

自動運転に資する路車協調システムについて ～大阪・関西万博アクセスルートへの実装～

川崎 雅和¹・中田 諒¹

¹阪神高速道路株式会社 保全交通部 交通技術課 (〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3-2-4)

自動運転車が車載センサのみでは得られない情報を、道路側に設置した専用機器が把握し、自動運転車へ提供することで、安全で円滑な自動走行を支援する路車協調システムを阪神高速淀川左岸線に実装した。また、自動運転車や合流支援情報提供システムから得られるログデータやカメラ映像等を分析し、合流支援情報提供システムによる効果を評価した。その結果、道路管理者の責任範囲として重要なシステムの処理時間等について、期待される性能を確認した。

キーワード ITS, 自動運転, 路車協調, 合流支援情報提供システム, 先読み情報提供システム

1. はじめに

高速道路での自動運転については、見通しが悪く加速区間の短い合流部や車載センサでは検知できない範囲で生じる事故や落下物等への対応が課題とされている。

国土交通省では、道路インフラと自動車が相互通信し情報を共有することで、車両単独では自動走行の継続が難しい場面の解決を図る協調ITSに関する官民共同研究¹⁾を実施し、阪神高速道路(株) (以下「当社」) は共同研究者としてこれに参画した。共同研究では、合流支援情報提供システムや先読み情報提供システム (以下「路車協調システム」) に関する技術仕様等を検討した。

当社では、当該技術仕様に基づき、2025年大阪・関西万博の来場者輸送を担うアクセスルート上に路車協調システムを実装し、自動運転バスに対して合流支援情報や先読み情報を提供することで、安全で円滑な自動走行を支援する実証実験を行っている。

本稿では、実証実験や路車協調システムの概要を示すとともに、自動運転バスや合流支援情報提供システムから得られたログデータやカメラ映像等を基に実施した合流支援情報提供システムの効果評価について報告する。

2. 実証実験の概要

本実験は、大阪市自動運転バス実装協議会²⁾の枠組みにおいて実施している。大阪市が全体計画や進捗管理、バス会社 (阪急バス(株)、京阪バス(株)) が自動運転バスの

運行管理、先進モビリティ(株)が自動運転バスに搭載する自動走行に必要な機器の整備や技術的検討、当社が路車協調システムの整備や技術的検討を担当している。なお、路車協調システムは、京阪バス(株)が運行する自動運転バス (写真-1) と連携しており、本稿はこれを対象とする。

自動運転バスは、阪神高速淀川左岸線 (西行) の大淀入口から大開入口付近までの約3.7kmの区間を自動走行する (図-1)。路車協調システムは、このうち3箇所の合流部 (上流側から大淀入口、海老江JCT、大開入口) に適用した。大淀入口から海老江JCTまでの約2.6kmは、万博関係車両に限定して暫定供用している区間 (2期区間) であり、海老江JCT以降の約1.1kmは、2013年に開通した一般車両も走行する区間 (1期区間) である。



写真-1 路車協調システムと連携する自動運転バス



図-1 阪神高速淀川左岸線 (西行) における実験区間

3. 路車協調システムの概要

(1) 合流支援情報提供システム

合流支援情報提供システムは、高速道路の合流部において、自動運転車の合流相手方車両の走行状況を道路側に設置した車両検知センサで把握し、自動運転車に情報提供するものである（図-2）。見通しが悪く加速区間が短い合流部において、合流相手方車両の速度や合流地点への到達計算時刻等を事前に情報提供することで、自動運転車が余裕をもって速度や合流のタイミング（位置取り）を調整することが期待できる。

本実験では、車両検知センサが任意の一定区間（検知範囲）で合流相手方車両の速度等を0.1秒間隔で複数回検知し、自動運転車へ連続的に情報提供するDAY2システムを採用した。また、自動運転車への情報提供方法については、LTE回線を用いた。

表-1及び図-3に本実験における合流支援情報提供システムの適用箇所と合流形態を示す。過年度の実証実験^{3,4)}

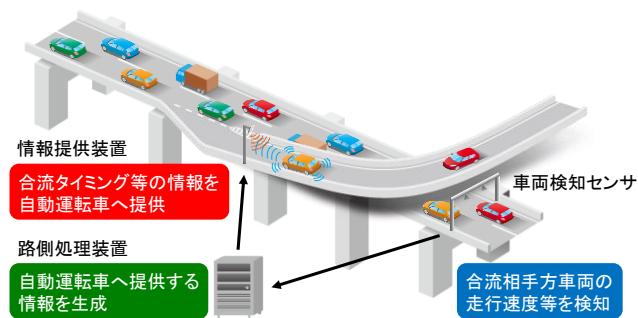


図-2 合流支援情報提供システムの概要

表-1 本実験での合流支援情報提供システムの適用箇所と形態

	大開入口	海老江JCT	大淀入口
合流形態	他車合流	車線変更	自車合流
検知対象	入口	本線部	本線部
車両位置	ランプ部	走行車線	本線部
自動運転バス位置	本線部	本線部	入口
		追越車線	ランプ部

では、大淀入口のように入口ランプ部を走行する自動運転車に対して、本線部を走行する合流相手方車両に関する情報を提供する形態（自車合流）を主な対象としてきた。本実験では、大開入口のようにその関係が逆転する形態（他車合流）や海老江JCTのように両者が走行する道路に主従関係がない形態（車線変更）も設定している点が特徴である。

(2) 先読み情報提供システム

先読み情報提供システムは、道路側のシステムが自動運転車の車載センサでは検知できない範囲の情報を自動運転車に前もって提供するものである。これにより、自動運転車が余裕を持って車線変更等することが期待できる。過年度の官民共同研究⁹⁾では、システムが対象とする情報として、路上障害情報、IC出口等の渋滞情報、料金所情報（レーン情報）を検討した。

本実験では、このうち、路上障害情報を自動運転バスへ提供するシステム（図-4）を交通管制システムに整備し、海老江JCTでの車線変更に活用している。交通管制システムで日常的に把握している事故や落下物、工事規制等の情報を自動運転車向けのフォーマットに変換し、1分周期で（障害発生時は随時）提供することで、自動運転バスは車線変更の予定位置に路上障害が発生している場合は、手前位置で車線変更を行わない等の判断を行う。また、自動運転車への情報提供方法については、合流支援情報提供システムと同様にLTE回線を用いた。

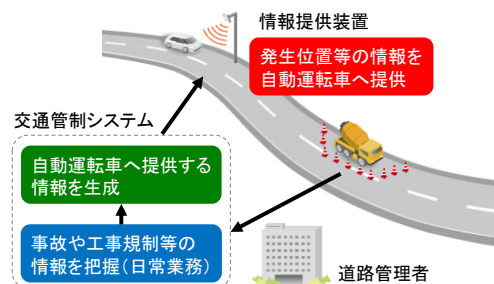


図-4 先読み情報提供システムの概要（路上障害情報）

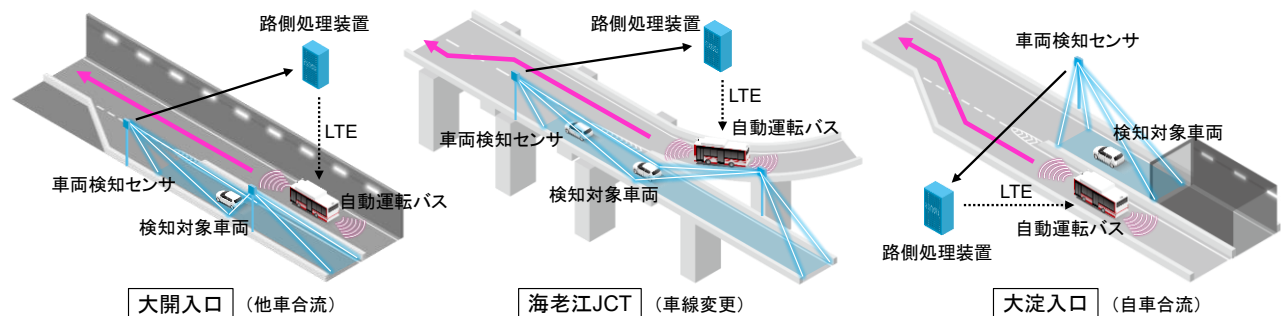


図-3 本実験での合流支援情報提供システムの適用箇所と形態

4. 評価方針と検証項目

路車協調システムの効果評価にあたり、過年度の検証実績や道路管理者としての役割等をふまえた以下の評価方針に基づき、表-2に示す検証項目を整理した。

(1) 過年度の検証をふまえた評価方針

本実験の路車協調システムは、過年度の官民共同研究¹⁾で整理した技術仕様にに基づき設計した。当該技術仕様はシステムを構成する要素技術の成立性の確認を経て検討されているため、本実験では、基幹的な要素技術や、本実験で初めて適用される要素技術の検証によって、システムが実道においてサービスとして適切に成立したかを主に評価する。

(2) 道路管理者としての役割をふまえた評価方針

路車協調システムにおける道路管理者の責任範囲は、走行車両や路上障害を検知し、情報を生成し、それを自動運転車へ提供するまでの領域と考えられる。そのため、それらに関連する事項の検証は必須とする。

また、情報提供を受けた自動運転車の挙動による周辺車両や交通流への影響を確認することも、道路管理者にとって必要であると考え、検証対象とする。ただし、自動運転車の挙動については、あくまでも本実験で用いた特定の自動運転バスにおける結果であるため、分析するデータが車両の制御に依存する場合は留意が必要である。

5. 分析用データ

(1) 車両走行ログ

車両走行ログは、自動運転バスの走行状況を記録したデータである。自動運転バスの位置（緯度経度）、速度、加減速度、舵角、手動・自動走行の別、自動運転バスの前後を走行する車両の有無や相対距離等が0.1秒単位で記録されている。

(2) カメラ映像

カメラ映像は、以下の3種類の映像データである。

a) 自動運転バスの車載カメラ映像

自動運転バスの車載カメラによる前方映像、運転席上方に設置されたカメラによる自動運行従事者の手元映像のほか、車載センサによる検知結果が可視化された映像が記録されている。

b) 車両検知センサを構成するカメラ映像

本実験の合流支援情報提供システムで用いる車両検知センサは、電波レーダをメインセンサとし、これに精度向上を目的とした補助カメラを組み合わせて構築している。補助カメラにより、合流部付近における車両（主に合流相手方車両）の走行状況が記録されている。

c) 交通流監視カメラ映像

当社が道路管理に使用している交通流監視カメラ（ITVカメラ）により、合流部付近における車両の走行状況が記録されている。

表-2 検証項目の一覧

システム	形態	No.	検証項目	分析・評価方法	本稿で報告
合流支援 情報提供	車線変更	G-1	自動車線変更の成功割合	自動車線変更の回数／全ての車線変更回数 [車両走行ログ][カメラ映像]	○
		G-2	後続車への影響	自動運転車が車線変更後に後続車が減速していないか [車両走行ログ][カメラ映像]	
	自車合流 他車合流	G-3	自動合流の成功割合	自動合流の回数／全ての合流回数 [車両走行ログ][カメラ映像]	○
		G-4	後続車への影響	自車合流: 自動運転車の急減速挙動, 自動運転車が合流時の後続車(本線)の急減速挙動 [車両走行ログ][カメラ映像] 他車合流: 先行車合流時の自動運転車の急減速挙動, 自動運転車の後続車(本線)の急減速挙動 [車両走行ログ][カメラ映像]	
	共通	G-5	システムの処理時間 ◎	検知, 処理, 送信, 受信における所要時間 [センサ処理ログ][車載器受信ログ]	○
		G-6	車両検知率 ◎	適切に車両検知できているか [センサ検知結果][カメラ映像]	○
		G-7	情報信頼度	情報信頼度の出現状況[センサ検知結果]	○
先読み 情報提供	管制室から 自動運転車へ	S-1	事前受信, 挙動変化地点の変化	路上障害の手前位置で情報を受信できているか [車載器受信ログ] 情報を基に手前位置で車線変更や減速等できているか [車両走行ログ]	

◎は第4章(2)で示す道路管理者の立場として必須と考えられる検証項目

[] 内は第5章で示す分析用データ

(3) センサ処理ログ

センサ処理ログは、合流支援情報提供システムの内部での処理時間を記録したデータである。車両検知に要した時間、自動運転車向けの情報生成（フォーマットへの変換）に要した時間、生成した情報を送信した時刻が記録されている。

(4) 車載器受信ログ

車載器受信ログは、自動運転バスの車載器から得られるデータである。車載器がLTE回線を通じて路車協調システムから情報を受信した時刻が記録されている。

(5) センサ検知結果

センサ検知結果は、合流支援情報提供システムの車両検知センサが検知した情報を記録したデータである。過年度の官民共同研究⁷⁾で定義した情報提供フォーマット（ID=57）に基づき、合流相手方車両個々の計測時刻、速度、車長、合流部までの距離・到達時刻、前方車両との車間時間等の情報が、0.1秒間隔で記録されている。

6. データ分析結果

本稿では、第4章で整理した検証項目の一部について、2025年2月19日から同年4月23日までに取得したデータの分析結果を示す。4月12日までは練習走行期間、4月13日以降は本番走行期間であり、2期区間（大淀入口付近）を走行する万博関係車両の交通量が少ない時期が含まれるため、海老江JCTと大開入口の結果を中心に報告する。

(1) 自動車線変更及び自動合流の成功割合（G-1、G-3）

車両走行ログやカメラ映像を用いて、合流支援情報提供を受けた自動運転バスの自動車線変更又は自動合流の成功割合を確認した。成功割合は、路車協調状態における全ての車線変更（合流）回数に占める自動車線変更（自動合流）の回数で算出した。手動介入等が生じ、自動走行が解除された場合は成功としない。

図-5に海老江JCTと大開入口における自動車線変更（自動合流）の成功割合を示す。いずれも9割以上成功しているが、それぞれ9.2%と1.7%の割合で手動介入が生

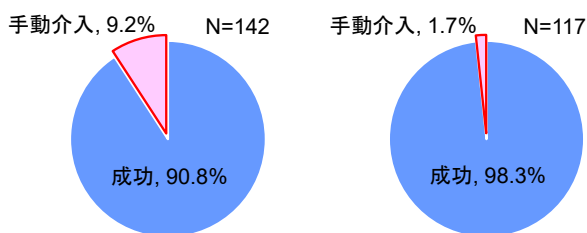


図-5 成功割合（左：海老江 JCT，右：大開入口）



写真-2 手動介入時のカメラ映像（海老江 JCT）

じていることを確認した。手動介入時の交通状況をカメラ映像から確認したところ、海老江JCTでは、写真-2に示すように合流相手方車両が自動運転バスと接近している状況が確認された。現時点では、手動介入の原因が路車協調システムによるものか、自動運転車によるものか不明であるため、今後、確認が必要である。

(2) システムの処理時間（G-5）

高速道路での合流挙動を対象とする合流支援情報提供システムは、高速処理が重要な要件である。センサ処理ログや車載器受信ログを用いて、システムの各段階（図-6）における処理時間の平均値やばらつきを確認し、処理速度の観点でサービスとしての成立性を評価した。本稿では、現時点で得られたデータに基づく車両検知センサ側（走行車両を検知してから、情報を生成し、生成した情報を送信するまで）の処理時間について報告する。

図-7に海老江JCTと大開入口のある一日における車両検知センサ側の処理時間を示す。データは車両検知センサが走行車両を検知している間に0.1秒間隔で記録されており、海老江JCTでは301,391件、大開入口では251,533件のデータが取得されている。1件あたりの所要時間はいずれも概ね90～160ミリ秒で分布しており、平均は120ミリ秒程度であることを確認した。

過年度の試験走路環境における検証⁹⁾では、車両検知センサで走行車両を検知するために10～100ミリ秒、情報を生成するために20～200ミリ秒を要することが確認されており、それらと概ね同等以上の水準である。また、当該検証では、システム全体の処理時間が最大500ミリ秒であることも確認されている。本実験では、現時点で通信側の処理時間は未確認であるが、LTE回線の通信遅延は一般的に10ミリ秒程度⁹⁾とされており、今後の検証で処理時間が大幅に増大する可能性は低いと考えられる。

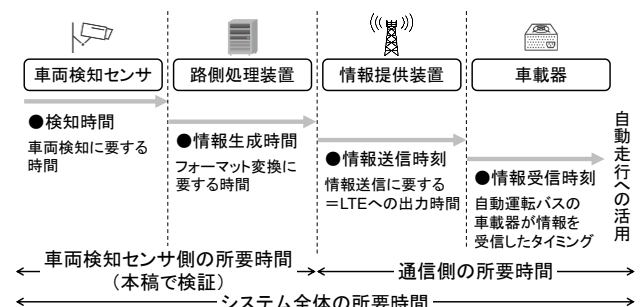


図-6 合流支援情報提供システムにおける処理時間

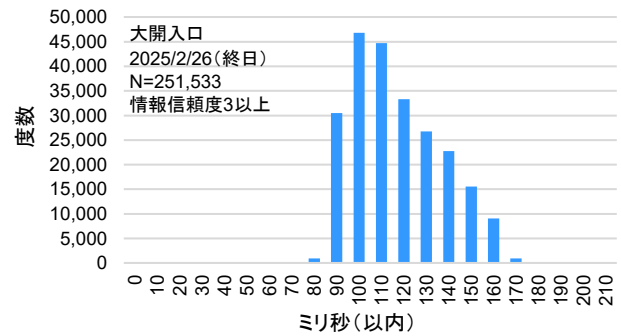
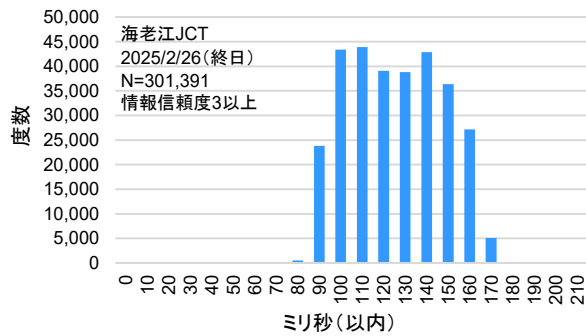


図-7 車両検知センサ側の処理時間 (左:海老江JCT, 右:大開入口)

(3) 車両検知率 (G-6)

合流支援情報提供システムの車両検知センサの検知精度については、過年度の実証実験⁹等で確認済みであるが、システムの基幹的要素技術であることをふまえ、本実験でも実道で構築されたシステムとして確認した。

海老江JCTと大開入口における時間あたりの検知対象車両の台数について、カメラ映像から読み取った真値とセンサ検知結果(検知台数)を天候別に整理した(表-3)。検知台数について、大開入口ではいずれの日も概ね真値と同じ台数であるが、海老江JCTでは真値と差が生じている日があることを確認した。

本実験における車両検知センサの設置位置については、大開入口はトンネル部である一方、海老江JCTは明かり部である。そこで、より天候の影響を受けやすいと考えられる海老江JCTでの車両検知率を天候別に整理した

表-3 箇所別・天候別の通過台数(真値)と検知台数

	日種	台数 A (真値)	台数 B (検知)	差 (B-A)
海老江 JCT	晴れ	160	160	0
	曇り	205	208	+3
	雨	216	212	△4
	雪・みぞれ	162	162	0
大開 入口	晴れ	57	57	0
	曇り	123	124	+1
	雨	107	107	0
	雪・みぞれ	78	78	0

単位: 台/時(検知範囲内の台数を集計),
晴れ: 2025年3月23日12時台, 曇り: 同年3月3日12時台,
雨: 同年3月5日12時台, 雪・みぞれ: 同年2月24日12時台

表-4 海老江JCTにおける天候別の車両検知率

区分	晴れ	曇り	雨	雪・ みぞれ
真値 ①通過台数	160	205	216	162
②検知台数	160	205	210	159
③正検知台数	160	204	209	159
④検知漏れ台数	0	1	7	3
⑤過検知台数	0	1	1	0
⑥車両検知率	100.0%	99.5%	96.8%	98.1%

単位: 台/時(検知範囲の下流端断面(ノーズ端)の台数を集計), 天候ごとの日付: 表-3と同じ,
④=①-③, ⑤=②-③, ⑥=③/①

(表-4)。車両検知率は、センサで正しく検知した台数(③)をカメラ映像から真値として読み取った台数(①)で除して算出した。その結果、晴れ(100.0%)や曇り(99.5%)の日に比べて、雨(96.8%)や雪・みぞれ(98.1%)の日は、検知率が低下する傾向を確認した。

過年度に実道環境(新東名高速道路)で5種類の車両検知センサを検証した事例⁹(晴れ, N=7,428)を基に、本稿と同じ方法で車両検知率を算出したところ、最も高いセンサで99.6%、最も低いセンサで84.0%であった。本実験で用いた車両検知センサは、基本的には高い検知性能を有していると考えられるが、雨等による車両検知率の低下がシステムのサービスレベルに及ぼす影響を確認する必要がある。

(4) 情報信頼度 (G-7)

合流支援情報提供システムの情報提供フォーマットでは、合流相手方車両の合流部(ノーズ端)への到達計算時刻情報に情報信頼度を付与することができる(ID=57, No.59)。本実験では、車両検知センサの機器構成(図-8)をふまえ、0~5の情報信頼度を定義した(表-5)。なお、自動運転バスは信頼度が3以上の情報を自動走行に活用することとしている。

センサ検知結果から、海老江JCTにおけるノーズ端からの距離別の情報信頼度の分布を整理した(図-9)。上流110m付近からノーズ端までは、概ね9割以上の割合で信頼度3以上の情報が提供されているが、一部区間ではその割合が低下することを確認した(A: 112~130m, B: 90~95m, C: 79~83m, D: 64~70m付近)。

情報信頼度が低下する原因について、Aは現場条件から、高欄上に設置されているメッシュフェンスが車両の

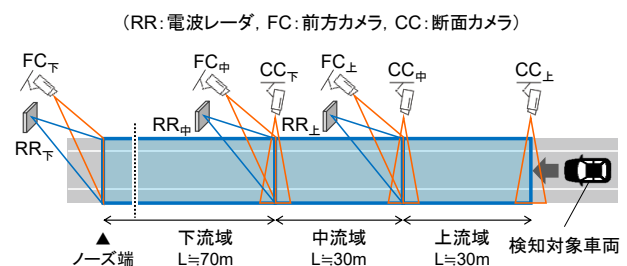


図-8 本実験で用いる車両検知センサの構成(海老江JCT)

表-5 本実験の合流支援情報提供システムの情報信頼度の定義

信頼度	定義
0	電波レーダで検知なし／前方又は断面カメラの少なくとも一方で検知
1	電波レーダで検知あり／前方及び断面カメラのいずれも検知なし
2	電波レーダで検知なし／前回までに電波レーダと前方又は断面カメラの少なくとも一方で検知あり（一部推定）
3	電波レーダで検知あり／前方又は断面カメラのいずれか一方の検知結果と結合
4	電波レーダで検知あり／前方及び断面カメラのいずれの検知結果とも結合
5	複数エリアの電波レーダで検出あり／前方及び断面カメラのいずれの検知結果とも結合

検知に干渉し、特に高さの低い車両が認識されづらい状況となっている可能性が考えられる。また、B及びDは、3分割しているセンサ検知範囲の境界付近であることから、システム内部での検知結果の結合処理による影響が考えられる。Cの原因は、現時点で不明である。

今後、情報信頼度が低下する原因を詳細に分析するとともに、信頼度が情報提供を受けた自動運転バスの制御に与える影響を調査する必要がある。

7. まとめ

本稿では、阪神高速淀川左岸線で実施している自動運転バス実証実験と路車協調システムの概要を示すとともに、自動運転バスや合流支援情報提供システムから得られたログデータやカメラ映像等を基に実施した合流支援情報提供システムの効果評価について報告した。

現時点で得られたデータに基づき、自動車線変更（自動合流）の成功割合、システムの処理時間、車両検知率、情報信頼度について検証したところ、道路管理者の責任範囲として重要であるシステムの処理時間や車両検知率について、過年度の検証実績とも比較のうえ、システムに期待される性能を確認することができた。また、現場

条件等が提供情報の信頼度に影響する可能性があることも確認することができた。

今後は、2025年内を目途に、未検証の項目を含む一連の分析・評価を完了させ、中間とりまとめを行う予定である。

自動運転の実用化については、交通事故の低減、渋滞の解消・緩和、少子高齢化への対応や生産性の向上等に資するものとして期待されているところである。本実験で得られた知見を地域の活力へとつなげるべく、引き続き取り組んでいきたい。

謝辞：本実験の実施や検証計画の策定等にあたり、技術指導を賜りました国土交通省国土技術政策総合研究所道路交通研究部高度道路交通システム研究室様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：次世代の協調 ITS の実用化に向けた技術開発に関する共同研究報告書，国土技術政策総合研究所資料，No.1245，2023。
- 2) 大阪市自動運転バス実装協議会：協議会について，大阪市計画調整局計画部都市計画課。
<https://www.city.osaka.lg.jp/toshikeikaku/page/0000588053.html>
(2025年7月31日閲覧)
- 3) 中川敏正，関谷浩孝，中田諒，花守輝明，藤村亮太：東京臨海部実証実験による合流支援情報提供システム（DAY1 システム）の検証，交通工学論文集，Vol.8，No.1，（一社）交通工学研究会，pp.39-48，2022。
- 4) 中川敏正，井坪慎二，関谷浩孝，石原雅晃，湯浅克彦，花守輝明，中田諒，藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2 システム）の効果検証実験，土木学会論文集・特集号（計画学），Vol.79，No.20，（公社）土木学会，2023。
- 5) 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会：次世代モバイル通信システム委員会報告概要，p4，2017。
https://www.soumu.go.jp/main_content/000525136.pdf
(2025年7月31日閲覧)
- 6) 中川敏正，関谷浩孝，中田諒，花守輝明，藤村亮太：合流支援情報提供システム（DAY2 システム）の車両検知センサの計測精度に関する基礎検討，交通工学論文集，Vol.8，No.1，（一社）交通工学研究会，pp.49-58，2022。

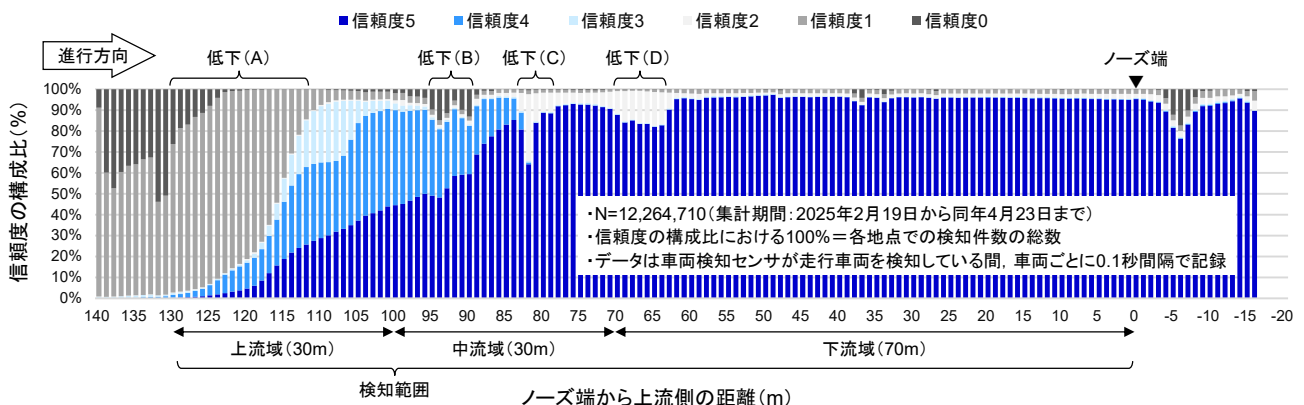


図-9 海老江 JCTにおけるノーズ端からの距離別の情報信頼度の分布