自動運転車両の走行を考慮した道路空間の評価手法に関する研究

寺口　敏生[1]・池田　武司[2]・井上　航[3]

[1]非会員　流通科学大学　経済学部情報経済学科（〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地）
E-mail:Toshio_Teraguchi@red.umds.ac.jp

[2]正会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室
（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）
E-mail:ikeda-t92gm@mlit.go.jp

3 非会員 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 道路交通安全研究室
（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）
E-mail:inoue-w924a@mlit.go.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，過去の無人自動運転移動サービスの実証実験における手動介入箇所や道路環境データを収集し，それらの特徴を表す説明変数を抽出することで，自動運転車両の走行を考慮した場合の道路空間の評価手法を考案した．

Key Words: *Automatic driving, Traffic safety measures, Road traffic environment*

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．

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．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[2,3)]を行っている．

本論文では，過去の無人自動運転移動サービスの実証実験における手動介入箇所や道路環境データを収集し，それらの特徴を表す説明変数を抽出することで，自動運転車両の走行を考慮した場合の道路空間の評価手法を考案した．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.　研究の概要

(1)　ヒアリング調査

研究を進めるにあたり，まず一般道の自動運転において手動介入を必要とする場面やこれに対する道路交通環境による影響、対応等をヒアリングにより調査した．ヒアリング調査対象は，特徴の異なる自動運転車両のメーカーや運用主体等をこれまでの自動運転に係わる実証実験の実績等を踏まえ，10 者選定した．

ヒアリングに当たっては，各対象者が提供もしくは使用する自動運転車両において，一般道にて自動運転を継続できず手動介入を必要とする場面や，これに対する道路や交通の状況が与える影響等を整理した．併せて，手動介入や交通上の事象（他の道路利用者への影響等）の発生を減少させるための対応策を整理（**表-1**）した．

ヒアリングの結果，手動介入が多くなりやすい場面として，「路上駐車」「交差点右折」「合流」「歩車分離されていない道路」「自転車の追い越し」等の場面が挙

表-1 道路交通環境が自動運転車両の走行に与える影響及び道路交通環境側の対応策

道路交通環境の分類			道路交通環境が自動運転車両の走行に与える影響		道路交通環境側の対応策
分類		道路状況	状況	発生する事象	
車両相互	単路	車道幅が狭い双方向通行道路	・(走行時	・対向車と離合できない	待避所の整備
					自動運転車が通ることを示すピクトグラム等の設置
					一方通行化
					センターラインを引く
					道路拡幅
		2車線以上の双方向通行道路	・自動運転車の走行が遅いため、一般車が追い越すとき	・自動運転車の前方に急に障害物が現れるため、センサーが対応して急停車する	待避所の整備
					道路拡幅
					歩道走行
					自動運転車優先・専用レーンの整備
					自動運転車両路肩・路側帯を走行
		(全ての道路)	・自転車が前方を走行しているとき	・自転車が不安定な挙動をすることにより接触する	自転車レーン整備
					自動運転車優先・専用レーンの整備
				・安全に追い越すことができない	自転車を歩道走行させる
	交差点	信号交差点	・(走行時	・信号灯色を高い信頼度で認識できない	信号連携(信号灯色情報・残秒数を通信により車両側に伝える)
				・イレギュラーな信号現示(例:全方向の矢印信号が地域によって異なる	都道府県警ごとの信号現示ルールの違いを統一
				・青から黄・赤になるときの対応が難しい(ジレンマゾーン等) ・他方向の信号が青になるまでに交差点を通過しきれない ・残り秒数等を元に前もって減速・停止した場合、追突事故の危険	自動運転車をスムーズに通過させるための信号制御(強化版PTPSのイメージ)
			・右折時	・対向車の検知が難しい(特に対向の直進・左折レーンが複数車線ある場合)	対向車を検知する路側センサの設置
				・対向車の検知が難しい(対抗右折車に隠れて対向直進車が見えない)	右折車線の正対化
				・対向車の検知や、進んで良いかの判断が難しい	信号制御の右直分離(右折専用現示)
					二段階右折
			・右左折時	・右左折した先で車が詰まっている場合は交差点に進入するべきではないが、交差点手前から交差点の先の状況を認識できない	右左折した先を検知する路側センサの設置
		見通しの悪い交差点	・(走行時	・他車/検知が難しい(見通しが悪い)	他車等を検知する路側センサの設置
					交差点改良(見通しの確保)
		無信号交差点	・(走行時	・一般的な人間が身振り手振り等によるゆずりあいで走行しているような箇所では進行の判断が難しい	信号設置
					簡易信号の設置
		沿道出入り	・(走行時	・沿道から出てくる車両を検知し自動運転車が急停止する	沿道出入り車両に対して自動運転車の接近を通知する表示板などの設置
					沿道出入り車両を検知するセンサの設置
					沿道出入りが見えやすくするように植栽を伐採・撤去
		合流	・(走行時	・合流対象となる車線の車両の動きを検知できない	合流部の見通し確保
					合流車を検知するセンサの設置
				・合流チャンスが短く、安全に合流できない	合流区間長の延伸
					自動運転車が合流することを他車に知らせる表示板の設置
人対車両	単路	歩車分離されていない道路	・走行ルート上を歩行者が歩いている、又は走行ルートに急に歩行者が飛び出してくる。	・自動での追従が困難なため、延々と低速で歩行者を追走する(一部車両では、安全な離隔を確保できる場合は、自動で追越を行う) ・急な飛び出しの場合、自動運転車が急停車する場合もある	歩道整備
		白線で歩車分離がされている道路			ガードレール整備
		(すべての道路)			自動運転車の走行位置を示すピクトグラム設置
					自動運転車の進路に人が入った場合に、(鉄道のように)自動運転車の責任を減らす法整備
	無信号横断歩道	(すべての無信号横断歩道	・横断歩道付近に立っている人が居る場合	・その人の横断意思が判断できないため、必ず停止する ・横断意思が無い場合であっても自動運転車は停止し続けてしまう	自動運転車の接近を知らせる注意喚起看板の設置
					歩行者が渡る意思を明確にする方法
		見通しの悪い無信号横断歩道	・(接近時	・横断歩行者の検知が強く急停止してしまう	横断歩行者を検知するセンサの設置
					歩行者を検知する路側センサの設置
	交差点	横断歩道のある交差点	・(走行時	・横断歩行者の検知が難しい	信号制御の歩車分離
				・横断歩行者の検知が強い・または検知できない	自動運転車の接近を知らせる注意喚起看板の設置
車両単独			・走行ルート上に路上駐車車両がいる場合	・自動での回避に対応していない車両の場合、走路上の障害物として検知し自動走行できない ・自動での回避に対応していても、隣の車線・対向車の状況判断、急な車線変更など、対応が難しい	ピクトグラム設置
					取締強化
					路上駐車が多い箇所にセンサー付き警告板を設置し移動を促す
					商店街との合意形成
					代替駐車場の整備・案内
					走行ルート上に路上駐車されないための法整備(路面電車軌道のイメージ)
			・走行ルート上で道路工事を行っている場合	・現状、全ての車両で自動での回避に対応しておらず、自動走行できない	工事情報の事前共有
					計画的な工事の実施
			・植生・雑草が繁茂し、走行ルート上にはみ出している場合	・障害物として検知してしまい、自動走行できない ・タイミングによっては急停車してしまう可能性がある	植生の管理・伐採
		その他	・同じ景色が続くトンネル ・トンネル・高層ビル街・高架下等 ・郊外部など特徴点が少ない箇所 ・積雪や沿道樹木の繁茂・落葉などによる景色の変化があった場合	・スキャンマッチング・GNSSで自己位置を認識できなくなり、自動走行を継続できなくなる	位置標識の設置
					路面画線の設置
					その他、自己設置体等補強材を含む
					除雪・融雪体制の整備
					白線の引き直し・管理

げられた．また，特に「路上駐車」は，路上駐車車両より前方の状況がわからないため，路上駐車なのか渋滞で止まっているのかどうかを自動運転車両が判断することは難しいとの指摘があった．

これらのヒアリング結果を基に，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時の説明変数の候補を抽出した．説明変数の候補は，自動運転車両の挙動が異なるため，単路と交差点で別々に選定した．具体的には，単路の説明変数候補は「車線数」「1 車線あたり幅員」「追越可否」「歩道有無」「路駐可否」「規制速度」「昼 12 時の交通量」「沿道（店舗・住宅）出入数」「事故件数」「急減速の発生回数」「実勢速度」「中間速度と規制速度の差」「植栽有無」「GNSS 受信阻害有無」の計 14 項目を選定した．交差点の説明変数候補は「信号有無」「無信号横断歩道有無」「歩車分離有無」「（右折・右左折）専用現示・レーン有無」「隣接する単路で起きた事故件数」の計 5 項目を選定した．

(2) 回帰分析の適用

自動運転の技術特性（電磁誘導線等活用タイプ，GPS 等活用タイプ，路側センサ活用タイプ）や車両の種類（低速カート型，普通乗用車型，普通バス型）を考慮しつつ，計 11 箇所の自動運転実験事例及び走行ルートをインプットデータとして，手動介入回数や道路環境データを収集し，手動介入有無を被説明変数（導入適性評価値）としたロジスティクス回帰分析を実施した．分析の結果採用した説明変数を**表-2** に示す．これらの説明変数を用いて，一般道路への自動運転の導入適性を評価した．

表-2 採用した説明変数

分類		説明変数		
自動運転の技術特性	電磁誘導線等活用タイプ	単路		交差点
		・沿道出入り	・追越し可否	・無信号横断歩道有無
		・歩道有無	・幅員	・右左折専用現示・レーン
		・交通量		
	GPS等活用タイプ	単路		交差点
		・沿道出入り	・幅員	・無信号横断歩道有無
		・交通量	・車線数	・右折専用現示・レーン
		・追越し可否	・植栽	
	路側センサ活用タイプ	単路		交差点
		・追越し可否	・植栽	・歩車分離有無
		・車線数		・右折専用現示・レーン
車両の種類	低速カート（20km/h程度のスローモビリティ）	単路		交差点
		・沿道出入り	・追越し可否	・無信号横断歩道有無
		・歩道有無	・路駐可否	
	普通乗用車（規制速度での走行が可能な乗用車）	単路		交差点
		・沿道出入り	・幅員	・無信号横断歩道有無
		・GNSS受信可否	・車線数	・右折専用現示・レーン
		・歩道有無	・植栽	
		・交通量		
	普通バス（規制速度での走行が可能なバス）	単路		交差点
		・歩道有無	・路駐可否	・無信号横断歩道有無
		・交通量	・車線数	・右折専用現示・レーン
		・追越し可否	・植栽	

3. 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．

実験では，説明変数の検討に用いた 11 箇所とは別の走行ルートを対象に，自動運転技術・車両タイプ別に，本節にて整理した区間ごとの自動運転車両の導入適性評価手法を適用し，区間ごとの導入適性評価値を算出するとともに，結果を地図上で可視化した．実験結果の一例として，群馬県前橋市のルートの試行を通じて得られた導入適正の評価結果を**表-3** に示す．**表-3** の評価結果は 0 から 1 の数値で自動運転車両の導入適正が評価され，1 に近いほど評価が高い状態を表す．

評価結果を確認すると，当該ルートでは，GPS 等活用タイプや路側センサ活用タイプは，単路，交差点及びルート全体で評価値が高い結果となった．一方，電磁誘導線等活用タイプと普通バスタイプは，低評価となった．その原因を分析するため，評価結果を GIS を用いて可視化した．電磁誘導線等活用タイプ場合の可視化結果より，特徴的な箇所の可視化結果を**図-1** に示す．可視化結果より，導入適性評価値が低い箇所の要因を確認すると，路駐・追越し等に課題のある箇所，沿道出入りに課題のある箇所，無信号横断歩道・信号非設置に課題のある箇所等が確認された．本項目と類似の課題の影響を受けて，普通バスタイプの導入適正の評価結果も評価値が低いことが確認できた．これらの評価結果は，第 2 章で実施したヒアリング結果と整合的であることから，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確認した．

4. 今後の展開

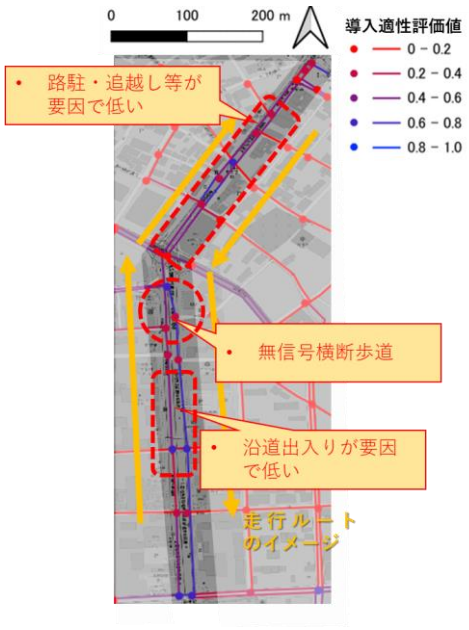
本提案手法により，道路空間の特徴を基に，道路交通環境の特徴を基に，無人自動運転移動サービスの導入適性を評価できる可能性があることが分かった．また，統計的な手法を用いることにより，評価値の根拠を確認できた．

今後の展開として，回帰分析に用いる分析データの増加が挙げられる．今回は限定地域における実験結果を基に回帰分析を行ったが，都市部等，より条件が複雑な箇所での実験結果を回帰分析することで，道路交通環境の各要素の影響をより正しく評価できるようになると期待される．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．

表-3 群馬県前橋市の試行ルートの導入適正評価結果

分類	導入適性の評価結果		
	単路部の評価	交差点部の評価	ルート全体の評価
電磁誘導線等活用タイプ	0.6	0.5	0.6
GPS等活用タイプ	1	0.8	0.9
路側センサ活用タイプ	0.8	0.9	0.9
普通バスタイプ	0.5	0.6	0.6

図-1 隊商ルートにおける
電磁誘導線等活用タイプの導入適正評価の可視化結果



REFERENCES

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) 新井奨，小林寛，寺口敏生：自動運転車両が一般車両へ与える交通影響に関する研究，第 66 回土木計画学 研究発表会・講演集，土木学会，Vol.66，2022.11.

3) 寺口敏生，新井奨，小林寛：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，土木計画学研究発表会・講演集，土木学会，Vol.66，2022.11.C. R