

④合流支援のためのシミュレーション環境の構築及び技術開発

Technological Development and Establishment of Simulation Environment for Lane Merging Assistance

荒木伸太, 新徳顕大 (株式会社構造計画研究所), 宮下浩一, 愛甲聡美 (株式会社三菱総合研究所)

Nobuhiro Araki, Kenta Shintoku (KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.), Koichi Miyashita, Satomi Aiko (Mitsubishi Research Institute, Inc.)

(概要) 高速道路における合流は、走行速度の速い本線車両の隙間を狙って合流することが求められる、自動運転車両の制御が難しいユースケースの一つである。特に、首都高をはじめとする都市内高速道路は合流部の距離が短く、合流車両は短い合流部の中で本線速度まで加速したうえで、本線車両間の隙間（ギャップ）に合流することが求められる。このような合流部においては、路車間通信システムを活用して車両位置情報などを自動運転車両に共有し、自動運転を支援することで、円滑な合流が可能になると考えられる。そこで、本研究開発では、路車間通信システムによる合流支援を行う「合流支援システム」について、シミュレータを用いて、コンセプト検討やシステム成立性評価を実施している。具体的には、首都高5号池袋線下り東池袋入口を対象に実交通流の軌跡データを取得のうえ、それらを再現した交通流シミュレータを開発した。このシミュレータを活用し、通信エリアやセンシングエリアなど、合流支援システムを構成する要素を変化させて、支援の有無による合流車挙動や本線交通流への影響を比較分析している。

キーワード：合流支援、サービス成立性、本線隙間狙い支援システム (Day2システム)、本線車協調支援システム (Day3システム)

1 検討背景・位置づけ

高速道路における自動運転の実現に向け、車両制御の難易度が高い箇所として合流部が挙げられる。合流車両は目標速度まで加速したうえで、本線車両間の隙間（ギャップ）に合流することが求められるが、特に合流部の距離が短く、合流車線から本線が前もって確認できない道路線形となっている箇所の多い都市内高速道路において、合流のための車両制御は困難となる。

このような合流部においては、「合流支援システム」によって、合流車への本線情報の提供や本線車への協調行動の指示を行うことで、円滑な合流が可能になると考えられる。

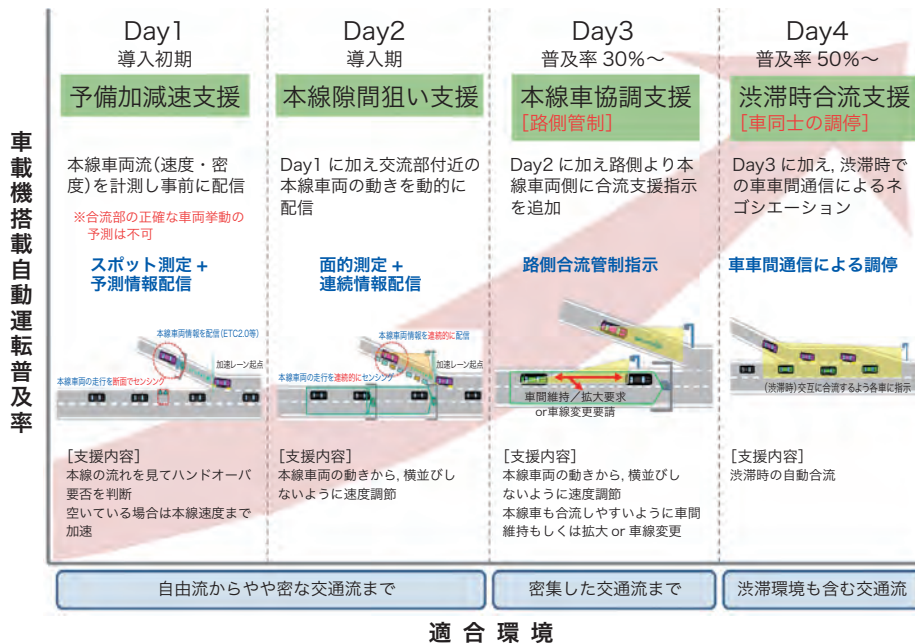
1.1. 合流支援システムのコンセプト

合流支援システムにおいては、技術的実現性の観点より、一般社団法人日本自動車工業会（以下、自工会）にて次に示すDay1～Day4システムの4ステップを定義している。（図1）

Day1システム及びDay2システムは、自由流からやや密な交通流までを想定したシステムである。Day1システムではスポットでの本線車両センシングをもとに、予測情報の配信を行う（予備加減速の支援）。本線状況からハンドオーバーの要否を判断し、空いている状況下においては本線速度まで加速して合流を行えるよう支援する。Day2システムでは、面的なセンシングを行い、連続的に情報を配信する（本線隙間狙い支援）。本線車両の動きを連続的な情報配信によって把握できるため、あらかじめ本線車両の隙間位置に合わせて円滑に合流できるよう速度を調整して合流することが可能となる。

一方、Day3システムでは車載機を搭載した自動運転車の普及率が30%以上で、かつ密集した交通流までを想定し、Day2システムに加え路側より本線車両側に合流支援指示を追加する（本線車協調支援〔路側管制〕）。支援内容としては、本線車両の動きから横並びしないように速度の調節を行い、本線車両も合流しやすいように車間維持もしくは拡大あるいは車線変更をして合流を支援する。

Day4システムでは、車載機搭載自動運転普及率が50%以上での渋滞環境も含む交通流を想定し、Day3



適合環境

※トラック隊列車群の通過も考慮してシステム要件の定義が必要

図1 合流支援のステップ⁽¹⁾

システムに加え、渋滞時での車車間通信によるネゴシエーションによる自動合流支援を目指す(渋滞時合流支援[車同士の調停])。

1.2. 本検討の位置づけ

SIP自動運転においては、この合流支援システムの早期実現を目指す。第1ステップとして既存技術を組み合わせ、早期に実現可能なDay1システムを検討し、第2のステップとして、将来の実現を見込むDay2システムを検討している。

SIP自動運転においては、東京臨海実証実験にて、2019年度・2020年度にDay1システムを首都高羽田空港西入口に整備し、走行実験及び評価を実施した。その結果、合流支援システムのポテンシャルは感じる(情報提供を受けヒューマンマシンインタフェース評価を実施した被験者意見)ものの、Day1システムのスポットでセンシングし合流到達時刻を推定する方法は、渋滞・混雑時の推定精度が十分に得られないため、本線を面的にセンシングし情報提供する仕組み(Day2システム)が望ましいのではないかと結論に至った。そのため、合流支援システムの早期実現を目指し、サービス有効性・社会実装に向けた課題を明らかにするため、2021年度・2022年度の取組としてDay2及びDay3システムを対象にシミュレーションを通じた検証を実施することとした。

本検討では、Day2システムを対象にシミュレーションを通じた検証を行い、その知見を踏まえたDay2シ

ステムの深掘検証並びにDay3システムのコンセプト検討・成立性確認を実施する。

2 シミュレーション対象地の検討

シミュレーション対象地を決定するため、首都高入口の合流部について道路線形調査を実施し、合流車線長と本線交通量を整理した。

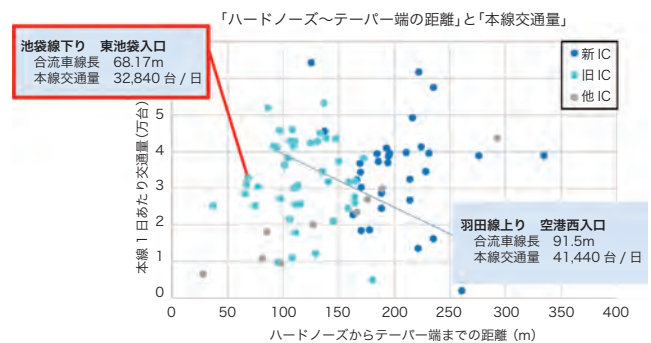


図2 首都高合流部における「ハードノーズからテーパ端までの距離」と「本線交通量」

池袋線下り東池袋入口は、合流車線長が非常に短い合流部であることがわかる。(図2)また首都高合流車線長の分布には旧規格と新規格で2つのピークがあることが確認できた。(図3)

東池袋入口を含む合流車線長の短い箇所(旧規格)は、合流起点到達から合流完了までの時間が短く、合流支援が有効なシーンが多いと考えられる。合流車線

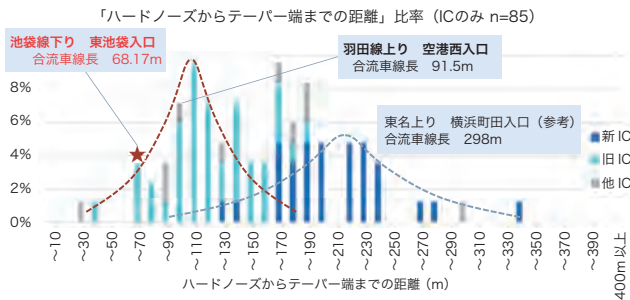


図3 「ハードノーズからテーパ端の距離」別
全合流箇所における割合

長の比較的長い箇所（新規格）では、支援なしの自律走行で合流が可能な可能性がある。

また、経済産業省SAKURAプロジェクトにおいて作成された東池袋入口の車両軌跡データ、及び自工会において東池袋入口の合流挙動を再現したシミュレーションが存在することから、2021年度・2022年度の実証では、首都高5号池袋線下り東池袋入口を対象としてシミュレーションを実施することとした。

3 Day2システムの成立性の検証

3.1. 合流の良否の定義

合流支援システムの有効性を検証するためには、合流の良否を定義し、サービスの導入による合流挙動の改善度合いを評価する必要がある。

本検討では合流挙動の良否を判断するための指標として、車間時間と相対速度によって算出される評価点を定義・導入した。評価点の算出対象となる車両は、合流時において合流車両と最も近い本線車両とした。

本節の解析において用いた評価点と車間時間・相対速度との関係を図4に示す。相対速度が小さく車間時間が大きいほど評価点が高く、安全かつ効率的な合流

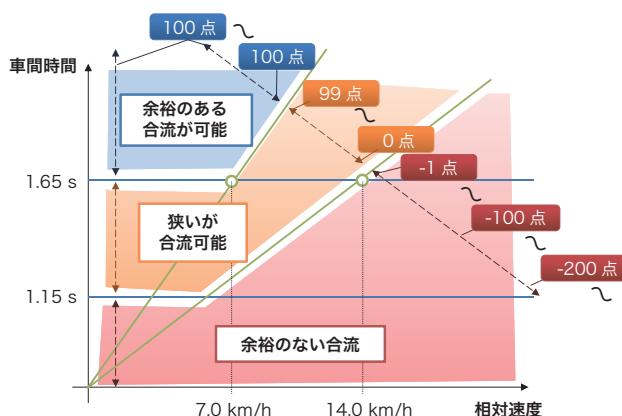


図4 暫定版合流評価点マップ

であるとしている。衝突の危険性を考慮しつつ、余裕を持った合流が可能な領域を100点とし、その領域から離れるほど評価点が低下し、0点未満の領域を余裕がなく合流に適さないものと定義した。

3.2. シミュレーション環境構築

シミュレーション環境のベースとして、構造計画研究所が所有する首都高5号池袋線下り東池袋入口の合流挙動を再現したシミュレーションモデル（以下、東池袋モデル）を用いた。なお、東池袋モデルで発生させる交通流データは、SAKURAプロジェクトで取得された実際の交通データから渋滞時を除いたデータを使用している。

Day2システムの効果検証シミュレーションを行うため、東池袋モデルにDay2システムを模擬する機能及びDay2システムの支援を受けた合流車両の行動ルールを追加した。前者では、本線・センシングエリア内において本線車両の情報を取得し、当該情報を通信エリア内の合流車両に連続的に配信する機能を追加した。後者の行動ルールは、合流評価点を向上させるように合流車両に加減速させるものである。

Day2システムの要件を検証するため、同システムの物理条件として以下のパラメータをシミュレーションに導入した。（図5）

- ・センシングエリアの長短
- ・通信エリアの長短
- ・車両検知センサの情報提供遅延
- ・車両検知センサの配信情報の位置誤差
- ・車両検知センサの配信情報の速度誤差

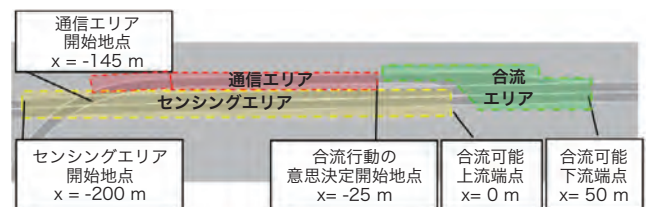


図5 対象地の道路線形

3.3. Day2システムの効果の検証

Day2システムの支援があるシナリオと支援がないシナリオについてシミュレーションを実施し、各シナリオについて合流評価点を比較した。Day2システムの物理条件は、センシングエリアや通信エリアが十分に広く、情報提供遅延や配信情報誤差がない理想的な状態とした。具体的なパラメータ設定としては、セン

シングエリアの広さは合流可能上流端点から上流方向に最大200m、通信エリアの広さは合流行動の意思決定開始地点から上流方向に120mとした。

自動運転車20%混在時において、支援ありのシナリオと支援なしのシナリオに合流評価点の分布を比較した結果を図6に示す。評価点が0点未満の発生台数が減少したことから、Day2システムの導入は、余裕のない(ある)合流を減少(増加)させ、全体としての評価点を改善することがわかる。この結果から、Day2システムの物理条件が理想的な場合、Day2システムは余裕のあるより良い合流を実現させる効果を有する結論を得た。

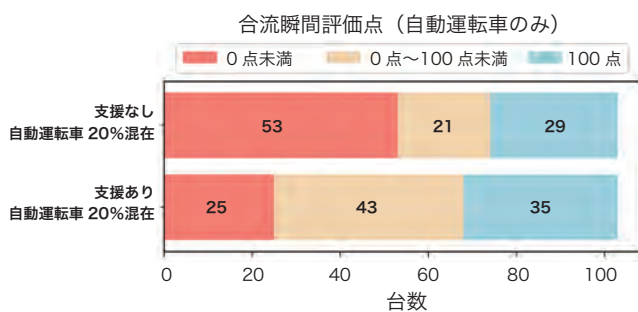


図6 シナリオ別の評価点分布

支援を実施したシナリオでも評価点が0点未満、すなわち合流に適さない状況となっていた車両について、シミュレーション動画を検証し原因を考察した。その結果、本線車両が密になっている状況では本線の車間が短くなるためDay2システムによる支援効果が得られにくいということが判明した。本線車両が密になっている状況において合流を改善するためには、本線車両への合流支援を含むDay3システム以上の支援を検討する必要があると考えられる。

また、合流支援による周囲の交通流への影響についても検証したが、影響は確認されなかった。

3.4. Day2システムの物理条件に関する検証

Day2システムの物理条件をパラメータとして変化させてシミュレーションを実施し、それらの条件変化が支援効果に与える影響を検証した。各物理条件が与える影響を表1に示す。センシングエリア・通信エリアの検証範囲は、Day2システムの支援を受けた車両が加減速の調整を行うのに必要とする走行距離から算出した。車両検知センサの情報提供遅延・誤差(位置)・誤差(速度)の検証範囲は、既往研究⁽²⁾⁽³⁾を参考に決定した。

表1 Day2システムの物理条件パラメータの検証範囲と支援効果への影響

物理条件パラメータ	パラメータの検証範囲	支援効果への影響
センシングエリアの長短	合流可能上流端点から上流方向に最大200m~最小140m	ほとんど影響なし
通信エリアの長短	合流行動の意思決定開始地点から上流方向に最大120m~最小40m	短くなるほど悪影響大
情報提供遅延	平均値0秒~1.3秒、標準偏差0.2の正規分布	遅延が大きくなるほど悪影響大
配信情報の位置誤差	-1m~+1mの一様分布	ほとんど影響なし
配信情報の速度誤差	-6km/h~+6km/h, -12km/h~+12km/h, -12km/h~0km/hを95%区間とする正規分布	速度誤差の分布が負に偏る場合のみ悪影響あり

4 Day2システムの深掘検証

3章ではDay2システムの成立性を確認した。本章では、その発展として、様々な物理条件パラメータの組合せについてDay2システムの効果を推定し、Day2システムの要件の検証を行う。

また、交通流量の変化は支援効果に大きな影響を持っていると考えられ、特に本線混雑時において支援効果が見込まれる。そのため、本章ではDay2システムの深掘検証として、交通流量がDay2システムの支援効果に与える影響について評価する。

4.1. シミュレーション環境の改修

3章までのシミュレーション環境には、後述する3つの課題があったため、深掘検証に際して、シミュレーション環境に対して、3つの課題を解決するために改修を行った。それぞれの課題と改修の内容について以下に示す。

①合流評価点マップの見直し

3章の分析で利用した合流評価点マップによる評価では、シミュレーション上の車両挙動に対して評価点が直感的でないケースが一定数見受けられた。本項の検証で深く掘り下げるにあたり、より実態に即した合流評価ができるよう評価点マップの見直しを行った。後続車の反応遅れ時間を考慮した車間距離に基づいた評価が行える閾値の数式を採用し、評価点マップ内の0点、100点の境界線を示す数式とパラメータは表2のとおりである。

合流車と本線車が「接近しつつある」状況と「離れつつある」状況は合流難易度の観点から全く異なる合流状況であると考えられ、この2つの異なる状況を区別して評価できるよう、相対速度が負の領域についても評価点を定

表2 評価点マップにおける0点及び100点の閾値の数式

項目	0点	100点
①減速後の車間距離マージン[m]	15	25
②反応遅れ時間[秒]	1.0	1.5
③減速度[G]	0.3	0.2
A(x:相対速度)	$\frac{x^2}{0.6G} + 1.0x + 15$	$\frac{x^2}{0.4G} + 1.5x + 25$

義した。最終的な合流評価点マップは図7のとおりである。

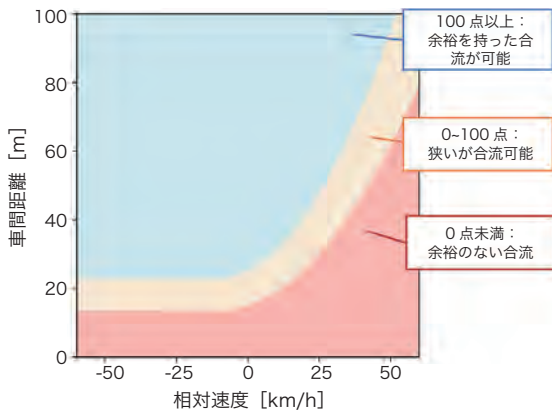


図7 最終版合流評価点マップ

②本線上流部の車両挙動モデルの構築

Day2システムの成立性の検証時点では対象地の本線上流部における実軌跡データがなかったため、本線上流部の車両挙動は等速直進としていた。そのため、センシングエリア内における車線変更や加減速を反映できていない、という課題があった。

センシングエリア内における車線変更や加減速といった車両挙動は本線の状況を変化させる要因であり、Day2システムの支援効果に大きな影響を持つと考えられる。したがって、Day2システムの深掘検証に際して、本線上流部の車両挙動モデルを構築し、センシングエリア内における車両挙動の再現性を向上させることを予定している。そのために、本線上流部の実軌跡データを新たに取得する予定である。

③自動運転車の車両挙動モデルの見直し

東池袋モデルでは、自動運転車でない車両（以下、一般車）について、実軌跡データから取得した車間分布に従って希望車間を設定している。一般車は設定された希望車間を維持するように走行し、車間時間が1秒未満となる車両も少なからず存在する。一方で、自動運転車はより車間を確保して走行すると考えるのが自然であるため、自動運転車は先行車との車間時間を原則2秒以上保って走行すると仮定した。

4.2. Day2システムのシステム要件の検証

Day2システムの物理条件をパラメータとして変化させてシミュレーションを実施し、それらの条件変化が支援効果に与える影響を検証する。システムの対象エリアが広く、遅延や誤差が小さいほど支援効果は増大すると考えられる。支援なしの場合と比較して一定以上の支援効果をもたらす物理条件について調査することでシステム要件を検証する。

4.3. 交通流量変化によるDay2システム支援効果への影響評価

本線の交通流量が少ない場合は合流支援がなくてもスムーズな合流が実現でき、反対に交通流量が多い場合はDay2システムによる合流支援を行ったとしても本線の車間が狭いためにスムーズな合流が行えないと考えられる。Day2システムによる支援効果は、本線の交通流量の変化によって異なり、対象とする本線の交通流量がその道路の交通容量以下の適度な状態で最も支援効果を発揮すると考えられる。

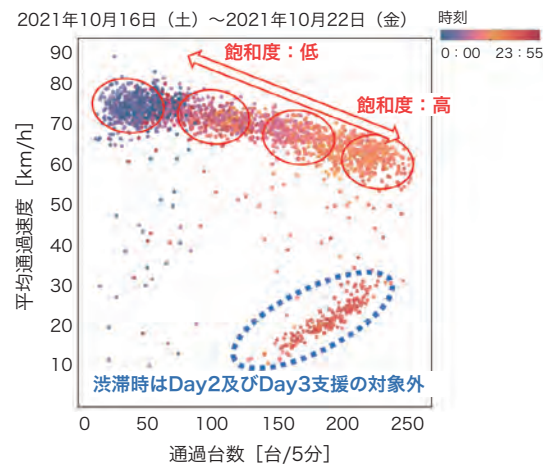


図8 対象地で計測されたトラフィックカウンターデータに基づくQV図と交通流量の区分

本線交通流量の影響を評価するため、図8に示す4つの交通流量の領域について、Day2システムの支援効果をシミュレーションにより推計する（対象地のトラフィックカウンターデータは首都高速道路株式会社より提供いただいた）。4つの交通流量区分における支援効果を比較することで、Day2システムの支援効果が大きい交通流量及びDay3システムの支援効果が低減する交通流量を調査する。

なお、渋滞時は、合流エリア内の車車間通信と協調が必要になると考えられるため、Day2/Day3システムの対象外であり、本評価の対象外としている。

5 Day3システムのコンセプト検討・成立性確認

5.1. Day3システムのコンセプト検討

Day3システムは、合流車両と本線車両の両方に合流支援を行う。ただし、例えば、本線車両が自動運転車でなく一般車である場合は本線車両への合流支援は実施できない。また、合流車両から見た本線の先行車と後続車との車間が十分広い場合は本線車両への支援を行わなくてもスムーズな合流が可能である。このように合流時の周辺車両状況によって、Day3システムにおいて実施する支援の内容は異なると考えられる。そのため本事業では、3台の本線車両（合流車両から見た先行車・後続車・その後続車）が自動運転車か否か、及び各本線車両の車間時間の2つの要因から、合流車両と本線車両の2車両に対する各支援の有無を決定する仕様を仮定した。

5.2. Day3システムの効果の検証

交通流量が多くDay2システムの支援効果が低減する状況において、Day3システムの導入により支援効果が改善する見込みがある。Day3システムのコンセプト検討・成立性確認では、Day2システムの深掘検証で支援効果が低下した交通流量を対象とする。なお、対象の交通流量はシミュレーションにより推計する。Day3システムの物理条件は、理想的な物理条件及びDay2システムの要件と同等とする。

6 2022年度中の技術成果見込み

2022年度中には、本線上流部の車両挙動モデル構築及び自動運転車の車両挙動モデルの見直しを行う予定である。さらに、Day2システムの支援効果及びシステム要件、Day3システムの成立性の有無について分析を行う。得られる成果の見込みとしては下記の項目が挙げられる。

- ・センシングエリアにおける車両挙動再現性が向上したシミュレーションを用いた、Day2システムの効果及びシステム要件
- ・交通流量がDay2システムに与える影響の評価結果
- ・Day2システムの支援効果が低減する交通流量におけるDay3システムの支援効果
- ・Day2システム、Day3システムの1日の推定支援効果

7 おわりに

7.1. 本分析の留意点

本事業での分析は、東池袋入口を対象としており、また普通車（大型車ではない車両を指す）のみに焦点を当てた限定的なモデルとなっている。

7.2. 今後の事業展望や分析に向けた提言

本事業では、Day2/Day3システムの支援効果を評価できるシミュレーション環境を構築し、東池袋入口を対象として支援効果を評価した。本事業の成果を踏まえ、合流支援システムの実現を目指したSIP第2期終了後の検討継続に向け、合流支援システムシミュレーションに関する検討会に参加する関係者と協議を行っている。

7.1節で述べたとおり、本事業での分析は道路線形と対象車両について限定的なものである。Day2/Day3システムの支援効果やシステム要件は合流部の道路線形によって異なると考えられるため、今後は本事業で構築したシミュレーション環境を用いて、東池袋入口以外の合流部についてもDay2/Day3システムの支援効果を評価することが望ましい。

加えて、本事業で構築したシミュレーション環境を大型車へ拡張することも今後の展望としてあげられる。シミュレーション環境を大型車へ拡張する場合は、普通車よりも加速度/減速度の幅が小さい点への考慮が必要である。

【参考文献】

- (1) NEDO：2021年度「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期/自動運転（システムとサービスの拡張）/合流支援（本線隙間狙い）システム検証のためのシミュレーション環境構築及び分析」公募説明会資料、<https://www.nedo.go.jp/content/100936118.pdf>、（参照 2022.09.01）
- (2) 中川 敏正ほか：「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、第8巻、第1号、pp. 39-48、2021.01.
- (3) 中川 敏正ほか：「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、第8巻、第1号、pp. 49-58、2021.01.

【本件問合せ先】

株式会社構造計画研究所 創造工学部 データサイエンス室、〒164-0011 東京都中野区中央4-5-3、03-5342-1100、担当：荒木伸太

株式会社三菱総合研究所 スマート・リージョン本部 モビリティ戦略グループ、〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3、03-6858-0241、担当：宮下浩一

⑤ 交通規制情報のデータ精度向上

Improvement of Data Accuracy of Traffic Regulation Information

馬場素（公益財団法人日本道路交通情報センター）、前田誠（株式会社トスコ）、坂口良（株式会社ドーン）
Moto Baba (JARTIC), Makoto Maeda (TOSCO CORPORATION), Ryo Sakaguchi (Dawn Corporation)

(概要) 本調査研究は、自動運転車が安全安心に走行可能な交通環境の整備に向けて、自動運転車が必要とする警察が管理する交通規制情報のデータ精度向上を目指して2020年度からの3か年で実施した。交通規制情報の精度向上を図るために既存の交通規制情報の標準フォーマットにおける課題及び改善策を検討して新たに拡張版標準フォーマット及び同解説書を作成した。実証実験では2020年度に作成したモデルシステムの要件定義書(案)を踏まえ、2021年度に交通規制情報と標識情報の整合性を確認して紐付けを行うモデルシステムの開発及び実証実験を行うとともに画像認識技術の評価を実施した。2022年度には前年度に開発した技術及び拡張版標準フォーマットを用いてプロトタイプシステムを構築し、交通規制情報のデータ精度向上に係る実証実験及び効果検証を行い、システムを導入するための要件定義書(案)を取りまとめた。

キーワード：交通規制情報、標識・標示情報、画像認識技術、データ精度向上、拡張版標準フォーマット、高精度3次元地図

1 調査研究の目的・概要

自動車は、道路に設置されている道路標識や道路標示から車載カメラやモバイルマッピングシステム(MMS)にて高精度に標識・標示情報を収集することが可能であるが、そこから交通規制情報そのものを作成することは難しい。そのため警察が保有、公開している交通規制情報のデータ精度の向上を図ることにより、自動運転車が交通規制に従って安全に走行するための安全運転支援情報の一つとして活用することができるようにするために、交通規制情報のデータ精度向上等に係る調査研究を実施した。

1.1. 交通規制情報のデータ精度向上手法

道路に設置された標識・標示と警察が保有する交通規制情報を照合することで、交通規制情報のデータ精度向上を図ることとした。標識・標示情報を収集する手法は、①自動車に搭載したドライブレコーダの映像から画像認識技術を活用して標識・標示情報を抽出・収集する手法及び②スマートフォン上でWebアプリケーション(調査アプリ)を利用して標識・標示情報

を収集する手法の2つを採用した。

収集した標識・標示情報は、実証実験システムの標識・標示位置予測システムに取り込み、交通規制情報と道路に設置された標識・標示情報を自動照合してデータの整合性(マッチ、アンマッチ)を確認し、交通規制情報の精度向上を図った。データ整合の取れていない(アンマッチとなった)標識・標示は、②により現地調査を行ったうえで、再度データ整合性を確認して、交通規制情報のデータ精度向上及びデータ精度向上方法の最適化手法を検討した。

画像認識システムについては、収集した標識・標示情報をもとにした交通規制情報の作成支援方法について検討した。

また、既存の交通規制情報の標準フォーマットには構造上の課題等があったため、課題解決や交通規制情報のデータ精度向上に向けて交通規制情報の一元的な管理ができる新たな拡張版標準フォーマット(案)及び利用者向けの解説書を作成した。

1.2. 実証実験概要

2020年度にモデルシステム開発のための要件定義書(案)を作成した。2021年度にモデルシステム(調

査アプリ及び標識位置予測システム)を構築し、神奈川県下の対象エリアにおいて実証実験を行った。

また、効率良くデータ精度向上を図るために、ドライブレコーダで撮影した標識・標示データについて画像認識技術を使って自動認識させるための調査を行った。2022年度は、2021年度に開発した技術及び拡張版標準フォーマットを用いてプロトタイプシステムを構築して、実証実験、効果検証を行って、警察庁及び都道府県警察の交通規制情報管理システムに対して機能等を導入するためのシステム要件定義書(案)を作成した。

2 モデルシステムの構築

2.1. 調査アプリ

調査アプリは、スマートフォンを用いて標識・標示の現地調査を支援するもので、標識・標示情報の収集機能及び交通規制情報の表示機能を有したアプリケーションである。

調査アプリはスマートフォン端末でWebブラウザから利用するもので、スマートフォン端末に表示された交通規制データと、現地に設置された標識を比較し、不足や誤りがある場合にはデータの登録や修正を実施することができる。登録できる情報は、標識の管理情報、標識板の種類、劣化状態、写真画像などであり、標識位置予測システムと同様に手動での仮紐付けも可能とした。

これを使用することで、後述する標識位置予測システムで交通規制情報と標識情報の自動仮紐付けができなかった標識に対して仮紐付けを行うことが可能となった。

2.2. 標識位置予測システム

標識位置予測システムは、交通規制データと標識データの整合性確認のための紐付けを支援するシステムであり、システムに誤登録されたデータのチェックを行えるシステムである。はじめに都道府県警察が保有する交通規制データを取り込み、その交通規制データに対応する標識データの位置予測を行って、標識データが予測範囲内に存在するかを判定して、交通規制データと標識データの自動仮紐付けを実施する。自動仮紐付けの結果は、標識位置予測システムの地図画面や一覧画面で確認ができ、仮紐付けができなかったデータに対しては、標識位置予測システム上で操作者

が手動で仮紐付けを行うことを可能とした。標識データの位置予測は、複数の予測手法の中から、規制種別ごとに最適な候補を選定した。また、交通規制データの座標位置の登録方法や、交通規制データと標識データの紐付け方法は都道府県警察によって異なるため、パラメータの調整ができる仕組みとした。

2.3. モデルシステムを用いた実証実験

2021年度の実証実験は、神奈川県内の一部の警察署が管轄する地域の交通規制情報を対象として実施した。実施の手順については以下のとおりである。(図1)

- ・標識位置予測システムに対象エリアの標準フォーマットデータ、標識データを登録し仮紐付けを行った。
- ・仮紐付け結果を確認し、精度が低い地域では調査アプリにて現地調査を行い、再度仮紐付けを実施した。
- ・都道府県警察のシステムにおいて紐付けられた交通規制情報と比較し、最終的な紐付け結果を検証した。
- ・紐付け結果から予測方法の見直しを行い、最適な予測方法の検証を実施し、再度仮紐付けを行った。

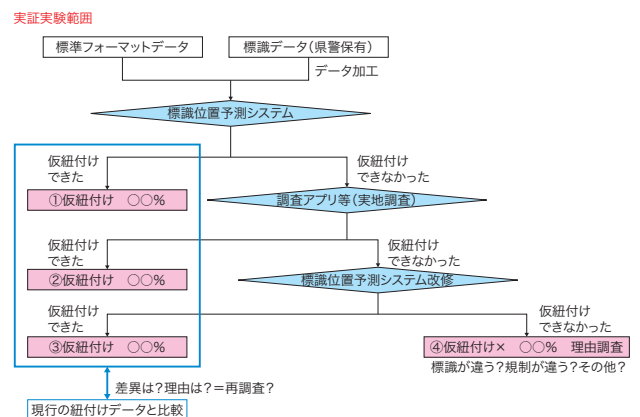


図1 実証実験フローチャート

効果検証については、図2のフローに沿って交通規制データの「仮紐付け率」及び「正解率」を求めた。予測手法の改善を計5回行った結果、「仮紐付け率」は91.5%、「正解率」は93.8%の成果を得た。

また、仮紐付けができなかった交通規制データ27件については、調査アプリを用いて現地調査を実施し、全て仮紐付けを行うことができた。

【仮紐付け率】

評価対象の交通規制データ数に対する仮紐付けあり交通規制データ数の割合

【正解率】

本紐付け情報を持つ仮紐付けありデータ数に対する正解データ数の割合

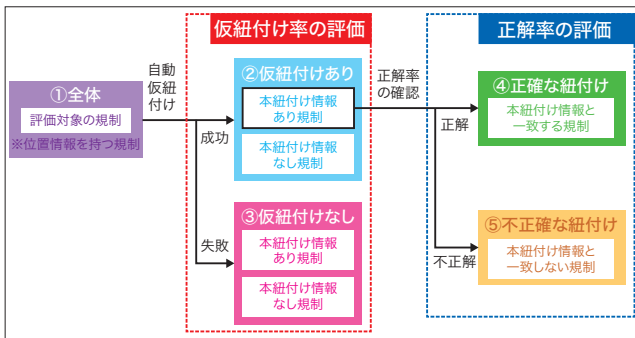


図2 実証実験における評価の流れ

2.4. 画像認識技術の検討と評価

画像認識技術の検討では、都道府県警察が標識・標示の設置工事及び点検業務等で収集する画像情報から、標識・標示の位置情報等を容易に収集・抽出するための手法について図3の流れを想定して検討を行った。

2.4.1. 技術の調査及び評価

システムを構築するのに必要な抽出、認識、位置推定の技術については、表1に示す観点で調査を行った。

また、技術評価における抽出、認識技術の分類としては、テンプレートマッチングと機械学習の2種類に大別でき、テンプレートマッチングでは、マッチングアル

ゴリズムを開発することで実現できるが、イレギュラーの網羅に膨大な開発が必要となる。これに対して機械学習は、全てのパターンを開発する必要がなく、該当する学習用データを追加収集したうえで、このデータを学習する時間を確保できればイレギュラーに対応できる。

したがって、機械学習手法技術を用いた評価ソフトウェアを試作して評価を実施した。

(a) 抽出

抽出手法の評価としては、雨天や劣化等の悪条件画像を含む200枚の画像(対象となる本標識297枚、補助標識131枚)及び約34分の走行動画(対象となる本標識219枚、補助標識112枚)を使用し、結果として表2に示すようにいずれも95%以上の抽出結果を確認した。

また、標示については、停止線、横断歩道、方向指示、最高速度について評価を行い、平均で95%の結果を確認した。

表2 抽出結果

標識種別等	標識数	抽出枚数	抽出率
本標識静止画	297	281	95%
補助標識静止画	131	129	98%
本標識動画	219	214	98%
補助標識動画	112	111	99%
標示	261	248	95%

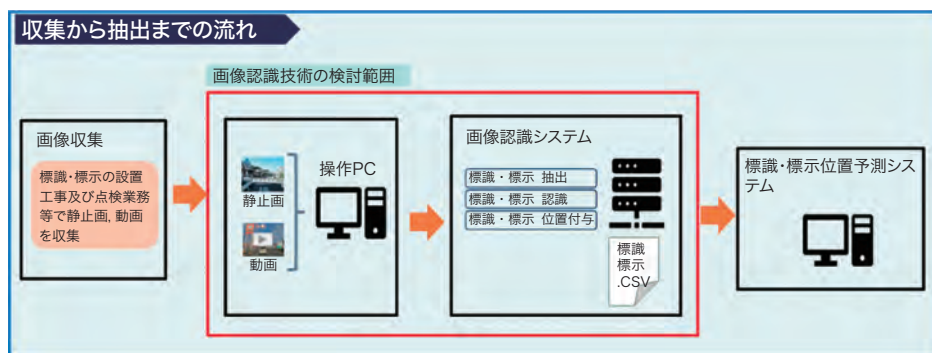


図3 収集から抽出までの流れ

表1 処理想定

処理	説明	処理イメージ
抽出	静止画及び動画から標識または標示と考えられる領域を特定し、その領域から画像を抜き出す処理	領域を特定し、画像を抜き出す (株)トスコ撮影
認識	抽出で得られた領域画像から正しい標識または標示であるかを判断し、規制種別を特定する処理	規制種別ごとに認識する 407: 横断歩道 203: 停止線 (株)トスコ撮影
位置推定	画像中の物体(標識または標示)について、動画・静止画に含まれる撮影位置情報を基準とし、距離と角度を推定し緯度・経度を算出する処理	距離と角度を推定する 距離 3m 角度 -30度 距離 3m 角度 0度 左30度 (株)トスコ撮影

(b) 認識

認識手法の評価としては、抽出画像から標識部分を抜き出した297枚の評価用画像を使用した。

結果として、進行方向別通行区分(図4)が一方通行(図5)と誤認される場合が確認されたが、進行方向別通行区分の学習データを再学習させて認識率が向上した。認識結果は、表3のとおり。



図4 進行方向別通行区分



図5 一方通行

表3 認識結果

クラス	標識数	抽出枚数	抽出率
駐車禁止	106	106	100%
最高速度40km	15	15	100%
横断歩道・自転車横断帯	14	14	100%
指定方向外進行禁止	13	13	100%
進行方向別通行区分 ※()内は再学習後の計測値	11	3 (11)	27% (100%)
最高速度50km	11	11	100%
(中略)			
計	297	274	92.3%

(c) 位置推定

位置推定の評価としては、深度推定アルゴリズムと回帰式モデルを使用して距離データ計測済みの評価用画像1,600枚(距離2m~10m)を使用して行った。

結果として1,600枚中、約96%が誤差2m以内の距離で推定可能であった。(表4)

表4 距離測定結果(実際の距離と推論した距離の誤差)

誤差の区分	評価枚数 (1,600枚)	割合
2m以内	1,539	96.2%
2m超~4m以内	59	3.7%
4m超	2	0.1%

2.5. 拡張版標準フォーマットについて

現在の標準フォーマットは、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)事業の一環として実施した「交通規制情報の活用による運転支援の高度化」に係る調査研究において取りまとめられた交通規制情報のデータフォーマットであるが、本調査研究において確認した課題の解決を図るために、拡張版標準フォーマットを検討し作成した。

2.5.1. 拡張版標準フォーマット

交通規制情報のデータ精度向上を図るため、都道府県警察が交通規制を実施する際の基準である交通規制基準に準拠した拡張版標準フォーマット案を作成した。この拡張版標準フォーマットは、差分更新への対応や

規制を正確に表すために必要な不足コードの追加、似通った項目の統廃合、入力定義の明確化など都道府県警察における入力負担の軽減を図ることを目的として、交通規制情報と対応する標識情報、標示情報の3つの情報を一元的に管理できるフォーマットとして定義した。

拡張版標準フォーマットの全体構成を図6に示す。

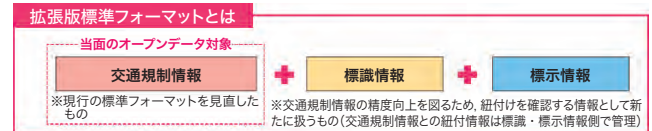


図6 拡張版標準フォーマットの構成

3 プロトタイプシステムについて

3.1. 標識・標示位置予測システム及び調査アプリ

都道府県警察において決定された交通規制と現地の標識の対応関係を確認することを目的として、交通規制データと標識データの紐付けを行うシステムとして2021年度に構築、実証実験を行ったモデルシステムに対して、以下の機能を追加した新たなプロトタイプシステム(図7)を構築した。

- ・拡張版標準フォーマット(交通規制データ、標識・標示データ、紐付け)の入出力
- ・交通規制データからの標示位置の予測
- ・標識位置からの交通規制位置の予測
- ・補助標識の登録
- ・画像ファイルの取り込み

また、標識・標示位置予測システムを補完し、交通規制データと標識・標示データを紐付けすることを目的とした調査アプリ(図8)には、以下の機能を追加した。

- ・拡張版標準フォーマット(交通規制データ、標識・標示データ、紐付け)の入出力
- ・補助標識の登録

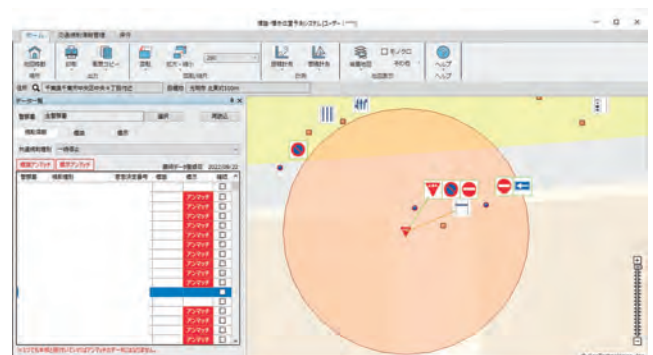


図7 標識・標示位置予測システムイメージ

・ 標識・標示の方向の登録



図8 スマートフォン端末で標識・標示を登録するイメージ

3.2. 画像認識システム

広範囲の標識・標示情報を網羅的に収集し、データ整備を効率的に行うことを目的とした画像認識システムは、スマートフォン端末で撮影した静止画やドライブレコーダで撮影した動画等を、2021年度に調査・検証した画像認識技術を使用して標識・標示情報（規制種別、位置情報、規制方向）を抽出する機能と、抽出結果を標識・標示位置予測システムに転送できる機能を搭載したプロトタイプシステム（図9）を構築した。

3.3. プロトタイプシステムを用いた実証実験・効果検証

2022年度の実証実験は、千葉県内の一部の警察署が管轄する地域の交通規制データ及び標識・標示データを対象に実施した。調査アプリ及び画像認識システムを用いて取得した標識・標示データを標識・標示位置予測システムに取り込むことによる交通規制データの精度向上を行った。

画像認識システムについては、調査アプリで取得した画像情報及びドライブレコーダの画像情報等から、標識・標示の位置情報、規制種別、撮影方向の取得について検証を行い、あわせて補助標識データ取得の検討も行った。

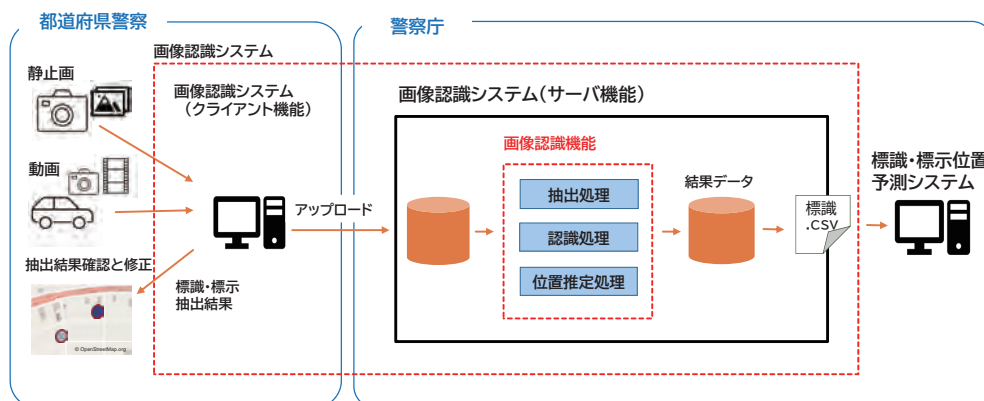


図9 画像認識システム構成

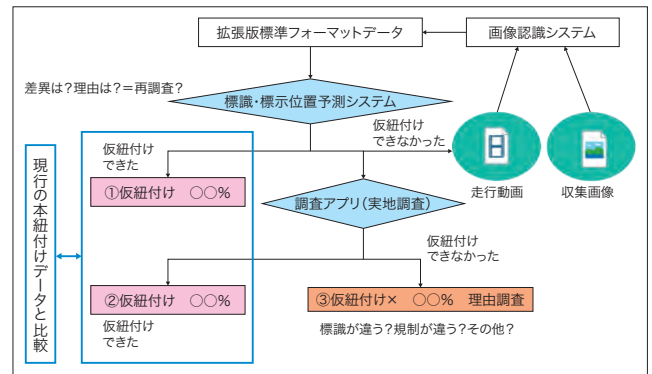


図10 プロトタイプシステム実証実験フローチャート

プロトタイプシステムの効果検証については図10のフローに従って2021年度と同様に「仮紐付け率」及び「正解率」を求める。2021年度は、標準フォーマットデータと標識データを対象データとして検証を実施したが、2022年度は、拡張版標準フォーマット（交通規制データ、標識・標示データ）を用いて図11の評価の流れで「仮紐付け率」及び「正解率」を求めることとなる。

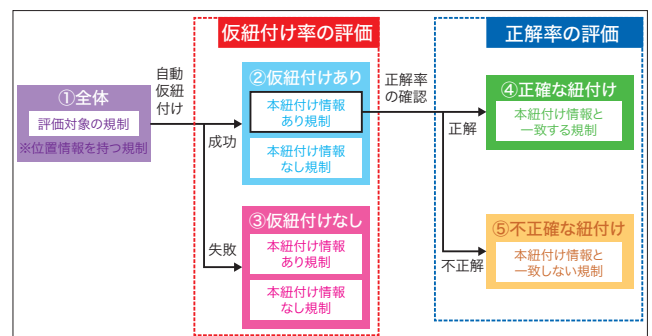


図11 プロトタイプシステムの評価の流れ

詳細な手順としては、まず拡張版標準フォーマットデータに対応した標識・標示位置予測システムを用いて交通規制データの位置や規制種別をもとに標識・標示位置の予測を行い、標識・標示データが予測範囲に入るものを仮紐付けする。仮紐付けの結果をもとに予測範囲の変更を行い最適な予測範囲を求め、最終的に仮紐付

けできなかった交通規制データをアンマッチデータとする。このアンマッチデータに対して、調査アプリ及び画像認識システムを用いて現地の標識・標示データを取得する。取得したデータを再度標識・標示位置予測システムで予測を行い、仮紐付けを実施して最終的な「仮紐付け率」及び「正解率」を求める。仮紐付けできない、もしくは間違った仮紐付けを行った交通規制データについては、原因分析を実施しデータ精度向上に繋げる。

3.4. 拡張版標準フォーマットの解説書作成

2021年度に検討した拡張版標準フォーマット（案）について、都道府県警察へのヒアリング結果、拡張版標準フォーマットを使用した実証実験結果及び有識者検討会に基づき、規制種別を74項目に絞り込み、224項目の交通規制情報項目について見直しを行った。特に交通規制情報項目は、交通規制基準に沿って「規制種別」「規制場所」「規制対象」「規制日時」を基本とする項目とし、似通った項目の統合等の精査を実施した。また、登録担当者が正確に交通規制データを拡張版標準フォーマットへ登録できるように、交通規制情報の利用者が拡張版標準フォーマットを理解するための解説書を作成した。

解説書は、本編と付属資料とで構成し、本編にはデータ概要やファイル仕様を記載し、付属資料にはフォーマット、コード表及び規制種別ごとの入力定義・登録事例を掲載した。

3.5. システム運用マニュアル

交通規制情報のデータ精度向上を図るため、社会実装を想定して構築したプロトタイプシステムについてシステム運用マニュアルを作成した。システム運用マニュアルは、整備目的、全体構成を示した本編と各ツール（標識・標示位置予測システム、調査アプリ、画像認識システム）の操作マニュアル、運用方法を記載した運用編で構成した。

4 高精度3次元地図との連携

自動運転車が公道を走行するためには、高精度3次元地図（図12）を利用することが想定されていることから、

- ・高精度3次元地図データの調査
- ・交通規制情報の提供手法の検討

・交通規制情報の提供に係る課題の整理を実施した。

本調査研究で生成した交通規制情報とモバイルマッピングシステム（MMS）の高精度3次元計測により作成された標識・標示情報等を活用し、高精度3次元地図に組み込む技術を確認した。

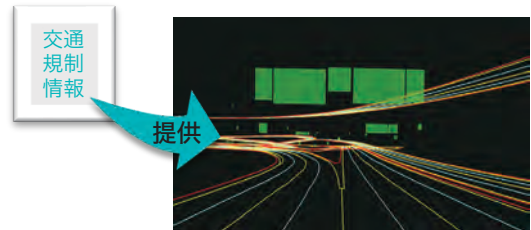


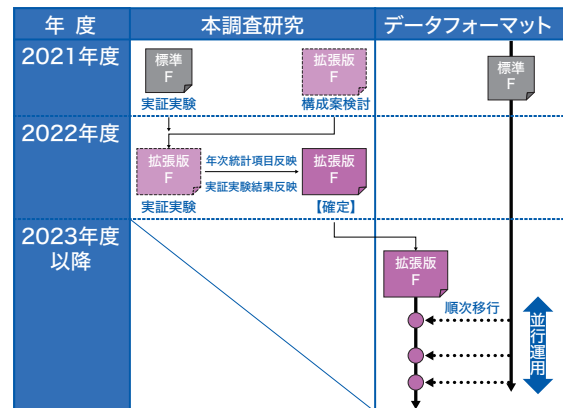
図12 高精度3次元地図のイメージ
（出典）ダイナミック基盤株式会社

5 おわりに

5.1. 今後の運用イメージ

拡張版標準フォーマットは、図13に示すとおり都道府県警察の交通規制情報管理システムへの導入が検討されている。

警察庁には、都道府県警察が拡張版標準フォーマットに対応するまでの間、標準フォーマットと拡張版標



準フォーマットの両方のデータを受信する機能が必要である。交通規制情報のデータ精度向上に係る作業は都道府県警察で取り組む必要があることから、業務負担の軽減を図りながら作業を行うことが望まれる。

【本件問合せ先】.....
公益財団法人日本道路交通情報センター 調査部、〒102-0072 東京都千代田区飯田橋1-5-10、03-3261-7672、担当：馬場素