

帰り荷確保意思決定基準に関する一考察

日大生産工 ○若林 敬造 日大生産工 渡邊 昭廣

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に確保が注目されている。しかし、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の意思決定を行うための意思決定基準が明確化されていないのが現状である。

本稿では、このような意思決定基準を明確化することを試みる。このため、まず帰り荷確保を伴うトラック輸送の簡単なモデルを提示し、帰り荷確保時に積載効率および限界利益が向上するような意思決定基準を検討する。さらに数値実験を通して、これらの基準に従った帰り荷確保の効果を検討する。

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、帰り荷輸送を行う単純なモデルを図1のように考える[2]。

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。

$$n > 0 \quad (1)$$

$$0 < t_{01} \leq n \quad (2)$$

$$0 < t_{20} \leq n \quad (3)$$

$$k_{01} > 0 \quad (4)$$

$$k_{20} > 0 \quad (5)$$

$$k_{12} \geq 0 \quad (6)$$

2.2 積載効率基準

国土交通省が毎年発行している自動車輸送統計年報では、トラック走行時の総合的な輸送活動指標として、輸送トンキロと能力トンキロの値を発表している[7]。このうち能力トンキロは、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値である。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。

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

発荷地から着荷地までの本来の輸送を終えたトラックが帰り荷を確保せず、そのまま同じルートを空車のまま引き返して発荷地に戻った場合、その積載効率は、図1より、次の(8)式のように表現できる。

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

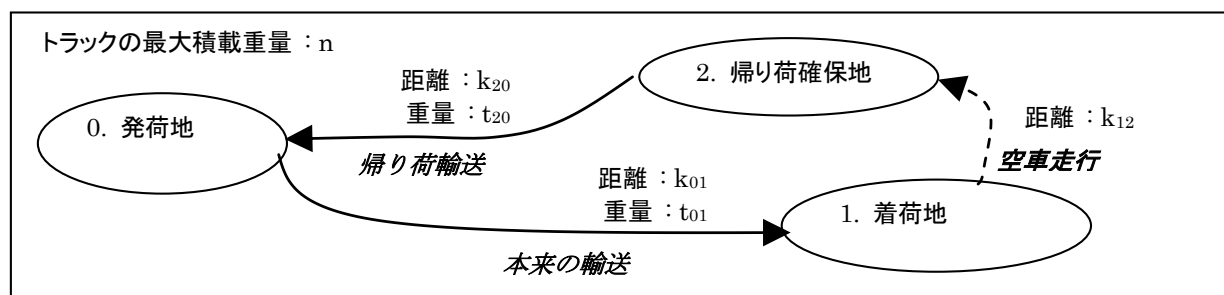


図1. 帰り荷確保のモデル

A Study on the Criteria of Getting Backhaul Loads

Keizo WAKABAYASHI and Akihiro WATANABE

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 より、(9)式のように表現できる。

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

(8)式及び(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、(10)式のようになる。

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

(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。

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

さらに、本来の輸送距離を基準にして、帰り荷確保地までの空車走距離と帰り荷確保地からの帰り荷輸送距離を相対的に表すことを考える。

まず、本来の輸送距離に対する、帰り荷確保地までの空車走行距離の相対比を空車走行比 BDR 帰り荷輸送距離の相対比を帰り荷走行比 EDR とすると、これらは、次の(12)式および(13)式で表現できる。

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

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

また、発荷地から着荷地までの積載重量に対する、帰り荷確保地から発荷地までの積載重量（帰り荷の重量）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。

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

(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。

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

積載効率基準を用いた意思決定では、(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。

2.3 限界利益基準

経営学において、限界利益とは、売上高から変動費を引いた値として把握されている。この値で

固定費負担分を回収していき、なお余る分が正味の利益となる[4]。このため多くの経営者は限界利益を向上させる努力を行っている。

運送事業者の限界利益を計算するために、ここでは、売上高が実際に荷物を載せて走行した分の実車距離に比例して得られると仮定し、また、輸送行為における変動費が実際に荷物を載せたかどうかは問わずに走行した走行距離に比例して発生すると仮定してみる。

実車距離当たりの売上高を S 、走行距離当たりの変動費を C とすると、帰り荷輸送をしない場合の限界利益は、図 1 より、次の(16)式のように表現できる。

$$k_{01}S - 2k_{01}C \quad (16)$$

一方、帰り荷輸送をした場合の限界利益は、図 1 より、次の(17)式のように表現できる。

$$(k_{01} + k_{20})S - (k_{01} + k_{12} + k_{20})C \quad (17)$$

(16)式及び(17)式より、帰り荷を確保した場合に限界利益が向上する条件は、(18)式のようになる。

$$k_{01}S - 2k_{01}C < (k_{01} + k_{20})S - (k_{01} + k_{12} + k_{20})C \quad (18)$$

さらに、(18)式は、展開、移項、整理することにより次の(19)式に変形できる。

$$k_{12} < \left(\frac{S}{C} - 1 \right) k_{20} + k_{01} \quad (19)$$

(19)式の両辺を k_{01} で割り、(12)式、(13)式を用いれば、帰り荷を確保した場合に限界利益が向上する条件は、次の(20)式のように示される。

$$EDR < \left(\frac{S}{C} - 1 \right) BDR + 1 \quad (20)$$

限界路駅基準を用いた意思決定では、(20)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

2 つの意思決定基準の有効性を検討するため、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。数値実験の基礎データは、我が国のトラック運送事業者の実績データを用いた。

3.1 基礎データ

自動車運送事業経営指標 2006 年版には、我が国の典型的な 333 運送事業者の 2004 年度における輸送活動の実績データが公表されている[1]。この資料からは、表 1 に示す基礎データを得ることができる。

表 1. トラック運送事業者実績データ(333 事業者)

走行距離合計(1000km)	3,460,071
実車距離合計(1000km)	2,840,575
1 トラックの実働 1 日当たりの平均走行距離(km)	154
運送事業収入合計 (1000 円)	1,675,280,537
変動費合計 (1000 円)	396,057,701

表 1 の変動費合計は燃料費、車両修繕費、道路使用料、フェリー使用料、変動人件費を含んだ値である。このうち変動人件費については変動人件費については、運送人件費合計に、全日本トラック協会が発表した 2004 年度男性トラック運転者の変動給の割合 49.5%を掛けて計上している[6]。

表 1 からは実車距離当たりの売上高 S が 589.77 円/km, 走行距離当たりの変動費 C が 279.55 円/km と計算される。これらの値を実際の数値実験で用いることにした。

3.2 実験手順

数値実験は次の手順に従って実施した。

(Step-1) Microsoft Excel 2003 の一様乱数発生機能を用いて、ランダムに表 2 に示す 5 種類のデータを発生させ、1 回の輸送データとする。なお、本来の輸送距離、空車走行距離、帰り荷輸送距離の合計として求める走行距離が、平均的に表 1 に示された 154km に近い数値になるように、距離の範囲を決めている。

(Step-2) ステップ 1 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。

(Step-3) 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、各サンプル毎に 200 件の輸送トンキロ当たりの CO2 排出量と限界利益を計算する。

表 2. 発生データ

Item	Range
本来の輸送距離	1km~102km
空車走行距離	0km~102km
帰り荷輸送距離	1km~102km
本来の積載重量	1kg~10t
帰り荷積載重量	1kg~10t

表 3. 3 つの輸送ケース

Case 1	常に帰り荷を確保せず、本来の輸送のみを行い、同じルートを実車走行している。
Case 2	限界利益基準に合致する時のみ帰り荷を確保した輸送を行う。
Case 3	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。

計算にあたって、輸送に使用するトラックは、運送事業者が最大積載重量 2t のもの、4t のもの、10t のものの中から、最も効率的なトラックを選

択できるものと仮定している。トラックの燃費は表 4 に示す数値を利用し、CO2 排出係数については 2.62 Kg-CO2/リットルを利用している。これらの値は日本ロジスティクスシステム協会公表のガイドラインに従ったものである[5]。

表 4. トラックの燃費 (軽油)

最大積載量	燃費
2t	8.0km/リットル
4t	5.5km/リットル
10t	3.5km/リットル

4. 実験結果と考察

4.1 CO2 排出量について

各ケースで計算された輸送トンキロ当たり CO2 排出量の標本平均および標本標準偏差を表 5 に示す。また、各平均値の 95%信頼区間をグラフ化したものを図 2 に示す。さらに、各ケース間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 SPSS11.5J 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を行った[3]。この結果を表 6 に示す。

表 5. 輸送トンキロ当たり CO2 排出量計算結果 (kg-CO2)

ケース	平均値	標本標準偏差
1	0.5402	1.57025
2	0.3049	0.34578
3	0.2356	0.20880

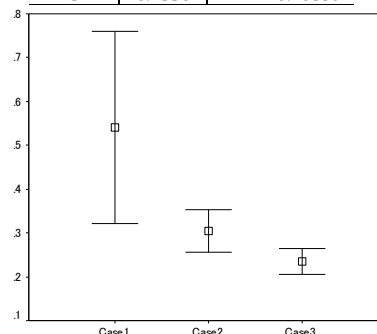


図 2. 輸送トンキロ当たり CO2 排出量平均値の 95%信頼区間(kg-CO2)

表 6. 輸送トンキロ当たり CO2 排出量の多重比較結果

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I - J)	
Case 1	Case 2	0.5402	1.57025
Case 1	Case 3	0.3049	0.34578
Case 2	Case 3	0.2356	0.20880

図 2 からは、帰り荷確保をまったく行わない輸送 (Case 1) は、他の輸送に比べ、輸送トンキロ当たり CO2 排出量の分散がかなり大きくなっていることがわかる。このことは、運送事業者が 2 つの意思決定基準による帰り荷確保を行うことで、より安定した CO2 排出量が得られる可能性を示唆している。

図 2 と表 6 より、帰り荷確保をまったく行わな

い輸送 (Case 1) との比較において、積載効率基準に従って帰り荷確保を行う輸送 (Case 3) のみに有意差が認められ、CO2 排出量を減少させている。さらに、積載効率基準に従って帰り荷確保を行う輸送 (Case 3) は、限界利益基準に従って帰り荷確保を行う輸送 (Case 2) と比べても有意差が認められ、CO2 排出量を減少させている。このことは積載効率基準に従う帰り荷確保が CO2 排出量削減に効果的なことを示唆している。

4.2 限界利益

各ケースで計算された限界利益の標本平均および標本標準偏差を表7に示す。また、各平均値の95%信頼区間をグラフ化したものを図3に示す。

さらに、各ケース間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 SPSS11.5J を用いて、Games-Howell の方法による多重比較を行った。この結果を表8に示す。

表7. 限界利益 (円)

ケース	平均値	標本標準偏差
1	17994.09	10821.80
2	44011.41	19096.00
3	40792.49	21997.31

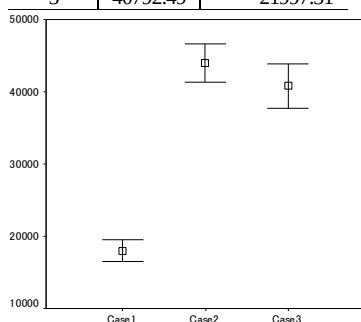


図3. 限界利益平均値の95%信頼区間(円)

表8. 限界利益平均値の95%信頼区間(円)

ケース		平均値の差	有意確率
(I)	(J)	(I-J)	
Case 1	Case 2	-26017.32**	0.000
Case 1	Case 3	-22798.40**	0.000
Case 2	Case 3	3218.92	0.263

図3と表8より、2つの基準に従って帰り荷確保を行った輸送 (Case 2 と Case 3) は、いずれも帰り荷確保をまったく行わない輸送 (Case 1) との比較において、有意差が認められ、限界利益を増加させている。しかし、積載効率基準と限界利益基準の間には、限界利益に有意差は認められていない。もしも2つの基準による帰り荷確保が限界利益の向上に関して同じような効果しか持たないのであれば、CO2 排出量の削減効果を持つ積載効率基準の方が、トラック運送事業者が帰り荷確保を行う場合に従う基準としてより実用性が高いものと考えられる。

5. まとめ

本稿では、帰り荷確保の意思決定基準を明確化するために、帰り荷確保を伴うトラック輸送の簡単なモデルを提示し、帰り荷確保時に積載効率および限界利益が向上するような意思決定基準を検討した。さらに一様乱数に基づくモンテカルロ法による数値実験を通して、これらの基準に従った帰り荷確保の効果を検討した。

我が国のトラック運送事業者の実績データに基づく数値実験の結果からは以下の点を明らかにすることができた。

- 1) トラック運送事業者は、積載効率基準および限界利益基準に従った帰り荷確保を行うことで、より安定した CO2 排出量を得ることができる。
- 2) 積載効率基準に従う帰り荷確保は CO2 排出量削減に効果的である。
- 3) 積載効率基準および限界利益基準に従った帰り荷確保はいずれも限界利益を向上させる。
- 4) 積載効率基準および限界利益基準に従った帰り荷確保では、限界利益に関して統計的有意差が認められない。

これらのことから、積載効率基準は、トラック運送事業者が帰り荷確保を行う場合に従う基準として高い実用性を持つものと考えられる。

参考文献

- [1] Automobile Business Association of Japan(2006) *Management Index Report on Motor Vehicle Transport*, Automobile Business Association of Japan, Tokyo, pp.120-163.
- [2] Fujita, Y., Wakabayashi, K., Watanabe, A., Osawa, K. and Karasawa, Y.(2006) "Getting Backhaul Load and Improving Transport Efficiency of Truckload Carrier", *Proceedings of the 9th J.S.L.S National Conference*, pp.162-165, Japan Society of Logistics Systems, Hiroshima.
- [3] Games, P. A., and Howell, J. F.(1976) "Pairwise Multiple Comparison Procedures with Unequal N's and/or Variances: A Monte Carlo Study", *Journal of Educational Statistics*, Vol.1, No.2, pp.113-125.
- [4] Ghosh, P. K., Sharama, S. D. and Raj, G. D.(1988) *Encyclopaedic Dictionary of Management*, Anmol Publications, New Delhi, p.186.
- [5] Japan Institute of Logistics Systems(2006) *CO2 Emissions Calculation Guide(Ver.2)*, URL: http://www.logistics.or.jp/green/report/pdf/06perform_5.pdf, (accessed 2008-01-14).
- [6] Japan Trucking Association(2006) *Current Status of Wage on Truckload Carrier*, URL: <http://www.jta.or.jp/chosa/chingin18/03.html>, (accessed 2007-07-17).
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2007) *Annual Statistical Report on Motor Vehicle Transport*, Vol.44, No.13, p.28, URL: <http://toukei.mlit.go.jp/jidousya/jidousya.html>, (accessed 2008-01-14).