

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

THE EFFECT OF TRAVEL TIME UNCERTAINTY ON GOODS TRANSPORTATION UNDER TEMPORAL CONSTRAINT

松本昌二*・白水義晴**

By Shoji MATSUMOTO and Yoshiharu SHIRAMIZU

Goods transportation is essentially obliged to be carried and unloaded at a destination site at a certain time. In case that the arrival time of a truck trip is constrained in time-geographic space, travel time uncertainty should be recognized as a significant component in deciding the optimum route and departure time. The truck operator must allow a "safety margin" in their departure time in order to improve the probability of arriving on time. This paper quantitatively evaluates retailers' behavior in terms of the probability of being late and travel time savings. The major result is that most retailers of perishable foods accept the risk of being late less than 5% for the starting time of an auction sale at a wholesale market. For the return trips it is found that they attach weight to both of the factors, namely, the probability of being late for the opening time of their shops and travel time savings.

1. ま え が き

物資の輸送は、物資を目的地へ運搬するという空間的乖離を克服するだけではなく、所定の時刻までに到達し荷卸しが終了するというサービスが要求されるものであって、いいかえれば物資輸送は空間的、時間的価値を創造する活動である。ある物資を指定された時刻までに目的地へ輸送しようとする場合、物資の内容、重量、容積、荷姿等によってももちろん異なるが、目的地までの距離や輸送時間とともに、予測される到着時刻、指定された到着時刻までに必ず到着すること、万一遅れた場合のペナルティの大きさなども検討されたいうで、輸送手段、輸送ルートおよび出発時刻が決定されるであろう。

貨物自動車による物資輸送に限定して考えてみると、輸送に費やす旅行時間は選択した輸送ルートの交通混雑状況によって確率的に変動する。さらに、物資輸送においては、目的地に到着して物資を指定の位置に卸し整頓するまでが輸送時間に組み込まれるが、この荷卸し時間も確率的に変動する。このように物資の輸送時間が確率的に変動し、不確実性が存在する場合、指定された到着

時刻に対する遅刻確率を十分小さな値にとどめようとして出発時刻を決定することになる。これは、輸送者が輸送時間について平均値だけでなく「安全マージン」を加えて出発時刻を決定したことになる。このとき、出発時刻から到着指定時刻までの時間は、旅行時間の期待値に安全マージンを加えたものであり、ここでは「有効旅行時間」とよぶ。たとえば、一般道路に比較して高速道路では旅行時間の変動が小さいので、それだけ安全マージンや有効旅行時間は小さい。このように、到着時刻が指定されている場合、旅行時間に不確実性が存在するので、遅刻確率や有効旅行時間に基づいて貨物車の走行ルートや出発時刻の決定が行われることになる。

本論文では、上記の作業仮説を検証するために川崎市中央卸売市場北部市場（以下北部市場と略す）を利用する小売業者の貨物車による物資輸送を取り上げる。卸売市場に出入する貨物車は、店舗から市場、仕入を終わって市場から店舗という2つのトリップを構成し、それぞれセリ開始時刻、店舗の開店時刻という2つの到着時刻が指定されている。さらに、貨物車のトリップが毎日ほぼ同じ時間帯に同じルートを利用して繰り返され定期的であることは、分析対象として非常に都合がよい。

そこで、本論文では、旅行時間の不確実性下においてセリ開始時刻、店舗開店時刻という到着時刻が指定され

* 正会員 M.S. 長岡技術科学大学助教授 工学部建設系

** 正会員 工博 (株)シオ都市計画経営研究所長

(〒160 新宿区本塩町7-5)

ている物資輸送を対象として、遅刻確率と有効旅行時間という軸上で小売業者の輸送行動を評価することを目的とする。

従来、輸送手段選択を中心とした物資輸送需要モデルにおいては、輸送コストの比較とともに荷主の輸送サービス（一般的には輸送時間の平均値と標準偏差によって表現される）に対するパラメーターを直接推定することにより、輸送サービスの質の重要性が評価されている。そして、都市間輸送については集計モデルと非集計モデルによる推定結果がある¹⁾。それによれば、腐敗しやすいもの、高付加価値な商品のグループについては、運送料金よりも輸送サービスを重視して手段選択していることを示唆している。また、都市内の小口貨物の手段選択においても旅行時間の不確実性が重要であることが指摘されている²⁾。しかし、これらの研究事例は、輸送需要モデルのなかに輸送時間の質が織り込まれたにすぎず、本論文のように輸送時間の不確実性を考慮して遅刻確率を分析したものではない。

また、一方、人の動き、旅客交通の分野では、1970年代に入ってから、アクティビティ・アプローチとよばれる新しい流れが生まれてきた。HemmensやHägerstrandらがこの方面の分析フレームを提供するという貢献をしたが、特にHägerstrandは時間軸と空間軸における活動の連結性を模式的に表現している³⁾。旅行時間の不確実性を直接分析対象とした研究として、Knightは通勤者に対する目的地の遅刻確率と旅行時間とのトレードオフを安全マージンの仮説に基づいて理論的に検討している⁴⁾。また、Abkowitzはやはり通勤交通において旅行時間の不確実性が及ぼす影響を非集計ロジットモデルによって推定している⁵⁾。そして、HallはHägerstrandの提案した時空間におけるアクセシビリティと安全マージンを結びつけ、遅刻確率と有効旅行時間からなる旅行者の目的関数を提案し、例示的に交通手段によって生じる有効旅行時間の相違を検討している⁶⁾。

わが国では松本・角・田辺は、到着指定時刻に対する遅刻確率 α で測った α 軸上（一般化時間軸上）において出発時刻を評価する方法を提案し、通勤者の一般化出発時刻の確率密度関数は2つの対数正規分布を組み合わせた関数で近似できるとしている⁷⁾。

Hallの提案したモデルは、旅行時間が正規分布すると仮定して期待値と分散値のみで表現するもので、いわゆる2次モーメント法に属している。この手法は簡潔であり、実際の適用面では柔軟性を有している。さらに、遅刻確率だけでなく、遅刻確率と有効旅行時間のトレードオフを分析できること、遅刻に対するペナルティ関数を導入して容易にモデルを拡張できること等の特徴を重視して、本論文ではHallのモデルを使用することとし

た。

2. モデル

輸送者が物資をある指定された到着時刻に遅れないように、目的地まで貨物車によって輸送する場合を考えてみよう。利用するルートの混雑状況によって旅行時間が確率的に変動して不確実である場合、目的地の到着指定時刻に対する遅刻確率を十分小さな値にとどめようとして出発時刻を決定することになる。このように、輸送者が到着指定時刻に遅れずに到着できる確率を一定値以上にするために、結果的に見込んだことになる時間を「安全マージン」(safety margin)とよぶ。このとき、出発時刻から到着指定時刻までの時間は、旅行時間の期待値とは異なり、輸送のために留保する総時間であるので、これをHallに従って「有効旅行時間」(effective travel time)とよぶことにする。

いま、出発時刻を t_0 、指定された到着時刻を t_a 、実際の到着時刻を T_a 、旅行時間の期待値を μ_T とすると安全マージン、有効旅行時間は式(1)、(2)で定義される。

$$\text{安全マージン} = t_a - t_0 - E(T_a - t_0) \dots \dots \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{有効旅行時間} &= \text{安全マージン} + E(T_a - t_0) \\ &= t_a - t_0 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

次に、輸送者の到着指定時刻に対して遅刻する確率を表わす関数が前もって存在するとして、遅刻確率、有効旅行時間などからなる目的関数を最適化するように出発時刻を決定するものとする。いま、輸送者が出発地を時刻 t_0 に出発して目的地に時刻 $T_a = t$ に到着する確率密度関数を $f(t, t_0)$ とすれば、到着指定時刻 t_a に遅れずに到着できる確率 P は、

$$P = \int_{t_0}^{t_a} f(t, t_0) dt = F(t_a, t_0) \dots \dots \dots (3)$$

となる。 $F(t_a, t_0)$ は、出発時刻を早めにして t_0 が小さくなると1に近づき、出発時刻を遅くして t_0 が t_a に近づくと0に近づくことになる。

輸送者の行動原理を表わす目的関数として、ここでは遅刻確率と有効旅行時間からなる2つの関数を検討する。

第1の目的関数では、輸送者は到着指定時刻 t_a に対する最小の遅刻確率である遅刻リスク α を受け入れ、かつ出発時刻 t_0 をできるだけ遅くするものとしよう。この場合、目的関数は

$$t_0^* = \max(t_0) \quad \text{s.t.} \quad F(t_a, t_0) > (1 - \alpha) \dots \dots \dots (4)$$

と表現できる。ここで、旅行時間 $(T_a - t_0)$ は期待値 μ_T 、標準偏差 σ_T の正規分布に従うと仮定すれば、 $\mu_T = E(T_a - t_0)$ 、 $\sigma_T^2 = V(T_a - t_0)$ であり、

$$\text{有効旅行時間} = t_a - t_0^* = \mu_T + \sigma_T \Phi^{-1}(1 - \alpha) \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{安全マージン} = t_a - t_0^* - \mu_T = \sigma_T \Phi^{-1}(1 - \alpha) \dots \dots \dots (6)$$

となる。ここで $\Phi^{-1}(\cdot)$ は標準正規分布の逆分布関数である。

第2の目的関数では、輸送者は到着指定時刻 t_a に対する遅刻確率 $(1-F(t_a, t_0))$ を小さくするだけでなく、有効旅行時間 $(t_a - t_0)$ とのトレードオフも考慮するものとして、有効旅行時間と遅刻確率の線形結合を最小化するように出発時刻を決定するものとしよう。このときの目的関数は、

$$\min_{t_0} : \beta \cdot E(t_a - t_0) + \gamma \cdot (1 - F(t_a, t_0)) \quad (7)$$

ただし $\beta + \gamma = 1$

と表現できる。ここで同様に、旅行時間 $(T_a - t_0) \sim N(\mu_T, \sigma_T^2)$ と仮定して、正規分布の確率密度関数 p.d.f $p(x)$ と標準正規分布の p.d.f $\phi(u)$ との関係は $p(x) = \frac{1}{\sigma} \phi(u)$ であることを使用すれば

$$\text{最適な出発時刻} = t_0^* = t_a - \mu_T - \sigma_T \phi^{-1}\left(\frac{\beta \sigma_T}{\gamma}\right) \quad (8)$$

$$\text{有効旅行時間} = t_a - t_0^* = \mu_T + \sigma_T \phi^{-1}\left(\frac{\beta \sigma_T}{\gamma}\right) \quad (9)$$

$$\text{安全マージン} = t_a - t_0^* - \mu_T = \sigma_T \phi^{-1}\left(\frac{\beta \sigma_T}{\gamma}\right) \quad (10)$$

となる。ここで、 $\phi^{-1}(\cdot)$ は標準正規分布の逆密度関数である。本論文では、Hallの提案を式(7)において $\beta + \gamma = 1$ の条件式を加えることによって、1つのパラメーター β 値(有効旅行時間に対するウェイト)のみで評価できるようにしており、このとき β 値は次式の範囲内にあることになる。

$$0 \leq \beta \leq \frac{0.399}{\sigma_T + 0.399} \quad (11)$$

さて、いままでのモデル化においては、到着指定時刻はある1時点に固定されていると仮定してきたが、実際の物資輸送における到着時刻の指定のされ方はいくつかの種類があると考えられている。Hägerstrandは活動へのアクセシビリティを拘束する制約のうち、時空間において所定の活動に一致させようとする望むときの条件を「連結制約」(coupling constraint)とよんでいるが、物資輸送における連結制約は以下の3つに大きく区分できよう。

(a) フレキシブル連結制約 (Flexible coupling constraint)

出発時刻や到着時刻に何ら制約がない場合である。

(b) 固定点連結制約 (Fixed point coupling constraint)

出発時刻や目的地への到着時刻がある1時点に固定されている場合である。なお何時から何時までのあいだといった時間幅での指定は、指定された終了時刻を固定点とする制約の一種とみなせよ

う。

(c) 確率連結制約 (Random coupling constraint)

出発地での活動の継続によって出発時刻がある程度拘束されていたり、目的地に到着してみないと指定時刻がはっきりしない場合のように、出発可能となる時刻や到着指定時刻が確率的に変動している場合である。

目的地の制約が(c)の確率連結の場合、確率変数である到着指定時刻 T_a の期待値を μ_{Ta} 、分散を σ_{Ta}^2 とすれば、目的関数(4)に対する有効旅行時間の式(5)、安全マージンの式(6)を以下のとおり変更すればよい。

$$\text{有効旅行時間} = E(T_a - t_0^*) = \mu_T + \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{Ta}^2} \cdot \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (12)$$

$$\text{安全マージン} = E(T_a - t_0^*) - \mu_T = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{Ta}^2} \cdot \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (13)$$

また、目的関数(7)に対する最適な出発時刻の式(8)、有効旅行時間の式(9)、安全マージンの式(10)も同様に変更すればよいことになる。

3. 使用するデータ

実態調査を行った北部市場は、川崎市が昭和57年7月に開設した卸売市場である。位置は東名高速道路川崎インターチェンジ(以下、ICと略す)より西方1.7 km、国道246号より2.4 kmの所である。

北部市場へ青果物、水産物を仕入れに来ている小売業は昭和57年11月現在、(川崎市北部市場調べ)青果502軒、水産物およびその関連を含み1916軒であり、自家用車によって自分の店舗から市場まで(以下、行きと略す)、市場から店舗まで(帰り)の輸送を行っている。実態調査は、昭和58年10月26日から11月10日までの約2週間で、調査員がヒアリングにより調査票に記入する方法で行った。調査の内容は、店舗の形態、所在地、仕入品の量や内容、価格、仕入行動にかかわる一連の時刻(店舗出発、市場到着、市場出発、店舗到着の各時刻)、店舗の開店時刻、さらに使用した車の種類、行きと帰りの詳細な走行ルート、走行距離、高速道路の利用区間等の各項目である。調査票の回収状況は、青果小売業者186軒、37%、水産(魚屋、寿司屋のみ)は225軒で約25%である。回答者の地域分布は、川崎市内が最も多く、横浜市、神奈川県中央地域、東京都区部等にわたっているが、本研究の分析対象にしたのは神奈川県内に店舗をもつ青果104軒、水産65軒の小売業者である。それら店舗の北部市場からの距離は表-1のとおりである。調査してみると市場で仕入れ、貨物車で輸送した物資の価格と重量は青果の場合、1店当たり平均15万円、743 kg、水産は28万円、310 kgであった。

次に輸送に要する旅行時間の変動を解析する。自動車

表一1 分析対象の小売業者数 (軒)

距離	品目	青果	水産
0~10 km		55	33
11~20		41	12 (2)
20~		8 (5)	20 (10)
合計		104 (5)	65 (12)

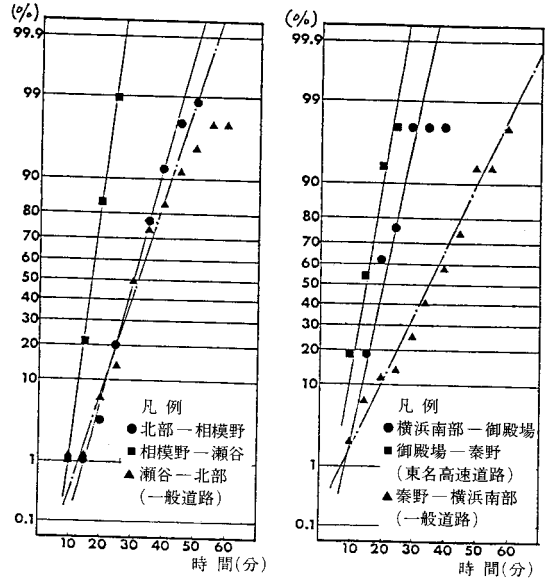
注1) ()内は東名高速道路の利用者数
 注2) 距離は北部市場から道路延長

の旅行時間は、自動車のドライバーの特性、車種、さらに交通状況、規制および信号制御、気象条件等によって大きな影響を受ける。実際の交通流の旅行時間を測定し現象面から解析した研究例は多くない。経路誘導効果に関する2論文は、同一経路、一定時間帯において生じる旅行時間の変動現象を解析している^{8),9)}。しかし、測定期間は1~数日間であって、日間変動は取り扱っていない。

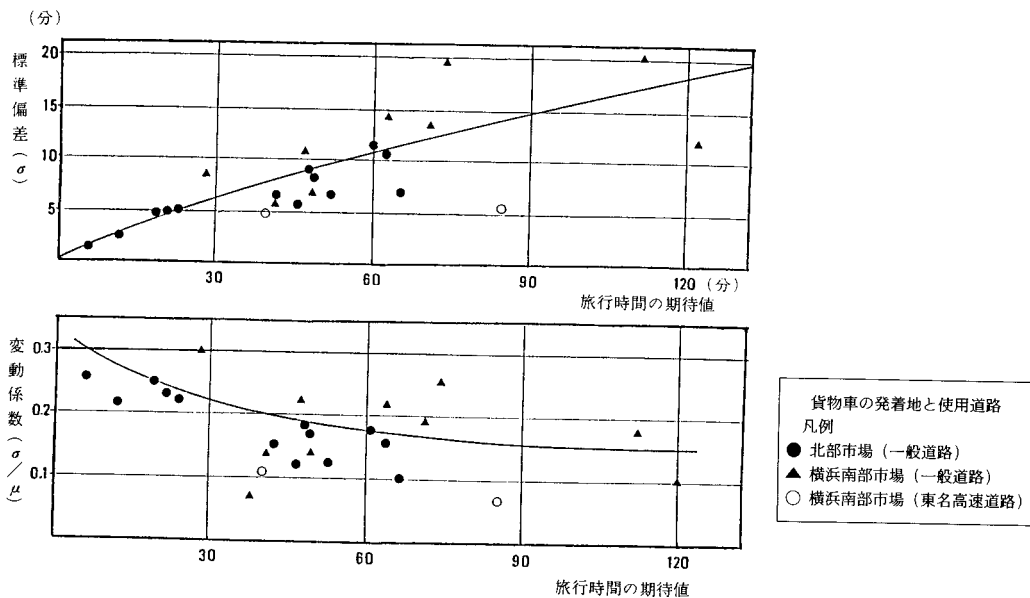
本研究で解析の対象としたい現象は、同一の自動車が同一のルートをはほぼ同じ時間帯に走行するとき生じる旅行時間の日間変動である。そこで、北部市場および横浜市場(南部)の運輸業について、58年6月から11月の間に60日以上同一ルートを輸送した貨物車(2トン車)8台を選出し、貨物車に取り付けたタコグラフを使用して各輸送区間ごとの出発、到着時刻を読み取った。これら貨物車は、運輸業が仲卸業から物資輸送の依頼を受けて、スーパー等の大型店を含む1または複数の小売店舗に水産物を輸送しているものである。なお、実態調査結果の詳細は参考文献10)に報告した。

4. 旅行時間の変動

貨物車のタコグラフによって旅行時間の変動を東名高速道路、国道246号を含む区間についてとらえ、正規分布確率紙を用いて検討した。図一1はこれを例示的に示したものである。これより、旅行時間はおおよそ正規分布として近似できることが確認できる。同様に輸送先での荷卸し時間の分布も確率紙を用いて正規分布で近似できることを確認した。また、区間旅行時間や輸送先での



図一1 旅行時間の分布



図二2 旅行時間の標準偏差と変動係数

荷卸し時間に関する分散共分散行列を求めると、共分散の値は分散と比較していずれも小さな値である。

以上の分析より、区間旅行時間や荷卸し時間はお互いに独立な確率変数であり、かつ正規分布すると仮定できる。したがって、所定の出発時刻に対して、複数の区間旅行時間と荷卸し時間のそれぞれ分散を加えたものは近似的に到着時刻の分散とみなすことができる。

調査した貨物車 8 台すべてについて区間の旅行時間の期待値とその標準偏差、変動係数との関係を表わしたのが図-2 である。一般に旅行時間の標準偏差 σ_T は、期待値 μ_T が増加するに従って増加する。変動係数 $(\sigma/\mu)_T$ は最高値 0.3 から μ_T が増加するにつれて減少し、およそ 0.15 に収束する傾向がある。一般道路に対する σ_T の推定式は、回帰分析により式 (14) を得た。

$$\sigma_T = 0.360 \mu_T^{0.821} \text{ (分)} \dots\dots\dots (14)$$

(サンプル数 $n=23$, 相関係数 $R=0.916$)

東名高速道路を利用した区間では明らかに一般道路よりも σ_T が小さく、特に横浜と御殿場 IC 間は $\mu_T=55.7$ 分、 $\sigma_T=3.03$ 分であり、 $(\sigma/\mu)_T=0.054$ と著しく小さい値である。これより IC 間の σ_T は次の式 (15) で推定できると考えられる。

$$\sigma_T = 0.112 \mu_T^{0.821} \text{ (分)} \dots\dots\dots (15)$$

さらに、貨物車の市場出発時刻の分布も確率紙を用いて正規分布で近似できることを確認し、その標準偏差の平均値は、 $\sigma_{t_0}=13.5$ 分であった。

5. 遅刻確率と有効旅行時間の評価

モデルの検討にあたっては、表-1 に示した小売業者が回答した店舗、および北部市場の出発時刻をもって式 (4) または式 (7) の最適出発時刻 t^* とみなす。各小売業者は、その t^* に出発して期待値 μ_T 、標準偏差 σ_T の正規分布をする旅行時間を費やして目的地に到着するわけであり、そのときの到着指定時刻を t_d とすれば、安全マージンを示す式 (6) または式 (10) を使用して α 値、 β 値それぞれを求める。そこで、出発地と到着地の連結制約、到着指定時刻および旅行時間の期待値と標準偏差について条件の検討を以下のとおり行った。

(1) 評価条件の検討

行き (店舗 → 市場)、帰り (市場 → 店舗) それぞれの連結制約は以下のとおりと仮定する。行きの店舗出発時刻は自己の意思で決定できるのでフレキシブルである。帰りの市場出発時刻は小売業の必要とする品揃えを終了した時点である。この終了は取引状況に左右され小売業者の意思によらず確率変動するので確率連結とみなされる。出発時刻の標準偏差は本研究の対象貨物車のタコグラフの実績値から $\sigma_{t_0}=13.5$ 分とみなすことができる。

次に、行きの到着指定時刻 t_d は、市場のセリ開始時刻である。青果のセリ開始時刻は 6 時 50 分～7 時と幅をもっている。そこで確率連結制約として $\mu_{Td}=6$ 時 55 分、標準偏差 $\sigma_{Td}=1.67$ 分とみなせる。なお水産の小売はセリに参加せず、ここでの分析対象にならない。

帰りの指定時刻は青果、水産とも各店舗の開店時刻とし、固定点連結とみなした。

各小売業者の店舗と市場間の旅行時間の期待値 μ_T は、実態調査で回答した所要時間と使用した道路距離との関係式によって推定することにする。具体的には、神奈川県内の道路リンクを走行条件 $Q-V$ 式によって 4 タイプに分類し、道路リンク長を説明変数とする回帰分析を行った結果、 μ_T (分) の行きは式 (16)、帰りは式 (17) によって算定する¹¹⁾。

$$\mu_T = 7.323 d + 0.706 l_1 + 0.923 l_2 + 1.574 l_3 + 1.542 l_4 \text{ (} n=130, R=0.842 \text{)} \dots\dots\dots (16)$$

$$\mu_T = 4.696 d + 0.706 l_1 + 0.923 l_2 + 2.395 l_3 + 2.866 l_4 \text{ (} n=130, R=0.890 \text{)} \dots\dots\dots (17)$$

ここで、 $l_1 \sim l_4$ はタイプ別の道路リンク長 (km) であり、そのうち l_1 は東名高速道路、 $l_2 \sim l_4$ は一般道路である。 d はダミー変数で、 $l_1=l_2=l_3=l_4=0$ のとき $d=0$ 、その他のとき $d=1$ となる。

旅行時間の標準偏差 σ_T は、一般道路区間を式 (14)、高速道路区間を式 (15) で求めたうえで、両者を合成して算定する。

以上の検討結果により、小売業者個人の出発時刻 t^* (確率連結のときは t^* 、 σ_{t_0})、到着指定時刻 t_d (確率連結のときは μ_{Td} 、 σ_{Td})、および旅行時間の μ_T 、 σ_T が決まったことになる。そこで、安全マージン $(t_d - t^* - \mu_T)$ あるいは $E(T_d - t^*) - \mu_T$ を計算し、 α 値は式 (6) または式 (13)、 β 値は式 (10) またはその変形式を使用して算出する。

(2) α 値の分布

図-3(a) は、 α 値に対する小売業者数の距離帯別度数累積分布である。青果小売の場合、行きは $\alpha=0.00 \sim 0.10$ の人が 60～90 % を占めており、セリ開始時刻に対して厳しい遅刻リスクを見込んで出発時刻とルートを選択していることになる。一方、帰りは、 $\alpha=0.00 \sim 1.00$ に分散する傾向にあり、店舗開店時刻の遅刻リスクでみて多様な行動をとっている。これは市場での仕入活動によって出発時刻が制約されているために、小売業者が遅刻確率だけを重視して自由に出発時刻を決定できる状況にないからであろう。距離による違いをみると、21 km 以遠で高速道路を利用する人の α 値が最も小さく、遅刻に対して厳しい行動をとっていることになるが、サンプル数が小さいために断定することは難しい。

水産小売の帰りの場合、店舗開店時刻の遅刻リスクで

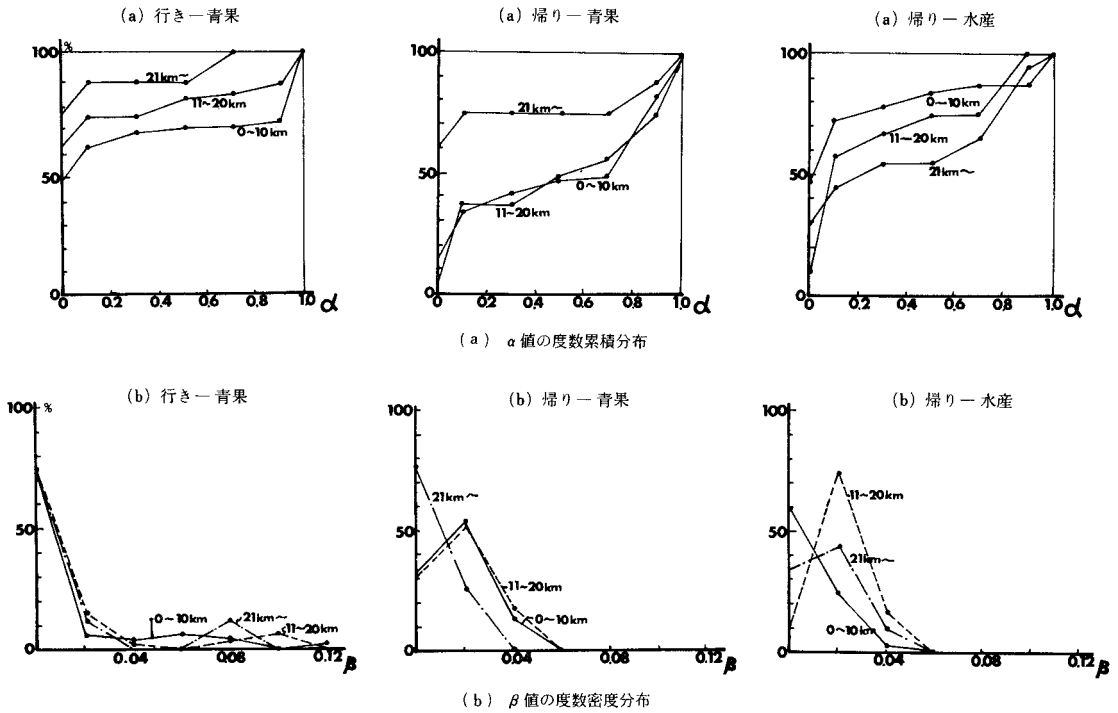


図-3 α 値, β 値の分布

みて多様な行動をとってはいるが、青果の帰りと比較すると $\alpha = 0.00 \sim 0.10$ の人が多く、店舗開店時刻に対する遅刻確率をより重視していることになる。この結果は青果では前日の仕入品も含めて店頭で陳列するのに対して、水産物では当日の仕入品だけをその日に販売するため、店舗に到着して初めて開店が可能となることを示していると推察される。

(3) β 値の分布

図-3(b) は、 β 値に対する小売業者数の距離帯別度数密度分布である。青果小売の場合、行きは市場に近い遠いにかかわらず約 75% の人が $\beta = 0.00$ であることから、有効旅行時間を考慮しないで、むしろ遅刻確率を重視しており、セリ開始時刻の制約が行動を強く規定しているものと推察できる。帰りの場合、対象者の 92% を占める 0~20 km の人は、遅刻確率だけでなく、有効旅行時間の節約もかなり重視している。これは、すでに述べたように、市場の出発時刻を自由に決定できない状況にあるため、有効旅行時間が重要になると考えられる。水産小売の帰りの場合、遅刻確率と有効旅行時間の両方を考慮する傾向にある。0~10 km の近距離の人、および高速道路利用者の多い 21 km 以上の人は遅刻確率を重視する割合が高く、旅行時間の標準偏差 σ が小さいことが影響していると考えられる。

6. 考 察

分析結果でみると、セリ開始時刻で指定される行き、店舗開店時刻で指定される帰り、いずれも総体的には小売業は、かなり厳しい遅刻リスクを想定して行動していることが明らかになった。式(4)を目的関数とするモデルにおいては、OD、距離、有効旅行時間、ルートにかかわらずある一定の遅刻確率 α 値を見込んでいるという行動が仮定されているが、以上の結果からみて、距離によって α 値の違うことが推定される。そのため、式(4)のモデルだけでなく、遅刻確率 α とその結果決定する有効旅行時間とのトレードオフを考慮することのできる式(7)のモデルもあわせて検討することが必要であるといえる。

そこで青果小売が市場へ行く場合の α 値と β 値についてみる。分析結果によれば $\alpha = 0.00$ で行動している小売は 55%、 $0.00 \leq \alpha \leq 0.20$ では 68% であった。そこで、市場の到着指定時刻 $\mu_{\tau a} = 6$ 時 55 分、 $\sigma_{\tau a} = 1.67$ 分とし、遅刻リスクは約 60% の小売が見込んでいる値 $\alpha = 0.05$ と仮定したとき、高速道路利用による旅行時間の不確実性の減少がどんな影響を及ぼすかについて考察する。

(1) 有効旅行時間の減少

北部市場の小売業の物資輸送にみる圏域は有効旅行時

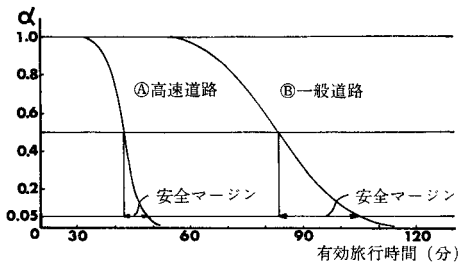


図-4 有効旅行時間と α , β 値

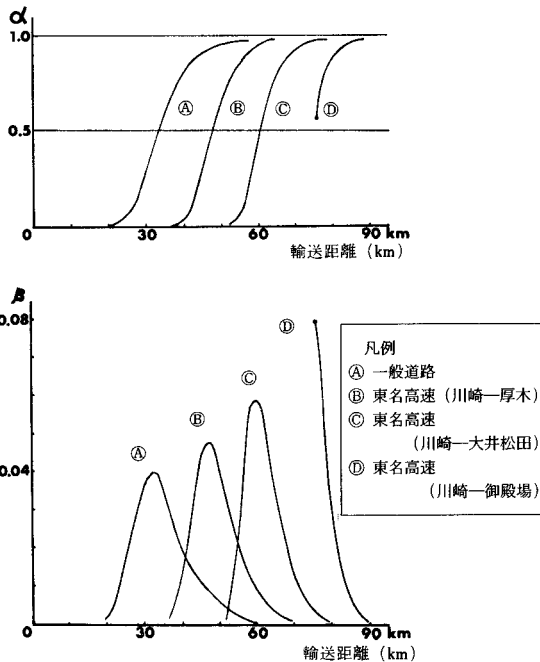


図-5 最大輸送距離と α , β 値

間みておよそ 60 分に達している。ここでは 60 分圏の OD として神奈川県足柄上町から北部市場までとし、東名高速道路の奏野中井 IC から川崎 IC までを利用する場合と、一般道路は国道 246 号を利用する場合を取り上げた。到着時刻が指定されていると考えれば、有効旅行時間の増加は、出発時刻を早めることを示しており、その出発時刻に対応する α , β 値を表わしたのが図-4 である。いま遅刻リスク $\alpha=0.05$ とすれば、一般道路利用の場合より約 22 分大きいので、それだけ大きな有効旅行時間を費やす必要がある。しかし、高速道路を利用するときは、出発時刻のわずかな遅れが遅刻確率に影響するため、旅行時間とその変動をよく学習しておき、的確に出発時刻を決定することが大切であることがわかる。

次に、 β 値は高速道路利用のとき全般的に大きく、遅刻リスク $\alpha=0.05$ に対応する β 値も高速道路利用のときの方が大きい。これは、一般道路利用では相対的に有効旅行時間よりも遅刻確率が、また高速道路利用では逆に遅刻確率よりも有効旅行時間が重要な関心事であることを示している。

(2) 輸送圏の拡大

有効旅行時間 60 分という条件のもとで、東名高速道路の各 IC 間、あるいは一般道路を利用して到達できる最大輸送距離と α , β 値との関係を示したのが図-5 である。市場の位置は東名高速道路の川崎 IC であると想定する。

ある一定の α 値に対して、一般道路よりも高速道路を利用した方が輸送圏域が拡大するのは当然である。高速道路を利用する場合、 α 値の曲線勾配が一般道路よりも大きいので、輸送距離を拡大しようとするとき遅刻確率が急速に増大することになる。

次に β 値でみると、高速道路を利用して輸送圏を拡大しようとするとき β 値が大きくなり、有効旅行時間が重要な要因になることがわかる。各ルートごとについて β 値の最大付近では、遅刻確率だけではなく有効旅行時間も重視して行動することを表わしており、その輸送距離は旅行時間期待値で到達できる距離に等しくなる。一方、有効旅行時間は考慮せずに遅刻確率のみを重視すれば、輸送距離は著しく減少することになる。

表-2 は、有効旅行時間 60 分、遅刻リスク $\alpha=0.05$ と仮定し、流通拠点川崎 IC から 0 km と 5 km の位置にある場合の最大輸送距離を表わしている。たとえば、川崎 IC より 5 km の場合、東名を利用して横浜 IC まで行き、IC から一般道路を利用して 12 km まで輸送可能である。流通拠点までの距離が 5 km から 0 km に変化すると、横浜 IC 経由では 20 km まで輸送可能になり、流通拠点の変化分 5 km のうえに 3 km が上乗せられて

表-2 流通拠点の位置による輸送圏拡大

流通拠点の位置 輸送距離の中心点		川崎 IC からの距離		拡大する 輸送距離
		0 km	5 km	
流通拠点(一般道路のみ)		25 km	25 km	0 km
横 浜	IC	20	12	+3
厚 木	IC	14	6	+3
秦 野 中 井	IC	9	0.5	+3.5
大 井 松 田	IC	5	—	+5

輸送圏が拡大することになる。このように旅行時間の不確実性下において厳しい遅刻リスクを想定すれば、流通拠点が高速道路 IC に近接することによる輸送圏の拡大効果が著しく高まることが理解できる。

7. 結 論

本論文は、到着時刻が指定されている物資輸送に対して、旅行時間の不確実性が及ぼす影響を遅刻リスクと有効旅行時間という軸上で評価したものである。本研究で得られた主要な結果を列挙すれば、次のとおりである。

(1) 小型貨物車による物資輸送において、区間旅行時間と荷卸し時間はお互いに独立な確率変数であり、正規分布に従うと仮定することができる。

(2) 区間旅行時間の標準偏差は、その期待値が増加するに従い増加するが、一般道路での変動係数はおおよそ 0.15 に収束する傾向がある。さらに、東名高速道路の IC 間旅行時間の標準偏差は、一般道路のほぼ 0.3 倍と著しく小さい。

(3) 市場利用の小売業者の輸送行動を遅刻リスク α 値によって評価すると、青果小売の行きの場合、セリ開始時刻に対して厳しい遅刻リスクを見込んでいるが、帰りは青果、水産ともに店舗開店時刻の遅刻リスクのみで多様な行動をとっている。

(4) 有効旅行時間と遅刻確率によって評価する β 値によれば、青果小売の行きの場合、有効旅行時間は考慮されないで、セリ開始時刻の制約が強きいている。帰りは青果、水産ともに遅刻確率だけではなく、有効旅行時間の節約も重視している。

(5) 高速道路を利用するときは、一般道路利用よりも安全マージンは小さくなる。しかし、物資輸送に求められる厳しい遅刻リスクを想定すると、的確に出発時刻を決定することが大切である。これは、相対的には、遅刻確率よりも有効旅行時間がより重視されることを意味している。

8. あとがき

本研究は、一般的に到着時刻指定のある物資輸送にか

かわる意志決定を α , β 値で評価しようとしたものである。ここでは卸売市場の小売業の物資輸送を分析対象に選んだが、評価の方法、内容は他の物資輸送にも同様に適用できると考えられる。特に、物資輸送のシステム化の要請が強まることは α , β 値の評価の重要性が増すものと考えられる。また、物資の内容、価格、量が α , β 値を規定し、それが物資輸送の手段、ルート、輸送圏を左右するものと考えた。

本研究は日本道路公団の委託により行われた調査を発展させたものである。本研究を進めるにあたり、新谷洋二東京大学教授、角 知憲九州大学助教授、(財)高速道路調査会常務理事武田文夫氏には有益なご助言をいただき、実態調査にあたっては川崎市経済局中央卸売市場北部市場の職員の方々にご助力をいただいた。あわせて深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) Winston, C. : The demand for freight transportation : Models and applications, Trans. Res.-A Vol.17 A, No.6, pp.419-427, 1983.
- 2) Block, A.J. and Meyburg, A.H. : The importance of travel-time considerations in the mode-choice decisions of small shippers, Goods trans. in urban areas, Proceeding of the third Engineering Foundation Conference, pp.669-686, 1977.
- 3) 近藤勝直 : 交通需要分析の新展開—活動連結メカニズムの解明—, 交通学研究, 第 25 号, pp.109-122, 1981.
- 4) Knight, T.E. : An approach to the evaluation of changes in travel uncertainty : A "Safety margin" hypothesis, Transportation 3, pp.393-408, 1974.
- 5) Abkowitz, M.D. : Understanding the effect of transit service reliability in work-travel behavior, Trans. Res. Rec. No.794, pp.33-41, 1981.
- 6) Hall, R.W. : Travel outcome and performance : The effect of uncertainty on accessibility, Trans. Res.-B Vol.17 B, No.4, pp.275-290, 1983.
- 7) 松本嘉司・角 知憲・田辺俊郎 : 一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定, 土木学会論文報告集, No.337, pp.177-183, 1983.
- 8) 大山尚武・重田清子・松本俊哲 : 経路誘導効果の確率的評価手法, 機械技術研究所報, Vol.31, No.5, pp.233-243, 1977.
- 9) 辻 絃良・鈴木雅博・高橋理一・川島弘尚 : 経路誘導効果の確率的推定手法, 土木学会論文報告集, No.315, pp.103-114, 1981.
- 10) 松本昌二・白水義晴 : 高速道路が卸売市場の輸送圏拡大に及ぼす影響. 高速道路と自動車, Vol.27, No.7, pp.32-37, 1984.
- 11) 神奈川県土木部道路建設課 : 神奈川県内将来交通量推計 (現況解析) 報告書, pp.27-28, 昭和 57 年 3 月.

(1984.3.12・受付)