

貨物輸送における時間信頼性に関する研究

貨物輸送における時間信頼性に関する研究プロジェクト

令和5年6月

公益社団法人 日本交通政策研究会

日交研シリーズ A-869

令和4年度自主研究プロジェクト

「貨物輸送における時間信頼性の価値に関する研究」

刊行：2023年6月

貨物輸送における時間信頼性に関する研究

Measuring the Value of Reliability in Freight Transportation

主査 文 世一（京都大学教授）

Se-il Mun

要 旨

地域間輸送に要する時間は、天候や事故、交通量の多寡に応じて変動する。貨物輸送において輸送時間の変動を小さくすることができれば、荷物が予定よりも遅く着くことなどによる経済的損失を避けることができ、それは社会的便益をもたらす。本研究では、貨物輸送において、輸送時間の変動を小さくすることに対する支払意思額、すなわち時間信頼性の価値を計測する方法を開発することを目的とする。時間信頼性価値の研究は過去数十年にわたって旅客交通を主たる分析対象としており、貨物輸送に関する研究は十分ではない。

本研究では、荷主と輸送企業の行動を定式化し、貨物輸送市場を通じて内生的に輸送費（貨物運賃）が決定されるような理論モデルを開発した。貨物輸送においては、荷物の到着時間指定が有と無しの二通りの契約方式が存在することに着目する。時間指定をすることで、荷主は輸送時間の不確実性にともなうリスク（生産計画への影響）を解消することができるので、そのことに対してより多く支払う意思を持つと思われる。一方、輸送業者は予定時刻に間に合わせるため、早めに出発、目的地で時間調整、あるいは時間変動の小さい高速道路を利用するが、これらには追加的費用を要する。したがって、市場均衡における貨物運賃は、時間指定のある場合の方が指定のない場合よりも高くなると予想される。

開発した理論モデルに基づいて、推定に用いる輸送費関数を特定化し、物流センサスのミクロデータを用いて、輸送費関数のパラメータ推定を行った。推定された輸送費関数を用いて、さまざまな市場条件が時間信頼性価値に及ぼす影響を定量的に評価した。

キーワード：貨物輸送、貨物運賃、輸送時間の信頼性、時間指定

Keywords : Freight transportation, Freight charge, Reliability of transportation time, Time designation

目 次

1 章 はじめに	1
2 章 理論モデル	4
2.1 不確実性のないモデル	5
2.2 所要時間に不確実性がある場合	8
3 章 実証モデル	13
3.1 時間指定なしの場合	13
3.2 時間指定ありの場合	16
4 章 実証分析	17
4.1 データについて	17
4.2 推定結果	22
4.3 時間指定, 輸送時間と貨物運賃	27
5 章 おわりに	29
参考文献	29
付録	31

研究メンバーおよび執筆者（敬称略・順不同、役職はプロジェクト当時）

主査

文 世一（京都大学）

メンバー

森 知也（京都大学）

大澤 実（京都大学）

町北朋洋（京都大学）

松島格也（京都大学）

大西正光（京都大学）

内藤 徹（同志社大学）

山本和博（大阪大学）

松尾美和（神戸大学）

執筆者

文 世一

木野村雅宏（京都大学大学院博士課程）

小西葉子（経済産業研究所）

1章 はじめに

高速道路などの交通インフラストラクチャ整備による便益の内、時間費用の節約が大きな部分を占めることが知られている。実務においては便益を金銭的価値で計測するため、輸送時間の短縮時分に時間価値（VOT）を乗ずることにより時間費用節約便益を評価する。交通インフラストラクチャ整備は輸送時間の短縮とともにその不確実性を減少させる。不確実性とは、天候や事故、交通量の多寡に応じて輸送時間が変動することである。輸送時間の変動を小さくすることができれば、貨物輸送において荷物が予定よりも遅く着くことなどによる経済的損失を避けることができ、輸送の信頼性を高めることになる。インフラストラクチャ整備による輸送時間の信頼性向上便益の重要性は、実務レベルでも認識されているものの、日本では公式な費用便益分析で評価項目に含まれていない。信頼性を評価する際には、確率的に変動する輸送時間の標準偏差，分散，パーセンタイル値などを小さくすることに対する支払意思額、すなわち時間信頼性の価値（VOR）を用いる必要がある。本研究は、貨物輸送における時間価値（VOT）とともに信頼性の価値（VOR）を計測する方法の開発を目的とする。

交通研究において VOT や VOR の推定に関する先行研究は数多く存在するが、その多くは旅客輸送に関するものであり、貨物輸送に関する実証研究は不十分である。Small (2012) は交通時間の価値に関して包括的にレビューを行っているが貨物交通は取り扱っていない。貨物輸送における時間価値の実証研究が乏しい理由の一つにはデータが不足していることがある¹。また、移動者本人が意思決定を行う場合が多い旅客交通と異なり、貨物輸送においては荷主や輸送業者など多くの経済主体が意思決定に関わっていること、そして輸送される財の大きさ、重量、用いられる車両の種類や大きさの異質性が大きい上、運送方式も複雑であることも実証分析が困難な理由と考えられる。

Zamparini and Reggiani (2007) によると、貨物交通の時間価値を計測する方法には(i)要素価格を用いて算出する方法（要素価格法）と(ii)支払意思額を利用して算出する方法（WTP法）がある。わが国では高速道路建設の費用便益分析においては主に(i)の要素価格法を用いる場合が多い²。この手法では時間節約価値はドライバーの労働時間短縮による支払い賃金の減少、トラックや積荷の機会費用（利子率とトラックや積荷の価値の積）の合計に等しくなる。一

¹ データが不足している背景には貨物運送に携わる企業がコストの情報を開示することに消極的であることが挙げられる。

² 日本の費用便益分析マニュアルは <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/4pdf/s1.pdf> から入手可能である。

方で広く用いられているのは(ii)WTP 法である。この手法では離散選択モデルを推定して得られたパラメータに基づいて、時間節約価値を金銭と時間の限界代替率として得ることができる。輸送手段の選択肢は「高速度だが高価格」なものと「低速度だが低価格」なものがあり、速度と価格のトレードオフが存在するのが一般的である。Bergkvist (2001) は所要時間と価格について異なる特性を持つ2種類の輸送手段から利用する手段を選択する貨物輸送の効用(利潤)最大化問題を設定し、VOTを輸送時間と輸送コストの限界代替率として推定した。Kawamura (2000) は、トラック運転者による車線選択(エクスプレスレーン(有料)か通常レーンか)に関するSPデータを用いてランダムパラメータロジットモデルを構築しVOTの分布を推定した。

Shams et al. (2017) は貨物輸送における信頼性価値(VOR)に関する研究のレビューを行い、多くの研究による推定値の間には大きな差異があることを示した。貨物交通のVORを測定する手法は主に離散選択モデルと在庫管理アプローチの2種類が存在する。離散選択モデルは旅客交通のそれと似た手法で、Noland and Small(1995)のスケジューリングアプローチやJackson and Jucker (1982) で採用された平均分散アプローチに基づく効用関数が用いられている³。

Konishi ほか (2014) は、ヘドニックアプローチ (Rosen (1974)) に基づいてVOTを評価する方法を開発した⁴。モデルでは、貨物運賃と輸送時間が荷主と運送業者からなる貨物輸送市場で決定される。荷主は輸送時間が短いことに対して高い支払意思額を持つが、それに応じるため運送業者は輸送時間を短縮するために追加的なコストを支払うことになる。その結果、均衡における貨物運賃は所要時間が短いほど高くなる。運送サービスは量、距離、所要時間などさまざまな属性に依存するので、均衡で実現する貨物運賃もこれら諸属性の関数となる。Konishi らのモデルでは輸送技術と所要時間短縮のためになされる企業の努力投入を区別して考える。輸送技術は企業や市場にとって外生的であるが努力投入は内生変数である。このような定式化を行うことにより、(インフラ整備を含む)輸送技術の向上の影響をより厳密に評価することが可能になる。新たな輸送技術の下市場均衡で実現する輸送時間は新たな技術水準を所与として運送業者が努力投入量を選択することで決定されるためである。

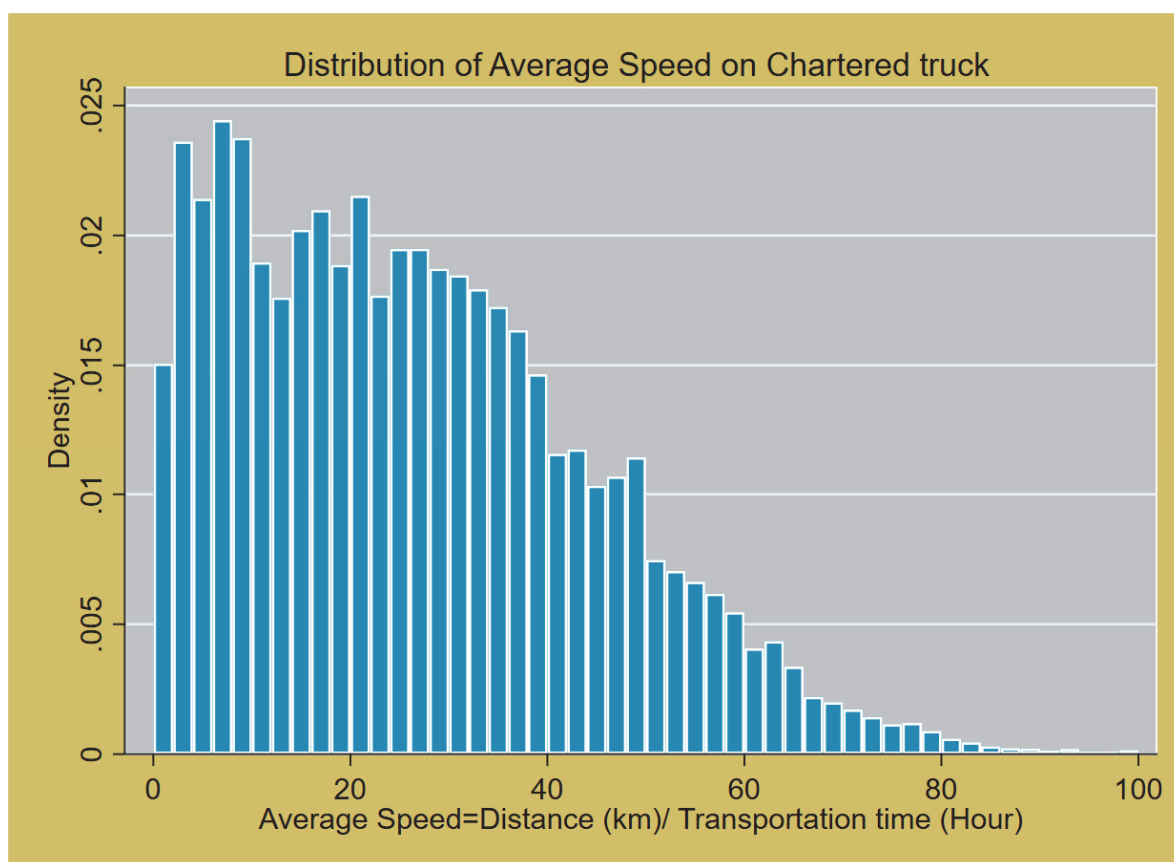
本研究ではKonishi らのモデルに輸送時間の不確実性を導入することにより、輸送時間の信頼性評価に用いられるよう拡張する。その際、運送契約において配送時刻の指定がある場合とない場合の2ケースについてモデルを構築する。理論分析では、時間指定がある場合、

³ Fosgerau and Karlström (2010) が示したように、妥当な仮定の下でスケジューリングモデルの最適条件から平均分散モデルと同様の式が得られる。

⁴ Massiani (2008) は貨物輸送市場にヘドニック理論を用いた先駆的な研究である。Massiani はフランスの大規模 SP データを用いて重量、輸送速度を説明変数とする貨物運賃方程式を推定し、その結果を用いて時間価値を計算した。

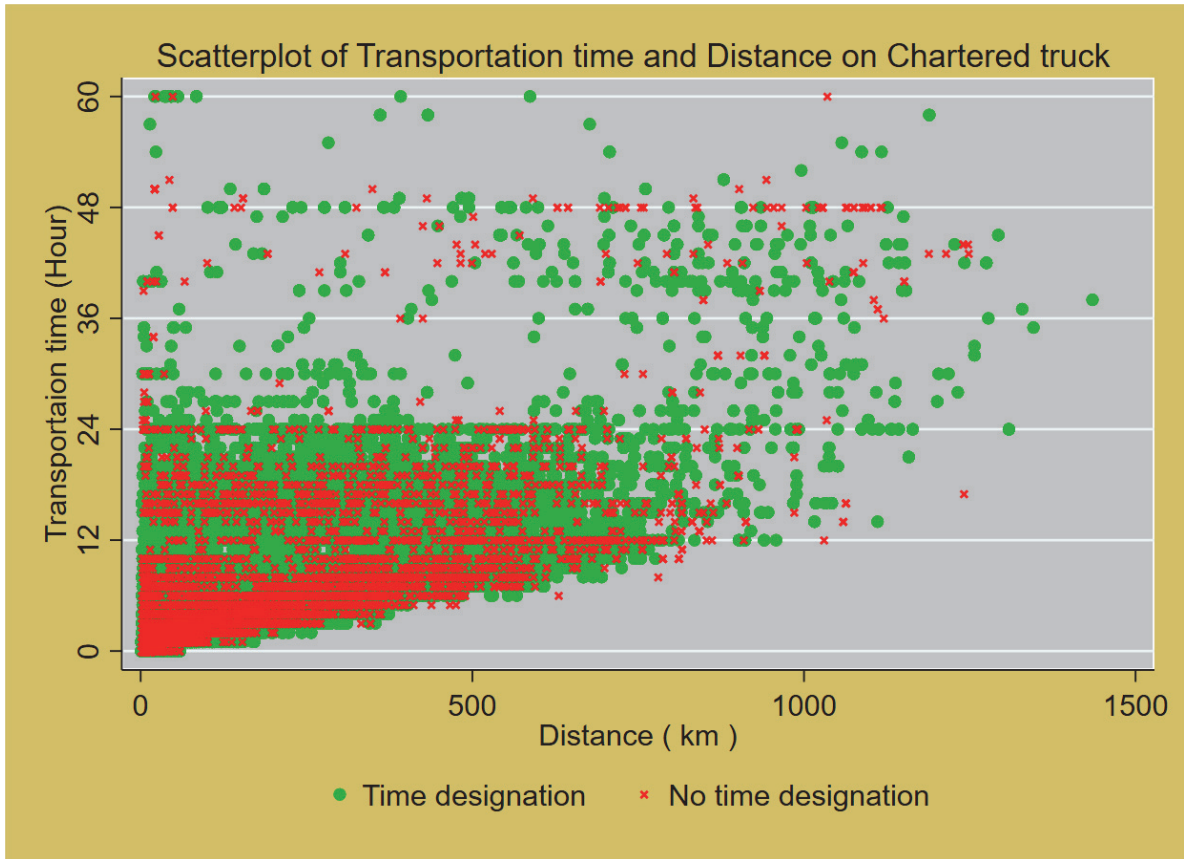
運送業者は配送の遅延を回避するために出発時刻を早めに設定する結果、指定のない場合に比べて輸送時間が長くなること、そして輸送運賃が高くなることが示される。従来の研究では、輸送時間の分散が減少することによる輸送費用の節約を信頼性の価値と定義していた。これに加え、本研究では、荷主が遅延リスクを回避するために時間を指定することに対する支払意思額と考える。本研究では2015年度の全国貨物純流動調査（物流センサス）で得られたマイクロデータを用いて貨物輸送の運賃関数、高速道路選択モデル、及び輸送時間関数を推定する。そして時間指定ありとなしの場合について推定された貨物運賃関数の差を求め、時間指定に対する荷主の支払意思額を定量的に評価する。

貨物の輸送時間に関する現状を簡単に説明する。図 1.1 は平均輸送速度の分布をグラフにしたものである。平均輸送速度は所要時間を OD 間の距離で除すことで得られる値である。かなりばらつきの大きいことがわかるが、この変動を単に道路整備状況や自動車の性能、ドライバーの熟練度といった要因の分布のみで説明するのは困難である。図 1.2 は距離と輸送時間の散布図である。たとえ距離が同じであっても所要時間にはかなりのばらつきがあることを読み取ることができる。我々はこのような分布を運送業者が荷主の要望に応えるために



出典: 2015 年物流センサスに基づいて筆者作成

図 1.1. 平均速度の分布



出典: 2015 年物流センサスに基づいて筆者作成

図 1. 2. 輸送時間と距離の関係

行う努力投入の量で説明できるのではないかと考えた。

本報告書の構成は以下のとおりである、まず第 2 章では貨物輸送のモデルについて説明する。続いて第 3 章では推定する式を特定化する。そして第 4 章では使用するデータの説明と実証分析の結果について述べる。最後に第 5 章で結論を述べる。

2 章 理論モデル

本研究では Konishi ほか (2014) の貸切トラック運送市場に関するモデルを、所要時間の不確実性を含む形に拡張する。トラック運送市場は 2 種類の荷主と十分多数の同質で小規模な貸切トラック運送企業によって構成されるものと想定する。全ての荷主はより短い輸送時間を選好する一方で、輸送時間のばらつき (信頼性) に関しては選好を持たない荷主とより

信頼性の高い輸送を愛好する荷主の2種類が存在すると仮定する。信頼性に選好を持つ荷主は運送業者との契約において配送時刻を指定する。一方で信頼性に関して選好を持たない荷主は期待所要時間にのみ関心があるので配送時刻の指定は行わない。説明の簡単のため、まず2.1節で所要時間に不確実性が存在しない場合について説明し、その後2.2節で不確実性のある状況での運送契約について考える。

2.1 不確実性のないモデル

2.1.1 トラック運送企業の費用と輸送時間

以下において我々は議論の対象を貸切トラックによる貨物輸送サービスに限定する。貸切トラック輸送において、運送業者は労働（ドライバー）、資本（トラック）、燃料、高速道路使用という生産要素を投入して運送サービスを生産する。運送業者は基本的な費用に加えて追加的な要素投入を行うことで所要時間を減少させることができる。追加的な要素とは、例えば補助ドライバーを乗務させたり、トラックに昇降機を設置することで積み込み、積み卸し、休憩時間等の削減を行うことができる。このような期待所要時間の削減のために投入される要素を努力投入と呼び、基本的な労働や資本の投入と区別する。以上を踏まえ、時間指定なしの場合、起点 i から終点 j までの運送を行う運送業者の費用 C_{ij} を次のように定式化する。

$$C_{ij} = r^L L_{ij} + r^K K_{ij} + r^X X_{ij} + r_{ij}^H H + r^Y Y_{ij} \quad (2.1)$$

L_{ij}, K_{ij}, X_{ij} は地域 i から地域 j までの輸送に投入された労働、資本、燃料の投入量をそれぞれ表す。 H は高速道路を利用した際に1、そうでない時に0をとるダミー変数である。 Y_{ij} は所要時間削減のためになされた努力投入量を表す。 $r^L, r^K, r^X, r_{ij}^H, r^Y$ はそれぞれ賃金率、資本のレンタルプライス、燃料価格、高速道路料金、努力投入の単位あたり費用をそれぞれ表す⁵。ドライバーの労働投入量は所要時間で測られるので $L_{ij} = t_{ij}$ とする。 t_{ij} は ij 間の輸送の総所要時間である。資本（トラック）の投入量は単位時間あたり投入量 $g(q)$ と所要時間 t_{ij} の積 $g(q)t_{ij}$ で表されるとする。ただし q はトラックの大きさを表す。積荷が大きいほど大きなトラックが必要になるため、 $g(q)$ は q の増加関数である。単位距離あたり燃料消費量は積荷

⁵ 各要素の価格は出発地域や到着地域、その組み合わせには依存しない。これは各要素を運送企業がどこで調達したかを我々は知り得ないためである。モデルにおいては高速道路料金のみがODの組み合わせに依存する。

の大きさ q と速度 s の関係で定まるとし、その関係を $e(q, s)$ で表す⁶。燃料消費量 X_{ij} は単位距離あたり燃料消費量と輸送距離 d_{ij} の積 $e(q, s)d_{ij}$ となる。高速道路料金 r_{ij}^H は距離 d_{ij} と重量 q の関数 $r^H(q, d_{ij})$ で定まるとする。努力投入量 Y_{ij} は単位距離あたり努力投入 y と距離 d_{ij} の積 yd_{ij} で表されるとする。この定式化は努力投入量が各ルートのキロあたり努力投入量を合計したものとなることを表している。

高速道路の使用有無を所与としたときの ij 間の最短所要時間を t_{ij}^N と表す。すなわち

$$t_{ij}^N = Ht_{ij}^{N1} + (1 - H)t_{ij}^{N0} \quad (2.2)$$

である。ただし t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0} はそれぞれ高速道路を使用した際、使用しなかった際の最短所要時間を表している。実際の総輸送時間 t_{ij} は次のように決定されると仮定する。

$$t_{ij} = f(t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0}, H, y) = f(t_{ij}^N, y) \quad (2.3)$$

関数 $f(t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0}, H, y)$ は t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0} について増加、 H, y について減少である。 t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0} は輸送技術を表している。たとえば新型エンジン等の開発は t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0} を減少させる。またインフラの整備により、最高速度の増加や勾配やカーブが緩やかになることも、輸送技術の進歩と解釈できる。以上の仮定を用いて(2.1)式は次のように書き換えられる。

$$C_{ij} = r^L t_{ij} + r^K g(q) t_{ij} + r^X e(q, s) d_{ij} + r^H(q, d_{ij}) H + r^Y y d_{ij} \quad (2.4)$$

輸送業者は、(2.3)の制約下で y, H の投入量⁷ を選択して(2.4)式で表される費用を最小化する。 H に関する最適条件は

$$\begin{aligned} H^* &= 1, & \text{if } C_{ij}|_{H=0} - C_{ij}|_{H=1} > 0 \\ H^* &= 0, & \text{if } C_{ij}|_{H=0} - C_{ij}|_{H=1} < 0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

変数の右肩にある「 $*$ 」は最適選択であることを表す。また $C_{ij}|_{H=0}, C_{ij}|_{H=1}$ はそれぞれ一般道のみを使った場合、高速道を使用した場合それぞれの輸送費用である。 t_{ij} が所与であるとき、最適な距離あたり努力投入量 y^* は(2.3)式の逆関数から直ちに定まり

$$y^* = f^{-1}(t_{ij}, t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0}, H^*) = y(t_{ij}, t_{ij}^N) \quad (2.6)$$

となる。ただし $y(t_{ij}, t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0}, H)$ は、 t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0} について増加、 t_{ij}, H について減少関数である。得られた H^*, y^* を式(2.4)に代入することで輸送費用関数が次のように得られる。

$$C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) = r^L t_{ij} + r^K g(q) t_{ij} + r^X e(q, s_{ij}) d_{ij} + r^H(q, d_{ij}) H^* + r^Y y^* d_{ij} \quad (2.7)$$

⁶ $e(q, s)$ は輸送重量 q について増加、スピード s については低速域では減少、高速域では増加という U 字型の関数になる。

⁷ (2.2), (2.3)式が示しているように H, y は互いに代替的な投入要素である。もし高速道路を使用しないならば運送業者が所定の所要時間を実現するにはより多くの努力投入を必要とする。それゆえ y は高速道路の使用を除いた努力投入であると考えべきである。

今回の定式化において運送費用は q, d_{ij}, t_{ij} という複数の属性によって決定される。つまり貨物輸送は運送業者が供給する多様な属性の束であると考えることができる。貨物運賃もまたこれら属性の束によって定まるのでこれを $P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})$ と表すことにする。運送業者の利潤は $P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) - C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})$ であるので輸送時間に関する利潤最大化条件は以下のようになる。

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}}$$

Rosen (1974) に倣い、本研究では市場が十分に競争的であり、運送業者の留保利潤 π は定数であると仮定する。つまり運送業者は π 以上の利潤が期待できるならば属性 (q, d_{ij}, t_{ij}) で表される輸送サービスを供給する。このとき運送業者のオファー関数 $\phi(q, d_{ij}, t_{ij}; \pi)$ を次のように定義することができる。

$$\phi(q, d_{ij}, t_{ij}; \pi) = C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) + \pi \quad (2.8)$$

市場には十分多数の企業が存在していることを仮定しているので均衡における輸送時間 t_{ij} は次の二つの条件を満たす。

$$\frac{\partial \phi(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}} \quad (2.9a)$$

$$P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) = \phi(q, d_{ij}, t_{ij}; \pi) \quad (2.9b)$$

2.1.2 荷主と市場均衡

荷主は輸送費用を最小化するように行動する。輸送費用は貨物運賃と時間費用の合計であり、 $P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) + vt_{ij}$ と表すことができる。ただし v は荷主の時間価値である。例えば荷主が製造業である場合、 v は輸送時間が 1 単位短くなることで得られる追加的な収入に等しくなる。荷主の負担する輸送費用 τ を所与とすると、 (q, d_{ij}, t_{ij}) で定義される輸送サービスに対する荷主の付け値関数 $\psi(q, d_{ij}, t_{ij})$ は次のように定義できる。

$$\psi(q, d_{ij}, t_{ij}; \tau) = \tau - vt_{ij} \quad (2.10)$$

よって市場均衡では次が成立する。

$$\frac{\partial \psi(q, d_{ij}, t_{ij}; \tau)}{\partial t_{ij}} = -v \quad (2.11)$$

$$\psi(q, d_{ij}, t_{ij}; \tau) = P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) \quad (2.11b)$$

(2.9), (2.10) より均衡では次の関係が成立する。

$$P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) = C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij}) + \pi \quad (2.12a)$$

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_{ij})}{\partial t_{ij}} = -\nu \quad (2.12b)$$

2.2 所要時間に不確実性がある場合

2.2.1 時間指定なしの契約

Fosgerau and Karlström (2015) に従い、本研究では輸送時間を次のように表記する。

$$t_{ij} = \mu_{ij} + \sigma_{ij}x \quad (2.13)$$

ここで μ_{ij}, σ_{ij} はそれぞれ輸送時間の期待値と標準偏差を表す。 x は期待値 0, 分散 1 の分布に従う確率変数であり, 密度関数を $\zeta(x)$, 累積分布関数を $Z(x)$ と表すことにする。

不確実性のある状況では運送業者は期待費用の最小化を行う。配送時刻の指定がない場合, 期待費用は(2.7)式の所要時間 t_{ij} を単純に期待値 μ_{ij} で置き換えたものになるので次のようにあらわされる。

$$C_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) = r^L \mu_{ij} + r^K g(q) \mu_{ij} + r^X e(q, s_{ij}) d_{ij} + r^H (q, d_{ij}) H^* + r^Y y^* d_{ij} \quad (2.14a)$$

ただし

$$\begin{aligned} H^* &= 1, & \text{if } C_{ij}|_{H=0} - C_{ij}|_{H=1} > 0 \\ H^* &= 0, & \text{if } C_{ij}|_{H=0} - C_{ij}|_{H=1} < 0 \end{aligned} \quad (2.14b)$$

$$y^* = f^{-1}(\mu_{ij}, t_{ij}^{N1}, t_{ij}^{N0}, H^*) = y(\mu_{ij}, t_{ij}^N) \quad (2.14c)$$

荷主は期待輸送費用 $P_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) + \nu \mu_{ij}$ の最小化を行う。2.1.2 節と同様の方法で均衡解を導出することが切るので, 均衡条件は次のようになる。

$$P_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) = C_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) + \pi \quad (2.15a)$$

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} = -\nu \quad (2.15b)$$

ここで

$$\frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}^*)}{\partial \mu_{ij}} = r^L + r^K g(q) + r^Y \frac{\partial y(\mu_{ij}^*, t_{ij}^N)}{\mu_{ij}} d_{ij} \quad (2.15c)$$

である。

2.2.2 時間指定ありの場合

貨物が計画通りに配送されることを希望する荷主は運送業者と時間指定ありの契約を結ぶ。貨物の到着が予定時刻よりも遅いと、荷主には損失が生じ、運送業者にはペナルティが課される。本節では運送業者が定められた到着時刻に対して出発時刻をどのように選択するか定式化する。

運送業者が地域 i から地域 j までの貨物輸送を受注したとする。時間指定ありの契約では出発時刻 t_i^d , 配送時刻 t_j^a がそれぞれ指定されている。配送時刻が指定されているので運送業者は荷卸し先に早着したとしても指定時刻まで待機しなければならない。逆に遅延してしまった場合にはペナルティの支払いが生じる。ペナルティの大きさは遅延の大きさ $t_i^d + t_{ij} - t_j^a$ に依存するとする。以上の設定の下では運送業者の期待輸送費用は次のように表される。

$$C_{ij} = r^L \bar{t}_{ij} + r^K g(q) \bar{t}_{ij} + r^X e(q, s) d_{ij} + r^H(q, d_{ij}) H + r^Y y(\mu_{ij}, t_{ij}^N) d_{ij} + r^S ESD_{ij} \quad (2.16)$$

ここで \bar{t}_{ij} は、積み込み、移動、早着に伴う待機、積み卸しを含む総所要時間の期待値、 ESD_{ij} は遅延時間の期待値である。また r^S は遅延時間一単位あたりのペナルティの大きさを表す。(2.16)式は遅延に対するペナルティの費用 $r^S ESD_{ij}$ が含まれている点で(2.14)式と異なる。また、期待所要時間は積込、輸送、積卸しに要する時間の期待値である μ_{ij} ではなく、早着時の待機時間も考慮した期待値 \bar{t}_{ij} となる。

期待早着時間 ESD_{ij} は次のようになる。

$$\begin{aligned} ESD_{ij} &= \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} (t_i^d + \mu_{ij} + \sigma_{ij} x - t_j^a) \zeta(x) dx \\ &= (t_i^d + \mu_{ij} - t_j^a) \left(1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right) \\ &\quad + \sigma_{ij} \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} x \zeta(x) dx \end{aligned} \quad (2.17)$$

(2.16)式は期待所要時間 \bar{t}_{ij} の下での輸送コストを定義している。 \bar{t}_{ij} は次のように定義される。

$$\bar{t}_{ij} = (t_j^a - t_i^d) Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) + \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} (\mu_{ij} + \sigma_{ij} x) \zeta(x) dx \quad (2.18)$$

(2.18)式の第一項はトラックが荷主の事業所に早着した場合の所要時間を表している。早着した運送業者は指定時刻まで待機するので所要時間は常に $t_j^a - t_i^d$ となる。トラックが早着する確率は $Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)$ である。第二項はトラックが遅延した場合の所要時間の期待値である。

時間指定ありの貨物輸送において、運送業者は努力水準を選択することにより所要時間の期待値 μ_{ij} と出発時刻 t_i^d を調節する。そのため利潤最大化条件は次のようになる。

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} \quad (2.19a)$$

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial t_i^d} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial t_i^d} \quad (2.19b)$$

ただし

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} &= [r^L + r^K g(q) + r^S] \left(1 - \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right) \\ &\quad + r^Y \frac{\partial y(\mu_{ij}, t_{ij}^N)}{\partial \mu_{ij}} d_{ij} \end{aligned} \quad (2.20a)$$

$$\frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial t_i^d} = [r^L + r^K g(q)] Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) + r^S \left(1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right) \quad (2.20b)$$

である。一般に荷受人か荷送人のどちらも荷主となり得る。どちらの場合でも荷主はより輸送時間が短く、遅延の少ないサービスを選好する。本研究では荷主は輸送サービスの需要者であると考え、荷主は時間費用、遅延コスト、及び金銭費用の和 $P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij}) + v\bar{t}_{ij} + \omega ESD_{ij}$ で表される輸送費用の最小化を行う。ただし ω は荷主の信頼性価値である。

(2.15)式と同様に均衡条件は次のように定義される。

$$P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij}) = C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij}) + \pi \quad (2.21a)$$

$$\frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} = \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial \mu_{ij}} = -(v + \omega) \left(1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right) \quad (2.21b)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial t_i^d} &= \frac{\partial C_{ij}(q, d_{ij}, t_i^d, \mu_{ij})}{\partial t_i^d} \\ &= -vZ \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \omega \left(1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right) \end{aligned} \quad (2.21c)$$

スケジューリングに関する選択を考慮したことで新たな均衡条件 (2.21c) 式が加わる。(2.20a)式, (2.20b)式を(2.21b), (2.21c)の両式に代入すると次が得られる。

$$Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) = \frac{r^L + r^K g(q) + r^Y \frac{\partial y(\mu_{ij}, t_{ij}^N)}{\partial \mu_{ij}} d_{ij} + v + r^S + \omega}{r^L + r^K g(q) + v + r^S + \omega} \quad (2.22a)$$

$$Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) = \frac{r^S + \omega}{r^L + r^K g(q) + v + r^S + \omega} \quad (2.22b)$$

(2.22a), (2.22b)式の左辺は同一であるので次の式が得られる。

$$r^L + r^K g(q) + r^Y \frac{\partial y(\mu_{ij}, t_{ij}^N)}{\partial \mu_{ij}} d_{ij} = -v \quad (2.23)$$

(2.23)式は時間指定なしの場合の均衡条件(2.15)式と同一である。このことは時間指定の有無にかかわらず、均衡における μ_{ij} の決まり方は同様である。すなわち荷主の時間価値は輸送費用の μ_{ij} に関する導関数に等しい。

均衡条件(2.22b)は次のように書き換えられる。

$$t_j^a - t_i^d = \mu_{ij} + \sigma_{ij} Z^{-1} \left(\frac{r^S + \omega}{r^L + r^K g(q) + v + r^S + \omega} \right) \quad (2.24)$$

上式における第2項は、遅延のペナルティと荷主の信頼性の価値の和である $r^S + \omega$ が相対的に大きい場合に正である。この場合、運送業者が実際に費やす時間 $t_j^a - t_i^d$ は期待所要時間 μ_{ij} よりも長くなる。すなわちトラックが平均的な速度で走行できた場合、指定時刻よりも早めに到着し目的地付近で待機することになる。

所要時間の不確実性が期待輸送時間に及ぼす影響について考察する。期待輸送時間 \bar{t}_{ij} の定義式(2.18)を標準偏差 σ_{ij} で微分すると

$$\frac{\partial \bar{t}_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} = -Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} + \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} x \zeta(x) dx > 0 \quad (2.25)$$

ここで不等号は $\frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} < 0$ ⁸より成立する。(2.25)は、不確実性の増大により実質的な所要時間が増加することを示している。

輸送費用に不確実性が及ぼす影響は次のようになる。

$$\frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} = [r^L + r^K g(q)] \frac{\partial \bar{t}_{ij}}{\sigma_{ij}} + r^S \frac{\partial ESD_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} \quad (2.26)$$

⁸ 式(2.22b)の右辺は定数なので、左辺の $\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}$ も定数である。よって σ_{ij} が増加する場合、 t_i^d は減少する必要がある。よって $\frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} < 0$ である。

ただし

$$\frac{\partial ESD_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} = \left[1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \right] \frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} + \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} x \zeta(x) dx$$

$\frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} < 0$ であるためこの式の符号は明らかではない。(2.25)式を(2.26)式に代入することで次の式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} = r^S Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) & \left[\frac{1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)}{Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)} - \frac{r^L + r^K g(q)}{r^S} \right] \frac{\partial t_i^d}{\partial \sigma_{ij}} \\ & + [r^L + r^K g(q) + r^S] \int_{\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}}^{\infty} x \zeta(x) dx \end{aligned} \quad (2.27)$$

$\frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}}$ の符号は不定であるが右边第一項の値が正であれば正となる。以上より次の命題が得られる。

命題 時間指定ありの貨物輸送において所要時間の不確実性が増加すると

1. 運送時間の期待値 \bar{t}_{ij} は増加する。
2. 不等式

$$\frac{1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)}{Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)} - \frac{r^L + r^K g(q)}{r^S} < 0 \quad (2.28)$$

が成立している時、期待費用 C_{ij} は増加する。

現実には時間指定ありの場合の遅延確率 $1 - Z \left(\frac{t_j^a - t_i^d - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)$ は非常に小さくなると考えられる。

このとき式(2.28)の第一項は 0 に近い値を取るため、式(2.28)は全体として負の値となり

$\frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} > 0$ となる。ただし式(2.28)は $\frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} > 0$ の十分条件である。この式が成立していない場合で

も不確実性の増加が運送費用の増加をもたらすことはありうる。本研究の実証分析では、

$\frac{\partial C_{ij}}{\partial \sigma_{ij}} > 0$ が成立するか否かについて検証する。

続いて時間指定が運送コストに及ぼす影響について考察を行う。これまでの議論で示した

ように時間指定がなされた場合、期待輸送時間はより大きく、運送業者にはスケジューリングコストが生じることになる。そのため時間指定ありの場合の運賃は時間指定のない場合よりも大きいことが予想されるが、以下で示すように今回のモデルにおいてこのことは自明ではない。

これまでの議論で時間指定なし、ありの場合それぞれについて均衡を分析してきた。荷主が重量 q の貨物を地域 i から j へ輸送する運送業者を探している状況を想定しよう。時間指定あり、なし、それぞれの均衡において実現する輸送コストを C_{ij}^D, C_{ij}^N と表記することにする。両者の差は次のようになる⁹。

$$C_{ij}^D - C_{ij}^N = [r^L + r^K g(q)](\bar{t}_{ij} - \mu_{ij}^N) + r^Y [y(\mu_{ij}^D, t_{ij}^N) d_{ij} - y(\mu_{ij}^N, t_{ij}^N) d_{ij}] + r^S ESD_{ij}$$

ただし μ_{ij}^D, μ_{ij}^N は時間指定あり、なしそれぞれの場合の待機時間を除いた輸送時間の期待値である。第一項は正である。一方で第二項については $\mu_{ij}^N < \mu_{ij}^D$ が成立すると考えられることから符号は不定である。実証分析においてはこの関係についても検討する。

3章 実証モデル

3.1 時間指定なしの場合

3.1.1 モデルの特定化

まずトラックのレント $g(q)$ は積荷の重量 q の対数値について線形であると仮定し $g(q) = \alpha_1 + \alpha_2 \ln q$ とする。単位距離あたり燃料消費量 $e(q, s)$ は積荷の重量と速度の関数である。この関数は q について増加、 s について U 字型の関数である。本研究においては速度が高速道路使用時、不使用時それぞれについて一定であると仮定し、それぞれ s_1, s_2 と表すことにする。その結果燃費は

$$e(q, s) = e(q, s^1)H + e(q, s^0)(1 - H)$$

のように特定化される。式(2.6)の最適努力投入 y^* は次のように特定化する。

⁹ 本研究では時間指定の有無にかかわらず同一の経路を選択することを仮定している。

$$y^* = \alpha_3 \frac{\mu_{ij}}{d_{ij}} + \alpha_4 \frac{(t_{ij}^N - \mu_{ij})^2}{d_{ij}}$$

なお、パラメータについて $\alpha_3 < 0, \alpha_4 > 0$ であると想定する。

市場価格 P_{ij} は 運送業者の費用とその他の要因、 $Z = (Z_1, \dots, Z_4)$ に依存すると仮定し、

$$P_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) = C_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) + \gamma'Z$$

とする。ただし $\gamma'Z$ は 運送業者の留保利潤 π の代理変数である。

実証分析で用いる貨物運賃関数はパラメータ $(\beta_i)_{i \in \{1,2,3,4\}}$ を用いて次のように表される。

$$\begin{aligned} P_{ij}(q, d_{ij}, \mu_{ij}) = & \beta_1 \mu_{ij} + \beta_2 \ln(q) \mu_{ij} + \beta_3 [r^X e(q, s) d_{ij} + r^H(q, d_{ij}) H] \\ & + \beta_4 (t_{ij}^N - \mu_{ij})^2 + \sum_{k=1}^4 \gamma_k Z_k + \varepsilon_P \end{aligned} \quad (3.1)$$

ここで

$$\begin{aligned} \beta_1 &= r^L + r^K \alpha_1 + \alpha_3 \\ \beta_2 &= r^K \alpha_2 > 0 \\ \beta_3 &> 0 \\ \beta_4 &= \alpha_4 > 0 \end{aligned}$$

である。 β_1 の符号は、 $r^L > 0, r^K \alpha_1 > 0, \alpha_3 < 0$ なので、不確定である。その他の要因については、4.1 節で説明する。

高速道路利用 H^* は 2 章で説明したように決定される内生変数であるが、その条件式を次のように特定化する。

$$C_{ij|H=0} - C_{ij|H=1} = \eta_0 + \eta_1 (t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}) + \eta_2 [r^X e(q, s^0) d_{ij}^0 - r^X e(q, s^0) d_{ij}^1 - r^H(q, d_{ij}^1)]$$

そして高速道路使用の二項選択に次のようなプロビットモデルを適用する。

$$H = \Pr\{C_{ij|H=0} - C_{ij|H=1} > \varepsilon_H\}$$

ただし ε_H は標準正規分布に従う確率変数である。

期待輸送時間もまた内生変数であり、 t_{ij}^N の関数として表される。ここでは、輸送数量、輸送距離、そして輸送品目によって輸送時間が影響されると考え、関数形を次のように特定化する。

$$\mu_{ij} = \kappa_0 + \kappa_1 t_{ij}^N + \delta^{\bar{q}}(\kappa_4 + \kappa_5 t_{ij}^N) + \sum_{k=1}^8 \rho_k D_k, \quad \text{if } t_{ij} \leq t^S \quad (3.2a)$$

$$\mu_{ij} = \kappa_2 + \kappa_3 t_{ij}^N + \delta^{\bar{q}}(\kappa_4 + \kappa_5 t_{ij}^N) + \sum_{k=1}^8 \rho_k D_k, \quad \text{if } t_{ij} \geq t^S \quad (3.2b)$$

式(2.2)で定義したように、 t_{ij}^N は最短所要時間である。 $\delta^{\bar{q}}$ は貨物重量が閾値 \bar{q} 以上であるときに1を、そうでない時に0をとるダミー変数である。総務省は輸送される品目を9種類に分類¹⁰している。これに従い、本モデルでは金属および機械工業品を基準として8個の品目ダミー変数 D_k を設定している。添字の小さなものから順番に農水産品、林産品、鉱産品、化学工業品、軽工業品、雑工業品、排出物、特殊産品を表している。よって例えば輸送品目が農水産品である時、 $D_1 = 1$ となる。 $\kappa_1, \dots, \kappa_8$ はパラメータである。

輸送時間関数は $t_{ij}^N = t^S$ において連続である必要がある。よって次を満たさねばならない。

$$\kappa_2 = \kappa_0 + (\kappa_1 - \kappa_3)t^S \quad (3.2c)$$

式(3.2a), (3.2b), (3.2c)より輸送時間関数は次のように書き換えられる。

$$\mu_{ij} = \kappa_0 + \kappa_1(\lambda t_{ij}^N + t^S - \delta^t t^S) + \kappa_3(1 - \delta^t)(t_{ij}^N - t^S) + \delta^{\bar{q}}(\kappa_4 + \kappa_5 t_{ij}^N) + \sum_{k=1}^8 \rho_k D_k \quad (3.3)$$

ただし

$$\begin{aligned} \delta^t &= 1, & \text{if } t_{ij}^N < t^S \\ \delta^t &= 0, & \text{if } t_{ij}^N > t^S \end{aligned}$$

さらに $\kappa_4 > 0, \kappa_5 > 0$ を仮定する。 $\kappa_4 > 0$ は重量の大きな貨物は積込、積卸により時間がかかることを、 $\kappa_5 > 0$ は積荷が重いほどトラックのスピードが落ちることを意味している。

3.1.2 モデルの推定

まず高速道路使用のダミー変数 H の推定を行う。

$$E(H|\omega) = \Pr \left\{ \eta_0 + \eta_1(t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}) + \eta_2 \left[r_i^X e(q, s^0) (d_{ij}^0 - d_{ij}^1(1 - \theta)) - r^H(q, d_{ij}^1) \right] + \eta_3 d50_dummy \geq \varepsilon_H \right\} \quad (3.4)$$

ただし $\omega = \left\{ (t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}), \left[r_i^X e(q, s^0) (d_{ij}^0 - d_{ij}^1(1 - \theta)) - r^H(q, d_{ij}^1) \right], d50_dummy \right\}$ である。また θ は高速道路を使用した際の燃料消費を一般道経由の場合と比べた際の削減率である。すなわち $\theta = 1 - \frac{e(q, s^1)}{e(q, s^0)}$ となる。

¹⁰ 分類の詳細は付録1で説明している。

t_{ij}^{N0}, t_{ij}^{N1} はそれぞれ一般道経由, 高速道路経由の場合の最短所要時間である。 d_{ij}^0, d_{ij}^1 は一般道経由, 高速道路経由の場合それぞれの輸送距離である。 $d50_dummy$ は輸送距離が 50km 以下のときに 1 を, そうでないときに 0 をとるダミー変数である。この変数の導入によって短距離輸送ではあまり高速道路を使用しないという傾向を説明することを企図している。高速道路選択関数(3.4)を推定することで予測値 \hat{H} が得られる, これを用いることで次の式(3.5)から \hat{t}_{ij}^N を計算することができる。

$$\hat{t}_{ij}^N = [\hat{t}_{ij}^{N1}\hat{H} + t_{ij}^{N0}(1 - \hat{H})] \quad (3.5)$$

先述のように \hat{t}_{ij} は高速道路使用の選択 H に依存する。 H は内生変数であるため, 式(3.2)より得られる予測値を用いて輸送時間関数を次のように推定する。

$$\mu_{ij} = \kappa_0 + \kappa_1(\mu_{ij}\hat{t}_{ij}^N + t^S - \mu_{ij}t^S) + \kappa_3(1 - \mu_{ij})(\hat{t}_{ij}^N - t^S) + \delta^q(\kappa_4 + \kappa_5\hat{t}_{ij}^N) + \sum_{k=1}^8 \rho_k D_k + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

以上の式(3.4), (3.5), (3.6)を用いて推定値 $\hat{H}, \hat{t}_{ij}, \hat{\mu}_{ij}$ を得ることができる。これらの予測値を用いて運賃関数を推定する。運賃関数に推定値を代入すると

$$P_{ij}(q, d_{ij}, \hat{\mu}_{ij}) = \beta_1 \hat{\mu}_{ij} + \beta_2 \ln(q) \hat{\mu}_{ij} + \beta_3 [r^X e(q, s^0) d_{ij} (1 - \theta \hat{H}) + r^H(q, d_{ij}) \hat{H}] + \beta_4 (\hat{t}_{ij}^N - \hat{\mu}_{ij})^2 + \sum_{k=1}^4 \gamma_k Z_k + \varepsilon_p \quad (3.7)$$

式(3.7)の各パラメータを OLS 推定することで内生性の下でも一致性のある β, γ の 2SLS 推定量が得られる。

3.2 時間指定ありの場合

時間指定ありの場合においても $g(q), e(q, s), y^*$ に関しては時間指定のない場合と同様の特定化を行う。時間指定ありの場合では次のように所要時間の不確実性 σ_{ij} を追加する。

高速道路選択

$$C_{ij}|_{H=0} - C_{ij}|_{H=1} = \eta_0 + \eta_1(t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}) + \eta_2[r^X e(q, s^0) d_{ij}^0 - r^X e(q, s^0) d_{ij}^1 - r^H(q, d_{ij}^1)] + \eta_3(\sigma_{ij}^0 - \sigma_{ij}^1)$$

貨物運賃

$$P_{ij}(q, d_{ij}, \hat{t}_{ij}) = \beta_1 \hat{t}_{ij} + \beta_2 \ln(q) \hat{t}_{ij} + \beta_3 [r^X e(q, s^0) d_{ij} (1 - \theta \hat{H}) + r^H(q, d_{ij}) \hat{H}] \\ + \beta_4 (\hat{t}_{ij}^N - \hat{t}_{ij})^2 + \beta_5 \sigma_{ij} + \sum_{k=1}^4 \gamma_k Z_k + \varepsilon_{P\#}$$

これまで議論してきたように $\eta_3 > 0$ と $\kappa_6 > 0$ という結果を期待する。推定の方法は 3.1.2 節で述べたのと同様である。

4 章 実証分析

4.1 データについて

各データの定義とデータ出典を表 4.1 に示す。本研究では全国貨物純流動調査（物流センサス）の個表データから貨物運賃 P_{ij} 、貨物重量 q 、輸送時間 t_{ij} のデータを取得した。本データの所要時間 t_{ij} は貨物の積み込み、積み卸し、運転手の休憩時間等を含んでいると考えられる。

2015 年に行われた物流センサスでは国内に所在する鉱工業、卸売業、倉庫業に携わる 584841 の事業所から無作為抽出された 64917 の事業所を対象に実施された。データ回収率は 36.5%、16063 の事業所から回答があり、この結果約 90 万件の輸送データを得ることができた。データは 3 日間の調査期間内に対象事業所から出荷された貨物の商品種類、重量、出荷先、輸送手段、経路、運送に要した時間、時間指定の有無、運賃、出荷元及び出荷先の業種、輸送に使用した主な手段等のデータを含んでいる。さらに我々は別のデータから二地点間の最短運送経路の距離及び高速道路料金、トラック運送企業の数やトラック台数といったデータを入手した。最短経路の距離 d_{ij} 、最短所要時間 t_{ij}^N は国土交通省が提供する総合交通分析システム（NITAS）を利用して計算を行った。NITAS は自動車、鉄道、船舶、空路といった交通手段を用いた場合それぞれについて、ネットワーク上の任意の 2 地点間の最短経路、所要時間、費用を計算するために開発されたシステムである。NITAS では最短距離、最短所要時間、最低費用といった様々な条件で最適経路を探索することができる。本研究では NITAS を用いて国内 1916 の地方自治体の全組み合わせについて自動車を用いた場合の最短時間経路とその所要時間を高速道路を使用した場合、しなかった場合の双方について計算した。

表 4.2 で実際の所要時間 t_{ij} と最短所要時間 t_{ij}^N を比較している。 t_{ij} の平均値と中央値はそれぞれ 5.48 時間、3 時間となっている。一方で t_{ij}^N の平均値と中央値は 2.72 時間、1.67 時間

表 4.1. 変数の定義と出典

変数	単位	定義	出典
P_{ij}	円	貨物運賃 (被説明変数)	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
t_{ij}	時間	輸送時間 (被説明変数)	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
H_{ij}		高速道路経由の際に1, そうでない時0をとるダミー変数	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
t_{ij}^N	時間	最短経路の所要時間	国土交通省作成 総合交通分析システム (NITAS)
$\sigma_k^2(t_{ij})$	時間 ²	距離帯 (1km 単位) の所要時間の分散	国土交通省作成 総合交通分析システム (NITAS)
q_{ij}	トン	貨物の非集計重量	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
d_{ij}	km	OD 間距離	国土交通省作成 総合交通分析システム (NITAS)
$e(q, s^0)$	l/km	燃料効率性 $e(q, s^0) = \begin{cases} 0.107, & \text{if } q < 1 \\ 0.162, & \text{if } 1 \leq q < 2 \\ 0.218, & \text{if } 2 \leq q < 4 \\ 0.264, & \text{if } 4 \leq q < 6 \\ 0.296, & \text{if } 6 \leq q < 8 \\ 0.324, & \text{if } 8 \leq q < 10 \\ 0.346, & \text{if } 10 \leq q < 12 \\ 0.382, & \text{if } 12 \leq q < 17 \end{cases}$	国土交通省 自動車燃費一覧
r^H	円	高速道路料金 $r_i^H = (1\text{km 当たり料金} \times \text{走行距離} \times \text{車種間比率} \\ \times \text{長距離通減率} + 150) \times 1.08 \times \text{ETC 割引}(=0.84)$ *1km 当たり料金=24.6 yen/km *r車種間比率e ⇒ 1.0 ($q \leq 2$), 1.2 ($2 < q < 5$), 1.65 ($5 \leq q$) *長距離通減率 ⇒ 1.0 if $d_{ij} \leq 100$ $(100\text{km} \times 1.0 + (d_{ij} - 100\text{km}) \times (1 - 0.25))/d_{ij}$ if $100 < d_{ij} \leq 200$ $(100\text{km} \times 1.0 + 100\text{km} \times (1 - 0.25) + \\ (d_{ij} - 200\text{km}) \times (1 - 0.30))/d_{ij}$ if $200 < d_{ij}$	東日本高速道路株式会社
r^X	円	2015年10月時点の軽油の都道府県別一般小売価格	石油情報センター 月次調査
Border dummy (Z_1)		OD が隣接自治体のときに1, それ以外のときに0をとるダミー変数	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
$\frac{Q_i}{\text{trucks}}$ (Z_2)		$\frac{\text{地域 } i \text{ 発貨物の総重量}}{\text{トラック台数}}$	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査) 貨物自動車運送事業 車両数

表 4.1. 変数の定義と出典（続き）

変数	単位	定義	出典
<i>imb</i> (Z_3)		出荷量と入荷量の比率 $imb = \frac{\text{出荷貨物の総重量}}{\text{入荷貨物の総重量}}$	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
<i>num truck firms</i> (Z_4)		地域人口 1000 人当たり貨物業者数	国土交通省 貨物自動車運送事業者数 総務省 国勢調査
<i>Tokyo_Osaka dummy</i>		東京都または大阪府を OD に含む時 1, そうでない時 0 をとるダミー変数	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
<i>Hokkaido dummy</i>		OD がともに北海道内であるとき 1, そうでない時 0 をとるダミー変数	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)
<i>Shipping commodity dummy</i>		8 種類の商品について固有のダミー変数を設定し, それぞれを <i>AFP dummy</i> , <i>FP dummy</i> , <i>MP dummy</i> , <i>MM dummy</i> , <i>CH dummy</i> , <i>LI dummy</i> , <i>MMA dummy</i> , <i>SG dummy</i> とした。 <i>MM dummy</i> はベースラインである。 例えば貨物の種類が農水産品のとき <i>AFP dummy</i> = 1, そうでないとき <i>AFP dummy</i> = 0. 分類の詳細は付録 1 を参照のこと。	国土交通省実施 2015年度物流センサス (3日間調査)

となっている。 t_{ij} の平均値は t_{ij}^N と比べて 2 倍以上大きな値となっているほか, 企業や輸送によるばらつきがより大きいことが観察される。これは t_{ij} には運転時間のみではなく, 積み込み, 積み卸し, 休憩等の時間が含まれているためである。また, t_{ij}, t_{ij}^N の変動係数はそれぞれ 1.389, 1.081 となった。このことから t_{ij} は t_{ij}^N と比較してばらつきが大きいことがわかる。

$\sigma_k^2(t_{ij})$ は時間指定ありのモデルで用いる所要時間の分散である。我々はバンド幅が輸送距離 $\pm 3\text{km}$ のローリング推定を行い, 1km から 1642km まで 1km おきに各距離における分散を推定した。

燃料価格 r_i^X には石油情報センターが提供している 2015 年 10 月の平均軽油価格を用いた。速度 s^0 で走行するトラックの 1km あたり燃料消費量を次のように特定化した。

なお単位は L/km である。

$$e(q, s^0) = \begin{cases} 0.107, & \text{if } q < 1 \\ 0.162, & \text{if } 1 \leq q < 2 \\ 0.218, & \text{if } 2 \leq q < 4 \\ 0.264, & \text{if } 4 \leq q < 6 \\ 0.296, & \text{if } 6 \leq q < 8 \\ 0.324, & \text{if } 8 \leq q < 10 \\ 0.346, & \text{if } 10 \leq q < 12 \\ 0.382, & \text{if } 12 \leq q < 17 \end{cases}$$

この式の特定化にあたって国土交通省の「自動車燃費一覧」を参考にした。推定を行うには, これに加えて高速道路を使用した場合の燃焼消費の節約割合 θ の値が必要である。我々

表 4.2. 記述統計

	Obs.	Mean	Median	S.D.	Min.	Max.
P	41294	37064.15	22000.00	74328.80	100.00	4174000.00
t	57613	5.48	3.00	7.61	1.00	117.00
H	54520	0.44	0.00	0.50	0.00	1.00
t^N	52748	2.72	1.67	2.94	0.01	32.87
$\sigma_k^2(t_{ij})$	57613	20.19	9.20	33.15	0.12	562.21
$\frac{\sigma_k(t_{ij})}{k} \Big _{H=1}$	33137	0.016	0.011	0.012	0.006	0.239
$\frac{\sigma_k(t_{ij})}{k} \Big _{H=0}$	47024	0.017	0.011	0.014	0.006	0.169
q	57613	3.95	2.27	4.11	0.00	16.00
d_{ij}	57613	138.47	69.00	170.33	1.00	1537.00
$e(q, s^0)$	57613	5.74	4.58	2.56	2.62	9.32
r_i^H	55718	4731.52	2328.23	5726.26	142.04	53379.91
r_i^x	57613	110.58	110.60	3.97	103.00	123.60
<i>Border dummy</i> (Z1)	57613	0.67	1.00	0.47	0.00	1.00
Q_i/num_trucks (Z2)	57613	11.19	10.61	4.46	3.17	34.34
<i>imb</i> (Z3)	57613	1.48	1.00	7.60	0.02	718.90
<i>num truck firms_i</i> (Z4)	57613	0.46	0.43	0.13	0.22	0.96
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	57613	0.15	0.00	0.35	0.00	1.00
<i>Hokkaido dummy</i>	57613	0.02	0.00	0.13	0.00	1.00
<i>AFP dummy</i>	57613	0.05	0.00	0.22	0.00	1.00
<i>FP dummy</i>	57613	0.00	0.00	0.06	0.00	1.00
<i>MP dummy</i>	57613	0.02	0.00	0.13	0.00	1.00
<i>MM dummy</i>	57613	0.39	0.00	0.49	0.00	1.00
<i>CH dummy</i>	57613	0.24	0.00	0.43	0.00	1.00
<i>LI dummy</i>	57613	0.16	0.00	0.37	0.00	1.00
<i>MMA dummy</i>	57613	0.08	0.00	0.27	0.00	1.00
<i>SG dummy</i>	57613	0.05	0.00	0.21	0.00	1.00

はこの値を $\theta = 0.3$ とした。これは Konishi ほか (2012) と同様、Oshiro ほか (2001) の実証分析の結果に基づいて設定した値である。

高速道路料金 $r^H(q, d)$ は東日本高速道路株式会社の資料を参考に次のように特定化する。

$$r^H(q, d) = \begin{cases} 0.84 \times (150 + 24.6d) \times 1.08 & \text{if } q < 2 \\ 0.84 \times (150 + 1.2 \times 24.6d) \times 1.08 & \text{if } 2 \leq q < 5 \\ 0.84 \times (150 + 1.65 \times 24.6d) \times 1.08 & \text{if } q \geq 5 \end{cases}$$

上式は高速道路料金の基本式である。2 トン未満の自動車には 1km あたり 24.6 円の通行料金が適用され、それ以上の自動車ではこれに 1.2 から 1.65 までの車種間比率を乗じる。加えて 100km から 200km の距離に対しては 25%、200km 以上の距離帯については 30%の割引が適用される。また、電子料金收受システム (ETC) を利用した際には 16%の割引が適用される。また調査期間中、高速道路料金には 8%の消費税率が適用されていた。実際に料金を算出する際にはこれらを考慮して計算を行った。

説明変数 Z は理論モデルには含まれてないが価格に影響を及ぼす説明変数である。特に本研究では隣接都道府県ダミー(Z_1)、発地の出荷トン数(Q_i)を発地に所在するトラック台数 (*trucks*)で割った値 $\frac{Q_i}{truck}$ (Z_2)、地域*i* から*j*への輸送重量(Q_{ij})と地域*j*から*i*への輸送重量(Q_{ji})の比 $imb = \frac{Q_{ij}}{Q_{ji}}$ (Z_3)、発地の人口 1000 人あたり運送業者数(Z_4)を用いた。 Q_i, Q_{ij} には国土交通省が物流センサスの調査結果をもとに推定し、ウェブサイト¹¹で公開している都道府県間貨物流動量のデータを使用した。なお、 $P_{ij}, t_{ij}, t_{ij}^N, H_{ij}, q_{ij}, d_{ij}, \sigma_k^2(t_{ij})$ のデータは市町村レベルであるのに対して、 $r_i^X, r^H, \frac{Q_i}{trucks}$ (Z_2)、 $imb = \frac{Q_{ij}}{Q_{ji}}$ (Z_3)、発地の人口 1000 人あたり運送業者数(Z_4)は都道府県レベルのデータである。

本研究ではこのほかに特に混雑による定時性の低下が大きいと考えられる東京都、大阪府を発地または着地とする場合に 1 をとるダミー変数を導入した分析も行った。また混雑が他の地域と比べて少なく、走行速度も速いと考えられる北海道内の輸送で 1 をとるダミー変数を導入したモデルも検討した。輸送品目の違いが運賃に及ぼす影響についても分析を行うために産業別のダミー変数も導入している。推定に用いた変数の記述統計を表 4.2 に記載している。

分析に用いるデータセットを作成するにあたり次のような操作をおこなった。: [1] 貸切トラックによる輸送のみに注目しているので道路交通のみで結ばない二地点を発着地とするサンプルは除外する。北海道や沖縄から他地域への貨物などが該当する。[2] 貨物運賃 P_{ij} に高速道路の使用が及ぼす影響を正確に反映させるため、全区間で高速道路を経由している、または全区間で一般道を経由しているものにサンプルを限定する。[3] 本研究では単一の貨物

¹¹ https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_fr_000074.html

を1台のトラックが運ぶという状況を想定しているが日本の法令では1台のトラックが運べる貨物の重量は16トンが上限である。そのため輸送重量の回答が16トン以上となっているサンプルは除外する。[4] 平均輸送速度が100km/hより大きなサンプルは除外する。[5] 主な輸送手段が貸切トラックであるサンプルのみを抽出する。[6] 本研究は中長距離の輸送が分析対象であるため同一市区町村内でODが完結する輸送は除外する。[7] 価格 P_{ij} の回答がないサンプルは除外する。

以上の操作をおこなった結果、分析に用いるサンプルの大きさは57613となった。

4.2 推定結果

4.2.1 高速道路選択モデル

高速道路選択のプロビットモデルの推定結果を表4.3に示す¹²。各説明変数について予想と同様の符号の有意な推定結果が得られた。一般道経由と高速道路経由の最短所要時間の差($t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}$)の係数は時間指定あり、なしの場合共に有意に正の値となり、 η_1 の推定値はそれぞれ0.231, 0.187となった。このパラメータは運転手の賃金やトラックの機会費用といった時間に依存する費用の大きさを表している。 η_2 は高速道路経由と一般道経由とで生じる金銭費用の差の係数である。金銭費用は燃料費と高速道路料金の合計である。高速道を使用すると通行料金が発生するが燃料費は減少する。そのため我々は係数の推定値は正になると予測し、実際に正の推定値が得られた。 η_3 は $d50_dummy$ の係数である。このダミー変数は輸送距離が50km以下のとき1、それ以外で0をとる。輸送距離が長いほど高速道路を使用する傾向があると考えられるため、我々はこの係数は負の値を取ると予測した。実際に得られた推定値は有意に負の値となった。

時間指定ありの輸送に関しては説明変数に一般道経由と高速道路経由それぞれの所要時間の分散の差を加えている。実際の観察から一般道と比べて高速道路の方が所要時間の分散は小さくなる。時間指定ありの輸送においては所要時間の不確実性を回避する傾向があると予想されることから、分散の差が大きいほど高速道路を使用する傾向があると考えられる。実際に係数 η_4 の推定値は予想通り有意に正の値となった。

定数項 η_0 は時間指定なしのサンプルでは有意に負の推定値が得られた。これは高速道路を使用した場合としてない場合とで金銭費用や最短所要時間が等しい場合でも運送業者は一般道を好む傾向があることを示唆する。

¹² 付録4-1では配送日のみ指定したもの、午前、午後のみ指定のサンプルについても推定をおこなっている。

表 4.3. 経路選択(H)

<i>Dependent var. H</i>	No time designation	Time designation
$t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}$ (η_1)	0.187*** (0.015)	0.231*** (0.009)
$r_i^X e(q, s^0) (d_{ij}^0 - d_{ij}(1 - \theta)) - r^H(q, d_{ij}^1)$ (η_2)	0.0000202** (0.000)	0.0000224*** (0.000)
<i>d50_dummy</i> (η_3)	-0.997*** (0.053)	-0.449*** (0.024)
$\sigma_{k,H=0}^2(t_{ij}) - \sigma_{k,H=1}^2(t_{ij})$ (η_4)		0.00188** (0.001)
<i>Constant</i> (η_0)	-0.0839** (0.031)	-0.0281 (0.015)
Observations	6162	24047
Pseudo R^2	0.115	0.065

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

4.2.2 輸送時間関数

輸送時間関数(3.6)の推定結果を表 4.4 に示す¹³。本研究では変数 $\delta^{\bar{q}}$, δ^{T^S} を作成するにあたり閾値 \bar{q} , T^S の複数の値の組み合わせ¹⁴ について推定を行い決定係数が最大となるものを採用した。その結果時間指定なしの場合では $(\bar{q}, T^S) = (1, 12)$, 時間指定ありの場合では $(\bar{q}, T^S) = (6, 10)$ となった。なお $\delta^{\bar{q}}$ は貨物の重量が閾値 \bar{q} 以上のときに 1 を, そうでないときに 0 をとるダミー変数, δ^{T^S} は t_{ij}^N が閾値 T^S 未満のときに 1 を, そうでないときに 0 をとるダミー変数である。

¹³ 付録 4-2 では配送日のみ指定したもの, 午前, 午後のみ指定のサンプルについても推定をおこなっている。

¹⁴ $\bar{q} = 1, 2, \dots, 16(t)$ それぞれについて $T^S = 1, 2, \dots, 32$ (時間) として各組み合わせについて推定を行った。

表 4.4. 輸送時間 (t_{ij})

<i>Dependent var. t_{ij}</i>	No time designation	Time designation
$\delta^t \hat{t}_{ij}^N + t^s - \delta^t t^s$ (κ_1)	1.132*** (0.044)	1.060*** (0.025)
$(1 - \delta^t) (\hat{t}_{ij}^N - t^s)$ (κ_3)	3.936*** (0.213)	2.277*** (0.077)
$\delta^{\bar{q}}$ (κ_4)	-0.521 (0.268)	-0.714*** (0.135)
$\delta^{\bar{q}} \hat{t}_{ij}^N$ (κ_5)	0.366*** (0.052)	0.106*** (0.028)
$\sigma_k^2(t_{ij})$ (κ_6)		0.0382*** (0.002)
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	1.010*** (0.205)	0.200* (0.101)
<i>Hokkaido dummy</i>	-0.622 (0.559)	-1.125*** (0.290)
<i>AFP dummy</i> (D_1)	-1.319*** (0.354)	-2.377*** (0.213)
<i>FP dummy</i> (D_2)	-0.760 (0.652)	1.688 (1.348)
<i>MP dummy</i> (D_3)	-1.612** (0.620)	-2.425*** (0.404)
<i>CH dummy</i> (D_5)	-0.497** (0.185)	-0.999*** (0.099)
<i>LI dummy</i> (D_6)	-1.090*** (0.306)	-1.187*** (0.103)
<i>MMA dummy</i> (D_7)	0.0430 (0.341)	1.228*** (0.137)
<i>SG dummy</i> (D_8)	-1.646** (0.572)	-1.912*** (0.184)
<i>Constant</i> (κ_0)	1.880*** (0.254)	2.378*** (0.089)
Observations	6162	24047
R^2	0.410	0.447
Adjusted R^2	0.409	0.446

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

注: $\delta^{\bar{q}}$ は貨物重量が \bar{q} より大きいとき 1, それ以外の時 0 をとる。 δ^t は \hat{t}_{ij}^N が T^s 未満のとき 1 をそうでないとき 0 を取るダミー変数である。

本研究では時間指定なしの場合では $T^s = 12, \bar{q} = 1$, 時間指定ありの場合では $T^s = 10, \bar{q} = 6$ をそれぞれ採用した。

最短運転時間 t_{ij}^N の係数 κ_1 は有意に正の推定値が得られた。 κ_1 の推定値は時間指定ありのサンプルで 1.060, 時間指定なしのサンプルで 1.132 となり, 時間指定ありの場合の方が小さな推定値となった。これは時間指定ありの輸送では時間指定なしの場合と比較して待機等に要する時間が占める割合が大きいためと考えられる。また, 時間指定あり, なし双方の場合で $\kappa_3 > \kappa_1$ となった (時間指定ありの場合 $(\kappa_1, \kappa_3) = (1.060, 2.277)$, 時間指定なしの場合 $(\kappa_1, \kappa_3) = (3.936, 1.132)$)。これにはトラックドライバーの休憩に関する法令¹⁵ が影響していると考えられる。重量ダミーの係数のうち κ_4 は定数部分, $\kappa_5 \hat{t}_{ij}$ は輸送時間に比例する部分を表している。貨物重量の大きなサンプルほど輸送速度が低下すると考えられるため, 我々は当初 κ_4, κ_5 は共に正の値となることを予測していた。ところが予想に反して κ_4 の推定値は有意に負の値となった。この要因には貨物の重量が大きい場合では積み込み, 積み卸しの自動化が進んでいる傾向があることなどが考えられる。 κ_6 は時間指定ありのサンプルの分析でのみ考慮されている。我々は本研究においてローリング推定によって輸送時間の分散を推定した。時間指定がある場合, 所要時間の不確実性が大きいほど運送業者は余裕時分を長く取ると考えら得ることから κ_6 は正になると考えた。実際に推定値は有意に正の値となった。

本研究では東京都または大阪府を発地または着地とする場合に 1 をとるダミー変数 *Tokyo_Osaka dummy* も説明変数に加えて分析を行った。他地域と比べて混雑が激しく輸送速度が低下すると考えられるため我々はこの変数の係数は正になると考えた。実際に時間指定あり, なし双方とも推定値は有意に正の値となった。また, 反対に混雑が少ないと考えられる北海道内を発着するサンプルでのみ 1 をとる *Hokkaido dummy* も説明変数に加えている。この変数の係数についても予想通り有意に負の推定値が得られた。

輸送する商品の種類が所要時間に及ぼす影響を調べるために本分析では商品の分類に合わせて 8 つのダミー変数を導入した。なお分析のベースラインとなる商品種類は金属・機械工業品である。時間指定なしの場合では林産品, 雑工業品の係数は有意とはならなかったがそのほかの種類については有意に負の推定結果が得られた。時間指定ありの場合では林産品の係数は有意とはならなかったが軽工業品については 1.228 と有意に正の推定値が得られた。他の商品種類に関して推定値は有意に負の値となった。

4.2.2 貨物運賃関数

式(3.7)の推定結果を表 4.5¹⁶ に示す。内生性をコントロールするため, 説明変数 $\hat{H}, \hat{t}_{ij}^N, \hat{t}_{ij}$ の

¹⁵ ドライバーは 1 日につき 13 時間以上運転することを禁止されている。また, 長時間の運送を行う際には 4 時間につき 30 分以上の休憩を取ることが義務付けられている。

¹⁶ 付録 4-3 では配送日のみ指定したもの, 午前, 午後のみ指定のサンプルについても推定をおこなっている。

表 4.5. 貨物運賃 (P_{ij})

<i>Dependent var. P_{ij}</i>	No time designation	Time designation
\hat{t}_{ij}	-4587.5***	-1076.9**
(β_1)	(1152.799)	(397.650)
$\ln(q\hat{t}_{ij})$	5874.3***	7356.6***
(β_2)	(1059.096)	(320.957)
$r_i^* d_{ij} e^{(q \cdot s^0)} (1 - \theta \hat{H}) + r^H(q, d_{ij}) \hat{H}$	4.118***	2.376***
(β_3)	(0.544)	(0.123)
$(\hat{t}_{ij} - \hat{t}_{ij}^N)^2$	93.61	28.54**
(β_4)	(63.821)	(9.548)
$\sigma_k^2(t_{ij})$		72.81*
(β_5)		(30.782)
Z_1	-5835.0	5520.4***
(γ_1)	(4641.487)	(1109.373)
Z_2	-324.0	-178.3
(γ_2)	(359.769)	(100.664)
Z_3	-15.46	-278.7
(γ_3)	(69.426)	(167.354)
Z_4	-2938.3	6512.7*
(γ_4)	(14188.118)	(3191.171)
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	-2690.8	7072.2***
	(4351.320)	(1116.525)
<i>Hokkaido dummy</i>	-11861.4	-2203.0
	(11641.611)	(3260.891)
<i>AFP dummy</i>	-4286.6	-13966.2***
(DP_1)	(7460.995)	(2504.802)
<i>FP dummy</i>	-15288.2	-11871.1
(DP_2)	(13156.736)	(14384.194)
<i>MP dummy</i>	-17956.0	-27347.8***
(DP_3)	(12602.748)	(4482.945)
<i>CH dummy</i>	2773.0	-15493.1***
(DP_5)	(3759.294)	(1138.846)
<i>LI dummy</i>	-5933.6	-10469.2***
(DP_6)	(6414.522)	(1239.557)
<i>MMA dummy</i>	9899.3	-8048.0***
(DP_7)	(6853.963)	(1553.926)
<i>SG dummy</i>	2068.8	-18522.0***
(DP_8)	(11690.520)	(2130.867)
<i>Constant</i>	27631.4*	14955.4***
β_0	(11817.740)	(3233.320)
Observations	6162	24024
R^2	0.060	0.209
Adjusted R^2	0.057	0.209

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

計算には表 4.3, 4.4 の結果を利用した。

時間指定あり，なしの場合双方で \hat{t}_{ij} の係数 β_1 の推定値は有意に負の値となった。この項には 3 章で述べたように賃金やトラックのレントを通じた影響と努力投入の量を通じた影響が含まれている。前者の 2 つは運賃に対して正の影響を及ぼすが，後者は負の影響を及ぼすと考えられる。推定値は時間指定ありの場合で -1076，指定なしの場合で -4587.5 と有意に負の値となった。よって後者の影響が支配的であると考えられる。 β_2 はトラックのレントに関する係数である。トラックが大きいほどレントは大きくなるはずであり，実際に β_2 の推定値は両方の場合で有意に正の値になった。 β_3 は高速道路料金と燃料費の合計の係数であり，有意に正の推定量が得られた。 $(\hat{t}_{ij} - \hat{t}_{ij}^N)^2$ の係数もまた正の値を取ることが期待される。実際に推定値は正の値となったが，時間指定ありの場合のみで有意となり，時間指定なしの場合では有意とならなかった。 \hat{t}_{ij} を \hat{t}_{ij}^N に近づけるためにはより多くの努力投入を必要とする。輸送技術の向上は最短所要時間 t_{ij}^N を減少させるため必要な努力投入量は減少する。 β_5 は時間指定ありの場合の推定のみに含まれる所要時間の分散の係数である。不確実性が大きいほど時間通りに配送するコストは上昇すると考えられるため， β_5 は正の値であると考えられる。実際に有意に正の推定量が得られた。

この分析ではいくつかのコントロール変数を導入した。 *Border dummy* は輸送の OD が隣接地域である場合に 1 をとるダミー変数である。推定結果は有意とはならなかった。市場競争の程度を表す代理変数として地域のトラック 1 台あたり発送件数 $\left(\frac{Q_i}{trucks}\right)$ と都道府県人口 1000 人当たり運送業者数 (*num truck firms*) を使用した。時間指定あり，なし双方の場合で $\frac{Q_i}{trucks}$ の係数の推定結果は非有意な負の値となった。 *num truck firms* の係数は時間指定ありの場合で有意に正の推定量が得られた。

また表 4.4 の場合と同様に運賃関数においても *Tokyo_Osaka dummy* 及び *Hokkaido dummy* を含めて分析を行った。 *Tokyo_Osaka dummy* の係数は時間指定ありの場合について有意に正の推定結果が得られた。

商品の種類が運賃に及ぼす影響を調べるために表 4.4 の場合と同様に商品の種類を表すダミー変数を設定した。時間指定なしの場合では有意な推定結果は得られなかったが時間指定ありの場合では全ての変数について有意に負の値が得られた。

4.3 時間指定， 輸送時間と貨物運賃

理論分析では、時間指定なしの場合と比べて時間指定ありの場合に，運送業者は遅延ペナルティを回避するために輸送時間を長く設定することが示された。しかしながら時間指定あ

りの場合の運賃がより高くなるのかは明らかではない。この点に関して実証分析の結果を用いて分析を行う。

推定結果を用いて時間指定あり、なし双方の場合における輸送時間と運賃を計算したものを表 4.6 に示す。貨物の輸送距離と貨物重量についてはそれぞれの 10%, 30%, 50%, 70%, 90% の各分位点周辺の値を選んで計算を行った。また特定地域発着のダミー変数、商品種類のダミー変数は全て 0 として計算している。計算結果からは時間指定ありの場合の方が時間指定なしの場合と比べて輸送時間が長い傾向があることがわかる。これは理論分析の結果と整合的である。一方で運賃については理論が示すように傾向が明らかにはならなかった。比較的短距離の輸送では時間指定ありの場合の方が指定なしの場合と比べて安価であるが、距離が伸びると関係は逆転する。長距離の輸送では遅延回避のために確保すべき余裕時分が長くなるため、それが運賃にも反映されていると考えられる。荷主は、定時性確保のためにより高い運賃を受け入れる可能性があり、時間指定の有無による運賃の差は定時性への支払意思額と捉えることができる。この値は時間信頼性価値の代替的な指標と考えることができる。例えば 2 トンの貨物を 360km 先の目的地まで輸送する場合を考えると表 4.6 から時間指定の有無で金額の差は 11403 円となる。これは時間指定なしの運賃の 20%以上に相当する額である。

表 4.6. 所要時間， 運賃と時間指定の有無

<i>q</i> (km)	<i>d</i> (ton)	Transport time			Freight Charge		
		<i>Time designation</i>	<i>No time designation</i>	<i>Difference</i>	<i>Time designation</i>	<i>No time designation</i>	<i>Difference</i>
0.10	20.00	3.07	2.61	0.46	4136.17	9419.28	-5283.11
0.10	40.00	3.56	3.11	0.46	5712.25	9418.68	-3706.44
0.10	70.00	4.39	3.61	0.78	8952.57	11859.14	-2906.57
0.10	140.00	6.39	4.87	1.53	14932.43	13773.48	1158.94
0.10	360.00	10.69	8.67	2.02	26990.14	18623.33	8366.81
1.00	20.00	3.07	2.61	0.46	21337.79	23427.04	-2089.25
1.00	40.00	3.56	3.11	0.46	23175.09	23907.49	-732.40
1.00	70.00	4.39	3.61	0.78	26753.35	26894.56	-141.21
1.00	140.00	6.39	4.87	1.53	33576.91	30309.23	3267.69
1.00	360.00	10.67	8.66	2.02	48192.94	39707.55	8485.40
2.00	20.00	3.07	2.33	0.74	26779.00	28584.88	-1805.89
2.00	40.00	3.56	2.98	0.58	28959.94	29376.66	-416.72
2.00	70.00	4.39	3.65	0.74	33128.56	33053.61	74.95
2.00	140.00	6.40	5.31	1.08	41196.42	37359.04	3837.37
2.00	360.00	10.69	10.34	0.34	59615.93	49046.22	10569.70
5.00	20.00	3.07	2.33	0.74	33890.64	34485.99	-595.35
5.00	40.00	3.56	2.98	0.58	36446.49	35797.53	648.96
5.00	70.00	4.39	3.66	0.74	41423.97	41055.68	368.28
5.00	140.00	6.40	5.32	1.08	50989.37	47798.28	3191.09
5.00	360.00	10.74	10.41	0.33	73983.80	67011.83	6971.97
10.00	20.00	2.42	2.33	0.09	38262.47	39287.62	-1025.15
10.00	40.00	2.96	2.98	-0.02	41548.18	41328.88	219.30
10.00	70.00	3.84	3.66	0.19	47357.32	47421.87	-64.55
10.00	140.00	5.96	5.32	0.64	58549.93	56459.04	2090.90
10.00	360.00	10.63	10.38	0.25	85635.27	82691.54	2943.73

このことは、荷主が貨物輸送の定時性に対し相当高い支払意思を持つことを示唆している。

5章 おわりに

本研究では貨物運賃と輸送時間が輸送市場での取引を通じて決定されるモデルを構築した。本研究の主な特徴は時間指定がある場合、ない場合双方の契約について検討した点にある。また我々は2015年度物流センサスのデータを用いて貨物運賃関数、高速道路選択モデル、及び輸送時間関数の推定を行った。推定結果からは所要時間の不確実性が貨物輸送の期待所要時間や輸送費用を上昇させるという理論的帰結が実際に成り立っていることを確かめることができた。運送業者は時間指定ありの場合、配送により長い時間をかける。また我々は時間指定の有無による貨物運賃の差額という新たな信頼性価値の指標を提案した。この指標は輸送の定時性を評価した値であるといえる。

参考文献

- Bergkvist, E. and L. Westin (2001), “Regional valuation of infrastructure and transport attributes for Swedish road freight”, *The Annals of Regional Science*, Vol. 35, No.4, pp. 547-560.
- Burke, W Jackson and James V Jucker (1982) “An empirical study of travel time variability and travel choice behavior”, *Transportation Science*, Vol. 16, No. 4, pp. 460-475
- Fosgerau, Mogens and Anders Karlström (2010) “The value of reliability”, *Transportation Research, Part B: Methodological*, Vol. 44, No.1, pp. 38-49.
- Kawamura, K. (2000) “Perceived Value of Time for Truck Operators,” *Transportation Research Record* 1725, No.1, pp.26-30.
- Konishi, Y, Mun, S., Nishiyama, Y. and Sung, J.(2012) “Determinants of Transport Costs for Inter-regional Trade,” *Discussion papers 12-E-016*, Research Institute of Economy, Trade and Industry(RIETI).
- Konishi, Y, Mun, S., Nishiyama, Y. and Sung, J. (2014), “Measuring the Value of Time in Freight Transportation” *Discussion papers 14-E-004*, Research Institute of Economy, Trade and Industry(RIETI).
- Massiani, J. (2008) “Can we use Hedonic pricing to estimate freight value of time?,” *ERRI Research Paper Series from Economics and Econometrics Research Institute*
- Noland, Robert B and Kenneth A Small (1995) “Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes”, *Transportation research record*, Vol. 1493, pp.150-158.
- Rosen, S.(1974) “Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition”, *Journal of Political Economy*, Vol. 82, No.1, pp.34-55.
- Shams, Kollol, Hamidreza Asgari, and Xia Jin (2017) “Valuation of travel time reliability in freight transportation: A review and meta-analysis of stated preference studies”, *Transportation Research Part A:*

- Policy and Practice*, Vol. 102, pp. 228–243.
- Small, K. A.(2012) "Valuation of travel time", *Economics of Transportation*, Vol.1,No.1-2, pp.2-14
- Zamparini, L. and A. Reggiani (2007)" Freight Transport and the Value of Travel Time Savings: A Meta-analysis of Empirical Studies", *Transport Reviews*, Vol27,No.5, pp.621–636.
- 大城温, 山本昌弘, 松下雅行, 並河良治, 大西博之 (2001)「将来の自動車排出ガス低減による大気質改善効果」, 『環境工学研究フォーラム講演集』第 38 号, pp.112~114
- 全日本トラック協会 (2007)「トラック輸送産業の現状と課題—平成 19 年—」全日本トラック協会
- 国土交通省, 交通経済統計要覧
- 国土交通省 (2015), 「2015 年調査全国貨物純流動調査 (物流センサス)」
- 総務省統計局 (2015), 「2015 年度社会生活統計資料」

付録 1. 商品の分類

分類	商品
農水産品 (AFP dummy)	麦、米、雑穀・豆（とうもろこし、大豆等）、野菜・果物、羊毛、その他の畜産品（牛肉、鶏卵、ペット動物等）、水産品（魚介類、海草等）、綿花、その他の農産品（花き、葉たばこ、さとうきび、芝生など）
林産品 (FP dummy)	原木（製材用原木、丸太等）、製材、薪炭、樹脂類（天然ゴム等）、その他の林産品（木材チップ、苗木等）
鉱産品 (MP dummy)	石炭、鉄鉱石、その他の金属鉱（マンガン鉱、銅鉱等）、砂利・砂・石材、原油・天然ガス、りん鉱石、石灰石、原塩（岩塩等）、その他の非金属鉱物（けい砂、陶土、耐火粘土等）
化学工業品 (CH dummy)	セメント、生コンクリート、セメント製品、ガラス・ガラス製品、陶磁器（タイル、浴槽等）、その他の窯業品（レンガ、瓦、耐火ボード等）、重油、揮発油、その他石油（灯油、潤滑油等）、LNG・LPG、その他の石油製品（石油アスファルト等）、コークス、その他石炭製品（練炭等）化学薬品（無機工業薬品、高圧ガス等）、化学肥料、染料・顔料・塗料、合成樹脂、動植物性油脂（大豆油、ろうそく等）、その他の化学工業品（化粧品、医薬品、農薬、印刷インキ等）
軽工業品 (LI dummy)	パルプ、紙（板紙、段ボール原紙等）、糸（化学繊維糸、紡織半製品等）、織物（ニット生地、絹織物、漁網等）、砂糖、その他の食料工業品、飲料
金属機械工業品 (MM dummy)	鉄鋼（銑鉄、粗鋼、鋼管等）、非鉄金属（銅などの線材・板、電線ケーブル、光ファイバーケーブル等）、金属製品（鉄骨、サッシ、木工道具、鋳物等）、産業機械（ボイラ、エンジン、農業用機械、印刷機械、半導体製造装置、パルプ類等）、電気機械（発電機、家電製品、パソコン、IC等）、自動車、自動車部品、その他輸送機械（鉄道車両、自転車、フォークリフト等）、精密機械（計量器、時計、医療用機械等）、その他機械（事務用機器、自動販売機、温水暖房装置等）
雑工業品 (MMA dummy)	書籍・印刷物・記録物（新聞、書籍、記録済みDVD等）、がん具、衣服・身の回り品（下着、外衣、寝具、靴、カーペット、宝飾品等）、文房具・運動娯楽用品（筆記用具、紙製品、運動競技用品、楽器等）、家具・装備品（たんす、ベッド、キャビネット等）、その他の日用品（温水器、石油ストーブ、家庭用調理器具、食卓用品、その他日用雑貨）、木製品（合板、建具、新建材等）ゴム製品（タイヤ、ゴムホース等）、その他の製造工業品（皮革製品、医療用品等）
排出物（使用済み製品、循環資源、産業廃棄物） (EP dummy)	廃自動車、廃家電、金属スクラップ（有価の金属くず等）、金属製容器包装廃棄物（使用済み缶等）、使用済みガラスびん、その他容器包装廃棄物（使用済みのペットボトル・飲料用紙パック等）、古紙、廃プラスチック類、燃え殻（石炭がら等）、汚泥、鉱さい、ばいじん、その他の産業廃棄物（廃油、繊維くず、コンクリートくず、廃タイヤ等）
特殊品 (SG dummy)	動植物性飼肥料（牧草、配合飼料等）、金属製輸送用容器（コンテナ、ドラム缶等）、その他の輸送用容器（段ボール箱、木箱等）、取り合わせ品（各種商品積合せ等）

付録 2. 運送距離 d と貨物重量 q の分布

Statistics	No time designation		Time designation	
	d	q	d	q
Mean	138.6	4.357	138.4	3.831
Variance	29734.2	19.35	28800.4	16.102
Standard Deviation	172.4	4.399	185.5	4.013
p10	13.0	0.100	16.0	0.100
p30	34.0	1.000	38.0	0.974
p50	65.0	2.530	71.0	2.184
p70	141.0	6.000	142.0	5.000
p90	387.0	11.650	362.0	10.342

付録 3-1. 記述統計（時間指定なし）

	Obs.	Mean	Median	S.D.	Min.	Max.
P	8692	31519.81	16000.00	109406.20	100.00	4174000.00
t	13046	5.20	3.00	8.14	1.00	110.00
H	12158	0.36	0.00	0.48	0.00	1.00
t^N	11695	2.81	1.63	3.12	0.01	27.77
$\sigma_k^2(t_{ij})$	13046	19.66	7.23	31.64	0.12	373.95
q	13046	4.36	2.53	4.40	0.00	16.00
d_{ij}	13046	138.57	65.00	172.44	2.00	1241.00
$e(q, s^0)$	13046	5.58	4.58	2.58	2.62	9.32
r_i^H	12527	4613.77	2297.47	5522.57	142.04	40929.59
r_i^x	13046	110.69	110.60	4.15	103.00	123.60
<i>Border dummy</i> (Z1)	13046	0.68	1.00	0.47	0.00	1.00
$Q_i/\text{num.trucks}$ (Z2)	13046	11.04	10.08	4.81	3.17	34.34
<i>imb</i> (Z3)	13046	1.78	1.00	15.52	0.02	718.90
<i>num truck firms_i</i> (Z4)	13046	0.47	0.43	0.13	0.22	0.96
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	13046	0.14	0.00	0.35	0.00	1.00
<i>Hokkaido dummy</i>	13046	0.03	0.00	0.16	0.00	1.00
<i>AFP dummy</i>	13046	0.06	0.00	0.24	0.00	1.00
<i>FP dummy</i>	13046	0.01	0.00	0.11	0.00	1.00
<i>MP dummy</i>	13046	0.05	0.00	0.22	0.00	1.00
<i>MM dummy</i>	13046	0.29	0.00	0.45	0.00	1.00
<i>CH dummy</i>	13046	0.35	0.00	0.48	0.00	1.00
<i>LI dummy</i>	13046	0.08	0.00	0.28	0.00	1.00
<i>MMA dummy</i>	13046	0.05	0.00	0.22	0.00	1.00
<i>SG dummy</i>	13046	0.04	0.00	0.20	0.00	1.00

付録 3-1. 記述統計（時間指定あり）

	Obs.	Mean	Median	S.D.	Min.	Max.
P	32602	38542.32	24000.00	61615.11	100.00	2160000.00
t	44567	5.56	3.00	7.45	1.00	117.00
H	42362	0.46	0.00	0.50	0.00	1.00
t^N	41053	2.69	1.67	2.88	0.09	32.87
$\sigma_k^2(t_{ij})$	44567	20.34	10.56	33.58	0.12	562.21
q	44567	3.83	2.18	4.01	0.00	16.00
d_{ij}	44567	138.44	71.00	169.71	1.00	1537.00
$e(q, s^0)$	44567	5.78	4.58	2.55	2.62	9.32
r_i^H	43191	4765.67	2347.15	5783.61	142.04	53379.91
r_i^x	44567	110.55	110.60	3.91	103.00	123.60
<i>Border dummy</i> (Z1)	44567	0.67	1.00	0.47	0.00	1.00
$Q_i/\text{num.trucks}$ (Z2)	44567	11.23	10.61	4.36	3.17	34.34
<i>imb</i> (Z3)	44567	1.39	1.00	2.05	0.02	210.30
<i>num truck firms_i</i> (Z4)	44567	0.46	0.43	0.13	0.22	0.96
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	44567	0.15	0.00	0.35	0.00	1.00
<i>Hokkaido dummy</i>	44567	0.02	0.00	0.12	0.00	1.00
<i>AFP dummy</i>	44567	0.05	0.00	0.21	0.00	1.00
<i>FP dummy</i>	44567	0.00	0.00	0.04	0.00	1.00
<i>MP dummy</i>	44567	0.01	0.00	0.08	0.00	1.00
<i>MM dummy</i>	44567	0.42	0.00	0.49	0.00	1.00
<i>CH dummy</i>	44567	0.20	0.00	0.40	0.00	1.00
<i>LI dummy</i>	44567	0.18	0.00	0.39	0.00	1.00
<i>MMA dummy</i>	44567	0.09	0.00	0.28	0.00	1.00
<i>SG dummy</i>	44567	0.05	0.00	0.21	0.00	1.00

付録 4-1. 配達日指定, 午前午後指定のサンプルの経路選択 (H)

<i>Dependent var. H</i>	Time designation (day)	Time designation (AM/PM)
$t_{ij}^{N0} - t_{ij}^{N1}$ (η_1)	0.275*** (0.011)	0.202*** (0.011)
$r_i^X e(q, s^0) (d_{ij}^0 - d_{ij}(1 - \theta)) - r^H(q, d_{ij}^1)$ (η_2)	-0.00000692 (0.000)	0.0000119** (0.000)
<i>d50_dummy</i> (η_3)	-0.622*** (0.035)	-0.696*** (0.036)
$\sigma_{k,H=0}^2(t_{ij}) - \sigma_{k,H=1}^2(t_{ij})$ (η_4)	-0.000476 (0.001)	0.000915 (0.001)
<i>Constant</i> (η_0)	-0.442*** (0.021)	-0.0930*** (0.023)
Observations	14438	11295
Pseudo R^2	0.146	0.105

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

付録 4-2. 配達日指定, 午前午後指定のサンプルの輸送時間 (t_{ij})

	Time designation (day)	Time designation (AM/PM)
$\delta^t \hat{t}_{ij}^N + t^s - \delta^t t^s$	1.498***	1.375***
(κ_1)	(0.037)	(0.032)
$(1 - \delta^t) (\hat{t}_{ij}^N - t^s)$	2.784***	2.171***
(κ_3)	(0.120)	(0.108)
$\delta^{\bar{q}}$	-0.582*	-1.147***
(κ_4)	(0.250)	(0.216)
$\delta^{\bar{q}} \hat{t}_{ij}^N$	-0.231***	0.000483
(κ_5)	(0.049)	(0.040)
$\sigma_k^2(t_{ij})$	0.0233***	0.0173***
(κ_6)	(0.003)	(0.002)
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	0.306*	-0.305*
	(0.153)	(0.138)
<i>Hokkaido dummy</i>	-1.660*	-2.004***
	(0.672)	(0.457)
<i>AFP dummy</i>	-3.483***	0.708*
(D_1)	(0.251)	(0.295)
<i>FP dummy</i>	-2.058	-1.319
(D_2)	(1.122)	(1.021)
<i>MP dummy</i>	-1.828***	-1.303**
(D_3)	(0.534)	(0.505)
<i>CH dummy</i>	-0.475**	1.027***
(D_5)	(0.146)	(0.143)
<i>LI dummy</i>	-0.640**	0.691***
(D_6)	(0.196)	(0.160)
<i>MMA dummy</i>	-0.606**	-0.132
(D_7)	(0.189)	(0.188)
<i>SG dummy</i>	-2.119***	-1.333***
(D_8)	(0.344)	(0.292)
<i>Constant</i>	2.548***	1.898***
(κ_0)	(0.145)	(0.140)
Observations	14438	11295
R^2	0.392	0.466
Adjusted R^2	0.391	0.465

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

注: $\delta^{\bar{q}}$ は貨物重量が \bar{q} より大きいとき 1, それ以外の時 0 をとる。 δ^t は \hat{t}_{ij}^N が T^s 未満のとき 1 をそうでないとき 0 を取るダミー変数である。

午前午後指定の場合では $T^s = 10, \bar{q} = 6$, 日付指定の場合では $T^s = 11, \bar{q} = 9.5$ をそれぞれ採用した。

付録 4-3. 配送日指定, 午前午後指定のサンプルの運賃 (P_{ij})

<i>Dependent var. P_{ij}</i>	Time designation (day)	Time designation (AM/PM)
\hat{t}_{ij}	-2432.7***	-1408.0***
(β_1)	(236.801)	(257.819)
$\ln(q\hat{t}_{ij})$	5171.2***	5567.1***
(β_2)	(255.514)	(299.680)
$r^T d_{ij} e(q, s^0) (1 - \theta \hat{H}) + r^H(q, d_{ij}) \hat{H}$	2.497***	2.445***
(β_3)	(0.091)	(0.099)
$(\hat{t}_{ij} - \hat{t}_{ij}^N)^2$	31.57***	19.19*
(β_4)	(8.706)	(9.384)
$\sigma_k^2(t_{ij})$	148.9***	27.28
(β_5)	(25.263)	(19.949)
Z_1	-3087.2*	-1890.2
(γ_1)	(1219.170)	(1215.656)
Z_2	106.1	-65.32
(γ_2)	(109.728)	(100.184)
Z_3	88.53	247.2
(γ_3)	(50.330)	(155.923)
Z_4	3215.1	-5645.9
(γ_4)	(3261.672)	(3655.070)
<i>Tokyo Osaka dummy</i>	-5447.6***	-831.3
	(1147.019)	(1060.732)
<i>Hokkaido dummy</i>	11537.1*	-1850.8
	(5048.700)	(3510.887)
<i>AFP dummy</i>	-8950.7***	-4802.7*
(DP_1)	(2115.595)	(2192.767)
<i>FP dummy</i>	-19131.4*	1030.6
(DP_2)	(8202.800)	(7571.224)
<i>MP dummy</i>	-21349.0***	-11972.8**
(DP_3)	(3913.467)	(3728.362)
<i>CH dummy</i>	-5467.7***	-6090.6***
(DP_5)	(1086.195)	(1104.202)
<i>LI dummy</i>	4860.2***	1196.3
(DP_6)	(1470.359)	(1195.343)
<i>MMA dummy</i>	257.9	-762.4
(DP_7)	(1437.960)	(1392.689)
<i>SG dummy</i>	1982.9	-4147.7
(DP_8)	(2576.832)	(2200.872)
<i>Constant</i>	18805.1***	19572.2***
(β_0)	(3211.205)	(2974.403)
Observations	14424	11292
R^2	0.261	0.330
Adjusted R^2	0.260	0.329

Standard errors in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

日交研シリーズ目録は、日交研ホームページ

http://www.nikkoken.or.jp/publication_A.html を参照してください

A-869 「貨物輸送における時間信頼性に関する研究」

貨物輸送における時間信頼性に関する研究
プロジェクト

2023 年 6 月 発行

公益社団法人日本交通政策研究会