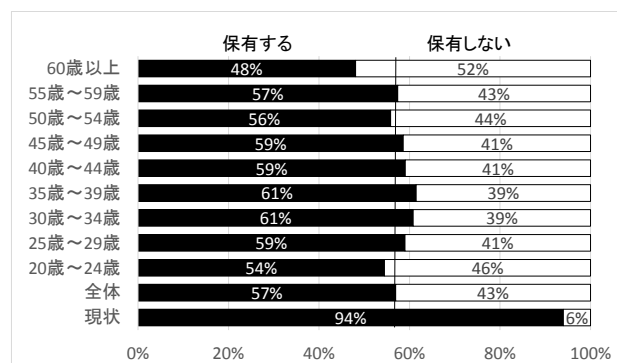


図-4 カーシェアリング導入時のマイカー保有意向

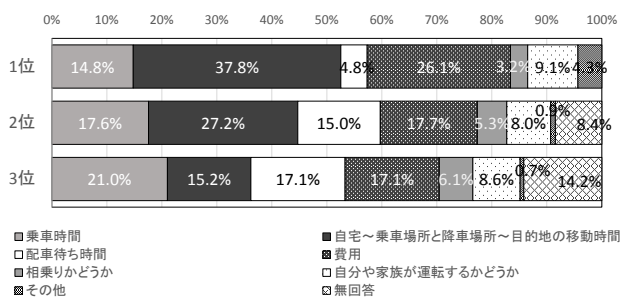


図-5 交通機関を選ぶ際に重視した要素

(3) モデルの構築

a) 発着地別交通量推計モデル

郡山市の人口1人あたり平均トリップ数原単位は、3,320 トリップ/人と推計された。また、発着地別交通量推計モデルには回帰分析の結果から、表-4 に示したパラメータの数値を用いた。

表-4 発着地別交通量推計モデル

項目	値	
パラメータ	係数	t値
	0.011	48.9
決定係数	R ² =0.73	

b) 第一段階交通機関選択モデル

カーシェアリング固有ダミーと3つのバイアス補正ダミーの組み合わせを変えた全15ケースについて、交通機関分担モデルのパラメータを推定した。バイアス補正ダミーは、カーシェアリングの選択状況に特にバイアスが見られた「運転免許保有の有無」、「マイカー保有の有無」、「2050年マイカー保有意思」の3つの属性とした。その結果、モデルの適合度を表す尤度比は0.23~0.35、的中率は76.0~78.4%、時間価値は412~1,500円/時間となり、尤度比および的中率は十分な水準が確保できている一方で、時間価値が500円/時間未満のモデルが多い結果となった。これは、今回の調査対象が地方都市における都市内交通であるために、地方都市の所得水準および短時間(短距離)の移動がターゲットとなることが反映され、相対的に時間価値が低く、費用価値が高い結果になったと考えられる。ここでは、表-5 に示すように、時間価値の適正な水準を1,260~2,034円/時³⁾より、21.0~33.9円/分を1時間単位に換算して、その水準を満たすモデルを採用した。このモデルでは、完全自動運転に移行すると仮定した2050年に、カーシェアリングサービスが普及した環境であってもマイカーを保有するかどうかを聞いたダミー変数が有意となっていた。t値の値は正となることから、マイカーの保有にこだわりがある人が多いほど、マイカーの選択率が大きくなることが確認された。

表-5 交通機関分担モデル

項目	符号条件	対象	係数	t値
総費用(円)	—	c, s	-0.003	-11.4
総所要時間(分)	—	c, s	-0.085	-13.1
2050年マイカー保有ダミー	+	c	2.139	42.2
修正尤度比			0.333	
的中率(%)			76.5	
サンプル数			10,475	
時間価値(円/時)			1,500.3	

対象：c=マイカー、s=カーシェアリング

c) 第二段階交通機関選択モデル

上記のインターネットアンケート調査結果をもとに、徒歩時間および歩行距離に応じた対数線形型の徒歩・自動車選択モデルを構築した。徒歩時間の上限がない「30分超」の累積率を除いた7標本(3分以下~30分以下の累積率)を用いてパラメータを推定した。パラメータ推定の結果およびそれに基づく再現性の検証結果は表-6 に示した。マイカー、カーシェアリング、どちらのモデルも自由度調整済み決定係数は0.9を上回り、図-6のように再現性も良好であることが確認された。

表-6 徒歩・自動車選択モデルのパラメータ

指標	単位	対カーシェアリング		対マイカー	
		係数	t値	係数	t値
定数項	—	-0.260	-9.2	-0.179	-2.6
LN	分	0.338	32.2	0.342	13.3
サンプル数		7		7	
自由度調整済み決定係数		0.994		0.967	

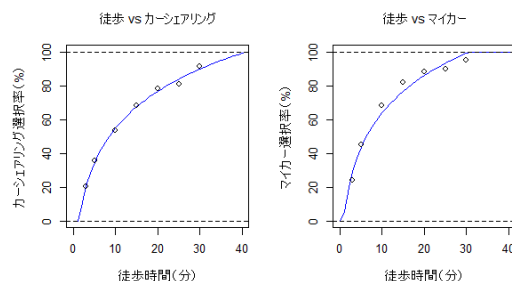


図-6 徒歩・自動車選択モデルの再現性

(4) 推計結果

図-7 に構築した徒歩・自動車選択モデルおよび交通機関分担モデルをもとに推計したシナリオ別交通機関分担率を示した。シナリオは表-1 に示した「ケース①現状成り行き」「ケース②補助政策による利用促進」ごとに表-2 に示した土地利用4パターンを設定し、計8シナリオとし、カーシェアリングの導入可能地域がない現状を表すBAUシナリオと比較した。

図-8 には、シナリオ別交通機関別地域間交通量を示した。

図-7、図-8 に示した結果をもとに、交通手段別のCO₂発生原単位を乗じてCO₂排出量を算出し、その差から削減可能なCO₂排出量を算出した。図-9は集約化のシナリオの違いに伴う、削減可能なCO₂排出量を比較したものである。

複数のシナリオに基づく低炭素効果の試算の結果、 β -2・ケース②では、現状 BAU の排出量が 461 千 $t\text{-CO}_2$ から、167 千 $t\text{-CO}_2$ 削減した。その内訳は、カーシェアリングの導入により 5%、人口集約により 26%、カーシェアリングのサービス水準の向上により 6%、計 36%の CO_2 排出量が削減された。特に、市街化区域内の土地利用が集約された拠点のメッシュでは、最大 $2,900t\text{-CO}_2/\text{km}^2\cdot\text{年}$ 、削減された。

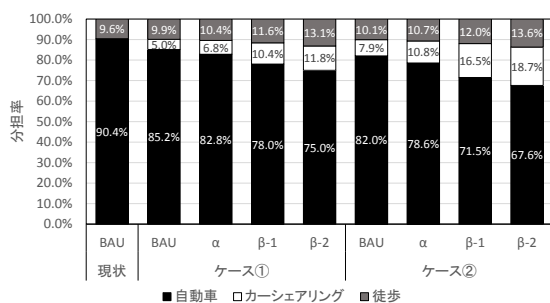


図-7 シナリオ別の機関分担率

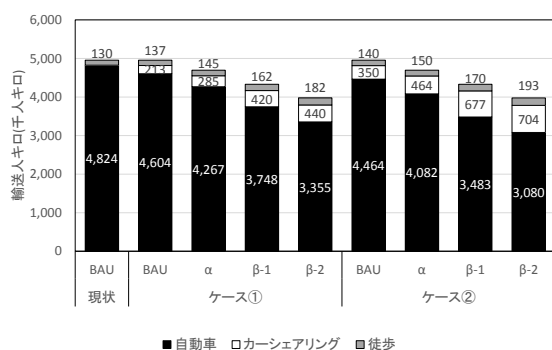


図-8 シナリオ別の輸送量

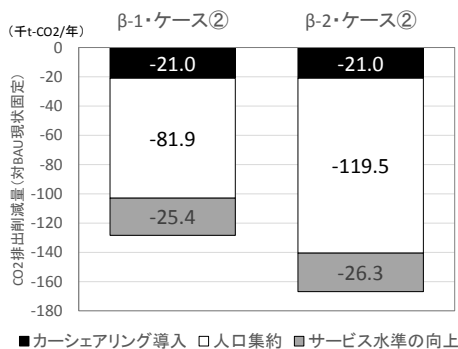


図-9 低炭素効果の分析

4. まとめ

本研究では、将来における土地利用の誘導とともに、カーシェアリングを導入することによる低炭素効果の算出方法を構築した。低炭素効果を評価するため、カーシェアリングと家用乗用車を明示的に区別する交通機関選択モデルを開発し、土地利用の空間分布から発着地間交通量を推計するモデルを組み合わせる将来シナリオを分析する手法を開発した。これを郡山市に適用し、2050年において拠点へ人口及び経済活動を集約し、かつ、カーシェアリングの費用を下げ

ることで約 17 万 $t\text{-CO}_2$ の削減が可能であり、カーシェアリングのような交通マネジメントが都市の低炭素化にも効果的であることが示された。

本研究では自動車交通に着目したため、電車やバスなどの公共交通手段との関係を扱っておらず、集約化に伴い、交通渋滞が起こる可能性についても考慮できていないという課題が残った。また、本研究では交通機関選択モデルを、一定規模の人口密度を有する都市圏の住民の利用意向をもとに構築したが、人口密度が異なる地域では、利用意向が異なると思われる。今後、上記のような課題にも対応できる実証的なモデルへと改良し、より広範の地域において、低炭素効果を評価できるようにしていく。

謝辞: 本研究は環境省「平成 28 年度 CO_2 テクノロジーアセスメント推進事業委託業務」の成果の一部である。また本研究の一部は地球環境研究総合推進費(2-1404)の支援により実施された。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高野剛志, 森田紘, 中村一樹, 加藤博和, 林良嗣: 小地区規模の交通・土地利用施策実施による交通手段分担率変化の予測モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol.46, CD-ROM(203), 2014
- 2) 倉内 慎也, 石村 龍則, 吉井 稔雄: 地方都市における自動車保有者のカーシェアリングサービスに対する利用意向の分析: 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5 (土木計画学研究・論文第 30 巻), 2013
- 3) 山本俊行・成瀬弘恵・森川高行(2006): カーシェアリングが自動車保有および交通行動に及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・講演集
- 4) Wang W.W., Zhang M., Zhou M.: Using LMDI method to analyze transport sector CO_2 emissions in China., Energy 36, 5909-5915, 2011.
- 5) Jörg Fimkom, Martin Müller: What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm, Ecological Economics, 70, 1519-1528, 2011
- 6) Michiko Namazu, Hadi Dowlatabadi: Characterizing the GHG emission impacts of carsharing: a case of Vancouver, Environmental Research Letters, Vol.10, No.12, 2015
- 7) Elliot W. Martin, Susan A. Shaheen: Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 12, No. 4, 1074-1086 2011
- 8) 森田紘圭, 戸川卓哉, 加藤博和, 村山頭人, 飯塚悟, 林良嗣: 低炭素まちづくりを支援する街区群評価・デザインシステムの提案, 土木計画学研究・論文第 29 巻, 2012
- 9) 五味馨, 藤田壮, 岡島優人, 越智雄輝, 文屋信太郎, Dou YZ, 牧誠也: 地域統合評価モデルを活用した将来空間シナリオの分析, 第 45 回環境システム研究論文発表会(投稿予定)
- 10) 加藤浩徳: 交通の時間価値の理論と実際, 技報堂出版, 2013

(2017. 8.25 受付)

POSSIBILITY OF WIDER IMPLEMENTATION OF CAR-SHARING AND HIGHER LOW-CARBON EFFECT WITH LAND-USE INDUCTION

Tetsuo KOMEIJI, Hideki OSHIMA, Tsuyoshi FUJITA, Kei GOMI, Yi DOU

Although car sharing is expected to low-carbon effect, it needs measure of population and population density as a business. If land use policies put together population into urban area in the future, the feasibility of car sharing business will be promoted. This study developed traffic mode select model between car sharing and private car and origin- destination traffic volume estimate model with land use distribution to evaluate the feasibility of car sharing business. These model estimated 170 Mt-CO₂ low-carbon effect if population and business activities will be put together in bases and car sharing cost will be reduced in Koriyama city, Fukushima prefecture in 2050.