

輸送容量ネットワークによる鉄道貨物輸送の頑健性評価
—貨物集約時の JR 貨物各駅の保管／中継機能に着目して—

Robustness Evaluation of Rail Freight Transportation
by Transportation Capacity Network

--Focusing on the Storage/Relay Function of Each JR Freight Station
when Collecting Freight to a Particular Station--

寺村 倭輔[†] 平山 勝敏[†] 沖本 天太[†] 秋田 直也[†]
Kosuke Teramura Katsutoshi Hirayama Tenda Okimoto Naoya Akita

1. はじめに

近年、我が国の物流において大きな役割を担っているトラック輸送から、地球に優しく大量輸送が可能である海運または鉄道輸送に転換するモーダルシフトの流れが推進されている。モーダルシフトには CO2 排出削減の他にもエネルギー消費効率の改善、道路交通の混雑解消、また特に深刻となりつつあるトラックドライバー不足の解消・働き方改革の対応策としても効果が期待されており、様々な業界から注目を集めている[1, 2].

こうした流れにより日本国内の物流において鉄道を用いた輸送の重要性は高まってきているが、一方で鉄道ネットワークは災害等の影響を受けやすく、また一度不通となると復旧に多大な時間を要するという弱点も持っている。そのため、もし主要な鉄道路線が不通となってしまった場合、国内の物流は大打撃を受ける可能性がある。実際に 2018 年 7 月に発生した西日本豪雨では土砂崩れなどにより中国・四国地方の鉄道路線は複数箇所寸断され、九州と本州各地を結ぶ貨物列車は 100 日間運転することができなかった。また西日本豪雨による JR 貨物の減収規模は 100 億円を超えるとされており、長期の輸送機能不全は企業の生産活動にも大きな影響を与えた[3].

自然災害の多い日本では今後も災害が発生する可能性が高く、災害で一部が不通になるという前提で、鉄道貨物輸送がネットワークとしての程度頑健かを事前に評価することは重要な課題である。

本研究では、日本全国を対象とした JR 貨物の輸送データから輸送容量ネットワークを構築し、JR 貨物の全国各駅から特定駅に貨物を集約する際に、どの駅の保管／中継機能が重要かを評価する。具体的には、まず、輸送容量ネットワー

ク上の任意の出発駅と特定の到着駅間の通常の最小カット容量を求め、次に、出発駅と到着駅以外の駅（シャットダウン駅）を輸送容量ネットワークから削除した場合の最小カット容量を求め、その差分である最小カット容量の減少量を算出する。この作業をすべての出発駅とシャットダウン駅について実行し、シャットダウン駅ごとに最小カット容量の減少量を集計して総和（最小カット容量の総減少量）を求める。本研究では、この最小カット容量の総減少量を当該駅がシャットダウンした場合の影響度を表す指標と見なす。すなわち、この最小カット容量の総減少量が大きい駅ほど、保管／中継機能の観点からは重要な駅と見なす。

本論文では、大阪貨物ターミナル駅に貨物を集約する際の日本全国の各 JR 貨物駅（大阪貨物ターミナル駅を除く）の最小カット容量の総減少量を求め、その結果を報告する。

また、最小カット容量は、本来、ネットワーク全体の情報から計算されるマクロな指標だが、今回、一つ一つ集計して求めた各駅の最小カット容量の総減少量自体は、その駅固有のミクロな指標（次数と取扱総貨物量）の影響を強く受けることが示唆された。本論文では、その事実を裏付ける重回帰モデルを示す。

以下、2 節では、鉄道貨物輸送のネットワークモデルの一つとして、輸送容量ネットワークを導入し、その最小カット容量について説明する。3 節では、本研究で扱う JR 貨物の輸送データの

[†] 神戸大学大学院海事科学研究科
KOBE UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
MARITIME SCIENCES

概要を述べ、各駅の保管／中継機能としての重要度を表すと我々が考えている駅ごとの最小カット容量の総減少量についての主な計算結果を示す。さらに、最小カット容量の総減少量を被説明変数、輸送容量ネットワーク上での各駅の次数および取扱総貨物量を説明変数とした重回帰モデルを導出し、最小カット容量の総減少量が各駅のミクロな指標の影響を強く受けることを示す。4 節では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2. モデル化

2.1 鉄道貨物輸送における貨物の移動

鉄道貨物輸送においては、貨車ごとに発駅と着駅があらかじめ決まっておき、貨車は、出発駅で貨物列車に連結され、到着駅で貨物列車から切り離される。貨物の移動は、列車の発着駅ごとに 12 フィートコンテナ換算での貨車数で表現される。例えば、表 1 は P, Q, R の 3 つの貨物列車による貨物の移動を示しており、列車 P では、a 駅から b 駅まで 3 個の貨車、a 駅から d 駅まで 2 個の貨車、b 駅から d 駅まで 5 個の貨車を運んでいることを示している。

表 1 鉄道貨物輸送における貨物の動き

列車	発駅	着駅	貨車数
P	a	b	3
P	a	d	2
P	b	d	5
P	c	d	7
Q	a	c	5
Q	a	d	8
Q	b	d	10
Q	c	d	2
R	d	a	7
R	c	b	8
R	b	a	1

本研究では、貨物列車群による現実の貨車の移動から、任意の 2 駅間の貨物の移動を抽出した輸送容量ネットワークを構築し、駅間の貨物の移動を分析するための基本ツールとする。

2.2 輸送容量ネットワーク

任意の 2 駅間では、一般に異なる列車での複数回の貨物の移動が観測される。例えば、表 1 では、a 駅から d 駅まで列車 P で 2 個、列車 Q で 8 個の貨車が運ばれている。本研究では、これらの和である 10 個を、与えられた列車群で運ぶことができる a 駅から d 駅までの「容量」と見なす。この要領で、駅をノードとし、貨物移動が観測される発着駅間に有向リンクを設置してその容量を付記したネットワークを、本研究では輸送容量ネットワークとよぶ。表 1 の貨物列車群に対応する輸送容量ネットワークは図 1 の通りである。なお、輸送容量ネットワークのリンクには向きがあり、向きが異なれば容量も異なることに注意する。

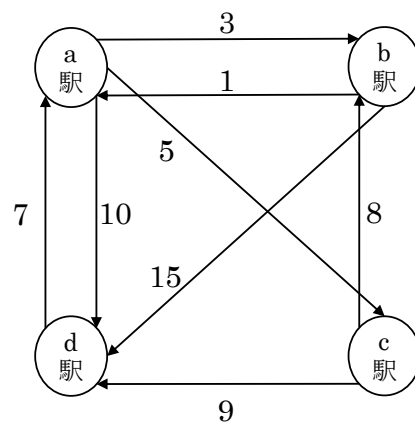


図 1 輸送容量ネットワーク

2.3 輸送容量ネットワークの最小カット容量

この輸送容量ネットワークに対して、任意の出発駅と到着駅を指定して、それに対応する最小カット容量を求める。この場合の最小カット容量は、与えられた貨物列車群を任意回数運用することにより指定された出発駅から到着駅まで運ぶことができる貨車数の最大値を与える。この値は、与えられた貨物列車群の（指定された出発駅と到着駅に対する）ネットワークとしての輸送能力を示す一つの指標になると考えられる。例えば、図 1 の輸送容量ネットワークに対して、出発駅を a 駅、到着駅を c 駅とした場合の最小カットは、s カットが {a 駅, b 駅, d 駅}、t カットが {c 駅} となり、最小カット容量は 5 (a 駅から c 駅に貼られた有向リンクの容量) となる。

3. 分析

3.1 使用データの概要

本研究では、JR 貨物が実際の貨物列車の運行のために使用している列車データを使用する。対象範囲は、日本全国の 109 駅を通る列車だが、線路を伴わないオフレールステーションを通る列車は排除した。これらのデータから、前節で説明した輸送容量ネットワークを作成する。

3.2 集計結果と考察

本研究では、到着駅を大阪貨物ターミナル駅に固定した上で、まず、出発駅を大阪貨物ターミナル駅以外の全国各駅として、それぞれの最小カット容量を求める。その後、出発駅・到着駅以外のすべての駅を 1 つずつシャットダウン駅として削除することで、最小カット容量の減少量を求めた。最後に、最小カット容量の減少量をシャットダウン駅ごとに集計し、シャットダウン駅に対する最小カット容量の総減少量を求めた。最小カット容量の総減少量が大きい上位 9 駅を表 2 に示す。大阪貨物ターミナル駅に貨物を集約するにあたっては、東京ターミナル駅の保管／中継機能が突出して大きいことがわかる。さらに、札幌ターミナルと福岡ターミナルがこれに続き、両者は同じ値である。

東京ターミナル駅は、次数が 114 (大阪ターミナル駅を除く全駅の平均は 19.6)、取扱総貨物量が 1435 (大阪ターミナル駅を除く全駅の平均は 142.2) と全駅の中でも突出して多いことが特徴である。なお、各駅の次数とは、輸送容量ネットワーク上での入次数と出次数の和である。また、取扱総貨物量とは、その駅に入ってくる貨車数と出ていく貨車数の和である。

同様の傾向は、表 2 で上位に現れる駅に共通して観察される。すなわち、いずれも次数が大きく取扱総貨物量が多い。

表 2 最小カット容量の総減少量が大きい上位 9 駅

貨物駅名	最小カット容量の総減少量
東京ターミナル	369
札幌ターミナル	258
福岡ターミナル	258
宮城野	214
隅田川	206
名古屋ターミナル	200
北九州ターミナル	141
越谷ターミナル	140
百済ターミナル	134

3.3 重回帰分析

以上の考察より、各駅の最小カット容量の総減少量は、その駅の次数と取扱総貨物量で説明できるのではないかと推察できる。よって、各駅の最小カット容量の総減少量 MR を被説明変数、輸送容量ネットワーク上での各駅の次数 Deg と取扱総貨物量 CV を説明変数とした線形重回帰モデルの導出を試みる。重回帰分析の結果は以下の表 3 の通りである。

表 3 重回帰分析の結果

説明変数	係数	標準誤差	t 値
切片	-2.92*	1.45	-2.01
次数	0.457***	0.116	3.94
取扱総貨物量	0.226***	0.0116	19.5

* $p < 0.05$, *** $p < 0.001$,

決定係数 $R^2 = 0.970$,

自由度修正済決定係数 Adjusted $R^2 = 0.969$

表 3 より、ある駅についての最小カット容量の総減少量 MR の推定値 \widehat{MR} は、その駅の次数 Deg と取扱総貨物量 CV というミクロな指標を用いて以下の回帰式で得られることになる。

$$\widehat{MR} = -2.92 + 0.457Deg + 0.226CV$$

重回帰分析の結果、自由度修正済決定係数も 0.969 と非常に高いため、本回帰式の信頼性はかなり高いと思われる。

4. おわりに

本論文では、JR 貨物各駅が何らかの原因で利用不能となった場合の影響を評価する手法として、輸送容量ネットワーク上での当該駅の最小カット容量の総減少量を算出することを提案し、既存の実データを用いて評価を行った。さらに、最小カット容量の総減少量の推定値を、輸送容量ネットワーク上での当該駅のミクロな指標から求める回帰式を導出した。

今後の課題としては、貨物集約駅を大阪貨物ターミナル駅以外の駅に設定して同様の分析を行うこと、複数の駅や線路が同時に利用不能になる場合への拡張等が挙げられる。

参考文献

[1] 「鉄道貨物輸送の特性と国内貨物輸送における鉄道の役割」国土交通省
http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000015.html

[2] 「モーダルシフトとは」日本貨物鉄道株式会社記者
<https://www.jrfreight.co.jp/modalshift>

[3] 「西日本豪雨で 10 日間停止、JR 貨物はどう信頼回復するか」NEWSWITCH
<https://newswitch.jp/p/14893>