

# モビリティ革命の低炭素性評価の 必要性とフレームワーク

朴 秀日<sup>1</sup>・加藤 博和<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター  
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: suil@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センター  
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町) E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

ICT(Information and Communication Technology)やエネルギー技術の進展・普及を基盤として、100年に1度のモビリティ革命が起きると言われており、広く注目を集めている。モビリティ革命に伴う効果の1つとして交通活動に伴う環境負荷の低減が挙げられることがあるが、それを裏付ける学術的な検討は不十分である。そのアプローチとして既存の交通手段やそれを組み合わせたシステムを対象とする手法があり、モビリティ革命にも大きな変更なく適用可能と考えられる。その上で、新しい交通手段やシステムに関するデータを収集・整理することが重要である。そこで著者らは、モビリティ革命が交通活動のCO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響を及ぼし、その具体的な進展内容について調整することでいかに削減できるかを検討するための評価手法を構築しようとしている。本稿ではそのフレームワークを提示する。

**Key Words:** 環境負荷, MaaS(Mobility as a Service), CASE(Connected, Autonomous/Automated, Shared, Electric), LCA(Life Cycle Assessment), Well to Wheel

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景

日本は2050年の目標としてCO<sub>2</sub>排出量の2015年比80%削減を掲げている。CO<sub>2</sub>排出量の約2割を占める運輸部門においては、技術・車両・運行形態の革新を図るだけでは達成不可能であり、移動の変更も伴う交通システム全体の改善が必要不可欠である。一方で、今後はITやエネルギー等に関する新技術の活用に伴い「モビリティ革命」と言われる交通サービスの大変革が見込まれている。

Society5.0 時代を展望すると、CASE (Connected, Automated, Shared, Electrification) と呼ばれる自動車の根本的な変革が見込まれ、シェアリングサービスの普及やMaaS (Mobility as a Service) を実現するための交通モード間連携が注目を浴びており、100年に1度のモビリティ革命が起きると言われている。しかし、モビリティ革命をもたらす新たな技術・サービスの環境負荷に関する学術的・客観的な評価や検討は行われていない状況である。

### (2) 研究の目的

著者らは、(独)環境再生保全機構・環境総合推進費を受けた研究プロジェクト「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件(課題番号:1G-2001)」を名古屋大学・早稲田大学・岡山大学・国立環境研究所によって今年度(2020年度)から3年間実施している。その核

心となる影響を及ぼし、その進展状況を調整することでいかに削減できるかを検討するための評価手法が必要である。本稿ではそのフレームワークを提示・紹介する。

## 2. 既往研究と本研究の位置づけ

交通・運輸に伴う環境負荷および評価手法に関する研究においては、交通手段別にそのものの使用(走行・メンテナンスなど)だけでなく、素材・材料採取から使用(走行)・廃棄までのライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment: LCA)に着目した研究<sup>1)2)3)4)5)6)7)8)</sup>や、カーシェアリング型自動運転および都市構造に関する研究<sup>9)10)11)</sup>、次世代交通システム・EV・超小型モビリティに関する研究<sup>12)13)14)15)</sup>などが行われてきた。

加藤ら<sup>1)</sup>は、交通システムの環境性能評価においてLCAの考え方を適用する必要性を明らかにし、その方法論を開発・評価しており、利用・走行状況を反映させ、交通社会資本整備に影響を受ける他の交通手段や活動まで評価を拡張したExtended Life Cycle Environmental Load (ELCEL)<sup>2)3)</sup>と呼び、道路整備や新規軌道整備時におけるCO<sub>2</sub>排出量変化の評価手法<sup>4)</sup>を構築している。そして、通常のLCAでは個別に評価される車両やインフラをまとめて体系的な交通システムとして扱うSystem Life Cycle Environmental Load (SyLCEL)<sup>5)</sup>による評価とともに、都市内の各種交通手段(自転車、電動アシスト自

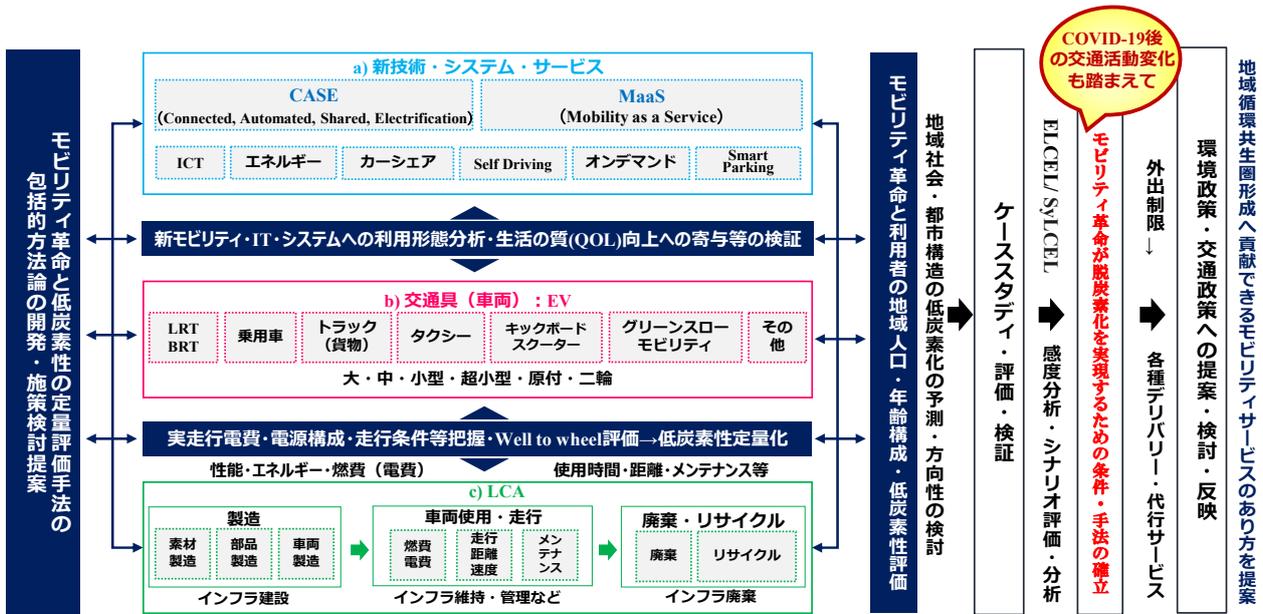


図-1 研究の全体構成とフレームワーク

転車, EV, タクシー, BRT, LRT など) のライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量を推計・比較した研究<sup>9)</sup>や, LRT 導入が環境負荷削減にとって有効かどうか, 需要量等の条件に応じていずれの交通機関が環境負荷削減に資するかを SyLCEL および ELCEL に着目して明らかにしている。さらに, 需要予測などによる感度分析を通じた結果提示によって不確実性を考慮できるような交通システム LCA における情報提供の方法論を提示<sup>7)</sup>している。

ところが, 近年は EV 車や超小型モビリティ, MaaS, 自動運転, カーシェアなどに関する研究開発が行われているものの, 新技術・システム・サービスを基盤にしたモビリティ革命に伴い, これが脱炭素化にどれくらい寄与できるかについての客観的な評価までには至っていない。

以上を踏まえ, これまで構築されてきた自動車や鉄道・バスなど既存の交通システムに伴う LCA の評価手法を用いて, 新しい交通手段の原単位を Well to Wheel (WtoW) にも留意して整備し評価への適用を図る。また, 様々な新技術・サービスを導入した場合の交通システムにおける低炭素性変化を把握し, さらに需要・供給状況やインフラ整備・エネルギー技術等の要因による変化も考慮できる評価手法を開発する。

### 3. 研究プロジェクトの概要

#### (1) フレームワーク

本研究のフレームワークを図-1 に示す。

##### a) 新技術・サービス

モビリティ革命の原動力となる CASE や MaaS といっ

た新技術およびシステム, サービスを用いたモビリティ革命が進む中でモビリティの概念も大きく変わる。

CASE と MaaS のシステムが具現化される社会・環境として, 例えばトヨタ自動車<sup>10)</sup>などは, Grab や Uber 社等, MaaS 事業者との提携モデルを通じて, トータルケアサービスやライドシェア向け自動運転車の開発・実用化, ディスプレイオーディオのスマートフォン連携機能などを推進している。また, 人工知能や自動運転技術, 水素で発電する燃料電池電源車をはじめ, 移動式発電・給電システムを構築して電気を届ける車などの導入もあげられる。

MaaS は ICT (Information and Communication Technology) を基盤として交通をクラウド化し, 公共交通か否か, またその運営主体にかかわらず, マイカー以外のすべての交通手段によるモビリティ (移動) を 1 つのサービスとしてとらえ, シームレスにつなぐ新たな「移動」の概念<sup>17)</sup>である。利用者は複数の交通サービスを組み合わせ, それらがスマホアプリ 1 つでルート検索から予約・決済まで完了し, シームレスな移動体験を実現する取り組み<sup>18)</sup>である。さらに, 車両・エネルギー, クラウド・ビッグデータといった情報技術を活用しつつ, 通勤・通学をはじめ, レジャー・観光などにおけるルート検索, 車両予約・決済サービス, カーシェアリングやオンデマンドサービス, またこれらと連動した自動運転サービス, オンデマンドサービス, スマートパーキングサービスなどを取り入れる。

本研究では, これら様々な新技術・サービスが実際に旅客交通の環境負荷低減や脱炭素化に寄与できるか, またどれくらい削減できるかについて, 交通手段およびモードと組み合わせで評価する。さらに, 都市・地域構造と利便性 (QOL) の向上に寄与しつつ, ひいてはまちの活性化

表-1 交通手段・具の分類

平日（日常：通勤・通学・通院・買物等） 休日（非日常：余暇等）			
	乗り合い	自家用	シェアリング
中・長距離	LRT・BRT 電車・バス (EVを含む) など	乗用車(EVを含む)など	乗用車(EVを含む)など
短距離 (50km内/日)		超小型・GS M・キック ボード(スク ーター)・車 椅子・セグ ウェイ(EVを 含む)など	超小型・ キックボー ド・スクー ター(EVを含 む)など

に貢献できる施策検討手法の提案を目指す。

#### b) 交通具

本研究で検討する対象分類を表-1に示す。前節で述べたように、本研究では用途と距離別に旅客交通サービス（交通手段および交通具）を再分類した。平日は主に通勤・通学・買い物など日常生活による移動が、休日の場合は観光・旅行・レジャーなどが目的となり、乗り合い（LRT・BRT・電車・バス・タクシーなど、EVを含む）、自家用（中・小型車・キックボード・スクーター・セグウェイ・車椅子など、EVを含む）、カーシェアリング、貨物移動の利用（貨客混載）が主体となり、中・長距離と短距離向けに分類する。

#### c) LCAとWtoWに基づく環境負荷の評価手法の考え方および原単位の整備

LCAに基づき、対象となる交通具・サービスにおける原単位データを整備する。対象は、鉄道・モノレール・新交通システム・バス・タクシー・普通自動車・二輪車といった従来のモードに加え、LRT・BRT・オンデマンド交通・小型乗合といった今後普及が期待されるモードを扱えるようにする。今後の電源構成の変化を踏まえた排出原単位を導入し、WtoW評価を行い、電動車両および新モビリティの低炭素性評価手法を整備する。

評価対象とする範囲を図-1に示すように、「車両」および「インフラ」の製造・建設から走行・運用にかかる維持・管理、廃棄までの一連の過程となる。車両のライフサイクルは大きく「製造」「使用」「廃棄」に分けられ、「製造」段階は「素材・部品・車両」の製品製造とする。「使用」は「燃費・電費」「走行距離・速度」「メンテナンス」, 「廃棄」は「廃棄」「リサイクル」とする。一方、「インフラ」の場合は、インフラの「建設」「維持・運用」の段階とする。

## (2) 研究のプロセス

本研究のプロセスに関する以下 a)~d)のフローを図-2に示す。本研究は4つの流れからなる。

#### a) 交通システムの低炭素性評価の包括的方法論の開発

モビリティ革命が交通活動の脱炭素化に資する方向に進むために必要な施策や技術を見出すために、様々な新技術・サービス導入によって交通システムの低炭素性を定量評価する手法を開発する。これは、国・自治体や企業等がその施策や企画を検討する際に活用できるものとする。そのため、交通具の評価手法に交通路（道路・鉄路等）を加え、交通システムを一体的かつ包括的に（SyLCEL）評価可能とし、交通システム導入によって時間・空間的に生じる遡及・波及効果も含めた（ELCEL）評価・予測が可能なフレームワークとして確立する。公共交通はもとより、今後の車の所有・共有形態の変化を踏まえた低炭素性評価手法を整備する。さらに MaaS 等による複数のモードが組み合わされた交通システムやそれが都市に与える影響を評価し、新たな交通システムに伴う低炭素性評価の方法論の全体像を提示する。

#### b) 交通具・エネルギーに関する新技術の低炭素性評価

電動バスおよび新モビリティ（グリーンスローモビリティ、超小型モビリティ、パーソナルモビリティ）の実走行時の電費情報の収集を行う。また、各種電動車両を充電する際の、地域・時間ごとの電源構成について把握する。実走行時電費の情報収集に加えて、勾配（回生）、走行パターン（車速、距離）等の走行条件が与える影響についてシミュレーションにより明らかにする。定時定路線運行を行う車両について、電動化した際の充電可能時間を把握する。把握された実電費および電源構成、走行パターンの影響を加味した WtoW 評価を行うことで、電動車両の低炭素性を定量化する。以上の結果を用いて、従来と同等の利便性を確保しつつ、低炭素効果を最大化するための最適な充電出力、スケジュール、配置を明らかにする。

#### c) IT等交通マネジメントに関する新技術の低炭素性評価

ITによってシームレスにつながった交通サービスを提供する MaaS や、オンデマンド・シェアリングなど、モビリティ革命の核となる新たな交通具利用形態に着目し、それらの低炭素性を評価する手法を開発し、各事例を評価する。併せて、モビリティ革命が利用者の QOL にどのような影響を及ぼすのかを分析し、低炭素でかつ QOL を高める交通システム実現の方向性を明らかにする。

グリーンスローモビリティや超小型モビリティの事業を対象として、With-Without 分析や感度分析等によって、低炭素化に資するか否かを検証し、低炭素化に向けた課題を抽出する。また、MaaS に関する情報収集や次年度以降に向けたネットワークを構築する。前年度の対象事業を引き続き調査・分析するとともに、MaaS 事業の低

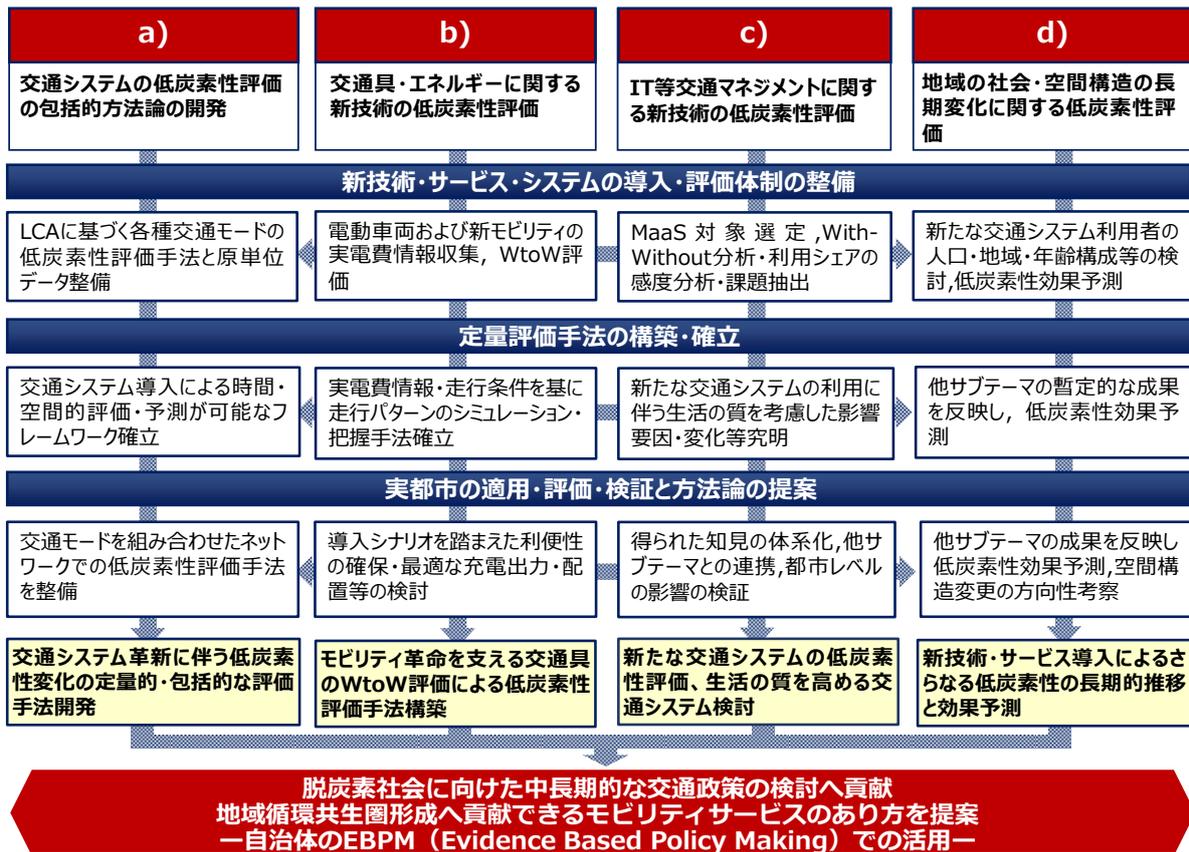


図-2 研究のプロセス

炭素性を評価する。また、新たな交通システムの導入によって外出頻度の増加や新たな目的の創出など QOL にどのような影響を与えたのかを明らかにする。前年度までの分析から得られた知見を体系的に整理するとともに、他の手法との連携を図りながら、実際の都市を対象として、IT等交通マネジメントによる都市レベルでの影響を検証する。

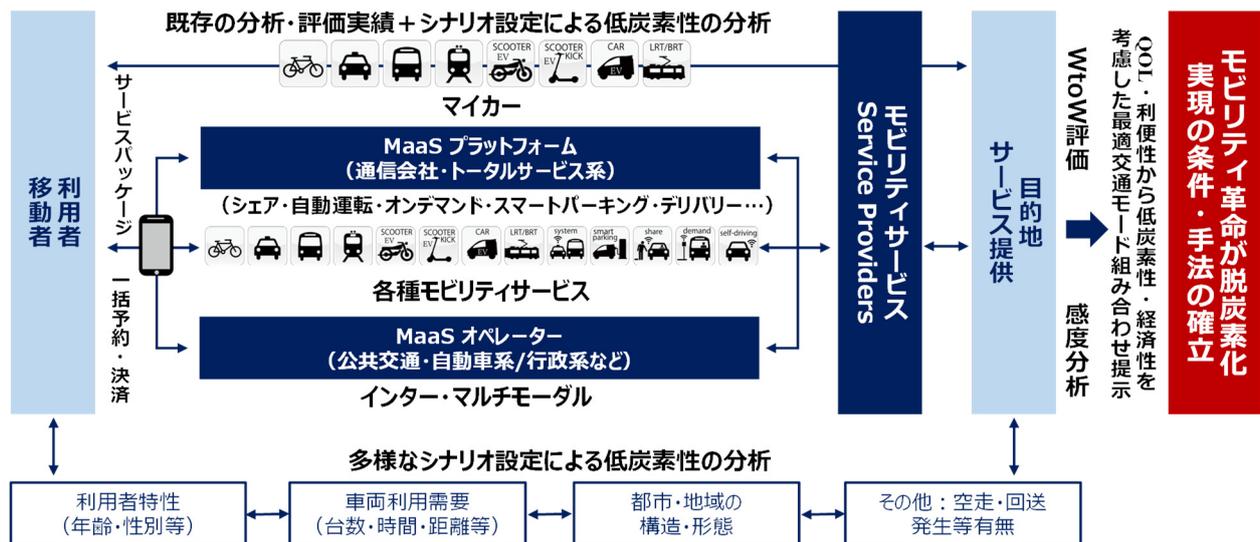
**d) 地域の社会・空間構造の長期変化に関する低炭素性評価**

将来の地域の社会・空間構造の長期変化とそれに伴うライフスタイルの変容を踏まえた交通需要変化をシナリオ化し、CO<sub>2</sub>排出量の長期的推移の予測を行う。さらに、a)~c)による新技術・サービス導入やそれらの組み合わせを考慮した場合の低炭素性を評価し、各地域の将来変化に合わせたモビリティにおける低炭素性の方向性を示す。新しい交通モードや交通システム、交通サービス利用者の特徴を反映しうる人口の地域分布と年齢構成等の区分を検討し、その設定に沿った長期変化の試算値を提示するとともに、CO<sub>2</sub>排出量の予測を行う。上記の a)~c)の暫定的な成果を反映した低炭素性の評価を実施するとともに、さらに望ましい社会・空間構造の方向性について考察し、知見をとりまとめる。

**4. おわりに**

交通サービスの LCA による原単位整備を基本とし、「CASE」と「MaaS」サービスを適用したインター・マルチモーダルモビリティサービスを取り入れた場合を対象とする CO<sub>2</sub>排出量分析手法の構成を図-3に示す。これらが実際に環境負荷低減や脱炭素化に寄与できるかどうか、既存および新しい交通サービスを通じた利用者の特性・需要・目的・都市構造など実際の都市を対象にシナリオ別に評価・検証する。それによって、その地域に相応しいシームレスな移動と環境負荷の低減・低炭素性の向上を同時に実現することで、QOL 向上にも寄与できる評価手法、すなわち本研究の目標である「モビリティ革命が脱炭素化を実現するための条件を明らかにする手法」を確立し、地域循環共生圏形成へ貢献できるモビリティサービスのあり方の提案を目指す。

新型コロナウイルスの影響により、我々の生活パターンや仕事が大きく変わることを余儀なくされた。このように、新型コロナウイルスの影響で交通活動においても非常に大きな変化が予想される。例えば、東南アジアでオンデマンド交通システムやモバイル決済プラットフォームを展開する Grab では、外出制限によってライドシェアサービスの売り上げが大幅減少し、決済ビジネス

図-3 交通サービスと CO<sub>2</sub>排出量分析手法の構成

も経済全体の停滞に伴って減少傾向がみられる。いわゆる「巣籠り需要」によってフードデリバリーサービス（Uber Eats など）や新型コロナウイルス感染者を搬送するための専用車両（ホンダなど）、出勤用オンデマンド相乗りタクシー、買い物や薬の受け取りの代行サービス（広島県のアサヒグループ、新潟県つばめタクシーなど）を高齢者や外出を控えている人々に向けて提供するなどの動きがあるが、今後はさらに交通活動・サービスが急速な変化をすると予想<sup>9)</sup>される。本研究では、コロナウイルス後の交通活動変化によるシステム・サービスの変化が CO<sub>2</sub>や QOL に与える影響をも明らかにすることを視野に入れている。

**謝辞：**本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF2020IG01）により実施した。

### 参考文献

- 加藤博和：交通分野へのライフサイクルアセスメント適用特集・交通と環境，IATSS Review, Vol.26, No.3. 55-62, 2001.
- 加藤博和：交通整備による環境インパクト計測手法としてのライフ・サイクル・アセスメント，交通工学, Vol.33, No.3, 81-86, 1998.
- 中村英樹，加藤博和，丸田浩史，二村達：都市間高速道路の横断面構成の相違による CO<sub>2</sub> 排出量のライフサイクル評価，環境システム研究, Vol.26, 261-270, 1998.
- 加藤博和，大浦雅幸：新規鉄軌道整備による CO<sub>2</sub> 排出量変化のライフ サイクル評価手法の開発，土木計画学研究・論文集, No.17, 471-479, 2000.
- 加藤博和，柴原尚希：ELCEL 概念による Social/Dynamic LCA への挑戦，日本 LCA 学会誌, Vol.5, No.1, 12-19, 2009.
- 森本涼子，伊藤圭，山本充洋，加藤博和，柴原尚希：都市内旅客交通手段のライフサイクル CO<sub>2</sub>排出量比較，土木学会論文集 D3, 土木計画学, Vol.68(5), I\_285-290, 2012.
- 柴原尚希，渡辺由紀子，森本涼子，加藤博和：交通システム LCA における評価の不確実性を考慮した情報提示の方法論，日本 LCA 学会誌, Vol.5, No.2, 229-236, 2009.
- 松橋隆治，石谷久，菅幹雄，吉岡完治：ガソリン自動車と電気自動車のライフサイクルアセスメント，日本エネルギー学会誌, Vol.77, No.12, 1184-1192, 1998.
- 香月秀仁，東達志，高原勇，谷口守：シェア型自動運転車による自動車利用変化—空走時間発生による環境負荷への影響—，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.74, No.5, I\_889-I\_896, 2018.
- 東達志，香月秀仁，谷口守：都市構造の違いがシェア型自動運転車の運行効率に及ぼす影響，都市計画論文集, Vol.53, No.3, 551-557, 2018.
- 伊藤真依子，浅野周平，森本章倫：LRT と電気自動車が連携した次世代交通システムの環境改善効果に関する研究，都市計画論文集, Vol.54, No.3, 1268-1274, 2019.
- 秋山孝正，井ノ口弘昭：超小型モビリティの利用可能性に関する実証分析，自動車交通研究, 2016 巻, 24-25. 2016.
- 須永大介，青野貞康，松本浩和，寺村泰昭，久保田尚大：都市圏郊外部における超小型モビリティの活用可能性に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.72, No.5, I\_641-I\_651, 2016.
- 西堀泰英，加藤秀樹：地方都市における超小型電気自動車の利用環境と電費特性に関する分析，自動車技術会論文集, Vol.48, No.4, 933-938, 2017.

- 15) 橋本成仁, 藤本紳介, キムヘヨン: 超小型モビリティシェアリングシステム導入による街の魅力への影響の要因分析—岡山市を対象として—, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.73, No.5, 1\_931-1\_939, 2017.
- 16) TOYOTA ホームページ, <https://global.toyota.jp/mobility/case/> (最終閲覧日: 2020年10月4日)
- 17) 国土交通政策研究所-PRILIT: PRI Review 69号 (2018年夏季) MaaS (モビリティ・アズ・ア・サービス) について, [https://www.mlit.go.jp/pri/kikanshi/pdf/2018/69\\_1.pdf](https://www.mlit.go.jp/pri/kikanshi/pdf/2018/69_1.pdf), (最終閲覧日: 2020年10月4日)
- 18) 日高洋祐, 牧村和彦, 井上岳一, 井上佳三: MaaSモビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ, 日経BP, pp.320, 2018.
- 19) IoT: 新型コロナウイルスがもたらす MaaS ビジネスの変化—Mobility Transformation Online レポート 1, <https://iotnews.jp/archives/152628> (最終閲覧日: 2020年10月4日)

(2020.10.4 受付)

## NECESSITY AND FRAMEWORK FOR EVALUATING DECARBONIZATION BY THE MOBILITY REVOLUTION

Suil PARK, Hirokazu KATO

The “mobility evolution” is expected to occur, and it has been attracting widespread attention. This is based on the progress and diffusion of ICT (Information and Communication Technology) and energy technology. One of the effects is the reduction of the environmental load by transport activities. However, academic studies to support it are still insufficient. As for the academic study method, research is being conducted on existing transport modes and systems, it is important to collect and organize data on new modes of transportation and systems.

Therefore, we evaluate impact the mobility revolution gives the CO<sub>2</sub> emissions of transport activities, and adjust depending on the specific details in the progress of the movement. We will also develop an evaluation method to examine how emissions can be reduced. In this article, we present and introduce a framework to achieve this.