

東京都区部における自動運転車の普及による 事故低減に伴うCO₂排出低減効果の推計

栗栖嵩¹・大島大輔²・光安皓³・堀口良太⁴・高橋浩司⁵・金成修一⁶・桑原雅夫⁷

¹ パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22)

E-mail: takashi.kurusu@tk.pacific.co.jp

² パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22)

E-mail: daisuke.ooshima@ss.pacific.co.jp

³ パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22)

E-mail: akira.mitsuyasu@ss.pacific.co.jp

⁴ 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町三丁目 10)

E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp

⁵ 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0052 東京都千代田区神田小川町三丁目 10)

E-mail: takahashi@i-transportlab.jp

⁶ 一般財団法人日本自動車研究所 (〒305-0822 茨城県つくば市苅間 2530)

E-mail: skanari@jari.or.jp

⁷ 東北大学大学院情報科学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区 荒巻字青葉 6-3-09)

E-mail: kuwahara@plan.civil.tohoku.ac.jp

自動走行システムの導入によって交通事故件数の低減が期待されているが、それに伴って事故に起因する交通渋滞も低減される可能性がある。本研究は、自動走行システムの導入がCO₂排出量に与える影響を定量的に評価する技術開発の一環として、東京23区的一般道における事故データ（追突事故、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故の3類型）と民間プローブデータを用いて、事故発生が交通流に与える影響を分析し、Simplified Kinematic Wave理論に基づく交通シミュレーションとCO₂排出量モデルによって、事故渋滞に伴うCO₂排出量の増加傾向を算出した。また、東京23区における、上記3つの事故類型の事故による年間のCO₂排出量の増加量を推計するとともに、SIPで別途実施された「交通事故死者低減効果見積もり手法」の結果を参照し、自動走行システムの普及シナリオに基づく事故件数の低減によるCO₂排出低減効果を推計した。

Key Words : traffic accident, CO₂ emissions, probe data, traffic simulation, simplified kinematic wave theory

1. はじめに

(1) 背景と目的

自動車の普及によって、利便性の向上、経済・産業の発展、豊かな暮らしの実現等の様々な便益が享受されてきたが、その一方で交通渋滞や交通事故発生等による社会的損失は依然として大きく、早期解決が求められている。交通事故死者数は、2000年の9,073人から2016年は3,904人と昭和24年以来67年ぶりの3千人台となったものの、更なる削減に向けて交通事故への対策は取り組むべき重要な課題である。また、CO₂排出量の観点では、2016年度の日本国内全体のCO₂総排出量約12億600万トンのうち、運輸部門が占める割合は17.9%であり、運輸部門におけるより一層のCO₂削減が求められている。

そのような中、2014年より政府が推進する「戦略的イ

ノベーション創造プログラム (SIP)」の自動走行システム開発の一環で、自動走行システム導入による社会影響の一つとして、自動車交通からのCO₂排出量に与える影響を定量評価する「地域交通CO₂排出量可視化技術」の開発が行われた。筆者らはこれまで、自動走行システム導入による事故渋滞低減に伴うCO₂排出低減効果を評価するための手法を構築するため、東京23区的一般道において事故データと民間プローブデータを用いて事故渋滞の発生状況分析を行うとともに、Simplified Kinematic Wave理論¹⁾に基づく事故影響簡易評価シミュレーション²⁾とCO₂排出量マクロモデルによって、事故渋滞に伴うCO₂排出増加量の推計を行った³⁾。本研究はこれらの成果を活用して、同じくSIPの自動走行システム開発の一環で実施された「交通事故死者低減効果見積もり手法」の研究開発により推計された自動走行システムの導入に

よる事故低減率を用いて、東京23区における自動走行システムの導入による事故の低減に伴うCO₂排出低減効果を算出することを目的とする。

(2) 既往研究

自動走行システムの導入により交通事故の発生件数が低減されると、それに伴い事故渋滞の発生も減少し、CO₂排出量も低減することが期待される。この分析方法は第2章で詳述するが、大きくは、「交通事故に伴う事故渋滞の発生状況の把握」、「事故渋滞によるCO₂排出増加量の算出」、「自動走行システムの導入による事故件数の低減とそれによるCO₂排出低減効果の推計」の3つのステップに分けられる。

自動走行システムの導入による事故渋滞の低減に伴うCO₂排出低減量を定量的に評価する研究としては、本研究が初の試みであるが、事故渋滞に関する研究としては、参考文献⁴⁾⁵⁾が挙げられる。いずれも高速道路を対象としたものや一般道の事故渋滞であっても特定の事故のみを扱った研究が主であり、一般道の一定エリア内における定量的な分析を行った研究はない。

一方、自動走行システムの導入による交通事故死者数の低減効果を推計する研究としては、前述の通りSIPにおいて「交通事故死者低減効果見積もり手法」の研究開発が実施された⁶⁾。本研究では、この交通事故死者低減効果見積もり手法により推計された事故低減率を所与とした上でCO₂排出低減効果を評価する。

2. 自動走行システムの導入による事故低減に伴うCO₂排出低減効果の算出方法

事故渋滞に関して自動走行システム導入がCO₂排出量に与える影響は図-1のように評価される。事故渋滞が発

生するとそれに伴いCO₂排出量が増加するが、自動走行システム導入により交通事故が低減されれば、事故渋滞に起因するCO₂排出量の増加を防ぐことができる。本研究では、この考え方にに基づき自動走行システムの導入による事故渋滞低減に伴うCO₂排出低減効果を推計する。

本研究で分析対象とする事故は、東京23区内の一般道（一般国道・主要地方道）における「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」とする。これらの事故類型は、内閣府の報告⁶⁾より、前述の「交通事故死者低減効果見積もり手法」において優先すべき評価対象の事故類型として挙げられており、平成25年時点で、追突事故は交通事故件数が最多、歩行者横断中の事故は死亡事故件数が最多、車線逸脱に起因する事故は死亡事故率が最も高いことから選定されている。

本研究のCO₂排出低減量の推計は、以下の手順で行う。

- ① 過去の交通事故データより、東京23区における事故の発生日時、発生場所を整理する。
- ② ①の事故に対し、民間プローブデータを用いて事故発生日時の事故発生箇所周辺の旅行速度を分析し、事故に起因して渋滞が発生したと想定される事故を抽出する。
- ③ ②で抽出した事故に対し、Simplified Kinematic Wave理論に基づく事故影響簡易評価シミュレーションにより、プローブデータでは把握できない事故発生時の交通容量低下量とその継続時間を推計する。
- ④ ②の旅行速度、③の交通容量低下量とその継続時間に基づき、CO₂排出量マクロモデルを用いて平常時に対するCO₂排出増加量の原単位を算出する。
- ⑤ ④の原単位を用いて、東京23区の国道・主要地方道での事故によるCO₂排出増加量を推計する。
- ⑥ 「交通事故死者低減効果見積もり手法」による自動走行システムの普及シナリオ別事故低減率に基づき、自動走行システム導入による事故低減に伴

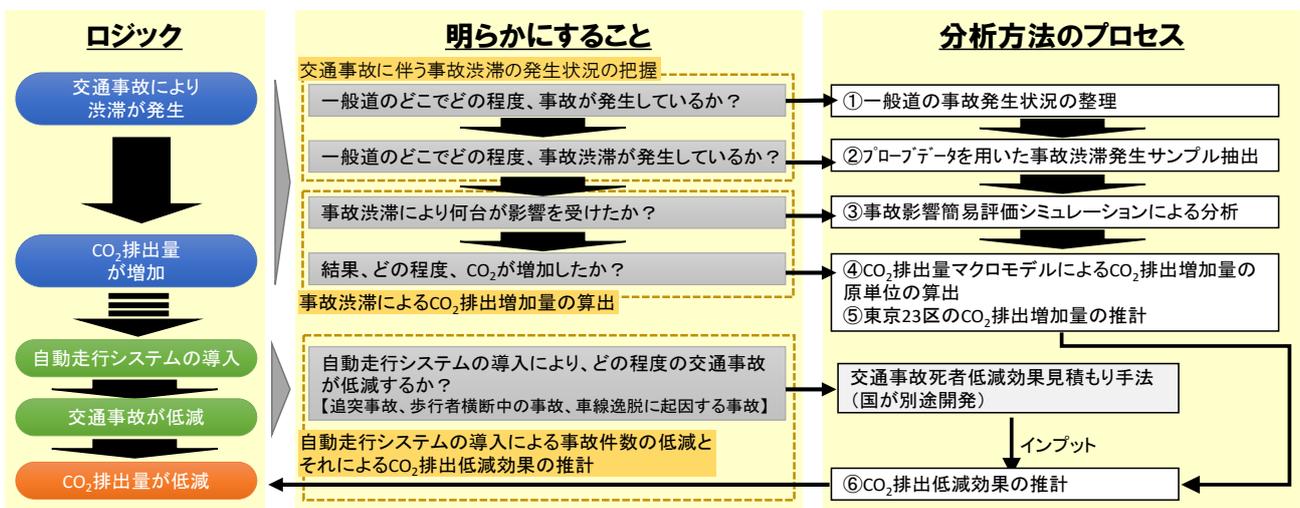


図-1 自動走行システムの導入による事故渋滞低減に伴うCO₂排出低減効果の評価プロセス

う CO₂排出低減効果を算出する。

上記の推計手順のうち手順①～④までは文献³⁾で既報のため3章でその概要を述べ、4章では手順⑤、5章では手順⑥を記す。

3. 事故渋滞に伴うCO₂排出増加量の原単位算出

(1) 一般道における事故発生状況の集計

本研究では、公益財団法人交通事故総合分析センターが提供する交通事故多発箇所データ（事故別データ）を使用し、平成25年7～12月の東京23区内の交通事故多発箇所（単年度の交通事故で、死傷事故件数が全国上位の10,000箇所）で発生した事故データを集計対象とした。データの概要を表-1に示す。

データを集計した結果、同期間における追突事故が877件、歩行者横断中の事故が143件、車線逸脱に起因する事故が10件であった。なお、本データは人身事故を対象としたものである。

表-1 使用する事故データの概要

概要	
データ項目	交通事故多発箇所データ(事故別データ)
対象期間	2013年7月1日～2013年12月31日の6ヶ月間
対象エリア	東京都23区内、一般国道および主要都道
対象事故類型	追突事故、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故
対象サンプル数	1,030サンプル

(2) プローブデータを用いた事故渋滞の発生状況に関する分析

一般道における事故渋滞の発生状況の分析にあたっては、事故データと同期間の平成25年7～12月の東京都内の民間プローブデータを使用した。使用したデータの概要を表-2に示す。

表-2 使用した民間プローブデータの概要

概要	
データ項目	DRMリンク単位の旅行速度(10分毎、24時間のデータ)
対象期間	2013年7月1日～2013年12月31日の6ヶ月間
対象エリア	東京都23区内

3. (1)において整理した交通事故発生場所・時刻における交通状況を視覚的に把握するため、プローブデータから時空間速度図を作成した。図-2はその一例として、

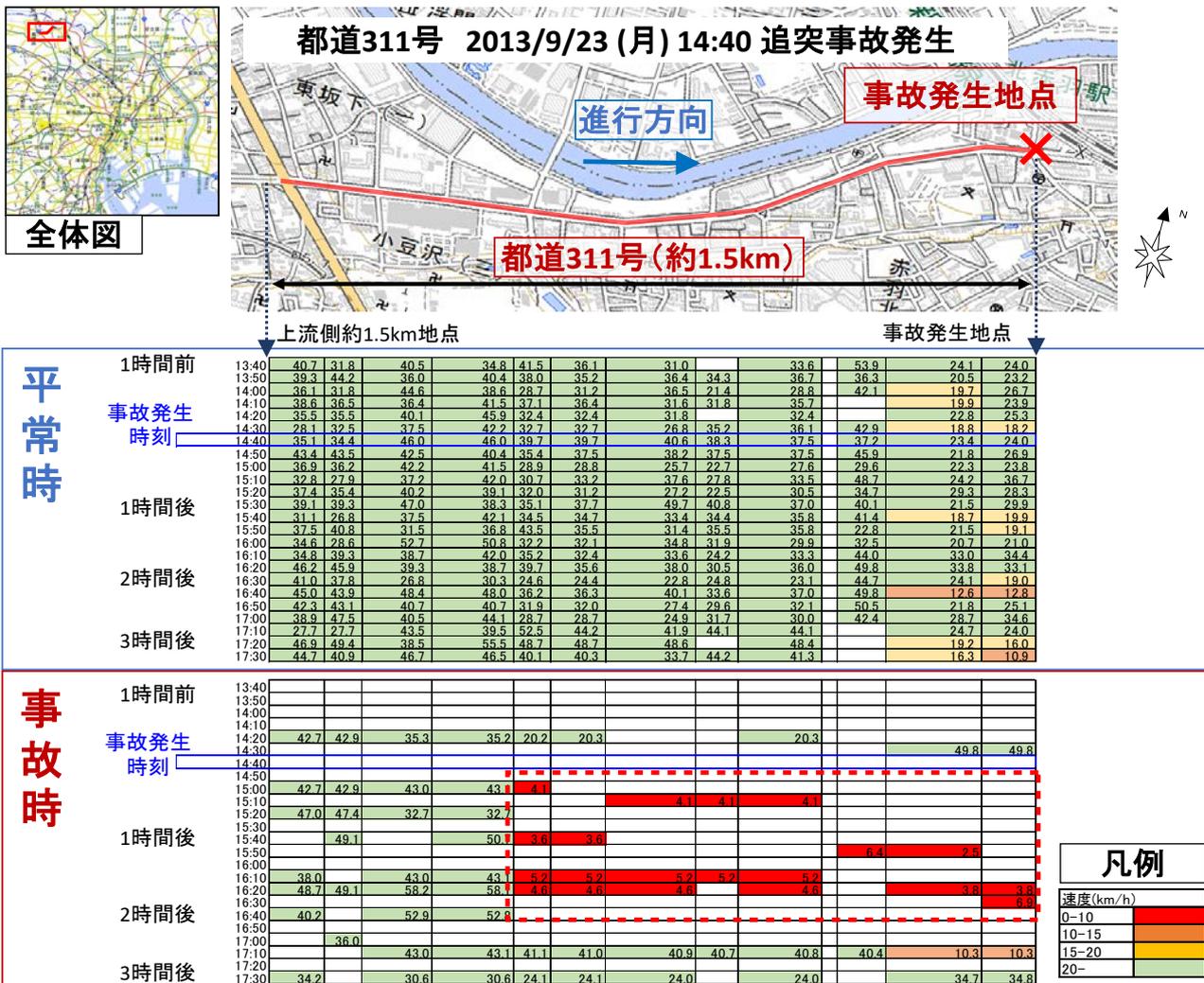


図-2 平常時および事故時の時空間速度図の比較 (2013/9/23 (月) 都道 311 号 追突事故)

2013年9月23日（月）14:40に都道311号環状八号線にて発生した追突事故を対象に、平常時および事故時の時空間速度図を示したものであるが、事故発生地点からおよそ1km程度上流の地点までの区間において、事故発生時から100分程度の速度低下が生じていることがわかる。

平常時および事故時の時空間速度図を定量的に比較することにより、対象の事故1,030件のうち、事故時の旅行速度の低下が確認できた事故を45件抽出した。なお、これらの対象は平日のみに限定している。これは、後述の事故影響評価シミュレーションが、平日のデータを元に構築されているためである。

(3) 事故影響簡易評価シミュレーションを用いた事故時の交通容量低下傾向の分析

a) 事故影響簡易評価シミュレーションの概要

プローブデータでは、データが得られている道路リンクの「旅行速度」は把握できるものの、事故渋滞に起因して増加したCO₂排出量を算出するにあたって必要となる「交通量」を把握することはできない。

そこで本研究では、Simplified Kinematic Wave理論に基づいて、交通容量の低下に起因する渋滞が周辺の道路ネットワークに伝播していく状況を効率的に計算できる事故影響簡易評価シミュレーションを用いた。これは、事故が無い状況での交通状態（平日）を再現するよう調整された動的な交通流シミュレーション⁷⁾の計算結果を初期条件として、表-3に示す事故時の交通容量（規制により交通容量が低下すると仮定）や、規制の継続時間を与えることで、ネットワーク上の各リンクの事故時の累積流入交通量およびリンク旅行速度を算出できるものである。

表-3 事故影響簡易評価シミュレーションの入出力データ

input	output
・事故開始年月日、時刻	・事故時のリンク累積流入交通量
・事故規制解除年月日、時刻	・事故時のリンク旅行速度
・事故規制中の交通容量	
・平常時のリンク累積流入交通量	

b) 事故時の交通容量低下傾向の推計方法

事故影響簡易評価シミュレーションには、事故が発生

した道路リンクの事故時の交通容量および規制の継続時間を与える必要があるが、前述の通りプローブデータから把握できる指標は旅行速度である。

そこで、プローブデータより得られた旅行速度の実測値をシミュレーションにより再現することで、事故時の交通容量と規制の継続時間を逆推定する方法を用いた。

図-3は、図-2に示した追突事故を対象に、シミュレーションにより旅行速度を再現した結果である。

c) 推計結果

事故時の交通容量低下傾向の推計対象は、交通事故1,030件のうち事故時に旅行速度の低下が確認された事故45件である。

図-4に、事故発生時の平常時に対する交通容量の低下量、および事故規制の継続時間の推計結果の平均値を、事故類型別に整理した結果を示す。事故発生時は平常時の8~15%程度に交通容量が低下し、それが事故発生後60~110分程度継続していたという結果となった。ただし、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故は対象事故の件数が少なく、信頼性が十分でないと考えられる。

そこで、事故類型ではなく、事故時の車線規制による影響度合いが異なることを想定し、道路形状（単路、交差点）、および車線数で分類した場合の交通容量の低

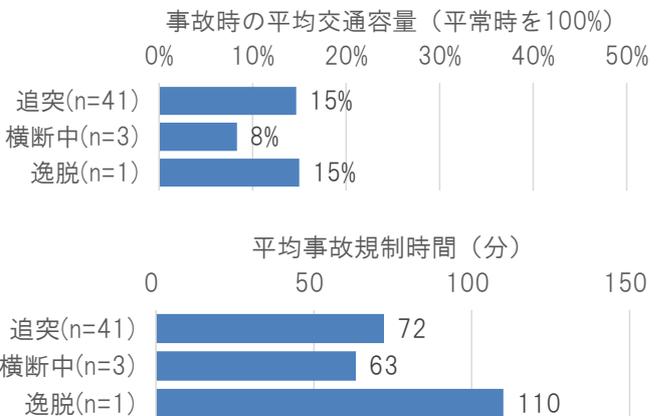


図-4 事故時の平均の交通容量・事故規制時間（事故類型別）

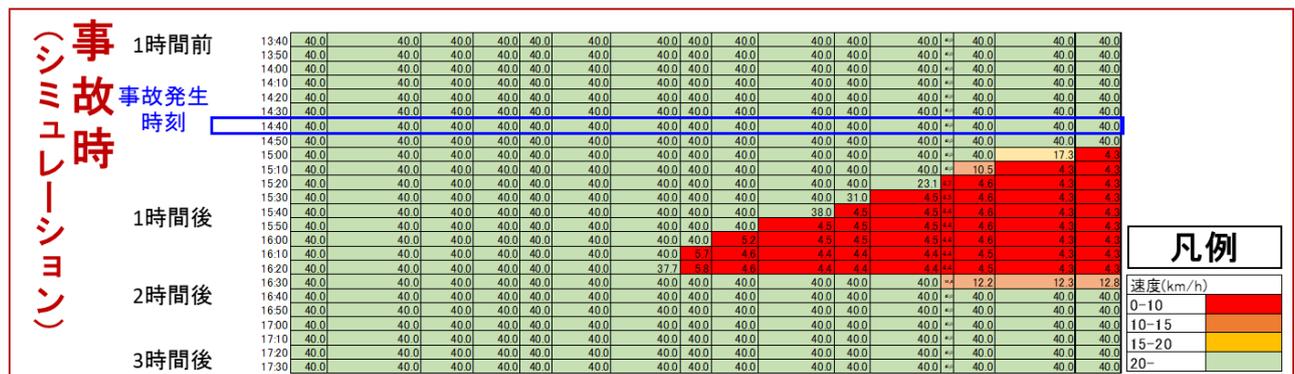


図-3 シミュレーションによる事故時の時空間速度図の再現

下傾向の結果を図-5に示す。図-5より、平常時と比較して、交差点部の2車線区間で13%、3車線以上の区間で14%、単路部の2車線区間で19%、3車線以上の区間で11%にそれぞれ交通容量が低下し、それが事故発生後56～102分程度継続していたという結果となった。

(4) CO₂排出量マクロモデルによるCO₂排出増加量の原単位の算出

a) CO₂排出量マクロモデルの概要

CO₂排出量マクロモデルは、車両の平均速度に基づきCO₂排出量を推計するものである。モデルの作成に用いた車両のデータが古い場合には、CO₂排出量を過大に推計してしまう可能性がある。そこで、環境省の排出原単位報告書⁸⁾および自動車検査登録協会の全国の小型車と大型車の車種構成比率⁹⁾を用いて、車種別のCO₂排出量マクロモデルを構築した。結果を図-6に示す。

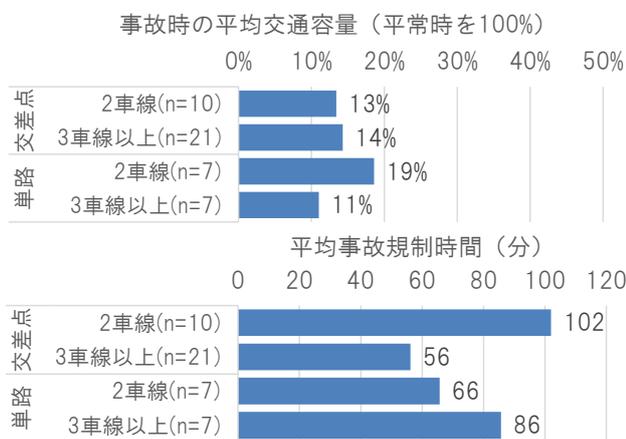


図-5 事故時の平均の交通容量・事故規制時間 (道路形状×車線数)

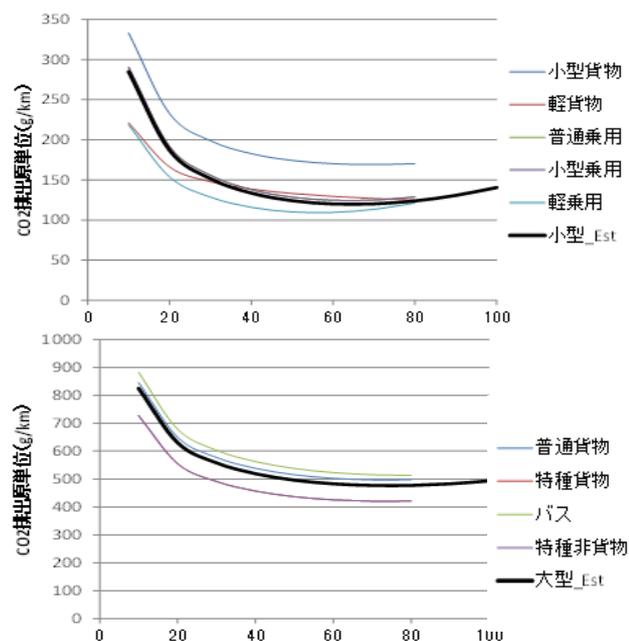


図-6 CO₂排出量マクロモデル(上:小型車、下:大型車)

b) 事故によるCO₂排出増加量の原単位の算出結果

(3)と同様、事故45件を対象として、追突事故、歩行者横断中の事故、斜線逸脱に起因する事故の事故類型別、および道路形状×車線数別に事故発生によるCO₂排出増加量の原単位を算出した。結果を図-7、8に示す。

4. 東京23区における事故によるCO₂排出増加量の推計

東京23区の国道・主要地方道での3つの事故類型(追突、横断、逸脱)を対象に、事故による年間のCO₂排出増加量を推計した。推計手順と結果を次に示す(図-9)。

(ア) 平成25年7月～12月の事故1,030件のうち、プロ



図-7 事故発生によるCO₂排出増加量の原単位 (事故類型別)



図-8 事故発生によるCO₂排出増加量の原単位 (道路形状×車線数別)

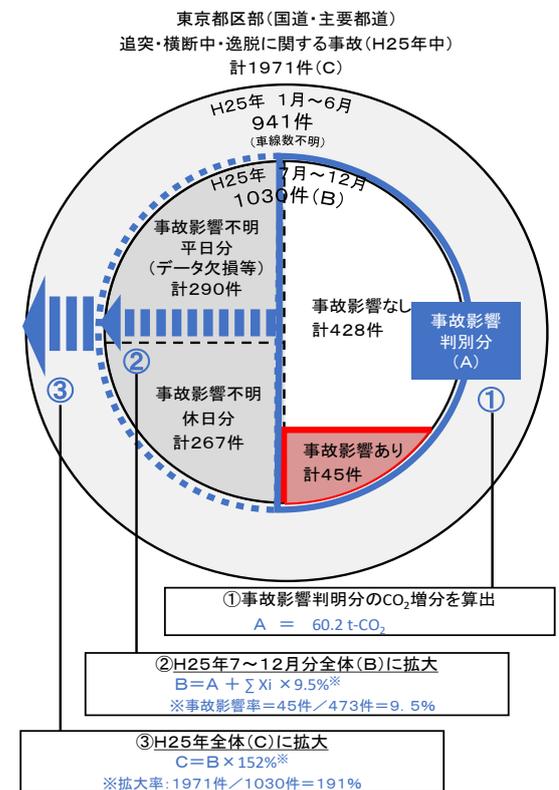


図-9 東京23区における事故によるCO₂排出増加量の推計

ープデータを用いた分析により事故影響の有無が判別できた473件の事故について、CO₂排出増加量を算出した。結果は、60.2t-CO₂であった。

(イ)平成25年7月～12月の事故1,030件のうち、データが取得できていなかった等プローブデータでは事故影響の有無を判断できなかった事故557件について、3.(4)で算出した原単位に事故影響率(45件(事故影響あり件数)÷473件(事故影響あり・なし総数)=9.5%)を乗じたものを用いて、事故影響が不明な557件のCO₂排出増加量を算出(表4)し、(ア)の結果と合算した結果133.1t-CO₂となった。ここで、原単位は、道路形状および車線数区分の結果を用いている(図8)。

(ウ)(イ)の結果に拡大率(平成25年年間の事故件数/平成25年7月～12月の事故件数=1.91)を乗じることで、平成25年の1年間の事故によるCO₂排出量の増加量を算出した。結果、交通事故多発箇所の事故による年間のCO₂排出増加量は254.6t-CO₂となった。ただし、平成25年1～6月の事故件数941件については詳細なデータを入手できな

表-4 平成25年7月～12月の事故(影響不明分)のCO₂排出増加量の算出結果

道路形状	車線数	事故件数(件)	原単位(kg-CO ₂ /件)	事故影響率	CO ₂ 排出増加量(t-CO ₂)
交差点	2車線	159	2,107	9.5%	31.9
交差点	3車線	224	1,042	9.5%	22.2
単路	2車線	101	633	9.5%	6.1
単路	3車線	73	1,831	9.5%	12.7
合計		557			72.9

表-5 自動走行システムの普及シナリオ

5パターン：現状(手動100%)、全体普及率25%、50%、75%、100%

シナリオ		0	1	2	3	4	5
システムの全体普及率		現状	25%	50%	75%	100%	上限
手動走行		100%	75%	50%	25%	-	-
運転支援システム	警報・自動ブレーキ(レベル1)	-	20%	20%	15%	10%	-
	警報・自動ブレーキ定速・追従走行車線維持(レベル2)	-	5%	20%	25%	15%	-
自動走行システム	条件付運転自動化(レベル3)	-	-	10%	25%	50%	-
	高度運転自動化(レベル4)	-	-	-	10%	25%	100%

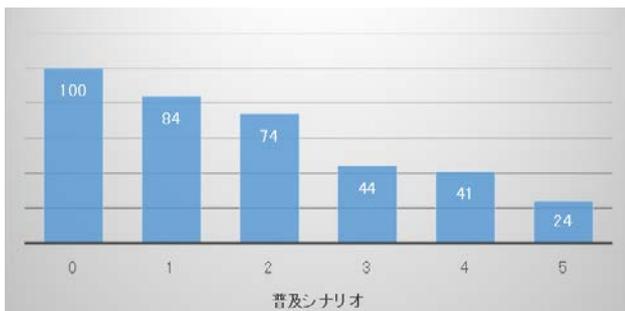


図-10 大都市(所沢市)における自動走行システム導入による事故低減率の推計結果

かったため、事故発生箇所の車線数は不明であり、全て2車線と仮定して算出した。

以上より、平成25年の1年間の東京23区の国道・主要地方道(交通事故多発箇所)での3つの事故類型の交通事故によるCO₂排出増加量は約255t-CO₂と推計された。

5. 東京23区における自動走行システムの導入によるCO₂排出低減効果の推計

(1) 自動走行システムの導入による事故件数の低減率

自動走行システムの導入によって交通事故件数が低減すれば、前章で算出した事故渋滞によって増加したCO₂排出量が低減されることが期待できる。ここでは、このCO₂排出量の低減効果を推計する。

ここで、自動走行システムの導入による交通事故低減率は、前述の通り「交通事故死者低減効果見積もり手法」の研究開発によって推計された結果を用いる。同結果によると、大都市のモデルとして実施された所沢市における「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」に関する事故低減率は、自動走行システムの普及シナリオ(表5)別に、図-10の通りである。図-10より、自動走行システムの普及が進むにつれて現状と比較して事故件数が減少し、上限(シナリオ5)の時に24%程度まで減少する結果となっている。

(2) CO₂排出量の低減効果の推計結果

5.(1)の自動走行システムの普及シナリオに基づき、4.で算出した、平成25年の東京23区の国道・主要地方道(交通事故多発箇所)の3つの事故類型の事故を対象にしたCO₂排出増加量の算出結果(約255t-CO₂/年)を用いて、自動走行システム導入による事故件数の低減に伴うCO₂排出低減効果を推計した。結果を図-11に示す。

シナリオ1(システムの全体普及率：25%、3事故類型の事故低減率=16%)の時のCO₂排出量の低減効果は、254.6×16%：41t-CO₂/年と推計される。同様に、シナリオ2(システムの全体普及率：50%、3事故類型の事故低



図-11 モデル都市での自動走行システムの導入によるCO₂排出低減効果の推計結果

減率：26%) 66 t-CO₂/年，シナリオ3 (システムの全体普及率：75%，3事故類型の事故低減率：56%) の時は，143 t-CO₂/年，シナリオ4 (システムの全体普及率：100%，3事故類型の事故低減率：59%) の時は，150 t-CO₂/年，シナリオ5 (システムの全体普及率：上限，3事故類型の事故低減率：76%) は194 t-CO₂/年と推計された。

6. おわりに

本研究では，自動走行システムの導入がもたらすCO₂排出低減効果の一つとして，事故渋滞の低減に伴うCO₂排出低減効果を評価するため，事故データ・プローブデータを用い，Simplified Kinematic Wave理論に基づき車線規制による渋滞の影響を推計する事故影響簡易評価シミュレーションとCO₂排出量マクロモデルによって，追突事故，歩行者横断中の事故，車線逸脱に起因する事故の3つの事故類型別，および道路形状×車線数別に，事故発生に伴うCO₂排出増加量の原単位を算出した。

また，これらの分析結果を用い，別途実施された「交通事故死者低減効果見積もり手法」の研究開発により推計された事故低減率のシナリオに基づいて，東京23区を対象に自動走行システムの導入による年間のCO₂排出低減効果を算出した。

なお，今回の推計においては以下の仮定を置いており，これらの精査が今後の課題である。

- ・休日の事故について，平日の事故と同影響と仮定。
- ・事故影響が不明な事故には片側1車線道路での事故が含まれる一方，推計は全て片側2車線道路と仮定して計算を行っており，車線数が少ないほど事故時の影響が大きい傾向にあるとすると，結果が過小評価されている可能性がある。
- ・平成25年1月～6月分の事故は車線数が不明であるため，平成25年7月～12月分の事故と同条件（道路形状・車線数）と仮定し，件数ベースで拡大をしている。

謝辞：本研究は，戦略的イノベーション創造プログラム自動走行システム研究開発の一環として，経済産業省平成30年度戦略的イノベーション創造プログラム（地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証）にて行われたものである。関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) G. F. Newell : A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic, Part I : General Theory, Transpn. Res.-B. Vol.27B, No.4, pp.281-287, 1933.
- 2) 高橋浩司, 堀口良太 : Kinematic Wave 理論に基づく工事・事故時の交通規制による影響の簡易評価シミュレーションの開発, 第 15 回 ITS シンポジウム講演論文集, 2017.
- 3) 栗栖嵩, 大島大輔, 光安皓, 桑原雅夫, 堀口良太, 高橋浩司, 金成修一 : Kinematic Wave 理論に基づく事故影響簡易評価シミュレーションを用いた事故渋滞に伴うCO₂排出量推計, 土木計画学研究・講演集 Vol. 58, No.214, pp. 1-7, 2018.
- 4) 澤田英郎, 奥野裕司, 安時亨, 山岸肇, 寺中孝司 : 速度変動図を用いた渋滞関連事故分析の提案, 土木計画学研究・講演集 Vol.43, pp.297_1-4, 2011.
- 5) 椿原拓己, 千田哲哉, 三浦哲也 : VICS データを用いた事故渋滞の分析, 土木計画学研究・講演集 Vol. 42, pp.242_1-4, 2010.
- 6) 一般財団法人 日本自動車研究所 : 交通事故死者低減の国家目標達成に向けた調査・検討における詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術に係る調査検討報告書, 2015.
- 7) 大口敬, 力石真, 飯島護久, 岡英紀, 堀口良太, 田名部淳, 毛利雄一: 首都圏 3 環状都市高速道路における交通マネジメント方策, 第 55 回土木計画学研究発表会 (春大会) 講演集, 2017
- 8) 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 平成 26 年度, 2015
- 9) 自動車検査登録情報協会 : 自検協統計 自動車保有車両数, 2015.

(2019. 10. 4 受付)

A study on estimating of CO₂ emission reduction effect due to accident reduction of automated driving systems in the 23 wards of Tokyo

Takashi KURISU, Daisuke OSHIMA, Akira MITSUYASU, Ryota HORIGUCHI, Koji TAKAHASHI, and Syuichi KANARI, Masao KUWAHARA

Automated driving system is expected to reduce the traffic accidents, and the traffic congestion caused by the accidents also could be reduced. As part of the technological development to quantitatively evaluate the impact of the introduction of an automated driving system on CO₂ emissions, this research is based on the accident data (Three types: rear-end collision, pedestrian crossing accident, and lane departure accident) and the private probe data are used to analyze the impact on traffic flow due to the occurrence of accidents. Finally we are estimating of CO₂ emission reduction effect due to accident reduction of automated driving systems in the 23 wards of Tokyo with the simulation based on Simplified Kinematic Wave theory and CO₂ emission model.