

交通信号制御の効果評価のための CO₂排出量算出モデル

A CO₂ Emissions Calculation Model for Evaluation of Traffic Signal Control

西村 茂樹*
Shigeki Nishimura

羽賀 剛
Tsuyoshi Haga

気候変動は世界的な社会課題であり、その対策としてCO₂排出量削減が求められている。主な排出源の1つである自動車交通のCO₂排出量を削減するためには車両自体の排出量削減の取り組みと共に、交差点の交通信号制御の改良による渋滞削減等、車両が無駄なエネルギーを消費せずに走行できる環境を整備する取り組みも重要である。CO₂排出量削減対策として交通信号制御の改良を推進していくためには、その効果の定量的な検証が必要であるが、交差点を通過する車両のCO₂排出量の定量化については広く認められた手法は存在しない。そこで、交通信号制御の改良の効果検証に広く利用されることを目指し、交通信号で制御された交差点を通過する車両のCO₂排出量を車種等を考慮して算出するモデルを作成した。

Climate change poses a global challenge that necessitates the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions. To reduce CO₂ emissions from motor vehicles, which are major emission sources, it is important not only to improve vehicle exhaust performance, but also to improve infrastructure such as traffic signal control at intersections to mitigate traffic congestion and energy consumption. For the dissemination of these efforts, the effects of traffic signal control improvements needs to be quantitatively evaluated. Currently, however, there is no standardized method to calculate CO₂ emissions of vehicles traveling through intersections. We have developed a widely-applicable CO₂ emissions calculation model. This model facilitates the quantitative evaluation of CO₂ emissions reduction achieved through traffic signal control improvements.

キーワード：交通信号制御、CO₂排出量、効果検証

1. 緒言

気候変動は世界的な社会課題であり、その対策としてCO₂排出量削減が求められている。自動車交通は主なCO₂排出源の1つであり、日本ではCO₂排出量全体の15.5%が自動車交通から排出されている⁽¹⁾。自動車交通の排出するCO₂を削減するためには、燃費向上、HEV、EV化等の車両自体の取り組みと共に、交差点の交通信号制御の改良による渋滞削減等、車両がより少ないエネルギー消費で走行できる環境を整備する取り組みも重要である。

交差点の交通信号制御の改良によって渋滞が削減されると流入路を走行する車両の渋滞の中での加減速や発進停止が削減され、その結果CO₂排出量が削減する。しかし、削減されるCO₂は交通信号制御システムの製造や使用に伴って排出されるものではなく、交差点を通過する車両が排出するものであり、その削減量の効果の定量的な効果評価は困難である。警察庁では交通信号制御の改良によるCO₂排出の削減量を事業種別毎に定量化しているが⁽²⁾、今後、CO₂排出量削減対策として交通信号制御の改良をさらに推進していくためには、個別の交差点毎のより詳細なCO₂排出の削減量の定量化が望ましいと我々は考えている。そこで、本稿では交通信号制御の改良の効果検証に広く認められて利用されることを目指し、交通信号で制御された交差点の流入路を走行する車両のCO₂排出量を交通状況や車両の車種構成等を考慮して算出するモデルを作成する。

2. CO₂排出量算出モデルの選定

都市の道路において発進、停止を繰り返しながら走行する車両のCO₂排出量を算出するモデルとして大口ら⁽³⁾の計算式が知られている。この計算式は車両が発進してからその次に停止するまでのショートトリップに関するデータを用いている。コネクティッドカーの普及により車両のショートトリップの情報の収集は可能になりつつあるが、現状ではこれらの情報は自動車メーカー等の企業がそれぞれの目的のために個別に収集しており、一般には提供されておらず、当面は今回のような目的のためにこれらを集約して利用するのは困難であると考えられる。

一方、土肥ら⁽⁴⁾は代表車種、走行速度別に算出した単位走行距離当たりのCO₂排出量である排出係数原単位を利用してCO₂排出量を算出する方法を示している。道路を走行する車両の小区間毎の走行速度の平均値の情報は一般に提供されている（例えばTomTom⁽⁵⁾）。そこで、この方式を参考に以下の手順で交差点を通過する車両のCO₂排出量を算出するモデルを構築する。

- ① 車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブルを作成する。
- ② ①で作成した排出係数原単位テーブルと算出対象の交差点の流入路の車種別の走行比率から流入路の走行速度別の排出係数原単位を算出する。
- ③ ②で算出した走行速度別の排出係数原単位、流入路の交通量及び流入路の区間別平均走行速度から流入路のCO₂排出量を算出する。

図1はこれらのステップを図示したものである。次章以降でこれらの各ステップについて説明する。

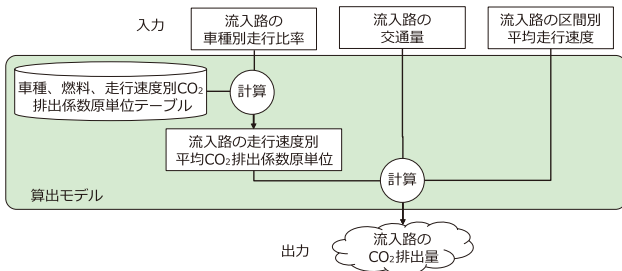


図1 CO₂排出量算出モデルの概要

3. 排出係数原単位テーブルの作成

車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブルを作成するに当たり、利用可能なデータを調査し、公的な機関が出しており一般に入手可能であるという観点から、環境省の自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査におけるCO₂の排出原単位作成結果⁶⁾のデータを用いることにした。この調査では、燃料、車種別に排出ガス規制年度別の走行速度別排出係数が算出されており、これらを規制年度別の台数比率で加重平均することで車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブルを作成した。規制年度別の台数比率は(一財)自動車検査登録情報協会の車種別の平均車齢推移表⁷⁾のデータを使用し、乗用車、貨物車+乗合車の別に算出した。このデータには軽自動車は含まれていないが、車齢の推移に大きな違いはないと考え、軽自動車に対してもこのデータを適用した。また、重量車の排出係数は等価慣性重量^{*1}1t当たりの値となっているため、乗員、積荷を含んだ車両の重量に対する等価慣性重量を乗じる必要がある。燃料消費率試験の仕様⁸⁾では、重量車の等価慣性重量として車両の重量とほぼ等しい値を設定しているため、重量車の等価慣性重量は車両重量に等しいと考えることにした。そこで、(一財)自動車検査登録情報協会の諸分類別自動車保有車両数⁹⁾に記載の車両総重量^{*2}別保有台数と積載量別保有台数を対比して車両総重量と積載量を対応付けた上で、往路は満載、復路は空車と仮定して、車両総重量から最大積載量の1/2を引いた値を等価慣性重量とした。文献⁴⁾でも半積載重量を使用しているように、この仮定は妥当なものと考えている。更に、環境省の排出原単位作成結果のデータにはハイブリッド車や電気自動車のデータはないが、低公害車の燃料別・車種別保有台数¹⁰⁾から、ハイブリッド乗用車については考慮が必要と考え、土肥ら¹¹⁾のハイブリッド車と従来車のCO₂排出原単位比を用いてガソリン乗用車の原単位から換算することで算出した。作成した排出係数原単位テーブルは表1の通りである。但し、燃料

の列において、Gはガソリン、Hはハイブリッド、Dは軽油を表し、軽は車両総重量1.7t以下、中は同1.7t超3.5t以下、重1は同3.5t超5t以下、重2は同5t超を表す。

表1 車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブル

(単位：g/km)

車種	燃料	走行速度区分 (km/h)						
		3-5	5-10	10-15	15-25	25-40	40-60	60-80
軽乗用車	G	328	217	164	132	109	99	102
乗用車	G	443	290	217	174	143	124	117
	H	149	101	85	73	68	69	73
	D	585	397	302	238	185	150	139
軽貨物車	G	405	260	194	159	139	134	140
トラック・バス	G軽	463	304	228	182	149	132	132
	G中	702	444	323	251	203	177	173
	D中	721	447	319	245	195	168	158
	D重1	712	474	364	300	259	242	246
	D重2	1109	795	642	546	469	417	394

4. 流入路の走行速度別の排出係数原単位算出

次に、交差点の流入路に対する走行速度別の排出係数原単位を算出する手順について説明する。これは前章で作成した車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブルの各車種、燃料別の値を、流入路を走行する車両の車種、燃料別の台数の比率で加重平均すれば算出できるが、前章で作成したテーブルと同じ車種、燃料の区分に対する台数の比率のデータが得られることはほとんどなく、より少ない車種区分に分類されたデータしか入手できないと考えられ、入手可能なデータの車種区分(以下、入手車種区分)に対する台数の比率からテーブルの車種、燃料の区分(以下、テーブル車種区分)の台数比率を推定する必要がある。具体的には、まず、テーブル車種区分の各区分が入手車種区分のどの区分に含まれるかの対応付けを行う。次に、同じ入手車種区分の中での各テーブル車種区分の比率は各テーブル車種区分の保有台数の比率に等しいと仮定し、入手車種区分の比率をテーブル車種区分にその保有台数の比率で

表2 テーブル車種区分の保有台数比率

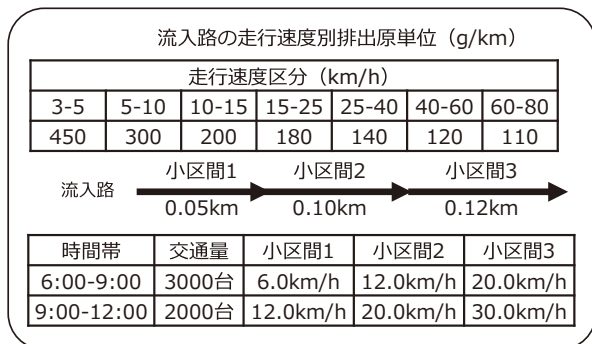
車種	燃料	保有台数比率 (%)
軽乗用車	G	29
乗用車	G	35
	H	13
	D	2
軽貨物車	G	11
トラック・バス	G軽	1
	G中	2
	D中	2
	D重1	1
	D重2	4

配分することで、流入路における各テーブル区分の走行車両台数の比率を算出する。テーブル車種区分の保有台数比率は(一財)自動車検査登録情報協会の車種別、燃料別、初度登録年別自動車保有車両数⁽¹²⁾及び軽自動車検査協会の軽自動車保有台数⁽¹³⁾に基づいて表2の通り算出した。そして、テーブル車種区分別の排出係数原単位を各テーブル車種区分の走行車両台数の比率で加重平均することで、流入路の走行速度別の排出係数原単位を算出する。

5. 流入路のCO₂排出量の算出

流入路のCO₂排出量は、前章で算出した走行速度別の排出係数原単位、時間帯毎の流入路の小区間毎の走行車両の平均速度及び時間帯毎の流入路の交通量を用いて以下の手順で求める。

まず、各時間帯の各小区間に対して、前章で算出した走行速度別の排出係数原単位を用いてその時間帯における車両走行速度に対応する排出係数原単位を求め、それに小区間の長さに乗じて、その小区間を走行する車両1台当たりのCO₂排出量を求める。次に時間帯毎に各小区間を走行する車両1台当たりのCO₂排出量を合計することで、各時間帯における流入路の車両1台当たりのCO₂排出量が得られる。これに対応する時間帯における流入路の交通量に乗じて、各時間帯の和を取ることで流入路のCO₂排出量が求められる。図2に算出例を示す。



時間帯別の車両1台当たりのCO₂排出量算出

時間帯	小区間1	小区間2	小区間3	全体
6:00-9:00	300×0.05 =15.0g	200×0.10 =20.0g	180×0.12 =21.6g	57.2g
9:00-12:00	200×0.05 =10.0g	180×0.10 =18.0g	140×0.12 =16.8g	44.8g

6:00-12:00の流入路のCO₂排出量

$$=(57.2 \times 3000 + 44.8 \times 2000) / 1000 = 261.2 \text{ kg}$$

図2 流入路のCO₂排出量の算出例

6. 交通信号制御改良の評価例

最後に、今回構築したCO₂排出量算出モデルを用いて実際の交通信号制御改良によるCO₂排出量の削減効果の評価した。2019年に行われた東京都の環八人見街道交差点での信号制御の改良⁽¹⁴⁾を対象とし、本運用の調整前、調整後のそれぞれ平日7日間4:30から8:00までのCO₂排出量を算出し、年間のCO₂削減効果を算出した。流入路の車種区分別走行台数は警視庁の令和2年度調査の交通量統計表⁽¹⁵⁾、交通量は文献⁽¹⁴⁾、小区間別平均走行速度はグローバル交通情報ベンダであるTomTom社が提供するデータを利用した。警視庁の交通量統計表では、自動車交通は大型乗用、大型貨物、普通乗用、普通貨物の4車種に分類されており、その定義からテーブル車種区分との対応は表3の通りとした。

表3 交通量統計表の4車種とテーブル車種区分の対応

車種	燃料	大型乗用	大型貨物	普通乗用	普通貨物
軽乗用車	G			○	
乗用車	G			○	
	H			○	
	D			○	
軽貨物車	G				○
トラック・バス	G軽	○			○
	G中	○			○
	D中	○			○
	D重1	○			○
	D重2	○	○		

調整前、調整後それぞれの各日の4:30から8:00の間のCO₂排出量の算出結果の平均値とその削減量は表4に示す通りであり、この削減量が平日の平均的な値で、同様の効果が年間で240日得られると仮定すると、環八人見街道1交差点のみでも信号制御の改良によるCO₂排出量の削減効果は年間6.7tと評価することができた。

表4 CO₂排出量算出結果 (単位: kg)

調整前	調整後	削減量
3359	3331	28

7. 結 言

本稿では、交通信号制御の改良の効果検証に広く認められて利用されることを目指し、交差点の流入路のCO₂排出量を小区間毎の走行速度や走行車両の車種構成等を考慮して算出するモデルを作成し、実際の交通信号制御改良によるCO₂排出量の削減効果の評価に適用できることを示し

た。本モデルを適用していくに当たっては、車種、燃料、走行速度別の排出係数原単位テーブルを適宜更新していくことが望ましい。そのためには、新形式の車両のデータの計測等で自動車メーカーの協力が望まれる。本稿がそのような協力が得られる仕組み作りを検討するきっかけとなれば幸いである。

なお、今後販売される新車は電気自動車等のゼロエミッション車の比率が増加していくのは確実である。しかしながら、道路を走行する車両の大部分がゼロエミッション車となるまでには時間を要し、当面は従来型のガソリン車やディーゼル車が数多く走行する状況が続くため、交通信号制御の改良等によるCO₂排出量削減の取り組みは重要と考えており、当社もその取り組みに貢献していきたい。

用語集

※1 等価慣性重量

エンジンや駆動系などの回転部分の回転慣性力を車両が加速するときの抵抗として見かけの車両重量増加分として車両重量に加えた重量。

※2 車両総重量

車両重量に最大乗車定員人数分の重量と積載可能重量（最大積載量）を加えた重量。

参考文献

- (1) 国土交通省、「運輸部門における二酸化炭素量」、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html
- (2) 警察庁、「信号機の改良による各種効果（R2年度未現在）」、<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/annzen-shisetu/institut/plan/pdf/R02yokushi.pdf>
- (3) 大口敬、片倉正彦、谷口正明、「都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル」、土木学会論文集、695巻、IV-54号、pp. 125-136、(公社)土木学会（2002年）
- (4) 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）」、国土技術政策総合研究所資料、671号、8章、国土交通省国土技術政策総合研究所（2012年）
- (5) TomTom, Junction Analytics service, <https://support.move.tomtom.com/products/junction-analytics/>
- (6) ㈱数理計画、「自動車排出ガス原単位及び総量算定検討調査：報告書 令和2年度」、環境省業務結果報告書：令和2年度、pp. 201-203（2021年）
- (7) (一財)自動車検査登録情報協会、「車種別の平均車齢推移表 令和3年度（2021）」、<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>
- (8) (独)自動車総合技術機構、「燃料消費率試験（JC08 モード）」、TRIAS 08-001-01、<https://www.naltec.go.jp/publication/regulation/fkoifn0000000l|x-att/fkoifn000000060q2.pdf>
- (9) 国土交通省自動車局監修、「諸分類別自動車保有車両数 令和3年3月末現在」、(一財)自動車検査登録情報協会（2021年）
- (10) (一財)自動車検査登録情報協会、「低公害燃料車の車種別保有台数 令和3年度（2021）」、<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>
- (11) 土肥学、曾根真理、瀧本真理、「自動車走行時のCO₂排出係数及び燃料消費率の更新」、土木技術資料、55巻、4号、pp. 40-45、(一財)土木研究センター（2012年）
- (12) 国土交通省自動車局監修、「自検協統計自動車保有車両数 令和3年3月末現在」、(一財)自動車検査登録情報協会（2021年）
- (13) 軽自動車検査協会、「検査対象軽自動車保有車両数 令和2年度」、<https://www.keikenkyo.or.jp/attached/0000056541.pdf>
- (14) 関達也、島津利行、和智誠、榊原肇、大口敬、「プローブ情報を活用した信号制御の見直しについて」、交通工学論文集、8巻、1号、pp. 31-38、(一社)交通工学研究会（2022年）
- (15) 警視庁、「令和2年調査 交通量統計表」、https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/about_mpd/jokyo_tokei/tokei_jokyo/ryo.html

執筆者

西村 茂樹*：情報ネットワーク研究開発センター
部長補佐



羽賀 剛：情報ネットワーク研究開発センター
部長



*主執筆者