

デジタル式運行記録計データを用いた 鉄道コンテナ集配トラックの運行挙動の分析

瀬山 竣貴¹・秋田 直也²・小谷 通泰³

¹学生会員 神戸大学 大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail: 177w105w@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学 大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail: akita@maritime.kobe-u.ac.jp

³正会員 神戸大学 大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)
E-mail: odani@maritime.kobe-u.ac.jp

鉄道輸送へのモーダルシフトの必要性が叫ばれているが、その推進に向けては鉄道コンテナの集配トラックによる輸送の効率化が重要な課題となっている。そこで本研究は、鉄道コンテナの集配トラックを対象として、デジタル式運行記録計による運行履歴データをもとに運行実態の特性を把握するとともに、「集配地との往復輸送(ピストン型)」と「配達地から集荷地への巡回輸送(三角型)」の2つの運行形態の選択行動に影響を与える要因を明らかにすることを目的としている。特に、両者の輸送形態の選択行動については、第1ストップにおける運行継続・終了の選択、積み地点の選択の2段階からなる選択行動として捉え、ネステッドロジットモデルを用いてモデル化する。

Key Words : railway container cargo, truck movement, digital tachograph, nested logit model

1. はじめに

(1) 本研究の背景と目的

従来より、CO₂の排出量削減や輸送効率の向上、道路渋滞の解消、エネルギー消費の節約を図るため、トラックから大量輸送が可能な鉄道や船舶に転換するモーダルシフトの必要性が叫ばれてきた。またこのモーダルシフトは、近年は、深刻化する長距離トラックドライバー不足問題の解決策の1つとしても期待されている。

こうした中、2015年の全国貨物純流動調査結果¹⁾では、2010年に比べ、海運、鉄道のシェアがともに拡大し、トラックのシェアの低下がみられる。また、輸送距離帯別に見ると、輸送距離が長距離化するほど、海運、鉄道のシェアが高まる傾向にある。しかしながら、依然としてトラックのシェアは高く、とりわけ鉄道のシェアは1.3%と非常に小さい状況にある。

ところで、貨物の鉄道輸送は、貨物ターミナル駅間を結ぶ鉄道による幹線(オンレール)部分と、貨物ターミナル駅と集配拠点とを結ぶトラックによるオフレール部分との連携によって提供される複合一貫サービスであるといえる。このため、鉄道へのモーダルシフトを促進するには、鉄道によるオンレール部分だけでなく、トラックによ

るオフレール部分の運行実態を詳細に把握し、その効率化を図ることが必要不可欠である。しかし、これらトラックの運行実態に関する研究は少なく²⁾³⁾、十分な知見が得られているとは言い難い。

一方、これまでトラックの運行実態を把握するには、ドライバーによって1日の運行(出庫から帰庫まで)の様子が記載された運転日報や、トラックに搭載されたアナログタコグラフのデータといった、非常に限られたデータが用いられていた。しかし近年、情報通信技術の進展により、デジタル化されたトラックの詳細な運行履歴データを、大量、且つ、容易に得られるようになった。

そこで本研究は、鉄道コンテナの集配トラックを対象に、車両に搭載されたデジタル式運行記録計による運行履歴データから、一定のルールを設けてトリップチェーンを抽出した上で、これらトラックの運行実態の特性を把握するとともに、「集配地との往復輸送(ピストン型)」と「配達地から集荷地への巡回輸送(三角型)」の2つの運行形態の選択行動に影響を与える要因を明らかにすることを目的としている。

具体的には、まず、百貨貨物ターミナル駅を拠点とする利用運送事業者A社の集配トラックの運行履歴データから、一定のルールを設けて、トラックの1日の運行をトリ

ップチェーンとして抽出する。その際、1日の運行が開始され終了される貨物ターミナル駅を「ホーム」、ホーム外において荷役作業が行われた地点を「ストップ」、ホームを出発した後、再びホームに到着するまでの一連のサイクルを「ラウンド」と定義する。次に、トリップチェーンの特性として、1日のラウンド数、ストップ数、ストップでの荷役作業の内容などの運行実態を把握する。また一方で、ラウンドの運行形態を、含まれるストップ数と各ストップでの作業内容によって分類した中から、主な3つの運行形態（「ピストン型（降し作業）」「ピストン型（積み作業）」「三角型（降し作業→積み作業）」）を取り上げ、利用車種、ホームへの到着時刻、ホームからの出発時刻、第1トリップ長などにみられる差異を把握する。そして最後に、ピストン型（降し作業）と三角型（降し作業→積み作業）の選択行動を、2段階からなるネステッドロジットモデルを用いてモデル化し、これら運行形態の選択要因を考察することで、ピストン型から三角型への転換を図ってトラックの運行を効率化するための知見を得る。

(2) 既存研究と本研究の特徴

貨物車などの業務交通の一連の動きをトリップチェーン的な考え方にに基づき分析した研究はいくつかみられる。例えば、近藤ら⁴⁾は、貨物車による業務交通のストップ数分布、およびサイクル数分布を推計する手法を提案している。また、佐佐木ら⁵⁾は、トリップ連鎖パターンを考慮した業務交通の発生集中量の分析を試みている。しかしながら、これらの研究にみられるように、その多くは交通量推計を目的としたものである。これに対して、集配トラックの運行挙動という視点での分析は、その事例は少ないが、例えば、岡山ら⁶⁾が、鉄道コンテナを集荷・配達するトラックを対象に、運転日報とタコグラフのデータからトリップチェーン的な考え方にに基づき、トラックの配車特性を分析している。

また本研究では、集配トラックの運行形態の選択行動を、第1ストップにおける2段階の選択行動としてモデル化するが、参考とすべき研究として、来街者による回遊行動モデルに関する研究があげられる。例えば、荒木ら⁷⁾は、3レベルのネステッドロジットモデルによる目的地選択モデルと生存期間モデルによる店舗滞在時間モデルを組み合わせることによって、時空間回遊行動をモデル化している。目的地選択モデルでは、レベル1で回遊継続か帰宅かの選択、レベル2で買い物や飲食などの活動内容の選択、レベル3で活動内容を選択した条件下での各店舗の選択という構造を仮定している。また、高田ら⁸⁾は、非集計型ロジットモデルによって回遊行動に関する平均選択確率を表現した上で、回遊行動を一連の行動選択の結果として表現する回遊行動シミュレーションモデ

ルを構築している。本モデルでは、下位レベルの選択肢の特性によって上位レベルの選択肢の特性が決定されるため、下位レベルでの選択肢の特性変化は、上位レベルの来街者選択行動に影響することが表現されている。

さらに、コンテナ輸送において、ピストン型から三角型への転換によって輸送の効率化を図ろうとする研究については、国際海上コンテナ輸送に関連する分野に多くみられる。例えば、西村ら⁹⁾は、海上コンテナの集配活動に関してコンテナの状態と積載状態を考慮したトラックのルーチング問題として、輸入施設と輸出施設のマッチングによるCO₂排出量の削減効果を評価している。また、秋田ら¹⁰⁾は、内陸部バンプールを活用して空コンテナのマッチングを行う施策による総輸送距離の削減効果を分析している。

こうしたことから、本研究の特徴として、以下の点があげられる。

- ①大量に得られる車両に搭載されたデジタル式運行記録計による運行履歴データから、一定のルールに基づいて、ストップとホームを特定化し、効率的にトリップチェーンを抽出するための方法を示している。そして、以降の分析では、このトリップチェーンをもとに集配トラックの運行挙動の分析を行っている。
- ②ピストン型（降し作業）と三角型（降し作業→積み作業）の運行形態の選択行動を、第1ストップにおける、運行継続・終了の選択、目的地選択の2段階からなる選択行動として捉え、ネステッドロジットモデルを用いてモデル化している。
- ③鉄道コンテナの集配トラック輸送における効率化を、ピストン型（降し作業）から三角型（降し作業→積み作業）への転換の側面から捉えることで、鉄道コンテナのマッチング輸送の課題を示唆しようとしている。

2. 分析データの概要

(1) 使用データ

本研究では、百済貨物ターミナル駅を拠点にする利用運送業者A社から提供されたデジタル式運行記録計の運行履歴データを使用する。得られたデータは2013年11月1日から29日までの平日20日間における延べ372人・日のデータである。本データはドライバーが作業の開始時と終了時に押す機器のボタンの情報を記録したもので、作業内容（運行開始、運行終了、積み、降し、待機、休憩）に加え、ボタンが押された時刻と位置（市区町村名、緯度・経度）、それまでの累積走行距離が、ドライバーごとに得られている。この内、本研究では、以下の条件を満たす運行履歴データを分析対象とする。

- ① 1 日の運行の開始と終了の位置がともに百済貨物ターミナル駅の敷地内となっていること。
- ② データの制約から車両ごとに 1 日の運行を把握することができない。このため、同一のドライバーが、途中、車両の乗り換えをせずに、1 日中、同一の車両に乗車して行っている運行であること。
- ③ 他の貨物ターミナル駅への立ち寄りがないこと。

この結果、分析対象としたのは 20 日間におけるドライバー 20 名による延べ 241 運行のデータである。

(2) 利用車種

これら 241 運行について利用車種別の延べ台数とその割合を図-1 に示す。これより、2 個以上のコンテナが積載可能な車種を利用した運行が 7 割以上を占めていることが確認できる。

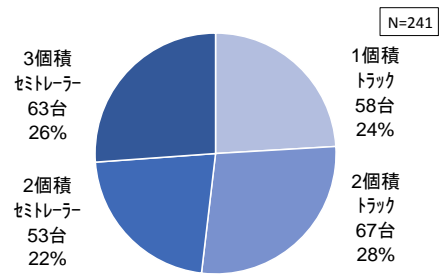


図-1 利用車種の構成割合

(3) 1 日の運行の開始・終了時刻と運行時間

図-2 は、241 運行について、1 日の運行の開始時刻と終了時刻の分布を示したものである。

これより、1 日の運行の開始時刻は、7 時台に大半の 181 件 (75.1%) が集中しており、8 時台の 39 件 (16.2%) を含めると 9 割以上を占めている。また、運行開始時刻の平均は 7 時 48 分であった。

これに対し、1 日の運行の終了時刻は 18 時台の 90 件 (37.3%) が最も多く、以下、19 時台の 65 件 (27.0%)、17 時台の 48 件 (20.0%) の順に続いており、開始時刻ほどの集中はみられない。また、運行終了時刻の平均は 18 時 51 分であった。

次に、1 日の運行の終了時刻と開始時刻との差を運行時間とし、その分布を示したものが図-3 である。これより、11 時間以上 12 時間未満の運行が 86 件 (35.7%) と最も多く、以下、10 時間以上 11 時間未満の 81 件 (25.7%)、12 時間以上 13 時間未満の 74 件 (16.2%)、9 時間以上 10 時間未満の 37 件 (15.4%) の順に続いている。これらは、1 日のドライバーの拘束時間 (始業から終業時間) として定められている原則 13 時間以内 (最大 16 時間) に依存しているものと考えられる。なお、1 日の運行時間の平均は 11 時間 2 分であった。

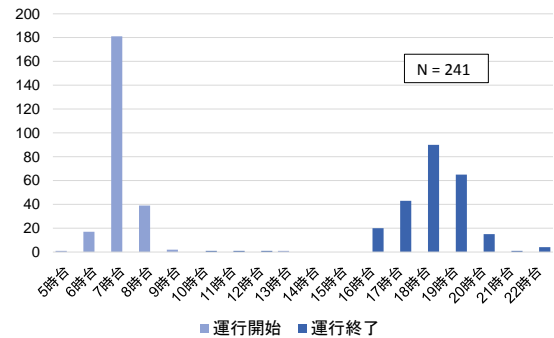


図-2 1 日の運行の開始時刻と終了時刻

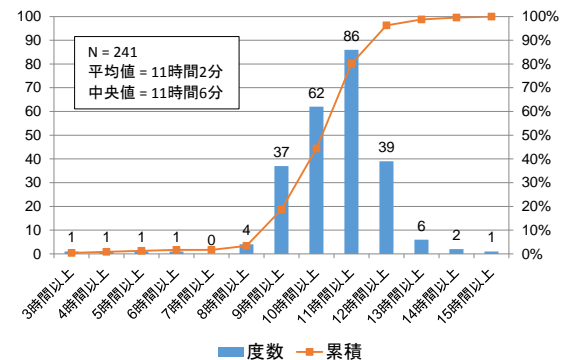


図-3 1 日の運行時間

3. トリップチェーンの抽出とそれにみられる特徴

(1) トリップチェーンの抽出方法

トラックの 1 日の運行は、図-4 に示すようなトリップチェーンとして捉えることができる。具体的には、以下のルールを設定することで、運行履歴データから、トリップチェーンを抽出した。

① トラックの 1 日の運行が開始され終了される百済貨物ターミナル駅を「ホーム」とする。また、百済貨物ターミナル駅の敷地を特定化し、その敷地内での荷役等の作業はホーム内での作業とする。

② ホーム外において、荷役が行われた地点を「ストップ」とする。また、1 km 未満の距離内で連続して行われた荷役等の作業は同一ストップ内で行われた作業とする。

③ 待機・休憩は、ホーム内のほか、最寄りのストップからの走行距離が 1 km 未満である場合は当該ストップ内で、その他は移動中に (トリップ内で) 行われたものとする。

④ ホームを出発後、再びホームに到着するまでの一連のサイクルを「ラウンド」とし、トリップチェーンは、1 つ、または、複数のラウンドから構成されているものとする。

この結果、延べ 572 ラウンド、延べ 830 ストップからなる 241 のトリップチェーンを抽出することができた。そして本研究では、トリップチェーンを構成するラウンドの運行形態として、ストップを 1 つ持つラウンドを「ピ

ストーン型」, 2つ持つラウンドを「三角型」, 以降, ストップ数が増えるごとに「四角型」, 「五角型」, 「六角型」と呼ぶこととした. また, ストップを持たないラウンドについては「ストップなし」とした.

(2) トリップチェーンにみられる特徴

まず図-5は, 含まれるラウンド数で, 抽出されたトリップチェーンを整理した結果を示したものである. これより, 全 241 運行の内, 2ラウンドからなるトリップチェーンが 137 件 (56.8%)で最も多く, これに次ぐ3ラウンドの 72 件 (29.9%)を合わせると, これらで9割程度を占めている. また, 最大は5ラウンドで平均は2.37ラウンドとなっている.

次に, 図-6は, 各ラウンドが持つストップ数の分布を示したものである. これより, ピストン型 (1ストップ) が 298 件 (52.1%)で最も多く, これに次ぐ三角型 (2ストップ) の 201 件 (35.1%)を合わせると, これらで9割程度を占めている. また, 最大は六角型 (5ストップ) で平均は1.45ストップとなっている.

最後に, 図-7は, 各ストップでの荷役作業内容の構成割合を示したものである. これより, 積み, または, 降しのいずれかのみが行われているストップが790件 (95.1%)となっており, ほとんどのストップにおいて1回の荷役作業のみが行われていることがわかる.

4. 場所による作業の特性

ここでは, ホーム内, ストップ内, トリップ内のそれぞれで行われている荷役作業, 及びそれに付随する待機・休憩の実態について示す.

(1) ホーム内での作業にみられる特性

1) 発生する作業の内容

ホーム内での作業の内容は, 積みが 523 件, 降しが 478 件, 待機・休憩が 889 件である. ここで, ホーム内での積み, または, 降しの荷役作業では, コンテナ自体を対象として行われているものが大半であると考えられ, 通常はフォークリフト等の荷役機器を用いて行われている.

2) 作業ごとの開始時刻と所要時間

図-8は, ホームを発着する列車の発着時刻と当該列車の貨物の積み替え可能時間を, また図-9は, ホーム内で行われている作業の開始時刻の分布と平均所要時間をそれぞれ示したものである.

a) 積み

8時台が3割以上で突出して多くっており, 以下, 7時台, 11時台, 12時台がそれぞれ1割程度で順に続いて

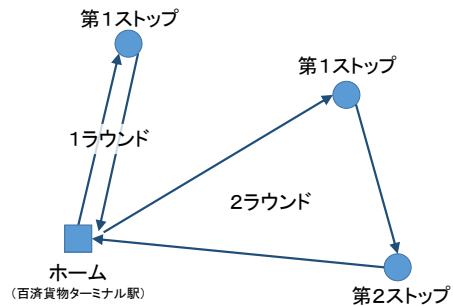


図-4 本研究で抽出するトリップチェーンのイメージ

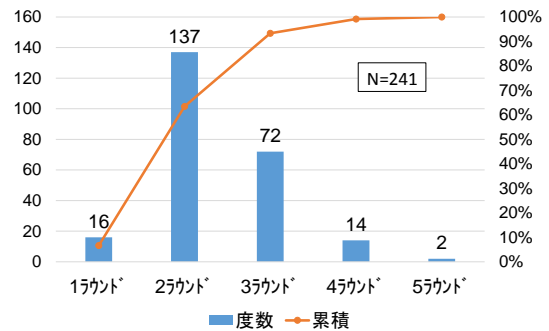


図-5 各トリップチェーンに含まれるラウンド数の分布

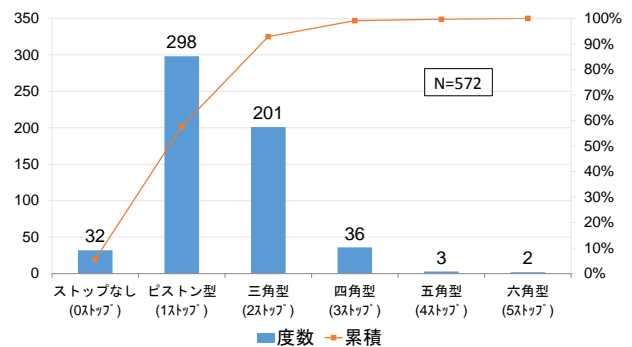


図-6 各ラウンドに含まれるストップ数

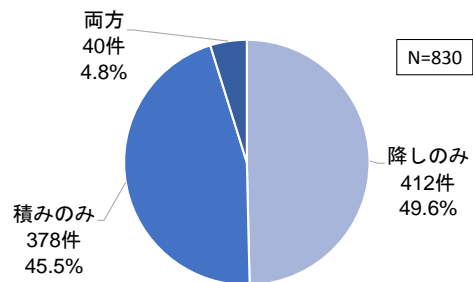


図-7 ストップでの荷役作業の内容

いる. これより, 積みの4割以上が7時台・8時台に集中して行われており, 7時台に貨物の積み替え可能な2本の列車 (列車③と④) の貨物量が関係しているものと考えられる. また, 11時台・12時台にも小さなピークがみられ, 午前中に1回目の集配を終えた後, 再びホーム内で積みを行っている様子が窺える. さらに, トラックの運行が終

了する18時台以降の時刻では積みの作業はほとんど行われていない。一方、所要時間についてみると、時間帯によって大きな変化はみられず、5～10分で推移している。

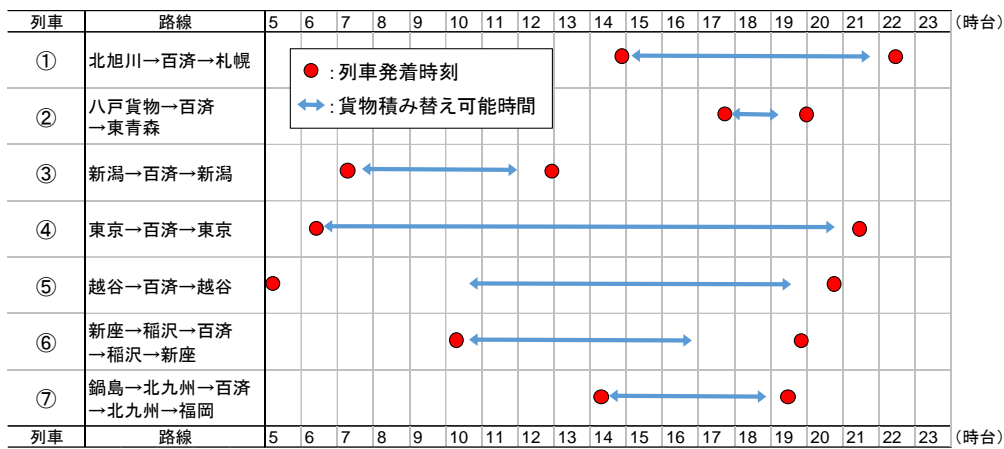
b) 降し

18時台が2割程度で最も多く、以下、17時台、16時台、11時台が1割以上で順に続いている。これより、18時台のピークは深夜帯の発荷に向けて積み替え可能な5本の列車(列車①、②、④、⑤、⑦)に対応しており、トラックの運行終了前にホーム内で降しを行っているものと推測される。その一方で、11時台にみられる次に大きなピークでは、11時前後に貨物の積み替えが可能となる2本の列車(列車⑤と⑥)に対応するために午前の集配を終えたトラックがホームに戻って行っているものと推測され

る。また、所要時間については、積み同様に時間帯による大きな変化はみられず、ほとんどが5～10分で推移している。

c) 待機・休憩

7時台が2割と最も多く、以下、12時台、11時台が1割以上で順に続いている。これより、7時台については8時台の積みの発生時刻のピークに伴って、待機・休憩の発生が多くなっていることがわかる。さらに、11時台と12時台については昼食を取りながらホーム内で待機・休憩が行われている様子が推測される。また、所要時間についても7時台・11時台・12時台では30分以上と大きくなっており、それ以外の時間帯では20分以下である場合が大半である。



【出典】鉄道貨物協会「2013JR貨物時刻表」より筆者作成

図-8 ホームでの列車発着時刻及び貨物積み替え可能時間

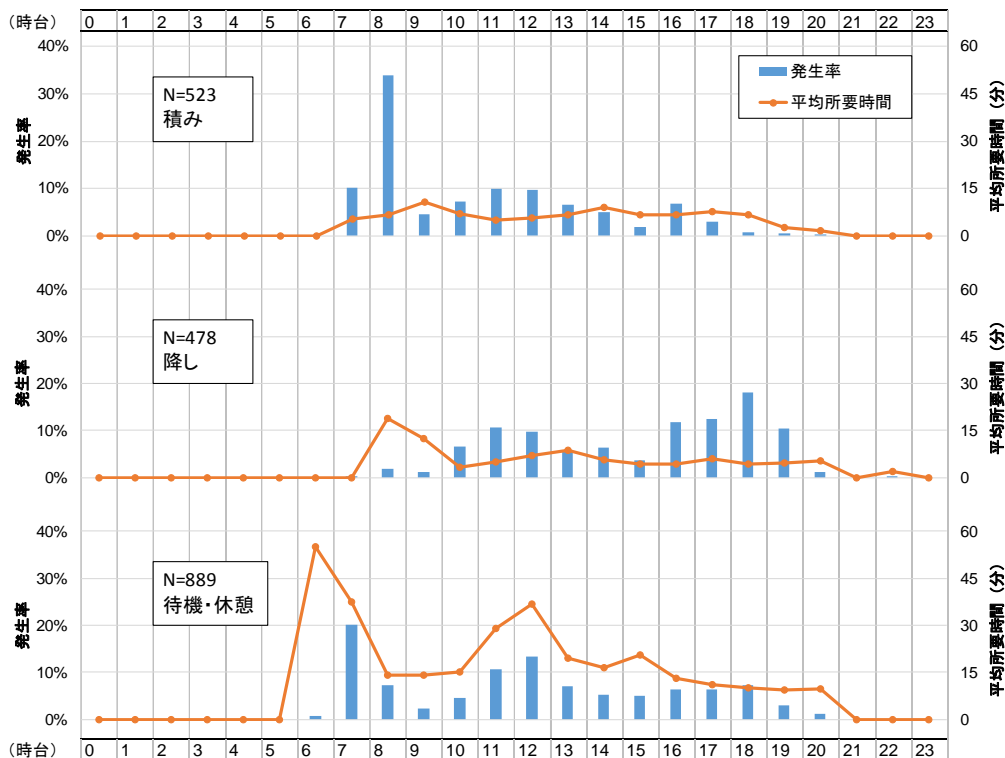


図-9 ホーム内における各作業の開始時刻と平均所要時間の分布

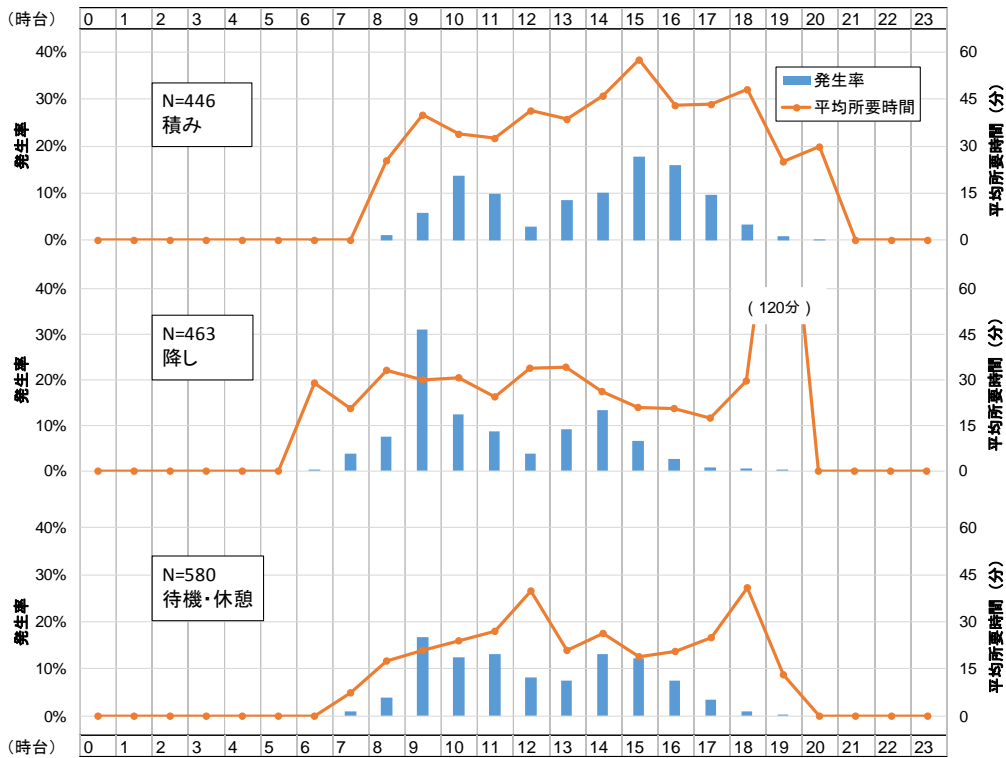


図-10 ストップ内における各作業の開始時刻と平均所要時間の分布

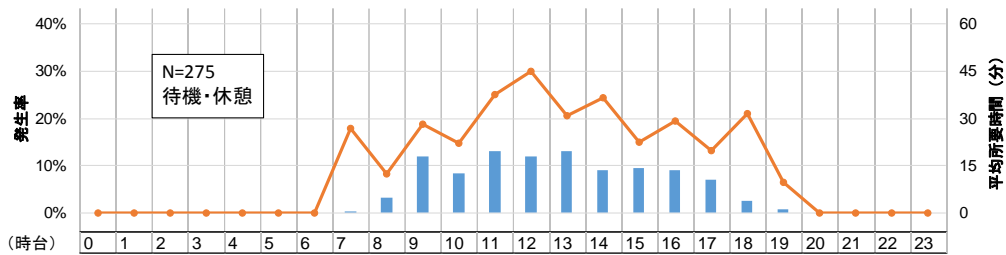


図-11 トリップ内における作業の開始時刻と平均所要時間の分布

(2) ストップ内での作業にみられる特性

1) 発生する作業の内容

ストップ内での作業の内容は、積みが 446 件、降しが 463 件、待機・休憩が 580 件である。ここで、ストップ内での積み、または、降しの荷役作業では、コンテナへの貨物の積み込み、または、コンテナからの貨物の取り出しが大半であると考えられ、フォークリフト等の荷役機器を用いて行われる場合とドライバーの手作業で行われる場合がみられる。

2) 作業ごとの開始時刻と所要時間

ストップ内での作業の開始時刻の分布と平均所要時間を示したものが、図-10 である。

a) 積み

15 時台が 2 割程度で最も多く、以下、16 時台、10 時台と順に続いている。これより、15 時台と 10 時台をピークとした 2 つの山がみられ、15 時台の方が大きくなっている。また積みが行われる割合は午前中（11 時台まで）が 3 割、午後（12 時台以降）が 7 割と午後の方が多くなっており、夜間に貨物ターミナル駅を出発する列車の貨

物が関係しているものと考えられる。また、所要時間は 40～60 分程度で推移しており、長時間を要している。

b) 降し

9 時台が突出して多く 3 割以上となっており、以下、14 時台、10 時台と順に続いている。これより、9 時台と 14 時台をピークとした 2 つの山がみられ、特に 9 時台と 10 時台に降しの半数以上が集中して行われている。これらは、ホームでの運行開始直後の積みの集中が関係していると考えられる。さらに、降しが行われる割合は午前（11 時台まで）が 6 割、午後（12 時台以降）が 4 割と午前の方が多くなっている。また、所要時間は 20～30 分程度で推移しており、積みと比較して短時間で行っている。

c) 待機・休憩

9 時台の発生が最多であり、次いで 11 時台と 14 時台が同程度の発生率で続いている。全体としては 9～11 時台、14～15 時台の 2 つの集中がみられ、これらはそれぞれ降し、積みのピークの時間帯と一致、または、直前の時間帯となっている。こうしたことから、待機・休憩がストップ内での荷役に起因して発生していると推測される。

所要時間については 12 時台が 40 分以上の長時間となっており、他の時間帯では、ほとんどが 20~30 分程度で推移している。

(3) トリップ内での作業の開始時刻と所要時間

トリップ内で行われている作業は待機・休憩のみであり、その発生件数は 275 件である。さらに、トリップ内で行われている待機・休憩の開始時刻の分布と平均所要時間を示したものが図-11 である。これより、待機・休憩の発生率については時間帯による顕著な集中がみられず、各時間帯で 1 割前後が発生している。また、所要時間については 12 時台のみ 40 分以上の長時間となっており、他の時間帯では概ね 30 分程度で推移している。

5. ラウンドの運行形態にみられる特徴

(1) 分析対象とするトリップチェーンの形態

前述したラウンドの運行形態を、各ストップでの作業内容によってさらに詳しく分類した結果、以下の 3 つの運行形態で、抽出された全ラウンドの 8 割を占めていた。

- ①ピストン型で第 1 ストップで降し作業が行われた形態
(以下、ピストン型 (降し作業) と呼ぶ) : 148 件
 - ②ピストン型で第 1 ストップで積み作業が行われた形態
(以下、ピストン型 (積み作業) と呼ぶ) : 128 件
 - ③三角型で第 1 ストップで降し作業が行われた後、
第 2 ストップで積み作業が行われた形態
(以下、三角型 (降し作業→積み作業) と呼ぶ) : 166 件
- そこで以下では、これらの 3 つの運行形態別にトラックの運行実態の違いを明らかにする。

(2) ラウンドの運行形態による運行実態の差異

a) 利用車種による差異

図-12 は、ラウンドの運行形態別に利用車種の内訳を比較したものである。これより、ピストン型 (降し作業) の運行形態においては、1 個積トラックの占める割合が高くなっており、逆に 3 個積セミトレーラーの割合が低くなっている。その一方で、ラウンドの運行形態に関わらず、2 個積トラックと 2 個積セミトレーラーの割合は、ほぼ等しくなっている。こうしたことから、ピストン型 (降し作業) においてはコンテナ積載可能個数が少ない車両が、ピストン型 (積み作業) と三角型 (降し作業→積み作業) のいずれも積みを伴う運行形態では、コンテナ積載可能個数が多い車両が利用されやすい傾向にあるといえる。

b) ホーム帰着時刻による差異

図-13 は、ラウンドの運行形態別にホーム帰着時刻の頻度を比較したものである。これより、11 時台以降にホー

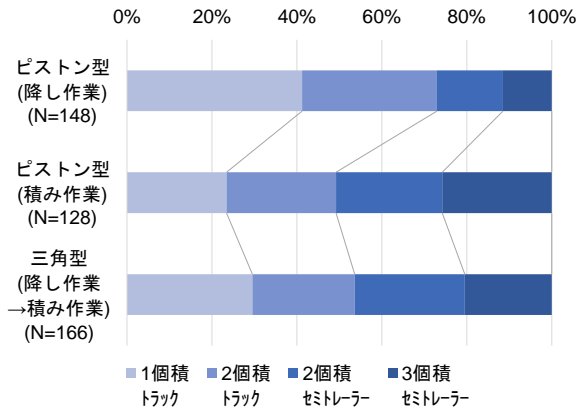


図-12 ラウンドの運行形態別にみた利用車種の内訳

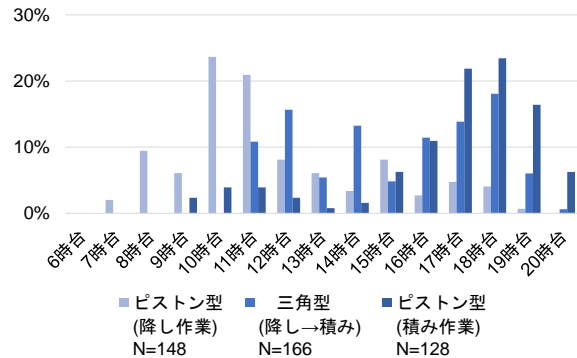


図-13 ラウンドの運行形態別にみたホーム帰着時刻の分布

ムに帰着する場合は、ピストン型 (降し作業) と三角型 (降し作業→積み作業) の両運行形態が混在している。これに対し、10 時台までにホームに帰着する場合は、ピストン型 (降し作業) が多くなる傾向にあるといえる。こうした 10 時台までにホームに帰着するラウンドについては、午前中に積み替えが可能となる列車のダイヤに合わせてホームに帰着しているものと推測される。さらに、15 時台以降にホームに帰着する場合は、ピストン型 (積み作業) と三角型 (降し作業→積み作業) の両運行形態が混在している。これに対し、それ以前の時間帯では三角型 (降し作業→積み作業) での積み作業が多くなる傾向にあるといえる。

c) ホーム出発時刻による差異

図-14 は、ラウンドの運行形態別にホーム出発時刻の頻度を比較したものである。ピストン型 (降し作業) と三角型 (降し作業→積み作業) の両運行形態において、8 時台に特に集中がみられると同時に、8 時台から 11 時台にかけては両運行形態が混在している。これに対し、12 時台以降の午後に出発する場合は、三角型 (降し作業→積み作業) の運行形態が多くなる傾向にあるといえる。また、12 時台から 14 時台まではピストン型 (積み作業) と三角型 (降し作業→積み作業) の両運行形態が混在している。これに対し、15 時台以降にホームに帰着する場合は、ピストン型 (積み作業) の運行形態が顕著に多くなっている。

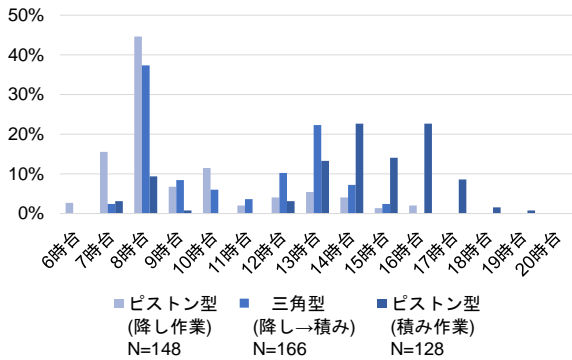


図-14 ラウンドの運行形態別に見たホーム出発時刻の分布

d) 第1トリップ長による差異

図-15は、ラウンドの運行形態別に第1トリップにおける走行距離の距離帯別の構成を比較したものである。10km未満の比率はピストン型(降し作業)とピストン型(積み作業)の両運行形態でともに2割以上であるのに対して、三角型(降し作業→積み作業)では1割にも達していない。反対に、20km以上の比率はピストン型(降し作業)とピストン型(積み作業)がともに2割程度であるのに対して、三角型(降し作業→積み作業)は4割以上を占める。さらに平均トリップ長は、ピストン型(降し作業)が17.2km、ピストン型(積み作業)が16.0km、三角型(降し作業→積み作業)が25.8kmとなっている。こうしたことから、ピストン型(降し作業)とピストン型(積み作業)では比較的ホームに近いストップで、三角型(降し作業→積み作業)ではホームから遠いストップで降しを行っていると推測できる。

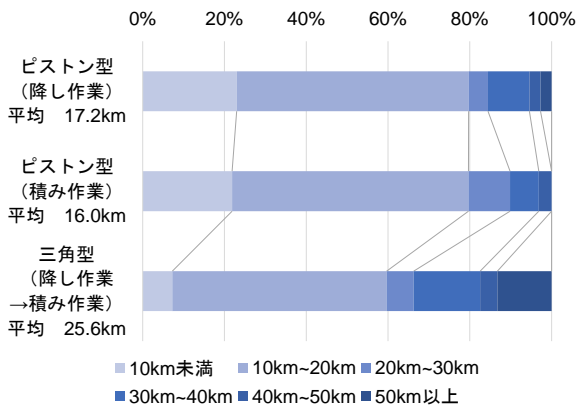


図-15 ラウンドの運行形態別に見た第1トリップ長

(3) 三角型(降し作業→積み作業)にみられる特徴

a) 距離比

三角型(降し作業→積み作業)は、ピストン型(降し作業)とピストン型(積み作業)の組み合わせに比べて、総走行距離を短縮できる場合がある。つまり、図-16に示すように、2つの運行形態の総走行距離は $2l_1+2l_3$ となり、三角型(降し作業→積み作業)は $l_1+l_2+l_3$ となることから、

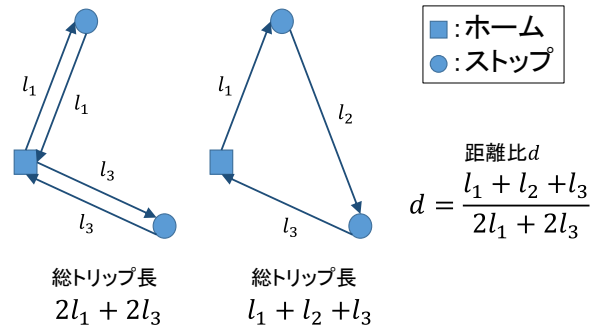


図-16 距離比dの算出方法

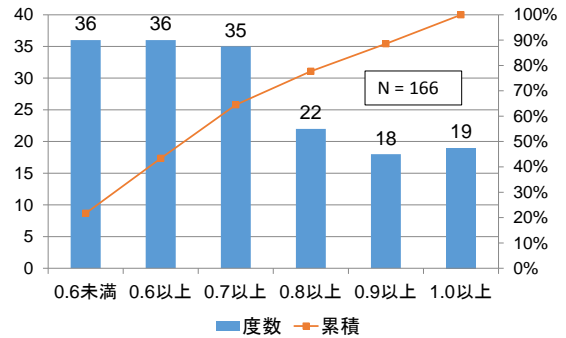


図-17 距離比の頻度分布

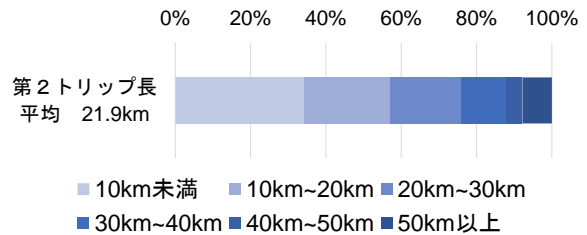


図-18 三角型(降し作業→積み作業)における第2トリップ長

l_2 が l_1+l_3 よりも大きくならない限り総走行距離は短縮されることになる。

そこで、図-16に示す計算式を用いて、抽出したすべての三角型(降し作業→積み作業)について、距離比dを算出し、その頻度を示したものが図-17である。これより、三角型(降し作業→積み作業)を構成することにより走行距離が長くなってしま(距離比dが1.0以上)ケースが1割程度みられるものの、大半において総走行距離が短縮されている。従って、第1ストップを出発して第2ストップに向かう際には、ホームに帰着する場合に比べて総走行距離が短縮される積み地点(ストップ)が選択されやすいと推測できる。

b) 第2トリップ長

図-18は、三角型(降し作業→積み作業)の第2トリップ長について、距離帯ごとにその割合を示したものである。これより、10km未満の距離帯の割合が最も多く、長距離帯になるほど減少する傾向がみられる。なお、平均トリップ長は21.9kmであった。

6. ラウンドの運行形態の選択行動のモデル化

(1) モデル構造の考え方

ここでは、ピストン型（降し作業）と三角型（降し作業→積み作業）の2通りの運行形態の選択行動を明らかにするため、各ラウンドの第1ストップで2段階の選択行動が行われていると想定してモデル化することとする。具体的には以下の通りである。

- ① 第1ストップで降し作業を終えた時点で、ホームに帰着するか、帰着しないかを選択する。ホームに帰着する場合、ピストン型（降し作業）が形成される。
- ② 一方、ホームに帰着しない場合は、訪問可能な積み地点の中から第2ストップの選択を行う。そして、第2ストップで積み作業を行った後、ホームに帰着し、三角型（降し作業→積み作業）が形成される。

なおこの際、第1ストップでホームに帰着するか、しないかの選択行動は、第2ストップ（積み地点）の選択行動の影響を受けているものとする。

本研究では、こうした集配トラックの選択行動を、図-19に示す2段階のネスティッドロジットモデルを適用してモデル化する。階層1では、運行継続・終了（ホームに帰着するか、帰着しないか）の選択行動を、階層2では、第2ストップ（積み地点）の選択行動を考える。また、モデルの推定は段階推定によって行った。

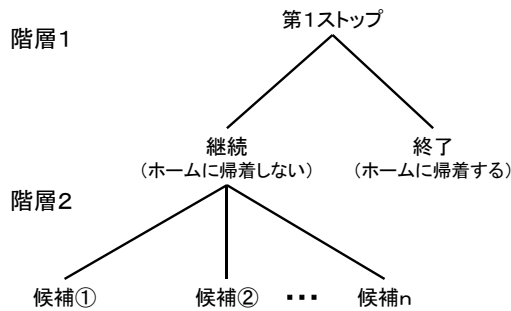


図-19 想定するネスティッドロジットモデルの構造

(2) モデルへの投入変数

階層1では、選択枝は運行継続・終了の2選択枝である。説明変数としては、「運行終了」の選択枝固有変数に「運行日におけるストップ訪問特性」と「10時帰着可能ダミー」の2変数を、「運行継続」の選択枝固有変数に「ホーム出発午後ダミー」、「第1トリップ長」、「車種ダミー」、「定数項」の4変数の計6変数を投入した。ここで、「運行日におけるストップ訪問特性」とは、各運行日における降し作業が行われているストップ数と積み作業が行われるストップ数の差を表した変数で、降し作業が行われているストップ数が多いほど（正に大きいほど）、より「運行終了」に寄与すると考えた。また、「10時帰着可能ダミ

表-1 NLモデルの推定結果

		説明変数	パラメータ	t値
階層1	運行終了の 選択枝固有変数	運行日におけるストップ訪問特性	1.177	2.389*
		10時帰着可能ダミー	1.886	2.443*
	運行継続の 選択枝固有変数	ホーム出発午後ダミー	1.236	4.073**
		第1トリップ長	0.621	3.285**
		車種	0.328	2.586**
		積み地点のログサム	0.726	3.595**
		定数項	1.284	1.631
	ρ^2 値	0.217		
	修正済み ρ^2 値	0.185		
		説明変数	パラメータ	t値
階層2	積み地点 選択	距離比	-7.503	-7.335**
		第2トリップ長	-1.322	-0.940
		ρ^2 値	0.240	
		修正済み ρ^2 値	0.236	

注)*: 5%有意(|t|>1.96) **: 1%有意(|t|>2.57)

一」とは、第1ストップを出発する時点でホームに10時までに帰着できるかを判定するもので、10時付近に引き渡しが行われる貨物への対応を考慮した変数とした。

一方、階層2では、選択枝は積み地点（第2ストップ）である。なお、積み地点の数は運行日によって異なるため、運行日ごとの実績にもとづいて設定した。この結果、選択枝数は、最小で9、最大で22となった。そして説明変数としては、「距離比」と「第2トリップ長」の2変数を投入した。なお、「距離比」については図-18で示した方法によって、直線距離で計測したトリップ長を用いて算出した。

(3) モデルの推定結果

表-1はモデルの推定結果を示したものである。まず、階層1と階層2のそれぞれのモデルの修正済み ρ^2 値は0.185、0.236となっており、いずれも比較的良好な結果が得られている。また、各モデルの変数は定数項と第2トリップ長を除いてすべて1%、あるいは5%のいずれかで有意となっており、符号の整合性もとれている。

まず、階層1の運行の継続・終了の選択モデルでは、ログサムのパラメータは $0 \leq \lambda \leq 1$ の条件を満たすとともに1%で有意となっていることから、2段階からなるモデル構造の妥当性が示されている。また、運行日におけるストップ訪問特性、10時帰着可能ダミーが5%有意、ホーム出発午後ダミー、第1トリップ長、車種、積み地点のログサムが1%有意であった。こうしたことから、特定の運行日内で積みストップ数に対する降しストップ数が多いほど、10時までにホームに帰着できる場合、ホームに帰着する傾向が強くなるといえる。また反対に、ホームを午後に出発する場合、第1トリップ長が長距離であるほど、コンテナ積載可能個数が多い車種であるほど運行が継続されやすい傾向にあるといえる。

次に階層2の積み地点選択モデルでは、距離比のみが1%で有意となっており、第2トリップ長は有意とはなら

なかった。従って、第 1 ストップから訪問する積み地点を選択する際には、距離比が小さくなる積み地点ほど選択されやすいことが窺える。

7. おわりに

本研究では、鉄道コンテナの集配トラックを対象に、デジタル式運行記録計による運行履歴データをもとに、運行実態の特性を把握するとともに、「ピストン型（降し作業）」と「三角型（降し作業→積み作業）」の選択行動に影響を与える要因を明らかにした。得られた成果を要約すると以下の通りである。

① 1 日あたりの総運行時間、トリップチェーンに含まれるラウンド数、1 ラウンドあたりの訪問ストップ数はそれぞれ平均すると 11 時間 2 分、2.37 ラウンド、1.45 ストップであった。また、ストップ訪問での荷役回数は大半が 1 回であった。

② 列車ダイヤに対応してホーム内での積み作業については、全体の 4 割が 7～8 時台に集中して行われているのに対し、ストップ内での積み作業については、時間帯による大きな集中がみられず、分散して行われていた。また、積み、または、降しの荷役作業の前後に待機・休憩が行われている場合が多くみられた。さらに作業場所に関わらず、11～12 時台を中心に待機・休憩が長くなっていた。

③ ラウンドの運行形態では、ピストン型（降し作業）、ピストン型（積み作業）、三角型（降し作業→積み作業）の 3 つが主であった。また、三角型（降し作業→積み作業）の運行形態について距離比を計算したところ、ピストン型で 2 ストップを訪問する場合と比べ、9 割程度で総走行距離が短縮されていた。

④ ピストン型（降し作業）と三角型（降し作業→積み作業）を対象に、両者の運行形態の選択行動を、第 1 ストップにおける運行継続・終了の選択（上位）、積み地点の選択（下位）の 2 段階からなる選択行動として捉え、ネスティッドロジットモデルを用いてモデル化した。推定結果より、修正済 ρ^2 値はいずれも比較的良好な結果が得られているとともに、2 段階からなるモデル構造の妥当性が示された。

⑤ また、運行の継続・終了選択モデルから、ピストン型（降し作業）の形成には、運行日内で積みストップ数より降しストップ数が多く、10 時までにはホームに到着が可能であることが、一方、三角型（降し作業→積み作業）の形成には、ホームを出発する時刻が午後以降であり、且つ、第 1 ストップがホームから遠く、またコンテナ積載可能個数の多い車種であることがそれぞれ影響していた。さらに、積み地点選択モデルから、総走行距離がより短縮されるような積み地点が選択される傾向が強いことが確認

できた。

今後の課題としては、以下の点があげられる。

本研究では、データの制約から、荷主によって定められた訪問指定時刻が運行の制約となっている場合を考慮できなかった。また、実際に荷役作業で取り扱われたコンテナ貨物の個数や大きさなどの情報が得られなかったため、利用車種による運行の差異についても把握できなかった。このため、本研究で構築したモデルでは、積み地点の選択肢集合が過大に評価されていることが予想される。今後は、これらの情報を入手することによってモデルの精緻化を図ることが必要である。

また、運行日による積み地点数と降し地点数の平準化や、ホームにおける積み時刻の集中の分散化などを行うことによってピストン型から三角型への転換を促すことができると考えられるため、本モデルを用いてシミュレーションを行うことによって集配トラックの運行の効率化を評価したい。

謝辞: 最後に、本研究で使用したデジタル式運行記録計のデータは、株式会社 A より提供を受けた。また本研究は科学研究費 (26410515) の助成を受けて行ったものである。感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省ウェブページ: 全国貨物純流動調査 (物流センサス), <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/butsuryu06100.html> 2018 年 7 月 25 日アクセス。
- 2) 岡山・小谷: 都市内における鉄道コンテナ集配トラックのトリップチェーンに関する分析, 第 17 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 225-228, 1997.
- 3) 春名・今井: 貨物駅の分散再配置が及ぼす通運トラック台数への影響, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 821-826, 1999.
- 4) 近藤・菊池: トリップパターンに関する二、三の考察, 交通工学, Vol. 21, No. 2, p. 7-pp. 14, 1986.
- 5) 佐佐木・西井: トリップチェーン手法を用いた都市内業務交通の発生集中量の分析, 土木学会論文報告集, 第 327 号, pp. 129-138, 1982.
- 6) 前掲 2)
- 7) 荒木・溝上・円山: まちなか回遊行動の詳細分析と政策シミュレーションのための予測モデル, 土木学会論文集 D3, Vol. 71, No. 5, pp. 323-335, 2015.
- 8) 高田・内田・杉木: 回遊行動シミュレーションモデルによる都心部整備効果分析に関する研究, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp. 515-522, 2013.
- 9) 西村・三瀬: 環境負荷を考慮した海上コンテナの集配ルーティング, 日本航海学会論文集, 第 129 巻, pp. 125-132, 2013.
- 10) 秋田・小谷: 空コンテナ輸送の効率化を目指した内陸部デポの設置効果の分析, 土木計画学研究・講演集, 第 29 巻, 2004 (CD-ROM) .

(?)

ANALYSIS OF TRUCK MOVEMENT FOR COLLECTING AND DERIVERING
RAILWAY CONTAINER CARGO USING DIGITAL TACHOGRAPH

Shunki SEYAMA, Naoya AKITA and Michiyasu ODANI