


平成28年度
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) :
地域交通CO₂排出量可視化技術の開発及び実証
報告書

平成29年3月

 パシフィックコンサルタンツ株式会社

目次

1.	序章.....	1
1.1	事業の目的	1
1.2	CO ₂ 排出量可視化技術開発の方針.....	2
1.3	事業の実施概要	4
1.4	事業のスケジュール	7
2.	自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発.....	8
2.1	自動走行システムのモデル化、交通流シミュレーションへの実装.....	8
2.1.1	信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行.....	8
2.1.2	Advanced Rapid Transit (バス車両のスムーズな加減速)	13
2.1.3	高速道路および一般道路での自動運転	24
2.1.4	地域における管制交通システム (ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング)	32
2.1.5	事故影響評価マクロ交通流シミュレーション.....	37
2.2	交通流シミュレーションの検証	50
2.2.1	ART 専用車線運用モデルの基本検証.....	50
2.2.2	ART 専用車線運用モデルのパラメータ調整と実用検証.....	51
2.2.3	隊列走行モデルのパラメータ調整と実用検証.....	52
3.	自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	53
3.1	自動車 CO ₂ 排出量モデルの拡充	53
3.2	自動走行システム導入時の CO ₂ 排出量モデルの作成	58
3.2.1	信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行.....	58
3.2.2	Advanced Rapid Transit (バス車両のスムーズな加減速)	59
3.2.3	隊列走行.....	62
3.2.4	高速道路および一般道路での自動運転	63
3.2.5	地域における管制交通システム (ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング)	63
3.3	CO ₂ 排出量マクロモデルの更新	64
4.	自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	67
4.1	交通事故多発箇所データを用いた事故発生状況の分析.....	67
4.1.1	使用データの概要.....	67
4.1.2	単純集計結果.....	68
4.1.3	クロス集計結果	76
4.2	渋滞損失・環境インパクト低減に関する分析.....	97

4.2.1	評価プロセスの整理	97
4.2.2	使用データの概要	98
4.2.3	分析の実施	100
5.	CO ₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備	141
5.1	グリーンウェーブ走行の評価に必要なデータ	141
5.1.1	道路ネットワークデータ	141
5.1.2	交通量関連データ	141
5.1.3	CO ₂ 排出モデル関連データ	141
5.1.4	全国拡大計算用データ	142
5.2	ART の評価に必要なデータ	143
5.2.1	道路ネットワークデータ	143
5.2.2	交通量関連データ	144
5.2.3	ART 運行関連データ	146
5.2.4	CO ₂ 排出モデル関連データ	147
5.3	隊列走行の評価に必要なデータ	149
5.3.1	道路ネットワークデータ	149
5.3.2	交通量関連データ	149
5.3.3	CO ₂ 排出モデル関連データ	150
5.3.4	全国拡大計算用データ	150
5.4	高速道路および一般道路での自動運転の評価に必要なデータ	152
5.4.1	道路ネットワークデータ・交通量関連データ	152
5.4.2	CO ₂ 排出モデル関連データ	152
5.5	地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）評価に必要なデータ	153
5.5.1	道路ネットワークデータ・交通量関連データ	153
5.5.2	CO ₂ 排出モデル関連データ	153
6.	モデル都市での評価実施	154
7.	CO ₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進	155
7.1	Impact Assessment Sub Group への参加	155
7.2	ITS 世界会議 2016 における関連セッションの開催	159
7.3	英国の自動運転評価関係者との連携	162
8.	事業のまとめ	163
8.1	自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発	163
8.2	自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	164
8.3	自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	164

8.4	CO ₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備.....	165
8.5	モデル都市での評価実施.....	165
8.6	CO ₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進.....	166

1. 序章

1.1 事業の目的

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、それと引き換えに交通渋滞や交通事故等の発生による社会的損失も被っており、依然として早期に解決すべき課題となっている。例えば交通事故死者数は、2000年の9,073人から2015年は4,117人と半数近くに減少¹したものの減少ペースは緩まり、近年は前年比横ばい、2015年には15年ぶりに対前年比で増加という結果となった。また、CO₂排出量の観点では、2013年度の日本国内全体のCO₂総排出量約13億1,100万トンのうち、運輸部門からのCO₂排出量が占める割合は17.1%であり²、そのうち自動車全体からのCO₂排出量が約86.4%を占めており（これはCO₂排出量全体の約14.8%にあたる）、自動車車体の燃費改善等によりCO₂排出量が削減されてきたものの、より一層の削減が求められている。

そのような中、2014年に開始された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）での自動走行システム開発の一環で、自動走行システムの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的に評価する「地域交通CO₂排出量可視化技術」の開発が進められている。「平成27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調査研究）」（以下、昨年度事業）では、自動走行システムの導入がCO₂排出量に与える影響のメカニズムを整理したリファレンスモデルの検討、モデル構築や評価に必要なデータの整理、評価のための一部モデルの構築等が実施されたところである。

本事業は、昨年度事業の成果を受けて、「地域交通CO₂排出量可視化技術」を開発することで、自動走行システムの導入がもたらすCO₂排出量への影響を定量化し、自動走行システム最適な社会実装方法の検討や、CO₂排出量の見える化による市民の交通行動に対する意識改革等に寄与し、自動走行システムの実用化と普及を促進することを目的とする。

¹ 警察庁「平成28年中の交通事故死者数について」

(<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/index.html>)

² 国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」

(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html)

1.2 CO₂ 排出量可視化技術開発の方針

自動車交通流からの CO₂ 排出量を可視化する技術として、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によって実施されたエネルギーITS 推進事業（2008 年度～2012 年度）で確立された、交通シミュレーションと CO₂ 排出量モデルを組み合わせる方法がある。この方法は、交通シミュレーションによって評価対象エリア内を走行する全車両の動きを再現し、再現された車両の動きに応じた CO₂ 排出量を、CO₂ 排出量モデルを使って算出して全車両の総和をとることで、自動車交通全体から排出される CO₂ 排出量を評価するものである（図 1-1）。

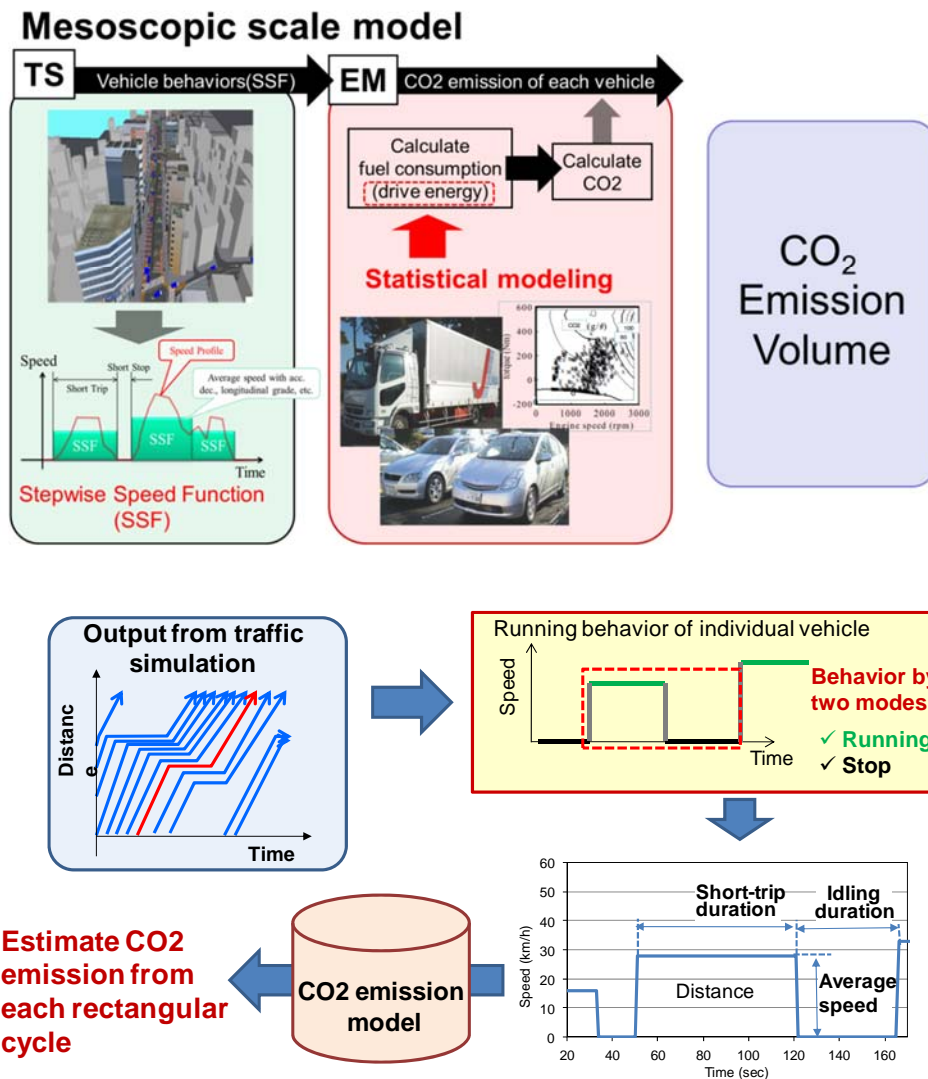


図 1-1 効果評価ツールのコンセプト³

³ 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギーITS 推進事業「国際的に信頼される効果評価方法の確立 報告書」

また、エネルギーITS 推進事業によって国際共同レポート（Guidelines for assessing the effects of ITS on CO₂ emissions、以下「国際共同レポート」とする）が発行されており、自動車交通流からの CO₂ 排出量の評価結果に対して、国際的な信頼を得るために満たすべき要件が示されている。

これらのエネルギーITS 推進事業による成果を踏まえ、本事業で対象とする地域交通 CO₂ 排出量可視化技術についても、「国際共同レポート」に準拠し、交通シミュレーションと CO₂ 排出量モデルを組み合わせて構築することを前提とした（図 1-2）。

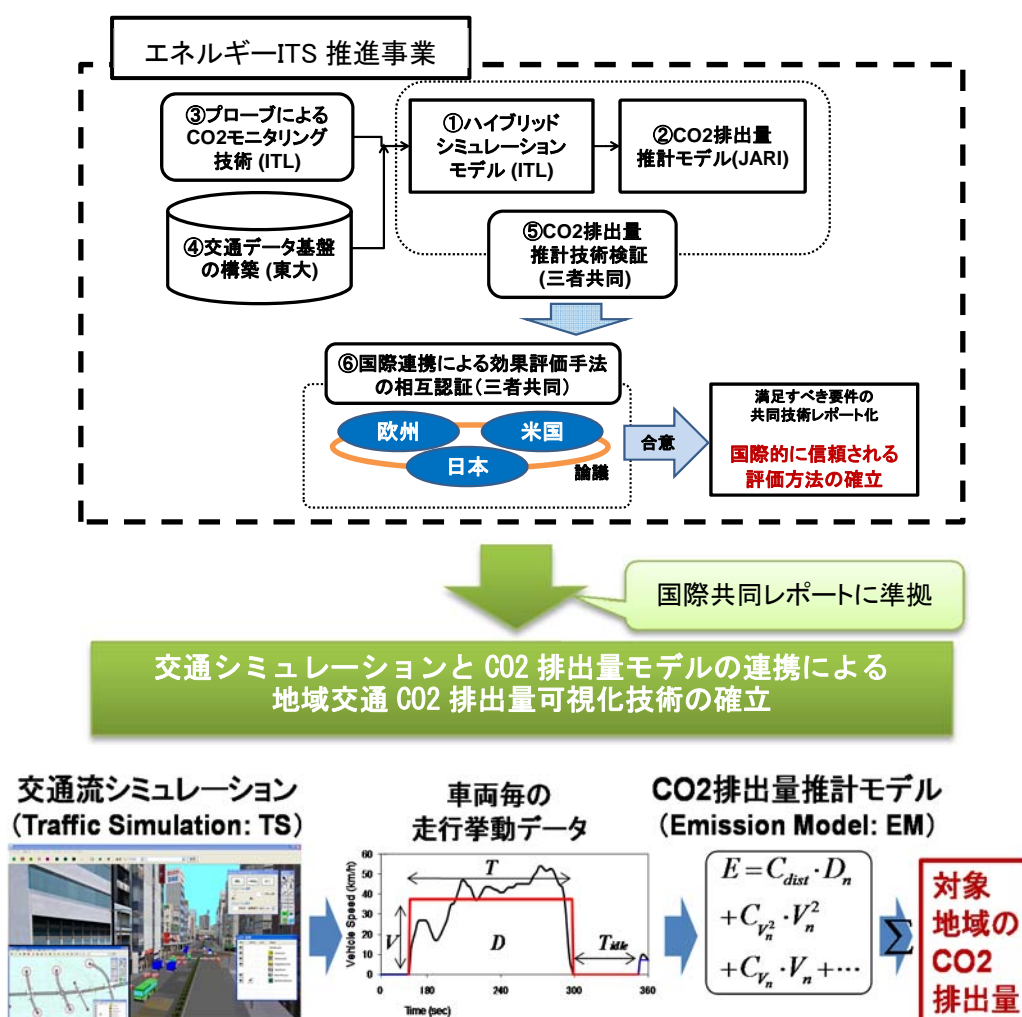


図 1-2 地域交通 CO₂排出量可視化技術のコンセプト

1.3 事業の実施概要

本事業では、地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の開発に向けて、以下の項目を実施した。

- I. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発
- II. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発
- III. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築
- IV. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備
- V. モデル都市での評価実施
- VI. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携および普及促進

また、地域交通 CO₂ 排出量可視化技術が対象にする自動走行システムは、以下に挙げる 5 つの自動走行システムとした。

- 信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行
- Advanced Rapid Transit (ART) (バス車両のスムーズな加減速)
- 隊列走行
- 高速道路および一般道路での自動運転
- 地域における管制交通システム (ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング)

ここで、自動走行システムの導入・普及による CO₂ 排出量の削減効果には、自動走行システムの導入によって「市民の交通行動が変化し交通需要が変わることで CO₂ 排出量が減少する効果」、「車両の挙動をシステム側でコントロールすることで効率的な交通流が実現し CO₂ 排出量が減少する効果」、「交通事故に起因する交通渋滞の発生回数の低減によって CO₂ 排出量が減少する効果」の大きく 3 種類があると考えられる (図 1-3)。

なお、図 1-3 において点線で囲んだ範囲を本開発の対象範囲としており、自動走行システムの導入による人々の自動車の使い方や、交通モード選択の変化といった「市民の交通行動の変化」それ自体を予測するモデル開発は、本事業の対象としていない。

また、自動走行システムの導入による「事故発生件数の低減」については、同じく SIP の中で実施されている「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) : 交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」によって評価が行われる予定であり、その結果を参照して CO₂ 排出量削減効果を評価する計画である。

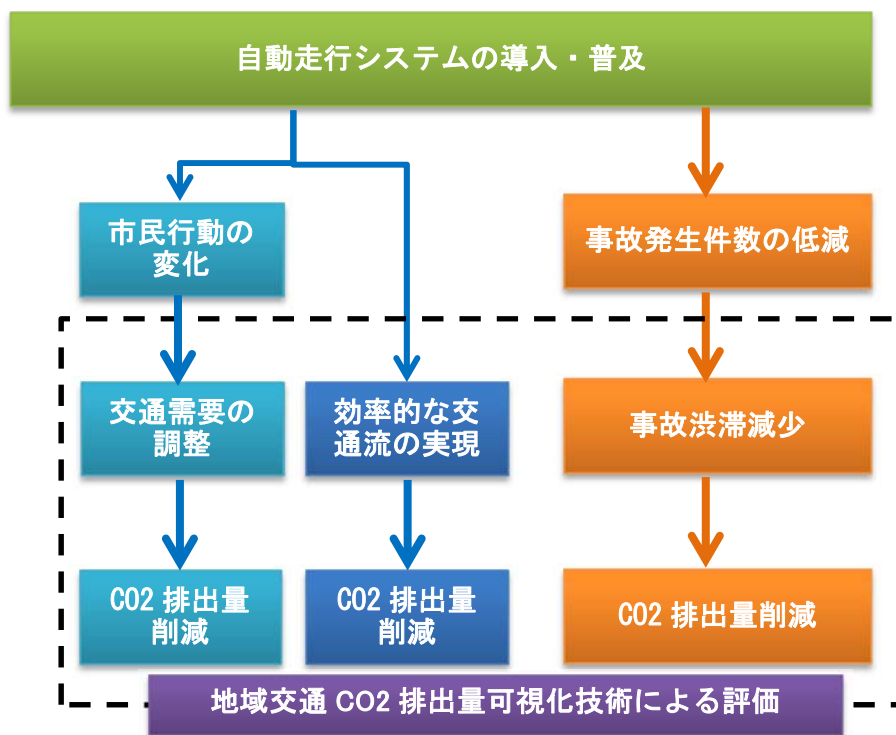


図 1-3 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の評価対象範囲

本事業の実施項目の概要は、以下の通りである。

I. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

自動走行システムの導入によって導かれる個別車両の運転挙動の変化、ならびに交通流におよぼす影響をモデル化し、自動走行システムが導入された場合に実現する交通流を評価できるツールを開発した。

II. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

I. で開発したツールからの出力結果を受けて、自動走行システムが導入された場合に想定される運転挙動の変化を踏まえて、自動車交通からの CO₂ 排出量を推計する技術を開発した。

III. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

自動走行システムの導入による交通事故低減に伴う CO₂ 排出量削減効果の評価を可能とする手法を検討するとともに、交通事故が渋滞に及ぼす影響の分析を行った。

IV. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

研究開発に必要となるデータ、ならびに開発された評価ツールを用いて自動走行システムの導入による CO₂ 排出量削減効果の評価を実施するにあたり必要となる各種データを取得し整備した。

V. モデル都市での評価実施

評価対象として挙げられた自動走行システムのうち、ART と隊列走行について、モデル都市での評価を開始した。

VI. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

CO₂ 排出量可視化技術による評価結果の国外への適用可能性検討に向け、海外の効果評価関係の専門家（交通工学及び交通に起因する CO₂ 排出量評価の専門家）と連携し、開発する CO₂ 削減効果評価ツールやそれを用いた評価結果、ならびに研究開発成果の有効な活用に向けた意見交換を行うとともに、海外の関連プロジェクトの動向等に関する情報収集を行った。

1.4 事業のスケジュール

本事業のスケジュールを表 1-1 に示す。

表 1-1 事業スケジュール

調査項目		平成28年度											
		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
I. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発	モデルの設計作業												
	ARTの専用車線モデルの開発												
	一般バス車両の発進加速度調査												
	モデルの実装作業(グリーンウェイブ、高速道路、一般道の自動走行、地域における管制交通システム)												
	モデルの検証作業(ART、隊列走行)												
	モデルの検証作業(グリーンウェイブ、高速道路、一般道の自動走行、地域における管制交通システム)												
	事故影響評価マクロ交通シミュレーションモデルの開発												
II. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発	ディーゼル乗用車のCO2排出量モデル作成												
	ディーゼルバスのCO2排出量モデル更新												
	自動運転導入時のCO2排出量モデル作成												
III. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築	交通事故発生状況と交通状況整理												
	交通事故が交通流へ与える影響分析												
	定量評価のプロセス整理												
IV. CO2排出量削減効果の評価に資するデータの整備	道路ネットワーク・車線構成・道路線形データ、信号制御パラメータ、各種交通規制データの整備												
	交通需要データ(OD表)の整備												
	ピーコン設置位置・交通量センサ設置位置の整備												
	CO2排出量モデルに関するデータ整備												
V. モデル都市での評価実施	事故削減によるCO2排出削減量の評価に関するデータ整備												
	隊列走行システム、ART導入のシミュレーションスタディ												
VI. CO2削減効果評価ツールの研究開発における国際連携および普及促進	CO2排出量の推計												
	とりまとめ、報告書作成												

2. 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

2.1 自動走行システムのモデル化、交通流シミュレーションへの実装

2.1.1 信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行

ここでは、グリーンウェーブ（以下、GW）走行支援システムを構成する「信号通過支援システム」、「赤信号減速支援システム」及び「発進遅れ防止支援システム」について、交通流シミュレーションへの実装作業を行った。「アイドリングストップ支援システム」は、交通流シミュレーションで、車両が信号で停止している状態を判定し、走行パターン情報としてCO₂排出量モデルに入力することでCO₂排出量を推計する仕組みとした。開発にあたっては、経済産業省が実施したグリーンウェーブ走行支援システムの実証実験の報告書⁴を参照し、実験結果についての情報を収集した上で、システムパラメータ等の評価に必要な項目や条件について整理を行った。

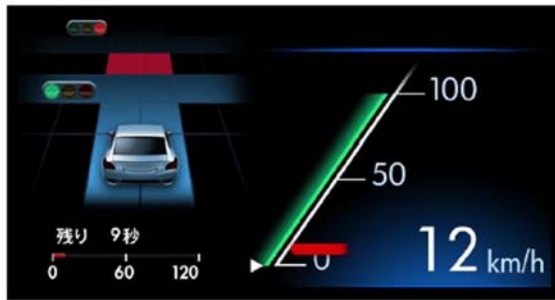
(1) GW 走行支援システム実証実験の概要

GW 走行支援システムの実証実験は、経済産業省の委託業務として、平成 26 年度から 4 カ年の計画で、(一財) UTMS 協会によって取り組まれている。平成 27 年度は、3 地区で実証実験が行われ、システムの成立性、ドライバーの受容性、円滑性、安全性、環境性能および交通流への影響の観点から評価を行っている。図 2-1 および図 2-2 に実証実験の概要を示す図を報告書⁴から抜粋した。

⁴ 平成 27 年度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）信号情報等のリアルタイム活用技術等の開発及び実証報告書（平成 28 年 3 月・経済産業省）



図 6.1-1 神奈川地区 実証実験路線



【代用特性】

各被験者が、対象交差点の内、青信号通過時の情報提示有り無し走行ケースにおける情報提示点(交差点停止線から約2~3百m)から停止線或いは交差点中心通過まで、停車することなく通過できた交差点の割合(以下、「信号交差点通過率」という)。対象交差点数は8か所、被験者数は36人である。

【誤差因子】

代用特性を測定する際の誤差要因は以下である。誤差因子は表 3.1.3-1 被験者一覧に示したように分散させ、誤差因子が代用特性測定に与える影響を低減させるようにした。

- ・ドライバー(年齢2水準・性別2水準)
- ・時間帯(10-12時、13-15時、15-17時の3水準)

図 2-1 GW 走行支援システム実証実験(神奈川地区)の概要 4

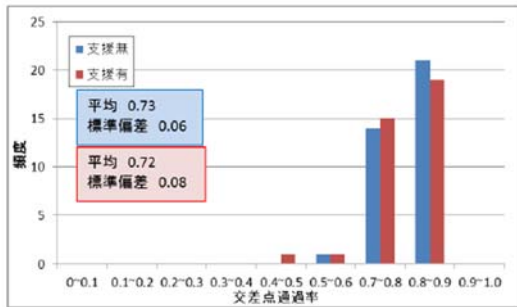


図 4.1.1-1 信号交差点通過率

表 4.1.1-1 信号交差点通過率

	信号交差点通過率(平均値)
支援無し	72.8%
支援有り	71.6%

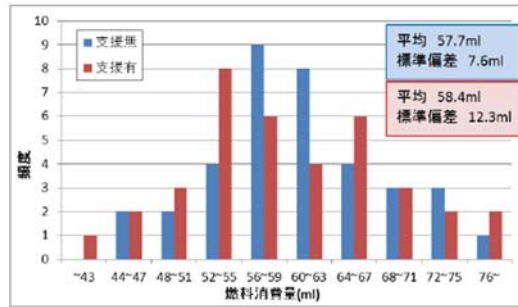


図 4.1.1-3 燃料消費量

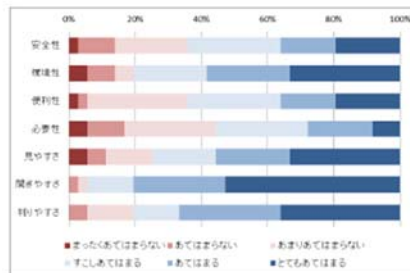


図 4.1.1-5 一般モニター被験者対象アンケート結果

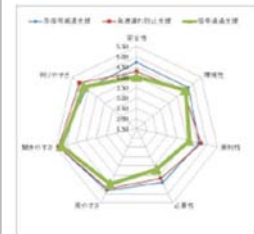


図 2-2 信号通過支援システムの評価結果(神奈川地区) 4

(2) GW 走行支援システム評価におけるパラメータの整理

上述の実証実験報告書 4 の内容および昨年度事業で整理した GW 走行支援システムの CO₂ 削減メカニズムリファレンスモデル (図 2-3) を踏まえて、評価において考慮される必要があるパラメータと実装方針を表 2-1 のように整理した。

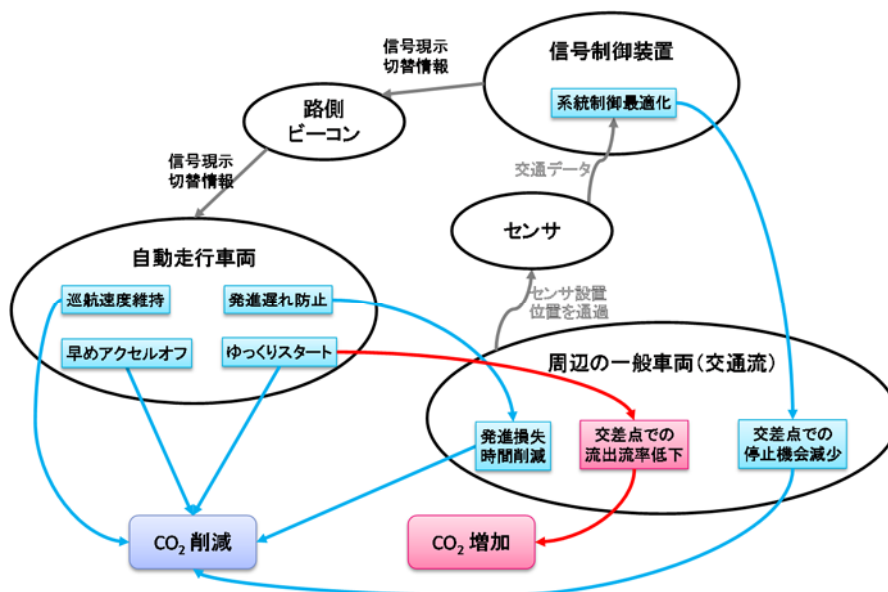


図 2-3 GW 走行支援システムの CO₂ 削減メカニズムリファレンスモデル⁵

表 2-1 GW 走行支援システムの評価で考慮されるパラメータの実装方針

パラメータ	実装方針
GW 走行支援車載端末搭載車両の混入率	<ul style="list-style-type: none"> • 端末搭載車を自動運転車両として、一般車と異なる走行挙動を持つ車種として定義する。 • 車種別 OD 交通量での混入割合を変えることで混入率を設定する。
信号情報通知タイミング	<ul style="list-style-type: none"> • 路側のビーコン設置位置を指定し、端末搭載車両がビーコン設置位置を通過するタイミングで、下流交差点の信号階梯テーブル (信号現示とスプリット秒数)、現在提示中の信号現示と残り秒数、および下流交差点までの距離を車両側に通知する。
推奨速度最大値・最小値	<ul style="list-style-type: none"> • 推奨速度の最大値は、当該区間の規制速度とする。 • 推奨速度の最小値は、規制速度から 10km/h 低い値とする。 • この範囲内で、青信号のうちに通過できる最も高い速度で走行する。
発進時の反応遅れ	<ul style="list-style-type: none"> • 追従モデル式で計算される加速度x_tに対して、位置・速度更新に用いる加速度y_tは指数平滑式 ($y_t = \alpha y_{t-1} + (1 - \alpha)x_t$) で求めることで、時間遅れを表現する。 • 自動運転車両については、指数平滑パラメータを小さくすることで、時間遅れがないものとして扱う。

⁵平成 27 年度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) 地域交通 CO₂ 排出量可視化技術の調査研究報告書 (平成 28 年 3 月・経済産業省)

(3) 実装したモデルの動作検証

① 発進遅れ防止支援システム

図 2-4 と図 2-5 に、それぞれ一般車と自動運転車の発進時の速度・加速度プロファイル希望速度別にグラフ化した。グラフより、一般車の方が、希望速度に到達するまでの経過秒や、最大加速度に到達するまでの経過秒が、自動運転車に比べて数秒程度遅くなっており、自動運転車の発進遅れが小さくなっていることが確認できた。

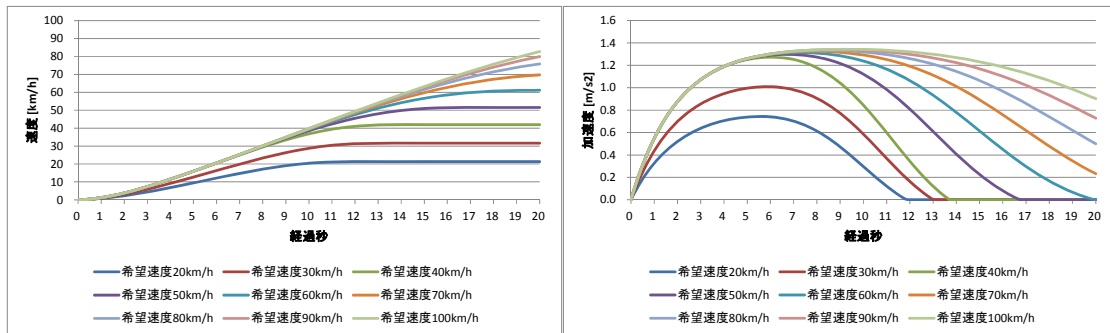


図 2-4 一般車の速度・加速度プロファイル (指数平滑パラメータ大)

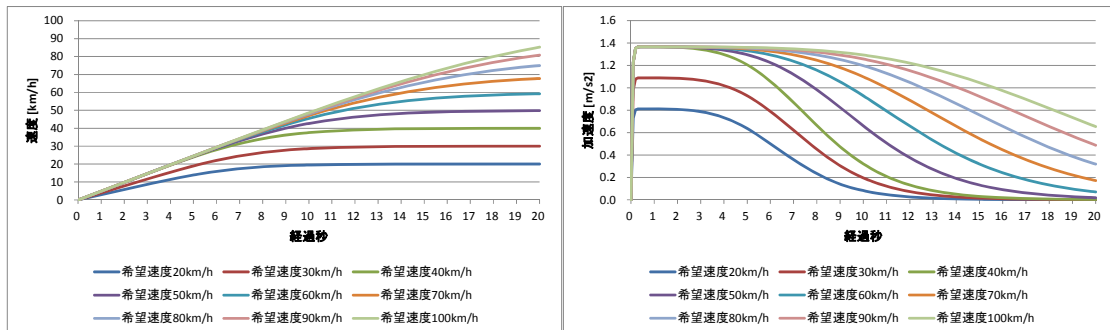


図 2-5 自動運転車の速度・加速度プロファイル (指数平滑パラメータ小)

② 信号通過支援システムおよび赤信号減速支援システム

図 2-6 に信号通過支援システムと赤信号減速支援システムのシミュレーション動作検証ネットワーク図を示した。ここでは、単路状のネットワークで、ビーコン位置において、下流の 2 交差点の信号情報を通知するものとした。

図 2-7 に動作検証結果を時空間走行軌跡図で示した。青の GW 走行支援なしの線と較べて、赤の GW 走行支援ありの線は、信号情報を受けて速度を調整していることが示された。

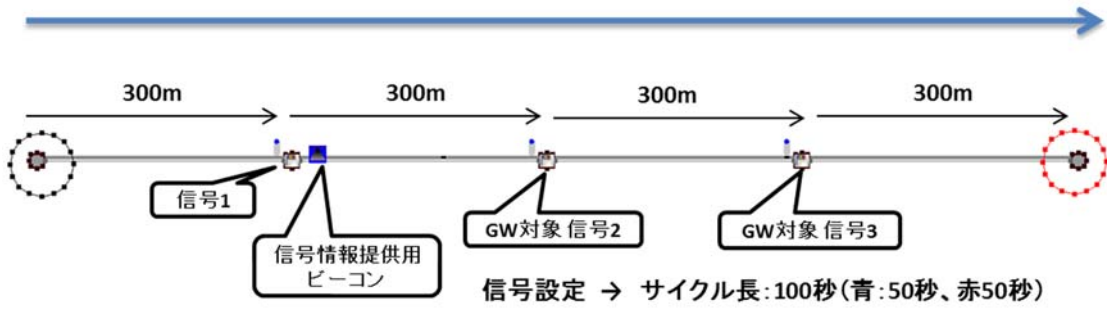


図 2-6 GW 走行支援システムのシミュレーション検証ネットワーク

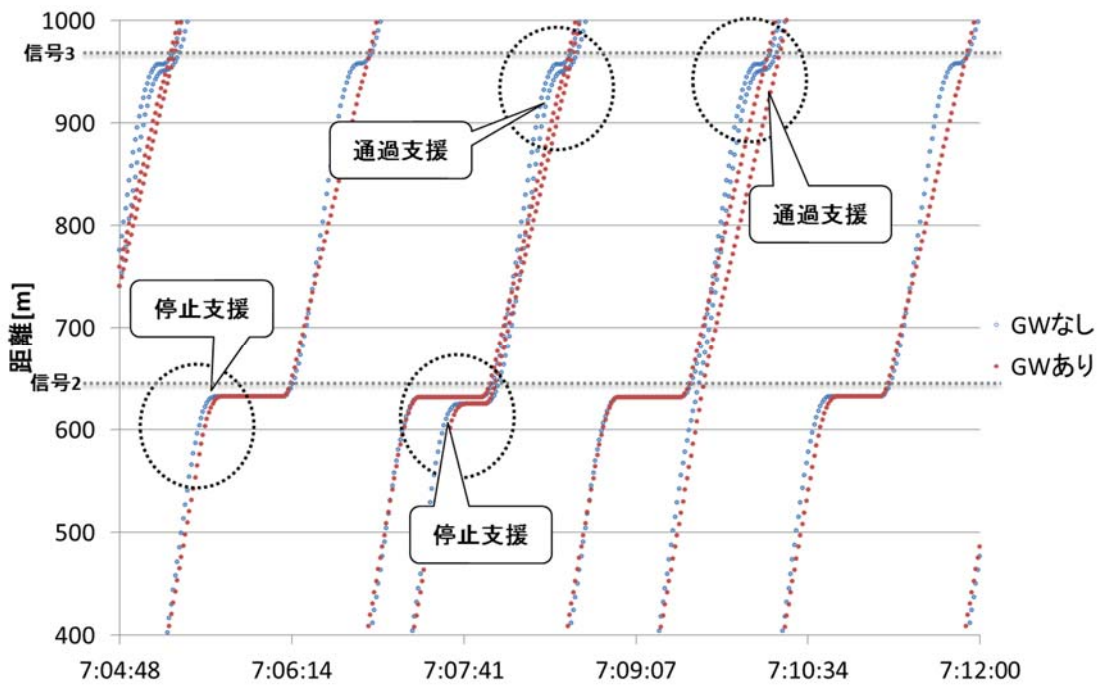


図 2-7 信号通過支援システムと赤信号減速支援システムのシミュレーション動作検証

2.1.2 Advanced Rapid Transit（バス車両のスムーズな加減速）

ART 導入による CO₂削減メカニズムのうち、公共交通シフトによる自動車交通需要の変化モデルの実装については、昨年度実施済みである。今年度は、ART 専用車線運用による交通流への影響を評価できる ART 等公共交通向け専用車線運用モデルの実装と、ART 車両のバス停付近での加減速挙動を交通流シミュレーションに実装するための調査およびモデル化を行った。

(1) ART 専用車線運用モデルの構築

ART 専用車線運用モデルは、図 2-8 に示した東京都港区・虎ノ門～お台場・国際展示場前区間を結ぶ環二通りを対象に作成した。バス停については、虎ノ門、新橋、勝どき、選手村、市場前、有明テニスの森および国際展示場の 7 箇所を設置した。また、虎ノ門～新橋区間は片側 2 車線での一般車混在運用とし、新橋～国際展示場区間は片側 2 車線のうちの 1 車線を ART 専用車線運用とした。

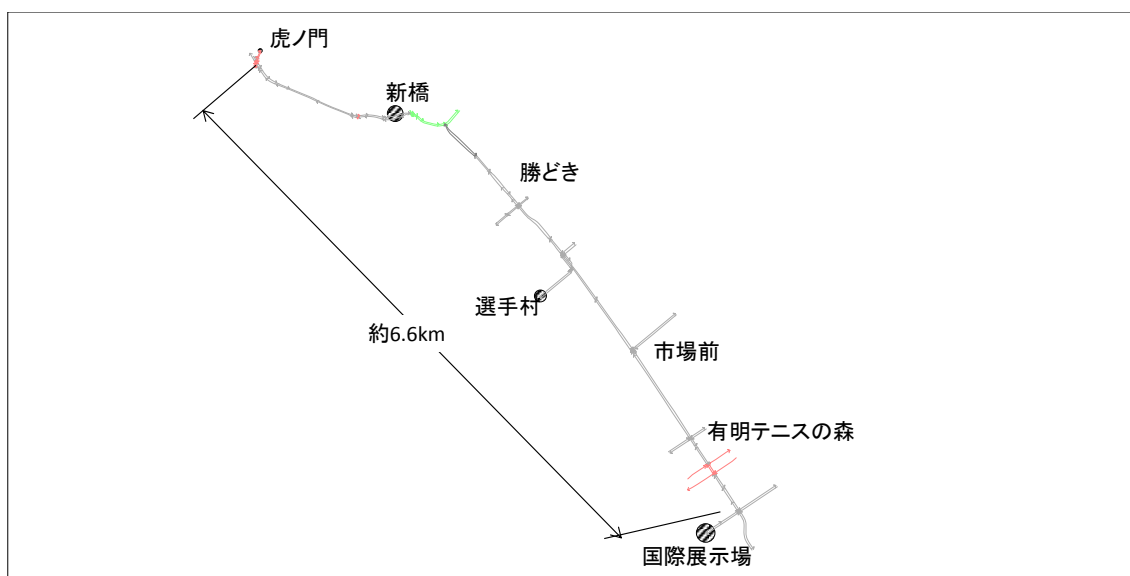


図 2-8 ART 専用車線運用モデルのネットワーク図

(2) バス停での停止発進挙動調査

ART のバス停での停止発進挙動パラメータを決めるに当たり、まず一般の路線バスについて、バス停での停止発進挙動の実態を以下の要領で調査した。

- 実施日時：10/13（水）、21（金）

- 使用機材：GPS ロガー、スマートフォン
- 調査区間：豊洲周辺、海浜幕張周辺の 2 エリア（図 2-9）
- 調査項目：
 - 挙動データ（時刻、GPS 座標、GPS 速度、進行方向方位、前後・横加速度）
 - ◇ GPS=1Hz、加速度=100Hz 程度
 - メタデータ（乗車位置、車内混雑状況、道路状況、GPS 衛星状況）
- 調査結果：バス 40 台、発進挙動 503 回



図 2-9 バス停止発進挙動調査路線（左：都バス・豊洲周辺、右：京成バス・海浜幕張周辺）

なお、加速度データは以下の手順で作成した。

- ① スマートフォン（アンドロイド OS）の仕様により加速度の記録周期が一定でないので、加速度と姿勢角⁶を 100Hz で再サンプリング
- ② 過去 3 秒間の進行方向加速度移動平均の分散が $0.02[(m/s^2)^2]$ を下回ったら停止と判定
- ③ 加速度バイアスとして、発進直前 3 秒間の移動平均値を設定
- ④ ローパスフィルタとして過去 0.5 秒の移動平均を適用、バイアス補正し、進行方向加速度を算出
- ⑤ GPS 速度が 1 秒前から減少に転じるまで出力

図 2-10 に作成した加速度データの発進時のプロファイルを例示した。

⁶ 姿勢角は地磁気と重力加速度から算出される。

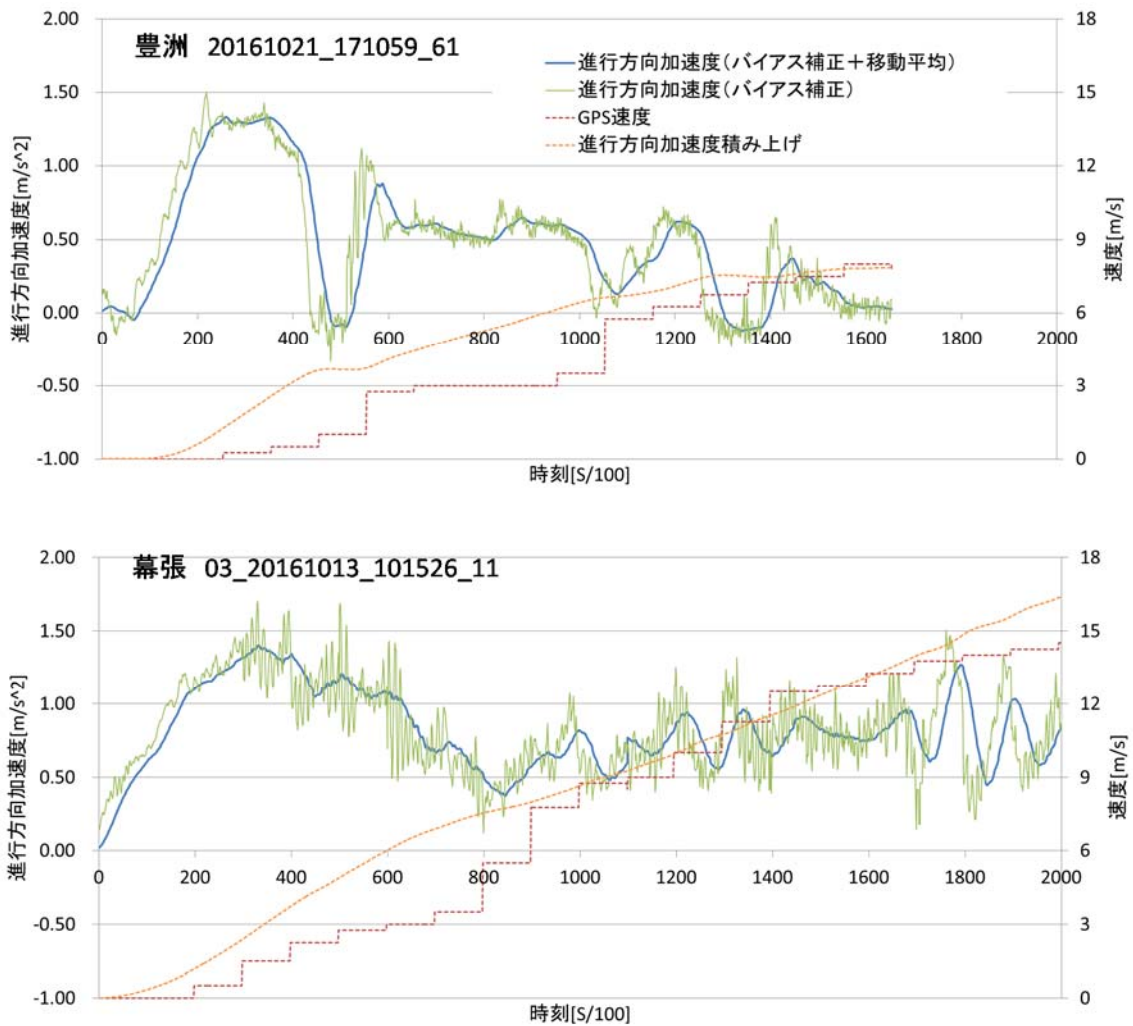


図 2-10 発進時の加速プロファイル例

(3) ART の加減速挙動モデル化

調査した路線バスの停止発進挙動データを元に、以下のとおり ART の加減速挙動をモデル化した。

① 路線バス停止発進時の速度プロファイルデータ準備

まず、路線バスの走行速度データより、バス停での停止発進の場面を抽出した。抽出に際しては、GPS 速度を用いて、発進時は、速度がゼロから上昇し続ける間、停止時は、速度がゼロまで低下し続ける間のデータを抽出した。

次に、各場面のデータを到達速度別にランク分けし、ランク毎に時系列で並べたときの、各時刻における 80% タイル値を代表値として、代表速度プロファイルを作成した。これは、

速度が遅いものは、先行車やその他の影響を受けていると思われるためである。

② ART の発進挙動モデル化

ここではまず、路線バスの各代表速度プロファイルに対して、車両走行モデルを当てはめ、速度変動を最もよく近似するパラメータを推定した。走行モデルには追従モデル式である IDM⁷を適用し、各時刻の速度に対する二乗誤差を最小にするパラメータを求めた。すなわち、先行車のいない状況での自由走行状態を仮定して、IDM の加速項のみで発進挙動を近似した。なお、オリジナルの IDM 式では、発進直後はすぐに最大加速度になってしまうが、バスのように重量がある車両が発進時は緩やかに加速し始める（発進損失）を表現するために、指数平滑の漸化式で発進時の加速度を求めた。

$$\dot{v}_{t+\Delta t} = \gamma \dot{v}_t + (1 - \gamma)a \left\{ 1 - \left(v_t/v_0 \right)^4 \right\} \quad \dots (1)$$

v_t : 時刻 t における走行速度 [m/s]

Δt : 時間更新間隔 (0.1s)

a : 最大加速度 [m/s²]

v_0 : 希望速度 [m/s]

γ : 指数平滑係数 ($0 \leq \gamma \leq 1$)

さらに、推定したモデルパラメータを参考に、平均的なバスの停止発進挙動を定め、そこから「より穏やかな」加減速特性を示す ART の停止発進挙動を設定した。具体的には、希望速度パラメータを代表速度データの最大速度に設定し、各時刻の速度に対する二乗誤差を最小にする a と γ を Excel のソルバーで求めた。図 2-11 に推定結果を示した。

⁷ M. Treiber, A. Hennecke and D. Helbing, “Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, Physical Review E, Vol. 62, No. 2, pp. 1805-1822, 2000.

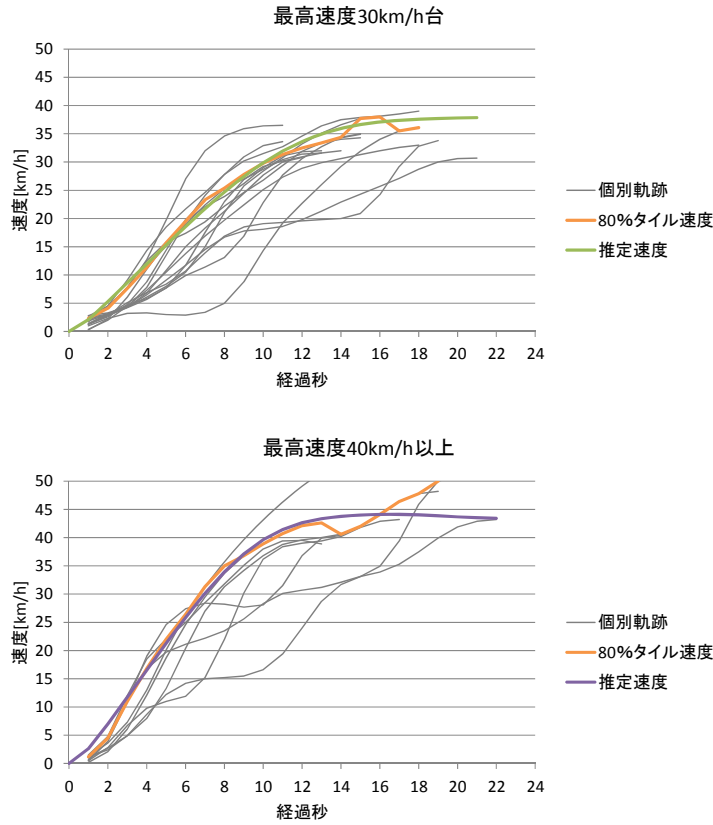


図 2-11 路線バスの発進場面でのモデルパラメータ推定例

推定された最大加速度パラメータ a と平滑指数パラメータ γ については、図 2-12 に示した通り、希望速度 v_0 に対する回帰式を求め、表 2-2 の結果を得た。これを用いて、最高速度（希望速度）に応じ、0.1 秒毎の漸化式(1)で発進時の速度・加速度プロファイルを図 2-13 のように計算する。

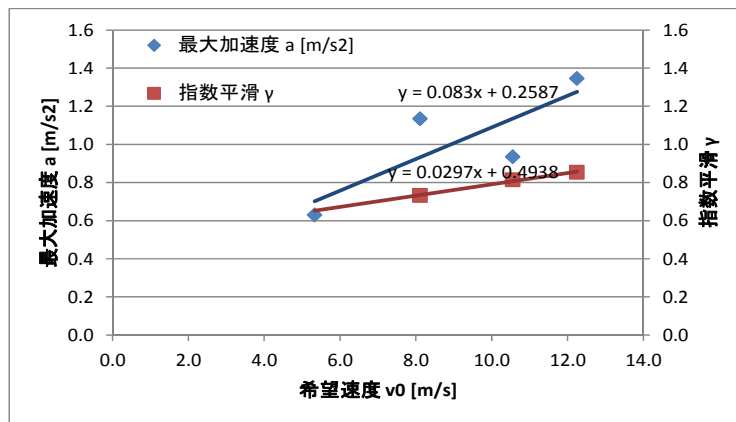


図 2-12 推定パラメータの回帰式（最大加速度および指数平滑係数）

表 2-2 路線バスの発進挙動パラメータ

最高速度	推定パラメータ				近似式	最大値
	10km/h 台	20km/h 台	30km/h 台	40km/h~		
最大加速度 a [m/s ²]	0.63	1.13	0.93	1.35	$0.083 v_0 + 0.259$	1.40
希望速度 v_0 [m/s]	5.33	8.11	10.56	12.25	--	--
指数平滑 γ	0.00	0.73	0.81	0.85	$0.03 v_0 + 0.494$	0.85

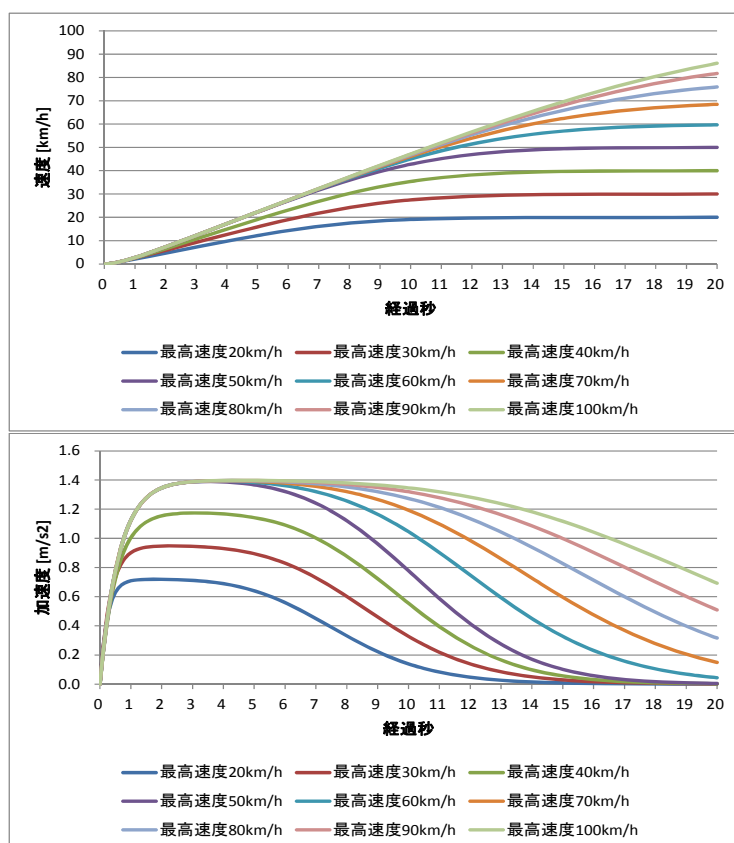


図 2-13 路線バスの発進挙動モデルによる速度・加速度プロフィール

ART に関しては、路線バスの最大加速度パラメータの回帰係数を変えて、CO₂ 削減率が高くなる範囲を CO₂ 排出量マイクロ推計モデルで求めた（詳細は次章参照）ところ、表 2-3 のパラメータを得た。図 2-14 に ART の発進挙動モデルによる速度・加速度プロフィールを示した。

表 2-3 ART の発進挙動パラメータ

パラメータ	希望速度 v_0 による算定式	最大値
最大加速度	$0.050 v_0 + 0.259$	0.812

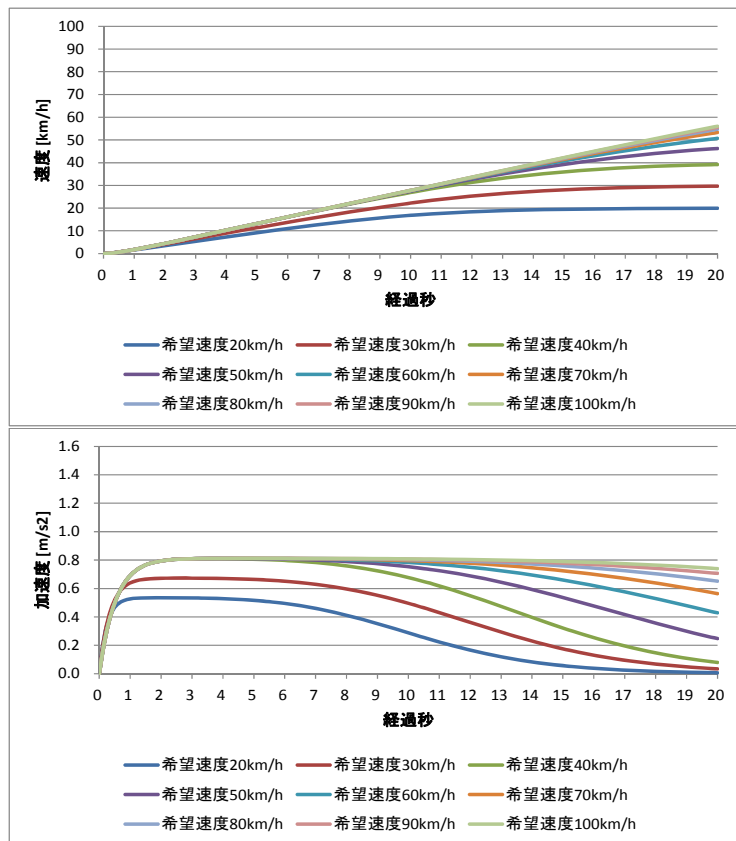


図 2-14 ART の発進挙動モデルによる速度・加速度プロファイル

③ ART の停止挙動モデル化

停止挙動に関しては、停止位置の 2m 先に、速度 0km/h の車両がいる追従状態を仮定して、IDM で停止挙動を近似した。ただし、オリジナルの IDM 式では、停止位置手前でアクセルオフして、自然に減速する挙動が上手く再現できないため、IDM 式で求まる減速度と自然減速度の小さい方を採用する方式とした。

$$\dot{v}_{t+\Delta t} = \gamma \dot{v}_t + (1 - \gamma) \min \left[a \left\{ 1 - (v_t/v_0)^4 - \left((s_0 + Tv + v^2/2\sqrt{ab})/s \right)^2 \right\}, -b_n \right] \dots (2)$$

v_t : 時刻 t における走行速度 [m/s]

Δt : 時間更新間隔 (0.1s)

s_0 : 最小車間距離 (2.0m)

a : 最大加速度 [m/s²]

b : 希望減速度 (>0) [m/s²]

b_n : 自然減速度 (>0) [m/s²]

T : 安全ヘッドウェイ時間 [s]

v_0 : 希望速度 [m/s]

γ : 指数平滑係数 ($0 \leq \gamma \leq 1$)

ここでは、希望速度パラメータを代表速度データの最大速度に設定し、各時刻の速度に対する二乗誤差を最小にする a 、 b 、 b_n 、 T と γ を Excel のソルバーで求めた。図 2-15 に推定したパラメータでの停止挙動の例を示した。

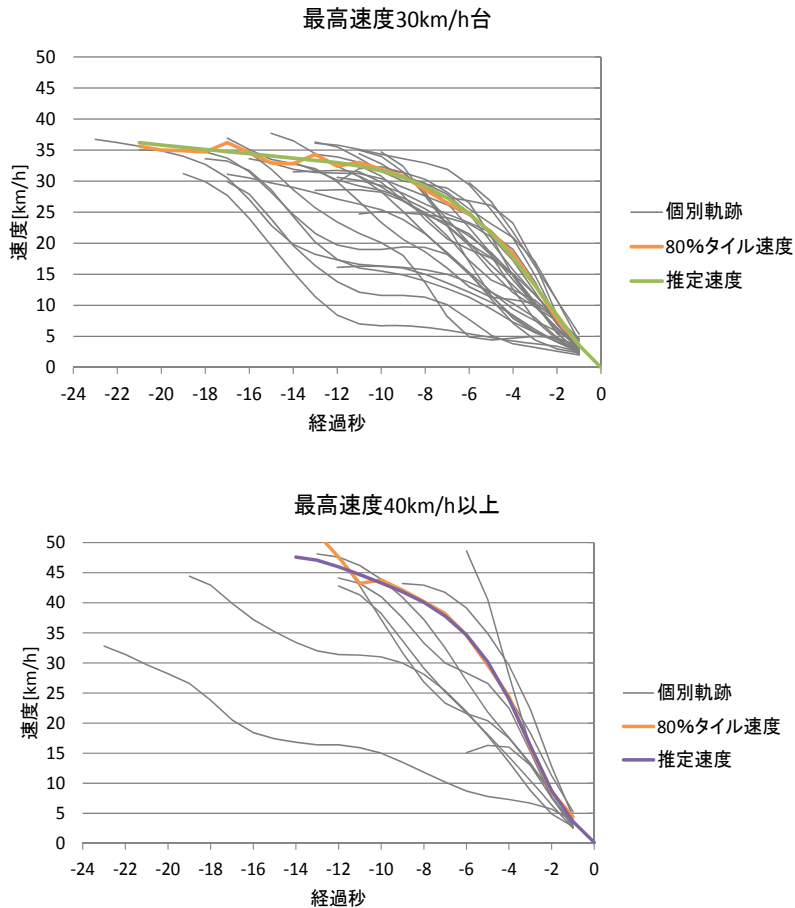


図 2-15 路線バスの停止場面でのモデルパラメータ推定例

次に、最大加速度 a と平滑指数 γ は発進挙動モデルと同じ、希望速度 v_0 に対する回帰式を適用することとし、図 2-16 に示した通り、希望減速度 b と安全車間 T および自然減速度 b_n の v_0 に対する回帰式を求め、表 2-4 の結果を得た。

また、減速開始位置に関しては、図 2-17 より、減速開始前の到達速度で停止位置に 12 秒間で到達する位置（最大 300m）で自然減速を開始するとし、式(2)より、IDM 式で求めた減速度が自然減速度を下回るまで、自然減速するとした。

以上のパラメータを用いて、最高速度（希望速度）に応じ、0.1 秒毎の漸化式(2)で停止時の速度・加速度プロファイルを図 2-18 のように計算する。

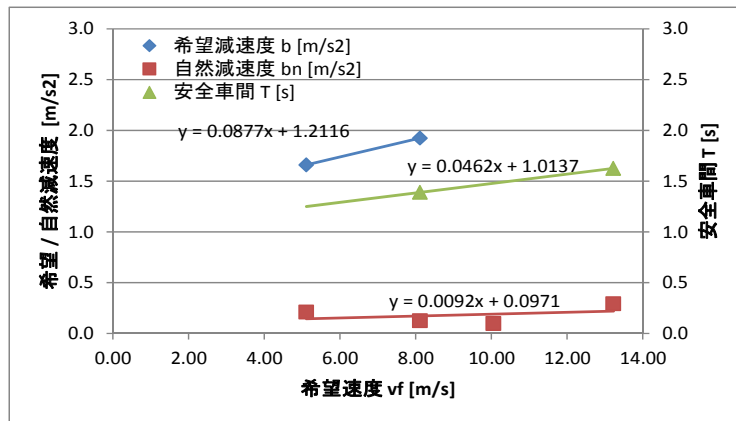


図 2-16 推定パラメータの回帰式（希望減速度、自然減速度および安全車間時間）

表 2-4 路線バスの停止挙動パラメータ

最高速度	推定パラメータ				近似式	最大値
	10km/h 台	20km/h 台	30km/h 台	40km/h~		
最大加速度 a [m/s ²]	0.68	0.93	1.09	1.36	$0.08v_0+0.259$	1.40
希望減速度 b [m/s ²]	1.66	1.92	0.77	3.28	$0.088v_0+1.21$	2.00
希望速度 v_0 [m/s]	5.11	8.11	10.06	13.22	--	--
安全車間 T [s]	0.10	1.39	0.10	1.63	$0.046v_0+1.01$	1.80
自然減速度 b_n [m/s ²]	0.21	0.13	0.10	0.29	$0.009v_0+0.097$	0.30
指数平滑 g	0.65	0.74	0.80	0.85	$0.03v_0+0.494$	0.85

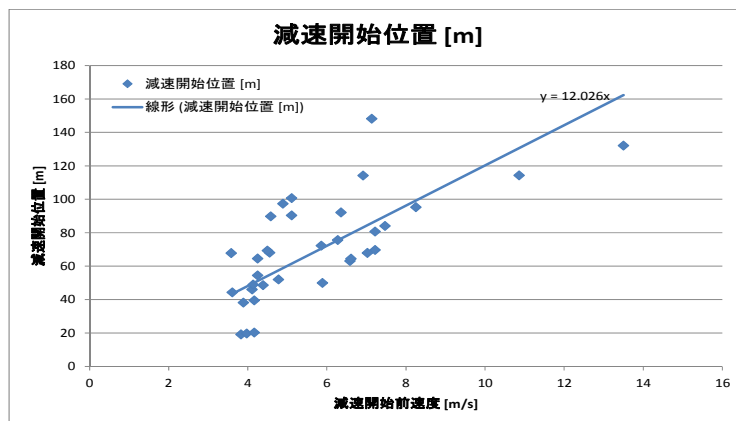


図 2-17 減速開始位置に関する回帰式

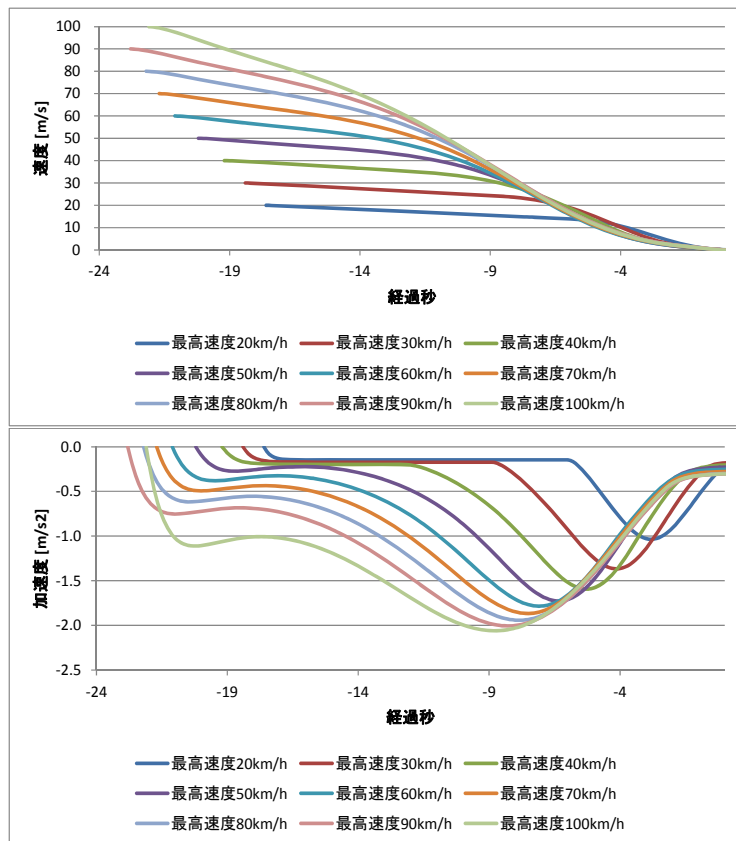


図 2-18 路線バスの停止挙動モデルによる速度・加速度プロファイル

ART に関しては、一般のバスの希望減速度パラメータと自然減速度パラメータの回帰係数を変えて、CO₂削減率が高くなる範囲を CO₂排出量マイクロ推計モデルで求めた（詳細は次章参照）ところ、表 2-5 のパラメータを得た。図 2-19 に ART の停止挙動モデルによる速度・加速度プロファイルを示した。

表 2-5 ART の停止挙動パラメータ

パラメータ	希望速度 v_0 による算定式	最大値
希望減速度	$0.088 v_0 + 1.21$	2.188
自然減速度	$0.009 v_0 + 0.97$	0.197
減速区間距離	$24.000 v_0$	300

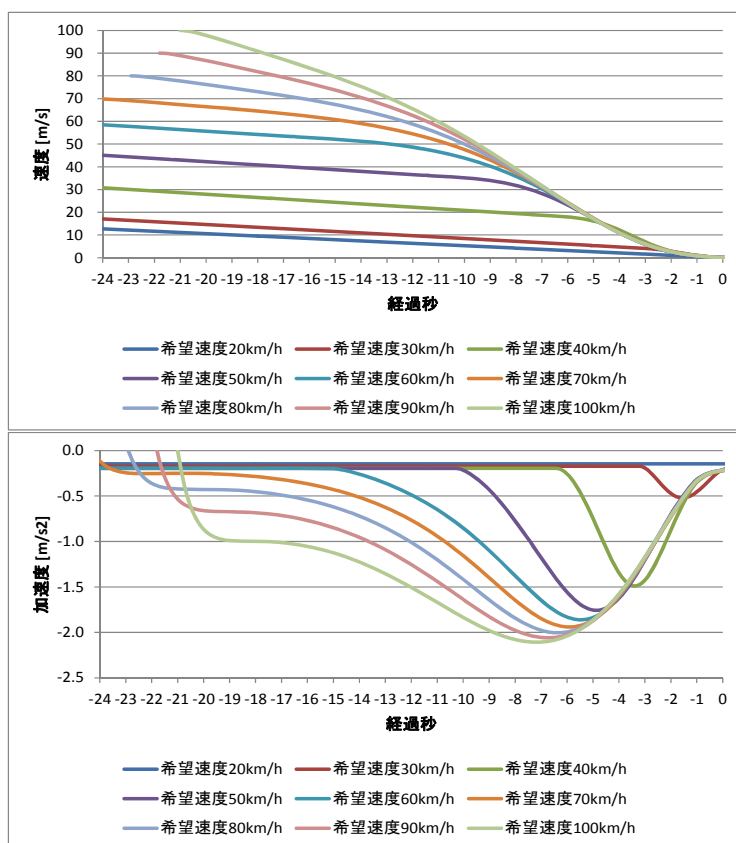


図 2-19 ART の停止挙動モデルによる速度・加速度プロファイル

2.1.3 高速道路および一般道路での自動運転

ここでは、車両システムの責任の下での自動運転（レベル 3 またはレベル 4 に相当）による車両挙動をモデル化することを目指して、自動追越と自動合流挙動について、CO₂ 削減メカニズムの整理と交通流シミュレーションへの実装及び動作検証を行った。

また、昨年度事業では検討対象ではなかった一般道路での自動運転については、SIP-adus Workshop での breakout session での議論等を踏まえて、発進遅れ時間の短縮がボトルネック交差点における交通容量増加に繋がり、それによる渋滞および CO₂ 削減が得られるとして、必要な要素技術や交通流シミュレーションへの要件を整理し、リファレンスモデルを作成したうえでモデル化と交通流シミュレーションへの実装を行った。

(1) 高速道路での自動追越・自動合流挙動のモデル化

① 自動追越・自動合流の判断ロジック

図 2-20 に実装した自動追越・自動合流の判断ロジックを示した。これは、既往研究⁸での車線変更ロジックを参考に、人間による運転時の設定に対して、自動運転時は表 2-6 のように、より慎重な判断となるよう設定したものである。また、人間の場合は、認知誤差を表現するためにパラメータをばらつかせるのに対して、自動運転ではばらつきを排除する（車種毎に設定を変えることも可能）。

表 2-6 自動追越・自動合流判断ロジックの主要パラメータ

パラメータ	単位	人間の運転期待値	標準偏差	自動運転期待値	標準偏差
先読み時間 (FORESIGHT_TIME)	[s]	10.0	2.0	10.0	0.0
速度低下許容幅 (SPDDIFF_TOLERANCE)	[km/h]	10.0	5.0	15.0	0.0
巡航時速度幅 (SPDDIFF_CRUISE)	[km/h]	5.0	2.5	10.0	0.0
車線変更判定距離 (DISTANCE_TO_TURN)	[m]	300.0	50.0	300.0	0.0
最小ギャップ (MINGAP)	[s]	1.5	--	2.0	--
最小 TTC (MINTTC)	[s]	2.0	--	3.0	--

⁸ 鈴木一史, 山田康右, 堀口良太, 岩武宏一: 高速道路サグ部渋滞対策に資する ACC の将来性能と渋滞緩和効果, 交通工学論文集, Vol. 1 (2015), No. 2 特集号, p. B_60-B_67, 2015.02.

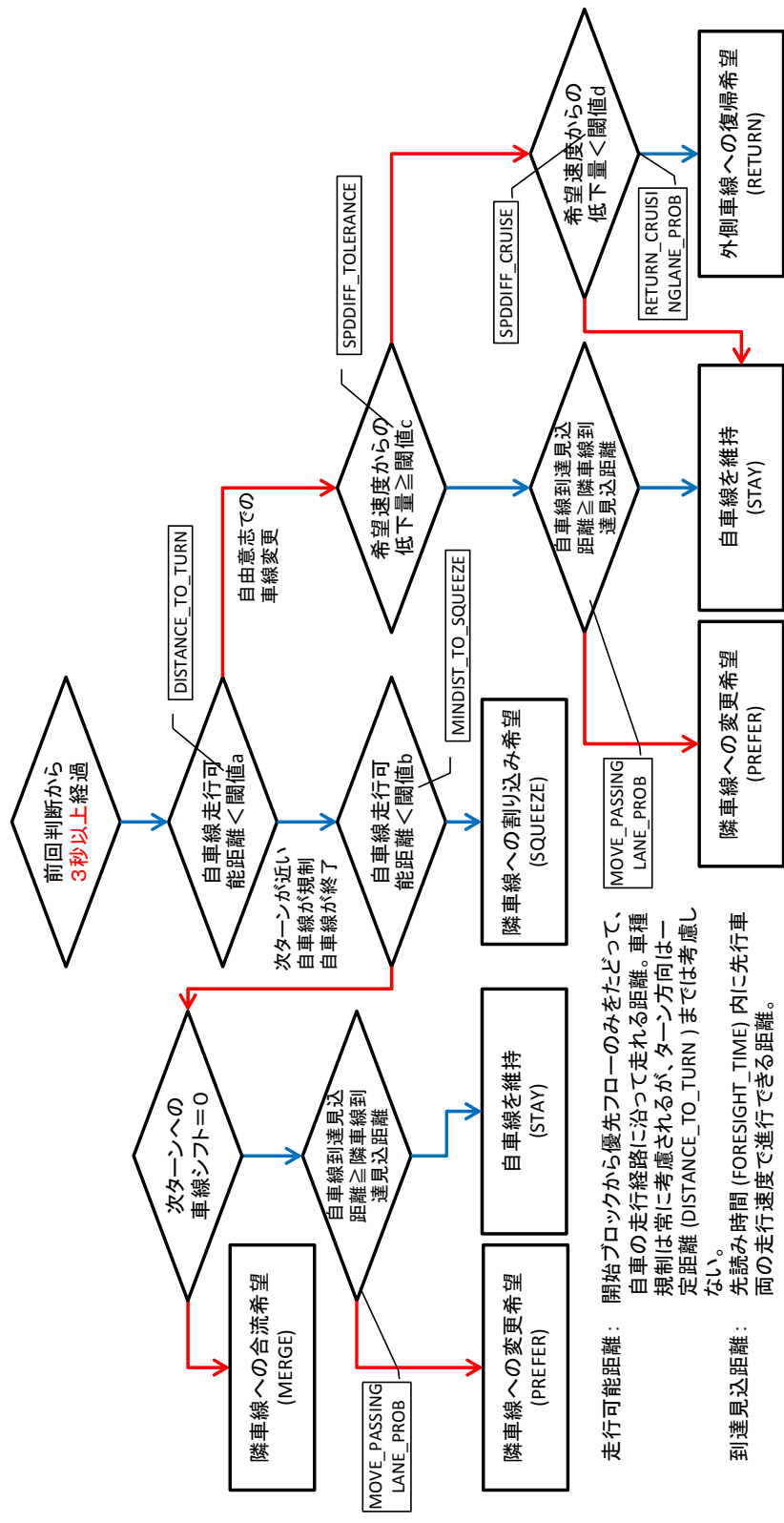


図 2-20 自動追越・自動合流の判断ロジック

② 実装したモデルの動作検証

図 2-21 に示した阪神高速 1 号環状線・守口線合流部を模擬したネットワークにおいて、前述の判断ロジックを実装したシミュレーションモデルの動作検証を行った。この合流部では、3 車線の本線（環状線）に 2 車線の守口線が合流して 5 車線になり、その後 4 車線になる車線構成となっている。即ち、5 車線の合流区間開始位置（ハードノーズ）を基準として、60m まではゼブラで合流禁止となっており、そこから 160m までに外側から 2 番目の車線が内側に合流する。

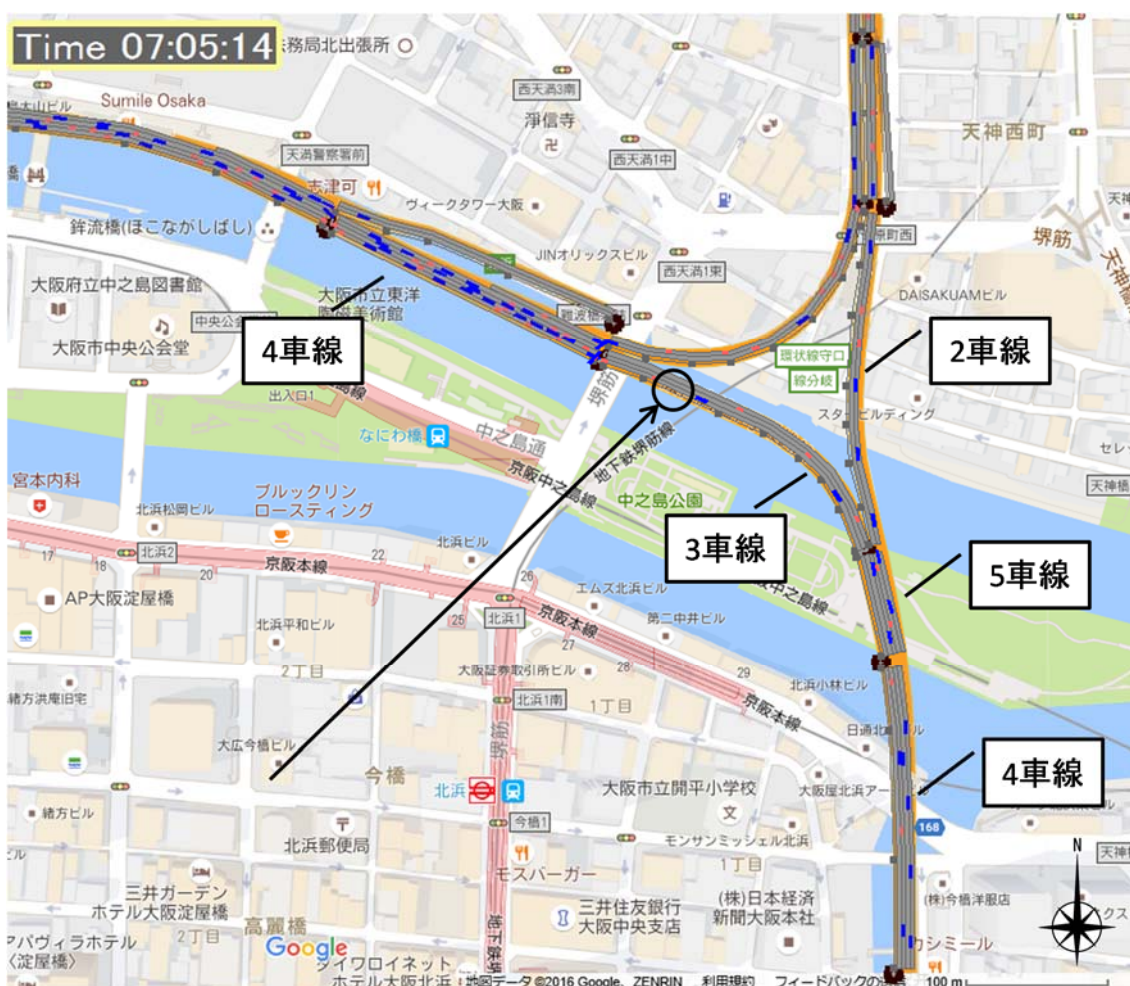


図 2-21 自動追越・自動合流のシミュレーション動作検証

このネットワークにおいて、10 分間で環状線と守口線それぞれから 200 台の自動運転車が流入する需要を設定し、車線変更や速度変化を検証した。なお、この需要は平日朝ピーク時の渋滞発生前の状況に相当する量である。

図 2-22 に走行位置毎の車線変更回数を示した。車線位置は外側から 0～4 のオフセット

で示され、進行方向は合流区間の開始端（ハードノーズ）を0mとしている。また、車線変更の方向は、+1が内側方向、-1が外側方向を意味している。この図より、合流区間のゼブラ終了後に車線#1から#2に合流のための車線変更を行っている。また、その他の場所でも、追越のための車線変更が行われており、意図した動作が確認できた。

車線	方向	-200	-180	-160	-140	-120	-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200		
0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	
1	-1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	33	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	+1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	1	3	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0
3	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	3	
3	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3	0	0	0	5	6	0	
4	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

図 2-22 動作検証時の車線変更回数

図 2-23 に、守口線から合流する車両の走行速度を距離帯別にプロットした。動作検証の設定では、車線#1 で合流部を先頭に速度低下が生じており、円滑な合流の観点からは課題が残る結果となった。図 2-24 に、合流時に停止状態になった車両の走行速度変化と車線変更判断の推移を示した。図からは、合流部前半で合流希望の判断をして、内側車線の先行車に追従している状況で大きく減速が生じており、合流部では追従挙動も含めて、改善が必要と考えられる。

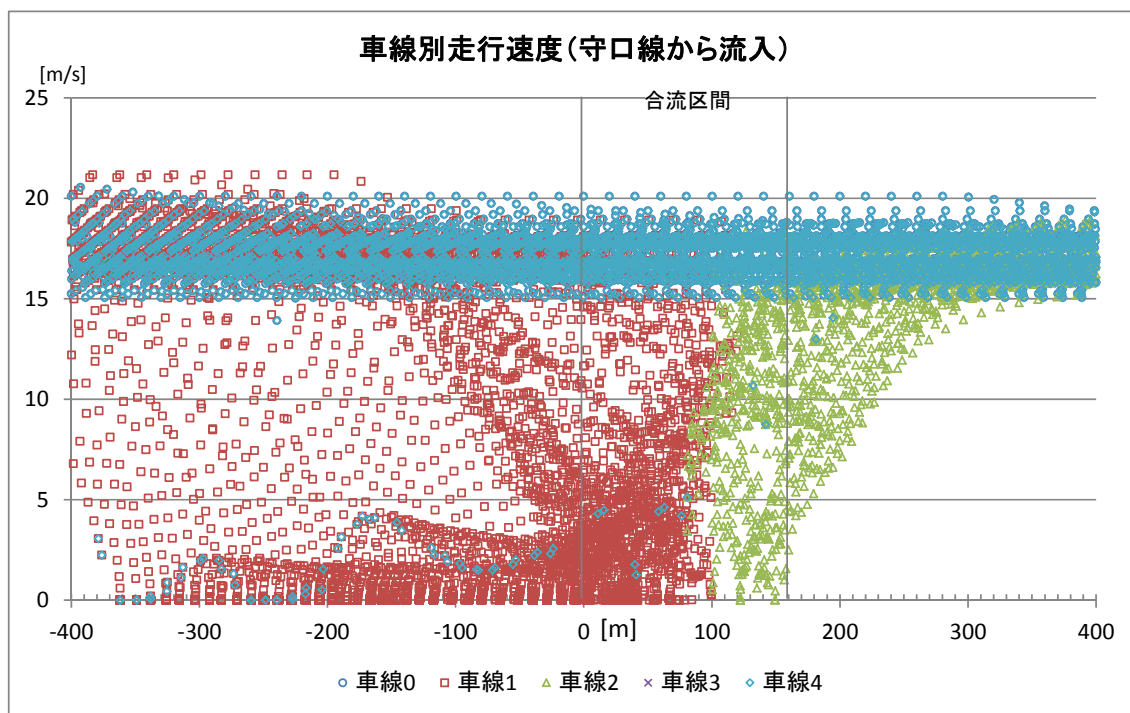


図 2-23 動作検証時の合流車線速度変化

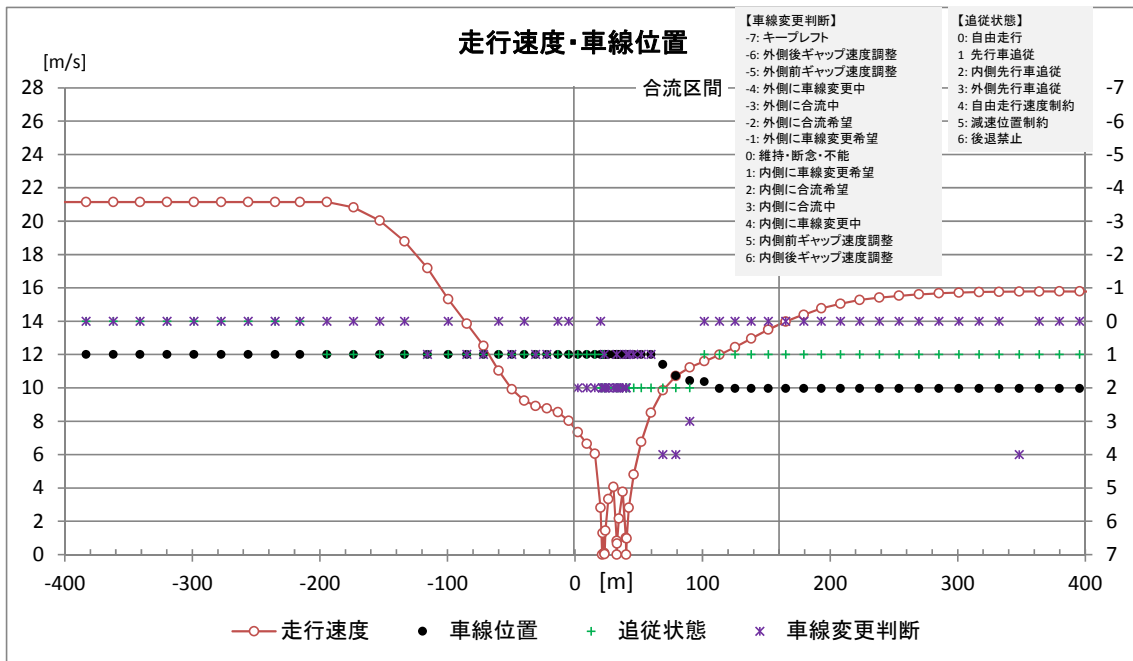


図 2-24 動作検証時の車両走行状態と判断状態

(2) 一般道路での自動運転に関するモデル化要件整理

① SIP-adus 国際ワークショップでの議論

2016年11月に東京で開催された、SIP-adus 国際ワークショップでは、Impact Assessment に関する breakout session が設けられ、一般道における自動運転が CO₂ 削減をもたらすメカニズムも議論された。議論においては、国土交通省国土技術政策総合研究所から、直接的な交通流への影響として、反応遅れ時間の短縮に伴うボトルネック交差点での交通容量改善効果に関する話題提供があり、参加者の賛同が得られた。

これより、本業務においても、交差点の容量改善による CO₂ 削減メカニズムのモデル化と実装を行うこととした。なお、その他の効果として、公共交通結節端末へのフィーダー交通として自動運転が利用され、公共交通シフトを促す等、利用者の交通行動変容に関わる議論もなされたが、これらはラストワンマイル自動走行の範疇で扱うものとした。

② 一般道路での自動運転による CO₂ 削減メカニズムのリファレンスモデル

以上の議論を踏まえて、図 2-25 に一般道での自動運転による CO₂ 削減メカニズムのリファレンスモデルを示した。即ち、反応遅れ時間が短縮されることで、発進損失時間が短くなり、交差点での待ち行列から単位時間で捌ける台数（飽和交通流率）が増えること、および追従挙動が均質化することで、発進時に車間を空けすぎる車両がなくなり、流出中の流率低下が少なくなることで、やはり飽和交通流率が増加することを通して、渋滞が緩和され、CO₂ 削減を達成するものである。

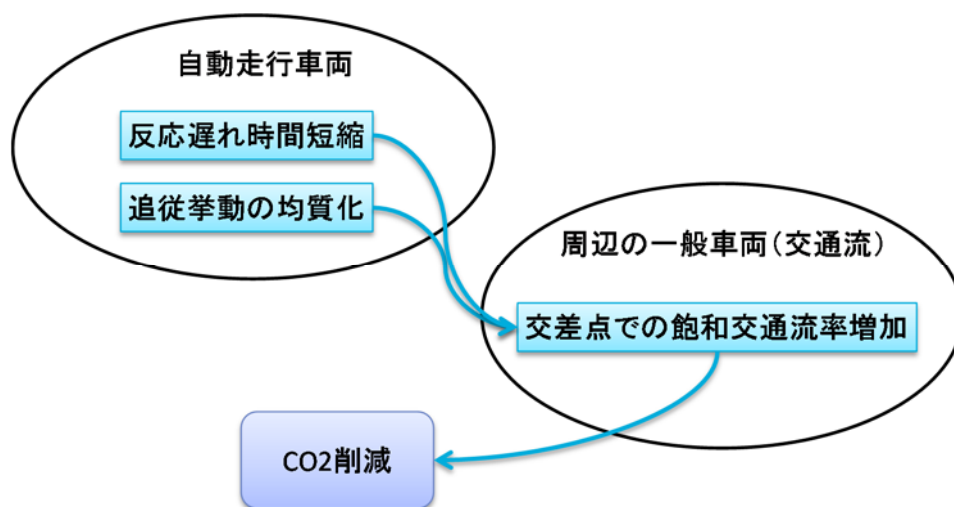


図 2-25 一般道での自動運転による CO₂ 削減メカニズムのリファレンスモデル

③ 交通流シミュレーションへの実装と動作検証

交通流シミュレーションでは、基本の追従モデル式に IDM+を採用している⁹。これは、自車速度及び先行車との車間距離と相対速度に基づいて、後続車両の加速度を求める、次式の非線形追従モデルで、オランダ TNO による CACC 評価のシミュレーション等に採用された実績がある。

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min\{1 - (v/v_d)^\delta, 1 - (s^*/s)^2\}$$

$$s^* = s_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$$

⁹ W J. Schakel, B. Arem, and B. D. Netten (2010) “Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability”, 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems.

ここで、

v	: 走行速度 [m/s]
s	: 車間距離 [m]
s^*	: 希望車間距離 [m]
Δv	: 相対速度 (先行車への接近速度) [m/s]
s_0	: 最小車間距離 [m]
v_d	: 希望速度 [m/s]
T	: 安全車間時間 [s]
a	: 最大加速度 [m/s ²]
b	: 希望減速度 [m/s ²]
δ	: 加速項のべき乗数 (=4)

このモデル式は平衡状態、即ち加速度と相対速度が 0 の状態を仮定すると、 δ 、 T 、 v_d からなる式形になり、交通工学でよく知られた凸型の交通量-密度 (Q - K) 関係式が得られる。これは、 δ 、 T を大きくする、もしくは v_d を小さくすると道路容量が小さくなることを意味している。また、加速度関連のパラメータ a 、 b 、 T は追従状態の安定性に関係しており、 a 、 T を小さくする、もしくは b を大きくすると不安定になる。

IDM+のモデル式では、従来の追従モデル式で見られた左辺の反応遅れ時間項が明示されていない。これは、反応遅れを考慮していないということではなく、常微分方程式の中に含まれているもので、既往研究¹⁰により、安全車間時間 T に車長分を加えたヘッドウェイ時間の 1/2 が反応遅れに相当することが示されている。

交通流シミュレーションでは、個別車両の走行特性のばらつきを表現するため、希望速度や最大加速度等の主要なパラメータに正規分布を設定できるようになっている。動作検証に際しては、一般車と自動運転車それぞれに対して、表 2-7 に示したパラメータを設定した。即ち、一般車には人間が運転することによるばらつきを持たせたが、自動運転車にはばらつきを持たせないことで、運転特性の違いを考慮した。また、自動運転車の安全車間時間を、一般車よりも小さい 1.15 s とした。安全車間時間が小さくなるほど、発進時の反応遅れ時間が小さくなり、速やかに先行車に追従して車間を詰めるようになるため、交差点での捌け流率が高くなると想定される。

図 2-26 に一般車と自動走行車の交差点からの流出時の走行軌跡を時空間図で比較した。図より、青時間開始直後の軌跡の立ち上がりが自動走行車のほうが素早く、発進損失が小さくなっていることがわかる。また、流出途中で車間を空けすぎる車両がなくなることで、高い流率が維持されている。この結果、一般車 24 台に対して、自動走行車 34 台が青時間

¹⁰ R. Horiguchi and T. Oguchi: A Study on Car Following Models Simulating Various Adaptive Cruise Control Behaviors, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, January 2014. (DOI) 10.1007/s13177-013-0077-5.

の間に流出でき、流出容量が改善されることが表現できた。

表 2-7 検証での追従モデルパラメータ設定

パラメータ		記号	単位	一般車	自動運転車
希望速度	期待値	v_d	m/s	15.00	15.00
	標準偏差	$\sigma(v_d)$	m/s	0.75	0.00
最大加速度	期待値	a	m/s ²	1.60	1.60
	標準偏差	$\sigma(a)$	m/s ²	0.20	0.00
希望減速度	期待値	b	m/s ²	1.60	1.60
	標準偏差	$\sigma(b)$	m/s ²	0.20	0.00
安全車間時間	期待値	$T (=2\tau)$	s	1.44	1.15
(反応遅れ時間×2)	標準偏差	$\sigma(T)$	s	0.22	0.00

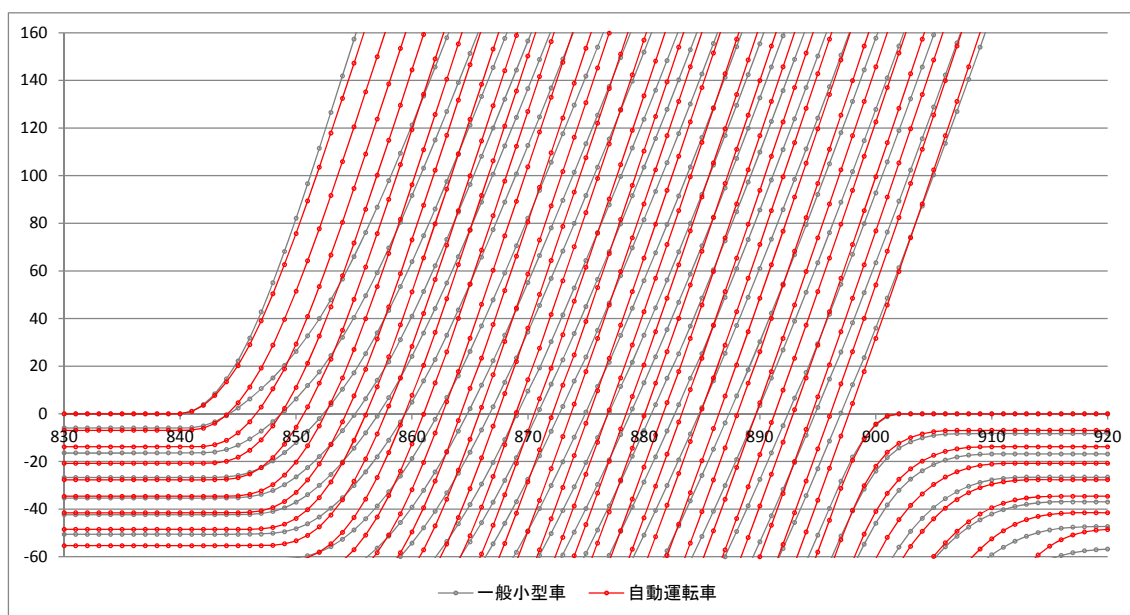


図 2-26 交差点からの流出時の走行軌跡比較

2.1.4 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）

ラストワンマイル自動走行については、交通流シミュレーションモデルとしての要件である地域内トリップの発生需要（パーソン（人間）ベース）の考慮、一定数のラストワンマイル車両による目的地までの移動、空車トリップの発生を考慮したモデルを開発し、評価に必要なツールとして整備した。モデル開発にあたっては、昨年度事業で示されたリファレンスモデルに沿ってサービス実施時の状況が再現できるよう実装を行った。近距離輸送への転換挙動においては、ARTの公共交通転換モデルを参考に目的地付近までのトリップが転換されるモデルを開発し、さらに転換された需要が目的地近傍のゾーンから発生し、自動走行車が目的地まで走行する仕組みを交通流シミュレーションモデルに実装した。

一方、自動バレーパーキングについては、自動バレーパーキングに伴う駐車場内での空きマス探索の減少や、駐車マスのコンパクト化による駐車場の効率向上について、駐車場の流動性向上や最大駐車台数の増加が入退場処理能力向上に寄与することが考慮できるようモデル化を検討した。さらに、昨年度事業の自動バレーパーキングのリファレンスモデルに沿って、駐車場モデルおよび空き駐車場情報の提供システムのモデルの開発を行い、自動バレーパーキングサービス運用時の適切な駐車場案内によるうろつき交通削減機能を表現できる交通流シミュレーションを構築した。具体的には、昨年度事業において示された交通流シミュレーションモデルの要件にある、駐車台数の制限とその挙動（最大駐車台数を超えて入庫できない）、出入口での停止時間の考慮、一般車両のうろつき行動の模擬、空き駐車場情報による駐車場最適選択サービスの模擬を行う仕組みを実装した。

(1) ラストワンマイル自動走行のモデル化

① 地域内トリップの自動運転車による輸送モデル

ラストワンマイル自動走行における地域内トリップの輸送は、図 2-27 に示したトリップチェーンの考え方を交通流シミュレーションに実装することで対応した。即ち、図 2-28 のとおり、従来は発ゾーンから着ゾーンに向けて、費用最小となる経路を走行していたものに対し、発着ゾーン内で複数の立ち寄り箇所を指定することで、図 2-29 のようにゾーン内でうろつく交通を表現できるようにした。なお、トリップチェーンの指定方法には様々な方式が考えられるが、ここでは、地域内の任意の地点が、一定数だけランダムに順番で与えられることとした。

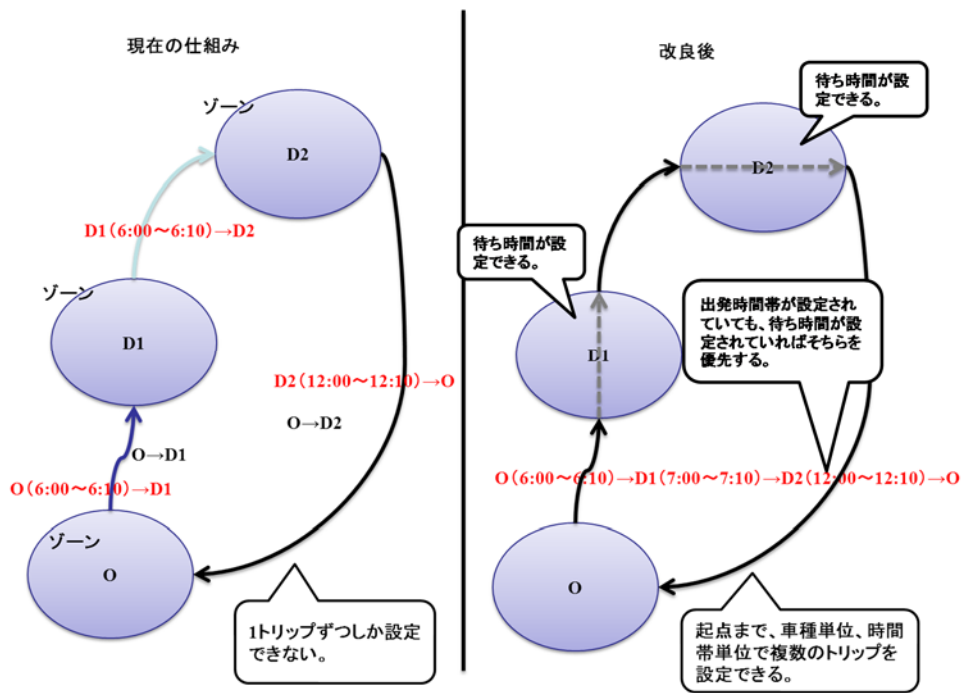


図 2-27 トリップチェーンモデルの考え方

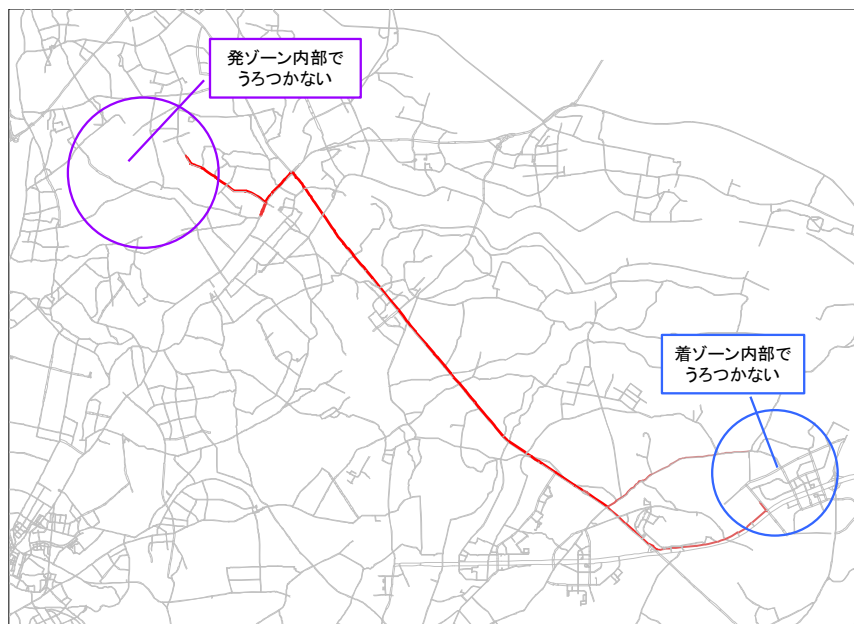


図 2-28 トリップチェーン実装前のゾーン内での走行動線（赤色）

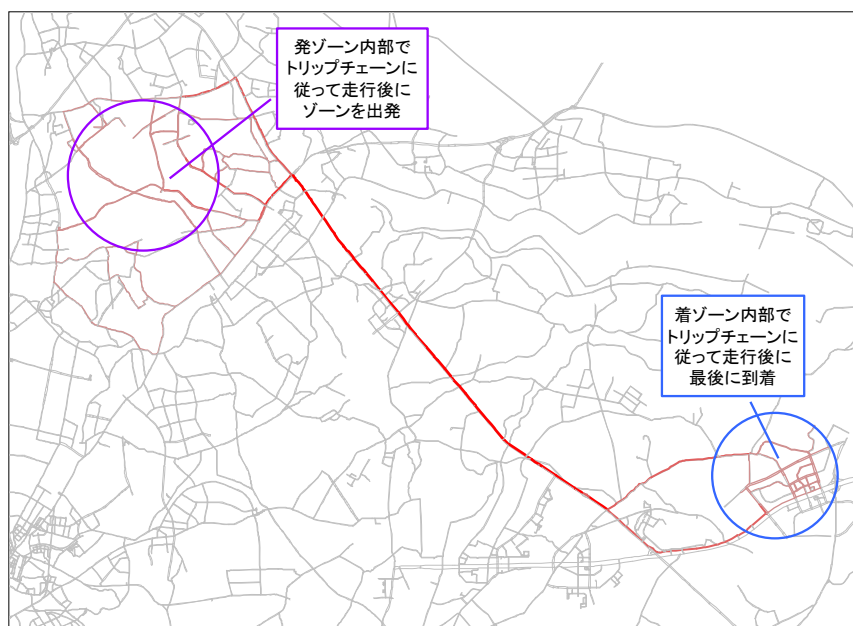


図 2-29 トリップチェーン実装後のゾーン内での走行動線（赤色）

② 公共交通への転換と末端トリップ発生モデル

公共交通への転換については、ART と同様に、ラストワンマイル導入地域に発着する乗用車トリップの一部が転換するとして、その分を OD 表から除外することで対応する。

末端トリップに関しては、転換した自動車トリップに対して、ゾーン内での発生・集中地点をランダムに決めておき、さらに平均乗車人員数を乱数で切り捨て・切り上げし、トリップ人数を決めておく。

ラストワンマイル自動運転車両については、起点と終点を鉄道駅等の公共交通結節点に設定し、上述の転換トリップを発生時刻順に並べて、自動運転車両の最大乗員数になるまでの発生点を前出のトリップチェーンの経由地点として与えて、走行させる。

(2) 自動バレーパーキングのモデル化

① 地域内のうろつき交通のモデル化

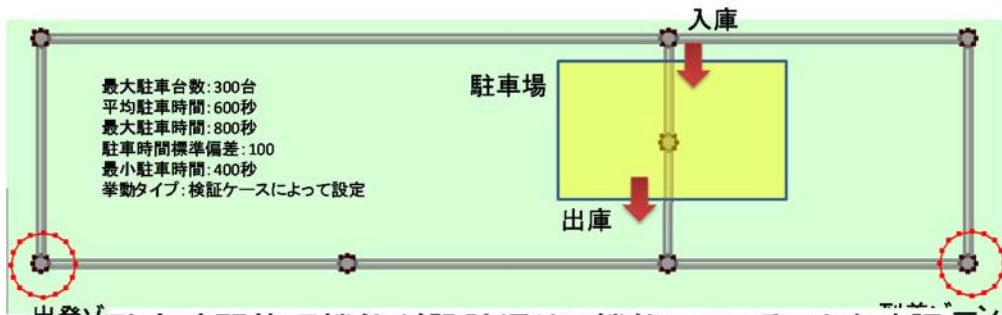
地域内のうろつき交通のモデル化は、車両の目的地を途中で変更する機能で対応することとした。即ち、ある駐車場を目的地とした車両が、駐車場が満車のため長時間路上で待機している状況になった場合、地域内の別の駐車場を新たな目的地として設定することで、地域内のうろつき交通を表現する。その際、新たな目的地を設定する際に、地域内で空きがある駐車場を優先して指定すること、空き駐車場情報の提供を考慮することとした。

② 駐車場のモデル化

駐車場に関しては、表 2-8 に示したパラメータで機能を表示することとした。図 2-30 に駐車場モデルの動作検証結果を示した。例えば、自動運転により駐車時の占有スペースが小さくなり、その結果駐車場が効率的に利用されるようになることを想定するのであれば、最大駐車台数のパラメータを変更することで表現できる。

表 2-8 駐車場モデルでの設定パラメータ

パラメータ	内容
入リンク	駐車場の入口が接するリンク番号。複数設定可能。 ※駐車場の入口と出口が、それぞれ異なる道である場合に対応できるように、入口/出口別々の設定とする。
出リンク	駐車場の出口が接するリンク番号。複数設定可能。
最大駐車台数	最大駐車台数。1以上の整数で与える。
平均駐車時間	駐車時間の平均値。単位は秒。1以上の整数値。
駐車時間標準偏差	駐車時間の平均値（平均駐車時間）に対する標準偏差。0以上にすると、乱数を使い、各車両の駐車時間が正規分布に従って決められる。ゼロにすると、すべての車両が平均駐車時間の指定値で駐車する。
最大駐車時間	駐車時間の最大値。1以上の整数値。単位は秒。
最小駐車時間	駐車時間の最小値。1以上の整数値。単位は秒。
挙動タイプ	来店車両の挙動タイプ。 1: 駐車場に到着してトリップ終了。(出庫は別途、駐車場ゾーンから発生する OD 交通量を設定) 2: 到着した車両は滞留して出庫後、最初に出発したゾーンを目的地にして走行する。



出発ゾーン 駐車時間管理機能が設計通りに機能していることを確認

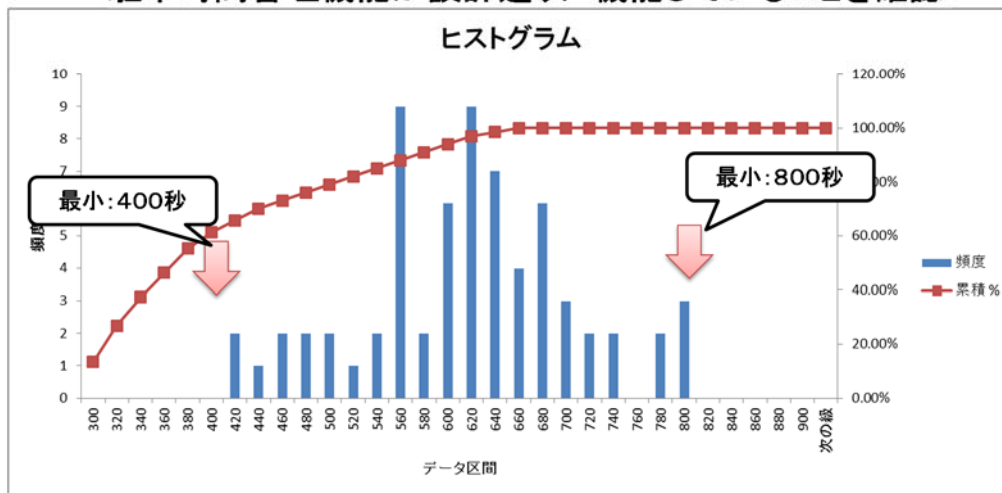


図 2-30 駐車場モデルの動作検証

2.1.5 事故影響評価マクロ交通流シミュレーション

4章に示す、交通事故による交通渋滞への影響分析の結果をもとに、交通事故低減に伴う交通渋滞の削減効果を評価するためのツールとして、待ち行列モデルをベースとし、かつ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マクロ交通流シミュレーションモデルを実装した。

(1) マクロ交通流シミュレーションの概要

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と渋滞損失を効率的に定量評価するためのシミュレーションを作成した。広域なエリアで多くのケースを評価するためには、短い計算時間で効率的に評価可能なシミュレーションが必要となる。本業務では、交通工学分野における **Kinematic Wave** 理論を基礎とし、車両の流れを流体とみなして、各区間での交通量から時間的、空間的な状態の変化を評価するマクロ交通流シミュレーション（以下、本シミュレーションと呼ぶ）を実装した。

図 2-31 に、従来の動的交通流シミュレーションを用いた事故影響を評価するプロセスを示した。このプロセスでは、発生箇所や車線規制の形態、規制時間等で示される「事故パターン」に対して、1 ケースのシミュレーション計算を行い、その結果から渋滞損失等の評価指標を求めた後、別の事故パターンに対して、再度同様計算を繰り返して、すべての事故の影響を評価している。一般に、動的交通流シミュレーションは交通流理論に基づいて 1 ～数秒毎に車両位置を更新し、数十秒～数分の周期で全ネットワークの渋滞状況を踏まえた経路探索計算を行うことで、各車両が目的地へ到達するための経路更新を行うもので、これらに要する計算時間はネットワークの拡大に伴い増加する。例えば、後述する **SOUND** による東京 23 区のシミュレーションでは、1 ケース 24 時間分の計算に約 10 時間を要しており、これを年間の事故に対して繰り返すことは、現実的な方法とは言い難い。

図 2-32 に、本業務で作成したマクロ交通流シミュレーションで事故影響を評価する場合のプロセスを示した。マクロ交通流シミュレーションを用いた評価プロセスでは、ベースとなる事故がない場合の交通状況を市販の動的交通流シミュレーションソフトウェアである **SOUND**¹¹ で計算後、その出力結果である各リンクの流入出累積交通量を用いて、事故パターン毎の影響評価を行う。本シミュレーションにおいては 5 分～15 分毎の交通量を計算するものとした。本シミュレーションでは経路探索計算を行わず、また、事故影響を受けないリンクは計算の対象外となるため、効率的な評価が可能である。なお、ベースとなる交通状況データを作成する動的交通流シミュレーションソフトウェアは、**SOUND** に限定されるものではなく、交通流理論に従って交通状況を逐次計算し、各リンクの流入出累積交通量を出力できるものであれば、どのソフトウェアでもかまわない。

¹¹ **SOUND** 製品情報 <<http://www.i-transportlab.jp/products/sound/index.html>>

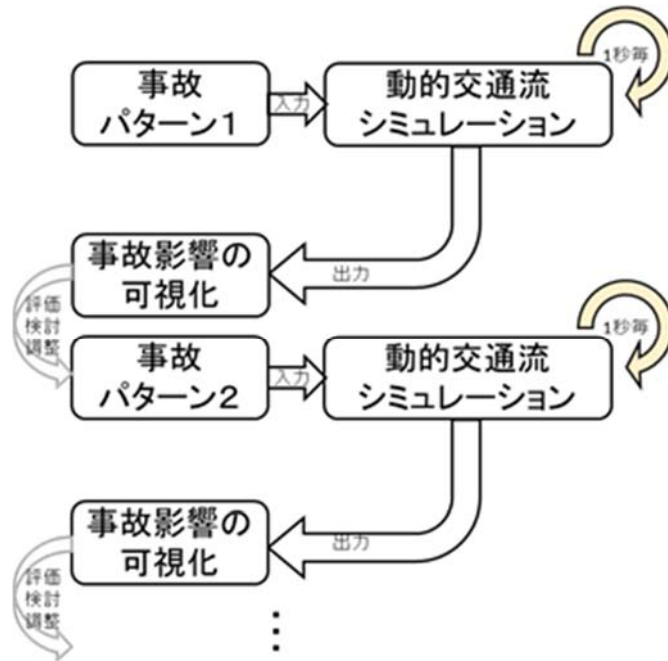


図 2-31 動的交通流シミュレーションにおける事故影響評価プロセス

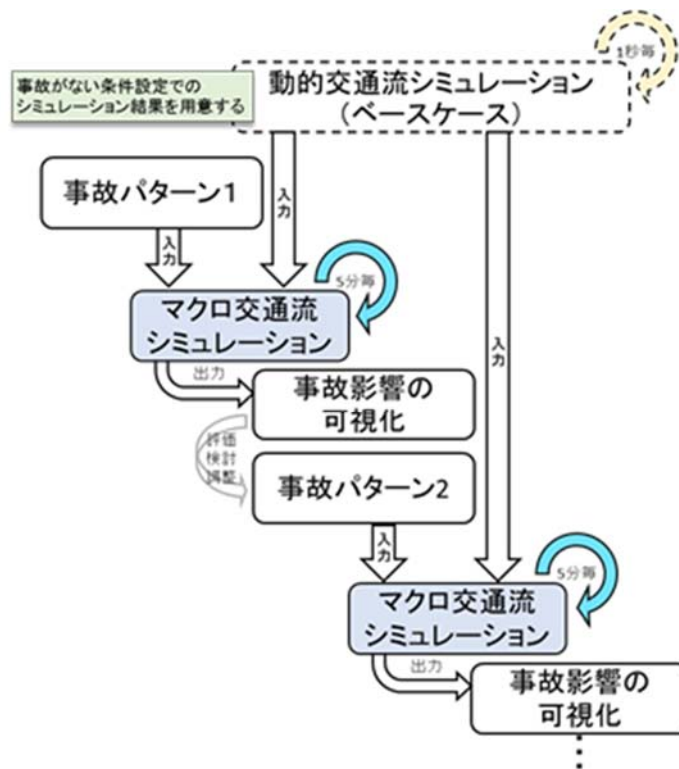


図 2-32 マクロ交通流シミュレーションにおける事故影響評価プロセス

(2) 入力データ

表 2-9 に、本シミュレーションが使用する入力データを示した。

表 2-9 入力ファイル一覧

No.	ファイル名	説明	備考
1	xxxx.sou	ネットワークパラメータ設定ファイル	SOUND 入力設定ファイル
2	xxxx_trpt.csv	リンク交通量データファイル	SOUND 実行結果ファイル
3	xxxx_que.csv	リンク車両存在台数データファイル	SOUND 実行結果ファイル
4	regulation.csv	事故パターンデータファイル	

xxxx はシミュレーションのケース名を示す。No.1 はリンク長やリンク容量、各リンク接続状態などの道路ネットワーク条件に関わるパラメータを入力するもので、ここではベースケースとして SOUND で使用するための入力設定ファイルをそのまま使用した。No.2、3 は、それぞれベースケースでの各リンクの流入出累積交通量と、正時刻における各リンク上の車両存在台数を示す入力データファイルで、ここでは SOUND によるベースケースの出力データファイルをそのまま用いた。No.4 は表 2-10 に示すカラムで記述される。

表 2-10 事故規制データ入力情報一覧

カラム	説明
StartDay	事故開始年月日 (YYYY/MM/DD)
StartTime	事故開始時刻 (hh:mm)
EndDay	事故規制解除年月日 (YYYY/MM/DD)
EndTime	事故規制解除時刻 (hh:mm)
LinkID	事故リンク ID
Capacity	事故中捌け容量
Type	捌け容量が車線当たり (PerLane) か断面合計 (Total) かの種別

(3) 動作ロジック

本シミュレーションは Kinematic Wave 理論に基づきリンクの交通流状態（交通量、密度および速度）を逐次更新した。事故影響がない条件でのシミュレーション結果を初期条件にして、事故によって区間容量が低下した場合の影響を計算した。

リンクの交通量は以下の制限を受けるものとした。

- 各区間に設定した容量以上は流れない。

- 下流区間が先詰まりで流率低下している場合は、それ以上流れない。

図 2-33 に事故影響による車両の滞留のイメージ図を示した。事故により対象のリンクの容量が低下して交通需要がリンクの容量を上回る場合、車両台数は渋滞としてリンクの上流にスタックするものとした。分岐部まで渋滞が延伸した場合は、それぞれの方向に遡って影響を計算する。交通量が絞られる影響の計算は事故発生リンクの下流方向に対しても同様に行った。

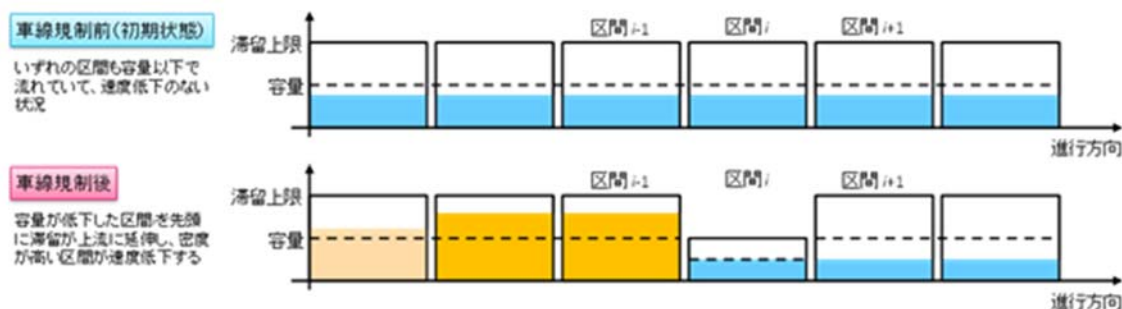


図 2-33 事故規制時の車両滞留のイメージ図

事故規制による渋滞発生時の、流入側累積交通量と流出側累積交通量の時間推移を図 2-34 に示した。流出側累積交通量は事故規制の流率低下により傾きが小さくなる。そして、規制解除時刻以降に、渋滞でスタックされていた車両が飽和交通流率の流率で流出するものとした。この流出は本来の交通需要量が流れるまで行われる。

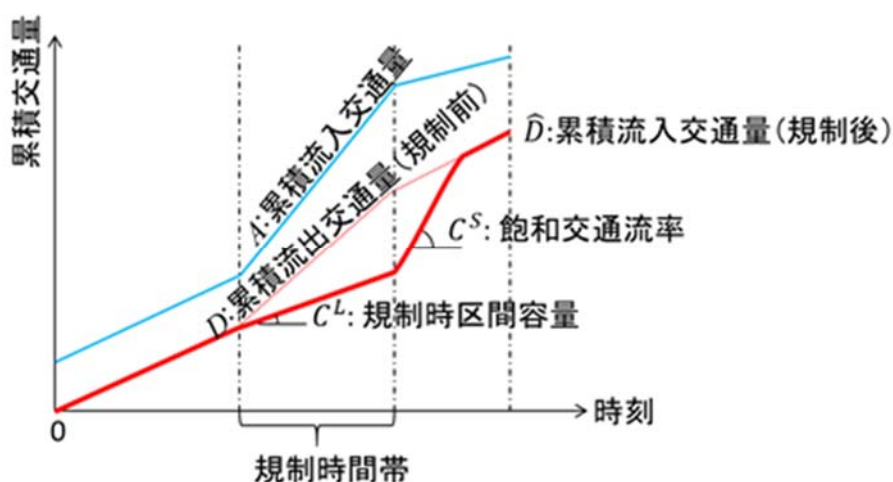


図 2-34 事故規制時の累積交通量の変化

Kinematic Wave 理論では、流率 Q と密度 K にはある関係があると仮定している。その関係で描かれるカーブを **QK** カーブと呼ぶ。本シミュレーションでは計算の効率化のため、**QK** カーブを 2 つの 1 次式で表した。図 2-35 に流率と密度の相関を示した。

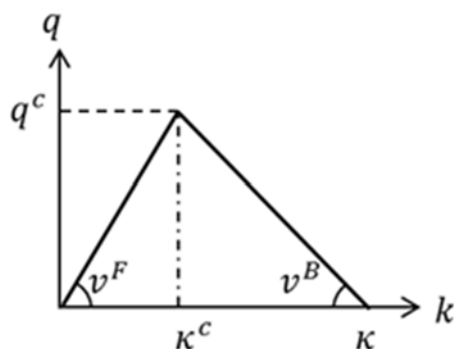


図 2-35 密度と流率の関係図

QK カーブの接線の傾きを **Wave Speed** と呼ぶ。渋滞—非渋滞の臨界密度 κ^c 以下で表される 1 次式の傾きを **Forward Wave** と呼び、臨界密度 κ^c 以上で表される 1 次式の傾きを **Backward Wave** と呼ぶ。**Forward Wave** は車両が自由流で走行する時の速度 v^F であり、リンクの上流から下流に到達するまでの時間 T^F は

$$T^F = (v^F)^{-1}L$$

で表される。ここで、 L はリンク長を表す。また、**Backward Wave** は渋滞がリンクの下流から上流に延伸する速度 v^B であり、渋滞が上流に到達するまで時間 T^B と渋滞延伸時の車両台数 N は

$$T^B = (v^B)^{-1}L$$

$$N = \kappa L$$

で表される。

本シミュレーションにおいては、リンクの流入側累積交通量と流出側累積交通量に対して、リンク上流からの **Forward Wave** の到達時刻と、リンク下流からの **Backward Wave** の到達時刻を計算することで、事故影響による交通量の変化を計算した。事故規制等により流出側累積交通量が増加した場合、**Backward Wave** の影響を考慮して流入側累積交通量の再計算を行った。計算の概略図を図 2-36 に示した。

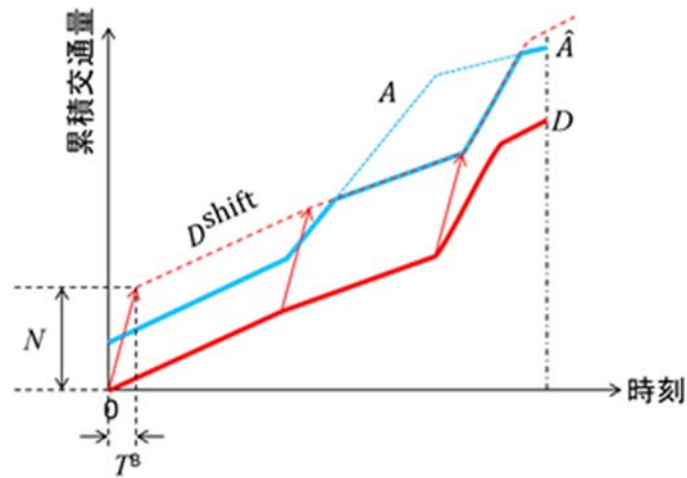


図 2-36 流出側累積交通量変化時の流入側累積交通量への影響の概略図

図 2-36 では流出側の累積交通量曲線を、時刻の軸に対して T^B だけシフトし、累積交通量の軸に対して N だけシフトさせた。シフト後の流出側累積交通量 D^{shift} が流入側累積交通量を下回る場合、その時刻において渋滞がリンクの上流まで延伸し、 D^{shift} の車両台数以上が流入し得ないとして流入側累積交通量を更新した。対して、事故規制の影響により下流リンクにおいて流入側累積交通量が変化した場合、Forward Wave の影響を考慮して流出側累積交通量の再計算を行った。計算の概略図を図 2-37 に示した。

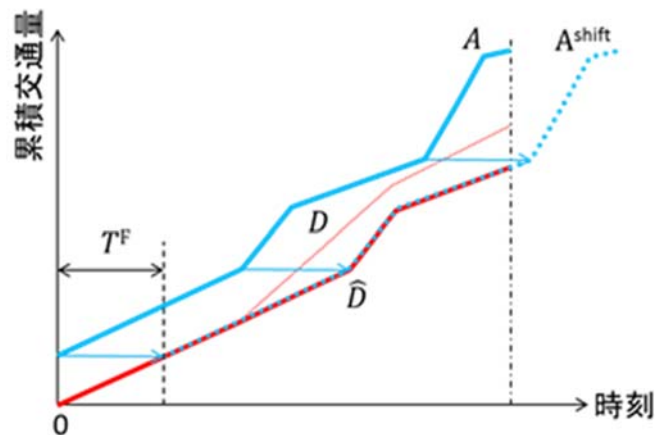


図 2-37 流入側累積交通量変化時の流出側累積交通量への影響の概略図

図 2-37 では流入側の累積交通量曲線を時刻の軸に対して T^F だけシフトさせた。シフト後の流入側累積交通量 A^{shift} が流出側累積交通量を下回る場合、その時刻には A^{shift} の車両台数以上が下流に到達し得ないとして流出側累積交通量を更新した。流入側累積交通量と流出側累積交通量が共に変化していた場合、以下の順番で各方向の累積交通量の再計算を

行った。

再計算の順番：

1. 流入側累積交通量を基に **Forward Wave** の到達時刻を考慮して、流出側累積交通量を更新する。
2. 当該時刻の最大流率を考慮して、流出側累積交通量を更新する。
3. 更新後流出側累積交通量を基に **Backward Wave** の到達時刻を考慮して、流入側累積交通量を更新する。

流入側累積交通量または流出側累積交通量が変化する場合、その方向に対して事故影響が伝播したとみなして、そのリンクに対して再計算を行った。この計算は累積交通量の変化がなくなるまで繰り返し行った。

他のリンクへの伝播の影響を表し、複数の事故影響を同時に計算するために、リンクの交通量は上流端、下流端における他のリンクとの接続関係であるリンクペアによって管理するものとした。図 2-38 にリンクのネットワークと対応する交通量のイメージ図を示す。

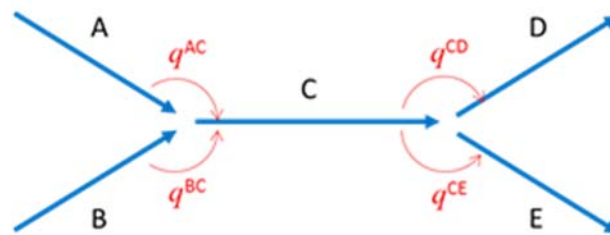


図 2-38 リンクの接続状態と各リンクペアに関する交通量のイメージ図

黒文字は対象のリンク名、 q は2つのリンクによるリンクペア間を通過する交通量である。リンク C の流入側交通量 A^C および流出側交通量 D^C は

$$\begin{aligned} A^C &= q^{AC} + q^{BC} \\ D^C &= q^{CD} + q^{CE} \end{aligned}$$

で表される。また、交通量の変化が他のリンクへ伝播した場合は、各方向への交通量の比率に応じて交通量が調整される。流出側で交通量の変化が伝播する場合は

$$\hat{q}^{CD} = \hat{D}^C \frac{q^{CD}}{q^{CD} + q^{CE}}$$

$$\hat{q}^{CE} = \hat{D}^C \frac{q^{CE}}{q^{CD} + q^{CE}}$$

で表される。ここで、 \hat{q}^{CD} および \hat{q}^{CE} は変化後の各リンクペア交通量、 \hat{D}^C は変化後のCリンクの流出交通量をそれぞれ表す。

(4) 出力指標

本シミュレーションにおいては、以下に示す計算結果を出力するものとした。

- リンク累積交通量
- リンク旅行速度

1つ目は、事故評価前後における流入側累積交通量と流出側累積交通量を出力する。図 2-39 に、特定のリンクの事故評価前後における累積交通量の出力例を示す。

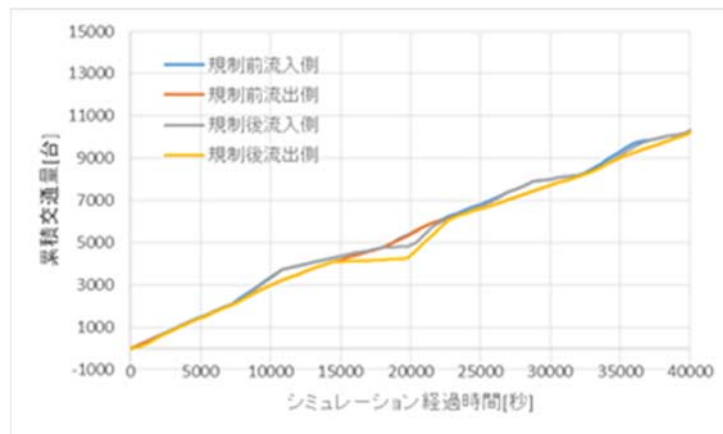


図 2-39 出力例 1 (リンク累積交通量)

2つ目は、流入側累積交通量は渋滞の延伸による渋滞の延伸を空間的・時間的に評価可能にする、コンター図を作成可能な出力をするものとした。図 2-40 のように、リンク内の車両存在台数 n は対象時刻における流入側累積交通量と流出側累積交通量の差によって表される。

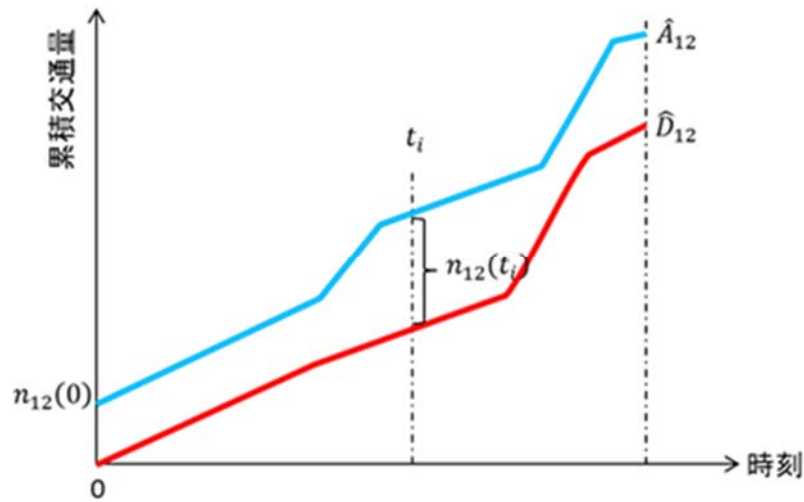


図 2-40 累積交通量による車両存在台数

リンク内の車両存在台数とリンク長により区間密度が得られる。ここで、交通流理論で示されている密度と旅行速度の関係を図 2-41 に示した。

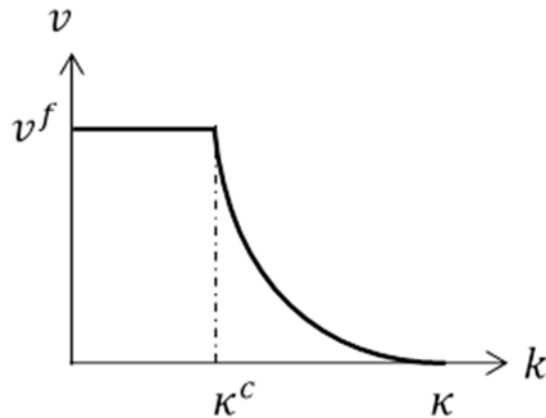


図 2-41 密度と旅行速度の関係図

渋滞－非渋滞の臨界密度以下における旅行速度は自由流速度で一定となり、臨界密度以上においては密度に依存して減少する。本シミュレーションでは渋滞の有無および延伸を、リンク旅行速度により表現するとして、各リンクの区間旅行速度を出力するものとした。事故影響による渋滞延伸の評価のため、事故前のケースにおける区間旅行速度と、事故発生時のケースにおける区間旅行速度を出力するものとした。出力例を図 2-42 に示した。横軸により区間旅行速度の時間的推移、縦軸により区間旅行速度の空間的推移を示す。速度の高いリンクは緑色で表され、速度が低くなるに従い黄色、赤色で表される。

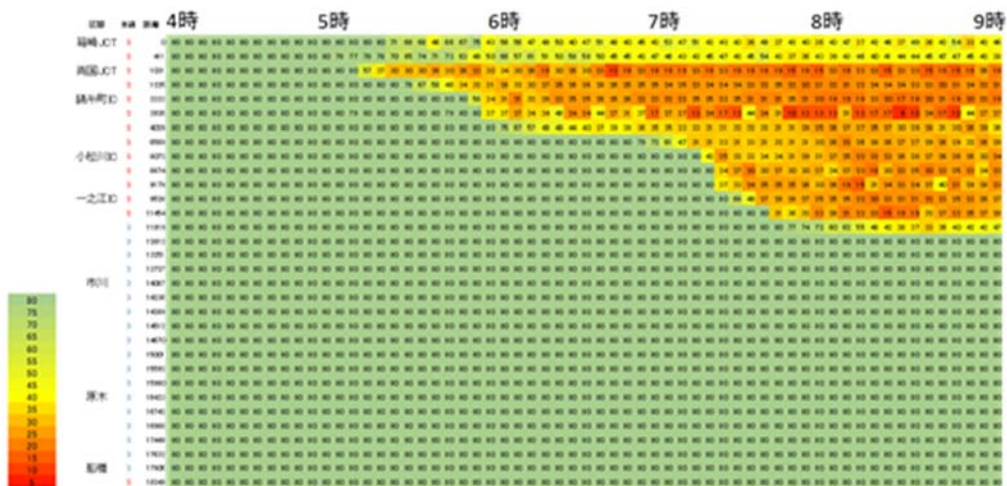


図 2-42 出力例 2 (リンク旅行速度)

(5) 動作確認

動作検証では、東京 23 区ネットワークにおけるベースケースに対して適当なリンクに事故が発生したと仮定し、当該リンクの捌け容量を低下させた場合の影響と計算に要する時間を評価した。計算時間はマクロ交通流シミュレーションに要する時間のみを評価した。CO₂排出量の評価を行う東京 23 区のネットワークを図 2-43 に示す。ネットワーク数およびベースケースでの交通量指標を表 2-11 に示した。



図 2-43 CO₂排出量評価対象ネットワーク

表 2-11 ベースケースシミュレーション設定値一覧

設定項目	設定値
リンク数	91941 本
交通量指標	H22 センサス OD
対象時間	2010 年 10 月 1 日 4 時 00 分～2010 年 10 月 2 日 4 時 00 分
時間解像度	5 分

シミュレーション中の時刻は 2010/10/1 4:00 から 2010/10/2 4:00 とした。これはベースケースとして現況再現を行うための交通量を、2010 年度センサス交通量を基に調整したためである。動作検証における事故規制内容を表 2-12 に示し、事故規制対象のリンクを図 2-44 に示した。

表 2-12 検証用事故パターン

事故規制内容	設定値
規制箇所	首都高速 7 号小松川線入り方向（両国 JCT 合流前リンク）
規制時間	6 : 00 ～ 7 : 00
規制時間外容量	4400[台/時]
規制時捌け容量	600[台/時]

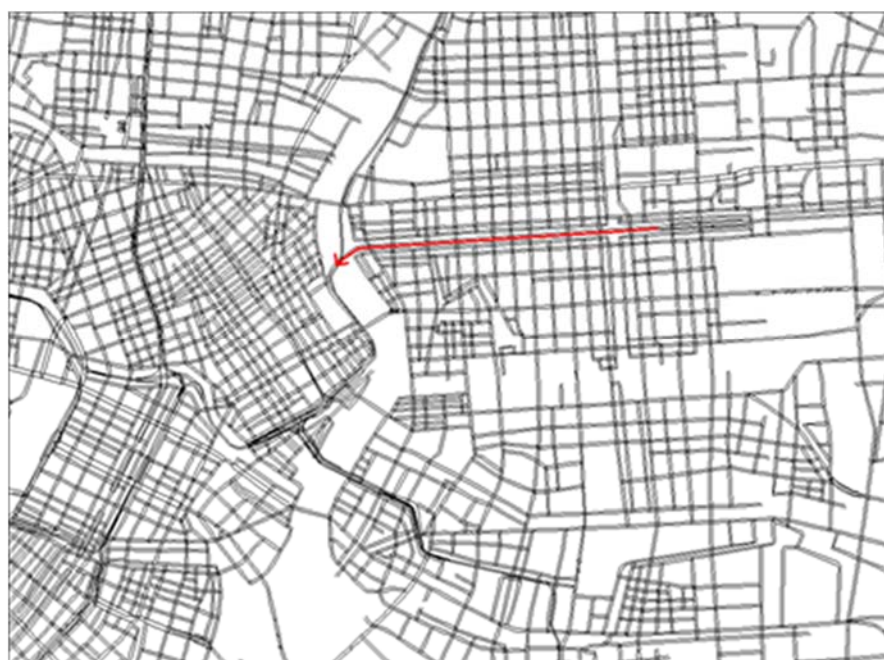


図 2-44 事故規制リンク

検証用の事故パターンでは朝の通勤時刻において、交通量の多い首都高速 7 号小松川線

の上り方向を想定した。規制時捌け容量は検証の簡易化のため 600 台/時とした。動作検証に使用した PC のスペックを表 2-13 に示した。

表 2-13 動作検証 PC の性能一覧

OS	Windows 7 Professional
CPU	Intel Core i7-5820K (3.30GHz)
Memory	64GByte

動作検証の結果として、事故規制箇所における累積交通量と単位時間での通過台数を図 2-45 に示した。単位時間当たりの交通量が事故規制時間帯において 50 台/5min、事故規制解消時に 183 台/5min となっており、事故規制の影響を受けていることを確認した。また、事故規制の影響により渋滞が発生し、渋滞がリンク上流まで延伸したことで流入側の単位時間当たりの交通量が減少していることを確認した。

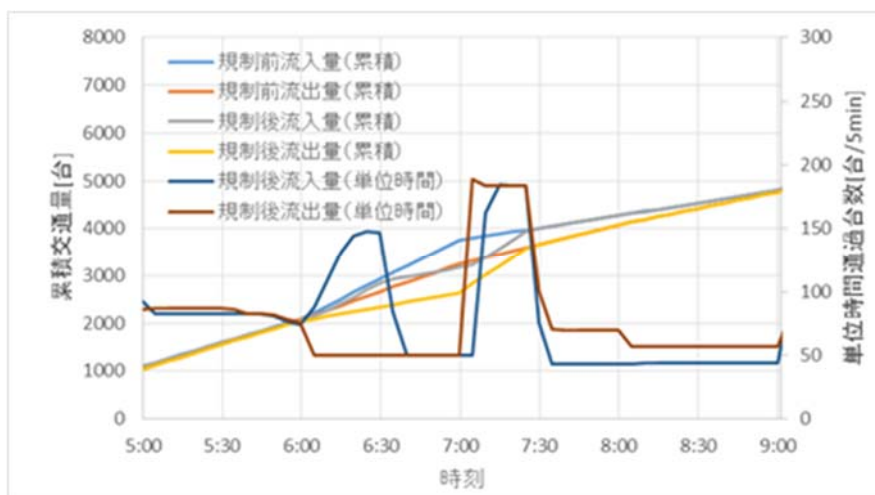


図 2-45 事故規制リンクにおける交通量図

また、事故規制の有無によるリンク速度の変化を図 2-46、図 2-47 に示した。事故規制の影響により渋滞がベースケースよりも上流に伝播していることを確認した。また、事故規制リンクの下流では交通量の減少により、一時的に渋滞が発生していないことを確認した。

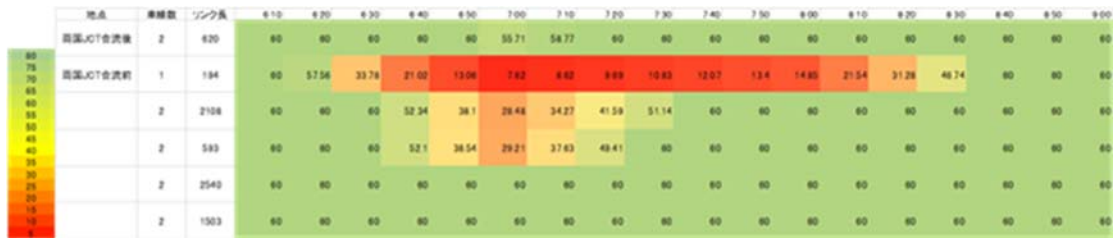


図 2-46 ベースケースにおける首都高速7号小松川線北方向の旅行速度

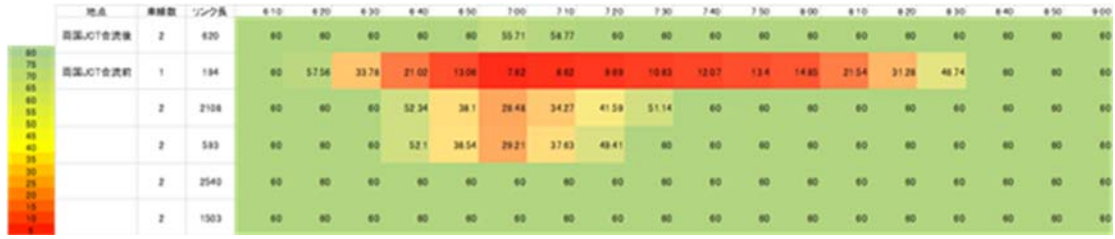


図 2-47 事故発生ケースにおける首都高速7号小松川線北方向の旅行速度

速度検証の結果として、入力、動作ロジックによる計算、出力に要する時間を表 2-14 に示した。

表 2-14 マクロ交通流シミュレーションにおける計算所要時間

	所要時間[秒]
入力	64.2
ロジック計算	2.82
出力	84.4
合計	151

ロジックによる計算時間は2~3秒で完了しており、動的交通流シミュレーションと比較して非常に効率よく評価可能であることを確認した。入出力は本シミュレーションにおける計算時間の大部分を占めるが、ネットワークの規模、シミュレーション内部時間、時間解像度に依存する。

2.2 交通流シミュレーションの検証

ここでは、ART の専用車線運用モデルについて、構築したシミュレーションモデルの基本検証を行い、加えて、ART、隊列走行の評価実施に向けて、各評価対象地域におけるパラメータ調整および実用検証を行った。

2.2.1 ART 専用車線運用モデルの基本検証

ART 専用車線運用モデルの基本検証として、ART が設定したとおり、路線上を運行しているかどうかを確認した。図 2-48 はピーク時間帯における ART の動きをダイアグラム形式で示したものである。これより、ART が設定した運行頻度で、所定のバス停に立ち寄り、停車していることが確認できた。

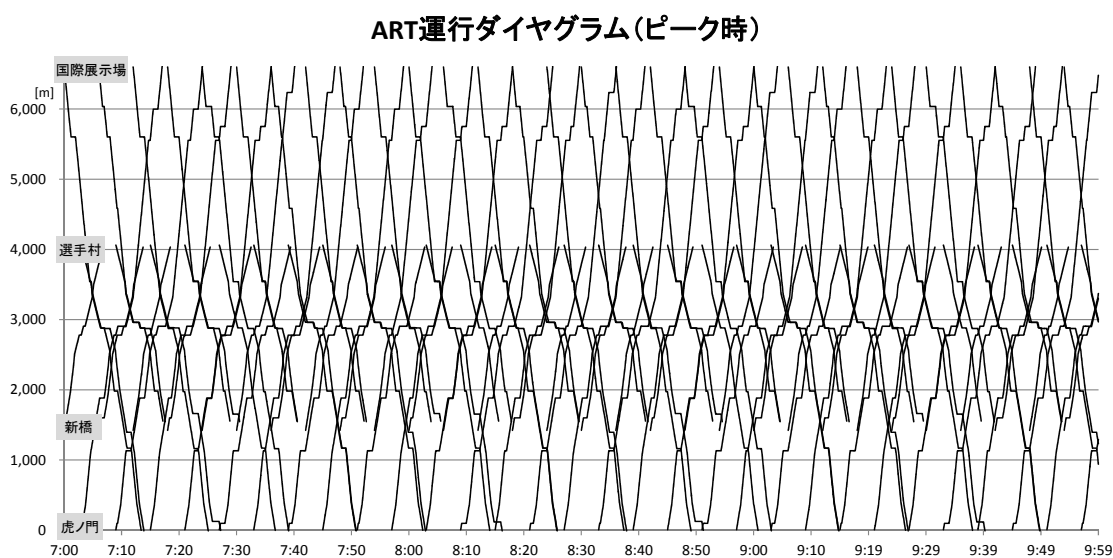


図 2-48 ART 専用車線運用モデルの基本検証結果

2.2.2 ART 専用車線運用モデルのパラメータ調整と実用検証

次に、ART 専用車線運用モデルの実用検証として、走行中の速度変動が適切に再現されているかどうかを確認した。

図 2-49 は ART の走行速度変動を距離帯別に示したものである。これより、虎ノ門～新橋のトンネル区間（400m～1200m）や、専用車線区間（3500m～6500m）では制限速度の 50km/h で概ね走行し、その他の区間ではそれより低い制限速度を上限として概ね走行していることが確認できた。

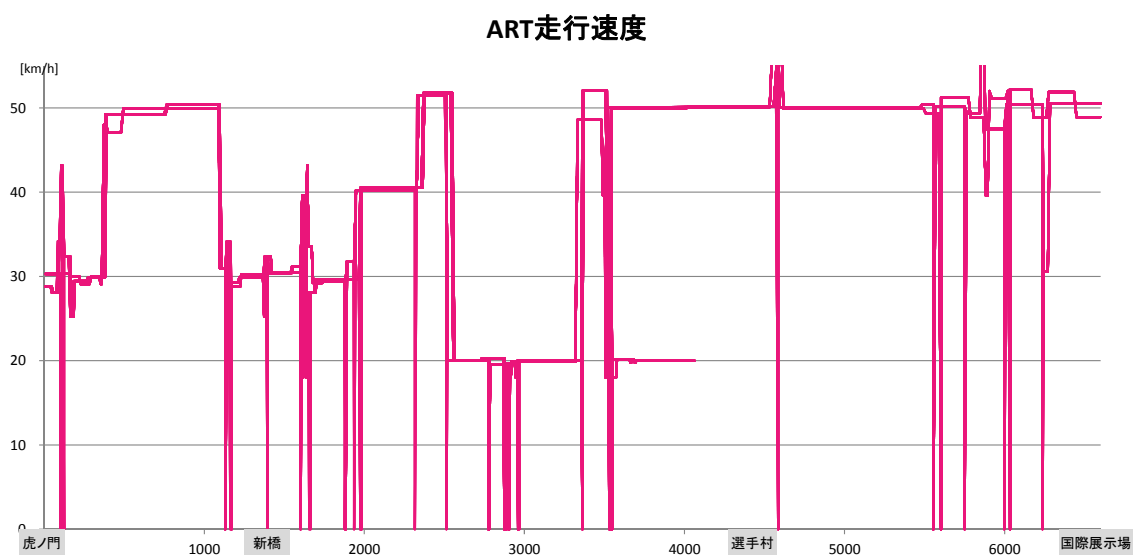


図 2-49 ART 専用車線運用モデルでの実用検証結果（ART 速度変動）

2.2.3 隊列走行モデルのパラメータ調整と実用検証

隊列走行トラックに関しては、ケーススタディでは、後述するとおり、夜間に新東名ルートを行くシナリオとしており、この経路を行くよう、経路選択モデルパラメータを調整した。

図 2-50 に隊列走行トラックの走行ルートを示す。これより、すべての隊列走行トラックが、新東名ルートを選択することが確認できた。



図 2-50 隊列走行トラックの走行ルート (赤色)

3. 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

3.1 自動車 CO₂ 排出量モデルの拡充

NEDO エネルギーITS 推進事業等にて、作成した自動車 CO₂ 排出量モデルの車種区分を表 3-1 に示す。ここで示すように概ね現在走行している車両については、CO₂ 排出量モデルが作成済みであるが、今後、普及が見込まれるディーゼル乗用車や 1Box タイプのハイブリッド車などのモデルが未作成である。そこで、ディーゼル乗用車について台上試験を実施し、走行挙動と CO₂ 排出量に関するデータを取得し、そのデータを用いて CO₂ 排出量モデルを作成した。

試験車両の選定には自販連の新車台数データを参考にした。最新のデータを参考にする、マツダ デミオの台数が多いが、本モデルでは走行台数をベースとしたモデルを構築することが望ましいため、過去 3 年分の新車台数が最も多い、マツダ CX-5 を選定した。マツダ CX-5 の詳細な仕様については、イード社が公開している e 燃費データを参考に、駆動方式は 4 輪駆動、ミッションはオートマティクトランスミッションのものを採用することとした（表 3-2、図 3-1）。

表 3-1 エネルギーITS 推進事業における CO₂ 排出量モデルの車種区分

	Motor	Categories	Traffic simulation	
			Small	Large
CO ₂ emission model	Gasoline	Minicar	✓	
		Passenger Car	✓	
		HEV (Hybrid Electric Vehicle)	✓	
		Mini Truck	✓	
		Light and Medium Truck	✓	
	Diesel	Heavy Truck: 3.5t<GVW=<5t		✓
		Heavy Truck: 5t<GVW=<8t		✓
		Heavy Truck: 8t=<GVW		✓

表 3-2 試験車両の車両緒元

項目	数値
車名	マツダ CX-5
型式	LDA-KE2AW
車両重量	1620kg
排気量	2.18L
燃料	軽油
駆動方式	4輪駆動
ミッション	AT



図 3-1 試験車車両の外観

はじめに、選定した試験車両に問題が無いかを確認するために、JC08モードおよび国土技術総合研究所が作成した平均速度別の走行モードにて排出ガス試験を行い、CO₂排出量データの確認を行った(図 3-2、表 3-3)。その結果、JC08モード走行時の排ガス中の各種成分は基準値に入っていること、および平均速度とCO₂排出量の間を見ると、1kmあたりの燃料消費量が60km/h付近で最少となっており、一般的な乗用車と同様の傾向となっていることから、本車両での試験データにてモデル構築することは問題ないことが確認できた(表 3-4、図 3-3)。

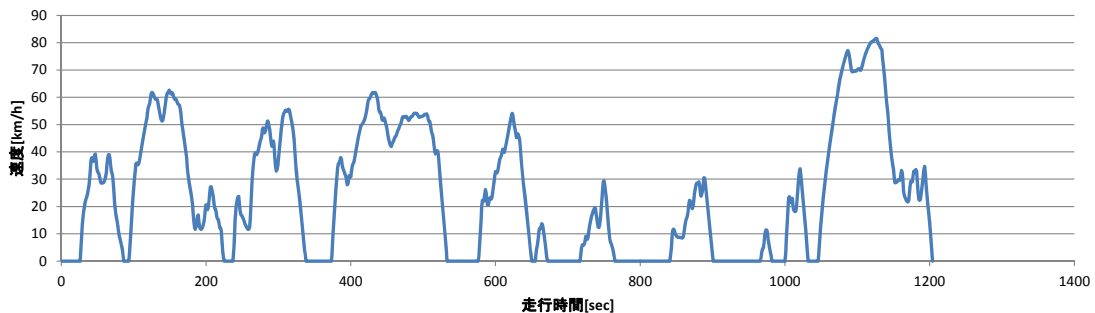


図 3-2 JC08モードの走行パターン

表 3-3 試験車両の排ガス成分と現行規制

成分	測定値	規制値
CO[g/km]	0.16	0.63~0.84
NMHC[g/km]	0.029	0.024~0.032
NOx[g/km]	0.04	0.08~0.11

表 3-4 試験モードの平均速度、距離、走行時間

モード	HOT	COLD	平均速度(km/h)	距離(m)	走行時間(sec)	備考
JC08	○	○	24	8,171	1,204	車両の異常確認用
JC08 wt IS	○		24	8,171	1,204	アイドリングストップ効果確認
JARIMEC	○		55	36,537	2,400	エンジンマップ作成用
PN1	○		6	1,768	1,102	国総研都市内走行モード
PN2	○		14	4,040	1,039	
PN3	○		26	7,211	1,015	
PN4	○		38	12,042	1,156	
PN5	○		43	12,011	1,009	
PN6	○		53	16,851	1,150	
PEC6	○		58	16,924	1,055	
PEC7	○		68	19,804	1,055	
PEC9	○		85	25,300	1,066	
PEC11	○		102	29,418	1,043	

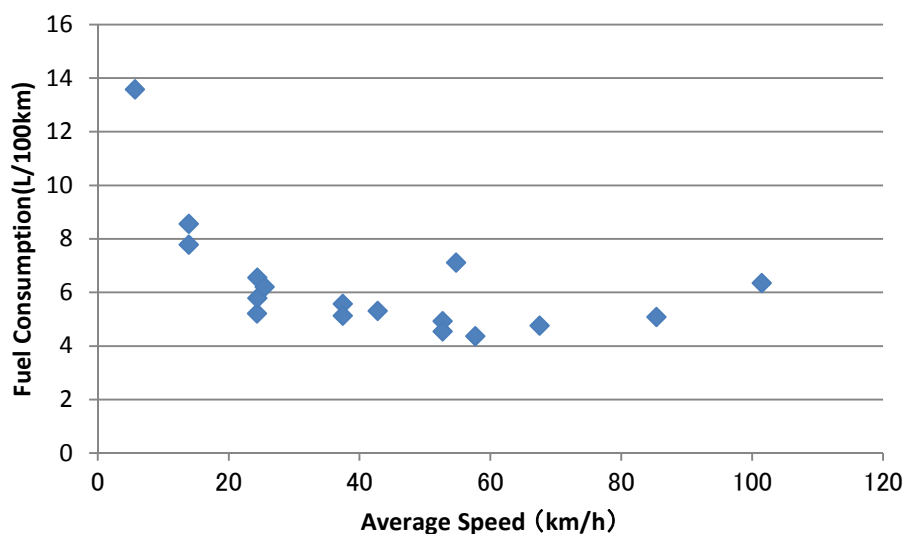


図 3-3 平均速度と燃料消費量の関係

CO₂ 排出量モデル用のデータ測定のため、JARIMEC モード（図 3-4）にて排出ガス試験を実施し、測定された CO₂ 排出量データにて、ディーゼル乗用車の CO₂ 排出量マイクロモデル¹²構築を行った（図 3-5）。なお、JARIMEC モードは排ガスの過渡排出量を計測するためのモデルであり、低速から高速走行や低加速、急加速などの様々な走行状態のデー

¹² マイクロモデル：CO₂ 排出量の秒単位の排出量を推定可能なモデル。高精度であるが計算量が大きいため、都市全体の交通からの CO₂ 排出量の計算には適さない。

タを取得するのに適したモードである。

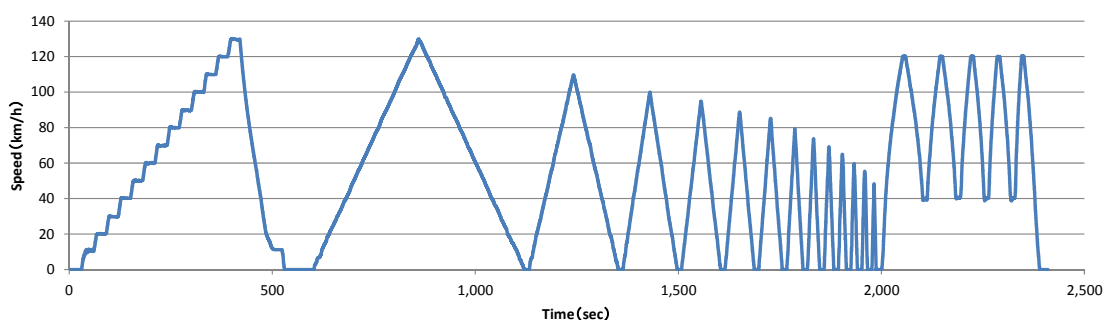


図 3-4 JARIMEC モードの走行パターン

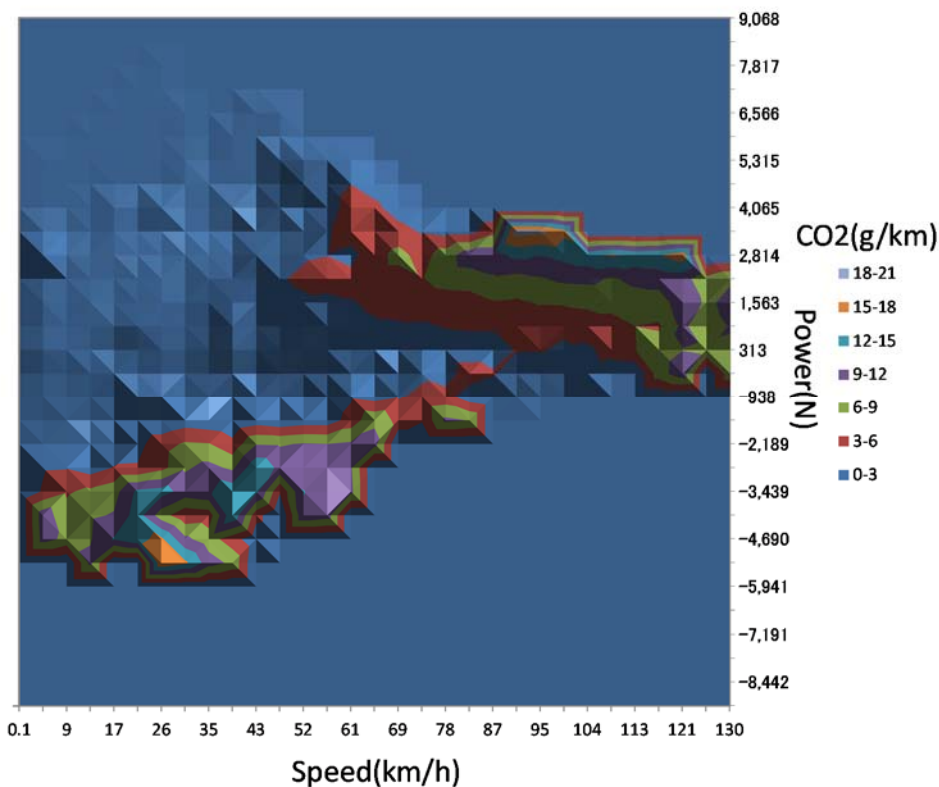


図 3-5 CX-5 の速度-駆動力-CO₂排出量マップ

次に、構築した CO₂ 排出量マイクロモデルと、以前に NEDO エネルギーITS 推進事業で取得した実走行時の走行挙動データを用いて、多数の SSF とそれに対応した CO₂ 排出量を算出し、その結果を統計処理することでディーゼル乗用車の CO₂ 排出量メソモデル¹³の計算用係数を表 3-5 のように作成した。表 3-5 に示す係数を (1) 式に入力することで、デ

¹³ メソモデル：SSF 単位での CO₂ 排出量を算出する。CO₂ を算出するための計算量が小さく、都市全体の交通からの CO₂ 排出量の計算に適する。

イーゼル乗用車の CO₂ 排出量を推計するものとする。

$$CO_2 = x_1 \times v_{ave} + x_2 \times Dist + x_3 \times Time + x_4 \times Time_{id} + x_5 \times Sin\theta + x_6 \times v_{ave}^2 + x_7 \times (v_{ave}^2 \times Dist) + x_8 \times (Dist \times sin\theta) + x_9 \times \Delta v + x_{10} \cdot \cdot \cdot (1)$$

CO₂ : SSF あたりの CO₂ 排出量[g]、v_{ave}:平均速度[km/h]

Dist : 走行距離[m]、Time : 走行時間[sec]、Time_{id}:停車時間[sec]

sinθ : 勾配、Δv : 前後 SSF の速度差[km/h]、x₁~x₁₀ : 係数 (表 3-5)

なお、CO₂ 排出量メソモデルは、走行形態に応じて 5 種類の SSF に対して設定しており、C-C50m 以下 (走行距離が 50m 以下で、発進-走行-停止)、C-C50m 以上 (走行距離が 50m 以上で、発進-走行-停止)、C-O (発進-走行)、O-C (走行-停止)、O-O (走行) とした。

表 3-5 各 SSF 形状の係数

	C-C(50m 以下)	C-C(50m 以上)	C-O	O-C	O-O
x1	0	0	-1.4	-1.1	-2.3
x2	0	0.093	0	0	0
x3	0.40	0	0	0.77	-0.76
x4	0	0	0	0	0
x5	0	0	-28E+03	-27E+02	-13E+03
x6	0.038	0	0	0.037	0
x7	0	3.7E-05	5.7 E-05	0	3.5 E-05
x8	0	0	56	0	28
x9	0	0	0	0	0.21
x10	-3.5	2.0	76	8.3	16E+02

3.2 自動走行システム導入時の CO₂ 排出量モデルの作成

3.2.1 信号制御情報等を活用したグリーンウェーブ走行

グリーンウェーブ走行においては、交通流シミュレーション側では、様々な制御が加わることによる SSF 変化を考慮する必要がある。CO₂ 排出量モデル側でも、事前に信号情報を得ることで、エコドライブに代表される、緩やかな発進加速、早めのアクセルオフ、速度加減速の少ない走行などを考慮する必要があるものと考えられる。ここでは NEDO エネルギー ITS 推進事業で構築したデータベースを活用することで、それら走行挙動の変化に対応して CO₂ 排出量を算出できることを確認した。

但し、2017 年度に関係機関等から、新たな走行挙動について情報が得られた場合は必要に応じて、モデルの更新を行うことを検討する。

3.2.2 Advanced Rapid Transit（バス車両のスムーズな加減速）

ART においては、バス専用レーンを走行する自動運転バスと、周辺の一般交通の 2 種類に分けて検討する必要がある。

周辺の一般交通については、バス専用レーンが導入されることで走行できる車線数が減少し、他車線の交通量増加の影響が発生することが想定されるが、この影響は交通流シミュレーション側で考慮するものとし、CO₂排出量モデルでは対象外とする。

自動運転バスについては、現在のディーゼルバスが自動運転になったことを想定し、ここでは正着制御により、発進加速と停止減速が最適化されることを想定し、CO₂排出量のマイクロモデルを用いて、CO₂排出量が最適化される発進加速度、停止減速度を検討した。

発進加速については、都内を走行するバスの走行挙動データを参考に発進加速度および減速度、走行距離が整合するような走行パターンを設定（図 3-6 青線）し、そこから、平均発進加速度を 0.8～0.4 倍に緩やかになるように設定し（図 3-6）、この走行挙動時の CO₂排出量をマイクロモデルを用いて推計した。その結果、発進加速が通常の加速度の 0.6 倍の際に CO₂排出量の削減率が飽和となることが分かった（図 3-7）。

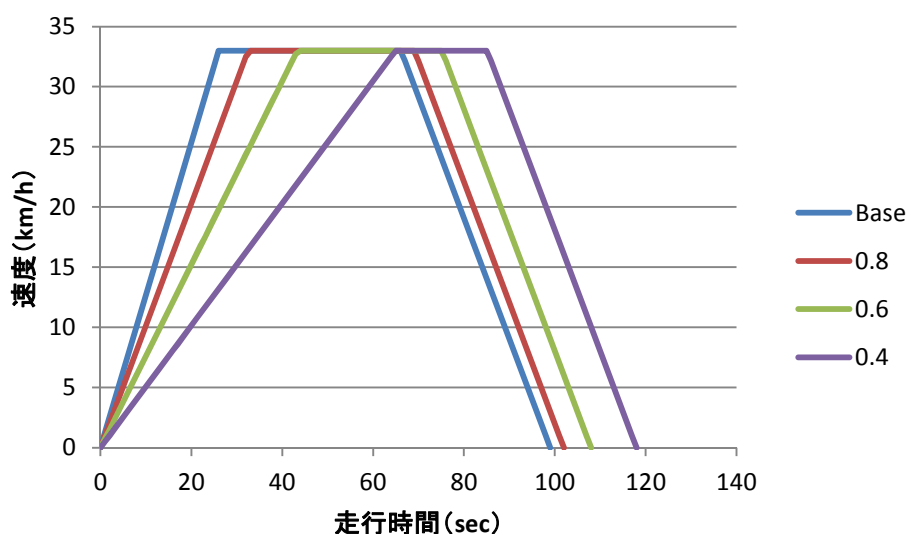


図 3-6 マイクロモデルによる発進加速影響検討時の走行パターン

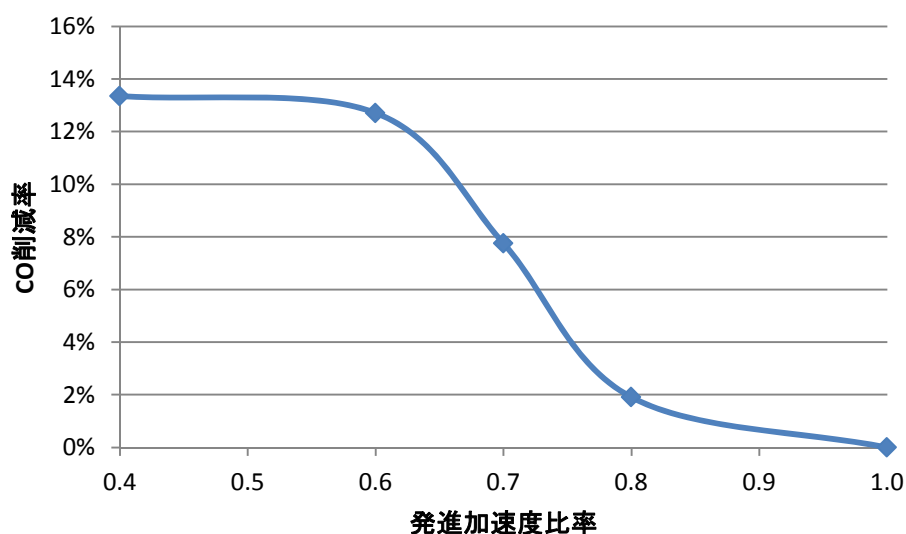


図 3-7 マイクロモデルにおける発進加速度比率と CO₂削減率の検討

停止減速についても発進加速と同様に停止減速度を 0.9~0.4 倍まで緩やかにした走行挙動を作成し (図 3-8)、それぞれの走行挙動に対して、マイクロモデルにて CO₂排出量を推計した。その結果、通常減速度の 0.5 倍の減速度の条件で CO₂排出量が最小となることが分かった (図 3-9)。

図 3-7 および図 3-9 の推計結果を用いて、発進加速度 (0.6 倍)、停止減速度 (0.5 倍) を設定した場合のモデルを構築した。なお、ART の CO₂排出量モデルは、今年度はバス単体での CO₂最適化を想定したものとしたが、今後、ART の走行条件等が具体的に分かった場合は、必要に応じてモデル更新を行うものとする。

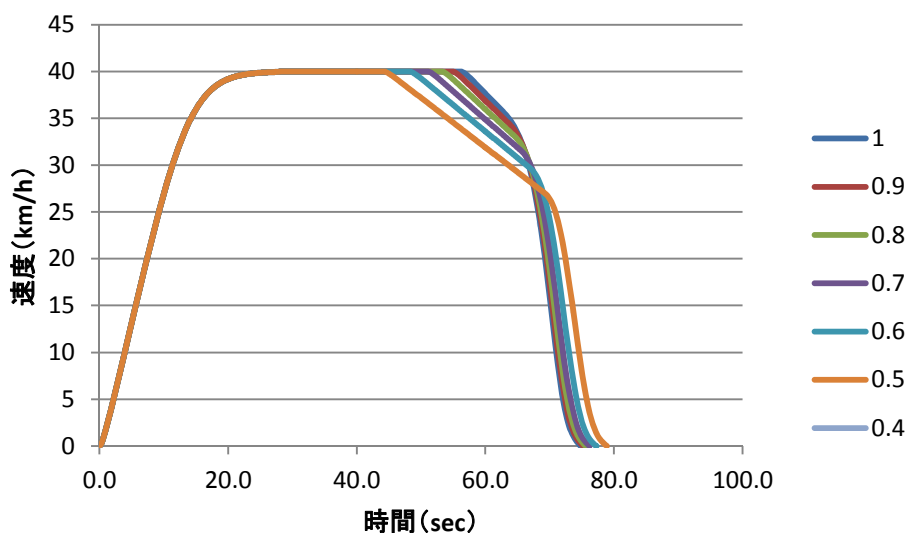


図 3-8 検討した減速度パターン

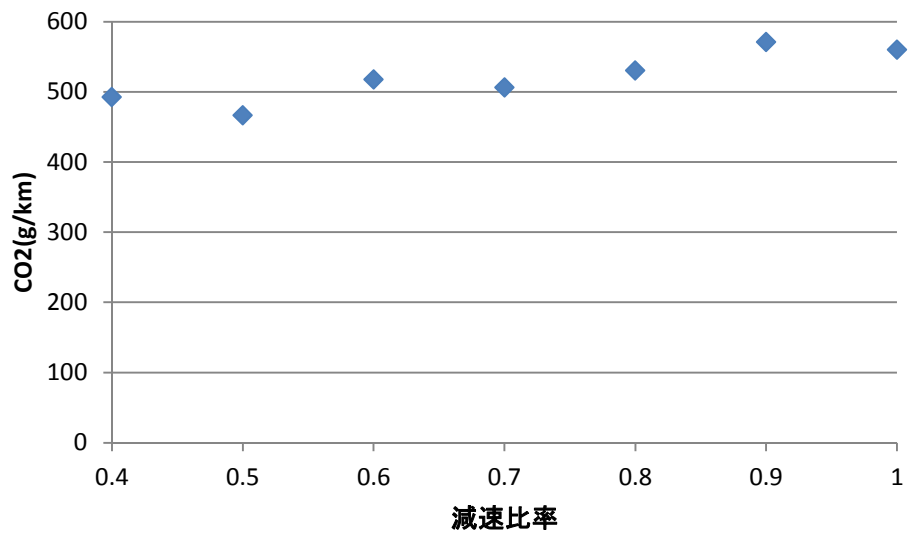


図 3-9 マイクロモデルにおける停止減速度比率と CO₂ 排出量 の検討

3.2.3 隊列走行

隊列走行では、CO₂削減要因として、隊列走行により車間が狭まり、有効な道路面積が増えることによる空間再配分の効果と、空気抵抗削減効果の2つが考えられる。前者については、交通流シミュレーション側で検討するため、CO₂排出量モデル側では後者の影響を検討した。

隊列走行のモデルについては、隊列走行車の先頭、中央、後方について、モデル化を試みた。空気抵抗削減効果については、NEDO エネルギーITS 推進事業で検討した結果を活用し（図 3-10 下図の青グラフ、赤グラフ）、これらをマイクロモデルを用いて空気抵抗が削減した場合のCO₂排出量を算出し、その結果を用いて隊列走行車両のモデル化を行った。

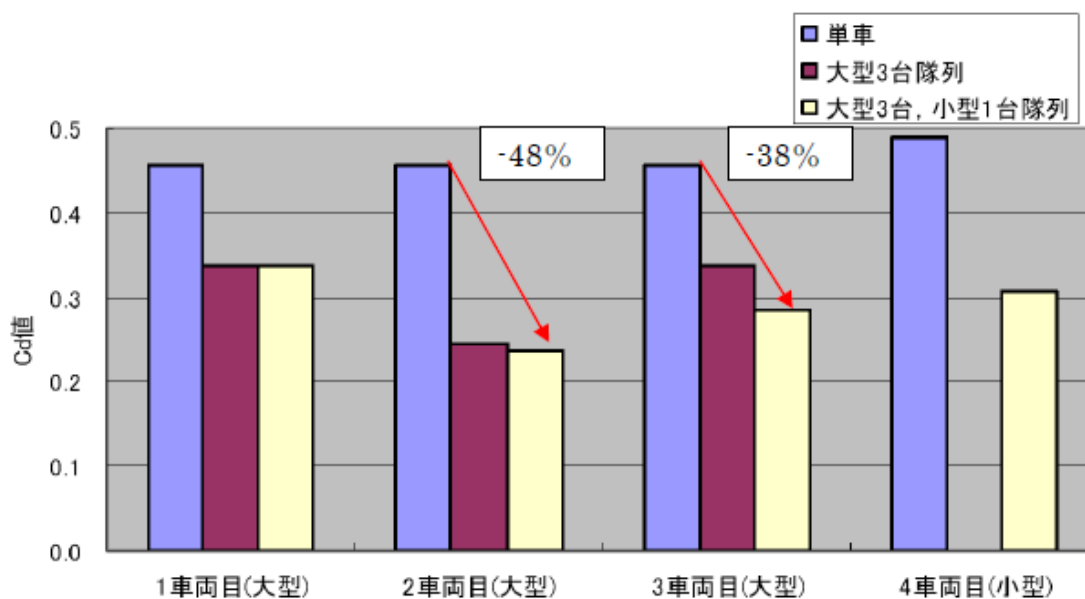
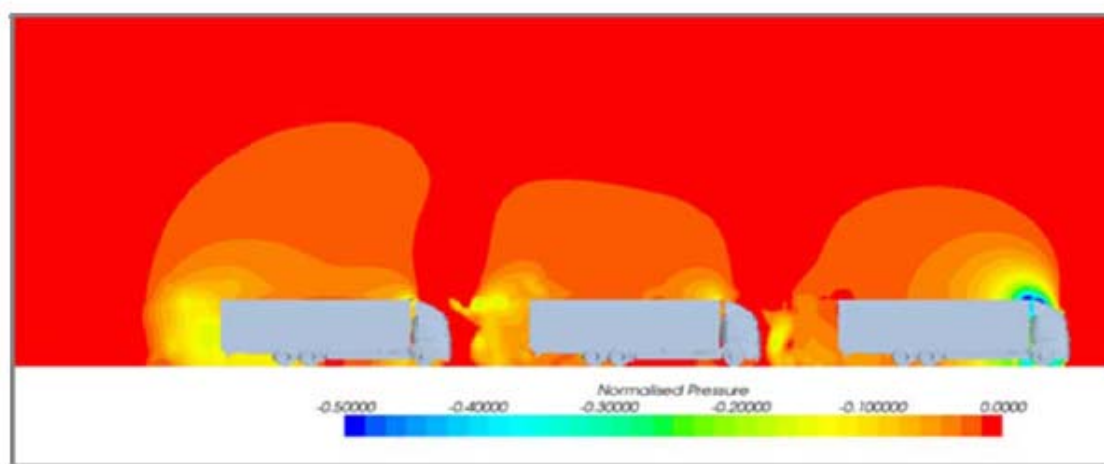


図 3-10 隊列走行による空気抵抗シミュレーション結果（NEDO 報告書より引用）

3.2.4 高速道路および一般道路での自動運転

高速道路および一般道路での自動運転は、視点によって制御方法が異なるが、CO₂削減の視点で考えると、定常、減速の最適化に集約されると考えられる。そのため、NEDO エネルギーITS 推進事業で構築したエコドライブ走行のうち、e スタート、加減速の少ない走行、早めのアクセルオフに相当するため、それらのデータを活用し対応可能であることを確認した。なお、自動運転のギア制御についても、変更する可能性があるが、システム実用化 WG にてヒアリングを行った結果、具体的には現状と大きな差異は無いとの回答だったため、ギア制御は現状と同等とした。

3.2.5 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）

管制交通システムではラストワンマイル走行による需要転換および自動バレーパーキングによるうろつき交通量の低下が期待される。これらの影響は交通流に変化をあたえるものの、自動車単体の走行挙動に変化を与えるものではない（=CO₂排出量メソモデルを変更する必要はない）ものと推測される。そのため、モデル都市での評価を行う上で、走行挙動に関して懸念事項が発生した場合にのみ、必要に応じてモデル更新作業を行うこととした。

3.3 CO₂ 排出量マクロモデルの更新

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。既往研究において国土技術総合研究所および日本自動車研究所が公表しているが、車両データが 2000 年前後であるため、データが古くこのモデルを用いて推計すると CO₂ 排出量を過大に推計してしまう可能性が高い。そこで、自動車検査登録協会の保有台数データ（図 3-11、図 3-13）および環境省が公表している排出原単位の報告書（図 3-12、図 3-14）を参考に、小型車と大型車の CO₂ 排出量マクロモデルを構築した。

環境省の排出原単位報告書より各車格毎の CO₂ 排出量マクロモデル（図 3-12、図 3-14 の各細線）を作成した。次に、交通流シミュレーション側とカテゴリを整合させるために小型車と大型車とするために、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にて、各車種の CO₂ 排出量マクロモデルを重み付けすること、小型車、大型車のマクロ CO₂ 排出量モデル（図 3-12、図 3-14 の各太線）を構築した。

なお、本モデルは日本全国の保有台数をベースに作成しており、地域別のモデルにする場合は、保有台数もしくは走行台数比率を変えることで、地域別のマクロ CO₂ 排出量モデルを構築することが可能である。

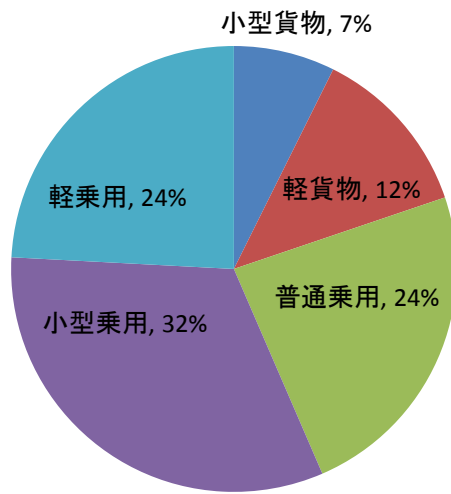


図 3-11 小型車の保有台数比率

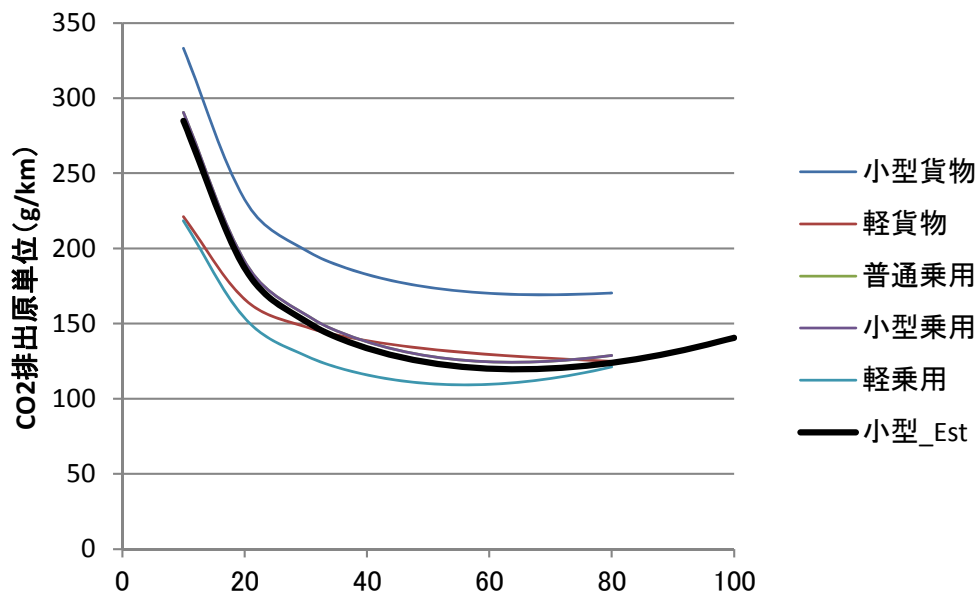


図 3-12 小型車のマクロ CO₂ 排出量モデル

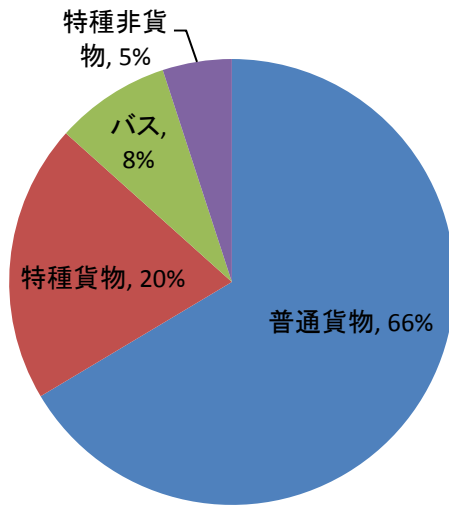


図 3-13 大型車の保有台数比率

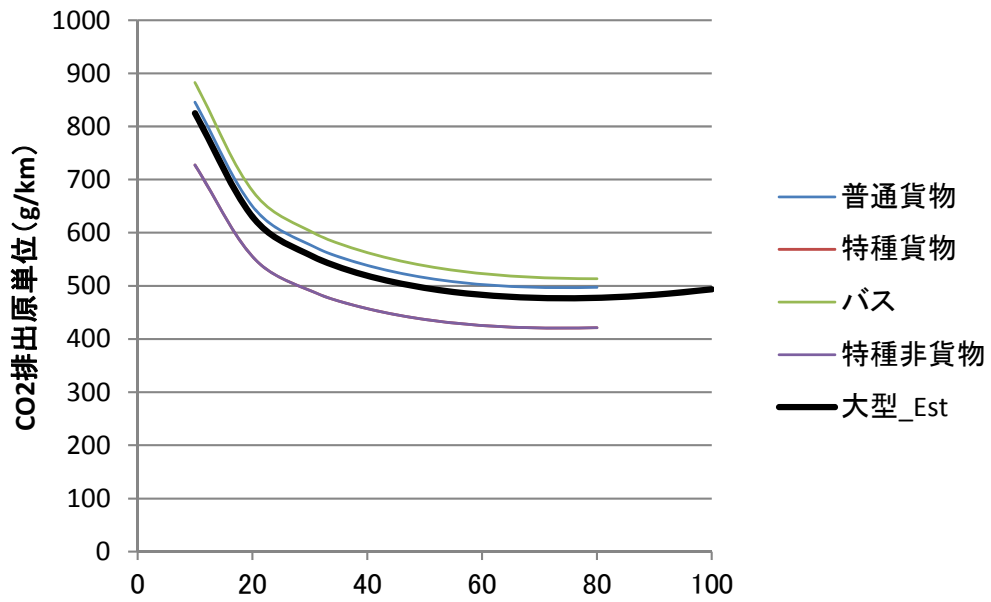


図 3-14 大型車のマクロ CO₂ 排出量モデル

4. 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

4.1 交通事故多発箇所データを用いた事故発生状況の分析

東京 23 区の幹線道路を中心としたネットワークを対象とし、公益財団法人交通事故総合分析センター (ITARDA) より、昨年度事業で取得した H25 年度の交通事故多発箇所データについて、昨年度事業ではプローブデータの入手期間である平成 25 年 10 月～12 月の 3 ヶ月分を集計対象としたが、今年度事業で追加入手したプローブデータの期間 (平成 25 年 7 月～9 月) を含めて、交通事故の発生箇所・時刻等を再集計・整理した。

ここで、平成 26 年度の内閣府による報告¹⁴より、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「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、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」が選定されている。4.2.1 にて示す評価プロセスのとおり、最終的に交通事故死者低減効果見積もり手法と連携して CO₂ 排出量削減効果を評価することを想定しているため、今回の分析においても「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」の事故類型について発生箇所・時刻等の集計を行った。

4.1.1 使用データの概要

(1) 使用データ

本分析では、公益財団法人 交通事故総合分析センター (ITARDA) が提供する交通事故多発箇所データ (事故別データ) のうち、平成 25 年 7～12 月の東京都 23 区内のデータを用いて分析を行った。なお、本データは人身事故が対象となっている。

- ・データ：交通事故多発箇所データ (事故別データ)
- ・対象期間：平成 25 年 7 月 1 日～平成 25 年 12 月 31 日の 6 ヶ月間
- ・対象エリア：東京都 23 区内

¹⁴ 一般財団法人日本自動車研究所「平成 26 年度内閣府委託事業 交通事故死傷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関する調査検討」より引用

4.1.2 単純集計結果

事故別データの収録項目に沿って単純集計した結果を以下に示す。

(1) 事故全体の発生件数および発生分布

- 平成 25 年 7～12 月の東京 23 区における事故発生件数は **2,405 件** である。
- 事故全体の事故発生分布を以下に示す。

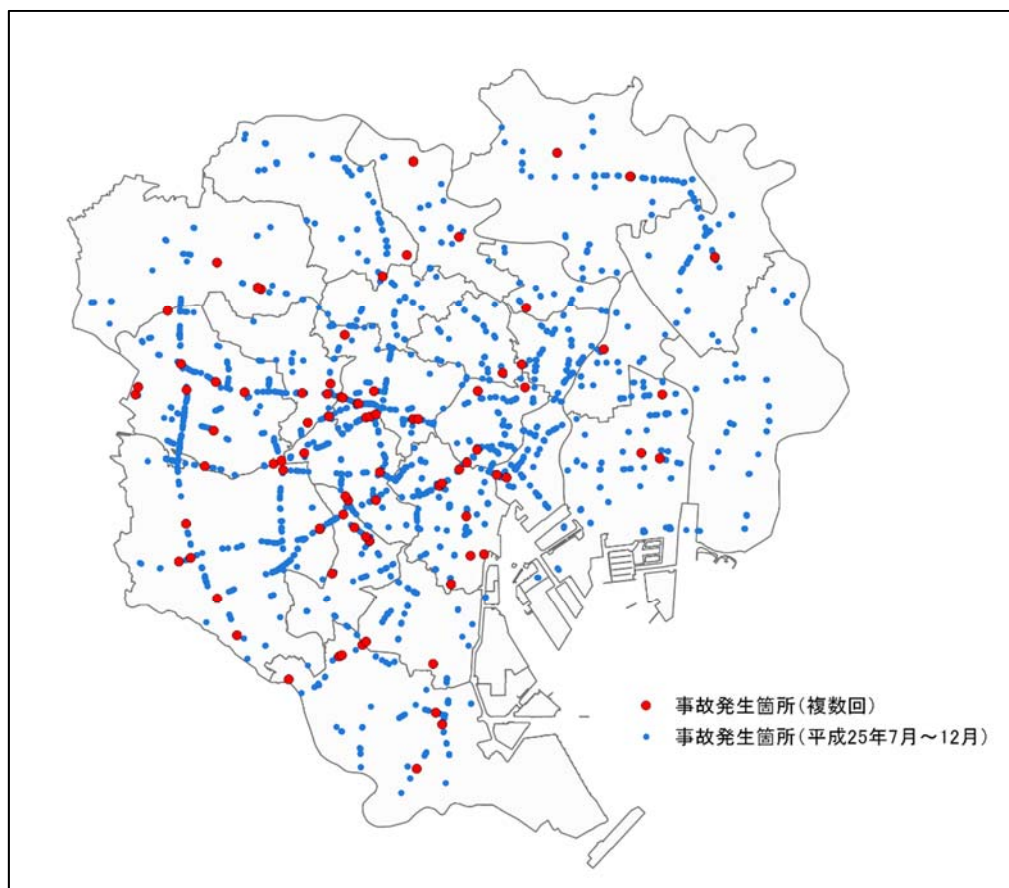


図 4-1 事故発生分布図（全事故）

(2) 項目別の集計結果

① 道路種別発生件数

- 道路種別に見ると、主要都道府県道の事故発生件数が最も多い。

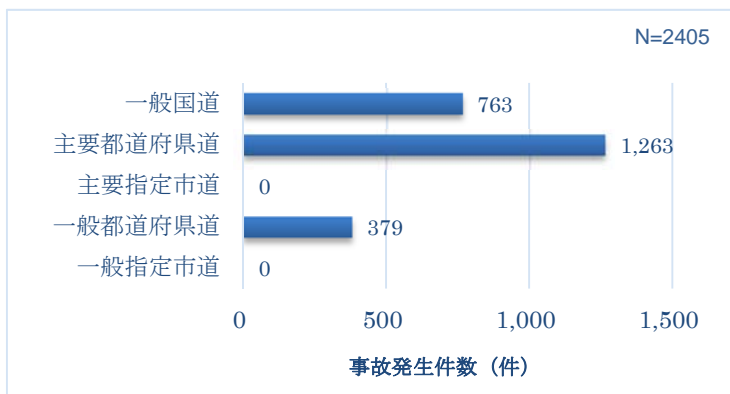


図 4-2 道路種別の事故発生件数 (全事故)

② 上下区分別発生件数

- 上下区分別に見ると、下り線、又は中心より左の事故発生件数が最も多い。

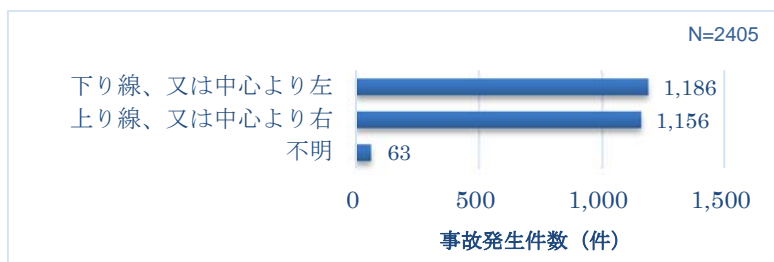


図 4-3 上下区分別の事故発生件数 (全事故)

③ 単交区分別発生件数

- 単交区分別に見ると、単路よりも交差点での事故発生件数が多い。

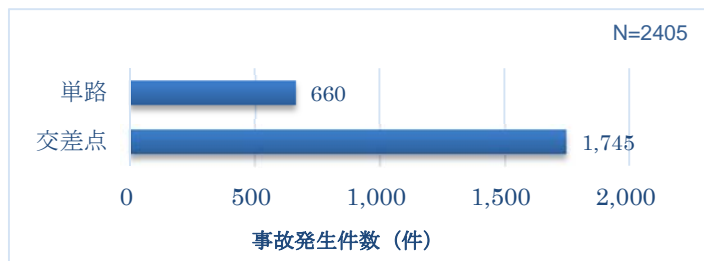


図 4-4 単交区分別の事故発生件数 (全事故)

④ 発生日別発生件数（7月）

- 7月の発生日別に見ると、7月17日の事故発生件数が最も多い。

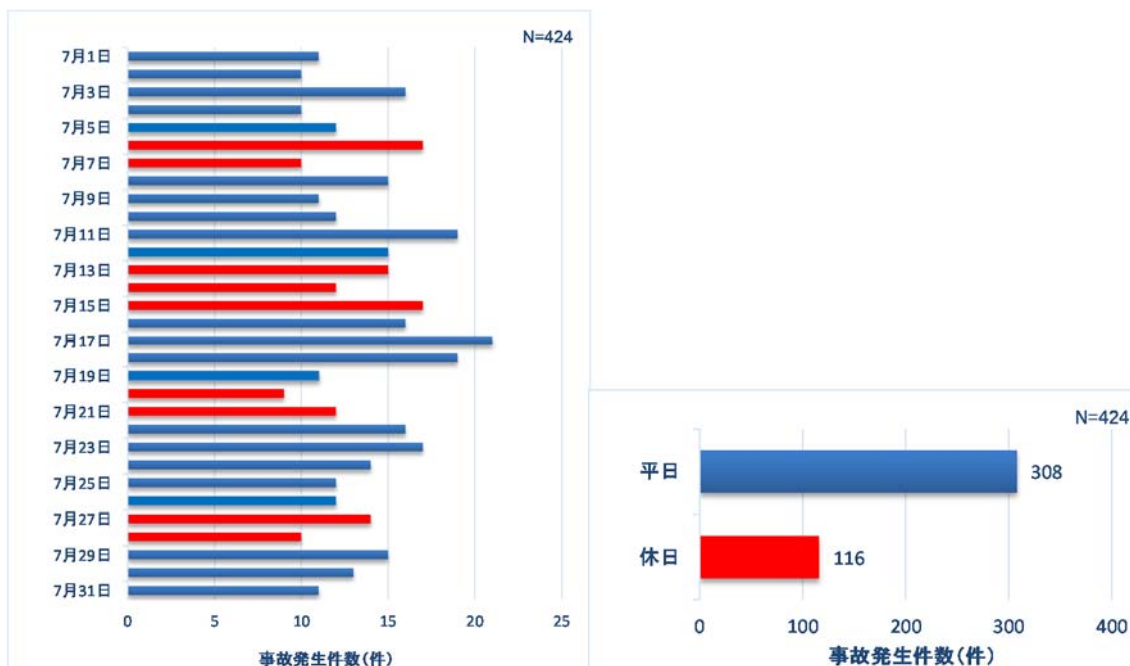


図 4-5 発生日別の事故発生件数（全事故、7月）

⑤ 発生日別発生件数（8月）

- 8月の発生日別に見ると、8月8日の事故発生件数が最も多い。

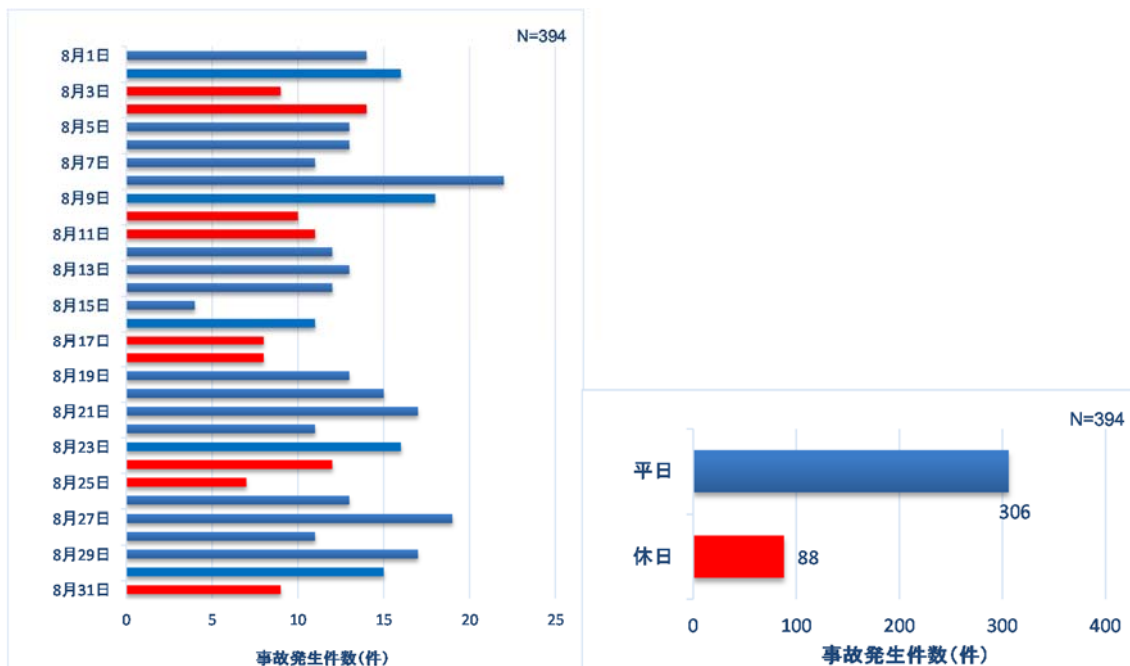


図 4-6 発生日別の事故発生件数（全事故、8月）

⑥ 発生日別発生件数（9月）

- 9月の発生日別に見ると、9月25日の事故発生件数が最も多い。

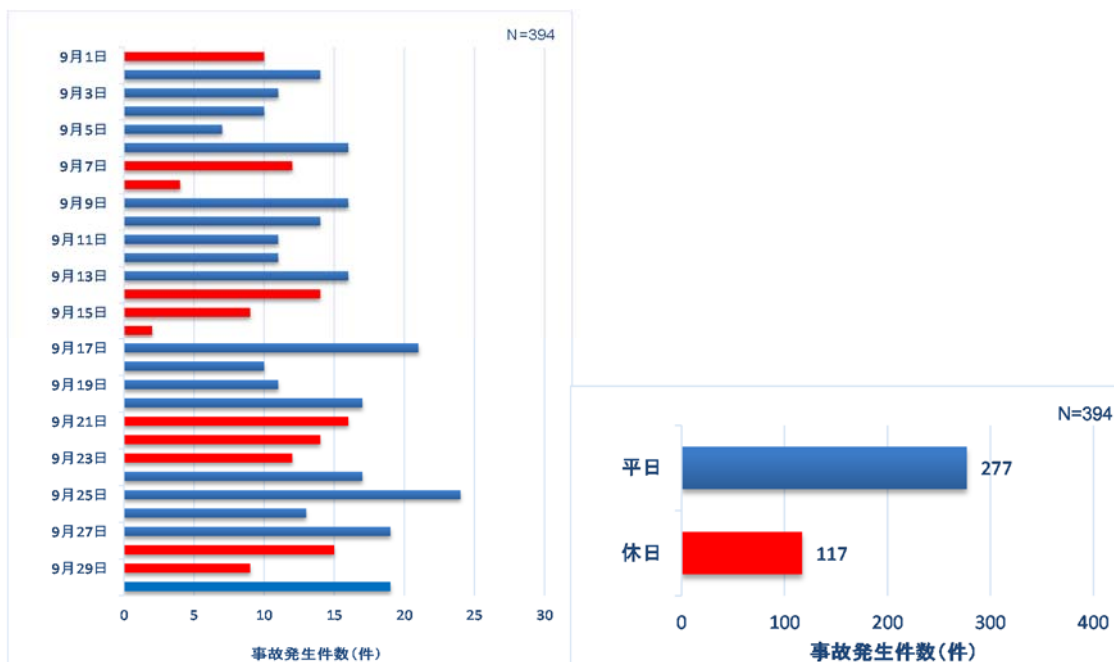


図 4-7 発生日別の事故発生件数（全事故、9月）

⑦ 発生日別発生件数（10月）

- 10月の発生日別に見ると、10月8日の事故発生件数が最も多い。

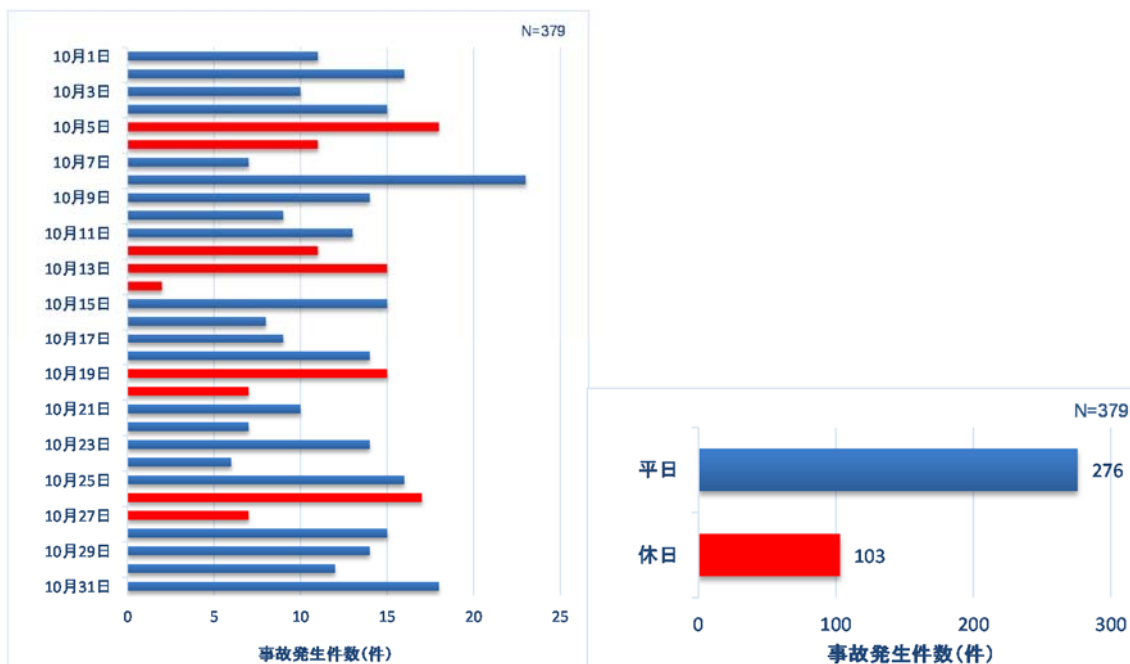


図 4-8 発生日別の事故発生件数（全事故、10月）

⑧ 発生日別発生件数（11月）

- 11月の発生日別に見ると、11月27日の事故発生件数が最も多い。

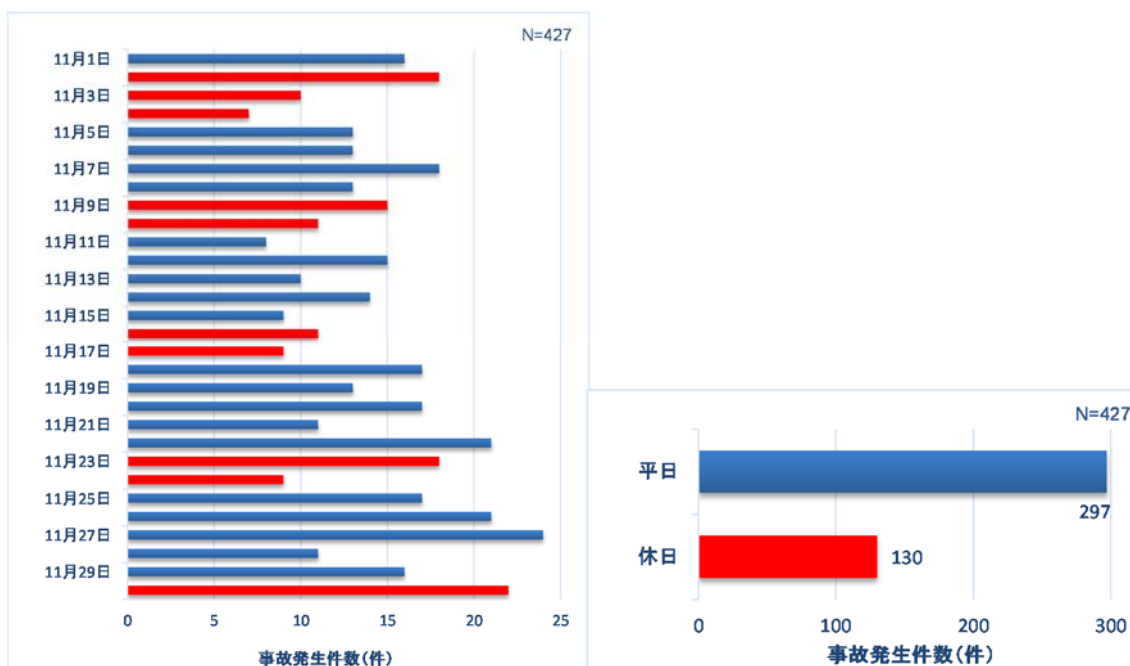


図 4-9 発生日別の事故発生件数（全事故、11月）

⑨ 発生日別発生件数（12月）

- 12月の発生日別に見ると、12月13日の事故発生件数が最も多い。

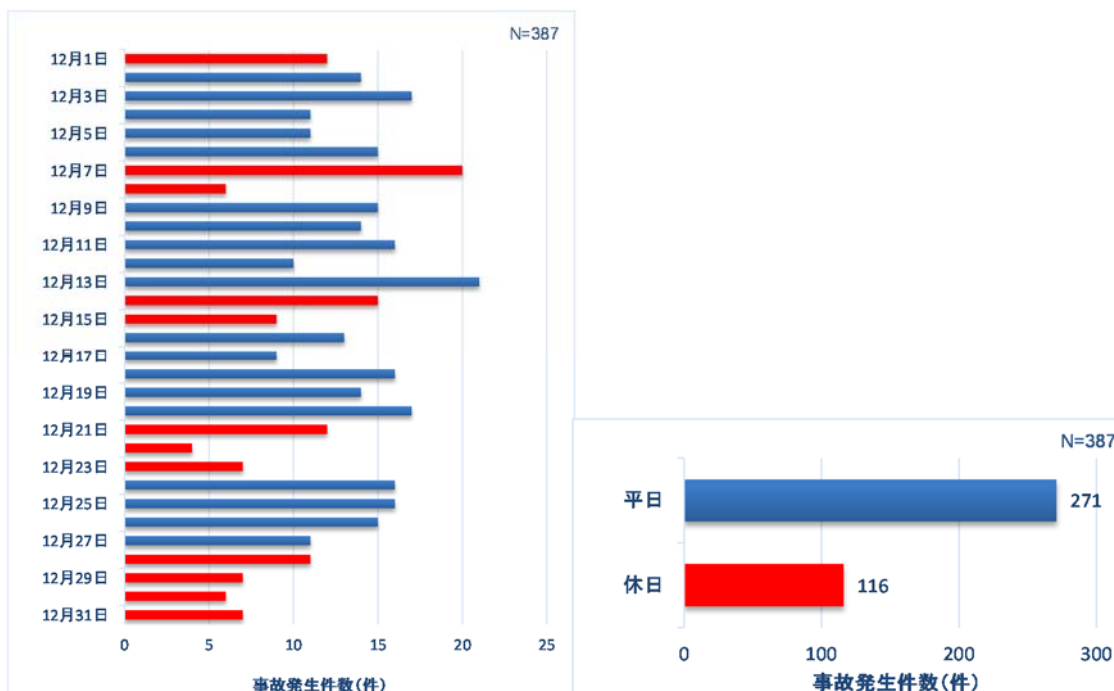


図 4-10 発生日別の事故発生件数（全事故、12月）

⑩ 発生時間別発生件数

- 事故時間別に見ると、8-10時、16-18時、14-16時の事故発生件数が多い。

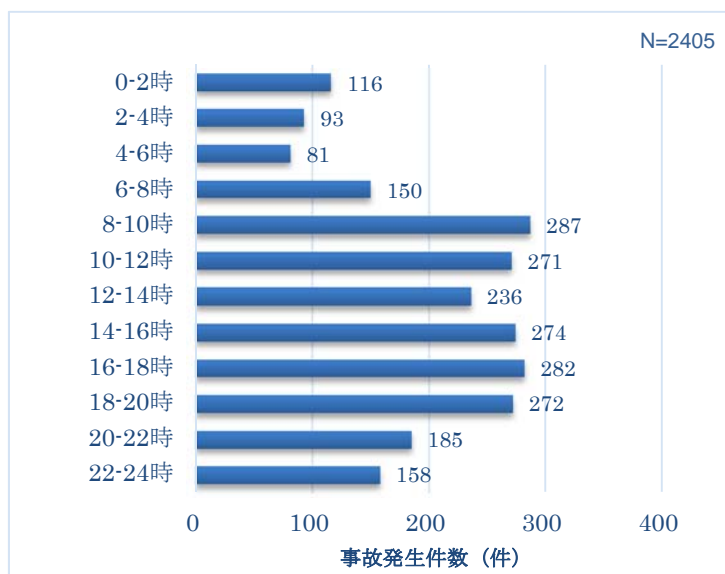


図 4-11 発生時間帯別の事故発生件数 (全事故)

⑪ 路面状態別発生件数

- 路面状態別に見ると、路面乾燥時における事故発生件数が最も多い。

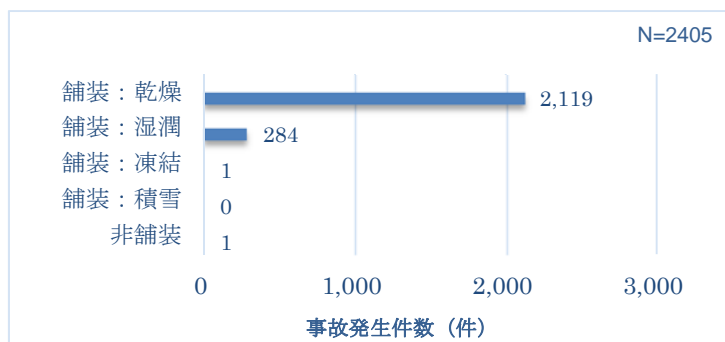


図 4-12 路面状態別の事故発生件数 (全事故)

⑫ 事故類型別発生件数

- 事故類型別に見ると、車両相互（追突）の事故発生件数が最も多い。



図 4-13 事故類型別の事故発生件数（全事故）

⑬ 天候別発生件数

- 天候別に見ると、晴天時における事故発生件数が最も多い。

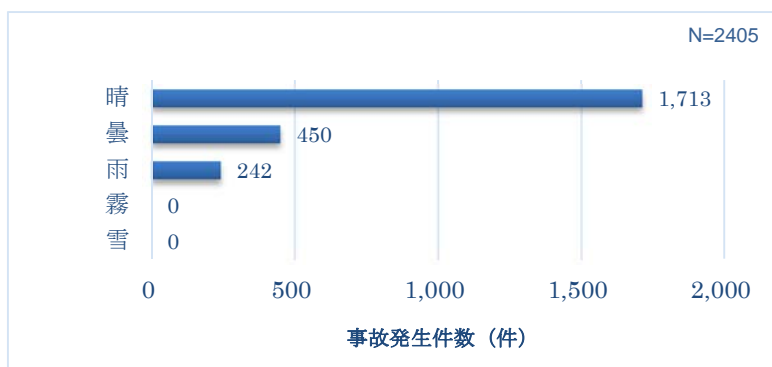


図 4-14 天候別の事故発生件数（全事故）

⑭ 衝突地点別発生件数

- 衝突地点別に見ると、交差点内の事故発生件数が最も多い。

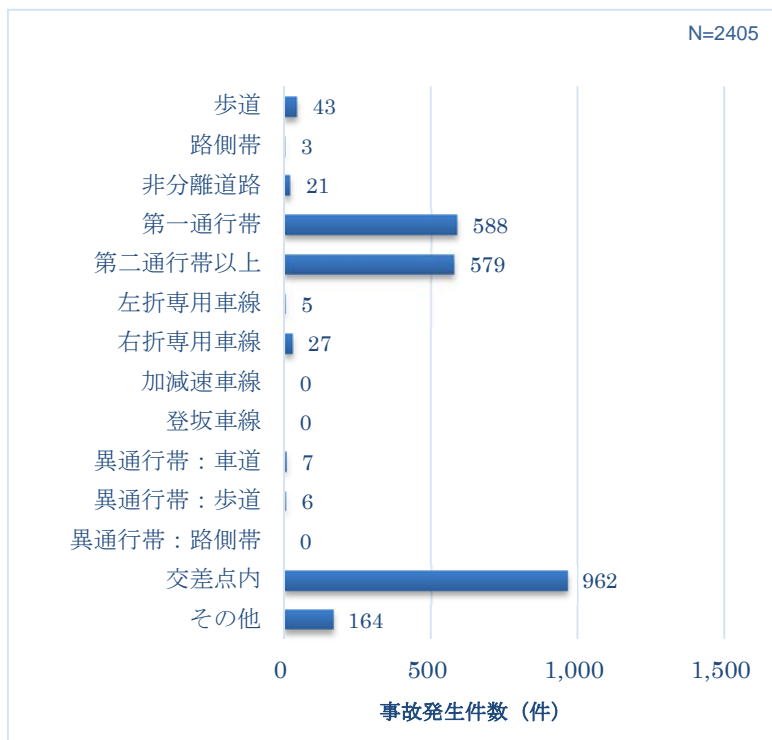


図 4-15 衝突地点別の事故発生件数（全事故）

4.1.3 クロス集計結果

(1) 分析対象の設定

前述のとおり、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「交通事故死者低減効果見積もり手法」開発の第一期間（～2016年度末）では、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」の評価を目標とされており、本集計においてもこの3つの事故類型に着目して集計を行った。

(2) 追突事故に関する集計

交通事故多発箇所（平成25年東京都版事故別データ）のうち、事故類型の「車両相互：追突」について集計した結果を以下に示す。

① 発生件数および発生分布

- 平成25年7～12月の東京23区における追突事故の発生件数は1,021件である。
- 追突事故の発生分布を以下に示す。

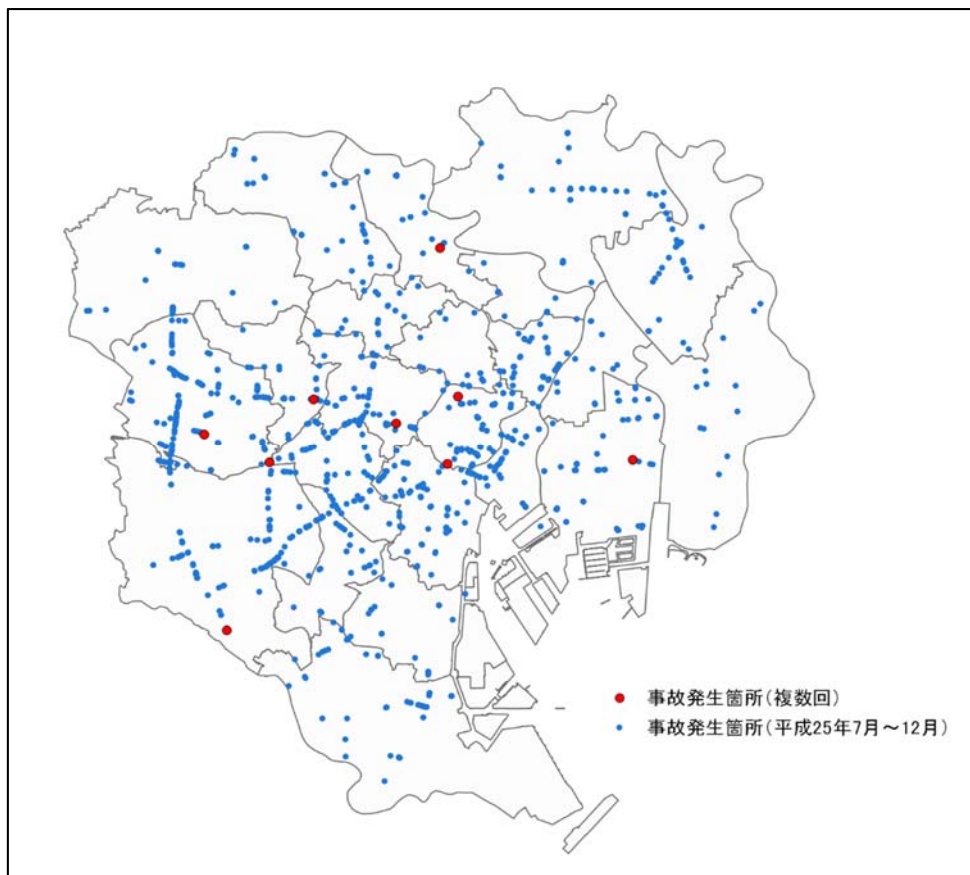


図 4-16 事故発生分布図（追突事故）

② 道路種別発生件数

- 道路種別に見ると、主要都道府県道の事故発生件数が最も多い。

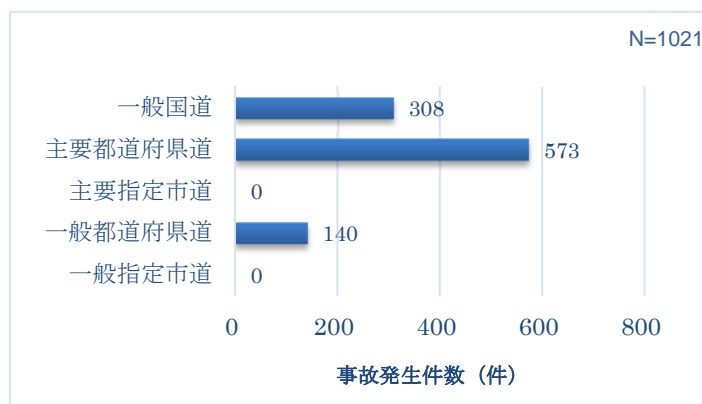


図 4-17 道路種別の事故発生件数（追突事故）

③ 上下区別発生件数

- 上下区別に見ると、下り線、又は中心より左および上り線、又は中心より右の事故発生件数が同数だった。

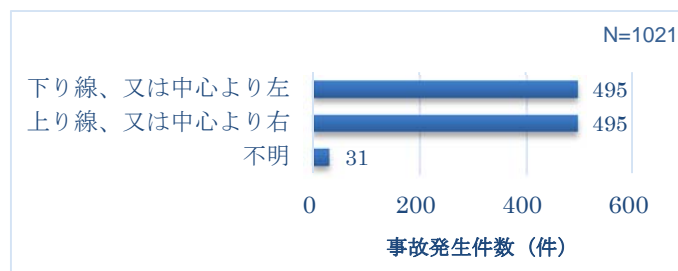


図 4-18 上下区別の事故発生件数（追突事故）

④ 単交区別発生件数

- 単交区別に見ると、交差点での事故発生件数が最も多い。

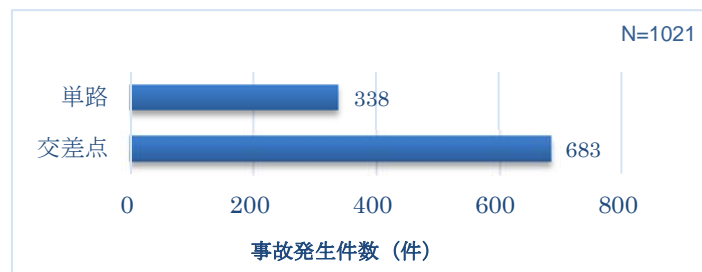


図 4-19 単交区別の事故発生件数（追突事故）

⑤ 発生日別発生件数（7月）

- 7月の発生日別に見ると、7月30日の事故発生件数が最も多い。

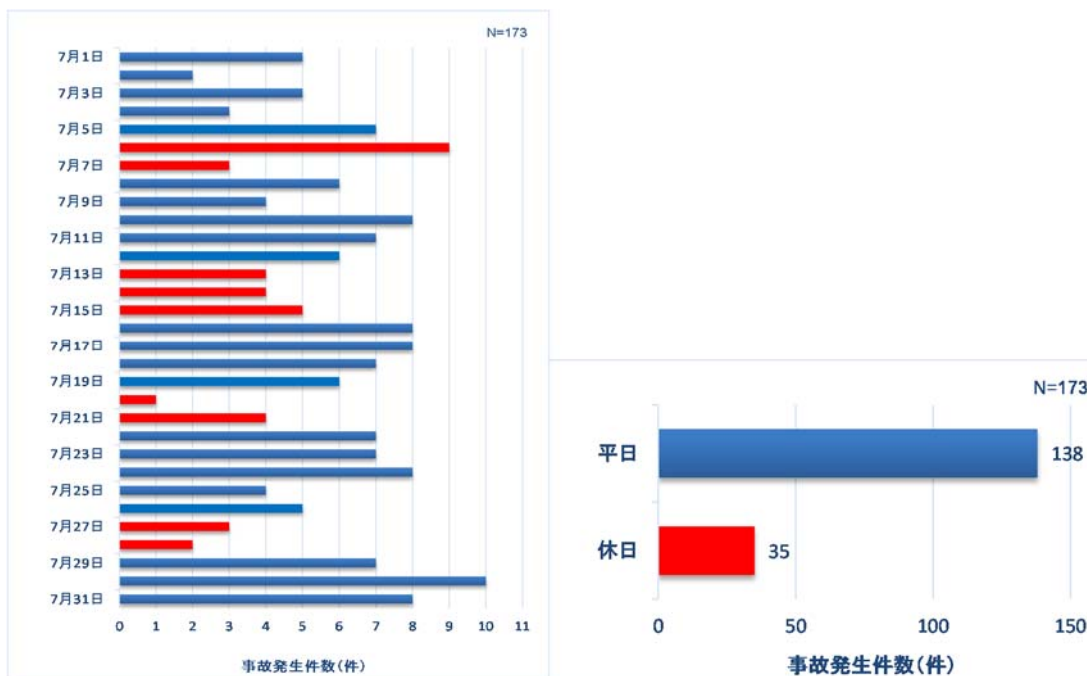


図 4-20 発生日別の事故発生件数（追突事故、7月）

⑥ 発生日別発生件数（8月）

- 8月の発生日別に見ると、8月8日、9日、20日、27日の事故発生件数が多い。

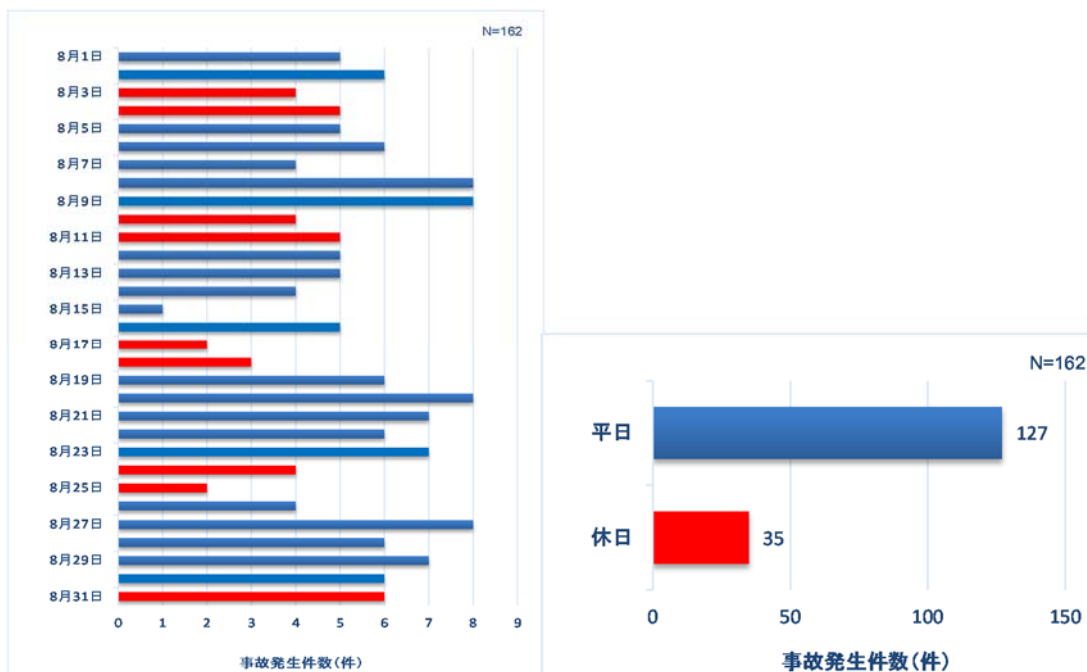


図 4-21 発生日別の事故発生件数（追突事故、8月）

⑦ 発生日別発生件数（9月）

- 9月の発生日別に見ると、9月25日の事故発生件数が最も多い。

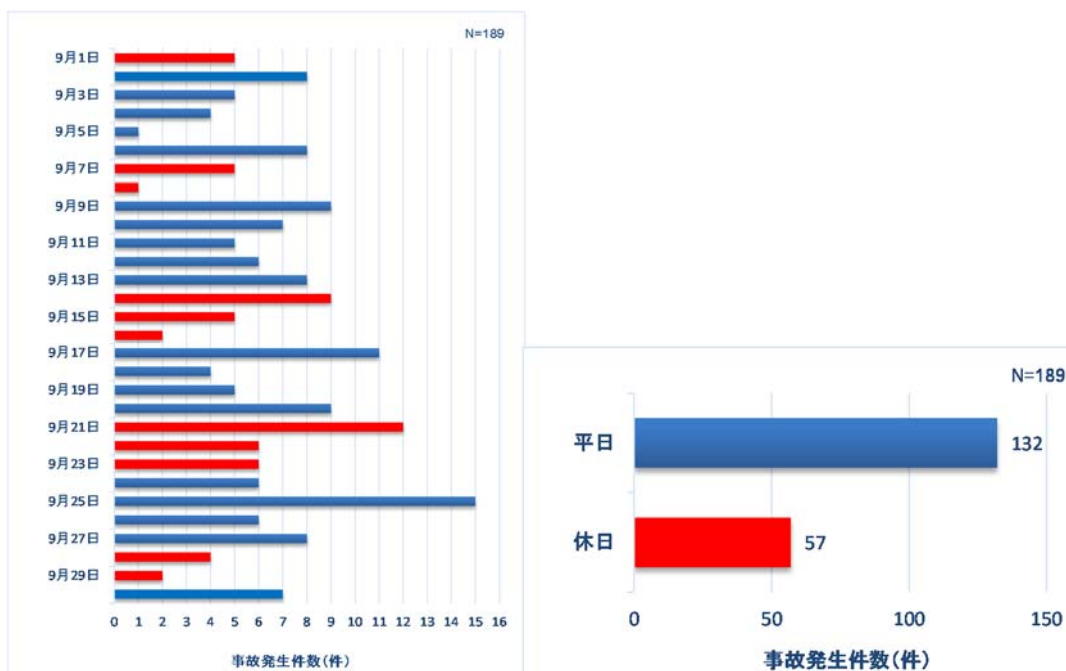


図 4-22 発生日別の事故発生件数（追突事故、9月）

⑧ 発生日別発生件数（10月）

- 10月の発生日別に見ると、10月5日の事故発生件数が最も多い。

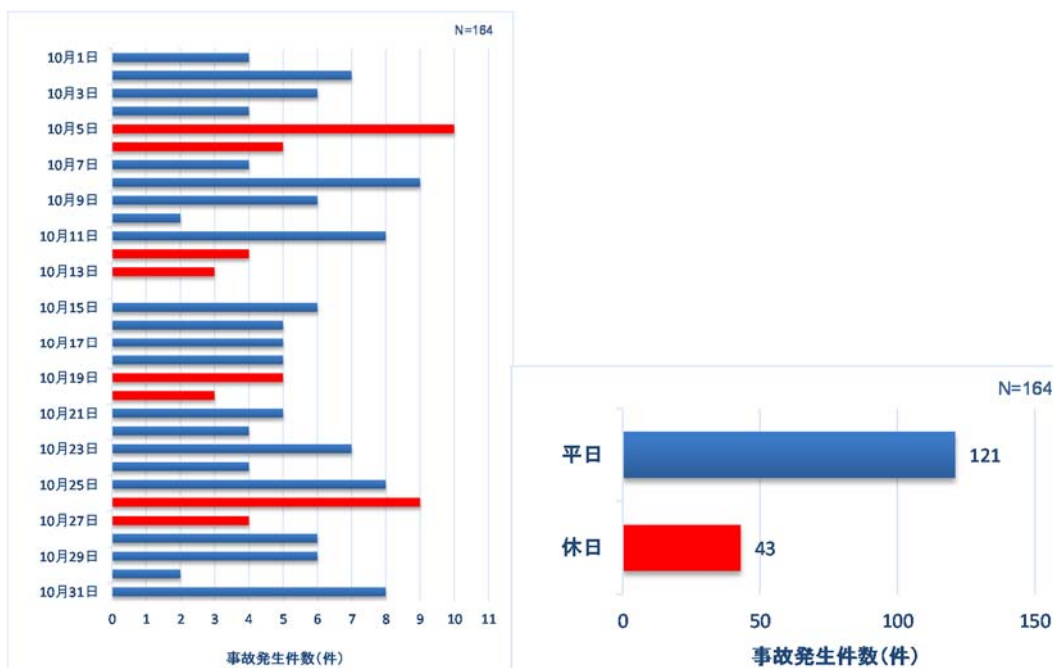


図 4-23 発生日別の事故発生件数（追突事故、10月）

⑨ 発生日別発生件数（11月）

- 11月の発生日別に見ると、11月7日の事故発生件数が最も多い。

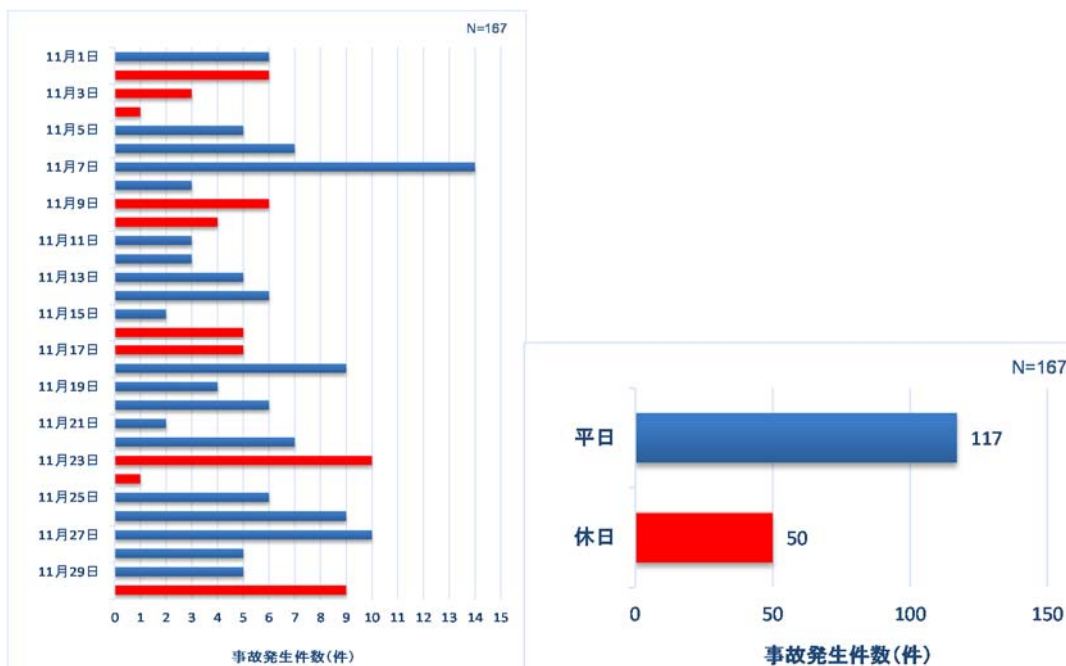


図 4-24 発生日別の事故発生件数（追突事故、11月）

⑩ 発生日別発生件数（12月）

- 12月の発生日別に見ると、12月13日の事故発生件数が最も多い。

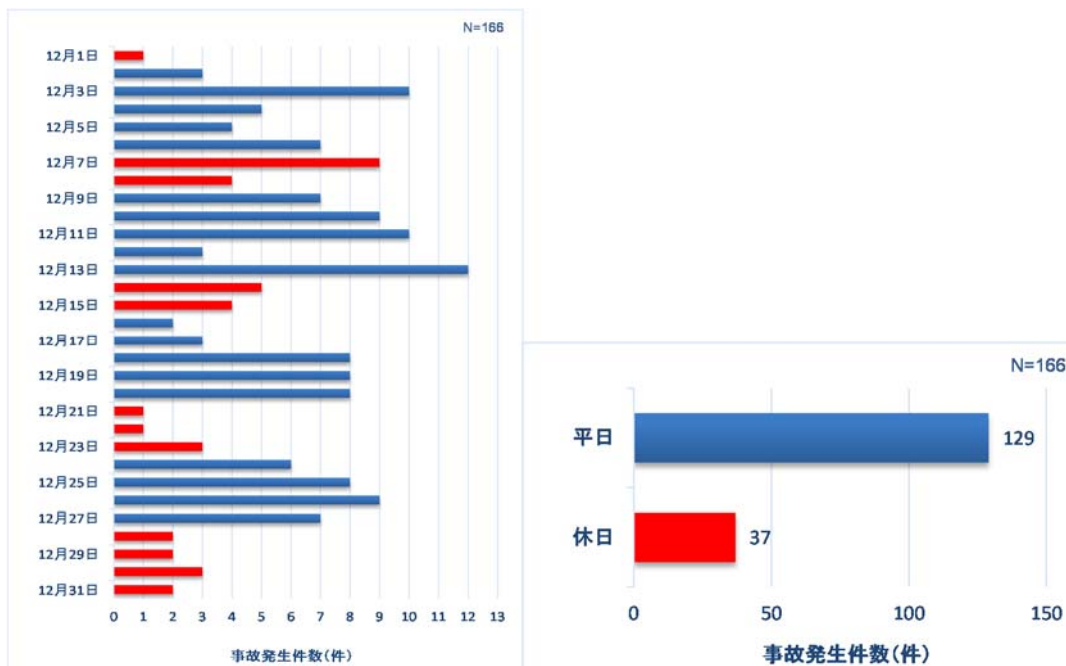


図 4-25 発生日別の事故発生件数（追突事故、12月）

⑪ 発生時間別発生件数

- 事故時間別に見ると、14-16時、16-18時、10-12時の事故発生件数が多い。

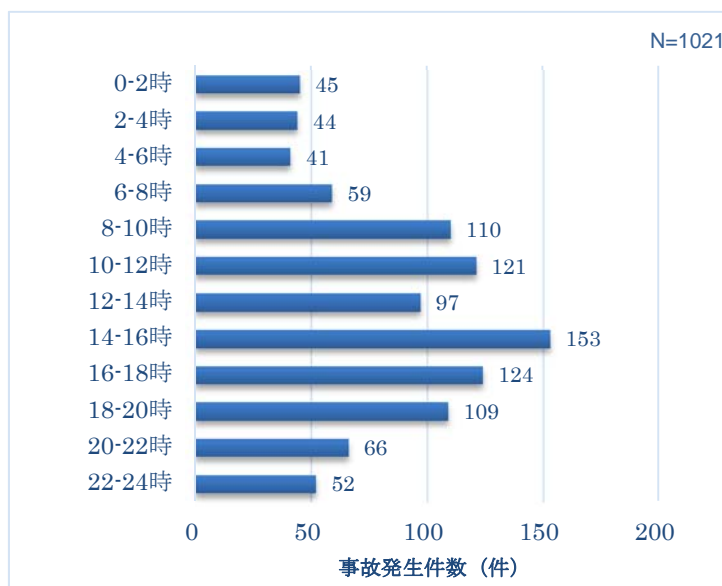


図 4-26 発生時間別の事故発生件数 (追突事故)

⑫ 路面状態別発生件数

- 路面状態別に見ると、路面乾燥時における事故発生件数が最も多い。

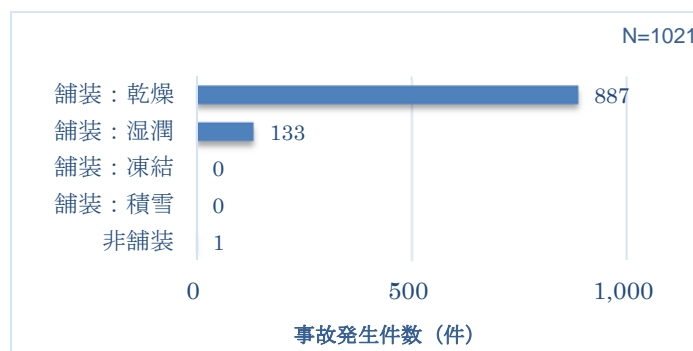


図 4-27 路面状態別の事故発生件数 (追突事故)

⑬ 天候別発生件数

- 天候別に見ると、晴天時における事故発生件数が最も多い。

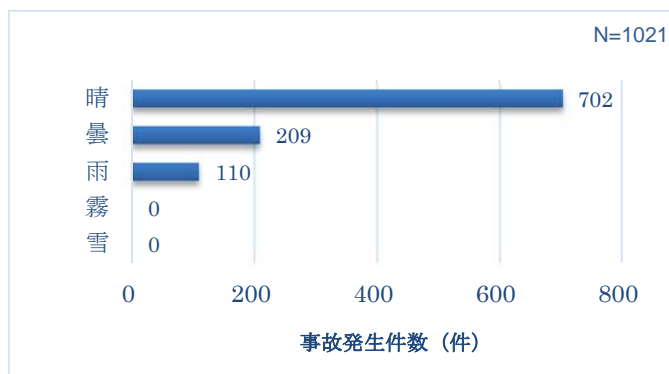


図 4-28 天候別の事故発生件数 (追突事故)

⑭ 衝突地点別発生件数

- 衝突地点別に見ると、第一、第二通行帯以上での事故発生件数が多い。

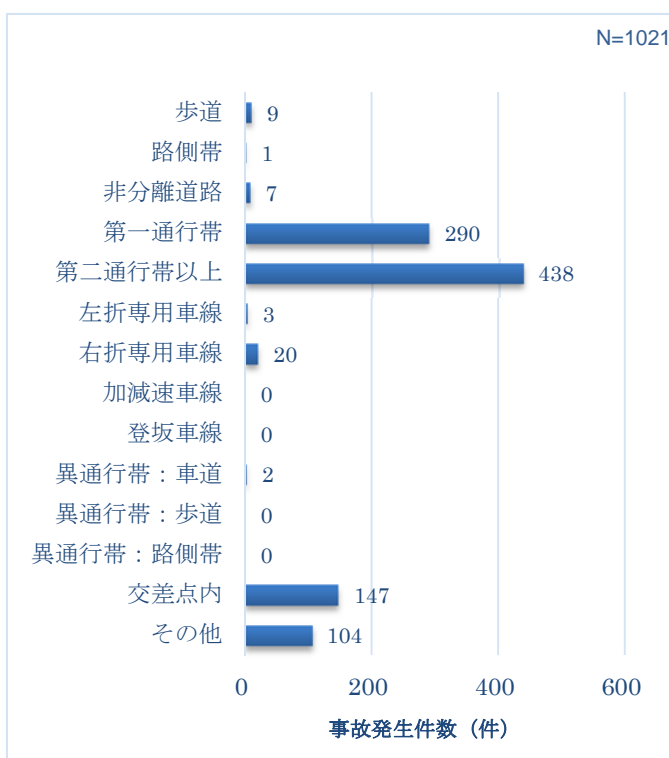


図 4-29 衝突地点別の事故発生件数 (追突事故)

(3) 歩行者横断中の事故に関する集計

交通事故多発箇所（平成 25 東京都版事故別データ）のうち、事故類型が「人対車両」であり、かつ衝突地点が「車道上」の事故を歩行者横断中の事故と判断し、集計した。結果を以下に示す。

① 事故発生件数および発生分布

- 平成 25 年 7～12 月の東京 23 区における歩行者横断中の事故の発生件数は **167** 件である。
- 歩行者横断中の事故の発生分布を以下に示す。

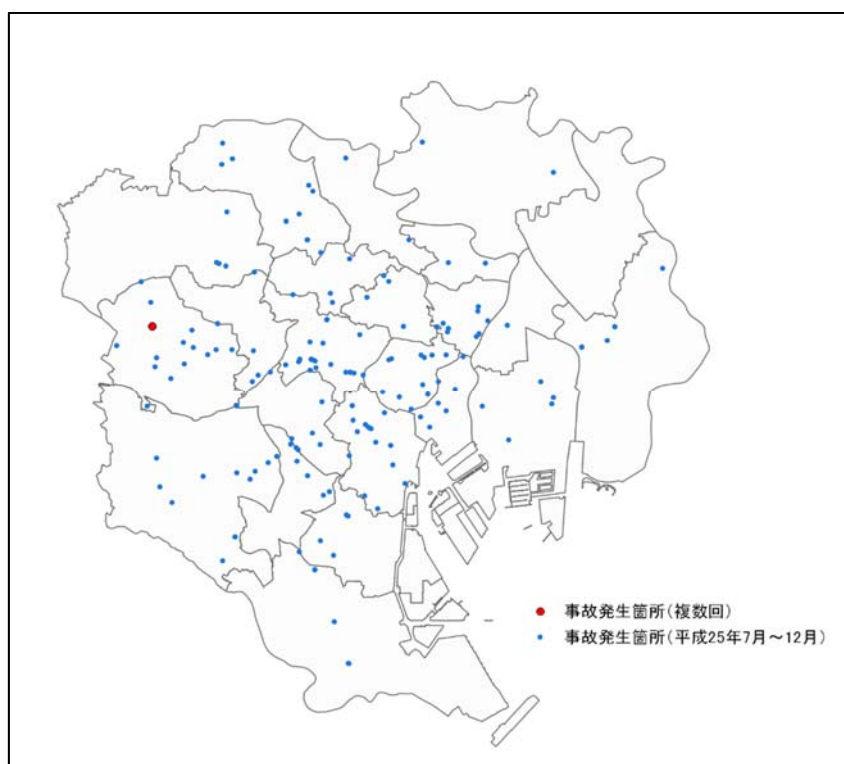


図 4-30 事故発生分布図（歩行者横断中の事故）

② 道路種別発生件数

- 道路種別に見ると、主要都道府県道の事故発生件数が最も多い。

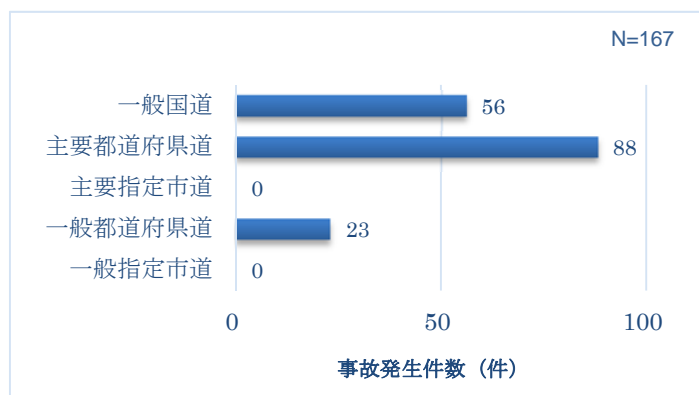


図 4-31 道路種別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

③ 上下区分別発生件数

- 上下区分別に見ると、下り線、又は中心より左の事故発生件数が最も多い。

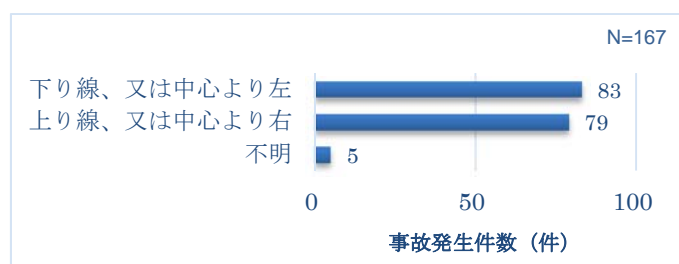


図 4-32 上下区分別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

④ 単交区分別発生件数

- 単交区分別に見ると、交差点での事故発生件数が最も多い。

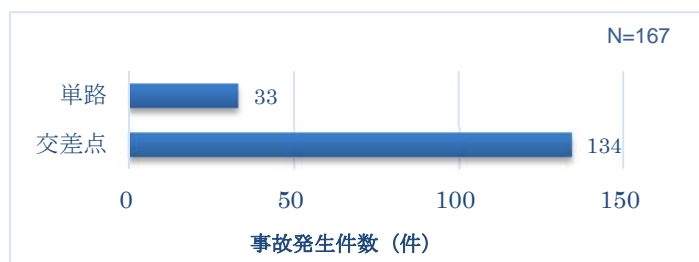


図 4-33 単交区分別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

⑤ 発生日別発生件数（7月）

- 7月の発生日別に見ると、7月17日の事故発生件数が最も多い。

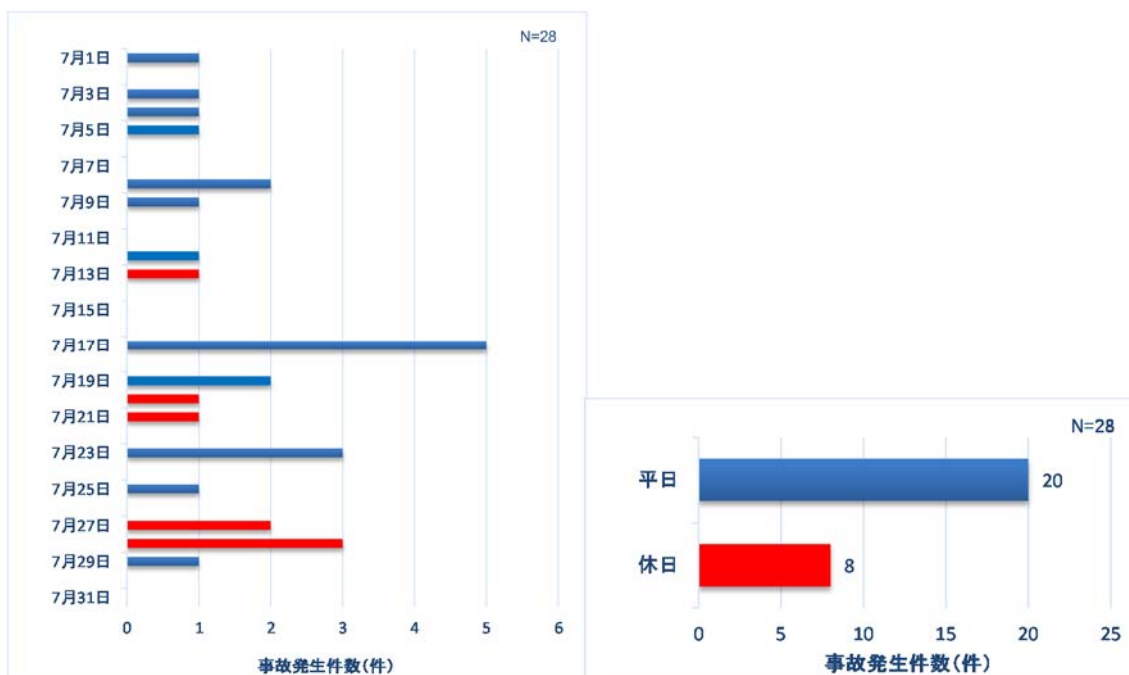


図 4-34 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、7月）

⑥ 発生日別発生件数（8月）

- 8月の発生日別に見ると、8月31日の事故発生件数が最も多い。

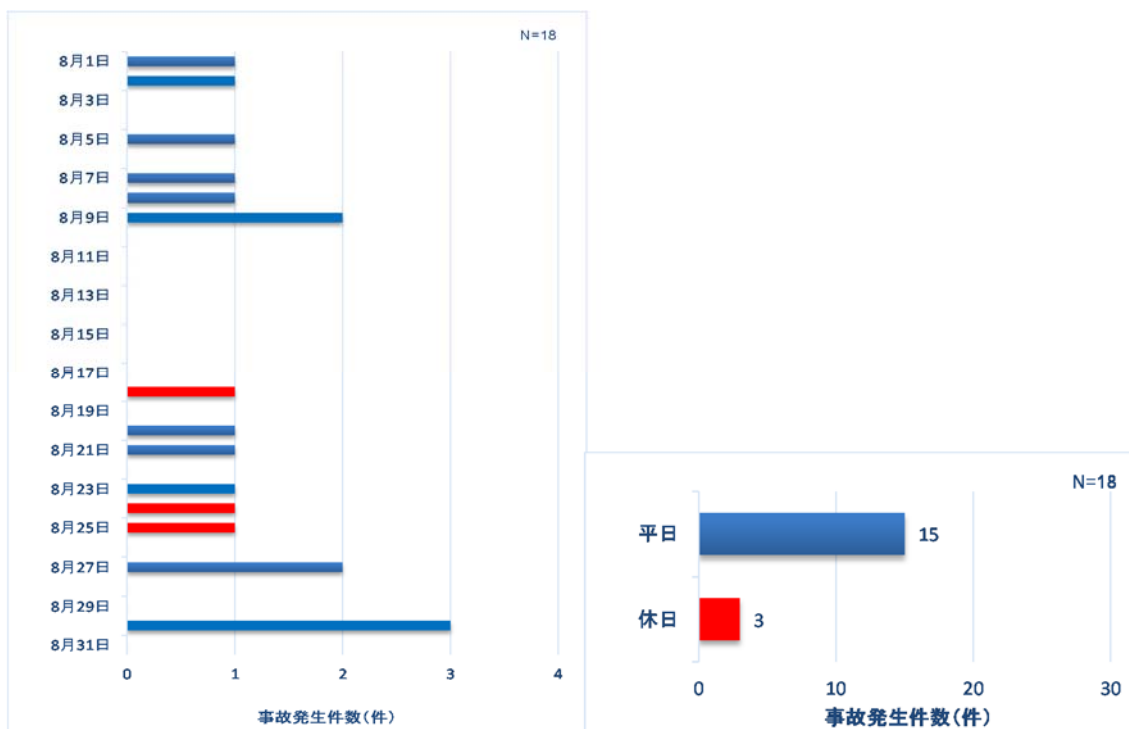


図 4-35 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、8月）

⑦ 発生日別発生件数（9月）

- 9月の発生日別に見ると、9月13日、14日、28日の事故発生件数が多い。

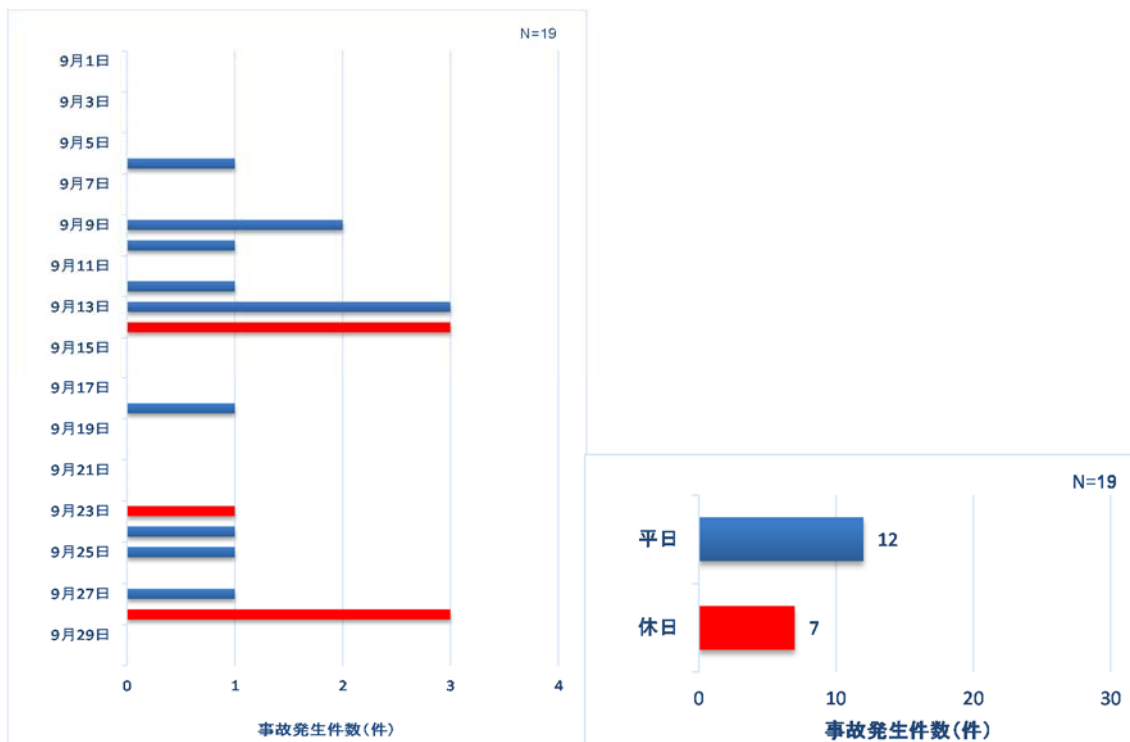


図 4-36 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、9月）

⑧ 発生日別発生件数（10月）

- 10月の発生日別に見ると、10月2日の事故発生件数が最も多い。

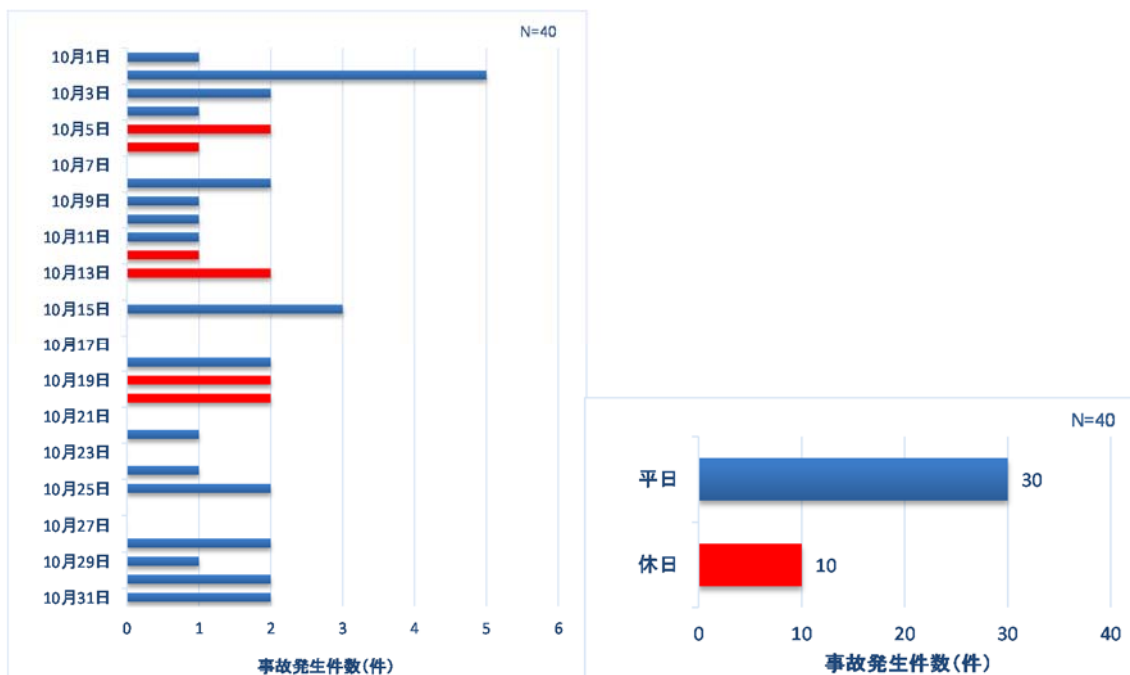


図 4-37 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、10月）

⑨ 発生日別発生件数（11月）

- 11月の発生日別に見ると、11月27日の事故発生件数が最も多い。

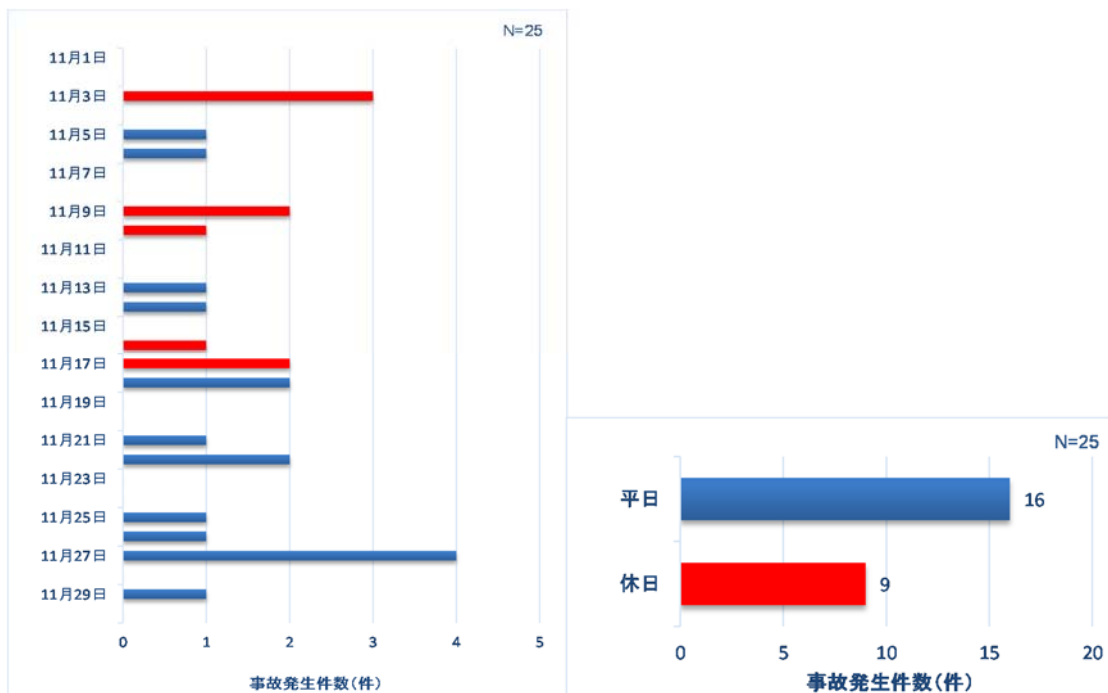


図 4-38 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、11月）

⑩ 発生日別発生件数（12月）

- 12月の発生日別に見ると、12月18日の事故発生件数が最も多い。

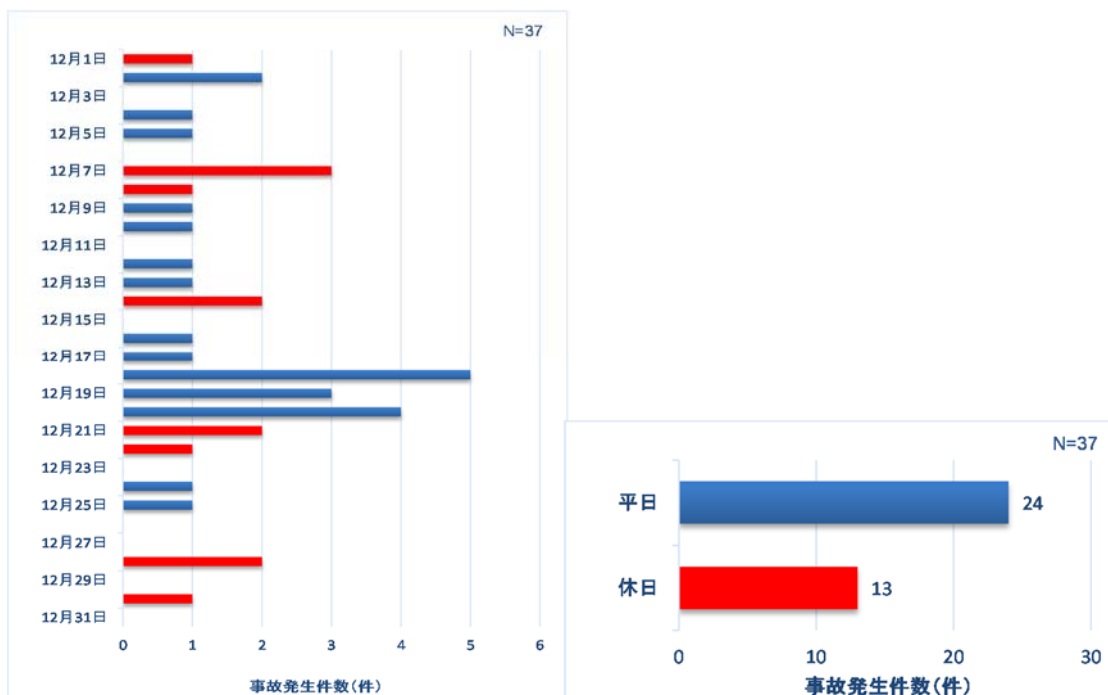


図 4-39 発生日別の事故発生件数（歩行者横断中の事故、12月）

⑪ 発生時間別発生件数

- 事故時間別に見ると、18-20時の事故発生件数が多い。

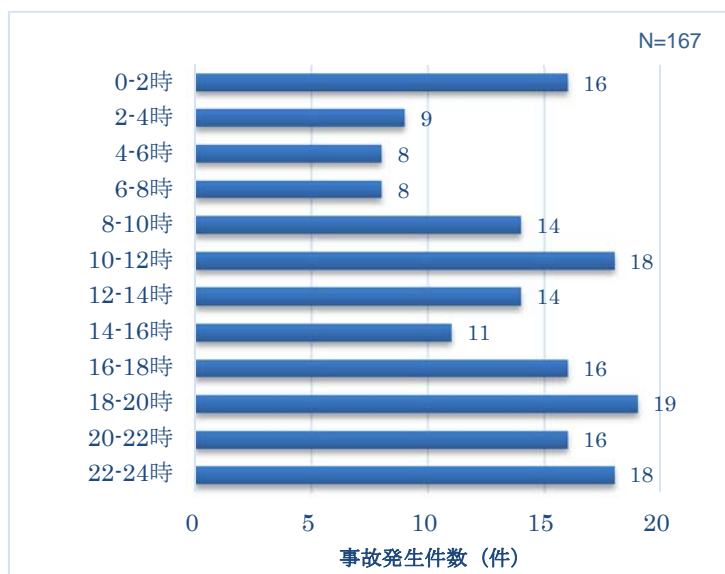


図 4-40 発生時間別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

⑫ 路面状態別発生件数

- 路面状態別に見ると、路面乾燥時における事故発生件数が最も多い。

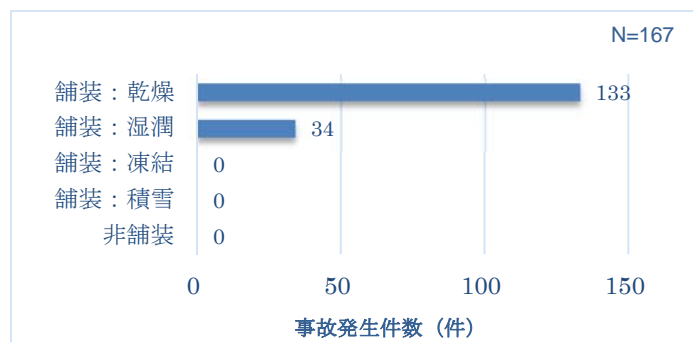


図 4-41 路面状態別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

⑬ 天候別発生件数

- 天候別に見ると、晴天時における事故発生件数が最も多い。

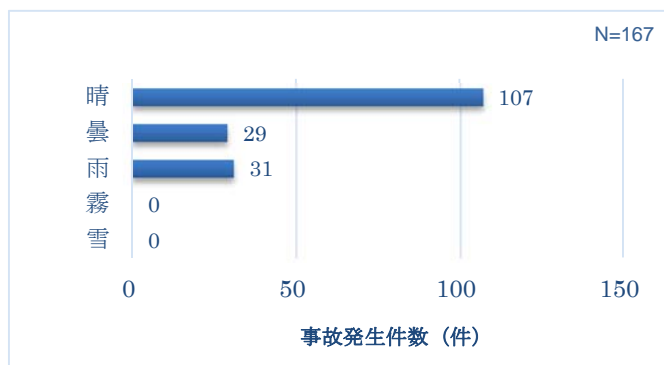


図 4-42 天候別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

⑭ 衝突地点別発生件数

- 衝突地点別に見ると、交差点内の事故発生件数が最も多い。

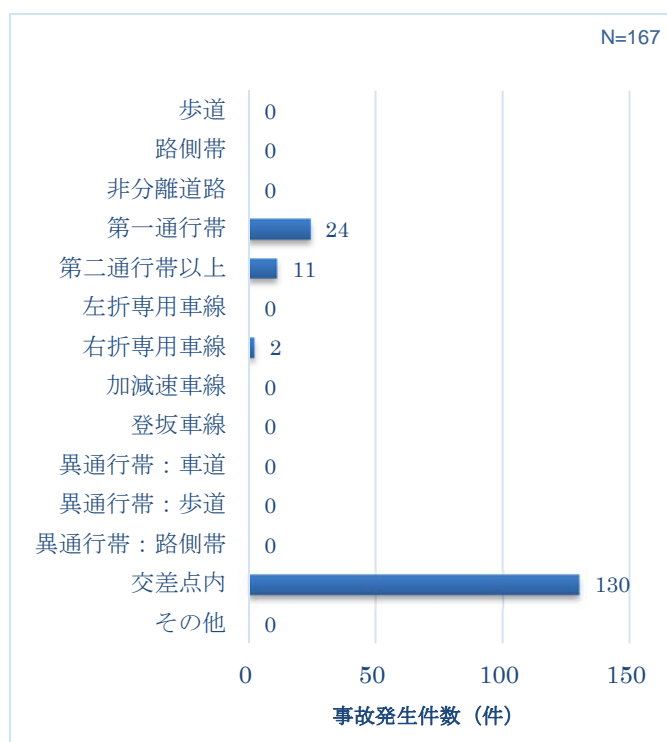


図 4-43 衝突地点別の事故発生件数（歩行者横断中の事故）

(4) 車線逸脱に起因する事故に関する集計

交通事故多発箇所(H25 東京都版事故別データ)のうち、事故類型が「車両単独」である事故を集計した。但し、交通事故死者低減効果見積もり手法における「車線逸脱に起因する事故」とは、車両単独事故のうち路外逸脱や電柱・標識・防護柵等の工作物衝突としているが、本集計で扱う「車両単独」の事故には路外逸脱、工作物衝突の他、駐車車両（運転者不在）への衝突や転倒等の相手なしの事故を含んでいる。

結果を以下に示す。

① 事故発生件数および発生分布

- 平成 25 年 7～12 月の東京 23 区における車線逸脱に起因する事故の発生件数は **16 件**である。
- 車線逸脱に起因する事故の発生分布を以下に示す。



図 4-44 事故発生分布図（車線逸脱に起因する事故）

② 道路種別発生件数

- 道路種別に見ると、主要都道府県道の事故発生件数が最も多い。

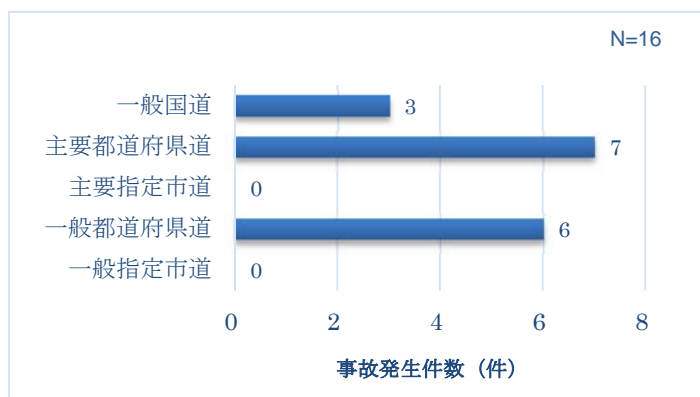


図 4-45 道路種別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

③ 上下区分別発生件数

- 上下区分別に見ると、上り線、又は中心より右の事故発生件数が最も多い。

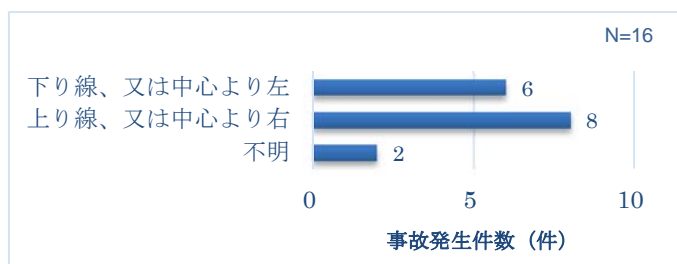


図 4-46 上下区分別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

④ 単交区分別発生件数

- 単交区分別に見ると、交差点での事故発生件数が最も多い。

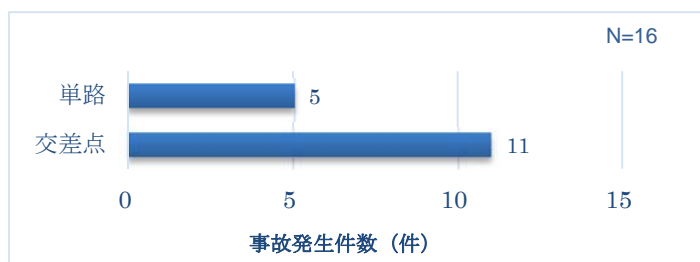


図 4-47 単交区分別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

⑤ 発生日別発生件数（7月）

- 7月の発生日別に見ると、7月5日、13日、15日に1件ずつの事故が発生した。

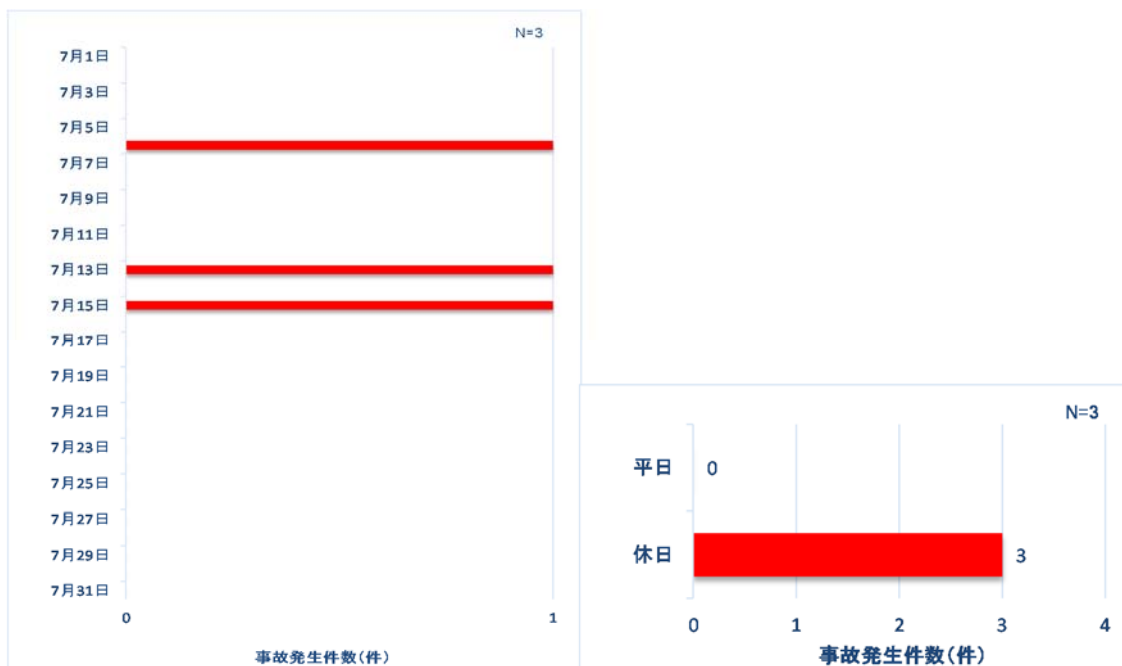


図 4-48 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、7月）

⑥ 発生日別発生件数（8月）

- 8月の発生日別に見ると、8月9日、14日、15日、19日、22日に1件ずつの事故が発生した。

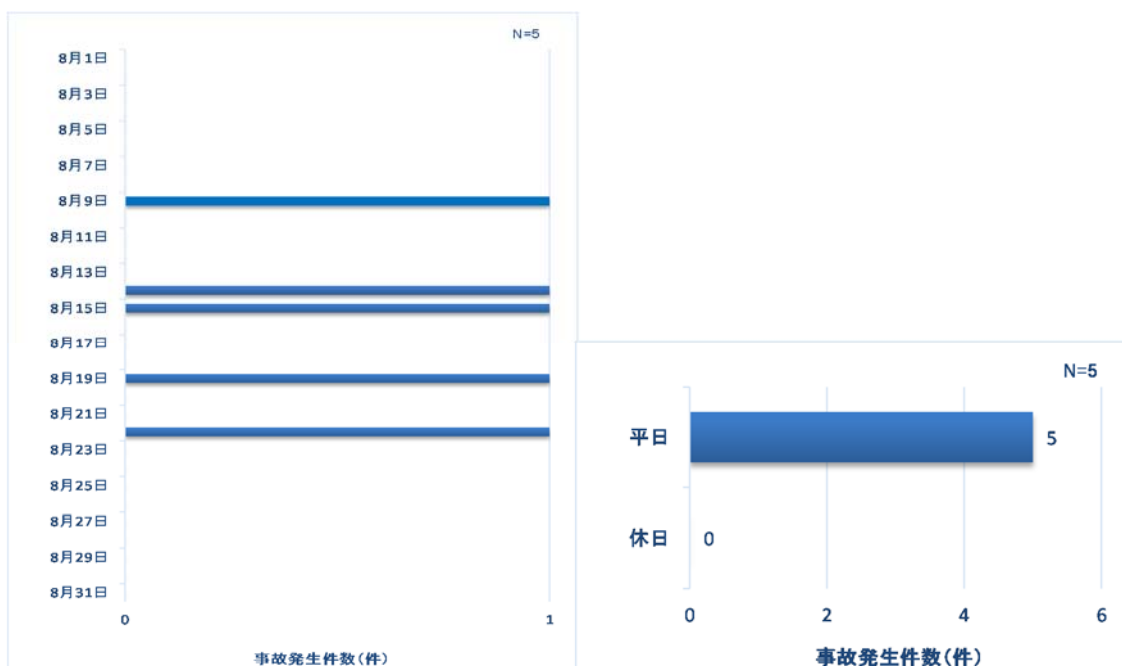


図 4-49 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、8月）

⑦ 発生日別発生件数（9月）

- 9月の発生日別に見ると、9月15日、20日、27日、28日に1件ずつの事故が発生した。

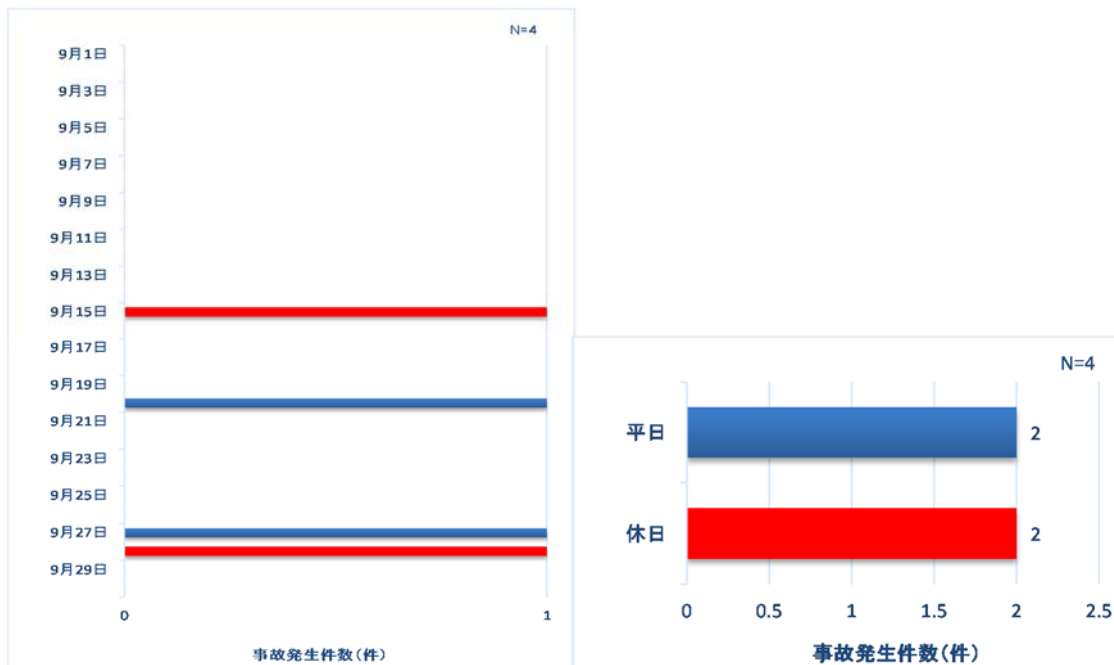


図 4-50 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、9月）

⑧ 発生日別発生件数（10月）

- 10月の発生日別に見ると、10月に事故は発生しなかった。

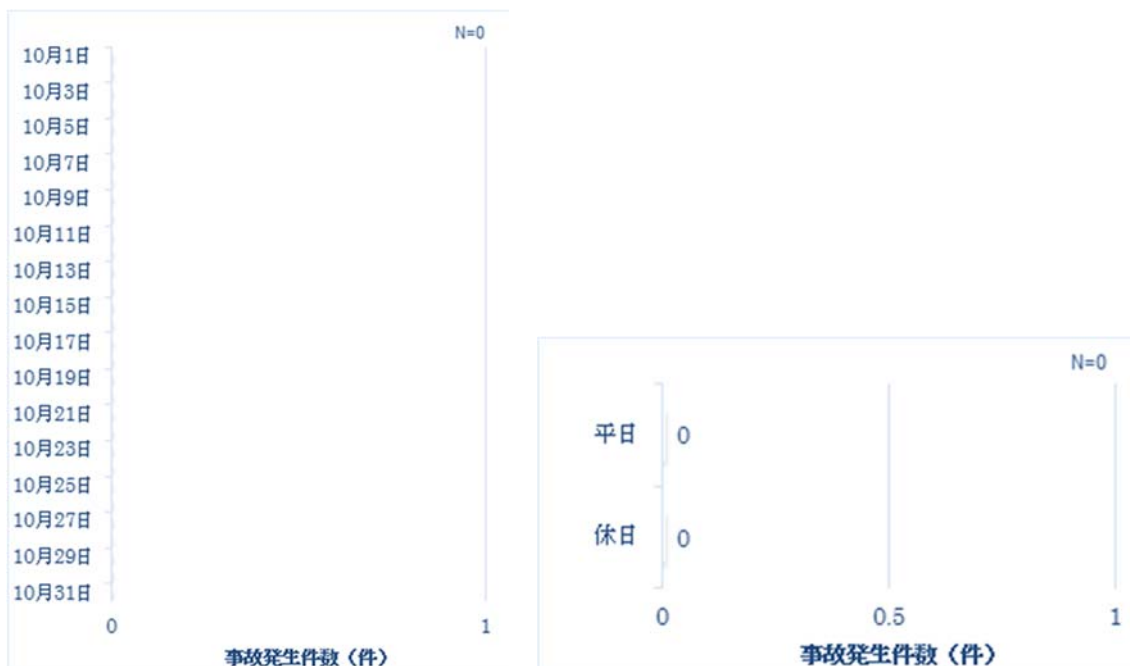


図 4-51 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、10月）

⑨ 発生日別発生件数（11月）

- 11月の発生日別に見ると、11月29日に1件の事故が発生した。

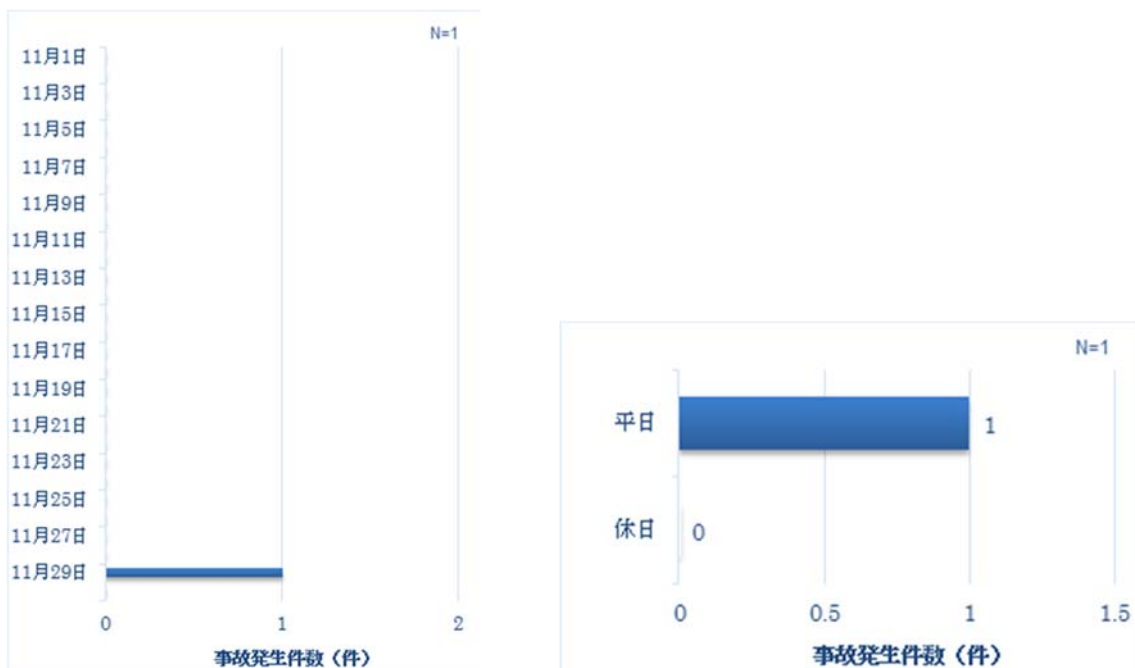


図 4-52 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、11月）

⑩ 発生日別発生件数（12月）

- 12月の発生日別に見ると、12月5日と14日と24日に1件ずつの事故が発生した。

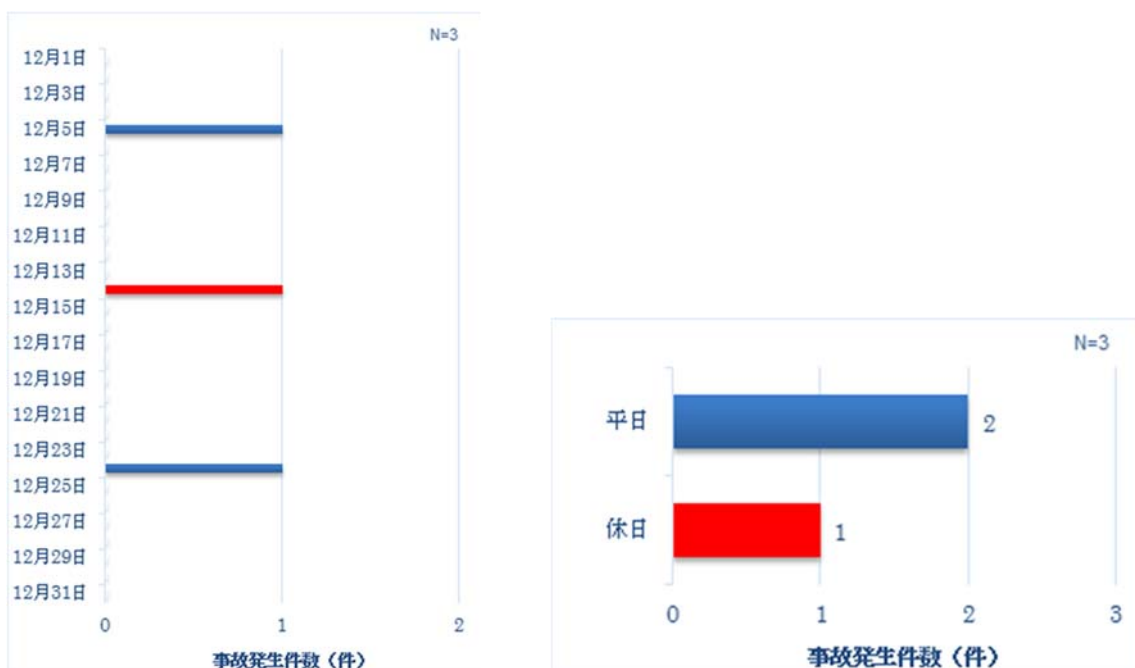


図 4-53 発生日別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故、12月）

⑪ 発生時間別発生件数

- 事故時間別に見ると、14-16時の事故発生件数が多い。

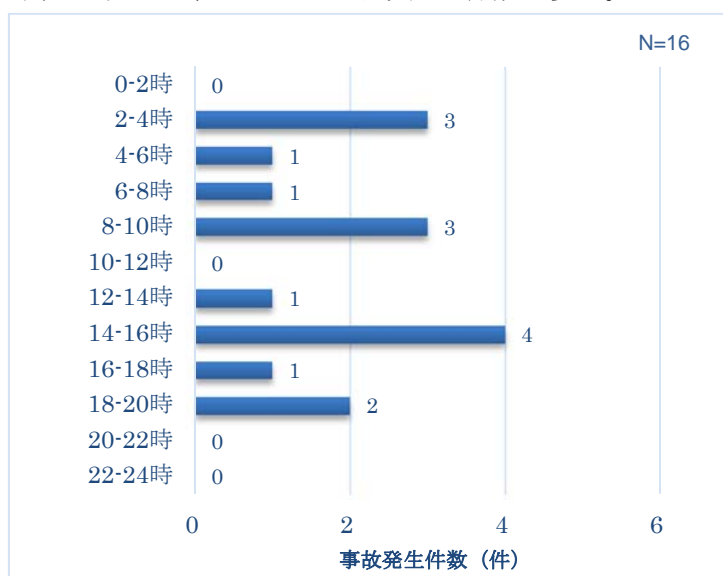


図 4-54 発生時間別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

⑫ 路面状態別発生件数

- 路面状態別に見ると、路面乾燥時において事故が発生している。

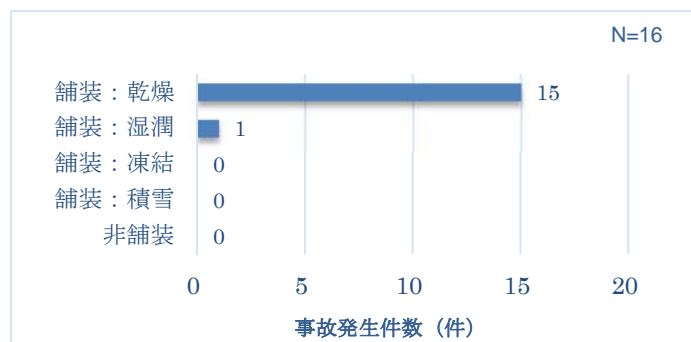


図 4-55 路面状態別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

⑬ 天候別発生件数

- 天候別に見ると、晴天時において事故が発生している。

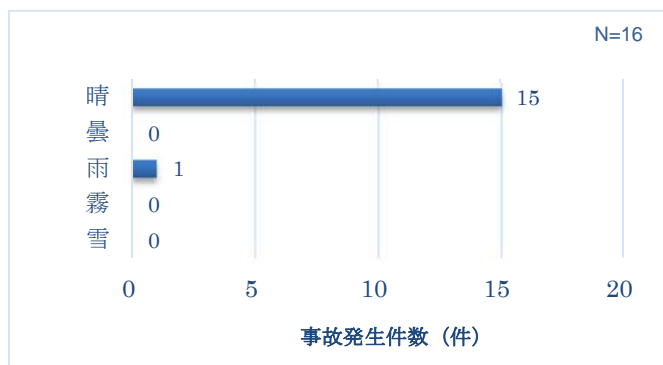


図 4-56 天候別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

⑭ 衝突地点別発生件数

- 衝突地点別に見ると、交差点内の事故発生件数が最も多い。

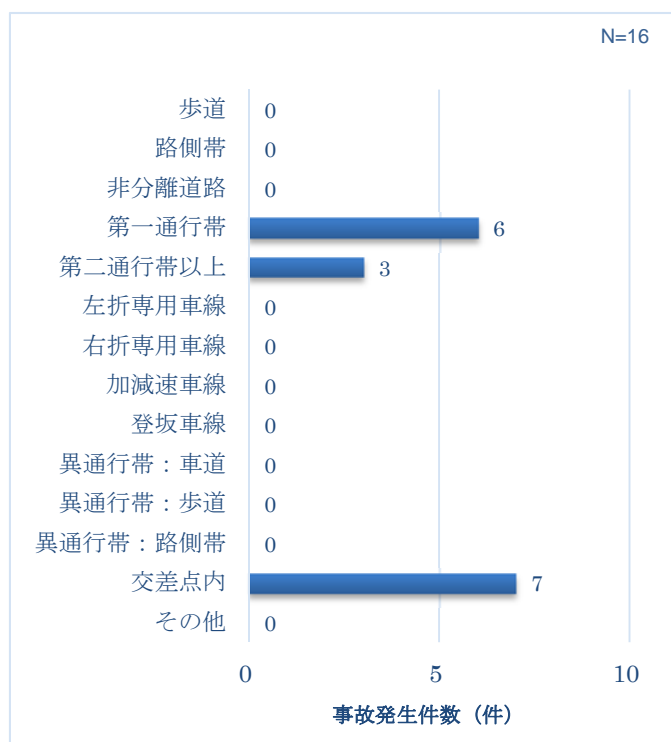


図 4-57 衝突地点別の事故発生件数（車線逸脱に起因する事故）

4.2 渋滞損失・環境インパクト低減に関する分析

4.2.1 評価プロセスの整理

自動走行により事故が減少したときの渋滞損失・環境インパクトの低減効果を評価するプロセスを図 4-58 のとおり整理した。事故影響評価マクロ交通シミュレーション（2章に詳述）により、事故発生路線および周辺路線を含むエリア全体の事故前後の交通量・旅行速度を算出し、それをマクロ CO₂ 排出量（3章に詳述）へと入力することで、事故による CO₂ 排出量を算出する。この結果を別途開発中の「交通事故死者数低減効果見積解析手法」と連携することで、CO₂ 排出削減効果を算出する。

今年度は、事故影響評価マクロ交通シミュレーションを実行するための入力値を算出するために、後述する「①代表区間の設定」、「②交通事故による速度低下量の分析」、「③代表区間の Q-V 曲線の作成」、「④交通事故による交通容量の低下量の把握」について、追突事故をケーススタディとして分析を行った。

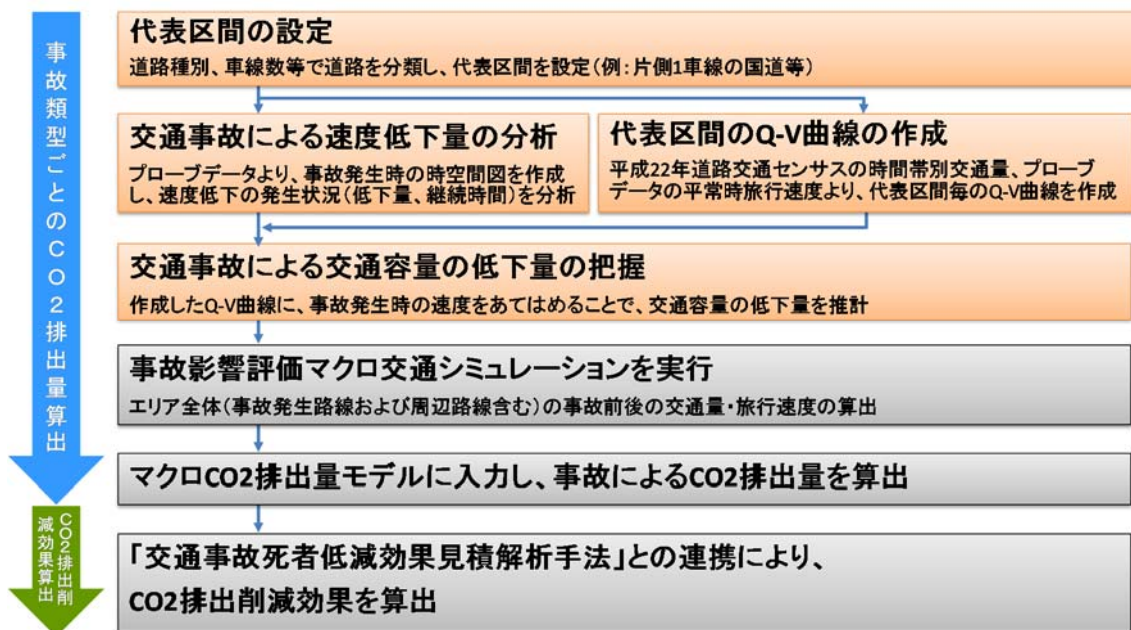


図 4-58 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価プロセス

4.2.2 使用データの概要

(1) 使用データ

本事業で分析に使用するデータは、ITARDAによる「事故多発箇所データ」、民間テレマティクス事業者による「民間プローブデータ」および国土交通省による「平成22年度道路交通センサス調査 一般交通量調査 時間帯別交通量表」である。

(2) データ項目

① 交通事故多発箇所データ

使用する交通事故多発箇所データは、以下のとおりである。

- データ：交通事故多発箇所データ（事故別データ）
- 対象期間：平成25年7月1日～平成25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
- 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
- 対象事故サンプル数：1030 サンプル※

※上下区分が不明のサンプルは除外

② プローブデータ

プローブデータの収録項目は、表 4-1 のとおりである。

- データ：道路リンク単位の旅行速度データ（10分ごと、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
- データ項目：下表のとおり

表 4-1 プローブデータの収録項目

データ項目	書式	備考
日時	YYYY-MM-DD_hh:mm:ss	データの対象【処理ウィンドウ時間幅】の開始時間 hhは24時間表記、_は半角スペース。 【例】 ・2013年4月14日15時45分～15時59分 ⇒ 2013-04-14 15:45:00(10分間隔)
平均旅行時間	10進小数値	平均旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。単純平均(算術平均) 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
最大旅行時間	10進小数値	最大旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
最小旅行時間	10進小数値	最少旅行時間。秒単位で、0.1秒刻み。 【例】 ・平均旅行時間が53.4秒 ⇒53.4
信頼度 (標準偏差)	10進小数値	-1:不明。 $\sigma = \sqrt{1/n * \sum (x - \text{ave}(x))^2}$ n:車両台数、x:リンク旅行時間情報。n=1のときは0秒単位で、0.1秒刻み。
車両台数	10進整数値	該当道路区間で旅行時間データを収集した車両台数。

③ 道路交通センサ調査データ

平成22年度道路交通センサ調査の一般交通量調査 時間帯別交通量表では、平成22年9～11月の調査期間における各交通量調査単位区間番号で示される区間毎の時間帯毎の自動車類の交通量に関するデータである。主なデータ項目は表4-2のとおりである。

表 4-2 センサ調査一般交通量調査 時間帯別交通量表の主なデータ項目

データ項目	備考
交通量調査単位区間番号	交通量調査を実施した各区間の番号
道路種別	道路種別（高速道路、国道等）
路線番号	路線番号
上り下りの別	上り方向、下り方向の別
車種区分	小型車、大型車の別
時間帯別自動車類交通量	時間帯毎の交通量（台/時）

4.2.3 分析の実施

4.2.1 にて示した評価プロセスのうち、「代表区間の設定」、「交通事故による速度低下量の分析」、「代表区間の Q-V 関係図の作成」、「交通事故による交通容量の低下量の把握」について、追突事故をケーススタディとして分析を行った。

(1) 分析データ準備

4.2.2 にて示したデータより、実際の分析に使用するデータを作成する。作成するデータは、事故発生箇所の事故時と平常時の旅行速度のデータである。

旅行速度のデータについては、対象とする交通事故毎に、事故発生時刻の 6 時間前から 6 時間後までの時間帯において、事故箇所の 2km 上流側から事故箇所までの区間の平均旅行速度のデータである。このとき、事故箇所の 2km 上流から事故箇所までのリンクに対し、当該リンクにおける当該時間帯の旅行速度を取得することになる。以下では、対象となるリンク（リンク番号）の取得方法について述べる。

① 対象リンクの取得

事故箇所から 2km 上流側のリンク取得においては、事故位置とリンクの位置関係から行う。事故多発箇所データの事故位置の緯度経度が示す点を中心とした半径 2km の円の領域において、事故位置から最も近いリンクへの垂線によって 2 等分された円の上流側の範囲に中点が含まれるリンクを取得する。したがって、取得されたリンク長の合計は厳密に 2km というわけではない。これを図 4-59 に示す。

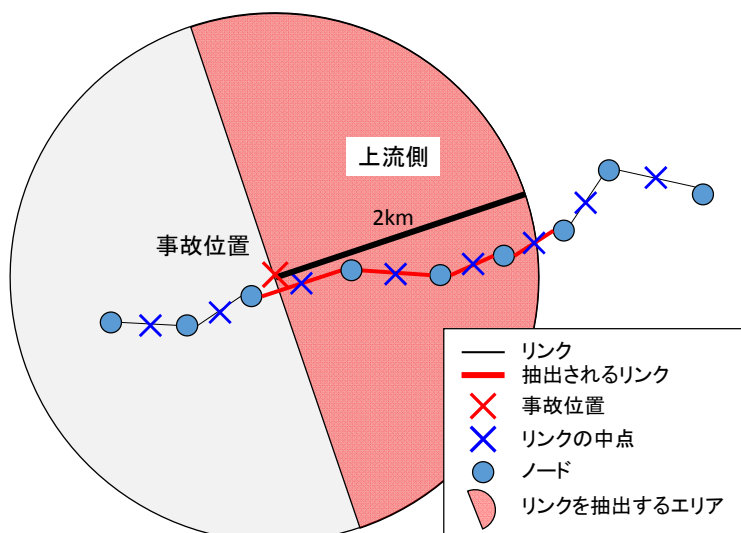


図 4-59 事故位置から上流側 2km のリンク取得イメージ

② データのクリーニング

分析に使用する平均旅行速度データはそのままでは異常値が含まれるため、予め以下の i、ii の順で異常値の除去（クリーニング）を行う。

- i. 平均旅行速度が 150km/h 以上のデータの除外
- ii. 一つの事故データ（事故位置の上流側 2km から事故位置までの範囲における、事故発生前 6 時間から発生效后 6 時間までの時間帯の旅行速度データ）に対し、旅行速度が下式で算出される閾値を超過する場合に外れ値として除去

$$\text{閾値} = \bar{x} + 2\sigma \quad (\bar{x} : \text{平均値} \quad \sigma : \text{標準偏差})^{1516}$$

データクリーニングのイメージを次に示す。図 4-60 はある事故時の旅行速度データの一部だが、赤枠の部分に 1,656km/h という異常値が見られる。これは上記 i によりまず除去される。

リンク番号	↓6時間前					↓5時間前					↓4時間前				
	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	
533935-0416105083										8.0	36.0			1.5	
533935-0415605083						2.1			19.9	32.0	2.6			3.7	
533935-0415504156															
533935-0206704155	82.8					1656			5.4	82.8	23.7			41.4	
533935-0206704761								4.5					5.8		
533935-0205704761	28.9	20.0	45.0		12.9	16.1	20.0			24.6	33.4	24.9		22.3	
533935-0203802057	28.9	23.3	19.8	20.7	12.9	16.2			30.7	24.6	33.4	24.8		22.3	
533935-0203805583			19.9	20.6	12.8	16.0	19.9		30.3	24.0	33.9	25.0		22.2	
533935-0199205583								41.5						22.6	
533935-0197901992								20.6					15.1		
533935-0197904398				18.6											
533935-0439704398				18.3				20.7					15.1		
533935-0439705690				18.3											
533935-0569005694															
533935-0568905694															
533935-0568905692	44.5	67.7	71.0			74.5				35.5		69.0	65.3		
533935-0184205692							63.5								
533935-0181101842	37.3	18.9				37.3						30.8	16.5	16.4	
533935-0180501811															
533935-0180505631															
533935-0483205631															

図 4-60 クリーニング(i)前の旅行速度データ例

(i)によるクリーニングの後、閾値を算出する。 $\bar{x} = 28.2$ 、 $\sigma = 19.7$ であるため、閾値は 68.2km/h となる。図 4-61 の赤枠の部分に閾値を超過している値が見られる。この値は(ii)によるクリーニングにおいて除去される。

¹⁵ 平均、標準偏差は次のように定義される。 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 、 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2}$

¹⁶ 旅行速度の分布が正規分布と仮定した場合、外れ値の閾値として $\bar{x} - 2\sigma$ も該当するが、値が低いものについては、事故や混雑による速度低下が要因の可能性が高いため、外れ値としては判断しない。

リンク番号	↓6時間前					↓5時間前					↓4時間前				
	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	
533935-0416105083										8.0	36.0			1.5	
533935-0415605083						2.1			19.9	32.0	2.6			3.7	
533935-0415504156															
533935-0206704155	82.8								5.4	82.8	23.7			41.4	
533935-0206704761								4.5					5.8		
533935-0205704761	28.9	20.0	45.0		12.9	16.1	20.0			24.6	33.4	24.9		22.3	
533935-0203802057	28.9	23.3	19.8	20.7	12.9	16.2			30.7	24.6	33.4	24.8		22.3	
533935-0203805583			19.9	20.6	12.8	16.0	19.9		30.3	24.0	33.9	25.0		22.2	
533935-0199205583								41.5					22.6		
533935-0197901992								20.6					15.1		
533935-0197904398				18.6											
533935-0439704398				18.3				20.7					15.1		
533935-0439705690				18.3											
533935-0569005694															
533935-0568905694															
533935-0568905692	44.5	67.7	71.0			74.5				35.5	69.0	65.3			
533935-0184205692								63.5							
533935-0181101842	37.3	18.9				37.3						30.8	16.5	16.4	
533935-0180501811															
533935-0180505631															
533935-0483205631															

図 4-61 クリーニング(ii)前の旅行速度データ例

クリーニング結果として図 4-62 のようになる。赤枠の部分はクリーニング(i)および(ii)によって値が削除されたことを示す。

リンク番号	↓6時間前					↓5時間前					↓4時間前				
	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00	14:10	14:20	14:30	14:40	
533935-0416105083										8.0	36.0			1.5	
533935-0415605083						2.1			19.9	32.0	2.6			3.7	
533935-0415504156															
533935-0206704155									5.4		23.7			41.4	
533935-0206704761								4.5					5.8		
533935-0205704761	28.9	20.0	45.0		12.9	16.1	20.0			24.6	33.4	24.9		22.3	
533935-0203802057	28.9	23.3	19.8	20.7	12.9	16.2			30.7	24.6	33.4	24.8		22.3	
533935-0203805583			19.9	20.6	12.8	16.0	19.9		30.3	24.0	33.9	25.0		22.2	
533935-0199205583								41.5					22.6		
533935-0197901992								20.6					15.1		
533935-0197904398				18.6											
533935-0439704398				18.3				20.7					15.1		
533935-0439705690				18.3											
533935-0569005694															
533935-0568905694															
533935-0568905692	44.5	67.7								35.5			65.3		
533935-0184205692								63.5							
533935-0181101842	37.3	18.9				37.3						30.8	16.5	16.4	
533935-0180501811															
533935-0180505631															
533935-0483205631															

図 4-62 クリーニング後の旅行速度データ例

(2) 代表区間の設定

交通事故による交通流への影響は、交通状況や道路の交通容量、天候等のその時々的重要因素に影響される。そこで、本分析においては、事故による道路混雑の規模を考慮するうえで、道路の閉塞具合に関わる代表的な因子として車線数に着目した代表区間を設定して分析を行うこととした。代表区間の設定方法を以下に示す。

代表区間は車線数により分類を行うが、各道路の車線数はセンサス調査において与えられる「箇所別基本表」に示されている。これにもとづき、東京都区部の路線（交通量調査単位区間）と車線数との対応を取ることができ、表 4-3 のように分類される。

表 4-3 設定された代表区間

代表区間	分類	交通量調査 単位区間数
1	片側 1 車線（路肩があるものを含む）	53
2	片側 2 車線（両側 3 車線～5 車線）	160
3	片側 3 車線以上（両側 6 車以上）	119

また、表 4-3 は、各区間の指定最高速度別に表 4-4 の通り整理される。

表 4-4 設定された代表区間（指定最高速度別）

代表区間	分類・指定最高速度	交通量調査 単位区間数
1	片側 1 車線（路肩があるものを含む）	53
	30km/h	11
	40km/h	40
	50km/h	2
2	片側 2 車線（両側 3 車線～5 車線）	160
	30km/h	1
	40km/h	45
	50km/h	98
	60km/h	16
3	片側 3 車線以上（両側 6 車以上）	119
	30km/h	1
	40km/h	17
	50km/h	51
	60km/h	49
	80km/h	1

(3) 交通事故による速度低下量および継続時間の分析

① 分析方法

交通事故による交通流の速度低下およびその継続時間を以下の i、ii の手順で分析する。

i. 対象とする交通事故発生時（以下、事故時）と平常時の RYG 図作成

事故発生前 6 時間から発生後 6 時間にわたり、事故位置上流 2km から事故位置までの区間において平均旅行速度の分布を表す RYG 図¹⁷を作成する。この RYG 図により、交通流の閉塞具合（渋滞の発生、それによる混雑等）を視覚的に把握することが可能となる。事故時と平常時の RYG 図の作成方法を以下に示す。

■ 事故時の RYG 図の作成方法

対象とする交通事故毎に、以下の RYG 図を作成した。ここで、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、下図のとおり空白部分が存在する。なお、縦軸は時間、横軸はリンク長を表している。各セルの幅はリンク長の比に従っている。また最右列は事故位置のリンクである。

¹⁷ RYG 図とは速度分布を R(red)、Y(yellow)、G(green)で示した図であり、「速度階層図」や「速度ランク」とも呼ばれることがある。

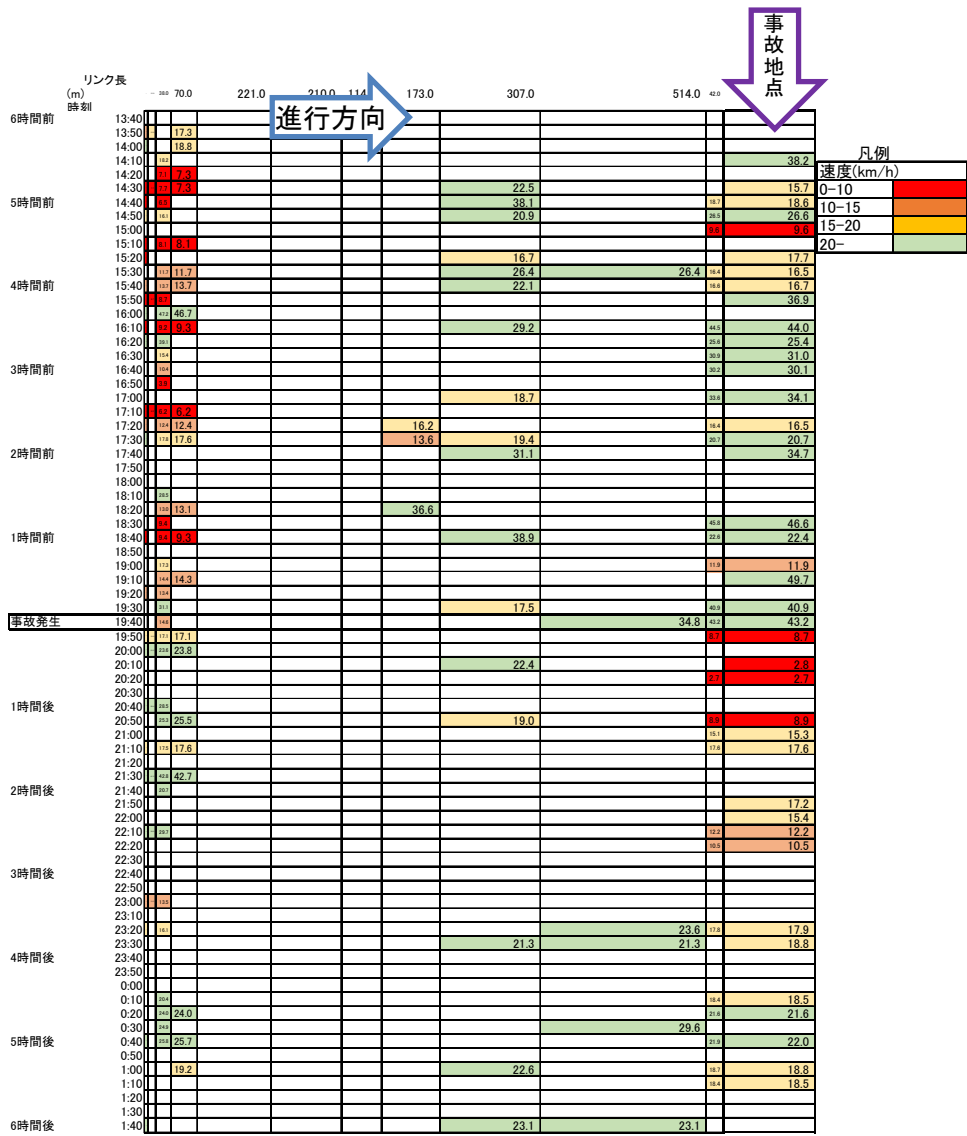


図 4-63 事故時の RYG 図 (例)

■ 平常時の RYG 図の作成方法

平常時の RYG は、対象とする交通事故毎に、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。

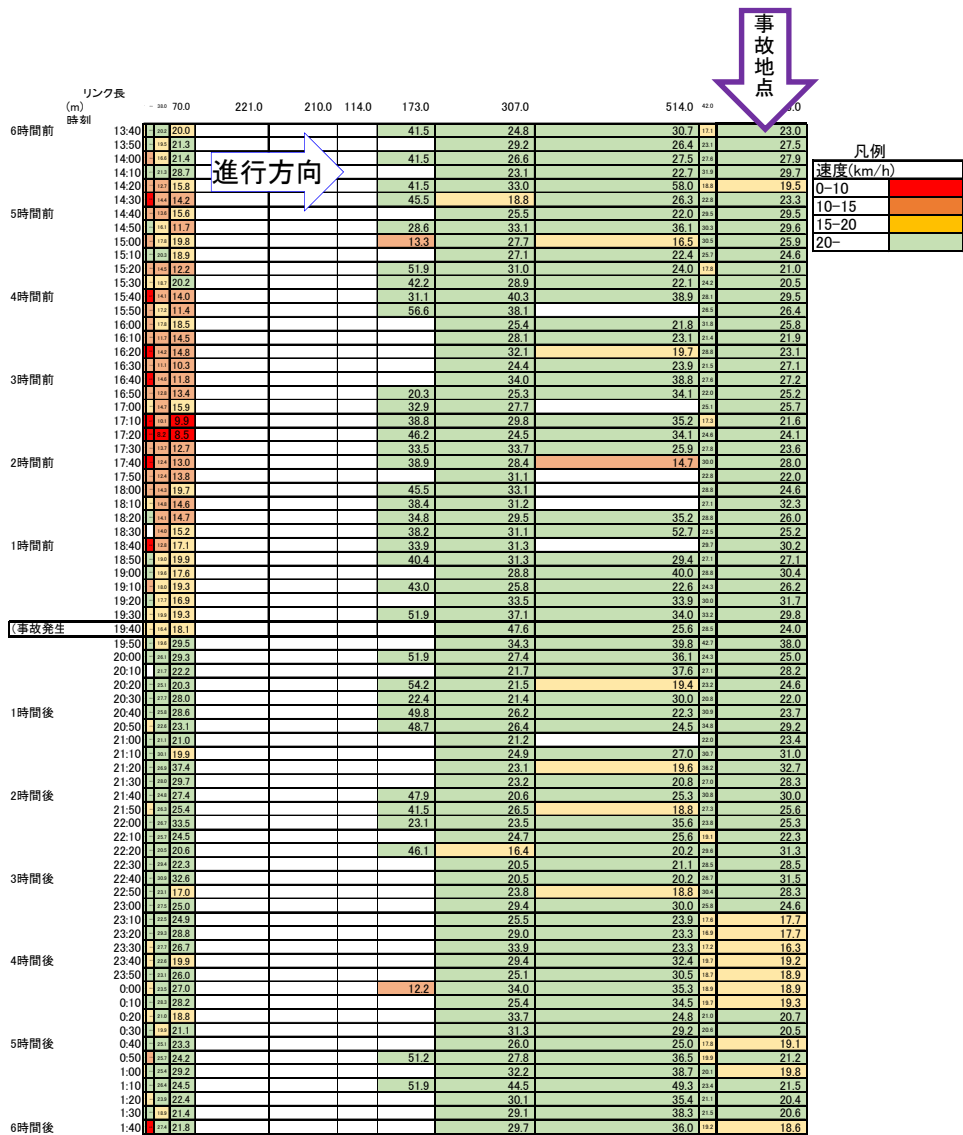


図 4-64 平常時の RYG 図 (例)

ii. 事故時と平常時の RYG 図の差分より旅行速度の低下量およびその継続時間算出

事故時と平常時の RYG 図について、同区間、同時間帯のデータの差分を算出する。これにより平常時と事故時を比較した際の速度の低下量および、その速度低下が継続した時間を見積もることができる。なお、事故時の速度低下量・継続時間を確認することが目的であるため、事故時のデータがある区間のみ差分を計算した。

事故影響評価マクロ交通シミュレーションを実施する際には、事故発生箇所の DRM リンクに対し、交通容量の低下量とその継続時間をインプットすることとなる。そのことを踏まえ、事故発生箇所の DRM リンクを対象に、以下 a、b の方法で旅行速度の低下量とその継続時間の平均値を算出する。

- a) 集計対象は事故による旅行速度低下があるものとする（下記条件を満たす）
- 事故発生直前の旅行速度が 20km/h 以上であり、かつその旅行速度が平常時以上であること
 - 事故発生後の旅行速度が 20km/h 未満であり、かつその旅行速度が平常時未満であること
- b) 事故発生地点の旅行速度低下量、その継続時間は以下のとおり算出する
- 事故により旅行速度低下が始まった時刻^{※1}（時刻①）から、その後旅行速度が回復する直前の時刻^{※2}（時刻②）までの旅行速度の平均値を、事故発生による旅行速度の低下量として算出する。また、時刻①から時刻②までの時間を、旅行速度低下の継続時間として算出する。
- ※1 事故発生後の旅行速度が 20km/h 未満であり、かつその旅行速度が平常時未満であるときの時刻。
- ※2 事故発生後に最初に旅行速度が 20km/h 以上となった時刻の直前の時刻。ただし、この直前の時刻に旅行速度のデータがない時刻が連続する場合、その中間の時刻を直前の時刻として用いる。

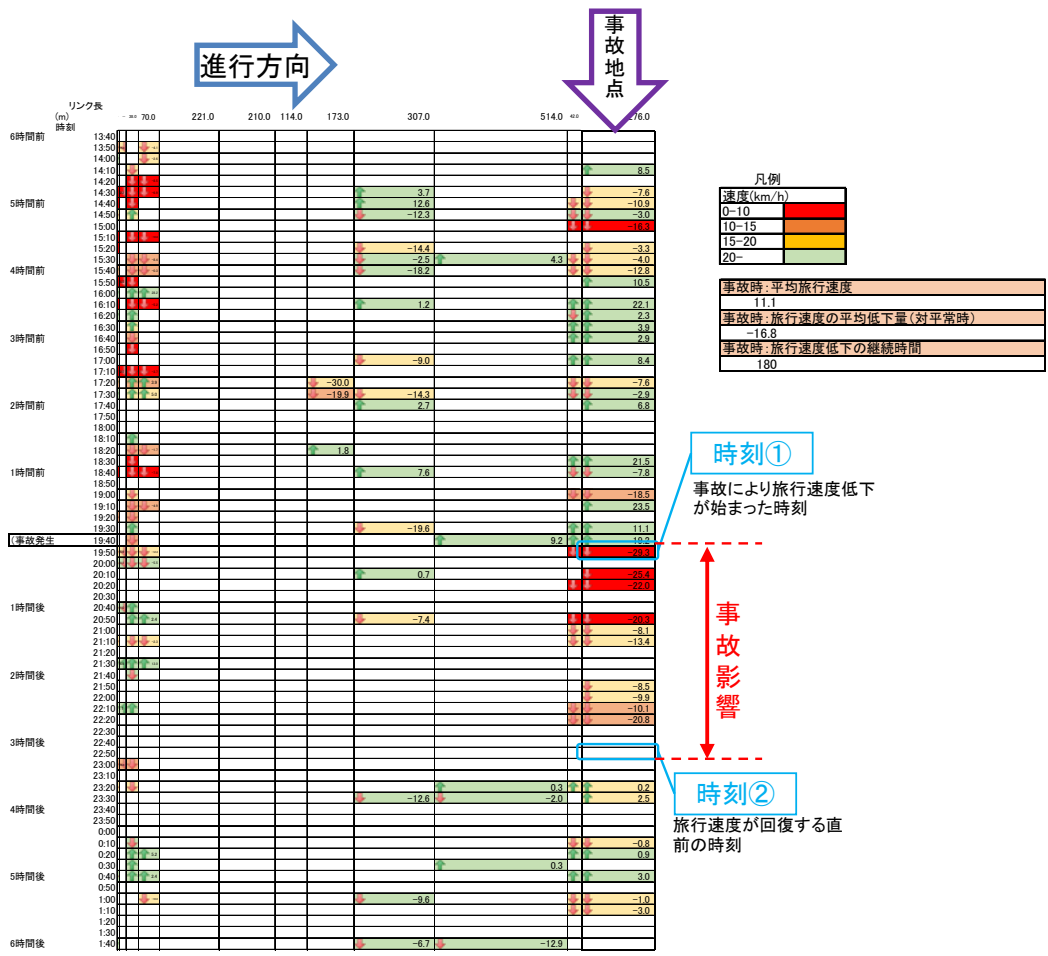


図 4-65 平常時と事故時の差分 RYG 図 (例)

② 分析結果

対象とする 1,030 件の交通事故に対し、事故時の RYG 図を作成した。なお、事故時に旅行速度の低下が認められた事故のうち追突事故を対象に分析を行った結果、確保できた事故のサンプルは 12 件であった。

12 件のサンプルについて、追突事故の事故時と平常時との差分の RYG 図を作成し、旅行速度の低下量とその継続時間の平均値を下表のとおり算出した。

<分析結果>

- 追突事故 12 サンプルより、事故時の旅行速度の低下量の平均値は-18.2km/h、その継続時間は 118.3 分、その継続時間中における平均旅行速度は 8.3km/h であった。
- 代表区間・指定最高速度別の各平均値は下表のとおりである。

表 4-5 追突事故による事故時旅行速度の低下量とその継続時間

No	事故 ID	道路種別	路線番号	上下区分	発生日	発生時分	事故類型	代表区間※1	車線数	指定最高速度	① 事故時旅行速度の低下量(平均)(km/h)	② 事故時旅行速度低下の継続時間(分)	③ ①継続時間中における旅行速度(平均)(km/h)
1	13561	都道	311	下り	2013/9/23	14:40	追突	2	4	40	-18.3	150	7.0
2	13578	都道	307	下り	2013/10/30	6:20	追突	2	4	40	-14.7	310	9.3
3	19507	都道	305	下り	2013/10/12	20:00	追突	2	4	50	-21.3	50	3.9
4	19565	都道	319	下り	2013/9/13	14:30	追突	2	4	50	-12.4	120	5.4
5	42796	都道	315	上り	2013/7/26	7:50	追突	2	4	50	-33.6	10	9.5
6	65234	都道	318	下り	2013/8/3	8:40	追突	3	6	40	-30.9	30	6.8
7	28221	都道	302	上り	2013/12/29	16:40	追突	3	6	50	-6.1	100	11.5
8	28410	都道	304	下り	2013/12/10	8:00	追突	3	6	50	-11.2	110	5.1
9	6828	国道	246	上り	2013/10/24	19:40	追突	3	6	60	-16.8	180	11.1
10	6886	都道	311	上り	2013/9/20	7:20	追突	3	6	60	-9.2	100	8.1
11	13555	国道	254	上り	2013/11/27	17:20	追突	3	6	60	-16.2	40	13.2
12	28354	都道	311	上り	2013/10/6	17:40	追突	3	6	60	-28.2	220	8.9
平均値											-18.2	118.3	8.3

※1 代表区間2: 片側2車線(両側3車線~5車線)の一般国道・主要都道
代表区間3: 片側3車線以上(両側6車以上)の一般国道・主要都道

表 4-6 追突事故による事故時旅行速度の低下量とその継続時間

(代表区間・指定最高速度別)

代表区間※1	指定最高速度(km/h)	サンプル数	① 事故時旅行速度の低下量(平均)(km/h)	② 事故時旅行速度低下の継続時間(分)	③ ①継続時間中における旅行速度(平均)(km/h)
2	40	2	-16.5	230	8.2
2	50	3	-22.4	60	6.3
3	40	1	-30.9	30	6.8
3	50	2	-8.6	105	8.3
3	60	4	-17.6	135	10.3

※1 代表区間2: 片側2車線(両側3車線~5車線)の一般国道・主要都道
代表区間3: 片側3車線以上(両側6車以上)の一般国道・主要都道

■代表区間 2・指定最高速度 40km/h

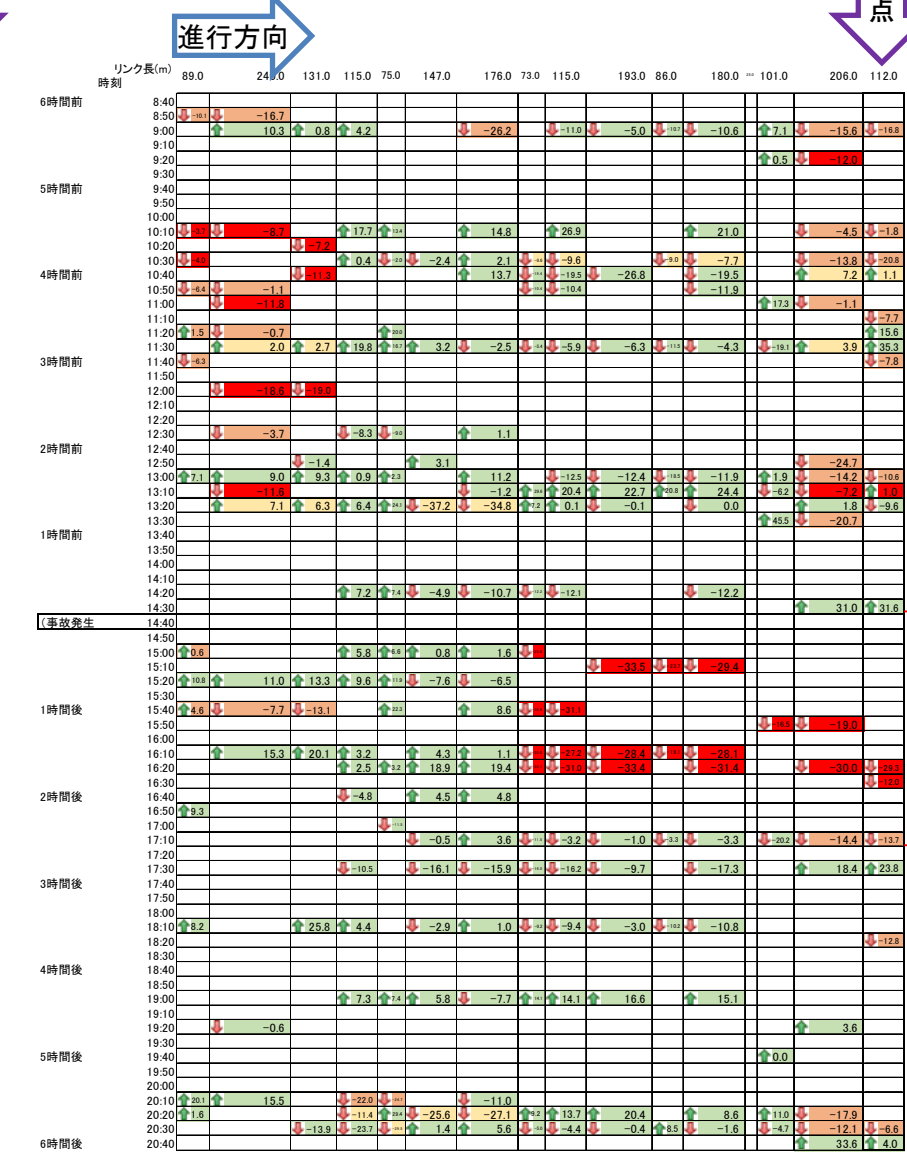
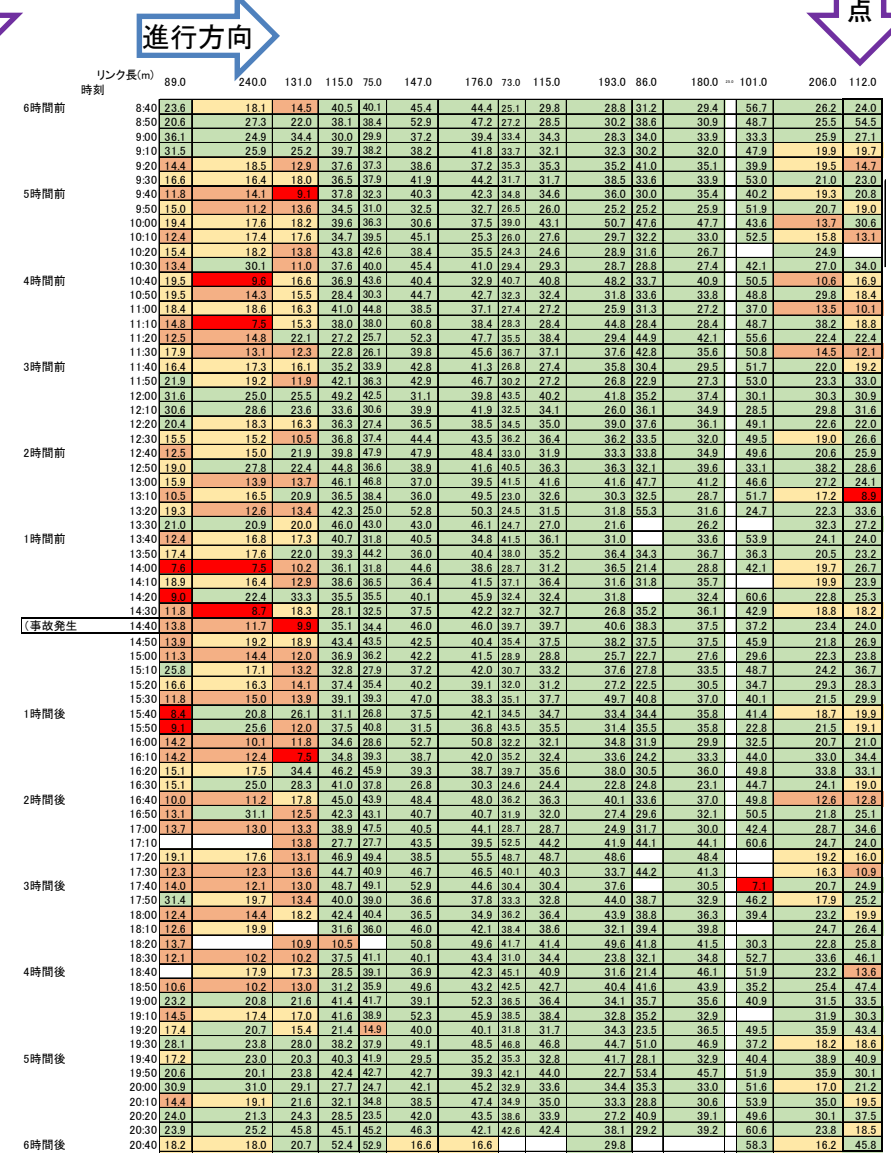
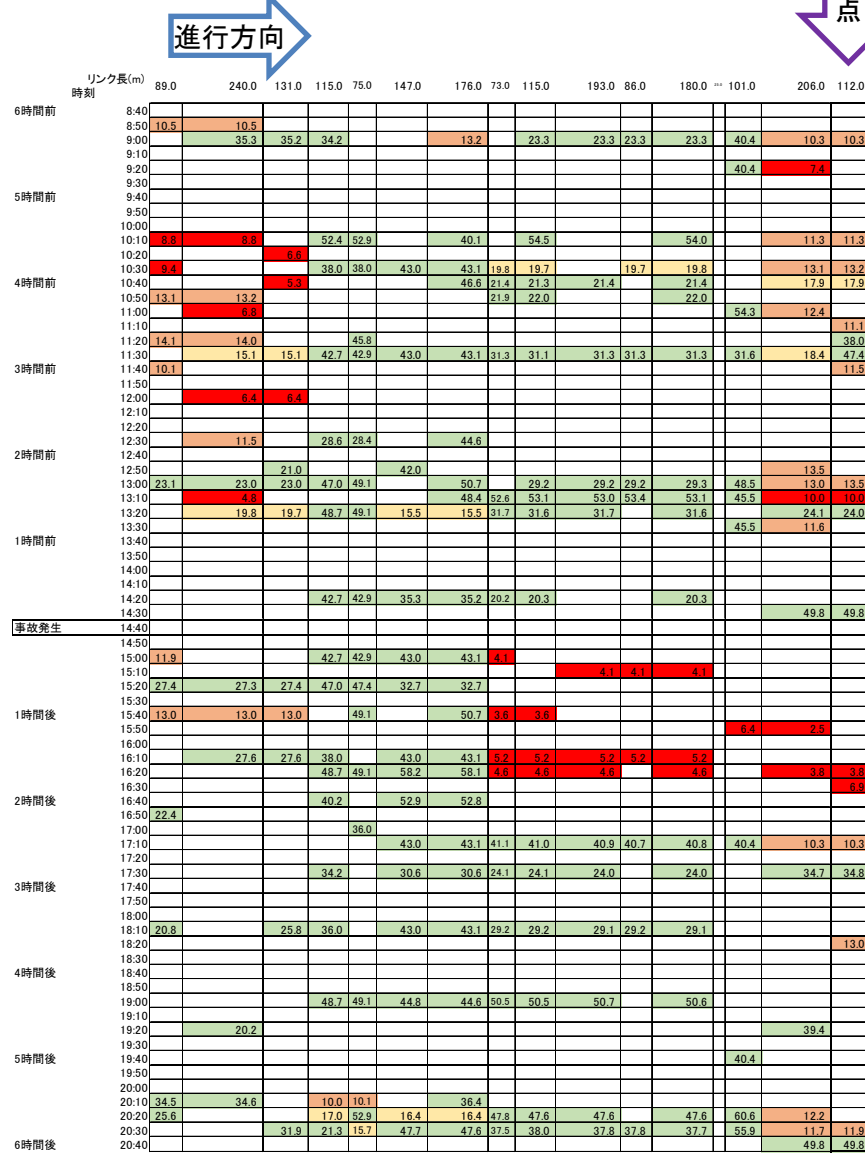
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
249	13561	4	311	2	2013/9/23	14:40

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

<事故時のRYG図>

<平常時のRYG図>

<平常時と事故時の差分RYG図>

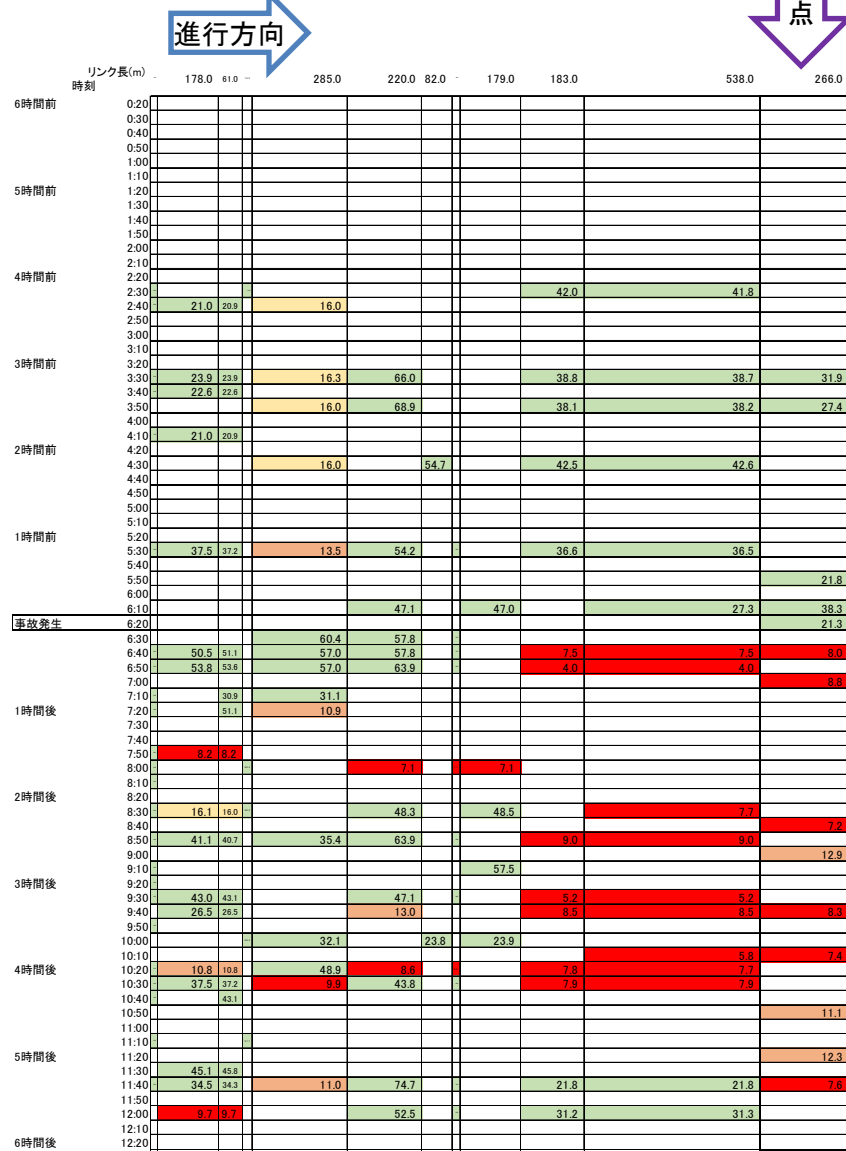


事故時：旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	7.0
事故時：旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-18.3
事故時：旅行速度低下の継続時間(分)	150

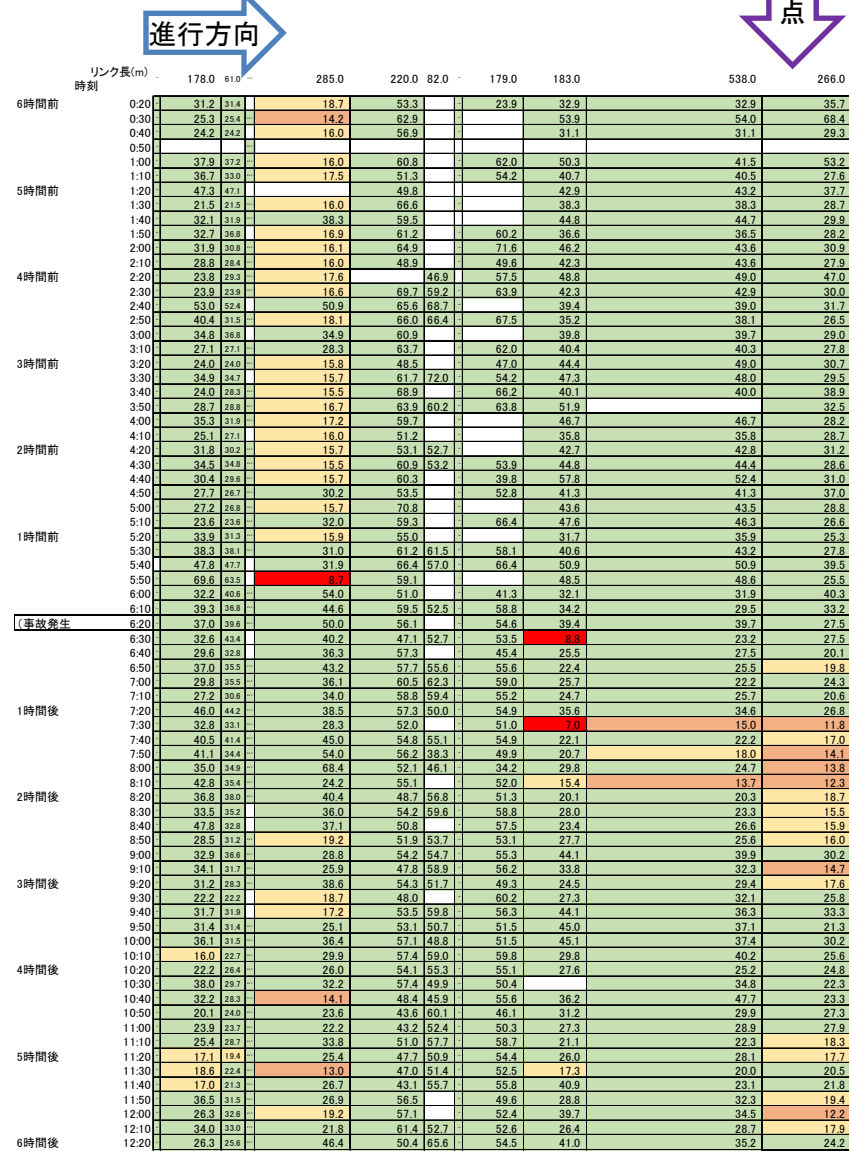
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
254	13578	4	307	2	2013/10/30	6:20

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

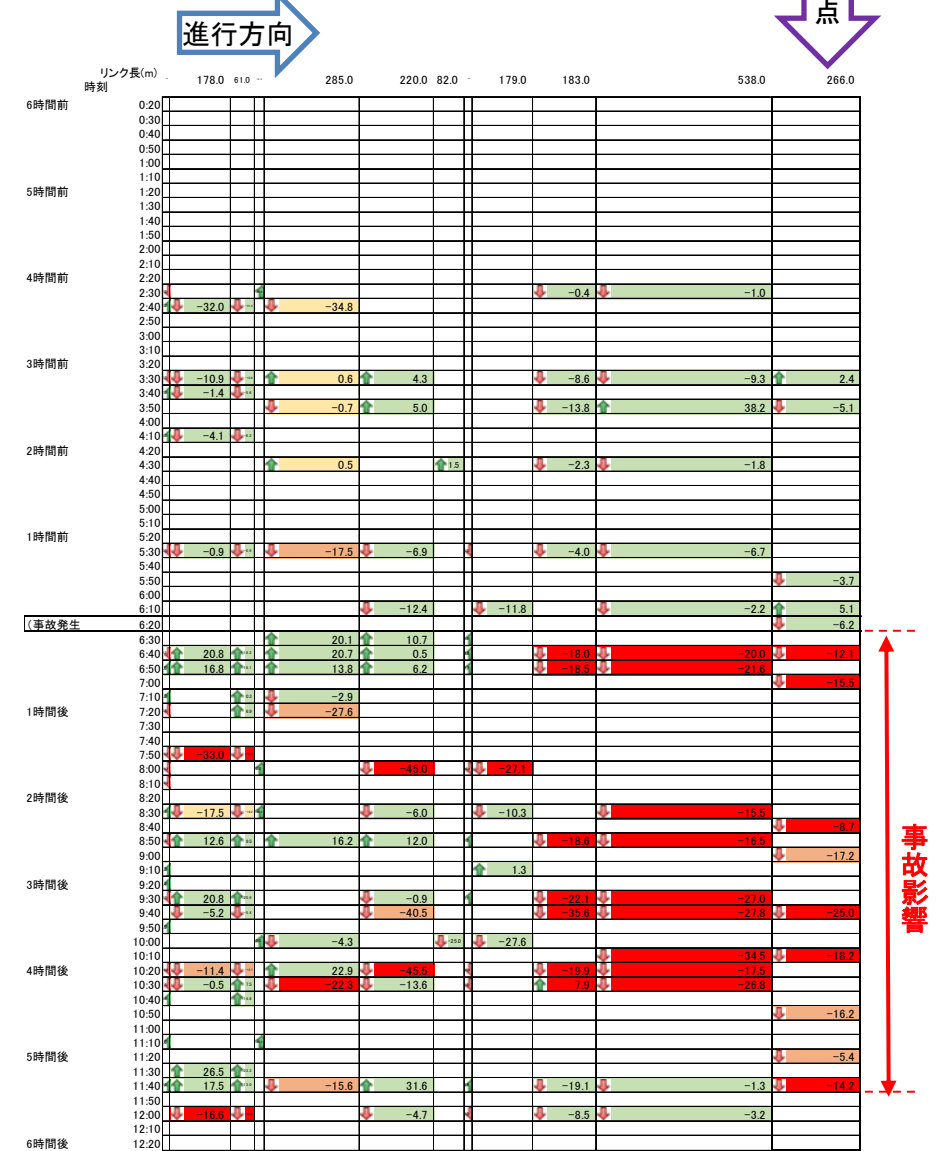
<事故時のRYG図>



<平常時のRYG図>



<平常時と事故時の差分RYG図>

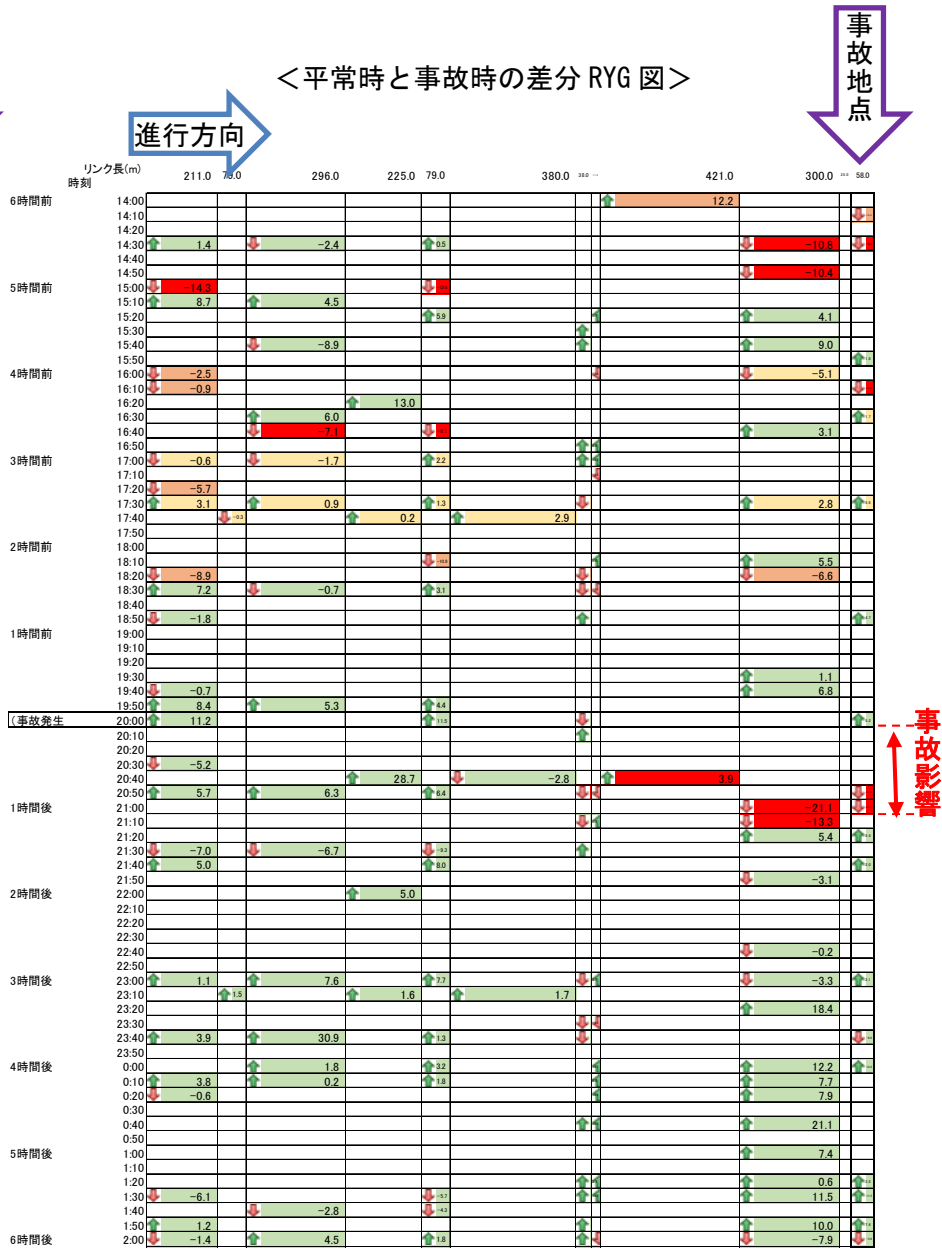
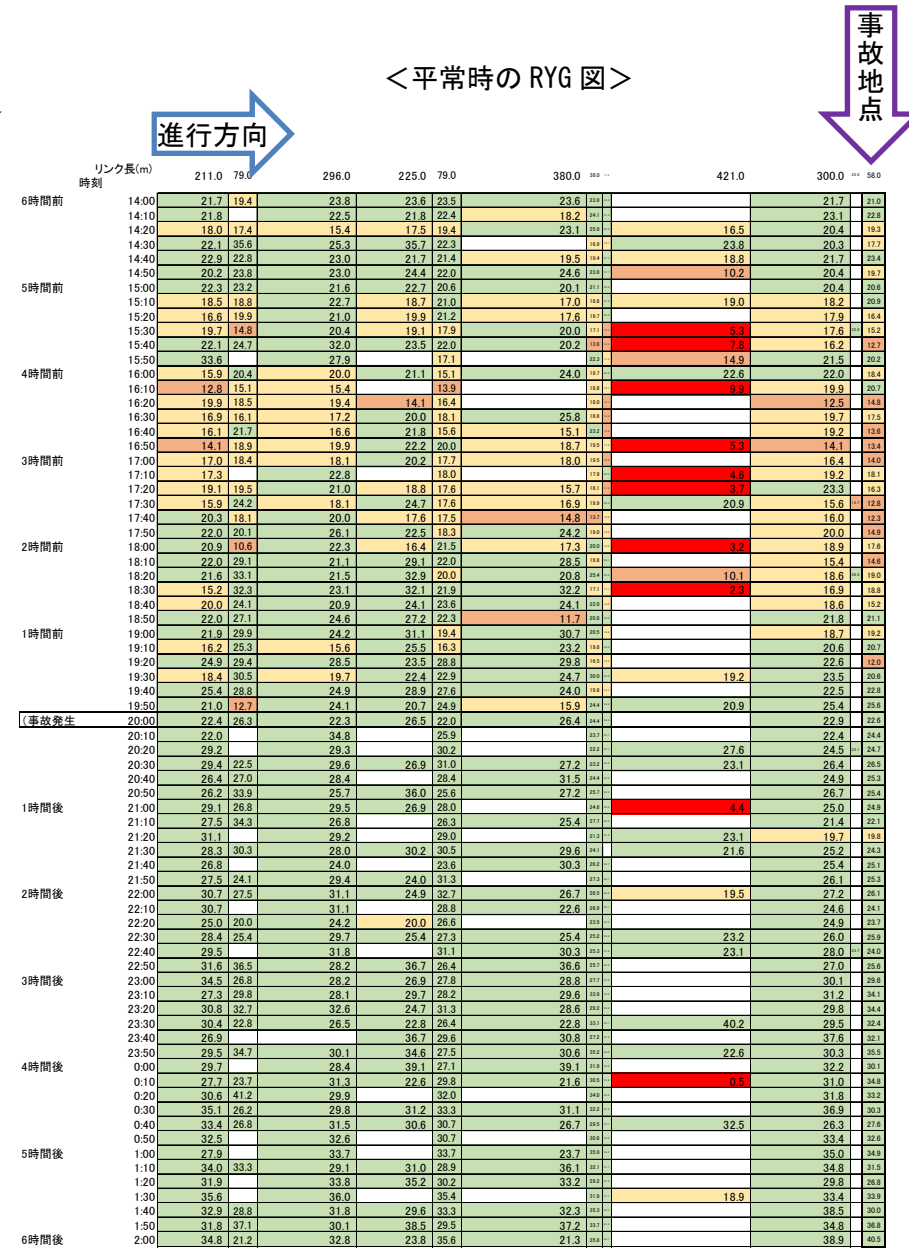


事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)	9.3
事故時: 旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)	-14.7
事故時: 旅行速度低下の継続時間(分)	310

■代表区間 2・指定最高速度 50km/h

No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
289	19507	4	305	2	2013/10/12	20:00

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

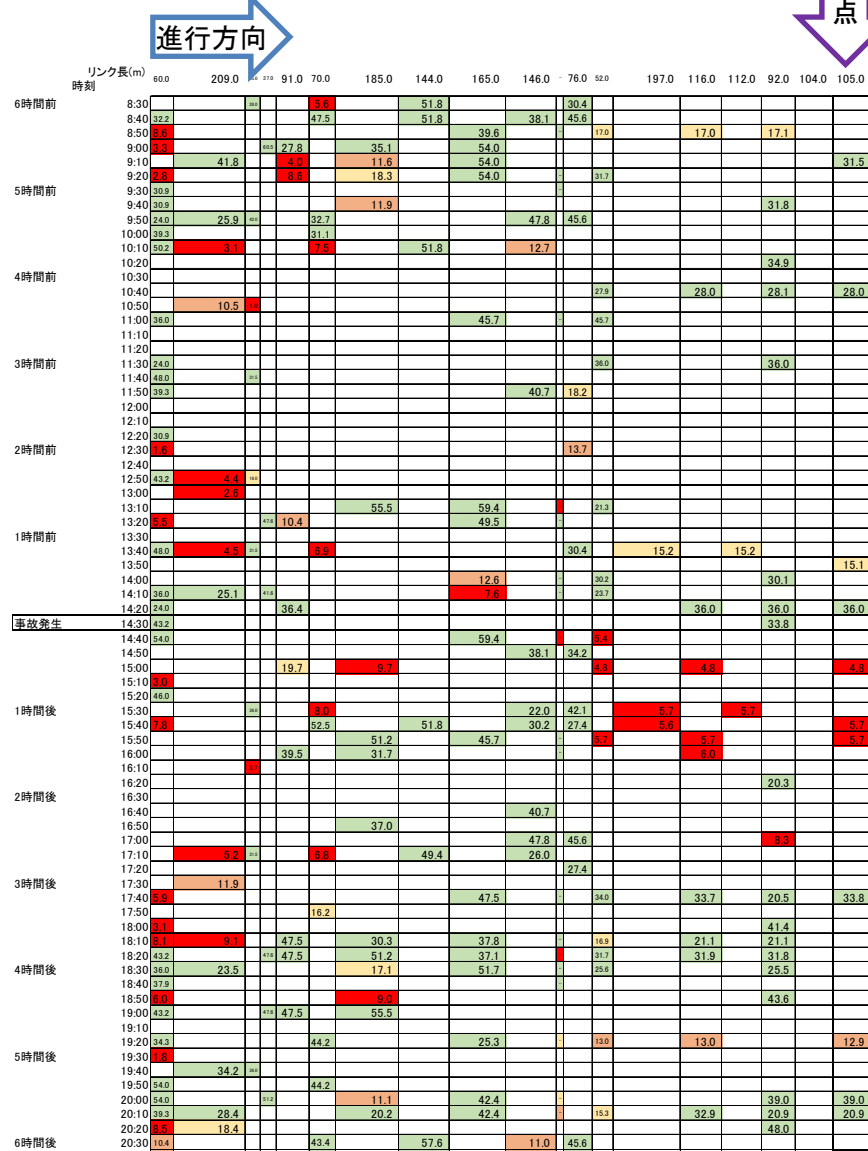


事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)	3.9
事故時: 旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)	-21.3
事故時: 旅行速度低下の継続時間 (分)	50

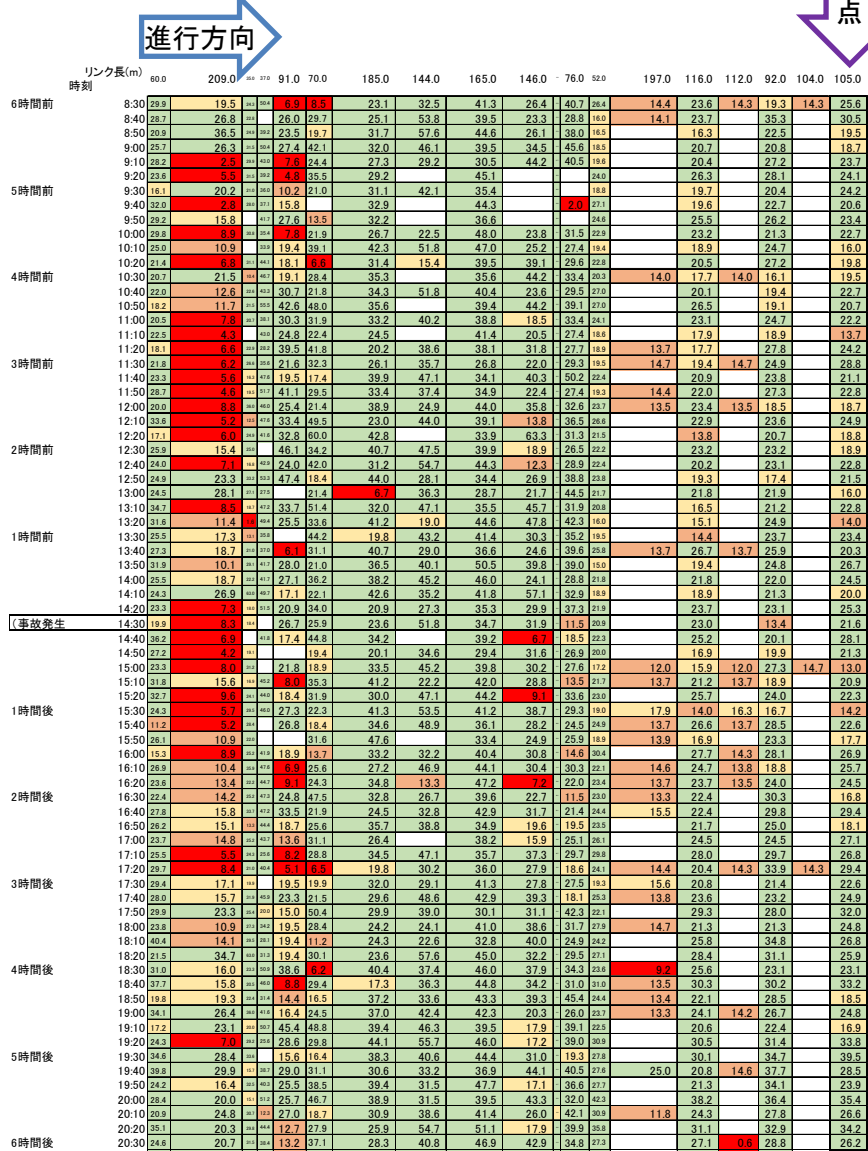
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
301	19565	4	319	2	2013/9/13	14:30

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

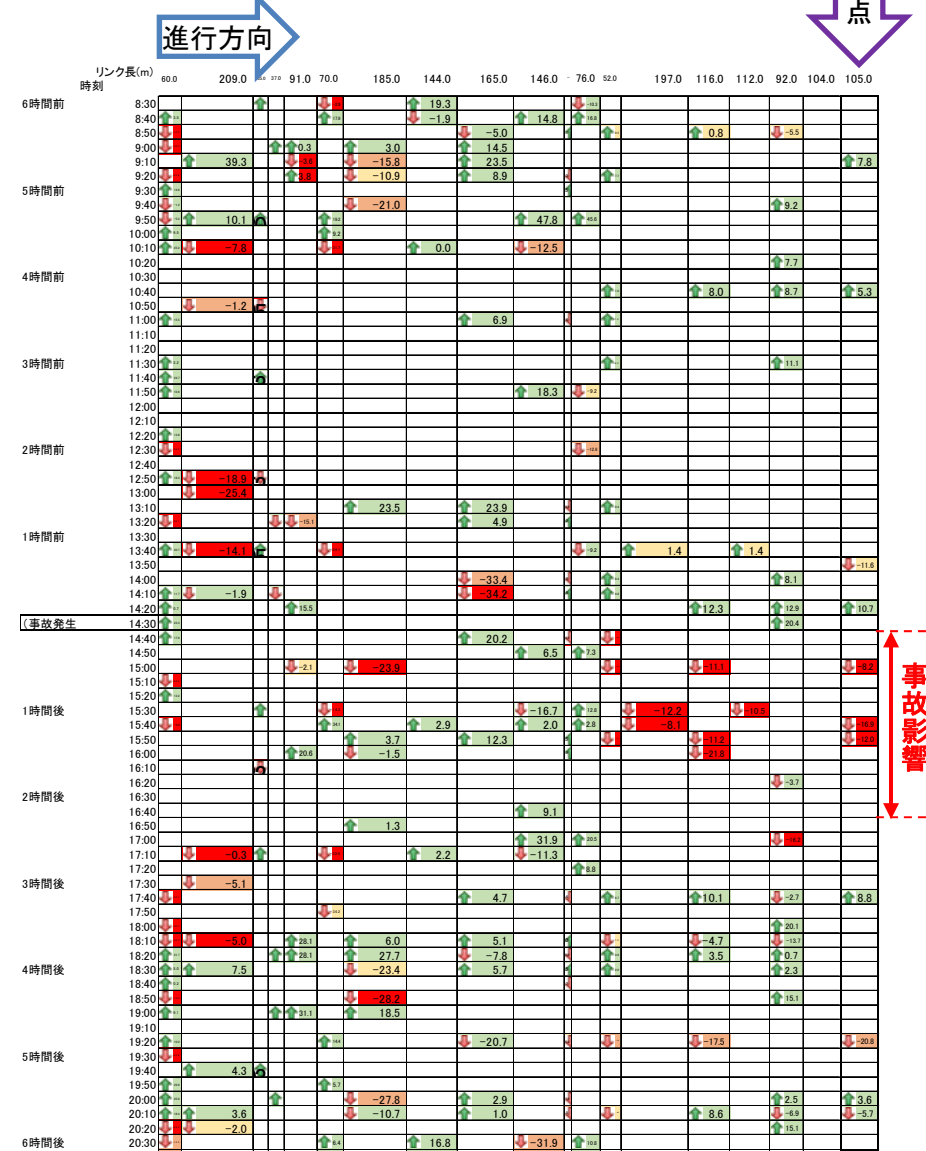
<事故時のRYG図>



<平常時のRYG図>



<平常時と事故時の差分RYG図>

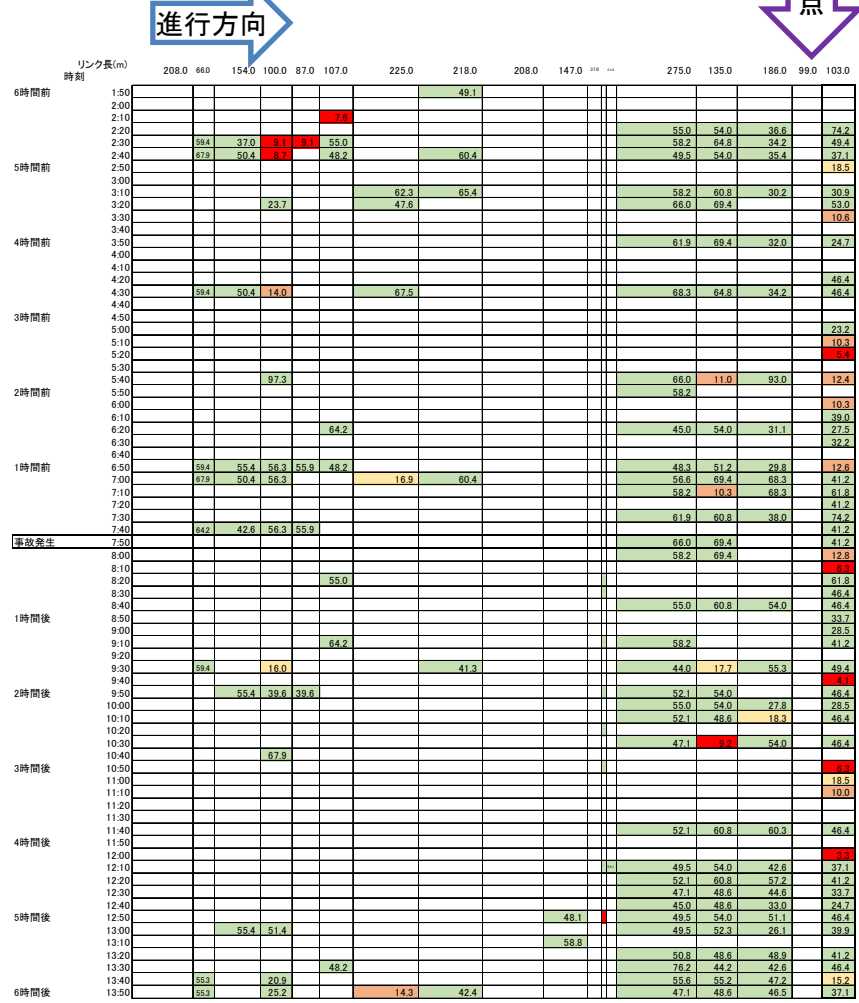


事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)
5.4
事故時: 旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)
-12.4
事故時: 旅行速度低下の継続時間 (分)
120

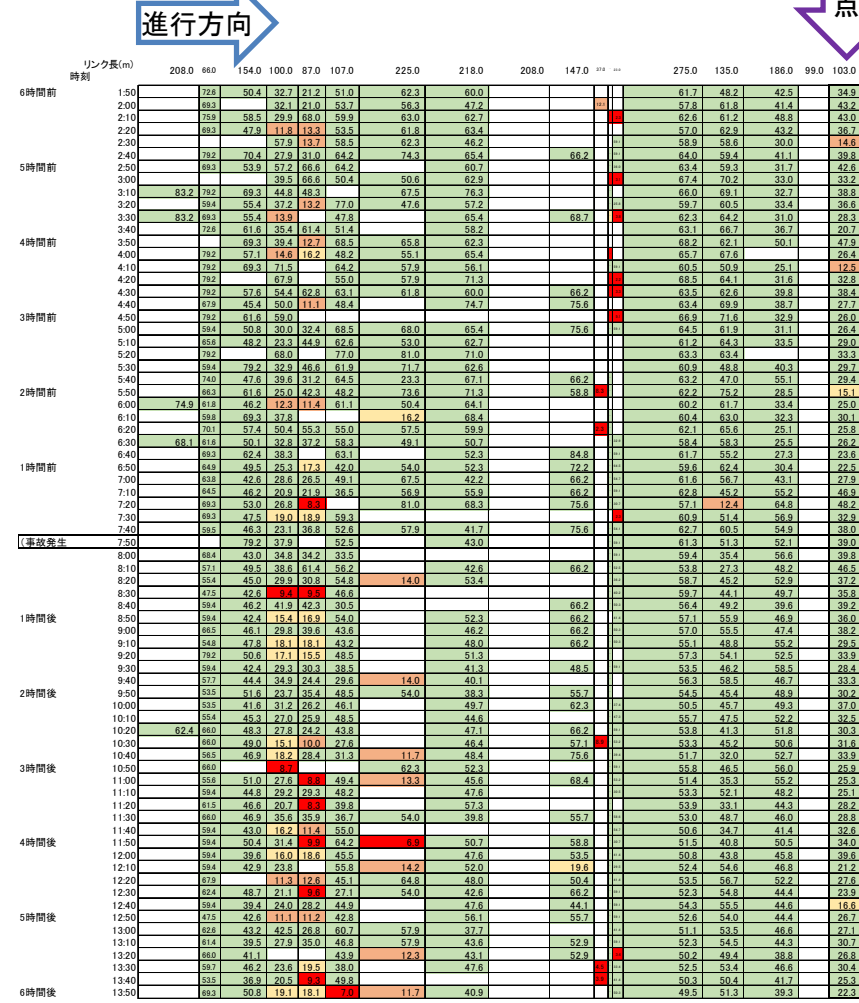
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
628	42796	4	315	1	2013/7/26	7:50

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

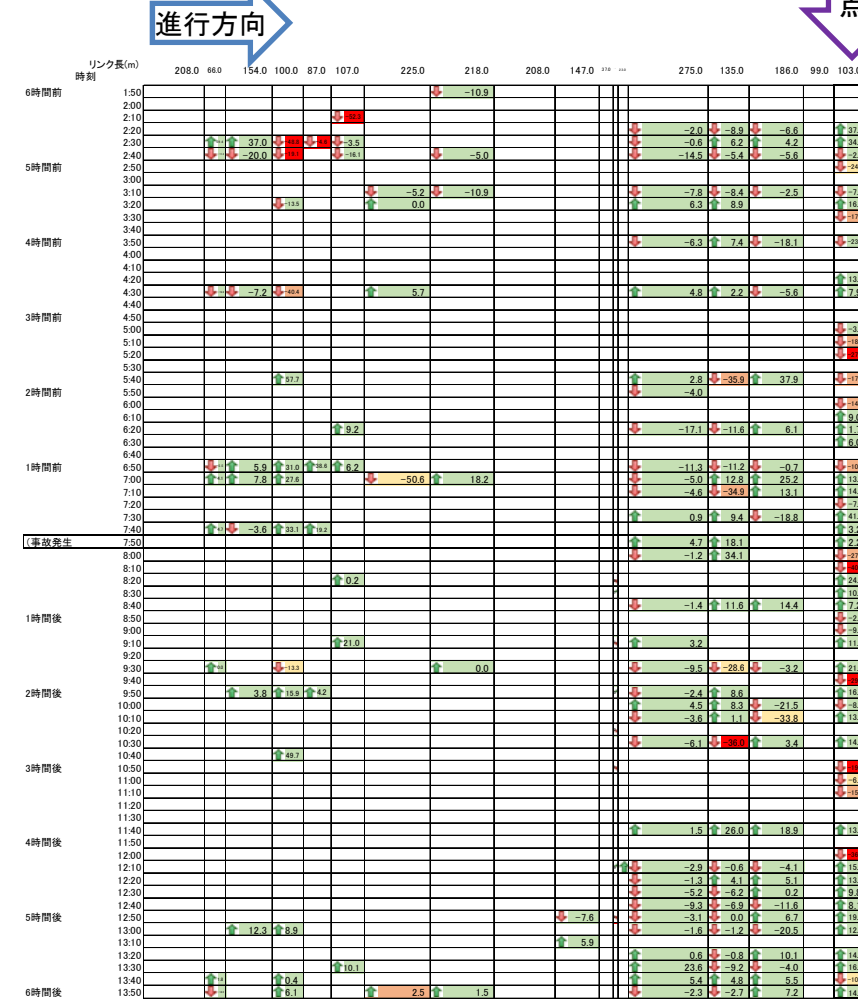
<事故時のRYG図>



<平常時のRYG図>



<平常時と事故時の差分RYG図>



事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)
9.5
事故時: 旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)
-33.6
事故時: 旅行速度低下の継続時間 (分)
10

■代表区間 3・指定最高速度 40km/h

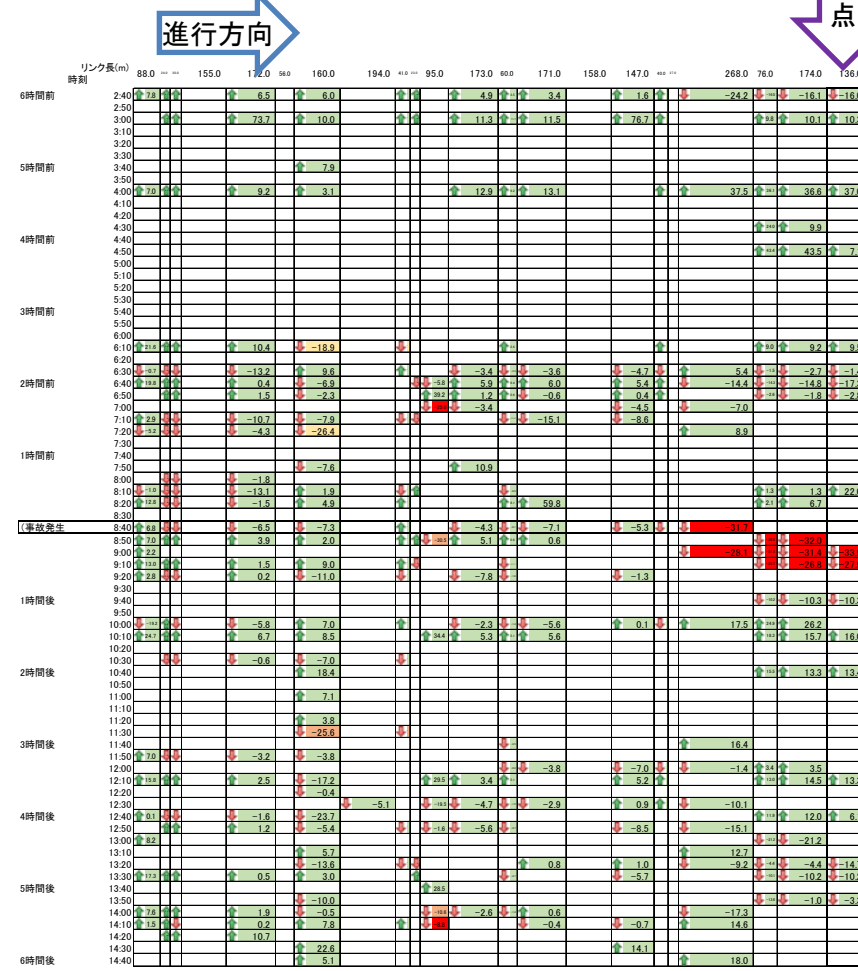
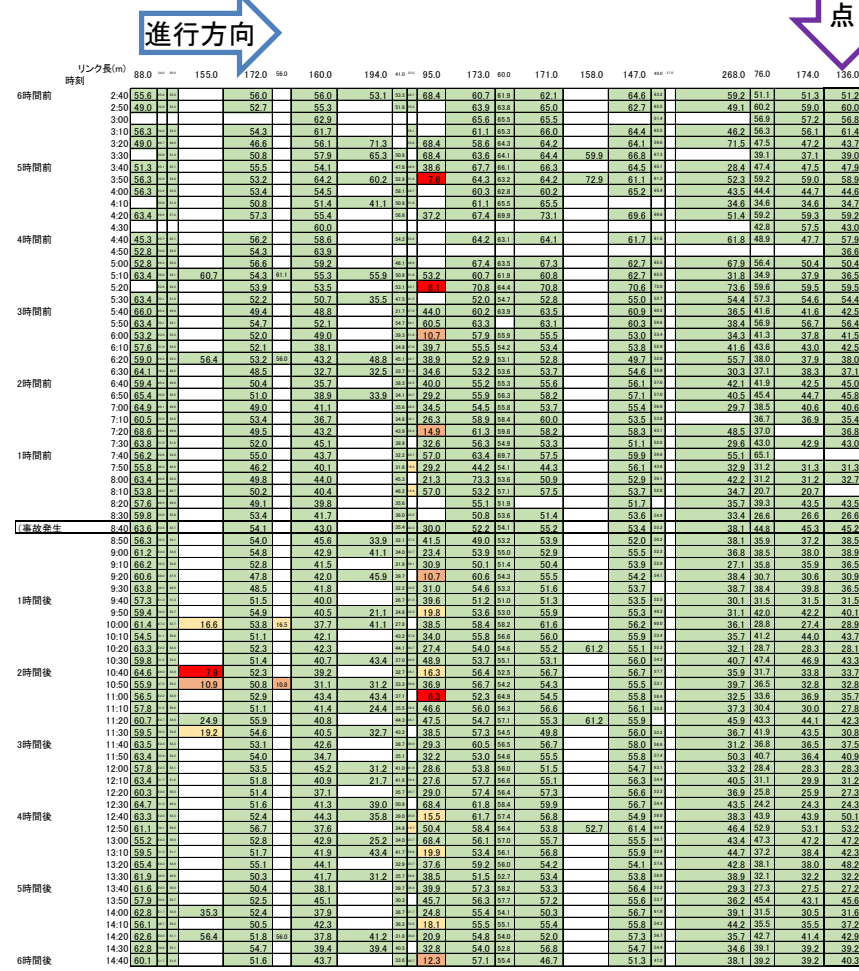
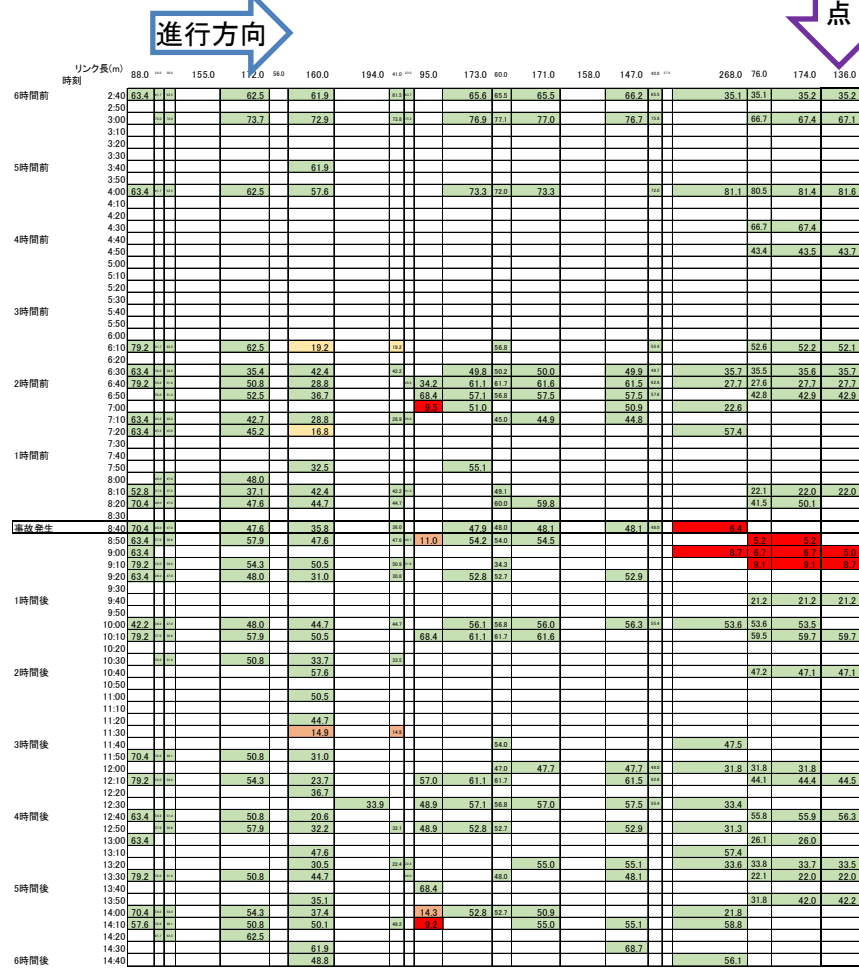
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
852	65234	4	318	2	2013/8/3	8:40

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

<事故時のRYG 図>

<平常時のRYG 図>

<平常時と事故時の差分RYG 図>



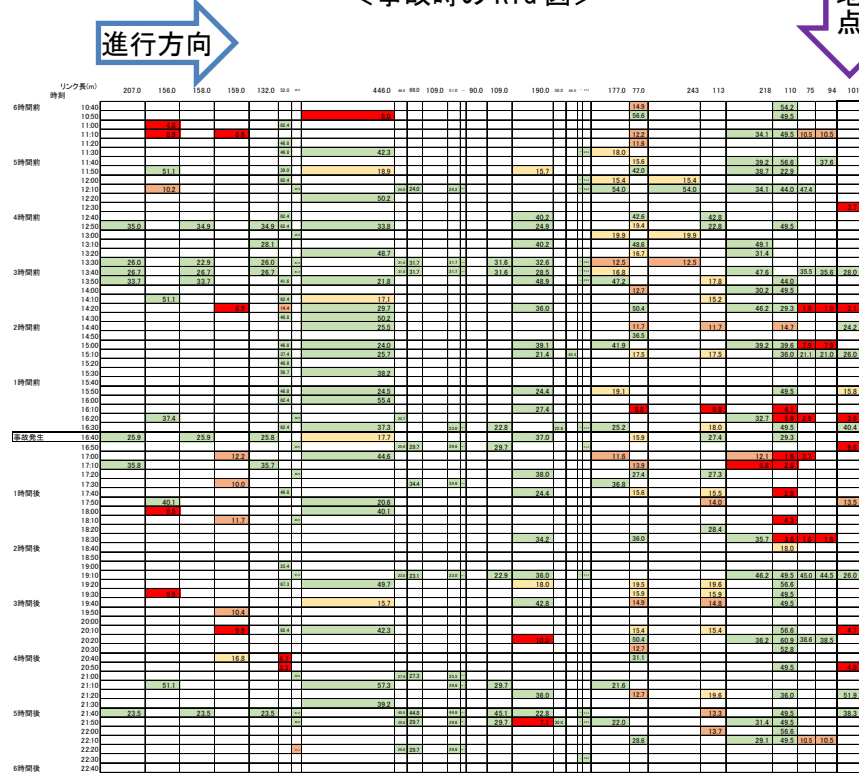
事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	6.8
事故時: 旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-30.9
事故時: 旅行速度低下の継続時間(分)	30

■代表区間 3・指定最高速度 50km/h

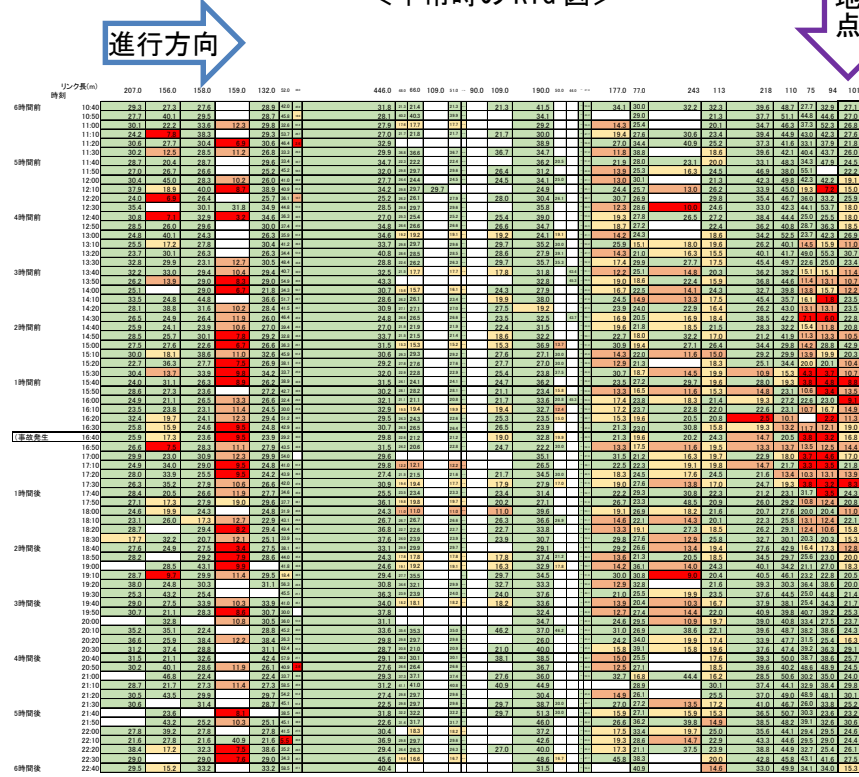
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
383	28221	4	302	1	2013/12/29	16:40

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

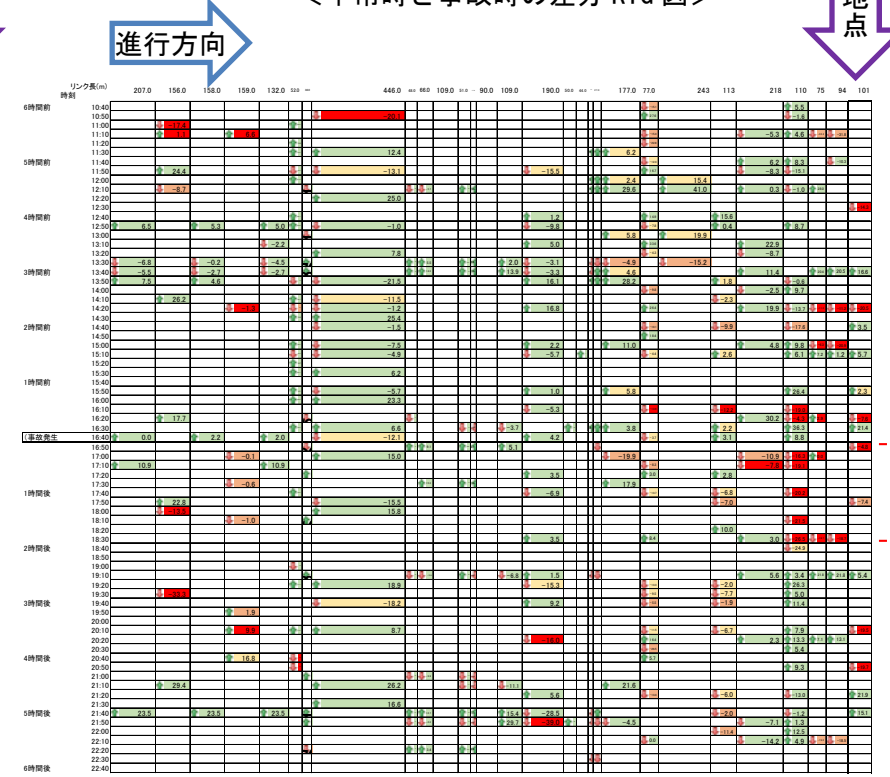
<事故時のRYG図>



<平常時のRYG図>



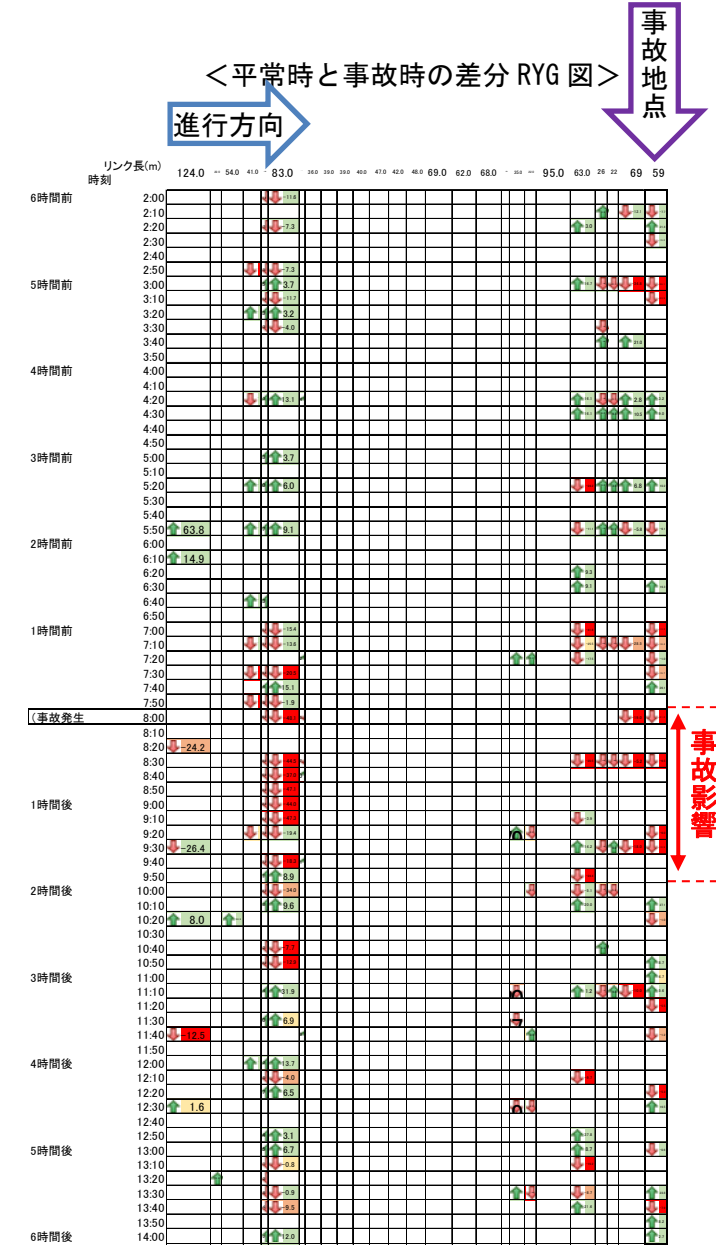
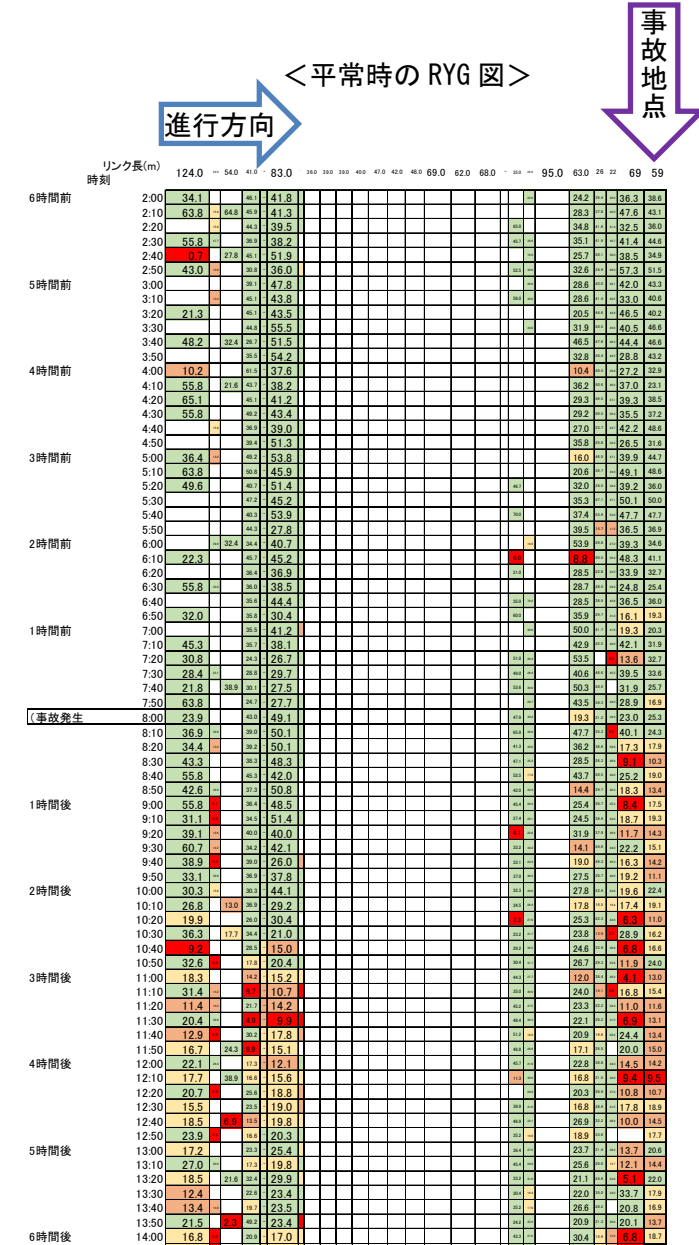
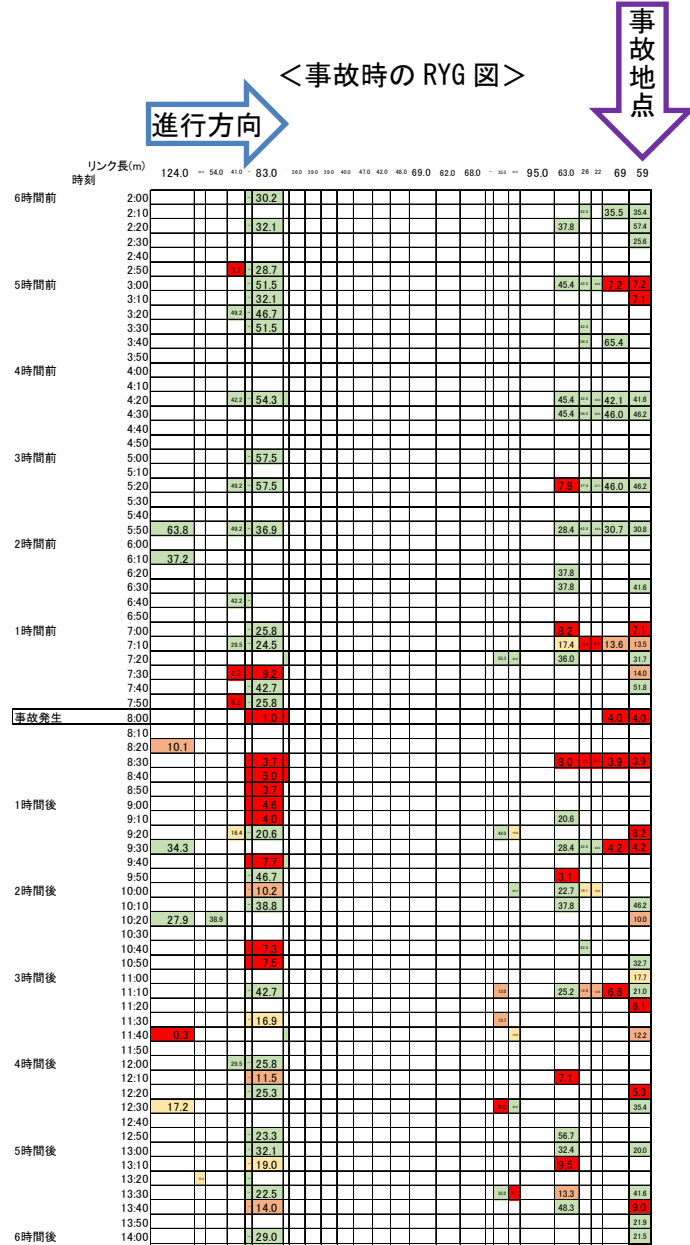
<平常時と事故時の差分RYG図>



事故時：旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)	11.5
事故時：旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)	-6.1
事故時：旅行速度低下の継続時間(分)	100

No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
419	28410	4	304	2	2013/12/10	8:00

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	



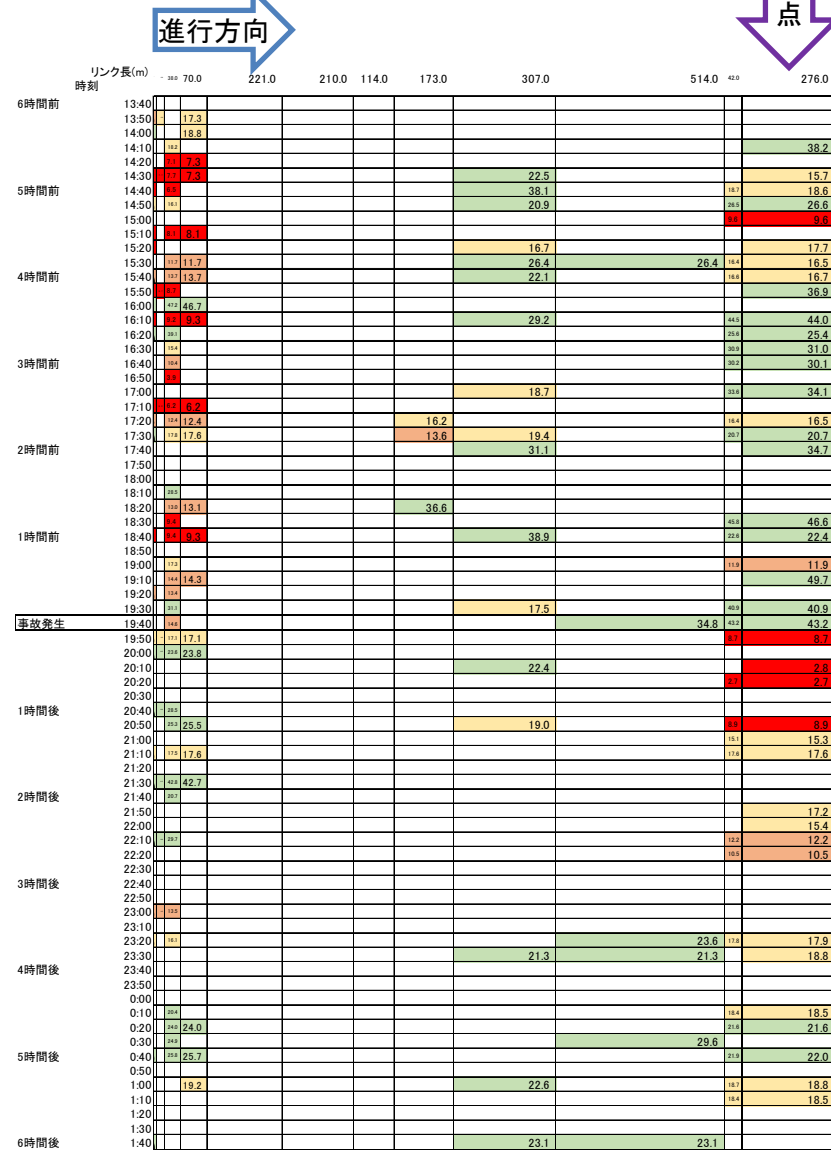
事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	5.1
事故時: 旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-11.2
事故時: 旅行速度低下の継続時間(分)	110

■代表区間 3・指定最高速度 60km/h

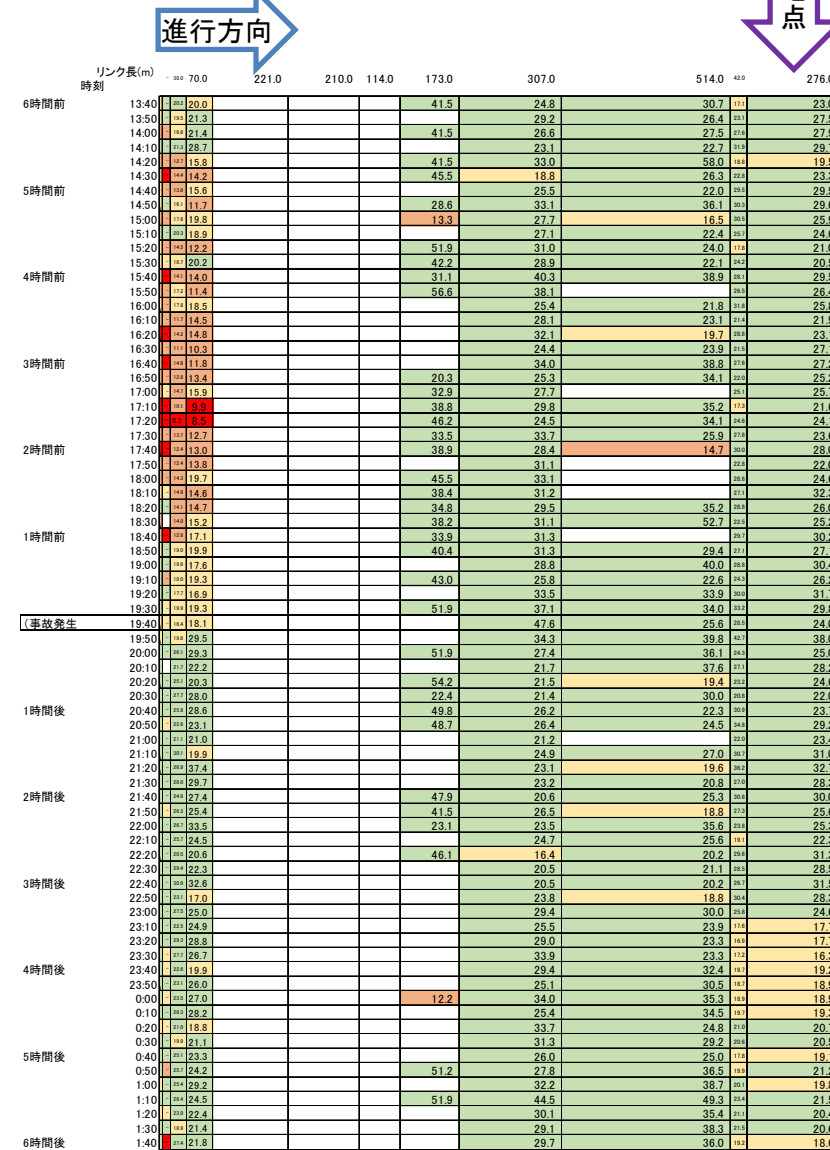
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
89	6828	3	246	1	2013/10/24	19:40

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

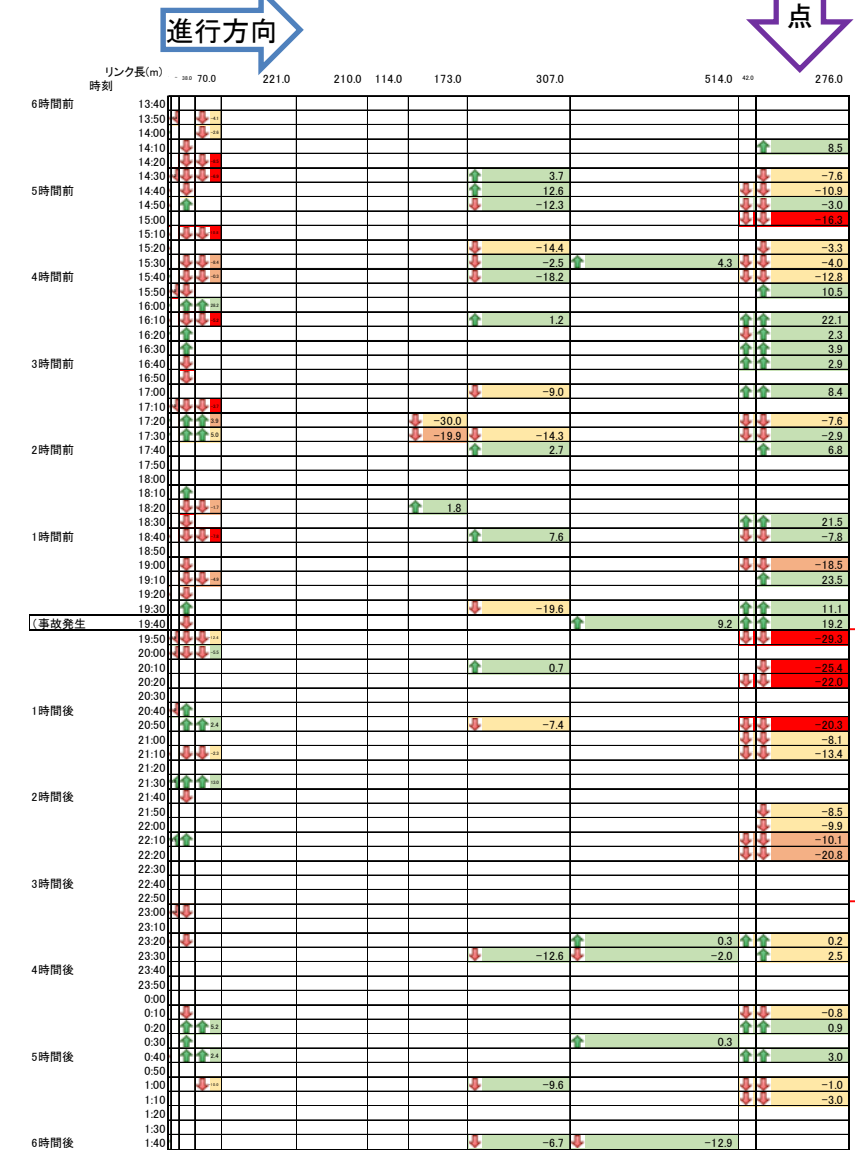
<事故時の RYG 図>



<平常時の RYG 図>



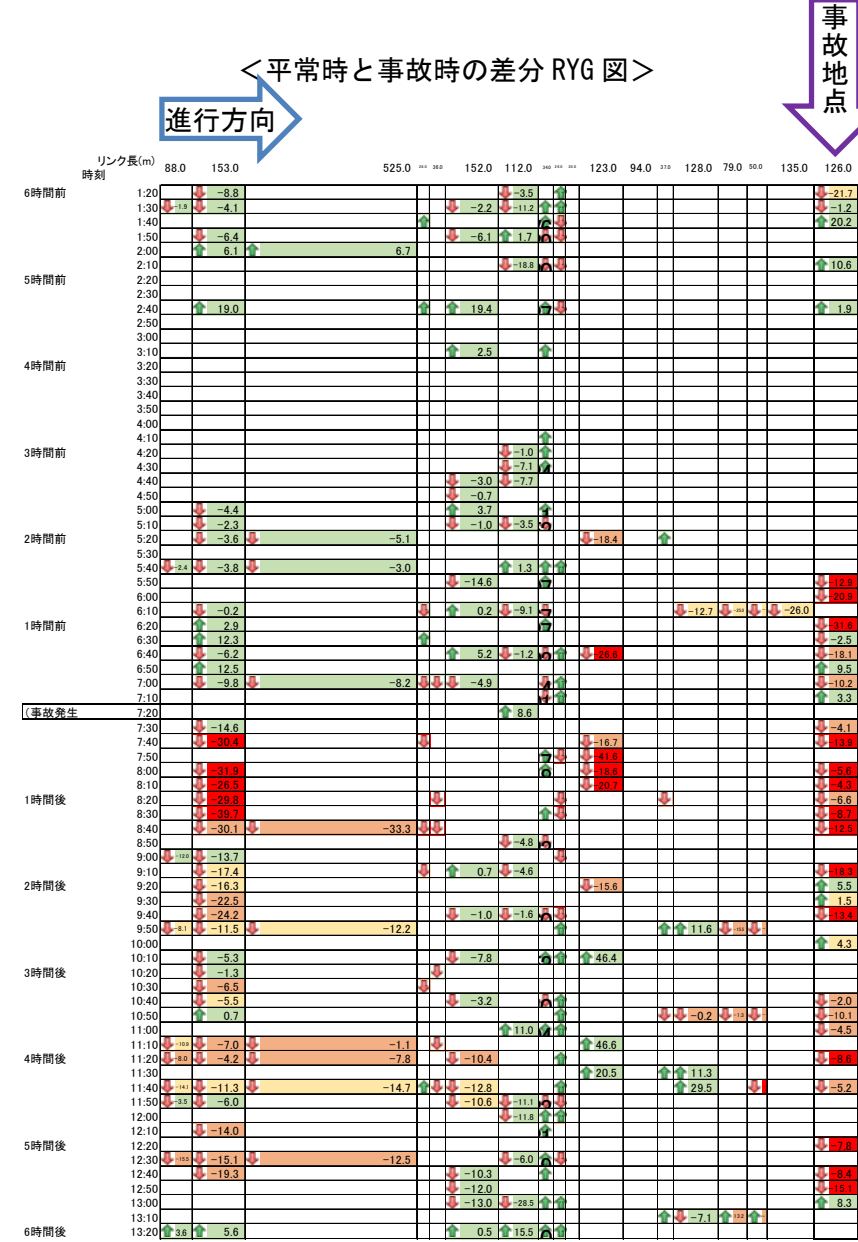
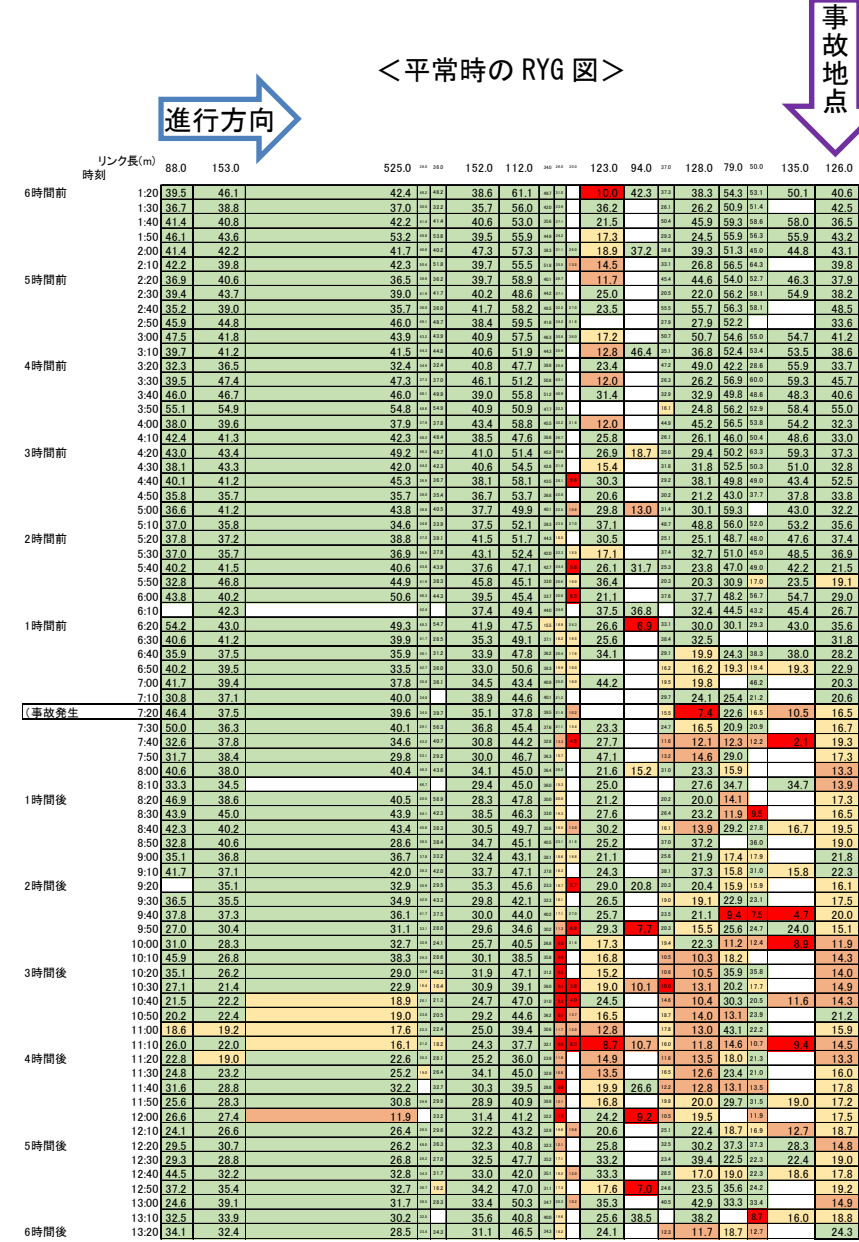
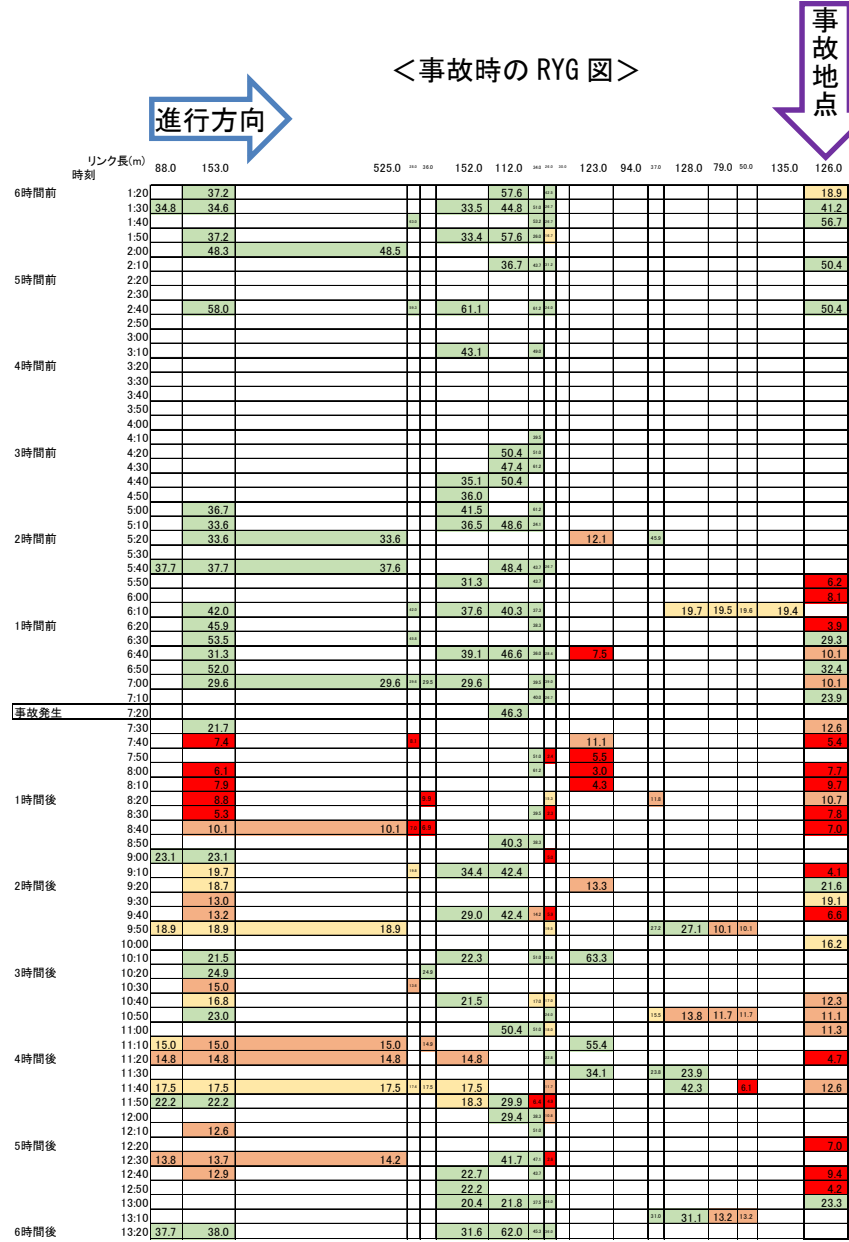
<平常時と事故時の差分 RYG 図>



事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	11.1
事故時: 旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-16.8
事故時: 旅行速度低下の継続時間(分)	180

No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
106	6886	4	311	1	2013/9/20	7:20

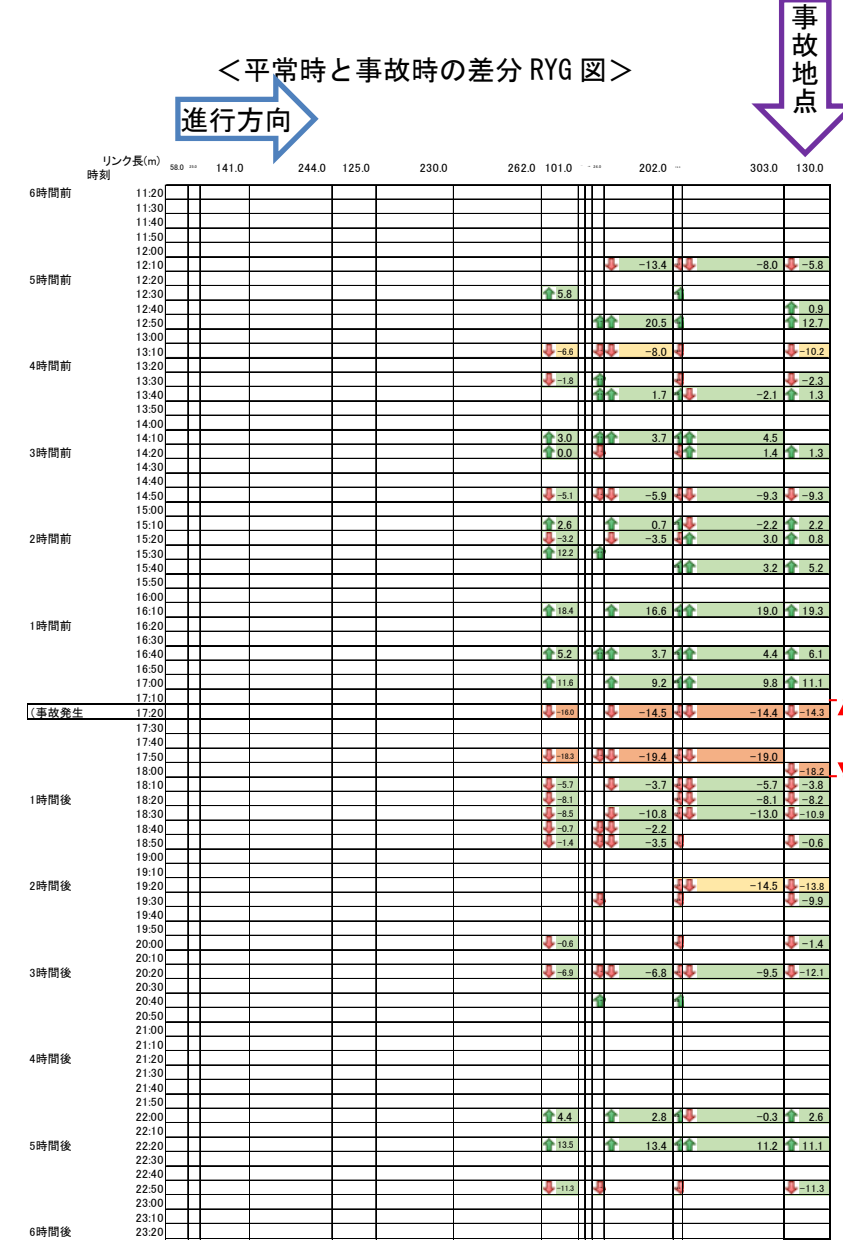
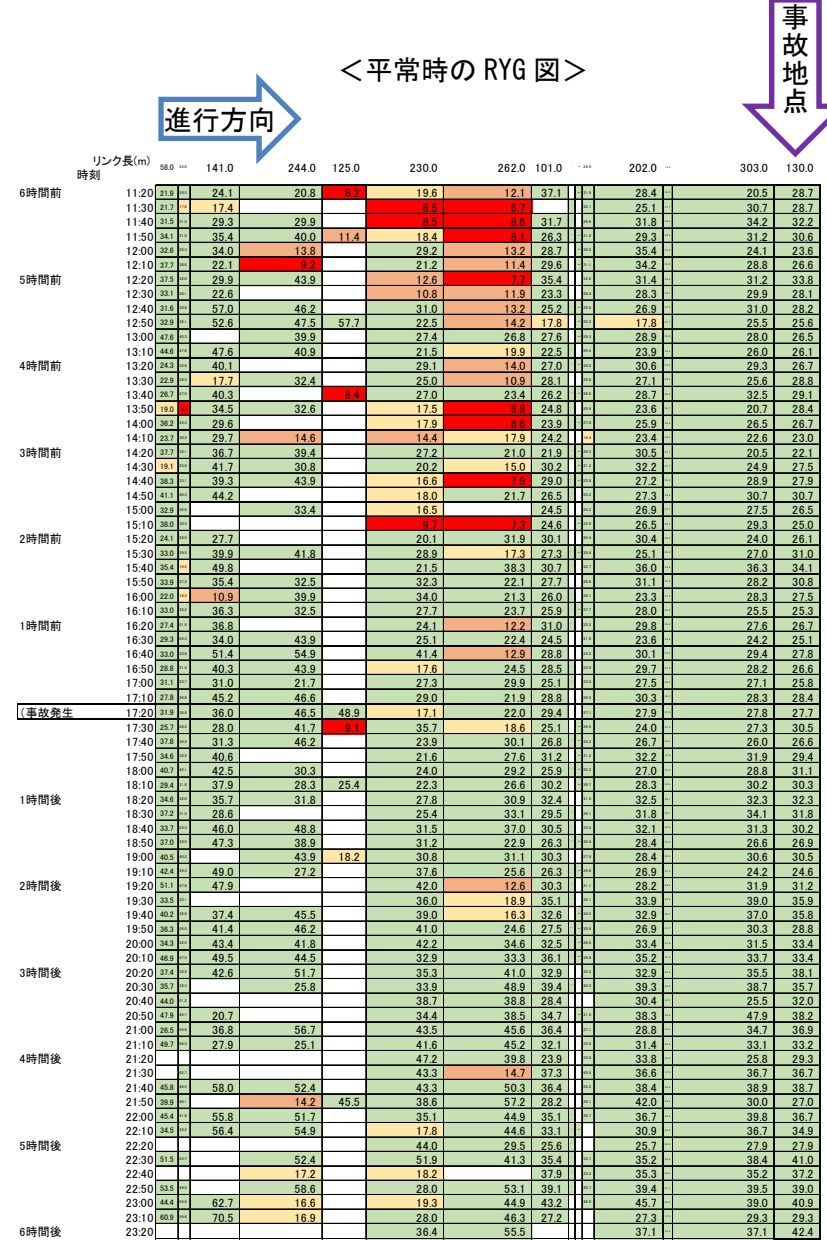
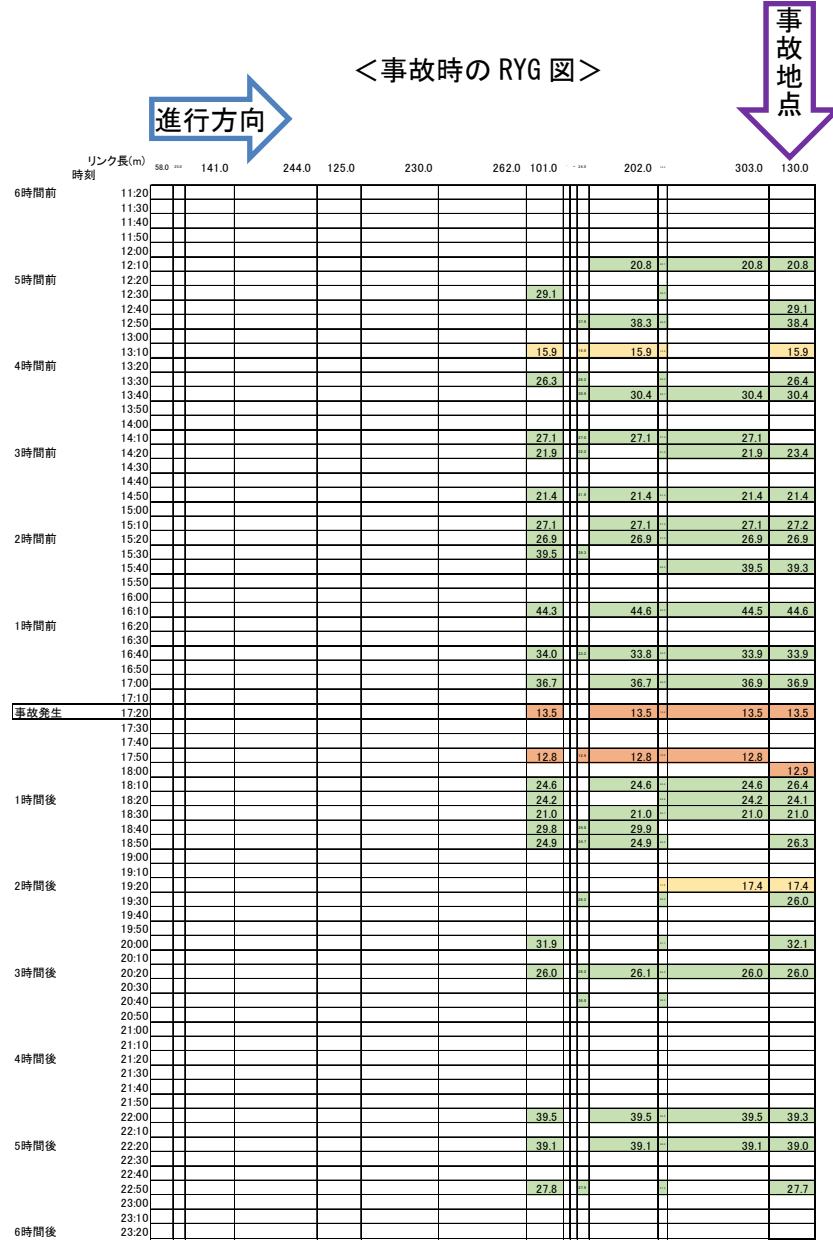
速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	



事故時：旅行速度低下中の平均旅行速度 (km/h)	8.1
事故時：旅行速度の平均低下量 (対平常時) (km/h)	-9.2
事故時：旅行速度低下の継続時間 (km/h)	100

No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
247	13555	3	254	1	2013/11/27	17:20

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	



事故時：旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	13.2
事故時：旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-16.2
事故時：旅行速度低下の継続時間(分)	40

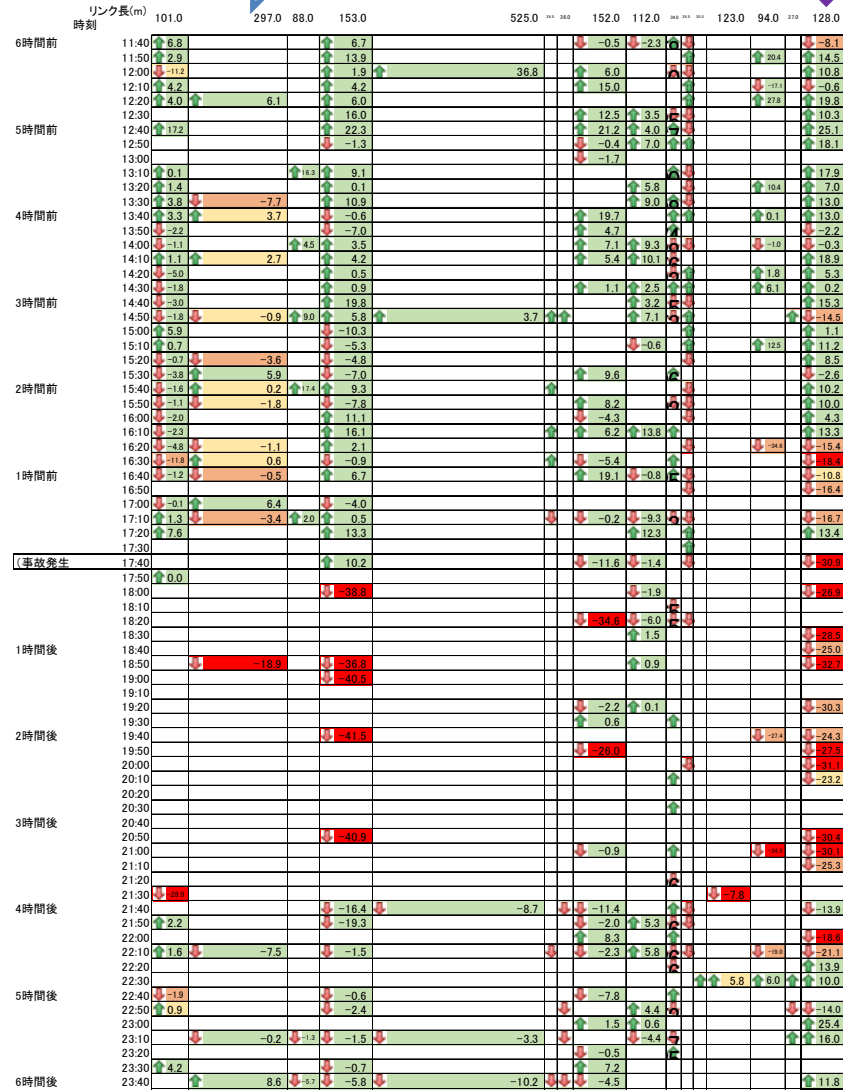
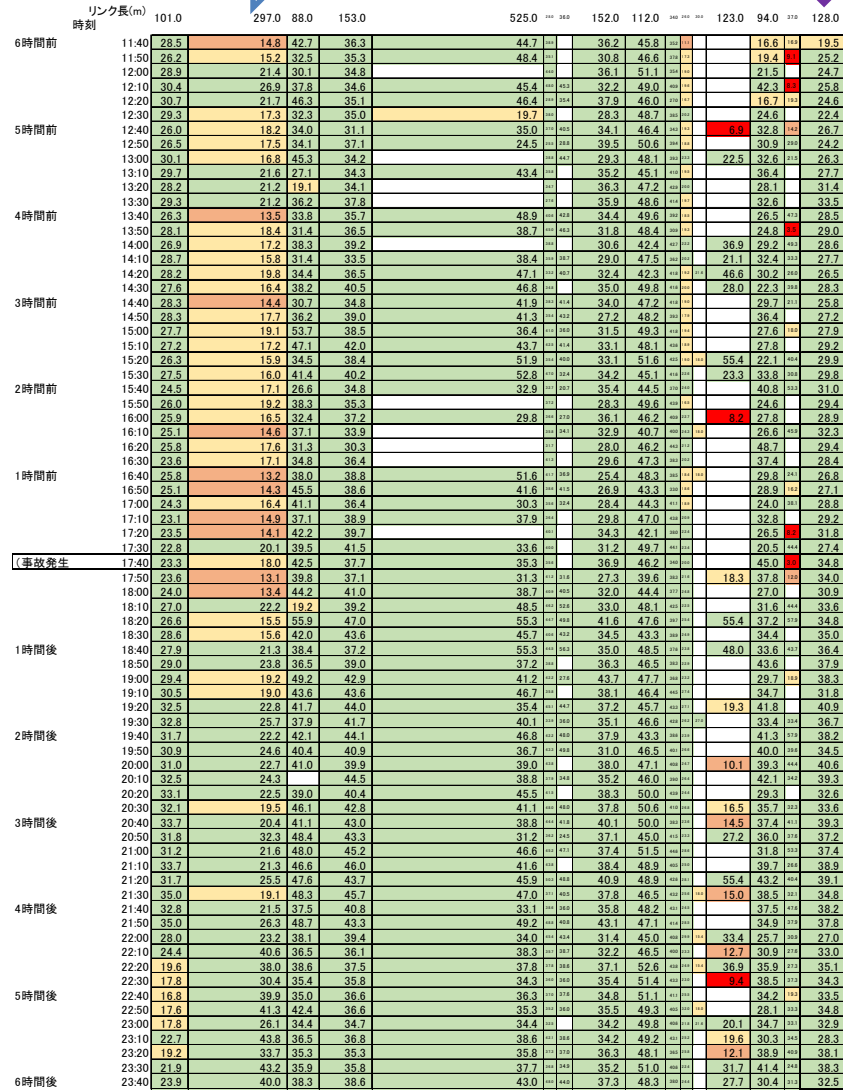
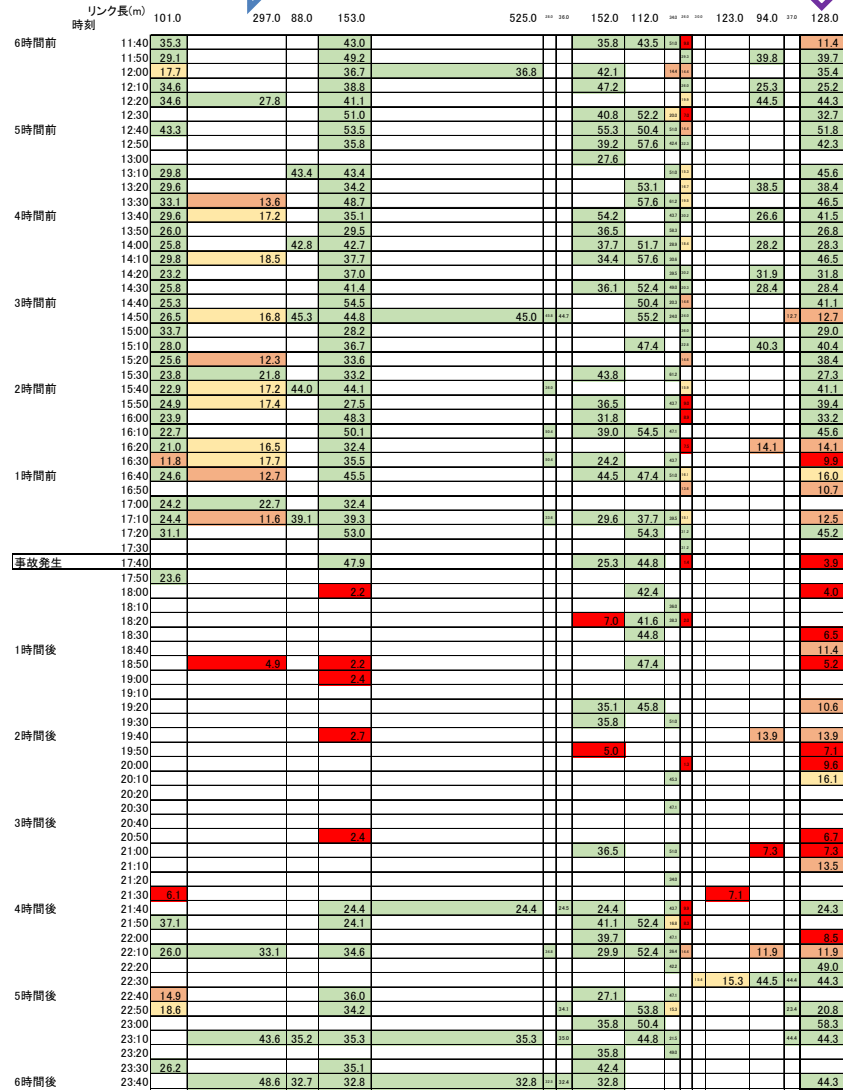
No	事故ID	道路種別	路線No	上下区分	発生日	発生時分
403	28354	4	311	1	2013/10/6	17:40

速度(km/h)	
0-10	
10-15	
15-20	
20-	

<事故時のRYG図>

<平常時のRYG図>

<平常時と事故時の差分RYG図>



事故時: 旅行速度低下中の平均旅行速度(km/h)	8.9
事故時: 旅行速度の平均低下量(対平常時)(km/h)	-28.2
事故時: 旅行速度低下の継続時間(分)	220

(4) 代表区間の Q-V 曲線の作成

① 作成方法

代表区間の平常時における交通量と旅行速度の関係を分析するため、Q-V 関係図の作成を行った。Q-V 関係図とは交通量-速度曲線とも呼ばれ、配分交通量の推計等に用いられる¹⁸。

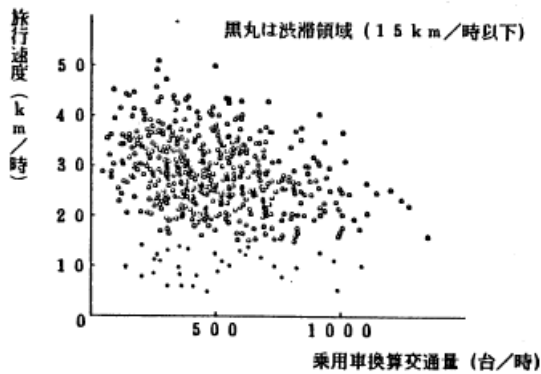


図-3 一般道路における旅行速度と交通量の散布図

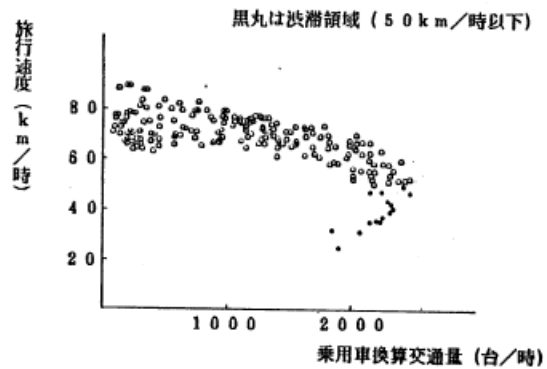


図-4 高速道路における旅行速度と交通量の散布図

図 4-66 Q-V 曲線の例

Q-V 曲線作成のための交通量および旅行速度は以下のデータを用いた。

■交通量データ

代表区間の交通量は、平成 22 年度道路交通センサス調査の時間帯別交通量を使用した。時間帯別交通量表では交通量調査単位区間毎に時間帯別の交通量が整理されている。また代表区間に分類するための車線数は、センサス調査箇所別基本表で示されているため、これらデータを用いることで交通量調査単位区間毎の時間帯別交通量および車線数を整理した。

¹⁸松井、藤田(1986)「交通量配分における Q-V 式の設定方法に関する研究」

交通調査基本区 間番号	道路種 別	路線名		接 続 区 分	区 間 延 長 (km)	高 規 格 道 路 の 別	一 般 国 道 指 定 区 間	一 方 通 行 フ ラ グ	交通調査 単位区間番号		観 測 地 点	停車帯等幅員		車 線 数	歩 道 設 置 率 (%)
		都 道 府 県	指 定 市 コ ド						上 り	下 り					
13300010010	3	1	一般国道1号	4	.2	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010020	3	1	一般国道1号	2	.3	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010030	3	1	一般国道1号	1	.0	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010040	3	1	一般国道1号	6	.2	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010050	3	1	一般国道1号	2	.1	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010060	3	1	一般国道1号	1	.2	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010070	3	1	一般国道1号	1	.2	0	1	0	13100	10010	133000	.00	.00	6	100.0
13300010080	3	1	一般国道1号	2	.3	0	1	0	13100	10020	133000	.00	.00	7	100.0
13300010090	3	1	一般国道1号	1	.4	0	1	0	13100	10020	133000	.00	.00	7	100.0
13300010100	3	1	一般国道1号	1	.4	0	1	0	13100	10020	133000	.00	.00	7	100.0
13300010110	3	1	一般国道1号	2	.4	0	1	0	13100	10030	133000	.00	.00	7	100.0
13300010120	3	1	一般国道1号	1	.2	0	1	0	13100	10030	133000	.00	.00	7	100.0
13300010130	3	1	一般国道1号	2	.4	0	1	0	13100	10040	133000	.00	.00	8	100.0
13300010140	3	1	一般国道1号	1	.2	0	1	0	13100	10040	133000	.00	.00	8	100.0
13300010150	3	1	一般国道1号	1	.3	0	1	0	13100	10040	133000	.00	.00	8	100.0

図 4-67 センサス調査箇所別基本表 (部分)

交通調査 単位区 間番号	道 路 種 別	路 線 番 号	12・ 24 時 間 観 測 の 別	天 候	上 り・ 下 り の 別	車 種 区 分	時間帯別自動車類交通量(台/時)														
							7時台	8時台	9時台	10時台	11時台	12時台	13時台	14時台	15時台	16時台	17時台	18時台	19時台	20時台	21時台
10010	3	1	2	1	1	1	558	716	772	741	743	806	812	901	887	925	736	812	712	503	467
10010	3	1	2	1	1	2	147	194	161	230	164	143	127	157	126	155	91	88	95	63	72
10010	3	1	2	1	2	1	589	766	830	739	770	728	820	840	885	840	848	808	716	620	545
10010	3	1	2	1	2	2	192	255	245	243	186	166	171	170	156	120	95	113	78	73	58
10020	3	1	1	1	1	1	508	662	770	877	997	916	897	989	1064	1215	1222	1231			
10020	3	1	1	2	1	2	125	163	209	195	202	176	149	110	101	132	113	120			
10020	3	1	1	2	1	2	867	1271	1331	1594	1431	1260	1274	1320	1488	1802	1491	1365			
10020	3	1	1	2	2	2	256	218	189	222	180	126	128	163	113	124	62	77			
10030	3	1	1	1	1	1	1950	2288	2220	2399	2454	2371	2424	2495	2640	2876	2703	2689			
10030	3	1	1	2	1	2	215	220	312	379	384	352	284	276	268	266	228	167			
10030	3	1	1	2	1	2	1360	1825	2050	1918	2053	1959	2020	2157	2366	2351	2258	2181			
10030	3	1	1	2	2	2	392	394	469	370	322	256	252	217	184	162	130	108			
10040	3	1	2	1	1	1	336	596	750	806	834	613	688	789	816	876	966	899	700	496	427
10040	3	1	2	1	1	2	53	84	85	92	84	65	65	50	34	24	31	18	23	17	7
10040	3	1	2	1	2	1	305	511	624	655	572	526	603	686	759	707	735	697	473	322	201
10040	3	1	2	1	2	2	74	82	86	70	53	44	43	41	62	37	28	12	19	10	10

図 4-68 センサス調査 時間帯別交通量 (部分)

■旅行速度データ

旅行速度は、民間プローブデータから算出した。民間プローブのデータ項目としては DRM リンク ID が含まれているが、センサス調査のデータには含まれていない。そのため DRM ID テーブルを参照することで、DRM リンク ID と交通量調査単位区間を対応付け、これにより交通量調査単位区間毎に旅行速度データを整理した。

一つの交通量調査単位区間には複数の DRM リンク ID が含まれるため、これらの

DRM リンクの旅行速度を算術平均したものを、各時間帯の平均旅行速度とした。

なお、Q-V 関係図の作成に用いた旅行速度データは、平成 22 年度道路交通センサス調査の時間帯別交通量の調査時期を踏まえ、2013 年 10 月 7 日～11 日の平日 5 日間のデータを用いた。

② Q-V 関係図の作成結果

代表区間ごとに作成した Q-V 関係図を以下に示す。

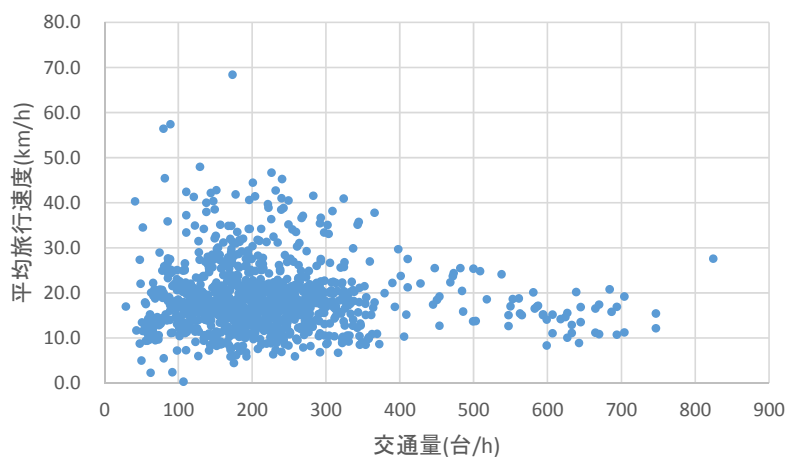


図 4-69 Q-V 関係図 (代表区間 1)

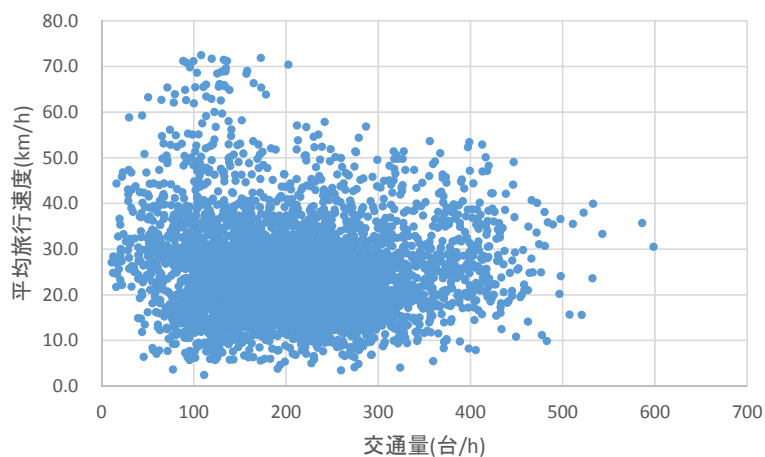


図 4-70 Q-V 関係図 (代表区間 2)

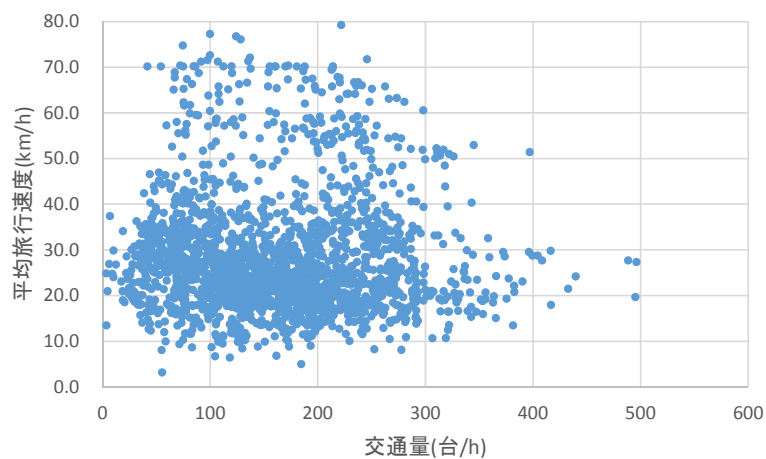


図 4-71 Q-V 関係図 (代表区間 3)

また、指定最高速度別に分類した代表区間別の Q-V 関係図を以下に示す。

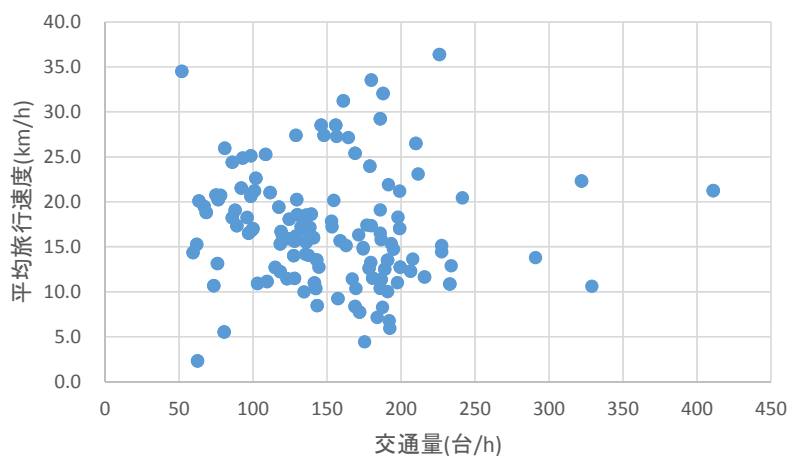


図 4-72 Q-V 関係図 (代表区間 1、指定最高速度 30km/h)

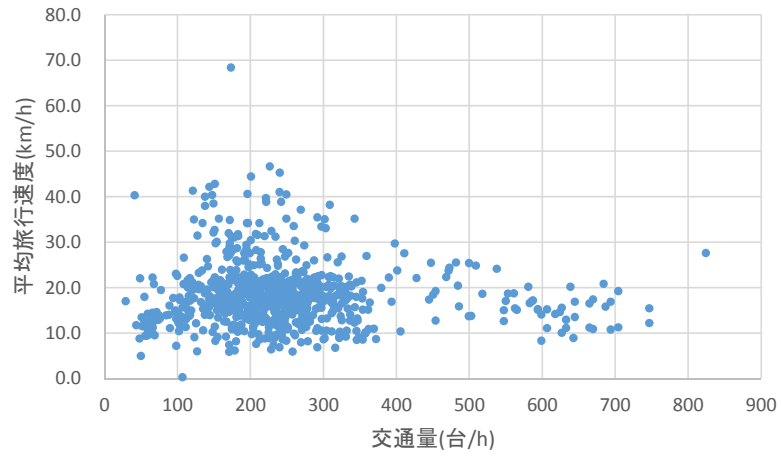


図 4-73 Q-V 関係図 (代表区間 1、指定最高速度 40km/h)

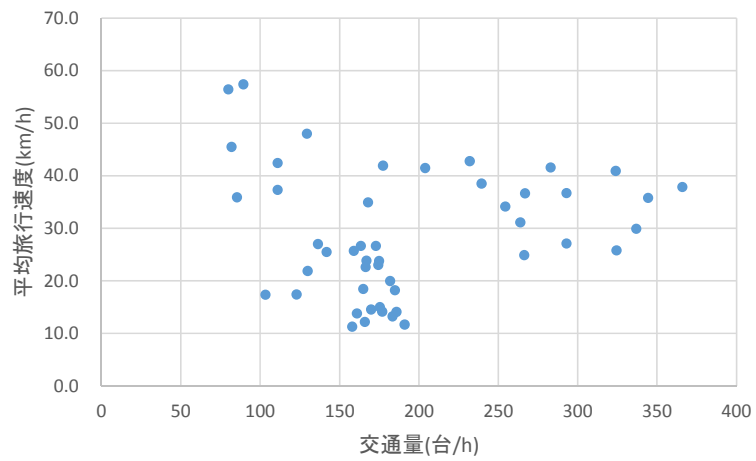


図 4-74 Q-V 関係図 (代表区間 1、指定最高速度 50km/h)

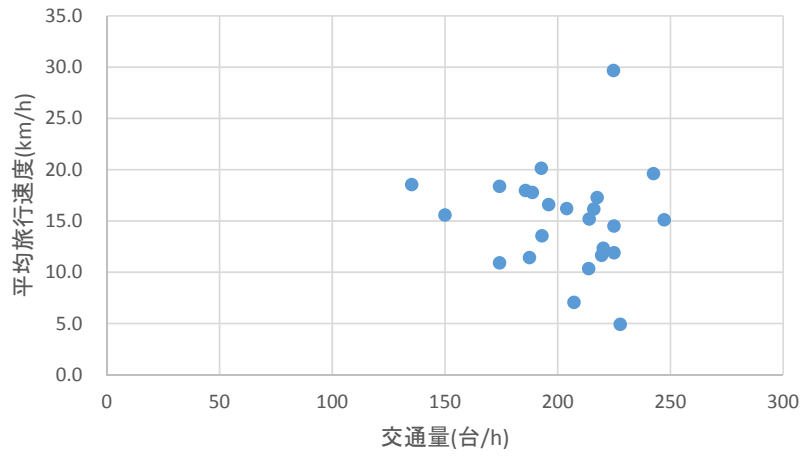


図 4-75 Q-V 関係図 (代表区間 2、指定最高速度 30km/h)

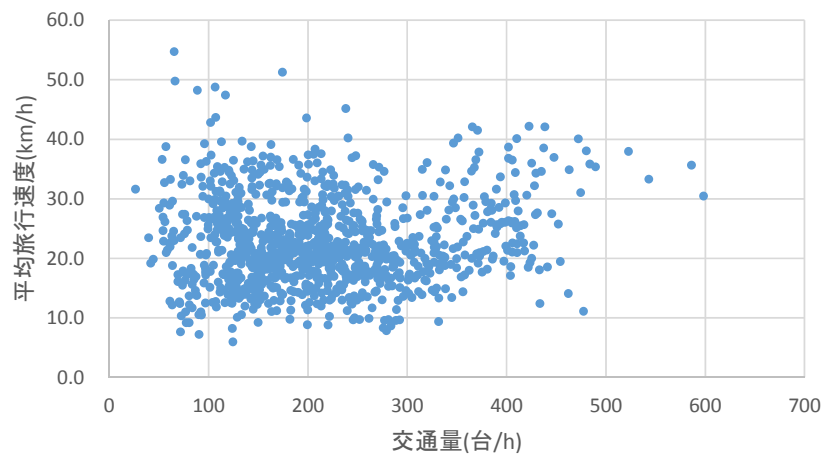


図 4-76 Q-V 関係図 (代表区間 2、指定最高速度 40km/h)

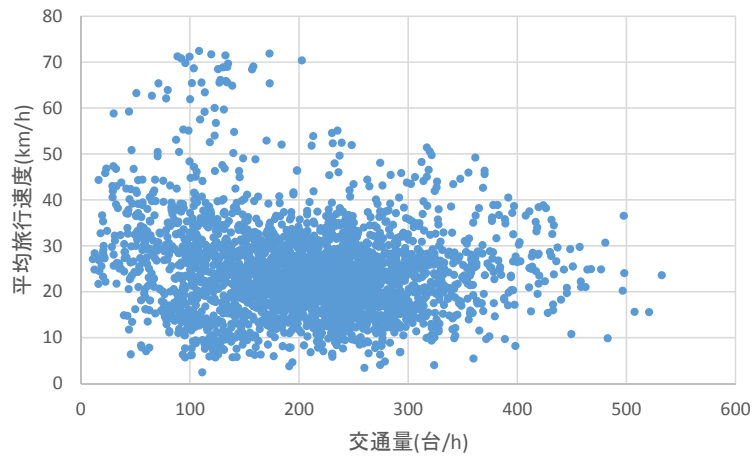


図 4-77 Q-V 関係図 (代表区間 2、指定最高速度 50km/h)

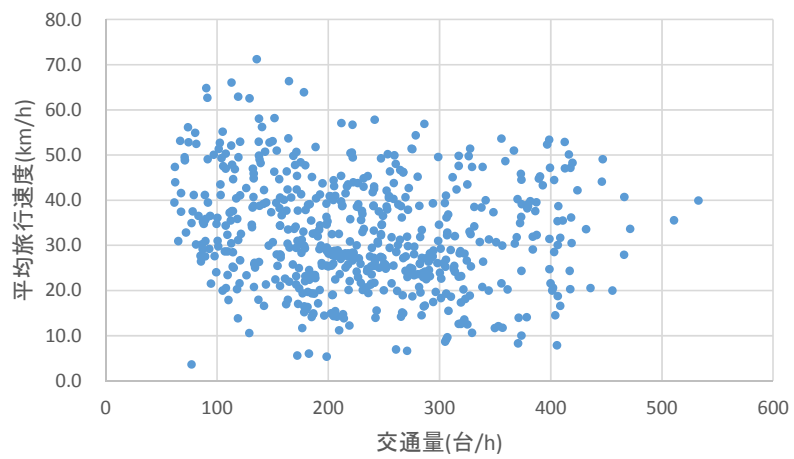


図 4-78 Q-V 関係図 (代表区間 2、指定最高速度 60km/h)

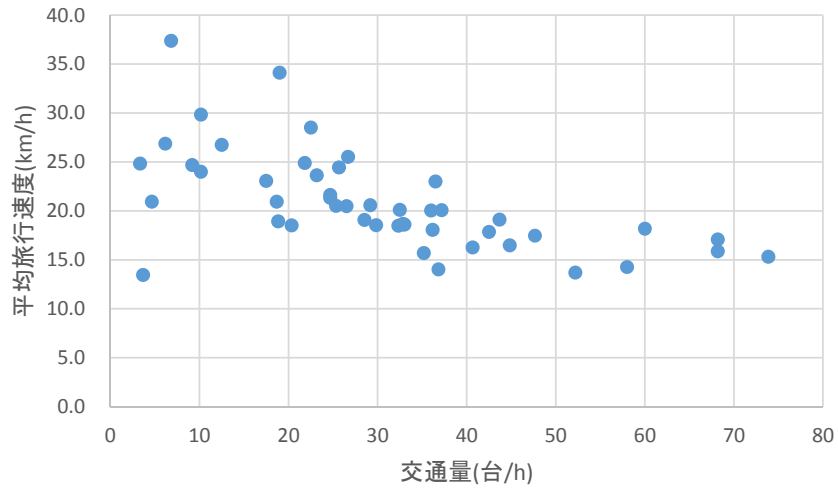


図 4-79 Q-V 関係図 (代表区間 3、指定最高速度 30km/h)

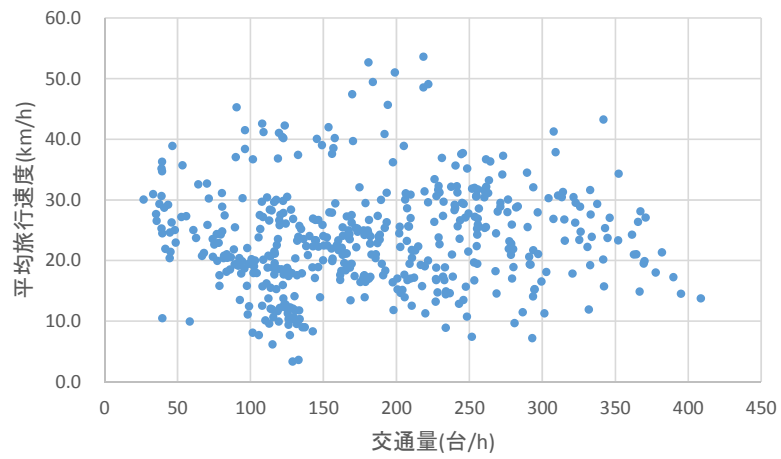


図 4-80 Q-V 関係図 (代表区間 3、指定最高速度 40km/h)

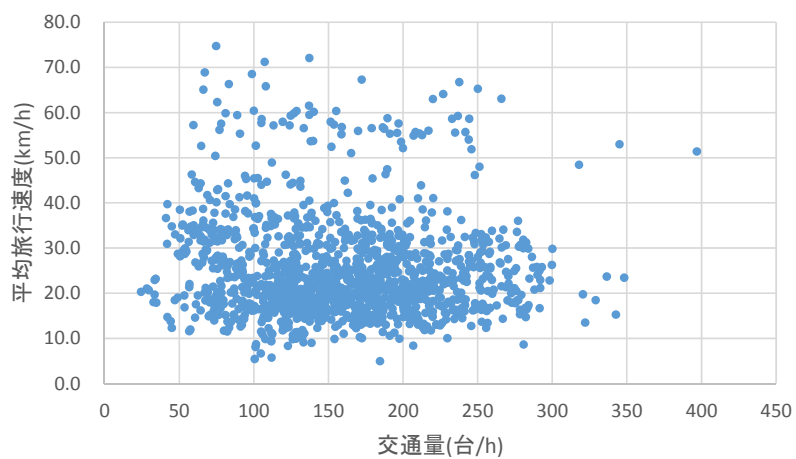


図 4-81 Q-V 関係図 (代表区間 3、指定最高速度 50km/h)

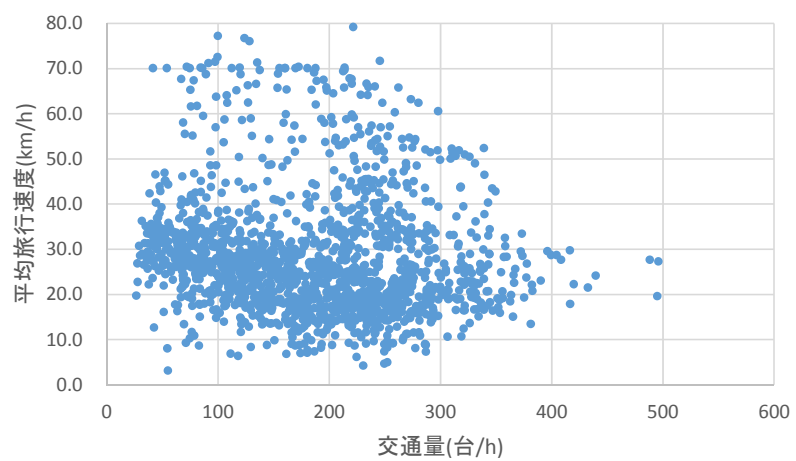


図 4-82 Q-V 関係図 (代表区間 3、指定最高速度 60km/h)

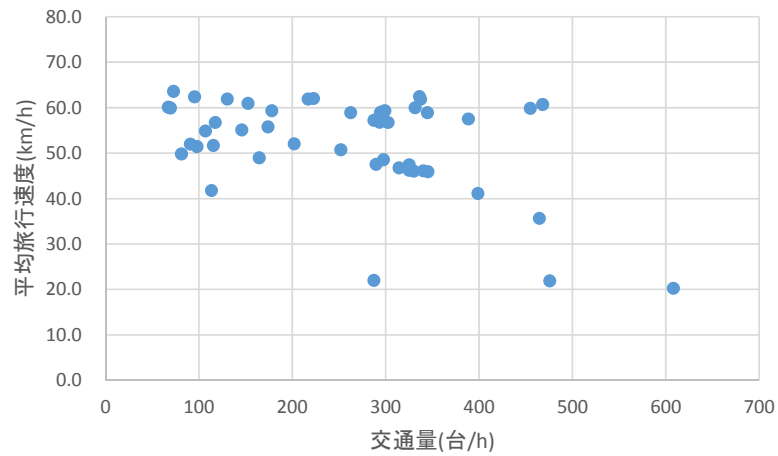


図 4-83 Q-V 関係図 (代表区間 3、指定最高速度 70km/h)

上記で作成した Q-V 関係図に対して、図 4-84 に示すとおり、交通量の上位 10%の重心を包絡線の頂点と考え、原点-頂点、頂点-交通量 0 となる点を結ぶことで、直線近似した QV 線を描いた。以降に、代表区間別にその結果を示す。

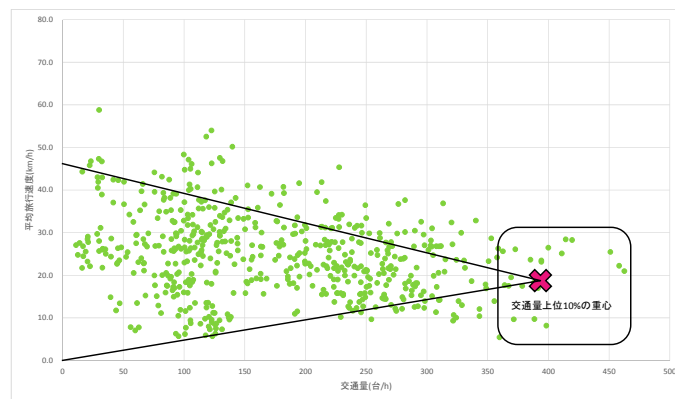


図 4-84 QV 曲線の作成イメージ

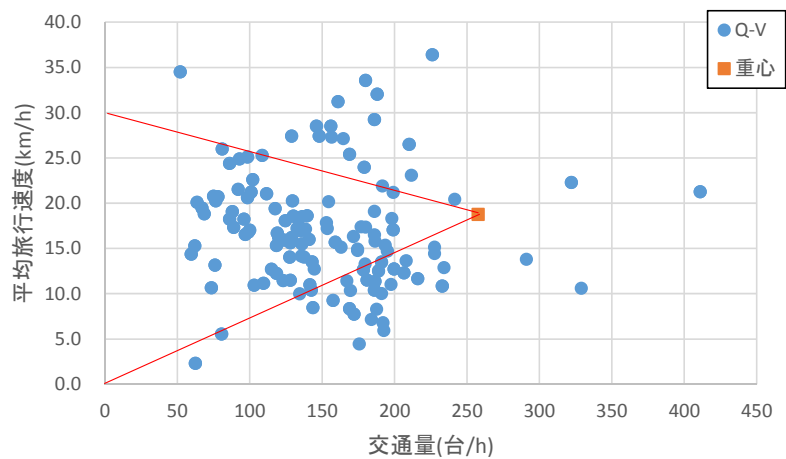


図 4-85 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 1、指定最高速度 30km/h)

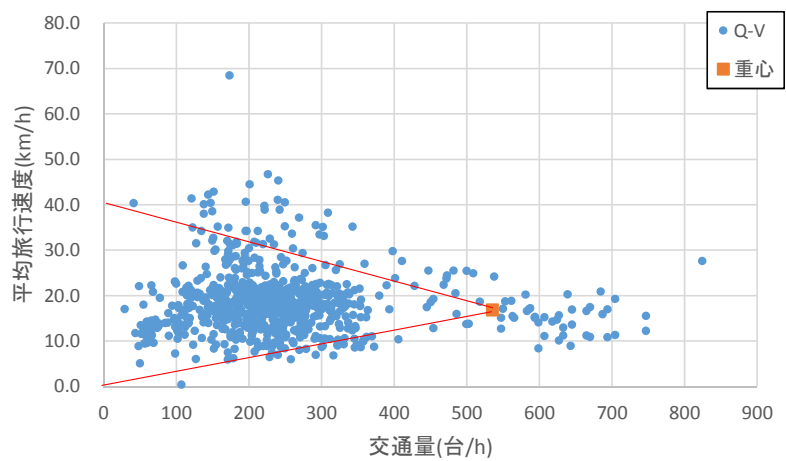


図 4-86 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 1、指定最高速度 40km/h)

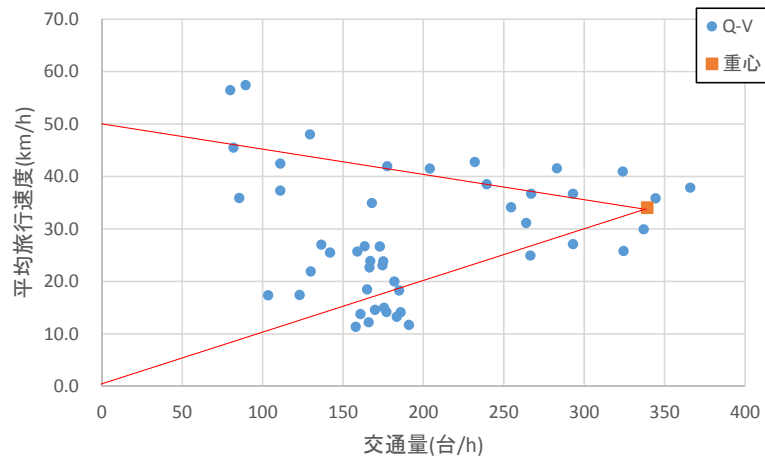


図 4-87 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 1、指定最高速度 50km/h)

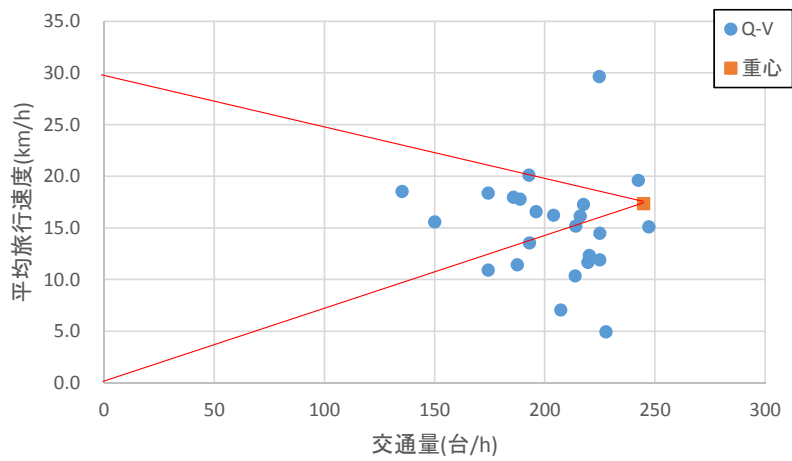


図 4-88 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 2、指定最高速度 30km/h)

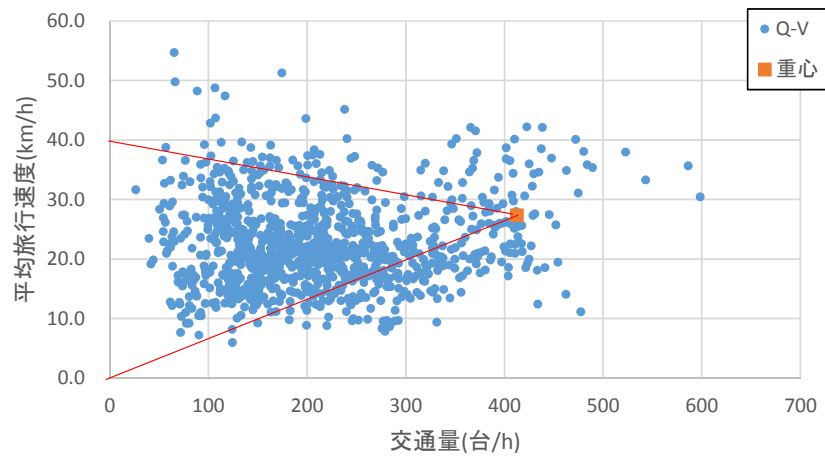


図 4-89 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 2、指定最高速度 40km/h)

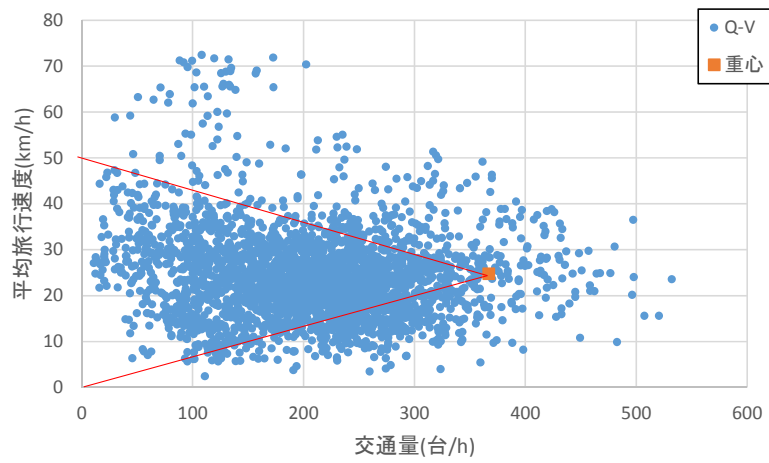


図 4-90 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 2、指定最高速度 50km/h)

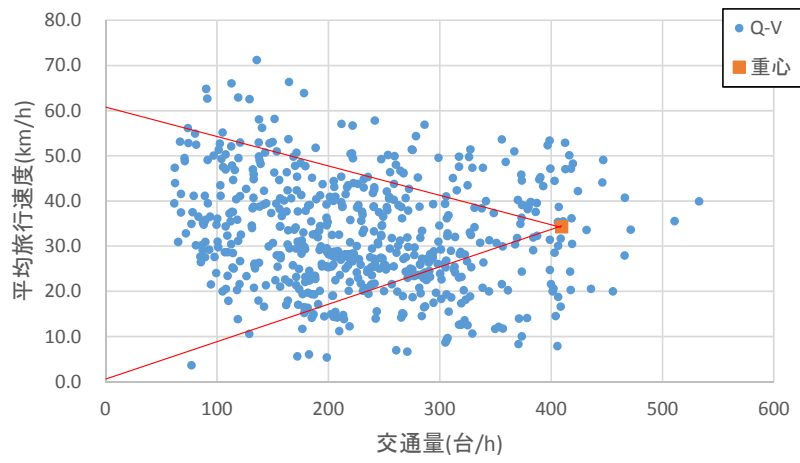


図 4-91 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 2、指定最高速度 60km/h)

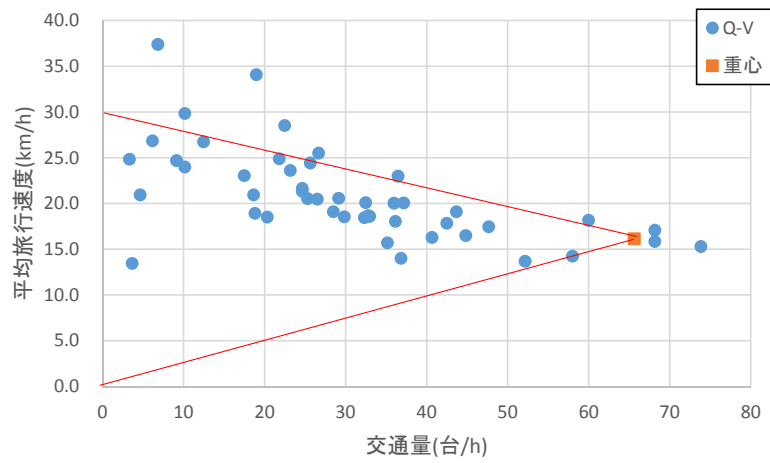


図 4-92 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 3、指定最高速度 30km/h)

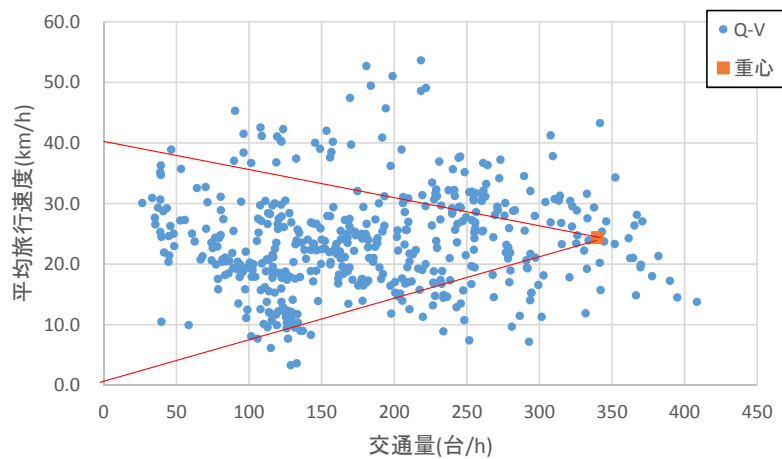


図 4-93 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 3、指定最高速度 40km/h)

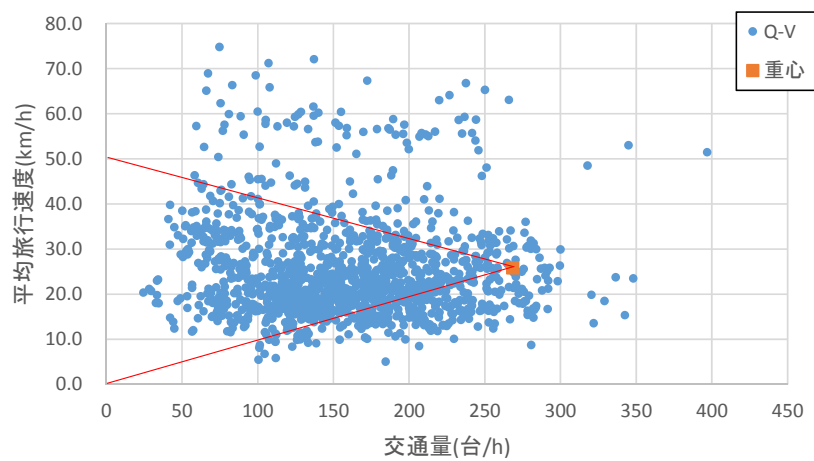


図 4-94 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 3、指定最高速度 50km/h)

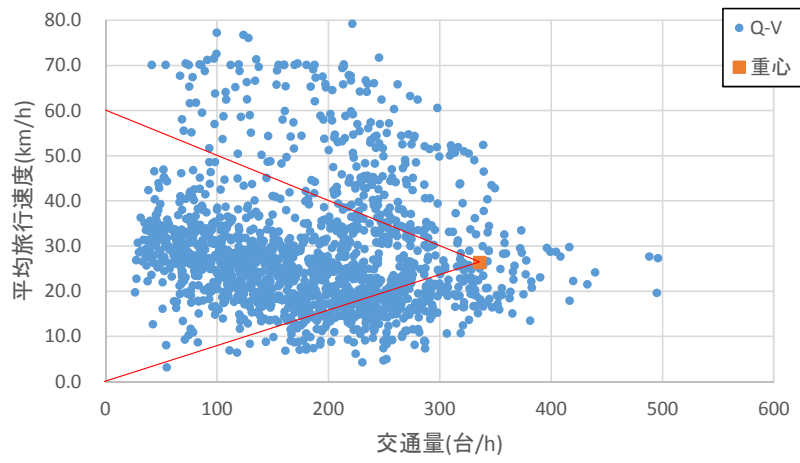


図 4-95 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 3、指定最高速度 60km/h)

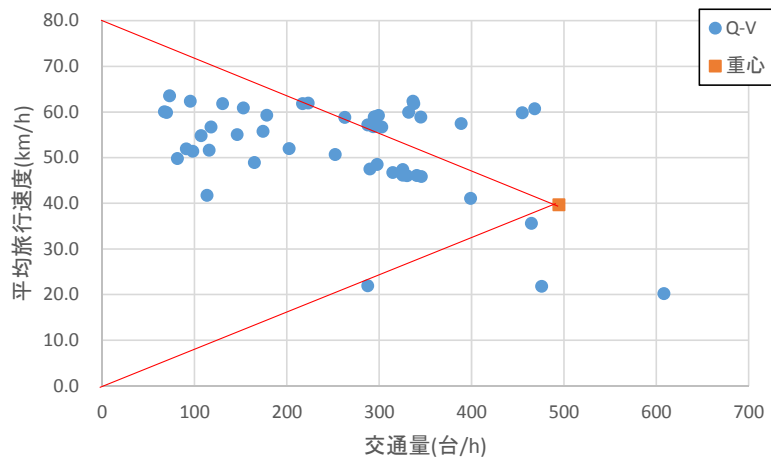


図 4-96 Q-V 関係図と QV 曲線 (代表区間 3、指定最高速度 80km/h)

(5) 交通事故による交通容量の低下量の把握

① 分析方法

(3)にて算出された旅行速度の平均値に対し、(4)にて作成した Q-V 関係図を用いて交通容量の低下量を算出した。算出方法を以下に示す。また、この交通容量の低下量は図 4-97 において Q2-Q1 に相当する。

交通容量の低下量 = 該当する代表区間の交通容量 - 事故時の旅行速度における交通量

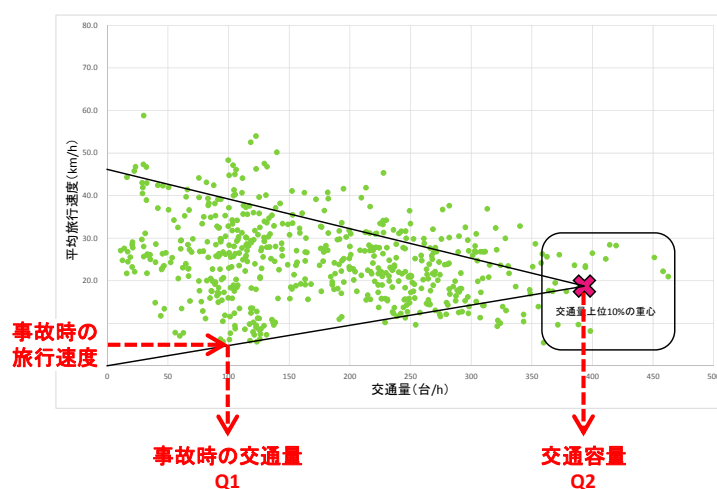


図 4-97 Q-V 曲線による交通容量の低下量把握の概念図

② 分析結果

4.2.3(3)より算出した代表区間・指定最高速度別の事故時の旅行速度の平均値より、当該事故による交通容量の低下量を算出した。結果を以下に示す。

表 4-7 追突事故による事故時旅行速度の低下量とその継続時間

代表区間 ※1	指定最高速度 (km/h)	交通容量 (台/h)	サンプル数	① 事故時の旅行速度 (平均) (km/h)	② ①に基づく事故時の交通量 (台/h)	③ 事故による交通容量の低下量 (台/h)
2	40	413	2	8.2	123	290
2	50	367	3	6.3	93	274
3	40	340	1	6.8	95	245
3	50	269	2	8.3	86	182
3	60	336	4	10.3	131	205

※1 代表区間2: 片側2車線(両側3車線~5車線)の一般国道・主要都道
代表区間3: 片側3車線以上(両側6車以上)の一般国道・主要都道
注) 交通量、交通容量は1車線あたりの数値である

■代表区間 2・指定最高速度 40km/h のケース

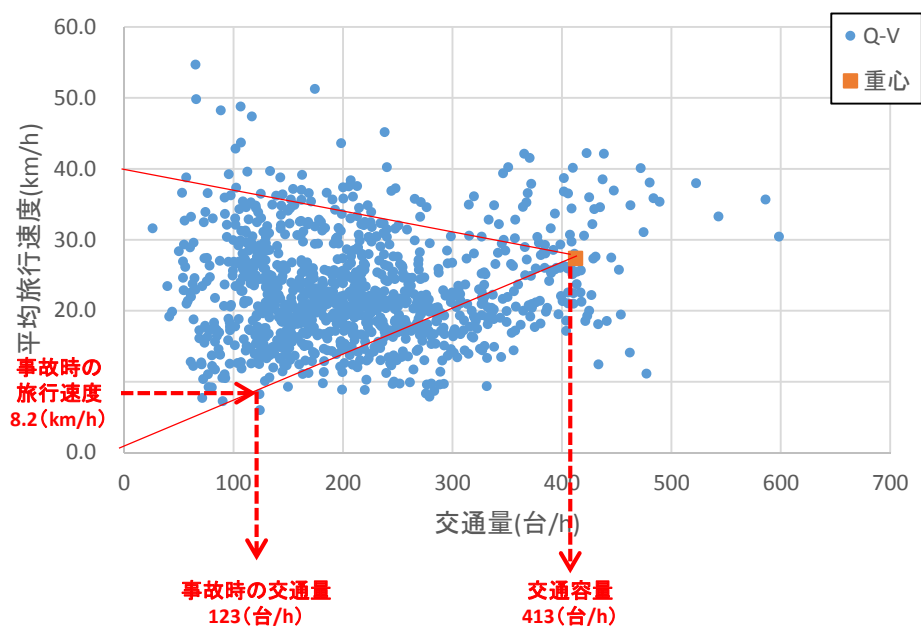


図 4-98 代表区間 2・指定最高速度 40km/h のケース

■代表区間 2・指定最高速度 50km/h のケース

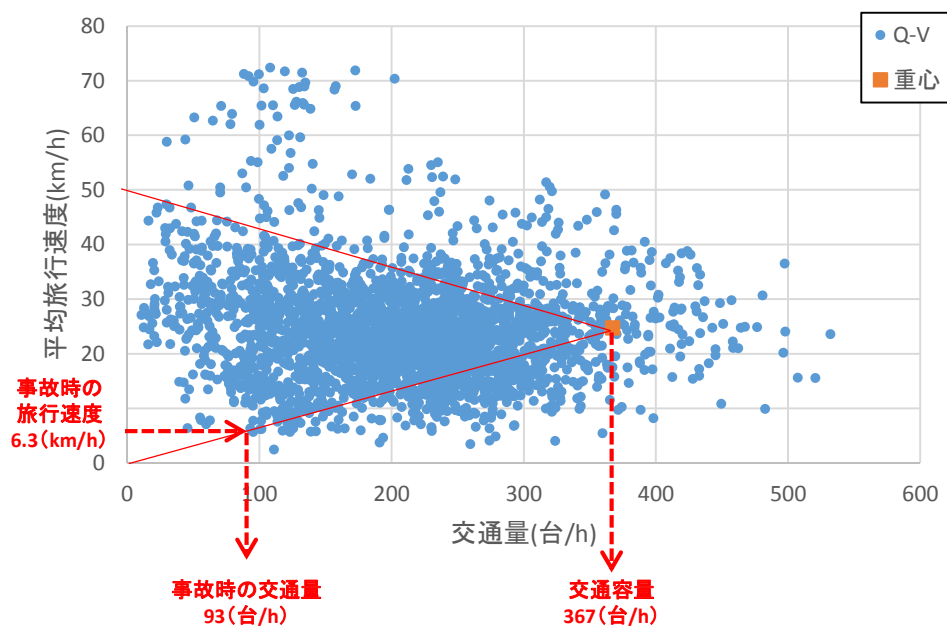


図 4-99 代表区間 2・指定最高速度 50km/h のケース

■代表区間 3・指定最高速度 40km/h のケース

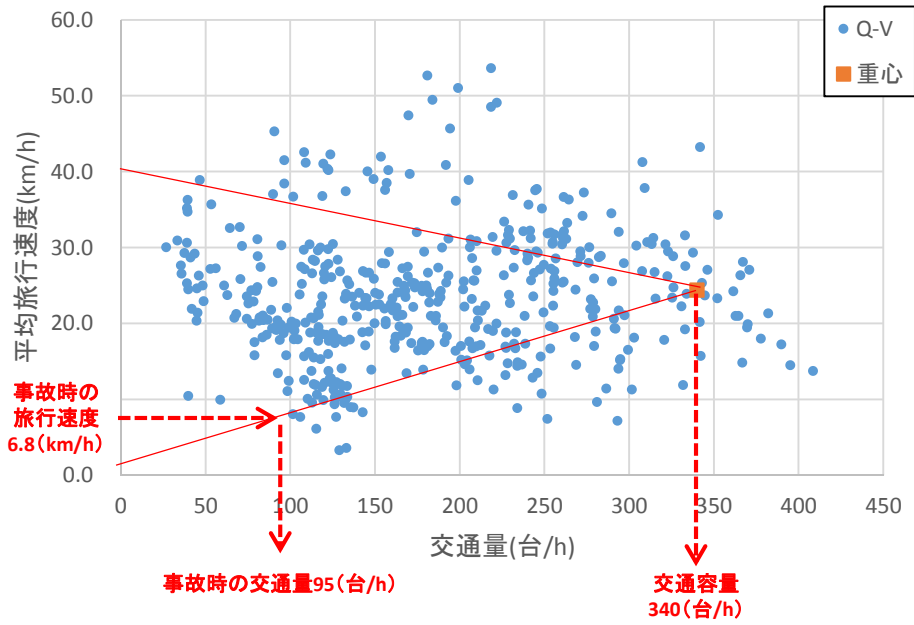


図 4-100 代表区間 3・指定最高速度 40km/h のケース

■代表区間 3・指定最高速度 50km/h のケース

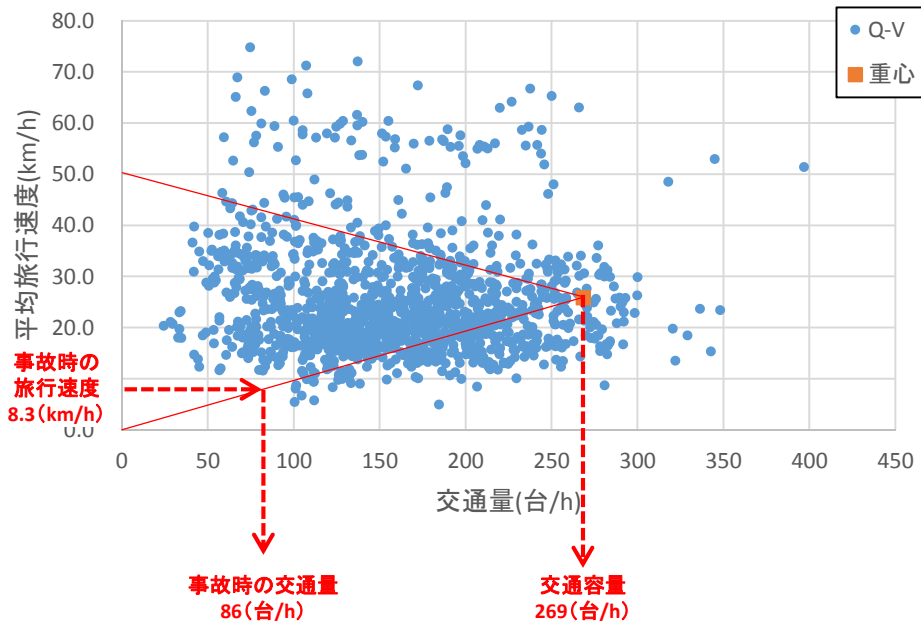


図 4-101 代表区間 3・指定最高速度 50km/h のケース

■代表区間 3・指定最高速度 60km/h のケース

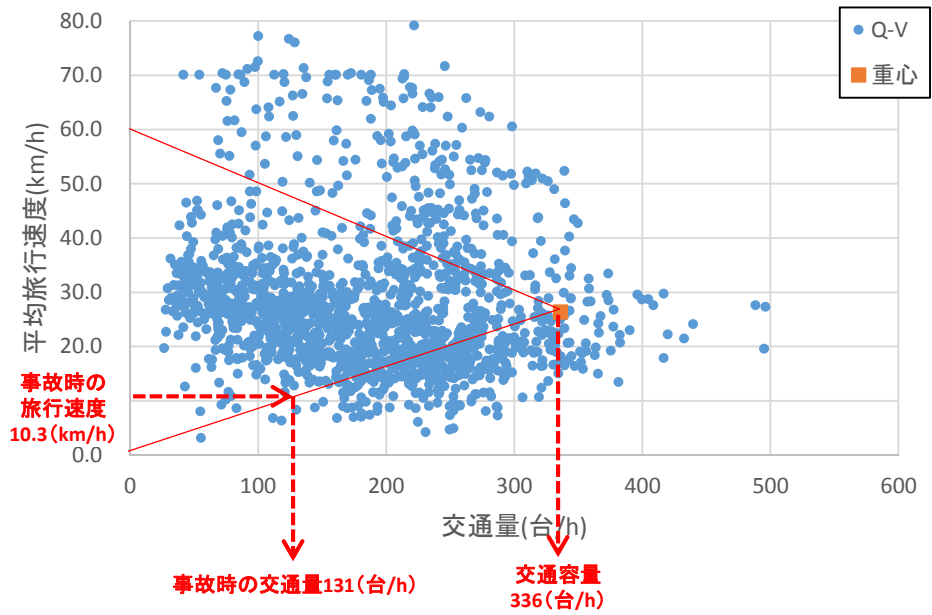


図 4-102 代表区間 3・指定最高速度 60km/h のケース

なお、現時点では 12 サンプルにもとづく結果であるため、今後データの拡充を図り、精度を高める必要があると考えられる。

5. CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

本事業においては、昨年度に整理された各自動走行システムの評価に必要なデータを収集し、評価における入力データおよび検証用データとして整備した。

5.1 グリーンウェーブ走行の評価に必要なデータ

導入評価の対象地域としては、産官学の連携で各種の ITS 施策導入を積極的に進めている柏市域を想定した。

5.1.1 道路ネットワークデータ

交通流シミュレーションに用いるデータとして、グリーンウェーブ走行対象路線の道路ネットワークデータ（交差点及び道路区間長）及び車線構成データについては、市販のデジタル道路地図ネットワークデータを利用することとした。

5.1.2 交通量関連データ

路線流入出交通量、および交差点右左折交通量、信号制御パラメータ、現況再現用の走行速度調査データ、もしくはプローブデータ、および情報提供用路側ビーコン設置位置、交通量センサ設置位置については、柏 ITS 推進協議会と連携することでデータの入手を試みた。協議会では、現在、柏市域における ETC2.0 プローブデータ活用に取り組んでおり、今年度は ETC2.0 プローブデータの基礎的な分析を行っている途中であった。このため、次年度にその分析結果を参照させてもらい、ケーススタディに反映させることとした。

5.1.3 CO₂ 排出モデル関連データ

CO₂ 排出量モデルで必要となる、信号交差点での停止発進時加減速度、巡航速度等は、交通流シミュレーションより出力される速度パターンを用いる。

車種構成データは、環境省のナンバープレート調査を参考に設定した。なお、CO₂ 排出量モデルではハイブリッド車（HEV）の категорияもあるが、ナンバープレート調査では HEV のみを調査したデータが無いため、HEV については自動車検査登録協会の初度登録データを参考に設定した（図 5-1）。

また今後の準備として、環境省の CO₂ 排出原単位のデータ等を活用し補正係数を作成することで、最新車両の CO₂ 排出量を考慮できるようにした。

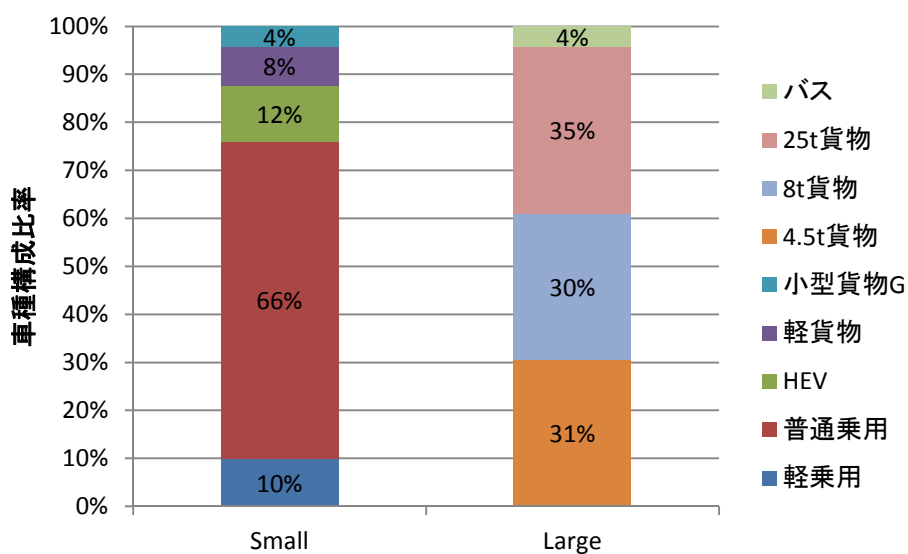


図 5-1 柏市車種構成データ

5.1.4 全国拡大計算用データ

評価結果のスケール拡大に用いるデータである主要路線交通量データについては、平成22年度道路交通センサスデータを活用することとした。また、信号交差点密度については、地図ネットワークデータから算出することとした。

5.2 ART の評価に必要なデータ

「次世代都市交通システム」(ART)に係る最先端技術の導入に向けた協力を行うことを目的に、東京都、内閣府及び京成バス株式会社並びに車両メーカー3社間で覚書が締結されている¹⁹。そこでARTの導入評価の対象地域としては、東京都のBRT導入計画路線である環状二号線を対象に、東京都・港区～お台場地域を想定した。

5.2.1 道路ネットワークデータ

まず、導入対象都市の道路ネットワークデータ及び車線構成データは、市販のデジタル道路地図データを利用することとした。対象路線の縦断勾配は、図5-2に示した縦断面図より、勾配がある区間を簡易に読み取り、設計速度60km/hでの最大勾配5%で上り下りするとした。



図 5-2 ART 運行路線の縦断面図²⁰

信号制御パラメータは、国土地理院・数値地図データより、東京都心部における信号交差点位置を読み取り、これにデジタル道路地図データの交差点位置を重ねて、図5-3に示した通り、シミュレーションネットワークでの信号設置ノードを決定した。これらについて、サイクル長を平均的な130秒と仮定した上で、幹線道路どうしの交差点ではそれぞれの流入路に50%のスプリットで、交差道路が細街路の場合は幹線側に60%のスプリットで、現示を設定した。

¹⁹ 「都心と臨海副都心とを結ぶBRT計画に係る協力に関する覚書」の締結(東京都報道発表)より

²⁰ 2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた国土交通省の取り組み(国土交通省)より



図 5-3 信号制御対象交差点

5.2.2 交通量関連データ

導入対象都市における自動車交通 OD 表は、国土交通省による平成 20 年パーソントリップ調査（H20PT 調査）結果および平成 22 年度道路交通センサス（H22 センサス）OD データを活用することとした。即ち、図 5-4 に示した通り、H20PT 調査データから、首都圏（一都三県）を対象に、年齢階層別・目的種別別に乗用車の OD 表を作成し、これを道路ネットワーク上の最短時間経路に割り付け、年齢階層別・目的種別・道路種別別の OD 構成率を路線別に集計した後、ART 導入想定路線の利用者に対して、年齢階層別・目的種別別に自家用車から公共交通への転換シナリオを設定し、転換トリップ量を推計した。

具体的には、H22 センサス OD データを用いた首都圏シミュレーションで、図 5-5 に示した隅田川・京浜運河のスクリーンラインを設定し、公共交通の稼働時間帯（6 時～20 時）にスクリーンラインを通過するお台場発着の小型乗用車のトリップ（お台場発：31,804 台、お台場着：34,731 台）を集計した。

H22 センサス OD データではトリップ目的が不明であるため、H20PT 調査データより業務目的以外のトリップ割合（78.4%）を求め、上記のお台場発着の小型乗用車トリップに適用し、表 5-1 に示した転換対象の OD 交通量を得た。

また、転換台数にセンサスでの平均乗車人員数 1.3 人/台を乗じて転換人数を求め、ART 運行シミュレーションの運行台数に換算した。路線バスの最大乗車人員数は 75 名（着座では約 40 名）とされており、10%転換ケースでは、往復で約 91 台分の ART（単車）に相当する。

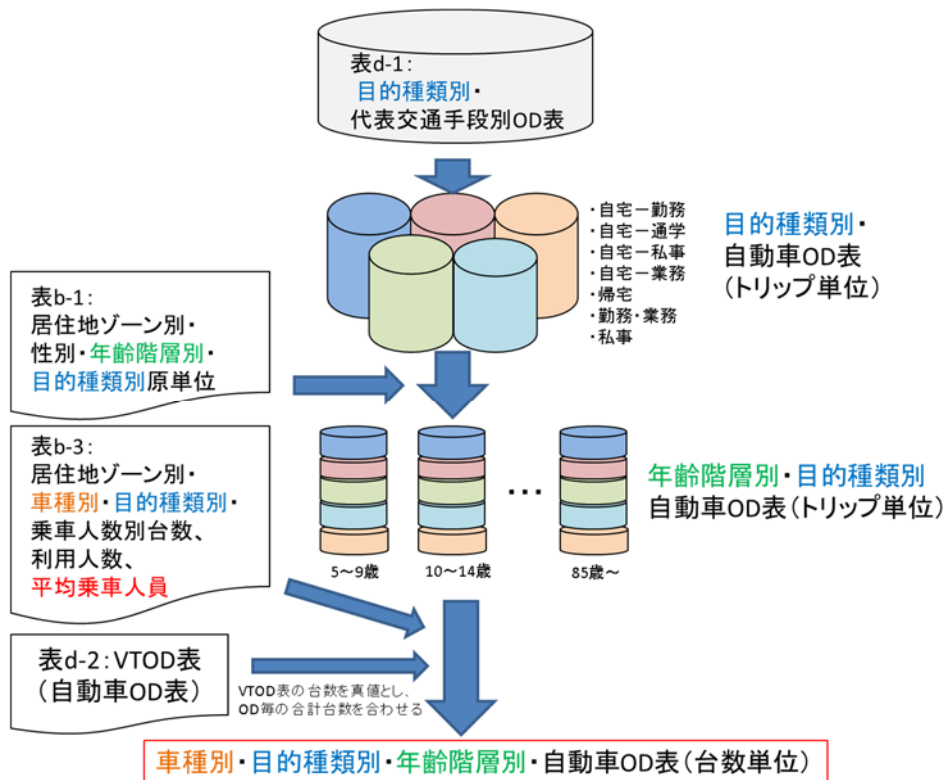


図 5-4 PT 調査結果からの転換対象 OD 表の作成

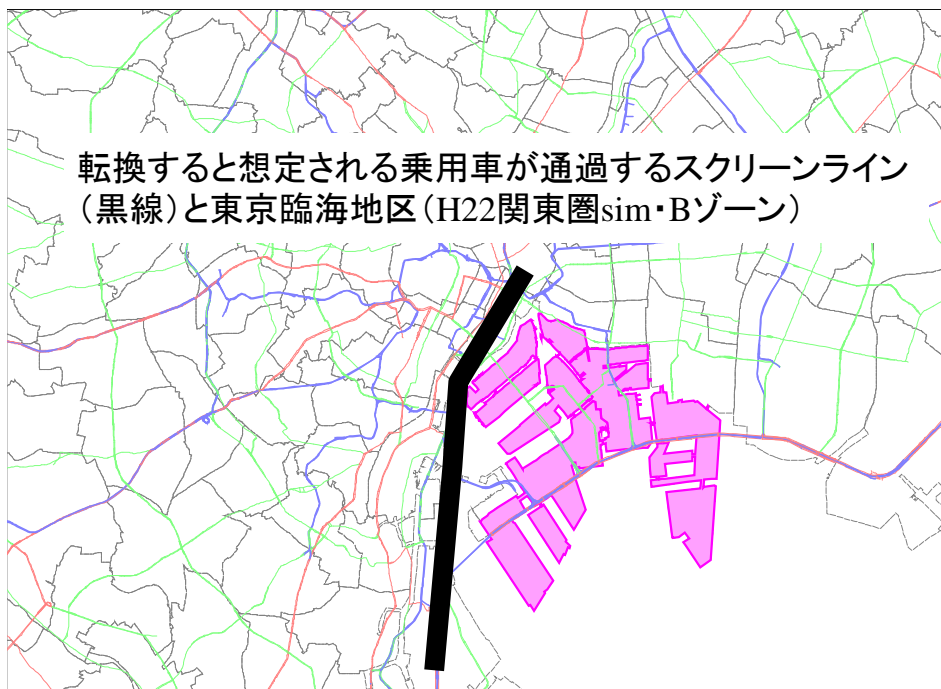


図 5-5 転換対象の交通需要を判定するスクリーンライン

表 5-1 ART 転換対象の自動車トリップ量

業務以外のトリップの全トリップに対する割合	6～20時にお台場エリアを発着する乗用車トリップ（業務目的以外）	転換率／転換台数（転換人数*）（6～20時）
78.4%	31,804 + 34,731 = 66,535 トリップ (66,535 x 0.784 = 52,163)	5% ... 2,608 台 (3,391 人) 10% ... 5,216 台 (6,781 人) 30% ... 15,649 台 (20,344 人)

※H22 センサスより乗用車の平均乗車人員数を 1.3 人とした。

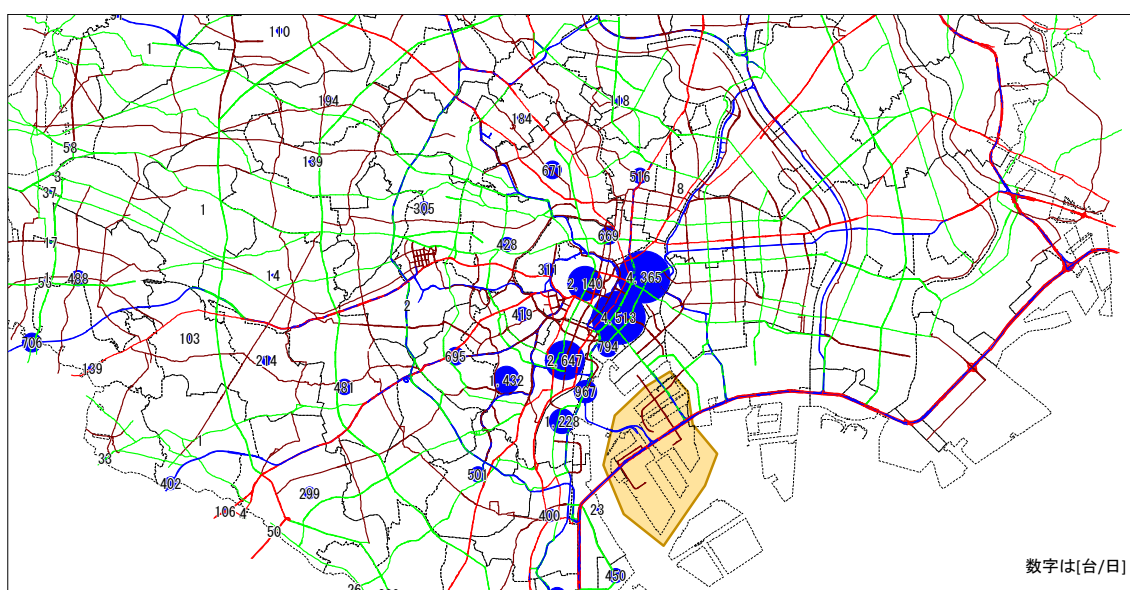


図 5-6 転換対象トリップの分布（お台場エリアを目的地とする発台数）

現況再現用の交通量データについては、H22 センサスの時間帯別交通量データを用いることとした。また、走行速度調査データとプローブデータについては、引き続き各関係機関に協力を依頼し、対象エリア内のデータ収集に努めることとした。

5.2.3 ART 運行関連データ

ART に関しては、図 5-7 に基づき、現在計画中の都道環状 2 号線・虎ノ門～お台場・国際展示場間での運行を想定した。このうち、新橋～国際展示場区間は、片側 1 車線ずつを ART 専用車線とした。また、虎ノ門～新橋区間は一般交通と混在するが、今回のスタディでは、渋滞しないとして、一般車両を考慮しないこととした。

バス停については、虎ノ門・新橋・勝ちどき・選手村・市場前・有明テニスの森・国際展示場に設置することとした。このうち、虎ノ門、新橋、選手村、国際展示場の 4 箇所にバスターミナルを設置し、この区間を往復する設定とした。勝ちどき、市場前、有明テニスの森の各バス停では、最大 1 分までの範囲でランダムに停車時間を定めることとした。

なお、バスターミナル内での動きまでは考慮しないこととした。

ピーク時の運行頻度は、東京都が想定する BRT ピーク時輸送能力往復 4,000 人/時より、ART の乗車人数を 100 人（連節バス想定）として、往復 40 台/時とした。即ち、虎ノ門⇄選手村、虎ノ門⇄国際展示場、新橋⇄選手村、新橋⇄国際展示場の往復 8 区間で、それぞれ 5 台/時の頻度で ART を運行させることとした。これにより、新橋～選手村間では往復 40 台/時となる。

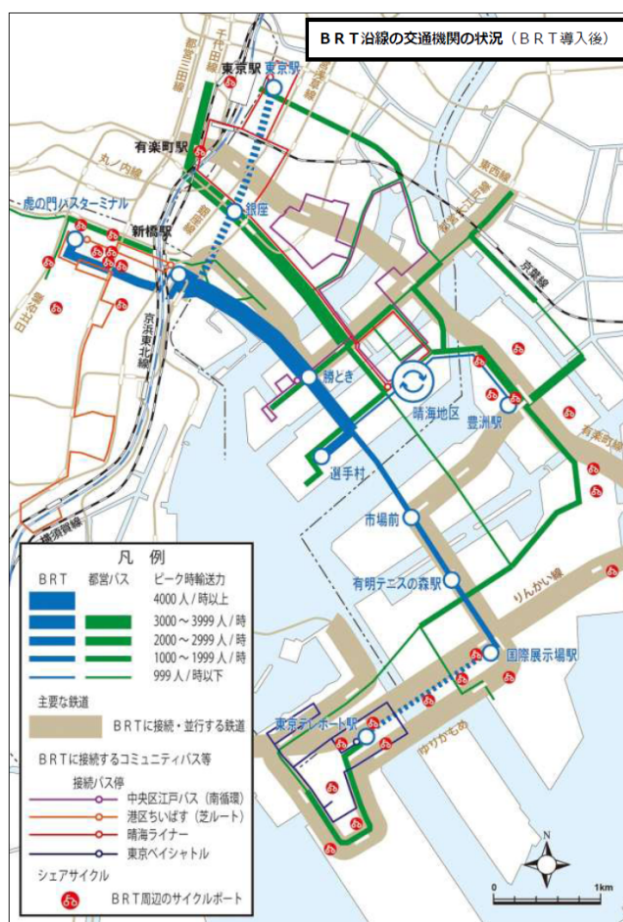


図 5-7 ART 運行路線と想定輸送能力²¹

5.2.4 CO₂ 排出モデル関連データ

CO₂ 排出量モデルに用いるデータとして挙げられる一般車両の信号交差点での停止・発進時加減速度、巡航速度とその変動、ART の信号交差点での停止・発進時加減速度、巡航速度とその変動、対象路線の縦断勾配は、交通流シミュレーションによって出力される各車両の走行パターンを用いる。

²¹ 東京都都市整備局 HP より <http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/kiban/brt/>

車種構成データは、柏市と同様に環境省のナンバープレート調査を参考に設定した。なお、CO₂排出モデルではハイブリッド車のデータが無いため、HEVについては自動車検査登録協会の初度登録データを参考に設定した（図 5-8）。

また、燃料電池車の評価は、従来の Tank to Wheel CO₂排出量で評価するとどれだけ走行しても 0 g となってしまうため、関係者へのヒアリング結果などを受け、水素等の次世代車の評価手法の検討を行い、フィージビリティスタディーとして、Well to Wheel CO₂排出量での評価およびエネルギー消費量（燃料消費量）での評価を行い、最適な評価方法を検討する。

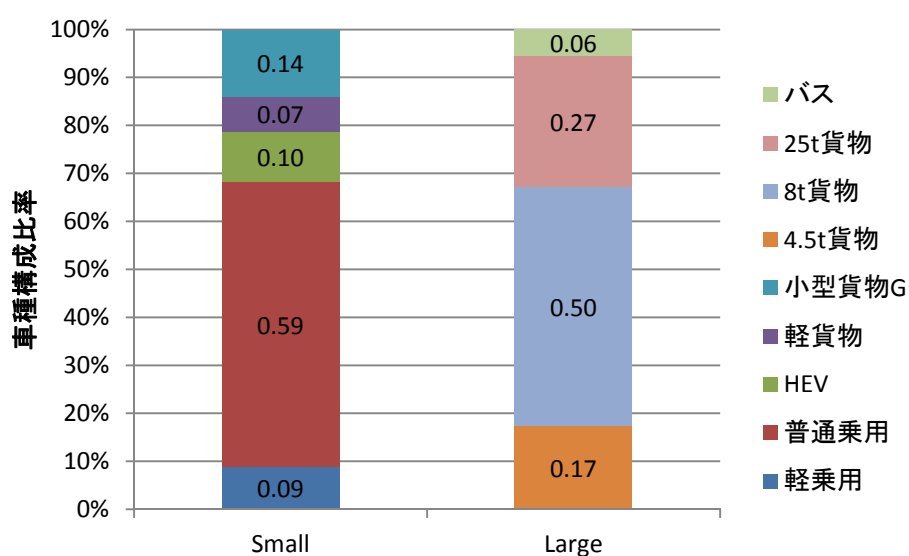


図 5-8 東京都の車種構成データ

5.3 隊列走行の評価に必要なデータ

隊列走行については、昨年度事業での関係者へのヒアリングを踏まえ、東京～大阪間の長距離物流トラックが導入対象であると想定し、シミュレーション評価の対象路線として、道路線形が良く、大型貨物車の通行に適した新東名高速道路を想定した。

5.3.1 道路ネットワークデータ

高速道路路線のネットワークデータ及び車線構成データについては、市販のデジタル道路地図データから、図 5-9 に示した東名・新東名区間を抽出した。

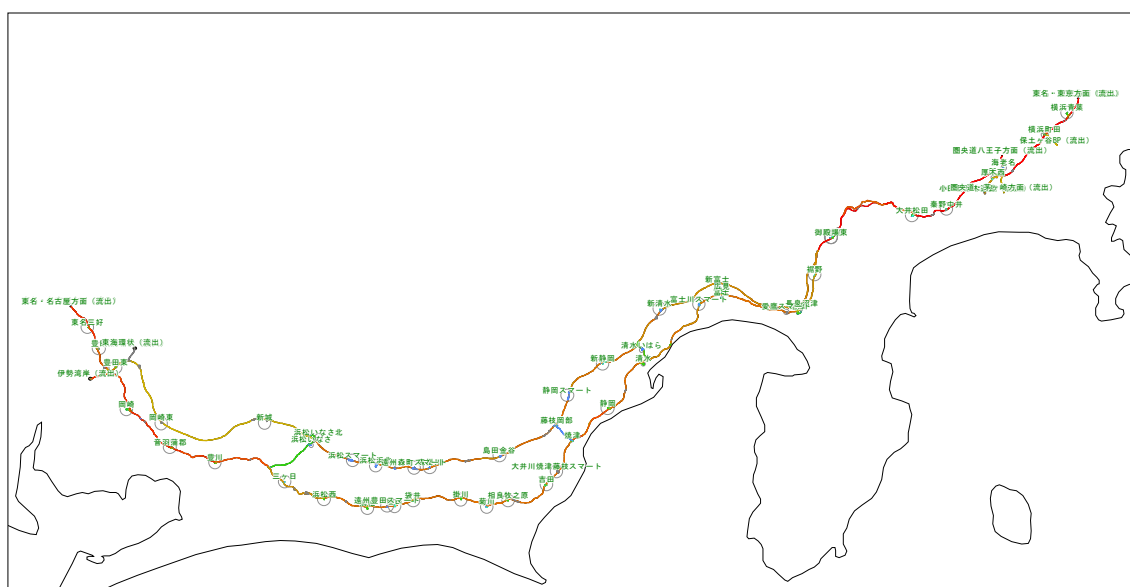


図 5-9 東名・新東名ネットワーク

5.3.2 交通量関連データ

シミュレーション対象路線における交通量センサ（トラカン）交通量・速度データは、以下の期間について、高速道路会社から貸与を受けた。

平成 28 年 9 月 1 日（木）～平成 28 年 9 月 30 日（金）

なお、シミュレーションでは時間帯別の IC 間 OD 表が必要となるため、ここでは以下の手順でトラカン交通量データを元に OD 表を作成した。

- ① すべての IC ペアに対して、15 分毎に 10 台ずつ発 IC から発生する初期 OD 表を入力値としたシミュレーションを実行して、各トラカン断面での通過交通量と OD 内訳を記録する。
- ② シミュレーションの通過交通量とトラカン交通量との差が小さくなるよう、OD 内訳を参考に小林ら²²の手法を用いて、繰り返し計算で時間帯別 OD 表を調整する。

5.3.3 CO₂ 排出モデル関連データ

CO₂ 排出量モデルに必要な車両の速度プロファイルは、交通流シミュレーションからの出力結果を用い、対象都市の車種構成データは前術の自動走行システムと同様の方法で設定する（図 5-10）。

隊列走行では、空気抵抗の低減効果をモデル化するためのデータが必要である。ここでは、空気抵抗の低減効果は、エネルギーITS 推進事業で算出された結果を用いることとするが、さらなる技術進化にて、この効果が大きく変化する場合は必要に応じてデータを収集する。

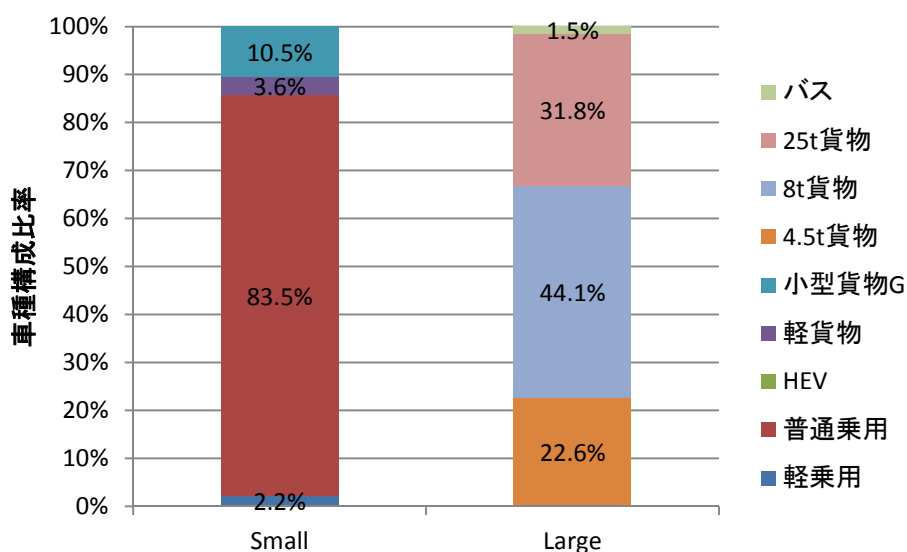


図 5-10 東名・新東名高速道路車種構成データ

5.3.4 全国拡大計算用データ

評価結果のスケール拡大に用いるデータである高速道路の交通量データについては、平

²² 小林正人, 堀口良太, 花房比佐友, 小出勝亮: ネットワーク交通シミュレーションのための時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメーター一括推定プログラムの開発, 第 32 回交通工学研究発表会講演論文集, 2012.09

成 22 年度道路交通センサデータを活用することとした。

5.4 高速道路および一般道路での自動運転の評価に必要なデータ

5.4.1 道路ネットワークデータ・交通量関連データ

高速道路での自動運転の評価対象地域として、隊列走行と同様に、東名・新東名高速道路を想定し、隊列走行システム評価時に利用するデータを活用することとした。

また、一般道路での自動運転の評価対象地域として、グリーンウェーブ走行支援システムと同様に、柏市域を想定し、グリーンウェーブ走行支援システム評価時に利用するデータを活用することとした。

5.4.2 CO₂排出モデル関連データ

高速道路での自動運転の評価においてCO₂排出量モデルに用いるデータは、隊列走行システム評価時に必要となるデータと同様の方法で整理した。

また、一般道路での自動運転については、今年度より研究を開始したシステムであるため、自動走行車の走行挙動については暫定でエコドライブと同様と想定し、エネルギーITS推進事業の成果を活用した。今後は、必要に応じて評価に必要なデータの追加整備を行う。

5.5 地域における管制交通システム（ラストワンマイル自動走行、自動バレーパーキング）評価に必要なデータ

5.5.1 道路ネットワークデータ・交通量関連データ

地域における管制交通システムの評価対象地域として、ART との公共交通連携を踏まえて、東京都・お台場地区を想定した。ラストワンマイル自動走行および自動バレーパーキングを評価する上で用いるデータについては、ART 評価時に必要なデータを活用し、導入対象地区のパーソントリップ OD 表については、対象地区で実施されたパーソントリップ調査データを活用することとした。

なお、自動バレーパーキングの評価に必要な導入対象地区内への来訪車両うろつき交通の実態については、札幌市での研究報告²³を参考にすることとした。これは、路上駐車 of 駐車台数および駐車所間をもとにうろつき交通量を推定したもので、札幌市における通過交通に対するうろつき交通の割合は 7.9～8.5%であるとされている。

5.5.2 CO₂ 排出モデル関連データ

CO₂ 排出量モデルに必要な車両の速度プロファイルは交通流シミュレーションからの出力結果を用い、対象都市の車種構成データは前術の自動走行システムと同様の方法で設定した。

自動バレーパーキングの評価に必要なデータについても、概ね ART 評価向けデータと同様の方法で整備した。

²³ 土木学会論文集 No.500 都心部街路における駐停車待ち交通量の推定と駐車規制及び指導の効果に関する研究 <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00037/500/500-122170.pdf>

6. モデル都市での評価実施

本事業で開発した交通流シミュレーションモデルと、排出量推計技術を用いて、ART と 隊列走行を導入した場合の CO₂ 排出量に及ぼす影響評価を、それぞれ設定したモデル都市で開始した。

評価においてはまず、評価対象地域の現在の交通状況を交通流シミュレーションが精度よく再現できていることを、当該地域で観測された交通量や旅行速度等のデータと、交通流シミュレーションからの出力結果の比較による検証（現況再現性の検証）を行ったうえで実施している。

ART の評価は、東京お台場地区を対象に、環状二号線に ART が導入された場合の交通需要の転換規模を数パターン設定し、転換規模に応じた CO₂ 排出量の変化の評価に取り組んでいる。また、シミュレーションの中では、ART の正着制御による加減速挙動の最適化の効果や、環状二号線の一部区間に ART 専用レーンが導入された場合を想定し、周辺の一般交通に与える影響も加味している。

隊列走行の評価は、新東名の新富士 IC～新静岡 IC 間を対象に、当該区間を走行するトラックが隊列を形成して走行するというシナリオを作って、評価を実施している。

7. CO₂ 削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

地球温暖化問題の解決に向けた CO₂ 排出量の削減は、日本単独ではなく、世界全体で協働して取り組むべき問題である。そこで、開発する CO₂ 削減効果評価ツールやそれを用いた評価結果、ならびに研究開発成果の有効な活用に向けた意見交換を行うとともに、海外の関連プロジェクトの動向等に関する情報収集を行う目的で、海外の効果評価関係の専門家と連携し、研究開発を実施した。

7.1 Impact Assessment Sub Group への参加

昨年度事業の結果より、CO₂ 排出量評価を含む自動運転の社会影響評価を国際的に議論するうえでは、国土交通省道路局、米国運輸省研究・革新技術庁、欧州委員会情報メディア総局との間で締結された覚書にもとづく ITS 分野における協調体制（三極会議）のうち、自動運転に関する WG の中にある Sub Group の一つである Impact Assessment Sub Group の活動に参加することが望ましいとの結論が得られた。

そこで、Impact Assessment Sub Group で定期的に行われている電話会議に出席するとともに、2016年7月に開催された Automated Vehicles Symposium 2016 のアジェンダの一つとして企画された Impact Assessment の Breakout Session および関係者会議に参加した。

Impact Assessment の Breakout Session は、Impact Assessment Sub Group の米国側リーダーである Scott Smith、欧州側リーダーである Satu Innamaa の主導により企画・運営が行われた。図 7-1 に Breakout Session のプログラムを示す。

IMPACT ASSESSMENT
19 July 2016



TIME	ITEM	SPEAKER
1:30 - 1:50 PM	Welcome	Scott Smith- Volpe Center / USDOT
1:50 - 2:15 PM	Direct Impacts: Introduction and Case Studies <ul style="list-style-type: none"> Automated low speed shared shuttle Automated local delivery Truck platooning Passenger car - mid-level automation Private fully automated vehicle Handout: case study descriptions, overview of direct and indirect impacts	Satu Innamaa - VTT, Technical Research Centre of Finland Nick Reed - Transport Research Laboratory (UK) Isabel Wilmink - TNO (Netherlands) Trent Victor - Volvo
2:15 - 3:00 PM	Audience Discussion Use the case studies to identify the most important direct impacts. What are appropriate performance indicators? How does one establish a baseline for comparison? How does one design an automated vehicle field test or simulation to gain the appropriate insights? What data can be shared with third parties?	
3:00 - 3:30 PM	Break	
3:30 - 3:45 PM	Indirect Impacts - Introduction We will examine two of the cases, identifying their benefits and challenges. We will discuss some of the important uncertainties and their implications for research, investment and policy.	Steve Lockwood, LLC, Transportation Consultant
3:45 - 4:15 PM	Case Study 1 - Urban Shared Shuttle <ul style="list-style-type: none"> Benefits (5 minutes) - Nick Reed Challenges and constraints (5 minutes) - Scott Smith Audience discussion (20 minutes) 	
4:15 - 4:45 PM	Case Study 2 - Truck Platooning <ul style="list-style-type: none"> Benefits (5 minutes) - Isabel Wilmink Challenges and constraints (5 minutes) - Bo Ekman, Danish Road Directorate Audience discussion (20 minutes) 	
	Discussion of infrastructure and policy decisions	
5:15 - 5:30 PM	Wrap up	Satu Innamaa



図 7-1 Impact Assessment Breakout Session のプログラム

セッションでは、自動運転が導入された場合に及ぼす社会的な影響を、Direct Impacts (Cost、Infrastructure、Safety、Energy/Emissions 等の FOT で直接測定でき、スケールアップ可能な指標) と、Indirect Impacts (Network Efficiency、Travel Behavior、Public Health、Land use 等) の二つの観点で分類し、以下のユースケースを対象に、適切な指標の選定、導入前と比較するためのベースラインの設定、FOT やシミュレーションスタディの設計等についてグループディスカッションを行った。当日用いられた Direct Impacts と、

Indirect Impacts の資料を、図 7-2、図 7-3 に示す。

<ユースケース>

- ✓ Automated Low Speed Shared Shuttle
- ✓ Truck Platooning
- ✓ Passenger Car – mid-level automation
- ✓ Private Fully Automated Vehicle
- ✓ Shared Fully Automated Vehicle

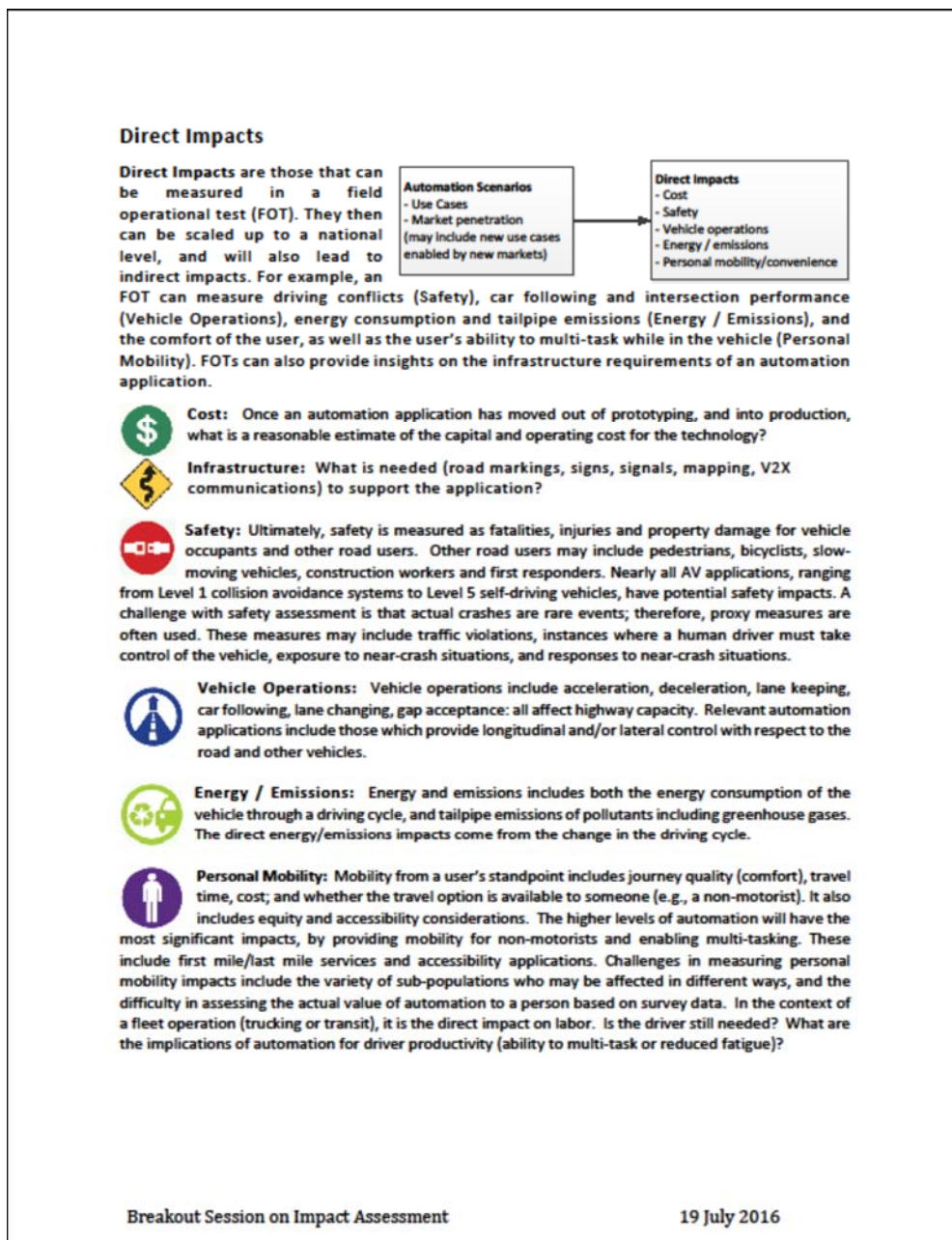


図 7-2 Direct Impacts の例

Indirect Impacts

In assessing indirect impacts, note that service offerings and fleet composition might change. For example,

- With better crash avoidance, it may be possible to use lighter-weight vehicles
- The advanced control systems used for automation may also contribute to electrification
- If there is no human driver, the layout of the vehicle might change
- Without the labor cost of a human driver, it may become economical to use smaller vehicles for both trucking and transit.

We are also concerned with how different groups of people might be affected: non-motorists, professional drivers, etc.



Network Efficiency: Network efficiency refers to lane, link and intersection capacity in a regional transport network. It also refers to travel time and travel time reliability. Improved safety may improve network efficiency via reduced incident delay. Also, changes in vehicle operations (e.g., car following) will affect network efficiency.



Travel Behavior: A traveler may respond to AV options, including new service offerings, by changing travel behavior. There may be more trips. Modes and destinations may change. Higher level automation applications that have a significant effect on personal mobility or labor could have a significant effect on travel behavior.



Asset Management: Automation may affect infrastructure assets required in several ways:

- Number of lanes and lane widths
- V2I infrastructure used by automation
- Size and weight implications of changed fleet composition
- Effect of travel behavior changes on trip making



Public Health: Automation may impact the health of communities, via safety, air pollution, amount of walking and bicycling, as well as access to medical care, food, employment, education and recreation.



Land Use: Automation may affect the use of land for transport functions (e.g., parking, road geometry). Longer term land use changes may include location and density of housing, employment and recreation.



Socio-Economic Impacts: Improved safety, use of time, freight movement, travel options for non-motorists, public health, land use and effects of changed emissions (including climate change) will have longer term economic impacts. Automation may also have substantial impact on labor markets and industries.

図 7-3 Indirect Impacts の例

ディスカッションでは、主に以下の意見が挙げられた。

- ✓ 自動走行車導入によるインパクトは、direct impact から indirect impact まであり、かつ期間も short term から long term までであるため、非常に複雑である。
- ✓ 評価者によって重要なインパクト指標は異なり、また、ある評価者にとってポジティブな影響が、別の評価者にとってはネガティブに捉えられることもある。

- ✓ ユースケースや条件の明確な定義が必要不可欠である。
- ✓ ハイレベルの indirect インパクトメカニズムの更なる整理が必要である。

7.2 ITS 世界会議 2016 における関連セッションの開催

昨年度事業と同様に、本事業の成果を国際的な場で公表し、諸外国の専門家と意見交換等を行う目的で、メルボルンで開催された ITS 世界会議 2016 において研究成果の発表を行った。

ITS 世界会議 2016 は、平成 28 年 10 月 10 日～10 月 14 日の 5 日間にわたって、オーストラリアのメルボルンのメルボルンコンベンションセンターで開催された。



図 7-4 会場のメルボルンコンベンションセンター

ITS 世界会議 2016 において、自動走行システムの導入によるエネルギー消費、CO₂ 排出量への影響評価に関して議論することを目的に、「SIS21 Impact Assessment of Automated Driving Systems on Energy Consumption and CO₂ Emissions」を企画・運営した。

当日のプログラムおよびスピーカー等のリストを図 7-5 に示す。

SIS21 - IMPACT ASSESSMENT OF AUTOMATED DRIVING SYSTEMS ON ENERGY CONSUMPTION AND CO2 EMISSIONS

WEDNESDAY 12 OCTOBER 2016, 1100 – 1230 HOURS

MEETING ROOM 213



Environmental Sustainability

There is growing interest in automated driving systems and its development has been advanced throughout the world. Automated driving systems are expected to contribute to reduce energy consumption and CO₂ emissions from vehicular highway traffic by improvement of traffic flow, reduction of traffic accidents and changing citizen's travel behavior. This session invites speakers from Europe, the US and Asia Pacific and introduces recent projects of each of the three regions related to development of the automated driving systems that lead reduction of energy consumption and CO₂ emissions and how we will evaluate the impact.

Organiser

Daisuke Oshima, Pacific Consultants Co., Ltd., Japan

Takashi Oguchi, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan

Moderator

Masao Kuwahara, Tohoku University, Japan

Speakers

Akira Mitsuyasu, Pacific Consultants, Japan

Nour-Eddin El Faouzi, IFSTTAR, France

Hesham Rakha, Virginia Tech, United States

Mitsuo Yonezawa, Japan Automobile Research Institute, Japan

図 7-5 SIS21 Impact Assessment of Automated Driving Systems on Energy Consumption and CO₂ Emissions のサマリーおよびスピーカーリスト

セッションでは、本事業の紹介として、SIP-adus プロジェクトの概要、地域交通 CO₂ 排出量可視化技術開発プロジェクトの概要と今年度実施中の自動走行システムのモデル化、エコドライブを事例にモデル開発におけるリファレンスモデルの考え方、国際連携活動の一環としての Impact Assessment Sub Group での取り組み内容等に関して説明を行った。

Nour-Eddin 氏からは欧州で取り組んでいる約 1500km の高速道路での実証プロジェクト (SCOOP Project) の紹介やオープンソースを用いたマルチモデル交通シミュレーションである MASCAT プロジェクトの紹介が行われた。また、青信号で連続通過できる最適推奨速度を HMI でドライバーに提供する (GLOSA) に関する取り組みも紹介された。

本事業に関する主な意見および質問として、以下のようなものが挙げられた。

- ✓ ゆっくりスタートを実施することで、信号交差点での発進遅れに伴う交差点の流量低下が起こるため、東京 23 区におけるエコドライブの導入割合は 50% が最適であるというシミュレーションスタディの報告があったが、日本における路車協調の信号交差点の導入状況はどうか。
- ✓ 路側機から信号切り替わり情報を車両に提供することで、交差点の発進遅れがなくなり状況が変わってくると考えられるため、どのような ITS 技術を組み合わせるかによって結果や示唆が変わると思われる。
- ✓ 自動走行システムの導入による安全性に関連するシミュレーション評価は非常にハードルの高い取組みであると考えられる。

IV. International collaboration

■Schedule of International collaboration and relative of our project

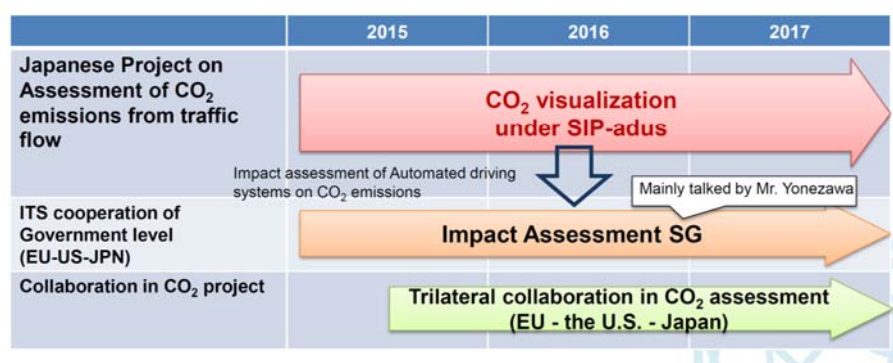


図 7-6 SIS21 での発表の様子と発表スライドの抜粋

7.3 英国の自動運転評価関係者との連携

英国の Department for Transport (DfT) の関連組織である The Centre for Connected and Autonomous Vehicles (CCAV) では、自動運転がもたらす社会影響評価の一環として、Connected and Autonomous Vehicles (CAV)の導入が交通流におよぼす影響の交通シミュレーションを用いた評価プロジェクトが行われている。そこで、CCAV の関係者と意見交換を行い、関連する研究者とのネットワークを形成した。

CCAVが実施した影響評価では、PTV社が販売する交通シミュレーションモデルVISSIMを用い、高規格の道路ネットワークと、都市部の道路ネットワークの2種類を対象に、従来車の中にCAVが一定割合で導入された場合の交通流に対するインパクトの定量化に取り組んでいる。評価におけるCAVの普及率シナリオは、自動運転のレベルを加味して表7-1の通り設定されている。

表 7-1 シミュレーション評価におけるCAV普及シナリオ²⁴

Scenario	CAV penetration Level II – IV	CAV penetration composition		
		Level II Driver assistance	Level III Mix of capability	Level IV Full automation
Base	0%	0%	0%	0%
25% penetration (1)	25%	20%	5%	0%
50% penetration (2)	50%	35%	10%	5%
75% penetration (3)	75%	50%	15%	10%
100% penetration (4)	100%	40%	20%	20%
Upper bound (5)	100%	0%	0%	100%

ピーク時間帯を対象にしたシミュレーションを実施し、遅れや平均旅行時間に与える影響を評価した結果、CAV普及率25%ではほとんど効果をもたらさないが、普及率の増加とともに効果が出現し、普及率75%を超えると交通流の大きな改善をもたらす可能性が示唆されている。また、普及の初期段階では、利用者の快適性や安全性の観点から、CAVが従来車より慎重な運転挙動になる可能性もあり、その場合はCAV導入によってネガティブなインパクトを及ぼすことが危惧されている。

また、今後の課題の一つとして、CO₂排出量の観点での評価の必要性が考えられており、本事業での取り組みは、イギリスにおいてのImpact Assessmentの取り組みにおいても有益な知見になるため、今後も連携を図りたいとのことであった。

²⁴ Impacts of connected and autonomous vehicles on traffic flow: technical report (Department for Transport, the UK) より

8. 事業のまとめ

本章では、本事業の主要な成果と今後の課題を示す。

8.1 自動走行による交通流円滑化に対する交通流シミュレーション技術開発

交通流シミュレーション技術開発についての主な成果は以下の通りである。

- グリーンウェーブ走行支援システムを構成する「信号通過支援システム」、「赤信号減速支援システム」、「発進遅れ防止支援システム」、「アイドリングストップ支援システム」を交通流シミュレーションに実装した。
- ART に関しては、トリップ転換に伴う自動車トリップの需要変化モデル（H27 年度に実施）に加えて、専用車線運用による交通流への影響を評価できるモデルを交通流シミュレーションに実装した。また、ART 正着制御の挙動モデル化の参考にするため、一般の路線バスの挙動を調査し、標準的な加減速挙動データを作成した。
- 隊列走行に関しては、車間距離維持の追従走行機能および走行車線維持機能（H27 年度に実施）に加え、距離最短経路を走行する機能を交通流シミュレーションに実装した。
- 高速道路での自動運転に関しては、高速道路での自動追越・自動合流挙動モデルを実装した。一般道路での自動運転に関しては、反応遅れ時間の短縮、追従挙動の均質化による交差点の飽和交通流率の向上を対象に、リファレンスモデルを作成して交通流シミュレーションに実装した。
- ラストワンマイル自動走行に関しては、近距離輸送への転換挙動においては、目的地付近までのトリップが転換されるモデルを開発し、さらに転換された需要が目的地近傍のゾーンから発生し、自動走行車が目的地まで走行するモデルを実装した。また、自動バレーパーキングに関しては、駐車場モデルとうろつき交通削減機能を実装した。
- 交通シミュレーションで計算した交通流状態を元に、事故の影響による速度低下を効率的に評価する事故影響評価用のマクロ交通シミュレーションを開発した。
- ART、隊列走行に関して、モデルのパラメータ調整を行ったうえで、想定した挙動が表現されることを検証した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 高速道路における自動運転の評価用に実装した合流挙動モデルについて、現状のモデルでは、円滑な合流が難しい場合もあり、さらなる精緻化の余地が残されている。また、その他のモデルについても、関係者との協議を通して必要とされた機能を追加で実装する。

- ART、隊列走行以外の評価対象自動走行システムについて、モデルの基本検証、パラメータ調整、実用検証を実施し、モデルの確からしさを示す必要がある。
- モデルの信頼性確保の観点から、モデルの検証方法や結果の妥当性について国内外の関係者と議論し、検証結果の公開手段等を検討する。

8.2 自動走行による運転挙動変化に対する排出量推計技術開発

排出量推計技術開発についての主な成果は以下の通りである。

- 台上試験にて取得した CO₂ 排出量データを用いて、クリーンディーゼル車の CO₂ 排出量モデルを構築した。
- 一般の路線バスの挙動をベースに、CO₂ 排出量のマイクロモデルを用いて、CO₂ 排出量が最適になるような走行挙動を想定したモデルを ART について作成した。
- グリーンウェーブ走行、隊列走行、高速道路および一般道路での自動運転、地域における管制交通システムについては、メーカヒアリング等の結果をもとに、NEDO エネルギーITS 推進事業で得られたデータ等も活用してモデル化を行った。
- 事故影響評価用のマクロ交通シミュレーションの結果を受けて CO₂ 排出量を評価するためのマクロ CO₂ 排出量モデルを構築した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 近年普及が進むハイブリッド車の台上試験を実施し、CO₂ 排出量データを取得して CO₂ 排出量モデルを構築する必要がある。
- 今年度構築したモデルについて、SIP-adus システム実用化 WG およびメーカヒアリング等を行い、必要に応じてモデルの改良を行う。

8.3 自動走行による事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減の評価手法の構築

事故削減に伴う渋滞損失・環境インパクト低減評価に向けた分析の主な成果は以下の通りである。

- 事故影響評価マクロ交通シミュレーションに対し、事故発生地点における交通容量の低下量、交通容量低下の継続時間を入力することで、事故発生路線およびその周辺路線を含むエリア全体の事故前後の交通量・旅行速度を算出し、その結果をマクロ CO₂ 排出量モデルに入力することで、事故による CO₂ 排出量を算出する方法を検討した。
- 3 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）のうち、「追突事故」について旅行速度の時空間図（事故発生地点から上流側 2km 区間、事故発

生前後 6 時間) を作成し、追突事故時の平均旅行速度および旅行速度低下の平均継続時間を整理した。

- 平均旅行速度からその時点の交通容量を推定する目的で、事故による道路混雑規模に関わる代表的因子として「車線数」に着目し、東京都内の国道、都道を片側 1 車線、片側 2 車線以上の 2 区分に分類し、平成 22 年道路交通センサスの時間帯別交通量と、プローブデータから集計した平均旅行速度により交通量・速度の関係図 (QV 関係図) を作成した。

今後の課題としては、以下が挙げられる。

- 3 事故類型のうち残りの「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」についても同一のプロセスで、交通容量の低下量、継続時間を算出する必要がある。
- 交通容量の低下量・低下の継続時間を入力値として、構築した事故影響評価マクロ交通シミュレーションおよびマクロ CO₂ 排出量モデルを用いて、CO₂ 排出量への影響を算出する。

8.4 CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備

CO₂ 排出量削減効果の評価に資するデータの整備として、交通流シミュレーションおよび CO₂ 排出量モデルの入力データおよび検証に必要となるデータを整備した。今後は、モデル都市において評価対象の自動走行システムの評価を進める中で、必要が生じた場合に追加のデータ整備を行う必要がある。

8.5 モデル都市での評価実施

ART および隊列走行のモデル都市での評価を開始した。今後の課題としては以下が挙げられる。

- ART、隊列走行のモデル都市評価について、関係者への意見照会等を実施したうえで必要に応じて前提条件等の見直し等を行いながら結果を算出する必要がある。
- ART、隊列走行以外の自動走行システムについて、モデル都市での評価を行うためのモデルの調整を行ったうえで、CO₂ 削減効果の推計を行う。評価にあたっては、自動走行システムの普及率を何段階か設定して評価することが求められるものについては、関係者と調整のうえ普及率を変えながら数ケースの計算を実施し、普及率の違いによる削減効果の差異も算出する。
- 交通事故削減に伴う CO₂ 排出量削減効果の評価については、別途開発が進められている「交通事故死者低減効果見積もり解析手法」からの出力結果を受けて評価実施することを想定し、同手法の開発状況を踏まえながら評価を実施する。

8.6 CO₂削減効果評価ツールの研究開発における国際連携及び普及促進

国際連携及び普及促進の主な成果は以下の通りである。

- 三極会議の **Impact assessment Sub Group** にメンバーとして加わり、電話会議やワークショップに参加した。
- ITS世界会議2016にて、**Special Interest Session「Impact assessment of automated driving systems on energy consumption and CO₂ emissions**」を企画・運営し、本事業の紹介を行うとともに、参加者と意見交換を行った。
- 英国で自動運転車導入時の交通流への影響のシミュレーション評価を行っている **Department for Transportation** と情報交換を行い、英国の関連研究者、企業等とのネットワークを構築した。

今後の課題としては、引き続き三極会議の **Impact Assessment Sub Group** の活動への参加や、ITS世界会議等の関係者が集まる国際会議等の場を活用した本事業成果の対外発表を行うことで、国内外の専門家との意見交換、情報交換を通じて事業の成果を高めるとともに、開発する技術やそれを用いた評価結果が国際的に信頼されるものとしていく必要があると考えられる。