

高速道路における自動運転に対応した 道路空間整備の費用便益分析

小倉 永都¹・塩見 康博²

¹ 学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:rv0067hv@ed.ritsumei.ac.jp

² 正会員 立命館大学教授 理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail:shiomi@fc.ritsumei.ac.jp

自動運転車両の実用化を進めるにはインフラ整備は必要不可欠だが、道路利用者との合意形成を行うためには、事業の妥当性の評価が必要といえる。本研究では、高速道路に焦点を当て、自動運転車両に対応した道路空間整備における費用便益分析を行った。具体的には、新東名及び東名高速道路に自動運転車両専用レーンを設置することを想定した。自動運転車両の利用者は乗車中のセカンドタスクが可能になることから、移動時の時間損失が小さくなるといった便益を踏まえて分析を行った。

分析の結果、新東名高速道路では自動運転車両の普及シナリオに関わらず、全区間で B/C が 1 より大きくなった。東名高速道路では、普及シナリオ次第では渋滞による損失が発生するが、自動運転車両の混入率が 32%以上であれば、全区間で便益が発生することが明らかになった。

Key Words: Cost Benefit Analysis, Autonomous Vehicles, Expressway, Secondary Activities

1. はじめに

(1) 背景

近年、自動運転車両の開発と、それに関連する法律の整備が進められている。技術面では、ACC と呼ばれる、速度や前方走行車両との車間距離を一定に保つシステムが、高度化・普及している。法律面では、道路交通法と道路運送車両法が 2020 年に改正されたことによって、一定条件下において公道での自動運転車両の走行が認められた。SAE の定義¹⁾では、自動運転車両のレベルを 0 から 5 の 6 段階に分類しているが、この改正によって、レベル 3 以上の自動運転車両が走行可能になった。レベル 3 の自動運転は、限定された領域において自動運行装置が作動するが、装置が正常に作動できない場合は、手動運転への切り替えが必要になるといった状態を指す。自動運転車両の乗車時には、ドライバーは運転以外の行為（セカンドタスク）をすることが可能になる。レベル 4 以上の自動運転車両乗車時には、緊急時であってもドライバーによる操作は必要ないため、セカンドタスクの選択肢はより広がるであろう。

自動運転技術や法律の整備が進む一方で、自動運転車両の運行を支援するインフラ整備の必要性が、実証実験等での検証を通じて明らかになっている²⁾。自動運転車

両の実用化を進めるにはインフラ整備は必要不可欠だが、道路利用者との合意形成を行うためには、その事業の妥当性の評価が必要だといえる。事業の評価の際に用いられている手法の一つに、費用便益分析がある。これは、ある年次を基準年とし、道路整備が行われる場合とそうでない場合のそれぞれで便益と費用の金額を算定し、整備に伴う便益の増分と費用の増分を比較することで評価を行う手法である。これによって、必要な費用に対して得られた便益を、定量的に評価することが可能になる。

(2) 本研究の目的

本研究では、自動運転に対応した道路空間整備の費用便益分析の手法を提案し、その知見をもってインフラ整備の進め方について示唆を得ることを目的とする。具体的には、新東名及び東名高速道路に自動運転車両専用レーンを設置することを想定し、費用便益分析を行う。専用レーンの設置により、自動運転の安全性が向上するほか、自動運転車両の利用者は乗車中のセカンドタスクが可能になることから、移動時の時間損失が小さくなるといった便益が期待される。その一方で、専用レーンの設置にかかる費用や、一般車線では交通容量の減少に伴う渋滞による損失が生じると考えられる。本研究では、両者を考慮し費用便益分析を行う。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

(1) 既往研究の整理

自動運転車両を実装すると社会には様々な影響が生じるため、その受容性についての研究が進められている。また、インフラ整備の必要性や、その評価手法についても調査が行われている。本節では、これらについての既往研究をまとめる。

自動運転車両や ACC を搭載した車両（以下、ACC 車両）が交通流に及ぼす影響については、様々な研究がなされてきた。岩崎ら³⁾は、限定的な条件下ではあるものの、ACC 車両の混入はサグ部での渋滞を緩和させる効果があることを、マイクロ交通シミュレーションによって明らかにした。飯田ら⁴⁾は、ACC 車両の混在比率が上昇することで、サグや急カーブを有する区間を中心に交通流率が改善するほか、追突事故リスクが低減することを示唆した。香山ら⁵⁾は、観測調査データに基づいて、自動運転車両と一般車両の挙動を比較した。それにより、単路部における単独走行では、自動運転車両は一般車両よりも高い速度維持性能を有することを明らかにした。西村ら⁶⁾は、自動運転車両と一般車両が混在する環境をシミュレータで再現し、自動運転車両の存在が一般車両の時間平均速度や車間距離などに与える影響を把握した。シミュレーションの結果、アグレッシブなドライバ（走行速度が大きく、車間距離が小さく、積極的に追い越しのための車線変更をするドライバ）と一般的なドライバは、自動運転車両の存在によって時間平均速度が減少する一方で、安全志向ドライバ（走行速度が小さく、車間距離が大きく、進路譲りのための車線変更を適度に行うドライバ）にはその影響が及ばないことを明らかにした。

自動運転車両の社会的影響を明らかにした研究の例としては、松中ら⁷⁾や香月ら⁸⁾が挙げられる。松中ら⁷⁾は、都市内交通シミュレーションを用いて、共有型完全自動運転車両（SAV）の導入によって仮想都市全体で生じる便益を算出した。その結果、人口 30 万人規模の都市では、現在の全てのトリップが SAV に転換する場合、都市全体で 1 日に 2500 万円の便益が生じることが明らかになった。香月ら⁸⁾は、自動運転車両の共同利用によるサービスの導入により、導入前の半数以下の車両数で自動車トリップ需要に対応できることを明らかにした。

自動運転車両の実装のためには、一般交通や社会への受容性の評価も必要不可欠である。実際には、自動運転車両は、まずは地域や時間など、一定の条件のもとで実装されるべきだと考えられている⁹⁾。また、必ずしも全ての車両を自動運転化するのではなく、自動走行ビジネス検討会による、ラストワンマイル自動走行¹⁰⁾のような政策も実装化に向けて検討されている。自動運転車両の社会的受容性について考察した論文としては、高橋ら¹¹⁾

や井坪ら¹²⁾が挙げられる。高橋ら¹¹⁾は、自動運転車両が社会に受容された際の社会的価値の変化をシナリオごとに計算し、既存の自動車産業に継続的な成長が見込めるのは、失われる運転の楽しみに代わって新しいユーザー価値が生まれる場合のみであることを示した。井坪ら¹²⁾は、道の駅等で自動運転の実証実験を行い、乗車モニターへのアンケート調査によって自動運転の社会的受容を調査した。アンケートの結果から、自動運転車両への乗車の経験によって、自動運転への信頼度が増加する傾向にあることがわかった。

各地で行われている自動運転車両の実証実験より、インフラ整備の必要性が示唆されている。馬渡ら¹³⁾は、2017 年度に国土交通省が全国 13 地域で実施した「中山間地域の道の駅等を拠点とした自動運転サービスの実証実験」のデータから、道路インフラの構造や沿道環境との関係を分析した。その結果、対向車と分離している区間や歩道が設置されている区間では手動介入の発生頻度が低下していたことから、道路インフラ側の対策として、できるだけ混在を避けた走行空間の構築が有効であることが明らかになった。

道路事業の費用便益分析の手法は費用便益分析マニュアル¹⁴⁾に示されており、これをベースとした分析が進められてきている。しかしながら、三便益のみを対象としているなどといった問題が指摘されている¹⁵⁾。

道路交通における時間価値は長年研究されてきた分野の 1 つである。日本においては、加藤¹⁶⁾が時間価値についての研究プロジェクトの成果をまとめ、時間価値は交通にかかわる様々な要素に影響されることを示している。例えば、自動運転中のセカンドタスクは移動の時間価値に影響を与えることが明らかになっている¹⁷⁾¹⁸⁾。自動運転に限らず、移動中の活動は移動時幸福感に影響を及ぼすことが鈴木ら¹⁹⁾によって示されている。

(2) 本研究の位置付け

既往研究より、自動運転車両が交通流に及ぼす影響や、導入により生じる便益については複数の知見が得られていることがわかる。しかしながら、自動運転車両の走行に必要な設備についての費用便益分析はあまり行われていない。また、それらの文献も、自動運転車両の時間価値を考慮した分析は実施していない。

以上を踏まえ、本稿では、自動運転車両の実装に必要な道路空間整備の費用便益分析を、自動運転車両の時間価値を考慮して行う。

3. 費用便益分析の方法

本章では、費用便益分析を実施する項目及びそれらの算出方法について述べる。

(1) 費用便益分析を実施する項目

国土交通省が公表している費用便益分析マニュアルでは、表-1 の項目を推計するよう定められている。ここで、走行経費減少便益は、走行条件の改善による費用の低下のうち、燃料費などの、走行時間に含まれない項目を対象としている。専用レーンの設置は走行経費に影響するものではないため、本研究は走行経費減少便益とは直接関係はないと言える。道路維持管理に要する費用については、本研究の評価対象期間内では発生しないものとする。道路構造物の更新に関する費用については、評価対象期間末までに耐用年数等に達する構造物がある場合に計上するとされている。そのため、当費用についても本研究とは関係がないと言える。また、本研究においては、自動運転化によってもたらされる便益を考慮して分析を行う。これらのことから、表-2 に記載されている項目について分析を行うこととする。

表-1 費用便益分析マニュアルに記載の便益と費用

便益	費用
・ 走行時間短縮便益	・ 道路整備に要する事業費
・ 走行経費減少便益	・ 道路維持管理に要する費用
・ 交通事故減少便益	・ 道路構造物の更新に要する費用

表-2 推計する便益と費用

便益	費用
・ 自動運転化による便益	・ 道路整備に要する事業費
・ 走行時間短縮便益	
・ 交通事故減少便益	

(2) 便益の算出方法

a) 自動運転化による便益

自動運転化によって得られる便益として、本研究では、自動運転中にセカンドタスクが可能になるといった点に着目し、その便益を自動運転車両の時間価値原単位に換算することで、定量化を行った。

令和 4 年の費用便益分析マニュアルでは、表-3 の値で示される時間価値原単位が採用されている。この値は、所得接近法と呼ばれる、労働賃金率をもとにする手法により算出されている。自動運転車両においては、車内で活動ができることから、表-3 とは異なる値の時間価値原単位を使用する必要がある。そこで、自動運転中の移動時間に行う車内活動のうち、労働に充てる時間 w は移動時間による損失に含めないと仮定した。しかし、労働に充てる時間全てが効用を生む訳ではなく、活動場所が車内であることから、活動の生産性の低下分を考慮する必要がある。そこで、セカンドタスクの生産性の低下分を s とし、式(1)で自動運転車両の時間価値原単位を定義した。しかし、この考え方は、トラックドライバーな

ど、移動そのものが労働である場合には採用できない。そこで、本研究では、専用レーンがある場合、バスと普通貨物車は自動運転化によってドライバーが必要なくなると仮定する。したがって、式(1)は乗用車のみ適用し、自動運転化後の普通貨物車の時間価値原単位は $\alpha_{AV}=0$ と設定する。バスについては、ドライバーの時間価値原単位を差し引いた分を新たな値として設定した。なお、バスのドライバーと貨物車のドライバーの時間価値原単位は同じであると仮定して計算した。

$$\alpha_{jAV} = \alpha_j \times \{1 - w \times (1 - s)\} \quad (1)$$

α_{jAV} : 車種 j の自動運転車両の時間価値原単位

α_j : 車種 j の時間価値原単位 (円/分・台)

w : 車内活動のうち労働に充てる時間の割合

s : セカンドタスクの生産性の低下分

表-3 一般車両の時間価値原単位

車種	時間価値原単位 (円/分・台)
乗用車	41.02
バス	386.16
普通貨物車	76.94

自動運転車両乗車中に行うセカンドタスクの生産性は小倉ら²⁰⁾によって示されている。ドライビングシミュレータや実車を用いた実験の結果、車内で行う作業は、静かな室内で行う作業と比較して、5.37%生産性が低下することが明らかになった。

自動運転中に労働に充てる時間の抽出のため、自動運転中に自由にセカンドタスクができると仮定した場合、どのようなことをどの程度の時間行いたいかを問うアンケートを実施した。アンケートは小倉ら²⁰⁾の実験の被験者である 20~40 代の男女 66 名に対して行われ、実験の後に配布をした。2020 年 11 月 24 日から 12 月 9 日の期間にアンケートを行った。条件は以下の通りである。

【条件】

- 自分自身が所有する自動運転車両に乗り、1人で通勤（通学）中の状況を想定する
- 通勤（通学）時間は30分とする
- レベル 5 相当の自動運転レベルを想定し、ドライバーによる運転操作は一切必要としない
- 行う活動は、表-4 の 12 項目から選択する（項目は、小松崎ら²⁰⁾を参考に決定した）
- 図-1 の形式で回答し、可能なものであれば同時に2種類以上の活動をすることもできる

表4 選択できる車内活動

① 書類の作成・確認	⑦ 学習
② 業務でのインターネットの閲覧・連絡	⑧ 食事・間食
③ 私用でのインターネットの閲覧	⑨ 睡眠
④ ゲーム・動画・テレビ	⑩ 身だしなみを整える
⑤ 紙媒体の本・漫画	⑪ その他の活動
⑥ 音楽・ラジオ	⑫ 何もしない

表5 自動運転車両の時間価値原単位

車種	時間価値原単位(円/分・台)
乗用車	32.90
バス	309.22
普通貨物車	0.00

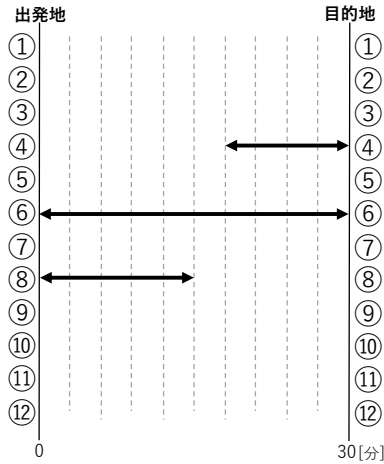


図-1 回答形式と記入例

活動割合調査の結果を図-2 に示す。図の①から⑫までの番号は、表-4 と対応しており、それぞれ車内活動の種類を表している。また、グラフの色分けはそれぞれの活動割合を示すものである。例えば、⑥であれば、およそ7割の回答者が移動中の50%以上の時間を音楽・ラジオに費やしたいと考えているといった見方になる。

車内活動の12項目のうち、労働にあたるものは①と②である。この2つは重複して行えないため、それぞれの活動割合の平均値を求め、それを合計すると、移動中に労働に充てる時間はおよそ20.91%であることがわかった。以上より、自動運転車両の時間価値原単位は、表-5 のとおりとなる。

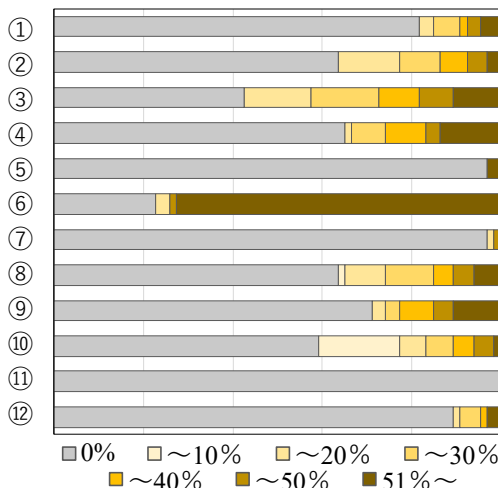


図-2 活動割合調査結果

b) 走行時間短縮便益

便益の算出にあたっては、交通需要を設定する必要がある。本研究では、車両感知器による断面交通量データを用いて交通需要の設定を行う。新東名高速道路では2021年の1月1日からの1年分のデータを使用し、東名高速道路では2018年の1月1日からの1年分のデータを使用する。

走行時間短縮便益は、道路整備の前後での総走行時間費用の差として算定できる。費用便益分析マニュアルでは、総走行時間費用は、式(2)で定義されている。本研究では、自動運転車両が存在するため、その混入率を考慮し、総走行時間費用を式(3)のように定義した。これを整備の有無それぞれで求め、式(4)により走行時間短縮便益を算出する。

$$BT_i = \sum_j \sum_l (Q_{ijl} \times T_{ijl} \times \alpha_j) \times 365 \quad (2)$$

$$BT_i = (1-p) \times \sum_j \sum_l (Q_{ijl} \times T_{ijl} \times \alpha_j) \times 365 + p \times \sum_{jAV} \sum_l (Q_{ijAVl} \times T_{ijAVl} \times \alpha_{jAV}) \times 365 \quad (3)$$

$$BT = BT_o - BT_w \quad (4)$$

BT: 走行時間短縮便益 (円/年)

BT_i: 整備 i の場合の総走行時間費用 (円/年)

Q_{ijl}: 整備 i の場合のリンク l における車種 j の交通量 (台/日)

T_{ijl}: 整備 i の場合のリンク l における車種 j の走行時間 (分)

i: 整備ありの場合 W, なしの場合 O

j: 車種

l: リンク

p: 自動運転車両の混入率 (%)

jAV: 自動運転車両の車種

ここで、走行時間 T は、式(5)で表されるものとする。一般車両については、各リンク内のトラカンデータより、速度の小さい方から累積90%にあたるサンプルの速度を基準速度と設定し²⁾、式(6)で基準旅行時間を定義した。自動運転車両については、区間内の最高速度を基準速度と設定し、式(6)で基準旅行時間を定義した。

$$T = T_s + T_d \quad (5)$$

$$C_w = \frac{3-n}{3} \times C' \quad (10)$$

$$T_s = \frac{L_l}{v_s} \quad (6)$$

n : 専用レーン数

C' : N 車線の交通容量 (台/5分)

T_s : 基準旅行時間 (分)

T_d : 遅れ時間 (分)

L_l : リンク l の延長 (m)

v_s : 基準速度 (m/分)

遅れ時間 T_d は、実際にかかった時間と基準旅行時間の差を表すものである。自動運転車両では遅れ時間が発生しないため、自動運転車両の場合は $T_d = 0$ となる。本研究では、一般車両の総遅れ時間 T_d を式(7)で定義した。区間内に IC や JCT が存在する場合、その地点での出入りを考慮するため、IC や JCT で区切って分析を行った。ただし、サービスエリアなどによる区間途中の出入りは無視して分析した。1日の交通量を揃えるため、累積交通量は毎日24時に0台にリセットした。

$$T_d = \sum \int \{A(t) - D(t)\} dt \quad (7)$$

$A(t)$: 時刻 t までに流入した累積台数 (台)

$D(t)$: 時刻 t までに流出した累積台数 (台)

ここで、時刻 t までに流出した累積台数 $D(t)$ は、専用レーンを設置する場合は式(8)の条件、専用レーンを設置しない場合は式(9)の条件でそれぞれ定められる。

$$\begin{cases} d(t) = a(t) & \text{if } \frac{100-p}{100} \times a(t) \leq C_w \\ d(t) = C_b & \text{if } \frac{100-p}{100} \times a(t) > C_w \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} d(t) = a(t) & \text{if } a(t) \leq C_o \\ d(t) = C_b' & \text{if } a(t) > C_o \end{cases} \quad (9)$$

$a(t)$: 時刻 t に流入した台数 (台/5分)

$d(t)$: 時刻 t に流出した台数 (台/5分)

C_w : 一般車線の下流の交通容量 (台/5分/一般車線)

C_o : 混在時の下流の交通容量 (台/5分/3車線)

一般車線の下流の交通容量 C_w は、下流部分がボトルネックか否かで算出方法が異なる。下流部分がボトルネックの場合は、その部分で作成した QV 図の最大交通量を3車線の交通容量と設定する。下流部分がボトルネックでない場合は、その部分で作成した QV 図の交通量の99パーセントイルにより3車線の交通容量を決定する。これらの方法で決定した3車線の交通容量を C' とすると、一般車線の下流の交通容量 C_w は式(10)で算出される。

自動運転車両の車頭時間は一般車両の車頭時間よりも小さくなることから、自動運転車両の混入率 p が大きくなるほど、混在時の下流の交通容量 C_o は大きくなると考えられる。本研究では、それらの値を用いて、5分間・3車線あたりの混在時の下流の交通容量 C_o を式(11)で設定した。なお、一般車両の車頭時間は式(12)で設定し、混在時の自動運転車両の車頭時間 t_{AV} は1.5秒と設定した。

$$C_o = \frac{60 \times 5 \times 3}{\frac{100-p}{100} \times t_{PV} + \frac{p}{100} \times t_{AV}} \quad (11)$$

$$t_{PV} = \frac{60 \times 5 \times 3}{C'} \quad (12)$$

t_{PV} : 一般車両の車頭時間 (秒)

t_{AV} : 自動運転車両の車頭時間 (秒)

c) 交通事故減少便益

交通事故減少便益は、道路整備の前後における交通事故での社会的損失の差として算定できる。高速道路における交通事故損失額算定式は、式(13)で定義されている。これを式(14)に示すようにリンクごとに合計し、式(15)により年間総事故減少便益を算出する。本研究では、自動運転車両が混在する場合の事故リスクは、一般車両のみの場合と変わらないものと仮定して分析する。

$$AA_{il} = 270 \times X_{il} \quad (13)$$

$$BA_i = \sum_l (AA_{il}) \quad (14)$$

$$BA = BA_o - BA_w \quad (15)$$

AA_{il} : 整備 i の場合のリンク l における交通事故の社会的損失 (千円/年)

X_{il} : 整備 i の場合のリンク l における走行台キロ (千台 km/日)

BA_i : 整備 i の場合の交通事故の社会的損失 (千円/年)

BA : 年間総事故減少便益 (千円/年)

d) 総便益と便益の現在価値

本研究における便益とは、走行時間短縮便益と交通事故減少便益の和を指すものとする。各年度における便益を求めた後、式(16)を適用し、便益の現在価値を算出する。それを評価対象期間内で合計したものを、総便益と

する。現在価値の算出における条件は以下の通りである。なお、社会的割引率は、費用便益分析マニュアル¹⁴⁾をもとに決定した。

$$BofPV_j = \sum_t \left\{ \frac{B_{jt}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (16)$$

$BofPV_j$: 便益 j の現在価値 (円)

s : 基準年次 (2025 年) から供用開始年次 (2025+s 年) までの年数 (年)

t : 供用開始年次を 0 年目とする年次 (年)

B_{jt} : 供用開始後 t 年目の便益 j の計測値 (円)

j : 便益種別

(3) 費用の算出方法

a) 道路整備に要する事業費

本研究において、道路整備に要する事業費とは、専用レーンの設置にかかる費用を指す。専用レーンの設置には、カラー舗装及びワイヤーロープの設置が必要になると仮定した。本研究では、これらを道路整備に要する費用として計算する。カラー舗装を実施する区間はリンク長と同じだが、ワイヤーロープは IC の前後 1km には設置しないものとした。これは、一般車線と専用レーンの間を車線変更する場所を確保するためである。以上より、道路整備に要する事業費は式(17)で表される。

$$C = \sum_l \{c_c \times L_l + c_w \times (L_l - 2)\} \quad (17)$$

C : 道路整備に要する事業費 (万円)

c_c : カラー舗装にかかる費用 (万円)

c_w : ワイヤーロープ設置にかかる費用 (万円)

L_l : リンク l の延長 (km)

b) 総費用と費用の現在価値

本研究における費用とは、道路整備に要する事業費を指すものとする。基準年度だけに費用が発生するため、式(17)で得られた C の値を区間 l における総費用とし、費用の現在価値の算定は行わない。

(4) 費用便益比

便益の現在価値と費用の現在価値の算出結果をもとに、シナリオごと、評価対象期間ごとに式(18)を用いて対象区間全体での社会費用便益比 (以降、 B/C) を算出する。また、対象区間全体での評価に加え、同様の手法でリンクごとの B/C を分析する。

$$B/C = \frac{BofPV}{C} \quad (18)$$

(5) 専用レーン設置における最適化問題

実際に専用レーンを設置する際には、 B/C が 1 以上になる区間全てで一度に行われるわけではなく、設置効果の大きい区間から順次進めていくことが想定される。したがって、最適な専用レーンの設置優先順位を明らかにする必要がある。

そこで、本研究では、専用レーン設置の最適化問題について、Greedy Algorithm を用いて分析を行う。Greedy Algorithm とは、問題の要素を分割して独立に評価を行い、最も利益の大きいものを選んでいく手法のことを指し、組み合わせ最適化問題にしばしば用いられている考え方の 1 つである。分析の対象となるリンク l の集合を V とし、式(19)を満たすリンク l の集合を V' とする。 V' の要素の個数を k とすると、以下に示すアルゴリズムにより専用レーンの設置優先順位とその組み合わせを明らかにする。なお、その際の B/C は式(20)で表される。

【Greedy Algorithm】

0. S を空集合 $\{\}$ とする。
1. $|S|=k$ ならば、停止する。
2. $f(S \cup \{l\})$ を最大化する $l \in V \setminus S$ を 1 つ選び、選択した l を出力する。
3. $S \cup \{l\}$ を S とおきなおす。ステップ 1 へ進む。

$$\sum_l B/C_l \geq 1 \quad (19)$$

$$B/C = \frac{\sum_l BofPV}{\sum_l C} \quad (20)$$

B/C_l : リンク l における B/C

4. シナリオ設定

(1) 想定ケース

現在、日本では、さまざまな形で高速道路の道路空間整備の必要性が検討されている。中でも、国土交通省は、官民 ITS 構想・ロードマップ 2019²³⁾の実現に向けたインフラ面の対応として、自動運転車両の独立した専用レーン化を検討している²⁴⁾。専用レーンの対象となる車両については、後続車無人隊列トラック以外にも、自家用自動運転車両も含めて検討が行われている。

そこで、本研究では、自動運転車両専用レーンを高速道路に設置した場合 (以降、with ケース) と、専用レーンを設置せず、自動運転車両と一般車両が混在する場合 (以降、without ケース) を比較し、費用便益分析を行う。以下の仮定のもとで分析を実施する。

【共通する事項】

- 自動運転レベルは、SAE の定義¹⁾におけるレベル 3 を想定する。

【with ケース】

- 片側 3 車線の区間に設置し、追越車線として運行されている車線を専用レーンに変更する。
- 一般車線と専用レーンの間を車線変更する際は、ドライバーによる運転を必要とする。
- 自動運転車両の車頭時間は 1 秒とし、専用レーンの交通容量は 3600 台/時間/車線とする。
- 専用レーン走行中は、自由なセカンドタスクが認められているものとする。
- 専用レーン走行中は、交通事故や渋滞は発生しないものとする。
- 専用レーン内では 120km/h もしくは 100km/h（区間の最高速度に準拠する）で走行できる。
- 専用レーンにはカラー舗装を施し、一般車線との境界部分にはワイヤーロープを設置する。ただし、ワイヤーロープについては、一般車線と専用レーン間の車線変更を考慮し、IC の前後 1km には設置しないものとする。設置費用については、カラー舗装は 1km あたり 1500 万円²⁹⁾、ワイヤーロープは 1km あたり 2150 万円²⁹⁾と設定した。

【without ケース】

- 自動運転車両の車頭時間は、1.5 秒とする。
- 自動運転中は、すぐに手動の運転に切り替えられる限定的な作業しか行うことができない（そのため、時間価値は変化しない）。
- 事故の発生率は、現状から変化しないものとする。

(2) 自動運転車両専用レーン設置による効果

専用レーンの設置によって、交通流には様々な影響が及ぶ。専用レーン設置によって考えられる便益と損失を以下に記載する。

【考えられる便益】

- 自動運転車両は 120km/h もしくは 100km/h で安定して走行できるため、走行時間が短縮できる。
- 専用レーンの交通容量が大きいことから、渋滞のリスクが低減する。
- 自動運転車両が交通事故に巻き込まれなくなる。
- 専用レーン走行中は自由にセカンドタスクができることから、移動時の時間損失が減少する。

【考えられる損失】

- 一般車両が走行できる車線数が減少することで、一般車線の交通容量が減少し、一般車両の渋滞発生リスクが高まる。

以上のことから、専用レーンの設置によって走行時間の短縮や交通事故の減少といった便益が考えられる一方で、自動運転車両の混入率次第では、現在よりも渋滞が

悪化してしまう可能性がある。そこで、本研究では、専用レーン設置の費用便益分析を行うとともに、効果を得ることのできる自動運転車両の混入率を決定する。

(3) 自動運転普及シナリオ

ボストンコンサルティンググループ (BCG) の調査²⁷⁾では、2035 年までに、自律機能を備えた車両の普及率は 25%に達するとされている。このうち、完全自動運転車両はおよそ 10%程度、部分的な自動運転車両はおよそ 15%となる見込みだという。これは複数の要因に影響され、例えば迅速に法整備が進んだ場合は完全自動運転車両の割合は 19%になると考えられている。

上記を踏まえ、本研究では、2035 年での自動運転車両の普及率が 30%前後になるシナリオを 3 パターン設定した (図-3)。内訳としては、普及率が線形に増加するシナリオが 2 パターン、指数関数的に増加するシナリオが 1 パターンとなっている。具体的には、自動運転車両の普及率が毎年 2%ずつ増加するシナリオ (2%増シナリオ)、自動運転車両の普及率が毎年 3%ずつ増加するシナリオ (3%増シナリオ)、自動運転車両の普及率が毎年 1.2 倍となるシナリオ (1.2 倍シナリオ) となっている。いずれのシナリオも、基準年次を 2025 年とし、その時点での普及率は 5%と設定した。各シナリオにおいて、5、10、15 年の評価対象期間で費用便益分析を行う。従って、3 シナリオ×3 期間の合計 9 パターンで分析を実施する。

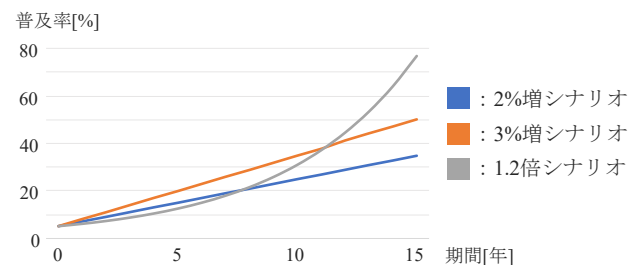


図-3 自動運転普及シナリオ

(4) 対象区間

本研究で対象とする区間を以下に記載する。

区間①：新東名高速道路 上り線 御殿場 JCT～浜松いなさ JCT (区間長 144.7km)

区間②：東名高速道路 上り線 東京 IC～秦野中井 IC (区間長 50.1km)

区間①については、片側 3 車線化が完了しており、最高速度が 120km/h といった特徴がある。区間内には、16ヶ所の IC や JCT を有している。当区間は、実際に自動運転車両専用レーンの設置が国土交通省などで議論され

ている区間となっている²⁾。区間②については、片側 3 車線以上あり、かつボトルネックが存在している区間となっている。区間内には 9ヶ所の IC や JCT が存在する。区間②における主要なボトルネック地点（東京 IC）での QV 図をトラカンデータより作成した（図-4）。図-4 から、臨界速度に満たない速度で走行している車両が非常に多く、渋滞が頻繁に発生していることがわかる。この区間は片側 3 車線であるにもかかわらず、交通容量が小さいことが読み取れる。

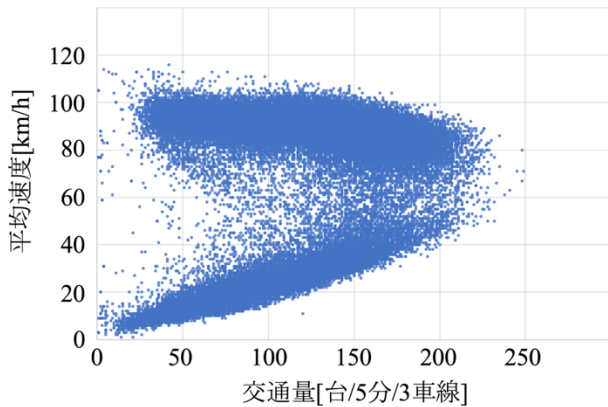


図-4 東京 IC の QV 図

5. 費用便益分析の実施

(1) 新東名高速道路での費用便益分析結果

a) 交通需要の設定と区間概要

新東名高速道路では、2021 年の 1 年間のトラカンデー

タを使用して交通需要を設定した。提供していただいたデータから、分析対象区間では、交通集中による渋滞は 1 年間に 4 件しか発生しておらず、その全てが 2 時間以内かつ 5km 未満であったことが明らかになった。そのため、越ら²⁸⁾を参考に、交通容量を 375 台/5分/3車線と仮定した。

分析区間の交通需要を表-6 に示す。新東名高速道路で対象となる区間は全部で 15 リンク存在しており、それぞれリンク A～リンク O と呼ぶこととする。1 時間あたりの平均交通量は 856.3 台～1094.3 台となっており、交通容量に対して需要は少ないといえる。大型車の割合は大きく、どの区間も全体の半分程度を大型車が占めていた。なお、本研究においては、バスの混入率を全体の 1%と仮定し計算を行う。

専用レーンを 1 車線設置すると、式(10)より交通容量は 250 台/5分/2車線となるが、現在の交通需要では、専用レーン設置後の交通容量であっても、渋滞はほとんど発生しないと考えられる。

b) 便益の算出結果

全区間でのシナリオごとの総便益の算出結果を表-7(a)～表-7(c) に示す。総便益は各シナリオで 5 年、10 年、15 年の 3 パターンに分けて記載している。また、便益ごとの値を掲載しており、表中の BT は走行時間短縮便益、BA は交通事故減少便益、BofPV は便益の現在価値を表す。

表-6 新東名高速道路の各区間の交通需要

区間	区間名	平均交通量(台/時間)	大型車割合(%)	平均速度(km/h)	区間長(km)
御殿場 JCT ～ 長泉沼津	リンク A	1042.4	45.5	89.7	13.2
長泉沼津 ～ 駿河湾沼津スマート	リンク B	1063.6	45.2	90.7	5.4
駿河湾沼津スマート ～ 新富士	リンク C	1059.3	44.8	89.4	14.9
新富士 ～ 新清水	リンク D	1062.1	45.2	93.5	14.4
新清水 ～ 新清水 JCT	リンク E	1094.3	44.6	88.5	9.4
新清水 JCT ～ 新静岡	リンク F	949.2	56.6	99.9	9.2
新静岡 ～ 静岡スマート	リンク G	951.0	51.6	100.6	11.6
静岡スマート ～ 藤枝岡部	リンク H	951.1	51.7	93.6	7.0
藤枝岡部 ～ 島田金谷	リンク I	943.3	52.2	102.7	15.0
島田金谷 ～ 森掛川	リンク J	925.1	60.2	99.1	16.9
森掛川 ～ 遠州森町スマート	リンク K	856.3	49.8	88.8	3.4
遠州森町スマート ～ 新磐田スマート	リンク L	934.0	53.5	94.3	4.4
新磐田スマート ～ 浜松浜北	リンク M	982.8	47.5	90.1	4.3
浜松浜北 ～ 浜松スマート	リンク N	945.7	49.2	88.4	6.2
浜松スマート ～ 浜松いなさ JCT	リンク O	918.5	51.0	91.8	9.4

表-7(a) 新東名全区間の総便益 2%増シナリオ

(単位：億円)

年度	2%増シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	19.60	0.46	20.06
...
2030年	48.33	1.14	49.47
...
2035年	66.20	1.56	67.77
...
2040年	76.18	1.80	77.98
合計(5年間)	208.82	4.93	213.75
合計(10年間)	507.77	11.99	519.76
合計(15年間)	871.38	20.57	891.95

表-7(b) 新東名全区間の総便益 3%増シナリオ

(単位：億円)

年度	3%増シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	19.60	0.46	20.06
...
2030年	64.44	1.52	65.96
...
2035年	92.68	2.19	94.87
...
2040年	108.83	2.57	111.40
合計(5年間)	259.80	6.13	265.94
合計(10年間)	672.38	15.87	688.25
合計(15年間)	1188.32	28.06	1216.37

表-7(c) 新東名全区間の総便益 1.2倍シナリオ

(単位：億円)

年度	1.2倍シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	19.60	0.46	20.06
...
2030年	40.08	0.95	41.03
...
2035年	81.98	1.94	83.92
...
2040年	167.67	3.96	171.63
合計(5年間)	173.24	4.09	177.33
合計(10年間)	487.47	11.51	498.98
合計(15年間)	1130.14	26.68	1156.82

c) 費用の算出結果

総費用の算出結果を表-8 に示す。本研究では、費用は専用レーンの設置の際のみに発生すると仮定しているため、各シナリオで必要となる費用は変化しない。最も区間長の長いリンク J の総費用はおよそ 5.7 億円であり、最も区間長の短いリンク K ではおよそ 0.8 億円であった。

表-8 各区間の総費用

区間名	総費用 (億円)
リンクA	4.39
リンクB	1.54
リンクC	5.01
リンクD	4.83
リンクE	3.00
リンクF	2.93
リンクG	3.80
リンクH	2.13
リンクI	5.05
リンクJ	5.74
リンクK	0.81
リンクL	1.18
リンクM	1.14
リンクN	1.83
リンクO	3.00

d) 費用便益分析の結果

各シナリオにつき 3 パターンの評価対象期間で、リンクごとにそれぞれ費用便益分析を実施した (図-5)。

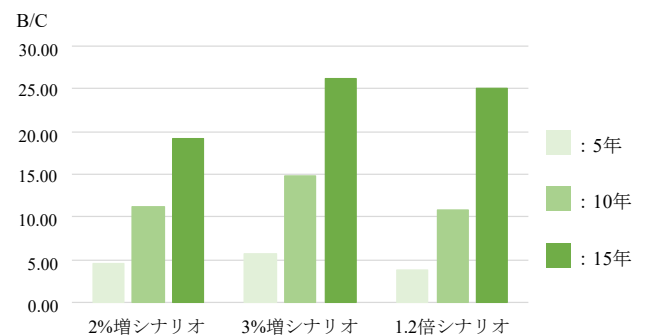


図-5 全区間の費用便益分析結果

新東名高速道路の対象区間全体では、評価対象期間を 15 年とした場合の B/C の値は、2%増シナリオで 19.24、3%増シナリオで 26.23、1.2 倍シナリオで 24.95 であった。また、5 年の場合でも B/C は全シナリオで 1 を超えていたため、全区間に専用レーンを設置したと仮定しても十分な便益が見込めるといえる。

(2) 東名高速道路での費用便益分析結果

a) 交通需要の設定と区間概要

東名高速道路では、2018 年の 1 年間のトラカンデータを使用して交通需要を設定した。海老名 JCT から厚木 IC の間 (リンク長 1.1km) には車両感知器が存在していなかったため、当区間は分析対象から除外して分析を行った。また、伊勢原 JCT と綾瀬スマート IC は、2018 年

時点では供用されていなかったため（前者は 2019 年、後者は 2021 年に供用開始），この 2 ヶ所ではリンクを区切らずに分析した。バスの混入率は新東名高速道路と同様，全体の 1%と仮定した。

分析区間の交通需要を表-9 に示す。東名高速道路で対象となる区間は全部で 5 リンク存在しており，それぞれリンク a～リンク e と呼ぶこととする。1 時間あたりの平均交通量は 1848.6 台～2456.4 台となっており，新東名高速道路と比較するとおおよそ 2 倍の交通需要であることがわかった。大型車の割合は 20.20%～36.90%と，どの区間も新東名高速道路よりも小さい値であった。平均速度については新東名高速道路との差は見られなかった。しかしながら，東京 IC がボトルネックであることから，リンク a の交通容量は 230 台/5 分/3 車線と，非常に小さい値が得られた。

b) 便益の算出結果

全区間でのシナリオごとの総便益の算出結果を表-10(a)～表-10(c)に示す。総便益は各シナリオで 5 年，10 年，15 年の 3 パターンに分けて記載している。新東名と同様，表中の BT は走行時間短縮便益，BA は交通事故減少便益，BofPV は便益の現在価値を表す。

表中の負の数値は，専用レーンの設置に伴い発生した損失額を意味している。総便益の算出の結果，ほとんどの区間で基準年度に大きな損失が発生し，総便益も負になった。

自動運転車両がそれぞれのシナリオのように普及していくと仮定した場合，総便益を正にするには，各シナリオの何年目で専用レーンを設置すれば良いかを算出した（表-11(a), (b)）。こちらは，初年度では損失が発生するものの，評価対象期間全体では便益が見込める段階及び必要な自動運転車両の混入率を表している。リンク d は必要な混入率が最も大きかった区間であったため，掲載している。

表-10(a) 東名全区間の総便益 2%増シナリオ

(単位：億円)

年度	2%増シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	-2282.61	0.33	-2282.28
...
2030年	-901.09	0.83	-739.80
...
2035年	-193.89	1.13	-129.86
...
2040年	29.15	1.30	17.49
合計(5年間)	-9240.37	3.57	-8564.99
合計(10年間)	-11389.53	8.67	-10169.81
合計(15年間)	-11559.86	14.88	-10274.80

表-10(b) 東名全区間の総便益 3%増シナリオ

(単位：億円)

年度	3%増シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	-2282.61	0.33	-2282.28
...
2030年	-389.88	1.10	-388.78
...
2035年	19.69	1.58	21.28
...
2040年	49.05	1.86	50.91
合計(5年間)	-7149.54	4.44	-7145.10
合計(10年間)	-7527.50	11.48	-7516.02
合計(15年間)	-7311.18	20.30	-7290.89

表-10(c) 東名全区間の総便益 1.2倍シナリオ

(単位：億円)

年度	1.2倍シナリオ		
	BT	BA	BofPV
2025年	-2282.61	0.33	-2282.28
...
2030年	-971.53	0.68	-970.84
...
2035年	-15.88	1.40	-14.48
...
2040年	75.33	2.86	78.20
合計(5年間)	-9784.77	2.96	-9781.81
合計(10年間)	-11387.72	8.33	-11379.39
合計(15年間)	-11112.38	19.30	-11093.08

表-9 東名高速道路の各区間の交通需要

区間	区間名	平均交通量(台/時間)	大型車割合(%)	平均速度(km/h)	区間長(km)	交通容量(台/5分/3車線)
東京～東名川崎	リンクa	1906.7	20.20	86.15	7.6	230.0
東名川崎～横浜青葉	リンクb	2012.0	20.67	86.05	5.7	293.0
横浜青葉～横浜町田	リンクc	2275.6	21.21	95.57	6.4	309.0
横浜町田～海老名JCT	リンクd	2456.4	32.62	85.17	14.2	273.0
厚木～秦野中井	リンクe	1848.6	36.90	84.74	15.1	289.0

表-11(a) 総便益が正になる段階及び混入率 全区間

評価対象期間	2%増シナリオ	3%増シナリオ	1.2倍シナリオ
5年	12年目(29%)	8年目(27%)	9年目(26%)
10年	11年目(26%)	7年目(24%)	8年目(21%)
15年	9年目(23%)	6年目(21%)	7年目(18%)

表-11(b) 総便益が正になる段階及び混入率 リンク d

評価対象期間	2%増シナリオ	3%増シナリオ	1.2倍シナリオ
5年	14年目(32%)	9年目(31%)	10年目(31%)
10年	13年目(30%)	8年目(28%)	9年目(26%)
15年	12年目(28%)	7年目(26%)	8年目(21%)

表-11(a)より、2%増シナリオのように自動運転車両が普及する場合、東名高速道路の対象区間全体では、5年の評価対象期間を設けると、便益が発生するには12年目以降に設置すべきだということが明らかになった。また、3%増シナリオのように自動運転車両が普及する場合には、8年目以降、1.2倍シナリオのように自動運転車両が普及する場合には、9年目以降に設置すべきだとわかった。混入率の観点で見れば、東名高速道路の対象区間全体では、供用開始年次時点で自動運転車両の混入率が29%以上であれば、どのシナリオであっても5年以上の評価対象期間を設けることで便益が見込めることがわかった。表-11(b)より、必要な混入率が最も大きい区間では、2%増シナリオかつ5年間の条件だと、14年目以降（混入率32%以降）である必要があるとわかった。すなわち、32%以上の混入率であれば、リンクごとに評価した時にも、5年以上の評価対象期間で便益が発生するということになる。

c) 費用の算出結果

総費用の算出結果を表-12に示す。新東名高速道路の際の考え方と同様に、費用は専用レーンの設置時のみに発生すると仮定しているため、各シナリオで必要となる費用は変化しない。

d) 費用便益分析の結果

前述の通り、混入率が5%の時点で専用レーンを設置した場合、全てのシナリオで便益が負となることから、B/Cの値も負になる。そこで、表-11(a)の結果から、全てのシナリオで便益が生じる混入率である、29%の時点で供用を開始するとして、B/Cを計算した。各シナリオにつき3パターンの評価対象期間で、それぞれ費用便益分析を実施した(図-6)。なお、1.2倍シナリオについては、混入率の上限を100%とした。

費用便益分析の結果、1.2倍シナリオで評価対象期間を15年とした場合のB/Cが100以上と、非常に大きい値となった。評価対象期間を5年とした場合であっても全てのシナリオでB/Cは1を上回っていた。

表-12 各区間の総費用

区間名	総費用(億円)
リンクa	2.34
リンクb	1.65
リンクc	1.91
リンクd	4.75
リンクe	5.08

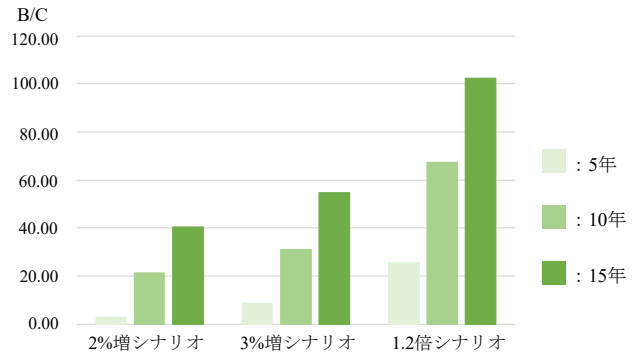


図-6 全区間の費用便益分析結果

(3) Greedy Algorithmの適用

東名、新東名の両方で、対象区間全体に加えて、リンクごとでもB/Cを算出した。この結果に対してGreedy Algorithmを適用し、専用レーンの優先順位を決定した。供用開始時点の自動運転車両の混入率を5%と32%の2通り設定して分析を行った。評価対象期間は5年として、分析した。

a) 供用開始時点の混入率が5%の場合

B/Cの算出結果にGreedy Algorithmを用いて専用レーンの設置優先順位を決定した。その結果を表-13に示す。なお、B/Cが1未満になる区間は除外して記載している。全シナリオでB/Cの大小関係は変化しなかったため、全てをまとめて表記している。

表-13 初期値5%での専用レーン設置順位

順位	区間名	区間存在箇所
1	リンクK	新東名高速道路
2	リンクM	新東名高速道路
3	リンクB	新東名高速道路
4	リンクL	新東名高速道路
5	リンクE	新東名高速道路
6	リンクN	新東名高速道路
7	リンクH	新東名高速道路
8	リンクA	新東名高速道路
9	リンクC	新東名高速道路
10	リンクD	新東名高速道路
11	リンクO	新東名高速道路
12	リンクF	新東名高速道路
13	リンクJ	新東名高速道路
14	リンクG	新東名高速道路
15	リンクI	新東名高速道路

Greedy Algorithm の適用の結果、専用レーン設置の優先順位としては、リンク K、リンク M・・・と続くことがわかった。順位が高い区間の特徴としては、リンク長が短いということが挙げられる。区間長が B/C の結果に影響を与えていると考えられるのに対して、交通量や大型車の割合についてはさほど影響しないことが明らかになった。

b) 供用開始時点の混入率が 32% の場合

32% の混入率は、渋滞発生リスクの高い東名高速道路であっても、対象区間全てで便益が生じる値である。各区間の B/C の算出結果に Greedy Algorithm を用いてシナリオごとに専用レーンの設置優先順位を決定した。その結果を表-14(a)～表-14(c)に示す。なお、B/C が 1 未満になる区間は除外して記載している。

供用開始時点の混入率を 32% に設定した場合は、シナリオによって優先順位が変化していることがわかった。上位 3 区間については、どのシナリオであっても、B/C が大きい順にリンク e、リンク K、リンク M と続いていた。しかしながら、4 番目以降を見ると、2% 増シナリオ→3% 増シナリオ→1.2 倍シナリオにかけて、東名高速道路の区間の B/C が大きくなる傾向にあることがわかった。この結果から、東名高速道路では、混入率が小さい時こそ大きな損失が生じるものの、便益が見込める混入率があれば、新東名高速道路を上回ることでできる B/C が生じるといえる。

表-14(a) 2%増シナリオでの専用レーン設置順位

順位	区間名	区間存在箇所
1	リンク e	東名高速道路
2	リンク K	新東名高速道路
3	リンク M	新東名高速道路
4	リンク B	新東名高速道路
5	リンク c	東名高速道路
6	リンク L	新東名高速道路
7	リンク b	東名高速道路
8	リンク E	新東名高速道路
9	リンク N	新東名高速道路
10	リンク H	新東名高速道路
11	リンク A	新東名高速道路
12	リンク C	新東名高速道路
13	リンク D	新東名高速道路
14	リンク O	新東名高速道路
15	リンク F	新東名高速道路
16	リンク J	新東名高速道路
17	リンク G	新東名高速道路
18	リンク I	新東名高速道路
19	リンク a	東名高速道路

表-14(b) 3%増シナリオでの専用レーン設置順位

順位	区間名	区間存在箇所
1	リンク e	東名高速道路
2	リンク K	新東名高速道路
3	リンク M	新東名高速道路
4	リンク c	東名高速道路
5	リンク B	新東名高速道路
6	リンク L	新東名高速道路
7	リンク b	東名高速道路
8	リンク E	新東名高速道路
9	リンク N	新東名高速道路
10	リンク H	新東名高速道路
11	リンク A	新東名高速道路
12	リンク C	新東名高速道路
13	リンク D	新東名高速道路
14	リンク O	新東名高速道路
15	リンク F	新東名高速道路
16	リンク J	新東名高速道路
17	リンク G	新東名高速道路
18	リンク I	新東名高速道路
19	リンク a	東名高速道路
20	リンク d	東名高速道路

表-14(c) 1.2倍シナリオでの専用レーン設置順位

順位	区間名	区間存在箇所
1	リンク e	東名高速道路
2	リンク K	新東名高速道路
3	リンク M	新東名高速道路
4	リンク c	東名高速道路
5	リンク B	新東名高速道路
6	リンク b	東名高速道路
7	リンク L	新東名高速道路
8	リンク E	新東名高速道路
9	リンク N	新東名高速道路
10	リンク H	新東名高速道路
11	リンク A	新東名高速道路
12	リンク C	新東名高速道路
13	リンク D	新東名高速道路
14	リンク O	新東名高速道路
15	リンク F	新東名高速道路
16	リンク J	新東名高速道路
17	リンク d	東名高速道路
18	リンク G	新東名高速道路
19	リンク I	新東名高速道路
20	リンク a	東名高速道路

(4) 考察

新東名高速道路では、リンク長が小さい区間ほど B/C の値は大きくなっている。これは、費用を計算する際の変数をリンク長のみと設定したことが要因だと考えられる。式(17)より、リンク長が n 倍になると、かかる費用は $(c_c + c_w)n$ 万円 ($=3650n$ 万円) 増加する。費用の影響が、

自動運転車両が与える便益への影響よりも大きかったため、このような結果になったと推測できる。そのため、交通量や大型車の割合が B/C の結果にあまり影響しなかったのだと考えられる。

Greedy Algorithm の適用の結果、供用開始時点の自動運転車両の混入率が 32% の時は、多くの区間で新東名高速道路よりも東名高速道路の B/C が大きくなっていった。元々渋滞による損失があった区間では、それが解消される便益が上乘せられるため、大きな B/C が得られたと考えている。このことから、一定以上の混入率がある場合には、渋滞改善効果が見込めることから、現在渋滞が発生している区間にも専用レーンを設置することが可能だと示唆された。しかしながら、混入率が 32% になるまでインフラ整備が実施されないとは想定しづらい。そのため、最終的な B/C で判断するよりも、小さな混入率で便益が得られる区間から順次実装していくべきだと考える。

以上の結果から自動運転車両専用レーンの効率的な設置シナリオを考えると、混入率が低い段階では新東名高速道路のみに設置するべきだといえる。まずはその区間のみに設置し、混入率が一定（理想は 32%）以上となった時点で東名高速道路にも専用レーンを適用することで、損失を極力発生させず便益を創出できるといったことが示唆された。

6. おわりに

(1) まとめ

本研究では、新東名及び東名高速道路を対象に、自動運転の普及シナリオや評価対象期間ごとに、自動運転車両専用レーンを設置した場合の費用便益分析を行った。

新東名高速道路では、供用開始時点の自動運転車両の混入率を 5% と設定した場合であっても、十分な費用対効果が得られることが明らかになった。一方、東名高速道路では、供用開始時点の混入率を 5% と設定した場合、ほぼ全てのシナリオで損失が発生することがわかった。そこで、普及シナリオはそのままにし、供用開始年次を変更して分析を行ったところ、32% 以上の混入率の時点で供用を開始すれば、全シナリオの全評価対象期間で便益が発生することが明らかになった。また、そのためには 2% 増シナリオの場合は 14 年目以降、3% 増シナリオの場合は 9 年目以降、1.2 倍シナリオの場合は 10 年目以降に設置すれば良いということがわかった。

以上の結果から、混入率が低い段階では新東名高速道路のみに専用レーンを設置するべきであり、混入率が一定（理想は 32%）以上となった時点で東名高速道路にも適用することで、損失を極力発生させず便益を創出できるといったことが示唆された。

(2) 今後の課題

本研究では、自動運転化による便益を、セカンドタスクが可能になるといった点に絞って推計を行った。しかし、運転手の疲労軽減など、今回考慮していない自動運転化による便益が存在する。そのような便益の定量化を行うことで、より自動運転化による便益は大きくなるだろう。一方で、本研究における費用の設定を、専用レーン設置時のカラー舗装及びワイヤーロープのみとした点については改善の余地があると考えられる。例えば、トンネル内であれば GPS の補足精度が低下することから磁気マーカーなどの施設が必要であったり、専用レーンの維持管理が必要であるなど、実際にはさらに費用が生じるであろう。これらのことから、より精細な費用便益分析を行うためには、便益及び費用の項目を追加して定量化を行うことが必要だと考えられる。

今回は、専用レーンの設置に伴う交通需要の変化については考慮せず分析を実施した。しかし、利用者の心理を考えると、一般車線の渋滞を懸念して別のルートを使用するなどといったことが起こる可能性もある。今後は、利用者の意向などを取り入れた分析を行い、専用レーン設置による他区間への影響を明らかにすることで、より精細な分析に取り組んでいきたい。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 22H01613 の助成を受けたものです。また、中日本高速道路株式会社より車両感知器データを提供していただきました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) SAE J3016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE International, 2018.
- 2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料, No. 1161, 2021.
- 3) 岩崎健, 鈴木一史, 坂井康一, 金澤文彦：ACC 車両による高速道路サグ部における渋滞緩和効果, 土木技術資料, Vol.54, No.5, pp.30-33, 2012.
- 4) 飯田克弘, 和田崎泰明, 多田昌裕, 筑後智弘, 安時亨, 澤田英郎, 紀ノ定保礼：ACC 車両の混在比率が異なる交通流の安全性・円滑性評価, 交通工学論文集, Vol.4, No.1, pp.A_238-A_245, 2018.
- 5) 香山裕紀, 鈴木弘司：観測調査に基づいた自動運転車の挙動特性と交差点での交通流へ与える影響の分析, 交通工学論文集, Vol.5, No.2, pp.A_20-A_26, 2019.
- 6) 西村友佑, 藤田敦, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 諏訪晃, 浦山博史, 竹嶋進, 高井峰生：自動運転車両と従来車両の混在が相互の走行にもたら

- す影響の検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-ITS-68, No.3, pp.1-8, 2017.
- 7) 松中亮治, 大庭哲治, 住川俊多: 都市内交通シミュレーションを用いた共有型完全自動運転車両の普及による社会的便益に関する研究, 都市計画論文集, Vol.55, No.2, pp.115-125, 2020.
 - 8) 香月秀仁, 東達志, 谷口守: 郊外間交通へのシェア型自動運転車の導入可能性—トリップの時空間特性・個人属性の観点から—, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.769-775, 2017.
 - 9) 須田義大, 大口敬, 中野公彦, 大石岳史, 小野晋太郎, 吉田秀範, 杉町敏之: 自動運転システムの社会実装に関する課題と展望, 生産研究, Vol.68, No.2, pp.95-98, 2016.
 - 10) 経済産業省, 自動走行ビジネス検討会中間とりまとめ報告書
<https://www.meti.go.jp/press/2015/06/20150624003/20150624003.html>
 - 11) 高橋輝, 鎌田忠: 基調論文 完全自動運転車の社会的受容性, *Denso technical review*, Vol.21, 22-29, 2016.
 - 12) 井坪慎二, 玉田和也, 澤井聡志, 谷口綾子, 吉田秀範: 道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験における社会受容性分析, 土木計画学研究発表会・講演集 (CD-ROM), Vol.57, 2018.
 - 13) 馬渡真吾, 井坪慎二, 金子雄一郎, 佐野拓真, 轟朝幸: 地方部での自動運転実証実験における手動介入発生特性と道路インフラ対策に関する分析, 交通工学論文集, Vol.7, No.2, pp.B_25-B_33, 2021.
 - 14) 国土交通省道路局, 都市局: 費用便益分析マニュアル, 2022.
 - 15) 西真宏, 倉内慎也, 吉井稔雄, 坪田隆宏: 統合型需要モデルを用いた高速道路整備に伴う利用者便益の計測, 交通工学論文集, Vol.5, Ver.2, pp.A_293-A_302, 2019.
 - 16) 加藤浩徳: 交通の時間価値の理論と実際, 技報堂出版, 2013.
 - 17) Varghese, V., and Jana, A. Impact of ICT on multitasking during travel and the value of travel time savings: Empirical evidences from Mumbai, India. *Travel Behaviour and Society*, Vol.12, pp.11-22, 2018.
 - 18) Varghese, V., Chikaraishi, M., and Kato, H. Analysis of travel-time use in crowded trains using discrete-continuous choices of commuters in Tokyo, Japan, *transportation. Research. Record.* Vol.2674, No.10, pp.189-198, 2020.
 - 19) 鈴木春菜, 北川夏樹, 藤井聡: 移動時幸福感の規定因に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.4, pp.228-241, 2012.
 - 20) 小倉永都, 塩見康博, 中村俊之, 和田沙織: 自動運転車乗車時のセカンドタスク生産性に関する研究, 第 19 回 ITS シンポジウム, 2021.
 - 21) 小松崎諒子, 武田陸, 谷口守: 自動運転化による車内活動の変容とその要因分析, 第 40 回交通工学研究発表会論文集, No.89, pp.573-578, 2020.
 - 22) 国土交通省: 渋滞損失時間の算出方法
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/pdf/traffic-loss-time.pdf>
 - 23) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2019, 政府 CIO ポータル
https://cio.go.jp/sites/default/files/uploads/documents/its_roadmap_2019.pdf
 - 24) 「新しい物流システムに対応した高速道路インフラの活用に関する検討会」での議論について, 自動運転に対応した道路空間に関する検討会, 第 1 回配布資料
https://www.mlit.go.jp/road/ir-ir-council/road_space/pdf01/03.pdf
 - 25) 木下太朗: 都市郊外部へのバス輸送システム (BRT) の整備にかかわる事業性調査-京都市洛西ニュータウンを事例として-, 日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集, No.20, pp.57-60, 2022.
 - 26) 中国地方整備局: 令和 2 年度尾道松江線防護柵設置第 4 工事
https://www.cgr.mlit.go.jp/cgsekkei/contents/01_kensetsu/r2/756_miyoshi/miyoshi-20201019-01.pdf
 - 27) Xavier Mosquet, Thomas Dauner, Nikolaus Lang, Michael Rüßmann, Rakshita Agrawal, Florian Schmiege, and Antonella Mei-Pochtler: *Revolution in the Driver's Seat: The Road to Autonomous Vehicles*, 2015.
<https://www.bcg.com/publications/2015/automotive-consumer-insight-revolution-drivers-seat-road-autonomous-vehicles.aspx>
 - 28) 越正毅, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 458/IV-18, pp.65-71, 1993.