

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

近年、自動運転車両の実用化に向けた取り組みが進められており、その運行を支援するインフラ整備の必要性が明らかにされている。実用化を進めるにはインフラ整備は不可欠だが、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。そこで、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、渋滞が発生しないという条件下では、自動運転車両の普及シナリオに関わらず、評価対象期間が 15 年の時に B/C が 1 より大きくな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レベル 3 の自動運転車両の走行が認められた。レベル 3 以上の自動運転車両乗車時には、ドライバーはハンドルから手を放して運転以外の行為（セカンドタスク）をすることが可能になる。しかし、レベル 3 の自動運転車両乗車時には、システムの限界時や故障時においては、Take Over Request と呼ばれる、ハンドルやペダル操作の権限移譲が生じる。そのため、セカンドタスクを行う場合であっても、ドライバーはいつでも運転を代わることのできる状態にあることが求められている。レベル 4 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く、システムが全ての制御を行うため、セカンドタスクの選択肢はより広がるであろう。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ことから¹⁾、自動運転化による便益の中でも、特に重要な意味を持つ

要素だといえる。

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されている。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であるが、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。

(2) 本研究の目的

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い、事業の妥当性の評価を行う。具体的には、新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する。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、設置にかかる費用や、交通容量の減少に伴う渋滞や事故による損失が考えられる。本研究では、両者を考慮し費用便益分析を行う。

2. 研究シナリオと分析内容

(1) 想定シナリオ

本研究では、新東名高速道路に自動運転車両専用レーンを設置した場合(with)と、そうでない場合(without)を比較する。以下の仮定の下で分析を行う。

【with ケース】

- 片側 3 車線のうち、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。
- 専用レーン内ではレベル 4 の自動運転の状態であり、交通事故は発生しない。また専用レーン走行中はセカンドタスクが可能である
- 専用レーンに進入するまではドライバーの手による運転を必要とする
- 専用レーンの交通容量は 3600 台/時間/車線とする（車頭時間を 1 秒と仮定）
- 専用レーンにはカラー舗装を施し、物理的な分離はない

【without ケース】

- 60km/h 以下の時に自動運行装置が作動し、レベル 3 の自動運転に移行する。ただし、自動運転中でもセカンドタスクはできないものとする

本研究では自動運転車両の普及シナリオごとに分析を行う。そのシナリオを以下に示す。各シナリオにおいて評価対象期間を 5 年、10 年、15 年の 3 パターン設定し、分析を行う。供用開始年次における自動運転車両の混入率は、全シナリオで 5%とする。

【シナリオ①】

自動運転車の普及率が、毎年 1%ずつ増加する

【シナリオ②】

自動運転車の普及率が、毎年 2%ずつ増加する

【シナリオ③】

自動運転車の普及率が、毎年 1.1 倍になる (5%→5.5%→6.05%→…と推移する)

(2) 交通需要の設定

交通需要を設定するにあたっては、新東名高速道路の 2021 年の 1 年間分の車両感知器による断面交通量データを用いる。分析対象区間は、新清水 JCT から新清水 IC の上り線（リンク長は 9.4km）とする。片側 3 車線の区間で最も年間の平均交通量が多いといった理由から、この区間を選定した。

(3) 分析項目

推計する便益・費用の項目や、その際に使用する数値については、国土交通省が公開する、令和 4 年の費用便益分析マニュアルに基づく。ただし、「自動運転化による便益」が他の便益に与える影響を考慮して分析を行う。

3. 自動運転化による便益

自動運転化による便益には様々なものが考えられる。本研究では、その中でも、運転中にセカンドタスクが可能になるといった便益に焦点を当てた。しかし、セカンドタスクの生産性は、静かな室内で行う作業より低下することが明らかになっている³⁾。そこで、自動運転中の活動意向を調査し、その結果とセカンドタスク生産性を踏まえ、自動運転車両の時間価値を試算した。

(1) アンケート内容

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。アンケートは実験³⁾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-1 の 12 項目から選択する（項目は、小松崎ら⁴⁾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-1 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

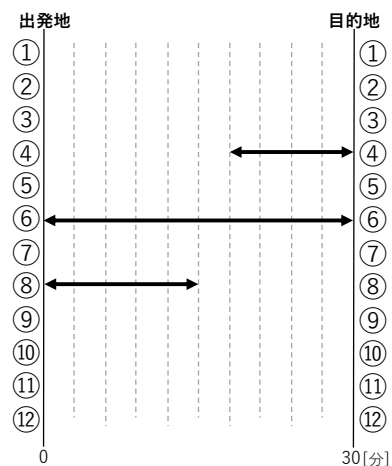


図-1 回答形式と記入例

(2) アンケート結果

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-1 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。

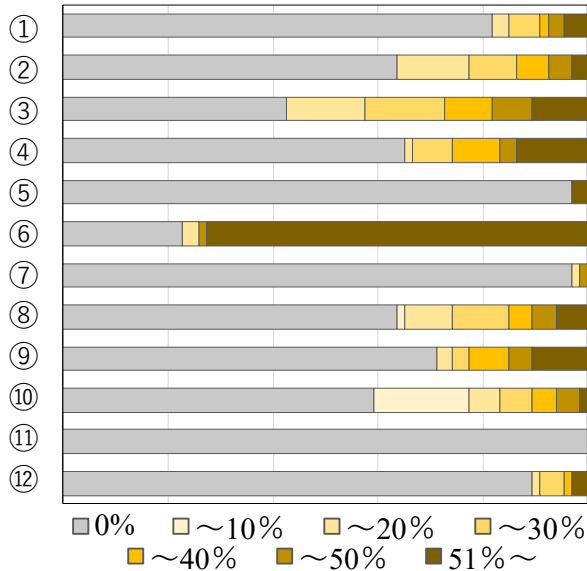


図-2 活動割合調査結果

(3) セカンドタスク効果の時間価値換算

費用便益分析マニュアルにおいて、時間価値は、所得接近法と呼ばれる、労働賃金率をもとに求める方法が採用されている。令和 4 年の費用便益分析マニュアルでは、表-2 の値が採用されている。そこで、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、活動の生産性を考慮する必要がある。セカンドタスクの生産性の低下分を s とし、以下の式で自動運転車両の時間価値原単位を定義した。

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

- 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

実施した活動割合調査の結果から労働に充てる時間の平均値を算出すると、およそ 20.91%であった。また、活動の生産性を、小倉ら³⁾の結果を用いて推計したところ、全体で 5.37%の生産性の低下であったことがわかつ

た。これらの値を式(1)に代入し、自動運転車両の時間価値原単位を新たに算出した (表-3)。

表-2 車種別の時間価値原単位

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

表-3 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	309.75
普通貨物車	61.72

4. 便益の計測

便益の計測にあたり、トラカンデータから交通需要を推計した。その概要を表-4 に、時間帯別の平均交通量を図-3 に示す。トラカンデータの分析の結果、分析対象区間では、1 年間で自然渋滞が 1 件も検出されなかった。そのため、交通容量については、越ら⁹⁾を参考に、4500 台/時間/3 車線と仮定した。また、大型車の種類別の割合が不明だったため、類似した区間である阪神高速道路の利用状況⁹⁾を参考に、バスの混入率を全体の 1%と仮定して分析を行う。図-3 より、平均交通量は時間帯によって大きく変化することが読み取れる。分析においては、交通量の多いピーク時間のみを対象にして実施する。本研究では、ピーク時間を 7~17 時と設定した。

表-4 分析区間の交通需要

	平均交通量(台/時間)	大型車割合(%)	平均速度(km/h)
全日	1094.32	44.55	88.48
ピーク時	1287.61	32.05	91.28

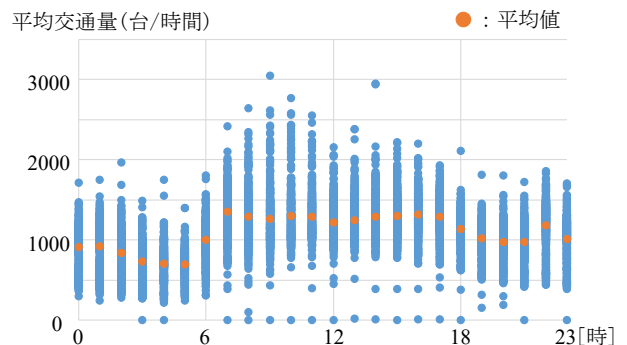


図-3 時間帯別交通量

専用レーンを 1 車線分設置すると、一般車両が通行できるのは 2 車線のみになり、その際の交通容量は 3000 台/時間/2 車線となる。トラカンデータの分析の結果、8760 時間 (24 時間×365 日) のうち、平均交通量が 3000 台/時間を上回っていたのは 1 時間分のみであった。したがって、分析では、現在と交通量が変化しない場合、専用レーンの設置に伴う一般車線の渋滞は発生しないものとして扱う。

(1) 走行時間短縮便益

総走行時間費用の算定式は、費用便益分析マニュアルで、式(2)で定義されている。これを整備の有無それぞれで求め、式(3)により走行時間短縮便益を算出する。

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

$$BT = BT_O - BT_W \quad (3)$$

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

a) 整備ありの場合

分析にあたり、自動運転車両の平均速度は、分析区間の最高速度である 120km/h と仮定した。一般車両の平均速度は、表-4 より 91.28km/h とした。リンク長が 9.4km であることから旅行時間をそれぞれ算出すると、自動運転車両では 4.70 分、一般車両では 6.18 分となった。時間価値原単位については、自動運転車両では表-3 の値を、一般車両では表-2 の値を適用した。式(4)を用いて総走行時間費用 BT_W を算出した。

$$\begin{aligned} BT_W &= (1-p) \times \sum_j \sum_l (Q_{ijl} \times T_{ijl} \times \alpha_j) \times 365 \\ &+ p \times \sum_{jAV} \sum_l (Q_{ijAVl} \times T_{ijAVl} \times \alpha_{jAV}) \times 365 \quad (4) \end{aligned}$$

p : 自動運転車両の混入率

jAV : 自動運転車両の車種

b) 整備なしの場合

交通量が変化しないと仮定すると、現状では自然渋滞が発生していないことから、整備なしの場合は現状と同じだといえる。したがって、現状のデータである表-4 のピーク時の数値と式(2)を用いると、 $BT_O = 38.77$ (億円/年)と算出される。

c) 走行時間短縮便益の算出

a), b) の結果と式(3)から走行時間短縮便益を算出した。 BT_O が定数であることから、混入率が上昇するにつれ、走行時間短縮便益は線形に増加することがわかった。

(2) 走行経費減少便益

専用レーンの設置が走行経費に大きな影響を与えようとは考えにくい。したがって、整備前後での本便益の変化はないものとする。

(3) 交通事故減少便益

高速道路における交通事故損失額算定式は、費用便益分析マニュアルで、式(5)で定義されている。通常は式(6)によりリンクごとの社会的損失を合計するのだが、本研究では 1 つのリンクで分析しているため、 $AA_i = BA_i$ とみなし計算を行う。これを整備の有無それぞれで求め、式(7)により年間総事故減少便益を算出する。

$$AA_{il} = 270 \times X_{il} \quad (5)$$

$$BA_i = \sum_l (AA_{il}) \quad (6)$$

$$BA = BA_O - BA_W \quad (7)$$

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)

a) 整備ありの場合

専用レーン内においては、渋滞は一切発生しないものとする。すなわち、一般車線に存在する車両のみを、交通事故の社会的損失を生ずる可能性がある車両として考える。このことから、以下の式(8)で分析区間の走行台キロを算出した。その値より、整備ありの場合の交通事故の社会的損失 BA_W を推計した。

$$X_{il} = (1-p) \times Q_{il} \times L_l \quad (8)$$

L_l : リンク l の延長(km)

b) 整備なしの場合

交通量が変化しないと仮定すると、(1)b)と同様、現状では自然渋滞が発生していないことから、整備なしの場合は現状と同じだといえる。表-4 のピーク時の数値、式(5)、式(6)から整備なしの場合の交通事故の社会的損失を求めると、 $BA_0=7843.10$ (万円/年)と算出される。

c) 交通事故減少便益の算出

a), b)の結果と式(7)から交通事故減少便益を算出した。 BA_0 が定数であることから、混入率が上昇するにつれ、交通事故減少便益は線形に増加することがわかった。

(4) 総便益

(1)~(3)より、基準年度における総便益の値を求めた。これらの値に式(9)を適用し、便益の現在価値を算出した。それらを合計した総便益をシナリオごとにまとめた(表-5)。なお、算出における条件は以下の通りである。

基準年度：令和5年

社会的割引率 i ：4%

評価対象期間：5, 10, 15年間

$$BofPV_j = \sum_t \left\{ \frac{B_{jt}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (9)$$

$BofPV_j$ ：便益 j の現在価値 (円)

s ：基準年次 (令和5年) から供用開始年次 (令和(5+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_j ：供用開始後 t 年目の便益 j の計測値 (円)

j ：便益種別

5. 費用の計測

(1) 道路整備に要する事業費

カラー舗装による専用レーンの設置に関する類似の事例としては、バス高速輸送システムの整備にかかわる事業性調査を行った木下⁷⁾の研究が挙げられる。この事例を参考に、本研究では専用レーン設置にかかる費用を、1kmあたり1500万円/車線と設定した。分析区間のリンク長が9.4kmであることから設置費用を算出すると、1.41億円となった。

(2) 道路維持管理に要する費用

今回の評価対象期間内においては、専用レーンの維持管理にかかる費用は発生しないものとする。したがって、整備前後での当費用の変化はないものとする。

(3) 道路構造物の更新に要する費用

本研究では該当する構造物がないため、本項目の推計は行わない。

表-5 シナリオごとの総便益

(単位：億円)			
年度	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③
令和5年	0.79	0.79	0.79
...
令和10年	1.31	1.96	1.05
...
令和15年	1.61	2.69	1.39
...
令和20年	1.77	3.09	1.84
合計(令和5~10年)	6.40	8.47	5.51
合計(令和5~15年)	13.92	20.60	11.76
合計(令和5~20年)	22.49	35.34	20.02

(2) 道路維持管理に要する費用

今回の評価対象期間内においては、専用レーンの維持管理にかかる費用は発生しないものとする。したがって、整備前後での当費用の変化はないものとする。

(3) 道路構造物の更新に要する費用

本研究では該当する構造物がないため、本項目の推計は行わない。

(4) 総費用

(1)~(3)より、基準年度における費用は1.41億円となった。この値に式(10)を適用し、費用の現在価値を算出した。それらを合計した総費用を表-6にまとめた。なお、算出における条件は総便益を求める際と同様である。

$$CofPV_j = \sum_t \left\{ \frac{C_{j(s+t)}}{(1+i)^{s+t}} \right\} \quad (10)$$

$CofPV_j$ ：費用 j の現在価値 (円)

$C_{j(s+t)}$ ：年次 $s+t$ 年目の費用 j の値 (円)

j ：費用種別

表-6 総費用

(単位：億円)	
年度	費用の現在価値
令和5年	1.41
...	...
令和10年	1.16
...	...
令和15年	0.95
...	...
令和20年	0.78
合計(令和5~10年)	7.69
合計(令和5~15年)	12.85
合計(令和5~20年)	17.09

6. 費用便益分析の実施

推計した総便益と総費用をもとに、シナリオごとに B/C を算定した。その結果を図-4 に示す。分析の結果、現状の交通需要条件のもとでは、全てのシナリオで、15 年の評価対象期間で B/C の値が 1 を上回ることが明らかになった。

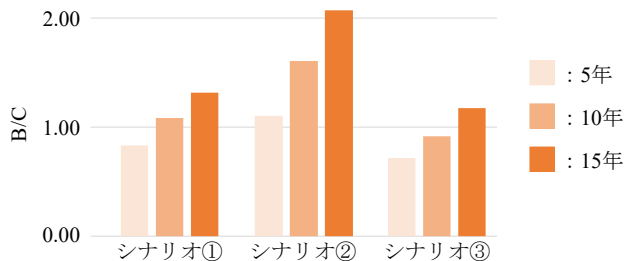


図-4 シナリオ別 B/C 算定結果

7. まとめ

(1) 考察

本研究の条件下においては、評価対象期間を 15 年と設定した場合には、全シナリオで B/C の値が 1 を上回っていた。これは、評価対象期間を伸ばした場合においても、追加の維持費はかからないと仮定したことに起因する。また、専用レーンの運行方法としては、カラー舗装以外にも、磁気マーカーなどの設置も考えられる。そのような施設を設置するには追加のコストが生じるため、今回の分析よりも総費用は大きくなる。これらを考慮すると、今回の結果は実際に運用する場合より大きな B/C が得られている可能性がある。

分析においては、専用レーン内での事故リスクを 0 にするなど、自動運転車両の性能は十分に高いと仮定した。そのため、望ましい費用対効果を出すためには、自動運転車両の技術向上が必要不可欠である。

(2) 今後の課題

本研究の分析区間では、専用レーンの設置に伴う一般車線の渋滞は発生しないと仮定して分析を行った。しかしながら、実際には、一般車線数の減少によって一般車両の渋滞が生じる可能性は十分に考えられる。将来的に、今回の分析区間以外への専用レーンの設置を考えると、一般車線への影響の分析は必要不可欠であるといえる。したがって、今後は、専用レーンの設置により、一般車線で渋滞が発生するといった状況を加味した分析を行う

予定である。

今回は、1 つのリンクという短い区間でのミクロ的な分析が中心であり、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していなかった。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。より精度の高い費用便益分析のためには、利用者の意向なども分析に取り入れる必要があるだろう。

本研究においては、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しているはずだ。より精細な費用便益分析を行うためには、そのような便益の定量化が必要だろう。

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) 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*, 2018, 12, 11-22.
- 2) 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*. 2020, 2674(10), 189-198.
- 3) 小倉永都, 塩見康博, 中村俊之, 和田紗織: 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 阪神高速道路のいま, https://www.hanshin-exp.co.jp/company/files/csreport_201707_7.pdf, 2022 年 9 月閲覧
- 7) 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.