

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No. 2020-4

研究テーマ

ダブル連結トラックおよび貨物車隊列走行を
考慮した道路インフラに関する技術研究開発

研究代表者：	東京海洋大学教授	兵藤	哲朗
共同研究者：	中央大学教授	後藤	孝夫
	敬愛大学教授	根本	敏則
	流通経済大学教授	味水	佑毅
	茨城大学教授	平田	輝満
	東京海洋大学教授	渡部	大輔
	東京海洋大学准教授	坂井	孝典
	中日本高速道路株式会社	西川	洋介
	中日本高速道路株式会社	山本	隆

令和5年5月

新道路技術会議

目次

研究概要	1
第1章 はじめに	3
第2章 長大車普及に向けた課題の整理と SA/PA 駐車の需給分析	5
2.1 ダブル連結トラックの市場分析	5
2.2 ETC/FF データを用いた SA/PA 駐車のシミュレーション分析	11
2.3 コンパクトパーキングの課題とわが国への適用可能性	18
第3章 道路交通センサスを用いたダブル連結トラックの潜在需要	26
3.1 道路交通センサスにおける大型貨物車の実態分析	26
3.2 全国道路ネットワークを用いた潜在需要の解析	29
第4章 連結・解除スペースの拠点配置と機能に関する分析	36
4.1 最適化モデルによる拠点配置の考察	36
4.2 長大車および自動運転も考慮した拠点配置のあり方	43
第5章 まとめ	46

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(令和2年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.2020-4	ダブル連結トラックおよび貨物車隊列走行を考慮した道路インフラに関する技術研究開発	東京海洋大学 教授 兵藤 哲朗

「2024年問題」への対応策の一つであるダブル連結トラック車両の増大や隊列走行の運用などで道路インフラに新たなニーズが発生している。その問題把握と解決施策の定量的な検討を研究目的として、SA/PA 渋滞対策、物流拠点配置やそのあり方に関する考察を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的

ダブル連結トラック需要の増大に対応した道路側のインフラ整備が喫緊の課題となっている。短期的にはすでに SA/PA における駐車場不足の問題が発生しており、中長期では、一般道も含めた走行区間の延伸や、隊列走行も考慮した連結・解除拠点の規模と配置など、道路インフラが担うべき新しい役割が数多く存在する。そこで本研究は3つのテーマを設定し分析を進めた。

2. 研究内容

1) WG1 の ETC/FF データを用いた SA/PA の需要分析からシミュレーターを用いた TDM 施策検討を行う。2) WG1 中の企業アンケートによるダブル連結トラック市場分析、およびドライバーアンケートによる SA/PA 混雑要因の分析により、ダブル連結トラックの利用可能性について重要な知見を得た。3) 令和3年には WG1 の追加分析として SA/PA のレイアウトが VISSIM により評価可能であることも確認し得た。4) ドイツのコンパクトパーキング評価シミュレーターの開発も令和4年の WG1 の重要な成果であるし、ドイツの高速道路駐車場運営のノウハウについて現地調査を行うこともできた。5) WG1 の sub テーマであった長大車両の合流部解析は、令和2～3年に行われ、強化学習を用いた新規性の高い分析結果を公開できた。6) WG2 の道路交通センサスと全国の道路ネットワークデータを用いたダブル連結車両の利用区間延伸可能性分析では、令和4年度には全国配分結果を反映した考察がなされた。7) WG3 の連結・解除拠点の最適化計算により、全国における将来の拠点配置の場所と規模について考察し得た。別途、ダブル連結トラックのみならず、自動運転レベル4トラックの登場もふまえた今後の物流拠点のあり方について提言を行い得た。

3. 研究成果

[WG1 : SA/PA 駐車場の実態分析と混雑緩和方策の検討]

ETC/FF データにより、東名上り区間の9の SA/PA を選択肢とする SA/PA 選択モデルと滞在時間モデルを推定し、それらを用いた1週間17万台弱のマイクロシミュレーションモデルを構築した。混雑緩和の TDM 施策の検討例として、1) 駐車マス増加、2) 駐車時間制限、3) 車両大型化、4) 長時間駐車撤廃、5) 情報提供システム導入効果 などについて定量的な分析がなされた。駐車マス増加や情報提供システム導入は SA によりその効果が大きく異なることがわかり、今後の施策展開のヒントとなることが示された。

[WG2 : ダブル連結トラック運用区間延伸の可能性]

令和3年度の DRM データと H27 道路交通センサスを用いた、大型貨物車の利用経路分析に加え、令和4年度は全国配分結果を反映し、時間価値も仮定することで一般化費用最小の分析もなし得た。分析対象は両年度ともに、総重量 20t 以上 25t 未満で、かつ長距離 OD (発地と着地が互いに異なる都道府県であり、かつ高速道路を利用しているもの) を抽出した。全国配分に用いたネットワークデータは、Bゾーン数が 6,490、ノード数が 43,969 の北海道と沖縄を除くネットワークである。配分計算は標準的な BPR 関数を用いた確定的利用者均衡である。最小一般化費用を用いた結果 (図1) から、九州から関東に至る太平洋ベルト地帯、および関越道・東北道の南部で走行需要が高いといえる結果となった。物理的な制約を考慮せずに、現在通行ができない区間で走行需要が高いと考えられる区間をあげると、中国道、北陸道の黒部 IC～長岡 JCT 間、西名阪道等が候補になると考えられる。

[WG3 : ダブル連結トラックなど大型車の連結・解除拠点のあり方について]

ダブル連結トラックなどの活用による大ロット化は、必要となる物流拠点の整備と大いに関連している。そこで全国を対象としたマクロレベルの拠点配置を考察した。

最適拠点配置モデルの解析では、 p -Median 問題（各需要点から施設までの総輸送費用を最小とするように、 p 個の施設の配置及び各需要点の施設への割当を決定する問題）を適用した。本分析では H27 道路交通センサスの大型車 OD を需要として、拠点数を 2~10 まで変化させた時の最適拠点箇所を明らかにした。10 拠点の結果を見ると（図 2）、拠点数が増加するにつれて、太平洋・瀬戸内海側の交通需要の多い地点に立地が進むことが分かった。

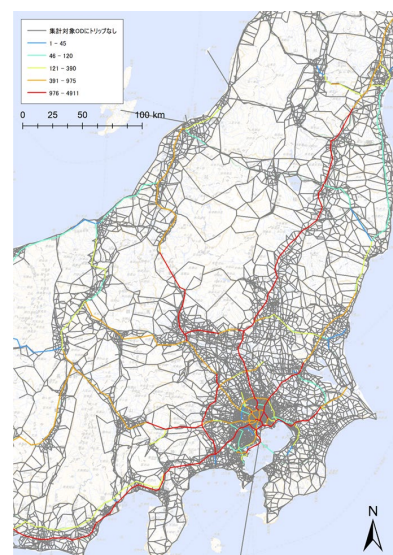


図 1 最小一般化費用を用いた結果

4. 主な発表論文

- 1) Aung, S. and Watanabe, D.: Optimization of Platoon Formation Center for Truck Platooning Proceedings of the 9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 1-25, 2022.
- 2) 東富隆馬, 西崎省伍, 兵藤哲朗, 坂井孝典: 強化学習を用いた長大車の高速道路合流箇所安全性評価, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 78 巻 5 号, pp. I_809-824, 2023
- 3) 渡部大輔, 平田輝満, 坂井孝典, 根本敏則, 兵藤哲朗: 高速道路におけるトラック隊列走行・自動運転に対応した物流拠点の整備に関する研究, 日本物流学会誌, 31, 2023
- 4) Yuki Misui, Toshinori Nemoto, Takao Goto, Tomo Kagabu, "Demand analysis of large-truck parking at expressway rest areas in Japan", ITS World Congress 2022 Conference Proceedings, 2022.Nov.

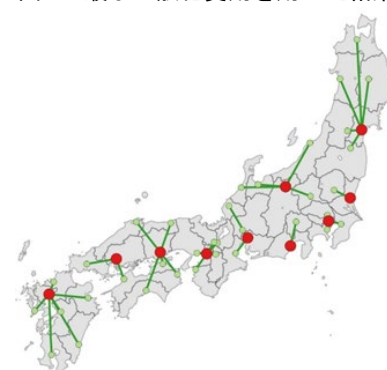


図 2 p -Median 問題の解 (10 拠点)

5. 今後の展望

- 1) まず WG1 で検討した SA/PA の混雑緩和施策は本研究で開発したシミュレーターをさらに高度化して、分析精度を向上させる必要がある。
- 2) ドイツのコンパクトパーキングの評価シミュレーターも今後の SA/PA レイアウトの検討に役立ち得る。
- 3) 強化学習を用いた合流部の安全性評価モデルは、政府目標である「高速道路でのレベル 4 自動運転トラックの実現」において自動運転の合流挙動の妥当性検証の一つの選択肢として機能し得るだろう。
- 4) VISSIM による足柄上り SA のレイアウト検証については、今後、より多くの SA/PA における検討と同モデルの精度検証が不可欠である。
- 5) ダブル連結トラックの運行区間延伸可能性分析は、本研究成果が指摘する missing link も存在しており、今後の延伸可能性の議論の題材足り得る。
- 6) 連結・解除の物流拠点配置問題は、同様の構想を民間の物流事業者が展開しているのを目の当たりにする機会を得たが、本研究成果と類似した結果であったことから同業他社でも本モデルの利用機会があると思われる。
- 7) 物流拠点整備のあり方に関する課題は、本研究で着目した物流拠点におけるサービス提供の方策や、自治体をも巻き込んだ政策立案と実行の道筋に一定の知見を示すことには大きな意義があったと考える。

6. 道路政策の質の向上への寄与

本研究における企業アンケートなどからは、ダブル連結トラック普及の制約条件についても整理をすることができた。物流事業者の営業所の空間的な限界や、ダブル連結トラック車両製作社の供給能力に上限があることから、ダブル連結トラックは指数関数的ではなく、一定の割合で増加することが分かったが、これは道路行政の前提条件として重要な情報となり得るだろう。また、令和 4 年 2 月に民間不動産事業者が城陽市における、高速道路 IC 直結型の自動運転レベル 4 対応の物流施設建設を公表した。令和 4 年度に関連事業者や自治体などへのヒアリングを重ね、関連法についても調査を行い、自動運転レベル 4 も視野に捉えた今後の高速道路直結型の物流施設に関する課題を取りまとめることができたのは、これからの道路施策にとり有意義であると考えている。

7. ホームページ等

特になし

第1章 はじめに

1.1 背景と目的

【2024年問題】本研究を開始した2020年度の総合物流施策大綱の議論の中で取り上げられていた「2024年問題」（運輸業においても、2024年4月から年間残業時間の上限が960時間となる罰則規定が執行されること）であるが、2022年年末頃から盛んにマスコミなどで取り上げられはじめ、社会一般に通用する用語となった。運輸業関係者は極めて深刻な危機感をつのらせており、「荷物が運べなくなるかもしれない」「ドライバー不足で倒産する業者も多数発生するだろう」という現場の意見を多く聞いている。この問題への対応策の一つはドライバー一人あたりの輸送量を向上させることであり、本研究で取り上げるダブル連結トラックや後続無人隊列走行は、その切り札の一つであることは間違いない。

【ダブル連結トラックの登場】本研究代表者の兵藤は2016年9月から始まった、「ダブル連結トラック実験協議会」（国土交通省中部地方整備局）のメンバーとして、全長23m超のダブル連結トラックの実験導入に関わった。当初は既存の全長21mのダブル連結トラックを実験車両として3軸加速計による走行データやドライバーの心拍データなどの解析が行われ、その走行安全性がチェックされた。予想より早く、2017年度にはわが国で最初の全長25mのダブル連結トラックが登場し、大手運輸業を中心に、その導入が加速し始めた。ダブル連結トラック車両の導入は順調に進み、2019年3月には日本通運、ヤマト運輸、西濃運輸、日本郵便の4社による「スーパーフルトレーラーSF25を活用した共同輸送」も始まり、一層の本格稼働時代に突入した。さらには、2021年4月から浜松いなさICにおけるダブル連結トラック専用の路外駐車場の供用も開始された。本研究でもETC2.0データを用いた同駐車場供用前後のダブル連結トラック車両の行動変容の補足を試み、極めて貴重な実データに基づいた解析が可能となった。

【ETC/FFデータの活用】本研究の開始直前から、NEXCO中日本によるETC/FF（Free Flow）データが東名・新東名の多くのSA/PAへの導入が始まった。このデータの活用により、問題視されていたSA/PAに

おける混雑の原因を詳細に特定化することが可能となった。特に平日深夜における大型駐車マスに長時間駐車するトラックが多く、それがSA/PAの大混雑の原因の一つとなっていたが、個々の車両の駐車挙動をETC/FFデータで補足可能なことを本研究でも示すこととする。さらには、2022年4月からの足柄上りSAにおける駐車マスのレイアウトの変更についても、マイクロシミュレーションソフトVISSIMによる解析の有効性も検証する。

【連結・解除のための物流拠点整備】本研究遂行期間中の2022年2月に、城陽市における新名阪高速道路IC直結型の物流拠点の整備計画が公表された。これによりレベル4トラック自動運転を前提とした物流拠点のあり方について新たな考察が必要となった。本研究では、幅広い関係者へのヒアリングを遂行し、道路インフラとしての、この物流拠点整備の今後の方向性について議論を深めていく。

1.2 研究の構成

以上の背景・目的をふまえて、本研究は3つのテーマを設定する。まずWG1ではSA/PA駐車場問題について、実データ（ダブル連結トラック走行実績〔ETC2.0データ〕と、SA/PA駐車場需要〔ETC/FFデータ〕）を用いた、需給量の正確な補足と、それに基づくTDM施策を検討する。方法論の中核をなすのは、駐車滞在時間モデルと、SA/PA駐車場選択モデルを組み合わせたマイクロシミュレーションである。あわせて企業やドライバーへのアンケート調査によるダブル連結トラックの市場分析も行う。さらに、WG1のサブテーマとして、長大車の運用で道路施策の課題の一つとなる、高速道路合流部の安全性評価手法を、強化学習を援用した方法論の開発で試行する。

WG2ではダブル連結トラック走行区間延伸の可能性を、長大車に特化した需要分析およびネットワーク解析から明らかにする。利用するのは2015年の道路交通センサスデータと3種類の全国道路ネットワークデータである。結果から、潜在的なダブル連結トラック運用区間候補などを明らかにする。

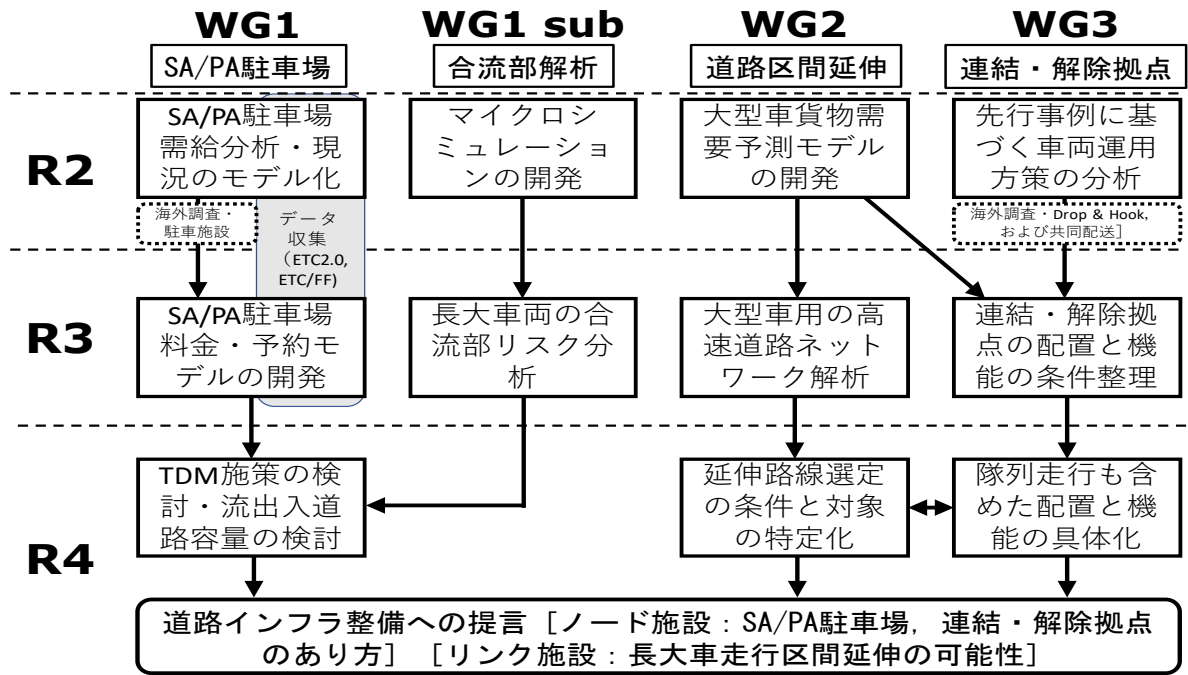


図 1-1 本研究の構成

WG3は、隊列走行をも視野に入れた、連結・解除を始めとする道路上の物流空間の規模と配置に関わる定量分析である。分析結果から、今後の関連ノード施設整備の方向性を明らかにする。さらには、前述した城陽市の物流拠点整備を念頭に置いた、今後の物流拠点のあり方について考察を行う。

最終的には、SA/PAにおける混雑緩和方策、ダブル連結トラックの運用区間延伸への提言、今後のレベル4トラック自動運転も視野に入れた物流拠点整備の方向性などについて具体的な提言を行う。

第2章 長大車普及に向けた課題の整理とSA/PA駐車の需給分析

2.1 ダブル連結トラックの市場分析

(1) はじめに

近年、トラックドライバー不足の解決策のひとつとしてダブル連結トラックをはじめとする貨物車の大型化が期待されている。

本節では、(2)で貨物車の大型化の意義と背景を確認したうえで、(3)で特別積合せ貨物運送（以下、特積運送）を、(4)で自動車部品輸送を、それぞれ取り上げてそこでの貨物車の大型化の現状と課題を検討する。そして(5)で貨物車の大型化の今後の展開について考察する。

(2) 貨物車の大型化の意義と背景

貨物車の大型化は、生産性向上、輸送効率化の具体的施策のひとつとして提起されてきた（社会資本整備審議会・交通政策審議会（2015）、国土交通省総合政策局物流政策課（2021））。たとえば全日本トラック協会（2019）は、トレーラーの大型化効果として①輸送の効率化、②運行コストの削減、③ドライバー不足への対応、④環境対応、⑤道路交通混雑の緩和を、国土交通省（2018）は、ダブル連結トラックの導入効果として①省人化、②環境負荷の削減、③走行の安定性と安全性を挙げている。

一方で、貨物車の大型化は道路施設への負荷や交通安全の問題の原因ともなるため、車両制限令により、車両の寸法と重量の最大値が定められている（一般的制限値）ほか、それを超える車両（特殊車両）の走行にあたっては通行許可が必要とされている。このうち、一般的制限値は、1961年に車両制限令が定められて以降、1971年にセミトレーラ連結車の総重量が緩和されたのみであるのに対し、特殊車両の通行許可基準は、都度、緩和されてきた。特に、フルトレーラの長さに関する許可基準は、2013年11月に19mから21mに、2019年1月に21mから25mに緩和されている。

セミ・フルトレーラ連結車の総重量の最大値の推移を国際的に比較すると、諸外国では従来20t前後としていたものを段階的に引き上げ、1990年代から

2000年前半には44tとなっている。それに対して日本では、2003年に重さ指定道路で25tまで緩和されたものの、その他の道路では1961年に規定された20tから変更がなく、諸外国の半分以下の重量となっている。

なお、根本・今西（2017）によれば、1993年の車両制限令の改正（高速自動車国道と重さ指定道路での通行可能総重量の20tから25tへの引き上げ）により、総重量19～20tの車両が減少し、総重量24～25tの車両が増加した。また、国土面積が同程度のドイツと比べると、日本のトラック保有台数に占める大型車比率は低く、このことは日本において、貨物車の大型化の余地があることを示唆している。

(3) 特積運送におけるトラックの大型化

a) 特積運送と先行研究

特積運送の一般的な作業手順は表2.1-1に示すとおりであり、特に手順3において、貨物車の大型化が有効である。

表2.1-1 特積運送の作業手順

手順	作業内容
手順1	小型・中型トラック等で発荷主から集荷し、発地側の営業所 ^{注1} に集める
手順2	発地側の営業所で方面ごと等に積み替える（荷役）
手順3	大型トラック等で着地側の営業所まで輸送する ^{注2} （幹線輸送）
手順4	着地側の営業所で配送ルートごと等に積み替える（荷役）
手順5	小型・中型トラック等で着荷主に配送する

注1：事業者により名称はさまざまだが、一般に営業所と呼ぶことが多い。

注2：事業者によっては、広域における積み替え機能を主とするハブターミナルを経由することもある。

なお、特積運送に関する先行研究としては、貨物車の大型化による費用低減に関してトラック輸送とインターモーダル輸送を比較した谷口・根本（2001）がある。

ダブル連結トラックを幹線輸送の新たな輸送手段

と捉えれば、「幹線輸送部分において貨物車を大型化することで、距離当たりの輸送費用を減少させることで、荷役費用が増加しても、総費用は減少しうる」との仮説が導かれる。本項では、この仮説を検証すべく、特積運送事業者へのインタビュー調査を実施した。

b) インタビュー調査の概要

インタビュー調査は、特積運送事業者9社の協力を得て、2020年9～12月と2021年11～12月の二度にわたり実施した。調査対象事業者のビジネスモデルは、企業間物流中心（タイプ1：A社～F社）、企業－消費者間物流中心（タイプ2：G社、H社）、両者を半々ずつ（タイプ3：I社）の3種類に分けられる。インタビュー調査における主な質問項目と結果概要は表2.1-2、表2.1-3に示すとおりである。

表2.1-2 インタビュー調査における主な質問項目

主な質問項目	
2020年	(1)営業エリア、運行台数、(2)保有車両の種類と数、(3)営業所等の種類と数、(4)幹線輸送の運行形態と荷役方法、(5)ダブル連結トラックの導入意向
2021年	(6)ダブル連結トラックの導入意向（再度）、(7)パレットの標準化や機械荷役導入の意向（略）、(8)ドライバーの働き方改革や生産性の向上を踏まえた幹線輸送の運行形態の意向（略）

表2.1-3 ビジネスモデルごとの調査結果の概要

タイプ1	
(1)	・全国（A, F）または他社と相互利用（その他） ・自社・グループ会社による運行が中心（全社） ・1日あたりの上り・下りの貨物量のばらつきが大きい ため、運行台数も等しくない
(2)	・10t車中心（A, E）、新規格車中心（その他）、トレーラーは限定的（特車許可、納期、天候が課題）
(3)	・50～150箇所営業所（一部が大規模）（全社）
(4)	・集荷した貨物車が18～19時頃までに営業所に到着し、手荷役（荷姿がばらばらのため）により幹線輸送の貨物車に積み替え、20時～21時頃に発地側の営業所を出発し、翌朝4～7時頃に着地側の営業所に到着（全社） ・2箇所程度の積み込み、3箇所程度の荷おろしが一般的であり、直行便は多くない
(5)	・走行可能道路の制約大、ドライバー不足、十分な貨物量がないため、導入予定なしまたは限定的（全社）
(6)	・A社が2021年にダブル連結トラックの運行開始 ・F社のグループ会社がG社と共同でダブル連結トラックの運行開始
(7)	(4)からの変更なし
(8)	・トレーラー・トラクター方式による中継輸送を積極的に導入、ダブル連結トラックを運行（A） ・中継輸送として、複数の営業所を回る場合はハブターミナルを活用した貨物積み替え方式を、1～2カ所の営業所を回る場合はドライバー交替方式を採用し、中継拠点では積替作業員を確保して輸送と荷役の分離を実現（B）

	・乗継輸送を実施（D, F） ・モーダルシフトに注力（F）
タイプ2	
(1)	・全国（G, H） ・1日あたりの運行台数は上りより下りが多い ・運行台数の8～9割を協力会社が占める
(2)	・新規格車中心（G）、10t車中心（H）、一部でセミトレーラーも使用（G, H）
(3)	・約3,500箇所の営業所・約70箇所のハブターミナルターミナル・数箇所のメガターミナル（G）、約1,000箇所の営業所・約60箇所のハブ（H）
(4)	・ハブターミナルを2箇所経由する運行が全体の7～8割（基本的に18～21時頃発・3～6時頃着だが、日中運行を含むメガターミナル間の高頻度輸送の拡充を計画（G） ・ハブターミナル間での夜間運行が中心だが、中継ハブターミナルの経由もあり（H） ・ロールボックスパレット使用により、短時間で積み替えが可能（G, H）
(5)	・導入済（G, H） ・メガターミナルのスペース制約からピーク時間帯以外に積み替え実施、今後も増車予定（G） ・ハブターミナルのスペース制約、特車許可の困難さや制限などからさらなる導入には慎重（H）
(6)	(5)からの変更点なし
(7)	・機械荷役の導入について、①自動化の促進（投入・積込など）、②仕分け能力の向上、③仕分け粒度の向上のため積極的（G）
(8)	・2024年問題への対応として、中距離路線の中継輸送と長距離路線のモーダルシフトに取組（G）
タイプ3	
(1)	・全国、運行台数の9割程度を協力会社が占める
(2)	・新規格車中心、一部でスワップボディ車、トレーラーも使用
(3)	・約400箇所の営業所・約20箇所のハブターミナル（営業所のうち約60箇所をピーク時間帯以外にハブターミナルとして使用）
(4)	・ほとんどがハブターミナルを1箇所経由し、貨物量の多い一部の営業所間では直行便で運行
(5)	・導入予定なし（営業所等のスペース、手荷役）
(6)	(5)からの変更点なし
(7)	・以前ロールボックスパレットを試行したものの積載率が低下し、運行便数の大幅増が必要となったために断念 ・現在はスワップボディの利用を推進するほか、ロボットアームの導入を検討中
(8)	・スワップボディを増やし、荷役と運転の分離を推進（現時点でドライバーが荷役をしない特別運航便はごく少数だが増加方針） ・スワップボディとヘッドが分離・接続できるよう、今後整備する施設では前方に18m分の余裕を持たせる

c) 分析

調査結果から、タイプ1とタイプ3では、ダブル連結トラックがほとんど導入されていないことがわかった。特にタイプ1は、手荷役による多店積み多店おろしが多く、大型化は難しい。また、時間がかかる

手荷役であるがゆえに10t車を使用している事業者も複数あり、車種選択に時間制約が影響していることがわかった。なお、タイプ3では手荷役を前提に、ハブでも積み替えつつ、総荷役回数を削減することで時間制約を充足していることがわかった。

これに対して、タイプ2ではダブル連結トラックの導入が進んでおり、ダブル連結トラックに必要な貨物量の確保、荷役作業に必要な駐車マスの確保のためにハブターミナルを活用して運行されていることがわかった(図2.1-1)。なお、これによって荷役回数は増えるが、ロールボックスパレットを使用することで荷役時間を短縮し、時間制約を充足していることがわかった。その背景として、B to Cであるがゆえに荷姿が標準的であることがある。

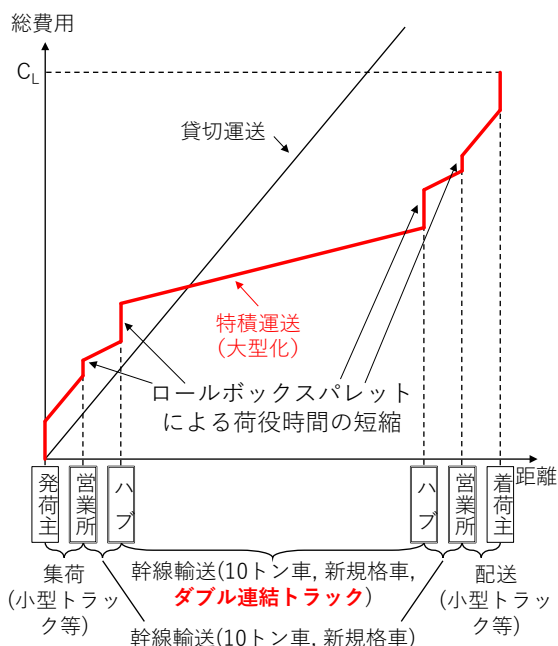


図2.1-1 ダブル連結トラックを利用した特積運送の費用構造 (タイプ2)

以上をふまえると、特積運送の各社の行動は、時間制約下での総費用最小化と捉えられる。ここで総費用は輸送と荷役の費用の総和であり、このうち輸送費用は、一定の貨物量が確保できない限り、ダブル連結トラックは10t車や新規格車より高くなる(荷役費用はドライバーの時間費用が主であり、所要時間に比例する)。

次に、時間制約は発地側の営業所から着地側の営業所までの所要時間であり、翌日配送圏内であれば約12時間以内におさめる必要がある。所要時間も輸送と荷役の時間の総和であり、輸送時間は、車種に関わらず基本的に走行距離に依存する。荷役時間は、1回当たり荷役時間と荷役回数との積であり、前者は貨物量と荷役方法によって大きく異なる。タイプ3は、1回当たり荷役時間は長い荷役回数を少なくすることで時間制約を充足している一方で、タイプ2は、ロールボックスパレットを使用することで1回当た

り荷役時間を短くし、荷役回数を増やしても時間制約を充足していることがわかった。

d) 貨物車の大型化の阻害要因と促進策

以上の議論から、特積運送での貨物車の大型化の阻害要因として2つの要因が導出できる。

第1の要因が、B to B貨物にあわせて構築された既存の運行ネットワークである。タイプ1では、貨物量の少なさを補うため、多店積み多店おろしを採用しており、幹線輸送でも高速道路以外の走行が一定程度必要でダブル連結トラックが使用しづらい。これに対し、タイプ2では、営業所間でハブターミナルを経由させることで貨物量を増やし、ダブル連結トラックが導入できている。ただし、ターミナルのスペースの制約、車両価格の高さなどが課題として指摘されている。なお、タイプ3は、営業所数が少なく、発着貨物量が多いため、荷役回数の少ない運行ができており、ダブル連結トラックを導入する必然性は低い。第2の要因が、荷役方法である。タイプ2では、ロールボックスパレットの使用により荷役時間を短縮化しているが、タイプ1とタイプ3では荷役機器を用いない手荷役が一般的であり、貨物量が増えると時間制約が充足できないため、ダブル連結トラックの導入が進んでいない。

なお、上記の阻害要因をふまえると、貨物車大型化の推進策として次の3点が導かれる。

第1が、既存の運行ネットワークの見直しと事業者間連携の強化である。第2が、荷役方法の変更である。ドライバー不足や労働時間管理の厳格化をふまえると、荷役作業者の確保や荷役機器の導入等を通じたドライバーの負荷の低減、運転以外の作業時間の短縮が必要不可欠である。第3が、ダブル連結トラックにあわせた特殊車両の通行許可基準の緩和である。現行のダブル連結トラックは、長さが緩和された一方で総重量が緩和されておらず、タイプ1にみられる重量勝ちの貨物を取り扱う事業者には導入のメリットが小さい。

e) 特積運送のビジネスモデルの理論的検討

特積み事業者へのインタビュー調査結果を踏まえて、ここでは標準的な経営戦略論からみた特積み事業者のビジネスモデルの特徴とその特徴を踏まえた貨物車の大型化を促進させる方策を検討する。

標準的な経営理論であるSCP戦略とRBV理論から特積み事業者のビジネスモデルを理論的に検討する。入山(2019)によれば、SCP理論の骨子は、「完全競争から離れている業界ほど安定して収益性が高い」ことである。一方、RBV理論の骨子は、①企業リソースに価値があり、希少な時、その企業は競争優位を実現する、②さらに、そのリソースが、模倣困難で、代替が難しい時、その企業は持続的な競争優位を実現することである。リソースの模倣困難性は、①蓄積経緯の独自性、②因果曖昧性、③社会的複雑性で特徴づけられる。

このような2つの標準的な経営戦略論の考え方にイノベーションの考え方を加えた3つの競争のタイプ（①IO型の競争、②チェンバレン型の競争および③シュンペーター型の競争）を提案した研究に、Barney (1986)がある。

この競争タイプを特積み事業に当てはめると、第1に、IO型の競争タイプは、規模の経済性が生じている特積み事業、とりわけB to C型事業に適用できる競争のタイプと思われる。このため、宅配便事業に代表されるB to C型の特積み事業者に対しては、自律的な企業活動を妨げない政策（たとえば、規制緩和など）が求められる。

第2に、チェンバレン型の競争タイプは、B to B型の特積み事業者に該当すると思われる。B to B型の特積み事業者は、各社のリソースを最大限活用して、既存の運行ネットワークや荷役方法を構築してきた。このようなチェンバレン型の競争下に置かれていると考えられるB to B型の特積み事業者からみた貨物車の大型化は、チェンバレン型の競争からIO型の競争への移行を意味しており、現在の競争優位を失いかねない。IO型の競争タイプで競争優位を得るためには、規模の経済性を発揮すること、つまり多額の施設整備が必要となることを意味し、貨物車の大型化を行う便益を超える費用がかかる可能性が高いことがわかる。このように、標準的な経営理論からみると、B to B型の特積み事業者が貨物車の大型化に二の足を踏んでいる状況が説明できる。

しかしながら、B to B型およびB to C型問わず、これからの特積み事業は、DX、自動運転および労働力の減少など、以前よりもかなり市場環境が不確実になることが予測されている。このような不確実性が高く予測が困難な市場環境になると、第3の競争タイプであるシュンペーター型の競争に移行すると標準的な経営理論では考えられている。つまり、特積み事業においても、シュンペーター型の競争に移行することが予測され、これまでのSCPやRBVに基づく戦略が通用しにくい。

そこで、シュンペーター型の競争では、事前の戦略や計画よりも試行錯誤し、環境の変化に柔軟に対応することが重要となることが知られている。したがって、特積み事業者が、試行錯誤し、多様なアイデアを試せる市場環境を政府が整えることが必要となってくる。

しかし、現時点では、たとえば、貨物車の大型化の一つであるダブル連結トラックを運行する際に、行政手続きがかなり煩雑であるなど、シュンペーター型の競争が促される市場環境の創出には必ずしも物流政策が到達していない。このため、まずは事業者が車両の大型化に自律的に挑戦できる物流市場環境構築への支援（たとえば、行政手続きの簡素化、荷物の集約を行う共同輸送プラットフォーム構築への支援や高速道路の休憩施設の整備など、特積み事業者からみて外生的な要因への支援）を政策として行うことが考えられる。

以上をまとめたものが表2.1-4である。

表2.1-4 標準的な経営理論であるSCP戦略とRBV理論から特積み事業者のビジネスモデルを理論的に検討の知見

①	特積み事業は規模の経済がある資本集約的な事業であり、参入障壁が高い事業（とくにB to C型）。
②	B to B型の特積み事業では、チェンバレン型の競争が繰り広げられてきた可能性があり、いかにすればオペレーショナルエクセレンスによる技術サービス優位がそのまま競争力につながっていた。
③	パレットの標準化といった荷役方法の変更は、他企業との企業リソースによる差別化が図れなくなるため（模倣が容易になってしまう）、チェンバレン型からIO型の競争への移行を意味しており、B to B型の特積み事業者からみれば、これまでの企業リソースによる競争が難しくなる。そのため、市場環境が変わらなければ、手荷役主体のB to B型の特積み事業者がパレットの標準化へ自律的に向かうインセンティブは少ない。
④	パレットの標準化など、荷役方法の変更がなければ、貨物車の大型化をB to B型の特積み事業者が自律的に行うのはこれまでの市場環境ではインセンティブが少ない。
⑤	しかし、特積み事業も、今後シュンペーター型の競争に移行することが予測されるなかでは、貨物車の大型化は一つの選択肢としてB to B型の特積み事業者が直面せざるを得なくなるのではないかと。
⑥	その際に、特積み事業者が車両の大型化に自律的に挑戦できる物流市場環境構築への支援（たとえば、行政手続きの簡素化、荷物の集約を行う共同輸送プラットフォーム構築への支援や休憩施設の整備など、特積み事業者からみて外生的な要因への支援）を物流政策として行うことが必要。

(4) 自動車部品輸送におけるダブル連結トラックの導入

a) 自動車部品輸送と先行研究

自動車部品輸送は、部品メーカーと自動車メーカー間の輸送であり、輸送トンキロで貨物輸送全体の約5%を占め、またその約8割が一車貸切の営業用トラックで行われている。

自動車部品輸送では、自動車メーカーの工場の周囲に立地する部品メーカーが、受注した部品をメーカーの工場にJIT納入してきた（石原ら（2008））。根本・橋本（2010）は、小ロット多回納入にともなう「細い物流」を「太い物流」とするための集約化手法として、「ミルクラン」、「出発地混載」、「中継地混載（クロスドック方式）」の3種類を示している。

b) 荷主の取り組みの検討

はじめに、荷主による自動車部品輸送の効率化について、2021年9月に本田技研工業（以下、ホンダ）に対して実施したインタビュー調査にもとづき整理する。

ホンダでは、ドライバー不足問題や地球温暖化問題などを背景として、国内で約500社の部品メーカー

からの調達物流の効率化に取り組んでおり、その中心は集約化による輸送の効率化である。従来は、部品メーカーがホンダの生産拠点まで届ける方式（図2.1-2の「取引先物流」、現在でも過半を占める）だったが、この場合、低い積載率や非効率な在庫、納入のトラックの輻輳などが生じていた。この問題に対し、ホンダでは、2011年5月にクロスドッキングセンター（XD）を設置し、ホンダが取引先の工場まで引取りに行く方式（図2.1-2の「引取り物流」）に着手したほか、2018年8月からは取引先がXDに納入し、XDから先はホンダの運営の下で輸送する方式（図2.1-2の「幹線物流」）を進めている。そのうえで、現在は狭山XD－鈴鹿XD間の輸送において、10～20の取引先の自動車部品を混載したダブル連結トラックを1日1便運行している。

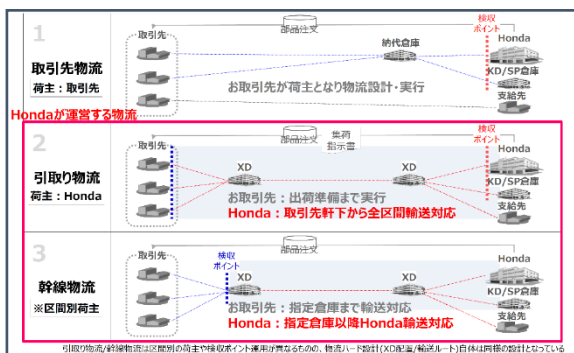


図2.1-2 ホンダの部品調達物流システム
出典：ホンダ提供資料

取引先－ホンダ間の距離、車両、積載率を表2.1-5のように整理した場合、その労働生産性は約4倍に向上し、混載とダブル連結トラックの導入効果が大きいことがわかる。

[改善前] $(10 \times 34.1\% \times 40\text{km} + 10 \times 42\% \times 420\text{km}) / (1.33 \text{人} \cdot \text{時} + 6.17 \text{人} \cdot \text{時}) \div 253.4$
 [改善後] $(10 \times 58.1\% \times 40\text{km} + 20 \times 85\% \times 400\text{km}) / (1.33 \text{人} \cdot \text{時} + 5.5 \text{人} \cdot \text{時}) \div 1029.1$

表2.1-5 輸送効率化の効果の試算仮定

区間	取引先－ ホンダ狭山	取引先－ ホンダ三重	ホンダ狭山－ ホンダ三重
距離/所要時間	40km/80分	420km/370分	400km/330分
車両(積載量)	10t車 (10t)	10t車 (10t)	ダブル連結 (20t)
積載率(改善前)	34.1%	42%	—
積載率(改善後)	58.1%	—	85%
労働投入量	1.33人・時間	6.33人・時間	5.5人・時間

出典：筆者作成（積載率はホンダ提供資料参照）

c) 物流事業者の取り組みの検討

次に、物流事業者による自動車部品輸送の効率について、2021年3月に日本梱包運輸倉庫株式会社（以下、日梱）に対して実施したインタビュー調査にもとづき整理する。

日梱は、国内外で四輪・二輪の完成車や部品物流をおこなっており、ホンダの自動車部品輸送も担っている。日梱はダブル連結トラック（主に21m車）を110セット導入しており、導入のきっかけは、上述した2013年の特車許可の基準の緩和、目的は輸送の効率化とCO₂排出量の削減であった。日梱では、大津から北上に至る全国的な幹線輸送においてダブル連結トラックを使用しており、中継輸送によるドライバーの負担軽減を実現している。

調査結果にもとづき、特に運用面からダブル連結トラックの導入の課題をまとめたものが表2.1-6である。日梱は従来からウイング車（荷役はフォークリフトを用いた機械荷役）を利用してきていたため、特積運送のように荷役方法が阻害要因とはなっていないが、多数の車両を運行している経験から、施設、車両、運行方法の多方面におよぶ課題が抽出された。

表2.1-6 ダブル連結トラック導入上の課題

(1) 施設（営業所、SA・PA）に関する課題
<ul style="list-style-type: none"> ・ 自社営業所・荷主施設の敷地が狭い（スペース制約） ・ SA・PAの混雑（特に夜間：中継輸送に支障） ・ SA・PAの駐車マスや車路が狭い ・ SA・PAでの乗継可能性
(2) 車両に関する課題
<ul style="list-style-type: none"> ・ 車両価格の負担（大型車2台分とほぼ同等であり、必ずしも費用低減につながらない） ・ 代替車両の確保（車検時、ドライバー欠勤時） ・ 一般的制限値（総重量、エンジン馬力向上が必要）
(3) 運行方法に関する課題
<ul style="list-style-type: none"> ・ ドライバーの確保、時間管理 ・ ドライバーの教育研修（個社では負担大） ・ 荷主の理解（到着時刻の設定、運賃の調整） ・ 荷量の確保（トレーラ稼働率の平準化） ・ 特車許可の申請手続きが大変 ・ 都市高速の制限、一般道の走行困難 ・ 冬季の路面凍結や勾配のある区間での走行

なお、日梱では、2020年4月に開始した、全国的な混載輸送サービスでもダブル連結トラックを積極的に活用している。このことから、ダブル連結トラックの利用拡大にあたり、より高い積載率の実現が重要なことが確認できる。

(5) 今後の貨物車の大型化に向けて

以上みてきたように、ダブル連結トラックの導入をはじめとする貨物車の大型化は、幹線輸送の生産性向上の方策のひとつであり、運行の効率化や省人化、環境改善などが期待されることが明らかとなった。

それでは、特積み事業者以外の一般貨物自動車運送事業者（以下、一般貨物事業者と表記）は貨物車の大型化を進めるインセンティブを持つのだろうか。ここで、一般貨物事業は「基本的に一荷主の貨物をトラックに積載して、発地から着地に単純に輸送する」事業である（齊藤（2003））。

一般貨物事業者の多くは小規模かつ労働集約的で

あると言われる。そのため、一般貨物事業者の経営からみた車両の大型化は、労働生産性の向上から運転者の年間所得額の向上につながり、運転者の労働環境を改善しつつ、一般貨物事業を持続可能な成長軌道にのせる可能性がある。

くわえて、高速道路上のSA・PAで休憩・休息をとる大型車の所属は小規模事業者が約6割で、一般貨物事業であることも明らかとなっており、高速道路上のSA・PAにおける大型車の駐車マス不足問題からみても一般貨物事業での車両の大型化が重要であることも示唆できる。

一方で、ほぼ中小企業である一般道路事業者が車両の大型化を自発的に実施することは経営環境からみるとかなり困難である。そのため、ダブル連結トラックを含めた車両の大型化を一層促進するためには、一般道路事業者の経営分析のみならずサプライチェーン全体を分析する必要がある。「持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）」でも指摘の通り、荷主企業も含めたサプライチェーン全体で生産性向上に取り組む必要があり、車両の大型化促進も物流市場の構造変化を促す必要があるといえる。

今後の研究課題として、車両の大型化要因を検討するうえで、諸外国での事例も分析する必要がある。また、運賃など荷主からみた物流事業者の選択要因の検討もあわせて必要であると思われる。

2.1の参考文献

- 1) 社会資本整備審議会・交通政策審議会（2015）「今後の物流政策の基本的な方向性等について」
- 2) 国土交通省総合政策局物流政策課（2021）「物流生産性向上に資する幹線輸送の効率化方策の手引き」
- 3) 全日本トラック協会（2019）「トレーラーの大型化による輸送効率化促進ハンドブック」
- 4) 国土交通省（2018）「社会資本整備審議会道路分科会基本政策部会第17回物流小委員会資料1-2」
- 5) 根本敏則・今西芳一編著（2017）『道路課金と交通マネジメントー維持更新時代の戦略的イノベーション』、成山堂書店、pp.35-36
- 6) 谷口栄一・根本敏則（2001）『シティロジスティクス』、森北出版、p.107
- 7) 入山章栄（2019）『世界標準の経営理論』ダイヤモンド社
- 8) Barney, B. J. (1986). Types of Competition and the Theory of Strategy: Toward an Integrative Framework. *The Academy of Management Review*, 11(4):791-800.
- 9) 石原伸志・橋本雅隆・林克彦・根本敏則・小林二三夫・久米秀俊・稲葉順一（2008）「タイの日系自動車メーカーにおけるミルクラン調達に関する一考察」『日本物流学会誌』、16号、pp.161-168
- 10) 根本敏則・橋本雅隆編著（2010）「自動車部品調達システムの中国・ASEAN展開ートヨタのグローバル・ロジスティクス」、中央経済社
- 11) 齊藤実（2003）「規制緩和とトラック運送業の構造」『IATSS Review』 29（1）、pp. 44-51.
- 12) 持続可能な物流の実現に向けた検討会（2023）『持続可能な物流の実現に向けた検討会 中間とりまとめ』
- 13) アクセンチュア（2021）『物流市場における競争環境や

2.2 ETC/FFデータを用いたSA/PA駐車シミュレーション分析

(1) 背景・目的・データ概要

近年 SA/PA 駐車場の混雑が問題となっている。小型車両では、特にゴールデンウィークやお盆などの繁忙期には本線まで渋滞が起きるほど混雑し、大型車両においては、労働基準法により、長距離走行には8時間以上の休息が必要となったことで、特に平日深夜の長時間駐車が多く、混雑の原因になっている。今後、ダブル連結トラックや隊列走行などの長大車両の円滑な運用を実現させるためには、ドライバーが安心して高速道路を利用できるように、混雑時にも需要を分散させ SA/PA 駐車場を効率的に運用する必要がある。

本節では東名と新東名を管轄するNEXCO 中日本の ETC/FF (ETC Free Flow) データを使用して、駐車需要分散施策の評価を行う。ETC/FF データとは、SA/PA の出入り口に駐車場の混雑状況を把握するための路車間無線通信機器を設置し、その履歴から、個々の ETC 車両における SA/PA 入出時刻や IC 入出時刻が把握できるデータである。初めに、SA/PA の利用特性に関するモデルを用いて、どの要因がどの程度 SA/PA 選択に寄与しているか把握することで、近隣 SA/PA への分散を図るための知見を得る。その後、モデルをふまえて構築したシミュレーターを用いて、高速道路 SA/PA の駐車需要分散施策の評価を行うことを目的とする。

高速道路の休憩施設に関しては、様々な研究が行われている。特に、多くの研究が行われているのが、高速道路休憩施設の選択行動モデルや利用特性に関する研究である。松下ら²⁾は、中国地方の休憩施設において利用者意識調査を実施し、休憩施設利用状況、休憩施設選択タイミング、選択利用等について分析を行っている。平井ら³⁾は、休憩行動に影響を与えると想定される休憩施設の属性の分析を行った上で、休憩施設到着時までの交通行動や施設属性等を説明変数とし、施設到達時の行動を被説明変数とした、ETC2.0 プローブデータに基づくモデルの推定を行っている。

しかし、高速道路休憩施設における駐車場の混雑問題に関する研究はあまり行われていない。藤井⁴⁾は、複数の休憩施設の駐車状況データ、高速道路本線の交通量データを用いて、高速道路休憩施設駐車率を予測するモデルを構築している。しかし、藤井らの研究では、混雑予想モデルを構築することに主眼が置かれているため、混雑の解決策については検討されていない。また、椎野ら⁵⁾は、休憩施設の利用実態を調査した結果を用いて、現在の休憩施設規模の計画の問題点についてまとめた上で、休憩施設の立ち寄り特性に着目して分析及び混雑問題の対策について検討している。しかし、椎野らの研究は、休憩施設の利用実態を調査した結果から混雑問題の対策についての検討は行っているが、その対策の効

果の分析までは行われていない。よって、本研究では、SA/PA 滞在時間モデルと SA/PA 選択行動モデルを用いてシミュレーションを行い、混雑緩和に関する施策の効果や、車両の大型化等の将来の動向を検証する。

対象の SA/PA は東名高速道路の港北 PA、海老名 SA、中井 PA、鮎沢 PA、足柄 SA、愛鷹 PA、富士川 SA、日本坂 PA、牧之原 SA の9か所である。本論文では、特に混雑が確認できる上り線の大型マスを対象とした。また ETC/FF データは、SA/PA に寄った車両のデータを集計したものであるため、東名高速道路を走行したものの、高速道路走行中に1度も SA/PA に立ち寄りなかった車両データは集計されていない。反対に、1回の走行で2回以上 SA/PA に立ち寄った車両は、立ち寄った回数分のデータが集計されている。

(2) SA/PAの利用特性に関するモデルの構築

a) SA/PA 滞在時間モデルの構築

SA/PA における駐車時間を対象に、duration model を適用した分析を行った。入口 IC・出口 IC とともに、磐田 IC から東京 IC までの IC を利用した車両のうち、駐車時間が3分以上10時間未満の車両を本モデルの推定に用いた。データの対象期間は2022年6月6日(月)0:00から2022年6月26日(日)23:59の間に IC 通過した車両であり、サンプル数は49,108である。

本モデルでは、駐車時間 t の分布にワイブル分布を仮定し、確率密度関数 $f(t)$ 、生存関数 $S(t)$ 、ハザード関数 $h(t)$ を以下のように定式化した。

$$f(t) = \lambda \alpha (\lambda t)^{\alpha-1} e^{-(\lambda t)^\alpha} \quad (2.2.1)$$

$$S(t) = e^{-(\lambda t)^\alpha} \quad (2.2.2)$$

$$h(t) = \lambda \alpha (\lambda t)^{\alpha-1} \quad (2.2.3)$$

また、式中の尺度母数 λ を多変量で説明されることを想定し、サンプル n の表記を加えて、(2.2.4)のようにパラメタライズすることにより、滞在時間を規定する諸要因 x_n を反映することができる。

$$\lambda_n = \exp \left[\beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{nk} \right] \quad (2.2.4)$$

本モデルでは、表 2.2-1 に示す3種類のダミー変数を設定した。推定すべきパラメータは、 β_k と α で、最大化する対数尤度関数は、以下の通りである。

$$L = \sum_{n=1}^N \ln(f(t_n)) \quad (2.2.5)$$

パラメータ推定を行った結果を表 2.2-2 に示す。なお、時刻ダミーの「時刻」は、高速道路入口 IC 通過時刻を用いている。また、パラメータの符号が正

であることは駐車時間が短くなることを意味している。符号を確認すると、曜日ダミーでは休日より平日、時刻ダミーでは24時より20~23時、車種では中型車より大型車や特大車で負の値を示しており、これらの属性では平均駐車時間が長いことが分かる。

表 2.2-1 SA/PA 滞在時間モデルの説明変数

説明変数名	定義
曜日ダミー	日曜日を0に固定
時刻ダミー	0時(24時)を0に固定
車種ダミー	veh.L=大型車, veh.E=特大車 中型車を0に固定

表 2.2-2 SA/PA 滞在時間モデル_推定結果

	Estimate	t value		Estimate	t value
(Intercept)	-4.056	-297.476	hour.11	0.545	37.2
Monday	-0.083	-3.3	hour.12	0.587	38.5
Tuesday	-0.108	-4.3	hour.13	0.783	46.6
Wednesday	-0.089	-3.5	hour.14	0.732	40.3
Thursday	-0.080	-3.2	hour.15	0.623	33.0
Friday	-0.067	-2.7	hour.16	0.339	14.5
Saturday	0.047	1.7	hour.17	0.352	13.0
hour.01	0.258	6.9	hour.18	0.126	3.6
hour.02	0.305	9.5	hour.19	0.089	2.5
hour.03	0.512	20.8	hour.20	-0.138	-3.2
hour.04	0.535	17.9	hour.21	-0.147	-3.2
hour.05	0.690	29.4	hour.22	-0.236	-6.0
hour.06	0.653	33.2	hour.23	-0.173	-4.3
hour.07	0.835	56.9	veh.L	-0.312	-29.1
hour.08	0.831	54.8	veh.E	-0.112	-6.0
hour.09	0.794	67.5	Log(scale)	-0.112	-35.5
hour.10	0.699	54.6			

b) SA/PA 選択モデルの構築

滞在時間モデルと同様に、SA/PA における選択行動を対象に Multinomial Logit (MNL) model を適用した分析を行った。入口 IC・出口 IC とともに磐田 IC から東京 IC までの IC を利用した車両を対象とし、駐車時間が 10 分以上 8 時間未満の車両を本モデルの推定に用いた。対象期間は滞在時間モデルと同様に 2022 年 6 月 6 日(月) 0:00 から 2022 年 6 月 26 日(日) 23:59 である。また、本モデルの推定では、SA/PA の利用可能選択肢が 2 つ以上の車両を抽出し、1 つのトリップで SA/PA を 2 つ以上利用した車両は除外して推定を行った。さらに、足柄 SA と足柄スマート IC を利用した車両、愛鷹 PA と愛鷹スマート IC を利用した車両は、駐車目的とスマート IC 流出目的を分離判定できないため、モデル構築データから除外した。サンプル数は 23,304 である。選択モデルでは、表 2.2-3 に示す 4 つの変数を設定した。「SA 相対位置」は、高速道路出口 IC に近い SA/PA が選ばれやすいことを想定した。「混雑率」には、高速道

路入口 IC を通過した時刻の各 SA/PA の混雑率を用いている。これは ETC/FF データなどにより、入口通過時点で混雑している SA/PA を避ける選択行動を想定している。また入口 IC 通過時点で駐車すべき駐車時間も予め決定されていることを仮定している(「駐車時間」変数は個人変数)。

パラメータ推定を行った結果を表 2.2-4 に示す。SA 相対位置では出口 IC に近い SA/PA を選択することからパラメータはプラス、混雑率³では混雑している SA/PA を選択しないことからパラメータはマイナスで、符号条件を満たしている。また、現在駐車時間平均値から、入口 IC 通過時点で平均駐車時間も SA/PA 選択に影響があることが確認できる。

表 2.2-3 SA/PA 選択モデルの説明変数

説明変数名	定義
SA相対位置	SA/PA-入口ICの距離 出口IC-入口ICの距離
混雑率 ³	$\left(\frac{\text{入口ICを通過した時刻の駐車台数}^3}{\text{大型マス数} + \text{兼用マス数}} \right)$ 1以上の場合は1に固定
車種別・現在駐車時間平均値	入口ICを通過した時刻に、現在各 SA/PA に駐車している車両が平均何分間駐車しているか、車種別の駐車時間長平均値
駐車時間(個人変数)	利用SA/PAでの駐車時間 牧之原SAを0に固定

表 2.2-4 SA/PA 選択モデルの推定結果

説明変数	パラメータ	t値		
SA相対位置	0.785	12.8		
混雑率 ³	-0.283	-6.4		
現在駐車時間平均値[100分]	大型車	-0.426	-15.0	
	特大車	-0.220	-3.6	
	中型車	-0.294	-8.6	
駐車時間 [100分]		-0.435	-5.8	
		-0.570	-9.2	
		-0.510	-7.8	
		-0.214	-3.6	
		-0.364	-6.1	
		-0.262	-4.1	
		-0.019	-0.3	
		-0.189	-3.0	
	定数項		-1.634	-13.3
			0.151	1.5
		-0.440	-5.0	
		-0.529	-6.4	
		0.062	0.8	
		-0.690	-8.8	
		-0.616	-9.1	
		-0.367	-6.7	
サンプル数		23,304		
初期尤度		-47069.55		
最終尤度		-29471.44		
尤度比		0.3739		
自由度調整済み尤度比		0.3734		

(3) シミュレーターの構築

a) 分析対象

シミュレーションの対象車両は2022年6月5日(日)0:00から2022年6月20日(月)23:59に入口ICを通過した車両であり、評価期間は値の安定する2週目の2022年6月13日(月)0:00から2022年6月19日(日)23:59である。シミュレーション内で走行距離を使用するため、磐田ICより手前のICを利用した車両は、入口ICを磐田ICをとし、東京ICより先のICを利用した車両は、出口ICを東京ICとした。総データ数は166,329台であり、シミュレーションを行うシミュレーションデータ(SA/PA利用可能選択枝数が2以上)数は148,244台(89%)、シミュレーションの対象とならないSA/PA利用可能選択枝数が1のデータ(backgroundと称する)数は18,085台(11%)となった。

b) シミュレーションの構造

シミュレーションのアルゴリズムを図2.2-1に示す。各車両のOD、入口IC通過時刻、車種は観測値を使用した。まず、滞在時間モデル(duration model)を適用して駐車時間長を決定し、次に選択モデル(MNL model)で駐車するSA/PAの決定を行う。最後に3次元のTime-Space windowに駐車台数を分単位で記録する。8時間以上の駐車車両は、労働基準法による休息が多く、本分析で採用するMNLモデルではその行動を説明することは困難であった。そのため、8時間以上の長時間駐車は、観測値を用いている。またシミュレーションは500回行い、平均値をシミュレーション値とした。

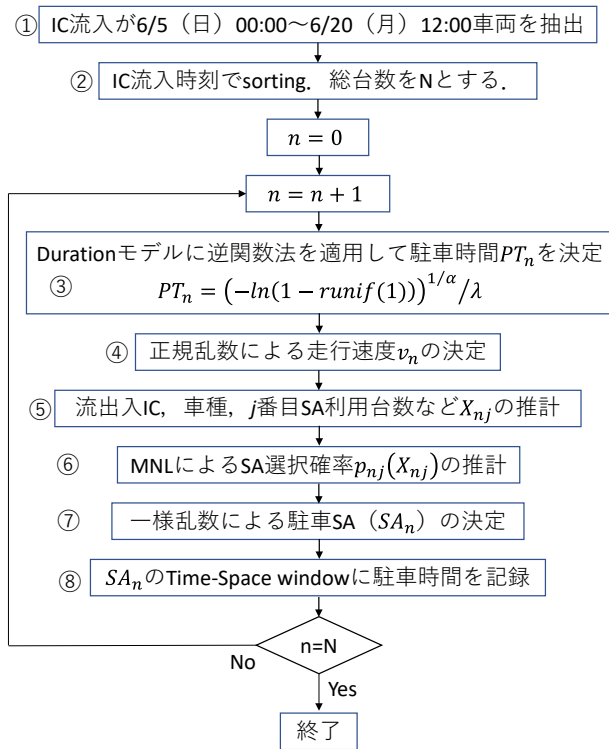


図 2.2-1 シミュレーションのアルゴリズム

c) シミュレーションの妥当性検証

図 2.2-2 に示すシミュレーション結果では、黒が観測値、赤がシミュレーション値であり、縦軸は駐車台数、横軸は月～日の1週間(24時間区切り)である。また緑色の横線は各SA/PAのキャパシティ(大型マス数+兼用マス数)を示す。どのSA/PAにおいても駐車台数の少ない12時前後においては、観測値に近い結果が得られた。しかし、平日夜間のピーク時(0時前後)においては、特に海老名SAや足柄SAの駐車台数が観測値より少なく、富士川SAと牧之原SAの台数が多くなっていることが確認できる。

(4) シミュレーションを用いた施策の効果検証

a) マス増加による施策の効果

アルゴリズム・フローの⑥における、SA/PA選択モデルの説明変数である「混雑率^3」内で、1ヶ所のSA/PAの駐車マス数を100台増加させてシミュレーションを行った。本施策では9ヶ所全てのSA/PAを対象に個別にシミュレーションを行い、シミュレーション結果をbaseケース(2.2(3)c)のシミュレーション値と比較した。表2.2-5にはbaseケースと比較した1週間の立寄り台数の変化量を示す。どのSA/PAの駐車マス数を増加させたときも、マスを増加したSA/PAの立寄り台数が増加し、他のSA/PAの立寄り台数が減少することが確認できた。特に海老名SAの駐車マス数を増加させた場合に551台増加し、最も変化が大きいことが確認できる。また表2.2-6にbaseケースからの最大飽和度の変化量を示す。マスを増加したSA/PAの最大飽和度は大幅に減少するが、他のSA/PAの最大飽和度の変化は少ないことが確認できる。

そこで海老名SAの駐車マス数を増加した場合のシミュレーション結果を図2.2-3に示す。黒がbaseケース赤が推計値であり、baseケースとの変化はあ

表 2.2-5 駐車マス増加による立寄り台数の比較

	駐車マスを増加させたSA/PA									base
	1 港北PA	2 海老名SA	3 中井PA	4 鮎沢PA	5 足柄SA	6 愛鷹PA	7 富士川SA	8 日本坂PA	9 牧之原SA	
港北PA	71	-39	-15	-9	-8	-4	-4	-2	-6	2,924
海老名SA	-17	551	-67	-32	-66	-18	-9	-21	-27	14,886
中井PA	-2	-97	351	-39	-34	-22	-18	-17	-26	8,552
鮎沢PA	-5	-100	-55	221	-34	-25	-12	-27	-3	7,692
足柄SA	-20	-144	-101	-56	225	-39	-9	-34	-19	13,984
愛鷹PA	-8	-50	-24	-17	-27	181	-9	-21	-16	5,395
富士川SA	-13	-40	-35	-29	-22	-36	94	-35	-27	5,336
日本坂PA	0	-39	-22	-21	-13	-10	-12	215	-26	6,686
牧之原SA	-9	-45	-33	-19	-22	-27	-25	-59	148	9,596

表 2.2-6 駐車マス増加による最大飽和度の比較

	駐車マスを増加させたSA/PA									base
	1 港北PA	2 海老名SA	3 中井PA	4 鮎沢PA	5 足柄SA	6 愛鷹PA	7 富士川SA	8 日本坂PA	9 牧之原SA	
港北PA	-168%	-3%	1%	-1%	2%	0%	0%	0%	1%	168%
海老名SA	-1%	-143%	0%	0%	-2%	-1%	0%	-1%	-2%	143%
中井PA	1%	0%	-154%	-2%	-3%	-1%	0%	0%	0%	154%
鮎沢PA	0%	0%	1%	-110%	0%	1%	1%	1%	1%	110%
足柄SA	0%	0%	0%	-1%	-83%	0%	0%	0%	0%	83%
愛鷹PA	1%	-3%	0%	-2%	-1%	-216%	0%	0%	1%	216%
富士川SA	-1%	-4%	-3%	-4%	-2%	-347%	-3%	-5%	347%	
日本坂PA	-1%	-1%	-1%	-2%	-1%	-1%	-3%	-239%	0%	239%
牧之原SA	0%	-1%	-1%	-2%	-1%	-1%	-2%	-1%	-266%	266%

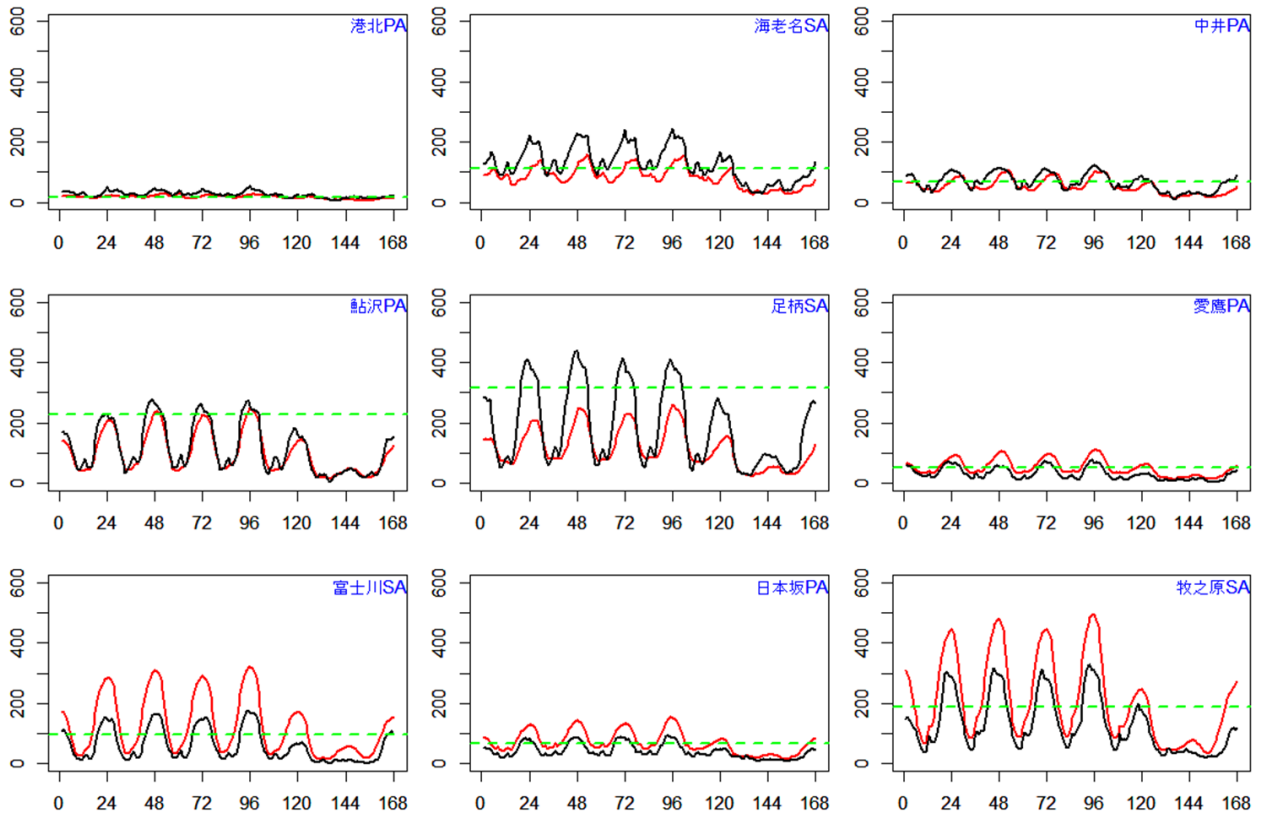


図 2.2-2 シミュレーション結果と観測値との関係

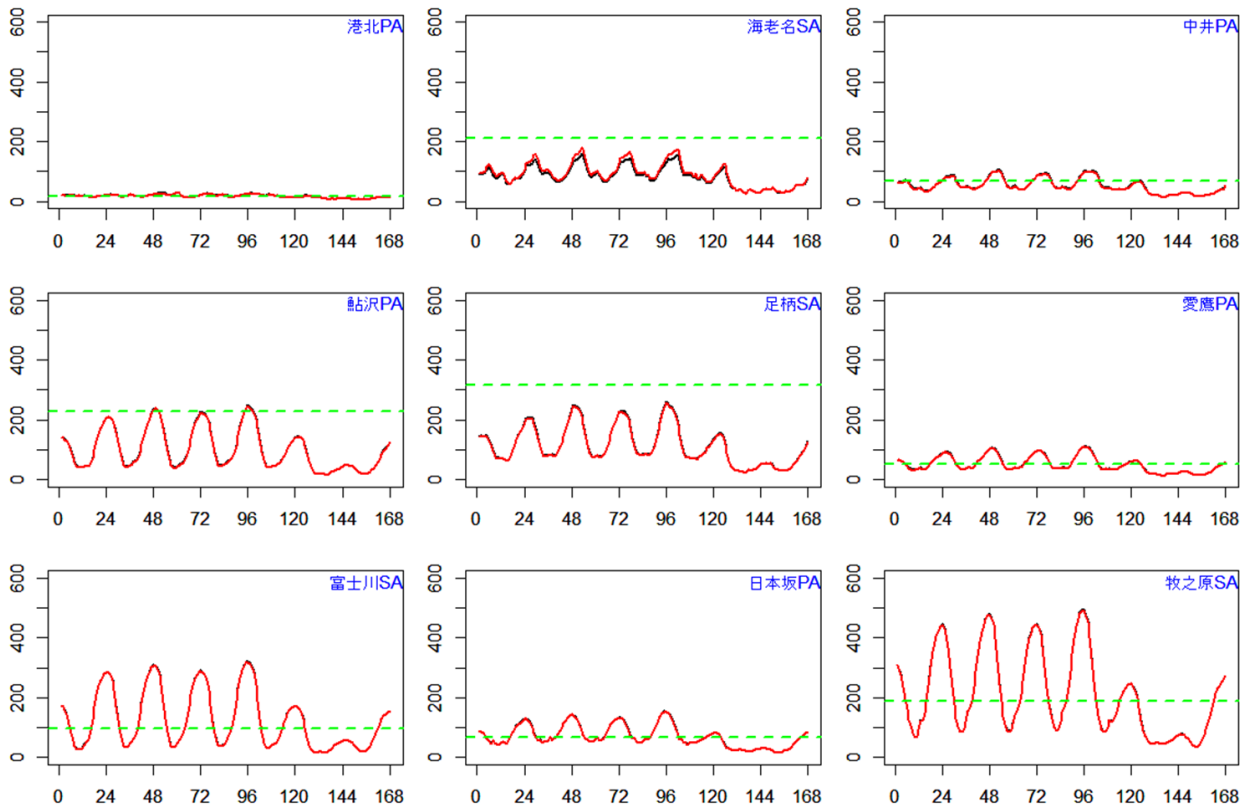


図 2.2-3 海老名 SA の駐車マスを 100 台増加させた場合

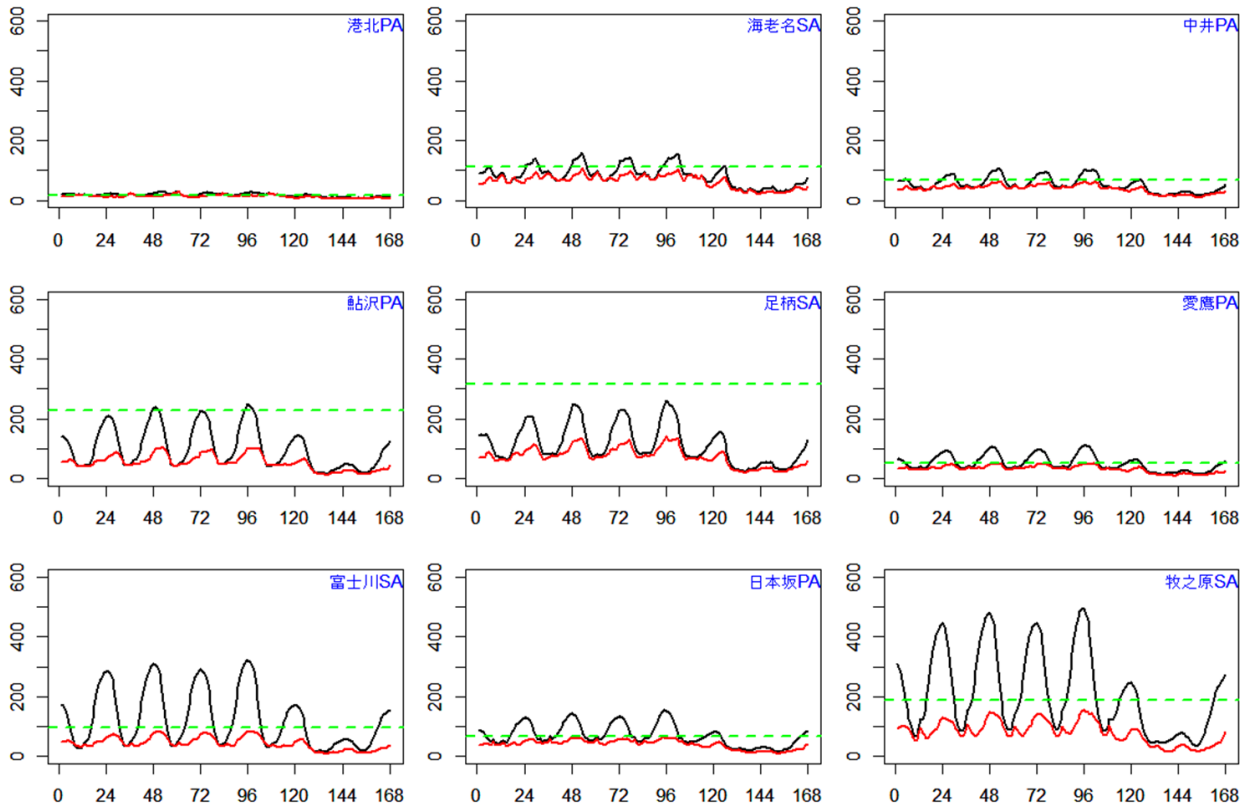


図 2.2-4 長時間駐車車両を減少させた場合

まり確認できない。したがって、駐車マスを増加することによって、施策対象 SA/PA の最大飽和度を大幅に減少することはできるが、他の SA/PA からの相対的な移動は少なく、周辺の SA/PA への影響は少ないことが確認できる。

b) 駐車時間制限施策の効果

長時間駐車車両が駐車マスを占有し、それによる回転率の悪化が混雑の一因であることがわかっている。そこで、9ヶ所の SA/PA のうち、SA の 4ヶ所に駐車時間制限を設けた場合、長時間駐車車両が他の SA/PA に分散することで、周りにどのような影響があるのかを検証する。施策の内容は、ある特定の SA/PA では駐車可能時間長の上限を 60 分にするということであるが、本シミュレーションでは先に駐車時間長の決定を行っているため、⑦の SA/PA 選択モデルによる SA/PA 選択確率の推計の際に、駐車時間が 60 分以上の車両は施策対象の SA を選択肢から外して SA/PA 選択確率の推計を行った。表 2.2-6 に base ケースと比較した 1 週間の立寄り台数の変化量を示す。海老名 SA や牧之原 SA で制限を設けた場合では、予想通り他の SA/PA の立寄り台数が増加している。一方、足柄 SA や富士川 SA で制限を設けた場合、立寄り台数が減少する SA/PA が存在する。これは長時間駐車車両が周辺の SA/PA に移動することによって、駐車マスの回転率が悪化し、立寄り台数が減少するという悪影響を与えることがわかる。以上から、偏った部分的な駐車時間制限では必ずしも全体最適に至らないことが分かった。

表 2.2-6 駐車時間制限による立寄り台数の比較

	駐車時間制限を設けたSA/PA				base
	1 海老名SA	2 足柄SA	3 富士川SA	4 牧之原SA	
港北PA	238	20	1	73	2,924
海老名SA	-1,444	-326	-218	329	14,886
中井PA	-32	-193	-231	165	8,552
鮎沢PA	287	314	-107	190	7,692
足柄SA	254	-951	-467	84	13,984
愛鷹PA	112	104	-203	120	5,395
富士川SA	200	373	780	702	5,336
日本坂PA	132	155	-97	146	6,686
牧之原SA	250	502	538	-1,811	9,596

c) 車両の大型化による変化

いわゆる「2024 年問題」への対応策の一つとしてトラック車両の大型化が注目されている。本施策では、中型車を全て特大車に変更し、車両が大型化した際の変化を考察する。表 2.2-7 に base ケースからの立寄り台数・平均駐車時間長・最大飽和度の変化量を示す。各 SA/PA の平均駐車時間長や飽和度の変化は少なかった。一方、立寄り台数においては、大型化により駐車時間長も長くなる傾向があることから、富士川 SA、牧之原 SA、鮎沢 PA といった平均駐車時間長の長い SA/PA で立寄り台数が増加することが確認できる。車両大型化の効果も SA/PA で異なることは注目すべきといえる。

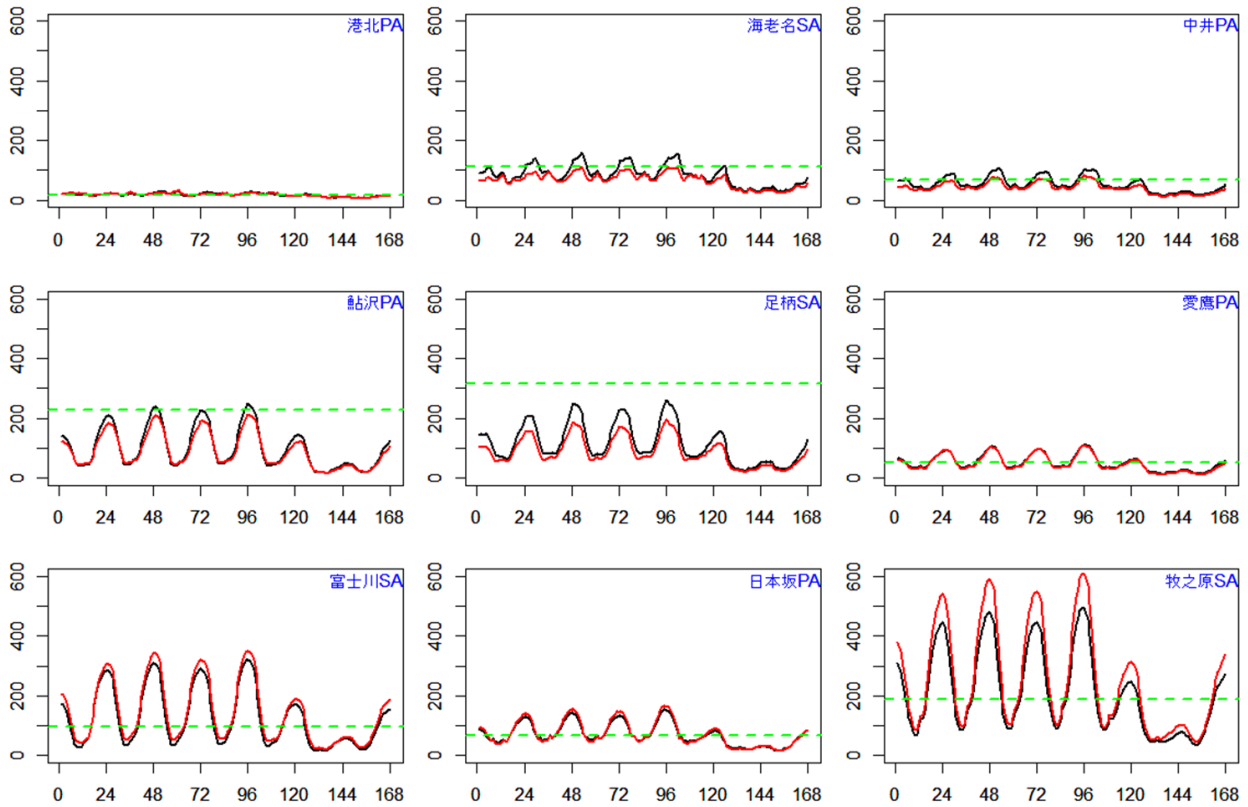


図 2.2-5 混雑情報の提供がなかった場合

表 2.2-7 車両大型化による変化

SA/PA名	立寄り台数(7日間計)		平均駐車時間長[分]		最大飽和度	
	大型化	base	大型化	base	大型化	②base
港北PA	-1	2,924	1	61	3%	168%
海老名SA	-183	14,886	1	57	-1%	143%
中井PA	-104	8,552	1	63	-1%	154%
鮎沢PA	92	7,692	0	132	1%	110%
足柄SA	-53	13,984	1	83	1%	83%
愛鷹PA	-13	5,395	1	96	2%	216%
富士川SA	113	5,336	-2	238	-1%	347%
日本坂PA	-8	6,686	1	107	0%	239%
牧之原SA	157	9,596	-1	222	3%	266%

d) 長時間駐車車両の減少による効果

長時間の休息を行う車両が他の場所で休息を行える環境が整い、SA/PAでの長時間駐車が減少した場合、大幅な混雑緩和が予想される。そこで本施策では、どの程度の混雑が緩和されるのかを検証する。本シミュレーションでは、8時間以上の長時間駐車車両は、駐車時間モデルで再現できないため、観測値を使用している。本施策ではそれを撤廃し、8時間以上の長時間駐車車両にも③の滞在時間モデルで決定した駐車時間長を適用した。

図 2.2-4 にシミュレーション結果を示す。黒が base ケース、赤が推計値であり、平日夜間の 0 時前後の混雑は大幅に緩和されることが確認できる。また表 2.2-8 に base ケースからの立寄り台数・平均駐車時間長・最大飽和度の変化量を示す。海老名 SA、中井 PA、足柄 SA で立寄り台数が減少している。これは、base ケースにおいては、飽和度の高い周辺の SA/PA には駐車できずに流れてきていたが、飽和度

が低下したことにより、本来利用したかった SA/PA に駐車できるようになると考えられる。また牧之原 SA は、最も長時間駐車車両に好まれることから、立寄り台数が減少したと考えられる。

表 2.2-8 長時間駐車車両の減少による変化

SA/PA名	立寄り台数(7日間計)		平均駐車時間長[分]		最大飽和度	
	長時間 駐車減少	base	長時間 駐車減少	base	長時間 駐車減少	②base
港北PA	-86	2,924	-13	61	-7%	168%
海老名SA	-972	14,886	-10	57	-50%	143%
中井PA	-535	8,552	-14	63	-62%	154%
鮎沢PA	949	7,692	-70	132	-64%	110%
足柄SA	-389	13,984	-29	83	-40%	83%
愛鷹PA	237	5,395	-40	96	-118%	216%
富士川SA	633	5,336	-164	238	-258%	347%
日本坂PA	475	6,686	-50	107	-140%	239%
牧之原SA	-317	9,596	-134	222	-184%	266%

e) 混雑の情報提供による効果

本施策では今当たり前となっているラジオやネット、電光掲示板での混雑情報の共有がなかった場合、今ある混雑がどのように変化するかを分析することで、混雑情報の影響を確認する。本シミュレーションでは⑥において、混雑に関する説明変数として「混雑率³」と「車種別・現在駐車時間平均値」の2つを使用しているが、この2つの変数値を0とした時にシミュレーション結果がどう変わるのか検証する。

図 2.2-5 にシミュレーション結果を示す。黒が base ケース、赤が推計値であり、平日夜間の 0 時前後のピーク時に変化が確認できる。また表 2.2-9 に

base ケースからの立寄り台数・平均駐車時間長・最大飽和度の変化量を示す。足柄 SA, 海老名 SA, 中井 PA で 2,000 台前後立寄り台数が減少しており、反対に牧之原 SA と富士川 SA では同程度増加していることが見て取れる。すなわち、後者の 2 つの SA では情報提供による混雑緩和の効果が高いとみなせよう。本シミュレーションでは、SA/PA を利用しない需要からの転換は考えておらず、9 つの SA/PA 間の相対的な増減のみが示されている。当然、混雑情報の提供はこの転換需要にも大きな影響を与えることから、表 2.2-9 の結果だけで混雑情報の効果を判断することはできない。

表 2.2-9 混雑情報の提供による変化

SA/PA名	立寄り台数(7日間計)		平均駐車時間長[分]		最大飽和度	
	混雑情報なし	base	混雑情報なし	base	混雑情報なし	②base
港北PA	97	2,924	-2	61	15%	168%
海老名SA	-2,139	14,886	-3	57	-44%	143%
中井PA	-1,426	8,552	-4	63	-34%	154%
鮎沢PA	368	7,692	-18	132	-15%	110%
足柄SA	-2,457	13,984	-6	83	-22%	83%
愛鷹PA	80	5,395	-6	96	-6%	216%
富士川SA	1,903	5,336	-37	238	31%	347%
日本坂PA	503	6,686	-4	107	16%	239%
牧之原SA	3,064	9,596	-17	222	63%	266%

(5) まとめ

本研究で分析した施策の効果検証をふまえて、3 つの重要な結論を得ることができたと思われる。

第 1 は、駐車マスの効果的な増加方策への考察である。駐車マスを増加する施策によって、駐車マスを増加した SA/PA の最大飽和度は減少するが、周辺の SA/PA への影響はほとんど確認できなかった。この結果から、駐車マスを増加することで、今 SA/PA に立寄っていない車両が新たに立寄れるようになるという効果は期待できるが、SA/PA 間の相対的な移動は少なかったことから、今ある混雑を緩和するには、混雑している全ての SA/PA で駐車マス増加させる必要がある、インフラ整備の財政的な負担が大きいことである。個別対応するにも、本研究で構築したようなシミュレーション分析を通じた事前の効果検証が不可欠であろう。

第 2 は、長時間駐車車両の影響が甚大であることだ。8 時間以上の長時間駐車観測値の代わりに、滞在時間モデルで推定される駐車時間長を使用した結果、平日夜間の混雑は大幅に改善されることが確認できた。この結果から、SA/PA 以外でこのような夜間の長時間駐車を行う場所が整備された場合、今の駐車マス数で十分混雑緩和が期待できるといえる。

第 3 に、混雑情報の提供の重要性である。分析から、特定の SA/PA の混雑回避のために混雑情報の提供が有効であることが確認できた。この結果から、混雑情報の精度をあげたり、より多くの利用者が正確でリアルタイムの情報を得られる環境を整えたりすることで、さらに特定の SA/PA の混雑回避につな

がる可能性があると考えられる。

これらの施策の効果検証の結果をふまえて、施設内容の改善や、駐車ルールの設定、さらに料金体系の見直し等を行い、本来 SA/PA を利用したいドライバーの混雑によるストレスを緩和し、SA/PA で置きたくなく運転による疲労の回復を行えるような環境を作り上げることが理想であると結論付ける。

今後の課題として、本研究では最も観測値の持つ特徴に近づいたシミュレーションモデルを用いて検討を行ったが、特に立寄り台数において海老名 SA や足柄 SA の台数が少なく、富士川 SA と牧之原 SA の台数が多くなっているなど、未だ観測値との差がある程度確認されているので、定数項による調整など、シミュレーションモデルのチューニングが必要と思われる。

2.2 の参考文献

- 1) NEXCO 東日本「休憩施設における駐車マス拡充の取組みについて」, https://www.nexco.co.jp/pressroom/head_office/2021/0428/00009739.html, 2022 年 12 月閲覧
- 2) 松下剛, 熊谷孝司, 野中康弘, 石田貴志: 高速道路の休憩施設選択要因に関する基礎分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.44 (CD-ROM), 2011
- 3) 平井章一, XING Jian, 甲斐慎一郎, 堀口良太, 宇野伸宏: ETC2.0 プローブデータに基づく都市間高速道路の休憩施設選択行動モデルの構築, 交通工学研究発表会論文集, Vol.37 (CD-ROM), 2017
- 4) 藤井篤史, 宇野伸宏, 中村俊之, 山本浩司: 高速道路休憩施設駐車場における混雑予測モデルの構築, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号, pp.A_197-A_206, 2015
- 5) 椎野修, 日比野直彦, 森地茂: 高速道路休憩施設の立寄り特性と混雑対策, 第 43 回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.43 (CD-ROM), 2011
- 6) 高速道路等における大型車長時間駐車対策に関する調査研究委員会_会議資料, 2022 年 10 月 24 日
- 7) 厚生労働省トラック運転者の長時間労働改善に向けたポータルサイト「統計からみるトラック運転者の仕事」, <https://driver-roudou-jikan.mhlw.go.jp/national/index.html>, 2023 年 1 月閲覧
- 8) NEXCO 東日本「高速道路の渋滞対策」, https://www.nexco.co.jp/activity/safety/detail_07.html#d07f, 2023 年 1 月閲覧
- 9) 高速道路 SA・PA における利便性向上に関する検討会・中間とりまとめ参考資料, <https://www.jchdra.go.jp/torikumi/ribenseikoujyou.html>, 2023 年 5 月 2 日閲覧

2.3 コンパクトパーキングの課題とわが国への適用可能性

(1) ドイツにおけるテレマティクス技術を用いた縦列駐車場と駐車台数把握システムの動向調査

2023年1月にドイツにおけるテレマティクス技術を用いた駐車場（以下、本節ではその形状から「縦列駐車場」と呼ぶ）と駐車台数把握システムの動向に関するインタビュー調査をおこなった。訪問概要は表 2.3-1 のとおりである。

表 2.3-1 訪問概要

訪問日程	2023年1月4日8時～13時
インタビュー先	Die Autobahn GmbH des Bundes（アウトバーン有限会社）西支社 ・Ulrich Neuroth 氏：アウトバーン有限会社西支社長 ・Volker Kram 氏：テレマティクスの専門家、維持管理、電子工学担当 ・Thomas Schmitt 氏：計画、技術計画、休憩所の拡張・再整備担当 TelarTec ・Michael Maurer 氏（エリア検知システムの開発者）

ドイツで縦列駐車場が導入された背景として、夜間の貨物車用駐車マスの慢性的な不足問題を抱えている点が挙げられる。ドイツ国内のトラック貨物輸送量は今後も大幅な増加が予測されており、この不足問題は重要な政策課題となっており、連邦交通・デジタルインフラ省（BMDV）は、2020年1月に「5つの重点計画」と題する貨物車駐車マス対策を打ち出しており、縦列駐車場および駐車台数把握システムもその一部である。

縦列駐車場の利点は、従来型駐車場に比べて、より狭い土地でより多くの車両の駐車を実現できることである。休憩所に駐車場を設置する場合、計画前段階の時点で、駐車場の種類（従来型駐車場、縦列駐車場、後退で駐車する駐車場）を判断する。なお、現在、新規の休憩施設の計画はなく、既存の駐車場へのテレマティクス技術の適用（縦列駐車場化）が大きな選択肢となっている。

縦列駐車場には、隊列駐車場とコンパクト駐車場の2種類があり、現在の設置場所は表 2.3-2 に示すとおりである。

隊列駐車場の仕組みは、駐車券発券機においてドライバーによって入力された出発希望時刻と車両の長さをもとに、アルゴリズムが自動的に空き駐車スペースを割り当てるといったものである。各駐車列は、出発時間が一番早い車両を先頭に形成される（図 2.3-1）。なお、ドライバーには駐車券発券機で、駐車すべき列が記された駐車券が発券される（図 2.3-2）。

表 2.3-2 縦列駐車場の一覧

種類	名称	導入年	駐車台数	備考
隊列駐車場	Montabauer（ラインラント・プファルツ州、A3の休憩施設）	2005年	69台	パイロットプロジェクト
	Autohof Lohfelden（ヘッセン、A7/A49沿線のAutohof）	2009年	約175台	
	Tankpark Hamburg-Moorfleet（ハンブルク、A1沿線のAutohof）	不明	不明	
	Inntal-West（Kiefersfelden-West）（バイエルン州、A93の休憩施設）	2018年	93台	
コンパクト駐車場	Taunsublick（ヘッセン、A5）	2020年	133台	
コンパクト駐車場	Jura-West（バイエルン、A3）	2016年	約105台	パイロットプロジェクト

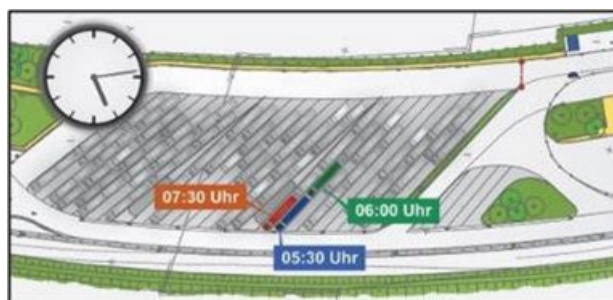


図 2.3-1 隊列駐車場の仕組み（出典：インタビュー調査資料）



図 2.3-2 発券されるチケットと駐車列表記（駐車列1）（出典：筆者撮影）

ゲート（遮断機）を通過したすべての車両にIDを振って管理しており、仮にある車両がアルゴリズムで指示された駐車列に駐車しなかった場合でも、その車両を移動させるのではなく、その車両の後方に、その車両の出発予定時刻よりも遅い出発予定時刻の車両を誘導することで対応している。訪問したモンタバウアーの隊列駐車場はパイロットプロジェクトで整備された駐車場であり、開発費の集計はされて

いないものの、おおむね、初期費用として 100 万ユーロ、維持費用として 3 万ユーロ程度あるとのことである。日中の稼働状況は 30%~40%である一方で、夜は遅くとも 20 時には満車になることが多い。欧州では休息時間は連続して 11 時間確保することが義務付けられている。18 時ごろから 20 時にかけて駐車を始めたトラックは、12 時間程度駐車したのち、朝の 6 時以降順次出発していくことになる。また、駐車列の割り振りのためのアルゴリズムは、モンタバウアーの場合、導入初年に最適化をおこなっているものの、それ以降、見直しはおこなわれていない。また、タウヌブリックでは、一度も見直しはおこなわれていない。駐車容量拡大効果としては、隊列駐車場の導入により、モンタバウアーの駐車マスは 42 台から 69 台に増加し、タウヌブリック(図 2.3-3)の駐車マスは 74 台から 133 台に増加した。



図 2.3-3 タウヌブリックの上空写真(上:整備前,下:整備後)(出典:インタビュー調査資料)

次に、コンパクト駐車場(Kompaktpakern)に関する調査概要を述べる。コンパクト駐車場の仕組みは、到着したドライバーが、表示板に表示されている出発時刻のなかから、自身の出発予定時刻にもとづき駐車列を選択し、駐車するものである(図 2.3-4)。表示される出発時刻は時間の経過とともに変化し、結果的に、ある列には同一出発時間の貨物車もしくは出発時間が早い貨物車から順に貨物車が並ぶこととなる(図 2.3-5)。なお、この表示板は 18 時から 8 時まで稼働している。このコンパクト駐車場は連邦道路研究所(BAST)が中心となったプロジェクトを通じて導入されたものであり、ライセンス料が無料という特徴がある。



図 2.3-4 表示板における出発予定時刻の表示(出典:インタビュー調査資料)



図 2.3-5 駐車レーンと事前に定められた出発時刻(出典:インタビュー調査資料)

以上、概観したように、縦列駐車場には隊列駐車場とコンパクト駐車場の 2 種類があり、基本的なアルゴリズムはほぼ同じであるものの(アウトバーン有限会社の担当者も、両者の違いは技術的な要素のみとしている)、駐車マスの指定の仕方が異なり、それともなって構造が異なっているものと考えられる。ドイツでは、前述したように、義務付けられている休息期間が 11 時間と長く、また駐車パターンが相対的に単純(18 時ごろから駐車を始め、12 時間程度休息して朝 6 時ごろから順次出発)である。それは、長距離走行するドライバーが夜間は休息に充て、昼間に主として運転をするという走行パターンを取っているからである。したがって、逆に夜間には休憩目的のトラックは少ない。駐車パターンが単純であるので、レーンを割り振るアルゴリズムも複雑にはなりえない。日本では、義務付けられている休息期間が 8 時間と短く(2024 年 4 月から 9 時間)、かつ駐車パターンが相対的に複雑である。すなわち、休息を始める時間、出発する時間がばらばらである。これは、日本では長距離輸送といっても 1000 km 程度であり、せいぜい途中で 1 度しか休息をとらないこと、野菜、魚貝類などの生鮮物の輸送では深夜時間帯に市場に搬入することが求められるため、朝まで休息することが難しいことなどが影響している。さ

らに、休息、時間調整のために長時間駐車する車両だけでなく、夜間でも休憩のために短時間駐車する車両もいる。これらを考慮すると、この縦列駐車場は、ドイツよりも日本で有用性を発揮できる仕組みだと考えることができる。

2種類の縦列駐車場（隊列駐車場とコンパクト駐車場）を比較したものが表 2.3-3 である。相対的には隊列駐車場の方が、メリットが多いと考えられる。この背景として、コンパクト駐車場の導入目的が入札における選択肢の提供にあることが挙げられる。なお、運用実績等は収集されていないほか、共通課題として、ドライバーへの周知が挙げられる。

表 2.3-3 縦列駐車場とコンパクト駐車場の比較検討

構造・利用方法	<ul style="list-style-type: none"> ◆隊列駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・ゲートあり ・ドライバーが発車希望時刻を入力し、発見されたチケットに指示された駐車レーンに駐車 ◆コンパクト駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・ゲートなし ・表示板の出発時刻表示にしたがい、ドライバーが駐車レーンを選択・駐車
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ◆隊列駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーへの依存度が低く、アルゴリズム通りに進みやすい ・駐車可能か否かの判断がシステムで可能 ・代替出発時刻の提案が可能 ・静穏性の配慮が可能 ・誤駐りにシステムが対応可能（現在は、正規の駐車場所への移動指示はおこなっていない。また、現在は誤駐りに対する取り締まり等もないが、ドライバーが駐車場所を選ぶコンパクト駐車場に比べて正規の駐車レーンを選択する心理的抑制効果があるほか、今後取り締まり等の実施を検討することも可能と考えられる） ◆コンパクト駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・ゲートがなく、無料であることがわかりやすい ・ライセンス料が無料（BASTによる開発）
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ◆隊列駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・ゲートがあるため、有料との誤解が生じる可能性がある ・発券機でチケットの発券が必要 ・ゲートの前に60m以上必要（うち直線距離25m以上） ◆コンパクト駐車場 <ul style="list-style-type: none"> ・誤駐りにシステムが対応不可能 ・複雑なシステムでコスト高 ・ドライバーへの依存度が高く（大（駐車するレーンの決定、駐車可能か否かの判断）、アルゴリズム通りに進むかどうかのリスクあり

最後に参考としてドイツにおけるエリア検知システム（駐車台数把握システム）について紹介する。ドイツでは、従来、ナンバープレートで識別した（ANPR）流入出台数から駐車台数を計算するシステム（バランスシートシステムと呼称）が導入されていたが、個人情報保護の観点から、今後 ANPR は利用不可となっており、その解決のため「エリア検

知システム」が導入された。この「エリア検知システム」では、マスト（ポール）の上方に設置したレーザーキャナーを用いて駐車車両を15秒ごとに測定し、駐車台数を把握する。無線LANで通信するため配線が不要であり、休憩所1箇所あたり5~6基のマストを設置することで全体を網羅することができる。マストの上部にはソーラーパネルを装備することで、給電も不要である。また、費用は比較的安価で、休憩施設1箇所あたり約50万ユーロとのことである。設置に要する期間は2か月程度である。アウトバーン有限会社西支社管内の244箇所のうち4箇所に設置されており（隊列駐車場でも使用）、今後3年間に全国70~100箇所の休憩施設（70マスト以上の施設）に設置予定となっている。利用者は、この「エリア検知システム」で収集した情報を、高速道路上の表示板およびスマホのアプリで確認可能であり、ルートの選択の参考とすることが期待されている。今後は、休憩所の駐車場のどのブロックが空いているか、といった詳細な情報提供も予定されている。なお、特徴的な点として、駐車マス以外の駐車可能な場所について、いずれも違法ではあるものの、限定的に駐車可能とする場所と駐車不可とする場所に分けている点が挙げられる。ドイツでも日本と同様、駐車需要に比べ駐車マス数が少ないため、上記の違法かつ駐車不可とされる場所に駐車するトラックは少なくない。ただし、警察は危険性が高い場合などを除いて、ドライバーに駐車場所の移動を要請することはない。というのも、ドイツでは、運転時間と休息期間はデジタルタコグラフで厳密に管理されており、休息期間中に警察の要請に従ってトラックを移動させると、休息期間が途切れるからである。警察も労働時間規制違反の可能性が高いとわかっているとき、移動の要請をするのははばかれるのである。また、ドイツでは過去に、ドライバーに満空情報を提供することでどの程度の行動変容が生じるかについての調査がおこなわれているが、情報提供により行動を変容したドライバーの割合は全体の3分の1であった。

(2) 貨物車両の長時間駐車を考慮したコンパクトパーキングのシミュレーション分析

a)はじめに

前節で紹介したドイツにおけるテレマティクス技術を用いた駐車場、つまり隊列駐車場とコンパクト駐車場について、実態調査からは駐車開始時にドライバーが発車希望時刻を入力し、システムで駐車位置を案内する隊列駐車場の方が総合的にはメリットが多いと考察された。ただし、根本的な原理や狙いは両者で同一であると考えられる。つまり、ドイツでの駐車位置配分のアルゴリズムの詳細は定かではないが、隊列駐車場が早い者勝ちのFisrt-Come-First-Served(FCFS)型だとすると、コンパクト駐車場は事前に出発時刻別の駐車列数の配分を行い、ある意味、将来需要を想定して事前に駐車枠を予約しているこ

とになる。ただし、隊列駐車場でも同様のアルゴリズムを導入することは可能であると考えられ、本質的な差はない。本節では、我が国の高速道路 SA/PA における大型貨物車両の駐車マス不足問題を念頭に、特にどちらの駐車手法を想定するわけではないが、より簡易なコンパクト駐車場(以下 CP)を想定して、その容量拡大効果についてシミュレーション分析を行うこととした。ここでは、駐車マスの容量に対して需要超過である場合を想定し、特に、指定された出発時刻の遵守率がシステムの効率性に与える影響に着目して分析を行う。

このような出発時刻管理による駐車容量拡大手法の既往研究として、Jessica¹⁾らは CP の導入背景から基礎的なアルゴリズムまでを紹介している。また、Maibach²⁾の研究では CP とコラム式パーキング(隊列駐車場)の2つの手法を比較しており、CPは特定の休憩時間を保有する貨物車両に駐車スペースを確保することができる一方で、コラム式パーキングは先着順での傾向になることが懸念されている。Kappich³⁾の研究では CP を運用する場合、動的出発時刻表示の方法によっては駐車を回避する貨物車両も発生するため、容量拡大のためには最適時刻表示を行うことが重要であると考察している。ドイツ等の海外の貨物車駐車需要の特性と我が国のそれとは異なる面も多く、駐車需給バランスも我が国の方が厳しい面もあるため、本節では我が国の実際の駐車需要を想定し、かつ出発時刻の順守率がシステムに与える影響も考慮して CP の容量拡大効果と我が国への適用性について定量的に評価を行う。

b) 出発時刻管理を考慮した駐車シミュレーションの開発

まず、既存の CP の運用方法について整理を行う。改めて CP とは複数の車両(ここでは3台)が前後に縦列配置されることで限られたスペースで駐車容量を拡大するパーキング方法である。各駐車マスの入口には動的出発時刻が表示され、貨物車両は希望出発時刻に最も近い出発時刻が表示されている駐車マスにドライバーの判断で駐車をを行う⁴⁾。同じ車列の車両同士が出発を妨げないように、動的出発時刻表示は15分経過ごとに遅い時間に更新されるので、結果的に先に出発する車両は後続車両よりも前に配置される。動的出発時刻表示は、図 2.3-6 に示す通り当該エリアに進入してきた方向から手前が短時間の駐車帯、奥に行くにつれて長時間の駐車帯となっており、欧州地域における実証実験では基本的に車列ごとの表示間隔は30分となっている。また、需要が重なり3台の車列が満車になる場合、図 2.3-6 の9:00の時間表示の例のように手前の時刻表示を満車になった列の時刻に変更することで、当該出発時刻向けの駐車容量を増加している。出発に関しては中列(後続車がない場合のみ)や後列からのバックによる出庫も可能としている。

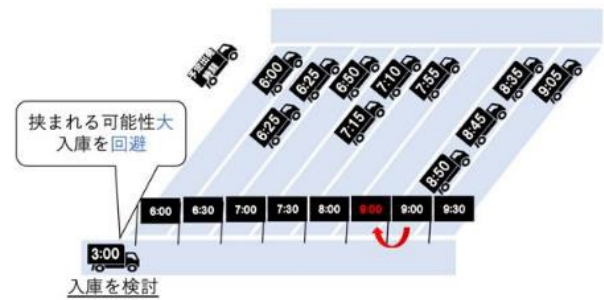


図 2.3-6 トラックドライバーの駐車位置選択例

以上が CP の既存の運用方法であるが、貨物車両は自身の予定出発時刻と動的出発時刻表示が近い場合においては車列の他の貨物車両も近い出発時刻を持ち、前後車両に挟まれて出発時刻が大幅に遅れるようなこともないため駐車を躊躇する車両も少ないと考えられる。ここで、図 2.3-6 の例のように現在時刻が 22:00 であり、動的出発時刻表示の最も早い時間が 6:00 のパーキングに、3:00 の予定出発時刻を持つ貨物車両が駐車位置の選択を行う場合を考える。①の車列に入庫したあとに後ろに 6:00 の予定出発時刻を保有する貨物車両が入庫すると 3:00 のトラックは真真中で挟まれ、予定出発時刻に出庫ができなくなる。このように入庫をする車列の動的出発時刻表示と貨物車両の予定出発時刻の差が大きいほど挟まれて出発が遅延する可能性が高くなるため、時間差が大きいほど駐車を回避する可能性も高いと考えられる。逆に、動的出発時刻表示を現在時刻から遠い、長時間の時間表示のみを表示することで、短い時間の貨物車両などは希望出発時刻との乖離が大きくなったり、間に挟まれて遅延することを懸念したりするため CP への駐車を回避すると考えられる。そのため、結果的に長時間駐車の車両のために優先的に駐車スペースを確保することも考えられる。

以上を踏まえ、出発時刻管理を考慮した駐車シミュレーションの開発を行う。具体的には、長時間駐車をを行う貨物車両を優先して駐車をできるスペースを提供するために、高速道路 SA/PA 内の一部分において、長時間の時間表示のみを行う CP を導入することを考える。実際には、通常のノーマルパーキングが全て CP に置き換わることはドライバーの理解が得られないと考えられることからノーマルパーキングと CP が共存する SA を想定する。SA に駐車する貨物車両の駐車位置の選択のフローを図 2.3-7 に示す。本研究では 8 時間以上の駐車をを行う貨物車両を優先することを考え、CP の動的出発時刻表示は現在時刻から 8 時間以上の表示のみを行う。よって、図 2.3-7 の通り、休憩時間が 8 時間以上の貨物車両は CP への駐車を考えるが、休憩時間 8 時間未満の貨物車両はノーマルパーキングのみでの駐車選択となる。8 時間以上の駐車をを行う貨物車両が CP への駐車を考える際、(a)で示した通り、動的出発時刻表示と予定出発時刻の差である time lag が大きいほど間

に挟まれ出発が遅延する可能性が高まるため駐車を回避する可能性がある。そこで、CP への駐車選択確率を図 2.3-8 のようなロジスティック関数 (30 分で 0.5, 0 分で 0.999 と仮定) で与えることでドライバーの選択行動を表現している。この選択確率をもとに CP への駐車を回避した長時間駐車貨物車両はノーマルパーキングへの駐車を選択し、満車の場合は駐車できず当該 SA は利用しないことを前提とした。次に駐車を行った車両の出庫について示す。駐車を行った各貨物車両は ETC/FF データより希望出発時刻を保持している。各貨物車両は時刻が希望出発時刻になった際に、前後がブロックされていない場合は出庫を行う。前後がブロックされ、出庫ができない場合においては前後どちらかの貨物車両が出庫を行うまで待機し、どちらかが出庫を行った際に同時に同出庫する。この、希望出発時刻と実際の出発時刻の差を *time lag* として算出する。シミュレーションでは、駐車需要と駐車選択を確率的に決定しているため乱数を活用したモンテカルロシミュレーションとして 10 回の実行結果の平均値で評価を行っている。

なお、CP の効果分析で重要な変数となる出発時刻表示の方法の詳細については後述する。



図 2.3-7 貨物車両の休憩時刻別の駐車位置選択フロー

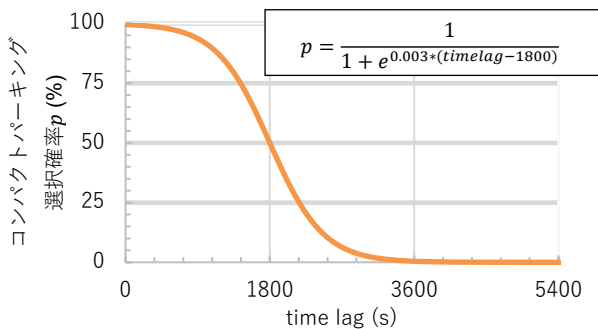


図 2.3-8 time lag 別のコンパクトパーキング選択確率

c) 長時間駐車を考慮した出発時刻管理による駐車容量拡大手法の効果分析

開発したシミュレーションを用いて、CP の導入効果を分析する。ケーススタディの条件を表 2.3-4 に示す。我が国でも特に混雑が激しい海老名 SA (上り) を対象とした。海老名 SA (上り) の既存の通常マス

を一部 CP に置き換えることを考える。ここで、CP に置き換えた通常マスは CP の形態により 1.5 倍のマス数になると仮定した。実際には通常マスや通路の具体のレイアウトに応じて CP によるマス増加数が決定するが、本研究では簡単のため上記のように仮定をした。

表 2.3-4 ケーススタディの設定条件

対象日時	2019/12/11 15:00~2019/12/12 07:00
対象 SA	海老名 SA (上り)
貨物データ数	1,523 (台): ETC/FF データによる実績値
通常駐車容量	148 (台) [一般車両兼用マス含む]

CP において動的出発時刻表示の方法は重要であり、初期表示の与え方によっては入庫を行う貨物車両に大きな *time lag* が発生し、多くの貨物車両が駐車を回避するため利用効率が低下することも懸念される。ここでは動的出発時刻表示の初期値の表示方法による影響を分析する。既往研究における海外の CP の動的出発時刻表示の方法は隣り合う車列ごとで等間隔 (標準的には 30 分) に表示を行う単純なものである⁴⁾。しかし、入庫を行う貨物車両の休憩時間に偏りがある場合を考慮すると等間隔に表示を行うより、需要に合わせた時間表示を初期値として設定することで、*time lag* を最小化でき、CP の駐車回避も減少させることができる。特に過去の貨物車両データから需要を予測できる場合や、予約システム等の活用による駐車貨物車両の需要の完全予測ができる場合などに、それらの予測需要に合わせた時間表示を行うことで、より効率的な運用が可能になると考えられる。今回、動的出発時刻表示の方法として以下の 3 通りを提案する。

I. 30 分ごとの等間隔での時刻表示 (30 分間隔型)

II. 過去のデータに基づいた時刻表示 (過去データ型)

III. 需要を完全に把握した時刻表示 (需要完全把握型)

「30 分間隔型」は既往研究で用いられ、広範囲の出発時刻を網羅することはできるが、休憩時間に偏りがある場合においては需要との乖離が生じ、駐車回避が増え、駐車マスの使用効率が低下する。「過去データ型」は過去の貨物の休憩時間の分布を用いて出発時刻表示を決定する方法である。ETC/FF データには毎日のデータが記載されているため、今回の分析対象日時である 2019/12/11 以前のデータを過去のデータとして用いて出発時刻表示を決定する。

2.3(3)(d) の分析より、曜日別で傾向が異なることが示されたため、過去データは同一曜日のみを扱う。ここでのシミュレーションは 2019/12/11 (水) を対象としているため、それ以前の毎水曜日のデータを過去データとして扱う。手法としては時刻別需要で

重みづけをした時刻表示を行う。具体的には、まず、過去データより 2019/12/11 15:00~2019/12/12 07:00 の間に駐車を開始した 8 時間以上駐車の貨物車両の台数を駐車時間別に算出する。駐車開始時刻は無視して、この駐車時間別の台数を合計することで、過去データの蓄積としてどの駐車時間の貨物車両が多いかが把握できる。正確には駐車開始時刻別に駐車時間の分布を予測して初期値を決めた方がよいが、本研究では CP の運用開始時刻を 15 時と仮定し、簡単のためその時刻時点での初期時刻表示を上記の駐車時間別台数の比率を基にそれぞれの出発時刻の車列の枠数を設定した。最後に、「需要完全把握型」は基本的には II と同じであるが、前提とする予測駐車時間別台数をシミュレーションの入力需要そのものを使う、つまり完全に予測できることを前提とする。3 通りの時間表示方法において、海老名 SA の全パーキング容量に対する CP の割合を 50%にした際のシミュレーション結果を図 2.3-9 に示す。予測需要に基づく時刻表示を行うことで、駐車できた貨物車両台数が増加する結果となった。また、CP 導入なしと比較して駐車貨物台数は減少するが台時間は増加する結果となった。また、長時間駐車をを行う貨物車両に関しても予測需要に基づく時刻表示を行うことで多くの車両が駐車可能であることが分かる。図 2.3-10 には時刻表示別の平均 time lag と最大 time lag を示す。予測需要に基づく時刻表示を行うことで、特に最大の time lag が減少し、挟まれ出庫できなくなる可能性が低下することや需要に適した時刻表示を行えていることが分かる。

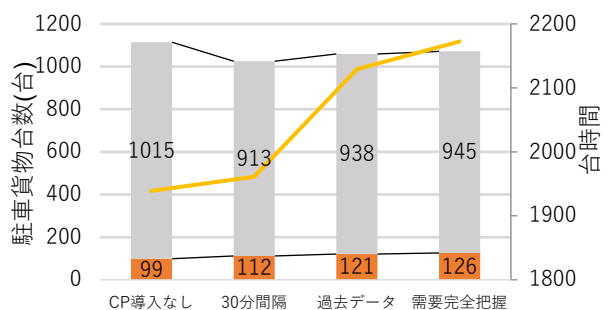


図 2.3-9 出発時刻表示方法別の駐車台数及び台時間

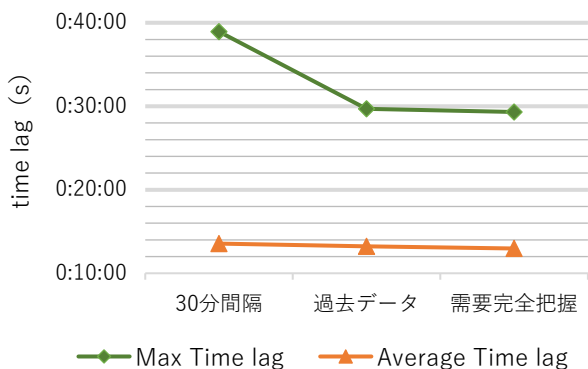


図 2.3-10 出発時刻表示方法別の time lag

以上では、海老名 SA の駐車マスについて CP とノーマルパーキングを 50%ずつで分割設置した場合を分析したが、ここでは CP の導入割合を 10%~90% まで変化させたシミュレーションを行い、海老名 SA における最適な CP 導入割合を分析する。また、出発時間表示の方法は需要完全把握型が最も効果が高いと上記で示したが、現実的に需要を完全に把握することは難しいと考え、次に効果の高い過去データ型を用いる。CP の導入割合別の駐車をこなした貨物車両の台・時間(全駐車車両の駐車時間の和)を図 2.3-11 に示す。CP 割合が 40%の際に約 2,160 台時間で最大となり最も利用効率が高いことが示された。また、図 2.3-11 の黒線は拡大手法なしのノーマルパーキングのみの台時間であり、CP 割合が約 20%~50% の間でノーマルパーキングよりも高い効果があることが示された。これは 8 時間以上の貨物車両の需要量に対して、海老名 SA における CP の割合が 20%~50%の容量が適当であったと考える。次に CP 導入割合別の駐車貨物台数を図 2.3-12 に示す。導入割合 40%の際に 8 時間以上の長時間駐車をを行う貨物車両が 120 台となり最も多く駐車できている結果となった。また、コンパクトパーキングを 40%からさらに上昇させると駐車できる貨物車両の総台数が減少する結果となった。これは 8 時間以上の貨物車両の需要に対して多くの CP を提供してしまうことでノーマルパーキングの容量が低下し、総台数が減少していると考察する。

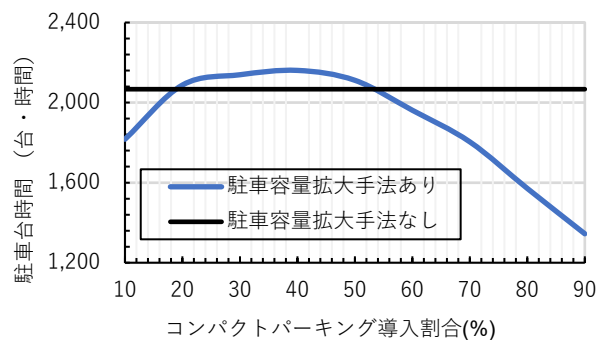


図 2.3-11 コンパクトパーキング導入割合別総台時間

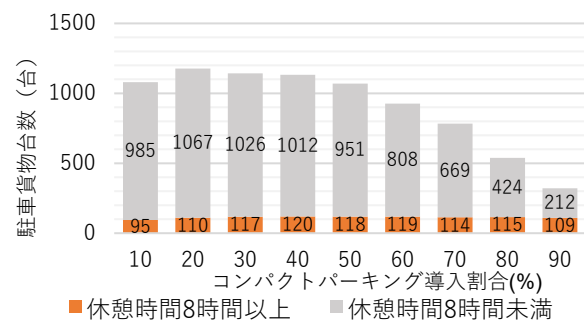


図 2.3-12 コンパクトパーキング導入割合別貨物台数

次に、貨物車両の遵守率による効果分析を行った。上記の分析では全ての貨物車両が CP の仕組みを把

握し、ルールに則った駐車位置の選択を行う前提で分析を行った。しかし、実際には挟まれることを回避するため、CPシステムで想定している指定位置に駐車を行わない不遵守貨物車両も発生すると考えられる。不遵守貨物車両が増加すると、CPの機能が低下し、すべてが通常のパーキングの場合よりも効率が低下することも考えられるため、遵守率の程度による影響について分析した。ここでは、入庫する長時間駐車をを行う貨物車両の遵守率を変化させた際の効果を分析する。具体的には、入庫する貨物車両にあらかじめ設定した遵守率に応じてランダムに遵守または不遵守を決定する。不遵守となった貨物車両は指定の車列ではなく、出発時刻表示に関係なく、他車の影響を受けず遅延しない入庫可能な前列か後列からランダムにレーンを選択し駐車をを行うこととした。不遵守となった貨物車両の出庫に関しては、各貨物車両が保持している希望出発時刻に出庫する。遵守率別の総台時間の結果を図 2.3-13 に示す。通常のパーキングの場合の総台時間を黒線で示す。結果から遵守率が低下するほど総台時間が低下し、遵守率が約 84%を下回ると拡大手法なしの通常のパーキングよりも利用効率が低下すると示された。これは、海老名 SA における駐車容量と需要量の場合であり、海老名 SA よりも需要に対して駐車容量に余裕がある SA/PA においては 84%よりも低い遵守率でも CP の効果があると考察する。また、図 2.3-14 に遵守率ごとの駐車貨物台数を示す。遵守率が高まるほど多くの貨物車両が駐車できていることが示された。

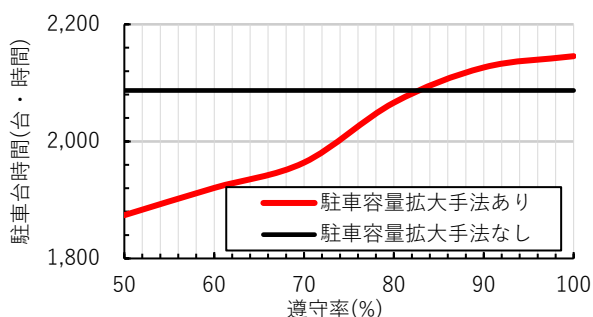


図 2.3-13 遵守率別の駐車総台時間

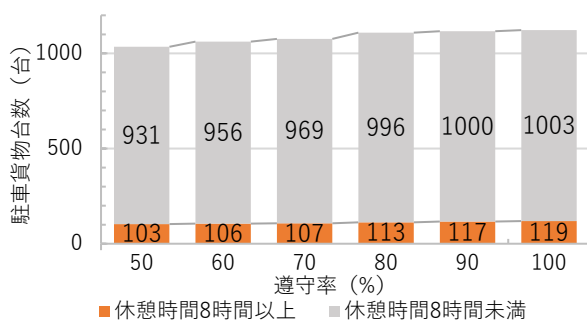


図 2.3-14 遵守率別の駐車貨物台数

d) コンパクトパーキングの実際の設計と運用に関する考察
まず、コンパクトパーキングの稼働時刻について

であるが、コンパクトパーキングは欧州地域の既往研究においては 24 時間連続で稼働するとされている。しかし、日本の貨物波動を考慮すると夜間帯では過度な貨物需要があるのに対して、日中では貨物需要は限りなく少なく容量過多となるのは明白である。そこで、本研究では多くの貨物が到着を行い始める夕方時間帯 (15:00) から出発を終了する早朝時間帯 (8:00) をコンパクトパーキングの稼働時間とすることが望ましいと考える。15:00~8:00 の時間帯ではコンパクトパーキングの稼働により長時間駐車をを行う貨物車両を優遇し、それ以外の時間帯ではコンパクトパーキングではなく小型車も大型車も利用できる兼用マス (参照: NEXCO 東日本: 休憩施設における駐車マス拡充の取組み, https://www.enexco.co.jp/pressroom/cms_assets/pressroom/2021/04/28/b/pdf.pdf) として、小型車両も利用できる駐車マスとして提供することで、昼夜の小型車の需要と大型車の需要に応じた運用を行えると考えられる。

課題点としては、15:00 から運用する場合において、15:00 までに小型車が出庫を行わない場合などの遵守面での問題への対応策を検討する必要があるかもしれない。

次に、コンパクトパーキング導入位置についてである。CP は通常の駐車マスに比べて容量は増加できるが、個々の車両にとっては出発時刻に制限がかかるため、CP に駐車するインセンティブは基本的にない。一方で、駐車できる台数は増えるので全体としてはメリットがある。従って、CP 駐車に対するインセンティブ設計が必要になると考えられる。そこで、例えば、トラックドライバーが休憩を行う際にできるだけ休憩施設に近い位置に駐車を行いたいという心理要因を考慮し、図 2.3-15 のように休憩施設に近い位置に CP を設置することで駐車を促すことが考えられるが、休憩施設から遠い位置が静穏環境であるとするトラック内で睡眠をとる場合には逆に遠い位置が良い可能性もある。また、確実に駐車できるようにするための予約システムと連携することや、CP を利用することで ETC の履歴でマイレージポイントのようなものが貯まるシステムの導入もインセンティブ付与方法の一例として考えられる。

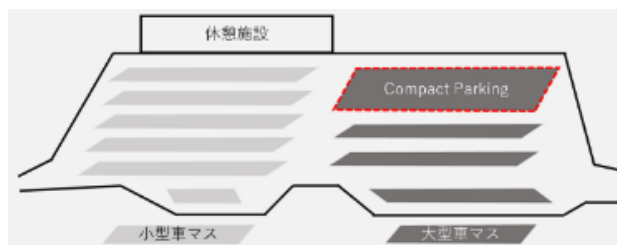


図 2.3-15 海老名 SA (上り) における CP 導入想定図

e) 分析のまとめと検討課題

本分析では、高速道路 SA/PA の駐車容量が逼迫する我が国において、ハード的な拡張なく、貨物車両

の出発時刻管理によって駐車容量を拡大しつつ、長時間駐車を行う貨物車両を優先して駐車させる新たな方策を検討した。具体的に得られた知見を以下に示す。

- ETC/FF データを活用し、海老名 SA (上り) における到着・出発台数、休憩時間、日別の貨物車両の SA 利用特性に関して分析を行った。結果として、夜間帯では日常的に混雑が発生している実態やほとんどが2時間以上の長時間駐車で構成されている実態を明らかにした。また、夜間に駐車を行う貨物車両の属性には荷主先への到着時刻調整のために駐車場替わりとして利用している車両も存在し、労働基準に則った休憩・休息を行う貨物車両が優遇して駐車を行えるパーキングが必要であることを示した。
- 次に、出発時刻管理の視点から駐車容量を拡大しつつ、8時間以上の休息を行う貨物車両を優先して駐車を行える CP の活用方策を提案し、パーキングの利用効率が評価可能な駐車シミュレーションを開発した。
- 最後に、開発したシミュレーションを用いて、海老名 SA (上り) をケーススタディとして、まず動的出発時刻表示の表示方法を3通り検証し、需要に合わせた時間表示を行うことで time lag が減少しより多くの貨物車両が駐車可能であることが示された。次にパーキング全体に対する CP の導入割合を変化させたシミュレーションでは CP 割合が 40% で海老名 SA (上り) では効果が最大であると示された。最後に貨物車両の遵守率の影響を分析し遵守率が 84% 以上守られることで CP は通常のパーキングと比較して効果を発揮することが示唆された。

以上より我が国における CP 導入の有効性、適用性を判断するための基礎的な知見を得ることができた。

今後の課題としては、今回ケーススタディを行った SA が海老名 SA (上り) のみであり貨物波動の傾向が異なる他の SA で導入した場合においては検討を行っていない。各 SA における傾向を明確にし一般化した出発時刻表示方法などの検討が必要である。また、出発時刻表示の過去データに基づいた表示方法に関しても過去のデータの分布より重みづけし決定しているマクロな決定方法であるため、過去のデータを用いて機械学習により決定するなど、予測精度の改善方法の検討にも意味があると考えられる。シミュレーションにおけるドライバーの入庫判断としては、単純な確率モデルを用いて入庫と入庫拒否の判断を行っているが、その点についてもドライバーアンケートなどを実施し、ドライバーの駐車意識について詳細に分析を行うことが必要であると考えられる。将来の、トラック隊列走行やダブル連結トラックの長大貨物車両の実用化を見据えるとより効率的な駐車システムが求められると考えられるため、駐車マ

スの予約システム (参照: NEXCO 中日本: 駐車場予約システム社会実験, <https://www.nexco.co.jp/activity/parkingsys>) などとも連携し、総合的に SA/PA の効率化を図る必要があると考える。

最後に、政策分析上の立ち位置の問題であるが、本研究では8時間以上といった長時間駐車を行う貨物車両を優遇することを是として分析を行った。これはドライバーの労働基準で定められた一定時間以上走行後に必要とする休息であることを前提としているが、同じ長時間駐車でも、一定時間以上走行していない車両、つまり数時間のみ走行しただけで8時間以上の駐車を行う車両も一定割合で含まれる可能性もある。特に特積事業者では、高速道路 SA/PA ではなく、路外の自社ターミナルを整備し、そこで休息をとることが多い。その視点では、本研究は比較的 SA/PA で休息をとる傾向にある貸切トラック型の運送事業者寄りの政策分析という見方もできる。

長時間駐車が駐車容量不足を引き起こしている面もあるため、高速道路 SA/PA でどのような車両の駐車を優先させるかは一概には決められないし、原因者負担原則からは駐車料金設定や路外駐車場への誘導などの政策検討も重要であると考えられる。なお、CP 自体は高速道路 SA/PA 以外の路外の駐車場の容量拡大にも活用可能であるため、本研究で得られた知見を路外駐車場に応用することも考えられる。

2.3 の参考文献

- 1) Jessica Kleine, Rainer Lehmann.: Telematisch gesteuertes Kompaktparken - Grundlagen und Entwicklung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 286. April 2017. https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1763/file/V286_barrierefreies_Internet_PDF.pdf
- 2) Walter Maibach, Andreas Tacke, Michael Kieblg.: Wirtschaftlichkeits- bewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitäts- erhöhung an BAB, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 294. November 2017. https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1849/file/V294_barrierefreies_Internet_PDF.pdf
- 3) Gerhard Kappich, Christoph Westermann : Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB , Anforderungen und Praxiserprobung, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 315. April 2019. https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/2152/file/V315_barrierefrei+Internet+PDF.pdf
- 4) Jens Dierke, Jessica Kleine, Rainer Lehmann : Intelligent Controlled Compact Parking for Modern Parking Management on German Motorways, Transportation Research Procedia, Vol. 15, pp.620-627, 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516305841>.

第3章 道路交通センサスを用いたダブル連結トラックの潜在需要

3.1 道路交通センサスにおける大型貨物車の実態分析

(1) 本分析の概要及び目的

ダブル連結トラックや貨物車隊列走行への転換に適すと考えられる車両について運行特性を把握するため、平成27年度全国道路・街路交通情勢調査 オーナーマスターデータ（以下、道路交通センサス）からトリップデータを抽出し、それらの発生集中量の空間分布や出発・到着時間の特徴について分析を行った。

(2) 分析に用いたデータ

ダブル連結トラックおよび貨物車隊列走行への転換に適した車両の一つとして、長大トラックが挙げられる。長大トラックを他のトラックと識別して抽出するためには、一般的には「車両長」等の長さに着目しての抽出を行うことが考えられる。しかし、今回分析に用いた道路交通センサスにおいては、「車両長」等の車両の長さに関する項目は含まれていないため、代わりに車両の重量に関する項目を用いて長大トラックの多くが含まれると考えられる「大型貨物車」のトリップを抽出した。

具体的には、道路交通法において大型自動車に区分される「車両総重量11t以上…①、または最大積載量6.5t以上…②、または乗車定員30人以上…③」という定義に該当する車両のトリップを抽出対象とした。道路交通センサスの各項目より以下a,bの値を求めて、①もしくは②に該当し、かつ「車種」の項目値が「7」（普通貨物車）であるものを大型貨物車のトリップとして抽出した。

a.最大積載量：「最大積載量(kg)」の項目値。

b.車両総重量：車両総重量に関する項目は道路交通センサスには含まれていない。そこで以下の計算式によりその値を求めた。

$$\text{車両総重量} = \text{車両重量} + (\text{乗車定員数} \times 55\text{kg}) + \text{最大積載量}$$

・ 「車両重量」は、「車両重量」の項目値。

- ・ 「最大積載量」は、「最大積載量(kg)」の項目値。
- ・ 「乗車定員数」については、車種が「7」（普通貨物車）に区分されるレコードは、「乗車定員」の項目の値が全レコードで0人となっていた。そのため、乗車定員は一律2人(=110kg)として設定した。

①及び②の判定時に、以下のトリップは除外した。

- ・ ②の判定の際、最大積載量が不明値(99999)となっているトリップ。
- ・ ①の判定の際、最大積載量または車両重量が不明値(99999)となっているトリップ。
- ・ 「所有形態」の項目値が、2(自家用車(法人利用))または「3」（営業用）に該当しないトリップ。

後述する(3)(4)を除き、「車両総重量が20t以上25t未満に該当する大型貨物車」を対象を絞ったものを分析データとして用いた。また分析によっては、以下の追加の抽出条件を適用したデータを用いた。

- ・ 都道府県別発着地組合せ別トリップ数の集計の際には、「出発地」または「目的地」の項目値が「不明」となっているトリップは除外した。
- ・ IC別発着地組合せ別トリップ数の集計の際には、「乗IC・ランプコード」または「降IC・ランプコード」の項目値が「不明」となっているトリップは除外した。
- ・ 都道府県別発着地組合せ別／IC別発着地組合せ別トリップ数の集計および流動状況の可視化の際には、近距離区間のトリップの影響を除外するため、2都道府県以上をまたがるトリップのみを抽出対象とした。
- ・ トリップ長やジャーニー長など距離に関わる指標については、Bゾーン間の距離をもとに算出した。なお同一Bゾーン区間内で移動

表 3.1-1 貨物車の車種別トリップ・台キロ・平均トリップ長および構成率

	トリップ数 (千トリップ)	トリップ構 成率(%)	台キロ (千台キロ)	台キロ構 成率(%)	1トリップあた りの平均トリッ プ長(km)
大型貨物車(普通貨物車:大型自動車)	1,976	14.2%	134,826	38.3%	68.2
普通貨物車:中型自動車	1,338	9.6%	50,103	14.2%	37.4
普通貨物車:準中型自動車	1,549	11.1%	28,713	8.2%	18.5
普通貨物車:普通自動車、および区分不明	190	1.4%	3,450	1.0%	18.2
軽貨物車	4,583	32.9%	53,296	15.1%	11.6
小型貨物車	4,278	30.7%	81,843	23.2%	19.1
貨物車計	13,913	100.0%	352,232	100.0%	25.3

表 3.1-2 大型貨物車の車両総重量別トリップ・台キロ・平均ジャーニー長および構成率

	トリップ数 (トリップ)	トリップ構 成率(%)	ジャーニー数 (ジャーニー)	ジャーニー構 成率(%)	台キロ (千台キロ)	台キロ構 成率(%)	1トリップあた りの平均トリッ プ長(km)	1ジャーニーあた りの平均ジャー ニー長(km)
車両総重量50t以上	41,536	2%	10,970	2.8%	3,538	2.6%	85.5	322.6
車両総重量45t以上～50t未満	118,707	6%	26,894	6.8%	7,701	5.7%	64.9	286.3
車両総重量40t以上～45t未満	6,705	0%	1,298	0.3%	467	0.3%	69.7	360.0
車両総重量35t以上～40t未満	140,186	7%	29,785	7.6%	10,197	7.6%	72.7	342.3
車両総重量30t以上～35t未満	276	0%	72	0.0%	39	0.0%	142.6	546.5
車両総重量25t以上～30t未満	70,466	4%	15,069	3.8%	7,914	5.9%	112.4	525.2
車両総重量20t以上～25t未満	836,409	42%	179,540	45.5%	76,743	57.0%	91.8	427.4
車両総重量15t以上～20t未満	498,175	25%	74,256	18.8%	16,393	12.2%	32.9	220.8
上記以外(車両総重量11t以上or最大積載量6.5t以上)	263,058	13%	56,478	14.3%	11,743	8.7%	44.6	207.9
大型貨物車(普通貨物車:大型自動車)計	1,975,518	100%	394,362	100.0%	134,735	100.0%	68.2	341.7
<参考>貨物車計	13,912,827	-	3,421,187	-	351,997	-	25.3	102.9

が完結したトリップにおいては、この値は0となる。これにより結果に悪影響が生じることを避けるために、トリップ長が0となっているレコードは集計対象から除外した。

- 道路センサスにはジャーニーを識別するためのフラグは付与されていない。しかし、同一車両の一連のトリップにおいては、道路センサスの特定のカラムの項目値が同一となる。このため、ジャーニー単位の集計を行う際には、これらの項目値が同一のものを1つのジャーニーと判断して、集計・整理を行った。

比例しジャーニー数が少なくなっている。また、ジャーニー長が長くなるにつれて、20t以上25t未満の大型貨物車が占める割合が高くなる傾向がある。

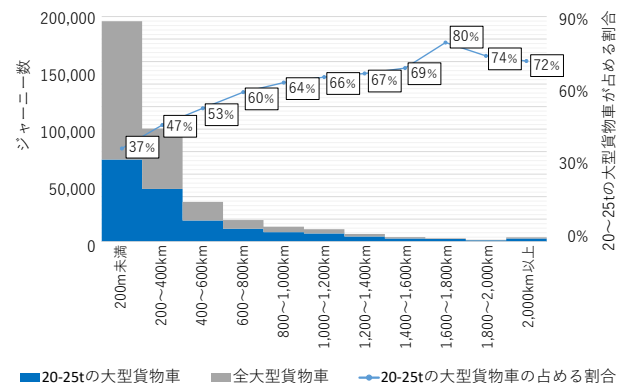


図 3.1-1 大型貨物車のジャーニー長別ジャーニー数・20-25tの大型貨物車の構成比率

(3) 大型貨物車のトリップ・台キロ・平均トリップ長および構成比率

表 3.1-1 は貨物車の車種別トリップ数・台キロ、およびその構成比率と1トリップあたりの平均トリップ長を示したものである。大型貨物車は、トリップ数の構成比率としては全貨物車の14%程度に留まっているが、台キロ構成比率では約4割を占めている。1トリップあたりの平均トリップ長は約70kmとなっており、他の貨物車と比べてトリップ長が非常に長い。

また、表3.1-2は、大型貨物車について車両重量別にその内訳を整理したものである。車両総重量20t以上25t未満に該当する大型貨物車が、全大型貨物車の4割程度を占めていることがわかる。また、それらの車両の平均トリップ長は約90km、平均ジャーニー長は約430kmとなっている。

(4) 大型貨物車のジャーニー長分布

図3.1-1は、全大型貨物車および20t以上25t未満の大型貨物車のジャーニー数と、全大型貨物車に占める20t以上25t未満の大型貨物車の割合を示している。ジャーニー長200km未満をピークとして、距離に反

(5) 車両総重量20t以上25t未満の大型貨物車の都道府県間流動状況

図3.1-2は20t以上25t未満の大型貨物車の都道府県間の流動状況に関して、その地理的特徴および発生集中量の多寡が分かりやすくなるよう、流動状況を流線図により可視化したものである。都道府県発着別にODの発着方向の向きについては考慮せずに、発着地の組み合わせ別にトリップ数の整理・集計を行っている。図中、丸印は都道府県庁所在地に表示され、丸の面積は発生集中量に比例する形としている。また、線は流動量を表し、太さはトリップ数に比例する形としている。なお、線については、1,200トリップ以上ある都道府県を跨ぐ発着ペアのみを描画している。

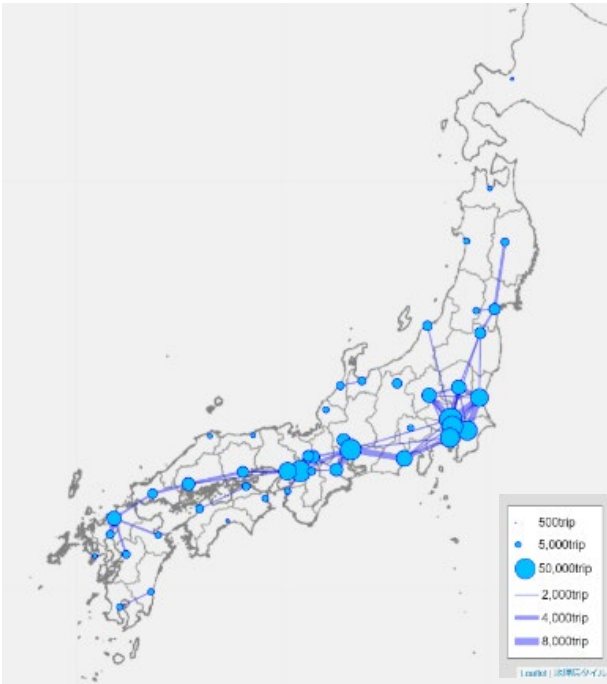


図 3.1-2 都道府県別トリップ発生集中量およびトリップ数の多い区間 (20t 以上 25t 未満の大型貨物車)

流動状況の傾向としては、太平洋ベルト地帯を構成する地域において、近隣都道府県間を中心としたトリップが多い傾向がみられる。なかでも東京・大阪・名古屋・福岡など大都市の近隣区間でのトリップが特に多い傾向がみられる。

(6) 車両総重量20t以上25t未満の大型貨物車のIC別発生集中量

図3.1-3は20t以上25t未満の大型貨物車のIC別発生集中量に関して、その地理的特徴および発生集中量の多寡が分かりやすくなるよう、発生集中量を図形表現図にて可視化したものである。発着方向については考慮せずに、発着ICの組み合わせ別にトリップ数の整理・集計を行っている。図中、丸印はインターチェンジの位置に表示され、丸の面積は発生集中量に比例する形としている。発生集中量が上位75位までのICを描画している。橙色の線は平成27年の高速道路網を示している。

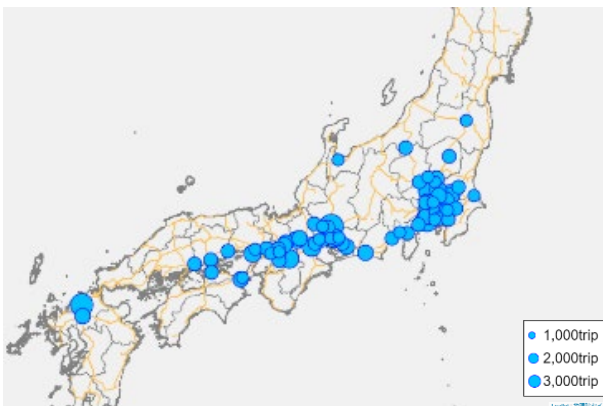


図 3.1-3 発生集中量の多い IC

発生集中量の多いICの地理的特徴としては、主に関東から近畿にかけての、太平洋ベルト地帯周辺部に分布している傾向がみられる。また、物流センターや工場等が集積していると考えられる東京湾臨海部や、幹線となる高速道路沿いを中心に分布している傾向がみられる。

(7) 車両総重量20t以上25t未満の大型貨物車の出発・到着時間帯に着目したジャーニーの分析

a) 出発時間帯に着目した分析

図3.1-4は、20t以上25t未満の大型貨物車について、ジャーニーの出発時間帯別に距離ランク別のジャーニー数および割合を集計したものである。ジャーニー数は、朝方(4~8時台)に出発しているジャーニーが多い。一方、ジャーニーの距離ランク別構成割合は、朝方(6~8時台)は短距離のジャーニーの割合が多く、午後(昼前~夜)は長距離のジャーニーの割合が多い。

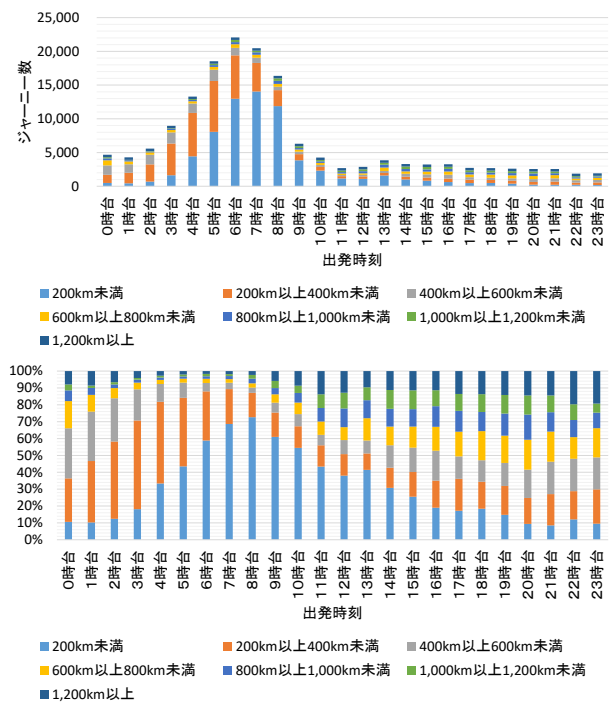


図 3.1-4 出発時間帯別ジャーニー数および割合 (20t 以上 25t 未満の大型貨物車)

b) 到着時間帯に着目した分析

図3.1-5は20t以上25t未満の大型貨物車について、ジャーニーの到着時間帯別に、距離ランク別のジャーニー数および割合を集計したものである。

ジャーニー数は、昼~夕方(14~18時台)にかけて到着しているジャーニーが多い。一方、ジャーニーの距離ランク別構成は、朝方(6~8時台)は長距離のジャーニーの割合が多く、午後(昼過ぎ~夜)

は短距離のジャーニーの割合が多い。

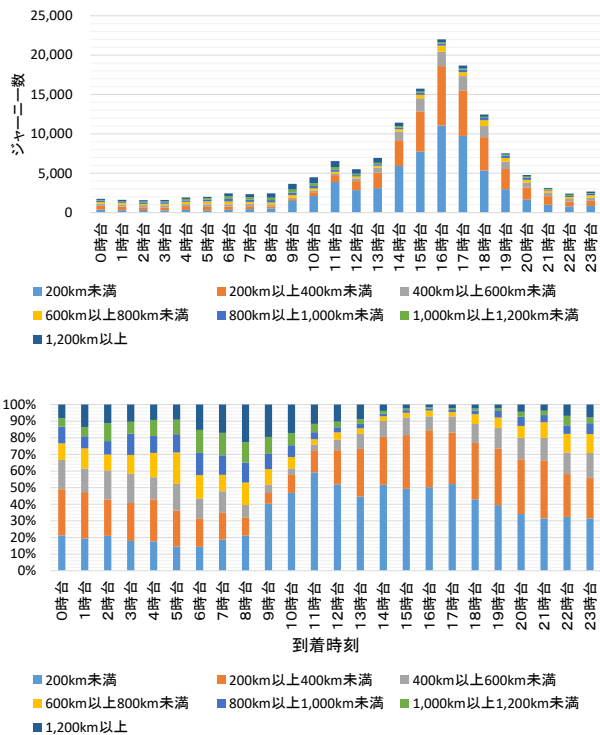


図 3.1-5 到着時間帯別ジャーニー数（上）および割合（下）（20t 以上 25t 未満の大型貨物車）

3.2 全国道路ネットワークを用いた潜在需要の解析

(1) 本分析の概要及び目的

ダブル連結トラックや貨物車隊列走行の走行区間の拡充・延伸を図るためには、それらの潜在需要の高い道路区間・路線を把握する必要がある。そこで、道路ネットワークデータと道路交通センサスを用いてネットワーク解析を行い、ダブル連結トラックの需要が見込まれる区間の把握、及び新規に走行可能区間を拡大した場合の整備効果について分析を行った。

(2) 分析に用いたデータ

ネットワーク解析を行うにあたり、以下の3種の道路ネットワークデータを構築した。

- ①国土数値情報をベースに作成したネットワークデータ（図3.2-1参照）
- ②DRMをベースに作成したネットワークデータ（図3.2-2参照）
- ③全国配分モデル構築済みのネットワークデータ（図3.2-3参照）

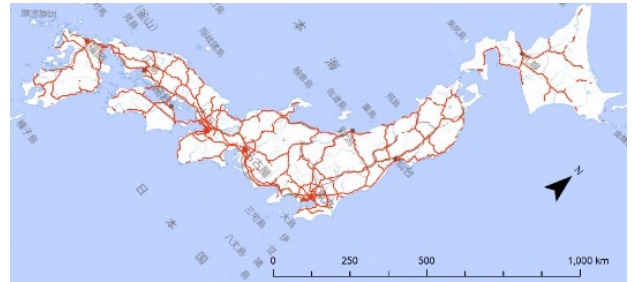


図 3.2-1 ①国土数値情報をベースに作成したネットワークデータの例（リンクのみ描画）



図 3.2-2 ②DRM をベースに作成したネットワークデータの例（解析時にダブル連結トラックが走行可能であったリンクのみ描画）

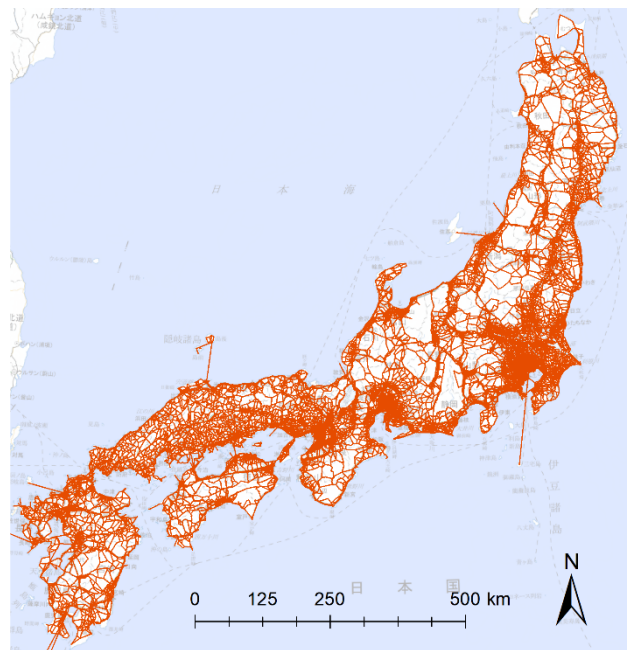


図 3.2-3 ③全国配分モデル構築済みのネットワークデータの例（トリップデータのないエリアの道路リンク、および解析に影響を及ぼす航路のリンクは除外）

①～③のネットワークデータは、他のデータとの結合可否や含まれる属性などに差異があり、解析内容に応じて適したものを適宜使用した。

トリップデータとしては、前節の分析で用いた「車両総重量20t以上25t未満に該当する大型貨物車」のトリップデータをもとに、ODの発着ICを集計した。集計にあたっては、データ数が少ない区間があるため、ODの発着方向を考慮せずにODペアとして集計を行っている。集計の結果トリップが20以上みられた1,304のODペア（計54,984トリップ）を

分析に用いた。

(3) 走行需要の高い区間の抽出

a) 解析手法

「③全国配分モデル構築済みのネットワークデータ」を用いてODペア毎に最短距離／最短時間距離／最小一般化費用（大型車）の各条件にて最短・最小となる経路を求め通過した道路リンクを特定した。道路リンク毎に、経路解析により通過したODペアのトリップ数の総和を求め解析結果を得た。

経路解析では、使用したネットワークデータには上下線フラグがなく上下線別に可視化し考察を行うことが難しいため、ネットワークの一方通行フラグは考慮していない。

b) 解析結果

図3.2-4～図3.2-8で示す主題図は、最短時間距離／最小一般化費用の各条件によって得られた道路リンク別のトリップ数の総和を可視化したものである。トリップ数の総和が多い道路リンクは、ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間であると言える。灰色で示した道路リンク（集計対象ODにトリップなし）は、経路解析の結果、いずれのODペアでも通過が見られなかった道路リンクを示している。この「集計対象ODにトリップなし」を除き、主題図の階級区分には等量分類を採用している。結果を考察する

上では、ODが長距離であるトリップ（発地と着地が互いに異なる都道府県であり、かつ高速道路を利用しているもの）のうち、トリップ数が20以上のODペアのデータを使用したという点に留意が必要となる。

全体的な傾向としては、九州から関東に至る太平洋ベルト地帯、および関越道・東北道の南部で走行需要が高いといえる結果となった。令和4年11月にダブル連結トラックの走行可能区間として拡充された、関越道、上信越道、北関東道、東関東道、中央道、北陸道、神戸淡路鳴門道、九州道、長崎道等の走行需要が高いこともわかる。

実際の道路の走行環境の制約を考慮せずに、現在通行ができない区間のうち走行需要が高いと考えられる区間として、中国道、北陸道の黒部IC～長岡JCT間、西名阪道等が挙げられる。また、首都高湾岸線など、東京・大阪・名古屋都市圏内部にも走行需要が高い区間が見られる。上記の都市圏では湾岸部に物流施設等が立地しており、これらの区間は、通過交通だけでなく、都市内部を発着するODが多いと想定される。このためこうした区間にて、仮に通過交通を都市圏内から排除しつつ、都市圏内部での発着のみをターゲットにダブル連結トラックや貨物車隊列走行を運用することが可能であると仮定すると、一定の走行需要や転換のメリットがあるとも考えられる。

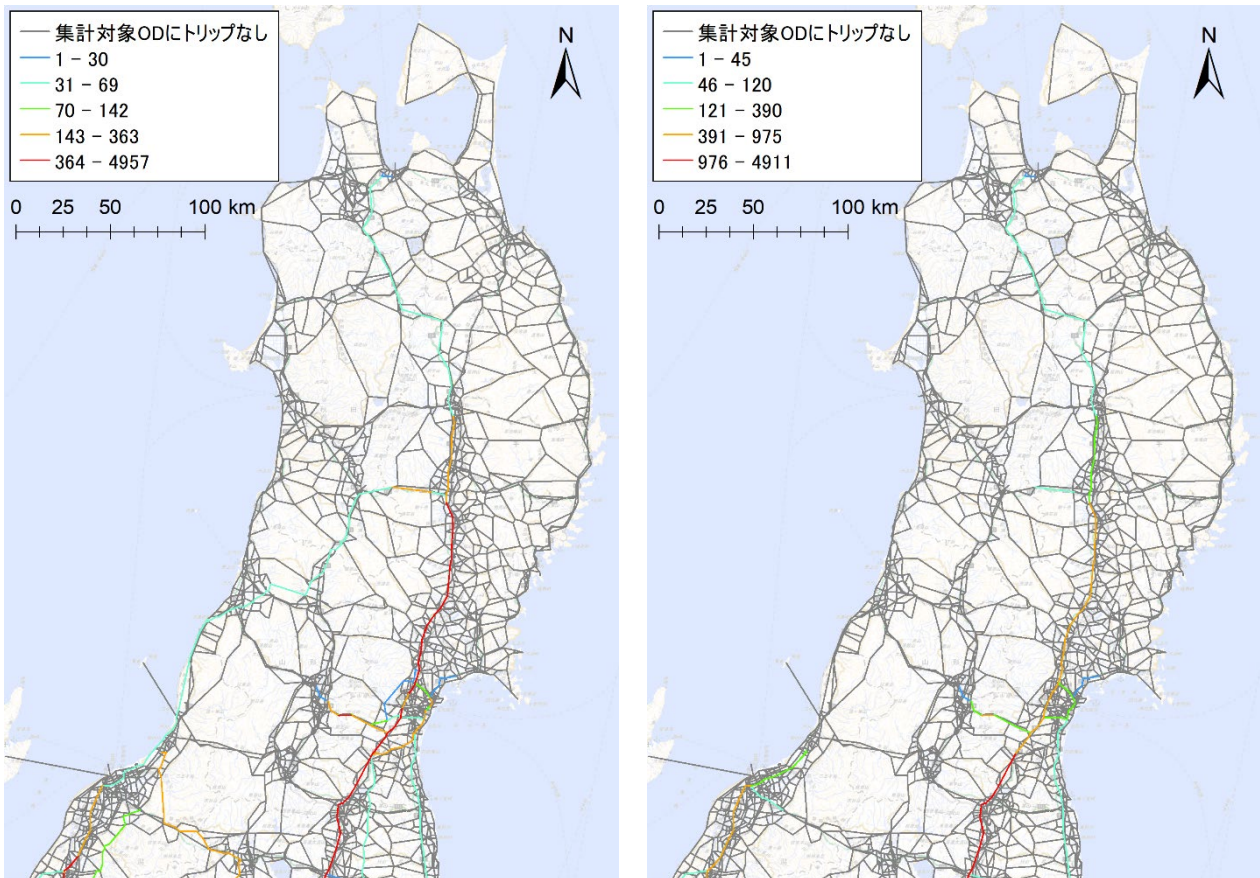


図3.2-4 ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間
※東北およびその周辺。左は最短時間距離解析、右は最小一般化費用解析による結果

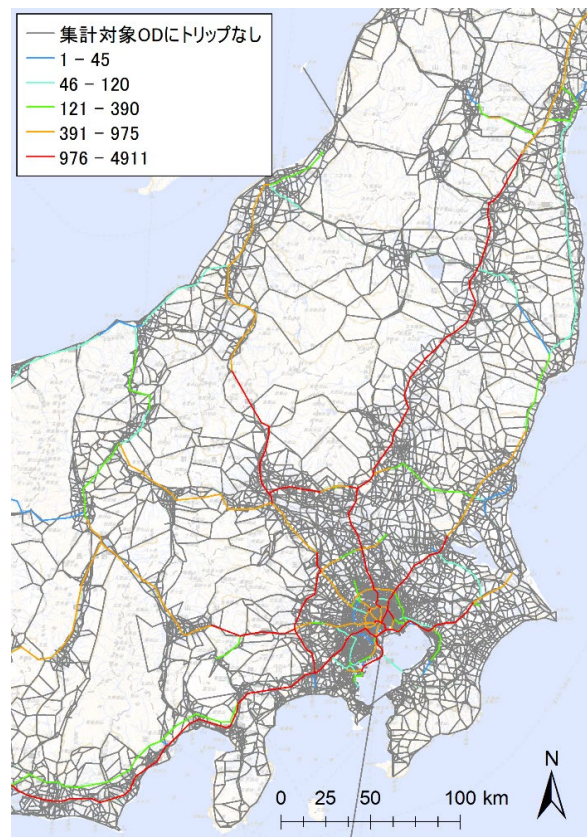
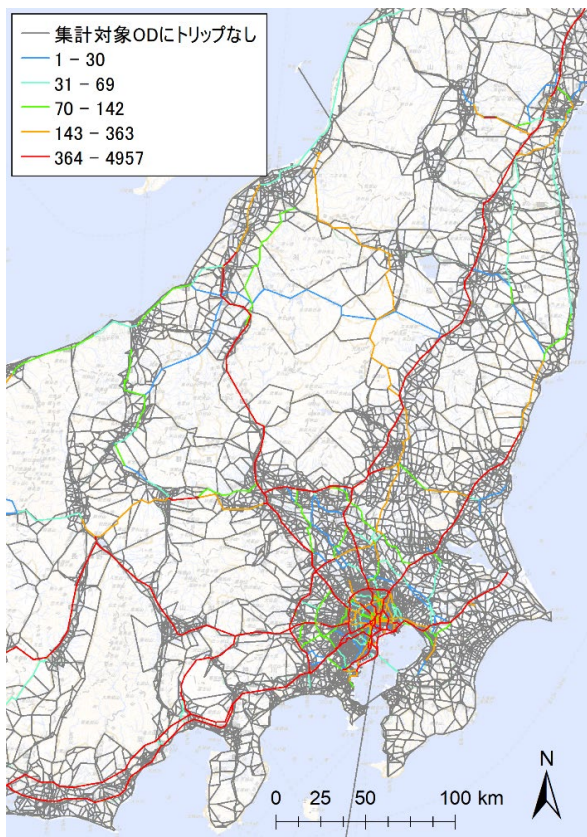


図 3.2-5 ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間
 ※関東・甲信越およびその周辺。左は最短時間距離解析，右は最小一般化費用解析による結果

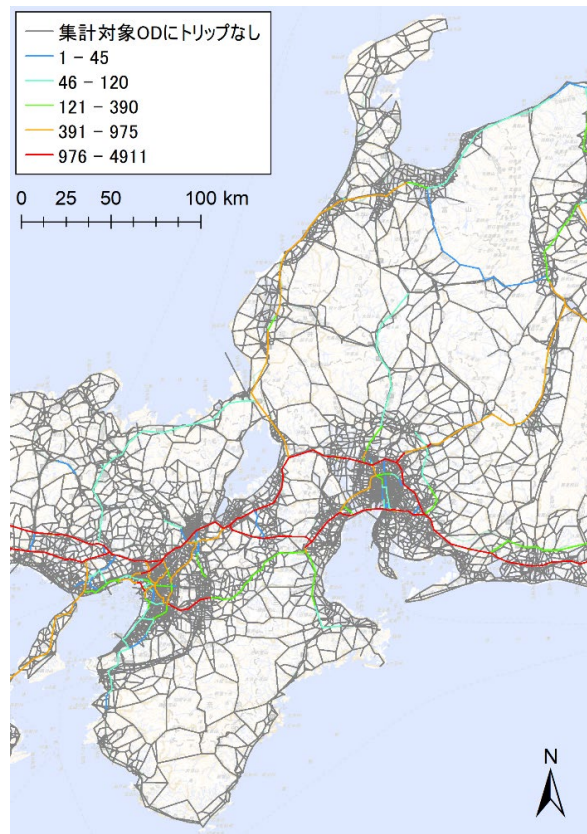
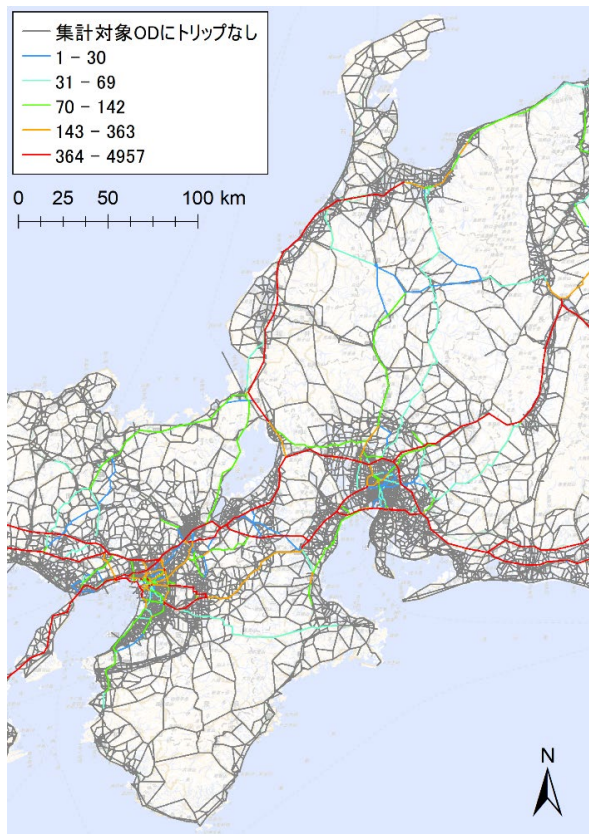


図 3.2-6 ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間
 ※東海・近畿およびその周辺。左は最短時間距離解析，右は最小一般化費用解析による結果

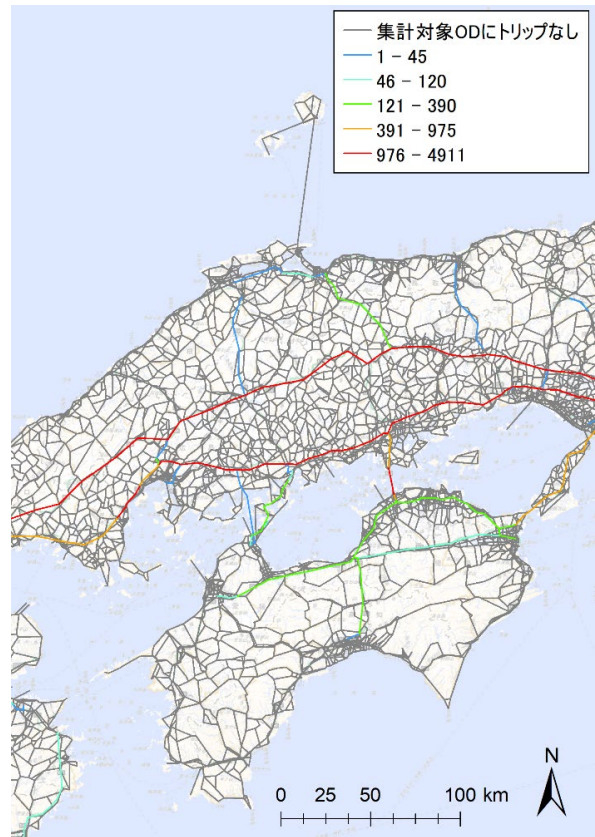


図 3.2-7 ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間
 ※中国・四国およびその周辺. 左は最短時間距離解析, 右は最小一般化費用解析による結果

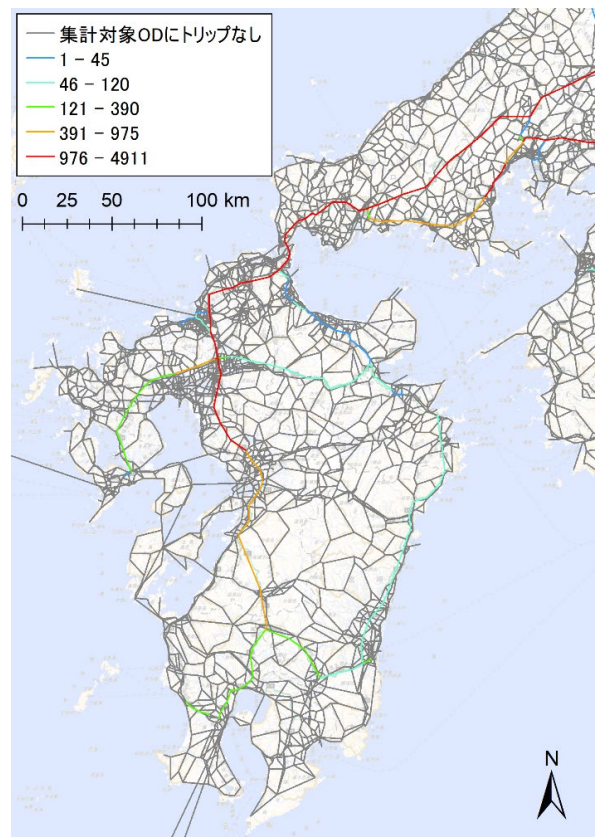
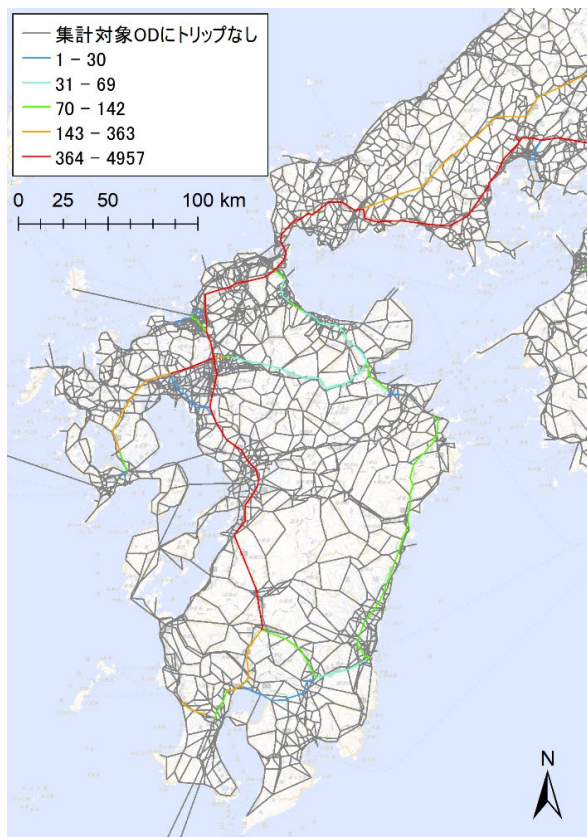


図 3.2-8 ダブル連結トラックや隊列走行への転換に適する大型貨物車の走行需要が高い区間
 ※中国・中国およびその周辺. 左は最短時間距離解析, 右は最小一般化費用解析による結果

「最短時間距離経路解析」と「最小一般化費用経路解析」での結果を比較すると、概ね同様の傾向であるが、首都高都心環状線などの都市圏内部、新東名、西瀬戸道、四国地方内の高速道などで差異がみられる。

(4) 走行可能区間を拡大した場合の整備効果に関する分析

a) 解析手法

ダブル連結トラックや隊列走行等の走行可能区間を延伸した場合、現在の走行可能区間を走行しているトリップの迂回率や所要時間の改善が期待できるだけでなく、新たに走行可能となった区間が発着地となるトリップがダブル連結トラックや隊列走行等へ転換することも期待できる。

そこで2021年度時点でダブル連結トラックが走行可能な区間を基準とし、表3.2-1で示す4パターンにて走行可能区間を拡大した場合に、トリップ数や走行台キロに関してどの程度の増加が期待できるのか推計を試みた。

表 3.2-1 シミュレーションを行ったパターン

パターン	延伸区間
①	九州道全区間を走行可能区間として拡大
②	関越道全域を走行可能区間として拡大
③	圏央道内側全区間を走行可能区間として拡大
④	全ての高速・自専道等（北海道・沖縄を除く）を走行可能区間として拡大

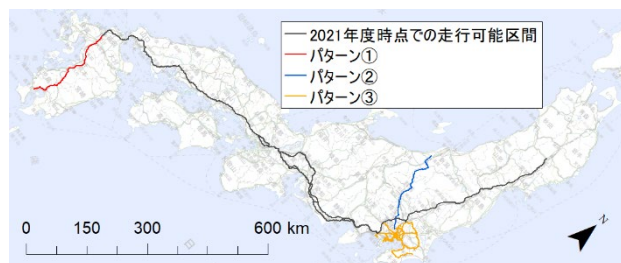


図 3.2-9 走行可能とした区間（パターン①～③）

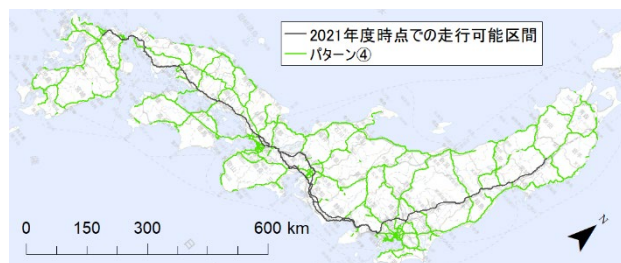


図 3.2-10 走行可能とした区間（パターン④）

ネットワークデータについては「②国土数値情報をベースに作成したネットワークデータ」を用い、現在ダブル連結トラックが走行可能な区間を基準として、各パターンに応じて延伸した区間の道路リンクを付与したネットワークデータを新たに構築し、解析に用いた。

各パターンにて走行可能区間を拡大した場合のシミュレーションを行うにあたり、1,304 の OD ペア（計 54,984 トリップ）から、2021 年度時点でダブル連結トラックが走行可能な区間のみで通行可能な 321 の OD ペア（計 13,699 トリップ）を抽出した。それらの OD ペアについて、最短距離経路解析を行い、トリップ数を乗じることで走行台キロを求めた。…(A)

転換が期待できるトリップ数は走行可能区間が延伸されるほど増加するが、整備効果について把握するため、区間延長(km)でトリップ数・走行台キロを除することにより、[区間延長 1km につき獲得できるトリップ数]、[区間延長 1km につき獲得できる走行台キロ]の値を求めた。これらの値が高いほど、より整備効果の高い区間であると考えられる。

走行可能区間を拡大した場合、区間上にある IC が新たに利用できることになる。この IC の抽出条件としては、拡大した走行可能区間上から、半径 400m 以内に含まれている IC を利用可能になるものとして設定した。利用可能になる IC が増えることにより、新たに通行が可能となる OD ペアも増えることになり、こうした OD ペアについても最短距離経路解析を行い、トリップ数を乗じることで OD (IC) 区間毎に走行台キロを求めた。…(B-2)

2021 年度時点でダブル連結トラックが走行可能な区間のみでも通行可能である 1,304 の OD ペア（計 54,984 トリップ）については、走行可能区間の拡大により最短距離経路が変動する可能性がある。そこで、(A)とは別に走行可能区間拡大後のネットワークにて最短距離経路解析を改めて行い、トリップ数を乗じることで OD 区間毎に走行台キロを求めた…(B-1)。

最短距離経路解析時の発地点・着地点は、発着 IC の緯度経度から最寄りとなるネットワークのノードとした。しかしこれに起因し、走行可能なネットワークを拡大して最短経路解析を行った際に、拡大した区間の遠回りになってしまうノードが選択され、OD ペアの最短距離経路の区間距離が増加してしまう事例が数例であるが見受けられた。そのため(B-1)の区間距離および走行台キロ算出の際には、同一 OD ペアの(A)と(B-1)の区間距離とを比較し、区間距離が短い方のルートの区間距離を選択するよう処理を行っている。

このように求めた拡大前後の結果を比較することにより、走行可能な区間・路線の拡大後にトリップ数や走行台キロにどの程度の増加が期待できるのか推計を試みた。

b) 解析結果

解析結果は表 3.2-2 の通りとなった。2021 年時点での走行可能区間における区間延長 1km につき獲得できるトリップ数、走行台キロは、それぞれ 6.0、788.0 となっている。

九州道全区間を走行可能区間として拡大した場合

表 3.2-2 走行可能区間を拡大した場合のトリップ数・走行台キロの変化

		区間延長 (km)	総トリップ 数	総走行台 キロ	区間延長 1km につき 獲得できるトリップ 数	区間延長 1km につき 獲得できる走行台キ ロ
拡大前	2021 年時点での走行可能区間… (A)	2,285.8	13,699	1,801,247	6.0	788.0
① 九州道	走行可能区間拡大後…(B-1)+(B-2)	2,556.0	14,953	2,009,819	5.9	786.3
	【内訳】 拡大前から走行可能であった OD ペア分…(B-1)	2,285.8	13,699	1,801,247	6.0	788.0
	【内訳】 拡大後に走行可能となった OD ペア分…(B-2)	270.2	1,254	208,572	4.6	771.9
② 関越道	走行可能区間拡大後…(B-1)+(B-2)	2534.1	16,346	1,999,137	6.5	788.9
	【内訳】 拡大前から走行可能であった OD ペア分…(B-1)	2,285.8	13,699	1,801,247	6.0	788.0
	【内訳】 拡大後に走行可能となった OD ペア分…(B-2)	248.3	2,647	197,889	10.7	797.1
③ 圏央道 内側 全区間	走行可能区間拡大後…(B-1)+(B-2)	3077.8	25,432	2,918,348	8.3	948.2
	【内訳】 拡大前から走行可能であった OD ペア分…(B-1)	2,285.8	13,699	1,801,106	6.0	787.9
	【内訳】 拡大後に走行可能となった OD ペア分…(B-2)	792.0	11,733	1,117,242	14.8	1,410.7
④ 高速・ 自専道 等全区 間	走行可能区間拡大後…(B-1)+(B-2)	12,287.7	54,877	6,587,215	4.5	536.1
	【内訳】 拡大前から走行可能であった OD ペア分…(B-1)	2,285.8	13,699	1,795,549	6.0	785.5
	【内訳】 拡大後に走行可能となった OD ペア分…(B-2)	10,001.8	41,178	4,791,666	4.1	479.1

(パターン①), 総トリップ数は 9%増加し (13,699→14,953), 総走行台キロは 12%増加する (1,801,247→2,009,819) が期待できる。区間延長 1km につき獲得できるトリップ数, 走行台キロについては, 走行台キロはほぼ同等 (788.0→786.3), トリップ数は 2%減少 (6.0→5.9) と現行区間と同程度となっている。このことから, 九州道全区間に走行可能区間を拡大することにより, 2021 年度の走行可能区間と同程度の整備効果が得られると考えられる。

(13,699→16,346), 総走行台キロは 11%増加する (1,801,247→1,999,137) が期待できる。区間延長 1km につき獲得できるトリップ数・走行台キロについては, トリップ数は 8%増加し (6.0→6.5), 走行台キロはほぼ同等となる (788.0→788.9)。

このことから, 関越道全区間に走行可能区間を拡大することにより, 2021 年度の走行可能区間と比較し同程度かそれ以上の整備効果が得られると考えられる。

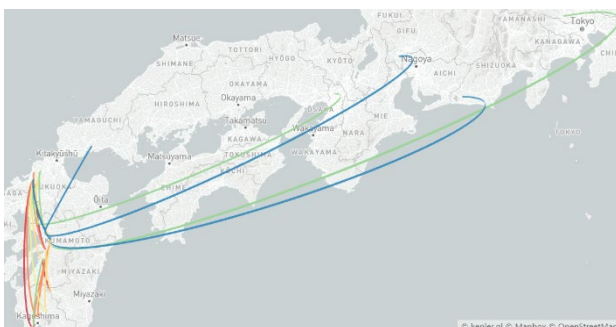


図 3.2-11 拡大後に走行可能となった OD ペア (B-2) の分布 (パターン①) ※暖色ほどトリップ数が多い

拡大後に走行可能となった OD ペア (B-2) の空間的分布の特徴としては, 九州内で完結している OD ペアが大半であるが, 一部に関西・中京・関東圏とのトリップも確認できる。

関越道全区間を走行可能区間として拡大した場合 (パターン②), 総トリップ数は 19%増加し

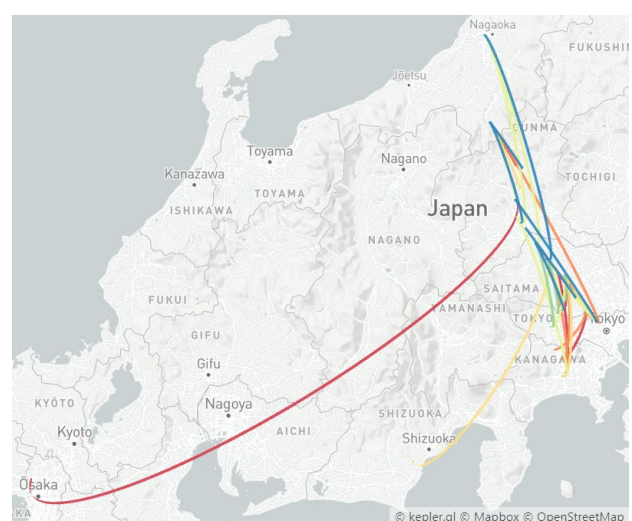


図 3.2-12 拡大後に走行可能となった OD ペア…(B-2) の分布 (パターン②) ※暖色ほどトリップ数が多い

拡大後に走行可能となったODペア(B-2)の空間的分布の特徴としては、関越道～首都圏圏内で完結しているODペアが大半だが、関西圏とのトリップも確認できる。

圏央道内側の全区間を走行可能区間として拡大した場合(パターン③)、その拡大区間や運用方法によっては都市内部に通過交通が流入することとなるため、必ずしも望ましいとは言い切れない側面もある。実際に解析結果において、「走行可能区間・路線拡大前…(A)」と「【内訳】拡大前から走行可能であったOD区間分ペア…(B-1)」とを比較すると、拡大後に総走行台キロが僅かに減少に転じている。これは拡大前には圏央道を利用し都心を通りしなかった東名/新東名-東北道間を往来するトリップが、圏央道の内側を通行するようになったことによる影響である。ただし、本解析は最短距離経路での解析を行った結果であるため、最短時間距離経路で解析を行った場合には異なる結果が得られる可能性がある。

通過交通の課題を除いて解析結果を考察すると、ダブル連結トラック等への転換に適すると考えられる総トリップ数は86%増加し(13,699→25,432)、総走行台キロは62%増加する(1,801,247→2,918,348)ことが期待できる。区間延長1kmにつき獲得できるトリップ数・走行台キロについては、トリップ数は38%増加し(6.0→8.3)、走行台キロは20%増加する(788.0→948.2)。

実際の道路の走行環境の制約や通過交通の課題はあるが、圏央道内側においてダブル連結トラックや隊列走行の走行可能区間を拡大することにより、それらへの転換という意味においては大きな整備効果が得られると考えられる。

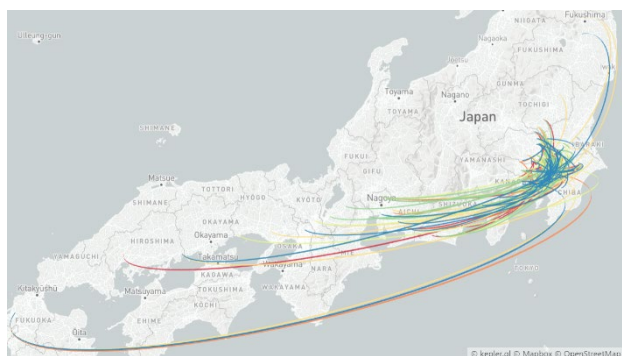


図 3.2-13 拡大後に走行可能となった OD ペア(B-2)の分布(パターン③) ※暖色ほどトリップ数が多い

拡大後に走行可能となった OD ペア(B-2)の空間的分布の特徴としては、首都圏内で完結している OD ペアが多いが、東海地方とのトリップも比較的多くなっている。その他、東北・関西・中国地方とのトリップも確認できる。

全ての高速・自専道等(北海道・沖縄を除く)を走行可能区間として拡大した場合(パターン④)、ダブル連結トラック等への転換に適すると思われる総トリップ数は約4倍に増加し(13,699→54,877)、総走行台キロは約3.7倍に増加する(1,801,247→6,587,215)ことが期待できる。しかし区間延長1kmにつき獲得できるトリップ数・走行台キロについては、トリップ数は25%減少し(6.0→4.5)、走行台キロも約32%減少する(788.0→536.1)。

全ての高速・自専道等(北海道・沖縄を除く)を走行可能区間として拡大すると、ダブル連結トラックや隊列走行等への転換需要が少ない区間の割合が増えてしまうため、2021年時点で走行可能な区間と比較すると整備効果は低いという結果となった。



図 3.2-14 拡大後に走行可能となった OD ペア(B-2)の分布(パターン④) ※暖色ほどトリップ数が多い

拡大後に走行可能となった OD ペア(B-2)の空間的分布の特徴としては、太平洋ベルト地帯での OD ペアが多くを占めるほか、都市圏と地方都市とを結ぶ OD ペアも目立つ。

第4章 連結・解除スペースの拠点配置と機能に関する分析

4.1 最適化モデルによる拠点配置の考察

(1) はじめに

近年、トラック輸送の省人化や環境負荷低減等を目的にして、幹線輸送におけるダブル連結トラックの導入による大容量化やトラック隊列走行、自動運転トラックなど大型貨物車の自動化に向けた取り組みが急速に進められている⁹⁾。これまで物流生産性向上に資する幹線輸送の効率化に対する取り組みとして、官民による促進のための実証実験や制度検討が継続的に進められてきた。そして、ダブル連結トラックや自動運転・隊列走行の活用による輸送の大ロット化は、幹線輸送を効率化するために必要となる物流拠点の整備と大いに関連している。こうした新技術導入の初期段階において、日本全国を対象としたマクロレベルでの拠点配置を検討した上で、都市圏を対象としたミクロレベルでの立地を個々に検討することは、我が国の都市計画における重要課題であると言える。

大型貨物車の自動化については、世界的に主にトラック隊列走行²⁾と自動運転トラックの技術開発が進められている。トラック隊列走行については、日本において2017年から高速道路での後続車有人の実証実験が続けられ、2021年2月には後続車無人の実証実験に成功した一方、後続車無人の実現に向けたインフラ整備や法規制、商業化などの検討が行われている。後続車無人の隊列走行において、隊列を形成する、つまり有人運転から無人運転に切り替える際に、運転手の交代や待機を行う隊列形成拠点(Platooning Formation Center, PFC)が必要となる。

隊列走行において、ルート選択やスケジュール調整などに関する計画立案に対して、これまで様々な数理的モデルが提案されているものの、拠点配置に関する研究事例は非常に限られている³⁾。また、トラック隊列走行を対象として、施設配置問題⁴⁾として、連続近似モデルを用いたPFC配置に関する輸送コストの計算から、隊列走行が有利となる条件を導出している⁵⁾。

一方、自動運転トラックについては、日本では限

定領域における自動運転(レベル4)の実用化に向けた実証実験が進められており、2025年度以降の高速道路におけるレベル4自動運転トラックの実現を目指している⁶⁾。なお、レベル4とは、完全自動運転(レベル5)の前段階として、特定の走行環境条件を満たす限定された領域(限定領域)において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態である。米国においても、高速道路上を限定領域とした自動運転トラックとの連結・解除に対応したTransfer hubの設置が構想されている⁷⁾。

我が国の物流においては、拠点(ハブ)間の幹線輸送と端末輸送(スポーク)を組み合わせたハブ・アンド・スポーク(Hub and Spoke)型の輸送ネットワークが導入されている⁸⁾。施設配置問題における離散最適化モデルにより定式化されるネットワーク設計問題¹⁰⁾の一種であるハブ立地問題(Hub Location Problem)は、O'Kelly¹¹⁾により初めて定式化がなされた。ハブ立地問題は、各需要点間の総輸送費用を最小とするように、拠点(ハブ)の配置及び各需要点の拠点への割当を決定する問題であり、これまで航空や物流を中心として多数の事例に適用されてきた^{12, 13, 14)}。そこで本研究では、トラック隊列走行と高速道路上を限定領域とした自動運転(レベル4)を想定し、拠点(ハブ)間の幹線輸送における自動化と大容量化によるコスト削減を考慮した幹線輸送における物流拠点の最適配置について、ハブ立地問題を用いて定式化を行い、日本における自動化に関するシナリオに応じた最適配置に関する考察を行うこととする。

(2) 数理計画法による定式化

ハブ立地問題の前提として、各拠点(ハブ)間は完全グラフで結ばれており、各需要点 i と j を結ぶ輸送需要は拠点 k と m を経由することとする。需要点と拠点の割り当てにおいて、図4.1-1のように

- a. 単一割当モデル: 各需要点は目的地によらず、単一の拠点を利用可能
- b. 複数割当モデル: 各需要点は目的地に応じて、

複数の拠点を利用可能の2つのタイプが提案されている¹⁴⁾。一般的に、複数割当モデルの方が、迂回が少ない一方、目的地により異なる拠点を經由することから運用が複雑となる。一方、単一割当モデルは、迂回が大きくなる一方、拠点と担当地域の紐づけがなされることから、物流企業の多くではこちらが採用されている。

なおハブ立地問題はNP困難であることが知られており、計算量が多いことから少ないノード数に対してのみ最適解を与えることができる¹⁵⁾。そこで、日本におけるデータについて、道路でつながる本州、四国、九州にある都府県45ノード(北海道と沖縄を除く)を考慮することとした。

本研究ではSkorin-Kapov他¹⁶⁾において提案されているモデルを用いることとする。需要点の集合を I, J とし、需要点 $i \in I, j \in J$ とする。全ての需要点を拠点の立地候補点とする。輸送需要として、需要点 ij 間の流動量 W_{ij} を用いる。移動コストとして、需要点 i と拠点 k 間の移動コスト C_{ik} 、需要点 j と拠点 m 間の移動コスト C_{mj} 、拠点 km 間の移動コスト C_{km} が与えられているものとする。拠点(ハブ)間の移動コストに対して、幹線コスト割引係数 $\alpha(\leq 1)$ の設定により、拠点・需要点間の端末区間の移動よりもコストが低く移動することが可能となる。

単一割当モデルでは、需要点 i が立地候補点 k への割り当てを表す0-1整数変数 Z_{ik} を用いると、下記の通り定式化ができる。

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} (C_{ik} + \alpha C_{km} + C_{mj}) X_{ijkm} \quad (4.1.1) \\ \text{sub.to. } & \sum_k Z_{kk} = p \quad (4.1.2) \\ & \sum_k Z_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (4.1.3) \\ & Z_{ik} - Z_{kk} \leq 0 \quad \forall i \neq k \quad (4.1.4) \\ & \sum_m X_{ijkm} - Z_{ik} \leq 0 \quad \forall j > i; k \quad (4.1.5) \\ & \sum_k X_{ijkm} - Z_{jm} \leq 0 \quad \forall j > i; k \quad (4.1.6) \end{aligned}$$

なお、モデルで用いるパラメータと変数は下記の通りである。

- α : 幹線コスト割引係数 (拠点間)
- p : 拠点数
- W_{ij} : 需要点 ij 間流動量
- C_{ik} : 点 ik 間輸送コスト
- X_{ijkm} : 需要点 ij 間移動が拠点 km を利用する場合
- $Z_{ik} = \begin{cases} 1, \text{需要点}i\text{が拠点}k\text{に割当てられる} \\ 0, \text{それ以外} \end{cases}$
- $Z_{kk} = \begin{cases} 1, \text{候補点}k\text{での拠点立地有} \\ 0, \text{それ以外} \end{cases}$

一方、複数割当モデルでは、変数として、需要点 ij 間の輸送需要が拠点 km を利用する割合を表す変数 X_{ijkm} 、立地候補点 k に拠点を配置する0-1整数変数 Z_{ik} を用いると、下記の通り定式化ができる。

$$\text{Min } \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} (C_{ik} + \alpha C_{km} + C_{mj}) X_{ijkm} \quad (4.1.7)$$

$$\text{sub.to. } \sum_k Z_{kk} = p \quad (4.1.8)$$

$$\sum_k \sum_m X_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j \quad (4.1.9)$$

$$\sum_m X_{ijkm} - Z_{ik} \leq 0 \quad \forall i, j, k \quad (4.1.10)$$

$$\sum_k X_{ijkm} - Z_{jm} \leq 0 \quad \forall i, j, m \quad (4.1.11)$$

なお、モデルに用いる追加的な変数は下記の通りである。

$$Z_k = \begin{cases} 1, \text{候補点}k\text{での拠点立地有} \\ 0, \text{それ以外} \end{cases}$$

(3) 使用するデータと計算環境

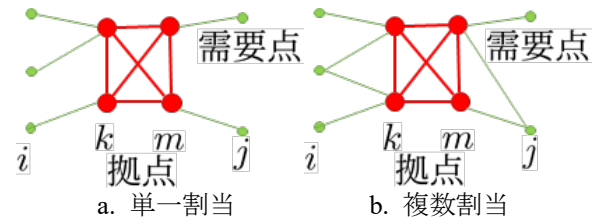


図 4.1-1 最適拠点配置と割当

・輸送需要 (W_{ij})

全国貨物純流動調査(国土交通省)¹⁷⁾における2015年調査(第10回)3日間調査により得られた都道府県間流動量(表V-1-1, 重量, 単位:t)を用い、代表輸送機関としてトラックの合計を用いることとする。但し、同一都道府県内の流動については、幹線輸送の対象とならないとみなし対象外とする。対象とする都道府県のデータは表4.1-1の通りであり、近隣都道府県への流動量が多いことが特徴である。各都道府県における流動量の発地・着地の合計について、流動量の上位には中部や関東、関西などの人口や産業の集積(以下、集積)した都道府県が見られる。

一方、発生量を集中量で割った値である発着比に着目すると、中部地方では、岐阜県や長野県など比較的集積が低い県において1未満で流入超である一方、愛知県や静岡県など集積が高いは1以上で流出超である。そして、関東地方では、東京都と埼玉県は1未満で流入超である一方、その他の県は1以上で流出超であることから、流動の方向は多様であり集積との関係性が低いことが特徴である。

・輸送コスト (C_{ik})

国土地理院による都道府県庁間距離(単位:km)を用いる¹⁸⁾。回転楕円体(GRS80)における最短距離(測地線長)を計算したものである。需要点として都道府県庁の位置データを用いた上で、都道府県間の空間的隔たりを表現するに当たり、直線距離を用いた。その理由として、直線距離と厳密な道路網を用いた移動距離には強い相関関係¹⁹⁾がある上に、高速道路網の整備が進みトンネルや橋梁により迂回距離が少ない交通ネットワークが構築されてきていること、鉄道やフェリーなど他の輸送機関における多様な輸送コストを近似的に表現できることが挙げられる。

・計算環境と計算時間

最適化計算では、数理計画ソルバとしてXpress(パ

表 4.1-1 都府県の流動量 (単位: t)

順位	都府県	発地計	着地計	合計	シェア	発着比
1	愛知県	605,548	567,033	1,172,581	8.68%	1.07
2	埼玉県	488,190	573,437	1,061,628	7.86%	0.85
3	東京都	382,879	575,567	958,446	7.10%	0.67
4	大阪府	445,850	424,955	870,806	6.45%	1.05
5	神奈川県	396,405	364,482	760,887	5.63%	1.09
6	千葉県	383,823	298,187	682,010	5.05%	1.29
7	兵庫県	343,592	289,466	633,058	4.69%	1.19
8	茨城県	305,157	304,782	609,939	4.52%	1.00
9	静岡県	273,343	238,651	511,995	3.79%	1.15
10	栃木県	278,300	174,638	452,939	3.35%	1.59
11	福岡県	240,761	180,339	421,099	3.12%	1.34
12	三重県	250,524	158,984	409,508	3.03%	1.58
13	群馬県	196,537	184,776	381,313	2.82%	1.06
14	岐阜県	170,888	190,370	361,258	2.67%	0.90
15	岡山県	203,352	107,860	311,211	2.30%	1.89
16	宮城県	128,581	176,056	304,637	2.26%	0.73
17	広島県	79,475	176,148	255,623	1.89%	0.45
18	福島県	134,830	109,655	244,485	1.81%	1.23
19	滋賀県	103,670	135,809	239,479	1.77%	0.76
20	長野県	81,667	136,154	217,821	1.61%	0.60
21	新潟県	126,866	80,390	207,255	1.53%	1.58
22	京都府	89,845	109,591	199,436	1.48%	0.82
23	奈良県	31,943	136,363	168,306	1.25%	0.23
24	山口県	92,271	65,375	157,647	1.17%	1.41
25	愛媛県	104,955	49,718	154,673	1.15%	2.11
26	佐賀県	47,918	95,741	143,659	1.06%	0.50
27	山梨県	35,846	99,130	134,977	1.00%	0.36
28	富山県	52,832	78,177	131,010	0.97%	0.68
29	熊本県	60,980	66,602	127,582	0.94%	0.92
30	石川県	75,113	42,521	117,634	0.87%	1.77
31	香川県	67,491	48,390	115,881	0.86%	1.39
32	岩手県	57,601	56,400	114,001	0.84%	1.02
33	和歌山県	55,061	35,615	90,676	0.67%	1.55
34	大分県	45,037	41,908	86,945	0.64%	1.07
35	福井県	32,520	53,391	85,911	0.64%	0.61
36	山形県	39,202	39,022	78,224	0.58%	1.00
37	鹿児島県	31,183	44,460	75,643	0.56%	0.70
38	宮崎県	32,135	37,886	70,022	0.52%	0.85
39	青森県	35,927	29,824	65,751	0.49%	1.20
40	徳島県	34,081	29,705	63,786	0.47%	1.15
41	島根県	38,066	22,611	60,677	0.45%	1.68
42	鳥取県	21,366	37,678	59,044	0.44%	0.57
43	長崎県	19,598	34,206	53,804	0.40%	0.57
44	秋田県	22,420	31,021	53,441	0.40%	0.72
45	高知県	9,888	20,444	30,331	0.22%	0.48

ージョン 8.11) を使用して実行した。計算機環境としては、CPU は Intel Xeon Bronze 1.9GHz (16CPU)、メモリは 32GB という仕様である。計算時間は、各問題の計算の複雑さに大きく依存することから、30分程度から、まれに 12 時間以上と大きく異なる。一般的に、単一割当、複数割当ともに拠点数が多いほど計算時間が長くなり、複数割当の場合は一般に平均して 2~3 時間程度かかる。

(4) 想定するシナリオ

日本におけるトラック隊列走行の商業化に関する検討結果²⁰⁾を参考として、本研究では隊列走行とともに幹線輸送で用いられる高速道路を限定領域とした自動運転の実現を想定した下記の 4 つのシナリオ

を設定する。

- ・シナリオ(i)：トラック隊列走行（後続ドライバー 有人）
- ・シナリオ(ii)：トラック隊列走行（後続ドライバー 無人）
- ・シナリオ(iii)：自動運転トラック（レベル 4）
- ・シナリオ(iv)：p-Median 問題⁴⁾（幹線輸送を考慮しない）

なお、シナリオ(iv)を設定した理由として、施設配置問題の中でも総移動コスト最小化となる代表的なモデルであり、計算時間も比較的短いことから、ハブ立地問題の結果と比較することが学術的に有用であると考えたからである。

図 4.1-1 における拠点（ハブ）間の幹線輸送におけるシナリオに応じて、幹線コスト割引係数 α を設定する。シナリオ(i)から(iii)において、幹線コスト割引係数 α の導出について、一台当たり走行費用（隊列走行における先頭車両 a 、後続車両 b ）と隊列形成台数 n により、

$$\alpha = \frac{a+(n-1)b}{an} \quad (4.1.12)$$

と定式化されている¹⁾。なお、分母は隊列なしの場合、分子は隊列走行の場合の走行費用である。本研究で検討するシナリオについて表 4.1-2 のようにパラメータ a, b, n を設定した上で、式(4.1.12)を用いて α を導出する。その際、幹線コスト割引係数 α として、小数点以下2桁で切り捨てた値を用いる。

表 4.1-2 幹線コスト割引係数¹⁾

シナリオ	a	b	n	α
(i) 隊列（後続有人）	0.9	0.8	3	0.8
(ii) 隊列（後続無人）	0.9	0.4	3	0.5
(iii) 自動運転（レベル 4）	0.5	0.4	3	0.4

(5) 数値実験の結果

- ・目的関数値による比較

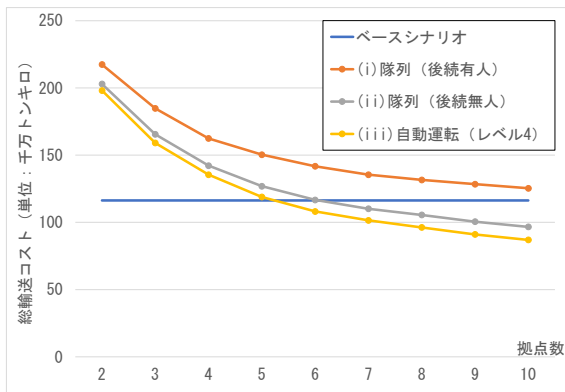
本モデルの目的関数値（総輸送コスト、単位：トン・キロ）は、図 4.1-2 の通りである。拠点数 p が増加するほど、各シナリオにおける総輸送コストは減少する一方、拠点数が多くなるほど、1 拠点増加した際の総輸送コストの削減効果は小さくなる。なお、拠点は 2 か所以上から成立するため、拠点数 $p = 1$ の計算結果はない。更に本モデルでは、拠点の立地に係る費用は考慮していないことから、拠点数に対して単調減少となる。現状としての「ベースシナリオ」は、単車による直行（拠点数 $p = 0$ 、隊列形成せず）の場合となり、計算方法としては輸送需要と輸送コストの積和となる。

単一割当、複数割当ともに、幹線コスト割引係数（ α ）の違いにより、総輸送コストはシナリオ(i)隊列（後続有人）>シナリオ(ii)隊列（後続無人）>シナリオ(iii)自動運転（レベル 4）の関係が見られる。総輸送コストにおいて、ベースシナリオよりも低くな

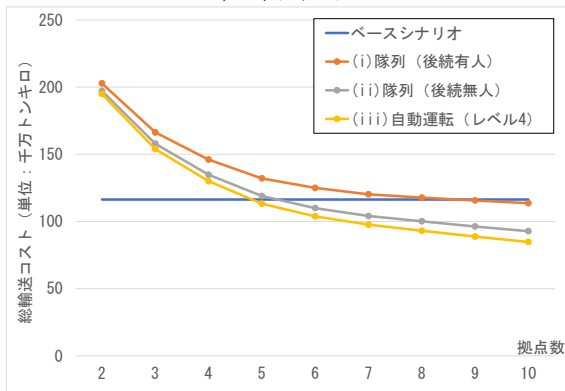
るのは、単一割当の場合、シナリオ(ii)隊列（後続無人）では $p \geq 7$ 、シナリオ(iii)自動運転（レベル4）では $p \geq 6$ となる。一方、シナリオ(i)隊列（後続有人）では $p = 10$ でもベースシナリオより低くならない。つまり、導入初期状態である隊列（後続有人）を想定すると、ベースシナリオ以上の利便性を持つためには、拠点数として $p = 10$ 以上を整備する必要がある。一方、複数割当の場合、シナリオ(i)隊列（後続有人）では $p \geq 10$ 、シナリオ(ii)隊列（後続無人）では $p \geq 6$ 、シナリオ(iii)自動運転（レベル4）では $p \geq 5$ となる。つまり、導入初期状態である隊列（後続有人）を想定すると、ベースシナリオ以上の利便性を持つためには、拠点数として $p = 10$ を整備する必要がある。

・最適拠点配置

拠点数 2 から 10 までの最適拠点配置について、配置地点に関する変化について分析する。単一割当モデルでは図 4. 1-3 のように示され、シナリオ間での比較として、拠点数 2 から 4 までは同じ配置結果であるが、それ以降は若干の違いが見られる。概ね需要の多い箇所が選ばれているものの、山形県のよ



a. 単一割当モデル



b. 複数割当モデル

図 4. 1-2 総輸送コスト (拠点数 2-10)

うに需要はそれほど多くないものの地理的關係により選ばれている県が見られる。p-Median の結果は図 4. 1-4 のように示され、図 4. 1-3 とは概ね同じ傾向が見られるものの、異なる配置結果となっている。

複数割当モデルでは図 4. 1-5 のように示され、シナリオ間での比較として、拠点数 2 から 4 までは同

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県									
山形県									
福島県				●	●	●	●	●	●
茨城県									
栃木県									●
群馬県							●	●	●
埼玉県	●	●	●	●	●	●	●	●	●
東京都									●
静岡県						●	●	●	●
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●		●	●	●	●	●	●	●
岡山県					●	●	●	●	●
広島県								●	●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(i) 隊列 (後続有人)

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県							●	●	●
山形県									
福島県				●	●	●			●
茨城県								●	●
栃木県									
群馬県							●	●	●
埼玉県	●	●	●	●	●	●			
東京都							●	●	●
静岡県						●	●	●	●
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●		●	●	●	●	●	●	●
岡山県					●	●	●	●	●
広島県									●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(ii) 隊列 (後続無人)

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県							●	●	●
山形県				●	●	●			
福島県								●	●
茨城県									
栃木県							●		
群馬県								●	●
埼玉県	●	●	●	●	●	●			
東京都							●	●	●
静岡県						●	●	●	●
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●		●	●	●	●	●	●	●
岡山県					●	●	●	●	●
広島県									●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(iii) 自動運転 (レベル4)

図 4. 1-3 最適配置 (拠点数 2-10, 単一割当)

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県			●	●	●	●	●	●	●
茨城県						●	●	●	●
埼玉県	●	●		●	●				
東京都			●			●	●	●	●
長野県								●	●
静岡県							●	●	●
愛知県				●	●	●	●	●	●
滋賀県		●	●						
大阪府	●			●	●	●	●	●	●
岡山県					●	●	●	●	●
広島県					●	●	●	●	●
福岡県		●	●	●					
佐賀県					●	●	●	●	●

図 4. 1-4 最適配置 (拠点数 2-10, p-Median)

じ配置結果であるが、それ以降は若干の違いが見られる。初期段階は需要の多い地点が選ばれているものの、滋賀県や福島県、富山県のように需要はそれほど多くないものの地理的關係により選ばれている県が見られる。

・最適配置と割当

先の最適配置の結果について、地図上において拠点の立地を赤点、需要点と拠点の割当を緑リンクで示す。単一割当モデルの拠点数10の場合は、図4.1-6のように示されており、シナリオ(i)と(ii)が同じ結果となっている。違いとしては、北関東から東北地方にかけて、シナリオ(i)と(ii)では福島県と栃木県、

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県				●	●	●	●	●	●
福島県									
茨城県									
栃木県						●	●	●	●
群馬県									●
埼玉県	●	●	●	●	●				
東京都							●	●	●
富山県						●	●	●	●
長野県									
静岡県									
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●				●	●	●	●	●
兵庫県			●	●					
岡山県					●	●	●	●	●
広島県								●	●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(i) 隊列 (後続有人)

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県						●	●	●	●
福島県				●	●				
茨城県									
栃木県						●	●	●	●
群馬県									
埼玉県	●	●	●	●	●				
東京都						●	●	●	●
富山県									
長野県							●	●	●
静岡県								●	●
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●		●	●	●	●	●	●	●
兵庫県									
岡山県					●	●	●	●	●
広島県									●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(ii) 隊列 (後続無人)

拠点数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
宮城県						●	●	●	●
福島県				●	●				
茨城県								●	●
栃木県						●	●		
群馬県								●	●
埼玉県	●	●	●	●	●				
東京都						●	●	●	●
富山県									
長野県									
静岡県							●	●	●
愛知県			●	●	●	●	●	●	●
滋賀県		●							
大阪府	●				●	●	●	●	●
兵庫県			●	●					
岡山県					●	●	●	●	●
広島県									●
福岡県		●	●	●	●	●	●	●	●

(iii) 自動運転 (レベル4)

図4.1-5 最適配置 (拠点数2-10, 複数割当)

シナリオ(iii)では宮城県と茨城県に立地しているものの、割当に大きな違いはない。p-Medianの拠点数10の場合は図4.1-7のように示され、単一割当の結果である図4.1-6とは概ね同じ傾向が見られるものの、北陸地方において異なる配置結果となっている。

複数割当モデルの拠点数10の場合は、図4.1-8のように示される。単一割当モデルに比べると、割当

の緑リンクが多くみられることから、着地の方面別に利用する拠点が複数あることが分かる。図4.1-8にあるように、シナリオ3つとも異なる結果となっている。違いとしては、中部地方から北関東にかけて、シナリオ(i)では富山県と群馬県、シナリオ(ii)では長野県と静岡県、シナリオ(iii)は群馬県と静岡県に立地したことから、シナリオの変化に伴い日本海側から太平洋側へと輸送需要の多い地域へ立地がシフトしていることが分かる。一方、割当については、シナリオ(i)において割当の緑リンクが最も多くみられるものの、シナリオ(iii)では緑リンクの数が大幅に減っている。またシナリオ(ii)は p-Median の立地結果ともかなり近いことが分かる。つまり、自動化の進展に伴い幹線輸送でのコスト削減が進むことで、最も近い拠点へと割当が単純化している。このことから、自動化の進展に伴い、単一割当で検討しても大きな問題はないことが分かる。

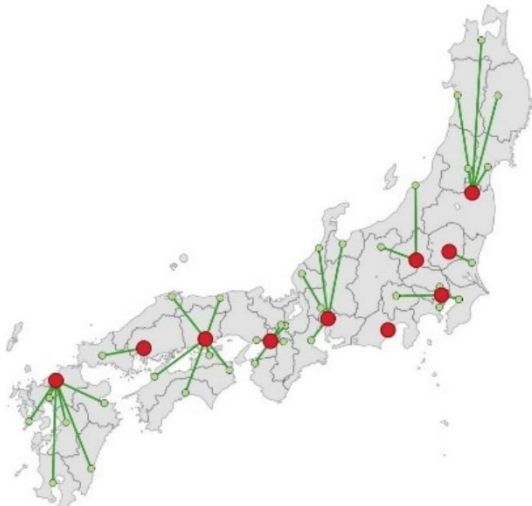
以上のことから、各シナリオに共通して、拠点数が増加するにつれて、太平洋・瀬戸内海側の交通需要の多い地点に立地が進むことが分かった。また、シナリオ(ii)隊列(後続無人)からシナリオ(iii)自動運転(レベル4)へと技術進化が進んだとしても、シナリオ(i)隊列(後続有人)向け拠点数で配置が大きく変わらず、拠点への割当についても単一割当や p-Median と類似した結果ということが分かった。

(6) まとめ

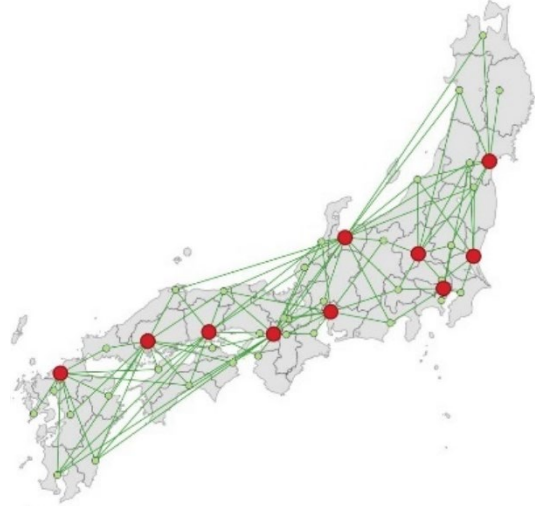
本研究では、拠点(ハブ)間の幹線輸送におけるトラック隊列走行の実現に伴う大容量化と自動化によるコスト削減を考慮した物流拠点の最適配置について検討した。その際、導入の初期段階を想定し、日本全国を対象としたマクロレベルでの拠点配置を検討するため、数理計画モデルによるハブ立地問題に基づき定式化を行った。そして自動化に関するシナリオに共通して、拠点数が増加するにつれて、太平洋・瀬戸内海側の交通需要の多い地点に立地が進むことが分かった。また、隊列(後続無人)から自動運転(レベル4)へと技術進化が進んだ場合にも、隊列(後続有人)向け拠点数で配置が大きく変わらず、拠点への割当についても単一割当や p-Median と類似した結果となることが分かった。

4.1の参考文献

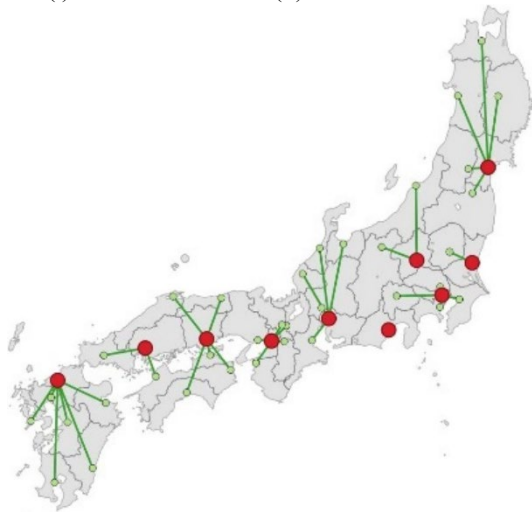
- 1) Watanabe, D., Kenmochi, T., Sasa, K., Hyodo, T. (2021) Current Situations on High Capacity Transport and Truck Platooning in Japan. 16th International Symposium on Heavy Vehicle Transport and Technology, pp.1-12.
- 2) 渡部大輔 (2020) 欧州におけるトラック隊列走行に関する取り組みの現状, 海運経済研究, 54, pp.1-10.
- 3) Bhoopalam, A.K., Agatz, N., Zuidwijk, R. (2018) Planning of Truck Platoons: A Literature Review and Directions for Future Research. Transportation Research Part B, 107, pp.212-228.
- 4) Daskin, M. S. (2013) Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications, Second Edition, John



(i) 隊列 (後続有人) ・ (ii) 隊列 (後続無人)

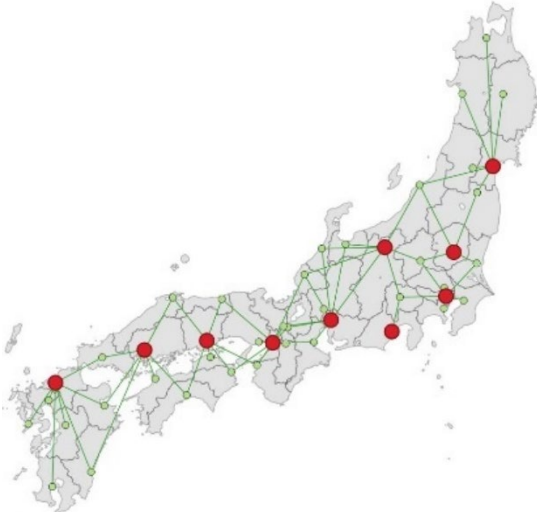


(i) 隊列 (後続有人)



(iii) 自動運転 (レベル 4)

図 4.1-6 最適配置と割当 (拠点数 10, 単一割当)



(ii) 隊列 (後続無人)

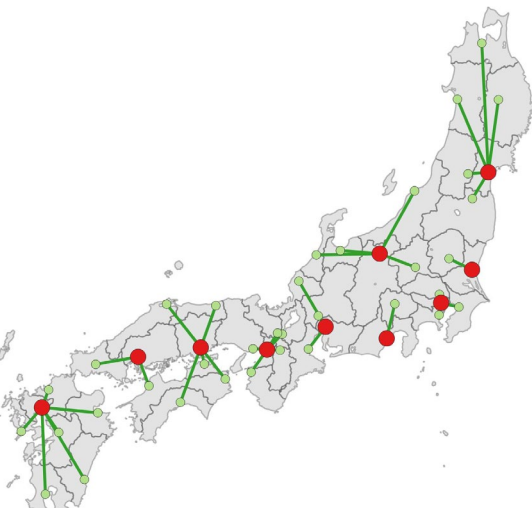
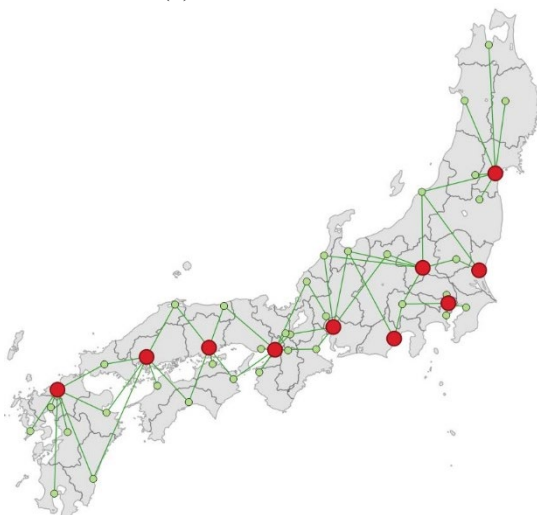


図 4.1-7 最適配置と割当 (拠点数 10, p -Median)



(iii) 自動運転 (レベル 4)

図 4.1-8 最適配置と割当 (拠点数 10, 複数割当)

- Wiley and Sons, Inc., New York.
- 5) Watanabe, D., Kenmochi, T., Sasa, K. (2021) An Analytical Approach for Facility Location for Truck Platooning-A Case Study of Unmanned Following Truck Platooning System in Japan-. *Logistics*, **5**, 27.
 - 6) 自動走行ビジネス検討会事務局:自動走行ビジネス検討会報告書 version 6.0, 2022.
 - 7) Zarif, R., Starks, C., Sussman, A., Kukreja, A. (2021) Autonomous trucks lead the way. *Deloitte Insights*.
 - 8) 林克彦・根本敏則 (編) (2015) ネット通販時代の宅配便. 成山堂書店.
 - 9) 山田忠史 (2020) 国内外の物流研究の最前線. *交通工学*, **55(2)**, pp.29-32.
 - 10) 片山直登 (2008) ネットワーク設計問題. 朝倉書店.
 - 11) O’Kelly, M. E. (1987) A Quadratic Integer Program for The Location of Interacting Hub Facilities. *European Journal of Operational Research*, **32**, pp.393–404.
 - 12) 佐々木美裕 (2000) ハブ空港の配置モデル. *オペレーションズ・リサーチ*, **45(9)**, pp.17-23.
 - 13) Campbell F.J., O’Kelly M.E. (2012) Twenty-Five Years of Hub Location Research. *Transportation Science*, **46(2)**, pp.153-169.
 - 14) Alumur, S.A., Campbell, J.F., Contreras, I., Kara, B.Y., Marianov, V., O’Kelly, M.E. (2021) Perspectives on modeling hub location problems. *European Journal of Operational Research*, **291**, pp.1-17.
 - 15) O’Kelly, M.E., Bryan, D., Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J. (1996) Hub Network Design With Single and Multiple Allocation: A Computational Study, *Location Science*, **4**, pp.125-138.
 - 16) Skorin-Kapov, D., Skorin-Kapov, J., O’Kelly, M.E. (1996) Tight Linear Programming Relaxations of Uncapacitated p-hub Median Problems, *European Journal of Operational Research*, **94**, pp.582-593.
 - 17) 国土交通省: 全国貨物純流動調査 (物流センサス) , <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/butsuryu06100.html>, (2022年2月6日閲覧).
 - 18) 国土地理院: 都道府県庁間の距離, <https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/kenchokan.html>, (2022年2月6日閲覧).
 - 19) 腰塚武志, 小林純一 (1983) 道路距離と直線距離, 都市計画論文集, **18**, pp.43-48.
 - 20) トラック隊列走行の商業化実現に係る官民検討会 (2019) 中間取りまとめ, <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jidousoukou/dai8/siryu2.pdf>, (2022年8月15日閲覧).
 - 21) 警察庁 (2019) 技術開発の方向性に即した自動運転の実現に向けた調査研究報告書 (新技術・新サービス関係) , <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/jidouten/2018houkokusyodai2wgr.pdf>, (2022年8月15日閲覧).
 - 22) 渡部大輔, アウンソー: 幹線輸送におけるトラック隊列走行を考慮した基幹的な物流拠点の立地最適化に関する基礎的研究, 都市計画論文集, **57(3)**, 1003-1009, 2022.
 - 23) Aung, S. and Watanabe, D.: Optimization of Platoon Formation Center for Truck Platooning Proceedings of the

9th International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG 2022), 1-25, 2022.

4.2 長大車および自動運転も考慮した拠点配置のあり方

(1) はじめに

近年、トラック輸送の省人化や環境負荷低減等を目的にして、幹線輸送におけるダブル連結トラックやトラック隊列走行など大型貨物車の長大化・自動化に向けた取り組みが急速に進められている。ダブル連結トラックについて、国土交通省により特殊車両通行許可制度における車両長が2013年11月に全長19mから21mに、2019年1月に25mへと緩和され、同年8月より東北から九州にかけての高速道路へと拡充された。トラック隊列走行は、2017年から高速道路での実証実験が続けられ、2021年2月には後続車無人の実証実験に成功しており、本格的な導入に向けたインフラ整備や法規制などの検討が進められている。

これまで物流生産性向上に資する幹線輸送の効率化に対する取り組みとして、官民による促進のための実証実験や制度検討が継続的に進められてきた。そして、ダブル連結トラックや自動運転・隊列走行の活用による輸送の大ロット化は、幹線輸送を効率化するために必要となる物流拠点の整備と大いに関連している⁷⁾。また、トラックドライバーの働き方改革の観点から、労働生産性の向上に向けた取り組みとして、長距離輸送の改革や新しい車両技術の導入⁸⁾、幹線輸送部分と集荷配送部分の分離⁹⁾といった取り組みが挙げられている。一方、自動運転やトラック隊列走行などの新技術に対応した道路インフラとしては、トラックの電子牽引に対する連結・解結を行うスペースとともに、高速道路上における物流拠点の必要性が提案されるとともに、物流拠点と高速道路との接続方法に関する検討が行われている⁹⁾。

そこで本研究では、ダブル連結トラックおよび自動運転・隊列走行を考慮したインフラ整備の一環として、国内外の先進事例の調査に基づき連結・解結スペースを中心とした物流拠点の機能について検討を行う。

(2) 国内外の先進事例調査

国内外の先進的な事例を対象として、現地視察を含めたヒアリング調査並びに文献調査を行った。

1. ダブル連結トラックを用いた共同輸送

複数事業者で共同輸送を行っている表4.2-1の事例を対象とする。車両連結型としては、全国物流ネットワーク協会において、2017年よりダブル連結トラックの共同利用について具体的な共同輸送のオペレーション及び参加条件等を検討してきた。そして2019年3月より、流通業務の総合化及び効率化の促進に関する法律（物効法）の認定を受け、物流企業4社による関東～関西間を結ぶ宅配貨物等の幹線輸送におけるダブル連結トラック（全長25m、ドーリ

一式）を用いた共同輸送が開始された。運行体制については、トラクタは共同輸送各社が6セット（西濃、日通、日本郵便各社2台）、トレーラはヤマト運輸が6セットを用意している。関東・関西ともに、ヤマト運輸ゲートウェイ内でトレーラの連結・解結を行っている。夜間とともに昼間便が設定されていることが特徴である。

続いて、荷主との連携による共同輸送（貨物混載型）を紹介する。2018年6月に設立されたNEXT Logistics Japanでは、ドライバー・車両・荷物情報の3つの情報を高度に活用した安心・安全な物流環境及び高積載率の実現とともに、高効率大量輸送の実現を目指したプラットフォーム構築を行っている。ダブル連結トラック（全長25m、ドーリー式、ウィング車）を用いた共同輸送において、積載貨物のデータベース化（容量・重量）を行うことで、トレーラの前・後・左・右・上・下の貨物の割り当てを行うことが可能となったという。今後、車両連結型による共同輸送であるトレーラーチェンジスキームを実施予定であることから、新たな拠点整備の必要性が高いと言える。

表4.2-1 ダブル連結トラックによる共同輸送

方式	参加企業数	運行開始	運行区間
車両連結方式	物流企業4社	2019年3月	厚木（神奈川）～茨木（大阪）
貨物混載方式	15社（荷主6社、物流企業6社、他）	2019年12月	相模原（神奈川）～西宮（大阪）

（出典：各種情報を基に筆者作成）

2. トラック隊列走行（日本）

隊列走行はエネルギーITSプロジェクト（NEDO、2009～13年度）にて技術開発が行われ、高速道路上での後続車有人・無人による走行実験（経済産業省・国土交通省、2016～20年度）が行われてきた。旋回角が大きくなるSA・PA内での課題として、ライダーやカメラがセンサとして使用できず、GPSのみでは位置情報把握の信頼性に問題が生じた。そこで磁気マーカを設置し、先頭車の通った位置を後続車も通過するように制御することが可能となり、センサの多重化を行った。現状ではSA・PAにて隊列単位で縦列駐車を行っており、後続車が分離して並列駐車することは今後の技術開発が必要であり、本実験では実施されていない。

3. 完全自動運転トラック（米国）

自動運転トラックの運行計画において、高速道路と直結した「Transfer Hub」での機材交換が想定されている。具体的には、高速道路上では自動運転トラックによる自動運転を行うが、一般道ではドライバーによる一般的なトラクタを用いた運転が行われることが想定されていることから、トラクタの連結やドライバーの待機のための施設整備が必要となる。

(3) 必要となる物流拠点の機能

これまでの議論を踏まえ、共同輸送における連結・解除スペースを中心とした物流拠点に必要な機能を表 4.2-2 のようにまとめることができる。車両連結型において、トレーラ連結・解除（前後のマッチング）のためのスペースとともに、貨物混載型ではクロスドック機能も必要である。クロスドック機能では、荷室有効活用のための積み付け最適化（上下のマッチング、上：軽量貨物、下：重量貨物）のために、積替え機能（地域毎に仕分けし積み替えて発送）と混載機能（小口貨物を取りまとめてロット貨物に仕立てる、もしくは仕分ける）を有することとなる。なお、一般的な物流施設との違いとしては、保管機能や流通加工機能は含まれていないことが挙げられる。また中継輸送や自動走行・隊列走行におけるドライバー交代地点としても活用するために、高速道路の上下線で近接して立地することが望ましい。

共同輸送を実施する上で、ハード面での施設整備のみならず、ソフト面で車両運用計画を立案しておくことが必要となる。駐車場予約システムとの連携を含めて、企業間の情報共有体制を構築した上で、利益配分を含めたマッチングや運行スケジュール調整などの機能が必要である。

(4) 長大車および自動運転も考慮した高速道路に直結した拠点配置の検討

これまで紹介したように、トラック隊列走行とともに特定の条件下で運転を完全に自動化するレベル 4 (L4) に対応した自動運転トラックの本格的な導入に向けた様々な取り組みが進められている。それに対応し、2022年2月には日本初となる高速道路インターチェンジIC 直結の物流施設の開発計画が発表されており、今後も全国的な展開が予想されている。そこで、自動運転・隊列走行を考慮したインフラ整備の一環として、国内の先進事例の調査に基づき、高速道路における大型貨物車の自動化に対応した高速道路に直結した物流拠点の整備に関する現状を報

告した上で、全国展開に向けた整備方針に関する政策提言を行う。

まず、高速道路と直結した次世代基幹物流施設の開発計画について紹介する。新名神高速道路の宇治田原IC（2024年度開通予定）に隣接した京都府城陽市東部丘陵地青谷先行整備地区において高速道路IC に直結し次世代のモビリティに対応した「次世代基幹物流施設」の開発計画が進められている。同地区は、京都府が2018年に策定した「新名神を活かす『高次人流・物流』構想」において次世代型物流拠点として位置付けられている。このように、初期段階から行政と事業者が連携し、計画が進められてきたことが特徴的である。不動産事業者（三菱地所）へのヒアリング調査によると、処理台数は一日数千台の交通量を想定しており、屋上中心部にはトラック隊列走行やダブル連結トラックの連結・解除スペースを十分に確保した上で、高速道路から庫内バースまで一貫した自動運転を想定している。

このように高速道路の沿道において物流施設を立地させる際には、行政と事業者が連携した広域的な物流拠点の計画立案が重要となる。そこで、物流拠点の立地における各種調整に対して、都道府県によるワンストップサービスの制度化の事例として、埼玉県の取組についてヒアリングを行った。同県では企業誘致と計画に基づく土地利用、田園環境と調和した産業基盤づくり、乱開発の抑止を目的として、圏央道の整備に合わせて2006年に「田園都市産業ゾーン基本方針」を策定した。その後、県内全域を対象として「埼玉の持続的成長を支える産業基盤づくり取組方針」を2022年に策定した。従前は市区町村が個々に県庁内の関係各課と調整（国：関東地方整備局や関東農政局とは県庁関係各課が調整）する必要があった。本制度では、産業基盤対策幹（旧 田園都市づくり課）が市町村からの開発相談にワンストップで対応し、部局横断的庁内会議を活用し産業基盤づくりに係る農林調整をはじめとする県庁内関係各課との土地利用調整を一括して行うなど、スピー

表 4.2-2 幹線輸送における物流拠点に必要な機能

方式	概要	メリット	注意点	立地
車両連結型	拠点でトレーラを連結・解除（隊列形成・解除）をする方式	迅速性：連結・解除作業のみで完了（ダブル連結トラック：10数分、トラック隊列：数分）	・拠点はトラクタ・トレーラの駐車とともに、連結器（脱着式ドーリー）の保管ができる十分な敷地スペースが必要 ・ヘッドとシャーシが連結可能かどうか事前に確認しておく必要がある（共通の隊列システムの確認）	高速道路連結が主体
貨物混載型	拠点に荷捌場を設けて、積替え・混載を行う方式	積載率向上：クロスドック機能により同一方面の貨物混載	・十分な荷捌・仮置スペースと設備（屋根やフォークリフト）が必要 ・貨物のサイズ・重量など事前情報により積み付け計画を事前に立案することが必要 ・荷役作業員の確保が必要、荷役コストが発生 ・荷役作業時間短縮するための方策が必要 ・荷崩れ事故などの防止のための貨物の積載状況や固縛方法の取り決めが必要 ・段積みのための治具が必要	高速道路外が主体

（出典：各種情報を基に筆者作成）

ドアップ化を図った。

高速道路直結型物流施設の整備方針について、図4.2-1のように整理する。まず図中(i)では、今回紹介した次世代基幹物流施設を想定し、直結型民間物流施設には3つの機能全てを兼ね揃えており、機能3（L4自動運転）を担うためには民間負担によるアクセスランプで高速道路との直結が不可欠である。一方、機能1（在庫）と機能2（貨物積み合わせなど）を担う施設が直結するメリットはなく、アクセスランプに関しても投資額に見合う交通量は期待できないことが課題である。そこで図中(ii)のように、公共負担でアクセスランプを整備した上で、機能3だけを担う施設を多くの物流事業者が共同で活用する公共ターミナルとして整備することが考えられる。参考事例としては一般トラックターミナルとともに、高速バス事業者が共同で使うバスタ新宿（1日約1500便が発着）や複数船社が共同で使うコンテナバースが挙げられる。

具体的には、流通業務の総合化及び効率化の促進に関する法律（物効法）の対象として、ダブル連結トラック等に対応した共同輸送拠点が認定されていることから、この拠点をトラック隊列走行における隊列形成・分離スペースやL4自動運転トラックにおける自動運転への切替スペースを対象を拡大することが考えられる。また、公共ターミナルは、複数の物流事業者による共同利用される物流拠点として公共性が高いことから、自動車ターミナル法に基づく一般トラックターミナルとして、地方自治体や高速道路会社などが出資した第3セクターにより整備されることが考えられる。特に、高速道路自動運転支援サービスが高速道路会社、トラックメーカー、情報通信会社などが出資する会社によって提供される可能性が高いことを考慮すると、高速道路会社、あるいは日本高速道路保有・債務返済機構（高速道路機構）の積極的関与が望まれる。なお、SAにおいて自動運転車両の拠点施設を整備する費用の一部について、高速道路機構から高速道路会社に対する無利子貸付制度の創設を目指す法案が国会で審議されて

いる（2023年3月現在）。更に流通業務市街地の整備に関する法律（流市法）では、公共施設として、道路や自動車駐車場その他政令で定める公共の用に供する施設が指定されている。そこで、公共ターミナルを流市法に基づき国より指定を受けた流通業務地区におけるトラックターミナルとして整備することで、アクセスランプは公共施設として公的負担による整備が可能となる。

(5) まとめ

本研究では、ダブル連結トラック、自動運転・トラック隊列走行に関する国内外の先進事例の調査に基づき現状把握を行い、連結・解除スペースを中心とした物流施設の機能を検討した。そして、車両連結型と貨物混載型の共同輸送に対して、車両の連結・解除のためのスペースとともに、後者ではクロスドック機能も含めた検討を行った。更に、自動運転・隊列走行を考慮したインフラ整備の一環として、国内の先進事例に対するヒアリング調査に基づき、高速道路における大型貨物車の自動化に対応した物流拠点の整備に関する現状を報告し、全国展開に向けた整備方針として公的関与の重要性を指摘した。

4.2の参考文献

- 1) Zarif, R., Starks, C., Sussman, A. and Kukreja, A.: Autonomous trucks lead the way, Deloitte Insights, 2021.
- 2) 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：中間とりまとめ, 2019.
- 3) 東日本高速道路：自動運転社会の実現を加速させる次世代高速道路の目指す姿（構想）, 2021.
- 4) 渡部大輔, 平田輝満, 兵藤哲朗: 幹線輸送におけるダブル連結トラックを用いた共同輸送の運行形態と物流拠点の整備に関する研究, 日本物流学会誌, 30, 203-210, 2022.
- 5) 渡部大輔, 平田輝満, 坂井孝典, 根本敏則, 兵藤哲朗: 高速道路におけるトラック隊列走行・自動運転に対応した物流拠点の整備に関する研究, 日本物流学会誌, 31, 2023

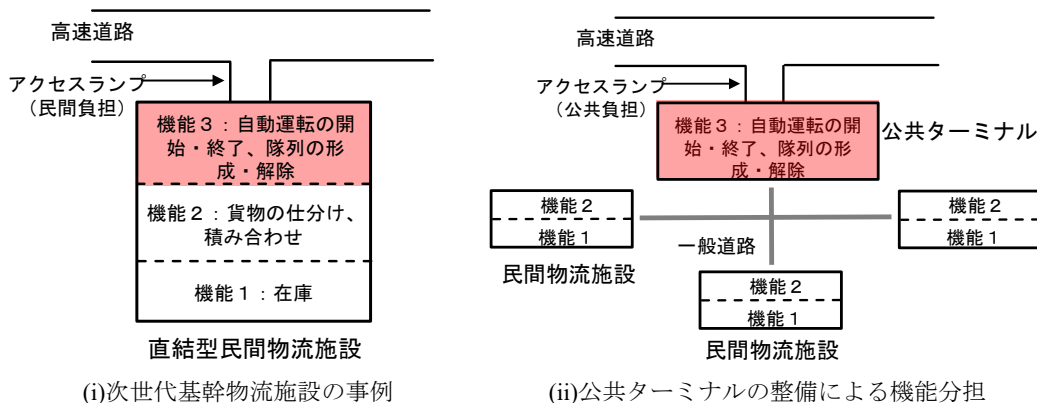


図 4.2-1 高速道路直結型物流施設の整備方針

第5章 まとめ

最後に、本研究で得られた成果についてWGごとにまとめる。

[WG1: SA/PA駐車場の実態分析と混雑緩和方策の検討]

まずETC/FFデータの解析を始めて気づいたのが平日深夜の大型車の8時間以上の長時間駐車が、駐車マス時間占有率の半分以上(足柄SA上り)であり、**図5-1**の通り、夕方16時頃にSA流入し、朝の5時頃流出する車両が多いことであった。これは着時刻の時間調整と改善基準告示の8時間以上の休息を兼ねた行動である。この図をもとに国土交通省やNEXCOと議論をする機会を持ち得たが、ある程度の問題提起につながったと考えている。

またETC/FFデータにより、東名上り区間の9のSA/PAを選択肢とするSA/PA選択モデルと滞在時間モデルを推定し、それらを用いた1週間17万台弱のマイクロシミュレーションモデルを構築した(**図5-2**)。混雑緩和のTDM施策の検討例として、1) マス

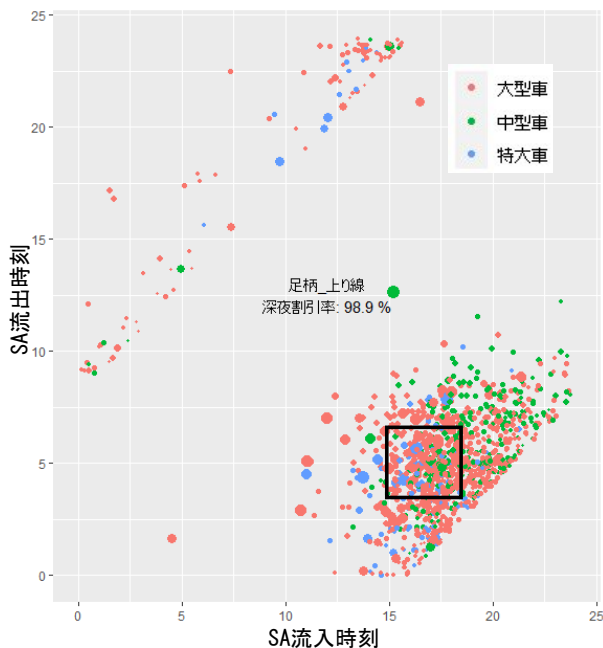


図5-1 8時間以上駐車車のSA流入流出時刻

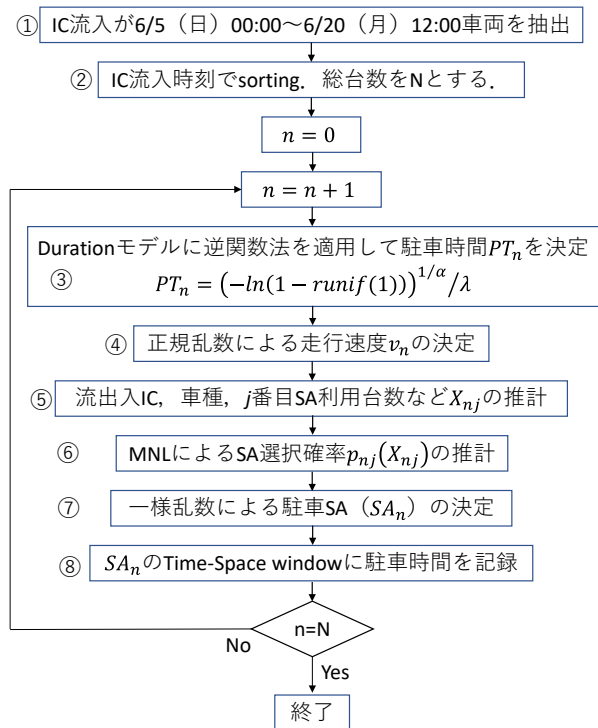


図5-2 シミュレーションのアルゴリズム

増加, 2) 駐車時間制限, 3) 車両大型化, 4) 長時間駐車撤廃, 5) 情報提供システム導入効果 などについて定量的な分析がなされた。その一例を**表5-1**に掲げる。

表5-1 情報提供システム導入効果

SA/PA名	立寄り台数(7日間計)		平均駐車時間長[分]		最大飽和度	
	混雑情報なし	base	混雑情報なし	base	混雑情報なし	②base
港北PA	97	2,924	-2	61	15%	168%
海老名SA	-2,139	14,886	-3	57	-44%	143%
中井PA	-1,426	8,552	-4	63	-34%	154%
鮎沢PA	368	7,692	-18	132	-15%	110%
足柄SA	-2,457	13,984	-6	83	-22%	83%
愛鷹PA	80	5,395	-6	96	-6%	216%
富士川SA	1,903	5,336	-37	238	31%	347%
日本坂PA	503	6,686	-4	107	16%	239%
牧之原SA	3,064	9,596	-17	222	63%	266%

マス増加や情報提供システム導入はSAによりその効果が大きく異なることがわかり、今後の施策展開

のヒントとなることが示された。

[WG2: ダブル連結トラック運用区間延伸の可能性]

令和3年度のDRMデータとH27道路交通センサスを用いた、大型貨物車の利用経路分析に加え、令和4年度は全国配分結果を反映し、時間価値も仮定することで一般化費用最小の分析もなし得た。分析対象は両年度ともに、総重量20t以上25t未満で、かつ長距離OD（発地と着地が互いに異なる都道府県であり、かつ高速道路を利用しているもの）を抽出した。

全国配分を用いたネットワークデータは、Bゾーン数が6,490、ノード数が43,969の北海道と沖縄を除くネットワークである。配分計算は標準的なBPR関数を用いた確定的利用者均衡である。

最短時間を用いた結果は、ダブル連結トラックや貨物車隊列走行への転換に適さない区間の割合が高いと思われる、一般道を走行するケースが目立った。そのためここでは、最短時間を用いた結果（図5-3）および、最小一般化費用を用いた結果（図5-4）をもとに考察を進める。

全体的な傾向は令和3年度のDRMによる解析結果と類似点が多く、九州から関東に至る太平洋ベルト地帯、および関越道・東北道の南部で走行需要が高いといえる結果となった。令和4年11月にダブル連結トラックの走行可能区間として拡充された、関越道、上信越道、北関東道、東関東道、中央道、北陸道、神戸淡路鳴門道、九州道、長崎道等の走行需要が高いことも確認できた。

物理的な制約を考慮せずに、現在通行ができない区間で走行需要が高いと考えられる区間をあげると、中国道、北陸道の黒部IC～長岡JCT間、西名阪道等が候補になると考えられる。また、例えば首都高湾岸線など、東京・大阪・名古屋都市圏内部にも走行需要が高い区間が見られる。このためこうした区間で、通過交通を都市圏内から排除しつつ、都市圏内部の発着ダブル連結トラックを運用することが可能であるとするならば、一定の走行需要や転換のメリットがあると考えられる。

[WG3: ダブル連結トラックなど大型車の連結・解除拠点のあり方について]

ダブル連結トラックなどの活用による大ロット化は、必要となる物流拠点の整備と大いに関連している。そこで全国を対象としたマクロレベルでの拠点配置と、都市圏のミクロレベルの立地の検討結果について紹介する。

(1) 最適拠点配置モデルから

p -Median問題とは、各需要点から施設までの総輸送費用を最小とするように、 p 個の施設の配置及び各需要点の施設への割当を決定する問題である。本分析ではH27道路交通センサスの大型車ODを需要として、拠点数を2～10まで変化させた時の最適拠点箇所を明らかにした。10拠点の結果を見ると（図5-5）、拠点数が増加するにつれて、太平洋・瀬戸内

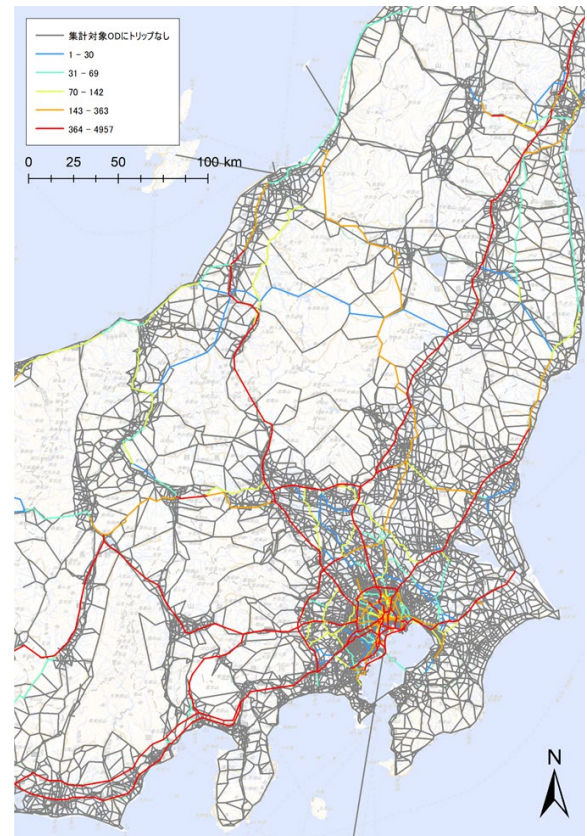


図 5-3 最短時間を用いた結果

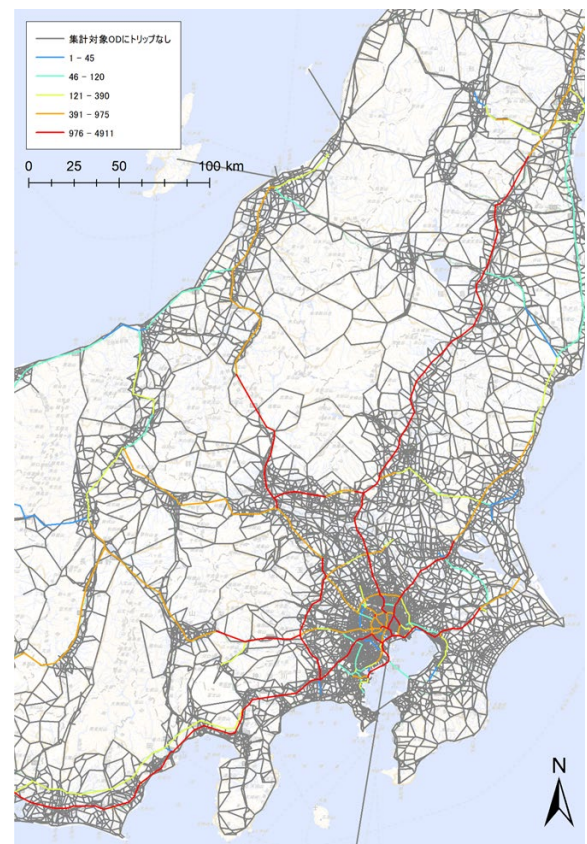


図 5-4 最小一般化費用を用いた結果

海側の交通需要の多い地点に立地が進むことが分かった。



図 5-5 p-Median 問題の解 (10 拠点)

(2) 高速道路直結型物流施設の全国展開に向けた整備方針の提案

高速道路の沿道において物流施設を立地する場合、行政と事業者が連携した広域的な物流拠点の計画立案が重要となる。埼玉県では、高速道路の沿道における物流施設の立地に関する各種調整をワンストップで行える行政手続きを実行してきた。このことから、各都道府県において、同様の制度を整備することが望ましいと考えられる。

高速道路直結型物流施設の整備方針については図5-6のように整理する。まず、図中(i)では、次世代基幹物流施設を想定しており、直結型民間物流施設には3つの機能全てを兼ね揃えており、機能3を担うためには民間負担のアクセスランプで高速道路との直結が不可欠である。一方、機能1と機能2を担う施設が直結するメリットはなく、アクセスランプに関しても投資額に見合う交通量は期待できないことが課題である。このように、現実的には、「アクセスランプは民間負担」の原則と相容れないといえる。物流施設の投資を賄うためには、それなりの利

用者数が必要である。そこで、図中(ii)のように各物流拠点の機能分担を行い、公共負担のアクセスランプを整備した上で、機能3を分担する施設は多くの物流事業者が共同で活用する公共ターミナルとして整備することが考えられる。

【今後の道路施策への提言】

最後に、本研究成果をふまえた、今後の道路施策について提言をまとめることにする。

- ①ダブル連結トラックの市場動向：WG1で分析した通り、ダブル連結トラックは特積業者を中心にまだまだ高い潜在需要を有している。車両の供給能力も見定めながら、今後の動向を継続して見定める必要が高い。
- ②SA/PA混雑緩和方策：長大車の深夜休憩スペース確保のためにも、本研究で明らかにした平日深夜のトラック長時間駐車車両対策は必須である。開発したTDM施策シミュレーターやレイアウト評価の可能性を示したVISSIMの活用など、最新の技術を駆使したインフラ整備策の検討が望まれる。
- ③ダブル連結トラック運用区間の分析：今後は幹線のみならず、枝線への運用区間の延伸が期待される。最新の道路交通センサも用いて、本研究で試みた全国道路ネットワーク配分に基づいた運用区間の解析が不可欠と思われる。
- ④連結・解除の拠点配置：拠点配置のニーズについては本研究のWG3で明らかにしたとおりであるが、その拠点が有すべき機能や施設整備に関する公共の役割について、これからのレベル4自動運転も考慮した道路インフラ整備のあり方について議論が展開されるべきである。

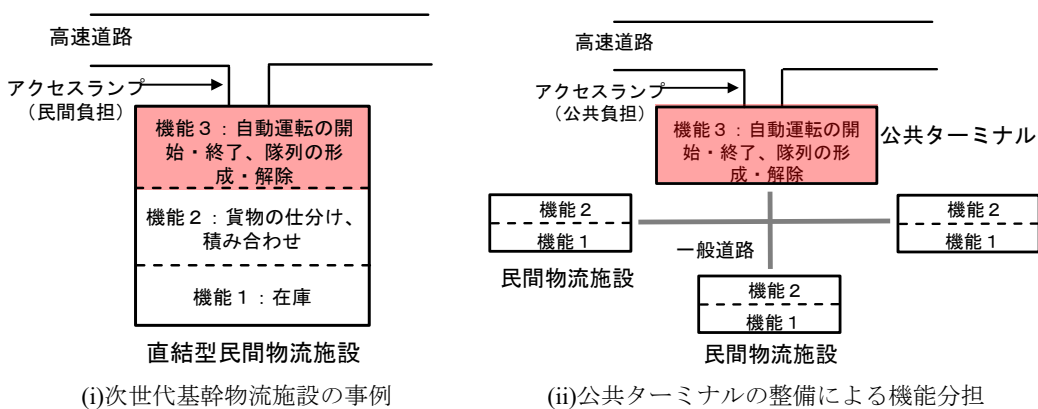


図 5-6 高速道路直結型物流施設の整備方針

道路政策の質の向上に資する技術研究開発 成果報告レポート No.2020-4
ダブル連結トラックおよび貨物車隊列走行を考慮した道路インフラに関する技術研究開発

2023.5