

安部遼祐 [2018], “都市圏における自動運転技術導入後の乗合バス・タクシーのサービス水準の評価と今後の活用方策の方向性”, 運輸総合研究所・研究報告会2018年春（第43回）, 海運クラブ国際会議場, 2018年5月15日.

都市圏における自動運転技術導入後の乗合バス・タクシーのサービス水準の評価と今後の活用方策の方向性

Evaluating the level of bus and taxi services with autonomous vehicle technology and their possible role in Japanese cities

2018年5月15日

運輸総合研究所総合研究部研究員

安部遼祐

Ryosuke Abe, Ph.D., Research Fellow, Japan Transport Research Institute

E-mail: r-abe@jterc.or.jp

目次

- 自動運転車の技術開発と実証実験の動向
- 自動運転バス・タクシーサービスについて
- 本研究の目的・構成・位置づけ
- 自動運転技術が交通市場へ与える影響の整理と仮定
- 自動運転バス・タクシーの運行コストと運賃の算出
- 自動運転バス・タクシーのサービス水準の算出と評価
- まとめ・今後の予定

自動運転技術の開発活性化

- 90年代からの自動車会社などによる運転支援技術，インフラ協調型技術の開発

- 2000年代後半より，IT技術の進展（カメラの低コスト化やAI技術進展など）を背景にIT企業が自動運転技術の開発に参入

空白

（ラスベガス自動運転バスの写真）

- 近年，自動車会社もAIによる自動運転技術の開発を行う

（藤田ら，2018；日経新聞2017年3月31日）

- **米国では1000台以上の自動運転車が実験走行中**。2017年11月Google傘下Waymoは公道で累計650万キロ以上を走行

- **2022年までに年10万台まで実験の許可を増やす方向**

（日経新聞2018年3月20日；内閣府，2017）

空白

（Uber実験車両の図）

- 2017年11月自動運転バス（写真：右上）がラスベガスで軽微な事故

- **2018年3月Uberの自動運転車がアリゾナ州で歩行者をはねる死亡事故**

（TechCrunch Japan2017年11月9日；ウーバー社資料）

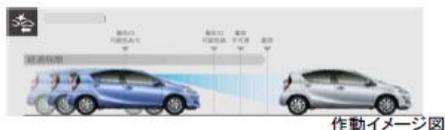
現在の自動運転技術のレベル（レベル0～2）

日米欧政府は米国自動車技術会 (SAE)の自動運転レベルに関わる定義 (SAE J3016, 2016) を採用。 **SAE J3016は自動運転の6つのレベルを定義。レベル1, 2は普及が進む**

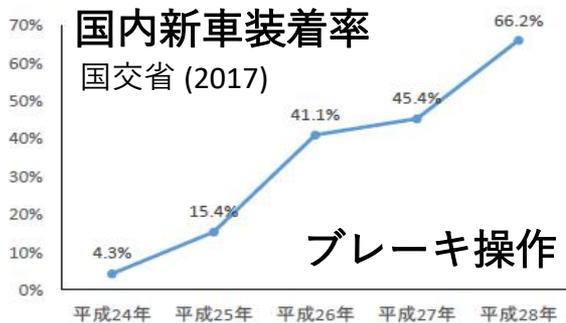
SAEレベル	概要	安全運転に係る監視, 対応主体
0 (自動運転なし)	運転者が車の操作全てを行う	運転者
1 (運転支援)	システムが前後・左右のいずれかの車の操作を行う (下図)	運転者
2 (部分自動運転)	システムが前後・左右両方の車の操作を行う (レベル1の組み合わせ)	運転者

自動ブレーキ(衝突被害軽減ブレーキ)

前方の車両との衝突を予測して、自動でブレーキを作動することにより衝突時の被害を軽減する装置



新車搭載台数(平成28年)
2,480,672 台 (生産台数の**66.2%**)

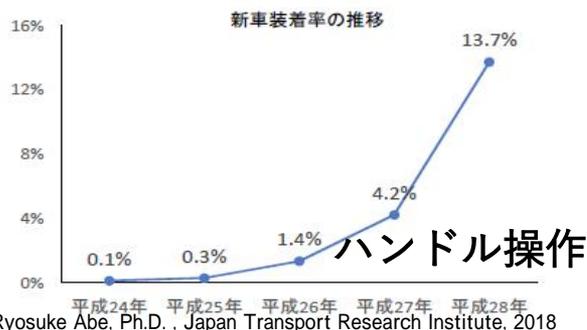


レーンキープアシスト

高速道路等において車線の中央付近を走行するよう自動制御する装置



新車搭載台数(平成28年)
588,355 台 (生産台数の**13.7%**)

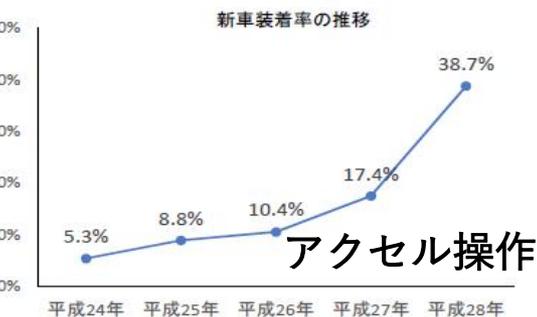


アダプティブ・クルーズ・コントロール(ACC)

高速道路等において速度や前走車との車間距離を自動制御する装置



新車搭載台数(平成28年)
1,658,739 台 (生産台数の**38.7%**)



現在の自動運転技術のレベル（レベル3～5）

SAEレベル	概要	安全運転に係る監視，対応主体
自動運転システムが車の操作全てを行う		
3（条件付き自動運転）	限定領域内	システム（システムの介入要求に対して10秒以内に運転を引き受ける必要あり）
4（高度自動運転）	限定領域内	システム
5（完全自動運転）	限定領域の制約なし	システム

（限定領域：地理的な領域に限らず，環境，交通状況，速度，時間的条件などを含む）

レベル3：2018年半ばにアウディが世界初レベル3装着の量産車を発売予定

高速道路の同一車線を60km/h以下で走行の場合（渋滞時など）利用可能（日経新聞2018年3月17日）

レベル4・5（いわゆる自動運転車）：乗員は運転操作に全く関与しない

レベル4：国内外で移動サービス（自動運転バス・タクシー）実証実験が多数実施

レベル5：2025年までに量産車が市販開始し，2030年に新車販売台数の25%を占めると推測されている（内閣府，2017；Litman, 2014）

国内の移動サービス実証実験（一例）

国主導プロジェクト

- 国交省・経産省：2017年度より地方都市（ラストマイル自動運転）や中山間地（道の駅自動運転）での実証実験（レベル4）を開始。2018年度よりこれら本格実施、ニュータウンでも実施予定。2020年からの民間ベースでの自動運転ビジネスの展開が目標（国交省，2017）
- 内閣府：2017年11月沖縄県の都市部にて自動運転バスの実証実験

民間企業主導プロジェクト

- 日産・DeNA：2018年3月にみなとみらい地区で自動運転相乗りタクシー（レベル4）の実験を実施。車両はリーフをベースに開発。2020年代早期のサービス展開が目標
- ソフトバンクドライブ・三菱地所：2017年12月に丸の内仲通りにて自動運転バス（レベル4）の実験を実施。自動運転車の23区内の公道走行は初。車両は仏NAVYA社製で定員15名
(ロイター通信2018年2月24日；ケータイWatch2017年12月22日)

レベル4で移動サービス（自動運転バス・タクシー）実証実験が多数実施中

空白

（丸の内自動運転バスの写真）

「自動運転車（レベル4・5）」とは何を指すか？

日常交通における交通手段（徒歩・自転車での移動を除く）

旅客用路面（旅客自動車運送事業）

旅客用鉄軌道

私的交通

タクシー
(相乗りなし)

タクシー
(相乗りあり)

乗合バス

新交通システム
(ゆりかもめなど) 都市鉄道
路面電車

自家用車
バイク

自動運転化

自動運転化

自動運転化

自動運転化

1. 自動運転バス・タクシー

企業が車両（バス、乗用車）を保有。運行管理あり。実用化が最も早いと予想される

2. 自家用自動運転車 (PAV)

(Privately-owned autonomous vehicles)

世帯が車両を保有。普及は自動運転バス・タクシーよりやや先と予想される

3. 自動運転車のシェアリング

企業または世帯が車両（乗用車）を保有。運行管理なし。普及等に関してまだ不確実性大きい

本研究では、中短期的な展望として
自動運転バス・タクシーと自家用自動運転車を扱う

自動運転バス・タクシーサービスの特徴とは？

都市圏での自動運転バス・タクシー導入

(乗合バスでは、自動運転バスによる既存路線の置き換えと新規路線導入がある)

- 乗合バス・タクシー事業者のメリット
運転者不足の解消・運行コストの削減など
- 利用者のメリット
乗合バス・タクシーのサービス改善

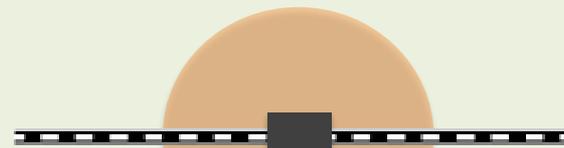


導入により公共交通網の利便性（サービス水準）を大幅に高められる可能性がある

例：自動運転化で短距離帯でのタクシーのサービス改善？
(特に運賃の大幅な下落？)



三大都市圏では郊外で駅アクセス改善を目指した導入など



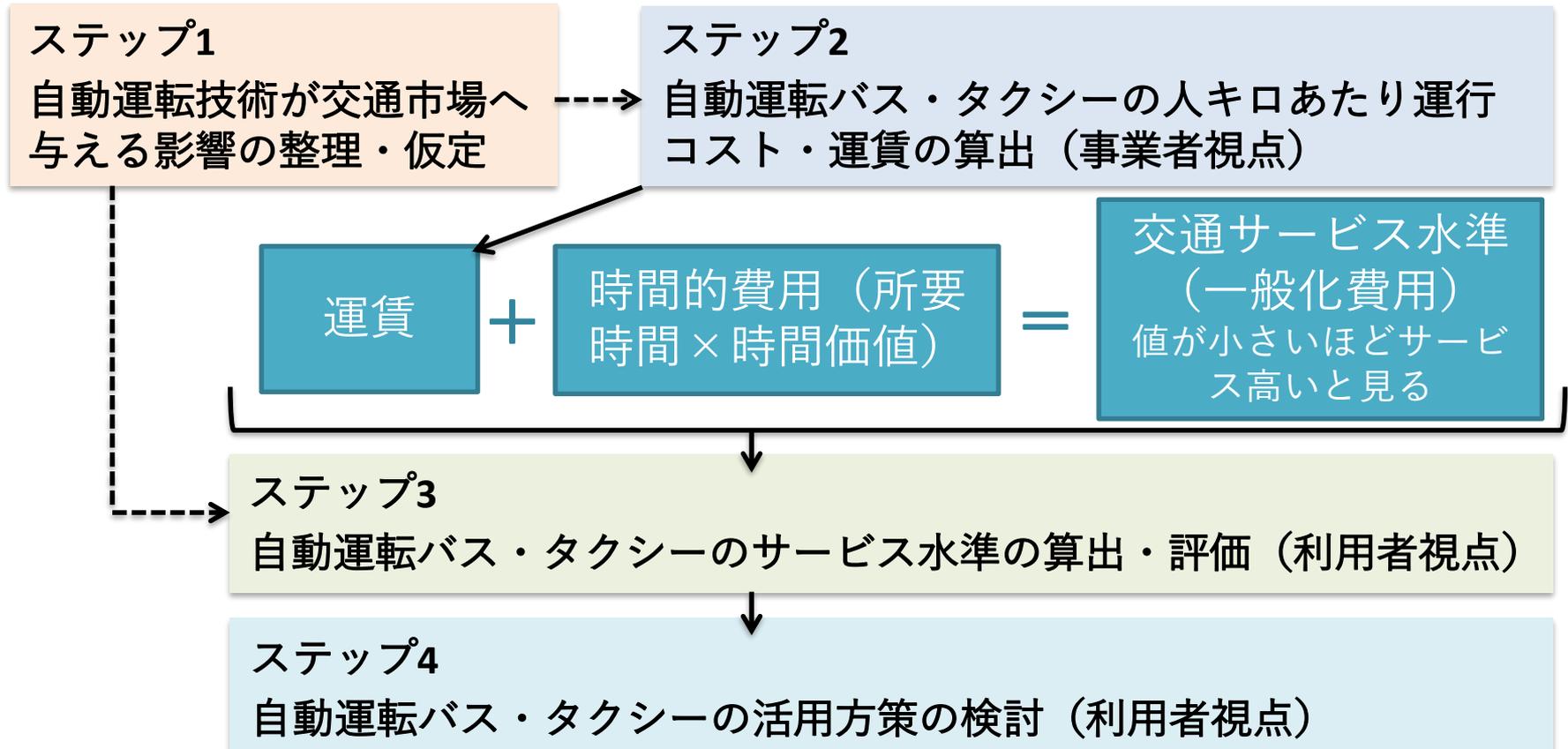
バスの頻度少ない、タクシー運賃高い
→タクシーがより手軽に使えるように

しかし、自動運転バス・タクシーはサービスとして
どのような特徴を持ちうるのか分かっていない

まず特徴を理解した上で、どこで導入することが望ましいか検討していく必要がある

本研究の目的・構成

三大・地方都市圏において、自動運転バス・タクシーのサービス水準の評価を行い、自動運転バス・タクシーの今後の活用方策の検討を行う



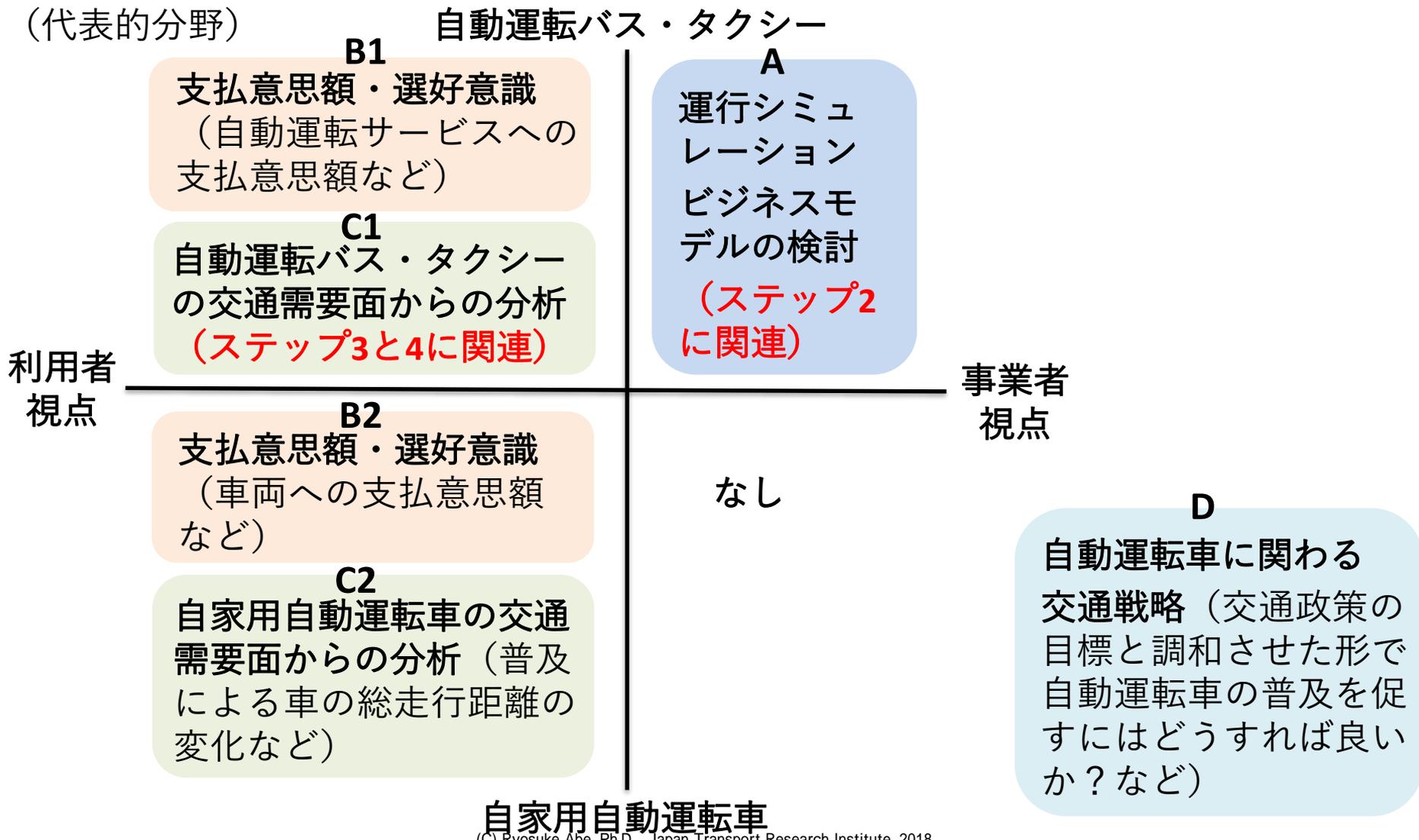
ステップ2, 3の数値は都市圏内の市レベル（タクシー営業区域に対応）で算出

本報告では東京区部の結果を示す

本研究の位置づけ

近年、交通計画分野で自動運転車を扱う論文や報告書の出版が世界的に増加

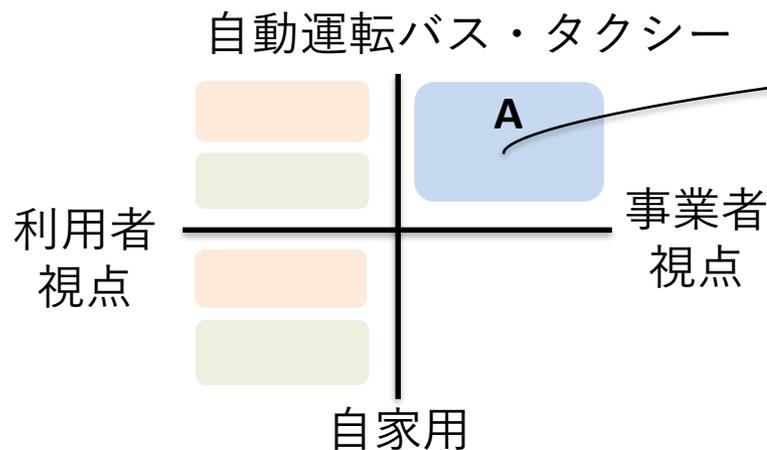
(代表的分野)



自家用自動運転車

本研究の位置づけ

ステップ2（自動運転バス・タクシーの人キロあたり運行コスト・運賃の算出）



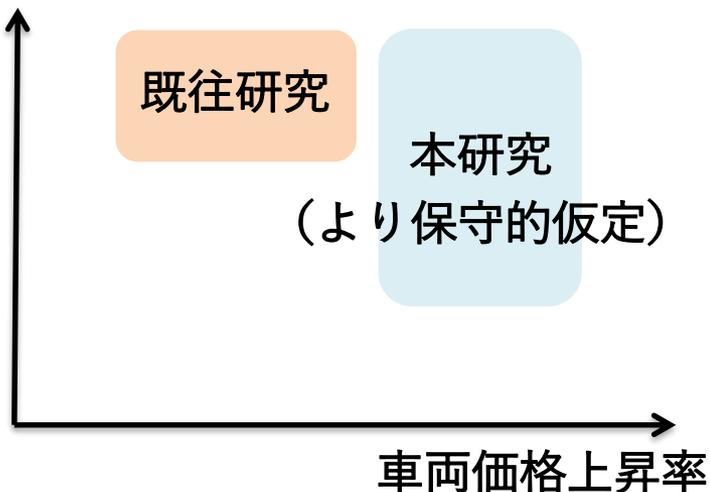
運行シミュレーション

国内外で多くの研究ある。Fagnant and Kockelman (2014, 2016), 山本ら (2017), Liang et al. (2017)など

ビジネスモデルの検討

Burns et al. (2013), Bösch et al. (2017), Stocker and Shaheen (2017), Wadud (2017)

運送人件費削減率

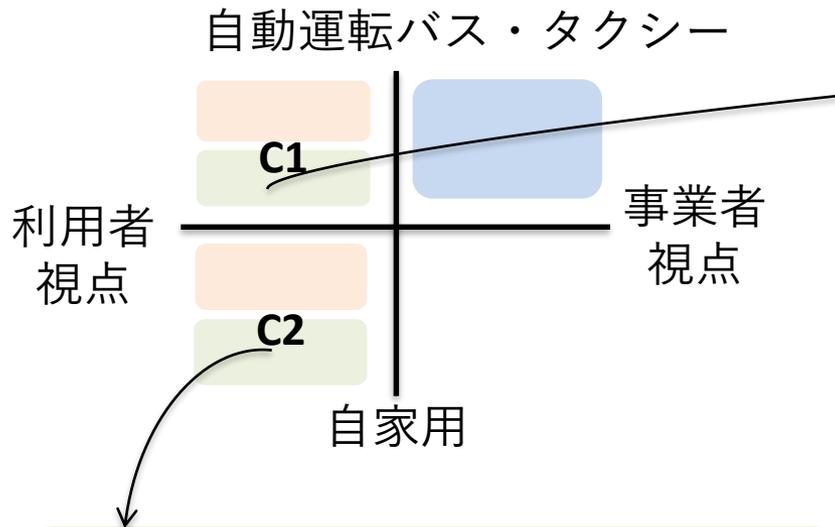


- 世界的にビジネスモデルへの関心が高まっている
- ステップ2では、Bösch et al. (2017)のアプローチを使い、自動運転バス・タクシーの人キロあたり運行コストを算出
- 本研究では、算出にあたってより保守的仮定を適用

本研究の位置づけ

ステップ3 (自動運転バス・タクシーのサービス水準の算出・評価)

ステップ4 (自動運転バス・タクシーの活用方策の検討)



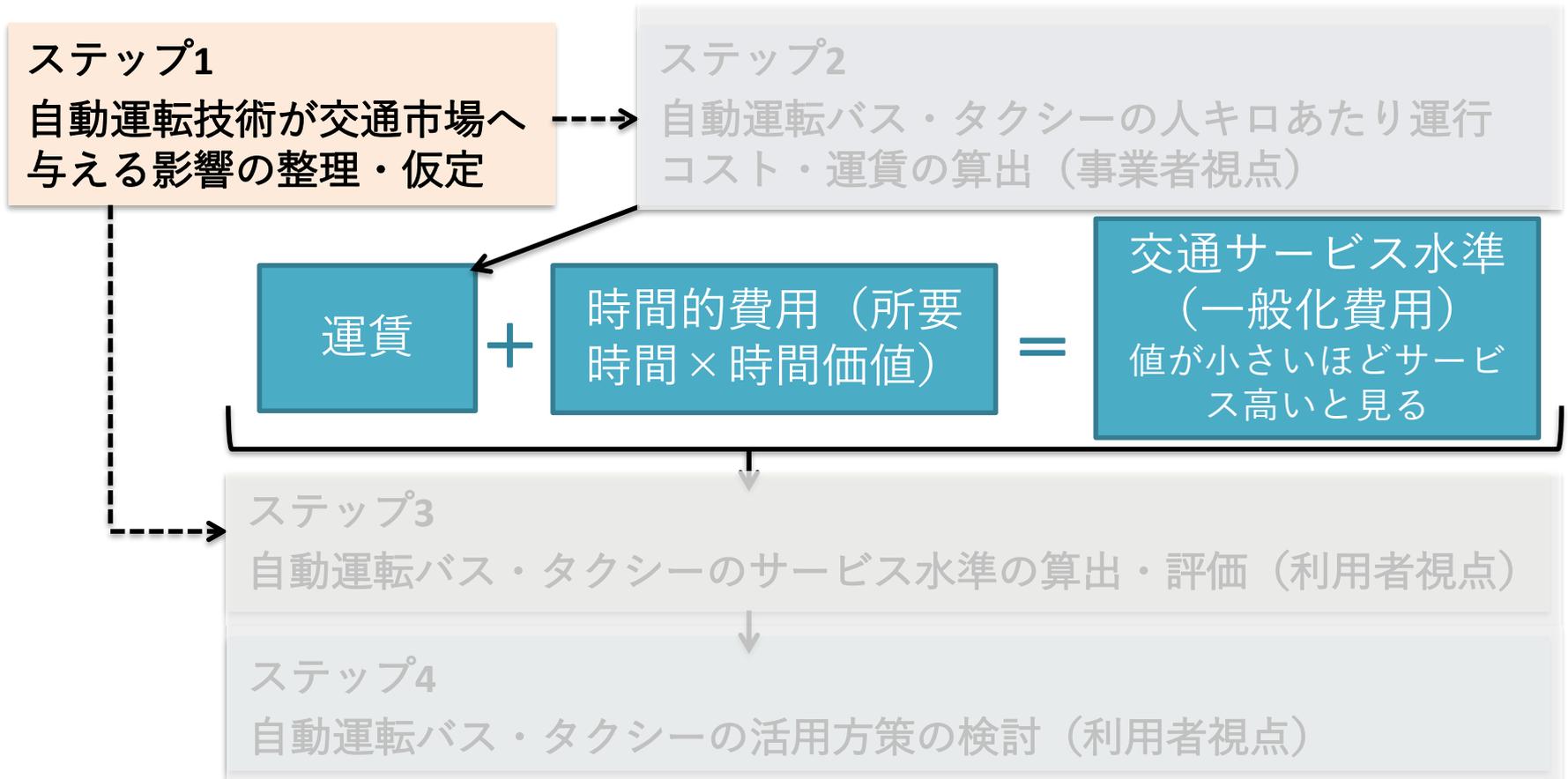
自動運転バス・タクシーの交通需要面からの分析 (サービスとしての特徴, それらに対する需要, 活用方策など) まだほとんど行われていない

自家用自動運転車の交通需要面からの分析

Sivak and Schoettle (2015ab), Harper et al. (2016), Wadud et al. (2016), Fragnant and Kockelman (2015), Childress et al. (2015), Trommer et al. (2016), Meyer et al. (2016)

- ステップ3では、活用方策を考える上での最初のステップとして、自動運転バス・タクシーのサービス水準 (一般化費用) を算出する (サービス水準は需要の説明変数)
- 他の交通機関と比較により、サービスの特徴を理解する
- 以上は初めて結果となる

ステップ1



自動運転技術が交通市場へ与える影響

車両技術レベルにおける影響

自動運転機能

1. 車両価格上昇
2. 走行経費（燃料・タイヤ費）減少
3. 運転安全性向上・保険コスト減少

車々間通信・路車間通信機能
（Connected機能） * 範囲外

車両技術の変化による交通市場内の変化

乗合バス・タクシー事業者

4. 運行コスト（運送人件費）の削減
→ 行動変化（運賃等の変化）

交通サービス利用者

5. 自家用車の操作負荷軽減
→ 行動変化（車保有・移動回数・目的地・交通手段等の変化）

交通ネットワーク・土地利用

- 道路交通事故発生率の減少？
 - 渋滞の減少？増加？
 - 都市内の駐車場の効率的な利用？
 - 郊外化が加速？
- * 全て範囲外

本研究では、中短期的な展望として、自動運転機能（3点）、
運行コスト削減、自家用車の操作負荷軽減の影響を扱う。5点の仮定が必要

仮定1～3：自動運転機能の影響（車両技術レベル）

全てより保守的な値を適用

仮定1：車両価格上昇

- レベル5：価格上昇範囲\$2,700-**\$10,000**（2025年頃）
毎年9%下落 = 2035年には\$2,700 (Boston Consulting Group, 2015; IHS Automotive, 2014; Stephens et al., 2016)

→本研究では乗用車価格（250万円）が40%増と仮定

仮定2：走行経費（燃料・タイヤ費）減少

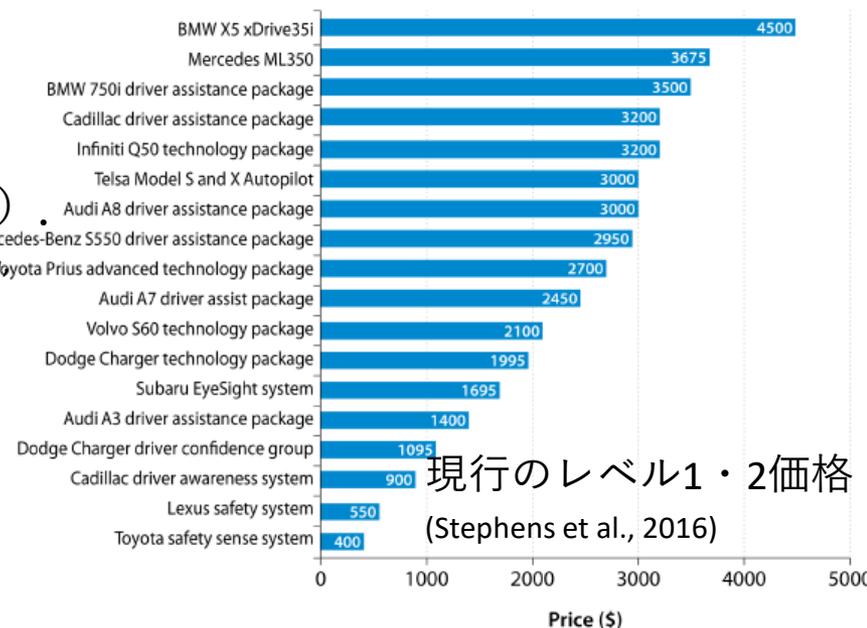
- 無駄な加減速が減少することによる効果
- レベル4：1.7%-14.4%減，レベル5：13.4%-76.7%減 (Stephens et al., 2016)

→本研究では1.7%減と仮定

仮定3：運転安全性向上・保険コスト減少

- 2010-2014年度に国内販売のスバル車に関して運転支援技術アイサイト搭載車は非搭載車に対し、車両同士の追突事故が1万台当たり約8割減，対歩行者事故では約5割減（富士重工業，2016）
- 損保各社は2018年1月より自動ブレーキ搭載車の保険料を9%割引
- レベル4：10%-40%減，レベル5：40%-80%減 (Stephens et al., 2016)

→本研究では10%減と仮定



乗合バス・タクシー事業における自動運転：事業面

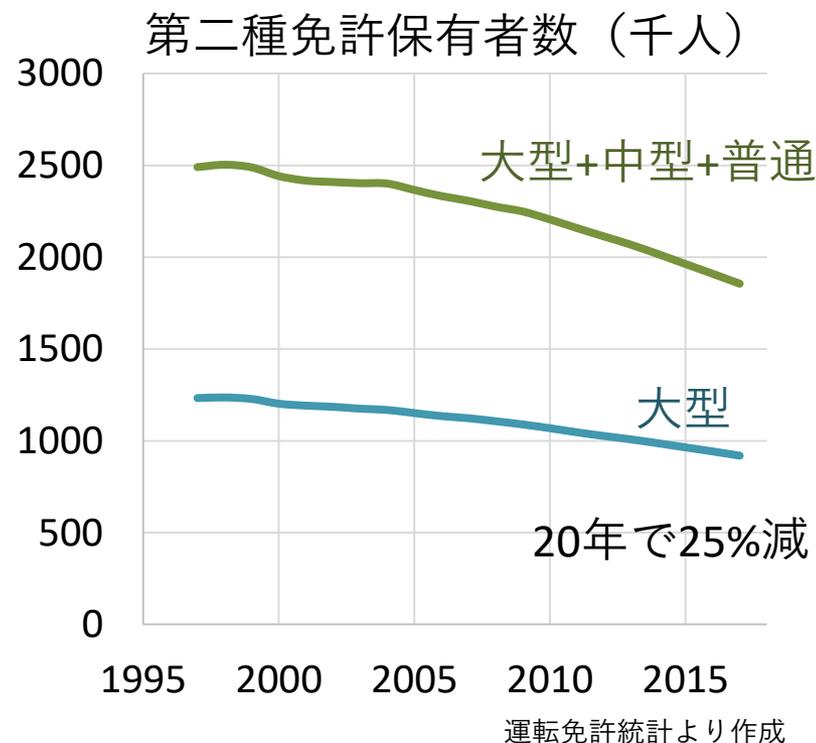
(論点整理)

運転者不足の慢性化・深刻化

- 若年層を中心として運転者の確保に難航
- 労働力人口が減少する中で人手不足が一層深刻化する可能性がある

運転者不足の対策に関わる近年の動き

- 昨年度より警察庁が普通第二種免許の受験資格緩和の検討を開始。今年度より大型第二種免許も見直しの対象に
- **自動運転技術による運転者不足の解消と運行の低コスト化への期待**（地域公共交通の活性化及び再生の将来像を考える懇談会（座長：山内所長），2017）



自動運転は運転者不足を補うための技術として位置づけることが重要と考えられる

乗合バス・タクシー事業における自動運転：法律面

(論点整理)

道路交通に関する国際条約

- ・ジュネーブ条約，ウィーン条約

国内交通関連法規

- ・道路・交通に関する法律（道路交通法，道路運送車両法，道路法）
- ・事故の民事上の責任に関する法律（民法，自動車損害賠償保障法，製造物責任法，国家賠償法）
- ・事故の刑事上の責任に関する法律（自動車運転行為処罰法，刑法）

運送事業関連法規

- ・道路運送法，貨物自動車運送事業法

国際条約は従来，運転者の存在ならびに車両制御義務を規定

ジュネーブ条約：日米が加盟。自動運転を認める改正はまだ行われていない

ウィーン条約：欧州諸国が加盟の中心。日米は非加盟。2016年にレベル4を認める改正を行う

日本の道路交通法の根拠はジュネーブ条約
現行認められるのはレベル2まで

- ✓ レベル3以上の車の公道走行には国際条約の改正後，道交法等，国内交通関連法規の改正が必要（関係省庁が検討中）
- ✓ 運輸事業でのレベル3以上の利用には，運送事業関連法規の改正が必要（本格的な検討は今後）

(井熊・井上，2017；日経新聞2018年3月17日)

仮定4：運行コスト削減（乗合バス・タクシー事業）

各企業で自動運転車バス・タクシー（レベル4・5）
を導入するとし2つの形態を考慮

車両自律型（車両上の乗務員は不要）

→本研究では運送人件費100%減と仮定（世界的
に行われている算出法）

乗務員配置型（車両上乘務員は二種免許非保持者）

監視・警備の平均時給1,123円（東京都）を適用。タク
シー運転手の平均時給は1,846円（東京都）

→本研究では運送人件費40%減と仮定



自動運転バス（レベル4，乗務員配置）

運賃算出のための追加仮定：規模の経済性小・路面交通の参入容易性（現状と同じ）→
利潤は過大ではない

→本研究では運賃は

「人キロあたり運行コスト（営業費）＋利潤（対営業費3%以下）」と仮定

根拠

- 自動運転車でも、通常の生産規模（走行距離）で割ったときの固定費（減価償却費等）は変動費（キロあたり走行経費等）に比べると小さく、収穫一定を仮定
- 各都市における市場競争の結果、超過利潤ゼロの状態（高利潤路線はすぐに低利潤化）を仮定。結果、各車両は平均費用（人キロあたり運行コスト）＝限界費用で操業

仮定5：自家用車の操作負荷軽減（利用者）

- この影響を把握するために、自家用車利用の「時間価値（交通時間節約価値）」の変化を調べる方法がよく用いられる
- 自家用車の自動運転化で、同じ所要時間でも以前より時間の負担が苦痛とは感じなくなる（＝時間的費用が減る）→所要時間は同じなので時間価値が下がる必要

自動運転化による自家用車利用の時間価値については世界で多くの研究が進行中
例えば、通勤目的で30%削減 (Steck et al., 2018)

1. アンケート調査の回答者に自家用自動運転車 (PAV)と自動運転タクシー (SAV)の利用イメージをビデオで見ってもらう
2. 選好意識 (SP)調査に基づく離散選択モデルを推定し、時間価値を算出。
(公共交通、自家用車、PAV、SAVに関する所要時間と運賃のトレードオフ関係の比較に基づく)

Privately owned autonomous vehicle



Driverless taxi



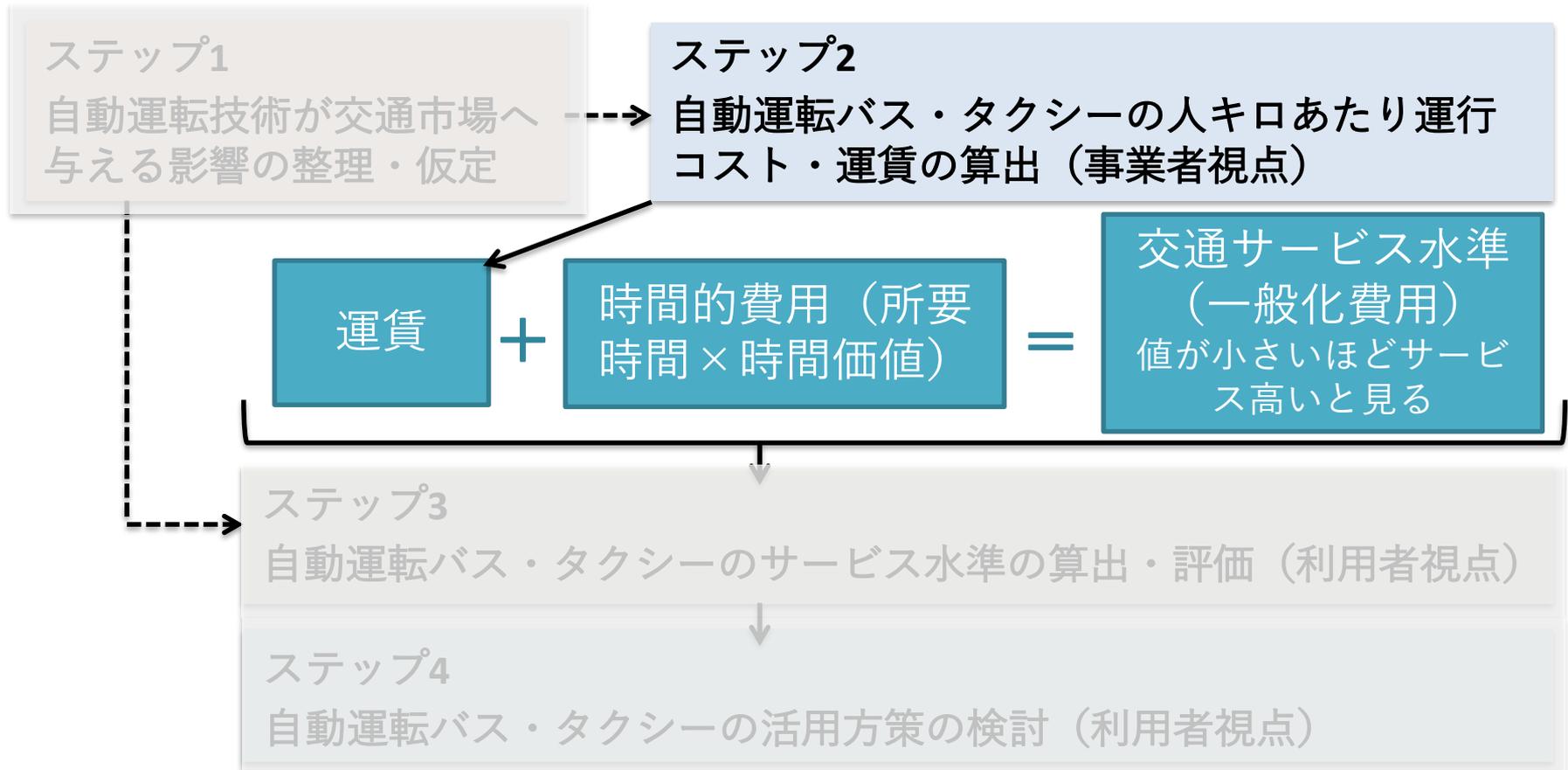
→本研究でも自家用車利用の時間価値は30%削減されると仮定

出典

Steck, F., Kolarova, V., Bahamonde-Birke, F., Trommer, S., Lenz, B. How Autonomous Driving May Affect the Value of Travel Time Savings for Commuting, *Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018.

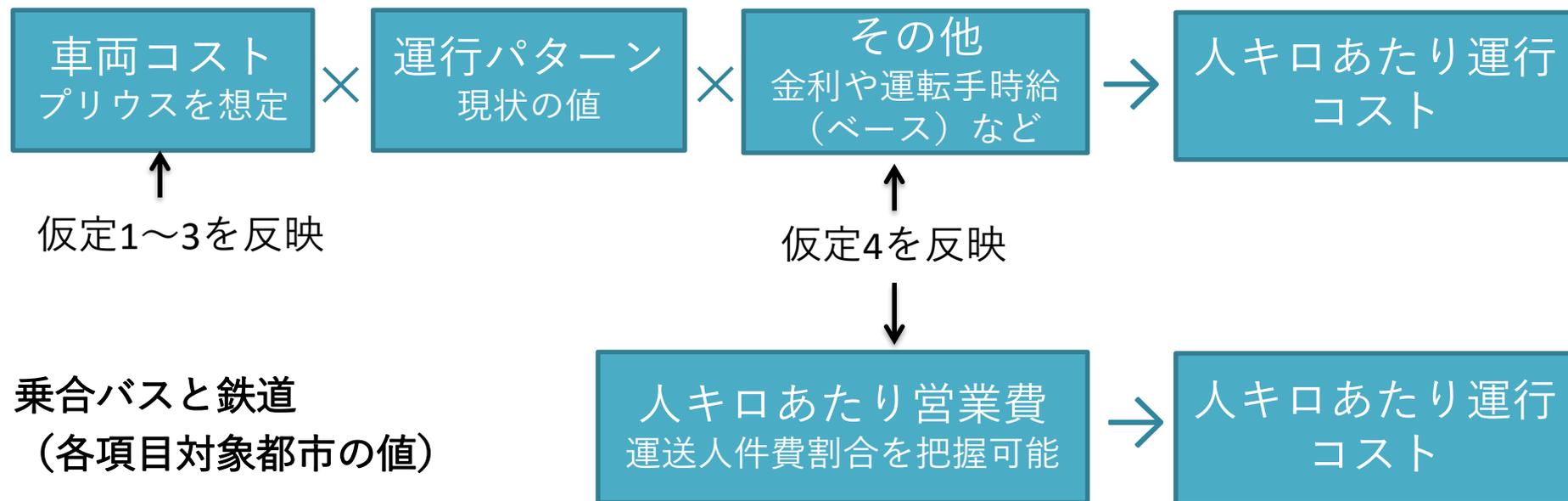
(C) Ryosuke Abe, Ph.D., Japan Transport Research Institute, 2018

ステップ2



運行コストの算出手順（自家用車と鉄道は比較用）

タクシー（相乗りなし/あり）と自家用車（各項目対象都市の値）



自動運転技術の影響の仮定 (前項までのまとめ)	自動運転車（乗務員配置）		自動運転車（車両自律）		
	タク シー	乗合 バス	タク シー	乗合 バス	自家 用車
1. 車両価格上昇	40%増	-	40%増	-	40%増
2. 走行経費減少	1.7%減	-	1.7%減	-	1.7%減
3. 保険コスト減少	10%減	-	10%減	-	10%減
4. 運送人件費の削減	40%減	40%減	100%減	100%減	-

運行コストの算出に用いた数値

タクシー・自家用車

車両コスト（駐車場費は対象都市の値）

	有効定員	取得価格 (円/寿命 年, km)	保険 (円/年)	税金 (円/年)	駐車場 (円/年)	車検点検 費 (円/年)	修繕費 (円/km)	タイヤ費 (円/km)	燃料費 (円/km)
トヨタプリウス 2015年 モデルグレードS	4	247万円	72,000	39,500	355,200	7,500	1.74	1.00	6.16
事業用化（タクシー）	-	30%減	6倍増	76%減	-	2.6倍増	25%減	25%減	5%減

運行パターン（相乗り以外は対象都市の値）

- ・ タクシー（相乗りなし），タクシー（相乗りあり），自家用車ごとに値を設定
- ・ ピーク時間帯（7:30-9:30と17:30-19:30），非ピーク時間帯（9:30-17:30），夜間時間帯（19:30-7:30）ごとに以下の値を設定
- ・ 運行時間，実車時間率(%), 平均乗車率（乗車人数/定員）(%), 平均旅行速度(km/h), 平均トリップ距離(km), 空車距離率(%), メンテナンス（休憩等）のための走行距離率(%), メンテナンス時間率(%)

その他（運転手時給は対象都市の値）

個人向け自動車ローン金利	0.0265
個人向けローン返済年	5
事業者向け金利	0.02
事業者向けローン返済年数	3
自家用乗用車平均寿命（年）	12.91
タクシー用乗用車平均寿命（積算km）	431,760
業者による車内清掃費（円）	1,950
年あたり自家用車車内清掃回数	8
年あたりタクシー車内清掃回数	183
運転手時給	1,846
1台1日あたり一般管理費	1,400
1台1日あたり運行管理費	1,000

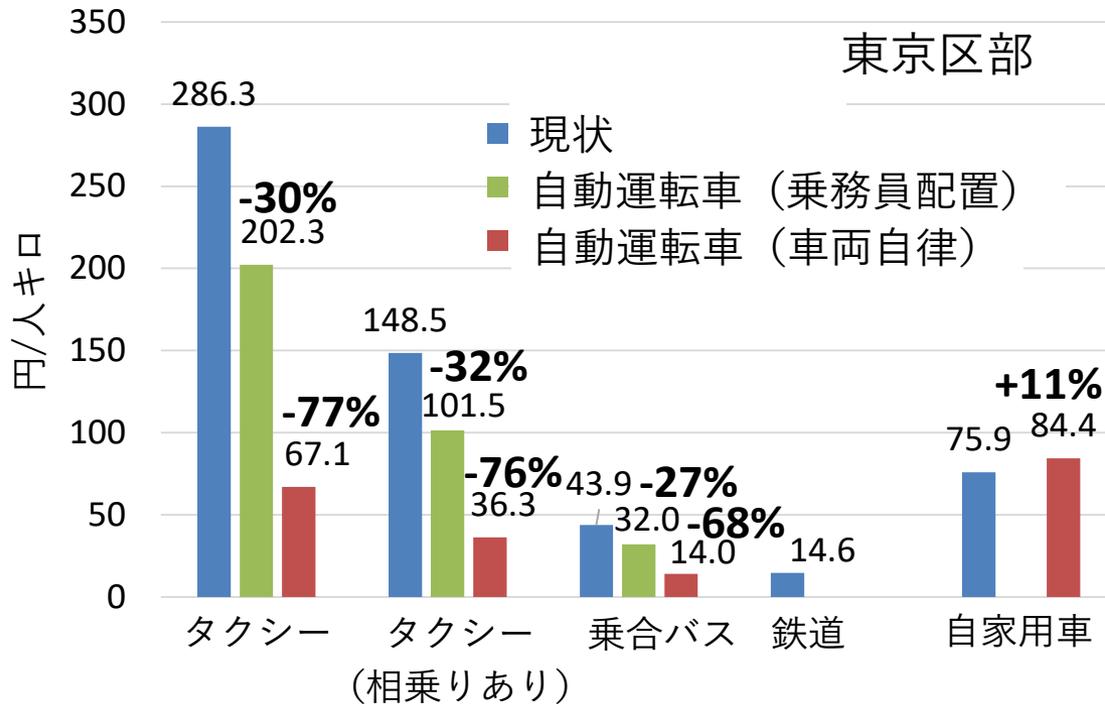
乗合バス・鉄道

	人キロあたり営業費 (対象都市の値)	人キロあたり運送人件費 (対象都市の値)
乗合バス	43.87	29.83（営業費の68%）
鉄道	14.65	4.40（営業費の30%）

東京区部：乗合バスは都営バスの値。鉄道は東京メトロと都営地下鉄の（輸送人員重み付け）平均値

全て出典は補足参照

運行コストの算出結果



乗合バス・タクシーとも
乗務員配置型で3割、車両自律型で
7~8割の人キロあたり運行コスト減

自動運転バス・タクシー運賃

- 算出した運行コストに利潤3%を上乗せした額を用いる

鉄道運賃 (比較用)

- 平均運賃を用いる。東京メトロと都営地下鉄の(輸送人員重み付け) 平均値は16.9円/人キロ (鉄道統計年報2015年度)

自家用車費用 (比較用)

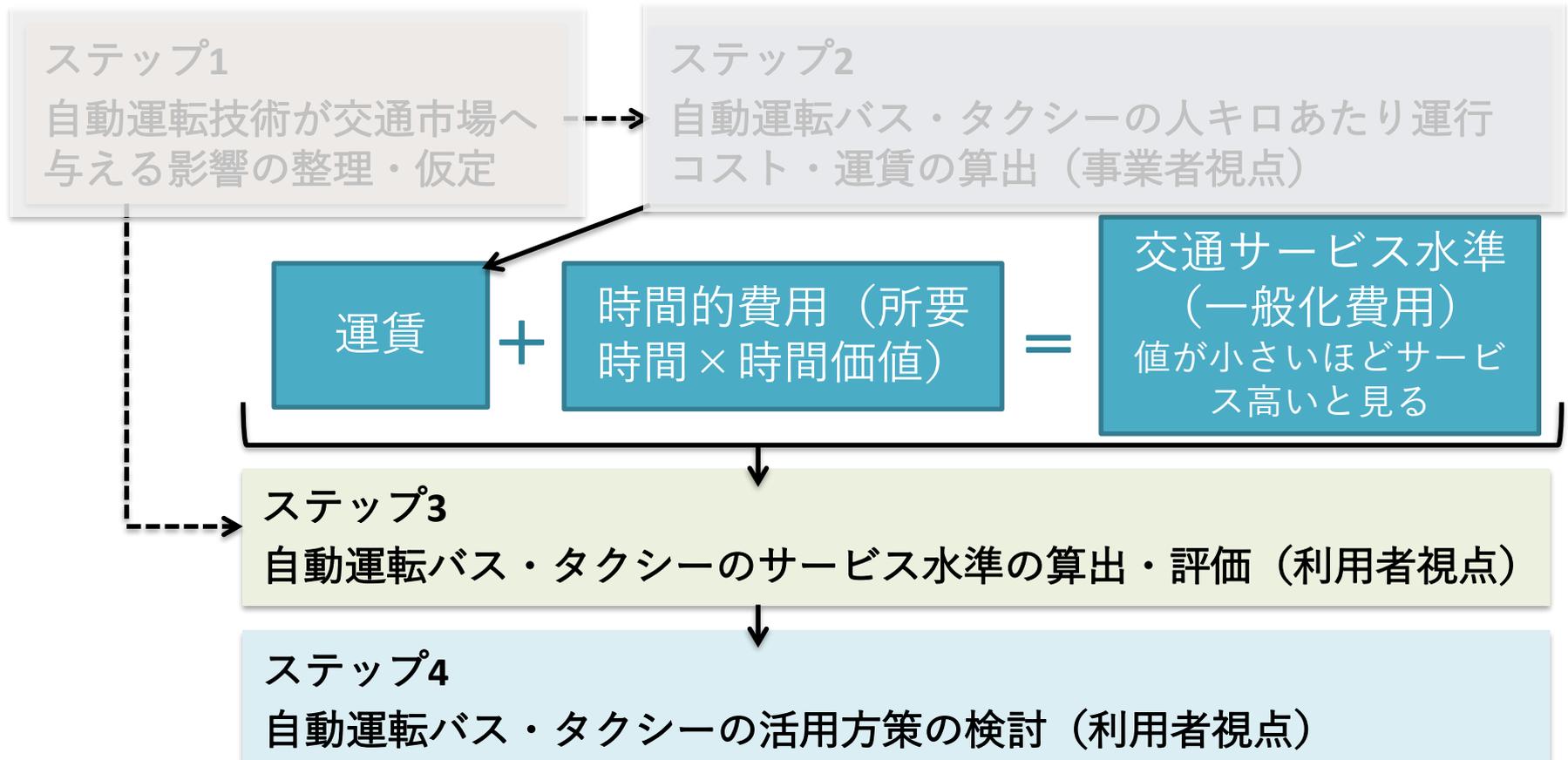
- 算出した費用を用いる

運行コストの現状再現性の確認

- タクシー：区部平均乗車距離4.1km, 乗車人員1.32人だと運行コスト1550円。現行運賃は税抜1610円。利潤3.87%で釣り合う
- 乗合バス：同4.3kmだと運行コスト190円。現行運賃は税抜194円。利潤2.1%で釣り合う

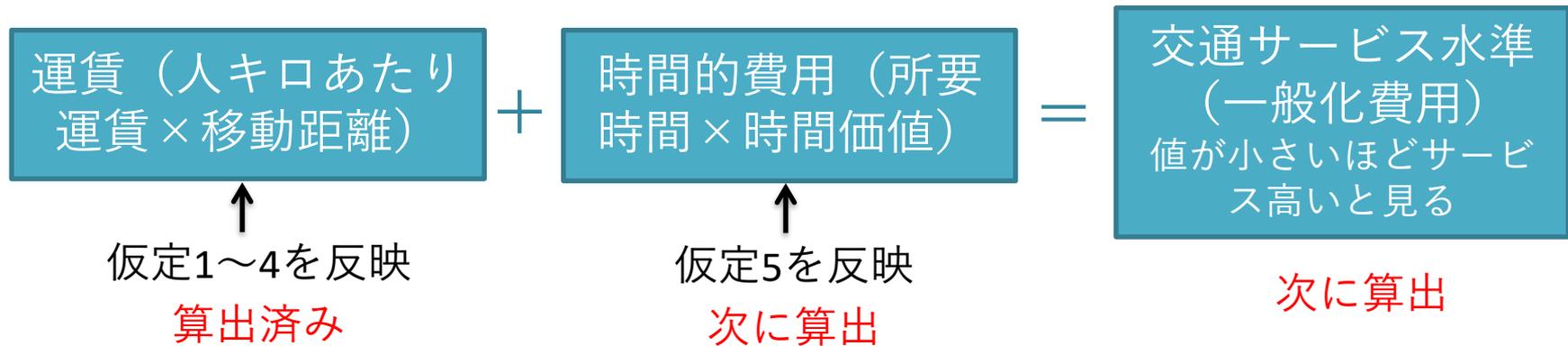
→概ね妥当な結果

ステップ3



交通サービス水準の算出手順

利用者視点：平均的な個人が私事目的の移動をする場合を想定。交通手段と移動距離別（2kmと20km）に算出



自動運転技術の影響の仮定 (前項までのまとめ)	自動運転車（乗務員配置）		自動運転車（車両自律）		
	タク シー	乗合 バス	タク シー	乗合 バス	自家 用車
1. 車両価格上昇	40%増	-	40%増	-	40%増
2. 走行経費減少	1.7%減	-	1.7%減	-	1.7%減
3. 保険コスト減少	10%減	-	10%減	-	10%減
4. 運送人件費の削減	40%減	40%減	100%減	100%減	-
5. 自家用車の操作負荷軽減 (時間価値減)	-	-	-	-	30%減

時間的費用の算出に用いた数値

$$\text{時間的費用 (円)} = \underbrace{\text{所要時間 (分)}} \times \underbrace{\text{時間価値 (交通時間節約価値) (円/分)}}$$

移動距離（2kmと20km）を各交通手段の旅行速度で割って算出

交通プロジェクトの費用便益分析マニュアル等と既往研究から私事移動の値を使う

	旅行速度（キロ/時） （対象都市の値）	交通時間節約価値（円/分） （私事移動：全国平均）			
		2km	5km	10km	20km
タクシー	15.9（待ち時間込み）	6.5	7.5	9.8	12.9
乗合バス	11（表定速度）	6.5	7.5	9.8	12.9
鉄道	30（表定速度）	6.3	8.4	11.0	14.5
自家用車	20.9	7.5	8.6	11.4	15.0

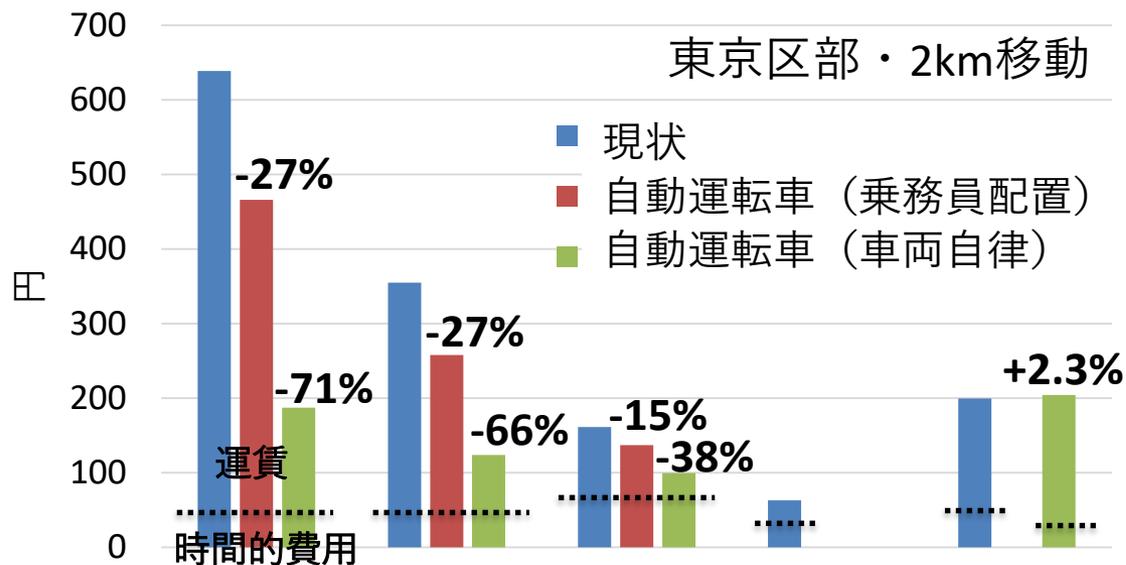
移動距離が短いほど時間価値小さい

出典等

旅行速度 タクシー，自家用車は全国都市交通特性調査(2015)東京区部の結果より。都営バス，地下鉄は表定速度。都営バスは全体平均交通時間節約価値

- 自家用車の移動距離別の時間価値はKato et al. (2013)より（業務以外の目的の時間価値の平均を用いる）。これに交通手段間の時間価値の比率を乗じて、乗合バス，タクシー，鉄道の移動距離別の時間価値を算出
- 乗合バス，タクシー（乗客の値），自家用車（ドライバーの値）の時間価値は「時間価値原単位および走行経費原単位の算出方法（国交省，2008）」より。2016年価格にデフレートして用いる。それぞれ24.84, 24.84, 28.75円/人分
- 鉄道の時間価値は「鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート（交政審，2017）」より。業務以外の目的の時間価値の平均を用いる。27.92円/人分

サービス水準の算出結果（2kmと20km移動の場合）



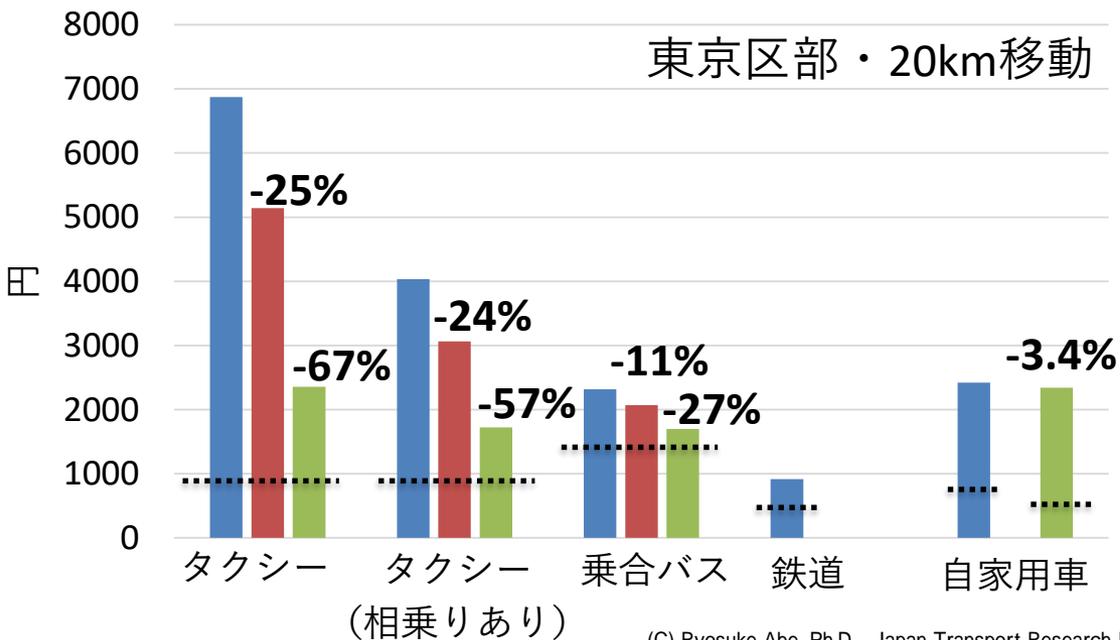
時間的費用は自家用車のみ減で
他は変わらない

タクシーのサービス改善幅は特に
大きい。乗務員配置型で2~3割、
自律型で6~7割改善

(水準は配置型では自家用車より依
然大きいが自律型になると下回る)

乗合バスはタクシーよりサービス
改善幅小さい。乗務員配置型で1~
2割、自律型で3~4割改善

(旅行速度が遅く時間的費用の割合が
大きい)



乗合バス・タクシーとも短距離帯
ほどサービス改善幅大きい

(自家用車は長距離帯ほど改善幅が
大きい)

乗合バス・タクシーとも自動運転
化後も鉄道のサービス水準と強く
競合しない

まとめ

本研究は、都市圏において自動運転バス・タクシーのサービス水準の評価を行った

- ✓ サービスの特徴を理解することは活用方策を考える上での最初のステップとなる
- ✓ 結果は中短期的・より保守的な展望として利用可能（車両価格は最も保守的な値、運送人件費は二通りの値で算出）

自動運転バス・タクシー（レベル4・5）導入の効果（東京区部の結果）

- ✓ 事業者から見ると、乗合バス・タクシーとも乗務員配置型で3割、自律型で7～8割の人キロあたり運行コスト削減

利用者から見ると

- ✓ 乗合バス・タクシーとも時間的費用は変わらない。自家用車利用のみで減
 - ✓ タクシーのサービス改善幅は特に大きい。乗務員配置型で2～3割、自律型で6～7割改善。サービス水準は乗務員配置型 > 自家用車利用 > 自律型の関係
 - ✓ 乗合バスのサービス改善幅はタクシーより小さい。乗務員配置型で1～2割、自律型で3～4割。旅行速度が遅く運賃が改善してもサービス改善幅は小さくなる
 - ✓ 乗合バス・タクシーとも短距離帯ほどサービス改善幅大きい
 - ✓ 乗合バス・タクシーとも自動運転化後も鉄道のサービス水準と強く競合しない
-
- ✓ 短距離帯での導入により公共交通網の利便性を高められる可能性がある。将来的な自律型まで視野に入れると、タクシーの活用が公共交通網の利便性を高めるためにより重要となる可能性がある

今後の予定

本研究では、近年中の実用化が予想される自動運転バス・タクシーを公共交通網の利便性を高めるためにどう使えばよいか詳細に検討していく

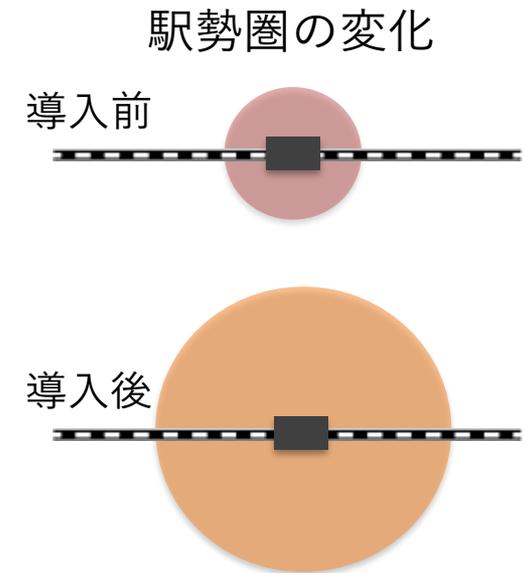
1. 活用方策の詳細な検討

例：鉄道駅へのフィーダー路線への自動運転バス・タクシーの導入可能性の検討

- 検討項目：フィーダー路線への旅客需要、導入後の鉄道乗客数と利用者便益（鉄道アクセシビリティ）への影響
- これまでに算出した数値を用いて分析可能

2. 地域特性（全国10の都市類型別平均値）に応じた活用方策の検討

地方都市圏で公共交通網維持のためどう使えばよいか



ご清聴ありがとうございました

補足

出典：運行コスト（東京区部）

乗用車（車両コスト）

Variable	Value	Assumptions, remarks and sources
$V_{capacity}$ ¹	4	Toyota Prius Model 2015 Grade s (DAA-ZVW50) is chosen as a typical midsize passenger car. Toyota Prius was the best-selling car in the 2017 new car (with a 660cc+ engine) market in Japan. Source: Japan Automobile Dealers Association, < http://www.jada.or.jp/contents/data/ranking.html >, (accessed February 27, 2018). The effective capacity is assumed to be 4.
$V_{acquisition_lifetime}$ ²	2461850	JPY2470000 for new car price. Source: Kakaku.com, Toyota Prius, < http://kakaku.com/item/K0000835947/catalog/GradeID=37691 >, (accessed February 27, 2018). JPY11350 for car recycle cost (deposit on purchase). JPY-19500 for car tax reduction for eco-friendly cars (first year only). Source: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) Tax system related to cars, < http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000028.html >, (accessed February 27, 2018).
$V_{insurance_year}$ ³	72000	JPY12000 for mandatory automobile liability insurance for private passenger cars (660cc+), where JPY35950 (valid 3 years) is divided by 3 years. JPY60000 for the average cost of fully comprehensive insurance for Prius. Source: Kakaku.com, Toyota Prius, < http://kakaku.com/item/70100110054/hoken >, (accessed February 27, 2018).
V_{tax_year} ⁴	39500	Car tax for private passenger cars with a 1500-2000cc engine. The model (DAA-ZVW50) is currently subject to exemption from car acquisition tax (one-time payment) and tonnage tax (every-year payment) by eco-car tax breaks. Source: MLIT, Tax system related to cars, < http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000028.html >, (accessed February 27, 2018). Tokyo Metropolitan Government, Car tax, < http://www.tax.metro.tokyo.jp/kazei/car.html >, (accessed February 27, 2018).

$V_{parking_year}$ ⁵	355200 ⁶	JPY29600 per month for the average parking cost in the special wards of Tokyo. Source: Nippon Parking Search, < https://p-king.jp >, (accessed February 27, 2018). ⁶
V_{other_year} ⁷	7500 ⁸	Mandatory motor-vehicle inspection is required 3 years after new car purchase and every 2 years after the first inspection for private passenger cars. Average cost of the inspection for Prius is JPY19510 (inclusive of the stamp tax of JPY1100). Source: Rakuten Shaken, Toyota Prius, < https://shaken.rakuten.co.jp/carmodel/toyota/prius >, (accessed February 27, 2018). The inspection is required five times in 13 years (the average lifetime of passenger cars (660cc+), listed below); thus the weight of 5/13 is given to JPY19510. ⁸
$V_{maintenance_km}$ ⁹	1.74 ¹⁰	JPY174000/100000km is assumed. Source: < https://www.keicar-info.com/meritto/syoumouhin.html >, < https://www.syaken-kaisetu.com/83.html >, (accessed February 27, 2018). ¹⁰
V_{tires_km} ¹¹	1.0 ¹²	JPY50000/50000km is assumed. This value is approximately same with the tire cost per km for passenger cars in the cost-benefit analysis manual for road projects in Japan. ¹²
V_{fuel_km} ¹³	6.16 ¹⁴	JPY135/liter for gasoline price. 21.9km/liter for (actual) fuel consumption of the model (DAA-ZVW50). Source: e-Nenpi, Toyota Prius, < https://e-nenpi.com/enenpi/carname/685 >, (accessed February 27, 2018). ¹⁴
V_{other_km} ¹⁵	0 ¹⁶	- ¹⁶

出典：運行コスト（東京区部）

乗用車（タクシー用調整値）

$V_{f_{capacity}}$	0	Bösch et al. (2017).
$V_{f_{acquisition_lifetime}}$	-0.3	Bösch et al. (2017).
$V_{f_{insurance_year}}$	+Six0	About JPY420000 for the insurance cost of the current taxi operation per vehicle per year. Data (JPY4.62 per vehicle-km for insurance costs of the taxi operators in Japanese large cities in 2016) are obtained from Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) (2017): Business performance of motor-vehicle transport services, Automobile Business Association of Japan, Tokyo. Average annual vehicle-km of a taxi is 89,352km in Tokyo Metropolis. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
$V_{f_{tax_year}}$	-0.76	JPY9500 for car tax on commercial passenger cars with a 1500-2000cc engine. Source: Tokyo Metropolitan Government, Car tax, < http://www.tax.metro.tokyo.jp/kazei/car.html >, (accessed February 27, 2018).2
$V_{f_{parking_year}}$	0	Car (both private and commercial) owners must have garages for their cars by the garage law; thus no significant increase is expected.
$V_{f_{other_year}}$	+2.6	Mandatory motor-vehicle inspection is required every year for commercial passenger cars. An inverse of the weight of 5/13 equals to 2.6.
$V_{f_{maintenance_km}}$	-0.25	Bösch et al. (2017).
$V_{f_{tires_km}}$	-0.25	Bösch et al. (2017).
$V_{f_{fuel_km}}$	-0.05	Bösch et al. (2017).
$V_{f_{other_km}}$	0	Bösch et al. (2017).

乗用車（その他数値）

$P_{cleaning_LCU}$	1950	Source: KeePer Technical Laboratory, Cleaning price for mid-size vehicles, < http://www.keeperlabo.jp/service/cleaning >, (accessed February 27, 2018).
$P_{driverSalary_LCU/h}$	1846	Average monthly salary of taxi drivers (JPY369200) is divided by their average monthly working hours (200hrs) in Tokyo Prefecture. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
$P_{interest_private}$	0.0265	Tokyo Tomin Bank, Private car loan, < http://www.tominbank.co.jp/for_kojin/kariru/other/mycar/index.html >, (accessed February 27, 2018).
$P_{interest_commercial}$	0.015	Bösch et al. (2017).
$P_{vehicleLifetime_km}$	431760	Average lifetime (in kilometers) of taxis in Tokyo Prefecture. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
$P_{vehicleLifetime_year}$	12.91	Average lifetime (in years) of passenger cars (660cc+) in 2017. National average. Source: Automobile Inspection & Registration Information Association (2017) Average vehicle lifetime, < https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000g7wb-att/r5c6pv000000g7wvq.pdf >, (accessed February 27, 2018).
P_{VAT}	0.08	Source: National Tax Agency, Consumption tax, < https://www.nta.go.jp/taxanswer/shohi/6303.htm >, (accessed February 27, 2018).
$P_{transactionFee}$	0.0044	Bösch et al. (2017).

出典：運行コスト（東京区部）

乗用車（運行パターン）まとめ

ピーク時間帯（7:30-9:30, 17:30-19:30）	タクシー	タクシー （相乗りあり）	自家用 乗用車	
運行時間（自動運転化後）（時）	3.8	3.8	0.32	
運行時間（自動運転化前）（時）	3.8	3.8	0.32	太字は現状の値（東京区部）
実車時間率（%）	57	57	100	
平均乗車率（乗車人数/定員）（%）	33	65	26	
平均旅行速度 (km/h)	15.9	15.9	20.7	その他は一般的な仮定。
平均トリップ距離 (km)	4.6	4.6	15.9	特に相乗りタクシーの
空車距離率（%）	54.7	8	0	データは一般にほとん
メンテナンス（休憩等）のための走行距離率（%）	5	5	0	どない
メンテナンス（休憩等）時間率（%）	5	5	0	
非ピーク時間帯（9:30-17:30）				
運行時間（自動運転化後）（時）	7.6	7.6	0.7	
運行時間（自動運転化前）（時）	7.6	7.6	0.7	
実車時間率（%）	59	59	100	
平均乗車率（乗車人数/定員）（%）	33	60	29	
平均旅行速度 (km/h)	9.4	9.4	18.7	
平均トリップ距離 (km)	2.5	2.5	11.5	
空車距離率（%）	54.7	8	0	
メンテナンス（休憩等）のための走行距離率（%）	5	5	0	
メンテナンス（休憩等）時間率（%）	5	5	0	
夜間時間帯（19:30-7:30）				
運行時間（自動運転化後）（時）	9.6	9.6	0.3	
運行時間（自動運転化前）（時）	8.6	8.6	0.3	
実車時間率（%）	30	30	100	
平均乗車率（乗車人数/定員）（%）	33	57.5	29	
平均旅行速度 (km/h)	13.6	13.6	24.8	
平均トリップ距離 (km)	3.1	3.1	16.1	
空車距離率（%）	54.7	8	0	
メンテナンス（休憩等）のための走行距離率（%）	5	5	0	
メンテナンス（休憩等）時間率（%）	5	5	0	

出典：運行コスト（東京区部）

乗用車（運行パターン）

まとめは前項

Peak hours variables

R_ph_p _{occupancy}	0.26	0.26=1.02/4. Average occupancy (1.02) for private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 National Household Travel Survey (NHTS) by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT).
R_ph_p _{speed}	20.7	Average speed of person trips made by private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_p _{triplength_passengers}	15.9	Average length of person trips made by private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_p _{triplength_taxis}	0	-
R_ph_s _{occupancy}	0.65	Source: ITF (2015).
R_ph_s _{speed}	15.9	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_s _{triplength_passengers}	4.6	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_t _{occupancy}	0.33	0.33=1.32/4. Average number of passengers (1.32) in

		operation. All day average in Tokyo Prefecture. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
R_ph_t _{speed}	15.9	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_t _{triplength_passengers}	4.6	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ph_t _{triplength_taxis}	0.547	Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).

Off-peak hours variables

R_oph_p _{occupancy}	0.29	0.29=1.17/4. Average occupancy (1.17) for private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 National Household Travel Survey (NHTS) by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT).
R_oph_p _{speed}	18.7	Average speed of person trips made by private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_p _{triplength_passengers}	11.5	Average length of person trips made by private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_p _{triplength_taxis}	0	-
R_oph_s _{occupancy}	0.6	Source: ITF (2015).
R_oph_s _{speed}	9.4	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_s _{triplength_passengers}	2.5	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_s _{triplength_taxis}	0.08	Same with the case of Zurich. Source: Fagnant et al. (2015).
R_oph_t _{occupancy}	0.33	0.33=1.32/4. Average number of passengers (1.32) in operation. All day average in Tokyo Prefecture. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
R_oph_t _{speed}	9.4	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_t _{triplength_passengers}	2.5	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_oph_t _{triplength_taxis}	0.547	Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).

Night hours variables

R_ngt_p _{occupancy}	0.29	0.29=1.15/4. Average occupancy (1.15) for private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 National Household Travel Survey (NHTS) by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT).
R_ngt_p _{speed}	24.8	Average speed of person trips made by passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_p _{triplength_passengers}	16.1	Average length of person trips made by private passenger cars (660cc+). Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_p _{triplength_taxis}	0	-
R_ngt_s _{occupancy}	0.575	Source: ITF (2015).
R_ngt_s _{speed}	13.6	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_s _{triplength_passengers}	3.1	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_s _{triplength_taxis}	0.08	Same with the case of Zurich. Source: Fagnant et al. (2015).
R_ngt_t _{occupancy}	0.33	0.33=1.32/4. Average number of passengers (1.32) in operation. All day average in Tokyo Prefecture. Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).
R_ngt_t _{speed}	13.6	Average speed of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_t _{triplength_passengers}	3.1	Average length of person trips made by taxis. Data from the 2015 NHTS by MLIT.
R_ngt_t _{triplength_taxis}	0.547	Source: Tokyo Hire-Taxi Association (2017) Taxicabs in Tokyo 2017, < http://www.taxi-tokyo.or.jp/english/datalibrary/pdf/hakusyo2017all_en.pdf >, (accessed February 27, 2018).

出典：運行コスト（東京区部）

乗合バス，鉄道

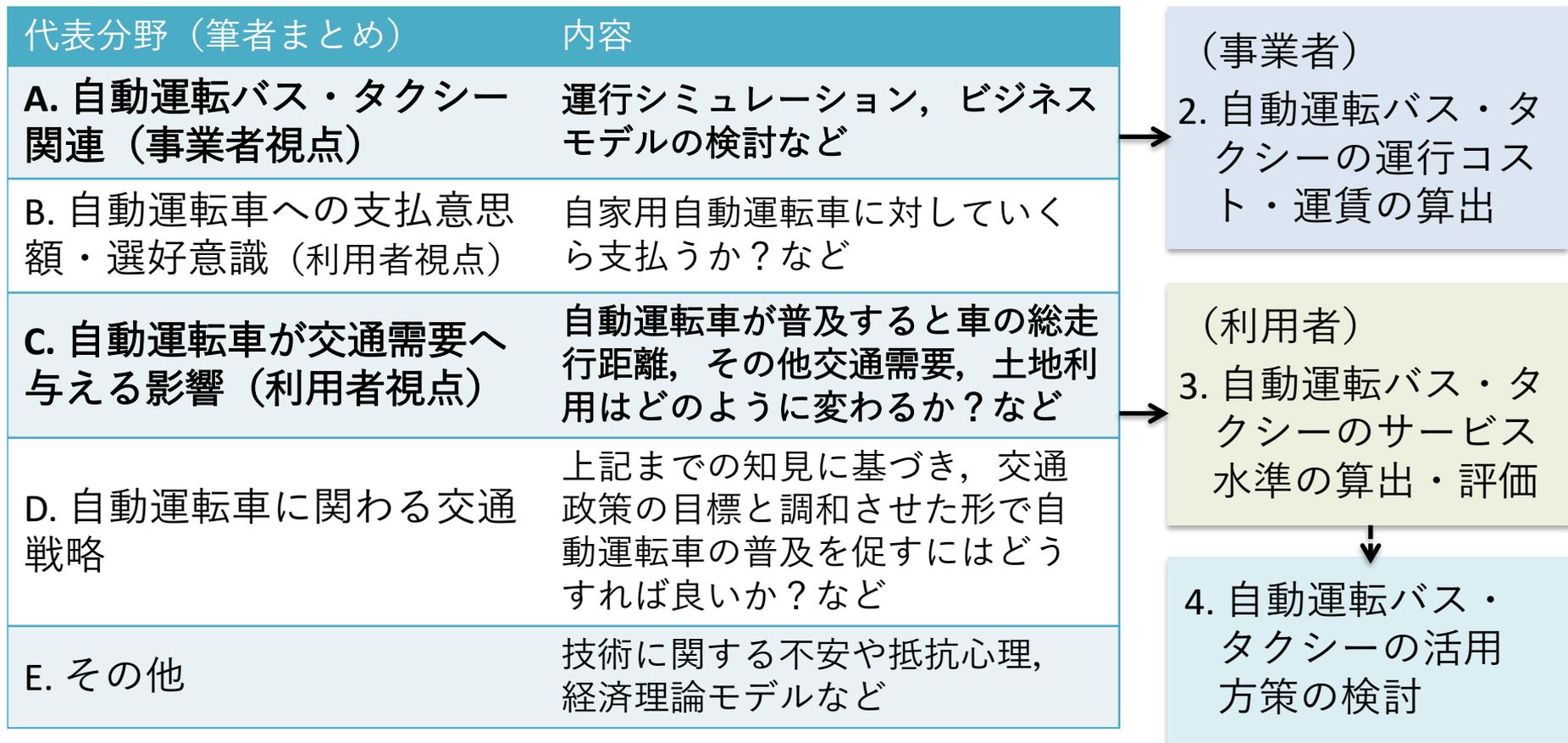
BUS _{capacity}	72	Average capacity of Toei buses in Tokyo Prefecture in 2016. Source: Tokyo Metropolitan Government, Toei bus, < https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/about/service/bus.html >, (accessed February 27, 2018).
BUS _{fullCosts_km}	827.7	Full operating cost per car-km of Toei buses in 2016. Source: Tokyo Metropolitan Government, Toei bus, < https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/about/information/closing/28_closing.html >, (accessed February 27, 2018).
RAIL _{capacity}	120	Capacity of a typical subway car. Average value cannot be obtained. Source: Tokyo Metro, Tokyo Metro lines < https://www.tokyo-metro.jp/corporate/enterprise/passenger_rail/cars/working/index.html >. Tokyo Metropolitan Government, Toei Subway lines < https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/about/service/subway.html >, (accessed February 27, 2018). Note that almost all of the sections of subway lines are in the Special wards of Tokyo.
RAIL _{fullCosts_km}	964.6	Full operating cost per car-km. Average value of operating costs of the two subway operators (Tokyo Metro and Toei Subway). Annual operating-cost data in 2014 are obtained from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2017): Annual report of rail statistics < http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000040.html >, (accessed February 27, 2018). Annual car-kilometer data in 2014 are obtained from the Japan Transport Research Institute (JTRI) (2017): Annual report of urban transportation, JTRI, Tokyo.

PT daily averages

R_da_b _{avOccupancy}	0.262	Passenger kilometers of Toei buses are divided by car kilometers * average car capacity (listed above) of Toei buses. Passenger kilometers are obtained by annual ridership * average in-vehicle trip length (below). Toei buses are operated in Tokyo Prefecture by the Tokyo Metropolitan Government. Annual ridership and car-kilometer data in 2016 are obtained from the Tokyo Metropolitan Government: Toei bus, < https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/about/service/pdf/02car.pdf >, (accessed February 27, 2018).
R_da_b _{avSpeed}	11.02	Average scheduled speed of Toei buses in 2016. Source: Tokyo Metropolitan Government, Toei bus, < https://www.kotsu.metro.tokyo.jp/about/service/bus.html >, (accessed February 27, 2018).
R_da_b _{avTripLength_passengers}	4.27	Average in-vehicle trip length is obtained by travel time expenditures (TTEs) of unlinked trips made by buses multiplied by average scheduled bus speed (above). TTE data are from the 2015 National Household Travel Survey (NHTS) by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT).
R_da_b _{FullEmptyRides}	0	Assumed to be zero in Tokyo.
R_da_f _{avOccupancy}	0.549	Passenger kilometers of subway (Tokyo Metro and Toei Subway) lines are divided by car kilometers of those lines * the capacity of a typical subway car (listed above). Annual passenger-kilometer data in 2014 are obtained from MLIT (2017): Annual report of rail statistics < http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000040.html >, (accessed February 27, 2018). Annual car-kilometer data in 2014 are obtained from Japan Transport Research Institute (JTRI) (2017): Annual report of urban transportation, JTRI, Tokyo.
R_da_f _{avSpeed}	34.5	Scheduled speed of JR Yamanote Line. Most of the subway (Tokyo Metro and Toei Subway) lines have a similar scheduled speed. Almost all of the sections of the listed lines are in the special wards of Tokyo.
R_da_f _{avTripLength_passengers}	7.47	Average in-vehicle trip length is obtained by dividing passenger kilometers of subway (Tokyo Metro and Toei Subway) lines by ridership of those lines. Annual passenger-kilometer and ridership data in 2014 are obtained from MLIT (2017): Annual report of rail statistics < http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000040.html >, (accessed February 27, 2018).
R_da_f _{FullEmptyRides}	0	Assumed to be zero in Tokyo.

既往研究のレビュー

近年、交通計画分野で自動運転車を扱う論文や報告書の出版が世界的に増加



既往研究：A. 自動運転バス・タクシー関連

代表分野

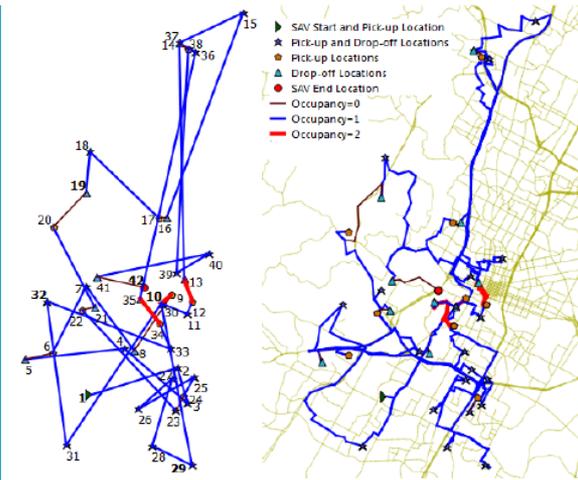
論文

運行シ
ミュレー
ション

- Fragnant and Kockelman (2014, 2016)：Agent-based モデルを利用し都市圏での車両台数と待ち時間の関係，総走行距離を算出（1事業者による運行を想定）．動的相乗り機能も考慮
- 国内外で多くの研究がある（より詳細化や実装を想定したものなど）．例えば山本ら (2017)は名古屋市名東区内での実装を想定
- Liang et al. (2017)：鉄道駅へのアクセスを想定

ビジネス
モデルの
検討

- Burns et al. (2013)：都市圏での総車両台数と待ち時間の関係，人キロあたり運行コストを試算
- Bösch et al. (2017)：タクシー，バス，自家用車が自動運転化した場合の人キロあたり運行コスト算出
- Stocker and Shaheen (2017)：車両の保有主体と運行管理主体に基づいたビジネスモデルや妥当な車両のサイズを提案
- Wadud (2017)：Bösch et al. (2017)と同様のアプローチ．3タイプのトラックの運行コストも算出



テキサス州オースティンでの
運行シミュレーション
(Fragnant and Kockelman, 2016)

- 世界的にビジネスモデルへの関心が高まる
- ステップ2では，Bösch et al. (2017)のアプローチを使い，自動運転バス・タクシーの人キロあたり運行コストを算出
- 本報告ではより保守的仮定で算出

既往研究：C. 自動運転車が交通需要へ与える影響

代表分野

論文

積み上げ型の交通需要予測（自家用普及の影響）

- Sivak and Schoettle (2015ab)：現状の交通行動データと独自の仮定を用いて、車保有と走行距離の変化を算出。米国で年間総走行距離(VKT)75%増（最大）
- Harper et al. (2016)：高齢者と障害者のモビリティ上昇の仮定を用いる。米国でVKT14%増（最大）
- Wadud et al. (2016)：同様に総走行距離とCO₂排出量の変化を算出。米国でVKT10%増（最大）
- Fragnant and Kockelman (2015)：事故減少、渋滞減少の便益から自家用自動運転車(PAV)購入費用を引き、異なるPAV普及率のもとでPAVの社会的便益を算出。米国で全て正（VKT10-20%増と仮定）

統計モデルによる交通需要予測（自家用普及の影響）

- Childress et al. (2015)：シアトル都市圏のactivity-basedモデルを用いた分析。時間価値や交通容量変化の仮定に基づき交通需要の空間的变化を算出。VKT-35%～10%増
- Trommer et al. (2016)：集計4段階推定法により、車利用の一般化費用減少（サービス水準上昇）がドイツとアメリカの交通手段分担率等に与える影響を算出
- Meyer et al. (2016)：交通容量の増加によるスイス各地域のアクセシビリティの変化を算出。郊外のアクセシビリティが高まる（郊外化が促される）

- 自動運転バス・タクシーの需要面からの分析・それに基づく活用方策の提案は行われていない
- ステップ3, 4では、自動運転バス・タクシーを需要面から分析する
- ステップ3は、利用者から見たそれらサービス水準を他の交通機関との比較の上示す（サービス水準は需要の説明変数）

乗合バス・タクシー事業における自動運転：技術面

(論点整理)

乗合バス・タクシーの営業運転に求められる技術（第二種運転免許）

- 第二種運転免許の根拠「多くの乗客を運送し、その動静確認及び安全確保等の通常より高度の運転技術及び運転感覚が旅客自動車の運転に要求されること、また、旅客自動車による事故は多くの人命を損ないかねないなど、第一種免許より一層高度の技能、知識、適性を必要とすることから、他人の生命を預かる旅客自動車の運転がより安全に行われるようにすることを目的（警察庁，2017）」

	普通第二種	中型第二種	大型第二種
運転可能な車両	10人以下	29人以下	30人以上
普通一種保持者の免許取得費用	22-24万円	36-40万円	44-48万円
免許受験資格	21歳以上・普通免許等保有3年以上		

(前橋自動車教習所ウェブサイト)

自動運転（運転安全性向上）は乗合バス・タクシーの営業運転に求められる技術に基本的には適合