

時間制約を考慮した貨物輸送における出発時刻決定モデルに関する研究*

Study on the departure time model of goods transportation with consideration of the time restriction*

松本浩司**・河瀬庸平***・北岡大記****・大枝良直*****・角知憲*****

By Koji MATSUMOTO**・Youhei KAWASE ***・Daiki KITAOKA****

Yoshinao OHEDA*****・Tomonori SUMI *****

1. はじめに

自動車輸送は、国内物流の大部分を占めるようになった。しかし、自動車輸送への過度の依存は、多くの問題を引き起こし、現在、長距離幹線輸送を自動車から大量輸送機関である鉄道、海運へ転換するモーダルシフトの進展が期待されるようになっている。しかし、実際にはモーダルシフトはなかなか進展していないのが現状である。その理由の一つに荷主ニーズを考慮した輸送サービスの提供の遅れが挙げられる。特にジャストインタイム輸送に代表されるように、時間制約が強く意識される情勢にあるにもかかわらず、鉄道、海運では、この種の荷主ニーズに充分応えるサービスが提供されてこなかったきらいがある。これまで、貨物輸送について、様々な観点から論じられてきた。その多くは、地域や都市全体で物流の最適化を図るために物流ターミナルの体系、配置について検討したもの、交通渋滞等改善のために都市内物流の効率化による道路交通への影響を分析したものなどである。また、貨物輸送分担率の推定においては輸送コストと輸送時間をもとに推定する犠牲量モデルや、所要時間、コスト、運行頻度により推定する集計ロジックモデルが多く用いられている。しかし、貨物輸送の時間制約を明示的に扱った研究は少ない。岡野ら¹⁾は、アンケート調査に基づいて、荷主の出発時刻、到着時刻の選

択要因を整理している。北詰ら²⁾は、モーダルシフトを推進するためのダイヤ条件改善の重要性を指摘している。また、松本ら³⁾は、到着時刻が指定された物資の輸送に対して、旅行時間の不確実性が与える影響の評価をおこなっている。しかし、出荷・着荷の時刻決定が業務活動や生活の24時間サイクルに制約され、一方で24時間を超える範囲の意志決定も行われることを考慮した研究は見られない。ところで、著者らは時刻の関数であると定義した非効用関数を用いて、人の交通行動が24時間生活サイクルの制約の下で行われることを考慮したモデルの作成を試みてきた。そこで、本研究では、このモデルを拡張して貨物のお荷時刻決定が同じ24時間サイクルの下で行われることを表すモデルの作成を試みる。このモデルは、将来、経路やモードの選択行動モデルに組み込むことが期待できるものである。

2. 出発時刻決定モデル

(1) モデルの基本概念

著者らがこれまで採用してきた人の24時間生活サイクルをモデル化する方法は、時間軸上に固定された非効用、すなわち「出発時刻が早いことの非効用」と「到着時刻が遅いことの非効用」という概念を用いる方法である。この方法は、貨物輸送においても適用可能である。しかし、個人の交通行動と貨物輸送の間には、大きな相違がある。

貨物輸送においては、通常、出荷側の荷主、着荷側の荷主、そして実際に輸送をおこなうキャリアーという異なった3者が存在している。おそらく出荷側の荷主は、自らの24時間サイクルの下で好適な時刻の出荷、たとえば集荷後の出荷を希望する、あるいは就業時間内に出荷することを求める。着荷側の荷主も同様に、着荷後の自らの活動に好適な時刻に着荷を求めるであろう。キャリアーもまた自らの24時間サイクルに好適な出荷時刻を選び、一方、夜間輸送や荷物保有時間が長くなることを避けようとする。この3者が互いに自らの利益を図ろうとするゲームのような論理を用いれば、モデルは複雑なものとなって適用性が低下するであろう。そこで、本研究では、以下のような簡易な方法を採用する。

*キーワード：物資流動

**学生員，九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻

(福岡市東区箱崎6-10-1

TEL 092 642 3275、FAX 092 642 3306)

***非会員，工修，

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

(東京都港区芝公園2-11-1

TEL 03-5403-8751, FAX 03-5403-8772)

****正員，工修，福山コンサルタント

(福岡市博多区博多駅東3-6-18

TEL 092 471 0211, FAX 092 471 0333)

*****正員，工博，九州大学大学院工学研究院

(福岡市東区箱崎6-10-1

TEL 092 642 3273, FAX 092 642 3306)

貨物輸送における出荷側，着荷側それぞれの荷主とキャリアーの立場には，優劣の関係があるであろう．輸送事業が事業者間の競争を伴っていれば，荷主にはキャリアーを変更する自由度があり，直接・間接にキャリアーは荷主の意向を反映する行動を取るようになる．そこで，キャリアーは，自らの24時間サイクルの下で要求される制約と荷主から科される制約の両方を考慮して，その行動を決定するものとする．具体的には，以下のように取り扱う．

(2) 非効用関数の仮定

(a) 出荷時における荷主の意向を反映した非効用

出荷側の荷主にとって，出荷時刻が早いことのメリットはほとんど無い．事業所における荷造り後の出荷，荷物がまとまってからの出荷を求めることが多いであろう．したがって，出荷側荷主の意向を反映したキャリアーの出荷時刻に関する非効用 D_1 として，出荷時刻が早いほど非効用は大きくなると想定した図-1 に示したような非効用関数を仮定する．図-1 は横軸を時刻，縦軸を非効用として，この非効用および後述する各種の非効用を表している．

この非効用関数 D_1 は式 (1) で表される．ここで A_1 は正のパラメータであり，時刻 t_1 は，ある程度出荷時刻が遅くなると D_1 は十分小さくなり意識されなくなると見なして，その時刻を表したものを，あるいは非効用 D_1 の閾値に対応する時刻である．

$$D_1 = \begin{cases} -A_1(t - t_1), & (t \leq t_1) \\ 0 & , (t_1 < t) \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

(b) 着荷時における荷主の意向を反映した非効用

着荷側の荷主の要求，たとえば「その先の配送時間間に合わせる」，「市場に間に合わせる」等の理由により，キャリアーは物流のストックポイントやデポにオンタイム（時間指定）で届けることが求められる．このため，着荷時刻に関する非効用 D_2 は，指定された時刻に遅れる

ほど非効用は大きくなると考え，図-1 の D_2 に示す線形関数で仮定した．この関数は式 (2) で表される．ここに， A_2, A_2' は正のパラメータ， t_2 は D_2 の弁別閾に対応する時刻である．なお，非効用は，ある程度以上着荷時刻が遅くなると翌日に繰り延べられる傾向が顕著であり，この現象を表現するため2つの直線をつないだ折線を採用している．

$$D_2 = \begin{cases} A_2(t - t_2) & , (t_2 \leq t < t_2') \\ A_2' \cdot t - (A_2' - A_2) \cdot t_2 - A_2 \cdot t_2, & (t_2' \leq t) \\ 0 & , (t < t_2) \end{cases} \dots\dots(2)$$

(c) キャリアーの24時間サイクルに関する非効用

夜間から早朝にかけての時間帯での運行，荷役に関して，労働環境，交通安全等を含めた社会的習慣により非効用 D_3 を感じていると考えられる．そこで，非効用 D_3 は夜間のある時刻 t_3 から増加し，早朝のある時刻 t_4 にかけて減少すると考え，式 (3) (4) で仮定した．

$$D_3 = A_3(t - t_3) , (t_3 \leq t < t_0) \dots\dots\dots(3)$$

$$D_4 = -A_4(t - t_4) , (t_0 \leq t < t_4) \dots\dots\dots(4)$$

(d) 日をまたぐことによる非効用

輸送時間が長くなる場合には，深夜帯に到着することの不利が増し，翌日朝方の到着の方が選ばれることがある．それでも，基本的には，着荷時刻が日をまたぐことは望ましくはない．この事情を考慮するため，日をまたぐことによる非効用として D_5 を仮定して，24時間を越える場合の輸送を表現する．図-1 では24時間を越える場合しか表されていないが，48時間，72時間，・・・を超える輸送についても同様に考慮するため，日野経過とともに非効用 $D_{5.1}, D_{5.2}, D_{5.3}, \dots$ を加算することとする．

$$D_5 = \begin{cases} D_{5.1} & , (24 \leq t < 48) \\ D_{5.1} + D_{5.2} & , (48 \leq t < 72) \end{cases} \dots\dots\dots(5)$$

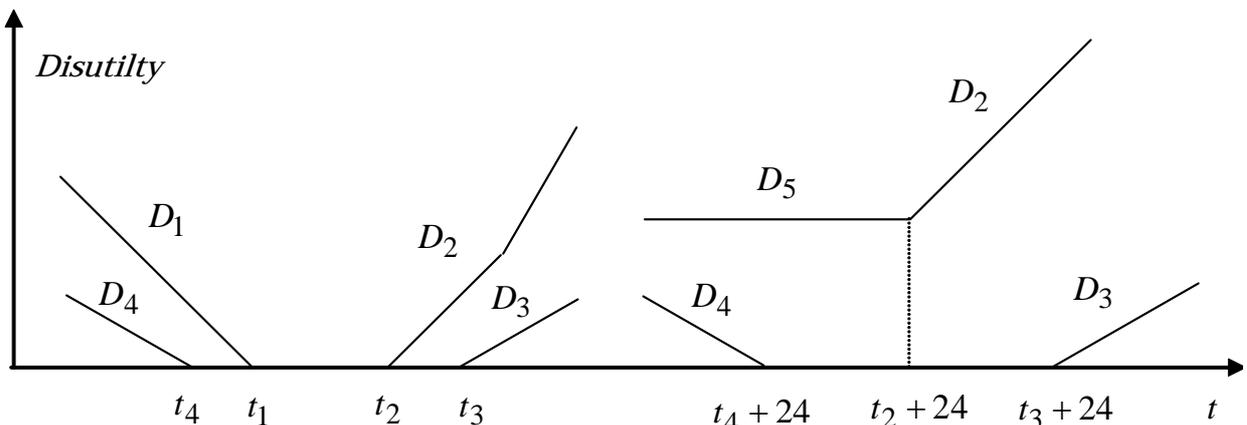


図-1 全非効用の時間変化

(3) 出発時刻決定モデル

荷主の意向を反映しながら、キャリアーが出発時刻を決定する行動を次のように表す。すなわち、キャリアーは、荷主の意向を反映した非効用 D_1, D_2 と自らの活動から決まる非効用 D_3, D_4 を比較し、もし前者が大きければ荷主の意向に従い、もし小さければ自らの都合を優先するものとする。したがって、両者を考慮した出荷時の非効用 D_{13} 、着荷時の非効用 D_{24} は、式(6)、式(7)のように表すことができる。

$$D_{13} = \max(D_1, D_3) \dots \dots \dots (6)$$

$$D_{24} = \max(D_2, D_4) \dots \dots \dots (7)$$

ある出発地と目的地の輸送をおこなう場合、出発時刻 t_d と到着時刻 t_a の関係は走行時間だけでなく、出荷時の荷役時間、着荷時の荷役時間等まで含んだ全輸送時間 t_n を用いて式(8)のように表される。

$$t_a = t_d + t_n \dots \dots \dots (8)$$

いま、出荷時刻を t_d に選んだとすると、その場合の全非効用は、非効用の加算性を仮定して式(9)のように表される。実際にキャリアーが選ぶ出荷時刻は、この値が最小となる時刻 t_{d0} であり、式(10)で表される。

$$D(t_d) = D_{13} + D_{24} + D_5 \dots \dots \dots (9)$$

$$t_d = t_{d0} \dots \dots \dots (10)$$

$$D(t_{d0}) = \min.(D(t_d))$$

時には全非効用が最小値をとる区間 (t_1, t_2) が存在することがある。この場合、この時間帯における出荷時刻に差は無いから、キャリアーは出発時刻を時刻 t_1 から t_2 の間にランダムに選ぶものとする。よって、この場合の出発時刻 t_d の確率密度関数 f_{t_d} は式(11)で表されるその一様分布である。

$$f_{t_d}(t_d | t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (11)$$

(4) 意思決定行動のばらつき

人の行動には、個人差、場合差がある。前期のモデルのパラメータすべてに個人差、場合差を考慮して確率変数として定義する可能性があるが、観測される出荷時刻、着荷時刻の分布は限られているので、多数のパラメータに個人差、場合差を想定することには意味が無い。そこで、もっとも支配的であると想定できるいくつかのみを確率的に変動するものと定義してみる。本研究で採用したパラメータは t_1, t_2, t_3, t_4 であり、正規分布であると仮定した。合わせて出荷時と着荷時の非効用は荷主間の関係により重みが異なるものと考えられることから、パ

表-1 パラメータ推定結果

		生鮮品	機械工業品
t1	平均値	14.3	
	標準偏差	4.0	
t2	平均値	9.1	18.8
	標準偏差	1.8	5.4
t2'		20.6	21.4
t3	平均値		7.5
	標準偏差		0.3
A1		5A ₄	
A2	平均値	5A ₄	1.7A ₄
	標準偏差	0.1	
A3		A ₄	A ₄
const		10A ₄	8.3A ₄

ラメータ A_2 を正規分布で仮定し、 A_1 との相対値で表した。

3. モデルキャリブレーション

(1) 使用したデータ

本研究で使用したデータは、平成 11 年度道路交通センサスから得たものである。この調査は、広く自動車一般を対象とするものであるが、貨物輸送についても車種、出発・到着時刻、所要時間、貨物の品目など詳細なデータを含んでいる。ただし、九州内の貨物輸送を扱っているため、輸送時間は短いトリップが多くなっている。

また、輸送品目ごとに異なる輸送パターンが存在する。生鮮品は傷みやすく、保管のコストが大きいので、出荷に関する制約が強くなるのに対して、機械工業品は、生鮮品と比較すると劣化の危険性が低く、保管も容易であるため、制約が弱くなるといえる。加えて、九州内貨物輸送量のうち、農水産品は 6%、金属機械工業品は 12% であり輸送量も多い。そこで、農水産品の 30% を占める野菜・果物と金属機械工業品の 50% を占める機械工業品の輸送を行う貨物自動車を対象とする。サンプル数は生鮮品 2721 台、機械工業品 2589 台であった。

(2) パラメータの推定

まず、 t_1, t_2, t_3, t_4 の分布の平均と標準偏差、 A_1, A_2, A_3, A_4 に適当な初期値を与える。この時、パラメータ A_1, A_2, A_3, A_4 に関しては A_4 を基準として、それに対する相対値とした。初期値を与えると、それに基づいてモデルによる出荷時刻の理論値が計算できる。それは当然観測データと差を有するが、理論値と観測値との二乗誤差が最小になるようにパラメータを修正していく摂動法を採用した。その結果得られた分布が図-2、図-3の実線であ

る。棒グラフで表された実測値に対し、K-S 検定を行った結果、有意水準 20% の適合度を得た。得られたパラメータの値を表 - 1 に示す。

4. 考察と結論

本研究では、これまで主に人の行動に用いられていた効用、非効用の概念を用いて、荷主の集荷時刻、始業時刻等の時間制約を考慮したうえでキャリアーの出発時刻決定行動を記述するモデルを作成した。このモデルは、荷主、キャリアーという異なる主体の行動を直接取り扱わず、輸送サービス提供者であるキャリアーが荷主の意向を自ら考慮するものとして扱うものである。

本モデルを発送、着荷の時間制約の影響が大きく相違する生鮮品、機械工業品に対し適用したところ、キャリアーの出発時刻決定行動を概ね再現することができた。生鮮品においては出荷時の閾値に対応する時刻が 17 時、着荷時のそれが 8 時となり、夜間輸送が多用される実態がよく表現された。一方で、機械工業品では、出荷時の荷主の意向はつよく現れず、着荷主とキャリアーの事情が支配的であると考えられる。生鮮品と機械工業品を比較すると、生鮮品ではより時間制約が厳しく、ニーズに見合った輸送スケジュールの設計がより強く望まれていると推定できる。

今回は比較的輸送形態の異なる生鮮品と機械工業品を対象にモデルの適用をおこなったが、他の品目に対しても適用し、品目ごとに異なる時間制約を把握することで、輸送スケジュール設計の目安とすることが可能であると考える。また、このモデルは、貨物輸送の出発時刻選択だけでなく、出荷時刻、着荷時刻の制約による非効用以外に輸送機関選択に影響を及ぼす要因、例えば輸送機関ごとに異なる輸送時間や輸送料金を考慮した経路選択率や輸送機関分担率の予測にも適用できる可能性がある。今後、モデルの拡張を図る予定である。

謝辞：本研究に際し、国土交通省九州地方整備局の懇切なご支援を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 岡野秀男・村田利治・岡田薫：長距離輸送における荷主の輸送スケジュール設定に関する解析，土木学会第 51 回年次学術講演会講演集，pp254-255，1996
- 2) 宮前直幸・石井伸一・辻芳樹・北詰恵一：海上輸送ダイヤ条件の改善によるモーダルシフトの可能性，第 20 回土木計画学研究・講演集，1997
- 3) 松本昌二・白水義晴：旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響，土木学会論文集，No.353，-2，pp75-82，1985

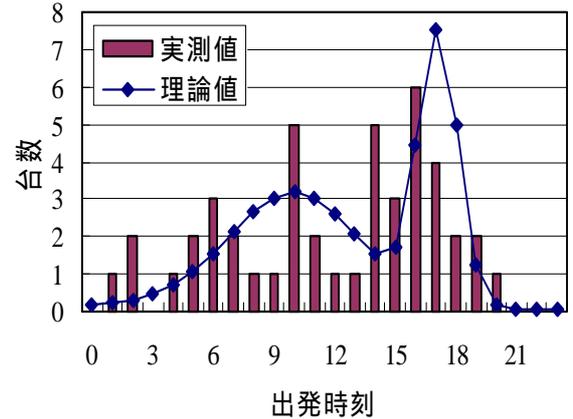
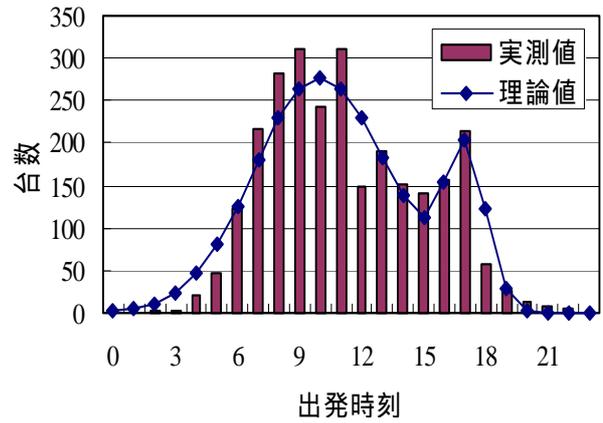


図-2 出発時刻分布 - 生鮮品
(上：輸送時間 0 - 240 分，下：240 分以上)

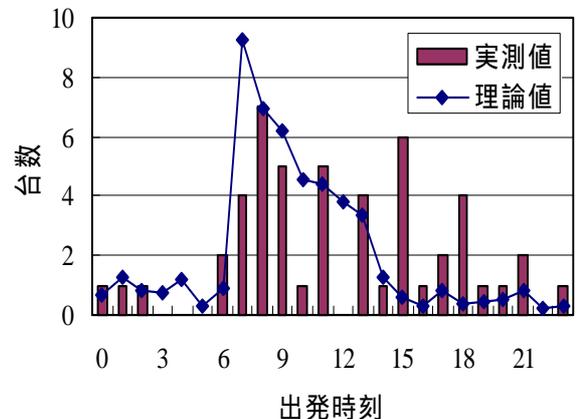
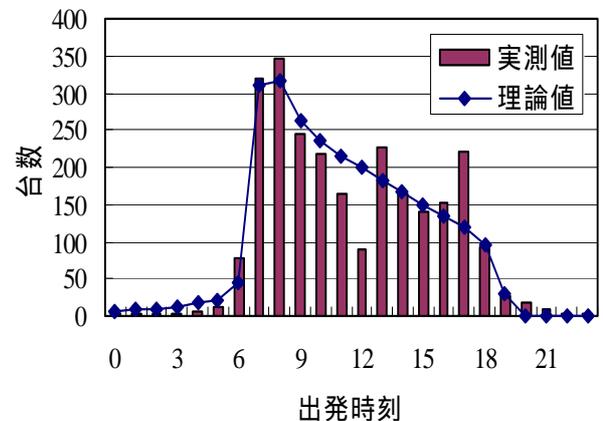


図-3 出発時刻分布 - 機械工業品
(上：輸送時間 0 - 240 分，下：240 分以上)