

中大量公共交通と次世代モビリティツールの利用および導入を考慮した低炭索性評価手法

朴 秀日¹・加藤 博和²・大石 直毅³

¹ 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

² 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

³ 非会員 元名古屋大学大学院環境学研究科
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

今後普及が見込まれる次世代モビリティツール（本研究ではパーソナルモビリティを扱う）については、CO₂ 排出量の客観的な計測例がなく、低炭索性評価ができない状態にある。そこでライフサイクルでの CO₂ 排出量を推計し、原単位を整備した。さらにパーソナルモビリティ導入に伴う他モードへの影響を含めた CO₂ 排出量の変化を推計する手法を構築した。

推計の結果、自転車の人力に起因する分を考慮した場合、CO₂ 排出量が最も少ないのは電動キックボードであることが明らかになった。加えて、乗用車から公共交通（鉄道・バス）＋パーソナルモビリティへ転換した際に、乗用車の乗車人数が平均的な値である 1.3 人の場合 CO₂ 排出量が減少することが分かった。

Key Words: CO₂ emissions, MaaS(Mobility as a Service), CASE(Connected, Autonomous/Automated, Shared, Electric), LCA(Life Cycle Assessment), Well to Wheel

1. はじめに

新たな技術・サービスによる CO₂ 排出量変化に関する学術的・客観的な評価が求められる。

(1) 研究の背景

日本は、2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにする「脱炭素社会」を標榜し、そのために「2030年度の温室効果ガス排出量を 2013 年度比 46%削減」を目指すことを2021年4月の気候サミットにおいて宣言した。国土交通省の『運輸部門における二酸化炭素排出量』¹⁾によると、2018年度における日本の CO₂ 排出量のうち、運輸部門は 18.5%であり、その 49.8%を旅客自動車²⁾が占める。CO₂ 排出量削減目標の達成には、運輸部門での削減が不可欠である。

一方、ICT の普及や高度化などによって、自動車の CASE (Connected・Automated・Shared・Electrification) および交通システムの MaaS (Mobility as a Service) への転換が起き、100 年に 1 度とも言われる「モビリティ革命」が見込まれている。この過程において、脱炭素化に貢献する技術を導入することが当然ながら求められることになる。

ところが、現実にはそのような検討はあまり行われていないばかりか、例えば、電動車両が「走行時に CO₂ を出さない」ことのみを示すなど、根拠なく低炭素をうたうことが横行している。そのため、モビリティ革命が脱炭素化を実現する根拠もない。モビリティ革命をもたら

(2) 研究の目的

以上を踏まえ、本研究ではモビリティ革命に伴って普及が見込まれる近距離向け次世代パーソナルモビリティツール（超小型モビリティ（超小型 EV）、電動キックボードなど）を対象とする低炭索性評価手法を構築することを目的とする。その際、交通システムの環境評価を包括的に行うために、LCA (Life Cycle Assessment) の方法論を適用する。これは、特に電動車においては、走行時には CO₂ 排出がないものの、その発電時に排出していることや、蓄電池などの車両装備に起因する CO₂ も考慮する必要があるためである。

具体的には、まず LC-CO₂ 排出原単位データを調査・収集・整備する。次世代モビリティツールの走行原単位においては、ヒアリング調査および電費計測実験などを通じて WtoW 原単位を整備し、これを用いて各交通具を対象に使用距離・乗車人数・エネルギー源（発電ケースの違い）などによる LC-CO₂ 排出量を推計する。さらに、乗用車から「幹線：中大量公共交通機関＋端末：パーソナルモビリティ」への転換による LC-CO₂ 排出量の変化を推計する。

以上によって、次世代モビリティツールの導入および

普及による CO₂排出量変化を検討する手法を提供することを旨とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

(1) 既往研究の整理

一般に交通機関の CO₂排出量として、車両走行の際に排出される CO₂のみに注目されることが多いが、実際にはその他あらゆる事象に起因する CO₂排出がある。LC-CO₂評価は、それらを含めて考慮し、ゆりかごから墓場までのライフサイクル全体での CO₂排出量を評価することである。

各種交通機関の LC-CO₂を推計する研究は数多く存在する。長田ら²⁾はモノレール、AGT、LRT、GWB、BRTなどを対象に中距離輸送機関を建設した際の環境負荷を評価し、需要量による感度分析を実施することで、公共交通の乗車率による違いを検討している。また、森本ら³⁾はGV、EV、タクシー、都心回遊バス、BRT、LRT、自転車、電動アシスト自転車などを対象に、道路の1車線を自転車道、バスレーン、軌道にそれぞれ変化させた場合の LC-CO₂を推計し、道路の混雑率による違いを検討している。河合ら⁴⁾はLRT、BRT、路線バス、自動車などを対象に、環境性能とその他移動性能を考慮した effective speed 指標を用いて、各交通機関を比較し速度や快適性などの違いを検討している。田中ら⁵⁾は電動アシスト自転車、自転車を対象に LC-CO₂原単位を整備している。

一方、パーソナルモビリティの CO₂排出量についての既往研究をみると、金ら⁶⁾はコンパクト交通手段（自動車、自動二輪車、自転車、車椅子、ミニカー等）の大きさや速度、安全性などの特性を整理・分析し、道路交通における共存性について分析している。また、井ノ口ら⁷⁾は公道内での超小型 EV の走行特性について、実車の走行やシミュレーションを通して検討している。山田ら⁸⁾は超小型 EV のシェアリングサービスの運用方法の最適化モデルを提示している。

以上のように、既往研究においては交通機関による CO₂排出やパーソナルモビリティの特性については扱われているが、超小型 EV や電動キックボードなどの次世代モビリティの CO₂排出原単位を整備した研究はほとんど見られない。

(2) 研究の位置付け

本研究では、次世代モビリティツールのうちパーソナルモビリティを対象に LC-CO₂排出原単位データを調査・収集・整備する。これらについては、そもそも走行

原単位（電費）すらほとんど公表されておらず、低炭素性の客観的評価ができない状態にあった。そこで、参考文献データおよび電費計測実験の実施を通じて WtoW 原単位を整備する。この値を用いて、使用距離、乗車人数、エネルギー源などによる CO₂排出量の違いを推計できる手法を構築する。

ただしこれだけでは、次世代モビリティツール導入に伴う CO₂排出量の変化を包括的に評価することができない。なぜなら、モビリティツール単体のみに着目しており、その導入が他モードの利用や交通需要全体に与える影響を考慮していないからである。

著者の加藤ら⁹⁾は、通常 LCA では個別に評価されてきたインフラと車両それぞれのライフサイクルにおける環境負荷をまとめて一体的な交通システムとして扱う SyLCEL (System Life Cycle Environmental Load)¹⁰⁾による評価を行ってきた。さらに、交通システムの利用や走行状況などの変化を反映させ、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範囲 (boundary) でのライフサイクルにおける環境負荷を ELCEL (Extended Life Cycle Environmental Load) と定義し、その枠組みで新規の鉄軌道や道路の整備時における CO₂排出量変化の評価手法¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾を構築してきた。

以上の評価手法は、モビリティ革命を構成する新技術・サービスの評価においても必須かつ適用可能である。そのため、新技術・サービスについての必要情報を収集・分析するとともに、それらの導入が交通需要・活動にどのような影響を与えるかを考慮し、その影響範囲まで推計を拡張 (ELCEL) して評価する必要がある。

3. 各交通具の LC-CO₂原単位の整備

(1) 対象とする交通具

本研究では、今後普及が見込まれ、かつ現時点で公道を走ることができる超小型 EV、電動キックボードの 2 つのパーソナルモビリティと、それらの代替手段となる既存の交通具を評価対象とする。超小型 EV はトヨタ車体製のコムス (1 人乗り) を、電動キックボードはブレイズ社の EV-SCOOTER を対象に推計を行う。既存の交通具については、a)法令で公道走行が認められていること、b)近距離の移動に用いられること、c)個人で所有、もしくは個人が借りて使用すること、の 3 つを満たすものとして、二輪車(400cc)、原付(50cc)、電動アシスト自転車、自転車を扱う。

また、これらの普及に伴って自家用乗用車の利用が減ることを想定し、ガソリン自動車 (GV)、ハイブリッドガソリン自動車 (HV)、電気自動車 (EV) を対象と

する。また、中大量公共交通（鉄道や路線バス）の端末手段として使用される場合も考慮できるようにするため、それらも対象として扱う。

(2) LC-CO₂原単位

交通具 m の LC-CO₂排出量 D を式(1)に示す。このうち、各交通具の「製造時の CO₂排出量」, 「走行時の CO₂排出量」, 「走行時の電力消費量」, 「ライフタイム」を LC-CO₂原単位として整備する。なお、廃棄時の CO₂排出量は総量と比べて微量であることが森本ら³⁾により示されており、本研究においても推計に含めない。また、整備した LC-CO₂原単位を用いて CO₂排出量を推計する。

$$D^m = \frac{D_c^m}{L^m} \times Y + (D_r^m \times T) + (E_r^m \times \gamma^e \times T) \quad (1)$$

m : 交通具, D_c : 製造時の CO₂排出量[g-CO₂/台], L : ライフタイム[年], Y : 使用年数[年], D_r : 走行時の CO₂排出量[t-CO₂/人 km], T : 使用距離[人 km/日], E_r : 走行時の電力消費量[kWh/人 km], γ^e : 電力の CO₂排出係数[t-CO₂/kWh]。

(3) 各交通具の CO₂排出量・電力消費量の整備

a) 乗用車

GV, HV 車の製造時の CO₂排出量については、河合ら⁴⁾から引用する。走行時の CO₂排出量については、走行中のガソリン燃焼は、土肥ら⁵⁾に記載されている「2015年式以降のガソリン自動車・乗用車の CO₂排出量」と「従来車とハイブリッド車の CO₂削減率」の、それぞれ平均旅行速度 30[km/h]の値を用いて計算する。これは、一般道路の昼間 12 時間平均旅行速度が 31.6[km/h] (国土交通省『平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査』) であることによる。今後特定の地域の評価を行う場合は、『全国道路・街路交通情勢調査一般交通量調査』等を参考に地域の特性を反映できる平均旅行速度を設定する必要がある。なお、土肥ら⁵⁾には、平均旅行速度 5[km/h]刻みごとの CO₂排出量データが記載されている。土肥らの値に加え、LCI データベース IDEA からガソリン製造時の CO₂排出量を引用し走行時の CO₂排出量を推計する。

EV 車の製造時の CO₂排出量については河合ら⁴⁾より、走行時の電力消費量については宮崎⁶⁾で示されている電力消費と平均旅行速度の関係式に、GV, HV と同様に平均旅行速度 30[km/h]を代入し、これに応じた電力消費量を推計する。

一方、乗用車の乗車人数の違いを考慮するため、GV, HV, EV について、燃費および電費は総質量に比例すると仮定し設定する。車両質量は、GV1,000[kg], HV1,060[kg], EV1,280[kg]とし、乗員体重は 55[kg]とする。

GV と HV, GV と EV の質量比は、同様の車種で GV と HV, GV と EV が市販されている車両を参考に設定した (HV/GV : トヨタ自動車のヤリス, EV/GV : 三菱自動車のミニキャブバン・ミニキャブミーブ)。乗員体重は土肥らを参考し、2人乗車時の値として推計した。

b) 超小型 EV

製造時の CO₂排出量については、既に整備されているライフサイクル全体の CO₂推計データをメーカー (トヨタ自動車) のヒアリング調査により入手し、他社製 (日産自動車) の EV での LC-CO₂排出量の推計結果 (製造時の比率) などを参考して推計する。走行時の電力消費量は、豊田都市交通研究所の実証実験のデータ¹⁷⁾の平均をとり推計する。

b) 電動キックボード

製造時の CO₂排出量は、部品製造時と組立時の CO₂排出量をあわせて推計する。部品製造時の CO₂排出量はメーカーから入手した部材データを LCI データベース IDEA を用いて推計する。そのうちバッテリーについては、田中ら⁹⁾の研究を参考し、電池の容量から換算する。加えて、組立時の CO₂排出量は JLCA-LCA データベースを用いて車の組立時の重量換算して推計する。

一方、走行時の電力消費量については、車両走行実験を実施してデータを取得する。

c) 二輪車(400cc), 原付(50cc)

製造時および走行時の CO₂排出量については、太箸¹⁸⁾から引用する。そのとき、走行中のガソリン燃焼については、車両の燃費と、環境省より示されているガソリンの燃焼係数 (ガソリン 10 を燃焼した際に発生する CO₂排出量を示す) を用いて推計する。さらに、LCI データベース IDEA にあるガソリン製造時の CO₂排出量を用い、ガソリン燃焼時の CO₂排出量に加えて走行起源の CO₂排出量とする。

d) 電動アシスト自転車, 自転車

製造時および走行時の CO₂排出量と電力消費量については森本ら³⁾の結果から推計する。ここで、走行時の CO₂排出量は人力による誘発量、すなわち自転車をこぐ際に消費されるカロリー分の食料を生産する際の CO₂排出量³⁾を示している (人の呼気による CO₂排出量ではない)。本研究ではこの人力による CO₂排出量を含む場合と含まない場合の 2 パターンの推計を行うことにする。

e) 各交通具のライフタイムの設定

一般的に 10[年]とされる自動車のライフタイムと、減価償却計算用の法定耐用年数との比から、各交通具のライフタイムを設定する。

以上を踏まえ、評価にあたって標準的に使用できるライフサイクル CO₂排出原単位を整備した。なお、乗車人数の違いを考慮した車両の総質量と、走行時の CO₂排出

量および電力消費量を表-1 および表-2 に示す。

4. LC-CO₂の推計

(1) 推計方法

本章では、前章で整備した LC-CO₂ 原単位を使用し、各交通手段を単独で 1 年使用した場合の LC-CO₂ を計算する。各交通手段を個人で所有し、定期的な移動を行う状況を想定する。また、1 日平均移動距離(0~30[km])を毎日移動することを想定する。推計式を式(2)に示す。

$$D_y^m = \frac{D_c^m}{L^m \times n} + (D_r^m \times T_d \times 365) + (E_r^m \times \gamma^e \times T_d \times 365) \quad (2)$$

D_y^m : 1 年間 CO₂ 排出量[t-CO₂/年], D_c^m : 製造時の CO₂ 排出量[g-CO₂/台], D_r^m : 走行時の CO₂ 排出量[t-CO₂/人 km], E_r^m : 走行時の電力消費量[kWh/人 km], L^m : ライフタイム[年], n : 乗車人数[人/台], γ^e : 電力の CO₂ 排出係数[t-CO₂/kWh], T_d : 1 日平均移動距離[人 km/日]

CO₂ 排出量の推計に必要な電力の CO₂ 排出係数は、ライフサイクルを考慮した電源別の排出係数と、電源比率に関するシナリオのより設定する。シナリオとして「現在 (2017)」「震災前 (2010)」「目標値 (2030)」「再エネ (2019)」の 4 つを設定する。日本では、東日本大震災発生によって原子力の割合が大きく減少したため、その影響を考慮できるよう「現在 (2017)」と「震災前 (2010)」のシナリオを設定している。電源別の排出係数については、バイオマス発電以外の値を電気事業連合会(2019)より引用する。バイオマス発電は確定した値が無いため、資源エネルギー庁の『バイオエタノールの温室効果ガス評価算定マニュアル』の「揮発油の LCA での温室効果ガス排出量」をもとに計算した値を使用する。

電源比率の値は、「現在 (2017)」と「震災前 (2010)」は資源エネルギー庁の『日本のエネルギー 2019』より引用する。その中の再生エネルギーの内訳は、電力調査統計の 2010 年度、2017 年度の発電実績の値より計算する。「目標値 (2030)」は資源エネルギー庁の『2030年エネルギーミックス実現へ向けた対応について～全体整理～』の値を参考にして設定する。「再エネ (2019)」は 2030 年の再生エネルギーの電源比率を用い、すべての電源を再生エネルギーのみでまかなえると仮定し設定する。

以上にに基づき設定した電力の CO₂ 排出係数を表-3 に示す。

表-1 各交通手段の LC-CO₂ 排出原単位

交通手段	ライフタイム [年]	製造時の CO ₂ [t-CO ₂ /台]	走行時の CO ₂ [g-CO ₂ /台 km]	走行時の電力 [Wh/台 km]
GV	10	3.2	※表-2 参照	
HV	10	3.7		
EV	10	6.0		
自動二輪車(400cc)	5	0.62	116	-
超小型 EV	7	1.75	-	103
原付(50cc)	5	0.20	85.5	-
電動キックボード	5	0.149	-	19.3
電動自転車	3	0.0747	160*	10.2
自転車	3	0.0465	222*	-

*人力を含んだ場合を示す。人力を含まない場合は「0」

表-2 GV/HV/EV 車の乗車人数別の走行時の CO₂ 排出量と電力消費量

乗車人数 [人]		1	2	3	4	5
総質量 [kg]	GV	1,055	1,110	1,165	1,220	1,275
	HV	1,115	1,170	1,225	1,280	1,335
	EV	1,335	1,390	1,445	1,500	1,555
走行時の CO ₂ 排出量 [g-CO ₂ /台 km]	GV	106	112	118	123	129
	HV	50.7	53.2	55.7	58.2	60.7
走行時の電力消費量 [Wh/台 km]	EV	107	111	115	120	124

表-3 電力の CO₂ 排出係数の設定

設定ケース	現在 (2017)	震災前 (2010)	目標値 (2030)	再エネ (2019)
電力の CO ₂ 排出係数 [kg-CO ₂ /kWh]	0.61	0.51	0.44	0.02

(2) 推計結果

a) パーソナルモビリティの評価

整備した LC-CO₂ 原単位を用いて、乗用車 (GV/HV/EV) および末端交通手段 (パーソナルモビリティ) を対象に、「各交通手段を単独で使用」する場合と、「乗用車 (GV/HV/EV) から公共交通 (鉄道・バス) + パーソナルモビリティ (超小型 EV・電動キックボード・原付・自動二輪車・電動アシスト自転車・自転車)」に転換した場合について CO₂ 排出量を計算した。走行距離においては、「各交通手段を単独で使用」する場合は 30[km]、端

末交通手段（パーソナルモビリティ）の場合は 12[km]を毎日走行した場合を標準とし、距離による排出量の違いを推計した。さらに、「乗用車の乗車人数による違い（1~5 人）」、「電力の CO₂排出係数による違い」の各シナリオで評価した。

i. 交通具の LC-CO₂比較（1 人利用）

各交通具を単独で使用した場合（1 人で利用）での CO₂ 排出量推計結果（発電ケース：「現在」と「再エネ」）を図-1 に示す。まず、「現在」の場合、人力を含まない自転車を除き、ほぼすべての移動距離にわたって電動キックボードが最も CO₂ 排出量が少ない結果となった。一方、交通具どうしの交点がいくつか生じており、例えば毎日の移動距離が 18.4[km]を超えると GV より EV が、25.4[km]を超えると原付より超小型 EV の CO₂ 排出量が少なくなっている。一方、「再エネ」の場合、自転車と電動キックボードには大きな違いは見られないものの、毎日の移動距離が約 7[km]を超えると GV より EV が、原付より超小型 EV の方が CO₂ 排出量が少ない。

ii. 乗用車乗車人数による違い

CO₂ 排出量推計結果を図-2 に示す。結果より、乗用車の相乗り効果が高いことがわかる。1 人乗車の場合、乗用車は超小型 EV よりも CO₂ 排出量が多いが、相乗りした場合は超小型 EV よりも少ない。一方で、乗用車に 5 人乗車したとしても、電動キックボードの方が CO₂ 排出量が少ない。

iii. 発電ケースによる違い

各発電ケースにおける超小型 EV・電動キックボード・原付・自転車の CO₂ 排出量推計結果を図-3 に示す。超小型 EV と電動キックボードはともに発電ケースによる違いが大きい。超小型 EV は長距離で原付より有利となるが、電力の CO₂ 排出係数が小さくなるほど短距離で原付より有利となる傾向となった。電動キックボードと自転車との比較では、CO₂ 排出係数が「再エネ」まで下がったとしても、電動キックボードの方が CO₂ 排出量が多い。

b) 乗用車から鉄道・バス+パーソナルモビリティへの転換による変化

公共交通は鉄道とバスを対象とする。車両製造時の CO₂ 排出量およびライフタイムは伊藤ら¹⁹⁾より引用する。国内年間輸送人 km と国内車両台数の値は、鉄道は国土交通省の『鉄道統計年報平成 29 年度版』²⁰⁾より、バスは国土交通省の『数字でみる自動車 2019』²¹⁾より用いる。そして国内年間輸送人 km と、ライフタイム、国内車両台数より、車両 1 台が担う輸送人 km を計算し、車両製造時 CO₂ をその値で除することで、1 人 km あたりの車両製造時の CO₂ 排出量を求める。走行時の CO₂ 排出量は、

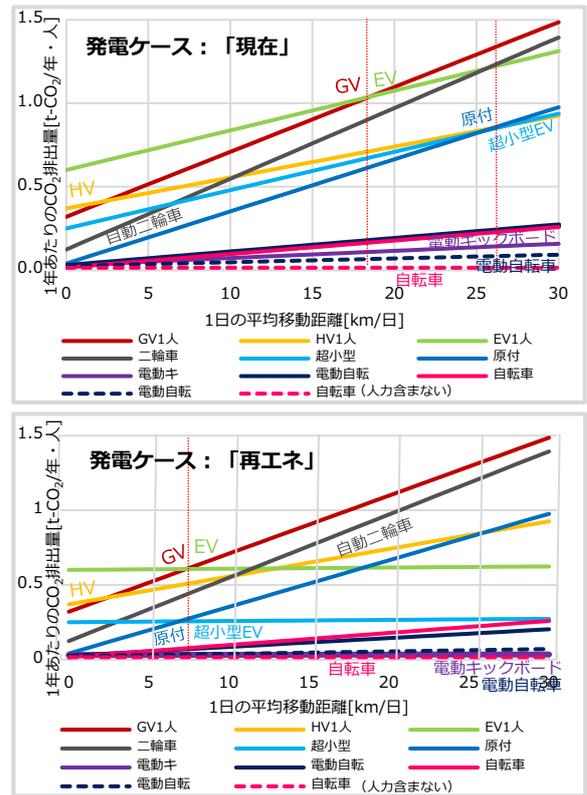


図-1 交通具間の比較（1 人乗車）

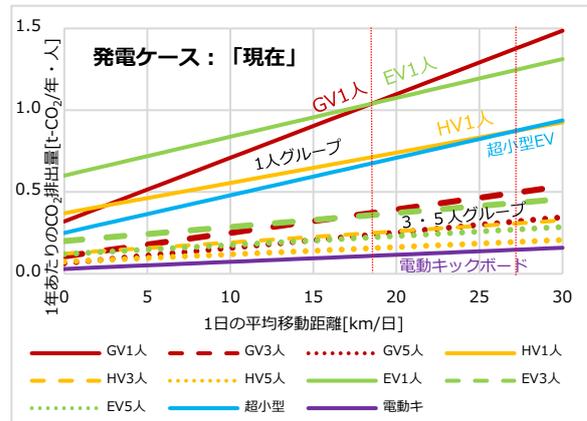


図-2 乗用車乗車人数による違い

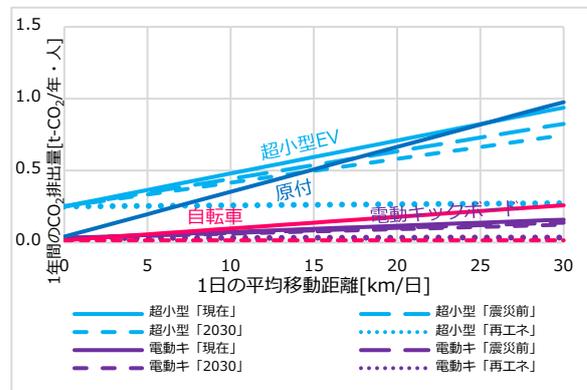


図-3 発電ケースによる違い

表-4 公共交通の設定

	鉄道	バス
車両製造時のCO ₂ 排出量[t-CO ₂ /台]	70.6	15.5
ライフタイム[年]	20	15
国内年間輸送人キロ[億人km]H29	4,375	343
国内車両台数[台]H29	52,625	51,109
1人kmあたりの車両製造時のCO ₂ 排出量[g-CO ₂ /人km]	0.424	1.15
走行時のCO ₂ 排出量[g-CO ₂ /人km]	18	54
1人kmあたりのCO ₂ 排出量[g-CO ₂ /人km]	18.4	55.1

表-5 公共交通の設定

電力のCO ₂ 排出係数[kg-CO ₂ /kWh]	走行時のCO ₂ 排出量[g-CO ₂ /人km]	1人kmあたりのCO ₂ 排出量合計[g-CO ₂ /人km]
「現在」0.61	18	18.4
「震災前」0.51	15.2	15.6
「2030」0.44	13.3	13.7
「再エネ」0.02	1.62	2.04

$$D_p = \frac{D_c^p}{\frac{V_y^p}{n^p} \times L^p} + D_r^p \quad (3)$$

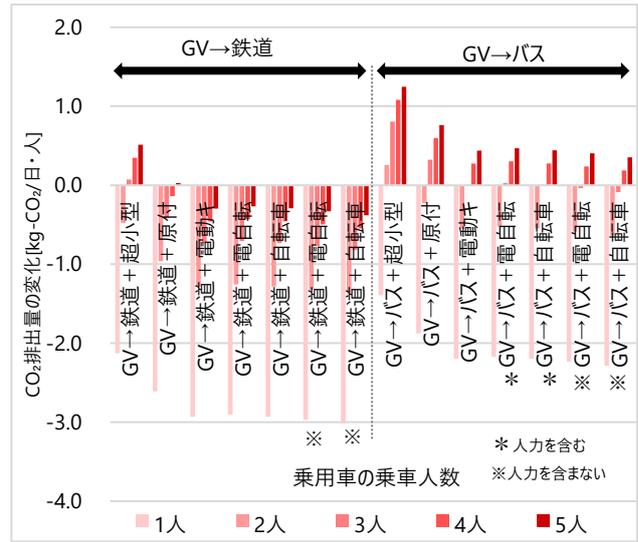
p :公共交通, D_p :1人kmあたりのCO₂排出量, D_c^p :車両製造時のCO₂排出量, V_y^p :国内年間輸送人km, n^p :国内車両台数, L^p :ライフタイム, D_r^p :走行時のCO₂排出量.

国土交通省『運輸部門における二酸化炭素排出量』より用いる.そしてこれら2つの値を足して,公共交通の1人kmあたりのCO₂排出量とする.推計式を式(3)に示す.また,以上を踏まえ,公共交通の設定結果を表-4に示す.なお,これらは日本全国の平均値を示しており,実際には1人kmあたりのCO₂排出量は利用状況によって異なる.特定の地域を対象に評価を行う場合はこの違いを考慮する必要がある.

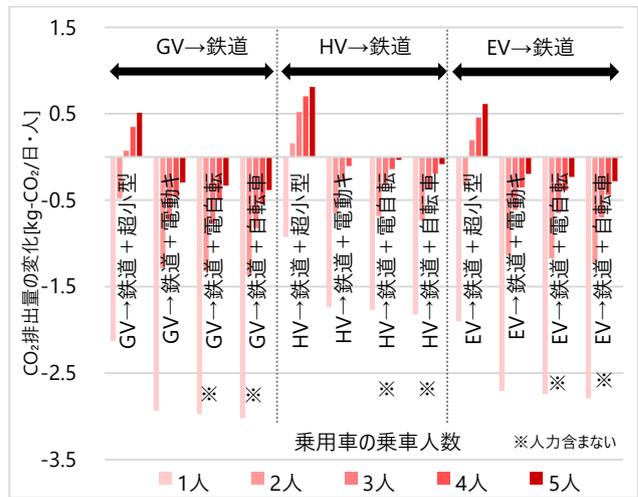
鉄道については,事業者ごとの国内年間輸送km,車両数などのデータが国土交通省の『鉄道統計年報平成29年度版』に記載されており,それらと全国の値との比によって補正することが可能である.さらに,国内の多くの鉄道は電気を使って運行されている.そのため,電力のCO₂排出係数によって走行時のCO₂排出量が変化する.鉄道の走行時のCO₂排出量のうち,鉄道旅客車両の中の電車の割合である94.1%(国土交通省『鉄道統計年報平成29年度版』)が電力のCO₂排出係数に比例すると仮定して設定する.以上に基づき推計・設定した結果を表-5に示す.

乗用車(GV)から鉄道またはバスへ転換する場合と,乗用車(GV/HV/EV)から鉄道へ転換する場合のCO₂排出量比較結果を図-4に示す.

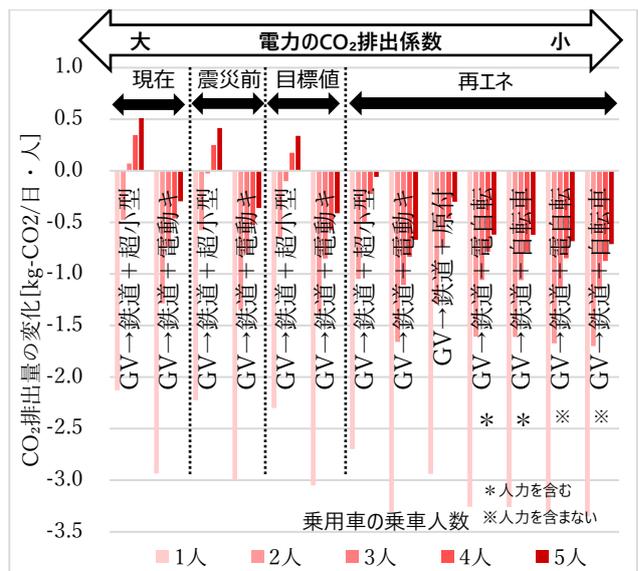
鉄道とバスの違いについては,乗用車(GV)では3



a) 鉄道とバスとの違い



b) 乗用車の種類による違い



c) 乗用車の種類による違い

図4 乗用車から鉄道・バス+パーソナルモビリティへの転換によるCO₂排出量増減の推計結果

人以上乗車する場合にバスへ転換すると CO₂排出量が増加する。一方、乗用車 (GV) の 1~2 人乗車から転換する場合は CO₂排出量が減少する。乗用車の種類については、CO₂排出量減少量は GV>EV>HV の順が多い。乗用車の種類によらず、乗車人数が 3 人以上乗車する場合、鉄道+超小型 EV へ転換すると CO₂排出量が増加する。一方で、鉄道+電動キックボード・電動アシスト自転車・自転車に転換する場合は、ほぼすべての場合において CO₂排出量が減少する。

発電ケースについては、「震災前」と「目標値」の場合は乗車人数 3 人以下で、「再エネ」の場合にはすべてのケースで、乗用車から鉄道+パーソナルモビリティに転換すると CO₂排出量が減少する。

5. おわりに

(1) 得られた成果

本研究で取り上げたパーソナルモビリティでは、自転車を除けば電動キックボードがほとんどの条件において CO₂排出量が最も少なかった。

乗用車の乗車人数が 1 人または 2 人の場合は、公共交通の鉄道・バス+パーソナルモビリティの端末利用に転換した方が、多くの場合で CO₂排出量が減少 (特に鉄道) することが明らかになった。

3 人以上乗車する場合は、鉄道・バス+パーソナルモビリティよりも乗用車の方が CO₂排出量が少ない場合があることが分かった。よって、乗用車の 1~2 人乗車が多い地域などを対象とした、公共交通+パーソナルモビリティへの転換および乗用車相乗りなどの優遇策を並行することで、より低炭素効果が高まると期待される。

エネルギー源 (電力の CO₂排出係数) の変化によってモードの優位性が大きく変化することが示された。従って、再エネ導入など電力の CO₂排出係数を下げる施策と交通施策をうまく組み合わせることが重要である。

(2) 課題

- 今回は道路の平均旅行速度などは日本全国の平均値を引用している。しかし、地域によって交通環境や道路条件、公共交通の利用状況などが異なるため、乗用車の走行時の CO₂ 排出原単位や公共交通の CO₂ 排出原単位が異なってくる。従って地域を限定したミクロな評価を行う場合はこれらを考慮する必要がある。
- 新しい交通機関導入に伴う交通分担率の変化が生じることによって、公共交通の乗車率および道路の混雑率、平均旅行速度の変化が起こることが予

想される。これらについても検討する必要がある。

- パーソナルモビリティの使用およびシェアリングサービスにおいては、利用頻度 (距離・時間) および回転率、回送方法 (自走による単独回送やトラックによる複数回送など)、IT システム利用による CO₂ 排出などを考慮した評価が求められる。
- 利用者の視点に立った推計を行っているが、CO₂ 排出は個人の行動変化および都市・地域全体での行動変容によって効果が出るため、都市・地域社会全体に着目した推計・評価を行う必要がある。

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 (JPMEERF20201G01) により実施した。

参考文献

- 1) 国土交通省：運輸部門における二酸化炭素排出量、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html (最終閲覧日 2021.10.1)
- 2) 長田基広・渡辺由紀子・柴原尚希・加藤博和：LCA を適用した中量旅客輸送機関の環境負荷評価，土木計画学研究・論文集 23 巻，pp.355-363，2006。
- 3) 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 CO₂ 排出量比較，土木学会論文集 D3，土木計画学，Vol.68(5)，1_285-290，2012。
- 4) 河合一輝・加藤博和：環境・移動性能を考慮した effective speed 指標を用いた交通機関の評価，第 53 回土木計画学研究発表会・講演集，pp.1887-1892，2016。
- 5) 田中潤・伊坪徳宏：電動アシスト自転車の環境影響評価とその導入に伴う環境影響削減効果，第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，pp.174-175，2010。
- 6) 金利昭・高崎祐哉：新しいコンパクト交通手段の特性分析と共存性の課題，土木学会論文集 D3 (土木計画学) 68 巻 5 号，pp.1_893-1_902，2012。
- 7) 井ノ口弘昭・秋山孝正：超小型 EV の走行特性に着目した利用可能性の検討，交通工学論文集 3 巻 4 号，pp.A_22-A_28，2017。
- 8) 山田匡規・木村雅志・高橋直希・吉瀬章子：ラストマイル・モビリティシェアリング最適化モデルによる運用分析，オペレーションズ・リサーチ 7 月号，Vol.63No.7，pp.386-393，2018。
- 9) 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。
- 10) 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。

- 11) 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.
- 12) 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GHG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.
- 13) 加藤博和・大浦雅幸：新規鉄軌道整備によるGHG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.
- 14) 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.
- 15) 土肥学・曾根真理・瀧本真理・小川智弘・並河良治：道路環境影響評価等に用いる自動車排出係数の算定根拠（平成22年度版），pp.2-1-2-8,p.8-43,p.8-65, 2012.
- 16) 宮崎博之：三菱i-MiEVの性能評価と効果的な活用策，技術開発ニュースNo.144, pp.25-26, 2012.
- 17) Hideki KATO, Hidekazu Suzuki, Yasuhide Nishihori：Ultra-Compact Electric Vehicle Behaviors in Japan, 32nd Electric Vehicle Symposium (EVS32), PIT12, 2019.
- 18) 太箸樹巨雄：二輪車のLCA評価と環境負荷軽減に向けての検討，日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集，pp.327-328, 2001.
- 19) 伊藤圭・加藤博和・柴原尚希：乗車人数を考慮した地域内旅客輸送機関のライフサイクル CO₂ 排出量比較，地球環境研究論文集 Vol.18, pp.37-43, 2010.
- 20) 国土交通省：鉄道統計年報平成 29 年度版，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000050.html（最終閲覧日 2021.10.1）
- 21) 国土交通省：数字でみる自動車 2019，https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000045.html（最終閲覧日 2021.10.1）

(2021.10.1 受付)

**A STUDY ON LOW-CARBON EVALUATION METHODS CONSIDERING
THE INTRODUCTION AND UTILIZATION OF PUBLIC TRANSPORT
AND NEXT-GENERATION MOBILITY**

Suil PARK, Hirokazu KATO and Naoki OISHI