

無人自動運転移動サービスの導入に向けた 道路空間の適性評価手法

寺口 敏生¹・新井 奨²・小林 寛³

¹ 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1)

E-mail: teraguchi-t92ta@milit.go.jp

² 正会員 セントラルコンサルタント株式会社 中部支社 道路交通部 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦 1-18-22 名古屋 AT ビル 7F)

E-mail: sarai@central-con.co.jp

³ 正会員 山形県 県土整備部 (〒990-0023 山形県山形市松波 2-8-1)

E-mail: kobayashihiros@pref.yamagata.lg.jp

国土交通省は、限定地域における無人自動運転移動サービスの実現および対象地域の拡大を目指し、自動運転の走行に適性のある道路空間の在り方と整備の進め方に関する検討を進めている。そこで、著者らは、無人自動運転移動サービスの導入への適性の観点で道路空間を評価し、路線設定の最適化や必要な道路改良方法を提案する手法の研究を行っている。

本研究では、過去に各地で実施された無人自動運転移動サービスの実証実験の内容を調査し、自動運転車両の走行実績がある道路空間の特徴を単路単位で整理した。そして、それらの特徴を基に、無人自動運転移動サービスを導入する際の道路空間の適性を評価する手法を検討した。

Key Words: *autonomous vehicle, road space, driverless automated driving mobility service, vector space model*

1. はじめに

国土交通省では、限定地域における無人自動運転移動サービスの実現および対象地域の拡大に向けて、各地で自動運転車両や路車連携技術を用いた社会実験を実施¹⁾している。国土技術政策総合研究所では、これらの社会実験を通じて得られた知見を基に、自動運転車両の走行に対応した道路空間の整備方法の基準策定を目的とした研究に取り組んでいる。

バス等のモビリティサービスを導入する場合、地域のニーズに対応した発着地点の設定が最重要項目であり、走行経路はそれらを結ぶ経路が選択されがちである。これは、運転手が人間であれば、不測の事態にも柔軟に対応可能なためであると考えられる。しかし、無人の自動運転車両の場合、人間の運転手と同等の柔軟な状況判断は難しい。そのため、無人の自動運転車両を用いたモビリティサービスの走行経路を検討するにあたっては、自動運転車両であっても適切に状況判断が可能な道路空間か、もしくは状況判断の必要性が限りなく低い道路空間を選択または整備する必要がある。しかし、無人の自動

運転車両が走行するという観点で、道路空間の適性を評価する基準は明確ではない。これは、道路空間の構成要素が多様であることに加えて、自動運転車両の自己位置推定方法に違いがあり、それぞれに適した道路条件が異なるためである。そこで、著者らは、無人自動運転移動サービスの導入を検討する際に参考となる道路空間の適性評価手法に関する研究を行っている。

本論文では、過年度に日本各地で実施された社会実験にて自動運転車両の走行実績がある道路の特徴を統計的な分析を通じて抽出する。そして、それらの特徴に基づき、単路単位で自動運転車両の走行適性を評価する手法を提案する。提案手法により、対象の道路空間が、どの特徴を備えていないために、自動運転車両の導入適性が低く評価されたか分析可能となることから、道路整備の方針を検討する際の参考情報としての活用が期待できる。

2. 関連研究と本研究の位置付け

道路空間の様々な特徴を統計的に分析し、設定した指

標に則り総合評価する既存研究として、高速道路における走行時の快適性を景観構成要素に基づき評価する手法²³⁾が提案されている。当該手法では、人間の感性を評価に取り込むため、実際に走行した動画を見せたりシミュレータを用いて疑似体験させ、道路左右の法面の有無、形状、植生や道路自体の縦横断の勾配等の要素が、走行快適性にどのように影響するのかを分析している。これらの手法は、人間の感性を数値化する点では有用だが、自動運転車両自体の特性を考慮できないため、自動運転車両の導入適性の評価時に活用することは難しい。

一方、車両走行時の一般道の安全性を評価する手法として、過去の事故発生箇所の道路の空間的特徴を分析する手法⁴⁾が研究されている。当該手法は、一般道路の空間的特徴が安全性にもたらす影響を分析するという観点で有用である。しかし、無人自動運転移動サービスに当該手法により評価した一般車両の場合の事故発生箇所の特徴を当て嵌めようとしても、車両の走行特性が異なるために有効であるかは疑わしい。また、当該手法を適用しようにも、分析ができるほど無人自動運転移動サービスの事故事例が集まらないといった課題がある。

そこで、本研究では、日本全国で無人自動運転移動サービスの導入実験が実施されていることに着目し、自動運転車両の走行実績のある道路は、無人自動運転サービスの導入適性が高い道路空間の特徴を備えていると仮定して、その特徴を抽出する手法を検討した。

3. 研究の概要

(1) 提案手法の処理の流れ

本研究の提案手法では、過去の実験において無人自動運転移動サービスが一定期間走行した道路空間の特徴を統計的に分析し、類似する特徴を持つ道路空間を自動運転車両の導入適性が高いと評価する。

提案手法の処理フロー（図-1）は、学習部と評価部の2つの処理部で構成される。学習部では、過去の自動運転車両の走行経路情報を入力し、DRM（Digital Road Map）データや道路交通センサ情報等を組み合わせて、自動運転車両の導入適性が高い道路空間の特徴を学習する。なお、道路空間の特徴を学習するにあたっては、道路空間の構成要素や自動運転車両の自己位置推定方法に基づく評価結果の違いを考慮するため、本研究では、自己位置推定方法2種類（自律センサのみ、自動運行補助施設を併用）と片側車線数4種類（中央線がない片側1車線未満、片側1車線、片側2車線、片側3車線以上）を掛け合わせた計8カテゴリに分けて、道路空間の特徴を分析する。

評価部では、評価対象道路のデータと自動運転車両の

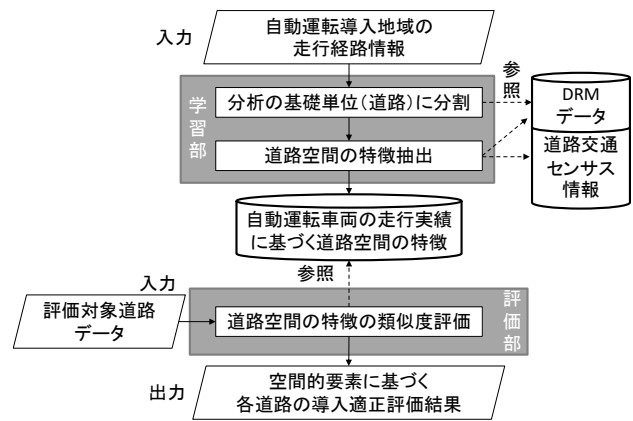


図-1 提案手法の処理フロー

走行実績がある道路空間の特徴とを比較し、対象道路の自動運転車両の導入適性を評価する。なお導入適性の評価にあたっては、道路空間の8カテゴリのうち、評価対象道路の条件と合致するものとの比較を行う。

(2) 学習部の処理内容

学習部では、まず過去の自動運転車両の導入実験時の走行経路データを道路空間の8カテゴリに分類し、それぞれ DRM データと重ね合わせて、分析の基礎単位である1対のノードで挟まれたリンク単位に分割する。

次に、リンク単位に分割された道路を対象に、その空間的特徴を抽出する。道路の空間的特徴を構成する要素とその抽出方法等を表-1に示す。表-1の通り、道路の空間的特徴には、DRM データや道路交通センサ情報から機械的に抽出されるものの他に、周辺の2次元地図、航空写真や路上写真等を人間が目視で確認してチェックする項目が含まれる。本提案手法では、分割された道路ごとに表-1の各項目に当てはまるかどうかを確認し、対応する項目を「1」、対応しない項目を「0」と評価する。

最後に、道路空間の8つのカテゴリごとにリンク単位に分割した道路の評価結果を集約し、各カテゴリのベクトル（以下、「代表ベクトル」という。）を作成する。代表ベクトルは、統計的なクラスタリング手法であるベクトル空間モデル（VSM：Vector Space Model）を参考に、表-1に示す各項目を次元とする計76次元のベクトルとして作成した。

(3) 評価部の処理内容

評価部では、まず学習部と分析の基本単位（DRMの1対のノードで挟まれたリンク単位）を揃えた評価対象道路に対し、道路交通センサ情報や2次元地図等の確認を通じて表-1と同じ項目を入力してベクトル化する。

次に、道路空間の8カテゴリのうち、評価対象道路の条件と合致するカテゴリの代表ベクトル v_k と評価対象道路のベクトル v_l の類似度 $s(v_k, v_l)$ をコサイン類似度を用い

表-1 道路の空間的特徴の構成要素

項目	データ抽出元	データの作成方法 (各次元は1もしくは0の2値) ※フラグ化した次元は、該当する場合1、しない場合0と評価	次元数	
道路種別	DRM	DRMの道路種別コード(9種類)ごとにフラグ化	9	
道路幅員区分	DRM	道路幅員の条件(下記4種類)ごとにフラグ化 (13.0m以上, 5.5m以上, 3.0m以上, 3.0m未満)	4	
追越可否	手入力(地図情報等)	片側2車線以上であれば1, 片側1車線未満であれば0, 片側1車線であれば中央線の色で判別(0or1)	1	
車道総幅員	DRM ※未設定区間は手入力	車道総幅員の条件(下記5種類)ごとにフラグ化 (5m未満, 10m未満, 15m未満, 20m未満, 20m以上) ※幅員変化がある場合は、一番狭い場所基準に入力	5	
中央線の有無	手入力(地図情報等)	中央線がある場合は1, ない場合は0 一方通行路では1部分的に中央線がある場合は0	1	
中央分離帯の有無	DRM	リンク種別コードが2(上下線分離)の場合は1, 1(上下線非分離)の場合は0	1	
自動車専用道路	DRM	自動車専用道路コードでフラグ化	1	
沿道植栽または雑草	手入力(地図情報等)	植栽の幅の区分(下記2種類)ごとにフラグ化 (2m以上, 2m未満) ※歩道がある場合, その外側の植栽は考慮しない	2	
GNSS受信感度	手入力(地図情報等)	対象道路に隣接(左右)する建物の配置(間口)の区分(下記4種類)ごとにフラグ化 (6F以上建物がない, 対象道路の左右の50%未満, 対象道路の左右の50%以上, 高架下・トンネル)	4	
交通量 ※昼間12時間自動車類交通量(上下合計) _合計(台)	DRM(センサス)	交通量の区分(下記6種類)ごとにフラグ化 (500台未満, 1500台未満, 4000台未満, 10000台未満, 20000台未満, 20000台以上:6種類)	6	
規制速度(最高速度)	DRM	規制速度の区分(9種類)ごとにフラグ化 (30km/h以下, 40km/h, 50km/h, 60km/h, 70km/h, 80km/h, 100km/h, 110km/h, 120km/h)	9	
実勢(旅行)速度 ※昼間12時間平均旅行速度(上下平均)	DRM(センサス)	旅行速度の区分(13種類)ごとにフラグ化 (10km/h未満, 20km/h未満, 30km/h未満, 40km/h未満, 50km/h未満, 60km/h未満, 70km/h未満, 80km/h未満, 90km/h未満, 100km/h未満, 110km/h未満, 120km/h未満, 120km/h以上)	13	
大型車交通量 ※24時間自動車類交通量(上下合計)_大型車(台)	DRM(センサス)	大型車交通量の区分(6種類)ごとにフラグ化 (100台未満, 300台未満, 800台未満, 2000台未満, 4000台未満, 4000台以上)	6	
無信号交差点数(片側2車線未満)	手入力(地図情報等)	対象リンクの起終点交差点は各0.5箇所と計上。1つの交差点で片側2車線未満と片側2車線以上が同時に接続する場合は片側2車線以上として計上	2箇所以上/100m	
無信号交差点数(片側2車線以上)	手入力(地図情報等)		2箇所未満/100m	
沿道出入数(店舗等)	手入力(地図情報等)	不特定多数の出入りが想定される乗り入れ(月極駐車場を含む)を「店舗等」とし, それ以外は「住宅等」	1箇所以上/100m	
			1箇所未満/100m	
沿道出入数(住宅等)	手入力(地図情報等)		2箇所以上/100m	
			2箇所未満/100m	
信号交差点数	手入力(地図情報等)	対象リンクの起終点交差点は各0.5箇所と計上	5箇所以上/100m	
			5箇所未満/100m	
バス停(通常型)設置数	手入力(地図情報等)		バス停(通常型)の設置があれば1	1箇所以上/100m
				1箇所未満/100m
バス停(バスベイ型)設置数	手入力(地図情報等)	バス停(バスベイ型)の設置があれば1	1	
待機所設置数	手入力(地図情報等)	待機所の設置があれば1	1	
自転車走行レーン	手入力(地図情報等)	自転車走行レーンの設置があれば1	1	

て評価する。コサイン類似度は、式(1a)の通り、 n 次元の要素からなる2つのベクトルの成す角 θ の内積より求める評価値であり、-1.0から1.0までの値を取る。

$$s(v_k, v_l) = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ki} v_{li}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_{ki}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n v_{li}^2}} \quad (1a)$$

本提案手法では、コサイン類似度の値が 1.0 に近いほど評価対象道路の空間的特徴が、自動運転車両の走行実績がある道路に似ているとし、それを以て導入適性が高いと評価する。

4. 評価実験

(1) 実験の目的と概要

本提案手法により、評価対象道路の自動運転車両の導入適性を評価可能であることを実験により確認する。

本実験では、代表ベクトルを作成するにあたり、日本全国で実施した無人自動運転移動サービスの導入実験箇所 9 地域（群馬県前橋市、兵庫県三木市、福岡県北九州市、呉市、滋賀県東近江市、静岡県松崎町、静岡県伊東市、静岡県沼津市、静岡県掛川市）における自動運転車両の走行経路を DRM データに照らし合わせて、計 180 に分割した道路を学習用サンプルとして活用した。

評価実験では、提案手法により、上記の 9 地域以外で自動運転車両の走行実績がある北海道広尾郡大樹町の一部で、自動運転車両の導入適性を評価した。なお、当該地域で運用された自動運転車両は、自律センサにて自己位置を推定する大型車両であった。

(2) 活用したデータの特徴分析

学習に用いる 9 地域に対し、表-1 の項目を抽出・整理し、その傾向と特徴を目視で確認した。

自己位置推定手法に基づき分類すると、自律センサを活用して走行する自動運転車両の走行実績では、片側 1 車線道路が 42 サンプル、片側 2 車線道路が 88 サンプル、片側 3 車線以上の道路が 21 サンプルであった。中央線がない片側 1 車線未満の道路については 7 サンプルと、サンプルが少ない。一方、自動運行補助施設を併用する自動運転車両の走行実績は、走行経路全てが中央線がない片側 1 車線未満の区間であったため、当該項目では 22 サンプルから代表ベクトルを作成できた一方、片側 1 車線以上の道路のサンプル数は 0 となった。以上より、本稿では、上述の 5 つのカテゴリを対象に、道路の特徴を分析した。その結果、下記の特徴が得られた。

自己位置推定手法として自律センサを用いる車両の場合、片道 2 車線以上の道路を走行する場合が多く見られた。また、中央線がない片側 1 車線未満の道路を含め、一般車両の車両同士の離合が可能な幅員を有する、追い越し可能な道路であることが多かった。これは、一般車両の走行の妨げにならないことが重要と判断されたためと考えられる。

交差点や沿道出入りに関しては、自己位置推定手法や

対象道路の車線数に関わらず、少ない区間が多かった。これは、自動運転車両の走行時には、交差点や沿道出入りの地点で停止し、運用者が走行の再開を車両に指示する手動介入が必要になるため、走行経路として選択されなかったものと考えられる。

一方、車道総幅員においては、自己位置推定手法によって異なる傾向が見られた。自律センサを用いる自動運転車両の場合は、車線数が多い道路を走行する傾向があったが、自動運行補助施設を併用する自動運転車両の場合は、対象道路の全箇所が幅員 5m 未満であった。ただし、当該特徴は、自動運転車両自体の車両サイズの差が影響している可能性に留意が必要である。

以上の分析から、自動運転車両の走行経路を選択する際、自己位置推定手法の違いや自動運転車両のサイズ、及び現在の無人自動運転移動サービスの運用基準等の影響を受けて、走行経路として選択される道路空間に一定の傾向があるという知見が得られた。その一方で、道路交通センサ情報が整備されていない道路では、交通量や実勢速度等の情報が得られないため、評価項目が少なくなることから、何らかの方法で情報を補填する必要があることが分かった。

(3) 評価実験の内容と分析

本章(2)節にて説明したとおり、本提案手法では、自動運転車両の自己位置推定手法と車線数という 2 つの特徴の組み合わせからなる 5 つの代表ベクトルを作成し、それぞれと同じ特徴を持つ道路のベクトルとのコサイン類似度を求めた。過年度に無人自動運転移動サービスを導入した実績がある道路空間の評価結果例を図-2 に示す。図-2 では、線の太さで車線数を表し、色の濃淡で評価値であるコサイン類似度の大小を表している。なお、実際の無人自動運転移動サービスの走行経路は、図-2 中央を左右に横断する道路である。

図-2 の評価結果を、実際に走行した経路とそれ以外の評価結果で分けて分析すると、以下の知見が得られた。

実際に走行した経路の場合、評価値は 0.6 から 0.8 の間に含まれた。このうち、評価値が高い道路空間の特徴を分析したところ、沿道出入りが少ない点が高く評価されたことが分かった。本評価結果は、沿道出入り等の外的要因が少ない環境の方が、自動運転車両の走行に適しているという観点を裏付けるものと考えられる。

一方、実際に走行した経路以外の道路を確認すると、全体的に片側 1 車線の道路の評価値が 0.7 から 0.9 となり、高評価であることが確認された。その原因を分析したところ、車道総幅員が 5m から 10m 程度の追い越し可能な道路であり、かつ沿道出入り数だけでなく交差点数が少ない点が高評価の要因であったことが分かった。また、道路交通センサ情報が整備されていない影響で、



図-2 道路空間の評価結果例 (出典：国土地理院地図)

評価時に利用する特徴数が少なくなり、結果的に共通する特徴が多いと評価されてしまったことも、過剰に高評価となった要因と考えられる。

5. 今後の展開

本提案手法により、道路空間の特徴を基に、過去の走行経路との類似度を基準とした無人自動運転移動サービスの導入適性を評価できる可能性があることが分かった。また、統計的な手法を用いることにより、評価値の根拠を確認できた。

今後の展開として、現在の提案手法では、無人自動運転移動サービスの導入に対しマイナスに影響する評価指標が含まれておらず、評価値の補正ができていない課題に対処する。例えば、第5章では、歩行者や自転車の影響が考慮されていないため、住宅地に隣接する道路を高評価しているが、実際の運用時には、これらの通行者の飛び出しを警戒して、走行を避けるものと考えられる。加えて、手動介入の手間が発生する路上駐車の影響も考慮する必要がある。

また、本研究を通じて、道路空間の特徴の中に影響が大きいものと小さいものが分かることが分かった。そこで、回帰分析等を用いて道路空間の各特徴の重みを調整したり、影響が小さい特徴を除外する等の調整を実施することで、より実態に即した評価が可能になるものと考えられる。

以上の対策を実施し本提案手法を改善した上で、無人自動運転移動サービスの導入を検討している自治体の職

員等が、本提案手法を利用しやすくするため、実施手順を整理する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：自動運転の実現に向けた動向について、令和4年度第1回自動運転車を用いた自動車運送事業における輸送の安全確保等に関する検討会、2022.、<<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001485115.pdf>>、(入手日 2022.8.31)。
- 2) 保田敬一、山崎元也、鈴木省吾、島根高啓：道路景観の構成要素が快適性評価に与える影響、日本感性工学会論文誌、Vol.17, No.4, pp.405-414, 2018.
- 3) 保田敬一、山崎元也：維持管理における道路快適性マップの構築、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、Vol.74, No.2, pp.II_14-II_31, 2018.
- 4) 国土技術政策総合研究所：道路空間の安全性・快適性の向上に関する研究、国総研プロジェクト研究報告、No.7, 2006.、<<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/kpr/prn0007.htm>>、(入手日 2022.8.31)。

(2022.9.30 受付)