

ロジスティクスセンターにおけるトラックバース数の最適化

Optimizing the Number of Berths in Logistics Centers

谷口栄一**, 則武通彦***, 山田忠史****, 石井克尚*****

By Eiichi Taniguchi, Michihiko Noritake, Tadashi Yamada and Katsunao Ishii

1. はじめに

ロジスティクスセンターは、都市間と都市内の貨物輸送システムを有機的に結びつける、機械化・自動化・情報化・共同化の進んだ高機能な物流拠点である。しかし現状では、ロジスティクスセンターの整備に関して、個々のロジスティクスセンターの適切な規模の決定法が明確に確立されていない。そこで、本研究はロジスティクスセンターの適正な規模決定法を構築することを目的とする。ロジスティクスセンターの規模に相当するものとして、ここではトラックバース数を考える。バース数の最適化を行う際の評価基準として、センターで消費される総費用の最小化を用いる。センター内のバース以外の施設については、整備に要する費用を計算し、バース費用の一部として内部化することによって、その規模が算定された最適バース数に間接的に反映される。

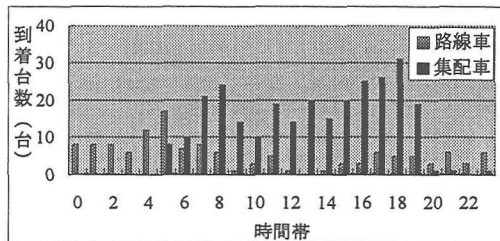


図1 各時間帯のトラックの到着台数

表1 トラックの到着とサービスの状況

	集配車	路線車
分布型同定期間	15時間 (5:00~20:00)	24時間 (0:00~24:00)
到着台数	280台	131台
到着率	3.08(台/10分)	0.91(台/10分)
サービス率	0.31(台/10分)	0.37(台/10分)
トラフィック密度	9.94	2.46
到着分布	ポアソン分布	ポアソン分布
サービス時間分布	指数分布	2次アーラン分布

2. トラックの到着特性

バースにおけるトラックの到着と荷役サービスに要する時間の実態を把握するため、平成6年9月6日に北大阪トラックターミナル（大阪府茨木市）内のA社バースにおいて、24時間にわたって現地調査を実施した。各時間帯の到着台数は図1の通りである。時間帯ごとの到着台数は、都市内の貨物需要の時間特性を反映しているものと考えられる。

集配車、路線車各々について、到着とサービス時間に関する分布型の同定を行った。結果を表1に整理する。集配車、路線車ともに到着に規則性はみられない。サービス時間は、路線車の方が集配車に比べて、やや規則性が付加される結果となった。

3. 最適バース数決定モデル

ある期間内においてロジスティクスセンターで消費される総費用は、センターに建設・整備されるバースに関する費用と、センターに滞留するトラックに関する費用の和になる。バース費用は、ロジスティクスセンターの建設費、修繕費、管理費、人件費等から構成され、トラック費用は、車両費、燃料費、人件費等から構成される。両者は稼働時と遊休時の

* Key Words : 物資流動, ターミナル計画

**正会員 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科

(〒606-01 京都府京都市左京区吉田本町 TEL075-753-5125 FAX075-753-5907)

***正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

(〒564 大阪府吹田市山手町3-3-35 TEL06-368-0905 FAX06-368-0905)

****正会員 工修 関西大学助手 工学部土木工学科

(〒564 大阪府吹田市山手町3-3-35 TEL06-368-0964 FAX06-368-0964)

*****学生員 京都大学工学部土木工学科

(〒606-01 京都府京都市左京区吉田本町 TEL075-753-5126 FAX075-753-5907)

双方で発生するので、次のように表される^{1), 2)}。

$$C_s = C_b + C_t = c_b TS + c_t \bar{n}_s \quad (1)$$

ここに、

C_s : バース数が S の時、期間 T においてロジスティクスセンターで消費される総費用 (円)

C_b : 期間 T における総バース費用 (円)

C_t : 期間 T における総トラック費用 (円)

c_b : 1 バースの 1 時間当たり費用 (円/時)

c_t : トラック 1 台の 1 時間当たり費用 (円/時)

$\bar{n}_s$: バース数が S の時、期間 T におけるセンター内のトラックの平均滞留台数

T : 考察対象期間。ここでは $T=24$ 時間とする。

式(1)の C_s を最小にするバース数を、最適バース数とする。式(1)の $c_t T$ の値は既知であるので、式(1)は、

$$r_s = \frac{C_s}{c_t T} = \frac{c_b}{c_t} S + \bar{n}_s = r_{bt} S + \bar{n}_s \quad (2)$$

ここに、

r_s : バース数が S の時、期間 T におけるトラック 1 台当たりの費用に対するロジスティクスセンターで消費される総費用の割合

r_{bt} : バース・トラック費用比率 ($= c_b / c_t$)

と変形できる。 r_{bt} は別途に費用計算より求められることを考えると、式(2)の r_s は、バース数 S を固定すれば、平均滞留台数 $\bar{n}_s$ のみの関数となる。

到着分布がポアソン分布、サービス時間分布がアーラン分布の場合 (Kendall の記号で、 $M/E/k(\infty)$ の場合)、 $\bar{n}_s$ に Cosmetatos³⁾ の近似式を用いると、総費用比率 r_s は、

$$r_s = r_{bt} S + \frac{a^{S+1}}{(S-1)!(S-a)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)} \right\}^{-1} \\ \times \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(1 - \frac{a}{S}\right) (S-1) \right. \\ \left. \times \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32a} \right\} + a \quad (3)$$

ここに、

a : トラフィック密度

k : サービス時間分布のアーラン次数

となる。結局、総費用比率 r_s はトラフィック密度 a

表2 各費用と最適バース数の算定結果

	路線車	集配車
バース費用 c_b	626 (円/時)	626 (円/時)
トラック費用 c_t	1828 (円/時)	712 (円/時)
バース・トラック費用比率 r_{bt}	0.34	0.88
アーラン次数 k	2	1
最適バース数(24時間)	4	12
最適バース数(ピーク時)	11	23

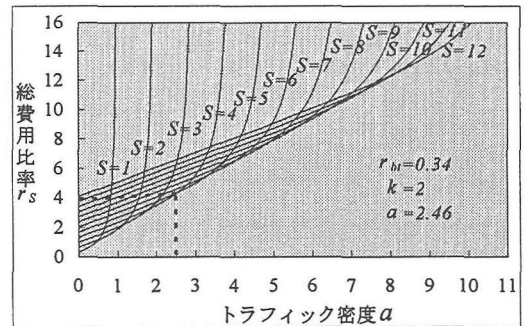


図2 (a) 最適バース数決定曲線 (路線車)

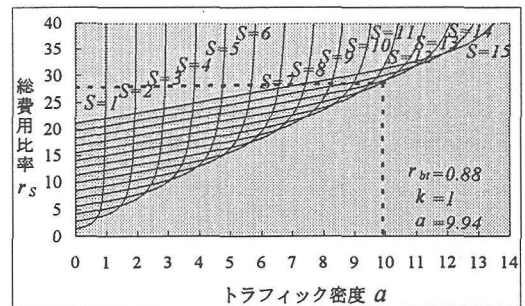


図2 (b) 最適バース数決定曲線 (集配車)

のみの関数となる。費用計算と分布型同定の結果、集配車、路線車各々の r_{bt} と k は表2に示す数値となった。その値を用いて、 S をパラメータとして r_s と a の関係を描いたものが、図2 (a)、(b) に示す最適バース数決定曲線である。

最適バース数 S を決定するために必要な a は、

$$a = \lambda / \mu = Q / RT \quad (4)$$

ここに、

λ : トラックの平均到着率 (台/10分)

μ : トラックの平均サービス率 (台/10分)

Q : 期間 T におけるセンターの取扱貨物量 (t)

R : 1時間当たりの平均荷役率 (t/時)

より求まる。図2 (a)、(b)において、式(4)より求めた a の値を通る鉛直線を上方に引き、それと最初に交わる曲線が示す S の値が最適バース数である。交点の縦軸の値は総費用比率 r_s であり、 r_s の値を式(2)に代入すれば総費用 C_s が求まる。

最適バース数決定曲線を利用して、A社の最適バース数を算定した。その結果、表2に示す通り、路線車が4バース、集配車が12バースとなった。A社が保有する路線車、集配車各々30バースの大部分が、時間帯によっては路線車の駐車スペースとして利用されている事実を考慮すれば、算定された最適バース数はほぼ妥当な結果であると考えられる。

さらに、時間帯毎に最適バース数を算定した結果、到着のピーク時には集配車が23バース、路線車が11バース必要になった。このバース数で一日稼働した場合、ロジスティクスセンターで消費される総費用は、先に求めたバース数での総費用と比べて5割程度増加する。到着のピーク時の需要を満足させるようにロジスティクスセンターを整備することは、消費される費用の増加を考慮すると、国民経済的には適切であるといえない。

4. 最適バース数に対する諸要因の影響

(1) バース費用及びトラック費用の変化

表2に示したバース費用は北大阪トラックターミナル建設時のものである。現在及び将来の時点において、この数値はかなり相違することが予想される。図3は、横軸にバース・トラック費用比率をとった場合の最適バース数決定曲線である。図3より、費用の変動がバース数に与える影響はさほど顕著ではないと考えられる。バース費用が相対的に増大し r_b が増加しても、バース数にさほど影響を及ぼさない。一方、トラック費用が増加し r_b が減少する場合には、最適バース数は費用変動にやや敏感になる。

(2) 荷役業務における機械化・自動化の進展

調査を行ったA社バースの荷役業務は、大部分がトラックの運転手自らの人力で行われている。将来のロジスティクスセンターでの荷役業務は、荷姿の

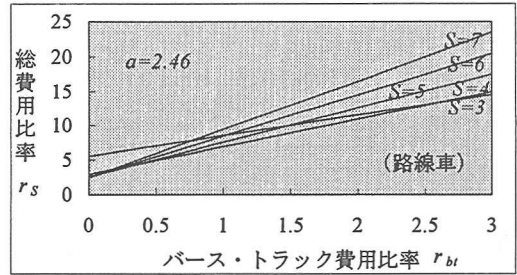


図3 r_b に関する最適バース数決定曲線

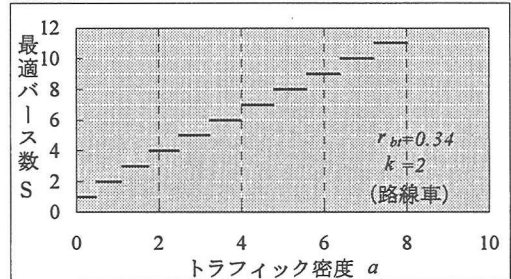


図4 トラフィック密度と最適バース数との関係

規格統一とともに、荷役の機械化・自動化が進展し、荷役時間に規則性が加えられ、荷役速度が向上しサービス率が上昇することが予想される。前者はサービス時間分布のアーラン次数が増加すること、後者はトラフィック密度が減少することに相当する。トラフィック密度の変化に対する最適バース数の変化を図4に示す。サービス率の上昇は最適バース数に与える影響が顕著である。一方、サービス時間の規則性向上の影響は非常に小さく、アーラン次数を上げても1バース程度削減されるに止まるということが確認された。実際には、サービスの規則性向上とサービス時間の短縮が同時に実現することが予想される。荷役サービスの改善は、整備すべきバース数の削減に大きな効果をもたらすものと考えられる。

(3) 貨物輸送の共同化

ロジスティクスセンターを利用するトラックへの貨物共同輸送システムの導入が、最適バース数に及ぼす影響について検討する。分析を行う際の種々の仮定を表3のように設定する。バース・トラック費用比率が共同化実施前後で不変であるとしたのは、図3にみるように、バース・トラック費用比率は最

表3 貨物輸送共同化の効果を分析する際の仮定

共同化の形態	複数企業間のバース及びトラックの共同利用
参加企業	同業種、同規模(一日の取扱貨物量が等しい)
各企業の一日の取扱貨物量	1000t, 600t, 200tの3ケース
バース・トラック費用比率	各社0.34(共同化実施前後で変化しない)
トラックの最大積載量	10t
共同化実施以前の積載率	30%
参加企業数と積載率との関係	1社増加する毎に積載率が5%上昇

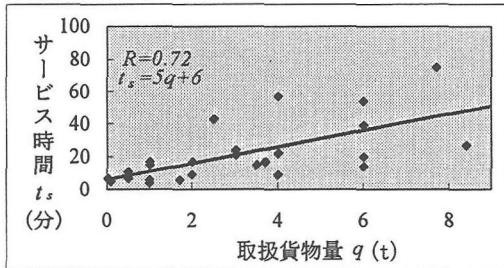


図5 取扱貨物量とサービス時間の関係

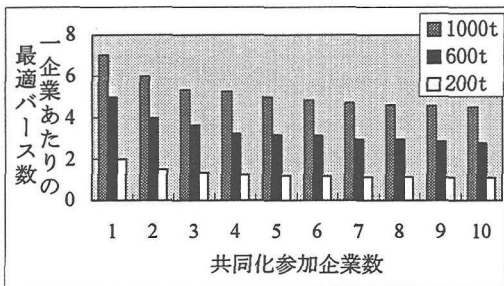


図6 共同化参加企業の規模と共同化の効果

適バース数にさほど重大な影響を及ぼさないからである。さらに、トラック一台あたりの貨物量の増加とサービス時間の増加との間には線形の関係が成り立っているものと仮定する。調査結果を用いて重み付き回帰分析(WLS)を行った結果、図5より貨物量とサービス時間との間の関係は、

$$t_s = 5q + 6 \quad (5)$$

ここに、

t_s : サービス時間 (分/台)

q : 取扱貨物量 (t/台)

となる。以下、サービス時間は式(5)に従って変化するものとする。

取扱貨物量が一日あたり1000t、600t、200tの各企業について、共同化参加企業数と参加企業1社あたりの最適バース数との関係を図6に示す。共同化参加企業数が1社と10社の場合について比較すると、取扱貨物量が1000tの企業で約2.5バース、600tの企業で約2バース、200tの企業で約1バース、それぞれ最適バース数が削減される。取扱貨物量が大きく、参加企業数が多いほどバース数は削減されるが、参加企業数の増加とともに削減効果は小さくなる傾向にある。

5. まとめ

本研究では、ロジスティクスセンターの最適規模を決定するために、最適バース数決定モデルの構築を行った。モデルを北大阪トラックターミナルのA社バースに適用した結果、ほぼ妥当な最適バース数が得られた。さらに、ロジスティクスセンターが有する荷役システムの機械化、自動化、輸送共同化の機能は、センターで発生する費用を削減し、整備すべきバース数を減少させる効果があるという知見が得られた。今後は、本研究で行った最適バース数の算出法をベースに、ある対象エリア内の複数のロジスティクスセンターの最適配置の方法論について検討する予定である。

最後に、調査を進めるにあたって御尽力賜りました、建設省近畿地方建設局浪速国道工事事務所、大阪府都市開発株式会社の各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 則武通彦：公共ふ頭における最適バース数の決定に関する研究，土木学会論文報告集，No. 278，pp. 113-122，1978。
- 2) 則武通彦，木村作郎：公共埠頭における最適バース容量の決定に関する研究，土木学会論文報告集，No. 301，pp. 115-123，1980。
- 3) Cosmetatos, G.P. : Some approximate equilibrium results for the multi-server queue (M/G/r), Operational Research Quarterly, Vol.27, No.3, i, pp.615-620, 1976.