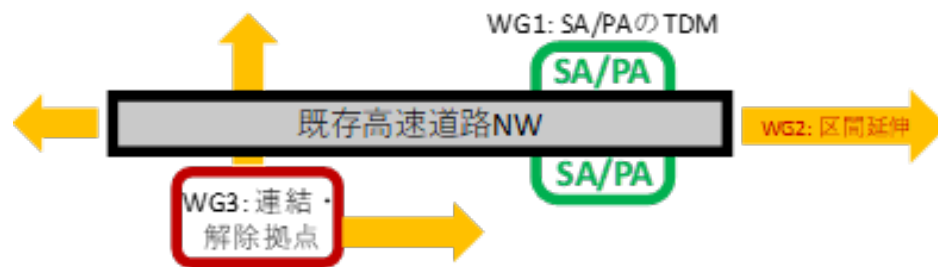


道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属	役職
	ひょうどう てつろう 兵藤 哲朗		東京海洋大学	教授
②研究 テーマ	名称	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		
	政策 領域	[主領域] 【領域1】 新たな行政シ ステムの創造 [副領域]	公募 タイプ	タイプ I
③研究経費（単位：万円）	令和2年度	令和3年度	令和4年度	総合計
	3,000	2,490	2,250	7,740
※R2は受託額、R3以降は計画額を記入。端数切捨。				
④研究者氏名・所属				
後藤 孝夫・中央大学		根本 敏則・敬愛大学		
平田 輝満・茨城大学		味水 佑毅・流通経済大学		
森北 一光・中日本高速道路		山本 隆・中日本高速道路		
渡部 大輔・東京海洋大学				
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）				
<p>物流効率化の有力な手段の一つであるダブル連結トラックは、2020年度の走行区間延伸に伴い、需要増が期待されている。しかしそれに対応した道路側のインフラ整備が喫緊の課題であり、SA/PAにおける駐車場不足の問題、一般道も含めた走行区間の延伸、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。本研究では、4つのWGを設定し、WG1ではSA/PA駐車場問題について、実データを用いた、需給量の正確な補足と、それに基づくTDM施策を検討する。WG2ではダブル連結トラック走行区間延伸の可能性を、ネットワーク解析から明らかにする。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。</p>				



研究範囲のイメージ図

⑥これまでの研究経過

WG1：ダブル連結トラックを考慮したSA/PA駐車スペースのTDM施策について

1-1 企業アンケートによるダブル連結トラックのニーズ把握

(1)インタビュー調査の対象と内容

企業アンケートの基礎的調査として、特別積合せ貨物運送（特積運送）を行う物流事業者の事業者団体1団体、およびダブル連結トラックのニーズが高いと思われる物流事業者9社を対象に、ダブル連結トラックの導入・活用意向、SA/PAの駐車マスのニーズ等について、インタビュー調査を実施した。

インタビュー調査対象企業は、企業－消費者間物流（B2C）を中心に扱う企業（タイプ1）、企業間物流（B2B）を中心に扱う企業（タイプ2）、B2CとB2Bの両方を同程度に扱う企業（タイプ3）の3タイプにわけられる（表1-1-1）。

また、インタビュー調査における質問項目は、表1-1-2に示すとおりである。

表1-1-1 インタビュー調査における質問項目

分類	質問項目
輸送ネットワーク	①輸送ネットワークの地域、1日あたりの運行台数等 ②車種別保有車両台数、トラックドライバー数 ③ダブル連結トラックの導入（増車）予定とその理由 ④営業所の数、種類
大型車の運行	⑤長距離走行の大型車の一般的な運行形態 ⑥最も便数の多い区間とその区間の1日あたりの便数 ⑦東名・新東名の便数と割合、使い分けの判断基準
SA/PAの利用	⑧大型車によるSA/PA利用時の主な目的と利用時間 ⑨大型車によるSA/PAの選択方法 ⑩SA/PAの利用における問題点 ⑪東名・新東名のSA/PAの利用における問題点 ⑫今後の大型車用駐車マスの供給に関する意見 ⑬乗継輸送・中継輸送目的のSA/PA利用の有無と理由
その他	⑭「大型車誘導区間」「重さ指定道路」等の指定の効果 ⑮隊列走行の検討状況 ⑯その他の新技術の検討状況 ⑰ドライバーの働き方の改善等に関する取組内容 ⑱高速道路会社や国への期待

(2)得られた知見

インタビュー調査を通じて、物流事業者のダブル連結トラックの導入意欲は、想定を下回った。その要因は、①ダブル連結トラック固有の要因と②トラック大型化にかかわる要因の2種類にわけられると考えられる（表1-1-2）。

今後、表1-1-2にもとづき、トラック大型化の阻害要因の明確化とトラック大型化の促進策について検討し、再度インタビュー調査を実施する。

表1-1-2 ダブル連結トラックの導入意欲が低調の要因

要因	内容
ダブル連結トラック固有の要因	①物流拠点の規模（連結・解除のためのスペース不足） ②時間の制約（荷役、連結・解除のための所要時間の延長への対応） ③通行の制約（首都高等の通行不可、許可申請の煩雑さ） ④ドライバー不足（経験、資格） ⑤気象障害等への対応の困難さ 等
トラック大型化にかかわる要因	⑥運行ごとの荷量の規模 ⑦荷量（上り、下り）の偏り ⑧協力会社への依存度合いの高さ ⑨荷主の立地 等

1-2 ETC2.0データによるダブル連結トラックの実運用の解析

(1)ETC2.0データの受信システムの開発

Y社の12台のダブル連結トラックの運行データを、ETC2.0データを通して取得し、それを図示するシステムを構築した。これより、ダブル連結トラックの運行パターンを把握することが可能となった（図1-2-1）。

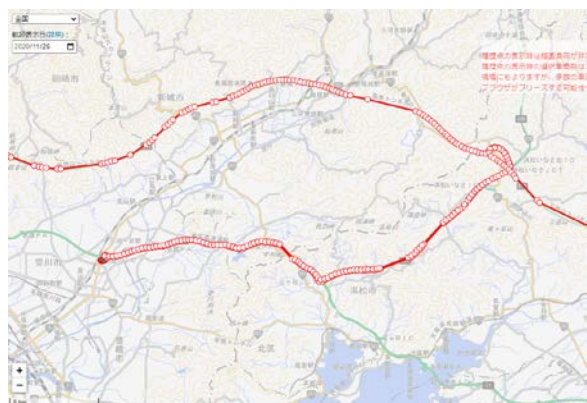


図1-2-1 運行パターンの表示

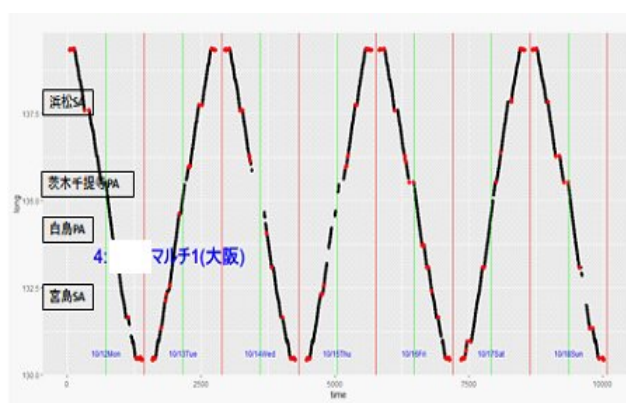


図1-2-2 ダイアグラムの解析例

(2)運行パターンの解析

次に、ETC2.0データをもとに、12台の運行をダイアグラム表示し（図1-2-2）、発着時刻とその場所、および休憩場所の把握を行った。その結果、現時点でダブル連結トラックの運行は以下の2パターンに集約されることが判明した。

①神奈川県内センターー大阪府内センター：共に夕刻発と、深夜発の2パターンが存在し、豊橋PA（下り線）で、中継輸送を行う。これは東名・新東名の並行区間を利用した運用であり、2020年度末に供用予定されている、浜松いなさIC路外駐車場があればそちらに転換し、一層のコスト削減と安定した運用が可能になることが期待される。

②神奈川県内センターー福岡県内センター：これも夕刻発と、深夜発の2パターンであるが、発着間で高速道路を降りないパターンと、大阪府内センターに立ち寄るパターンに分類され

る。後者については中継輸送が行われている可能性が高い。前者については静岡県、兵庫県、広島県内のSA/PAに立ち寄り、そこで運転手交代が行われている。片道合計20時間に及ぶ運行がなされており、極めて効率的な運用が実現されていることと共に、SA/PAにおける駐車場所の確保が大きな課題であることが推察される。

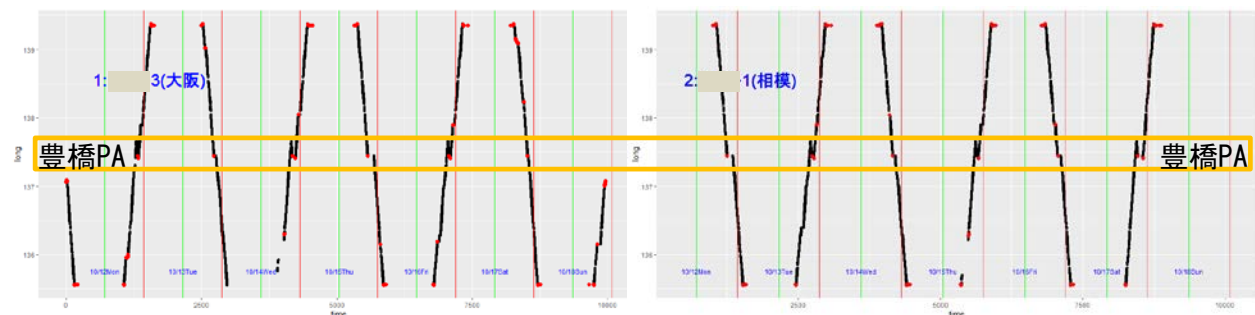


図1-2-3 豊橋PA（下り線）を利用した中継輸送のダイアグラム

1-3 ETC/FFデータによるSA/PAの実態把握

(1)パイロットデータによるSA利用特性の把握

今年度はパイロットデータとして、海老名,足柄,談合坂,駿河湾沼津,静岡,浜松,岡崎,御在所,各SAの2019年11月～2020年10月のETC/FFデータを解析した。例として足柄SA上り線の結果を示す。データ数は月平均で約18万台というビッグデータである。コロナ禍前のピーク時データとして2019年12月2日（月）～12月8日（日）一週間の駐車時間別の大型車マスの滞在台数を推計した（図1-3-1）。赤が8時間以上の駐車時間を示すが、平日の月曜夜から金曜夜の5日間、滞在台数のうち、8時間以上の長時間駐車が6割以上であることが分かる。故に、深夜の利用が多いダブル連結トラックのSA/PAの駐車TDM施策にとり、この長時間駐車をコントロールすることの重要性を確認することができた。

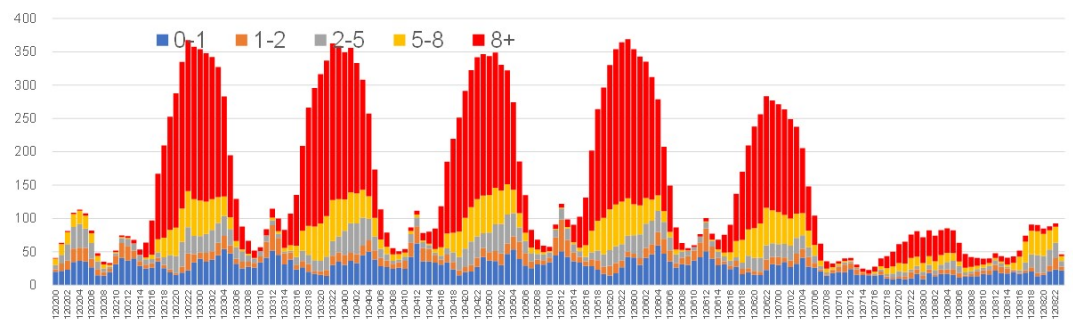


図1-3-1 大型車駐車マスの駐車時間別滞在台数

(2)長時間駐車台数の高速道路利用特性の把握

次に、この8時間以上駐車車両を抽出し、横軸に足柄SA流入時刻、縦軸にSA流出時刻を3車種（特大車、大型車、中型車）別にプロットした（図1-3-2）。黒枠は長時間駐車車両が集中する時間帯で、それはSA流入が16～19時、SA流出が5～8時であった。またSA流出後は厚木や横浜町田ICからの退出が目立った。このことから、長時間駐車の原因として、着荷主の時間指定に合わせたSAを用いた時間調整や、8時間以上の休息確保が想像される。

図の中央上部にも台数が集中している箇所があるが、これは0時から始まる深夜割引適用の駆け込み需要であると思われる。

(3)SA/PAにおけるTDM施策への示唆
 着荷主の時間指定が長時間駐車の要因であるとする、駐車場を有料化した場合駐車場所が高速道路外になるので、その確保が不可欠となるし、料金のターミナルチャージ割引も重要である。混雑緩和には無論、SA/PA駐車マスの新設も効果的だが、優先整備すべき場所もこの利用特性を勘案して決定すべきであることも分かった。

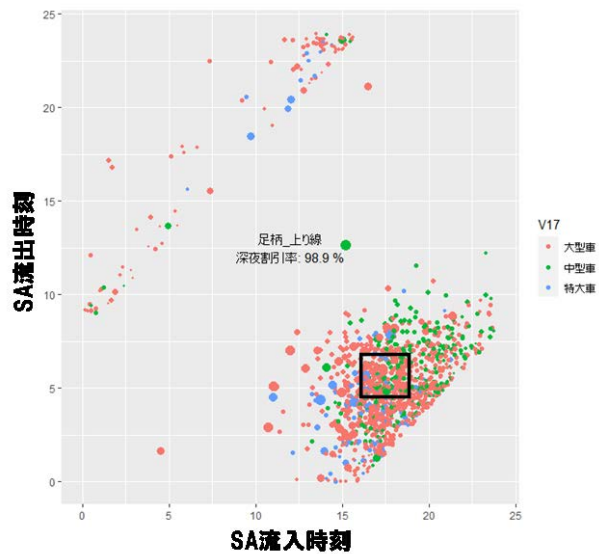


図 1-3-2 SA 流入と流出時刻の関係

1-4 SA/PA有効活用のためのTDM施策の検討

(1)ダブル連結トラック向けのSA/PA駐車スペース確保に向けた基礎調査としての現状の整理と要因の分析

NEXCO中日本から提供いただいた、同社による利用実態調査（平成28年実施）データを使用して、東名高速道路上り線の休憩施設（SA/PA：港北PA～新城PA）の駐車マスの需要供給関係を分析した。

分析からは、はじめに、東名高速道路上り線全体では、総供給が総需要を上回っていることが示された（図1-4-1）。しかしながら、時間的偏り（図1-4-2）、空間的（地理的）偏りを起因として、特定の時間帯・SA/PAにおいて、需要超過の状態が生じていることが明らかとなった。ダブル連結トラックは、大型トラック用より広い駐車マスを必要とするため、この需要超過状態（駐車マス不足）は、今後のトラックの大型化の促進において、深刻な問題であることが指摘できる。

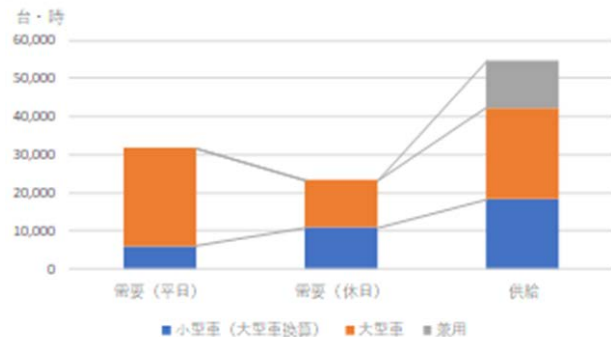


図 1-4-1 東名高速道路の総駐車需要量と総駐車供給量（延べ時間・台）注：小型車2台＝大型車1台として換算（駐車容量比、なお面積比は小型車マス3.38台分＝大型車マス1台分）

(2)休憩施設駐車マスのTDM施策の分類

駐車マス不足解消のための時間的平準化と空間的平準化について、具体的方法、利用者と高速道路会社の負担・実施可能性を整理した（表1-4-1）。なお、1-1で実施した、物流事業者へのインタビュー調査からは、時間的平準化が困難である一方で、空間的平準化の可能性が示唆された。

空間的平準化は、①同一SA/PA内、②近隣SA/PA間、③SA/PAと高速道路外施設間が考えられる。このうち、①については、利用実態調査データの分析を通じて、兼用マス（大型車1

台または小型車2台が利用できる駐車マス)の設置(小型車用駐車マスからの転換)の有効性が示唆された。ただし、兼用マスの設置により小型車の駐車可能台数が減少するため(兼用マス面積は小型車用駐車マスの3.38台分)、100%兼用化は別の時間帯における駐車マス不足の原因ともなる。そのほか、物理的な構造、安全、中型車台数なども考慮した分析の精緻化が今後の課題である。

また、②については、近隣SA/PA間で、同一時間帯の利用率に大きな差異はないため、その効果は相対的に小さいものの、満空情報の提供を通じて混雑状況を平準化することにより、緊急時のSA/PA利用がより容易になると考えられる。

そして、③については、高速道路料金制度の変更が必要になるものの、物流事業者へのインタビュー調査において一時退出の料金調整の弾力的実施に対する期待が示された。

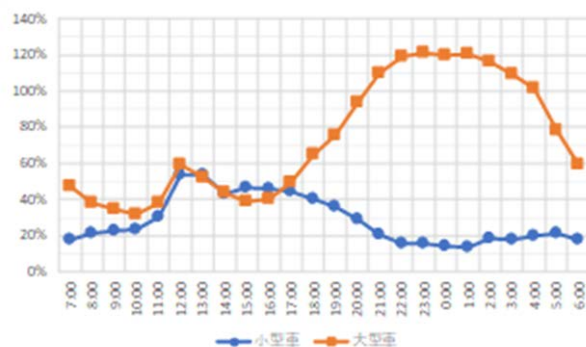


図 1-4-2a 東名高速道路の時間帯ごとの平均利用率 (平日)

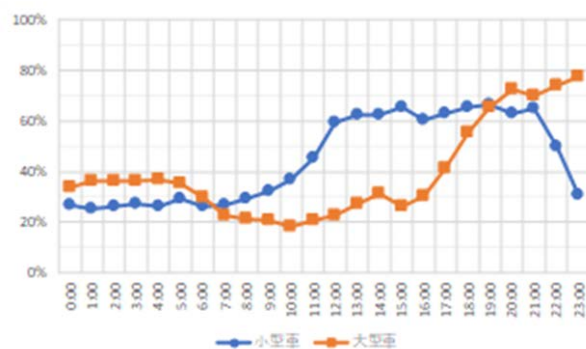


図 1-4-2b 東名高速道路の時間帯ごとの平均利用率 (休日)

表 1-4-1 駐車マスの TDM の分類

分類	具体的方法	利用者 (小型車)	利用者 (大型車)		高速道路会社
			短時間利用者	長時間利用者	
時間的平準化	満空情報の事前提供	—	困難	困難	可能
	有料化	—	負担増	負担増	要検討
空間的平準化	同一休憩施設内 兼用マスの設置	駐車可能台数減	負担無	負担無	容易
	近隣休憩施設間 満空情報の提供	—	負担無	負担無	負担小
		有料化	—	負担増	負担増
高速道路外施設間	一時退出の料金調整	—	難しい	負担小	負担小

1-5 強化学習を用いた高速道路合流部の挙動モデルの開発

ダブル連結トラックや隊列走行などの長大車においては、高速道路の合流部が運行における一つのリスク要因となる。これまで、VISSIMによる解析（2018年度）、Rによる既存アルゴリズムの多頻回分析（2019年度）を行ってきたが、シミュレーションモデルは、パラメータを人為的に決める必要があった。そこで今回は強化学習を適用した。具体的には、Google Colaboratoryにおいて、OpenAIが提供している強化学習用のツールキットである OpenAI Gymとその実装セットである Stable Baselinesを用いてシミュレーションの環境作成、強化学習を行った。今回は訓練する総エピソード数を約300万回とし、その中で複数の環境を順に学習させた。

図1-5-2は最初の学習環境におけるエピソードごとの報酬の合計の推移であり、図1-5-3は本モデルを用いて走行第1車線の交通量に対する合流成功確率の感度分析結果である。これ以外でも、シミュレーションの挙動をチェックするために合流時の動画も出力する機能を開発し、自然な合流がなされていることも確認した。

結果として、強化学習を用いることで合流部の現実性の高いシミュレーションモデルを開発することができた。2021年度は、このモデルについて、①長大車の車長、②走行車線交通量、③合流車線長などの感度分析を進めるとともに、既存のVISSIMなどのモデルとの比較検討を行うことを想定している。

表 1-5-1 強化学習環境の概要

用語	カスタム環境
エージェント	合流する車(ダブル連結トラック、隊列走行車)
環境	高速道路合流部
行動	加速度(-2m/s ² ~2m/s ²)、車線変更の有無
状態	エージェントのx位置が0以上か、エージェントのy位置 直前に流入スペースがあるか、1つ先に流入スペースがあるか エージェントの速度、エージェントと合流車線走行車との相対速度 直前の車との距離、直後の車との距離
報酬	合流成否、衝突、車間距離、不可侵領域への侵入、スピード制限違反

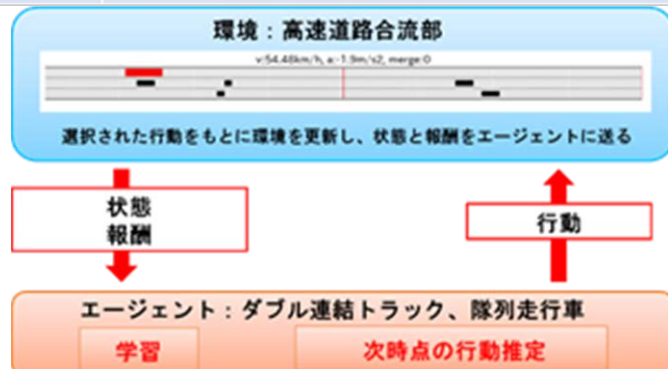


図 1-5-1 強化学習の流れ

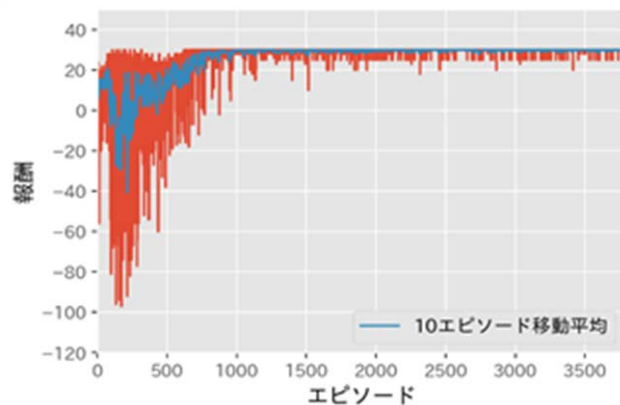


図 1-5-2 エピソード毎の報酬の推移

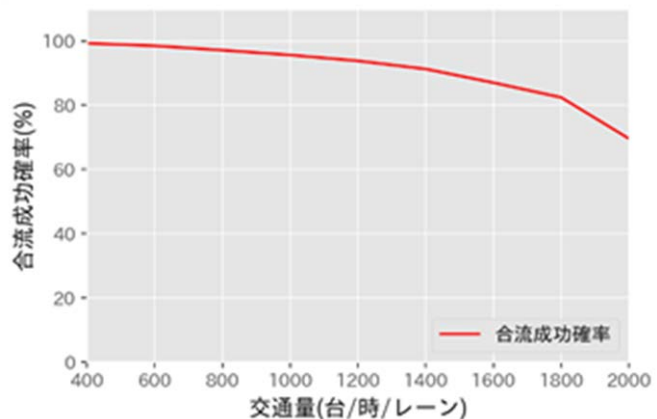


図 1-5-3 交通量の変化による合流成功確率の変化

WG2：ダブル連結トラックの需要量市場分析にもとづく対象路線の延伸方策の検討

2-1 道路交通センサスを用いた大型貨物車のトリップ特性分析

H27道路交通センサス起終点調査データを用いて、大型貨物車（車両総重量11t以上等）を対象に車両総重量別にトリップ数、ジャーニー数、台キロを集計してトリップ特性を分析した（表2-1-1）。その結果、車両総重量20-25tの車両が大型貨物車の4割程度を占めることを確認した。総重量20-25tの貨物車の平均トリップ長は約90km、平均ジャーニー長は約430kmである。

表 2-1-1 大型貨物車の重量別トリップ・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(%)	トリップあたりの平均トリップ長(km)	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
上記以外の大型貨物車※1	263,058	13%	56,478	14.3%	11,743	8.7%	44.6	207.9
大型貨物車計※2	1,975,518	100%	394,362	100.0%	134,735	100.0%	68.2	341.7
※1車両総重量11t以上or最大積載量6.5t以上	13,912,827		3,421,187		351,997		25.3	102.9

※1車両総重量11t以上or最大積載量6.5t以上 ※2普通貨物車のうち大型自動車に該当するもの

2-2 道路交通センサスを用いたダブル連結トラック潜在需要の分析

野菜/果物、その他農産品、機械、繊維工業品、日用品、輸送用容器、取り合わせ品等については、多くの貨物が容積勝ちであると考えられ、容積がより大きい荷室の貨物車の利用を求める可能性があると想定される。そこで、高速道路利用をする総重量20t超の貨物車トリップのうち上記の品目を輸送する貨物車のトリップキロを、H17道路交通センサスを用いて分析した（表2-2-1）。その結果、総重量20t超の貨物車交通量の約1割が容積勝ちと想定される品目を輸送していることが分かった。このような貨物車がダブル連結トラックに転換する可能性は十分高いと想定される。

表 2-2-1 ダブル連結トラックの転換が期待できる高速道路トリップ

推定総重量		20～25t	25t超（連結車を想定）
空車を除くトリップキロ		70,894	20,439
容積勝ち（想定）の品目	トリップキロ	10,228	1,774
	トリップキロ構成比	14.4%	8.7%
		13.1%	

今後は、ダブル連結トラックの利用可能性がある貨物車交通の抽出方法として、「容積勝ち貨物+現状で連結車を利用+ターミナル間輸送」などの条件を設定して分析を進めることを検討している（図2-2-1）。



図 2-2-1 ダブル連結トラックの利用可能性がある車両と交通量の抽出方法案

2-3 DRMを用いたダブル連結トラック走行のネットワーク解析

圏央道周辺のトリップ数の多いIC区間において、ダブル連結トラックが走行可能な区間を広げた場合に、走行経路や走行距離等がどう変化するか、試行的に解析した。図2-3-1の例では、圏央道が4車線化されて通行可能となることで走行距離の短縮がみられる。

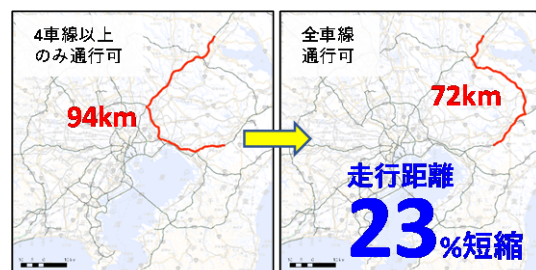


図 2-3-1 土浦北IC－佐倉IC間におけるネットワーク解析の例

今後、より多くの区間を対象として、所要時間への影響などの解析等に進むことを検討している。

WG3 連結・解除スペースの拠点配置と機能に関する分析

3-1 回収期間法を用いたダブル連結トラック導入の経済性評価

連結・解除拠点配置に関する最適化モデルの検討の際に、ダブル連結トラックの有望な輸送区間を選定する必要がある。そこで本年度は、大型車貨物需要予測の一環として、物流事業者によるダブル連結トラックの導入に関する経済性評価を行った。本研究では、従来のモデルに加えて、図3-1-1のように高速通行料金などを考慮したより現実的なモデルを構築することで、従来のトラック（12m単車）とダブル連結トラックの導入に対する人件費や運転区間などを設定した経済性評価を行うことが可能となった。

シナリオ（区間：厚木～関西間、人件費：1,739円/時、割引率：4%）に基づく分析結果は図3-1-2のように、21mフルトレ/25mフルトレへの投資回収に約6年程度必要となり、車両使用期間の平均（13年）を大幅に下回る結果となった。更に、今後のドライバー不足による影響を考慮した人件費の上昇により、回収期間はほぼ比例的に短縮することが明らかになった。

3-2 連結・解除スペースに必要な機能並びに共同輸送の可能性の検討

国内の先進事例の調査に基づき、共同輸送に必要な管理スキームとして、実車率向上（帰り荷確保、積み合わせ）・空車回送を考慮した上で、企業間の情報共有体制、利益配分を含めたマッチング、運行スケジュール調整などの必要な機能を検討した。その上で、共同輸送においてトレーラ連結・解除のためのスペースとともに、クロスドック機能（図3-2-1、荷室有効活用のための積み付け最適化）も必要であることが明らかになった。

海外における現地調査は、コロナ禍により実施が困難であることから、大型車政策に関する文献調査（欧州・豪州など）を中心に実施した。ドイツにおける高速道路における夜間駐車場需要全国調査では、駐車場の新設にもかかわらず改善されておらず、地域的な偏りが見られた。豪州では大型車両政策に関する全面的な見直しが全国交通委員会（NTC）並びに大型車規制庁（NHVR）などにより進行中であることが分かった。

変数	車両に関する条件
i : 出発地	f : 燃費
j : 到着地	l : 車両購入費
d : 距離	U : 積載量
N : 年間運行日数	
t : 時間給	
w : 所要時間(b : 休憩時間)	
H : 高速道路料金	
$fuel_cost$: 1L燃料価格	

$R_{i,j}$: ランニングコスト 人件費 $L_{i,j} = l * (w_{i,j} + b)$ 燃料費 $F_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{f} * fuel_cost$	$R_{i,j} = \frac{(L_{i,j} + F_{i,j} + H_{i,j})N}{U}$
$y_{i,j}$: 累積CF R' : 12m単車のランニングコスト r : 割引率 t : 期間	$y_{i,j} = \sum_{t=1}^{13} \frac{R_{i,j} - R'_{i,j}}{(1+r)^t} - I$
t_0 : 回収期間 $V = R_{i,j} - R'_{i,j}$	$t_0 = \log\left(\frac{1}{1+r}\right) \left(1 - r \frac{I}{V}\right)$

図 3-1-1 経済性評価モデルの概要

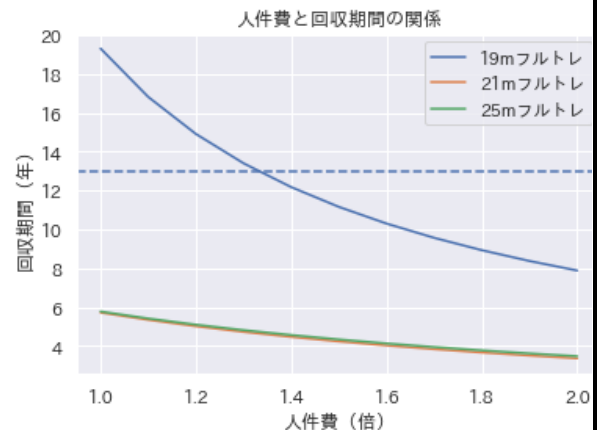


図 3-1-2 人件費上昇に伴う回収期間の変化（厚木～関西間）



図 3-2-1 ダブル連結トラックの共同輸送に関する現地調査（撮影：兵藤）

研究の目的・目標からみた研究計画、実施方法、体制の妥当性

当初予定していた計画通りに順調に進めることができたが、コロナ禍で海外ヒアリングが実施できなかったのは残念である。このヒアリングは、令和3年度に持ち越しとなる。本研究では、新たなデータとして、ETC2.0とETC/FFデータ、既存データでは、DRM、道路交通センサスと多様なデータを駆使している。令和2年度は基礎解析が中心であったが、それらデータ間の有機的な統合利用に向けて令和3年度計画を進捗させたい。

各WGにおける役割分担も概ね妥当であったと考えている。特にDRMを用いた分析は高速でメモリサイズも大きいWork Stationを必要とするため、外注業者の技術を援用できたことは、効率的な研究推進に役立った。また、NEXCO中日本のメンバーの企画で、静岡県内のSA/PAや、工事中の浜松いなさ路外駐車場も視察できた。実務と学識、そして関連業者間の連携がとれた一つの成果であろう。

⑦特記事項

(研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の見通しや進捗についての自己評価も記入。)

1) 研究で得られた知見

企業アンケート・ヒアリングから、ダブル連結トラック市場の制約条件を整理できた(WG1-1)し、ETC2.0により実際の運行パターンも把握することができた(WG1-2)。ETC/FFデータからは、深夜時間帯の長時間駐車の実態も把握し、その要因を考察することができた(WG1-3)し、SA/PAにおけるTDM施策について俯瞰し、整理を行った(WG1-4)。実はこの成果をもとに道路局とすでに対応施策について議論もしている。DRMを用いた分析からはダブル連結トラックの道路ネットワーク上のボトルネックについても確認した(WG2)。ダブル連結トラックの運用上、必要不可欠な連結・解除拠点については、多くの現地視察から必要となる条件について整理し得たことが特記事項と考えられる。

2) 研究の見通しおよび進捗の自己評価

ダブル連結トラック自体、その数を増やしつつあり、本研究のニーズは高いと感じている。令和2年度はETC/FFはパイロットデータに留まったが、令和3年度は利用可能なSAが倍以上に増える見込みであり、新たな成果が期待できる。2020年度末にはダブル連結トラック専用の浜松いなさ路外駐車場も供用されることから、本研究の重要なターゲットになり得る。

研究の進捗については、コロナ禍もあり、初動がやや遅れたものの、現地視察やヒアリングを予想より多くこなすことができた。多種に及ぶ交通データの整理・分析も計画通り進めることができたため、十分評価できると考えている。