

物流センサスデータを用いた 輸送手段選択理由に関する分析

岩本 拓人¹・兵藤 哲朗²

¹学生会員 東京海洋大学 大学院海洋科学技術研究科 海運ロジスティクス専攻
(〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)
E-mail:m135001@kaiyodai.ac.jp

²正会員 東京海洋大学教授 海洋工学部 流通情報工学科 (〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)
E-mail:hyodo@kaiyodai.ac.jp

本研究では、全国貨物純流動調査（物流センサス）に記載されている輸送手段の選択理由について、非集計輸送手段選択モデルの構築を行うことを目的とした。そのため、モデル構築を行う前段階として、非集計分析で使用するデータの作成と輸送手段の選択理由に関する基礎分析を行った。基礎分析の結果を考慮して、12品目について品目別に輸送手段の選択モデルの構築を試みた。その結果、構築したモデル自体は妥当性ある結果を示したが、説明変数については、統計的に有意であることを示すものとそうでないものが混在する結果となった。今後は、輸送手段の選択に影響を及ぼす様々な要因について分析を行い、より説明力のある輸送手段選択モデルの構築を行うことを課題とする。

Key Words : Commodity Flow Survey, Logit Model, Decision Tree model

1. はじめに

全国貨物純流動調査¹⁾（以降、物流センサスと記載する）はわが国の代表的な物流調査であり、幹線交通ネットワークの需要分析や、モーダルシフトの分析において多用されている。2010年度に実施された第9回調査では、基本的な集計結果の他に、「輸送手段の選択理由」が新たな調査項目として、基礎的な集計結果が報告書に記載されている。

本研究では、物流センサスと非集計行動モデルを使用して、輸送手段選択モデルの構築を行う。またその前段階として、輸送手段の選択理由に関する基礎分析を行い、説明力の高い選択モデルの構築を目指すとともに、非集計行動モデルを用いた分析と決定木を用いた分析の分析結果を比較し、検討を行うことを目的とする。

2. 物流センサスについて

(1) 物流センサスの概要

物流センサスは、国土交通省が1970年から5年ごとに実施されている全国規模の貨物調査である。全国の「鉱業」「製造業」「卸売業」「倉庫業」を営む各事業所に対して、調査票を発送・回収している。調査対象は、

全国 61 万件の事業所から 7 万件を抽出している。調査対象業種と調査規模を、表-1 にまとめる。

表-1 調査対象業種と調査規模

産業	母集団事業所数	回収事業所数	回収率
鉱業	1,418	571	51.9%
製造業	263,052	13,497	34.0%
卸売業	334,282	5,342	28.0%
倉庫業	8,702	1,939	52.7%
合計	607,454	21,349	33.6%

2010年度に実施された第9回調査では、調査対象事業所に対して、「年間輸送傾向調査（以降、年間調査と記載する）」と、「3日間流動調査（以降、3日間調査と記載する）」の2種類の調査を行っている。前者は、2009年4月から2010年3月までの年度1年間における品類別出入荷重量、輸送機関利用割合、出荷先地域別重量割合などを調査している。後者は、2010年10月19日～21日の平日3日間における出荷1件ごとの品目、荷受人業種、届先地、重量、輸送経路、出荷時刻、所要時間、輸送費用などを調査している。

(2) 使用データの作成について

本研究では、輸送手段の選択理由に着目して、品目別に決定木を用いた分析、ならびに輸送手段選択モデルの構築を行うため、3日間調査のデータを使用する。3日間調査における輸送手段の選択理由の回答方法は、9つの選択肢から3つまでを選ぶ複数回答方式を採用している（表-2）。しかし、実際には、輸送手段の選択理由が回答されていない個票データも存在する。そこで、本研究を行うにあたり、3日間調査データについて、表-3の手順1から手順4までの作業を行い、使用データの作成を行う。

表-2 輸送手段の選択理由

回答番号	輸送手段の選択理由	略語
1	輸送コストの低さ	コスト
2	到着時間の正確さ	到着
3	所要時間の短さ	所要
4	環境負荷の小ささ	環境
5	荷傷みの少なさ	荷傷み
6	出荷1件あたり重量に適合	重量
7	事故や災害発生時の迅速な対応	対応
8	届先地に対して他の輸送手段がない	他手段
9	その他	

表-3 使用データの作成手順

手順	作業内容
1	「輸送時間」、「輸送費用」、「道路距離」のいずれかの項目で、0と記載されているデータを除く
2	輸送手段の選択理由について、「その他」のみを回収している個票データを除く
3	輸送手段の選択理由について、全て無記入の個票データを除く
4	品目別にデータを分割し、3種類の輸送手段（トラック、鉄道、海運）の件数が、20件未満のデータを除く

3種類の輸送手段について、トラックは、物流センサスに記載している代表輸送機関の自家用トラックを示し、鉄道は、代表輸送機関の鉄道コンテナと車扱を示している。また海運は、代表輸送機関のフェリーとRORO船を示している。

本研究は、表-3の手順で整理した12品目（飲料、化学工業品、化学薬品、金属製品、合成樹脂、産業機械、紙、自動車部品、食料工業品、製造工業品、電気機械、非鉄金属）のデータを使用データとする。

3. 輸送手段の選択理由に関する基礎分析

第2章2節の使用データの作成の過程を経て整理したデータについて、各輸送手段における輸送手段の選択理由の集計を行う。その集計結果をモザイクプロットを使用し、図-1と図-2にまとめた。

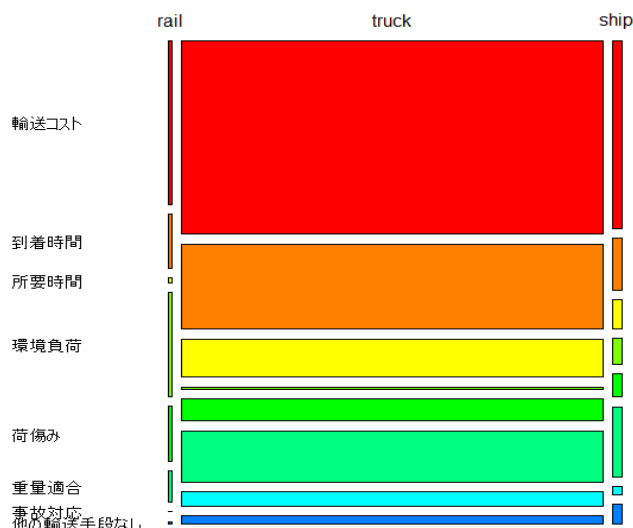


図-1 各輸送手段における選択理由の割合（金属製品）

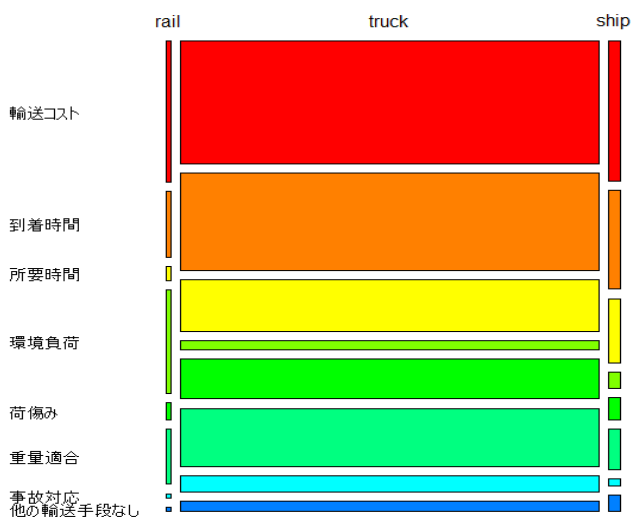


図-2 各輸送手段における選択理由の割合（食料工業品）

図-1と図-2は、各輸送手段における輸送手段の選択割合について、金属製品と食料工業品を例に挙げている。本研究では、決定木を用いた分析と非集計行動モデルを使用した輸送手段選択モデルの構築を行う前段階として、12品目についてモザイクプロットを作成している。

図-1と図-2について、縦軸は各輸送手段における輸送手段の選択理由の割合を示している。横軸は、3種類の輸送手段（トラック、鉄道、海運）の件数の割合を示している。12品目すべてにおいて、横軸の長さについて、トラックは鉄道と海運に比べて長く、件数の割合の80%以上を示している。

物流センサスの概要パンフレットでは、輸送手段の選択理由について、輸送コストの低さ、到着時間の正確さ、出荷1件あたりの重量に適合の順で選択理由の割合が高く、輸送手段の選択においてコスト重視であることが記載されている。また、輸送手段別に結果をみると、鉄道と海運ではトラックに比べ、環境負荷の比率が高いことも記載されている。図-1と図-2の出力結果から、トラックについては、物流センサスの概要パンフレットとほぼ同様の結果が得られていることがわかる。しかし、鉄道と海運についてはトラックとは異なる特徴がみられる。鉄道は、到着時間の正確さや出荷1件あたりの重量に適合の割合よりも、環境負荷の小ささの割合が高いことがわかる。このことは、12品目すべてにおいて、同様の傾向がみられた。海運は、トラックと同様に、輸送コストの低さを回答している件数が多いことから、コスト重視の結果がうかがえるが、出荷1件あたりの重量に適合を回答している件数が多いことにおいては、トラックと異なる結果が得られていることがわかる。

12品目のモザイクプロットの結果から、トラックは、輸送手段を選択するにあたり輸送コストの低さ、到着時間の正確さ、所要時間の短さを重視している一方、環境負荷については考慮していない結果が多く示されている。また品目の特性の違いから、到着時間の正確さや所要時間の短さよりも、出荷1件あたりの重量に適合していることを重視している品目もみられる。

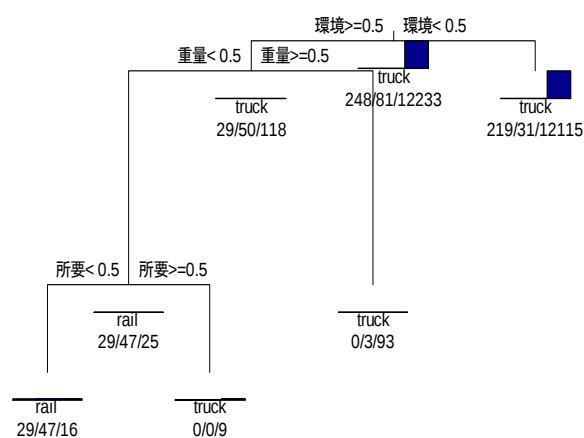
鉄道は、輸送コストの他に、環境負荷に考慮して輸送手段を選択している結果が示されたが、ほとんどの品目において、所要時間の短さは考慮されていない結果が示されている。これは、鉄道が中距離輸送の輸送手段として用いられていることが一因として考えられる。

海運は、輸送コストを重視している他に、トラックと鉄道と比較して出荷1件あたりの重量が適合を重視する結果が示されている一方で、荷傷みの少なさについては、品目によって選択割合が異なる結果が示されている。

以上の事柄を把握したうえで、決定木を用いた分析と、非集計行動モデルを用いた輸送手段選択モデルの構築を行う。

4. 決定木を用いた分析結果

本章では、輸送手段の選択理由（表-2）を説明変数、3種類の輸送手段（トラック、鉄道、海運）を被説明変数とする決定木分析を行う。本研究では、12品目について分析を行い、選択理由と輸送手段の関係を調べ、第3章で示したモザイクプロットの結果を比較し、検討を行う。決定木分析の結果の一部について、図-3と図-4に示す。決定木分析の出力方法は、オープンソース・ソフトウェアの統計解析向けのプログラミング言語であるRと、その開発実行環境内に既存しているパッケージソフト（mvpart）を使用している。



決定木分析の出力内容について説明する。図-3は金属製品について示した結果である。環境は「環境負荷の小ささ」、重量は「出荷1件あたりの重量に適合」、所要は「所要時間の短さ」、対応は「事故や災害発生時の迅速な対応」を示している。また、「環境 ≥ 0.5 」の場合、環境負荷の小ささを選択していることを意味しており、「環境 < 0.5 」の場合は選択していないことを示している。輸送手段の下に表示されている数字は左から順に、海運の件数、鉄道の件数、トラックの件数を意味している。例えば図-3において、環境負荷の小ささを選択していない場合（環境 < 0.5 ）は、海運が219件、鉄道が31件、トラックが12,115件のデータが存在するとわかる。

図-3では、「環境 < 0.5 」のとき、すなわち環境負荷の小ささを選択していない場合は、輸送手段はトラックが選ばれていることが示されている。所要時間については、選択している場合、輸送手段はトラックが選択されており、選択されていない場合は、鉄道が選択されている。これらの結果は、第3章示したモザイクプロットの結果と一致していることがわかる。

図-4では、「環境 < 0.5 」のとき、すなわち環境負荷の小ささを選択していない場合は、輸送手段はトラックが選ばれており、図-3と同様の結果が得られている。事故や災害発生時の迅速な対応については、選択している場合、輸送手段はトラックが選択されており、選択されていない場合、輸送手段は海運が選択されている。これらの結果も、図-2からモザイクプロットの結果と一致していることがわかる。

決定木を用いた分析は12品目の内、8品目で分析結果を出力することが可能である。決定木分析を行った8品目すべてにおいて、はじめに環境負荷の小ささを選択しているかどうかで分岐している。環境負荷の小ささの次にどの選択理由が問われているのかについては、表-4のように異なるが、環境負荷の小ささを選択していない場合は、輸送手段は常にトラックが選択されているという結果が示されている。

表-4 環境負荷の次に重要な選択理由

品目名	輸送手段の選択理由
化学工業品	所要時間の短さ
食料工業品	到着時間の正確さ
自動車部品	事故や災害発生時の迅速な対応
金属製品	出荷1件あたり重量に適合
紙	荷傷みの少なさ
飲料	荷傷みの少なさ

5. 非集計輸送手段選択モデルの構築

(1) 非集計分析について

非集計行動モデル²⁾は、個人が「利用可能な選択肢群の中から最も望ましい選択肢を選ぶ」といった合理的な選択ルールに基づいて行動することを仮定としている。本研究では、表-3の手順でデータの整理を行った後、そのデータを用いて輸送手段選択モデルを作成する。その際、輸送手段選択モデルは、三者択一の多項ロジットモデル(MNLモデル)を使用する。各輸送手段の選択確率と効用関数を式で示すと次のとおりである。

$$P_{truck} = \frac{\exp(V_{truck})}{\exp(V_{truck}) + \exp(V_{rail}) + \exp(V_{ship})} \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} V_{truck} = & \theta_1 \times (\text{コストの有無}) + \theta_2 \times (\text{到着の有無}) \\ & + \theta_3 \times (\text{所要の有無}) + \theta_4 \times (\text{環境の有無}) \\ & + \theta_5 \times (\text{荷傷みの有無}) + \theta_6 \times (\text{重量適合の有無}) \\ & + \theta_7 \times (\text{事故対応の有無}) + \theta_8 \times (\text{他の手段の有無}) \\ & + \theta_9 \times (\text{道路距離の有無}) + \theta_{10} \times (\text{定数項}) \end{aligned} \quad (1d)$$

$$\begin{aligned} V_{rail} = & \theta_{11} \times (\text{コストの有無}) + \theta_{12} \times (\text{到着の有無}) \\ & + \theta_{13} \times (\text{所要の有無}) + \theta_{14} \times (\text{環境の有無}) \\ & + \theta_{15} \times (\text{荷傷みの有無}) + \theta_{16} \times (\text{重量適合の有無}) \\ & + \theta_{17} \times (\text{事故対応の有無}) + \theta_{18} \times (\text{他の手段の有無}) \\ & + \theta_{19} \times (\text{道路距離の有無}) + \theta_{20} \times (\text{定数項}) \end{aligned} \quad (1c)$$

$$V_{ship} = 0$$

(2) 推定結果

本節では、本章第1節で設定した多項ロジットモデル(MNLモデル)を用いて、品目ごとに推定した結果を示す。表-5は、推定結果の一部を示したものである。

表-5は金属製品の推定結果である。環境負荷の小ささについて、鉄道ではパラメータの符号が正である一方で、トラックではパラメータの符号が負であるという結果が示されている。また統計的に有意な値かどうかを調べるt値についても、トラックと鉄道の両方で1%有意という結果が示されている。

表-5 推定結果（金属製品）

品目名 金属製品	パラメータ値	t 値	
トラック			
輸送コストの低さ	-1.13	-2.61	**
到着時間の正確さ	0.13	0.47	
所要時間の短さ	0.99	2.91	**
環境負荷の小ささ	-2.5	-6.33	**
荷傷みの少なさ	-0.37	-0.9	
重量適合	0.31	1.2	
事故対応	1.18	0.97	
他の輸送手段なし	-2.25	-4.85	**
鉄道			
輸送コストの低さ	1.07	1.28	
到着時間の正確さ	0.94	2.3	**
所要時間の短さ	-1.35	-1.67	
環境負荷の小ささ	2.01	4.62	**
荷傷みの少なさ	-0.5	-1.05	
重量適合	-1.15	-2.55	**
他の輸送手段なし	-1.07	-0.95	
道路距離（トラック） [km]	-0.004	-11.91	**
道路距離（鉄道）[km]	-0.001	-2.43	**
定数項（トラック）	7.26	12.36	**
定数項（鉄道）	-1.04	-1.02	
尤度比	0.41		
サンプル数	3708		

* 5%有意

** 1%有意

トラックについては、輸送コストの低さと所要時間の短さにおいても符号条件が適合しており、統計的に有意である結果も示されている。しかし一方で、荷傷みの少なさと出荷1件あたり重量に適合について、パラメータの符号が正であるが、統計的に有意とはいえない。

鉄道は到着時間の正確さにおいて、パラメータの符号が正であり、1%有意な結果が示されている。所要時間の短さについてはパラメータの符号が負であることから、符号条件は一致しているが、統計的に有意な値を示すとはいえない結果を示している。

尤度比については、0.4以上の値を示しているため、モデルは妥当であるという結果を示している。

本研究では、表-3の手順で整理した12品目について、多項ロジットモデルを用いて推定を行った。表-6、表-7、表-8は品目別の推定結果を示している。

表-6 品目別の推定結果（トラック, t値）

トラック	輸送手段の選択理由							
品目名	コスト	到着	所要	環境	荷傷み	重量	対応	他手段
飲料	-1.08	-1.89	2.88	-8.27	-1.18	1.33	0.07	-2.48
化学工業品	2.57	-3.66	6.99	-10.85	-1.75	0.56	3.35	2.06
化学薬品	-3.06	2.22	0.19	-12	0.79	1.28	1.17	0.05
金属製品	-2.61	0.47	2.91	-6.33	-0.9	1.2	0.97	-4.85
合成樹脂	1.14	6.02	0.84	-6.74	-4.59	0.45	0.47	-1.21
産業機械	2.85	3.01	5.98	-3.39	-2.3	-2.94	-1.62	0.78
紙	-8.39	6.41	-9.07	-11.38	-7.67	-3.8		
自動車部品	-3.39	-0.55	11.9	-8.3	1.92	3.02	2.68	-3.06
食料工業品	5.78	-1.3	-2.56	-11.64	0.67	1.01	-0.54	-2.93
製造工業品	0.78	3.6	-2.56	-5.05	0.83	2.29	0.06	0.35
電気機械	11.02	0.25	-2.09	-2.24	1.87	2.13	2.92	-0.68
非鉄金属	-2.17	-5.01	4.45	-7.91	2.22	3.22	0.26	-2.78

表-7 品目別の推定結果（鉄道, t値）

鉄道	輸送手段の選択理由							
品目名	コスト	到着	所要	環境	荷傷み	重量	対応	他手段
飲料	0.41	-2.59	4.23	-1.18	3.29	0.99		
化学工業品	-0.15	-0.38	-5.3	6.7	3.01	-0.06	0.44	
化学薬品	-2.84	-1.56	1.14	-0.21	0.86	-1.39	3.87	
金属製品	1.28	2.3	-1.67	4.62	-1.05	-2.55		-0.95
合成樹脂	-2.95	-2.93	1.04	7.55	-3.29	-3.22		-3.09
産業機械	0.75	-5.58		2.49	-0.96	3.97		
紙	-1.66	-5.63		4.06	-0.06	-3.86		
自動車部品	2.23	-3.24	-1.28	4.99		-0.96	5.45	-1.23
食料工業品	-0.05	-2.38	-4.19	7.79	0.95	-1.8	-1.22	-5.26
製造工業品	1.75	0.43	-1.88	3.41	-1.61	-0.41		
電気機械	3.48	5.31	-0.55	8.28	1.52	0.32		
非鉄金属	-1.64	-4.29	3.46	-2.71	4.05	1.61	0.34	

表-8 品目別の推定結果（尤度比と件数）

品目名	尤度比	件数			
		トラック	鉄道	海運	合計
飲料	0.39	2075	40	87	2202
化学工業品	0.47	12608	156	365	13129
化学薬品	0.52	2826	77	80	2983
金属製品	0.41	3517	65	126	3708
合成樹脂	0.57	6340	136	132	6608
産業機械	0.42	6657	90	176	6923
紙	0.57	938	68	360	1366
自動車部品	0.54	4491	125	359	4975
食料工業品	0.47	7429	238	302	7969
製造工業品	0.53	7526	38	135	7699
電気機械	0.46	16239	109	323	16671
非鉄金属	0.49	2323	36	55	2414

表-6 と表-7 は、品目別の推定結果（t 値）を示している。

トラックについては、推定を行った 12 品目において、環境負荷の小ささの符号が負であり、また統計的に有意である結果が示されている。輸送コストの低さについては、12 品目のうち 9 品目で、統計的に有意な値を示しており、所要時間の正確さについては、12 品目のうち 11 品目で、統計的に有意な値を示している。しかし、品目ごとに異なる特徴が存在するため、品目別に符号も異なる結果が示されていると考えられる。

鉄道については、到着時間の正確さと環境負荷の小ささについて、統計的に有意な結果が示されている。到着時間の正確さについては、負の符号を示す値が 12 品目のうち 9 品目であり、輸送手段の選択において、到着時間の正確さが考慮されていないことが示される。環境負荷の小ささについては、12 品目のうち、8 品目が統計的に有意な値を示す結果を示している。またその 8 品目のすべてにおいて、正の符号を示しているため、輸送手段の選択において、環境負荷の小ささが考慮されていると判断することができる。

品目別に、推定結果について考察を行う。

飲料は所要時間の短さを考慮する一方で、環境負荷を考慮しない結果が示されている。このことから、輸送の際に品質管理を徹底して、JIT（Just in Time）の輸送が行われていることが予想される。

化学工業品と化学薬品については、事故や災害発生時の迅速な対応について考慮している一方で、到着時間の正確さは考慮されていない結果が示されている。このことから、輸送する品目が危険性を伴っているため、安全な輸送を重視していることが考えられる。

金属製品は、表-6 より、出荷 1 件あたり重量に適合の符号が正であることと、表-7 より到着時間の正確さと環境負荷の小ささの符号が正である結果が示されている。合成樹脂については、表-6 より所要時間の短さの符号が正であることと、表-7 より、環境負荷の小ささが正の符号である結果が示されている。したがって、金属樹脂と合成樹脂については、輸送手段の利便性を生かした輸送を行っていると考えられる。

産業機械は、トラックと鉄道で出荷 1 件あたり重量に適合の符号が異なり、トラックでは負の符号、鉄道では正の符号を示している。これは、産業機械は他の品目と比較して重いためであると考えられる。

紙については、表-6 と表-7 の結果より、輸送コストを考慮せず、出荷 1 件あたりの重量が適合していない輸送を行っていることがうかがえる。

自動車部品については、表-6 と表-7 の結果より、輸送コストの低さについては、鉄道は考慮しており、出荷 1 件あたりの重量が適合しているかどうかについては、トラックが考慮しているという結果が示されている。

製造工業品と電気機械は、表-6 と表-7 の結果より、所要時間の短さは考慮していないが、輸送コストの低さと到着時間の正確さについては考慮している結果が示されている。

非鉄金属については、輸送コストの低さと到着時間の正確さについては考慮されていない一方で、所要時間の正確さと荷傷みの少なさについては輸送の際に考慮されている結果が示されている。

このように、品目ごとに異なる推定結果が導き出せた。また表-8 に示した結果から、構築したモデルの妥当性を判断をすることができる。推定を行った 12 品目において、尤度比は 0.4~0.5 程度であるため、構築したモデル自体は妥当であると判断することができる。

6. まとめ

本研究では、物流センサスを用いて、輸送手段の選択理由に着目した非集計輸送手段選択モデルの構築を目的としている。そのために、モデル構築の前段階として、モザイクプロットを用いた輸送手段の選択理由に関する基礎分析と、パッケージソフト（mvpap）を用いて決定木分析を行った。それにより、各輸送手段の特徴を把握した上で、多項ロジットモデルを使用し、輸送手段選択モデルの構築を試みた。その結果、12 品目について、モデル自体は妥当性がある結果を示しているが、品目別にみると、統計的に有意な説明変数とそうでない説明変数が混在するモデルが多い結果となった。したがって、輸送手段の特徴を把握するだけでなく、品目の具体的な性質や各輸送手段の輸送距離帯等といった、輸送手段の選択に影響を及ぼす様々な要因について、詳細な分析を行いより説明力のある輸送手段選択モデルの構築を行うことを今後の課題とする。

末筆であるが、本稿で分析した『全国貨物純流動調査』データは、統計法第三十三条（調査票情報の提供）に基づいて取得したことを付記しておく。

参考文献

- 1) 国土交通省：全国貨物純流動調査（物流センサス）報告書，国土交通省，2012.3
- 2) 交通工学研究会：やさしい非集計分析，pp.1-16，社団法人交通工学研究会 編，1993.

AN ANALYSIS OF MODAL CHOICE USING THE JAPANESE COMMODITY FLOW SURVEY

Takuto IWAMOTO, Tetsuro HYODO

The purpose of this study is to analyze the choice of transportation mode focusing on the reasons of modal choice and using the Japanese Commodity Flow Survey. As the previous step of this study, the relationship between the reasons of modal choice and transportation modes (truck, railway, ship) was examined to know the characteristics of transportation. Based on the study results of previous step, modal choice model was built by Disaggregate Choice Model (Multinomial Logit Model) for each item. In addition to the construction of model for each item, decision tree analysis was used to confirm whether the constructed models were extremely accurate or not.