

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*

A Location Analysis of Railway Freight Stations with Consideration of Delivery Truck Fleet Size

春名 曜**, 今井昭夫***

by Hikaru HARUNA, Akio IMAI

1. はじめに

近年、大都市部の地価の高騰により大規模物流施設や工業施設が郊外へ移転してきている。これらの施設は都心部では周辺道路の混雑、排ガスならびに騒音などを発生するが、このことも移転に拍車をかける大きな要因になっている。大規模物流施設の一つである都市部の鉄道貨物駅は、都心部の交通混雑により円滑な物流の維持が困難になってきたことや、また周辺の環境悪化を避けるために、ここ20年の間に郊外へ移転してきている。国鉄の分割民営化により国鉄の貨物部門を日本貨物鉄道㈱（通称、JR貨物）が継承した。国鉄の負債返済のために大都市部の貨物駅を清算事業団の所有にして、JR貨物は借地の形態で駅を利用しているが、近年は当該地所を売却するために貨物駅を郊外に移転させている。

このような貨物駅の移転はJR貨物以外の各当事者に様々な影響を及ぼす。駅発着のコンテナ貨物の端末輸送を担当する通運業者に対しては、トラックの運用効率に代表されるような業務内容への影響が考えられる。また移転先の地域周辺に対しては直接ならびに間接的な経済効果を与えるであろう。それとともに負の効果として駅出入りの通運トラックによる地域環境の悪化が想定される。貨物駅の移転、換言すれば駅の新規立地を考えると、これら各評価尺度を用いた分析が必須である。そこで本研究では、この内、通運トラックの運用に与える影響について考察を加える。具体的には既存の貨物駅がその取扱貨物を何らかの形で複数の貨物駅に分散させた場合、そのことが通運トラックの必要台数に及ぼす影響を分析する。

駅の分散再配置は通運業者にとってはトラック台数以外に、運行管理関係の人員にも影響を及ぼすであろう。その意味で、この様な管理作業への影響も分析すべき内容と思われる。しかしこれらの人員は単に配車管理のみならず、顧客対応等の他の作業も同時に担当していると考えられる。この様な要員の配置は各企業の業務方針の影響を受けている可能性があり、その分析には慎重を要するため、本研究からはこの分析を除いている。

関西地区で最大規模を有する鉄道貨物駅である梅田駅の機能を、新規の貨物駅ならびに近隣の既存貨物駅に分散する計画がある。本研究ではこれに着目してまず、梅田駅の発着貨物を担当する某通運業者の1ヶ月間のトラック運行実態を分析した既存の研究結果をもとに、通運トラックの運行形態について考察を加える。この考察を前提にして、当該通運業者の運行データを用いて1貨物駅で必要になるトラック台数を推定する重回帰モデルを構築する。そしてこのモデルを用いて、複数貨物駅で貨物取扱を行った場合に必要となるトラック台数を計算するアルゴリズムを開発する。さらに、梅田駅を縮小し、吹田地区に新規の貨物駅を立地させて、既存の梅田発着貨物を梅田と吹田で分散して取り扱う場合、ならびに他の駅と吹田駅との場合を想定し、本アルゴリズムを用いて駅分散による通運トラック台数の変化を考察する。

2. トラックによる集配活動に関する既往の研究

トラック集配に関する分野においては、これまで様々な研究がなされてきている。それらは概ね2つに分けられる。一つは効率的な配車のためのルーチング問題^①であり、他方は確率モデルを用いた必要台数推定のためのマクロ的な分析モデル^②である。これら両者ともにトラック台数を求めるものであるが、いずれも規範的なモデルを検討するものである。

通運業界においても効率的な配車は重要性の高いものである。通運の特徴は宅配便の集配のようなルート配送ではなく、シャトル的な比較的単純な集荷と配達形態をとっていることにある。このような集配形態も一般的にはルーチング研究の対象であるが、現状ではほとんどが経験則によるものであると考えられ、将来的にもこれが大きく変わることはないと思われる。そこで我々は駅分散によるトラック台数の影響を分析するために、規範的なモデルアプローチではなく、現状の集配活動の実態をベースにしてトラック台数を推定するモデルを構築する。

3. 通運トラック台数推定モデル

3.1 単一駅での台数推定モデル

(1) 通運トラックの運行に関する考察

本研究では、大阪市内に本社を持つ中規模(取扱貨物量が

* キーワード：ターミナル計画、鉄道計画、物資流動

** 学生員 神戸商船大学大学院 輸送情報システム工学専攻

***正会員 工博 神戸商船大学 輸送情報システム工学講座

(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1,

TEL:078-431-6261, FAX:078-431-6365,

E-mail:pdmb@bun.ti.kshosen.ac.jp)

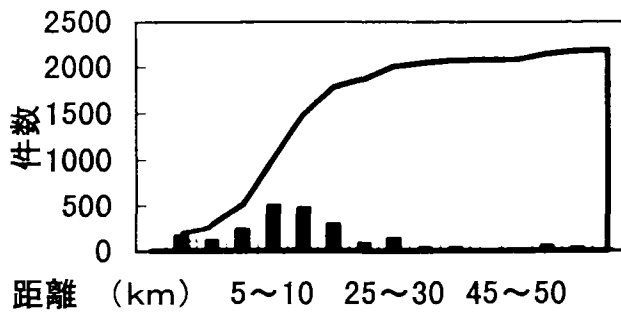


図1 直線距離別荷主件数

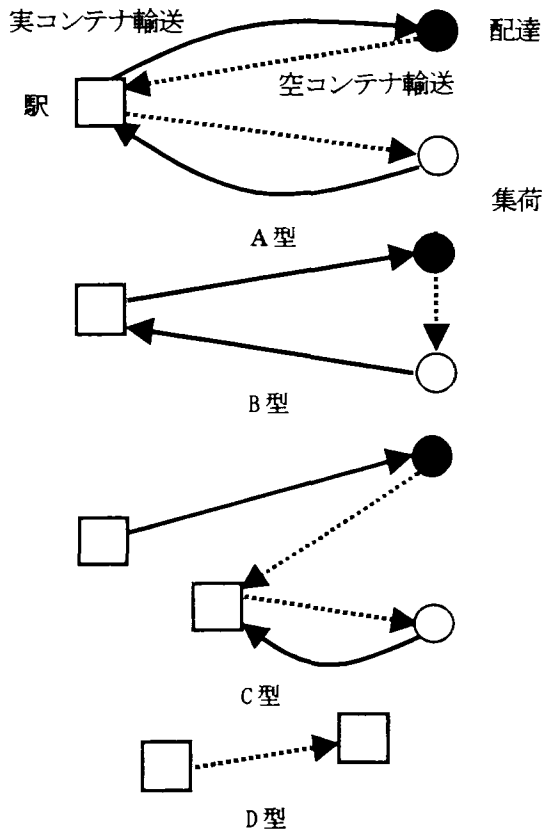


図2 通運トラックの運行パターン

表1 輸送形態の分類と頻度

サイクルパターン	頻度(個)	頻度(%)
A型	142	49.6
B型	109	38.1
C型	4	1.3
D型	31	10.8
合計	286	100

梅田駅全体の約 1/10 規模)通運業者における 1993 年 8 月の 1 ヶ月における、梅田駅所属の各トラックの運行日報データを用いて分析を行う。当該事業者は梅田駅において 1 ヶ月間でのべ 650 台を運行しており、このデータから、毎日における、各トラックが担当する荷主名、そのトラックの一日の総運行時間ならびに総走行距離、コンテナ取扱い駅が分かる。

荷主はのべ約 2300 件で、所在地は近畿 2 府 4 県および

岡山県という広範囲にわたっている。図 1 は荷主の距離別の分布を示しているが (バーは距離別件数、折れ線は累積)、80%近くが梅田駅から 20 km 以内に存在し、20 km 以上の荷主はかなり少なく、30 km 以上はごくわずかである。

このデータを分析した既往の研究⁴⁾では、ターミナルと荷主間の集荷・配送のパターンを以下の 4 つに分類している (図 2)。

- A : ピストン型 (駅と集荷または配送の往復輸送)
- B : 三角型 (駅と配送・集荷の三角輸送)
- C : 四角型 (3 つ以上の荷主、または 2 つ以上の駅間の輸送)
- D : 回送型 (駅間のコンテナの回送)

それぞれの割合は表 1 に示すが、A の形態が一番多く、次いで B が多く、この 2 つでほぼ全体の 9 割になっている。

三角輸送に着目すれば、同じ荷主数でも集荷と配送の数が等しいと台数はかなり減らせると考えられる。鉄道コンテナを輸送するトラックには、5 トンコンテナを例にとると 1 個、2 個 (まれに 3 個) 積みの車種がある。しかし、表 1 から 1 回に積載して集荷または配送するコンテナはほとんどが単一荷主のものであることが分かる。

トラック 1 台に対する 1 日の作業時間は 1 ヶ月平均で約 9 時間である。しかしその分散は日によって異なっている。この分散の度合いは必要台数にかなり影響すると考えられる。

(2) 説明変数の選択

さて本研究ではトラック台数を推定するために重回帰モデルを構築する。このモデルでは毎日の集配に必要となるトラック台数を求める。したがって駅の新規立地により必要となる台数を求めるには以下のようにする。つまり、荷主データがある期間に対して与えられた場合、毎日の必要台数を推定モデルにより算出し、その中での最大値が全体としてのトラック台数になる。

先の考察より、重回帰モデルの説明変数を以下のように設定する。

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + \alpha \quad (1)$$

ただし、

Y : トラック台数

X_1 : 荷主数

X_2 : 配送比の 2 乗

X_3 : 1 日の 1 トラックの平均作業時間 (時)

X_4 : 駅から荷主への距離の合計 (km)

ここで、荷主数とは集荷と配送数の合計である。配送比とは、分子を集荷荷主数と配送荷主数の中で小さい方の値とし、分母をその大きい方の値としたときの数値である。荷主数が一定である場合、集荷と配送の荷主数で同じあれば

表2 走行距離の回帰分析結果

寄与率	0.95
F値	553.7
有為水準	0.00
切片	2.04
係数	1.20

表3 単一駅トラック台数推定モデル

	非標準化係数	標準誤差	t値	有意水準
(定数)	29.15	6.973	4.19	0.000
荷主数	0.143	0.034	4.19	0.000
配送比の2乗	-14.962	12.77	-1.17	0.253
作業平均時間	-0.047	0.013	-3.54	0.002
往復距離(梅田)	3.4E-05	0.0012	2.86	0.009

すべての荷主を三角輸送で処理することが可能である。もちろん集荷貨物と配達貨物の利用する列車の時間と荷主の立ち寄り時間の関係で必ず三角輸送が実現できるとは限らない。しかし集荷と配達の荷主数が異なる場合に比べて、運行形態がより効率的になる可能性が高い。したがって、配送比を説明変数として用いることにする。

平均作業時間とは、トラックの1日における運行開始から終業までの時間の平均を意味する。各トラックの稼働時間の制約が長くなれば一日に輸送できる貨物量も増加する。このように作業時間の変動がトラック台数に影響を及ぼすという観点から平均作業時間を変数として導入する。

荷主への距離を説明変数に設定するのは、距離が長くなるほど1台のトラックの集配件数が減り、それにより必要台数も影響を受けると考えられるためである。今回は以下に述べる理由により直線距離を用いる。

(2) 走行距離と直線距離の関係

荷主距離には実際に走行した距離を用いるべきであるが、分析に使用したデータからはそれが分からない。また得られたモデルを用いて台数を推定する際にもこの値を与えるのは困難である。つまり実際のルーチングが未知である以上走行距離を求められない。荷主への最短経路距離とその直線距離の関係を分析したところ、表2のような回帰式が得られた。寄与率が95%であることから高い相関関係があるといえる。したがって、実走行距離（実際には最短距離であるが）と直線距離は比例関係にあると解釈でき、台数推定モデルの説明変数として直線距離を用いることは妥当と考えられる。

(4) 台数推定モデル

重回帰分析の結果、以下のようなトラック台数推定モデルが得られた。

$$Y = 0.14X_1 - 14.96X_2 - 0.047X_3 + 0.0034X_4 + 29.15$$

$$[R^2 = 0.948] \quad (2)$$

その詳細を表3に示すが、寄与率は95%と高い値を示している。 X_1 つまり荷主数の符号は正であり、これが増加すればトラック台数は増加することになる。変数 X_2 の符号は負であり、配送比が小さくなるほど、つまり集荷と配達数の差が大きいほどトラック台数は増えることを意味している。なお、比の二乗を用いたのは、他の変数変換の中でこれが最も寄与率を高くしたからである。 X_3 である平均作業時間の符号は負であり、平均作業時間が長くなるほど台数は減少する。 X_4 である荷主への距離は正の符号を持ち、荷主が遠くなるほど多くのトラックを必要とすることが分る。

以上のように各変数の符号条件は妥当であり、本モデルは良好なものであると考えられる。本モデルの定数項は大きい、これは分析で用いたデータでは毎日の荷主数に大きな差がなかったことに起因していると考えられる。このことは、もし駅の貨物取扱がない場合、つまりすべての変数がゼロの場合でも、トラック台数推定値は29となって実際とはかなりの違いがでてくることを意味している。

3. 2 複数駅での台数推定モデル

ここでは先に求めた単一駅での台数推定モデルを用いて、複数駅での台数推定アルゴリズムを構築する。

通運データは単一駅からの集配分だけである。したがって、単一駅台数推定モデルのように多変量解析モデルを構築することはできない。

ところで単一駅のモデルで明らかになったように、集荷と配達の比が1になるほど台数が減少する。このことから、駅が分散した場合でも、通運業者も様々な条件が許すかぎり、各駅が担当する集配数になるべく同数になるよう各駅へ貨物が配分されることを希望するであろう。複数の駅に荷主を分散させる場合、各荷主がどの駅を利用するかは、基本的には鉄道会社がどの駅にどの列車を停車させるかに依存する。例えば1駅を2駅に分散させる場合、荷主が半分ずつ割り当てられるような列車設定が考えられる。本研究で想定している駅の分散は大都市圏でのものである。したがって各駅が極端に離れて立地することは非現実的である。このことは鉄道会社にとっては、列車をどの駅に停車させても列車運行上大きな違いが無いことを意味する。もしそうであれば鉄道会社は、荷主の利便性の他に通運業者の利便性（例えば本研究が考えているトラック台数の問題）を考慮する可能性は十分にあらう。

複数駅の場合の台数推定では、先に示したような通運業者の合理的行動をもとに推定モデルを構築することを考える。具体的には式(3)-(7)で表されるモデルにより、ある一日における集配作業に対して、三角輸送による総走行距離が最小になるように各駅へ荷主を配分する。そして配分された各駅の荷主を用いて、単一駅台数モデルによりそれらの駅の台数を求める。これを対象とする計画期間の毎日のデータに適用し、その期間内における各駅のトラック台数の最大値をその駅の必要台数とする。

複数駅への貨物配分モデルは以下のような整数計画モデルで表現できる。

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} x_{ijk} \quad (3)$$

$$\text{subject to } \sum_j \sum_k x_{ijk} = 1, \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = 1, \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} \leq L_k, \quad \forall k \quad (6)$$

$$x_{ijk} = (0,1), \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

ここで

C_{ijk} : 集荷荷主 i と配達荷主 j が駅 k に割り当てられて、三角輸送を行うときの輸送距離

L_k : 駅 k での一日の取扱い能力

x_{ijk} : 集荷荷主 i と配達荷主 j が駅 k に割り当てられたとき 1、そうでないとき 0 である整数変数

式(1)は全輸送距離の最小化を示している。式(4)は集荷荷主はいずれか一つの配達荷主とペアを組み、どれか一つの駅に割り当てられることを保証している。同様に式(5)は、配達荷主がいずれか一つの集荷荷主とペアを組み、それがいずれか一つの駅に割り当てられることを示している。式(6)は各駅に割り当てられた荷主数はその駅の取扱い能力以下であることを示している。なお、集荷または配達荷主のいずれかが多い場合は、それに対する相手荷主をダミーとして用意する。

この問題は次に示す Frieze[®]の提案した一般化された 3 次元割当問題の変形である。

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j \sum_k C_{ijk} x_{ijk} \quad (8)$$

$$\text{subject to } \sum_j \sum_k x_{ijk} = 1, \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_k x_{ijk} = M_j, \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} \leq L_k, \quad \forall k \quad (11)$$

$$x_{ijk} = (0,1), \quad \forall i, j, k \quad (12)$$

つまり、我々のモデルは式(10)の右辺の M_j が 1 になった場合のものである。この Frieze の一般化された 3 次元割当問題は NP 困難な問題であり、多項式限界の計算量で最適解が求められないことが証明されている。そこで以下に示すような近似解法を考える。

ステップ 1 : 集荷と配達荷主の割当

集荷と配達を組み合わせるとトラックは可能な限り三角輸送を実現すると仮定し、式(13)–(16)に示す割当問題を解

き、集荷地点から配達地点への移動距離の総和が最小になるようにして両者の割り当てを行う。なお集荷と配達地点数が異なれば、多い方の地点は余剰になる。

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j D_{ij} y_{ij} \quad (13)$$

$$\text{subject to } \sum_j y_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (14)$$

$$\sum_i y_{ij} = 1, \quad \forall j \quad (15)$$

$$y_{ij} = (0,1), \quad \forall i, j \quad (16)$$

ここで

D_{ij} : 集荷荷主 i に配達荷主 j が割り当てられてられたときの i から j への輸送距離

y_{ij} : 集荷荷主 i に配達荷主 j が割り当てられてられたとき 1、そうでないとき 0 である整数変数

ステップ 2 : 三角輸送ルートの距離の計算

ステップ 1 で得た割り当て結果を三角輸送ルートとみなして、組み合わせられた 2 地点と各駅との三角ルート距離を求める。これを全対象駅に対して計算する。

ステップ 3 : 割当て駅の決定

ステップ 2 で求められた全駅における三角輸送ルートの距離の中で、値が最小である駅にこの 2 地点を所属させる。なお、余剰の集荷または配達荷主は距離の短い駅に割り当てられる。もし各駅の割当荷主の数がその取扱い能力を超えている場合は、その駅に対する三角輸送距離 C_{ijk} の大きなものから他の駅のなかでその C_{ijk} が最小の駅へ割り当てる。

以上により全荷主を各駅に配分する。各駅に配分された荷主に対して、単一駅モデルを適用してそれぞれの駅に必要なトラック台数を求める。

4. 駅分散における通運トラック台数の影響分析

4. 1 前提

ここでは本研究で構築した台数推定モデルを用いて、駅分散の台数への影響を検討する。駅が分散した場合において、駅の取扱い能力、作業時間を変化させ、台数に与える変化を検討していく。

用いる荷主データとして、先の分析で用いた荷主の分布エリア (図 3 のような 20 km 四方) 内に一様乱数を用いて 100 社を生成させ、さらにこれら荷主に、[0,1] 区間の一様乱数を 3 分割した値に当てはめて、出荷、入荷、入出荷なしの 3 つの属性を与える。この属性乱数の種を替えて 1 ヶ月間一日ごとに荷主を与えるが、入荷と出荷はそれぞれ毎日平均 60 件、入荷も出荷もある荷主が 20 件生成され

る。なお、これらの荷主の位置を与える乱数の種を変えて、5ケース分の1ヶ月の荷主を生成させている。駅の分散案は次のような2ケースを考えるが、各駅の地理的關係を図3に示す。

①梅田—吹田ケース：

まず現在JR貨物が考えている分散案、つまり梅田駅の取扱量の一部を、吹田に建設する新駅に担当させる。

②百済—吹田ケース：

将来、梅田駅は全廃する計画である。したがって、吹田駅開業後も梅田駅が扱っていた貨物を他の駅に担当させる必要がある。具体的な計画はまだ立てられていないが、ここでは百済駅が扱うものとする。

今回の分析で用いた通運トラックの一日の平均作業時間は約9時間であった。そこでこれを中心に前後1時間ずつ変化させた、8、9、10時間の3つの作業時間を設定して計算を行う。

4. 2 梅田—吹田ケース

図4-1～3は梅田と吹田に荷主を分散させた場合における、5ケースの計算で求められた必要トラック台数の平均値である。両駅における毎日の貨物取扱能力（取扱荷主数）の合計を100%とし、取扱比率を0%～100%まで10%毎に変化させて、11種類の取扱比率に対して計算させている。なお、取扱荷主数がゼロの場合、式(2)で推定すると約30台のトラックが発生する。このこと自体、本モデルの限界を示すものであるが、図では現実的に即してゼロ台として示している。

2駅を利用する場合（取扱比率が10%～90%）では、作業時間が8と9時間の場合では、両駅の比率を5：5にした場合が最もトラック台数が少なく、10時間の場合では梅田と吹田が4：6のときが最小になっている。また時間別に最小トラック台数を比較すると、8時間で約34台、9時間で28台、10時間で23台となっており、当然ながら10時間の場合が最も台数が少ない。さらにこれから、1時間作業時間を増やせば約5台の削減になっていることが分かる。

次に、それぞれの駅の能力を100%にした場合、つまり貨物取扱をいずれかの駅に集約した場合では、各作業時間とも梅田が吹田よりも1台程度少なく済む結果となっている。これは生成させた荷主は吹田よりも梅田に近い地

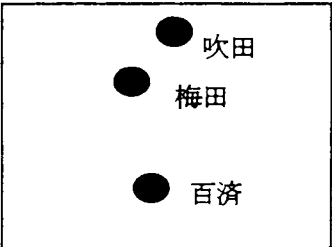


図3 荷主分布範囲（20km四方）における貨物駅の地理的關係

域に分布していることによる。しかし1駅の場合は2駅の場合よりもトラック台数が少なくなっている。これには次の2つの原因が考えられる。

①2駅の場合、各駅に対して単一台数推定モデルから台数を求めるが、このモデルの定数項が大きいため推定台数が大きくなるものと考えられる。

②荷主の分布は日によって異なる。したがって、2駅の場合で、ある日の荷主分布地域がいずれの駅からもかなり離れている場合、単一の駅よりも台数が増えることがある。

4. 3 百済—吹田ケース

図5-1～3は百済と吹田に荷主を分散させた場合における、5ケースの計算で求められた必要トラック台数の平均値である。2駅体制の場合では、いずれの作業時間でも、百済と吹田が4：6のときが最小になっている。また時間別に最小トラック台数を比較すると、8時間で約34台、9時間で29台、10時間で23台となっており、当然ながら10時間の場合が最も台数が少なく、またこの台数の傾向は梅田—吹田ケースと同じである。しかし百済所属のトラック台数は、いずれの場合でも梅田所属台数よりも多くなっている。これは百済が梅田よりも荷主分布地域内の偏った場所に立地していることによものと考えられる。貨

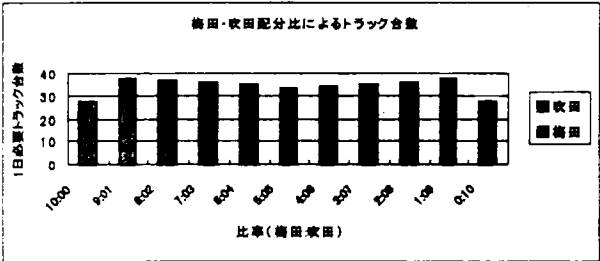


図4—1 吹田—梅田ケース 8時間

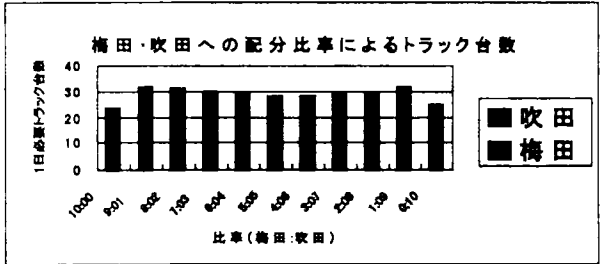


図4—2 吹田—梅田ケース 9時間

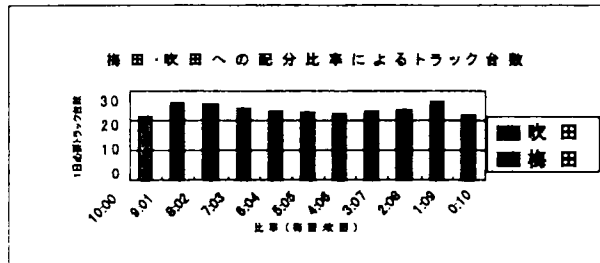


図4—3 吹田—梅田ケース 10時間

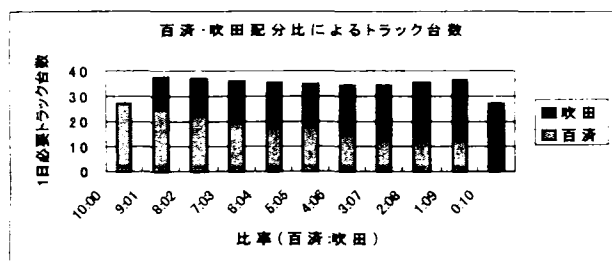


図5—1 百済—吹田ケース 8時間

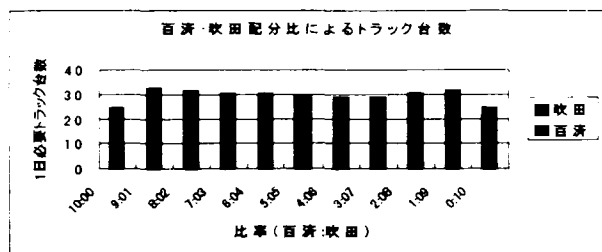


図5—2 百済—吹田ケース 9時間

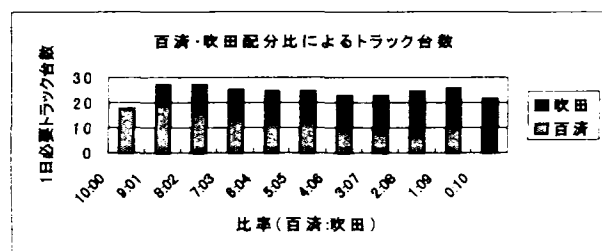


図5—3 百済—吹田ケース 10時間

物取扱をいずれかの駅に集約した場合では、各作業時間とも百済が吹田よりも台数が若干少なくなっている。またこのケースにおいても、梅田—吹田ケース同様、単一駅の方が2駅の場合よりも台数が少ない。

5. おわりに

本研究では、通運トラックの台数推定モデルを構築した。用いたデータの制約により、まず単一駅の場合の推定モデルを構築した。つづいて複数駅の場合は、合理的な集配が行われると仮定して、集荷配達のマッチングを行いながら荷主を各駅に配分し、その配分貨物を用いて各駅別に単一駅台数モデルでトラック台数を求めた。単一駅台数推定モデルの決定係数は高く良好なモデルが構築できた。複数駅の台数推定モデルを用いて、駅が分散した場合に駅ごとの取扱比率を変化させてトラック台数の変化を分析したが、2つの駅が荷主をほぼ2分したときが最も台数が少なくなることが明らかになった。

しかし単一駅モデルはその定数項の値が大きく、貨物取扱がない駅に対しても約30台のトラックを生成してしまう問題点がある。また2駅体制の場合は単一駅の場合に比べてトラックが多くなる結果となり、駅の数の増減がトラック台数に及ぼす影響を分析するには、今回のモデルは問題があると思われる。

参考文献

- (1) 例えば、L. Bodin, et al., Routing & Scheduling Vehicles & Crews, Comp.&Opns.Res, 10, 63-211, 1983.
- (2) 例えば、C. F. Daganzo & G. F. Newell, Configuration of Physical Distribution Networks, Networks, 16, 113-132, 1986.
- (3) A. M. Frieze, A Bilinear Programming Formulation of The 3-Dimensional Assignment Problem, Mathematical Programming, 7, 376-379, 1974.
- (4) 林、都市内における鉄道コンテナ集配トラックの運行実態の分析、神戸商船大学卒業論文、1993。

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

春名 曜、今井 昭夫

貨物駅の移転はその規模も大きく、様々な関連主体に影響を与えると考えられる。そこで本研究では貨物駅の移転が通運に及ぼす影響を検討する。具体的には、駅移転により通運トラック台数がどう変化するかを分析する。そのために1日の必要トラック台数を推定するモデルを構築する。まず単一駅でのトラック台数推定モデルとして重回帰モデル式を構築する。さらに、総輸送距離が最小となるように荷主データを3次元割り当て問題を用いて荷主を配分して、それを単一駅でのトラック台数推定モデルで台数を求める方法により複数駅でのトラック台数を推定するモデルを構築する。

A Location Analysis of Railway Freight Stations with Consideration of Delivery Truck Fleet Size

Hikaru HARUNA, Akio IMAI

Relocation of freight stations of railway may give influences to various individuals and organizations. This paper addresses the influence to the delivery and pickup service of container from/to stations, analyzing the fleet size of the delivery truck. We first build a model to estimate the fleet size from a single station. Next, we make a model to obtain the fleet size needed for two station with the container demand assigned to each of them.