

# 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CO<sub>2</sub>排出量推計

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

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> 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

<sup>4</sup> 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

<sup>5</sup> 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

<sup>6</sup> 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

<sup>7</sup> 一般財団法人日本自動車研究所 (〒305-0822 茨城県つくば市苜間 2530)

E-mail: skanari@jari.or.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削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CO<sub>2</sub>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、一般道における事故渋滞に伴うCO<sub>2</sub>排出量を推計する手法を検討する。具体的には、東京23区一般道における事故データと民間プローブデータを用いて、事故発生に伴う交通流への影響を分析するとともに、Simplified Kinematic Wave理論に基づき車線規制による渋滞の影響を迅速に推計する事故影響簡易評価シミュレーションとCO<sub>2</sub>排出量モデルによって、事故渋滞に伴うCO<sub>2</sub>排出量の推計を行う。また、東京都をモデル都市として自動走行システムの導入による事故低減率を仮定した場合におけるCO<sub>2</sub>排出削減効果を試算する。

**Key Words :** traffic accident, CO<sub>2</sub> emissions, probe data

## 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。例えば交通事故死者数は、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、交通事故への対策は依然として取り組むべき重要な課題である。また、CO<sub>2</sub>排出量の観点では、2016年度の日本国内全体のCO<sub>2</sub>総排出量約12億600万トのうち、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CO<sub>2</sub>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で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CO<sub>2</sub>排出量に与える影響を定量評価する「地域交通CO<sub>2</sub>排出量可視化技術」の開発が進められている。本研究はその一環として、自動走行システム導入による事故渋滞低減に伴うCO<sub>2</sub>排出削減効果を評価するため、東京23区一般道における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<sup>1)</sup>に基づく事故影響簡易評価シミュレーション<sup>2)</sup>とCO<sub>2</sub>排出量マクロモデルによって、事故渋滞に伴うCO<sub>2</sub>排出量を推計するとともに、東京都をモデル都市として自動走行システムの導入による事故低減率を仮定した場合におけるCO<sub>2</sub>排

出削減効果を算出することを目的とする。

## 2. 分析手法の概要

### (1) 既往研究

自動走行システムの導入による事故渋滞低減に伴うCO2排出削減量推計に関する研究としては、我々の知る限りでは本研究が初の試みである。また、事故渋滞に関する近年の研究としては、参考文献<sup>3) 4)</sup>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。また、CO2排出量モデルに関しては多くの知見があるが、車両データが古い場合にはデータ更新が必要である。

一方、自動走行システム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、内閣府は「交通事故死者低減効果見積もり手法」の開発を進めている<sup>5)</sup>。本研究では、この見積もり手法との連携を前提として、事故削減効果を所与とした上でCO2排出削減効果を評価する。

### (2) 分析プロセス

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CO2排出量が増加するが、自動走行システムの導入により交通事故が低減されると、それに伴いCO2排出量が削減される。このロジックにおいて、本研究では事故渋滞に伴うCO2排出量の推計手法の提案を行う。

本研究の分析対象は、東京都23区内の一般道（一般国道・主要都道）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、平成26年度における内閣府の報告<sup>5)</sup>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いる、平成25年において交通事故件数が最も多い「追突事故」、死亡事故件数が最も多い「歩行者横断中の事故」、死亡事故率が最も高い「車線逸脱に起因する事故」である。

本研究の分析は以下のプロセスにより行われる。

①対象とする各事故の発生日時、発生場所の集計を行う（第3章）。

②①にて集計した各事故に対し、民間プローブデータを用いて事故渋滞の発生状況に関する分析を行い、事故渋滞が発生した事故の抽出および事故時の旅行速度を分析する（第4章）。

③②にて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、交通事故時の交通状況（旅行速度）の再現を行い、プローブデータでは明らかにできない交通量を推計する（第5章）。

④②より明らかにする旅行速度、③より明らかにする交通量を用い、CO2 排出量マクロモデルより、平常時に対するCO2の排出量を算出する（第6章）。

⑤④の結果を用い、東京都区部の国道・都道における事故を対象として、自動走行システムが導入された場合のCO2 排出削減効果を試算する（第7章）。

⑥本研究の射程外となるが、交通事故死者低減効果見積もり手法により算出される事故低減量に対し、④にて整理される事故渋滞のCO2 排出増加量原単位を用いることで、自動走行システム導入による事故低減に伴うCO2 排出削減効果を算出する。

## 3. 一般道における事故発生状況の集計

### (1) 使用するデータ

本研究では、公益財団法人 交通事故総合分析センタ

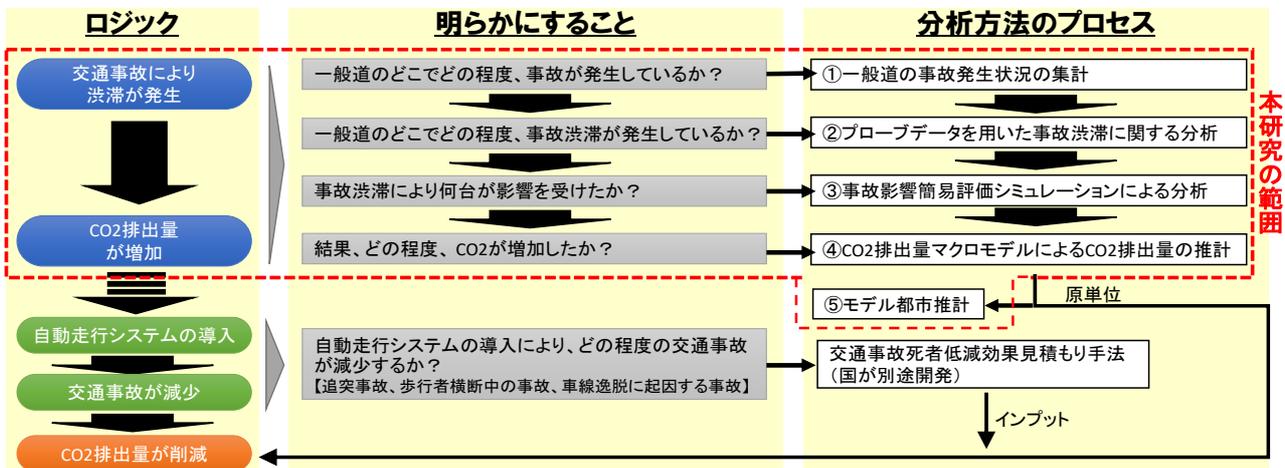


図-1 自動走行システムの導入による事故渋滞低減に伴うCO2排出削減効果の評価プロセス

一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月の東京都23区内のデータを集計対象とした。データの概要を表1に示す。

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) 事故類型別の事故発生分布

「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」の各事故類型について、各事故の発生状況を図-2に示す。事故類型別のサンプル数は、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。

4. プローブデータを用いた事故渋滞に関する分析

(1) 使用するデータ

一般道における事故渋滞に関する分析に際し、民間テレマティクス事業者が提供するプローブデータのうち、平成25年7～12月の東京都内のデータを使用した。データの概要を表2に示す。

表-2 使用する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

(2) 時空間速度図による事故渋滞発生状況の可視化

前章において抽出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、時空間速度図による手法を用いた。時空間速度図とは縦軸に時刻、横軸に通行位置をとり、それぞれの時刻・通行位置における旅行速度をプロットしたものであり、時刻と通行位置による旅行速度の推移を視覚的に表現可能な手法である。

一例として、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の平常時および事故時の時空間速度図を示す（次頁 図-3）。ここで、縦軸は事故発生1時間前から3時間後まで10分間隔で区切り、横軸は事故位置上流約1.5kmから事故位置までをDRMリンク単位で区切っている。また、横軸の各セル幅はリンク長の比に従っており、最右列は事故位置のリンクである。なお、旅行速度のデータは全ての時間帯、リンクにて取得

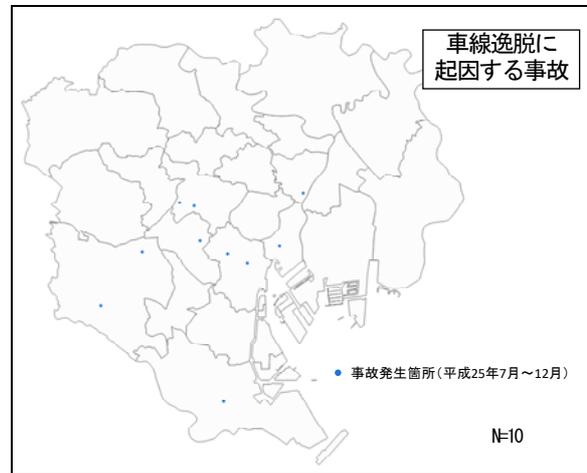
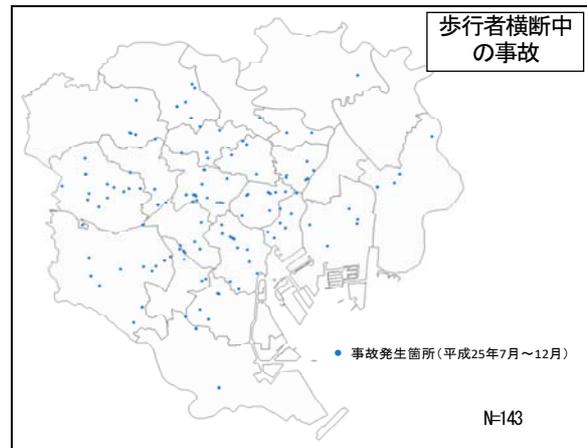


図-2 各事故の発生分布（上：追突事故、中：歩行者横断中の事故、下：車線逸脱に起因する事故）

されているわけではないため、空白部分が存在する。平常時の時空間速度図については、対象とする交通事故に対し、2013年7月1日～12月31日における同一曜日、同一時間帯、同一区間における旅行速度データの平均値を算出し作成した。なお、旅行速度のデータは全ての時間帯、リンクにて取得されているわけではないため、データが取得できている日の算術平均により算出した。結果として、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。

### 5. 事故影響簡易評価シミュレーションによる分析

#### (1) シミュレーションの概要

前章ではプローブデータを用いた時空間速度図を作成することにより、事故渋滞の発生状況を視覚的に明らかにした。しかし、プローブデータで事故渋滞時のプローブデータを取得できる特定個車の「旅行速度」は把握できるものの、事故渋滞に伴い増加するCO2排出量を算出するにあたって必要な「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、事故による道路容量低下に起因する渋滞が周辺の道路ネットワークに影響していく現象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<sup>2)</sup>を用いた。これは、事故がない状況での交通状態を再現するよ

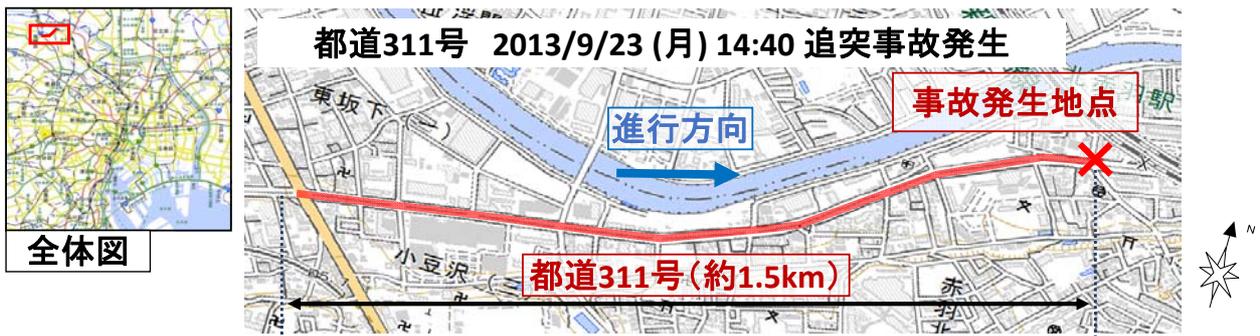
う調整された動的交通流シミュレーション<sup>6)</sup>の計算結果を初期条件とし、事故発生にともなう車線規制に起因する渋滞延伸の有無をリンク単位の累積交通量図上で physical queue として求め、速度低下と渋滞損失を効率的に求めるものである。表3にて、本シミュレーションのインプットおよびアウトプットを示す。

表-3 事故影響簡易評価シミュレーションのインプット/アウトプット

input	output
<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故開始年月日、時刻</li> <li>・事故規制解除年月日、時刻</li> <li>・事故規制中の交通容量</li> <li>・平常時のリンク累積流入交通量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故時のリンク累積流入交通量</li> <li>・事故時のリンク旅行速度</li> </ul>

#### (2) シミュレーションを用いた交通量の推計方法

本シミュレーションでは事故発生リンクにおける事故規制中の交通容量および事故規制時間をインプットする必要があるが、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、プローブデータによ



平常時	時刻	上流側約1.5km地点										事故発生地点													
		13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30	15:40	15:50	16:00	16:10	16:20	16:30	16:40	16:50	17:00	17:10	17:20	17:30
1時間前	13:40	40.7	31.8	40.5	34.8	41.5	36.1	31.0	33.6	53.9	24.1	24.0	40.7	31.8	40.5	34.8	41.5	36.1	31.0	33.6	53.9	24.1	24.0		
事故発生時刻	14:30	28.1	32.5	37.5	42.2	32.7	32.7	26.8	35.2	36.1	42.8	18.8	18.2	28.1	32.5	37.5	42.2	32.7	32.7	26.8	35.2	36.1	42.8	18.8	18.2
	14:40	35.1	34.4	46.0	46.0	39.7	39.7	40.6	38.2	37.5	37.2	23.4	24.0	35.1	34.4	46.0	46.0	39.7	39.7	40.6	38.2	37.5	37.2	23.4	24.0
1時間後	15:30	39.1	39.3	47.0	39.1	37.1	37.7	49.7	40.8	37.0	40.1	21.5	29.9	39.1	39.3	47.0	39.1	37.1	37.7	49.7	40.8	37.0	40.1	21.5	29.9
2時間後	16:30	41.0	37.8	26.8	30.3	24.6	24.4	22.8	24.8	23.1	44.7	24.1	19.0	41.0	37.8	26.8	30.3	24.6	24.4	22.8	24.8	23.1	44.7	24.1	19.0
3時間後	17:30	44.7	40.9	46.7	46.5	40.1	40.3	33.7	44.2	41.3				44.7	40.9	46.7	46.5	40.1	40.3	33.7	44.2	41.3			

事故時	時刻	上流側約1.5km地点										事故発生地点														
		13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	14:50	15:00	15:10	15:20	15:30	15:40	15:50	16:00	16:10	16:20	16:30	16:40	16:50	17:00	17:10	17:20	17:30	
1時間前	13:40																									
事故発生時刻	14:30													42.7	42.9	35.3	35.2	20.2	20.3			20.3			49.8	49.8
	14:40													42.7	42.9	43.0	43.1	4.1				4.1	4.1	4.1		
1時間後	15:30													47.0	47.4	32.7	32.7							6.4	2.5	
2時間後	16:30													49.1			50.1	3.6	3.6							
3時間後	17:30													36.0			43.0	43.1	41.0	40.9	40.7	40.8	40.4	10.3	10.3	



図-3 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)

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、事故規制中の交通容量と規制時間を間接的に再現する方法を用いる。具体的には、(1)式が最小となる条件（交通容量および事故規制時間）をシミュレーションの繰返計算により導出する。

$$\text{誤差 } \varepsilon = \sum |Rank_1 - Rank_2| \cdot L \quad (1)$$

*Rank<sub>1</sub>*: プローブデータによる旅行速度の速度ランク  
*Rank<sub>2</sub>*: シミュレーションによる旅行速度の速度ランク  
 L: リンク長(km)

ここで、(1)式中の速度ランクとは、旅行速度に応じて設定するランク値である(表4)。

図4、5は図3の追突事故をサンプルとしてシミュレーションにより再現した結果である。この誤差が最小となる条件こそ事故時の交通状況に最も近い条件であり、こ

のときのシミュレーション結果を用いることで、事故発生時に影響を受けた交通量を推計することができる。

表4 速度ランク表

速度ランク	リンク旅行速度帯
1	$v < 5\text{km/h}$
2	$5\text{km/h} \leq v < 10\text{km/h}$
3	$10\text{km/h} \leq v < 15\text{km/h}$
4	$15\text{km/h} \leq v < 20\text{km/h}$
5	$20\text{km/h} \geq v$

(3) 推計結果

推計対象は、交通事故全1,030サンプルのうち、4章の分析により事故による旅行速度の低下が確認できた事故サンプル45件である。なお、この対象は平日のみに限定している。これは、事故影響評価マクロ交通流シミュレーションが、現時点では平日のデータを元に構築されているためである。

推計結果より、図6のとおり事故時の交通容量および事故規制時間の平均値を事故類型別に整理した結果を示

事故規制中の交通容量 (pcu/h) ※()は容量低下率	事故規制の継続時間 (分)					
	14:40-15:50	14:40-16:00	14:40-16:10	14:40-16:20	14:40-16:30	14:40-16:40
180 (10%)	7.6	9.2	9.9	10.9	12.9	13.5
198 (11%)	7.1	8.7	9.3	10.0	12.1	13.2
216 (12%)	7.0	8.4	9.6	9.9	11.7	13.2
234 (13%)	6.6	8.1	9.8	9.5	11.2	12.9
252 (14%)	7.0	7.6	9.6	9.0	10.8	12.9
270 (15%)	7.1	7.4	9.4	8.4	10.2	12.7
288 (16%)	7.2	7.2	9.4	7.9	10.0	11.9
306 (17%)	7.3	7.1	8.9	8.3	9.5	11.1
324 (18%)	8.0	7.0	8.6	8.0	8.8	10.5
342 (19%)	8.5	6.7	8.4	7.6	8.0	9.6
360 (20%)	8.9	7.3	8.6	7.6	7.5	9.4
378 (21%)	9.7	7.6	8.5	7.3	8.0	9.1
396 (22%)	9.7	7.9	7.9	7.0	7.7	8.3
414 (23%)	9.6	7.6	7.8	6.9	7.3	7.6
432 (24%)	9.8	8.5	7.5	7.1	7.5	8.3
450 (25%)	10.0	9.5	8.0	6.4	6.4	7.5
468 (26%)	10.5	10.5	8.7	6.5	6.5	7.1
486 (27%)	10.5	10.5	8.5	5.5	5.6	6.0
504 (28%)	10.5	10.5	9.4	6.6	6.6	6.6
522 (29%)	10.5	10.5	9.9	7.9	7.7	7.7
540 (30%)	10.4	10.4	10.4	9.1	8.9	8.9

図4 事故規制中の交通容量および事故規制の継続時間に応じた誤差の累計値の比較

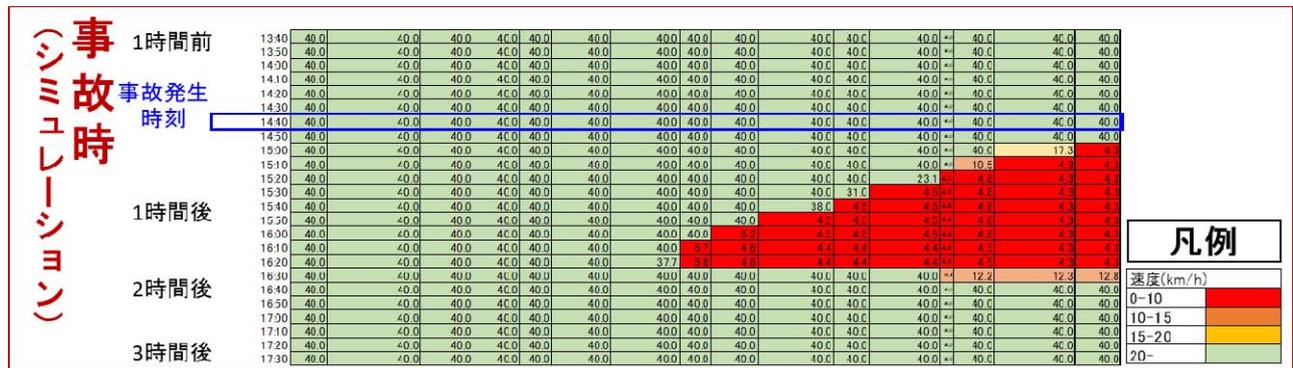


図5 シミュレーションによる事故時の時空間速度図の再現 (誤差最小条件)



図6 事故時の平均の交通容量・事故規制時間

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分程度それが継続していたという結果となった。

## 6. CO2排出量マクロモデルによるCO2排出量推計

### (1) 推計方法の概要

CO2排出量マクロモデルは、車両の平均速度をパラメータとし、CO2排出量を推計するものである。車両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<sup>7)</sup>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<sup>8)</sup>を用いて、車種別のCO2排出量マクロモデルを構築した(図-7)。

これにより、現状に則したCO2排出量を推計することが可能となった。

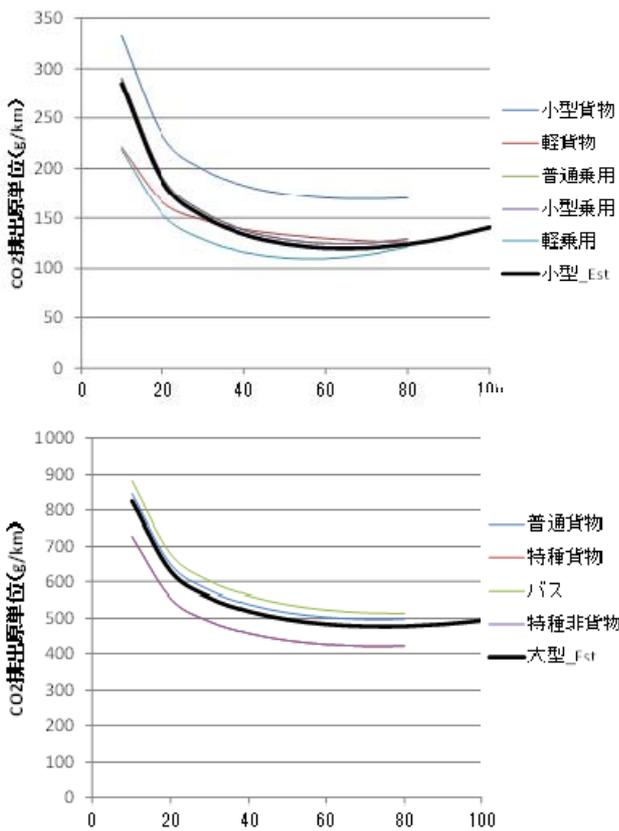


図-7 CO2排出量マクロモデル(上:小型車、下:大型車)

### (2) 推計結果

5章(3)と同様、事故サンプル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3事故類型別に、事故発生によるCO2排出量増分の平均



図-8 事故時の平均CO2排出量増分(事故類型別)値を算出した。図-8に示す。

## 7. モデル都市による推計

### (1) 推計方法の概要

算出した各事故サンプルのCO2排出量増分を用いて、東京都区部の国道・都道における事故について、自動走行システムが導入された場合のCO2排出削減効果を試算した。

なお、自動走行システムが導入による事故低減率を10%、20%、30%、40%、50%と仮定し、それぞれについて算出した。算出方法を図9に示す。

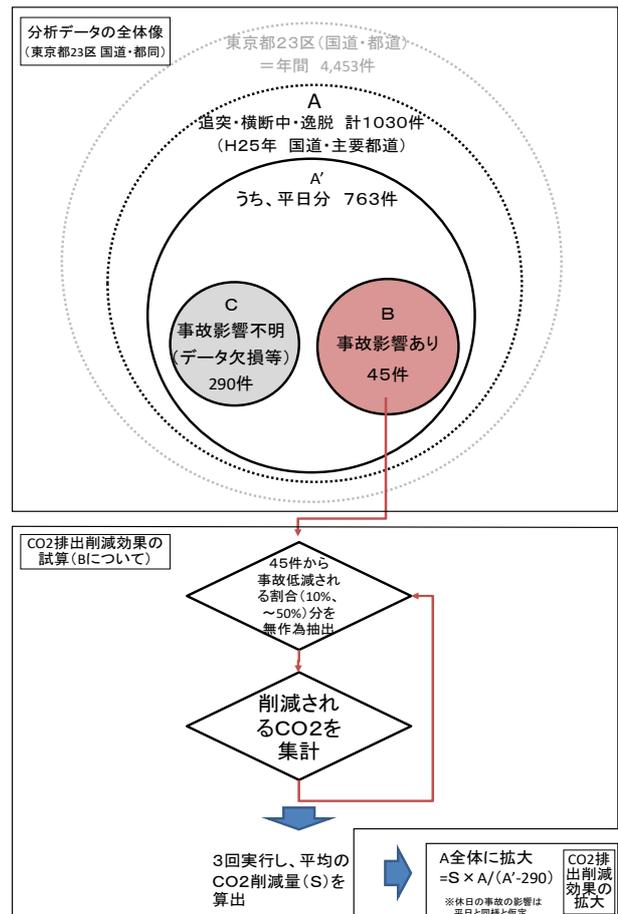


図-9 モデル都市での推計の方法

### (2) 推計結果

(1)より、自動走行システムの導入による事故低減率に応じ、削減されるCO2排出量を試算した。結果を図-

10および表-5に示す。

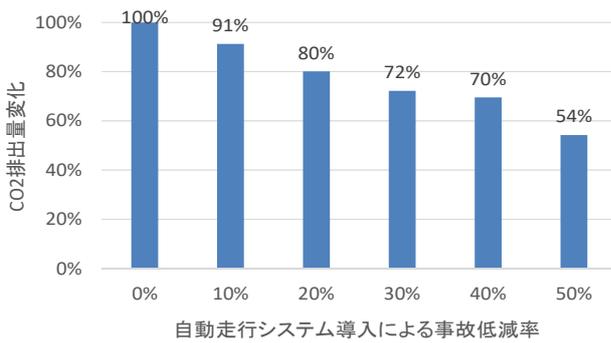


図-10 自動走行システム導入による事故低減に伴うCO2排出削減効果

表-5 CO2排出削減量の推計結果

事故低減率	事故によるCO2増分に対する排出量変化	CO2排出削減量 (45件)	CO2排出削減量 (拡大推計)
		(kg-CO2)	(kg-CO2)
0%	100%	0	0
10%	91%	5,255	11,444
20%	80%	11,982	26,091
30%	72%	16,731	36,433
40%	70%	18,338	39,933
50%	54%	27,571	60,037

## 7. 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排出削減効果の一つとして、事故渋滞の低減に伴うCO2排出削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迅速に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、東京都をモデル都市としたCO2削減効果を推計した。

今後の課題として、「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ごとのCO2排出量原単位の算出等が挙げられる。

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29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, Part1 : 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) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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.

?

## A study on evaluating the impact of a traffic accident on CO2 emissions using a quick traffic simulator with Simplified Kinematic Wave Theory

Takashi KURISU, Daisuke OSHIMA, Akira MITSUYASU, Masao KUWAHARA, Ryota Horiguchi, Koji Takahashi, and Syuichi Kanari

Automated driving system is expected to reduce the traffic accidents, and the traffic congestion caused by the accidents also could be reduced. This study considers a method for evaluating CO2 emissions by the reduction of traffic congestion due to traffic accidents on ordinary road as part of technical development of an impact assessment tool of automated driving system on CO2 emissions. The study analyzes the impact of traffic accidents on traffic flow using traffic accident data and probe data in Tokyo 23 wards. And it also makes estimation of CO2 emissions by traffic accidents using a traffic simulator that estimate the impact of congestion by lane regulation with Simplified Kinematic Wave Theory and a macro CO2 emission model.