

**鉄道ターミナルを中心とした
コンテナトラック輸送の帰り荷確保による CO₂ 排出量削減
－ 梅田駅を例として －**

日大生産工（院） ○三浦 和真 日大生産工 大澤 紘一 若林 敬造
日大生産工 渡邊 昭廣 産能大経営 藤田 祐 日大生産工 峯 恭一

1. はじめに

トラック輸送時における積載効率向上は輸送利益の拡大と環境負荷低減の両面から、トラック運送事業者にとって最も関心の高い課題となっている。

我が国のトラック輸送では、近年における少量多頻度輸送の増大から、積載効率の低下が深刻な問題となっている。その一つの解決策として、インターネット上に公開された様々な求車求荷情報に基づく帰り荷確保が注目されている^[1]。トラック輸送業者にとって、それらを利用した帰り荷確保を行うための意思決定基準が必要である。

このことから、本稿ではモーダルシフトの拠点である鉄道貨物駅の中で、利用事業所数が最も多い梅田駅を中心として、3 地点を巡る帰り荷確保のモデルで意思決定基準の明確化を行い、数値実験から CO₂ 排出量に与える効果を検討する。

2. 帰り荷確保の意思決定基準

2.1 帰り荷確保のモデル

意思決定基準を明確化するため、梅田駅→着荷地→帰り荷確保地→梅田駅と 3 地点を巡るトラック輸送の帰り荷確保のモデルを図 1 のように考える。

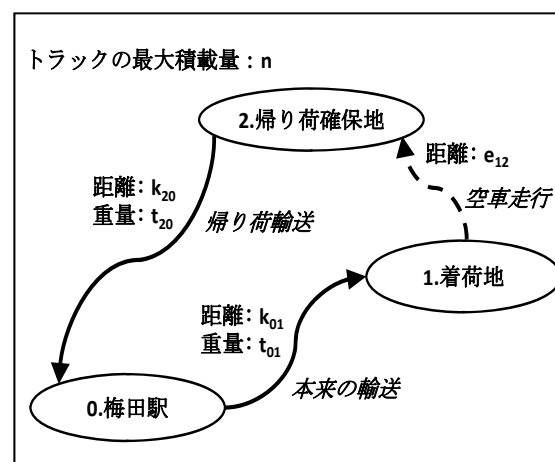


図 1 帰り荷確保のモデル

なお、モデルの前提として、以下(1)式から(6)式までの条件が成立しているものとする。

$$\begin{aligned} n &> 0 && \text{-----(1)} \\ 0 < t_{01} &\leq n && \text{-----(2)} \\ 0 < t_{20} &\leq n && \text{-----(3)} \\ k_{01} &> 0 && \text{-----(4)} \\ k_{20} &> 0 && \text{-----(5)} \\ e_{12} &\geq 0 && \text{-----(6)} \end{aligned}$$

2.2 積載効率基準

帰り荷確保の意思決定基準としては、積載効率基準が知られている^[1]。本稿では、図 1 のモデルに基づき、積載効率基準を明確化する。

Reduction of CO₂ by Getting Backhaul Loads of Container Trucking around Railway Terminal

－ Example of Umeda Terminal－

Kazuma MIURA, Kouichi OSAWA, Keizou WAKABAYASHI,
Akihiro WATANABE, Yu FUJITA and Kyouichi MINE

国土交通省が発行している自動車輸送統計年報²⁾では、トラック走行時の総合的な輸送活動指標として、実際の輸送重量に輸送距離を乗じた値である輸送トンキロと、常に車両が最大積載量の荷物を載せて走行した場合を想定して輸送トンキロを計算した能力トンキロの値を発表している。

これらの値から、積載効率は(7)式で計算されるのが一般的である。

$$\text{積載効率} = \frac{\text{輸送トンキロ}}{\text{能力トンキロ}} \quad \text{-----}(7)$$

ここで、帰り荷を確保しない場合の積載効率は、図1および(7)式より、次の(8)式のように表現できる。

$$\frac{t_{01}k_{01}}{2nk_{01}} \quad \text{-----}(8)$$

一方、帰り荷を確保した輸送を行った場合の積載効率は、図1および(7)式から、次の(9)式のように表現できる。

$$\frac{t_{01}k_{01} + t_{20}k_{20}}{n(k_{01} + e_{12} + k_{20})} \quad \text{-----}(9)$$

(8)式、(9)式より、帰り荷を確保した場合に積載効率が向上する条件は、次の(10)式のようになる。

$$\frac{t_{01}k_{01}}{2nk_{01}} < \frac{t_{01}k_{01} + t_{20}k_{20}}{n(k_{01} + k_{20} + e_{12})} \quad \text{-----}(10)$$

(10)式は、両辺を n 倍し、展開、移項、整理することにより次の(11)式に変形できる。

$$e_{12} < \left(\frac{2t_{20}}{t_{01}} - 1 \right) k_{20} + k_{01} \quad \text{--}(11)$$

本来の輸送距離に対する、帰り荷輸送距離の相対比を帰り荷走行比 BDR 、空車走行距離の相対比を空車走行比 EDR とすると、次の

(12)式および(13)式で表現できる。

$$BDR = \frac{k_{20}}{k_{01}} \quad \text{-----}(12)$$

$$EDR = \frac{e_{12}}{k_{01}} \quad \text{-----}(13)$$

また、発荷地から着荷地までの本来の積載重量に対する、帰り荷輸送の積載重量の相対比を帰り荷積載重量比 BWR とすると、これは次の(14)式で表現できる。

$$BWR = \frac{t_{20}}{t_{01}} \quad \text{-----}(14)$$

(11)式の両辺を k_{01} で割り、(12)式、(13)式、(14)式を用いれば、帰り荷を確保した場合に積載効率が向上する条件は、次の(15)式のように示される。

$$EDR < (2BWR - 1)BDR + 1 \quad \text{--}(15)$$

BWR を構成する t_{01}, t_{20} については鉄道用コンテナの自重を考慮する必要がある。表1に輸送重量、鉄道用コンテナ(12ft, 自重 1.5t)、および輸送トラックの関係を示す³⁾。これにより、輸送重量によって輸送トラックの種類が異なることが分かる。

表1 トラックと輸送重量の関係

正味輸送重量(t)	コンテナ数	輸送重量(t)	輸送トラック(t)
$y_{01} \leq 5.0$	1個(1.5t)	$t_{01} \leq 6.5$	8
$5.0 < y_{01} < 10.0$	2個(3.0t)	$8 < t_{01} < 13$	15

ここで、輸送する鉄道用コンテナ数を x_{01} 、正味輸送重量を y_{01} とすると、輸送重量 t_{01} は(16)式で表現できる。

また、帰り荷輸送する鉄道用コンテナ数を x_{02} 、正味帰り荷重量を y_{02} とすると、帰り荷重量 t_{20} は(17)式で表現できる。

$$t_{01} = 1.5 \cdot x_{01} + y_{01} \text{ -----(16)}$$

$$t_{20} = 1.5 \cdot x_{02} + y_{02} \text{ -----(17)}$$

帰り荷確保が行える前提として、帰り荷重量が輸送トラックの最大積載量以下でなければならないため、(3)式の条件が重要となる。

積載効率基準を用いた意思決定では、(3)式の成立を前提とした上で、(15)式が成立する場合にのみ、帰り荷確保を行うものとする。

3. 数値実験

積載効率基準のCO₂排出量削減効果を検討するため、一様乱数に基づくモンテカルロ法による数値実験を行った。

3.1 基礎データ

国土交通省の2005年度物流センサス3日間調査結果^[4]より、梅田駅からの着荷地および梅田駅への発荷地の座標とそれぞれの輸送発生数を抽出した。

3.2 実験手順

数値実験は次の手順に従って実施した。

(手順-1) 3.1 で抽出した座標から Microsoft Excel 2007 の VBA(Visual Basic for Applications)機能を用いてランダムに着荷地と帰り荷確保地を選び、輸送距離、空車走行距離、帰り荷輸送距離を Google マップ（地図検索）が提供している API(Application Program Interface)を活用して求める。

(手順-2) Microsoft Excel 2007 の一様乱数発生機能を用いて、ランダムに表 2 に示す 2 種類のデータを発生させ、1 回の正味重量とする。このデータに、表 1 を対応させ、コンテナ数、輸送重量、帰り荷重量、使用トラックを求める。

表 2 発生データ

正味輸送重量	0.001 t ～ 10.00 t
正味帰り荷重量	0.001 t ～ 10.00 t

(手順-3) 手順-1,2 の方法で発生したデータを 200 回分集め、200 回の輸送活動で 1 サンプルを構成し、これを繰り返して合計 3 サンプルを生成する。

(手順-4) 生成された 3 サンプルに対応させ、表 3 に示す 3 種類のケースで輸送した場合を想定し、各サンプルに 200 件の輸送トンキロ当たりの CO₂ 排出量を計算^[5]する。

表 3 ケースの種類

ケース1	常に帰り荷を確保せず、本来の輸送のみを行い、同じルートを空車走行して帰る。
ケース2	積載効率基準に合致する時のみ帰り荷を確保した輸送を行う。
ケース3	積載効率基準に合致しない時でも帰り荷を確保した輸送を行う。

手順-3 の計算にあたって、CO₂ 排出係数については 2.62kg-CO₂/ℓ^[5]を利用し、トラックの燃費は表 4 に示す数値^[6]を利用する。

表 4 トラックの燃費(軽油)

車両総重量範囲(t)	目標基準値(km/l)
7.5 < t ≤ 8	7.24
14 < t ≤ 16	4.97

3.3 実験結果と考察

CO₂排出量の各平均値の95%信頼区間をグラフ化したものを図 2、平均値を表 5 に示す。

さらに、各ケースの平均値の差を統計的に検定するために、統計分析ソフト IBM SPSS Statistics 19 を用いて、データの分散が等しくない場合に利用する Games-Howell の方法による多重比較^[7]を行った結果を表 6 に示す。

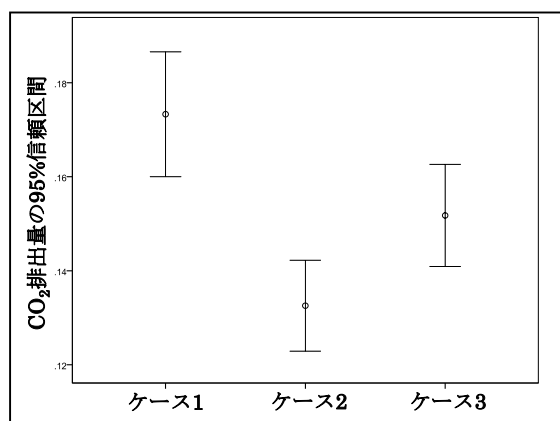


図2 CO₂排出量平均値 95%信頼区間
[kg-CO₂/トンキロ]

表5 CO₂排出量の平均値

ケース	CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /トンキロ)
1	0.173
2	0.133
3	0.152

表6 CO₂排出量の多重比較

(I) ケース	(J) ケース	平均値の差 (I-J)
1	2	0.041**
	3	0.021*
2	1	-0.041**
	3	-0.019*
3	1	-0.021*
	2	0.019*
* : 5%有意		** : 1%有意

図2および表6より,本来の輸送のみ,積載効率基準に合致しない時でも帰り荷を確保,合致する時のみ帰り荷を確保の順にCO₂排出量が低くなり,多重比較結果では,3つのケースの間に有意差が生じていることがわかる。

(社)全日本トラック協会は,CO₂排出量の2010年度目標を0.137~0.147kg-CO₂/トンキロ^[8]としている。この目標値と表5の各平均値を比較すると,積載効率基準に合致する時のみ帰り荷を確保する場合は目標値を下回っており,その有効性がわかる。

4. まとめ

本稿では,実績データに基づくモンテカルロ法による数値実験を行った。この結果から,鉄道コンテナを積載した輸送において,積載効率基準に合致した時のみ帰り荷確保する輸送方法が,CO₂排出量削減に効果があることが示された。

<参考文献>

- [1] Akihiro Watanabe, Keiichi Sato, Keizou Wakabayashi, Yu Fujita : "Effect of Getting Backhaul Loads in Long-Distance Transportation", The 16th International Symposium on Logistics, (2011), pp.664-671.
- [2] 国土交通省：自動車輸送統計年報 平成21年度, Vol.47, No.13, (2009)
- [3] JR貨物 日本貨物鉄道株式会社:エネルギー使用量・CO₂排出量計算シート (<http://www.jrfreight.co.jp/environment/calculate/calc.php>)
- [4] 国土交通省：全国貨物純流動調査(物流センサス) - 総務省承認統計 - (<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/census/census-top.html>)
- [5] (社)日本ロジスティクスシステム協会ロジスティクス環境会議環境パフォーマンス評価手法検討委員会:二酸化炭素排出量算定ガイド (Ver.2) , (2006), pp.10-31.
- [6] 総資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会：最終取りまとめ, (2005), p.2.
- [7] Games, P. A., and Howell, J. F. : "Pairwise Multiple Comparison Procedures with Unequal N's and/or Variances: A Monte Carlo Study", Journal of Educational Statistics, Vol.1, No.2, (1976), pp.113-125.
- [8] (社)全日本トラック協会：環境自主行動計画の策定について, (2008), p.2.