

担当：兒山真也教授

持続可能な物流の構築に関する経済学的研究

－環境・効率性・賃金の視点から－

経済学研究科 経済学専攻  
2018年入学  
学籍 ED18E001 番

敖奇

2023年12月提出

## 目次

第1章 序論—物流における持続可能性の課題 .....	1
1.1 本研究の背景 .....	2
1.1.1 背景1：物流業界の規制緩和の影響 .....	2
1.1.2 背景2：トラック運転者の人手不足 .....	3
1.1.3 背景3：二酸化炭素排出量削減の必要性 .....	3
1.2 論文の構成と研究目的 .....	4
第2章 規制緩和下におけるトラック運転者の賃金—労働力不足のとなぜ賃金が上がらないのか— .....	7
2.1 はじめに .....	7
2.1.1 背景 .....	7
2.1.2 トラック輸送の仕組み .....	8
2.2 先行研究と研究目的 .....	9
2.2.1 先行研究 .....	9
2.2.2 研究目的 .....	10
2.3 トラック輸送産業の現状 .....	11
2.3.1 トラック輸送市場 .....	11
2.3.2 トラック運転者の労働市場 .....	17
2.4 低賃金構造の分析 .....	25
2.4.1 労働力不足の経済理論 .....	25
2.4.2 同時方程式体系による需要関数と供給関数の推定 .....	30
2.4.3 トラック輸送産業の労働力不足における対策 .....	33
2.5 おわりに .....	36
第3章 日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシングによる効率性と環境負荷の改善 .....	37
3.1 本研究の背景 .....	37
3.2 先行研究 .....	37
3.3 研究目的 .....	41

3.4	ロジスティクスの外部委託と環境経営	42
3.4.1	物流	42
3.4.2	ロジスティクス	46
3.4.3	サプライチェーンマネジメント(SCM)	49
3.4.4	サードパーティロジスティクス(3PL)	51
3.4.5	グリーン・ロジスティクス	54
3.5	製造業を対象としたアンケート調査の概要	57
3.5.1	アンケート調査の対象と方法	57
3.5.2	アンケート調査票の内容	57
3.5.3	本アンケート調査の特徴	60
3.6	競争優位の LO が経営課題と環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路	68
3.6.1	アンケート調査項目分類	68
3.6.2	因果関係と相関関係の区別	69
3.6.3	因果モデルの構成と分析フレームワーク	70
3.6.4	分析フレームワークにおける各要因変数の説明	72
3.7	モデルの分析結果	75
3.7.1	モデルの全体的評価	75
3.7.2	モデルの部分的評価(母数の推定)	78
3.8	おわりに	84
第4章	自動車普及と給油所数のグレンジャー因果性に関する分析	85
4.1	はじめに	85
4.2	先行研究と研究目的	85
4.2.1	先行研究	85
4.2.2	研究目的	87
4.3	自動車産業と石油産業の概観	87
4.3.1	自動車産業の概観	87
4.3.2	石油業界の概観	88
4.4	自動車普及と SS 数の因果関係	93
4.4.1	因果性の概観	93
4.4.2	本章の時系列データの基本的な特性	95
4.4.3	自動車数と SS 数の間のグレンジャー因果性検定	103
4.4.4	自動車数と SS 数のパネルデータ分析	109
4.5	乗用車および貨物車普及と SS 数の因果関係	112

4.5.1	乗用車数とSS数のグレンジャー因果性	112
4.5.2	貨物車数とSS数のグレンジャー因果性	114
4.6	おわりに	118
第5章	物流業界における貨物車の電動化の検討	120
5.1	はじめに	120
5.2	先行研究と研究目的	123
5.2.1	研究対象	123
5.2.2	先行研究	123
5.2.3	研究目的	124
5.3	貨物車のEV化	124
5.3.1	日本のEV普及目標と政策	124
5.3.2	日本の充電インフラの整備状況	129
5.4	貨物車のFCV化	131
5.4.1	水素社会	131
5.4.2	日本の貨物車のFCV化	132
5.4.3	日本の水素ステーションの整備状況	135
5.5	おわりに	137
第6章	終章	138
	謝辞	140
	参考文献	141
	付属資料 アンケート調査票	149



## 図の目次

図 1-1：本研究のフローチャート .....	6
図 2-1：国内貨物輸送トン数の推移(単位:百万トン) .....	12
図 2-2：国内貨物輸送トンキロの推移(単位:十億トンキロ) .....	12
図 2-3：日本の BroC-EC 市場規模の推移(単位：億円) .....	13
図 2-4：トラック運送事業の段階的規制緩和 .....	14
図 2-5：トラック運送事業者数の推移(単位:者) .....	14
図 2-6：トラック運送事業の距離帯別運賃 .....	16
図 2-7：産業別欠員率の推移 .....	18
図 2-8：自動車運転職の有効求人倍率の推移 .....	20
図 2-9：トラック運転者の年齢階級別就業者構成比の推移 .....	20
図 2-10：大型第一種免許年齢別保有者数推移 .....	21
図 2-11：トラック運転者の年間労働時間の推移 .....	22
図 2-12：トラック運転者の年間所得額の推移 .....	23
図 2-13：トラック運転者の平均時間あたり実質賃金の推移 .....	24
図 2-14：労働需要が増えた場合 .....	26
図 2-15：労働供給が減った場合 .....	27
図 2-16：労働需要の賃金弾力性が無限大で労働供給が減った場合 .....	28
図 2-17：労働供給の賃金弾力性が無限大で労働需要が増えた場合 .....	28
図 2-18：コスト削減圧力がかかった場合 .....	29
図 2-19：各変数のグラフ表示(期間：2001-2018 年度) .....	32
図 3-1：競争優位の LO における経路分析モデルの分析結果 .....	39
図 3-2：共分散構造分析の結果 .....	41
図 3-3：アウトソーシングの概念図 .....	44
図 3-4：物流子会社の概念図 .....	45
図 3-5：ロジスティクスの概念図 .....	47
図 3-6：SCM の概念図 .....	50
図 3-7：3PL の類型 .....	53
図 3-8：Q5 重視する経営全般の課題 .....	60
図 3-9：Q20 LO の経営全般の課題への貢献 .....	61
図 3-10：Q7 経営陣のロジスティクスへの関心 .....	61
図 3-11：Q6 重視する業務 .....	62

図 3-12：Q12 物流・ロジスティクスの外部委託の現状 .....	63
図 3-13：Q14 委託先にあたっての業務の見直し .....	63
図 3-14：定例的な報告、ミーティング .....	64
図 3-15：Q17 委託先との連携による相乗効果 .....	64
図 3-16：Q26 商取引の適正化の取り組み .....	66
図 3-17：Q27 環境に配慮した製品開発 .....	66
図 3-18：Q18 外部委託の目的と効果 .....	67
図 3-19：構成概念間の因果モデル .....	70
図 3-20：モデルの推定結果のパス図 .....	83
図 4-1：品目別輸出入額 .....	88
図 4-2：SS 数の推移 .....	92
図 4-3：ガソリンの生産と販売 .....	92
図 4-4：自動車数、自動車数の自己相関と偏自己相関の形状 .....	99
図 4-5：SS 数、SS 数の自己相関と偏自己相関の形状 .....	99
図 4-6： $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS 数のグレンジャー因果性 .....	107
図 4-7：自動車数と SS 数のグレンジャー因果性 .....	108
図 4-8：乗用車数、乗用車数の自己相関と偏自己相関の形状 .....	113
図 4-9：乗用車数と SS 数のグレンジャー因果性 .....	114
図 4-10：貨物車数、貨物車数の自己相関と偏自己相関の形状 .....	115
図 4-11：貨物車数と SS のグレンジャー因果性 .....	116
図 4-12：純貨物車数、純貨物車数の自己相関と偏自己相関の形状 .....	117
図 4-13：純貨物車数と SS 数のグレンジャー因果性 .....	118
図 5-1：世界の電気自動車保有台数(2010-2021) .....	121
図 5-2：運輸部門における二酸化炭素排出量(2021 年度) .....	122
図 5-3：運輸部門における二酸化炭素排出量の推移 .....	122
図 5-4：天然ガス自動車導入台数の推移 .....	128
図 5-5：モビリティ棲み分けイメージ .....	133

## 表の目次

表 2-1：トラック運送事業の規模別事業者数(令和 4 年 3 月末現在、単位:者).....	15
表 2-2：常用労働者と未充足求人の定義.....	18
表 2-3：同時方程式体系モデルの各変数の意味と出所.....	31
表 2-4：労働需要関数の推定値.....	32
表 2-5：労働供給関数の推定値.....	33
表 2-6：免許種類と機能.....	35
表 3-1：商流と物流の違い.....	43
表 3-2：自家生産と外部委託とのメリットとデメリット.....	44
表 3-3：伝統的なマネジメントと SCM との比較.....	51
表 3-4：3PL によるメリットとデメリット.....	54
表 3-5：「各社の基本情報」に関する質問項目.....	58
表 3-6：「経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題」の問題項目.....	58
表 3-7：「物流・ロジスティクスの外部委託について」の問題項目.....	59
表 3-8：「ロジスティクスと環境経営」の問題項目.....	59
表 3-9：共分散構造分析で使う潜在変数と観測変数.....	74
表 3-10：モデルの全体的評価.....	75
表 3-11：構造方程式における係数の推定結果:.....	79
表 3-12：測定方程式における係数の推定結果:.....	79
表 4-1：本研究で使うデータの説明.....	96
表 4-2：情報量基準.....	96
表 4-3：自動車数の単位根検定結果(期間：1953~1997 年度).....	100
表 4-4：SS 数の単位根検定結果(期間：1953~1997 年度).....	101
表 4-5：情報量基準により選んだラグ次数.....	105
表 4-6：SS 数の二次階差を被説明変数としたときの推定結果( $a_{11,i}$ , $a_{12,i}$ $i = 1, 2, 3$ ).....	105
表 4-7：自動車数の二次階差を非説明変数としたときの推定結果( $a_{21,i}$ , $a_{22,i}$ $i = 1, 2, 3$ ).....	106
表 4-8： $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果.....	107
表 4-9：自動車数のパネル自己回帰モデル(AR(1)モデル)の推定結果.....	110
表 4-10：SS 数のパネルデータモデルの推定結果(MEAN GROUPS ESTIMATOR).....	111
表 4-11：使用するデータ.....	112
表 4-12：乗用車数の時系列データの単位根検定結果(期間：1965 年~1997 年).....	113
表 4-13： $\Delta^3$ 乗用車数と $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果.....	114

表 4-14：本研究で使用するデータ .....	115
表 4-15：貨物車数の時系列データの単位根検定結果(期間：1965 年~1997 年) .....	116
表 4-16： $\Delta^3$ 貨物車数と $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果 .....	116
表 4-17：純貨物車数の時系列データの単位根検定結果(期間：1965 年~1997 年) .....	117
表 4-18： $\Delta^3$ 純貨物車数と $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果 .....	118
表 5-1：低公害燃料車の車両別保有台数(全国計).....	126
表 5-2：EV・PHEV に適用される環境省等が行う施策.....	129
表 5-3：水素の種類 .....	135
表 5-4：水素ステーションを巡る企業の動き .....	136

## 第 1 章 序論—物流における持続可能性の課題

物流は、国民生活や経済活動を支える不可欠な社会インフラである。その一方で、労働人口の減少や深刻なトラック運転者不足、働き方改革関連法の上限規制適用に伴う「2024年問題」、ネット通販の拡大による小口配送の増加、トラック輸送などによる CO<sub>2</sub> 排出に対する抑制の要請など、国民生活や経済活動に不可欠な物資が運べなくなる事態が起きかねない危機的な状況にある。物流が直面している諸課題の解決に向けた取組を進め、物流を持続可能なものとしていくための方策を検討する。

物流は近年「経済の大動脈」とか「産業活動の根幹」とまで称されるようになり、いまや経済や産業とともに国民生活を支える社会インフラとしてだけでなく、地震、台風、津波など自然災害時のライフラインとして強く認識されるようになってきた。環境問題、とりわけ自動車環境対策などを含む地球温暖化問題への関心が急速に高まり、これらの社会問題に対しても CSR(企業の社会的責任)という概念が幅広く使われるようになってきている。CSR とは、自社の事業活動が生み出しているかもしれない各地の社会的課題や、自社の事業活動が影響を受ける可能性がある各種の社会的変化を、早期に認識・感受(心で感じ取る)し、自社の事業活動の変革を図ることである<sup>1</sup>。加えて CSR から発展して社会貢献と戦略的な意味合いを強めた「企業経営の社会性(Social Context of Corporate Management)」が提唱され、環境・社会・経済という考え方を取り入れ、国際社会全体が取り組むべき共通目標として国連が定めた「SDGs(持続可能な開発目標)」が注目を集めるようになり、この情勢を背景にあらゆる分野で「持続可能性(サステナビリティ)」が問われるようになってきた。これにより、社会の持続可能性を高め、同時に、自社の持続可能性も高める。このため物流活動においても持続可能性の観点を取り入れることが必要になってきたと考えられる。「持続可能な開発」とは、経済的に豊かであり、環境も重視され、社会秩序が保たれ人権が守られる世界である<sup>2</sup>。本質は、一貫性を持った持続的な前進にある。端的にいえば、明日の活力を確かなものとするよう、今日の活動を設計していくことである。「持続可能な開発」の実現には、地球温暖化が最も脅威となりつつある。将来の地球環境を、少なくとも今日と同じ状態、あるいはさらに改善するために何をすべきか。

持続可能な発展は、環境面、経済面、社会面の 3 つの側面から理解されることがある。3 つの側面は並列ではなく、環境的持続可能性を前提とし、経済的持続可能性を一つの手段とし、社会的持続可能性を最終目的・目標とする。持続可能な交通の 3 つの側面の主な目的を整理すると、次のようになる<sup>3</sup>。

(1) 環境的持続可能性は、交通事故、大気汚染、騒音といった広義の環境問題が、現在及

---

1 菅・石田(2008,P.118)を参照した。

2 黒川(2017,P.2)を参照した。

3 兒山(2014,P.11)を参照した。

び将来の人々の生命や健康に及ぼす影響を軽減することが目的である。

(2) 社会的持続可能性は、貧困者、高齢者、地方住民など、交通サービスの自給や公共交通サービスの利用が困難な人々の交通ニーズに対応することが目的となる。アクセスの公平性を確保すること、または交通権を保障することとも言える。

(3) 経済的持続可能性は、交通の効率性を高め、絶えず変化する需要に応えることが目的となる。そのためには規制改革により交通サービス・インフラ市場に競争を創り出すことが重要であり、また交通事業者の役割が重要である。インフラ整備・維持管理財源の確保や、インフラ使用に対するフルコスト課金も重要である。

これら 3つの側面の追及は、相乗的な効果が得られる場合もあれば、相互に矛盾をきたす場合もあり得るため、統合的に実施する必要がある。

## 1.1 本研究の背景

### 1.1.1 背景 1：物流業界の規制緩和の影響

石油危機を経て日本経済が安定成長期に入り、日本の産業構造は重化学工業を中心とする重厚長大型から、加工組立産業を中心とする軽簿短小型へと転換した。その結果、貨物の出荷単位が小ロット化し、多頻度で輸送されるようになった。平成 2(1990)年の物流二法(貨物自動車運送事業法、貨物運送取扱事業法)により、貨物自動車(トラック)運送事業が免許制から許可制に緩和され、一定の資格要件(現在では最低保有車両 5 台等)を満たせば参入できるようになった。この規制緩和により、貨物自動車運送事業者数は、平成 2(1990)年度の 4 万社弱から平成 22(2010)年度には 62.6 万社を超えるほど急激に増加した。荷主企業の輸送需要が全国に広がるにつれ、全国に輸送ネットワークを拡大するトラック運送業者が増えてきた。消費者向けの全国輸送サービスで多頻度小口化やジャストインタイム物流である宅配便も急成長した。現在では、日本通運やヤマトホールディングス、SG ホールディングスのように売上高が 1 兆円を超える大企業も出てきた<sup>4</sup>。ただし、貨物自動車運送事業者のうち、大部分が中小零細事業者であり、大手事業者を頂点とするピラミッド型の下請け構造が形成されている<sup>5</sup>。特に、過半を占める保有台数 10 台以下の事業者は、トラックの実働率を維持するために、採算性が合わなくても仕事を受け入れることも多い。また近年は、軽油価格の高止まりや地球温暖化対策の強化など、事業にかかる費用が増加する傾向にある。このため、過重な労働環境を招き、安全運行の確保を難しくしている<sup>6</sup>。

---

4 齊藤・矢野・林(2020)を参照した。

5 渡部(2017,P.82)を参照した。

6 国土交通省(2020c)『トラック運送業における下請・荷主適正取引推進ガイドライン』国土交通省。  
([https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta\\_theme/pdf/kvogikaimlit202004.pdf](https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/kvogikaimlit202004.pdf))

### 1.1.2 背景 2：トラック運転者の人手不足

日本の人口動態に係る国の調査結果によれば、2015年の総人口は、同年の国勢調査では1億2,709万人であるが、以後長期の人口減少過程に入ると予測され、2040年には1億1,092万人、2065年には8,808万人になると推計されている。総人口に対する生産年齢(15~64)歳人口の構成比の推移としては、2015年国勢調査では7,728万人となっているが、2040年には6,000万人となり、2065年には4,529万人となることが予測される<sup>7</sup>。人口減少に伴い、労働力人口も減少することにより、経済全体で働き手不足への懸念が今後増していく。そのなかで、「サービス業」、「宿泊業・飲食サービス業」、「運輸業・郵便業」、「卸売業・小売業」などの分野においては著しい。

トラック運送業は日本の物流機能の中心的な役割を果たしており、経済社会の基盤ともいえる重要産業のうちの一つである。しかし、2013年ごろから運転者や船員を中心に労働力不足が深刻化し、物流危機とも呼ばれる状況に陥っている<sup>8</sup>。人手不足の原因としてトラック運送業特有の労働環境、日本全体としての人口減少、トラック運転者の長労働時間、平均賃金は全産業の平均に比して低いことなど様々なものが考えられる。

### 1.1.3 背景 3：二酸化炭素排出量削減の必要性

二酸化炭素の排出による地球温暖化は、海面温度上昇によるエルニーニョ現象、気候変動による作物の不作、砂漠化など、様々な問題を引き起こしている。国連の「気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change：IPCC)の第5次評価報告書」では、「20世紀半ば以降、観測されている温暖化の主な原因は人間の影響である可能性が極めて高い」と結論づけた。なかでも二酸化炭素やメタンの影響が大きいとされる。二酸化炭素については、2015年の国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(Conference of the Parties 21：COP21)で決めたパリ協定では、温室効果ガスの削減について、「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」と発表した。地球温暖化対策として、日本は2016年の「地球温暖化対策計画」では、2030年度において2013年度比26.0%減(2005年度比25.4%減)の水準にする目標を掲げていた。

1990年にアメリカ・カリフォルニア州では低公害車(Low Emission Vehicle：LEV)規制が施行され、州内で一定台数以上自動車を販売するメーカーに対しLEVや排出ガスを一切出さない自動車であるZEV(Zero Emission Vehicle)を一定比率以上販売することを義務付けた。2012年には規制が大幅に強化され、販売台数の14%をHV・PHVといったエコカーにすることが義務付けられた。また、2017年の秋以降に発売される2018年モデルからはHVがエコカーの対象から外れ、EVへの転換はより加速することが予測されている。

<sup>7</sup> 国立社会保障・人口問題研究所(2017)とJILS総合研究所(2018)を参照した。

<sup>8</sup> 齊藤・矢野・林(2020, P.130)を参照した。

日本の自動車燃費規制は、直接規制である。貨物自動車(全体)の新燃費基準(目標年度：2025年度)の平均燃費値は7.63km/Lで、現行の2015年度の燃費基準6.72km/Lと比較して13.4%の基準強化となる。乗用自動車(全体)についても、新燃費基準(6.52km/L)は現行の2015年度基準(5.71km/L)と比較して13.4%の基準強化となる<sup>9</sup>。

中国政府は自国の製造強国戦略「中国製造2025」の中で、自動車産業の成長こそが先進国にキャッチアップするためのカギになると位置付け、「2025年に世界自動車強国入り」、との目標を掲げた<sup>10</sup>。過去100年にわたり形成されてきた世界の自動車産業構造を変革しようとする中国政府の戦略は、電気自動車(EV)を核とする。

## 1.2 論文の構成と研究目的

本論文の構成は次の通りである。

背景2に対応して、第2章「規制緩和下におけるトラック運転者の賃金—労働力不足のもとなぜ賃金が上がらないのか—」では、特に近藤(2017)と阿部(2017)を参考にして、トラック運送業の労働市場で、トラック運転者が不足しているのになぜ賃金が上がらないのかを明らかにし、各運送業者が自社に必要な労働力を確保するための方策を考察する。

第3章「日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシングによる効率性と環境負荷の改善」では、ロジスティクスの高度化・効率化と環境経営との両立が、外部委託(3PL)とどのような関係を持っているか、現状を定量的に明らかにする。厳しい競争下の市場において、企業は変化する外部環境にいち早く対応しつつ、自社の経営資源をより効率的に活用することが重要である。企業活動において何を自社で行い、何を外部委託するかという選択は、強みを持つ分野に集中し、弱みのある分野には外部に委託することがひとつの原則である。ロジスティクスを本業と位置付けない企業にとって、いかにロジスティクス・アウトソーシング(Logistics Outsourcing : LO)を戦略的に行うかは重要な課題である。他方、ロジスティクス部門は大気汚染物質、温室効果ガス、廃棄物を大量に排出する。高度化や効率化を主な目的としたLOは、環境負荷を増大させる可能性と減少させる可能性がある。まず唐(2016)のアンケート調査の回答を集計することで、経営全般及びロジスティクスの現状と課題、LOの現状と課題、ロジスティクスにおける環境配慮の現状及び特徴を把握する。次に共分散構造分析により、競争優位のLOが経営課題に貢献する直接的・間接的経路を示し、同時に環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を明らかにする。

第4章「自動車普及と給油所数のグレンジャー因果性に関する分析」では、1953年から1997年までの期間について、VARモデル(ベクトル自己回帰モデル)を用いて自動車数と

---

<sup>9</sup> 国土交通省「重量車の2025年度燃費基準に関するとりまとめ(平成29年12月)」

[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000005.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000005.html)

<sup>10</sup> 湯進(2019,P.3)を参照した。

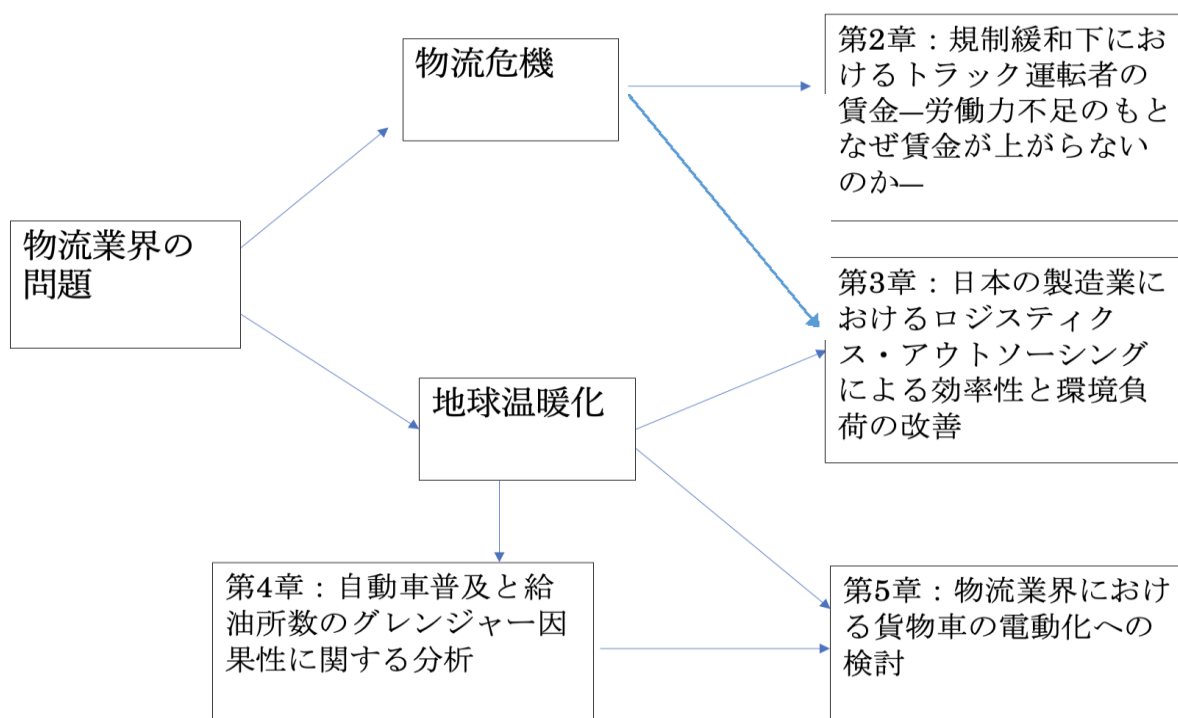


SS(サービスステーション)数の間にグレンジャーの意味での因果関係が成立しているかどうかを確認する。地球環境問題への対応が急務となる中、電気自動車(EV)をはじめとした次世代自動車の導入が、運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出量削減政策の一つとして期待されている。運輸部門からの CO<sub>2</sub> 排出量は、以前よりも割合は低下しているが 2020 年度で日本全体の排出量 10.4 億トン余りのうち、2 億トン弱、17.7%を占めている。運輸部門のうち 9 割近くが自動車で、運輸部門の 5 割近くを旅客自動車が、4 割近くを貨物自動車が排出している。菅義偉首相(当時)は 2035 年までに新車販売で電動車 100%を実現するとした(2021 年 1 月 18 日、施政方針演説)。EV の普及と EV ステーションの普及をバランスよく進めていくことは重要である。しかし世界的に EV は普及初期でありデータの蓄積がない。そこでエンジン車の普及期に生じた現象が EV の普及にも示唆を与え得るのではないかと考えた。信頼の置ける SS 数データが入手できる 1953 年から、特定石油製品輸入暫定措置法(特石法)が廃止されて一連の規制緩和で急速にセルフ SS が増え始めた 1997 年までの期間を設定し、原因と結果の両方に影響を与える交絡因子を無視し、自動車数と SS 数の間にグレンジャーの意味での因果関係が成立しているかどうかを確認する。また、自動車数と SS 数の都道府県別パネルデータを使って、定量的関係を分析する。これを通じて EV と EV ステーションの関係、FCV と水素ステーションの関係にも示唆を与えることができると考えている。

第 5 章「物流業界における貨物車の電動化への検討」では、世界で進みつつある自動車の電動化へのシフトの動向を踏まえ、今までほとんど進んでいない電気トラックと燃料電池トラック普及への可能性を検討する。貨物車は物流貨物の高速輸送を担って、燃料消費量も多く、CO<sub>2</sub> 排出量も比較的多い。乗用車と同様に、貨物車に対する環境規制は世界的に強まっている。欧州は平均 CO<sub>2</sub> 排出量を 2030 年までに 30%削減することを義務化した。アメリカでは、カリフォルニア州が新車販売の一定比率をゼロエミッション車(排ガスを出さない車=ZEV)にする義務を 2024 年から商用トラックにも適用することを決めた。2035 年までに中型は 55%、大型は 75%を ZEV にする必要がある。

図 1-1 は本論文の各章の関係をまとめたフローチャートである。

図 1-1 : 本研究のフローチャート



## 第 2 章 規制緩和下におけるトラック運転者の賃金—労働力不足の もとなぜ賃金が上がらないのか—

### 2.1 はじめに

日本には、さまざまな経済問題があるが、なかでもその根幹に位置する重要な問題として「人手不足なのに、なぜ賃金が上がらないのか」<sup>11</sup>がある。標準的な経済学の教科書から、人手不足、すなわち労働市場の需要量が供給量を上回っているときには、人を雇いたい企業は高い賃金を提示するようになるだろうから、賃金上昇の圧力が掛かり賃金は上昇するはずである。必要な人員を確保するために賃金を上げることのできない企業は、競争によって早晩淘汰されていく存在であって、こうした企業が感じている「人手不足」は労働市場における需要の拡大を必ずしも意味するわけではない。その一方で、基本データのいくつかから示しているように、深刻な人手不足にもかかわらず、市場メカニズムが想定するような、賃金の大幅な増加が見られない状況は、これまでずっと続いてきた。

「人手不足なのに、なぜ賃金が上がらないのか」。このようにあらためて問われると、一般には「正社員以外が増えたから」、「労働分配率が下がったから」、「労働生産性が低下したから」のような回答が多いかもしれない。また、ここ 30 年ほどの間に日本の賃金が労働市場に反応しなくなり、物価も景気に反応しなくなり<sup>12</sup>、市場の需給で賃金が決まる古典的な労働市場とは大きく違う日本の労働市場の姿で需給状況以外の構造的な問題もあるのかもしれない。

#### 2.1.1 背景<sup>13</sup>

日本で自動車が出現したのは、明治 30(1897)年に横浜在住の外国人が、本国から蒸気自動車を持ち込んだのが最初である<sup>14</sup>。自動車による貨物運送が始まったのは、明治屋洋酒店が明治 33(1900)年にイギリス製のアーガイル号を購入し、人の運送と兼ねて自社の商品を運搬したのが最初である。ついで亀屋食料品店が同 35(1902)年にモーター商会のロコモービール号を、翌年に三越呉服店が使用したクレメント号を購入し、商品の運搬専用の貨物自動車で、日本最初のトラックと言われている。

昭和 40(1965)年を過ぎると、世界貿易の伸長による輸出の増大、旺盛な大衆消費による内需拡大を背景に、大きなスケールで経済成長が始まった。さらに、高速道路時代への突入によってモータリゼーションが進展し、貨物需要量の増大と相まって運転者不足が深刻

---

11 玄田(2017)のタイトルとなっている。

12 Hoshi(2022)と星(2022)を参照した。

13 苦瀬(2014,P.82)を参照した。

14 谷利(1990,P.55)を参照した。

な問題となった。ちなみに、昭和 40 年(1965)代中頃は、将来は日本の人口の 4 人に 1 人はトラック運転者にならなければ対応できないと言われるほどであった。この時期には、貨物輸送の増大に対応するために、政府はもちろん、物流企業、荷主企業などでも、貨物輸送の近代化、システム化といった努力が推進された。トラック輸送に関わる政策は、①車両の大型化、専用化、高速化、②荷役の機械化とユニット化、③協同一貫輸送の推進、④トラックターミナルの整備と集配の合理化などである<sup>15</sup>。

安定成長期の到来は、急増していた貨物輸送量が停滞傾向に転じる。さらに荷主企業の取引形態が大量販売・大量出荷方式から、小口化・高頻度化方式に変わる。こうした状況を背景に、トラック事業者の多くは昭和 50(1975)年頃から宅配便の進出により事業拡大を図ってきた。さらに、道路運送の分野でトラック事業を中心とした規制緩和政策の提言がなされた。平成 2 年(1990)の物流二法(貨物自動車運送事業法、貨物運送取扱事業法)により、貨物自動車(トラック)運送事業が免許制から許可制に緩和され、一定の資格要件(現在では最低保有車両 5 台等)を満たせば参入できるようになった。この規制緩和により、貨物自動車運送事業者数は、平成 2(1990)年度の 3.6 万社弱から平成 30(2018)年度には 5.6 万社を超えるほど増加した。このうち、貨物自動車運送事業者の大部分が中小零細事業者であり、大手事業者を頂点とするピラミッド型の下請け構造が形成されている。特に、過半を占める保有台数 10 台以下の事業者は、トラックの実働率を維持するために、採算性が合わなくても仕事を受け入れることも多い。また近年は、軽油価格の高止まりや地球温暖化対策の強化など、事業にかかる費用が増加する傾向にある。このため、過重な労働環境を招き、安全運行の確保を難しくしている。2013 年ごろから運転者や船員を中心に労働力不足が深刻化し、物流危機とも呼ばれる状況に陥っている。トラック運転者の労働時間は全産業平均と比較して長時間であるにもかかわらず、時給(賃金)は低い状況にあるため、景気が良くなって他産業の雇用が拡大すると労働力が流失し物流業界に集まらなくなる。

### 2.1.2 トラック輸送の仕組み

トラックにはさまざまな大きさや種類のトラックがあり、積荷に応じて柔軟なサービスが提供されている。貨物積載量では、小型(2 トン以下)、中型(4 トン程度)、大型(10 トン程度)等の区分がある。荷台も、貨物の形状に合わせて、平ボディ、バンボディ、ウイング、冷蔵冷凍、ダンプ、タンク等、多様化している。貨物自動車運送事業法により規定されている貨物自動車運送事業は、「一般貨物自動車運送事業」、「特定貨物自動車運送事業」、「貨物軽自動車運送事業」の 3 つに区分されている<sup>16</sup>。

「一般貨物自動車運送事業」とは不特定多数の荷主の場合の運送事業であり、「特定貨物自動車運送事業」とは特定の荷主のためだけの運送事業である。いずれも、軽自動車と二

---

15 谷利(1990,P.163)を参照した。

16 渡部(2014,P.82)を参照した。

輪車を除く貨物自動車(トラック)を使って運送サービスを提供するものであり、5 台以上の事業用トラックを保有している必要がある。「一般貨物自動車運送事業」の中に、ターミナルを利用して貨物を積合せて定期的に長距離を運送する「特別積合せ貨物運送」が含まれ、これをベースにした輸送商品に宅配便やそれよりやや大型の貨物を輸送する事業がある。特別積合せ事業は規模の経済性があるため、宅配便に限り、ヤマト運輸(宅急便)、佐川急便(飛脚宅配便)、日本郵便(ゆうパック)の3社で90%を占めている。

「貨物軽自動車運送事業」は、軽自動車または二輪車を使って運送サービスを提供する事業であり、サービスの提供先による区分はなく、1 台の事業用トラックで始めることができる。

## 2.2 先行研究と研究目的

### 2.2.1 先行研究

医療・福祉産業で人手不足が深刻化しても、なかなか介護報酬が上がらない現象を分析した研究がいくつか存在する。鈴木(2010)は、介護報酬が公定価格に規制されているために、価格による需給調整が働かず、結果として労働力不足が解消されないことを、シンプルなモデルを用いて解説している。周(2009)や花岡(2015)の指摘によれば、2004 年頃から始まったマクロ経済状況の改善によって、他産業でより条件の良い雇用機会が増えた結果、介護産業の人手不足が深刻化した。ここに追い討ちをかけたのが、2006 年の介護報酬のマイナス改定である。これにより、人手不足にもかかわらず賃金はさらに引き下げられ、人手不足がますます深刻化した。花岡(2015)は他産業の賃金水準が高い都市部ほど、介護労働力不足は深刻であるとも指摘する。価格メカニズムが働かない構造になっていることが日本全体で見て「人手不足なのに賃金が上昇しない」ことの重要な要因の一つであろう。

バス運転手の人手不足に関する研究は阿部(2017)がある。阿部(2017)では、路線バスの規制緩和で、労働需要側から高速路線バスやツアーバスの増加、さらには外国人観光客の増加などによる貸切観光バス需要の急増によって、バス運転手は人手不足の状態にある。他方、労働供給側から賃金プロファイルに傾きがなくなって平均賃金も低下している下では、バス運転手になろうというインセンティブは小さくなる。免許を新規に取得する人は減っており、人手不足に拍車がかかっている。人手不足が深刻となるなか、バス運転手の長時間労働が問題となっている。人手不足なのになぜバス運転手の平均賃金は下落したのか。路線バスの規制緩和で、新規参入は余剰利益が発生する路線や事業に参入するのが合理的だが、規制緩和後に増えたバスはまさに余剰があった路線と貸切バス事業だけに参入した。既存バス事業者は、市内路線バスの赤字を高速路線バスや貸切バス事業の黒字で補填するかたちで経営を継続してきたが、高速路線バスや貸切バスに新規事業者が参入してきたことで経営が圧迫された。そして、運賃が下がりバスを利用する人には規制緩和は良いことが、バス事業者の収入の悪化は、結果としてバス運転手の生産性が低くなったこと

になり、賃金を下落させたと考えられる(経済学では、通常(実質)賃金は限界労働生産物に等しいと考える)。また、新規参入事業者やバス車両が増えて、運賃が低下する傾向にあるということは、バス市場は超過供給にあるのかもしれない。運賃は値上げするのが難しく、バス運転手の賃金も上がりづらい。

トラック運転者不足の要因と対策に関する研究はいくつか存在する。渡辺(2016)では、全産業を対象に2016年1~2月に実施した「人手不足の現状等に関する企業・労働者調査」の結果より、人手不足による従業員の疲弊が離職を誘発し、さらに人手不足に拍車をかける傾向がうかがえた。人手不足の理由として、労働需要の増加に当たる「景気回復に伴う事業の拡大」よりも、「離職の増加」と答えた企業のほうが多い。また、人手不足を感じている企業で働く労働者は、業務量が増え、職場や業務に対するストレスをより強く感じ、過去1年以内に長時間労働で体調を崩した割合が高く、転職を希望する割合が高い。翟碩(2017)では、トラック運転者不足問題への対応策として、鉄道および内航海運へのモーダルシフトで解決可能だとした。首藤(2018)でも、トラック運送業で発生している諸課題について、特にドライバーの労働環境の厳しさ、賃金の低さといった問題の原因を多様な事柄から考察した。JILS 総合研究所(2018)では、Web アンケート調査を通じて、回答者の多くが、販売領域の輸送機能を中心に労働力不足問題が生じていると感じていることが確認された。トラック運転者不足の問題への対策として、荷主連携の深化による積載効率の向上、取引条件の見直しや附帯業務の可視化といった施策を講じ、抜本的な改善に取り組むことで、労働生産性の向上を図る必要があることを示している。

玄田(2017)は人手不足下において賃金が上昇しにくい原因を考察して、日本の労働市場が経済学の教科書的なモデルとかけ離れている点を指摘する<sup>17</sup>。例えば、近藤(2017)の理論的考察では、①看護や介護など政府による価格規制がある産業で賃金が停滞し、②他の産業では人手不足なのに賃金が停滞しているというよりは賃金が上がらないために人手不足が生じている、③賃金は一度上げると下げられないのでたとえ人手不足でも企業は賃金を上げない、と論じる。いずれも資本主義の行き過ぎによるものではなく、政府の規制や社会の習慣により労働市場が十分に働いていないという指摘である。

以上のように、いろいろな産業の人手不足について研究は存在する。物流産業のトラック運転者における人手不足の原因と対策を考察する研究もあるが、理論的、実証的研究がまだ十分ではない。

## 2.2.2 研究目的

以上の先行研究を踏まえて、本章は特に近藤(2017)と阿部(2017)を参考にしながら、労働者賃金の側面からトラック運送業の労働市場で、トラック運転者不足なのになぜ賃金

---

<sup>17</sup> 星(2022)を参照した。

が上がらないのかを明らかにする。また、各運送業者が自社に必要な労働力を確保する方策を考察する。

## 2.3 トラック輸送産業の現状

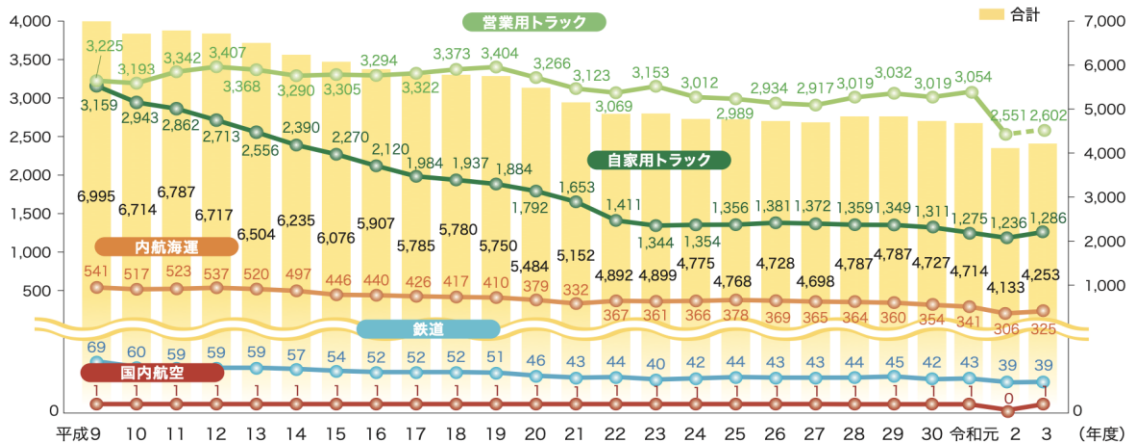
### 2.3.1 トラック輸送市場

#### 2.3.1.1 トラック輸送需要

貨物輸送サービスは多めに生産しておいて在庫するということが不可能な即時財であるため、運送業の経営環境として貨物輸送需要の動向は非常に重要である。なお、営業用自動車の貨物輸送量は荷主の貨物輸送需要を反映した数値であると考えられるため、ここではそれをトラック運送業の貨物輸送需要と捉えている。図 2-1 が国内貨物輸送トン数の推移である。平成 8(1996)年度から令和元(2019)年度まで営業用自動車による貨物輸送量は基本的にはわずかな増減を繰り返しながら横ばいで推移していることが分かる。輸送機関別の推移では、トンベースで営業用トラックが平成 9(1997)年度に自家用トラックを上回り、以降は全ての輸送機関で漸減もしくは横ばいとなっていたが、令和 2(2020)年度は新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響により大幅に減少したが、令和 3(2021)年度に入り、落ち込んでいた経済の回復により全機関で増加または横ばいとなった。令和 3(2021)年度の国内貨物総輸送量は 43 億トン、トラックの輸送分担率はトンベースで約 9 割となる。

しかし、計測単位を輸送トンキロに変えると、その姿は著しく変化する。図 2-2 が国内貨物輸送トンキロの推移である。トラックはせいぜい 6 割を輸送しているにすぎない。内航海運は 4 割から 5 割の貨物輸送を担当しており、また鉄道も急速にシェアを落としたものの、その存在には無視できないものがある。一方、トンキロベースでみた場合は、営業用トラックのみ増加傾向で推移してきたが、平成 18(2006)年度に内航海運と並んだあと、双方とも減少または横ばいになり、最近は双方ほぼ同じトンキロ数を示して推移している。さらに、新型コロナウイルス感染症の影響により令和 2(2020)年度以降は全輸送機関で減少傾向もしくは横ばい状態にあり、特に内航海運と鉄道では減少が目立った。これは、内航海運は重量貨物を長距離輸送することが得意であるのに対して、トラックは比較的軽量の貨物を短距離輸送することが得意であることによる。令和 3(2021)年度は営業用トラック、自家用トラック、内航海運で増加に転じた。令和 3(2021)年度の国内貨物総輸送量は 4,050 億トンキロ、トラックの輸送分担率はトンキロベースで約 6 割となる。

図 2-1 : 国内貨物輸送トン数の推移(単位:百万トン)



注: 1.平成 22(2010)年度は、平成 23(2011)年 3 月、また平成 23(2011)年度は平成 23(2011)年 4 月の北海道運輸局と東北運輸局の数値を除く。

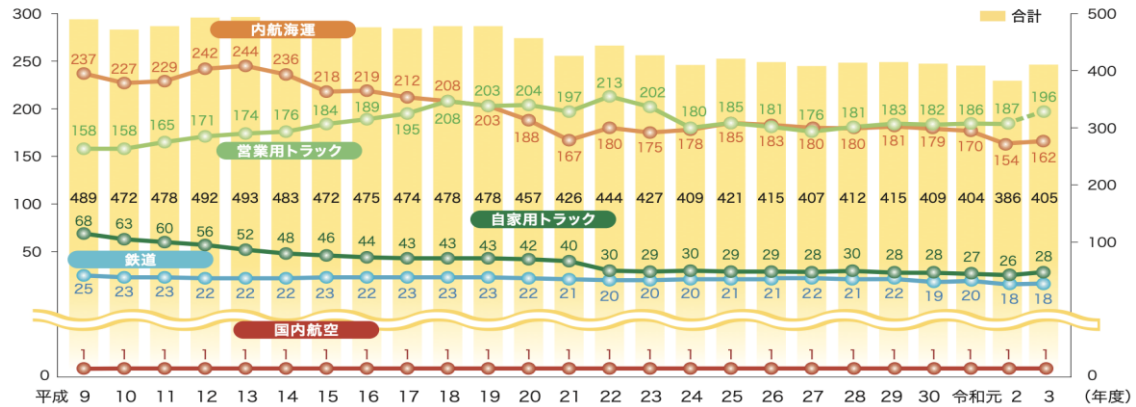
2.営業用トラックについては平成 22(2010)年 10 月より、調査方法および集計方法を変更したことに伴い、平成 22(2010)年 9 月以前の統計数値の公表値とは、時系列上の連続性が担保されないため、数値の連続性を図る観点から接続係数を設定の上、算出している。

3.令和 2(2020)年度については、令和 2(2020)年 4 月より営業用トラックの調査方法および集計方法が変更されたため、令和元年度以前の数値とは時系列上の連続性は担保されない。

4.合計は輸送機関別の百万トン未満を四捨五入後に計算したものである。

出所: 全日本トラック協会(2023,P.4)から引用した。

図 2-2 : 国内貨物輸送トンキロの推移(単位:十億トンキロ)



注: 1.平成 22(2010)年度は、平成 23(2011)年 3 月、または平成 23(2011)年度は平成 23(2011)年 4 月の北海道運輸局と東北運輸局の数値を除く。

2.営業用トラックについては平成 22(2010)年 10 月より、調査方法および集計方法を変更したことに伴い、平成 22(2010)年 9 月以前の統計数値の公表値とは、時系列上の連続性が担保されないため、数値の連続性を図る観点から接続係数を設定の上、算出している。

3.令和 2(2020)年度については、令和 2(2020)年 4 月より営業用トラックの調査方法および集計方法が変更されたため、令和元年度以前の数値とは時系列上の連続性は担保されない。

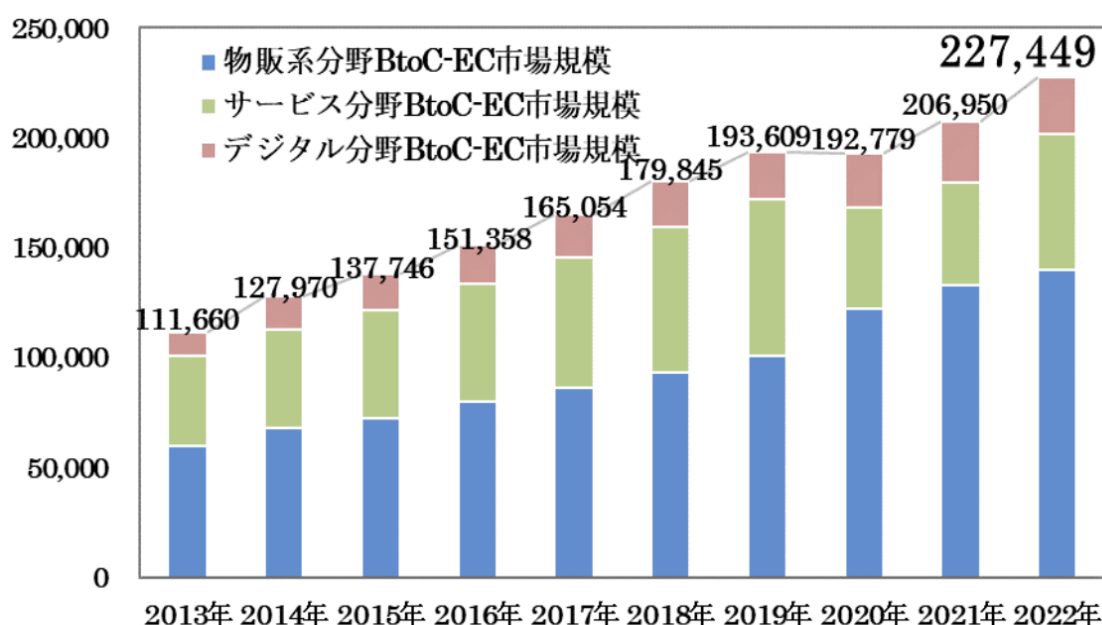
4.合計は輸送機関別の百万トン未満を四捨五入後に計算したものである。

出所: 全日本トラック協会(2023,P.5)から引用した。



また、EC(電子商取引)市場の拡大に伴う物流量が増加している。経済産業省が公表したデータ(図 2-3)によると、令和 4(2022)年度の日本国内の BtoC-EC(消費者向け電子商取引)市場規模は、22.7 兆円(前年 20.7 兆円、前々年 19.3 兆円、前年比 9.91%増)に拡大した。また、令和 4(2022)年度の日本国内の BtoB-EC(企業間電子商取引)市場規模は 420.2 兆円(前年 372.7 兆円、前々年 334.9 兆円、前年比 12.8%増)に増加した。また、EC 化率は、BtoC-EC で 9.13%(前年比 0.35 ポイント増)、BtoB-EC で 37.5%(前年比 1.9 ポイント増)と増加傾向にあり、商取引の電子化が引き続き進展している<sup>18</sup>。インターネットで商品を買う消費者や企業が増えていることに伴い、商品運送を担う物流業者の需要も高まっている。

図 2-3 : 日本の BtoC-EC 市場規模の推移(単位 : 億円)



出所：経済産業省「電子商取引に関する市場調査の結果を取りまとめました」(2023年8月31日)より一部引用。<https://www.meti.go.jp/press/2023/08/20230831002/20230831002.html>

物流業界の市場規模は圧倒的にトラック運送事業の規模が大きく、次いで外航海運業、倉庫業と続く。2020年度トラック運送事業の営業収入は16兆3571億円、外航海運業は3兆3360億円、倉庫業は2兆2448億円である<sup>19</sup>。また、トラック事業の営業収入は増加傾向にある<sup>20</sup>。

18 経済産業省「電子商取引に関する市場調査の結果を取りまとめました」(2023年8月31日)  
<https://www.meti.go.jp/press/2023/08/20230831002/20230831002.html>

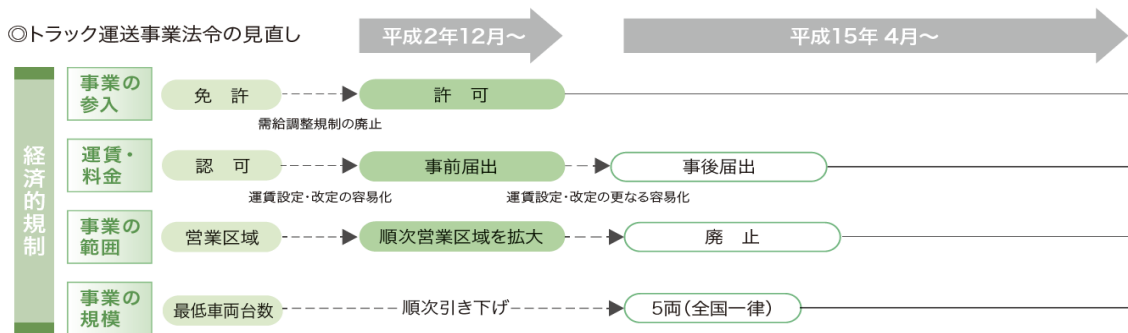
19 国土交通省(2020a)「物流を取り巻く動向について」  
<https://www.mlit.go.jp/common/001354692.pdf>

20 国土交通省(2020b)「数字で見る自動車 2020」  
[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr1\\_000047.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000047.html)

### 2.3.1.2 トラック輸送供給

平成 2(1990)年度 12 月に施行された貨物自動車運送事業法で、一般貨物自動車運送事業の免許制から許可制への変更による参入規制を緩和した。平成 15(2003)年度 4 月には自由な経済活動の環境を前進させるため、貨物自動車運送事業法が改正され、経済的規制が更に緩和された。その後、公平な競争条件に向けた事後チェック体制の強化が順次図られた。図 2-4 はトラック運送事業の段階的規制緩和を示す。

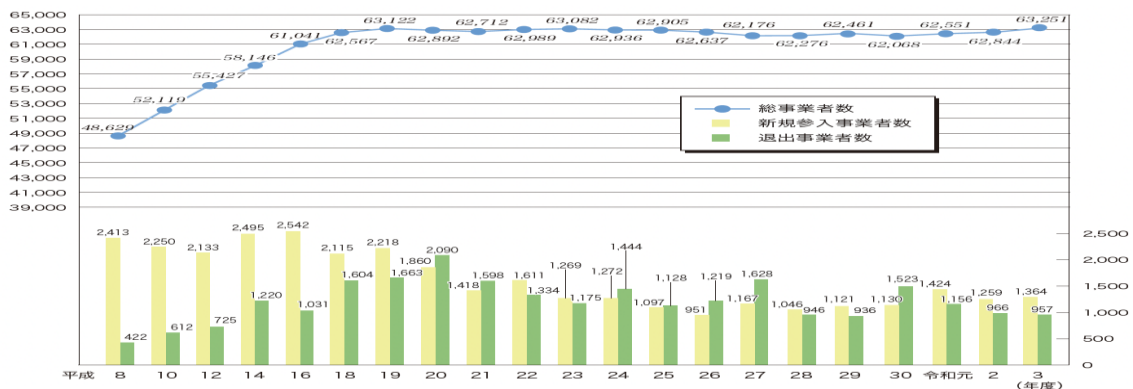
図 2-4：トラック運送事業の段階的規制緩和



出所：全日本トラック協会(2023,P.12)から引用した。

貨物輸送供給を示す指標として、一般貨物自動車運送業の事業者数の推移を確認する(図 2-5)。平成 2(1990)年度の貨物自動車運送事業法施行以降、トラック運送事業の規制緩和によって新規参入事業者が急増した。ピーク時の平成 19(2007)年度末には 1.5 倍以上の 6 万 3 千者を超えた。しかし、輸送需要が伸び悩むなかで事業者間の競争が激化し、それ以降は、事業者数の増加率が鈍化、横ばい状態にあるとともに新規参入と退出事業者数がほぼ拮抗している。この結果、平成 20(2008)年度末は規制緩和以降初めて総事業者数が前年度より減少し、平成 21(2009)年度末以降は横ばいで推移している。

図 2-5：トラック運送事業者数の推移(単位:者)



出所：全日本トラック協会(2023,P.14)から引用した。

前項で一般貨物自動車運送事業における貨物輸送需要が低迷していることを確認したが、その一方で貨物輸送供給主体である運送事業者の数は増加しており、この結果、競争が激化し、トンキロあたり売上高は低下し、企業の営業利益は低下傾向で、近年ではゼロを下回っている<sup>21</sup>。

トラック輸送には、自家の貨物を輸送する自家用トラック(白地のナンバープレート)と、他者の貨物を有償で輸送する営業用トラック(緑地のナンバープレート)の2種類がある。この営業用トラックについては、貨物自動車運送事業法で、事業形態が一般貨物自動車運送事業と特定貨物自動車運送事業に大別され、さらに一般貨物自動車運送事業のなかの一形態として特別積合せ貨物運送がある。一般貨物自動車運送事業のなかで、不特定多数の荷主から集荷した貨物を、起点および終点のターミナル等の営業所または荷扱所で必要な仕分けを行い、そのターミナル等の間で幹線輸送などを定期的に行うのが特別積合せ貨物運送事業である。宅配便はこの事業に含まれる。特定貨物自動車運送事業は、品目ごとに荷主などを限定して輸送する事業である。中小企業基本法では「資本金3億円以下又は従業員300人以下」の企業を中小企業と規定しているが、これによると、一般貨物自動車運送事業者の99%以上が中小企業ということになる(表2-1)。

表2-1：トラック運送事業の規模別事業者数(令和4年3月末現在、単位:者)

業種	両	10以下	11~20	21~30	31~50	51~100	101~200	201~500	501以上	計
特別積合せ		9	8	8	34	59	81	68	46	313
一般		29,751	13,212	5,986	4,740	2,970	900	249	48	57,856
特定		291	19	5	3	2	0	0	0	320
霊		4,562	141	26	21	7	4	1	0	4,762
計		34,613	13,380	6,025	4,798	3,038	985	318	94	63,251
構成比(%)		54.7	21.2	9.5	7.6	4.8	1.6	0.5	0.1	100.0

出所：全日本トラック協会(2023,P.6)から引用した。

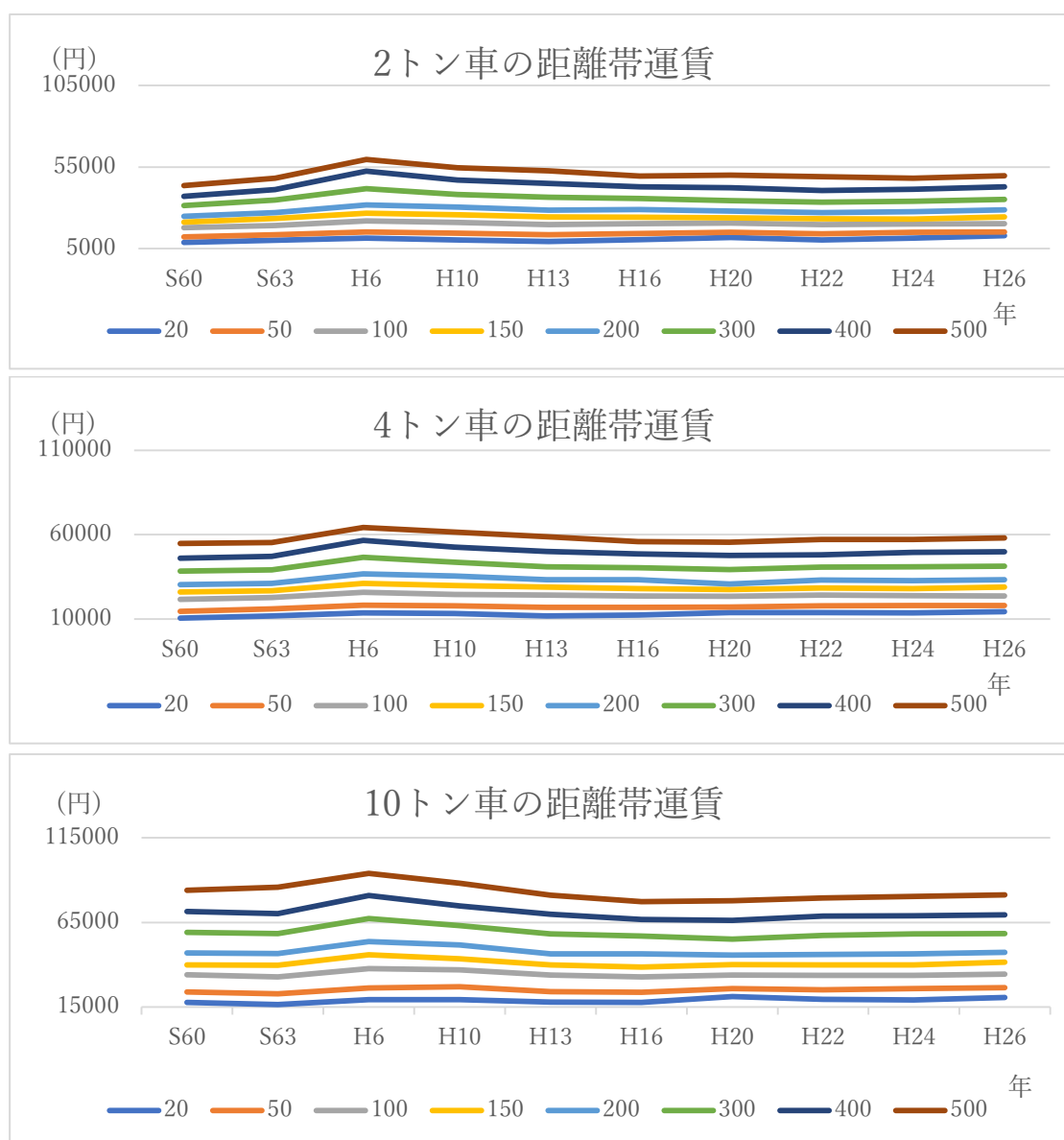
トラック保有台数の事業者の内訳を見ると、保有台数50台以下の事業者数が圧倒的に多く、10台以下の事業者数に限ってもその構成比は50%を超えている。しかも、この比率は年々上昇している。このように、貨物自動車運送事業の大部分が中小零細事業者であり、大手事業者を頂点とするピラミッド型の下請け構造が形成されている。特に、過半を占める保有台数10台以下の事業者は、トラックの実動率を維持するために、採算性が合わなくても仕事を受け入れることも多い。また、軽油価格の高止まりや地球温暖化対策の強化など、事業にかかる費用が増加する傾向にある。このため、過重な労働環境を招いて、安全運行の確保を難しくしている。

21 田邊(2017,P.245)を参照した。

### 2.3.1.3 トラック輸送の運賃

規制緩和後運送会社は全国で6万社を超えるが、その96%が従業員100人以下の企業だ。中小零細企業が大半を占める運送業界では需要の停滞だけではなく、過当競争に伴う安値受注が値上げを阻む。また、下請け、孫請けと続く多重構造で、元請け企業が運賃を引き上げても下請け会社への波及は停滞しがちだ。図2-6はトラック運送事業の距離帯別運賃である(図の中の数値“20、50、100、150、200、300、400、500”は距離帯(km)を表す)。手元の資料のデータは平成26(2014)年まででも、運賃は停滞する傾向は明らかである。

図2-6：トラック運送事業の距離帯別運賃



出所：国交省自動車局貨物課『貨物自動車運送事業者数の推移』各年版。

運賃はコロナ前を下回る半面、燃料費は高止まりしている。燃料高でも運賃は上がらず、政府の補助金による価格抑制の仕組みはあるが、「コスト上昇分が大きすぎて焼け石に水」という。現在、一般貨物運送業において事業者の退出が参入を上回るようになり始め、全体の事業者数は減少しつつある。ただ、その速度は依然、緩慢であり、供給過剰の状態を自然に任せておいては運賃を適正な水準まで引き上げることが困難になる。人件費や電気代、中古車価格も上がっており、規模の小さい運送会社では経営が立ち行かなくなる例も増えてきた。

そこで、トラック運送業全体として適正な運賃を収受して健全な経営を行える事業者による市場競争を促進するためには、事業者規模による交渉力の違いを認識したうえで、それぞれに合った方法で荷主や元請けに対する運賃交渉を行うことが重要である。

## 2.3.2 トラック運転者の労働市場

近年、トラック運送業全体において、ドライバー不足に起因する輸送供給能力の低下が深刻化している。はじめに、ドライバー不足について現状を確認する。

### 2.3.2.1 トラック運転者の労働需要(物流会社)

#### 1. トラック運転者の欠員率

「労働経済動向調査」では、景気の変動が雇用等に及ぼしている影響や今後の見通し等について調査し、労働経済の変化や問題点を把握するため、2月、5月、8月及び11月の四半期ごとに厚生労働省が実施している。この調査で、産業、企業規模別欠員率の推移を表示している。欠員率は常用労働者に対する未充足求人の割合をいい、次式により算出する。

$$\text{欠員率} = \frac{\text{未充足求人数}}{\text{常用労働者数}} \times 100(\%)$$

常用労働者と未充足求人の定義は表 2-2 で説明する。産業別欠員率の推移(図 2-7)に示すとおり、程度の差はあるが、産業別に比較すると、金融業・保険業は変動が小さく、低位で推移しており、運輸業・郵便業は変動が大きく、欠員率が比較的高位で推移している。トラック運転者を含まれる運輸業・郵便業は、もともと他の職業と比較して欠員率が高い職業であるが、ここ数年でさらに不足感が高まっているといえる。平成 31(2019)年度第 3 四半期以降、産業全体としては低下傾向にあるが、運輸業・郵便業の欠員率が高い。しかし、2021(R3)年のコロナウイルス流行の原因で運輸業・郵便業の欠員率は低下した。これは景気が良くない時、他産業の雇用が縮小し、労働力が物流業界に流入したからである。

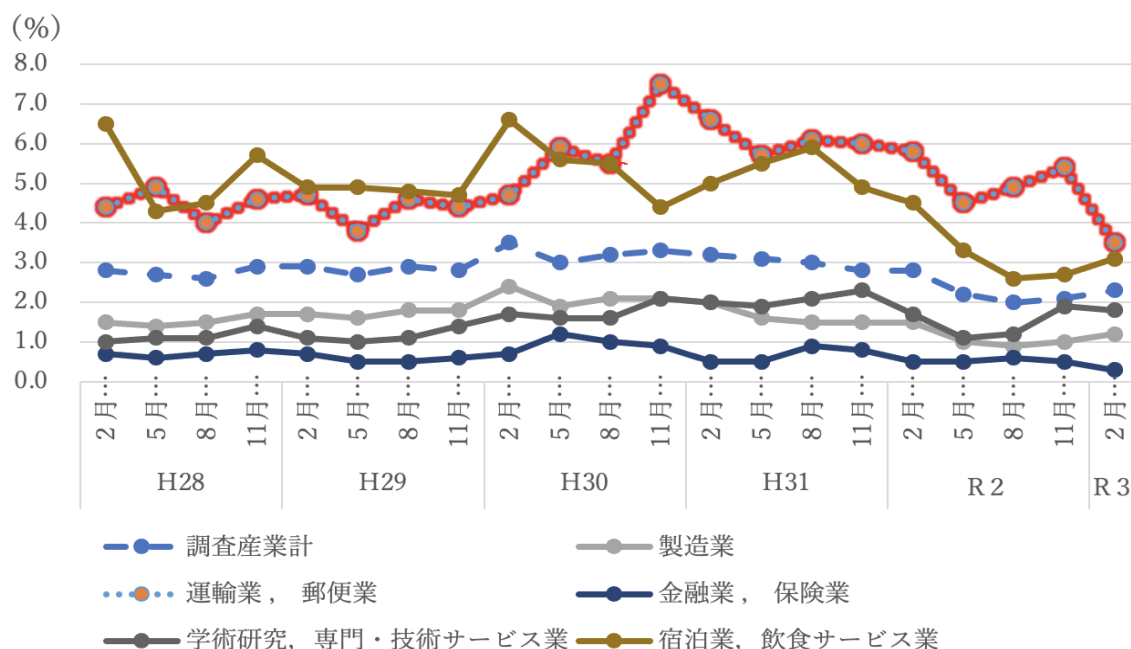
表 2-2：常用労働者と未充足求人の定義

			定義
労働者	常用労働者	正社員	雇用期間を定めないで雇用されている者又は1年以上の期間の雇用契約を結んで雇用されている者をいう。
		臨時	1か月以上1年未満の期間を定めて雇用されている者及び期間を限って季節的に働いている者をいう。
		パートタイム	1日の所定労働時間又は1週間の所定労働日数が当該事業所の正社員のそれより短い者をいう。
	派遣労働者	労働者派遣法に基づいて他社(派遣元事業所)から当該事業所に派遣されている者をいう。	
未充足求人			事業所において、仕事があるにもかかわらず、その仕事に従事する人がいない(欠員)状態を補充するために行っている求人をいい、求人の方法は問わない。

出所：厚生労働省「労働経済動向調査」付属統計表第4表。

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00450072&tstat=000001018522&cycle=2&tclass1=00001018523&tclass2val=0>

図 2-7：産業別欠員率の推移



出所：厚生労働省「労働経済動向調査」により作成。

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/43-1.html>

## 2.トラック運転職の有効求人倍率

貨物自動車運転職の有効求人倍率を確認する。図 2-8 は自動車運転職全体の有効求人倍率を示したものである。一般貨物自動車運送業のドライバーに限定された統計ではないため、正確性が十分とはいえないが、一応の目安にはなると思われる。有効求人倍率の計算式は以下に示した。

$$\text{有効求人倍率} = \frac{\text{有効求人数}}{\text{有効求職者数}}$$

有効求人倍率の推移(図 2-8)に示すとおり、自動車運転の職業(パート含む)に関しては、リーマンショック後の平成 20(2008)年度から急落し、平成 21(2009)年度に 0.83 まで落ち込んだが、その後、急激に上がり続け、平成 31(2019)年度は 3.1 となりリーマンショック前の最高値 1.58 のおよそ 2 倍となった。有効求人倍率が 3.1 ということは、求職者 1 人に対して 3.1 件の求人があることを意味する。求人を出している企業と比べて、物流業界で働きたい人の数が大幅に少ないのである(人手不足)。全職種計(パート含む)を見ると、平成 22(2010)年度に 0.47 と最低を記録した。その後徐々に上がり、平成 31(2019)年度には最高の 1.5 となった。これは、自動車運転の労働力不足が他の職業と比べ深刻なことを示している。小田(2015,P.80)<sup>22</sup>によれば、自動車運転職業の有効求人倍率が大幅に高くなった要因は、有効求人数の増加率は大差がないが、有効求職者数の減少率が極めて大きかったためである。しかし、2021(R3)年のコロナウイルス流行の原因で全職業と自動車運転職業の有効求人倍率は低下したが、自動車運転職業の有効求人倍率の低下幅はより大きかった。これは景気が良くない時、他産業の雇用縮小は物流産業の雇用縮小より大きく、労働力が物流業界に流入したからである。

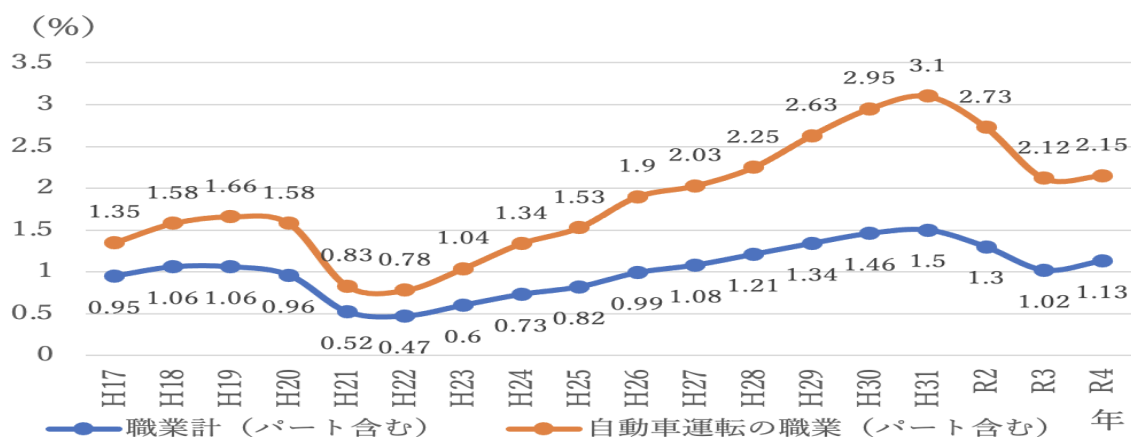
以上により、自動車運転者の需給は他の職業と比べて逼迫している。その要因は求職者の急激な減少である。物流産業は労働集約型の産業であり、人手不足の問題を解決することは、物流産業の生き残る上では不可欠であると考えられる。また、令和 2(2020)年コロナウイルス流行の影響で有効求人倍率は急激に低下した。このような現象から仮説として、自動車運転職業は人気が低いので「経済が不況時には求職者が増えて有効求人倍率が低くなり、経済が豊富な好況時には人気の高い他の職業に求職者が流出し有効求人倍率が高くなる」と考えることができる。

---

22 小田(2015)を参照した。



図 2-8：自動車運転職の有効求人倍率の推移



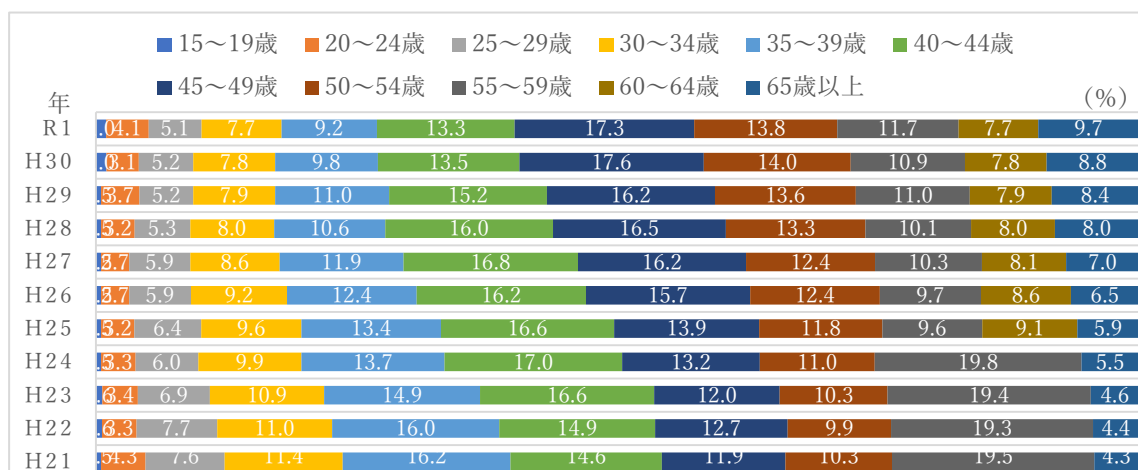
出所：厚生労働省『職業安定業務統計』を参照した。<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/114-1b.html>

### 2.3.2.2 トラック運転者の労働供給

#### 1. トラック運転者の年齢構成

トラック運転従事者は平成 21(2009)年度から令和元年(2019)までの 11 年間で、35 歳未満のトラック運転者が減っている一方、50 歳以上のトラック運転者が増えている。総務省統計局の『労働力調査年報』(図 2-9)によれば、自動車運転の構成比は平成 21(2009)年では 30 歳未満 12.4%、50 歳以上 34.1%に対し、令和元年では、30 歳未満 10.2%、50 歳以上 42.9%と高齢化が著しく進み、60 歳以上も 17.4%を占めていることがわかる。自動車運転者の高齢化が著しく進んでいる。

図 2-9：トラック運転者の年齢階級別就業者構成比の推移



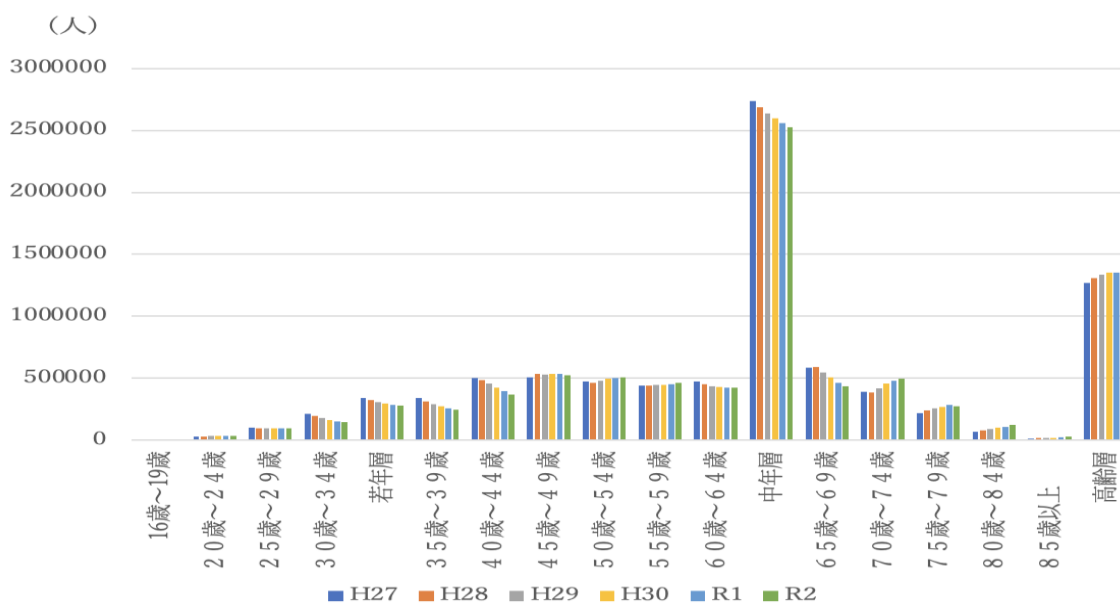
注：運送業・郵便業うち道路貨物運送業のデータによってトラック運転者のデータを作成した。

出所：総務省統計局「労働力調査年報」。<https://www.stat.go.jp/data/roudou/report/index.html>



さらに、警察庁の運転免許統計(図 2-10)によれば、大型第一種免許保有者数は、若年層(16~34 歳)や中年層(35~64 歳)が減少している。その中、20~24 歳、25~29 歳の保有者数については不変のまま推移している傾向にあるが、30~34 歳、35~39 歳、40~44 歳の保有者数は減少している。高齢層(65 歳以上)について 65~69 歳の保有者数は減少しているが、高齢層全体の数は増加している。

図 2-10：大型第一種免許年齢別保有者数推移



出所：警察庁『運転免許統計』

<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/menkyo.html>

日本総合研究所が 2025 年ごろの雇用者数を予測したところ、自動車の運転手は 2015 年と比較して 11 万人減、販売店員が 10 万人減、ビル掃除員が 9 万人減の見通しである。一方で、システムコンサルタントは 38 万人増、ソフトウェア開発者は 14 万人増だった。デジタル技術による産業構造の転換を受け、労働市場に変化が起きている。トラック運転手や小売店の販売員など異職業から IT(情報技術)分野に人材が移り始めた<sup>23</sup>。

以上によりトラック運転者は高齢者の割合が高いため、今後ドライバーの引退によって、人手不足の課題がさらに深刻化する事態も考えられる。

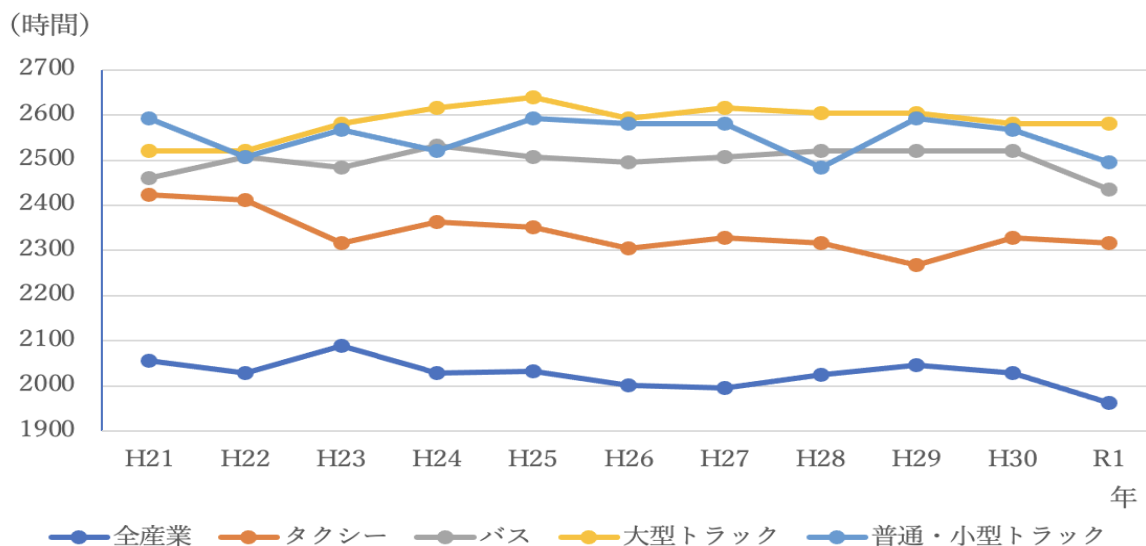
## 2.トラック運転者の労働時間

厚生労働省『賃金構造基本統計調査』から、運転者の年間労働時間を図 2-11 に示す。大型トラック・普通小型トラック・バス・タクシーの労働時間ともに長い状態が続いてい

23 杜師・野元(2021)を参照した。

る。大型トラック運転者の年間労働時間は、全産業で計算した年間労働時間<sup>24</sup>に比べて年あたり 470(平均値)時間程度である。大型トラックの運転者は、最高で年間 2,640 時間に達し、労働時間が最も長い。近年はやや減少しているが、全産業の年間平均労働時間とのギャップは明らかに縮小していない。

図 2-11：トラック運転者の年間労働時間の推移



注：「大型トラック」は、「営業用大型貨物自動車運転者」、「普通・小型トラック」は「営業用普通・小型貨物自動車運転者」、「バス」は「営業用バス運転者」、「タクシー」は「タクシー運転者」より作成した。

出所：厚生労働省『賃金構造基本統計調査』各年版。

### 2.3.2.3 トラック運転者の賃金

まず、トラック運転手の年間収入を見ていく。図 2-12 は、横軸に年、縦軸に年間平均所得額をとった図である<sup>25</sup>。

$$\text{年間平均所得額} = 10 \text{人以上のきまって支給する現金給与額(月額)} * 12/10 \text{(万円)}$$

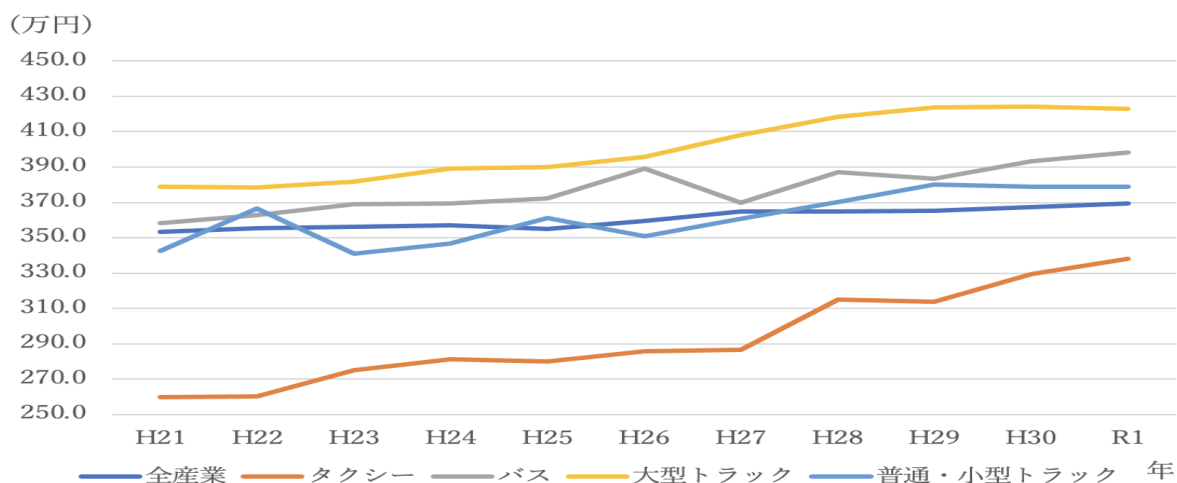
24 全産業の平均労働時間は全産業の(所定内実労働時間数+超過実労働時間数)を労働者数に加重平均して計算した。

25 きまって支給する現金給与額(千円)：労働契約、労働協約あるいは事業所の就業規則などによってあらかじめ定められている支給条件、算定方法によって 6 月分として支給された現金給与額をいう。手取り額でなく、所得税、社会保険料などを控除する前の額である。

現金給与額には、基本給、職務手当、精皆勤手当、通勤手当、家族手当などが含まれるほか、超過労働給与額も含まれる。1 か月を超え、3 か月以内の期間で算定される給与についても、6 月に支給されたものは含まれ、遅払いなどで支払いが遅れても、6 月分となっているものは含まれる。給与改訂に伴う 5 月分以前の追給額は含まれない。現金給与のみであり、現物給与は含んでいない。

図 2-12 から大型トラックの年間所得額が一番高く、また、年によって大型トラック運転者の年間所得額が上がっていくことがわかる。普通・小型トラック運転手の年収は大型トラックほど高くないが、自動車運転者の平均値とほとんど同じレベルである。

図 2-12：トラック運転者の年間所得額の推移



注：「大型トラック」は、「営業用大型貨物自動車運転者」、「普通・小型トラック」は「営業用普通・小型貨物自動車運転者」、「バス」は「営業用バス運転者」、「タクシー」は「タクシー運転者」より作成した。全産業の年間所得は年ごとに各産業を労働者数に加重平均して計算した。

出所：厚生労働省『賃金構造基本統計調査』各年版。

トラック運転者は、全産業と比較して長時間労働など厳しい労働環境にあり、年間所得だけで産業の環境を判断するのは不十分である。トラック運転者の賃金はどのように変化しているのだろうか。賃金は厚生労働省の「賃金構造基本統計調査」のデータを用いて、

$$\text{時間あたり実質賃金} = \frac{\text{名目賃金}}{\text{物価指数}}$$

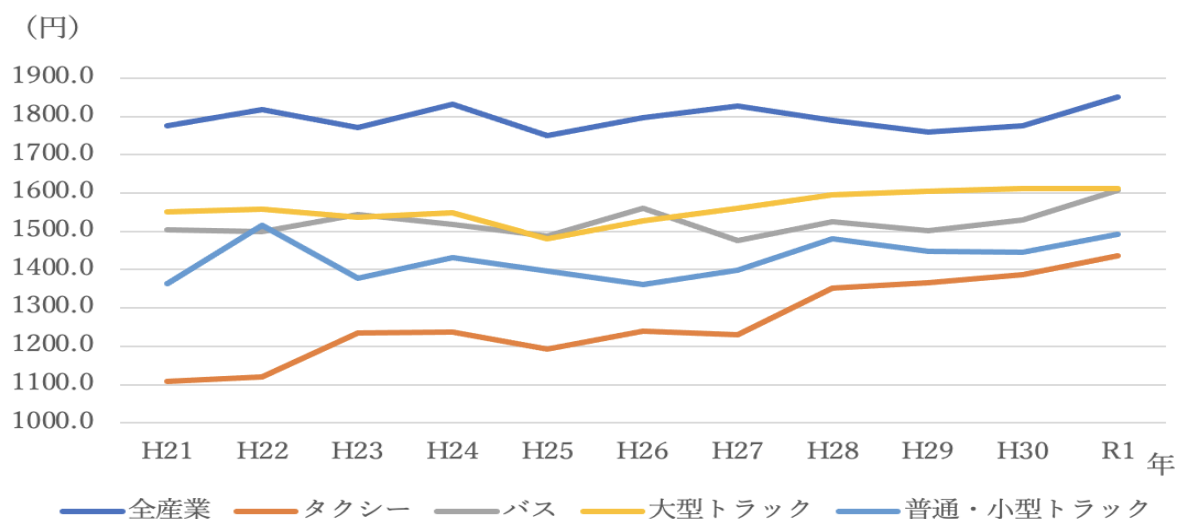
$$\text{名目賃金(時給)} = \frac{\text{きまって支給する現金給与額} \times 12 + \text{年間賞与その他特別給与額}}{(\text{所定内実労働時間数} + \text{超過実労働時間数}) \times 12}$$

により時間あたり実質賃金を計算する。「賃金構造基本統計調査」は6月だけの調査であるため、月収に12を掛けて年収に変換する必要がある。

図 2-13 は営業用大型貨物自動車運転者と普通・小型貨物車運転者の賃金の推移を示したものである。図 2-13 から大型トラック・普通小型トラック・バス・タクシーともに明らかに低い状態が続いている。大型トラックの賃金は近年上昇傾向であるものの、全産業を大きく下回っていることがわかる。トラック運転手の給与は歩合制(出来高制)になってい

る場合もあり、待機時間が給与に反映されなかったり、深夜労働の割増賃金が反映されなかったりする場合もある<sup>26</sup>。2019年、営業用大型貨物自動車運転者の「きまって支給する現金給与額」は35.23万円であるが、年間賞与その他特別給与額は32.85万円しかない<sup>27</sup>。

図 2-13：トラック運転者の平均時間あたり実質賃金の推移



注：時間あたり賃金 =  $\frac{\text{全産業年間所得}}{\text{全産業年間労働時間}}$  の実質値である。

出所：厚生労働省『賃金構造基本統計調査』各年版。

総務省統計局『消費者物価指数』。

以上より、トラック運転者は、他産業と比較して、低賃金・長時間労働など厳しい労働環境にあるから、人気が低い。好況時には他産業に人材が流れてしまうことが人手不足の一つの要因となる可能性がある。若者が求人に応じない状態である。

完全競争市場であれば、労働者の賃金は以下の式で求まる。

$$\text{賃金} = \text{サービスの価格} \times \text{限界生産力}$$

限界生産力とは労働が1単位増えた場合に増える供給量を意味する。この式より、賃金はサービス価格と正の相関を持つことがわかる。人手不足は労働供給に対して労働需要が超過した状態を意味しており、価格調整機能の働きによって、需給均衡に向かう過程で賃金が上昇すれば済む話だが、図 2-13 からは労働力不足が顕著となった平成 21(2009)年度以降も賃金の上昇は見られず、一定の水準で推移していることが分かる。これは、賃金を上げるほどの運賃をトラック事業者は荷主から得ていないためであろう<sup>28</sup>。特に、中小

26 長野(2015)を参照した。

27 厚生労働省「賃金構造基本統計調査」(2019年度)から引用した。

28 田邊(2017,P.247)を参照した。

トラック事業者は荷主との価格交渉力を持たず、原価割れの運賃でも荷物を運ばざるを得ない企業も少なくない。トラック運送事業は典型的な労働集約型の事業であり、運送コストにおいては人件費の占める比率が高い。そのため、人手不足でも賃金も上がらない。

#### 2.3.2.4 最低賃金と雇用

労働市場が完全競争的であるにせよ、買い手独占的であるにせよ、労働市場の均衡において賃金が決定される。このように決定される賃金水準が公正な水準よりも低すぎるという判断のもとに、政府が賃金水準の加減を定めることがある。これが最低賃金である。日本には2種類の最低賃金がある。1つは、地域別最低賃金と呼ばれるもので各都道府県に決められている最低賃金で、すべての産業で働くすべての労働者に適用される。もう1つは、各都道府県・各産業に定められた特定最低賃金と呼ばれるものである。特定最低賃金は「特定の産業について設定されている最低賃金」のことで、地域別最低賃金より高く設定され、適用事例は多くない。運輸関係では高知県の事例1件のみである。高知県の特定最低賃金の対象となるのは車両総重量8トン以上又は最大積載量5トン以上の「一般貨物自動車運送業」の運転業務従事者で、最低賃金額は910円である。平成19年(2007年)に導入され、金額に変化はない。高知県の地域別最低賃金は令和5(2023)年度で897円であり、差額は縮まりつつある。

最低賃金の引き上げが雇用を減らすかどうかは労働市場の状態に左右される。理論的には最低賃金を引き上げることが雇用を減らすこともあるし、増やすこともあるため、実証分析を行ってその効果を明らかにする必要がある。しかし、最低賃金と雇用の間の因果関係の識別は難しい<sup>29</sup>。

## 2.4 低賃金構造の分析

### 2.4.1 労働力不足の経済理論

これまで確認してきたように、一般貨物自動車運送業においては慢性的な人手不足が続いている。労働需要が超過している場合は、事業者は賃上げによって適切な労働力を確保することが合理的であるが、賃金を据え置いたまま人手不足に悩まされている事業者の行動には矛盾があるようにも思える。

---

29 川口(2017,pp.125-139)を参照した。

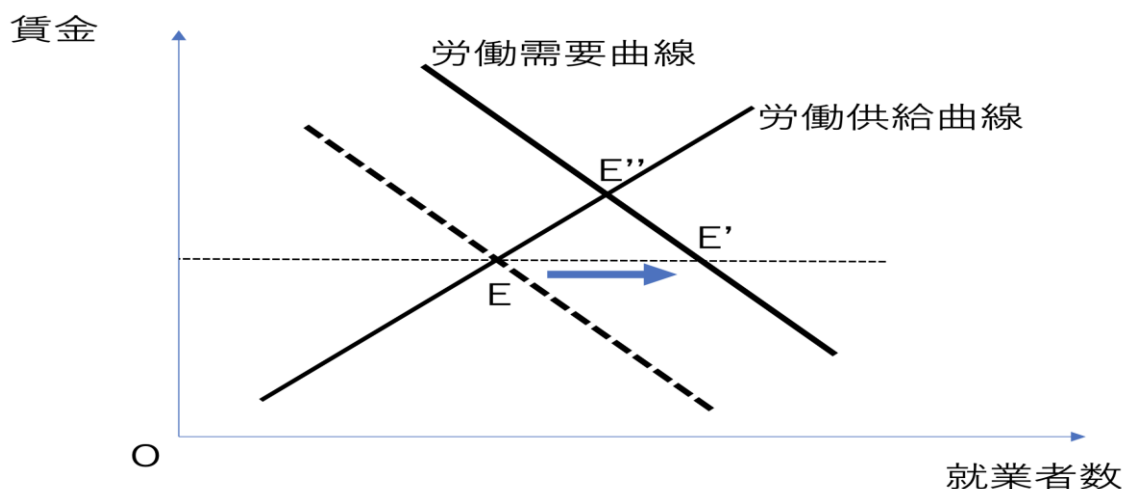
労働経済学の労働需要曲線と労働供給曲線のグラフを用いて、就業者数と賃金の関係を整理する。グラフでは、横軸に就業者数<sup>30</sup>、縦軸に賃金<sup>31</sup>をとり、それぞれの賃金に対応する労働需要(企業が雇いたい人数)と労働供給(働きたいと思っている人数)をプロットしたものである。一般的に、賃金が上がれば労働需要は減り、労働供給は増えるので、労働需要曲線は右下がり、労働供給曲線は右上がりになる。何らかの原因で労働需要が増え、あるいは労働供給が減少すれば、元の賃金では需要が供給を上回ってしまう状態が人手不足である。

以下、7つのケースに分けて労働市場における人手不足と賃金の関係を説明する。特に、経済理論から人手不足なのに賃金が上がらない要因を探る。

### (1) ケース 1 : 労働需要が増えた場合<sup>32</sup>

労働需要が増えた場合、図 2-14 で示したように、もともとは E 点で需要と供給が均衡しているが、労働需要が増えて労働需要曲線が右にシフトし、元の賃金では E' - E だけ需要が供給を上回ってしまう(労働力に対する超過需要である)。この状態が「人手不足」である。この場合には、だんだんと賃金が上昇し、賃金が増えた分労働需要が減って労働供給は増える。やがて需要と供給が一致する E'' 点に達して、新たな均衡になる。この場合は、賃金が増え就業者数も増える。「労働力に対する超過需要⇒人手不足⇒賃金は上がる」である。

図 2-14 : 労働需要が増えた場合



30 川口(2017,P.111)でx軸は雇用量で、近藤(2017,P.7)の図のx軸は就業者数であった。雇用量=就業者数×時間なので、ここで時間は固定値と仮定したと思われる。私たちがデータで観察しているのは、労働市場の均衡点すなわち労働需要曲線と労働供給曲線の交点だけであり、均衡点以外で曲線がどのような形をしているかを知ることができない(川口 2017,P.112)。

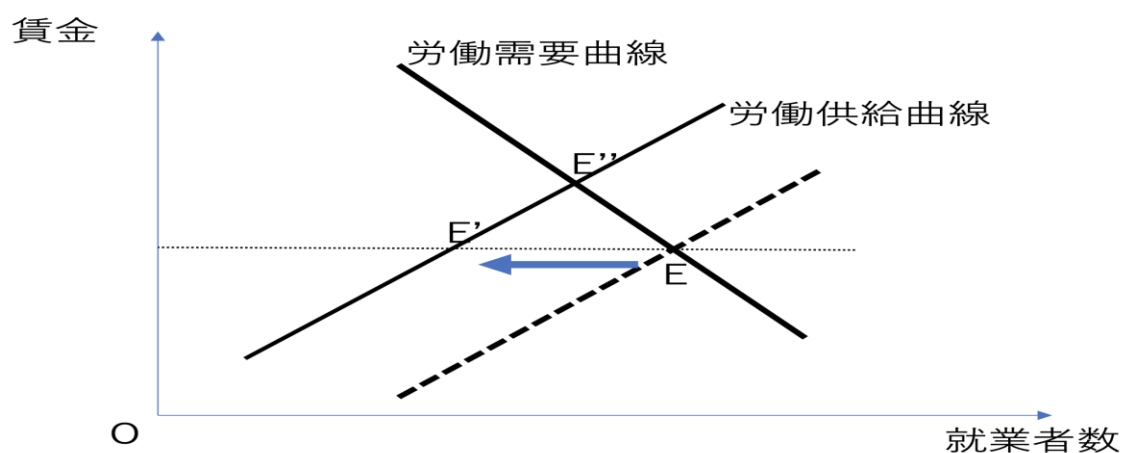
31 賃金は実質賃金を表す。

32 近藤(2017,P.6,P.285)を参照した。

(2)ケース2：労働供給が減った場合<sup>33</sup>

労働供給が減った場合、図 2-15 で示したように、労働供給曲線が左にシフトし、元の賃金ではE-E'だけ需要が供給を上回ってしまう(労働力に対する超過需要である)。この状態が「人手不足」である。この場合には、だんだんと賃金が上昇し、E''点に達して、新たな均衡になる。この場合は、賃金が上がるが、就業者数は減る。「労働力に対する超過需要⇒人手不足⇒賃金は上がる」である。

図 2-15：労働供給が減った場合



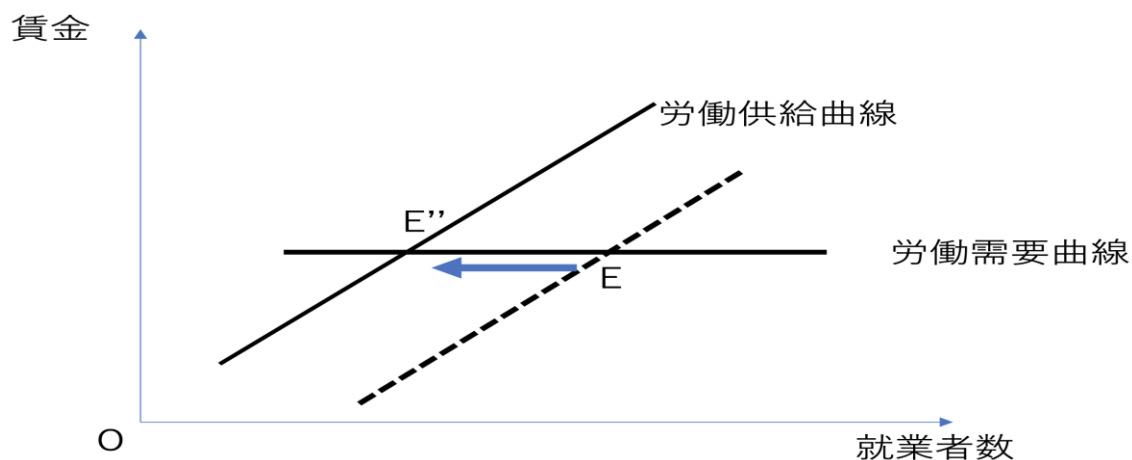
(3)ケース3：労働需要の賃金弾力性が無限大で労働供給が減った場合<sup>34</sup>

労働需要の賃金弾力性が無限大(すなわち少しでも賃金が高くなると労働需要が一気にゼロになる)の場合は労働需要曲線が水平になっている。これは図 2-16 で示したように、労働供給が減ると、均衡点はEからE''へと移動し、賃金は変化しなくても、E-E''だけ就業者数が減り、人手不足(労働力に対する超過需要)になる。労働需要側で払ってもよいと思っっている賃金が固定されているので、労働供給が減るとその分だけ就業者数が減って、賃金は変化しない。これ以上賃金を引き上げると採算が取れない(=労働需要の賃金弾力性が無限大)というような経営状態がギリギリの企業では、人口減少や他産業の雇用拡大などで労働供給が減って、労働者は足りていなくても、なかなか賃金が上がらない。これは、市場メカニズムが働いていたとしても、弾力性が高いから、人手不足でも、賃金は上がりにくくなるという説明である。「労働力に対する超過需要⇒人手不足⇒賃金は上がらない」である。

33 近藤(2017,P.6,P.285)を参照した。

34 近藤(2017,P.6,P.286)を参照した。

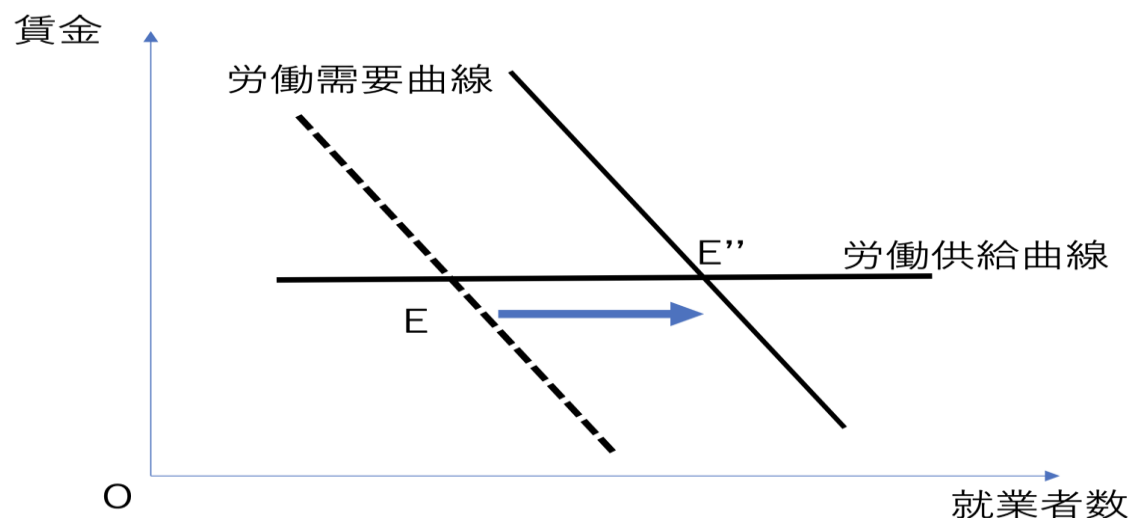
図 2-16 : 労働需要の賃金弾力性が無限大で労働供給が減った場合



(4) ケース 4 : 労働供給の賃金弾力性が無限大で労働需要が増えた場合<sup>35</sup>

労働供給の賃金弾力性が無限大(すなわち少しでも賃金が高くなると労働供給が一気に無限大になる)の場合は労働供給曲線が水平になっている。例えば、高齢者や女性などが非正規雇用で働くとき、少し賃金上がるだけで大量に労働者が市場に参入しようとするため、労働供給曲線は水平に近くになる(弾力性が高い)。このとき、図 2-17 で示したように、仮に労働需要が増えると、均衡点はEから E''へと移動し、賃金は変化しなくても、E'' - Eだけ就業者数が増えて、「人手不足」になる。このときには、非正規雇用の求人が増えて、労働需要曲線が右にシフトしても、企業は安い賃金でも労働者を多く採用される。そのため、人手不足になっても、賃金はやはりあまり上がらないことになる。「労働力に対する超過需要⇒人手不足⇒賃金は上がらない」である。

図 2-17 : 労働供給の賃金弾力性が無限大で労働需要が増えた場合



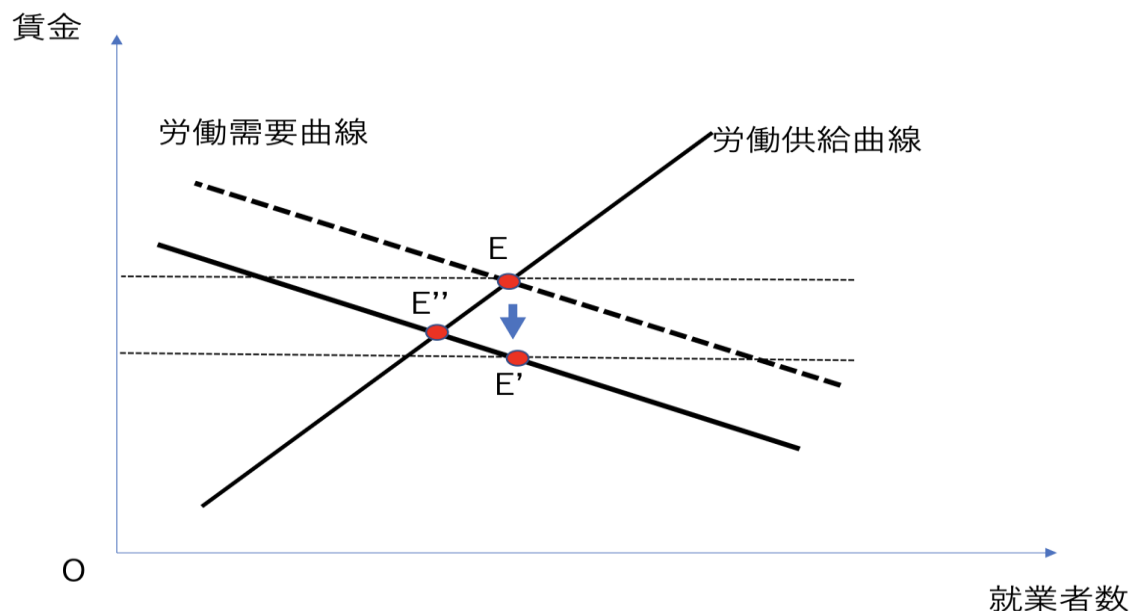
35 川口(2017,P.111)の部分を参照した。



(5) ケース 5 : コスト削減圧力がかかった場合<sup>36</sup>

図 2-18 で示したように、市場での競争激化を背景に、価格競争や原材料費の高騰などのコスト削減圧力により、同じ雇用量を以前よりも低い賃金で雇おうとするため、賃金を  $E - E'$  だけ引き下げ、労働需要曲線は下にシフトする。このとき、労働の需要価格  $E'$  が供給価格  $E$  よりも低くなっている。つまり雇用条件が悪くなっており、離職が相次ぐ結果、企業には人手不足に陥っている。この場合は、雇用を確保しようと多少賃金が上昇するが、需要が下方シフトしているため、 $E''$  点に達して、新たな均衡になる。均衡点  $E''$  はコスト削減前より低下している。結局、賃金が下がり、雇用量も減る。

図 2-18 : コスト削減圧力がかかった場合



(6) ケース 6 : 名目賃金に下方硬直性がある場合<sup>37</sup>

ここまでは、人手不足を解消するために賃金を上げる余裕がないケースを考えてきた。しかし、業績が好調で順調に利益も上がっているにもかかわらず、なかなか賃金を上げようとしない傾向が一部企業で見られることも事実である。

名目賃金の引き下げに対する労働者の心理的抵抗から、好調な企業がなかなか賃上げに踏み切れない理由としては、一度賃金を上げると将来下げることが難しいという名目賃金の下方硬直性によって生じ得る、名目賃金の上方硬直性の問題が考えられる。

36 近藤(2017,P.6,P.286)を参照した。

37 近藤(2017,P.10)を参照した。

## (7) ケース 7： 労働市場の二重構造

日本の労働市場が正規と非正規、フルタイムとパートタイムなどに分断され、二重構造になっていることも賃金を停滞させる要因である。Kitao and Mikoshiba (2022)は日本の労働市場の二重構造に注目する。労働需給が逼迫すると、パートタイム労働者の賃金は上昇するが、フルタイム労働者の賃金はあまり反応しないのである。賃金が停滞したのは、市場での競争にさらされたパートタイム労働者ではなく、市場からある程度隔離されたフルタイム労働者だったのだ。

以上の結果をまとめる。労働需要が増えた場合(ケース 1)と労働供給が減った場合(ケース 2)は、労働力に対する超過需要から起きた人手不足なので、労働市場の需給均衡の結果で、結局賃金は上がる。ケース 1 とケース 2 は人手不足の場合、賃金を上げることで人手不足を解消できる普通の労働経済理論である。

人手不足なのに賃金が上がらない要因は以下のケースにまとめる。労働需要の賃金弾力性が無限大で労働供給が減った場合(ケース 3)と労働供給の賃金弾力性が無限大で労働需要が増えた場合(ケース 4)は、人手不足でも労働市場の需給均衡の結果で、賃金は上がらない。コスト削減圧力がかった場合(ケース 5)は、賃金が下がり、雇用量も減る。名目賃金に下方硬直性がある場合(ケース 6)や労働市場の二重構造(ケース 7)も人手不足なのに賃金が上がらない要因になると考えられる。

### 2.4.2 同時方程式体系による需要関数と供給関数の推定<sup>38</sup>

2.3.1 では、経済理論から労働力不足と賃金の関係を説明した。「トラック運転者の人手不足なのになぜ賃金が上がらないか」は以上の経済理論のどのケースが当てはまるかを確認するため、労働需要曲線と労働供給曲線を推定する。また、労働需要の賃金弾力性と労働供給の賃金弾力性を推定する。

経済理論の基本は、原因と結果に関する因果関係にある。その因果関係を関数として表現し、計量分析によって推定する。その理論は単純に 1 本の式で表せる場合だけではなく、複数の式が組み合わさって理論を形成する場合がある。市場の理論は、一般的に需要曲線(需要関数)と供給曲線(供給関数)によって表される。それぞれの関数はデータを集めれば回帰分析によって推定できると考えられる。しかし、現実に観察されるのが需要と供給の交点、すなわち市場が均衡しているときであるから、回帰分析で推定ができたとしても、それは需要曲線なのか供給曲線なのかわからないし、また、2 つの式が別々に推定されるわけではないことがわかる。それでは、需要関数と供給関数を推定するためには、

---

38 森棟(1985)、山本(1995)、藁谷(1998)、神取(2014)、秋山(2018)を参照した。

それぞれの関数の位置を変える、すなわち関数をシフトさせる変数が必要である。これに対して、関数の位置が不変の式の場合は推定ができないことになる<sup>39</sup>。

以上の理由から、同時方程式体系モデルを用いて労働需要曲線と労働供給曲線を推定する。表 2-3 と図 2-19 はモデルで使う時系列データの情報を示す。集成したデータにもとじて、推定期間は 2001 年から 2018 年度までとした。

同時方程式体系の推定には、代表的なものに、間接最小 2 乗法と 2 段階最小 2 乗法がある。ここでは、貨物自動車運転者労働市場における次の労働需要曲線と労働供給曲線を 2 段階最小 2 乗法によって推定する。操作変数は営業収入の対数  $\ln Y$  と失業率の対数  $\ln U$  を選択する。

表 2-3：同時方程式体系モデルの各変数の意味と出所

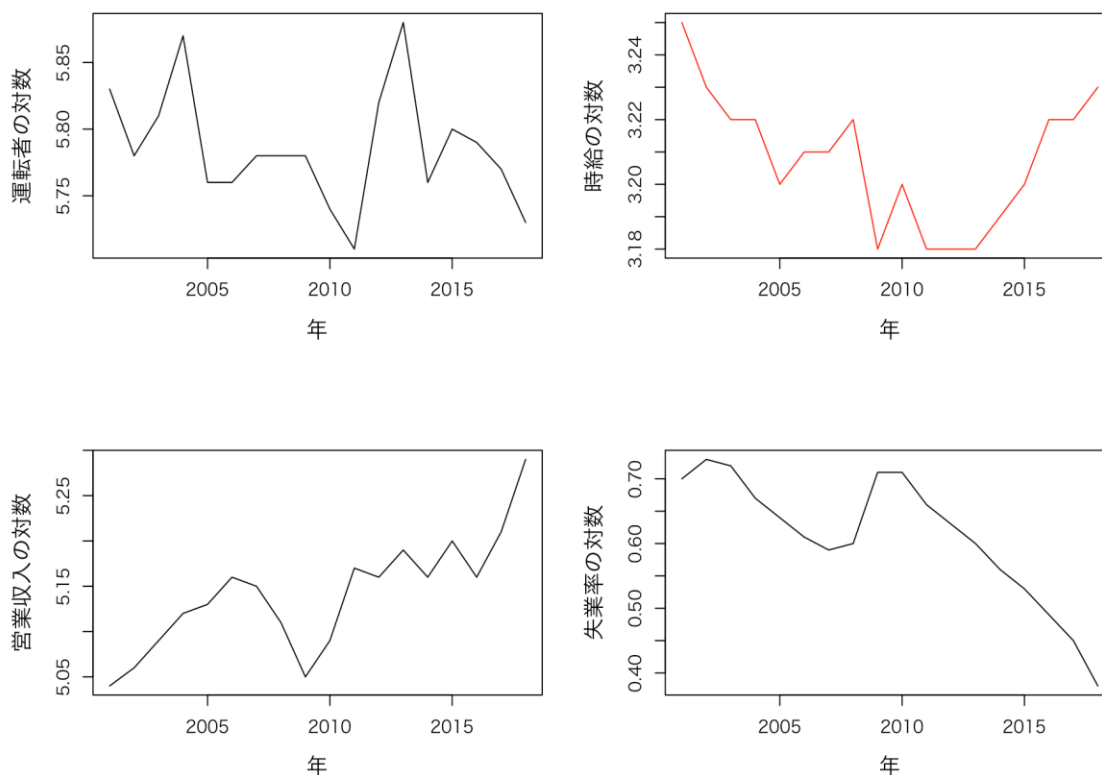
変数名	意味(単位)	出所
L	営業用貨物自動車運転者(人)	「賃金構造基本統計調査」各年版 <a href="https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html">https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html</a>
W	賃金(時給)(円/時)	「賃金構造基本統計調査」各年版 <a href="https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html">https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html</a>
Y	トラック事業の営業収入(億円)	国土交通省「数字で見る自動車 2023」 <a href="https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000084.html">https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000084.html</a>
U	完全失業率 (%)	総務省統計局「労働力調査」 <a href="https://www.stat.go.jp/data/roudou/longtime/03roudou.html">https://www.stat.go.jp/data/roudou/longtime/03roudou.html</a>

注：① 営業用貨物自動車運転者労働者数=営業用大型貨物自動車運転者労働者数+営業用普通・小型貨物自動車運転者労働者数

② 賃金は図 2-13 の大型トラックと普通・小型トラックの加重平均値。

39 秋山(2018, pp.274-276) を参照した。

図 2-19 : 各変数のグラフ表示(期間 : 2001-2018 年度)



労働需要関数

$$\ln L_i = \alpha_0 + \alpha_1 \ln W_i + \alpha_2 \ln Y_i + u_i$$

の推定値は表 2-4 に示す。

表 2-4 : 労働需要関数の推定値

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	7.477	3.729	2.005	0.063.
lnW	-0.264	1.043	-0.253	0.804
lnY	-0.164	0.187	-0.877	0.394

Number of observations: 18

Multiple R-Squared: 0.021

Adjusted R-Squared: -0.109

Significant codes: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

労働供給関数

$$\ln L_i = \beta_0 + \beta_1 \ln W_i + \beta_2 \ln U_i + v_i$$

の推定値は表 2-5 に示す。

表 2-5 : 労働供給関数の推定値

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>  t )
(Intercept)	5.123	3.244	1.579	0.135
lnW	0.187	1.006	0.186	0.855
lnU	0.103	0.115	0.894	0.385

Number of observations: 18

Multiple R-Squared: 0.058

Adjusted R-Squared: -0.067

Significant codes: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

結果として、

労働需要関数

$$\widehat{\ln L}_i = 7.477 - 0.264 \ln W_i - 0.164 \ln Y_i$$

労働供給関数

$$\widehat{\ln L}_i = 5.123 + 0.187 \ln W_i + 0.103 \ln U_i$$

労働需要の価格弾力性=-0.264

労働供給の価格弾力性=0.187

労働需要関数の推定値と労働供給関数の推定値は 5%有意水準では有意ではない<sup>40</sup>。計量経済学の観点から以上の推定結果は意味がないと考えられる。しかし、この推定結果から労働需要の価格弾力性と労働供給の価格弾力性の値は大体どの範囲であるかの予測として参考になり得ると考える。トラック運転者の労働需要の価格弾力性と労働供給の価格弾力性は無限の可能性は低いといえる。

以上の探索から「トラック運転者の人手不足なのになぜ賃金が上がらないか」は、以上の経済理論のケース 5、6、7 のいずれかであると考えられる。

### 2.4.3 トラック運送産業の労働力不足における対策

トラック運転手の人材不足が深刻化している。1990 年の規制緩和(物流 2 法の施行)により物流業界への新規参入が増えて競争が激しくなり、運賃の下落につながった。その結

40 操作変数を車両数、有効求人倍率、国内総生産などで変更して推定してもいい結果が出なかった。

果、低賃金や長時間労働など運転手の労働環境が悪化し、運転手が不足するようになった。また、貨物輸送需要拡大によるトラックの利用拡大にもなって浮上した問題として、①長距離化にともなう積載効率の問題、②自家用トラックとの競争、③労働力不足下での労働生産性の問題、などがあげられる<sup>41</sup>。

以下では各運送業者が自社に必要な労働力を確保するための方策を探討する。

#### 2.4.3.1 労働生産性の向上

トラック運送事業の労働生産性は他産業と比べ非常に低い水準にあり、深刻な労働力不足が続く物流産業では、トラック運転者への時間外労働の上限規制(物流の 2024 年問題)の適用により、1人当たり労働時間が短くなり運転手不足に拍車がかかる結果、「運べないリスク」が現実化する懸念がある。物流分野における労働生産性向上の方策を考えると、届け先でのドライバーの滞在時間の適正化を図るうえで、事前出荷情報を共有し、物流単位にあわせた受発注を行うことなどにより、これまでトラック運転者が負担していた業務を軽減させることや、ドライバーの待ち時間を削減することなどを考えられる。また、共同輸配送を推進することでトラックの積載効率の向上、より少ないトラックでより多くの荷物を運ぶことで運転手不足を解消する。

#### 2.4.3.2 運転免許制度の調整

自動車第一種免許の保有者数は傾向として減少している。大型自動車第一種免許の保有者数は平成 19(2007)年度 458 万人以上だったが、令和 2(2020)年度で 416 万人に減少し、42 万人も減少していた<sup>42</sup>。

2017 年施行の改正道交法で、新たに「準中型」免許(車両総重量 3.5 トン以上 7.5 トン未満)が新設された(表 2-6)。準中型は運転経験がなくても 18 歳から取得できるため、若年層の就業拡大が期待されている。準中型免許で運転できるのは、主に近距離の宅配やコンビニ配送などに使われている小型トラックである。近年はインターネット通販の普及に伴う取扱量の急増で、とりわけ多頻度小口配送の人手不足は深刻さを増している。準中型自動車免許実施により、高校新卒者(18 歳)をはじめとする若年ドライバーの雇用拡大に向け大きく前進し、労働力不足対策への期待が高まっている。

---

41 関谷(2019,P.171)を参照した。

42 警察庁『運転免許統計』から引用した。

<https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/menkyo.html>

表 2-6：免許種類と機能

免許種類	車両総重量	条件	機能
普通免許	3.5 トン未満	18 歳～	軽トラックなど(主に小口商品の配送などで使用)
準中型免許	3.5 トン以上 7.5 トン未満	18 歳～	小型トラックなど(主に近距離の配送のほか、宅配便やコンビニ配送などでも多く使用)
中型免許	7.5 トン以上 11 トン未満	20 歳～(普通免許等保有 2 年以上)	中型トラックなど(中短距離を中心に幅広い用途で使用)
大型免許	11 トン以上	21 歳～(普通免許等保有通算 3 年以上)	大型トラックなど(都市間を結ぶ幹線輸送など長距離で大量の荷物や資材を運ぶ用途に使用)

出所：永嶋功氏「準中型免許、18歳で取得可ー小型トラック、運転手確保に期待」『日経産業新聞』(2017年3月13日)。

#### 2.4.3.3 物流企業 M&A(合併・買収)の実施

M&A(Merger And Acquisition)とは、会社や事業を1つの会社に統合したり、会社同士で事業や株式を売買したりすることである。他の物流会社を買収すれば、トラック運転者を一度にまとめて獲得し、人材不足の問題を解消できるかもしれない。また、事業規模・領域の拡大やITシステムの獲得などにより、売上や生産性を高めることも期待できる。一方で、売り手としてM&Aを行う場合、大手企業の傘下に入ることで、「採用力の強化」や「より良い労働条件への変更」、「売上増加」、「顧客獲得」などの効果を期待できる。また、一部の事業だけを売却することで、獲得した資金を労働環境・条件の改善やITシステムの導入などに充てることが可能である。M&Aを行えば「人材の確保」や「労働条件の改善」などが可能となる。

#### 2.4.3.4 自動運転トラックの実用化

米ウォルマートが完全自動運転のトラックによる無人配送の実用化に動き、無人トラックによる物流拠点から店舗への配送を開始した。深刻な人手不足とコスト高で、ウォルマートは無人配送を駆り立てている。

中国でも自動運転を活用する動きが広がる。インターネット通販大手の京東集団(JDドットコム)は北京市や上海市など10都市以上で無人配送の実験を進めている。

日本の取り組みは両国に比べて遅れており、導入が進むのは工場や空港の敷地内で使う自動搬送車(AGV)で、流通企業や物流会社による公道での活用は実証実験も含めてまだ進んでいない。日本の現行法では一定条件で運転を完全自動化する「レベル 4」の自動運転車が公道を走ることはできず、制度の整備も課題だ<sup>43</sup>。

近年、自動運転技術の開発が急速に進んでおり、2020~2030年には完全自動運転を実現するという予想や目標も出ている<sup>44</sup>。将来的に自動運転が実現すれば、ドライバー不足は解消される可能性があるだろう。

## 2.5 おわりに

本章では、物流危機とも呼ばれる運転者の労働力不足を注目し、特にトラック運転者の人手不足の原因と人手不足なのになぜ賃金が上がらない不思議な現象を検討した。

トラック運転者の人手不足の原因としてトラック運送業特有の労働環境、トラック運転者の労働時間は全産業平均と比較して長時間、平均賃金は全産業の平均に比して低くなどが、労働供給が増えにくい原因となっている可能性である。また、労働経済学の理論から人手不足なのになぜ賃金が上がらない現象を検討し、トラック運転者の労働市場で、コスト削減圧力がかかった場合(ケース 5)、名目賃金に下方硬直性がある場合(ケース 6)、労働市場の二重構造(ケース 7) などがあれば、人手不足があっても賃金が上がらないと考えられる。物流企業の人手不足を解消する方策としては、トラック運転者の待ち時間を削減や共同輸配送で労働生産性を向上、運転免許制度の調整からトラック運転者の数を増え、他の物流会との合併・買収でトラック運転者を一度にまとめて獲得などで、トラック運転者の人手不足問題を解消できると考えられる。

しかし、同時方程式体系による貨物自動車運転者労働市場の労働需要曲線と労働供給曲線を 2 段階最小 2 乗法によって推定したが、労働需要関数の推定値と労働供給関数の推定値は 5%有意水準では有意ではない。今後は信頼性の高いデータの入手や、モデルの操作変数の変更などにより有意な結果を出すことが課題である。

---

43 白岩・川上・田辺(2021)を参照した。

44 小黒・内野(2016)を参照した。



## 第 3 章 日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシング

### による効率性と環境負荷の改善

#### 3.1 本研究の背景

厳しい競争下の市場において、企業は変化する外部環境にいち早く対応しつつ、自社の経営資源をより効率的に活用することが重要である。こうした課題に対応するための手法の一つが外部委託(アウトソーシング)である。過剰な経営資源を保有することなく外部委託を活用することで、経営効率が上がることを期待される。

企業活動において何を自社で行い何を外部委託するかという選択は普通的課題である。強みを持つ分野に集中し、弱みのある分野には外部に委託することがひとつの原則である。一般に製造業にとっては、ロジスティクスは強みを発揮しやすい領域ではなく、外部委託が選択されやすい。ロジスティクス市場では専門業者が、高度なノウハウや低コストで競い合っている。日本でも、ロジスティクスの一部を請け負うにとどまらず、荷主に代わってサプライ・チェーン全体の効率化を進める 3PL(サード・パーティ・ロジスティクス)の市場規模が拡大している。「ロジスティクス・ビジネス(LOGI-BIZ)」誌の調査によれば 2021 年度の日本の 3PL 市場規模は約 4.55 兆円に達しており、同誌が初めて数字を取りまとめた 2005 年度比で 4.5 倍に拡大している<sup>45</sup>。

ロジスティクスを本業と位置付けない企業にとって、いかにロジスティクス・アウトソーシング(Logistics Outsourcing : LO)を戦略的に行うかは重要な課題である。他方、ロジスティクス部門は大気汚染物質、温室効果ガス、廃棄物を大量に排出する。外部委託するか否かに関わらず、環境経営の中にロジスティクスを位置付けることは重要である。LO により自社にない高度なロジスティクスのノウハウを活用できるのと同様に、環境対策の点でもより高いレベルを追求できる可能性がある。

#### 3.2 先行研究

次に、本章で直接参考になった 3 つの先行研究を取り上げたい。

##### (1)先行研究 1 : 根来(2004)

ロジスティクスの外部委託(Logistics Outsourcing : LO)の現状や成果、課題を明らかにする際には、LO の優位性の持続問題は重要な課題である。LO の優位性の持続問題に関し

---

45 「3PL 白書 : サードパーティ・ロジスティクス 2006」『ロジスティクス・ビジネス(LOGI-BIZ)』2006 年 12 月, pp. 14-43.

「3PL 白書 2022」『ロジスティクス・ビジネス(LOGI-BIZ)』2022 年 9 月, pp. 20-67.

て、企業の LO が企業の競争優位を高めることに関する研究として根来(2004)がある。

根来(2004)では LO に期待される効果として、「①コア業務への経営資源の集中」、「②コスト削減」、「③専門性の確保」、「④弱さの補完」、「⑤参入までの時間」という 5 つの効果 が挙げられた。

アウトソーシングの戦略の活用について議論では、「コア業務への集中」という言葉に象徴される「選択と集中」論によるアウトソーシングに 3 つのジレンマがあることを明らかにした。「選択と集中」論によるアウトソーシングの 3 つのジレンマとは、「①モジュール化が進んだ業務についてのアウトソーシングは差別化につながらない可能性がある」、「②外部業者の「強さ」が自社の差別化に貢献するとは限らない」、「③アウトソーシングは差別化源泉(数)の縮小につながる」というものである。その問題点に関し、競争ゾーン分析、資源ベース戦略論、差別システム論という三つの前提理論が提示され、そして 3 つのアウトソーシングのジレンマを緩和するためのアウトソーシングの考え方として、「シナジスティック・アウトソーシング」のコンセプトを提案した。「シナジスティック・アウトソーシング」とは、委託先の業務プロセスと自社内の業務プロセスを組み合わせることによって、模倣困難性が高い差別化を形成するアウトソーシングのことである。

ここで、もしアウトソーシング先の業務が自社の業務と「活動システム」として結びつくことによってシステムとしての模倣困難性を持ちえれば、アウトソーシングした活動も持続的競争優位の形成に貢献できる可能性がある。

ただし、これらは可能性にすぎないので、シナジスティック・アウトソーシングがいつでも可能性だということではない。ポイントは、このような考え方によって、アウトソーシングのジレンマを緩和できる可能性があることである。

## (2)先行研究 2 : 木村(2004)

木村(2004)では、LO について、競争優位を高める要因を、製造業及び小売業の LO においてアンケート調査から得られたデータに基づき明らかにしようとした。またアウトソーシングが競争優位を高める可能性と低下させる可能性の 2 面性のもと、LO による競争優位を一時的ではなく、持続的なものとする条件は何かを、製造業において明らかにすることも目的としていた。

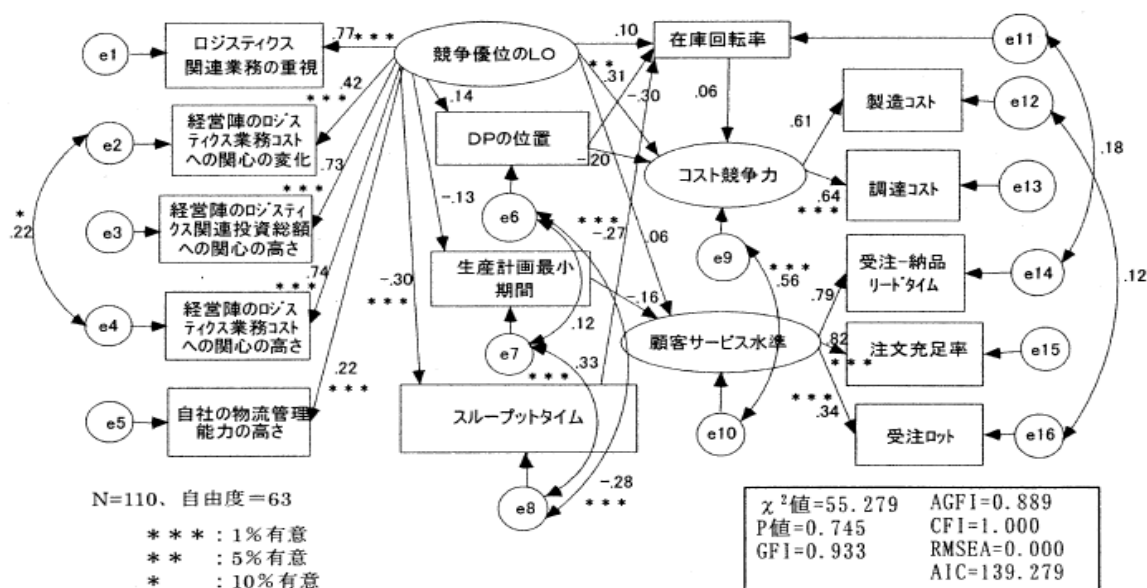
アンケート調査は、富士通総研と早稲田大学 IT 戦略研究所が共同で、2003 年 11 月 18 日から 2004 年 1 月 16 日にかけて行った。対象は東証一部・東証二部、ジャスダック市場に上場する製造業 1,388 社と小売業 234 社で、物流・ロジスティクス担当部門長への送付による郵送法により実施し、製造業 186 社、小売業 37 社から有効回答を得た(有効回答率は、製造業 13.4%、小売業 15.8%)。調査票における回答は多くが 5 肢選択である。

アンケート調査で得られたデータと、これらを加工したデータ及び各回答企業の調査時点から見た直近期の有価証券報告書から得られる在庫回転率などからモデルに用いデータ表を構成して、共分散構造モデルにより分析を行った。

具体的には、経営課題への貢献経路の分析は、SCMにおける研究である秋川(2004)の分析手法(モデル)を、競争優位のLOに応用することで行った(図3-1)。秋川(2004)の分析対象が製造業であるため、ここの分析対象は、製造業に限っている。

このモデルの概要は、LOの目的として企業の個別の経営課題への貢献を設定している。ここでの個別の経営課題への貢献は「在庫回転率」(在庫削減)、「コスト競争力」(コスト削減)、「顧客サービス水準の向上」である。しかし、在庫削減の中には業務効率、生産性の向上も含めている。LOの実施による直接効果と間接効果の両方から把握している。直接効果は企業の個別での経営課題への貢献とする。間接効果は企業内構造変数を通じて影響を与える効果を想定している。企業内構造変数とは企業内におけるサプライチェーンに注文を反映させるポイントである「DPの位置」(デカップリング・ポイントの位置)、生産計画、販売計画など諸計画の最も短い計画期間である「生産計画最小期間」、原材料の調達から製品を顧客に納入するまでの期間である「スループットタイム」であることとした。この間接効果を「シナジスティック・アウトソーシング」として解釈している。

図3-1：競争優位のLOにおける経路分析モデルの分析結果



注：この図は木村(2006,P.67)から引用したが、各観測変数の具体的作り方は木村(2004,P.18)を参考する。

分析の結果としては、「競争優位のLO」による個別の経営課題への貢献する経路は、「競争優位のLO」が直接的に「コスト競争力」を高める経路(有意水準5%)のほか、「スループットタイム」を通じ「在庫回転率」を高める間接的経路も有意であるのが示された(間接経路を構成する2本のパスが共に1%有意)。

有意な貢献経路うち、「コスト競争力」における直接効果は、「スループットタイム」経

由の「在庫回転率」への間接効果に比べ経営課題への貢献が大きい。ただ直接効果による経営課題への貢献、すなわち競争優位の高まりは、委託先のノウハウ等を用いれば同業他社も業務プロセスの模倣が容易で、競争優位は持続しにくいと見られる。しかしスループットタイムの変化を通じて在庫回転率への間接効果による貢献は、アウトソーシングに合わせて自社の企業内構造の変化を伴うため、同業他社は同じ委託先のノウハウ等の利用だけでは容易に模倣ができず、持続的な競争優位に繋がると考えられる。

木村(2004)の欠点は、①LO がもたらす環境に関する効果を考えていなかった、②経営課題への貢献ではコスト競争力に関する効果しか考えられておらず、ほかの経営課題への効果は明らかではなかった、③「競争優位の LO→スループットタイム→在庫回転率(在庫の削減)」という間接的経路が有意である一方、「競争優位の LO→在庫回転率(在庫の削減)」という直接効果は有意ではない、④製造業でも製品の種類により在庫回転率には大きな差があり、そもそも在庫回転率を指標に用いることの妥当性にも疑問がないわけではない、などである。

### (3)先行研究 3：唐(2016)

唐(2016)では木村(2004)のアンケート調査方法を参考にし、東証一部・東証二部・ジャスダックに上場する製造業全社を対象としてアンケート調査を行った。調査の特徴は、木村(2004)を基にしつつ、環境経営など新たな視点を付加した点である。

唐(2016)の目的は経営全般及びロジスティクスにおける環境経営の位置付けや成果、課題を明らかにすることであった。

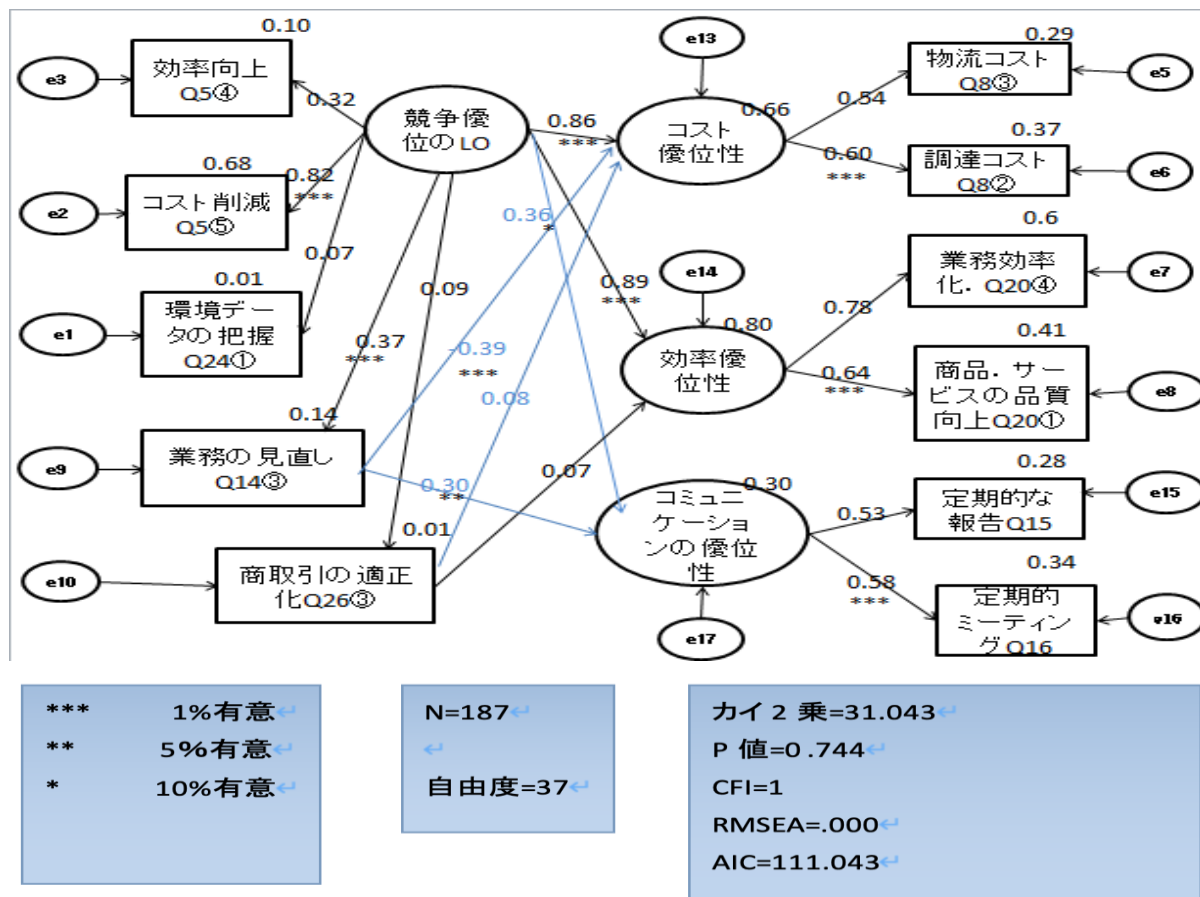
アンケート調査により収集したデータを用いて、木村(2004)を参考にして分析フレームワークを構成し、共分散構造分析を行った。唐(2016)では「①コスト優位性」、「②効率優位性」、「③コミュニケーションの優位性」、「④競争優位性の LO」という 4 つの要因の順に考察していき、分析フレームワークを構成した(図 3-2)。この分析フレームワークの基に、「競争優位の LO」が、「コミュニケーション優位性」、「効率優位性」、「コスト優位性」に貢献するという直接効果があると仮定していた。また、シナジー効果を「業務の見直し」と「商取引の適正化」に分けてモデルを構成した。LO の利用によってシナジー効果が生じることで企業の競争力に貢献できると仮定している。

分析の結果としては、「競争優位性の LO」による個別の経営課題への貢献が 10%未満で有意となった直接経路では「競争優位性の LO→コスト優位性」、「競争優位性の LO→効率優位性」、「競争優位性の LO→コミュニケーション優位性」のほか、「業務の見直し」を経由して、「コスト優位性」への間接経路と、「コミュニケーション優位性」への間接経路も有意であることが示された。すなわち、「競争優位性の LO→業務の見直し→コスト優位性」と「競争優位性の LO→業務の見直し→コミュニケーション優位性」である。

分析の結果から見ると、LO の目的・成果ともにコスト削減やコスト明確化への要求がきわめて強いことを示唆している。一方、委託先とのコミュニケーションは良好だと認識

されている割合が高く、協力関係を構築できていると考えられる。

図 3-2 : 共分散構造分析の結果



しかし、アンケートの結果から見ると、環境経営は重視されていないわけではないが、あくまでもコスト削減や商品・サービスの品質向上が優先される傾向にある。LO による環境負荷削減は先進事例において観察されるとしても、唐(2016)のモデルでは「競争優位性の LO→環境データの把握」という環境経営に示す経路は有意ではなかった。

### 3.3 研究目的

以上の先行研究からロジスティクスの効率化、高度化、競争力強化と、環境経営の両立可能性に関する実証的研究が十分になされてきたとは言い難い。そこで本研究はロジスティクスの高度化・効率化と環境経営との両立が、外部委託(3PL)とどのような関係を持っているか、現状を定量的に明らかにすることが目的である。高度化や効率化を主な目的とした LO は、環境負荷を増大させる可能性と減少させる可能性がある。ここでは、まず唐

(2016)のアンケート調査の回答を集計することで、経営全般及びロジスティクスの現状と課題、LOの現状と課題、ロジスティクスにおける環境配慮の現状及び特徴を把握する。次に共分散構造分析により、競争優位のLOが経営課題に貢献する直接的・間接的経路を示し、同時に環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を明らかにする。共分散構造分析は直接観測できない潜在変数を導入し、潜在変数と観測変数との間の因果関係を同定することにより社会現象や自然現象を理解するための統計的アプローチである。またパス図を描くことにより明快かつ柔軟に変数間の因果関係を示せることである。本研究のように多数の変数間の複雑な因果関係を明らかにするのに適していると考えられる。

### 3.4 ロジスティクスの外部委託と環境経営

#### 3.4.1 物流

物流の研究はマーケティング研究の一環として発展してきた。18世紀にイギリスで始まった産業革命の影響で生産効率が徐々に高まっていき、19世紀後半になると人々が必要となる以上の製品が市場に出し、「造れば売れる」という生産志向から「いかにして売れるか」という販売志向の観点に変えて、商品が消費者自身の手元へ届く物的供給という活動が発展した。

##### 3.4.1.1 物流の定義

日本規格協会<sup>46</sup>編(2013)の物流用語において物流を次のように定義している<sup>47</sup>。

「物流(physical distribution)とは物資を供給者から需要者へ、時間的および空間的に移動する過程の活動。一般的には、包装、輸送、保管、荷役、流通加工およびそれらに関連する情報の諸機能を総合的に管理する活動。調達物流、生産物流、販売物流、回収物流(静脈物流)、消費者物流など、対象領域を特定して呼ぶこともある」。

輸送、保管、荷役、流通加工、包装、情報は物流の6つの機能である。

##### 3.4.1.2 商流と物流<sup>48</sup>

流通とは、「原材料を調達したメーカーが、卸小売業を経て、消費者のもとに届けられること」である。

流通は、「商流(商取引物流)」と「物流(物的流通)」で構成されている。(表3-1)

商流は、「受発注と、これに伴う所有権と貨幣の移動」である。このとき商流は、広い市場を求め、多くの販売量を期待し、多くの利益を求めることから、「より遠く、より多く、

46 日本規格協会(Japan Industrial Standard) JIS と略する。

47 丹下(2017,P.12)を参照した。

48 苦瀬(2017,P.30)を参照した。

より高く」の拡大原理に基づいている。

物流は、「物資や商品の空間的・時間的移動と、高付加価値化」である。このとき物流は、より短距離・短時間で輸送し、より少量・短期間で保管し、より流通加工・包装・荷役の作業量を少なくすることを求めることから、「より近く、より少なく、より安く」の縮小原理に基づいている。

表 3-1：商流と物流の違い

	商流(商取引物流)	物流(ものの流通)
内容	所有権と貨幣の移動	空間的・時間的移動と、高付加価値化
機能	受発注、金融、情報	輸送、保管、荷役、流通加工、包装、情報
原理	拡大原理(より遠く、より多く、より高く)	縮小原理(より近く、より少なく、より安く)
需要	本源的需要	派生需要

出所：苦瀬(2017,P.30)。

そして、商流の結果として、もしくは商流を期待して物流が起きるので、商流が「本源的な需要」であり、物流は「派生需要」である。

商流が営業等販売活動や代金回収活動を業務の流れと捉えているのに対し、物流は生産物を移動あるいは保管する業務の流れを指す。特に 1970 年代以降、販売物流の領域として、より効率的にニーズにあった生産物を消費者に届け、新鮮・低価格といった付加価値を提供するための活動が産業界で盛んになっている。物流が生産物の移動・保管に主軸を置いた言葉であるのに対し、原料生産者・加工者・販売者を密に繋いだ供給主体のより包括的な経済行為をマネジメント面から強調する言葉として、ロジスティクス、サプライチェーン・マネジメントがある。

### 3.4.1.3 物流業務のアウトソーシング<sup>49</sup>

企業は、物流業務を自社で行う場合と、他社に委託する場合がある。

自社の場合には、自社の社員や施設や資材を用いて、物流業務を社内で行うので、物流管理と物流作業の両方を行うことになる。

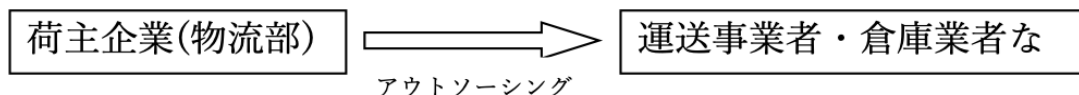
他社に委託する場合には、3つの形態(アウトソーシング、物流子会社、3PL)がある。

#### (1)アウトソーシング

物流のアウトソーシングとは、「物流管理は社内の物流部門が行い物流作業(輸送、荷役、保管など)は外部の物流事業者へ委託すること」である。(図 3-3)

49 渡部・苦瀬(2017,pp.188-192)を参照した。

図 3-3 : アウトソーシングの概念図



出所：渡部・苦瀬(2017,P.189)。

輸送業務については、従来から多くの荷主企業が、自動車輸送、鉄道輸送、船舶輸送、航空輸送などで、物流事業者に輸送を委託している。

輸送業務と比較して、保管業務のアウトソーシングはあまり進んでいない。この理由には、①保管業務を自ら行い、施設能力が不足したときだけ営業倉庫を補完的に利用する企業が多いこと、②保管以外の物流業務(流通加工や仕分け、出荷など)を、他の物流業者に委託していること、③正確な在庫管理を行うために、あえて自社施設を設けていること、などがある。

表 3-2 には、企業が自社生産する場合と、外部委託する場合のメリットとデメリットがまとめられている。企業はこれらを検討しながらロジスティクスをどうするかを決めている<sup>50</sup>。

表 3-2 : 自家生産と外部委託とのメリットとデメリット

	メリット	デメリット
自家生産	<ul style="list-style-type: none"> <li>①特殊な物流サービスを提供できる</li> <li>②自ら管理ができ、物流サービスの品質を確保できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①物流センターやトラックなどに大きな投資を必要となる</li> <li>②自社の従業員のために相対的に賃金が高くコスト高になる</li> <li>③自社の貨物しか扱えないために利用率が低くコスト高になる</li> </ul>
外部委託	<ul style="list-style-type: none"> <li>①物流業者を競争させることによって物流コストを安くできる</li> <li>②物流に関わる投資を節約することができる</li> <li>③コア業務への経営資源集中ができる</li> <li>④専門性の確保ができる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①自社で蓄積された特有のスキルが失われてしまう</li> <li>②物流業者任せになり、物流サービスの品質を確保することが難しい場合がある</li> </ul>

出所：齊藤ら(2009,P.42)をもとに一部修正。

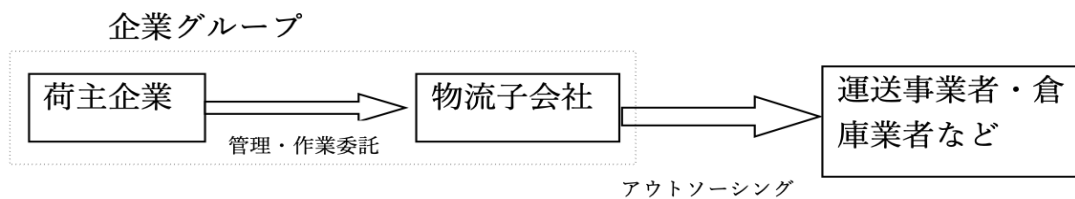
<sup>50</sup> 齊藤ら(2009,P.42)を参照した。



## (2)物流子会社

物流子会社とは、「物流部門を独立させて、物流管理と物流作業の両方を委託すること」である(図 3-4)。

図 3-4 : 物流子会社の概念図



注：物流子会社が、物流作業を他の物流事業者に再委託する例もある。

出所：渡部・苦瀬(2017,P.189)。

物流子会社の設立の目的は、①物流業務の独立採算を目指すことと、②親会社以外の業務を受注して事業を拡大すること、などである。

だが、事業を拡大するのは、事業の種類もしくは地域の多角化を進めることに繋がることが多い。ファイナンス論では、企業が闇雲に多角化を進めることは、経営の非効率化と統治問題を生じさせるので、企業グループ全体の経済価値の低下を起しやすいと考えられる<sup>51</sup>。

一方で近年は、物流子会社が他の物流事業者を買収される例も増えている。この理由には、①物流子会社が親会社以外の事業(外販)を拡大できないこと、②実務ノウハウの不足により親会社の物流合理化への寄与が小さいこと、③大きな合理化効果を求めて親会社が別の大手物流事業者に業務を委託すること、などがある。

## (3)3PL

1980年代に荷主企業の物流合理化の必要性が高まり、物流業務そのものも複雑になったため、より専門的な知識が必要となり、3PL(Third Party Logistics)も増えていった。このとき、輸送や保管などを受託していた物流事業者と、荷主企業の設立した物流子会社が、3PLへと進出していった。3PLについてより詳細な説明は2.4節で行う。

51 若林直樹(2017)「子会社管理成功の秘訣は？問われる本社の組織能力」『日本経済新聞 朝刊』2017年12月13日、28ページ。

## 3.4.2 ロジスティクス

### 3.4.2.1 定義<sup>52</sup>

JISの物流用語においてロジスティクスを次のように定義している。

「ロジスティクス (logistics) とは、物流の諸機能を高度化し、調達、生産、販売、回収などの分野を統合して、需要と供給との適正化を図ると共に顧客満足を向上させ、併せて環境保全、安全対策などをはじめとして社会的課題への対応を目指す戦略的な経営管理」。

米国の業界団体であるロジスティクス管理協議会(CLM)は2005年にサプライチェーンマネジメント専門業者協議会(CSCMP)に名称変更され、ロジスティクス・マネジメントが以下のように定義された。

「ロジスティクス・マネジメントは、顧客の要求を満たすために、産出地点から消費地点まで、財、サービス及び関連情報の効率的かつ効果的な前方向と後方向の流通と保管を計画、実施、コントロールするサプライチェーンマネジメントの一部である」。

更に次のような説明が加えられている。「ロジスティクス・マネジメントは統合する機能であり、マーケティング、販売製造、金融、及びIT(情報技術)を含む他の機能に加えロジスティクス活動を統合すると共に、あらゆるロジスティクス活動を調整し最適化する」。

ロジスティクスは、企業内部の各セクションがバラバラに動いていた機能を統合にして管理することによって、部分的最適から企業の全体最適を目指すものである。具体的には、販売部門は、受注の状態や在庫の状態から、市場における商品の販売動向を的確に把握して正確な需要予測を行い、できるだけ実需を捉える。こうした情報は企業の情報システムを整備して製造部門や調達部門に迅速に提供する。各部門は市場の変動に敏感に連動できるように組織的に統合化され連携を深める。これによって、企業全体が市場の販売動向に敏感に反応して、弾力的に対応できるようにする。そして市場が求めている商品を的確なタイミングで提供できるようにしながら、同時に各セクションでの在庫を最小限にして、全体の物流コストを削減する。このように、市場の変動に敏感に対応できるように、組織間の機能を統合し全体最適を達成するのがロジスティクスである<sup>53</sup>(図3-5)。

### 3.4.2.2 歴史<sup>54</sup>

もともとロジスティクスは、軍事用語で「兵站」を表しており、戦場の後方にあつて前線の兵士を支援するために、兵員、食糧、武器、弾薬、車馬などを適時に適量を適所に供給・補充・輸送する概念で、前線で戦う軍隊の後方支援業務を意味している。ビジネスにおけるロジスティクスは第2次世界大戦中の軍によるロジスティクスの展開にさかのぼる

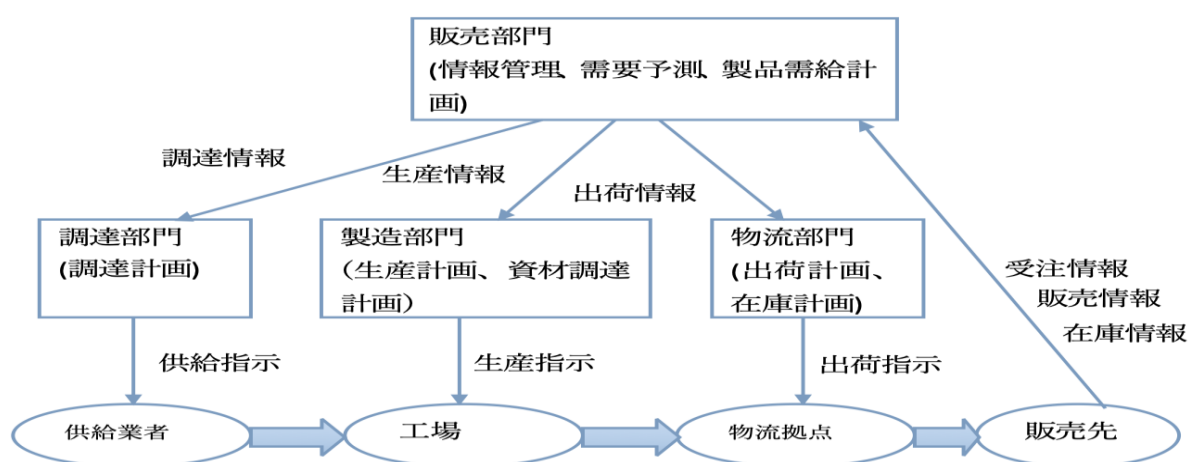
52 丹下(2017,P.14)を参照した。

53 齊藤ら(2003,P.6,P.48)を参照した。

54 齊藤ら(2009,P.8)を参照した。

ことができる。つまり、英米では第2次世界大戦中にロジスティクスで活躍した専門家がビジネスの世界に入って、その概念を広く応用して成果を挙げた影響が大きい。一方、軍事のより優れた概念が含まれたロジスティクスという用語が、アメリカの企業の間で導入され、その用語が急速に市民権を得て普及した。この軍事用語だったロジスティクスがビジネス用語として使われ、経済活動におけるロジスティクスはビジネス・ロジスティクス(Business Logistics)とも言われ、区別されることもある。また、湾岸戦争(Gulf War)がロジスティクスの重要性をあらためて示した。

図 3-5 : ロジスティクスの概念図



出所：齊藤ら(2003,P.48)より一部修正。

日本ではロジスティクスという用語が急速に普及し始めたのは、1980年末から1990年代初頭にかけてである。この時期に、日本の経済は好況を経験して貨物量も大きく増大して、物流に関する諸問題が噴出した。トラック運送業など長時間労働や低賃金が特徴の物流業では、労働者不足が業界を直撃した。深刻なドライバー不足生じ、ドライバー賃金を高騰させ、それが運賃に跳ね返って運賃の大幅な上昇をもたらした。この結果、企業の物流コストを大きく押し上げたのである。それだけでなく、このとき多頻度小口化が進展して、注文する顧客は手元に在庫を持ちたくないために、注文を受けた企業は少量ずつ多頻度に配送し、企業の物流コストを押し上げることになった。こうした状況の中で、ロジスティクスは諸問題に直面する物流を効率化して、より競争力のある企業に変身させてくれる新たな考え方として注文され、企業の間で急速に広まっていったのである。

### 3.4.2.3 ロジスティクスが要請される背景<sup>55</sup>

Bowersox (1989) は、ロジスティクスが要請される背景を次の4点を挙げている。

<sup>55</sup> 菊池(2000,P.16)を参照した。

#### (1)政治的・法律的インフラストラクチャ(規制緩和)

世界的により自由化された政治的・経済的環境の出現によって真にロジスティクスが競争上、積極的な役割を果たすことができる更に大きな機会が創出されたのである。日本でも 1990 年 12 月に物流二法が施行され、ビジネスチャンスの到来や自由かつ公平なサービス競争が可能になった。

#### (2)爆発的な技術革新

情報技術の急速な革新は業務の効率化や意思決定支援のための情報システム構築を可能にするばかりでなく、部門間、企業間の統合化を可能にした。

#### (3)企業及び経済構造の変化

1980 年代のアメリカでは企業の集中化(合併)及び市場の集中化(上位業者に集中)といった大きな変化があった。企業構造の変化とそれに対処するために、自社のロジスティクスの競争力が厳しく要求された。一方、小売、卸売り及び製造に対する需要の集中化現象により、幅広い綿密な製品及びサービスのセグメント戦略が要求されてきている。これに対する、より高い顧客サービスを、より安いコストで提供できるロジスティクスの能力が必要になったのである。また最近、IoT、インダストリー4.0 といった用語が流行していることは、単なる早くて安い輸送を超えた、本来のロジスティクスあるいはサプライ・チェーン・マネジメントの導入が課題となっているということだ。

#### (4)グローバリゼーション(グローバル企業の出現)

企業の取引がグローバル化するにつれ国境を越えて製造及び販売業務を効率的に支援することが成功するために、優れたロジスティクスマネジメントによって複雑な多国間に渡る業務の組み合わせの実現が必要となってくる。

#### 3.4.2.4 ロジスティクスの特徴<sup>56</sup>

ロジスティクスの特徴としては、①顧客への物流サービスの目標の設定が核になっている、②「調達物流」、「販売物流」、「社内物流」、「静脈(返品・回収)物流」という物流 4 領域を全部含める、③企業の「部門最適」から「全体最適」を目的とする、④ロジスティクスは効率より成果を重視する、⑤「物の動き」の一元管理を行う、⑥実需に応じて製品を供給する、⑦情報を軸にしている、⑧生産と販売と共に経営の三大柱の一つとするなどである。

ロジスティクスの本質は、部門間の壁を取り払って企業内サプライチェーンを一つの統

---

<sup>56</sup> 菊池(2000,P.21)を参照した。

一体として捉え「全体最適」を目指す統合概念にある。

### 3.4.3 サプライチェーンマネジメント(SCM)

アメリカでは1960年代に販売物流と調達物流が個別に機能管理されていたが、1970年代から80年代にかけてこれらを統合するロジスティクスへと進展した。つまり、この時代は、企業内の「物の動き」の統合を目指した企業内サプライチェーン統合であった。1980年代から90年代に入って、この「物の動き」の統合が更に、社外の取引先を含めた企業間サプライチェーン統合へ拡大した。これは、サプライヤー、メーカー、流通業者などの異なった企業間のパートナーシップに基づく統合である。この企業間サプライチェーン統合こそサプライチェーンマネジメント（供給連鎖管理、Supply Chain Management : SCM）である。

#### 3.4.3.1 SCMの出現の背景<sup>57</sup>

SCMの出現の背景について見ると次のとおりである。①世界的な大競争時代を迎えてサービスとコストの競争の激化から競争の優位性を確保するため企業の枠を超えた統合管理が必要になった。②グローバル化の進展によって、調達、生産、物流、販売などのグローバルオペレーション体制の確立が必要になった。③企業はコアコンピタンス(競争力の源)に特化することによって競争の優位性を確保する必要性が出てきた。④製品や価格の差別化が困難になってきているところから、「物の動き」の差別化の必要性が出てきた。⑤ビジネスプロセス全体の効率化のため、パートナーシップや戦略的提携によって企業間の連携が必要になった。⑥情報・通信技術の進展によって企業間の統合が可能になった。

#### 3.4.3.2 SCMの定義<sup>58</sup>

米国のサプライチェーンマネジメント専門業者協議会(CSCMP)による定義では、

「サプライチェーンマネジメント（Supply Chain Management : SCM）とは、調達、獲得、転換、及びあらゆるロジスティクス・マネジメント活動にかかわる全ての活動を計画し管理することを含む。重要な点は、それが供給業者、中間業者、サードパーティ・サービスプロバイダー、及び顧客となりうるチャネル・パートナーとの調整や連携も含んでいる点である。本質的にサプライチェーンマネジメントは、企業内及び企業間における需要と供給の管理を統合している」。

更に次のような説明が加えられている。「サプライチェーンマネジメントとは、企業内及

57 菊池(2000,P.110)を参照した。

58 丹下(2017,P.17)、齊藤ら(2009,P.12)を参照した。

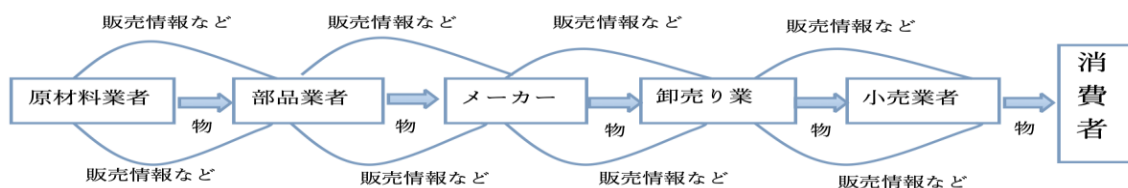
び企業間における必要なビジネス機能とビジネスプロセスを、一貫性があり好業績を示すビジネスモデルに関連させる重要な責任を伴う統合機能である」。

これまでの物流は、輸送、保管、在庫管理などの物流機能について個別に「部分最適」を考えていた。これに対しロジスティクスは、企業の原材料調達から製品の販売までを含め、部分最適ではなく「全体最適」を目指して企業全体の効率化の達成を目指すものである。さらにロジスティクスがメーカー、卸売業者、小売など単一企業における物流の効率化を目指すものに対して、SCM は 1 企業の物流統合にとどまらず、サプライチェーンという商品の流れに関係する諸企業を包摂して物流の統合化を図ろうとするものである。

そうだとすれば、物流はそれぞれの機能における最適化、ロジスティクスは 1 つの企業全体における物流の最適化、そして SCM では複数企業間にわたるロジスティクス全体の最適化を目指していることとなる。

具体的に、SCM は図 3-6 に示されているような状態である。消費者に商品を供給するために、メーカーは部品供給者が必要であり、更に部品供給業者には原材料供給業者が取引関係を結んでいる。そして、商品をメーカーが生産し、その商品は卸売業者を經由して小売業者が販売し、最終的に消費者にとどまる。こうしたサプライチェーンを前提として、最終的な顧客である消費者が求めている商品を必要な時にできるだけ安い価格で提供するためには、サプライチェーンを形成している企業同士が、パートナーシップを組んで、小売業が持つ販売情報を企業間で共有して消費者のニーズを的確に把握し、迅速にタイムリーに商品を消費者に提供する。これによって、従来の各企業が持っている在庫を最小限に抑え、サプライチェーン全体で効率的な経営を行うことが可能となる。

図 3-6 : SCM の概念図



出所：齊藤ら(2009,P.12)をもとに一部修正。

### 3.4.3.3 SCM の特徴<sup>59</sup>

Ellram and Cooper (1993) は表 3 のように SCM の特徴について伝統的なマネジメント

<sup>59</sup> 菊池(2000,P.112)を参照した。

と比較して考察している(表 3-3)<sup>60</sup>。

SCM の本質は、企業間の壁を取り払って企業間サプライチェーンを一つの統一体として捉え「全体最適」を目指す統合概念にある。

表 3-3：伝統的なマネジメントと SCM との比較

要素	伝統的なマネジメント	SCM
在庫管理	自社中心	チャネル全体の在庫を調整
在庫の流れ	とぎれる	つぎめがない/見える
コスト	自社のコスト最小	チャネル全体のコスト
情報	自社でコントロール	共有化
リスク	自社が焦点	共有化
計画	自社主導	サプライチェーンチームでアプローチ
組織間の関係	自社のコスト削減に焦点	チャネル全体のコスト削減に焦点を当てるパートナーシップ

出所：菊池(2000,P.112)から引用した。

#### 3.4.3.4 SCM の目的<sup>61</sup>

SCM の目的の本質は、特定のコアコンピタンス(競争力の源)に特化を目指して企業が各自の弱みを補強するため、ビジネスネットワークを統合することによってリードタイムの短縮、顧客サービスの向上、コスト削減、売り上げ増大、利益拡大、キャッシュフローのスピード化、資産効率の向上などによって競争の優位性を確保することにあると考えられる。

#### 3.4.4 サードパーティロジスティクス(3PL)

アメリカでは 1990 年代に入って SCM が進展し、そのサプライチェーン機能を高めるため、戦略的アウトソーシングの一環としてサードパーティロジスティクス(Third Party Logistics: 3PL)が急成長していた。3PL という言葉は、アメリカでロジスティクス業務の外注化という意味で 1980 年代の中頃から後半にかけて使われ始めた。つまり、1988 年に CLM(全米ロジスティクス管理協議会)が顧客サービス調査を行い、その中で初めてサードパーティ供給者(Third Party Providers)という言葉を用い、1989 年その調査報告書が出るに及び、顧客サービス機能の新しい見方として注目を浴びるようになった<sup>62</sup>。今まで、

60 Ellram and Cooper (1993)を Coyle, Bardi and Langley (1996)が引用し、それを菊池(2000)が引用している。

61 菊池(2000,P.114)を参照した。

62 菊池(2000,P.179)を参照した。

3PL市場は引き続き拡大している。実際の数値を見ると、Logi biz 編集部(2017)によれば、米国の3PL市場は2016年度に1,668億ドルに達し、1996年からの20年間で5倍以上の伸びであった。日本でも2016年度の3PL市場規模(主要46社)は前年比4.5%増の2兆5926億円であった。

#### 3.4.4.1 3PLが形成される背景<sup>63</sup>

1990年代に入ってアメリカでは3PLが進展した背景には外部環境の変化をあげることができる。すなわち、①グローバル化の進展、②大競争時代を迎えて、コスト削減とサービス競争の激化、③荷主企業の本業回帰傾向と物流アウトソーシングニーズの高まり、④運輸部門における規制緩和の推進と物流事業者間の競争激化、⑤情報テクノロジーの進展などである。

このように荷主企業のロジスティクス需要と物流事業者の成長によるロジスティクス供給とがうまくマッチングして3PLが形成された。

荷主企業側から見た場合、生産から販売に至るまでのロジスティクスは企業活動の根幹のひとつであるが、効率的なロジスティクス活動には倉庫や貨物自動車、ソフトウェアや人的資源などのインフラストラクチャーの充実が欠かせない。しかし、これらのインフラの拡充には相応の費用と時間が必要である。そこで、ロジスティクス活動の一部(場合によっては全部)を、物流業務を専門に行う第三の企業に委託し、外部の資源を有効に活用するという選択肢が発生する。また3PL事業者からみた場合、すでに自社の資産として保有するハードウェアやソフトウェアを荷主企業に開放することによって、少ない投資で増益を見込める。このような荷主企業と3PL事業者の利益の一致により、サード・パーティー・ロジスティクスが形成される。

#### 3.4.4.2 3PL事業者が提唱する3PLの定義と内容<sup>64</sup>

SCMが日本に導入されたのは1990年代と言われているが、ほぼ同じ時期に日本で関心を集めるようになったのが3PLで、JISの物流用語では次のように定義されている。

「サードパーティーロジスティクス(Third Party Logistics : 3PL)とは、荷主企業でも物流事業者でもない第三者が荷主のロジスティクスを代行するサービス。倉庫、車両などの施設・設備がなくても事業化できる運営ノウハウをもとに、情報システム及び業務改革の提案を中心に長期的な管理目標を定め、達成した改善利益の配分を受けるものであるが、物流事業者が荷主企業のアウトソーシングニーズに広範に対応して一括受注するケースも含まれる」。

63 菊池(2000,P.179)、丹下(2017,P.21)を参照した。

64 丹下(2017,P.21)、渡部・苦瀬(2017,P.190)を参照した。

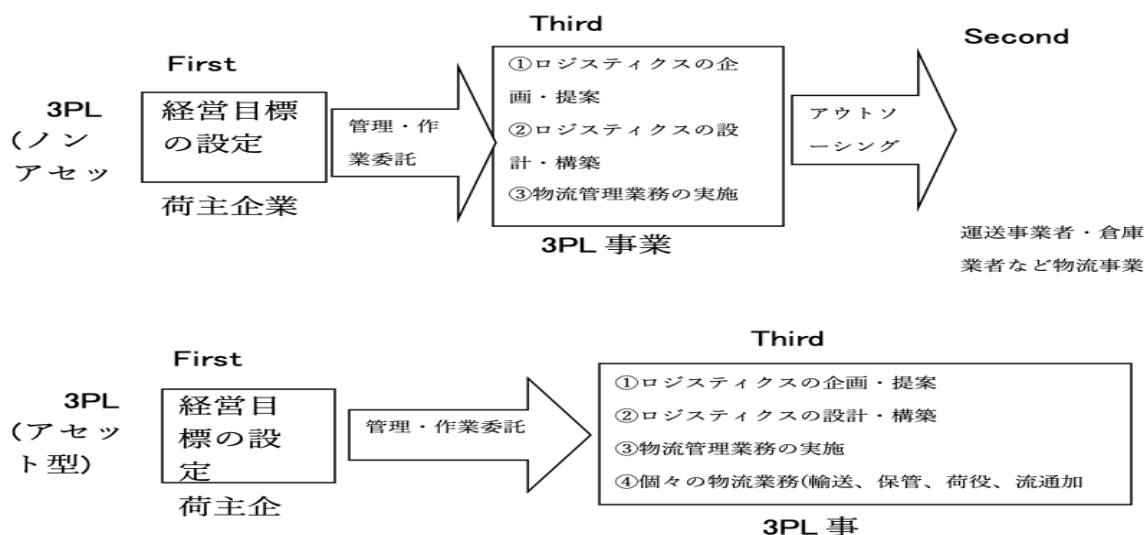


“third party”という本来の語義からすると、荷主でも物流事業者(実運送事業者)でもない第三者が担うロジスティクスを指す言葉である。しかし、実態としてはいわゆる 3PL 事業者が自社で物流実務を実施するケースが多く、実際にはアセットを持つ物流事業者(実運送事業者)が 3PL を実施するケースが多いことから、荷主でもなく、物流事業者でもない第三者が担うという本来の意味で定義したうえで、実態としては物流事業者が担うケースが多いということである。

3PL はアセット(asset)型とノンアセット(non asset)型の 2つのパターンがある(図 3-7)。アセット型とは、3PL 事業者が物流事業も実施する形態である。

ノンアセット型とは、3PL 事業者自身は物流事業を実施せず、物流事業者に再委託する形態である。

図 3-7 : 3PL の類型



出所：渡部・苦瀬(2017,P.190)から引用した。

### 3.4.4.3 3PL の目的

3PL の目的については荷主の立場と物流業者の立場の 2つの立場から考えられる。

荷主の立場からの 3PL の目的は、①顧客サービス向上、②トータル物流コストの削減、③「物の動き」の時間生産性の向上、④外部の専門性の活用、⑤自社の専門性の強化、⑥組織のスリム化、⑦リスクの分散などである。

要は、荷主の 3PL の目的は、同一産業内の企業間でサプライチェーン活動にかかわるコストやサービスに格差があり、この格差を埋め、そして競争の優位性を確保するため、高

度な専門知識を持った物流事業者にロジスティクス業務などを戦略的に外注化して顧客サービスの向上、物流コスト削減、「物の動き」をスピード化することである。

物流事業者の3PLの目的は、①新規事業の拡大、②経営の多角化、③ロジスティクスノウハウの獲得、④専門性の強化、⑤業務の高度化などである。要は、物流事業者の3PLの目的は、ロジスティクスベンチャーに積極的に取り組んでいかに業容を拡大するかにある。

#### 3.4.4.4 3PLによるメリットとデメリット<sup>65</sup>

荷主企業にとって、3PLには2つのメリットと1つのデメリットがある。3PL事業者にとっては、3PLには1つのメリットと2つのデメリットがある(表3-4)。

表3-4：3PLによるメリットとデメリット

	荷主	3PL事業者
メリット	①3PLによる物流合理化への寄与 ②3PL事業者間の競争促進によるコスト削減とサービス向上	業務の拡大とそれによる売上高の増加
デメリット	荷主企業の物流実態からの乖離	①物流事業者によつての利益率低下の可能性 ②下請けに回る物流事業者の増加の可能性

出所：渡部・苦瀬(2017,P.191)から引用した。

#### 3.4.5 グリーン・ロジスティクス

環境問題 (Environmental threats, Environmental issues, Environmental problems) は、人類の活動に由来する周囲の環境の変化により発生した問題の総称であり、これは、地球のほかにも宇宙まで及んでいる問題である。

環境問題を考慮したロジスティクスの概念にグリーン・ロジスティクス (Green Logistics)がある。

CLMによるとグリーン・ロジスティクスとは、「製品と包装との廃棄物減少させる、管理する、処理することを包含しているロジスティクス管理の諸技術と諸活動に関する幅広い意味を持つ用語である」<sup>66</sup>である。

ロジスティクスの目的は、顧客サービスとトータル物流コストとの最適化、更に、いか

<sup>65</sup> 渡部・苦瀬(2017,P.191)を参照した。

<sup>66</sup> 梶田(2006,P.20)を参照した。

に環境との最適化を実現するかである。これはロジスティクスが「顧客サービス」と「トータル物流コスト」の全体最適から「顧客サービス」と「トータル物流コスト」、「環境」の全体最適化を目指すものである。つまり、「顧客サービス」を行うために、「トータル物流コスト」の低減、すなわち、「物の動き」の効率化だけでなく環境とのバランスを考慮する時代に入ったといえよう<sup>67</sup>。

#### 3.4.5.1 主な環境問題

主な環境問題として、次のようなものがしばしば挙げられる。①工業化の進展や自動車の普及に伴う大気汚染・酸性雨。②工業排水や生活排水などによる水質汚染・土壌汚染。③フロンガスの排出によるオゾン層破壊。④二酸化炭素等の温室効果ガスの放出などによる地球温暖化・海面上昇・凍土融解。⑤開発に伴う生物多様性の減退・生態系の破壊。⑥自然への影響を考えない土地の開発、植林を考慮しない大規模な森林の伐採。

これらにおいて、環境への影響が国境を越えて波及する点も、大きな問題の一つである。ある国内で環境保護のための法整備を進めても、他国での環境破壊行為によって環境被害を受けることもあるため、地球環境問題は国際的な枠組みでの対策を必要とするのである。①河川の上流地域（例：ネパール）で森林を伐採することにより、上流の山が保水力を失い、下流（例：バングラデシュ、カルカッタなど）で洪水が発生する。②旧東欧諸国での、無害化が不十分な排煙によって、欧州全体に酸性雨被害が発生する。③先進国での二酸化炭素排出が地球温暖化を招くことで、島嶼諸国が海面上昇による水没の危機にさらされる。

#### 3.4.5.2 ロジスティクスにおいて生じている環境問題

ロジスティクスにおいて生じている環境問題は、地球温暖化問題、汚染問題（大気、水質、土壌汚染）、騒音振動問題の3つが代表的である<sup>68</sup>。

地球温暖化問題とは、「二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)やメタンガスなどの温室効果ガス(Greenhouse Gas :GHG)が地球の上空を覆うことで気温が上昇し、海水温の上昇や異常気象などを引き起こすこと」である。

2014年における日本のCO<sub>2</sub>排出量の約1/5(17.2%)が運輸部門であり、このうち自動車の排出が占める割合が最も高い(86.0%,全体の14.7%)。さらに、自動車の排出の約1/3が貨物車によるとされている(35.2%,全体の6.0%)。

日本では、地球温暖化防止のための法制度には、「環境基本法」、「循環型社会形成推進基本法」、「地球温暖化対策推進法」がある。

1997年、京都にて「気候変動枠組条約第3回締結国会議」が開催された。ここでは京都

67 菊池(2000,P.43)を参照した。

68 石川・長田・苦瀬(2017,pp.234-239)を参照した。

議定書により二酸化炭素、メタン、フロンガスといった温室効果ガスの総排出量を削減することが取り決められた。削減目標は国ごとに割り当てられ、先進国全体で 2050 年まで 1990 年の総排出量を半減させるという長期目標を設定した。

汚染問題とは、「化学物質などの有害物質や排出ガスに含まれる微粒子物質が、健康被害などの引き起こすこと」である。汚染問題には、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染などがある。

日本では、汚染防止のための法制度には、「大気汚染防止法」、「自動車NO<sub>x</sub>・PM 法」、「水質汚濁防止法」、「土壌汚染対策法」がある。

騒音振動問題とは、「工場の操業時、貨物自動車の走行、空港周辺における航空機の離発着などの騒音・振動により、不眠などの健康被害を引き起こすこと」である。

航空機の離着陸の際に出る大きな音は、空港などの周辺では生活に支障が出るほどのレベルに達することがある。地盤が弱い、交通量（特に大型車）が多い道路などの周辺では振動によって、生活に影響が出たりすることがある。

日本では、騒音振動対策のための法制度には、「騒音規制法」、「振動規制法」がある。

#### 3.4.5.3 ロジスティクスによる環境問題対応策の現状<sup>69</sup>

低炭素社会を目指す中、ロジスティクスにおいて環境問題対応が欠かせない条件となっており、さまざまな対応策が急激に進展している。

##### (1)輸送機関の見直し

①輸送機関を、貨物車から鉄道、海運へ転換することによって、CO<sub>2</sub>排出量は大幅に削減されることとなる。②自家用貨物車から、運行効率が良い営業用貨物車へ転換するものである。

##### (2)輸送機関の低公害化

最新規制適合車、CNG(Compressed Natural Gas:圧縮天然ガス)車、LNG(Liquefied Natural Gas:液化天然ガス)車などの低公害車を導入することによって、環境負荷を削減しようとするものである。

##### (3)適正運転の促進

運転手の運転の仕方によって、貨物車の燃費は大きく変化する。

##### (4)輸配送の平準化・計画化

①運行管理を徹底化し、計画輸配送を実施している企業が多くなっている。②過度の多頻度小口化、無駄な緊急納品の輸配送回数を増加させる問題を解決のためには、ロットの平準化、頻度の見直しなどといった方策がある。③運行管理を徹底化し、ルートの見直しを、常に実施している企業も多い。

##### (5)輸配送の効率化

①物流センターの集約化による輸配送の効率化。②混載化、直送化。③貨物車の大型化

---

69 齊藤(2009,P.248)を参照した。

によって、貨物車台数を削減する。

#### (6) 輸配送の共同化

各企業が個別に実施していた輸配送を、共同して行うことによって、車両数を削減しようとする試みは、これまでも多く実施されてきた。

#### (7) 物流センターでの環境問題対応

多数の貨物車が入り出すことから、騒音、振動、排出ガスへの配慮が必要となる。

#### (8) 包装、梱包材の見直し

包装、梱包材関連としては、包装、梱包材のリサイクル、リユース、リデュース、包装材料の見直し、輸送方法の見直しが重要となっている。

### 3.5 製造業を対象としたアンケート調査の概要

#### 3.5.1 アンケート調査の対象と方法

本研究のデータは、筆者が所属する兒山真也研究室において 2015 年 7 月 17 日(金)及び 7 月 21 日(火)に郵便で実施されたアンケート調査「物流・ロジスティクスの外部委託と環境経営に関する調査」から得られたものである。本調査は、東証一部、東証二部、ジャスダック(スタンダード)に上場する製造業者全社(1,439 社)を対象として、回収数は 187 社(回収率 13.0%)であった。

設問及び分析手法は木村(2004)をベースとし、環境に関する設問については日本ロジスティクス環境会議(2008)及び環境情報の利用促進に関する検討委員会(2012)もベースとした。調査票における回答は多くが 5 肢選択である<sup>70</sup>。

#### 3.5.2 アンケート調査票の内容<sup>71</sup>

アンケート調査は「各社の基本情報」、「経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題」、「物流・ロジスティクスの外部委託」、「ロジスティクスと環境経営」と「自由記述」の 5 つの部分からなる。

##### 3.5.2.1 各社の基本情報

各社の基本情報として、調査対象企業の社名、業種、回答者の部署名、連絡先などを尋ねた(表 3-5)。

---

70 ここで、項目反応理論に基づく順序尺度の等間隔性と回答のしやすさによって、5 件法質問票を作成することにした。

71 もっと詳細の内容は本論文の付属資料(アンケート調査票)を参照すること。

表 3-5 : 「各社の基本情報」に関する質問項目

質問項目番号	質問項目
Q1	企業名
Q2	業種
Q3	回答者部署
Q4	連絡先

### 3.5.2.2 経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題

経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題について尋ねた(表 3-6)。まず Q5 と Q6 は経営層が関心を持っている経営課題と重視する業務を尋ねた。次に Q7 は経営層の物流・ロジスティクスへの関心の程度を把握する質問を設定した。Q8 と Q9 は企業の競争優位性がある業務を聞いた。最後に Q10 と Q11 では、環境経営への関心と環境経営の内容を尋ねた。

表 3-6 : 「経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題」の問題項目

質問項目番号	質問項目
Q5①~⑧	重視する経営全般の課題
Q6①~⑤	重視する業務
Q7①~⑤	経営陣のロジスティクスへの関心
Q8①~⑧	競合他社に対する優位性
Q9①~⑥	物流・ロジスティクスの業務ごとの能力
Q10①~③	環境経営の位置付け
Q11①~⑦	環境経営の内容

### 3.5.2.3 物流・ロジスティクスの外部委託について

物流・ロジスティクスの外部委託について尋ねた(表 3-7)。

なお日本国内に販売先がある代表的なケースについて回答を求めた。まず Q12 ではロジスティクスの外部委託の現状を聞いた。次に Q13 では荷主企業と委託先間の関係について聞いた。Q14~Q17 では LO によるシナジー効果に関係する行動について聞いた。Q18 では荷主企業がロジスティクスを外部委託する目的と、達成の程度について聞いた。Q19 は荷主企業がロジスティクスを外部委託するときの懸念を聞いた。Q20 は Q5 と対応して、LO による経営課題への貢献を尋ねた。Q21 では荷主企業にとっての LO に対する満足度を聞いた。最後に Q22~Q24 では、荷主企業の環境経営について把握するための質問を設定した。

表 3-7 : 「物流・ロジスティクスの外部委託について」の問題項目

質問項目番号	質問項目
Q12①~⑥	物流・ロジスティクスの外部委託の現状
Q13①~③	最も重要な委託先との関係
Q14①~③	委託先にあたっての業務の見直し
Q15①~⑧	定例的な報告
Q16①~⑧	定例的なミーティング
Q17①~③	委託先との連携による相乗効果
Q18①~⑫	外部委託の目的と効果
Q19①~⑥	外部委託への懸念
Q20①~⑧	外部委託の経営全般の課題への貢献
Q21①~⑤	外部委託への満足度
Q22①	委託先の選定と環境経営
Q23①~⑦	委託先の選定と環境への取り組み
Q24①~⑤	環境負荷データの把握

### 3.5.2.4 ロジスティクスと環境経営

荷主企業の環境経営に関する取り組みについて聞いた(表 3-8)。Q25 では荷主企業の環境経営への取り組み状況を聞いた。Q26 ではグリーン・ロジスティクスの観点からの商取引適正化の実施の程度について聞いた。Q27~Q30 では包装、輸送、荷役・保管・流通加工の面からの環境配慮の状況を聞いた。

表 3-8 : 「ロジスティクスと環境経営」の問題項目

質問項目番号	質問項目
Q25①~②	環境経営の水準
Q26①~③	商取引の適正化の取り組み
Q27①~③	環境に配慮した製品開発
Q28①~③	包装の見直し
Q29①~⑦	輸配送の見直し
Q30①~⑤	荷役・保管・流通加工の見直し

### 3.5.2.5 自由記述

ロジスティクス外部委託に関する意見や課題について自由記述方式で尋ねた(Q31)。

### 3.5.3 本アンケート調査の特徴

本アンケート調査によって得られた結果の特徴を「経営全般及びロジスティクスの現状と課題」、「LO の現状と課題」、「ロジスティクスにおける環境配慮の現状」の 3 つの部分に分けて説明する。

#### 3.5.3.1 経営全般及びロジスティクスの現状と課題

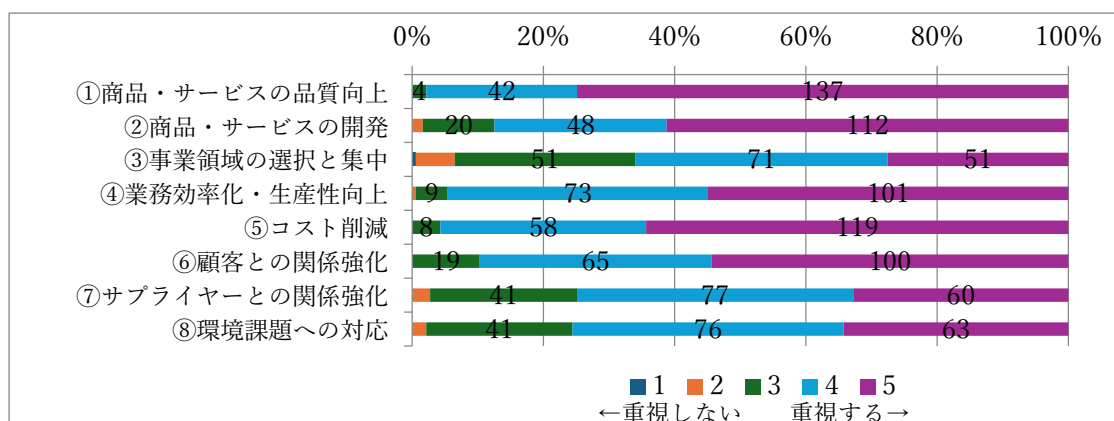
##### (1) 経営全般の課題と外部委託の貢献

まず、重視する経営全般の課題(Q5)に関する結果を図 3-8 に示す。

「①商品・サービスの品質向上」や「②商品・サービスの開発」が重視されていることは想定通りである。「④業務効率化・生産性向上」や「⑤コスト削減」が同じくらい重視されていることによって、物流コスト削減の要請は強く、LO が採用される必要があることがわかる。

逆に、「③事業領域の選択と集中」は、相対的に重視の程度が弱いので、LO の推進力は比較的弱い可能性がある。「⑥顧客との関係強化」が重視されていることも、LO を回避する要因となっている可能性がある。「⑧環境課題への対応」は、相対的に重視の程度が弱い。

図 3-8 : Q5 重視する経営全般の課題



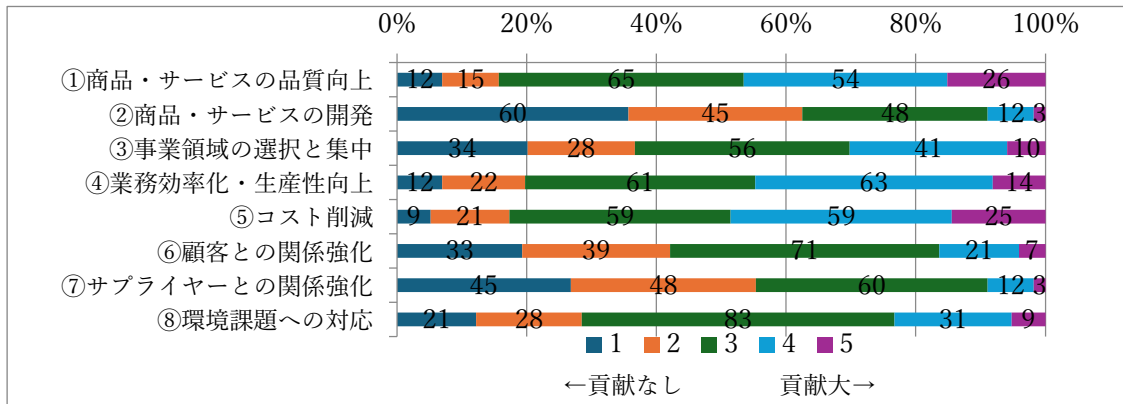
次にこれら経営全般の課題に対する LO の貢献(Q20)に関する結果を図 3-9 に示す。

「①商品・サービスの品質向上」、「④業務効率化・生産性向上」、「⑤コスト削減」について外部委託の貢献が大きいとみなされている。これらはいずれも上記の Q5 において重視の程度が強かった。したがって LO は、重要な経営課題に対する貢献が大きということになる。

もっとも「③事業領域の選択と集中」への貢献が大きくないことは、アウトソーシングの通常の目的が必ずしも十分に達成されていない可能性を示唆する。



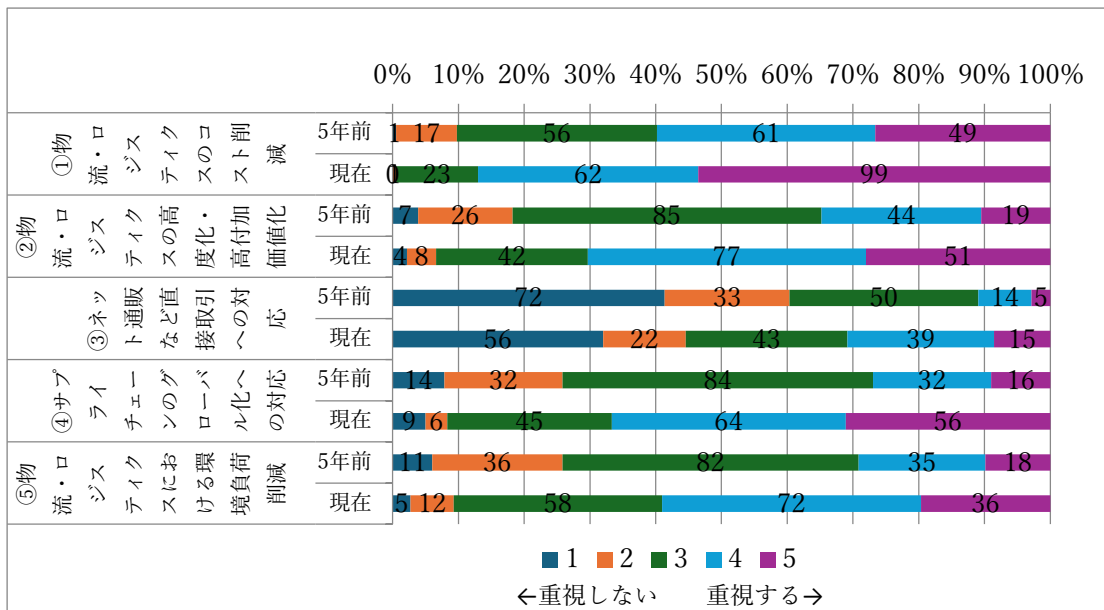
図 3-9 : Q20 LO の経営全般の課題への貢献



(2)経営陣の物流・ロジスティクスへの関心の変化

経営陣のロジスティクスへの関心(Q7)に関しては、5年前と比較して次のような傾向がある(図 3-10)。

図 3-10 : Q7 経営陣のロジスティクスへの関心



「①物流・ロジスティクスのコスト削減」、「②物流・ロジスティクスの高度化・高付加価値化」、「④サプライチェーンのグローバル化への対応」、「⑤物流・ロジスティクスにおける環境負荷削減」では、5年前と比較して現在は増加しており、60%~70%の企業で重視されている。

「③ネット通販など直接取引への対応」は重視していない企業が多い。もっとも製品の

性質によってはそもそも課題とはなり得ないと考えられる。しかしこの項目も5年前と比較すると、重視する企業は増加している。

これを含め、各課題とも5年前より現在のほうが重視される程度が強まったと認識されている。

### 3.5.3.2 LOの現状と課題

#### (1)LOの現状

図3-11に示す通り、重視する業務(Q6)に関しては「①製造加工業務」や「④販売業務」が重視されている。「②輸配送業務」と「③保管・倉庫業務」は重視の度合いが低く、物流・ロジスティクスに関わる業務への関心も低い。

図3-11：Q6重視する業務

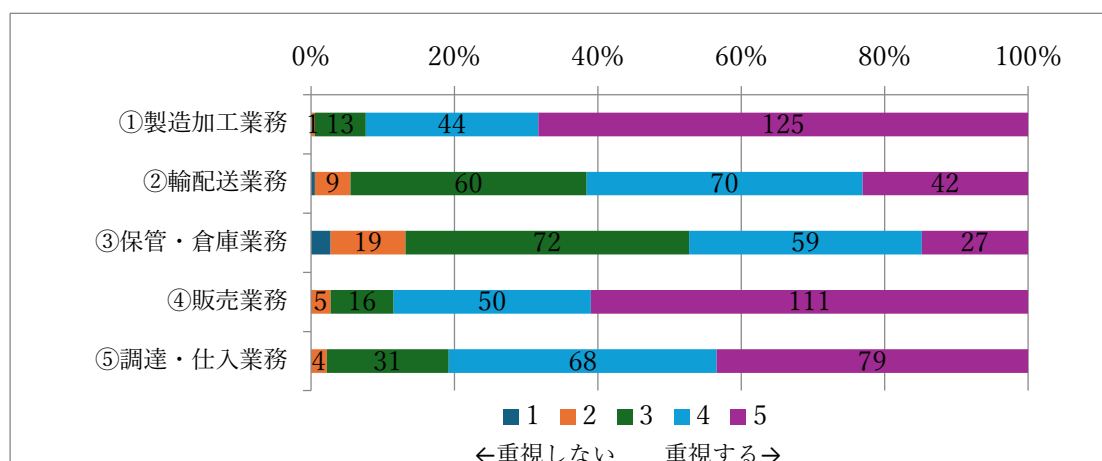
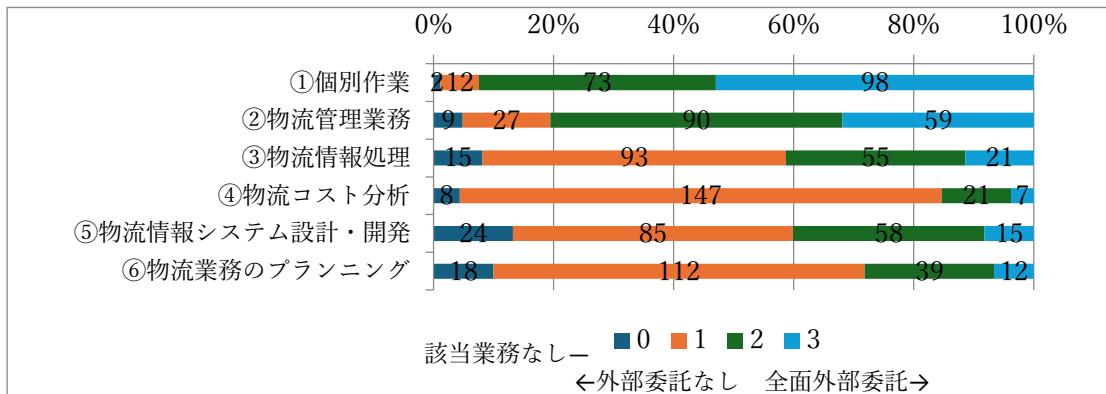


図3-12に示す通り、物流・ロジスティクスの外部委託の現状(Q12)に関しては、「①個別作業（輸配送、保管、荷役、梱包、流通加工等）」について、過半数(53.0%)が全面的に外部委託している。「②物流管理業務（車両運行管理、在庫管理、物流センター運営等）」では31.9%が全面的に外部委託している。「③物流情報処理」や「⑤物流情報システム設計・開発」では外部委託している企業数は40%に達しており、単純的な作業の委託だけでなく、3PL事業者のノウハウを活用できる外部委託も進んでいることがわかる。

図 3-12 : Q12 物流・ロジスティクスの外部委託の現状



最も重要な物流・ロジスティクスの外部委託先(以下、当該委託先という)との関係(Q13)の現状に関して、子会社または関連会社が 26.3%、独立の会社が 73.7%である。

## (2)LO のシナジー効果

図 3-13 に示す通り、委託先にあたっての業務の見直し(Q14)に関しては、過半数(50.6%)の企業が「①外部委託を行う際に自社の競争力(強みや弱み)についてよく検討した」とされている。

「②外部委託は、生産、営業、情報システムなど他の部門も含んだビジネス・プロセス全体の見直しを伴った」とする企業は、これよりやや少なく 36.5%である。これらは委託先とのシナジーを追求した戦略的な委託の可能性がある。逆に、ビジネス・プロセス全体の見直しをしていない企業が 37.1%あり、これらは委託先とのシナジーを期待しない単純な委託であると考えられる。

図 3-13 : Q14 委託先にあたっての業務の見直し

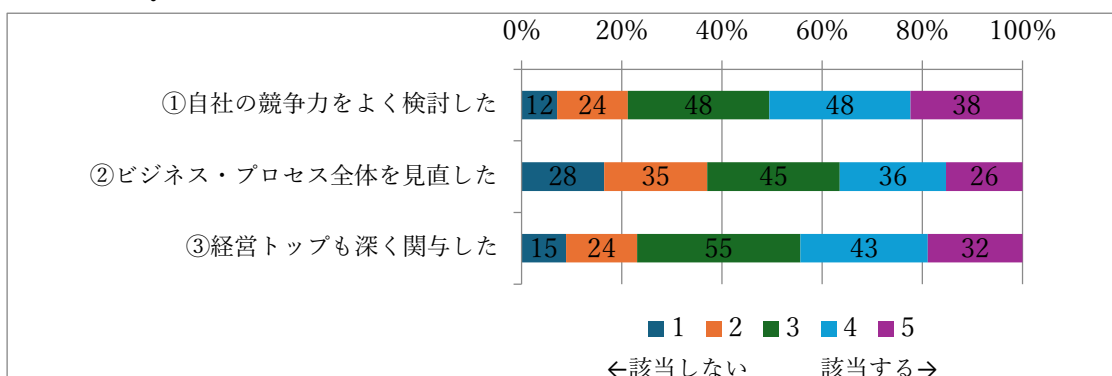


図 3-14 に示す通り、定例的な報告、ミーティング(Q15,Q16)に関して、書面による定例的報告、定例的ミーティングとも、「③1ヶ月に1回程度」が一番多い。書面による定例的

報告は「⑦毎日1回程度」も多く21.7%に上る。しかし比較的単純な連絡や業務報告で日々行うケースが多いからかもしれない。一般に、コミュニケーションの頻度が高いほど高度なシナジーが追求されている可能性がある。

図 3-14：定例的な報告、ミーティング

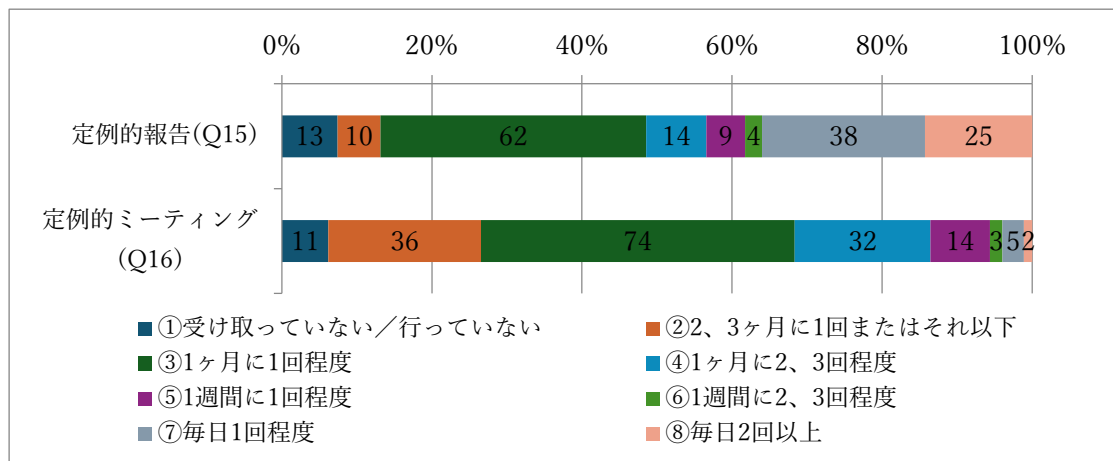
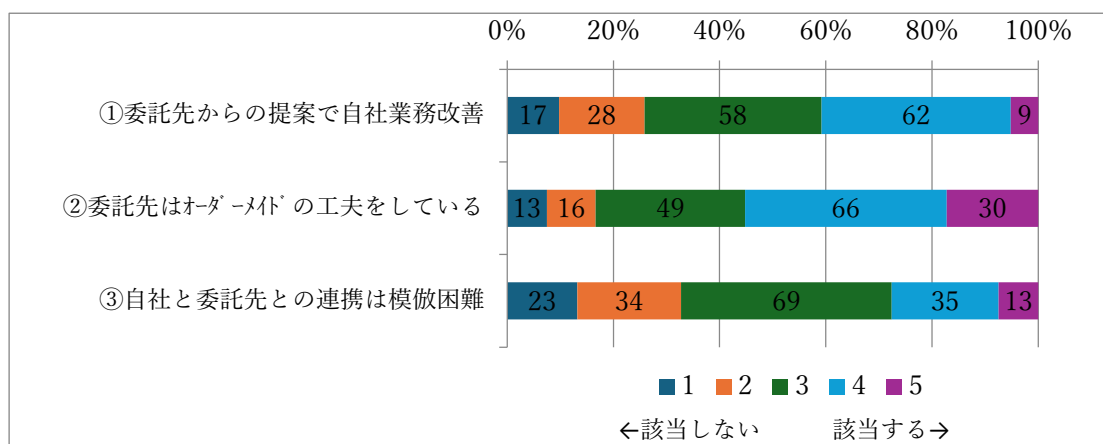


図 3-15 に示す通り、委託先との連携による相乗効果(Q17)に関して、「①委託先からの提案や情報提供に基づき、自社の業務プロセスは改善された」とする企業が40.8%にのぼる。単純な委託先によるコスト削減にとどまらない効果が出ていることがわかる。

「③自社と委託先との連携の仕方は、競争者にとっては真似をすることが難しい」とした企業(27.6%)は、そうではないとした企業(32.7%)よりやや少ない。

「②自社特有の事情に対応するため、委託先はオーダーメイドの工夫をしてサービスを提供している」は、過半(55.1%)が該当するとした。

図 3-15：Q17 委託先との連携による相乗効果



LO のシナジー効果によって、企業の競争力を維持できることを検証するのは本稿の重要な課題であるが、ここまでの調査結果によれば、委託先と荷主企業の両方とも、連携による相乗効果を生む努力はなされているが、模倣困難な相乗効果を生むまでの水準に達している割合はまだ大きくない現状にあることが伺える。

### 3.5.3.3 ロジスティクスにおける環境配慮の現状

#### (1)LO における環境経営の現状

環境経営の水準(Q25)に関して、競合他社と比較して、環境経営の水準への回答は中程度の段階に集中しているが、全社的な環境負荷削減と物流部分の環境負荷削減では、前者の方が優れているという認識が強めに出ている。委託先の選定と環境経営(Q22)について、委託先の環境経営の程度は約半数(50.6%)が重視するとしている。

また委託先の選定と環境への取り組み(Q23)については、「①環境関連法規制の遵守」が最も重視されている。「③環境マネジメントシステムの運用」も、客観的評価の容易さもあるためか、重視の程度が強い。

環境経営の位置付け(取り組みの理由)(Q10)について、「①社会的責任として位置付けている」とする企業が 88.3%にのぼり、「②環境リスク低減として位置付けている」とする企業が 70.6%となっている。

環境経営の内容(環境経営の具体的取り組みについての重視の程度)(Q11)については、重視される割合が最も高いものが、環境関連法規制の遵守である。「⑤グリーン調達の推進」を重視する割合はやや低く、コストを重視する現状が反映されていると見られる。「④従業員への環境教育」も、強く重視する割合は低い。

環境負荷データの把握状況に関して、外部委託部分についての把握状況は、自社についての把握状況より不足しているところが多い。これは外部委託のデメリット面として注意することが必要である。環境負荷データの把握とそれを踏まえた対策について、外部委託先と荷主企業との間で適切な役割分担とお互いの協力が必要である。

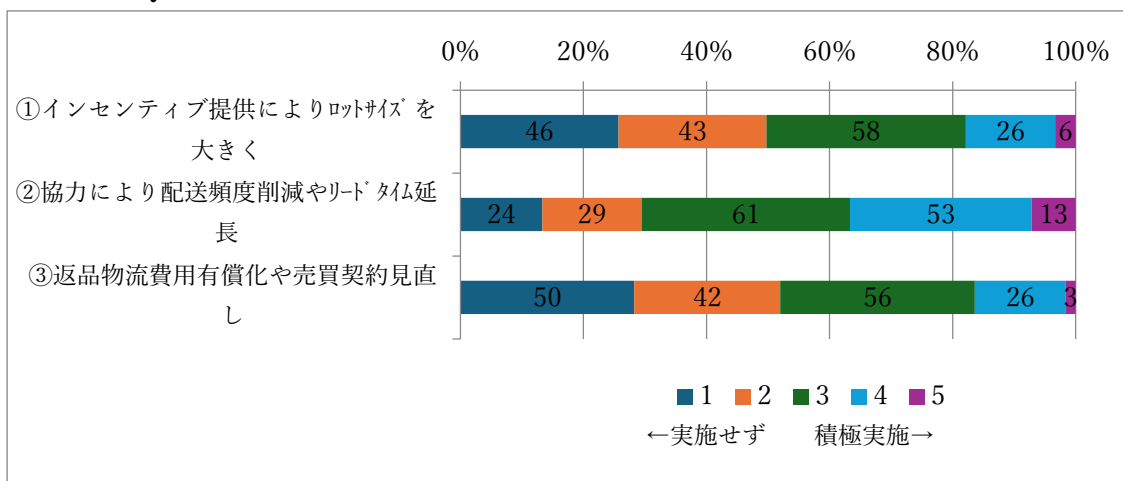
以上の調査結果から、ロジスティクス部門の環境負荷削減は、全社的な環境負荷削減ほどには進んでいないことが明らかとなった。LO の比率がまだ低いいためロジスティクス事業者の持つ環境負荷削減能力を十分に取り込めていないという可能性が考えられる。他方、LO による環境負荷削減の効果は大きくないという可能性も考えられる。しかし、委託先を選択する際には、委託先の環境経営を重視する程度が強いこともわかり、荷主企業の環境経営にも一定の影響を与えていることが示唆される。LO と環境経営には繋がりがあがるが、明確な効果が観察されるほどではない。

#### (2)環境経営に関する実際の取り組み

グリーン・ロジスティクスの観点からの商取引の適正化の取り組み(Q26)に関して、図 3-16 が示しているように、「②取引先との協力による、配送頻度、納品回数の削減や、リー

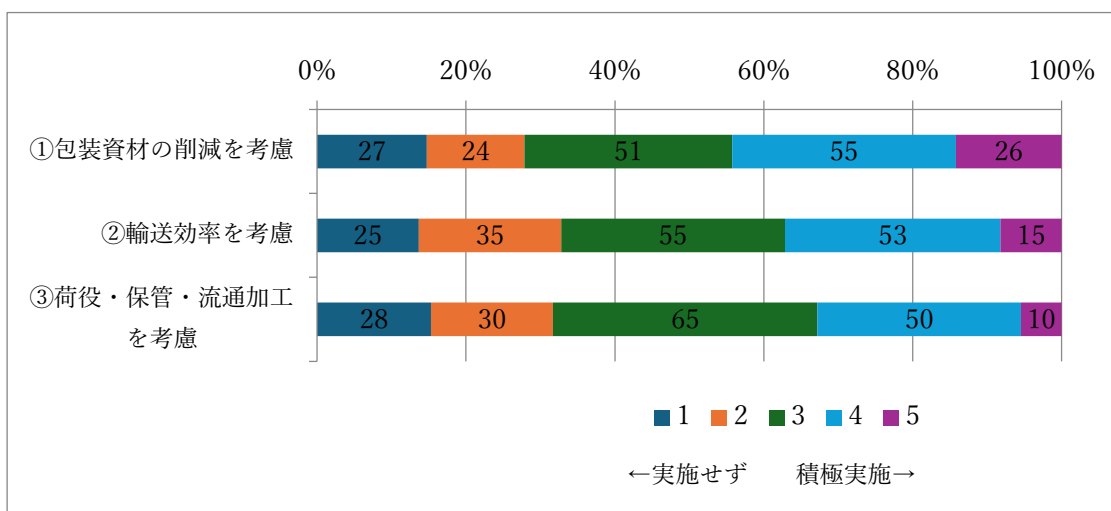
ドタイムの適正化（延長）」は、33.6%で実施されているが、その他の取り組みは20%未満で低い状態にある。「①取引先へのインセンティブ提供等により、ロットサイズを大きくするよう誘導」や「③返品抑制のため、返品物流費用の有償化や売買契約の見直し等」といった、発荷主または着荷主が新たなコストを負うような取り決めは結びにくい現状と考えられる。

図 3-16 : Q26 商取引の適正化の取り組み



環境に配慮した製品開発(Q27)に関して、図 3-17 が示しているように、「①包装資材の削減を考慮した製品開発」が44.3%で実施されている。「②輸送効率を考慮した製品開発」が37.2%で実施されている。「③荷役・保管・流通加工を考慮した製品開発」が32.8%で実施されている。

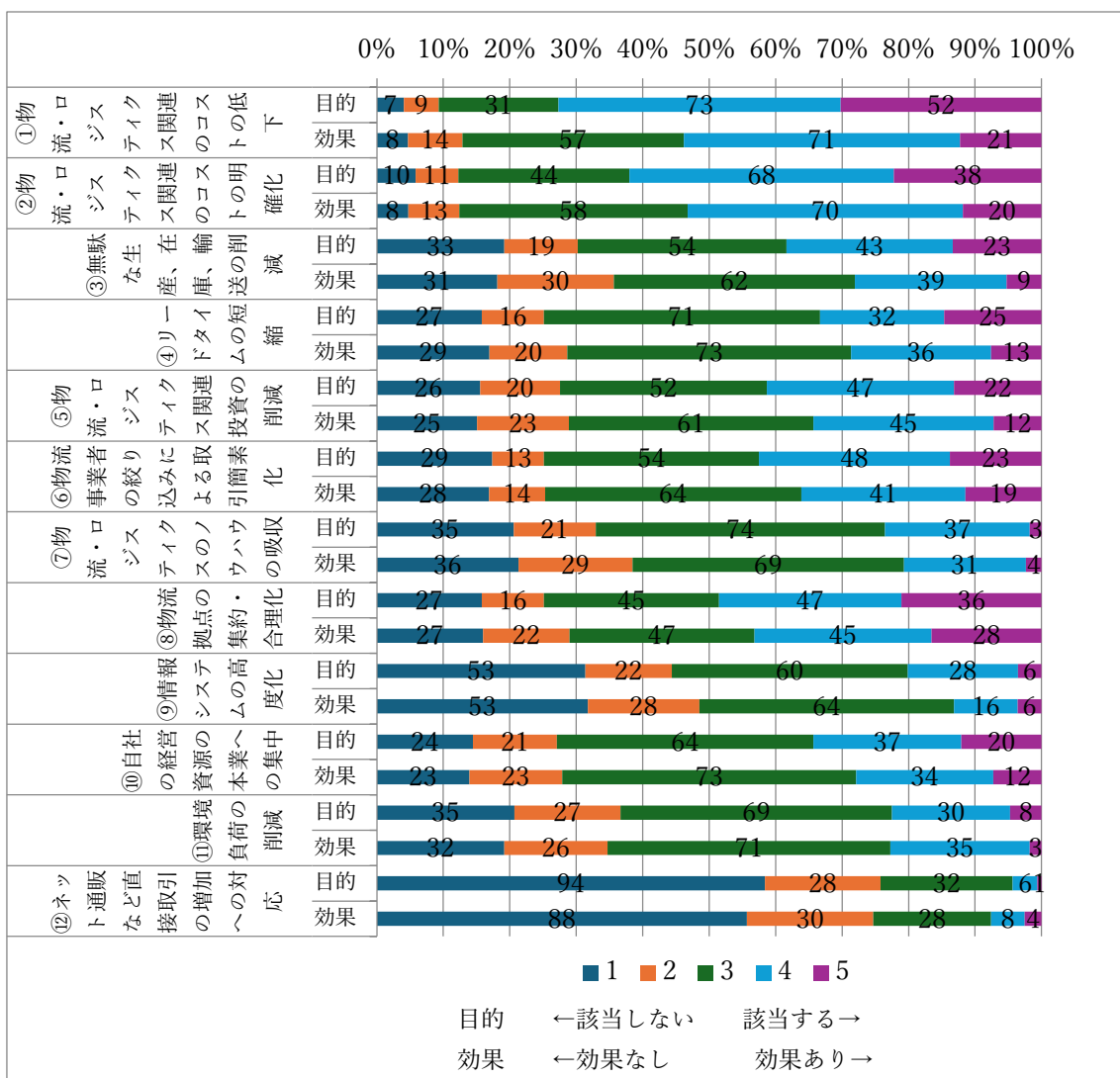
図 3-17 : Q27 環境に配慮した製品開発



Q26 と Q27 の結果によれば、荷主側による環境経営に関する実際の取り組みはまだ不十分である。環境負荷を削減するために、荷主側の努力だけでは不十分で、外部専門業者の力を借りて環境負荷削減事業に取り組みと環境負荷削減に効果を与える可能性がある。

しかし、LO が必ず環境負荷削減をもたらすとも言えない。Q18 では当該委託先への委託について、具体的には事前にどのような効果を期待していたか、またそれらの効果はどの程度実現したかについて尋ねた（図 3-18）。その結果から、多くの項目で効果は期待を下回る傾向にある。「⑪環境負荷の削減」に関して、強い期待(目的)が 4.7%に対し、大きな効果は 1.8%で、大きく下回っている。外部専門業者の力を借りて環境負荷削減事業者に取り組みと環境負荷削減に効果が与える可能性があるが、外部委託による環境負荷削減への効果の大きさはまだ不明確である。

図 3-18 : Q18 外部委託の目的と効果



## 3.6 競争優位の LO が経営課題と環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路

### 3.6.1 アンケート調査項目分類

本論文の目的は競争優位の LO が経営課題と環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を明らかにする。ここではまず唐(2016)のアンケート調査の質問内容と 6 つの構成概念<sup>72</sup>を基に、アンケート調査から必要な項目(データ)を抽出され、分析モデルを構成する。6 つの構成概念は具体的に(1)「LO への意識」、(2)「競争優位の LO」、(3)「環境に優しいロジスティクス」、(4)「主要な経営課題への貢献」、(5)「全社的な環境経営への貢献」、(6)「LO によるシナジー」という 6 つの構成概念である。これらの構成概念を以下の共分散構造分析では、f1~f6 の記号で表記する。これらの構成概念は共分散構造分析を行うときには潜在変数となり、分析フレームワークを構成する。この分析フレームワークでは、競争優位の LO が経営課題に貢献する直接効果とシナジー効果による間接効果があると仮定している。すなわち荷主企業の持続的な競争優位を守るために、荷主企業が外部の資源を活用し、自社の業務と接合することにより、ほかの会社が模倣困難な資源を社内に生じさせることが重要であることを仮定する。また競争優位の LO が環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する効果を仮定して、外部委託が競争優位を高めるだけではなく、環境経営を進展させる要因ともなるかどうか検証する。具体的には以下の通りである。

#### (1) 「LO への意識」

各社の LO に対する積極性を示す指標である。例えば LO について意識的に問題点を把握に努め、改善のために様々な行動や対策を行っている会社は、LO についての意識が高いといえる。具体的には「Q6②~③」、「Q7①~④」などの質問項目である<sup>73</sup>。

#### (2) 「競争優位の LO」(競争優位を高める LO)

競争優位の LO は、LO の実施を通じて、同業他社に対する優位性を高め、多面的に効果を上げ、差別化を形成し、外部委託への満足度を高める LO である。具体的には「Q18①~⑩」、「Q21①~⑤」などの質問項目である。

#### (3) 「環境に優しいロジスティクス」

物流・ロジスティクスによって環境負荷を低下させることを示す指標である。具体的には「Q8⑧」、「Q18⑪」などの質問項目である。

---

72 「人間の知能」とか「社会性」といった直接測定できないが、存在することを仮定し込み入った現象の理解に貢献するために構成した概念のことを構成概念と呼ぶ。

73 質問項目の詳細の内容は付属資料(アンケート調査票)の対応質問項目を参照すること。以下でも同様である。



#### (4) 「主要な経営課題への貢献」

LO によりもたらされる主要な経営課題への貢献を示す指標である。具体的には「Q20①」、「Q20②」、「Q20④」、「Q20⑤」などの質問項目である。

#### (5) 「全社的な環境経営への貢献」

環境問題を考慮に入れた経営への貢献を指す。具体的には「Q20⑧」、「Q25①」などの質問項目である。

#### (6) 「LO によるシナジー」

自社と委託先の物流・ロジスティクス業務プロセスを組み合わせることによって、模倣困難性が高い差別化を形成することである。具体的には「Q14①~③」、「Q15①~⑧」、「Q16①~⑧」、「Q17①~③」などの質問項目である。

### 3.6.2 因果関係と相関関係の区別<sup>74</sup>

共分散は2つの変数の直線的な共変動を数値で表すことができる。一方、標準偏差が大きい変数は「平均値からの偏差の積」が概して大きい値になる。そのため、一方の変数の標準偏差が大きい場合には、そちらの変数の偏差の大きさの影響を受けて、2変数の共変関係が弱くても共分散の絶対値が大きくなる傾向がある。

要するに、共分散が大きいといっても、それは共変動が大きいためのものか、それとも一方(あるいは両方)の変数の標準偏差が大きいためのものか、区別がつかなくなってしまう。

分布の広がりやの影響を考慮する場合には、標準偏差で割ればよいことなので、共分散を2変数の標準偏差で割ることにより、両方の変数の散らばりの大きさの影響を取り除くことができる。この操作によって、

$$r_{xy} = \frac{x \text{ と } y \text{ の共分散}}{(x \text{ の標準偏差}) \times (y \text{ の標準偏差})}$$

という指標が定義される。このようにして得られた指標 $r_{xy}$ を $x$ と $y$ の「相関係数(ピアソンの積率相関係数)」という。相関係数は測定単位に影響されないので便利な指標である。

2つの変数の間に相関があるのは、(1) 2つの変数の背後に共通原因がある(2) 2つの変数の間に因果関係がある、という2つの場合である。

そこで、相関係数の解釈を行ううえで、大きく分けて2つの注意が必要である。

(1) 変数の分布の様子によっては、相関係数が2変数の共変関係を調べるために有効な指標でなくなる場合がある。

(2) 因果関係が存在するならば相関係数が高くなるが、逆に2変数の間に高い相関が認めら

---

74 豊田・前田・柳井(1992,pp.43-86)を参照した。

れても、そのことが因果関係の存在を保証するものではない。

そして、変数 $x$ が変数 $y$ の原因となるために必要とされる条件は、(1)時間的先行性( $x$ は $y$ に先立って出現する)、(2)  $x$ と $y$ の関連の強さ、(3)関連の普遍性、(4)関連の整合性、ということである。

この4つの条件は主として医学の分野において用いられる因果関係の判定基準だが、医学以外の分野においても役に立つことが多い。

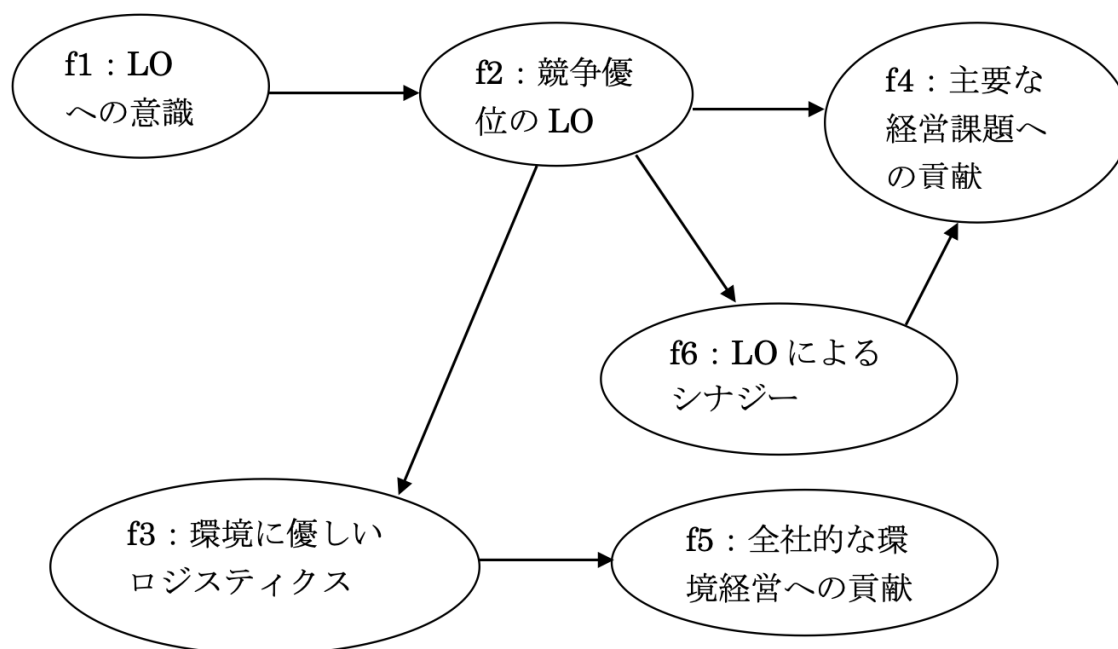
因果関係を明らかにするためには、まず分析者の側に、現象に対する仮説があり、その仮説を矛盾なく説明できる理論があることが前提となる。その上で統計的な分析を行った結果が、その理論と合っていることを確認する必要がある、これを「因果分析」という。

本論文も以上の考え方を基にしてモデルを構成する。

### 3.6.3 因果モデルの構成と分析フレームワーク<sup>75</sup>

原因となる変数は結果となる変数より時間的に先立つということを考慮しながら、因子間の因果連鎖についての仮説を作る。その分析フレームワークの概念図は図 3-19 の通りである。

図 3-19 : 構成概念間の因果モデル



仮説 1 : f1 「LO への意識」 → f2 「競争優位の LO」

<sup>75</sup> 豊田・前田・柳井(1992,P.154)を参照した。

まず f1「LO への意識」を原因とし、f2「競争優位の LO」が結果となる、「f1→f2」という因果関係を想定する。

仮説 2：f2「競争優位の LO」→f3「環境に優しいロジスティクス」

f2「競争優位の LO」を原因とし、f3「環境に優しいロジスティクス」が結果となる、「f2→f3」という因果関係を想定する。競争優位の LO が環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を明らかにしようとすることは、本研究の特徴の一つである。

仮説 3：f2「競争優位の LO」→f4「主要な経営課題への貢献」

f2「競争優位の LO」を原因とし、f4「主要な経営課題への貢献」が結果となる「f2→f4」という因果関係を想定する。これは競争優位の LO が経営課題に貢献する直接的経路を意味する。

仮説 4：f2「競争優位の LO」→f6「LO によるシナジー」→f4「主要な経営課題への貢献」

f2「競争優位の LO」を原因とし、f6「LO によるシナジー」という結果を通じ、さらに f4「主要な経営課題への貢献」に至る、「f2→f6→f4」という因果関係を想定する。これは競争優位の LO が経営課題に貢献する間接的経路を意味する。

仮説 5：f3「環境に優しいロジスティクス」→f5「全社的な環境経営への貢献」

f3「環境に優しいロジスティクス」を原因とし、f5「全社的な環境経営への貢献」が結果となる、「f3→f5」という因果関係を想定する。

なお、構成概念間の係数はいずれも正であることが想定される。

本モデルと先行研究で紹介した木村(2004)や唐(2016)のモデルの違いところは、本モデルでは競争優位の LO が経営課題に貢献する直接的経路とシナジー効果による、主要な経営課題に貢献する間接的経路を仮定する。この間接的経路から、企業は LO のシナジー効果によって、模倣困難性が高い差別化が形成され、アウトソーシングした業務も持続的競争優位を形成され、企業の競争力を維持できることになる。また競争優位の LO が環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を仮定し、外部委託が競争優位を高めるだけでなく、環境経営を進展させる要因ともなることが示唆される。

また、本論文で用いる手法として共分散構造分析のほか主成分分析も使った。アンケートデータの持つ情報の損失を最小限に抑えるために主成分分析を使ったのは本論文の一つの特徴である。具体的には以下で説明する。

### 3.6.4 分析フレームワークにおける各要因変数の説明

#### 3.6.4.1 共分散構造分析と主成分分析の説明

本研究で用いた共分散構造分析は、社会現象あるいは自然現象における因果関係进行分析するための統計手法である<sup>76</sup>。一般に、因果関係进行分析する統計手法として、回帰分析やパス解析が利用されるが、これらの分析手法は実際に測定される観測変数間の因果関係を見るものである。共分散構造分析は、構成概念を取り扱うことができる。構成概念を操作化した変数は潜在変数と呼ばれる。一方、調査票や実験機器によって測定されるデータのことを観測変数という。潜在変数は複数の観測変数からその共通部分を抽出して数値化される。

本研究では各潜在変数と関連する観測変数が多数存在するため、共分散構造分析を行う前に、まず主成分分析により観測変数の数を縮約した。その上で縮約した変数（主成分得点値）を新たに観測変数として用い、共分散構造分析を行った。

主成分分析は、多くの変数により記述された量的データの変数間の相関関係を利用し、情報の損失を最小限に抑えつつ、少数個の無相関である合成変数(あるいは線形結合式と呼ぶ)に縮約して、分析を行う手法である<sup>77</sup>。すなわち、もともとのデータの持つ情報を合成変数によって近似的に表現できる。ここで、ある変数がデータに対して持つ情報は、データのバラツキ(分散)の大きさに測られる。主成分分析では、合成変数(線形結合式)の係数を主成分と呼ぶ。主成分分析での主な問題は、いかにデータを縮約する係数(主成分)を求めるかである。その結果、分散に注目するときにはデータの分散共分散行列の固有値問題、相関に注目するときにはデータの相関係数行列の固有値問題に帰着する。その固有ベクトルが主成分であり、固有値の大小がそれに対応する固有ベクトル(主成分)に含まれる情報の多寡を決める。最も大きい固有値に対応する主成分を第1主成分、その次に大きい固有値に対応する主成分を第2主成分と呼ぶ。

主成分分析を行うとき、いくつの合成変数(主成分)を用いて分析するのが適切であるかを判断する手段としては、いくつかの方法が提案されている。本稿ではデータの相関係数行列を計算するため、カイザー基準<sup>78</sup>に基づいて判断する。本稿での計算結果では、1以上の固有値が一つしかない場合が多いので、主成分は第1主成分を使った。個体のデータ構造に関する情報を縮約したものを主成分得点と呼ぶ。第1主成分得点は、第1主成分を係数とする線形結合である。

主成分分析を行うときの一つの注意点は、主成分分析では行列の固有値・固有ベクトルを計算する必要があるが、固有ベクトルは全体の符号を逆転させても数学上の意義は全く変わらない。例えば第1主成分の場合、「全体の符号が正」というものと「全体の符号が

---

76 秋川(2004,P.120)を参照した。

77 三土(1997,pp.227-244)、金(2017,pp.60-73)を参照した。

78 カイザー(Kaiser)基準：相関係数行列を用いる場合は固有値が1以上の主成分を採用する。ガットマン(Guttman)基準とも呼ぶ。

負」というものとは、数学的にはまったく対等である。具体的計算の結果、どちらの形が算出されるかは、固有値及び固有ベクトルを求めるアルゴリズムに依存し、そのときの初期値のとり方などの偶然的要因に依存する。異なるアルゴリズムの間には正・負の符号が逆になる場合があるため、主成分及び主成分得点の散布図の上下が逆になったり、左右が逆になったりすることがある。しかし主成分分析では、変数間、個体間の絶対的關係ではなく、相対的關係を分析するので問題ない。

本稿では主成分分析を行う際に、第1主成分の結果について、「全体の符号が正」のときはそのまま用い、「全体の符号が負」のときは符号を全て正に逆転させて分析を続けた。それにより第1主成分得点は全て、正の方向が「総合力高い方向」と解釈される。

#### 3.6.4.2 潜在変数と観測変数

本研究で用いた構成概念(潜在変数)と観測変数の対応関係、観測変数の加工方法、主成分の解釈を表3-9にまとめた。

##### (1)データの標準化について<sup>79</sup>

あるデータが全体のデータの中でどれくらいの位置にあるかは、そのデータの値(観測値)が平均値から標準偏差の何倍だけ離れているかによっておおよその見当がつく。そこで、例えば平均点も標準偏差も異なるような2つの学級間で生徒の成績(点数)をそのまま直接比較することはできないが、各生徒の点数を、クラスの平均点から標準偏差の何倍離れているかという値で表せば、点数の分布の上の相対的な位置(成績順位)の比較が可能になる。すなわち、

$$\text{標準得点} = (\text{観測値} - \text{平均値}) \div \text{標準偏差}$$

によって標準得点に変更すれば、標準得点は異なるクラスの間でも比較可能になる。このように全ての観測対象について、ある変数の観測値を標準得点に変換する操作のことを、「データの標準化」という。

標準得点(標準化されたデータ)では、必ず平均値は0、分散と標準偏差は1になる。標準得点は分布の平均を原点とし、標準偏差を単位としてデータに新たな数値を与えたものと考えればよい。標準得点の大小は、特定の観測対象が集団の中で、どのあたりの位置にいるのかを示す指標になる。

非標準化得点(アンケートデータ)はデータの得点範囲によって数値が大きく異なるため、本稿の分析で用いる変数と推定値は全て標準化推定値(標準得点)である。

---

79 宮川(2015,pp.31-32)、豊田・前田・柳井(1992,pp.39-41)を参照した。

表 3-9：共分散構造分析で使う潜在変数と観測変数

構成概念(潜在変数)	観測変数 <sup>80</sup>	観測変数の加工方法	主成分の解釈(新観測変数)
f1:LO への意識	Q6②~③	第 1 主成分得点の標準得点	q1:物流業務への重視度
	Q7①~④	第 1 主成分得点の標準得点	q2:経営陣の物流・ロジスティクスへの関心度
f2:競争優位の LO	Q18①~⑩、⑫	第 1 主成分得点の標準得点	q3:外部委託の効果
	Q21①~⑤	第 1 主成分得点の標準得点	q4:外部委託への満足度
f3:環境に優しいロジスティクス	Q8⑧	Q8 の⑧の標準得点	q5:ロジスティクスにおける環境負荷の小ささ
	q18⑪	Q18 の⑪の標準得点	q6:ロジスティクスにおける環境負荷の削減
f4:主要な経営課題への貢献	Q20①	Q20 の①の標準得点	q7:商品・サービスの品質向上
	Q20②	Q20 の②の標準得点	q8:商品・サービスの開発
	Q20④	Q20 の④の標準得点	q9:業務効率化・生産性向上
	Q20⑤	Q20 の⑤の標準得点	q10:コスト削減
f5:全社的な環境経営への貢献	Q20⑧	Q20 の⑧の標準得点	q11:環境問題への対応
	Q25①	Q25 の①の標準得点	q12:全社的な環境負荷削減
f6:LO によるシナジー	Q14①~③	第 1 主成分得点の標準得点	q13:業務の見直しへの重視度
	Q15①~⑧	Q15_16 の第 1 主成分得点の標準得点	q14:定例的な報告、ミーティングへの重視度
	Q16①~⑧		
	Q17①~③	第 1 主成分得点の標準得点	q15:委託先との連携による相乗効果

(2)欠損値の扱い

本アンケート調査では、無回答や非該当などにより得られない欠損値が存在した。欠損

80 観測変数の具体的内容は、本論文の付属資料(アンケート調査票)を参照すること。

値を含む行列からは変数間の相関行列を計算できないため、主成分分析が使えない。そのため欠損値のあるケースを除外して分析を行った。欠損値を除いた後の観測対象数は 143 である。

### 3.7 モデルの分析結果

分析には統計ソフト R を用いた。以下では結果を説明する。

#### 3.7.1 モデルの全体的評価<sup>81</sup>:

ここでは、モデルとデータとの当てはまりの度合いを表す適合度指標(Fit Index)を利用して、モデルの妥当性を検討する。適合度指標とは共分散構造分析においてモデルの適合のよさを判断することを目的として開発された指標で、現在では $\chi^2$ 検定よりこちらを利用してモデルについての判断を行うことが一般的になっている。具体的結果は表 3-10 に示しており、(3)番から(7)番までの指標は適合度指標である。

表 3-10 : モデルの全体的評価

(1)	Minimum Function Test Statistic (Chi-square、 $\chi^2$ 値)	98.663
	Degrees of freedom (df)	83
	P-value (Chi-square)	0.116
(2)	Number of free parameters	37
(3)	Comparative Fit Index (CFI)	0.975
	Tucker-Lewis Index (TLI)	0.968
(4)	Akaike (AIC)	5512.447
	Bayesian (BIC)	5622.072
	Sample-size Adjusted Bayesian (SABIC)	5504.998
(5)	Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)	0.036
(6)	Standardized Root Mean Square Residual (SRMR)	0.058
(7)	Goodness of Fit Index (GFI)	0.913
	Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI)	0.875

81 豊田(2003,pp.121-141)、豊田(2014,pp.188-195)を参照した。

### (1) $\chi^2$ 値によるモデルの適合度の検定

$\chi^2$ 値はモデルの適合度の検定に用いる。適合度の検定は、帰無仮説が「分析したモデルはデータに適合している」と設定される。つまり、p値が有意水準を上回って帰無仮説を棄却できない場合に、適合がよいと判断する(P-value が大きい方が望ましい)。

本稿で P-value は 0.116 で、これは有意水準 10%でも帰無仮説が棄却されない結果である。これは本調査のデータに対してモデルが適合していることを意味する。

しかしこの $\chi^2$ 検定を利用する方法は、共分散構造分析との相性が悪いという大きな欠点が指摘されている。第 1 の理由は、理論の不明確さ、すなわち「分析したモデルが正しい」という帰無仮説は、これが棄却された場合には「分析したモデルが間違っている」と考えることができるが、棄却されなかったからといって必ずしも「モデルが正しい」と言い切れない。これに加えて、 $\chi^2$ 検定にはいくつかの状況下において検定の精度が低下してしまうという性質がある。具体的には、①モデルの複雑さ、すなわち、モデルに含まれる推定すべき母数の数が多いような状況、②データが多変量正規分布に従っていない状況、③標本数が多い(標本数が増えると無条件で帰無仮説が棄却されやすくなるという性質がある)の 3 つの場合に、 $\chi^2$ 検定結果が役に立たなくなることが知られている。そのため、現在共分散構造分析においてモデル検定に $\chi^2$ 検定を利用すべきではないと言われ、利用を避ける流れが見られる。そこで $\chi^2$ 検定が利用できない場合にモデルのよさは適合度指標を利用して判断することになる。

### (2) 自由母数の数

自由母数の数は 37 である。これはモデルに含まれるパラメータ数から固定パラメータの数を引いた後の数である。

### (3) 独立モデルとの比較による適合度指標

あるデータを分析する場合に、想定しうる中で最も適合の悪いモデルのことを独立モデルと呼ぶ。共分散構造分析の場合、全ての観測変数間に一切のパスを引かず、各変数の分散のみを自由推定するモデルを独立モデルと考えることが一般的である。独立モデルの適合は、そのデータに対してあらゆるモデルを当てはめた場合の最下限と考えることができるから、これと分析したモデルの適合を比較することで、分析モデルが「相対的に見てどの程度良いものであったか」を検討する。独立モデルとの比較による適合度指標として CFI と TLI がある。CFI と TLI はいずれも 0~1 の間の値をとり、値が 1 に近いほど良いモデルであると判断する<sup>82</sup>。また良適合の判断基準としては CFI と TLI > 0.95 という目安がよく用いられている。本稿では CFI=0.975、TLI=0.968 であり、いずれも基準値を上回っている。これは本調査のデータに対してモデルが適合していることを意味する。

---

82 TLI は 1 を超える場合もある。



#### (4)情報量基準

モデルがどれだけ利用する母数の数を少なく抑えているかを評価した指標を倏約度と呼ぶ。共分散構造分析においてモデルのデータへの適合性を上げる最も基本的な手段は、母数を増やす(パス図により多くの部品を追加すること)ことである。しかしいたずらに母数を増やしたのでは、手元にあるデータに特化しすぎた結果を得てしまう可能性が高くなる。そこでモデルの予測力を落とすすぎない範囲で、必要最低限の母数を利用したモデルを作成することが重要になる。倏約度を考慮してモデルを選択したい場合によく用いられているのは、情報量基準と呼ばれる指標群である。これらは統計学全般において、母数の数と倏約度のバランスを見るために開発された指標である。AIC、BIC、SABICがこれに相当する。

各指標の違いは、主にどの程度倏約度を重視するかという点にある。上述の中では、AIC、SABIC、BICの順で、倏約度を重視する度合いが強くなる。どの情報量基準を使うべきかについては議論が定まっておらず、複数を併用して総合的に判断を行うのが現在の主流となっている。また、いずれの指標値も値が小さいほど良いモデルであると解釈できるが、値の下限値が存在していないため、相対指標としてしか利用できない。つまり、情報量基準は複数のモデルを比較する用途でしか使えないということに注意する<sup>83</sup>。

#### (5) RMSEA

非心 $\chi^2$ 分布に関する情報(主として非心度)に基づいて、分析モデルの悪さを測定することを意図した適合度指標の中でよく用いられているのはRMSEAであり、標本数やモデルの複雑さなどを多面的に考慮したうえで(RMSEAの点推定値に対して標本数の影響はほとんどない)、比較的信頼度の高い形で適合度を評価してくれるものであるため、近年広く利用されるようになった。RMSEA>0.10ならば適合が悪く、RMSEA<0.05ならば適合が良いと考える。つまり値が小さいほど適合が良いと判断する。本モデルでは、RMSEA=0.036であるから、適合が良いといえる。

#### (6) SRMR

SRMRは、回帰分析における標準化残差に相当する。データから計算される標本相関行列と分析モデルから導かれる母相関行列の予測値との、要素ごとの差異の大きさ(残差行列

---

83 本論文のモデルと違って、本アンケート調査の質問内容により、アンケート調査項目を9つに分けて、もう一つのモデルを構成した。具体的には(1)「LOへの意識」、(2)「LOへの態度」、(3)「競争優位のLO」、(4)「環境経営への意識」、(5)「環境経営への態度」、(6)「環境に優しいロジスティクス」、(7)「主要な経営課題への貢献」、(8)「全社的な環境経営への貢献」、(9)「LOによるシナジー」など9つの潜在変数からモデルを作った。このモデルの全体的適合度の評価は不十分な水準である。情報量基準を比較的に見れば、このモデルのAIC=7378.832、BIC=7560.569、SABIC=7351.945になり、本論文の結果AIC=5512.447、BIC=5622.072、SABIC=5504.998よりだいぶ大きくなっていった。つまり、本論文の結果を倏約度から言えば、前のモデルより適合が良いということである。

の下三角要素)の 2 乗平均の平方根を表した指標である。良適合の判断基準としては、 $SRMR < 0.05$  が多く利用される。本モデルの  $SRMR$  は  $0.058$  となって、0 に近い値ではあるが、 $SRMR$  は判断基準である  $0.05$  よりも大きいので、適合が良いとまでは言い難い。ただし、 $SRMR$  は標本数や分析モデルの複雑さ(モデルの自由度)による影響を受けやすい欠点がある。そのため、 $SRMR$  は判断基準( $<0.05$ )より大きいということは、必ずしも本調査のデータに対してモデルが適合しないことを意味しない。

### (7) GFI と AGFI

予測残差ではなく、観測変数の分散に対するモデルの説明率という観点から分析の精度を評価する適合度指標として  $GFI$  と  $AGFI$  が提案されている。これらは回帰分析における決定係数と修正済み決定係数に相当する指標であり、0~1 の間の値をとり、値が 1 に近いほど良いモデルであると判断する<sup>84</sup>。良適合の判断基準としては、 $GFI, AGFI > 0.95$  が利用されることが一般的である。本モデルでは、 $GFI=0.913, AGFI=0.875$  となっており、この基準を満たさない。ただし  $GFI$  や  $AGFI$  については、 $\chi^2$  検定と同様に標本数による影響を受けやすい性質がある。そのため、現在利用を避ける流れも一部に見られる。

## 3.7.2 モデルの部分的評価(母数の推定)<sup>85</sup>

個々の母数に関する推定値が適切か否かを検討する部分的評価法として、標準誤差、母数の検定、信頼区間がある。本研究の係数(母数の推定値)に関する推定結果を表 3-11 と表 3-12 に示した。

### 3.7.2.1 部分的評価法

#### (1)母数の推定値

母数の推定値には、非標準化推定値と標準化推定値がある。

非標準化推定値は、データを標準化せずに分析を行った際に得られる推定値で、変数の単位の影響を受ける。標準化推定値は、全ての構造変数が標準化された状態で分析を行って得られた推定値であり、単位の影響を受けない。本稿のように構成概念を扱う場合には、非標準化推定値での解釈は難しいので、ここでは標準化推定値を提示する。推定される母数は、変数間の影響関係の程度を表す「係数」である。

係数の標準化推定値は、変数間の影響関係の強さを表し、数値の絶対値が大きいほど影響が強いと解釈できる。また、単位に依存しないので、個々の係数の値を比較して、関係の強さを比較することができる。

84 正確には、 $AGFI$  は(修正済み決定係数と同じように)0~1 の範囲外の値を取ることもある。ただしこれは極端にモデルの予測力が低い場合などに限られるので、通常は  $GFI$  と同じ感覚で扱って構わない。

85 豊田(2014,pp.33-37)を参照した。

表 3-11 : 構造方程式における係数の推定結果:

説明変数	非説明変数	パス係数(推定値、Estimate)	標準誤差 (Std.Err)	z 値	P 値	標準化係数
f1:LO への意識	f2:競争優位の LO	0.809	0.215	3.760	0.000	0.553
f2:競争優位の LO	f3:環境に優しいロジスティクス	0.346	0.085	4.074	0.000	0.787
	f6:LO によるシナジー	0.558	0.097	5.762	0.000	0.768
	f4:主要な経営課題への貢献	0.461	0.128	3.612	0.000	0.654
f6:LO によるシナジー	f4:主要な経営課題への貢献	0.283	0.164	1.724	0.085	0.292
f3:環境に優しいロジスティクス	f5:全社的な環境経営への貢献	2.312	0.536	4.315	0.000	0.953

表 3-12 : 測定方程式における係数の推定結果:

説明変数	非説明変数	パス係数(推定値、Estimate)	標準誤差 (Std.Err)	z 値	P 値	標準化係数
f1:LO への意識	q1:物流業務への重視度	1.000				0.589
	q2:経営陣の物流・ロジスティクスへの関心度	1.174	0.331	3.550	0.000	0.692
f2:競争優位の LO	q3:外部委託の効果	1.000				0.862
	q4:外部委託への満足度	0.697	0.096	7.222	0.000	0.600
f3:環境に優しいロジスティクス	q5:環境負荷の小ささ	1.000				0.379
	q6:環境負荷の削減	2.093	0.489	4.280	0.000	0.792

表 3-12: 測定方程式における係数の推定結果(続き)

説明変数	非説明変数	パス係数 (推定値、 Estimate)	標準誤差 (Std.Err )	z 値	P 値	標準 化係 数
f4:主要な経営課題への貢献	q7:商品・サービスの品質向上	1.000				0.607
	q8:商品・サービスの開発	0.806	0.163	4.953	0.000	0.490
	q9:業務効率化・生産性向上	1.247	0.182	6.859	0.000	0.756
	q10:コスト削減	1.040	0.172	6.058	0.000	0.631
f5:全社的な環境経営への貢献	q11:環境問題への対応	1.000				0.913
	q12:全社的な環境負荷削減	0.469	0.099	4.752	0.000	0.430
f6:LOによるシナジー	q13:業務の見直しへの重視度	1.000				0.626
	q14:定例的な報告、ミーティングへの重視度	0.586	0.159	3.673	0.000	0.366
	q15:委託先との連携による相乗効果	1.245	0.200	6.232	0.000	0.779

注: f1→q1, f2→q3, f3→q5, f4→q7, f5→q11, f6→q13 の推定値(Estimate)が 1.000 となっている。これは、分析を実行するために必要な制約である。測定方程式では、構成概念から任意に 1 つの観測変数への係数を 1 に固定する必要がある。関数 `sem()`<sup>86</sup>では、1 つ目に挙げた変数の係数が 1 に固定される。そのため、当該変数の標準誤差、z 値、p 値などは、計算されない。

## (2)標準誤差

標準誤差(standard error)は、母数の推定値の標準偏差で、推定値の散らばりを表す指標である。標準誤差が小さいほど精度よく推定できていると解釈する。また、母数の検定や信頼区間の算出では、標準誤差を利用する。

86 統計ソフト R では、`sem()`関数を使って共分散構造分析を行う。

### (3)母数の検定

母数の検定は、個々の母数に関して定性的な判断を行うための方法である。母数の検定では、「母数がゼロである」という帰無仮説を立て、個々の母数に関して算出されるz値、またはp値を利用して仮説に関する判断を行う。p値が0.05を下回っていれば(もしくはz値の絶対値が1.96以上であれば)、5%水準で「母数がゼロである」という帰無仮説が棄却され、「母数がゼロでない」という対立仮説が採択される。帰無仮説「母数がゼロである」を検定するためのz値は、推定値と標準誤差を利用して、

$$z \text{ 値} = \frac{\text{推定値}}{\text{標準誤差}}$$

によって算出できる。

### (4)信頼区間

母数の検定では、観測対象数が大きい場合には、母数の値がゼロに近くでも帰無仮説が棄却されやすくなる。したがって、統計的に有意であっても影響があるかは判断できない。そこで母数の検定結果だけでなく、母数に関する信頼区間も同時に報告する。95%信頼区間は、同様の調査を何度も行って信頼区間を構成した際に、それらの区間が母数の真値を含む確率が95%であると解釈する。95%信頼区間は、標準誤差を利用して、

推定値 - 1.96 × 標準誤差 ≤ 母数の真値 ≤ 推定値 + 1.96 × 標準誤差  
により算出される。

#### 3.7.2.2 分析結果(標準化推定値)の解釈

分析結果の概念図を図3-20に示す。図で表示された推定値は全部標準化推定値である。また、自由母数のパスを実線で表示して、有意水準も表示したが、固定母数(1に固定された係数)のパスを点線で表示して、有意水準を表示していないである。図3-20では誤差の推定値を表示されていない。

#### (1)構造方程式の係数

(a)「f1:LO への意識→f2:競争優位のLO」の係数は0.553であり、p値=0.001であり、推定値は1%水準で有意である。ゆえに「f1:LO への意識→f2:競争優位のLO」の関係を証明できる。

(b)「f2:競争優位のLO」→「f3:環境に優しいロジスティクス」の係数は0.787であり、1%水準で有意である。「競争優位のLO」から「環境に優しいロジスティクス」への影響度が強いことが確認できる。すなわち競争優位のLOが、環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路が確認された。

(c)「f2:競争優位の LO」→「f4:主要な経営課題への貢献」の係数は 0.654(直接効果)であり、1%水準で有意である。「競争優位の LO」から「主要な経営課題への貢献」への影響度が強いことが確認できる。すなわち競争優位の LO が経営課題に貢献する直接的経路が確認された。

(d)「f2:競争優位の LO」→「f6:LO によるシナジー」→「f4:主要な経営課題への貢献」の係数は、それぞれ 0.768、0.292 である。前者は 1%水準で有意であって、後者は 10%水準で有意である。すなわち競争優位の LO が経営課題に貢献する間接的経路は確認できる。「f2:競争優位の LO」から「f4:主要な経営課題への貢献」への間接効果は  $0.224(=0.768 \times 0.292)$  であり、総合効果<sup>87</sup>は 0.878 である。

この間接経路からわかるように、アウトソーシング先の業務が自社の業務と結びつくことによってシステムとしてのシナジスティック・アウトソーシングを形成すれば、模倣困難性が高い差別化が形成され、アウトソーシングした業務も持続的競争優位の形成に貢献できる。つまり、LO のシナジー効果によって、企業の競争力を維持できることになる。しかし間接効果は直接効果と比較すると相対的には小さいといえる。

(e)「f3:環境に優しいロジスティクス」→「f5:全社的な環境経営への貢献」の係数は 0.953 であり、1%水準で有意である。「環境に優しいロジスティクス」から「全社的な環境経営への貢献」への影響度がかなり強いことが確認できる。

## (2)測定方程式の係数

測定方程式では潜在変数を原因とし、観測変数を結果とする因果関係を表す係数が正かつ有意な結果ということは、積極的な影響を与えているものと考えられる。例えば、次の説明を例として取り上げる。

(a)「f1:LO への意識→q2:経営陣の物流・ロジスティクスへの関心度」の因果係数は 0.692 であり、1%水準で有意である。このとき LO への意識が高まると、経営陣の物流・ロジスティクスへの関心度も高くなると考えられる。

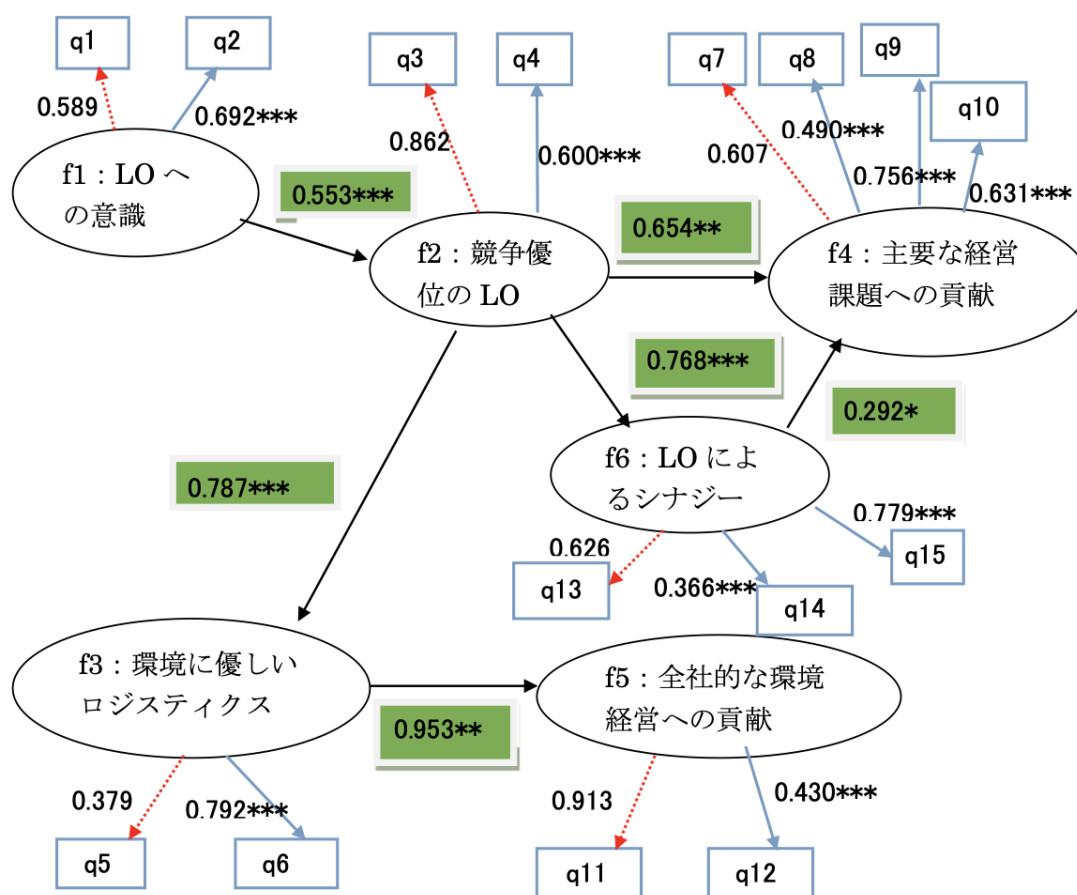
(b)「f2:競争優位の LO→q4:外部委託への満足度」の因果係数は 0.600 であり、1%水準で有意である。このとき競争優位の LO は荷主企業による外部委託への高い満足度をもたらすと考えられる。

---

87 総合効果=直接効果+間接効果=0.654+0.224=0.878。

(c) 「f3:環境に優しいロジスティクス→q6:ロジスティクスにおける環境負荷の削減」の因果係数は 0.792 であり、1%水準で有意である。これは、環境に優しいロジスティクスにより環境負荷の削減が実現されることを意味する。そこで、モデルの全体的経路から見ると、「f1→f2→f3→q6」となり、競争優位の LO がロジスティクスにおける環境負荷を削減する効果があることを定量的に説明できる。

図 3-20 : モデルの推定結果のパス図



注：p値が 0.01 より小さければ 1%水準(\*\*\*)、0.05 より小さければ 5%水準(\*\*)、0.1 より小さければ 10%水準(\*)で有意である。

(d) 「f4:主要な経営課題への貢献→q10:コスト削減」の因果係数は 0.631 であり、1%水準で有意である。「f1→f2→f4→q10」という経路からわかるように、企業が競争優位の LO が実現できるとすれば、企業が LO を行う目的の一つである企業のコストが削減(q10)されることが示唆される。一方、競争優位 LO は「q7:商品・サービスの品質向上」「q8:商品・サービスの開発」「q9:業務効率化・生産性向上」へも貢献している。

(e) 「f5:全社的な環境経営への貢献→q12:全社的な環境負荷削減」の因果係数は 0.430 であり、1%水準で有意である。「f1→f2→f3→f5→q12」から、競争優位の LO が企業の環境経営を通じて環境負荷を削減する効果があることを表している。しかし、影響力はあまり大きいとは言えない<sup>88</sup>。

(f) 「f6:LO によるシナジー→q15:委託先との連携による相乗効果」の因果係数は 0.779 であり、1%水準で有意である。「f1→f2→f6→q15」という経路から、競争優位の LO は荷主企業と委託先との連携による相乗効果をもたらすことが示唆される。

### 3.8 おわりに

本研究はロジスティクスの高度化・効率化と環境経営との両立が、外部委託(3PL)とどのような関係を持っているか、現状を定量的に明らかにすることが目的であった。そのため日本の株式市場に上場している製造業へのアンケート調査データを使い、共分散構造分析を試みた。

本論文のモデルでは、各潜在変数と関連する観測変数(質問項目)が多数存在するため、唐(2016)や木村(2004)と違って、共分散構造分析を行う前に、まず主成分分析により観測変数の数を縮約して、縮約した変数(主成分得点値)を新たに観測変数として用い、共分散構造分析を行った。

本論文の結果として、競争優位の LO が経営課題に貢献する直接的経路と間接的経路を確認できた。すなわち LO における委託先とのシナジー効果による、主要な経営課題への貢献は確認できた。また競争優位の LO が環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を確認できたことで、外部委託が競争優位を高めるだけでなく、環境経営を進展させる要因ともなることが示唆された。

---

88 「f2→q12」の間接効果=0.787×0.953×0.430=0.323



## 第4章 自動車普及と給油所数のグレンジャー因果性に関する分析

### 4.1 はじめに

物流に関する環境汚染源として特に問題となってきたものには、貨物自動車の排出ガスに含まれる、毒性があり健康被害をもたらす  $\text{NO}_x$ (窒素酸化物)、喘息などの健康被害をもたらす黒いススの  $\text{PM}$ (粒子状物質)、地球温暖化をもたらす  $\text{CO}_2$  排出などがある。環境問題への対応の中、貨物自動車に次世代環境対応車として電気自動車(EV)や燃料電池自動車(FCV)への開発・投入が期待される。しかし、政府の政策として電気自動車が普及とEVステーションが普及のバランスよく設定するのは重要である。電気自動車が普及すればEVステーションが増えるのか、EVステーションが増えれば電気自動車が普及するのか。常識的には双方向の因果関係があると考えられているのではないか。そうだとすれば、電気自動車を普及させるという政策目標があるとすれば、EVステーションの設置促進と電気自動車の普及促進を同時に実施すればよい。しかし因果関係が一方向であるとすればそうとは限らない。電気自動車が普及すればEVステーションが増えるという因果関係のみであれば、電気自動車の普及に政策の力点を置くべきであろう。EVステーションが増えれば電気自動車が普及するという因果関係のみであれば、EVステーションの設置に政策の力点を置くべきであろう。燃料電池車と水素ステーションの関係も同様である。しかしEVや燃料電池車は普及の初期段階にあり十分なデータがない。

自動車の普及期において、自動車の普及と軌を一にして自動車が走行するためのインフラ整備が進展した。代表的なインフラとしては燃料補給施設や道路ネットワークがある。直観的には、インフラ整備の進展により自動車が普及し、また自動車の普及によりインフラ整備が進展したといえるかもしれない。つまり双方向の因果関係があったという仮説は常識的に理解しやすい。しかし統計的な意味での検証は見当たらない。本論文はこうした関心をふまえつつ、過去におけるガソリン自動車の普及とガソリンスタンドの普及の因果関係に焦点を当てる。自動車普及の要因として高速道路をはじめとする交通インフラの整備、都市構造、人口密度、燃料価格、所得レベルなどがある。原因と結果の両方に影響を与える交絡因子を無視して、VARモデルを用いて、自動車数とSS数の間にグレンジャーの意味での因果関係が成立しているかどうかを確認する。

### 4.2 先行研究と研究目的

#### 4.2.1 先行研究

自動車保有の社会への影響について研究はいくつか存在する。芦沢(1980a,b)では、自動車保有への影響要因について分析し、家計が保有する自動車台数は家計規模や就業率、

都市構造等によって決定されると指摘した。Schimek(1996)では、人口密度と自動車走行距離との関係について研究し、人口密度が10%増加したとしても自動車走行距離がわずか0.7%しか減少しないのに対して、所得が10%増加すれば走行距離は3%も増加することを見出し、人口密度は走行距離に影響を及ぼすが、相対的にはあまり重要でないと結論する。谷口・村川・森田(1999)では、全国パーソントリップ調査に基づいて自動車利用量を推計して、ガソリン消費量を算出し、重回帰分析を行なった。そこから、ガソリン消費量に影響を与える要因として、人口密度や駅数を挙げ、またダミー変数を用いて港湾都市や震災都市の特殊性を指摘した。

自動車の普及と燃料補給施設に関する理論研究もいくつか存在する。栗田(1999)は、燃料補給施設の建設・運営費と住民の移動費に関する単純な想定の下で、最適な施設数を導出した。そこでは人口、面積、人口密度という3つの基本的な量を条件とし、総コスト(施設建設費用・運営費用と消費者の施設までの移動費用)の最小解を求めている。盆子原・小林・大澤(2014)は、「給油所過疎地域」に関する数理的な考察を行い、給油所数が人口と面積の合成という単純な1変数を用いただけでかなり高い精度で表せることを示した。そして茨城県を事例として、自治体内の適切なSS数と実際のSS数との比較を行なった。

グレンジャー因果性の概念を用いてガソリン消費量について分析した研究としては島田(2012)がある。ガソリン消費量、ガソリン価格および所得の間の因果性を明らかにするために、日本の10地域圏における1990~2008年度のパネルデータを用いて、総所得、ガソリン消費量およびガソリン価格の各変数の定常性や共和分関係にも配慮しながらベクトル誤差修正モデルによるグレンジャー因果性の分析を実施した。ガソリン消費と価格の間には双方向に負の因果性、ガソリン価格と所得の間には双方向に正と負の因果性、ガソリン消費から所得に対しては一方に正の因果性が認められた。

ガソリンスタンドの現実の動向を総合的にとらえた研究としては桐野(2017-2021)の一連の論文がある。規制緩和によりもたらされたガソリン価格の下落、SS数の減少、セルフSSの増加、ガソリンマージン率や営業利益率の低下などを判断資料として、規制緩和を背景とした石油各社の経営戦略と思想、日本のガソリンスタンド数減少の要因、規制緩和がガソリン価格に及ぼした影響、ガソリン価格の低下が消費者にもたらした経済的利益などを検討した。

以上のように、自動車の保有や走行の要因に関する研究、燃料補給施設数に関する研究、あるいはガソリン消費量と所得等に関するグレンジャー因果性の分析、さらにはSSの業界研究は存在するが、自動車普及とSS数に関するグレンジャー因果性の分析は見当たらない。

## 4.2.2 研究目的

電気自動車が普及すれば EV ステーションが増えるのか、EV ステーションが増えれば電気自動車が普及するのか。政府の政策設定で重要である。しかし EV や燃料電池車は普及の初期段階にあり、十分なデータがないため、EV や燃料電池車普及とステーション普及の因果関係を推定することができない。本論文はこうした関心をふまえつつ、過去におけるガソリン自動車の普及とガソリンスタンドの普及の因果関係に焦点を当てる。自動車普及の要因として高速道路をはじめとする交通インフラの整備、都市構造、人口密度、燃料価格、所得レベルなどがある。原因と結果の両方に影響を与える交絡因子を無視して、VAR モデルを用いて、自動車数と SS 数の間にグレンジャーの意味での因果関係が成立しているかどうかを確認する。また、自動車数と SS 数の都道府県別パネルデータを使って、定量的関係を分析する。

## 4.3 自動車産業と石油産業の概観

### 4.3.1 自動車産業の概観<sup>89</sup>

自動車産業(二輪車を含む)は、生産から販売、さらには利用する場面で極めて広い裾野を持つ。とりわけその産業に従事する人口は、全人口の一割に達するほど。それゆえ自動車産業は一割産業と言われ、日本の基幹産業の地位を築くまでに至って、その影響力の大きさが伝えられている。

フォードの第 1 号車が誕生したのが 1896 年、日本の国産ガソリン・エンジン車第 1 号が製作されたのが 1907 年と、自動車生産の歴史の上で日本とアメリカにおける出発点の差は 10 年余りに過ぎない。しかし、その後の発展過程における両国の差は大きく、30 年後の 1926 年にはアメリカの自動車保有台数は 2000 万台を突破し、1000 人当たり保有台数は 189 台に達したのに対して、日本の 1937 年における保有台数は 20 万台にも満たない状態であった。

第 2 次大戦中と戦後の混乱期に自動車生産は大きく後退し、戦前のピークを回復したのは 1949 年のことである。この年は、戦時中に軍事用を除いて生産を禁止されていた乗用車の生産が、占領軍の解除命令によって、全面的に生産再開を許された年でもある。

戦後の復興期において、1950 年に勃発した朝鮮動乱は日本の自動車産業にとって発展契機を与え、動乱が一応の終息をみた 1956 年には、自動車生産は四輪車のみで戦前の最高水準のほぼ 2 倍にあたる年産 10 万台に達し、1958 年から 1968 年までの 10 年間に生産台数は約 22 倍(乗用車は 41 倍)という驚異的な伸びを見せた。日本の自動車(二輪車を

---

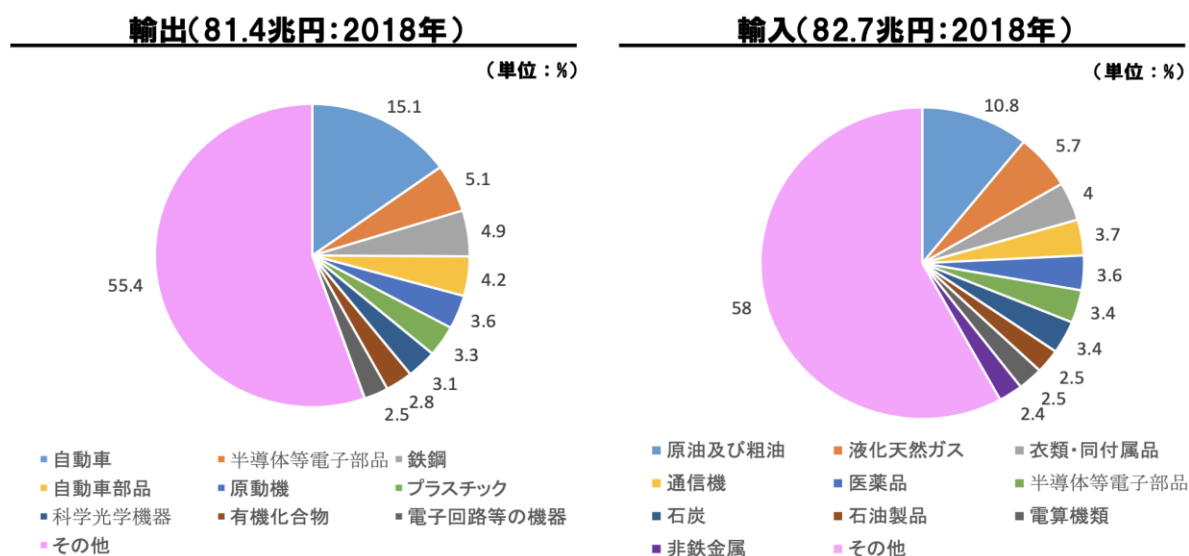
89 鶴澤(1997)、上野(1970)、立石(2005)などを参照した。

含む)保有台数は1968年に1000万台を突破した。モータリゼーションの時代を迎え、個別自動車の生産台数も同年に旧西ドイツを抜いて米国に続く第2位となった。

自動車輸入は外貨事情や政府の保護策により輸入制限と高関税措置がとられていたが、「貿易・為替自由化計画大綱」(1960年)が公示され、計画的にまた段階的に自由化が実施されることになった。日本車の輸出台数は、1973年に200万台を突破、1976年には371万台、1980年は597万台となり、輸出産業としての自動車は日本経済の発展に大きく貢献して、顕著な国際競争優位を確立した。

図4-1は品目別輸出入額の比率を表し、輸出は自動車、半導体等電子部品等の機械類が上位を占める。輸入は原油及び粗油、液化天然ガス等が上位を占める。

図4-1：品目別輸出入額



出所：財務省「貿易統計」、国土交通省(2020a)「物流を取り巻く動向について」

(<https://www.mlit.go.jp/common/001354692.pdf>)

近年、環境問題への対応で燃費基準が厳しくなる一方であり、通常の内燃機関の燃費改善では基準をクリアすることが困難になって、ガソリン車などを電気自動車や燃料電池自動車に代表される次世代環境対応車への代替を進めている。次世代自動車の開発及び販売が各自動車メーカーにとって重要な課題となりつつある。

#### 4.3.2 石油業界の概観

石油は基幹エネルギーとしての性格上、各国のエネルギーについての危険管理の対象であり、国民生活を中心とする経済活動を支えるという重要な役割を持っている。

#### 4.3.2.1 日本の石油政策の歴史<sup>90</sup>

戦後から今日まで、日本の石油政策は、その時代の国際石油動向から受ける石油事情を背景にして、幾多の変遷を経て現在に至っている。「規制保護」から「自由化」への歴史変遷である。

日本の石油産業の枠組みとなり、石油政策の基本法として「石油業法」は、1934年3月28日に公布され、同年7月1日に施行された。同法は、①石油の精製業と輸入業は政府の許可制とし、政府はそれぞれに対して製品販売数量の割当を行う、②石油の精製業者と輸入業者に一定量の石油保有業務を課する、③政府は、必要な場合に石油の需給を調節したり価格を変更したりする権限を持つ、などの諸点を主要な内容としていた。経営基盤の弱かった日本の石油会社を保護、育成するという隠れた意図もあったようだ。

1962年には、新しい石油業法が制定された(同年5月公布、7月施行)。新石油業法の主要な内容は、①通産大臣が石油供給計画を作成する、②石油精製事業を許可制とする、③特定の精製設備の新、増設も許可制とする、④石油製品生産計画と石油輸入計画については届出制をとる、⑤必要な場合には通商産業大臣が石油製品販売価格の標準額を告示する、などの諸点にあった。端的に言えば、精製業をコントロールすることによって、石油の安定供給を達成しようとするものであった。

1985年12月、「特定石油製品輸入暫定措置法」(特石法)が制定された。この法律は、一定の秩序のもとでガソリン・灯油・軽油の輸入を促進することを目的としていたが、「一定の秩序」に関して厳しい条件を課したため、ガソリン・灯油・軽油の輸入の担い手を事実上、精製業者に限定する意味合いをもった。

1995年4月、特石法の廃止を盛り込んだ「石油製品の安定的かつ効率的な供給の確保のための関係法律の整備に関する法律」(石油関連整備法)が公布された。同時に、揮発油販売業法も改正され、「揮発油等の品質の確保等に関する法律」(品確法)に改められた。この品確法は、石油製品輸入の自由化にともなう国内市場での石油製品の多様化に対応し、ガソリンのみならず、灯油、軽油についても、品質の確保を図ることを目的としたものであり、揮発油販売業者の登録制度や、規格に適合しない燃料油の販売規制などを定めた。その後、日本経済が国際化していくのに合わせて、石油業界でも「国際化に対応する石油産業政策」が検討されることになり、安定供給と効率的供給を両立させるための石油業界の自由化が検討され、規制を緩和していく政策がとられることになった。

1996年3月に「特石法」が廃止された。2001年12月に「石油業法」が廃止され、石油産業の自由化は、一応の完成をみた。

2009年7月にエネルギー供給構造高度化法<sup>91</sup>が成立し、石油精製各社は精製能力(原油常圧蒸留装置能力)に対する重質油分解装置の装備率の引き上げを義務付けられた。これ

90 橘川(2012)、小嶋(2003)を参照した。

ENEOSのウェブサイト(石油便覧 資料編 石油産業の歴史 第2章 国内石油産業)も参照した。  
<https://www.eneos.co.jp/binran/document/part01/chapter02/index.html>

91 正式名は「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効

に対する対応策は、国内石油製品需要が減少する中においては、重質油分解装置の能力アップ(分子対応)ではなく、精製能力削減(分母対応)の方向で行われた。その結果、全国の精製能力は2008年4月の28製油所・489万バレル/日から、2014年4月には23製油所・396万バレル/日まで減少した。

さらに、2014年7月には、経済産業省より「エネルギー供給構造高度化法の新たな判断基準」が告示され、高度化達成基準を重油直接脱硫装置や流動接触分解装置(FCC)などを含めた残油処理装置装備率に変更して、2014年度末の45%程度から、2016年度末までに50%程度まで引き上げることが義務付けられた。国内石油製品需要が減少する状況に変化はないため、石油精製各社は精製能力のさらなる削減で対応し、2016年度末には22製油所・352万バレル/日、残油処理装置装備率は50.5%に到達した。

2017年10月には「重質油分解装置の有効活用(稼働率向上、製油所間連携、能力増強等)を促し、より一層の重質油分解能力の活用を実現する」との基本的考え方に基づく高度化法3次告示が示された。減圧蒸留残渣処理率を指標として、この処理率を2021年度に7.5%程度まで引き上げることが目標としている。

2021年3月時点の最新情報では、石油精製各社はさらに精製能力を削減し、21製油所で常圧蒸留装置能力345万7,800バレル/日となっている。

#### 4.3.2.2 SS数の変遷

SS(Service Station、サービスステーション)はいわゆる給油所のことであるが、人対車に対するサービスを提供する店である。第一次大戦後、航空機や自動車の発達により、いわゆる内燃機関燃料としてのガソリン需要が急速に拡大された。日本でも自動車の使用が始まるとともに、1919年に現在のENEOS(株)によって最初の給油所が東京駅前に建設された<sup>92</sup>。

日本のSSは伝統的にフルサービス方式をとっているが、規制緩和を機に、欧米諸国で主流となっているセルフSSの導入が盛んになった。セルフSSの導入の根拠は、1994年行政改革推進本部が「ガソリンの内外格差は約三倍。これを縮小する方策として欧米で一般化しているSSのセルフ化を導入すべきである」としたことにある。現在のSSの種類は、フルSSとセルフSSの2種類がある。フルSSとは専門スタッフによって、給油を行うサービス方式の給油取扱所のことである。ガソリンや灯油の給油作業はもちろん、窓拭きや灰皿の清掃、ゴミの処理、オイル交換、洗車、タイヤの空気圧チェックなど安全走行に関するサービスを提供する。セルフSSとはドライバー自身が、給油を行うサービス方式の給油取扱所のことである。ドライバーによる事故(吹きこぼれや誤給油など)を防止するために、従業員が給油状況を直接監視もしくは監視カメラによる間接監視を行う必要

---

な利用の促進に関する法律」(平成21年法律第72号)。

<sup>92</sup> 渡辺(1997,P.51)を参照した。

がある。また、給油ノズルのオートストップ機構、静電気対策、パッケージ型固定泡消火設備を含む一定の安全対策を行うことが必要である。

SS数の発展をライフサイクル論に当てはめて、導入期、成長期、成熟期、淘汰期、安定期に分類して、その発展過程と今後の推移を見てみよう<sup>93</sup>。まず日本のSSの導入期(1950~1960)の10年間である。この時期は、1950年に約1,000か所であったSSが10年間で8,200か所にもなり、急成長を予感させる時期であった。成長期は成長前期(1961~1968)と成長後期(1969~1977)に分ける。成長前期には、わずか8年間で4.3倍の35,000か所に、後期の8年間で46,000か所に到達している。成熟期(1978~1996)は、18年間で52,000か所から56,000か所へとピーク状態が続いている。長らく続いてきた規制(特石法)が1996年4月に廃止され、市場では競争原理が動き始めた。石油製品の輸入やSS経営への新規参入の活発化、セルフSSの増加、ガソリン価格の低下とガソリン独歩高の価格体系の是正などが進み、全体として、石油製品の利用者は大きなメリットを享受したが、石油販売業界における競争を激化させて、ガソリン収益は従来の半分レベルまで落ち込んでおり、石油販売業を営む事業者数とSS数は大幅に減少し、淘汰された。資源エネルギー庁は、全国の給油所数が2021年度末時点で2万8475か所と、前年度末比530か所(2%)減ったと発表した<sup>94</sup>。燃費改善によるガソリン需要の落ち込みや、後継者不足などが響き、過去最多だった1994年度末(6万421か所)の半分以下になった。ただ、過当競争の減少で利益水準は上昇、減少幅は縮みつつある。石油元売りが安値販売の鎮静化に取り組み、過当競争が起きにくくなった。利益が改善しても、販売量が減れば給油所にとっては打撃だ。脱炭素を目指した電気自動車(EV)の普及などで、ガソリンの需要は中長期に低下する見通しである。

図4-2はSS数の推移を示し、1998年以降のSS数は「セルフスタンド」と「フルサービスのスタンド」双方の数を加えたものが総数となる。セルフSS数は漸増しているため、SSに占める比率が増加している。しかしセルフSS数の増加数以上に、フルサービスのスタンド数が減少しているため、SSの総数は減っているのが把握できる。概算ではSSの1/3強がセルフSSとの計算になる。この結果、ガソリンスタンドがまったくない町村や1つしかない市町村があり、こうした地域は給油所過疎地と呼ばれ、新たな移動制約者を生みかねない問題になっている。

1994年からSSの総数は減っているがガソリンの生産と販売数は2007年ごろから減っている(図4-3)。ガソリン需要減少について小畠(2014)では、最大の要因は高齢化・経済成長の停滞によるものであり、第二の要因は燃費改善・次世代自動車によるものであり、第三の要因は交通流対策である<sup>95</sup>。ガソリンスタンド数の減少について資源エネルギー庁(2014)の中で、「自動車保有台数の減少」「走行車両の燃費向上」「走行距離そのものの減

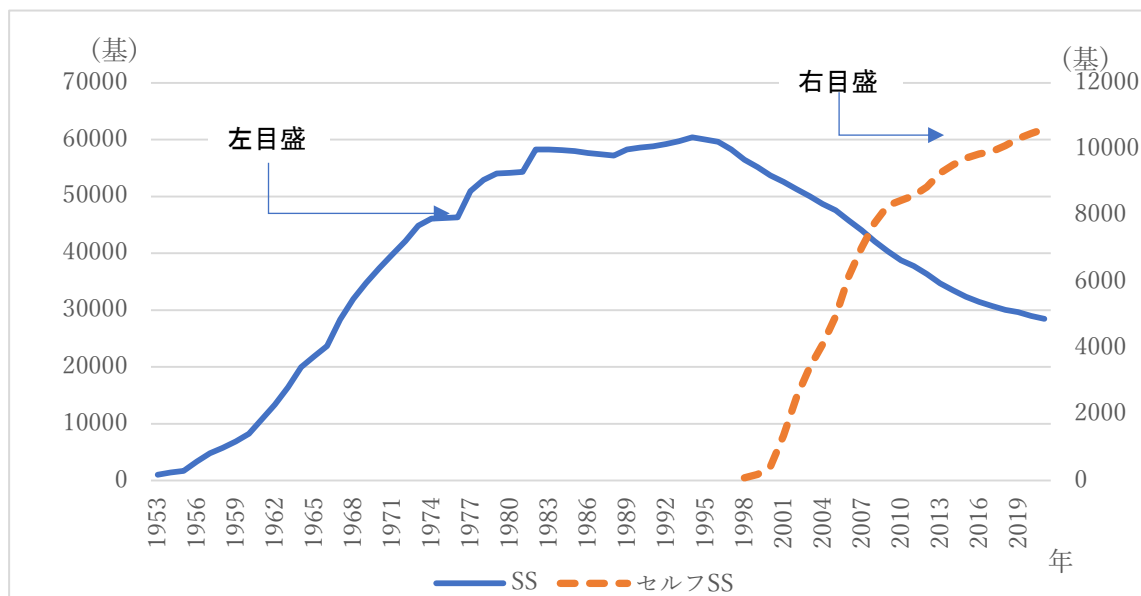
93 渡辺(1997,pp.146-147)を参照した。

94 皆上(2022)を参照した。

95 小畠(2014)を参照した。

少傾向」などからガソリンの需要が減少し、必然的に供給する場のガソリンスタンドの需要が低迷していること、そして石油販売業者の収益性が低いままであること(特石法廃止以降は特に)などを分析結果として挙げている。

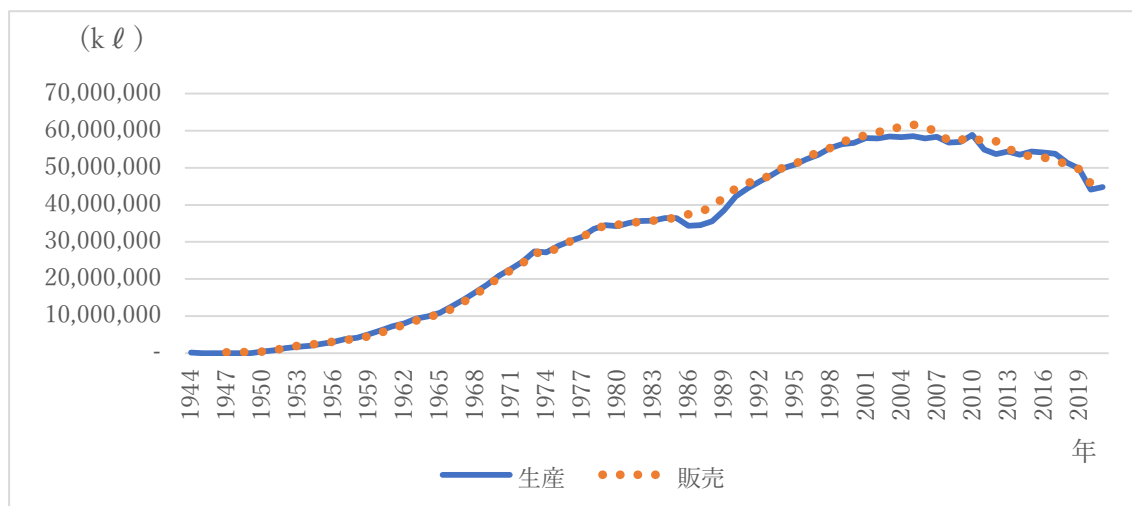
図 4-2 : SS 数の推移



出所：1.石油連盟 統計資料リスト <https://www.paj.gr.jp/statis/statis>

2.石油連盟『戦後石油統計[新版]』2016年3月

図 4-3 : ガソリンの生産と販売



出所：1.石油連盟(2016)「戦後石油統計[新版]」

2.経済産業省 石油統計(確報)統計表一覧

(<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/sekiyuka/index.html#menu1>)



石油連盟がまとめた欧米主要国の SS 事情は、アメリカ、ドイツ、イギリス、フランスなどでは毎年 SS 数が減少しており、自由化先進国の共通の傾向となっている。SS 数が減少するなかで、セルフ SS、ハイパーSS は増加しており、自由化市場の一つの方向を示唆している。低価格が魅力であるセルフ SS は、大量のガソリンを使用するアメリカのドライバーに支持され、セルフ SS の普及率は 90%を超え、全ガソリン販売量の 90%以上を占めている。

## 4.4 自動車普及と SS 数の因果関係

### 4.4.1 因果性の概観

普通、パス図のように変数間の関係に方向性があると、そこにはあたかも因果関係があるかのような印象を持ってしまう。パス図に示されているものは、分析者が決めた因果の流れにすぎない。パス図によってわかることは、あくまでも変数間の相関関係であり、変数の間に規則的な関係があるということである<sup>96</sup>。

2つの事柄のうちに、片方が原因となって、もう片方が結果として生じた場合、この2つ間には「因果関係」があるという。一方、片方につられてもう片方も変化しているように見えるものの、原因と結果の関係にない場合「相関関係」があるという。相関関係は「原因と結果の関係にあるもの」と「原因と結果の関係にないもの」の両方を含んだ概念である。2つの変数の関係が因果関係なのか、相関関係なのかを確認するために、次の3つのことを疑ってかかる。その3つとは、(1)「まったくの偶然」ではないか、(2)「第3の変数」は存在していないか、つまり原因と結果の両方に影響を与える交絡因子が存在しているかどうかを疑ってみること、(3)「逆の因果関係」は存在していないかである<sup>97</sup>。

高野(2004)<sup>98</sup>では、ある変数 X と Y の間に相関がある時、相関が見られた理由としては、5つのことが考えられる。それは、(1)X が原因で Y が結果(X→Y)、(2)Y が原因で X が結果(Y→X)、(3)双方向の因果関係(X⇌Y)、(4)第3の変数による擬似相関、(5)偶然、母集団では相関がないにもかかわらず、検定結果が有意になる標本が偶然得られた、5つである。第(3)の双方向の因果関係(X⇌Y)とは、例えば、興味と有能感の関係について、興味のあることは熱心に取り組むので得意になり、得意になることでますます好きになる、といったように、お互いが原因でも結果でもあることである。(5)の偶然というのは、母集団では相関がないにもかかわらず、検定結果が有意になる標本が偶然得られたというこ

96 川端・岩間・鈴木(2018,pp.153-157)を参照した。

97 中室・津川(2017,pp.26-28)を参照した。

98 高野(2000,pp.109-146)、高野(2004,pp.2-19)を参照した。

スティーヴン・マンフォード, ラニ・リル・アンユム [著]; 塩野直之, 谷川卓[訳](2017)『哲学がわかる因果性』岩波書店。

とである。これは、相関があることは必ずしも因果の証明にはならないことである。では、どうすれば因果関係があると判断できるのか？イギリスの哲学者であるジョン・スチュアート・ミル(John Stuart Mill)によると、因果関係を示すためには、①原因は結果よりも時間的に先行していること、②原因と結果の間には関連があること、③他の因果的説明が排除されていることが必要になる。例えば、一回の調査で得られたデータを用いてパス解析を行い、パス係数が有意になったとしても、ミルの3原則のうち「関連があること」しか示せない。

因果関係の存在を証明するためには、原因が起こったという「事実」における結果と、原因が起こらなかったという「反事実」における結果を比較である。ここで、因果関係に迫るための強力な方法として、ランダム化比較試験がある。しかし、実験の実施が困難な場合も多くある<sup>99</sup>。①ランダム化比較試験を実施するにはかなりの費用がかかる。②「外的妥当性」の問題がある。ランダム化比較試験では研究対象者が厳選されていることが多いので、そのほかの集団でも同じ結果が得られるかはわからない。③倫理的な問題から実施できないようなケースも多い。例えば、喫煙と肺癌の因果関係を知りたいからといって、被験者に強制的にタバコを吸わせたりすることはできない。④実験計画どおりに「ランダムに割り付ける」ことができず、「ランダム化の失敗」が起こることもある。割り付けるときだけではなく、実験の最中に対象となった人々が対照群から介入群へ移動してしまうことによって生じる偏りもある。⑤ランダム化比較試験で得られた効果よりも、実際に社会全体で拡張して導入したときの効果のほうが小さくなってしまいうという問題もある。

グレンジャーは1969年に初めてグレンジャー因果検定を提案した。グレンジャー因果検定は、ある時系列が別の時系列の予測に役に立つかどうかを判断するための統計的仮説検定である。通常、回帰は「単なる」相関関係を反映するものだが、グレンジャーは、ある時系列の過去の値が別の時系列の将来の値を予測する能力を測定することにより、経済学における因果関係を検証できると主張した。Granger(1969)は次の2つのアイデアから因果性検定方法を提案した。(1)原因はその結果に先立って起きる、(2)将来の結果に関するユニークな情報が原因に含まれている。なおグレンジャー因果は通常の意味での因果性を意味しない。たとえば落雷時には雷光の後に雷鳴が響くが、雷光が雷鳴を生じさせているわけではない(落雷を原因として、雷光・雷鳴という結果が生じている)。あくまで予測のために利用する概念である。グレンジャー因果性はメカニズムの知識ではなく、データから因果関係を推測するために使用される方法で、理論的背景が不十分であるか、実験が不可能な場合にのみ最も有用であり、利用される。

縦断調査(panel data)も因果性推定の有効な方法である。縦断調査とは、同一の調査対象者に、時間を置いて複数回のデータ収集を行う調査のことである。この時、「時間的に先行していること」という原則と「関連があること」という原則も満たす。ただし、第3

---

99 中室・津川(2017,P.178)を参照した。

変数が原因と結果に影響を与える可能性を 100%排除することはできないため、縦断調査を利用して、実験ほど因果関係に迫ることはできない。それでも、縦断調査は因果関係に迫るためには有効的な方法と言える。

現在、因果推論と機械学習を織り交ぜた研究も盛んに行われており、企業内外で実証ミクロ経済学者と機械学習専門家が一緒にプロジェクトに関わることも多い<sup>100</sup>。

#### 4.4.2 本章の時系列データの基本的な特性

##### 4.4.2.1 本章で使用するデータ

本研究では 1953~1997 年度を研究期間として選ぶことにする。1953 年度からとした理由は、自動車の普及進展期という本研究の目的に合致しており、また自動車保有台数および SS 数について一貫性のあるデータが得られることである。これより古くなると他の情報源との整合性に疑問があったり欠損値がみられたりする。1997 年度までのデータを選んだ理由は、これ以降、自動車保有台数が頭打ちとなり自動車普及の進展期が終わりを迎えていること、また 1998 年 4 月の石油産業規制緩和の影響を分析において回避するためである。規制緩和により石油製品の輸入、SS 経営への新規参入の活発化、セルフ SS の増加、ガソリン価格の低下と価格体系の是正などが進み、石油販売業界における競争が激化し、ガソリン収益は従来の半分レベルまで落ち込み、石油販売業を営む事業者数と SS 数は大幅に減少した。石油産業の規制緩和は、自動車普及と SS の因果関係への大きな影響要因となり得る。なお、1972 年に本土復帰した沖縄県のデータは 1974 年度までは含まれない。沖縄県のデータは欠損値が多いため本研究で入っていない。都道府県の数 は 46 である。

表 4-1 は本研究で使用するデータである。自動車保有台数は乗用車、貨物車、乗合車、特殊車、二輪車数の合計を使用する。これには軽自動車が含まれる。

##### 4.4.2.2 ラグ次数 $p$ の決定

VAR 分析では最初に単位根検定や共和分検定など診断的な検定を行い、その結果に基づいて異なった推定モデルを構築するのが普通である。単位根検定、共和分検定、その後のモデル推定でも、ラグ次数 $p$ を決定する必要がある。ラグ次数 $p$ はデータの性質に基づいて決めるのが普通である。そのためのアプローチは数個あり、情報量基準に基づくアプローチが主流である。情報量基準は現実に対するモデルの適合性とパラメータ数とのバランスを考慮して適切なモデルを選択しようとする統計量である。つまり、情報量基準が最小となるようなラグ次数 $p$ を選ぶ。このような方法でラグ次数 $p$ を決定するのが一般的である。情報量基準としては表 4-2 に示すものがよく知られている<sup>101</sup>。

100 渡辺(2018)と小川(2020)を参照した。

101 情報量基準の具体的意味は村尾(2019,P.117)を参照した。

表 4-1 : 本研究で使うデータの説明

データの種類	出所	備考
自動車保有台数	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動車検査登録情報協会「自動車保有台数」  <a href="https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html">https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html</a></li> <li>軽自動車検査協会「その他統計情報」(自動車保有車両数の推移)  <a href="https://www.keikenkyo.or.jp/information/information_000453.html">https://www.keikenkyo.or.jp/information/information_000453.html</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1953～97 年度。各年度末時点。</li> <li>乗用車、貨物車、乗合車、特殊車、二輪車の合計。軽自動車を含む。</li> </ul>
SS (サービスステーション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>石油連盟「統計資料リスト」  <a href="https://www.paj.gr.jp/statis/statis">https://www.paj.gr.jp/statis/statis</a></li> <li>石油連盟『戦後石油統計[新版]』2016 年 3 月</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1953～97 年度。1981 年までは年末時点、1982 年以降は年度末時点。</li> </ul>

表 4-2 : 情報量基準

情報量基準	略称
赤池情報量基準(Akaike Information Criterion) $AIC(p) = \log[\det(\hat{\Sigma}(p))] + \frac{2}{T}N(p)$	AIC
ハナン=クイン情報量基準(Hannan-Quinn Information Criterion) $HQ(p) = \log[\det(\hat{\Sigma}(p))] + \frac{2\log[\log T]}{T}N(p)$	HQ(HQIC)
シュワルツのバイズ情報量基準(Schwarz Bayesian Information Criterion) $SC(p) = \log[\det(\hat{\Sigma}(p))] + \frac{\log T}{T}N(p)$	SC(SBIC、SBC、BIC)
赤池最終予測誤差(Akaike's Final Prediction Error) $FPE(p) = [\det(\hat{\Sigma}(p))] + \left(\frac{T+n(p)}{T-n(p)}\right)^K$ 上の式の自然対数版(下の式)を用いる。 $\log[FPE(p)] = \log[\det(\hat{\Sigma}(p))] + K \times \log\left(\frac{T+n(p)}{T-n(p)}\right)$	FPE

ただし、

$\det(\hat{\Sigma}(p))$  : 共分散行列の行列式

T : 標本サイズ

N(p) : K 本の方程式全体における係数パラメータの総個数

n(p) : 方程式 1 本あたりの係数パラメータの個数

である。

#### 4.4.2.3 自己相関係数と偏自己相関係数

時系列のデータで分析を行なう場合、そのデータが定常性を満たしているかどうかを検定する必要がある。

定義 1 : 定常性<sup>102</sup>

確率過程 $\{y_t\}$ は定常性を持っているとは、数学には以下の 3 式によって表現される性質がある確率過程 $\{y_t\}$ である。

$$(1) E(y_t) = \mu < \infty$$

$$(2) \text{var}(y_t) = r(0) < \infty$$

$$(3) \text{cov}(y_t, y_{t-s}) = r(s) \quad (s = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots)$$

これらの確率変数の特性値がいずれも時刻 $t$ に依存していないことである。すなわち、平均と分散はすべての $y_t$ について共通であり、自己共分散は 2 時点の差 $s$ のみに依存している。確率過程 $\{y_t\}$ の対応する観測値集合である時系列データ $\{y_t^*\}$ は、定常な時系列データと呼ばれる。直感的には、定常な時系列データとは、一定の平均値の回りをある程度の規則性をもって周期的に変動しているデータである。

定常ではない確率過程は非定常過程と呼ぶ。対応する観測値集合である時系列データ $\{y_t^*\}$ は、非定常な時系列データである。非定常過程は共和分関係と見せかけの回帰の現象があり、本来は関係のない変数であっても、「関係あり」と判断する傾向がある。非定常過程の定常化は次の 2 つ概念に分類できる<sup>103</sup>。

(1) トレンド定常過程 : タイムトレンド(時間のみの関数)を取り除くことによって定常になる過程は、トレンド定常過程という。

(2) 階差定常過程 : 階差を取ることによって定常となる過程は、階差定常過程という。差分定常過程とも呼ばれている。

階差定常過程は、何回階差を取れば定常過程になるかといった視点から分類される。非定常過程 $\{y_t\}$ が 1 次の階差変換で定常となるとき、 $y_t$ は 1 次の和分過程と呼び、

$$y_t \sim I(1)$$

と表記する。2 次の階差変換で定常となる場合は、2 次の和分過程と呼び、

$$y_t \sim I(2)$$

102 山本(1988,P.17)を参照した。

103 村尾(2019,pp.39-40)を参照した。

と表記する。2 次の和分過程 $y_t$ は、1 回目の階差で $\Delta y_t \sim I(1)$ となり、2 回目の階差で $\Delta^2 y_t \sim I(0)$ となる。原系列のままでも、定常な過程やトレンド定常過程は $I(0)$ 過程に分類される。したがって、和分過程の定義は次のように表現できる。

定義 2：和分過程

$d-1$ 次の階差を取った過程は非定常であるが、 $d$ 次の階差を取った過程が定常であるとき、過程は $d$ 次和分過程と呼び、 $I(d)$ 過程と表記する。

定常性の意義を説明した後、まず、自己相関および偏自己相関に従って時系列データの定常性を判断する。自己相関および偏自己相関は、現在と過去の時系列値の関連性の測定で、どの過去の時系列値が将来値の予測に最も役立つかを示す。具体的には次のとおりである。

(1) 自己相関関数(ACF)<sup>104</sup>：自己相関は自己共分散を分散で除いて基準化した指標であ

る。自己相関を  $\rho(s)$  と表し、 $\rho(s) = \frac{\gamma(s)}{\gamma(0)}$ 、 $(s = \dots, -1, 0, 1, 2, \dots)$  である。 $\rho(s)$  は  $y_t$  と

$y_{t-s}$  (すなわち  $s$  期離れた変数) の関係の強さを表している。 $|\rho(s)|$  ( $s \geq 1$ ) が 1 に近いものがある時は、系列相関が高い(強い)と言われ、0 に近い時は低い(弱い)と言われる。

(2) 偏自己相関関数(Partial ACF)<sup>105</sup>： $s$ 期離れた $y_t$ と $y_{t-s}$ の偏自己相関 $\phi_{ss}$ とは、途中の $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-s+1}$ の影響を取り除いた後での $y_t$ と $y_{t-s}$ の線型関係の強さを示す指標であ

る。 $|\phi_{ss}|$  ( $s \geq 1$ ) が 1 に近いものがある時は、系列相関が高い(強い)と言われ、0 に近い時は低い(弱い)と言われる。

図 4-4(左)の自動車数プロットは横軸が年、縦軸が自動車数で、自動車数は右上がりに増加している。図 4-4(中)の ACF(自己相関関数)プロットの横軸はラグ数、縦軸が自己相関関係の値を示す。絶対値は、関連性の強さを示す測定値で、絶対値が大きいほど強い関連性を示すから、自動車数はラグ 11 次までが有意水準 5% で有意に正の自己相関が高いことを示している(横の破線は 95% の信頼区間を表す)。図 4-4(右)の Partial ACF(偏自己相関関数)プロットの横軸はラグ数、縦軸が偏自己相関関係の値を示す。絶対値は、関連性の強さを示す測定値で、絶対値が大きいほど強い関連性を示すから、自動車数は他の影響を取り除いた後、ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを示している。よって自動車数の時系列は非定常時系列であると予測できる。

104 山本(1988,P.19)を参照した。

105 山本(1988,P.33)を参照した。

図 4-4 : 自動車数、自動車数の自己相関と偏自己相関の形状

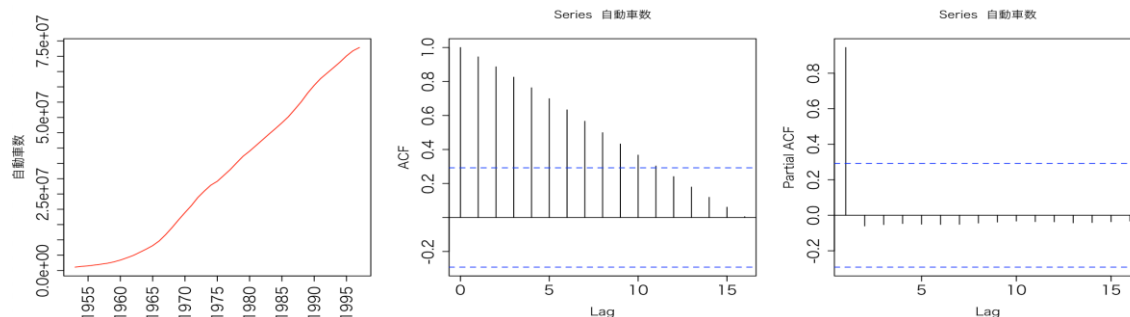
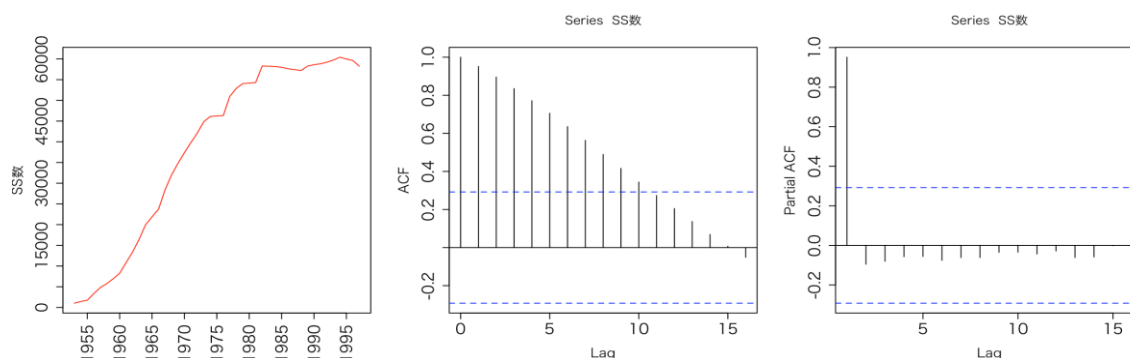


図 4-5(左)の SS 数のプロットは横軸が年、縦軸が SS 数で、SS 数は右上がりに増加したが、減少、増加を経て 1994 年度をピークに減少に転じた。図 4-5(中)は SS 数の ACF プロットのラグ 10 次までが有意水準 5%で有意で正の自己相関が高いことを示している。図 4-5(右)は SS 数の Partial ACF プロットは他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを示している。よって SS 数の時系列は非定常時系列であると予測できる。

図 4-5 : SS 数、SS 数の自己相関と偏自己相関の形状



#### 4.4.2.4 単位根検定

次に、変数の定常性を検定するために単位根検定を行なう。単位根検定は、Augmented Dickey-Fuller(ADF)検定、Phillips-Perron(PP)検定を行った<sup>106</sup>。

Augmented Dickey-Fuller(ADF)検定：ランダムウォークモデル、ドリフト付きランダムウォークモデル、ドリフトと時間トレンド付きランダムウォークモデルで、AR(p)モデルでの ADF 検定はそれぞれ

$$\Delta y_t = \delta y_{t-1} + \gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + u_t$$

$$\Delta y_t = \beta_0 + \delta y_{t-1} + \gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + u_t$$

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \delta y_{t-1} + \gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + u_t$$

106 福地・伊藤(2011,P.138)を参照した。

において、以下の検定を行うのと同じ結果になることが知られている。

$$H_0: \delta = 0$$

$$H_1: \delta < 0$$

帰無仮説 $H_0$ の下で $y_t$ は $I(1)$ となり、対立仮説 $H_1$ の下で $I(0)$ となる。帰無仮説の下での検定統計量( $t$ 統計量)が Dickey-Fuller 分布に従う。

Phillips-Perron(PP)検定：誤差項が弱従属性と分散不均一性をもつ場合のノンパラメトリックな単位根検定法である。自己回帰モデルに定数項がある場合は以下のモデルを考える。

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + u_t \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

ここで、誤差項過程 $\{u_t\}$ は弱従属性<sup>107</sup>を持ち、分散は不均一でも構わない。検定統計量の定義は Phillips and Perron(1988)を参照されたい。

自動車数の単位根検定結果は表 4-3 に示した。時系列自動車数と $\Delta$ 自動車数の $p$ 値と有意水準値から時系列自動車数と $\Delta$ 自動車数は非定常時系列と判断できる。自動車数の二次階差( $\Delta^2$ 自動車数)は単位根がなく定常性を満たしていると判断することができる。つまり、自動車数は 2 次の和分過程に従う。自動車数 $\sim I(2)$ と表せる。

表 4-3：自動車数の単位根検定結果(期間：1953～1997 年度)

検定統計量	自動車数	$\Delta$ 自動車数	$\Delta^2$ 自動車数
ADF 検定	-3.142 [p-value= 0.121] 結果： $H_0$ 棄却されない	-0.722 [p-value= 0.961] 結果： $H_0$ 棄却されない	-3.718 [p-value= 0.035] 結果： $H_0$ 棄却
PP 検定	1.875 [1pct=-3.585] 結果： $H_0$ 棄却されない	-1.888 [1pct=-3.589] 結果： $H_0$ 棄却されない	-5.365 [1pct=-3.593] 結果： $H_0$ 棄却

注：1pct は有意水準 1% の臨界値を示している。

SS 数の単位根検定結果は表 4-4 に示した。時系列データ SS 数と $\Delta$ SS 数の $p$ 値と有意水準値から時系列データ SS 数と $\Delta$ SS 数は非定常時系列と判断できる。SS 数の二次階差( $\Delta^2$  SS 数)は単位根がなく定常性を満たしていると判断することができる。つまり、SS 数は 2 次の和分過程に従う。SS 数 $\sim I(2)$ と表せる。

107 確率変数 $u_t$ と $u_s$ は従属しているが、 $|t-s|$ が大きくなるに従って $u_t$ と $u_s$ はほぼ独立となる性質。



表 4-4 : SS 数の単位根検定結果(期間 : 1953~1997 年度)

検定統計量	SS 数	$\Delta$ SS 数	$\Delta^2$ SS 数
ADF 検定	0.2134 [p-value=0.99] 結果: $H_0$ 棄却されない	-2.495 [p-value=0.378] 結果: $H_0$ 棄却されない	-6.466 [p-value = 0.01] 結果: $H_0$ 棄却
PP 検定	-1.996 [1pct=-3.585] 結果: $H_0$ 棄却されない	-3.817 [1pct=-3.589] 結果: $H_0$ 棄却	-12.102 [1pct=-3.593] 結果: $H_0$ 棄却

注 : 1pct は有意水準 1% の臨界値を示している。

なお SS 数の PP 検定では  $H_0$  が棄却されるため、SS 数は定常時系列データと判断されるが、これは ADF 検定の結果と矛盾している。時系列データの定常性を判断する時、一つの検定方法で判断するのではなく、他の検定方法も使用して総合的に判断する必要がある。

#### 4.4.2.5 共和分検定

2 つの過程に関して、 $y_{1t} \sim I(1)$  と  $y_{2t} \sim I(1)$  となっている。その線型結合が定常過程  $I(0)$  になることがある。つまり、

$$\beta_1 y_{1t} + \beta_2 y_{2t} \sim I(0)$$

となるケースがある。このような関係が成立すると、共和分の関係にあるという。共和分の関係にある変数を回帰に使うと、本来は関係のない変数であっても、回帰の結果から「関係あり」と判断する傾向がある。このケースは見せかけの回帰と呼ばれる。

定義 3 : 共和分<sup>108</sup>

$n$  個の要素を含む次のベクトル過程  $\mathbf{y}_t$  を考える。

$$\mathbf{y}_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt})'$$

さらに次の 2 つの条件を考える。

- (1)  $\mathbf{y}_t$  のすべての要素は、次数  $d$  の和分過程  $I(d)$  になる。
- (2) ベクトル

$$\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)'$$

に対して

$$\boldsymbol{\beta}' \mathbf{y}_t = \beta_1 y_{1t} + \beta_2 y_{2t} + \dots + \beta_n y_{nt}$$

が  $I(d-b)$  となる関係が成立する。ただし、 $b \geq 1$  の整数である。

これら 2 つの条件が満たされる時、 $\mathbf{y}_t$  の要素は次数  $(d, b)$  で共和分しているという。その関係は  $\mathbf{y}_t \sim CI(d, b)$  と表記し、 $\boldsymbol{\beta}$  は共和分ベクトルという。

108 村尾(2019,P.99)を参照した。

経済関連の分野では1次の和分過程 I(1)が多い。そのような I(1)過程の線形結合が定常過程 I(0)になれば、共和分の次数は CI(1,1)となる。

I(2)過程については、I(2)変数と I(2)変数との組み合わせで I(2)変数、I(1)変数、I(0)変数が成立する可能性がある。I(2)変数と I(1)変数とが混在している場合、その線形結合が I(0)となるケースが多重共和分という。その定義は次のようになっている。

定義 4 : 多重共和分<sup>109</sup>

CI(1,1)の関係になっている次の2つの I(1)過程を考える。

$$y_t \sim I(1), \quad x_t \sim I(1), \quad y_t - \beta_1' x_t = z_t \sim I(0)$$

ただし、 $x_t$ はベクトルであり、その要素は共和分関係にない。 $\beta_1'$ は共和分ベクトルを表す。 $z_t$ が I(0)であるので、 $\Delta^{-1}z_t$ は I(1)であり、その I(1)過程を次のように表記する。

$$s_t = \Delta^{-1}z_t = \sum_{s=1}^t z_s$$

以上の条件において、 $s_t$ が  $x_t$ (または  $y_t$ )と共和分関係にあり、

$$s_t - \beta_2' x_t \sim I(0)$$

を満たすベクトル  $\beta_2$ が存在するとき、 $y_t$ と  $x_t$ とは多重共和分しているという。

多重共和分については Engsted, Gonzalo and Haldrup(1997)や Enders(2010,pp.380-382)が役に立つ。

共和分検定は複数の変数の時系列過程に共和分の関係が存在しているか否かを検定する。ここでは、Phillips-Ouliaris Cointegration Test<sup>110</sup>を使う。帰無仮説  $H_0$ と対立仮説  $H_1$ は以下のようなになる。

帰無仮説  $H_0$  : 共和分関係なし

対立仮説  $H_1$  : 1次独立な共和分関係が1個あり

検定問題に対して、Phillips-Ouliaris(1990)は、次の手続きを提案している。

- ①  $y_t$ を  $x_t$ に OLS 回帰して、残差  $\hat{\eta}_t = y_t - \hat{\beta}' x_t$ を求める。
- ②  $\hat{\eta}_t$ を使って、

$$\hat{Z}_\rho = T(\hat{\rho} - 1) - \frac{\hat{\sigma}_L^2 - \hat{\sigma}_S^2}{2 \sum_{t=2}^T \hat{\eta}_{t-1}^2 / T^2}$$

を計算する。ここで、

$$\hat{\rho} = \frac{\sum_{t=2}^T \hat{\eta}_t \hat{\eta}_{t-1}}{\sum_{t=2}^T \hat{\eta}_{t-1}^2}$$

109 検定の詳細は田中(2006,P.239)および村尾(2019,pp.165-166)を参照した。

110 検定の詳細は田中(2006,P.239)を参照せよ。

$$\hat{\sigma}_S^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=2}^T (\hat{\eta}_t - \hat{\rho}\hat{\eta}_{t-1})^2$$

$$\hat{\sigma}_L^2 = \sigma_S^2 + \frac{2}{T} \sum_{j=1}^L \left(1 - \frac{j}{L+1}\right) \sum_{t=2}^{T-j} (\hat{\eta}_t - \hat{\rho}\hat{\eta}_{t-1})(\hat{\eta}_{t+j} - \hat{\rho}\hat{\eta}_{t+j-1})$$

である。

③ 統計量  $\hat{Z}_\rho$  が Phillips-Ouliaris(1990)で与えられた有意点よりも小さければ、 $H_0$ を棄却する。

ここで、自動車数とSS数を一つのベクトルにして、Phillips-Ouliaris Cointegration Testを行った。自動車数、SS数の両系列がI(2)であり、共和分の結果、I(0)になるだけでなくI(1)になる可能性もある。

まずI(2)+I(2)~I(0)の検定結果は、p値が0.15で帰無仮説が棄却されなかった。

次にI(2)+I(2)~I(1)を検定するためI(2)変数の階差を取ってI(1)変数へ変換した。△自動車数~I(1)、△SS数~I(1)をPhillips-Ouliaris検定したところ、p値が0.063で帰無仮説が棄却されなかったことから、△自動車数と△SS数の間に共和分関係がないと判断する。

以上の共和分検定結果を総合すれば、自動車数とSS数の間に共和分関係がないと判断する。

#### 4.4.3 自動車数とSS数の間のグレンジャー因果性検定

##### 4.4.3.1 グレンジャー因果性とは

VARモデルにおいて、グレンジャー因果性検定は、ある内生変数から別の内生変数への予測能力を調べる検定になる。データだけから因果性の有無が判断できる概念がGranger(1969)で提案した。それは次の2つのアイデアから成り立っている。

- (1) 原因はその結果に先立って起こる。
- (2) 将来の結果に関するユニークな情報が原因に含まれている。

また、2つの仮定を追加する。

仮定1：自動車数とSS数の両方が共通の第3のプロセス(潜在的な交絡)によって影響を無視する

仮定2：自動車数とSS数の非線形の因果関係は捉れない

グレンジャー因果性とは、ある変数の過去の値が他の変数に影響を与えるかどうかという時間差を伴った統計的な関係をいう。グレンジャー因果性の考え方を具体化する。

定義 5 : グレンジャー因果性<sup>111</sup>

ある変数 $y_1$ の予測 $y_{1,t+h}$  ( $h \geq 0$ )に関し、2つの予測用情報セット $\Omega(+y_2)$ と $\Omega(-y_2)$ を考える。 $\Omega(+y_2)$ は $\Omega(y_{1,t-1}, y_{1,t-2}, \dots; y_{2,t-1}, y_{2,t-2}, \dots)$ であり、別の変数 $y_2$ に関する過去から $t-1$ 期までの情報が含まれる。一方、 $\Omega(-y_2)$ は $\Omega(y_{1,t-1}, y_{1,t-2}, \dots)$ であり、変数 $y_2$ の情報が含まれていない。そして次の2つの予測を比較する。

(1)  $\Omega(+y_2)$ に基づく $y_1$ の予測 $y_{1,t+h}$  ( $h \geq 0$ )

(2)  $\Omega(-y_2)$ に基づく $y_1$ の予測 $y_{1,t+h}$  ( $h \geq 0$ )

前者の MSE(mean squared error : 平均 2 乗誤差)の方が小さくなる場合、 $y_2$ から $y_1$ へのグレンジャー因果性があるという。つまり、

$$MSE[y_{1,t+h}|\Omega(+y_2)] < MSE[y_{1,t+h}|\Omega(-y_2)]$$

である場合、 $y_2$ から $y_1$ へのグレンジャー因果性があるという。 $y_1 \stackrel{G}{\leftarrow} y_2$ と表記する。グレンジャー因果性がない場合は、上の矢印に $\times$ を加えた表記になる。

ただし、MSE は予測誤差の分散であり、

$$\begin{aligned} MSE[y_{1,t+h}|\Omega(+y_2)] &= var[(y_{1,t+h} - \hat{y}_{1,t+h})|\Omega(+y_2)] \\ MSE[y_{1,t+h}|\Omega(-y_2)] &= var[(y_{1,t+h} - \hat{y}_{1,t+h})|\Omega(-y_2)] \end{aligned}$$

のように表現する。

グレンジャー因果性の概念が、2変量の VAR(p)モデルにおいて表現を示している<sup>112</sup>。ここで定理としてまとめて示す。

定理:もし2つの変数が2変量の VAR(p)プロセスによって生成されるとする。

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} a_{11,i} & a_{12,i} \\ a_{21,i} & a_{22,i} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix} \quad (*)$$

次に、グレンジャーの意味で $y_{2t}$ から $y_{1t}$ への因果関係が無いことの必要十分条件は $a_{12,i} = 0, i = 1, 2, \dots, p$ である。つまり、モデルの $y_{1t}$ 式には $y_{2t}$ のラグは現れない。対照的に、 $y_{2t}$ のラグが $y_{1t}$ 式に非ゼロ係数で現れる場合、 $y_{2t}$ から $y_{1t}$ のグレンジャー因果関係がある。

#### 4.4.3.2 二変量の VAR(p)モデル

VARモデルの推定ではモデル全体が定常になっている状態にする必要がある。非定常 VAR を普通に推定すると、推定量の共分散行列が漸近的に非特異(有限)にならないことである。非特異でなければ、推定量の構築、信頼区間の構築、等々は実現できない。非定常 VAR に対処するための推定法も開発されている。しかし、特殊な知識や操作が必要になる。非定常 VAR の推定に関し、Hamilton(1994,pp.544-570)が役に立つ。

111 村尾(2019,P.371)を参照した。

112 Kilian and Lütkepohl (2017,P.49)と山本(1988,P.161,定理 9.1)を参照した。

前の説明から、 $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS数は定常時系列データである。定常時系列 $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS数の関係をVARモデルで推定するとき、まずVARモデルにおけるラグ次数を決めるなければならない。ラグ次数の選択問題の結果を表4-5に示す。最終的選択は3に決定する。

表 4-5：情報量基準により選んだラグ次数

情報量基準	赤池情報量基準 (AIC)	ハンセン・クイン情報量基準 (HQ)	シュワルツのベイズ情報量基準 (SC)	赤池最終予測誤差(FPE)
情報量基準により選んだラグ次数	3	3	2	3

ここで、一般的な方法に従い、定数項とタイムトレンド項の双方をVARモデルに入れる<sup>113</sup>。2変量VAR(3)の推定結果は表4-6と表4-7に表示される。

SS数の二次階差の推定式：

$$\begin{aligned} \widehat{SS \text{ 数の二次階差}}_t &= \hat{a}_{11,1} \cdot \widehat{SS \text{ 数の二次階差}}_{t-1} + \hat{a}_{12,1} \cdot \widehat{\text{自動車数の二次階差}}_{t-1} \\ &+ \hat{a}_{11,2} \cdot \widehat{SS \text{ 数の二次階差}}_{t-2} + \hat{a}_{12,2} \cdot \widehat{\text{自動車数の二次階差}}_{t-2} \\ &+ \hat{a}_{11,3} \cdot \widehat{SS \text{ 数の二次階差}}_{t-3} + \hat{a}_{12,3} \cdot \widehat{\text{自動車数の二次階差}}_{t-3} + \widehat{const}_1 \\ &+ \widehat{trend}_1 \cdot t \end{aligned}$$

表 4-6：SS数の二次階差を被説明変数としたときの推定結果 ( $\hat{a}_{11,i}$ ,  $\hat{a}_{12,i}$   $i = 1, 2, 3$ )

説明変数	係数推定値(Estimate)	Std. Error	Pr(> t )
SS数の二次階差 $t-1$	-0.607	0.177	0.002
自動車数の二次階差 $t-1$	0.002	0.001	0.001
SS数の二次階差 $t-2$	-0.503	0.153	0.002
自動車数の二次階差 $t-2$	-0.001	0.001	0.105
SS数の二次階差 $t-3$	-0.282	0.142	0.056
自動車数の二次階差 $t-3$	-0.001	0.001	0.491
const.	250.400	405.400	0.541
trend	-15.540	15.130	0.312

113 Pfaff(2008)を参照した。

注 R<sup>2</sup>: 0.579

自由度修正済み R<sup>2</sup>: 0.487

F 値: 6.297

p値: 0.000

自動車数の二次階差の推定式:

$$\begin{aligned} & \widehat{\text{自動車数の二次階差}}_t \\ &= \hat{a}_{21,1} \cdot \text{SS 数数の二次階差}_{t-1} + \hat{a}_{22,1} \cdot \text{自動車数の二次階差}_{t-1} \\ &+ \hat{a}_{21,2} \cdot \text{SS 数の二次階差}_{t-2} + \hat{a}_{22,2} \cdot \text{自動車数の二次階差}_{t-2} \\ &+ \hat{a}_{21,3} \cdot \text{SS 数の二次階差}_{t-3} + \hat{a}_{22,3} \cdot \text{自動車数の二次階差}_{t-3} + \widehat{\text{const}}_2 \\ &+ \widehat{\text{trend}}_2 \cdot t \end{aligned}$$

表 4-7: 自動車数の二次階差を非説明変数としたときの推定結果 ( $\hat{a}_{21,i}$ ,  $\hat{a}_{22,i}$   $i = 1, 2, 3$ )

説明変数	係数推定値(Estimate)	Std. Error	Pr(> t )
SS 数の二次階差 $t-1$	-74.290	45.890	0.115
自動車数の二次階差 $t-1$	0.184	0.171	0.288
SS 数の二次階差 $t-2$	-40.700	39.580	0.312
自動車数の二次階差 $t-2$	0.325	0.192	0.100
SS 数の二次階差 $t-3$	-72.580	36.960	0.058
自動車数の二次階差 $t-3$	-0.497	0.199	0.018
const.	232,900.000	105,300.000	0.034
trend	-9,296.000	3,929.000	0.024

注 R<sup>2</sup>: 0.339

自由度修正済み R<sup>2</sup>: 0.194

F 値: 2.345

p値: 0.047

次の節で、以上の VAR モデル結果において、グレンジャー因果性検定を行う。

#### 4.4.3.3 グレンジャー因果性検定<sup>114</sup>

グレンジャーの意味で $y_{2t}$ から $y_{1t}$ への因果関係が無いことの必要十分条件は $a_{12,i} = 0, i = 1, 2, \dots, p$ である。VAR モデルの各式は最小二乗法によって係数の漸近的に有効な推定量を求めることが可能である。ゆえに、仮説

$$H_0 : a_{12,i} = 0$$

$$H_1 : \text{いずれかの } i \text{ について } a_{12,i} \neq 0$$

を F 統計量により検定すればよい。具体的には、まず制約 $H_0$ の下で連立方程式(\*)の第 1 式を最小二乗法で推定し、その残差より残差二乗和(RSS)を求める。次に制約 $H_0$ を課さない第 1 式を最小二乗法によって推定し、その残差より残差二乗和(USS)を求める。そして、F 値を

$$F = \frac{(RSS - USS)/p}{USS/(T - 3p)}$$

によって計算する。そして、F が $F_{p,T-2p}$ 分布の有意水準 $\alpha\%$ の臨界値より大なら $H_0$ を棄却し、そうでなければ $H_0$ を採択する。なお、データがトレンドを持っていたり季節性を示していたり時は、説明変数としてトレンド項や季節ダミーを説明変数として加えることが望ましい。その場合は、上の F 値の分母の自由度がそれに応じて減少する。

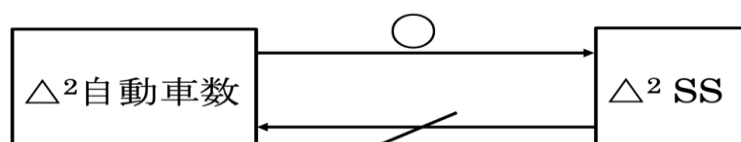
グレンジャー因果性検定結果の出力は表 4-8 のようになっている。 $\Delta^2$ 自動車数から $\Delta^2$ SS 数へのグレンジャー因果性がある、 $\Delta^2$ SS 数から $\Delta^2$ 自動車数へのグレンジャー因果性がない結果になった。

表 4-8 :  $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果

$\Delta^2$ 自動車数を 原因とするとき	$H_0$ : $\Delta^2$ 自動車数 do not Granger-cause $\Delta^2$ SS 数	F-Test = 6.578	p-value = 0.001	結果: $H_0$ 棄却 ( $H_1$ 採択)
$\Delta^2$ SS 数を 原因とするとき	$H_0$ : $\Delta^2$ SS 数 do not Granger-cause $\Delta^2$ 自動 車数	F-Test = 1.588	p-value = 0.201	結果: $H_0$ 棄却され ない

結果を図で表すと、図 4-6 で示したようになる。

図 4-6 :  $\Delta^2$ 自動車数と $\Delta^2$ SS 数のグレンジャー因果性



114 山本(1988,pp.167-168)を参照した。

研究の目的は、 $\Delta^2$ 自動車数から $\Delta^2$ SS数へのグレンジャー因果性を推定するのではなく、自動車数とSS数の間のグレンジャー因果性を推定するのである。次に、それらの間の関係を示す。

2つの変数が2変量のVAR(p)プロセス

$$\begin{pmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} a_{11,i} & a_{12,i} \\ a_{21,i} & a_{22,i} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} y_{1,t-i} \\ y_{2,t-i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix}$$

である時、グレンジャーの意味で $y_{2t}$ から $y_{1t}$ への因果関係が無いことの必要十分条件は $a_{12,i} = 0, i = 1, 2, \dots, p$ である。したがって、 $\Delta^2$ 自動車数から $\Delta^2$ SS数へのグレンジャー因果性があるということは、

$$\begin{pmatrix} \Delta^2 \text{SS数}_t \\ \Delta^2 \text{自動車数}_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} a_{11,i} & a_{12,i} \\ a_{21,i} & a_{22,i} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta^2 \text{SS数}_{t-i} \\ \Delta^2 \text{自動車数}_{t-i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix} \quad (**)$$

で、いずれかの $i (i = 1, 2, \dots, p)$ について $a_{12,i} \neq 0$ 。また、階差変化から、次の結果が得られる。

$$\Delta^2 \text{SS数}_t = \Delta(\Delta \text{SS数}_t) = \text{SS数}_t - 2\text{SS数}_{t-1} + \text{SS数}_{t-2}$$

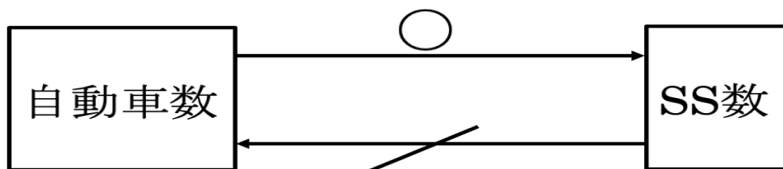
$$\Delta^2 \text{SS数}_{t-i} = \Delta(\Delta \text{SS数}_{t-i}) = \text{SS数}_{t-i} - 2\text{SS数}_{t-i-1} + \text{SS数}_{t-i-2}$$

$$\Delta^2 \text{自動車数}_t = \Delta(\Delta \text{自動車数}_t) = \text{自動車数}_t - 2\text{自動車数}_{t-1} + \text{自動車数}_{t-2}$$

$$\Delta^2 \text{自動車数}_{t-i} = \Delta(\Delta \text{自動車数}_{t-i}) = \text{自動車数}_{t-i} - 2\text{自動車数}_{t-i-1} + \text{自動車数}_{t-i-2}$$

以上の結果は式(\*\*)に代入し、元々のデータSS数と自動車数の間でもいずれかの $i (i = 1, 2, \dots, p)$ について $a_{12,i} \neq 0$ という結論が成り立つ。すなわち、SS数と自動車数の間に同じグレンジャー因果性があると推定できる。図4-7の示した通りである。

図4-7：自動車数とSS数のグレンジャー因果性



以上の結果を例えば $i = 1$ のときに検証すると、

$$\begin{pmatrix} \Delta^2 \text{SS数}_t \\ \Delta^2 \text{自動車数}_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11,1} & a_{12,1} \\ a_{21,1} & a_{22,1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta^2 \text{SS数}_{t-1} \\ \Delta^2 \text{自動車数}_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix}$$



⇒104 ページの定理から、 $y_{2t}$  から  $y_{1t}$  への因果関係がないことは、 $a_{12,1}=0$

$$\begin{aligned}
& \begin{pmatrix} \text{SS 数}_t - 2\text{SS 数}_{t-1} + \text{SS 数}_{t-2} \\ \text{自動車数}_t - 2\text{自動車数}_{t-1} + \text{自動車数}_{t-2} \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11,1} & 0 \\ a_{21,1} & a_{22,1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{SS 数}_{t-1} - 2\text{SS 数}_{t-1-1} + \text{SS 数}_{t-1-2} \\ \text{自動車数}_{t-1} - 2\text{自動車数}_{t-1-1} + \text{自動車数}_{t-1-2} \end{pmatrix} \\
&+ \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix} \\
&\Rightarrow \begin{pmatrix} \text{SS 数}_t \\ \text{自動車数}_t \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} 2\text{SS 数}_{t-1} - \text{SS 数}_{t-2} \\ 2\text{自動車数}_{t-1} - \text{自動車数}_{t-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} a_{11,1} & 0 \\ a_{21,1} & a_{22,1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{SS 数}_{t-1} - 2\text{SS 数}_{t-1-1} + \text{SS 数}_{t-1-2} \\ \text{自動車数}_{t-1} - 2\text{自動車数}_{t-1-1} + \text{自動車数}_{t-1-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix} \\
&\Rightarrow \begin{pmatrix} \text{SS 数}_t \\ \text{自動車数}_t \end{pmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} a_{11,1} + 2 & 0 \\ a_{21,1} & a_{22,1} + 2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{SS 数}_{t-1} \\ \text{自動車数}_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} -a_{11,1} - 1 & 0 \\ -a_{21,1} & -2a_{22,1} - 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{SS 数}_{t-2} \\ \text{自動車数}_{t-2} \end{pmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} a_{11,1} & 0 \\ a_{21,1} & a_{22,1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \text{SS 数}_{t-3} \\ \text{自動車数}_{t-3} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_{1t} \\ u_{2t} \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

SS 数と自動車数の間に同じグレンジャー因果性があると推定できる

#### 4.4.4 自動車数と SS 数のパネルデータ分析

自動車数と SS 数へのグレンジャー因果性を推定するのは定性的分析である。次に、自動車数と SS 数の定量的分析を行う。

本研究では、自動車検査登録情報協会「自動車保有台数」1966年~1998年のデータを使い、1966年~1998年のデータは本研究の1965年~1997年の研究期間と対応している。沖縄県のデータは欠損値が多いため本研究で入っていない。都道府県数は46である。

パネルデータとは、複数の同じ経済主体に関する複数時点でのデータである。パネルデータは縦横面(longitudinal)データと呼ばれることもある<sup>115</sup>。パネルデータを用いることで、経済主体ごとの観測されない異質性を分析することができる。

115 福地・伊藤(2011)を参照した。

前節の結果から SS 数から自動車数へグレンジャー因果性がないと判断したため、自動車数のモデルをパネル自己回帰モデルで推定すれば妥当と考える。また、Partial ACF プロットから、自動車数は他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを図 4-4(右)で示していた。そこで、パネル自己回帰モデル(AR(1)モデル)でラグ 1 次まで推定する。

次に、パネル自己回帰モデルを説明する。

パネル自己回帰モデル(AR(1)モデル)：

$$y_{it} = \alpha y_{i,t-1} + (\eta_i + v_{it}) \quad (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T)$$

ここで、 $i$ は個体を表す番号、 $t$ は時間を表す番号、 $y_{it}$ はスカラーの被説明変数、 $y_{i,t-1}$ は $y_{it}$ の 1 次ラグ、 $\eta_i$ は観測できない個別効果、 $v_{it}$ はスカラーの誤差項である。モデルの Pooled OLS 推定量と Within-Group 変換によって与えられる LSDV 推定量(Within 推定)について千木良・早川・山本(2011, pp.42-51)を参照せよ。

表 4-9 は自動車数のパネル自己回帰モデルの推定結果である(説明変数は lag(自動車数)、被説明変数は自動車数)。Multiple R-squared 値から Pooled OLS 推定量が良い<sup>116</sup>。

自動車数のパネル自己回帰モデル(pooling)の推定結果：

$$\text{自動車数}_{i,t} = 21036.963 + 1.026 \text{ 自動車数}_{i,t-1}$$

$t-1$ 期の自動車数が 1 台増加すると $t$ 期の自動車数が 1.026 台増加する。

表 4-9：自動車数のパネル自己回帰モデル(AR(1)モデル)の推定結果

推定法	Pooled OLS	Within 推定
Intercept	21036.963 *** (1002.983)	
lag(自動車数)	1.026 *** (0.001)	0.995 *** (0.001)
R-squared	0.999	0.999
Multiple R-squared	0.999	0.999
Num. obs.	1,472 (n=46, T=32)	1,472 (n=46, T=32)

注 Significant codes: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ 。括弧内は標準誤差である。

また、前節の結果から自動車数から SS 数へグレンジャー因果性があると判断したため、SS 数の推定モデルで SS 数の過去の情報と自動車数の情報は現在の SS 数に影響を与えるということがわかる。ここでは、SS 数のモデルの推定で動学的パネルモデル(the

116 表 4-9 では、Within 推定(固定効果モデル)の個別効果の推定値を省略した(愛知県：134568.1、愛媛県：28244.4、茨城県：67861.0 など都道府県別の推定値)。また個別効果があるかどうかの F 検定を行うと、 $p\text{-value} = NA$  と表示され、帰無仮説は棄却されるかどうか判断できない。Pooling OLS を選択するか、固定効果モデルを選択するかは R-squared 値をもとにして判断した。

dynamic model) 117を使って推定すれば妥当と考える。また、Partial ACF プロットから、SS 数は他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを図 4-5(右)で示していた。そこで、SS 数のラグ 1 次まで推定する。比較するために the static model の結果も推定する。

次に、動学的パネルモデルを説明する。

動学的パネルデータモデル(the dynamic model) :

$$y_{it} = \rho_i y_{i,t-1} + \gamma_i^T z_{it} + u_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T)$$

ここで、 $i$ は個体を表す番号、 $t$ は時間を表す番号、 $y_{it}$ はスカラーの被説明変数、 $y_{i,t-1}$ は $y_{it}$ の 1 次ラグ、 $\gamma_i$ は係数ベクトル、 $z_{it}$ は説明変数ベクトル、 $u_{it}$ はスカラーの誤差項である。

The static model :

$$y_{it} = \gamma_i^T z_{it} + u_{it} \quad (i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T)$$

ここで、 $i$ は個体を表す番号、 $t$ は時間を表す番号、 $y_{it}$ はスカラーの被説明変数、 $\gamma_i$ は係数ベクトル、 $z_{it}$ は説明変数ベクトル、 $u_{it}$ はスカラーの誤差項である。

表 4-10 は SS 数のパネルデータモデルの推定結果を示す(説明変数は自動車数、lag(SS 数) ; 被説明変数は SS 数)。Multiple R-squared 値から Dynamic MG 推定量(Dynamic MG)が良い。

表 4-10 : SS 数のパネルデータモデルの推定結果(Mean Groups estimator)

推定法	Static MG	Dynamic MG
Intercept	465.402*** (72.129)	79.315 *** (15.581)
自動車数	0.001 ** (0.000)	0.001 *** (0.000)
trend	-8.785 (17.048)	-15.428 *** (2.887)
lag(SS 数)		0.866 *** (0.014)
Num. obs.	1,518 (n=46, T=33)	1,472 (n=46, T=32)
Multiple R-squared	0.976	0.998

注 Significant codes: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ 。括弧内は標準誤差である。

SS 数のパネルデータ分析結果は次の式で表される。

$$SS \text{ 数}_{i,t} = 0.866SS \text{ 数}_{i,t-1} + 79.315 + 0.001 \text{ 自動車数}_{i,t-1} - 15.428t$$

117 千木・早川・山本(2011)、Croissant and Millo (2019, P.190)、Pesaran and Smith (1995)、Eberhardt, Helmers and Strauss (2013)などを参照。

$t-1$ 期の SS 数が 1 給油所増加すると  $t$ 期の SS 数が 0.866 給油所増加し、 $t-1$ 期の自動車数が 1 台増加すると  $t$ 期の SS 数が 0.001 給油所増加する。

このように  $t-1$ 期の自動車数の観測値を用いて  $t$ 期の自動車数を精度よく予測できる。また  $t-1$ 期の SS 数と自動車数の観測値を用いて  $t$ 期の SS 数を精度よく予測できる。

本節では、VAR モデルに従って自動車普及と SS のグレンジャー因果性を探求するために、まず自動車保有台数と SS 数の時系列の定常性を検討し、自動車保有台数と SS 数の時系列は非定常時系列であることを明らかにした(自動車数と SS 数の時系列は共に二次和分過程に従う  $I(2)$ 時系列である)。VAR モデルの推定ではモデル全体が定常になっている状態にする必要があるから、自動車保有台数と SS 数の時系列を二次の階差を取って定常過程に変換し、グレンジャー因果性検定を行った。その結果、自動車数から SS 数へのグレンジャー因果性がある一方、直観的な予想と異なり SS 数から自動車数へのグレンジャー因果性がないことがわかった。また、自動車数と SS 数の定量的分析を行った。

## 4.5 乗用車および貨物車普及と SS 数の因果関係

### 4.5.1 乗用車数と SS 数のグレンジャー因果性

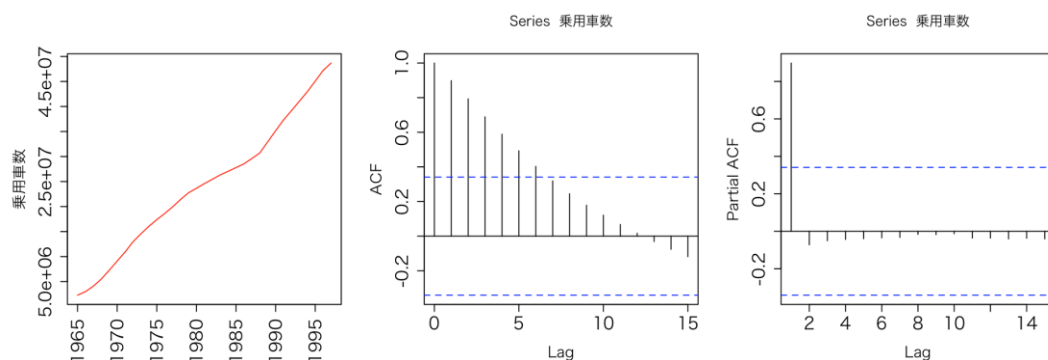
同じ考え方を乗用車数と SS 数の間のグレンジャー因果性を推定する。表 4-11 は本節で使用するデータの説明である。

表 4-11 : 使用するデータ

データの種類	出所	備考
乗用車保有台数	自動車検査登録情報協会「自動車保有台数」 <a href="https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html">https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html</a>	1965～97 年度。各年度末時点。軽自動車を含む。
SS (サービスステーション)	石油連盟『戦後石油統計[新版]』2016 年 3 月	1965～97 年度。1981 年までは年末時点、1982 年以降は年度末時点。

図 4-8(左)の乗用車プロットは横軸が年、縦軸が乗用車数で、乗用車数は右上がり増加している。図 4-8(中)の ACF プロットから、乗用車数は最初のラグ 6 次までが有意水準 5%で有意で正の自己相関が高いことを示している。図 4-8(右)の Partial ACF プロットから、乗用車数は他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを示している。そこで、乗用車数の時系列は非定常時系列であると予測できる。

図 4-8 : 乗用車数、乗用車数の自己相関と偏自己相関の形状



乗用車数の単位根検定結果は表 4-12 に示した。乗用車数は 2 次階差まで非定常時系列と判断できる。乗用車数の 3 次階差( $\Delta^3$ 乗用車数)は単位根がなく定常性を満たしていると判断することができる。つまり、乗用車数は 3 次の和分過程に従う。乗用車数 $\sim I(3)$ と表せる。

表 4-12 : 乗用車数の時系列データの単位根検定結果(期間 : 1965 年~1997 年)

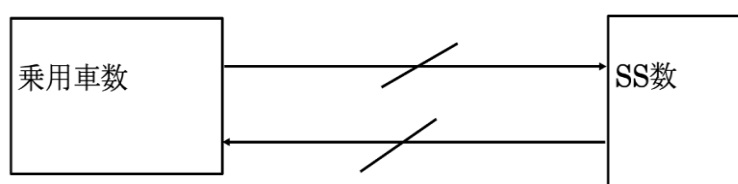
検定統計量	乗用車数	$\Delta$ 乗用車数	$\Delta^2$ 乗用車数	$\Delta^3$ 乗用車数
ADF 検定	-2.307 [p-value = 0.454] 結果 : H0 棄却されない	-1.867 [p-value= 0.624] 結果 : H0 棄却されない	-2.535 [p-value= 0.367] 結果 : H0 棄却されない	-3.437 [p-value= 0.071] 結果 : H0 棄却
PP 検定	0.750 [1pct=-3.650] 結果 : H0 棄却されない	-2.404 [1pct=-3.657] 結果 : H0 棄却されない	-4.316 [1pct=-3.666] 結果 : H0 棄却	-10.858 [1pct=-3.675] 結果 : H0 棄却

ここで、共和分検定結果を省略する。表 4-13 は $\Delta^3$ 乗用車数と $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果を示す。そこで、乗用車数と SS 数の間どちらの方向でもグレンジャー因果性がないと判断する。分析結果は自動車合計の場合と異なる(図 4-9)。

表 4-13 :  $\Delta^3$  乗用車数と  $\Delta^3$  SS 数のグレンジャー因果性検定結果

$\Delta^3$ 乗用車数は原因とき	H0 : $\Delta^3$ 乗用車数 do not Granger-cause $\Delta^3$ SS 数	F-Test = 0.262	p-value = 0.930	結果 : H0 棄却されない
$\Delta^3$ SS 数は原因とき	H0 : $\Delta^3$ SS 数 do not Granger-cause $\Delta^3$ 乗用車数	F-Test = 1.056	p-value = 0.407	結果 : H0 棄却されない

図 4-9 : 乗用車数と SS 数のグレンジャー因果性



#### 4.5.2 貨物車数と SS 数のグレンジャー因果性

貨物車数と SS 数の間のグレンジャー因果性を推定する。表 4-14 は本節で使用するデータの説明である。国土交通省の統計において、「乗用車等」の定義が 1987(昭和 62)年から変わっている。1987 年以降は軽自動車データに含まれるようになった。統計を見るときには、その項目の定義にどのようなものが含まれており、あるいは含まれていないかを確認する必要がある。そのことを怠ると、「1987 年を界にモータリゼーションが劇的に進行した」というような誤った判断をしてしまう恐れがある。定義の違いによって統計に連続性が保たれていない場合がある<sup>118</sup>。そこで、貨物車の定義で軽貨物車を取り除くべきとの議論がある。本節で、軽貨物車を入れたデータを貨物車と定義し、軽貨物車を取り除いたデータを純貨物車と定義し、2 種類でそれぞれに SS 数とのグレンジャー因果性を検討する。

(1) まず、軽貨物車データを入れた貨物車の場合を検討する。

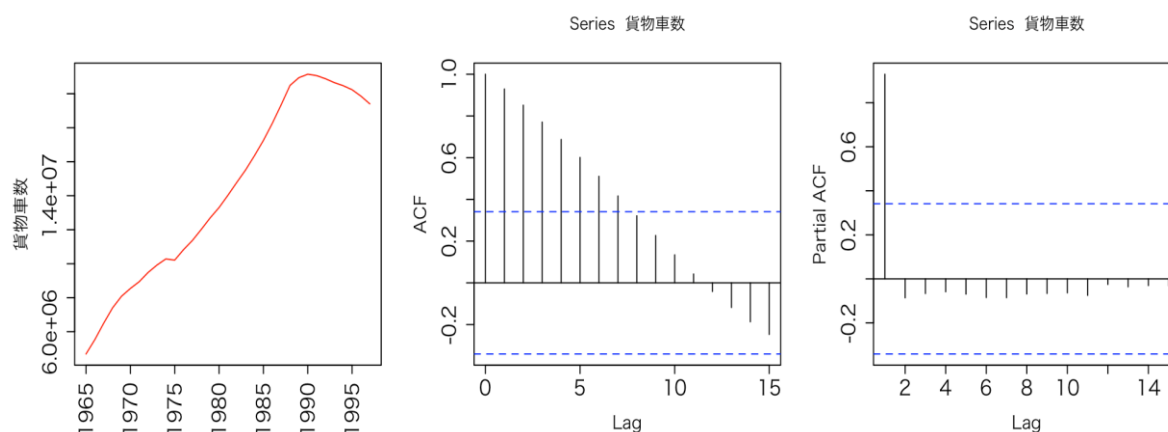
図 4-10(左)の貨物車プロットは横軸が年、縦軸が貨物車数で、貨物車数は右上がりに増加して、1990 年ごろから減った。図 4-10(中)の ACF プロットから、貨物車は最初のラグ 7 次までが有意水準 5%で有意で正の自己相関が高いことを示している。図 4-10(右)の Partial ACF プロットから、貨物車数は他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを示している。そこで、貨物車数の時系列は非定常時系列であると予測できる。

118 竹内(2018,P.61)を参照した。

表 4-14：本研究で使用するデータ

データの種類	出所	備考
貨物車保有台数	・自動車検査登録情報協会「自動車保有台数」 <a href="https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html">https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html</a>	・1965～97年度。各年度末時点。軽自動車を含む。
純貨物車保有台数	・自動車検査登録情報協会「自動車保有台数」 <a href="https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html">https://www.airia.or.jp/publish/statistics/number.html</a> ・軽自動車検査協会「その他統計情報」(自動車保有車両数の推移)	・1965～97年度。各年度末時点。軽自動車を含む。 ・純貨物車保有台数=貨物車保有台数-軽四輪車貨物(三輪車を含む)
SS(サービスステーション)	石油連盟『戦後石油統計[新版]』2016年3月	・1965～97年度。1981年までは年末時点、1982年以降は年度末時点。

図 4-10：貨物車数、貨物車数の自己相関と偏自己相関の形状



貨物車数の単位根検定結果は表 4-15 に示した。貨物車数は 2 次階差まで非定常時系列と判断できる。貨物車数の 3 次階差( $\Delta^3$  貨物車数)は単位根がなく、定常性を満たしていると判断することができる。つまり、貨物車数は 3 次の和分過程に従う。貨物車数 $\sim I(3)$ と表せる。

ここで、共和分検定結果を省略する。表 4-16 は $\Delta^3$  貨物車数と $\Delta^3$  SS 数のグレンジャー因果性検定結果を示す。そこで、貨物車数と SS 数の間どちらの方向でもグレンジャー因果性がないと判断する。分析結果は乗用車の場合と同じである(図 4-11)。

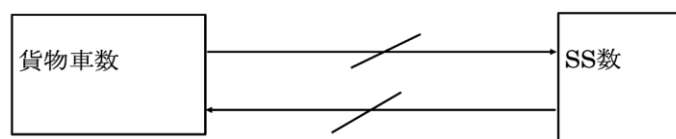
表 4-15 : 貨物車数の時系列データの単位根検定結果 (期間 : 1965 年~1997 年)

検定統計量	貨物車数	$\Delta$ 貨物車数	$\Delta^2$ 貨物車数	$\Delta^3$ 貨物車数
ADF 検定	-1.129 [p-value= 0.904] 結果 : H0 棄却され ない	-1.196 [p-value= 0.883] 結果 : H0 棄却され ない	-2.797 [p-value=0.266] 結果 : H0 棄却さ れない	-4.155 [p-value = 0.017] 結果 : H0 棄却
PP 検定	-1.845 [1pct=-3.650] 結果 : H0 棄却され ない	-0.911 [1pct=-3.657] 結果 : H0 棄却され ない	-5.52 [1pct=-3.666] 結果 : H0 棄却	-18.417 [1pct=-3.675] 結果 : H0 棄却

表 4-16 :  $\Delta^3$ 貨物車数と  $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果

$\Delta^3$ 貨物車数 は原因とき	H0 : $\Delta^3$ 貨物車数 do not Granger-cause $\Delta^3$ SS 数	F-Test = 2.080	p-value =0.100	結果 : H0 棄却さ れない
$\Delta^3$ SS 数は原 因とき	H0 : $\Delta^3$ SS 数 do not Granger-cause $\Delta^3$ 貨 物車数	F-Test =1.384	p-value =0.263	結果 : H0 棄却さ れない

図 4-11 : 貨物車数と SS のグレンジャー因果性

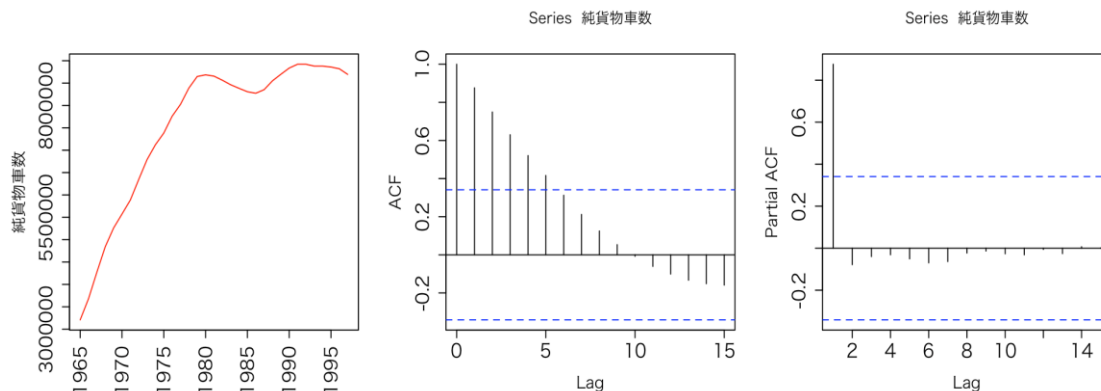


(2) 次に、軽貨物車データを取り除いた純貨物車の場合を検討する。

図 4-12(左)の純貨物車数プロットは横軸が年、縦軸が純貨物車数で、純貨物車数は右上がり増加して、1980 年ごろから増減を繰り返す、安定しない状態である。図 4-12(中)の ACF プロットから、純貨物車数は最初のラグ 5 次までが有意水準 5%で有意で正の自己相関が高いことを示している。図 4-12(右)の Partial ACF プロットから、純貨物車数は他の影響を取り除いた後ラグ 1 次と正の自己相関が高いことを示している。そこで、純貨物車数の時系列は非定常時系列であると予測できる。



図 4-12 : 純貨物車数、純貨物車数の自己相関と偏自己相関の形状



純貨物車数の単位根検定結果は表 4-17 に示した。純貨物車数は 3 次の和分過程に従う。純貨物車数 $\sim I(3)$ と表せる。

表 4-17 : 純貨物車数の時系列データの単位根検定結果(期間 : 1965 年~1997 年)

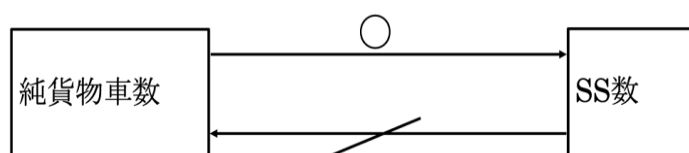
検定統計量	純貨物車数	$\Delta$ 純貨物車数	$\Delta^2$ 純貨物車数	$\Delta^3$ 純貨物車数
ADF 検定	-1.352 [p-value= 0.823] 結果 : H0 棄却されない	-1.973 [p-value= 0.583] 結果 : H0 棄却されない	-2.840 [p-value=0.250] 結果 : H0 棄却されない	-4.391 [p-value = 0.01] 結果 : H0 棄却
PP 検定	-6.719 [1pct=-3.650] 結果 : H0 棄却されない	-0.935 [1pct=-3.657] 結果 : H0 棄却されない	-4.739 [1pct=-3.666] 結果 : H0 棄却	-11.104 [1pct=-3.675] 結果 : H0 棄却

ここで、共和分検定結果を省略する。表 4-18 は $\Delta^3$ 純貨物車数と $\Delta^3$ SS 数のグレンジャー因果性検定結果を示す。そこで、純貨物車数から SS 数へグレンジャー因果性があり、SS 数から純貨物車数へはグレンジャー因果性がないと判断する。分析結果は自動車数の場合と同じである(図 4-13)。

表 4-18 :  $\Delta^3$ 純貨物車数と $\Delta^3$ SS数のグレンジャー因果性検定結果

$\Delta^3$ 純貨物車数は原因とき	H0 : $\Delta^3$ 純貨物車数 do not Granger-cause $\Delta^3$ SS数	F-Test = 2.877	p-value =0.038	結果 : H0 棄却
$\Delta^3$ SS数は原因とき	H0 : $\Delta^3$ SS数 do not Granger-cause $\Delta^3$ 純貨物車数	F-Test =0.767	p-value =0.555	結果 : H0 棄却されない

図 4-13 : 純貨物車数と SS 数のグレンジャー因果性



#### 4.6 おわりに

本節では、VAR モデルに従って自動車普及と SS へのグレンジャー因果性を探求するために、まず自動車数と SS 数の時系列の定常性を検討して、自動車数と SS 数の時系列は非定常時系列であることを明らかにした(自動車数と SS 数の時系列は共に 2 次和分過程に従う  $I(2)$  時系列である)。VAR モデルの推定ではモデル全体が定常になっている状態にする必要があるから、自動車数と SS 数の時系列を 2 次の階差を取って定常過程に変換し、グレンジャー因果性検定を用いて、自動車数から SS 数へのグレンジャー因果性があり、SS 数から自動車数へのグレンジャー因果性がないことを明らかにした。

パネルデータ分析の結果から、自動車数の予測で SS 数は役に立たない。SS 数の予測では過去の SS 数だけではなく、自動車数も役に立つ。すなわち、自動車数が増える時に SS 数が増えるが、SS 数増える時に自動車数の変化は判断できない。この関係を EV 数と EV ステーションで使うと、EV の数が増えると EV ステーション数が増えるが、EV ステーション数が増えても EV の数がどう変化するか判断できない。

もっとも EV 普及初期では、航続距離が短くユーザーが頻繁に充電を行う必要がある EV の数を増やすことのみならず政策の力点を置くのではなく、予測した EV 数を基に社会インフラである EV ステーションの構築を率先して行う意義は必ずしも否定されない。

乗用車数と貨物車数に関する SS とのグレンジャー因果性も検定した。乗用車数と貨物車数から SS 数へグレンジャー因果性が見つからなかった。しかし、貨物車数から軽貨物

数を除いたデータの純貨物車数から SS 数へグレンジャー因果性があることが明らかとなった。

本研究の結果は、EV ステーション数を増やすことで EV は増えるはずだといった素朴な思い込みに対して疑問を投げかけるものである。ただし本研究は自動車の普及進展期を対象としたものである。普及初期については別途研究が必要であるが、信頼性の高いデータの入手が鍵となろう。

手法の本質的課題として、グレンジャー因果性は必ずしも真の因果関係ではない。グレンジャー因果性は、X が Y を引き起こすかどうかを検定するのではなく、X によって Y を予測できるかどうかを検定するものである。ただし、計算が単純なことから、時系列データの因果関係分析としてよく使用される方法である。グレンジャー因果性の本来の定義では、潜在的な交絡因子が考慮されておらず、自動車数と SS 数の双方が共通の第 3 のプロセス(潜在的な交絡因子)によって異なる遅れで影響を受ける場合でも、グレンジャー因果性がある可能性は棄却できない。また VAR モデルで非線形の因果関係は捉えられない。今後、これらの問題に対処する方法を検討が必要であると考えられる。

## 第5章 物流業界における貨物車の電動化の検討

### 5.1 はじめに

地球環境問題への対応が急務となる中、自動車業界で世界的に次世代環境対応車、すなわち電気自動車(Electric Vehicle : EV)、燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle : FCV)の開発・投入が加速している。次世代自動車が必要となる理由は、①低燃費のガソリン自動車では実現できない排出ガスゼロ(EVとFCVの場合)という環境上の優位性、②企業別平均燃費規制(CAFE規制 : Corporate Average Fuel Economy 規制)や ZEV(Zero Emission Vehicles)規制のような自動車の環境・燃費基準への対応、③スマートハウスでの蓄電池としての役割、などが挙げられる。

新型コロナウイルス感染症(Covid-19)のパンデミックと、半導体チップの不足を含むサプライチェーンの課題にもかかわらず、電気自動車の販売は 2021 年に再び過去最高を記録した。図 5-1 から世界の電気自動車保有台数は加速度的に増加し、2021 年には 1600 万台をこえたことがわかる。2012 年には世界中で約 12 万台の電気自動車が販売されたが、2021 年には、その数が 1 週間で販売されたといわれる。自動車市場の低迷にもかかわらず 2021 年の電気自動車(EV・PHEV)の販売台数は前年比ほぼ 2 倍の 660 万台となり、過去最高を記録した。2021 年には世界の自動車販売台数の 10%近くが電気自動車となった。売上高が最も多かったのは中国で、数年間の相対的停滞の後、2020 年に比べて 3 倍の 330 万台になり、ヨーロッパでは、前年比で 3 分の 2 増加して 230 万台になった。中国とヨーロッパを合わせると、2021 年の世界の電気自動車販売の 85%以上を占め、2020 年から 2 倍以上に増えて 63 万台に達した米国(10%)が続く。

EV の急激な成長は、複数の要因によってもたらされている。持続的な政策支援が大きな柱の 1 つである。EV に対する補助金やインセンティブなどの公的支出は、2021 年にほぼ倍増し、300 億米ドル近くに達している。内燃機関(ICE)車の廃止を公約し、自動車の電動化目標を野心的に掲げる国が増えている。一方、多くの自動車メーカーが、政策目標よりもさらに踏み込んだ自動車の電化計画を立てている。

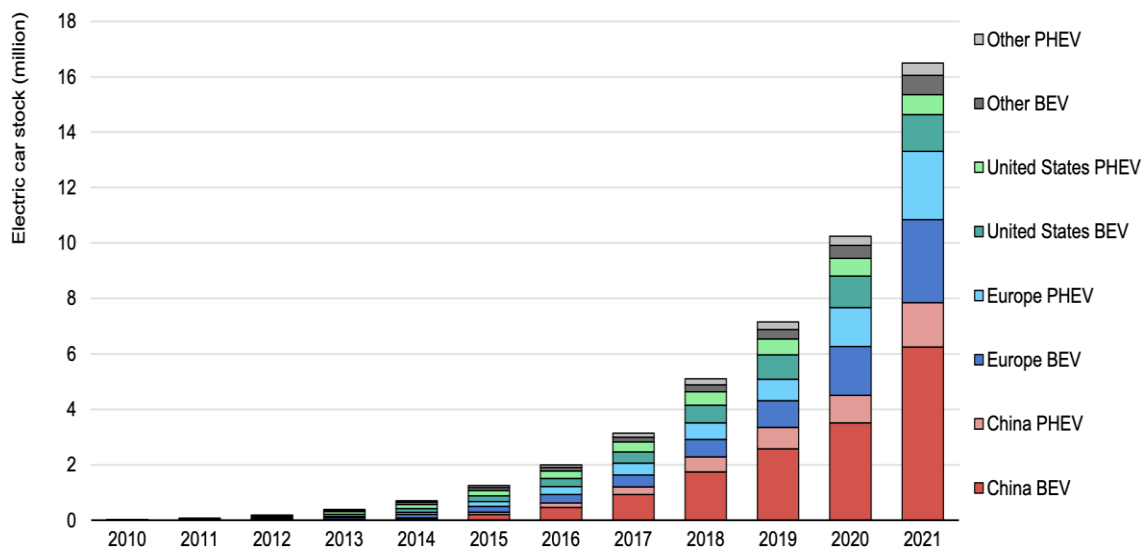
商用車については、欧州連合(EU)は商用車の二酸化炭素排出量を 2030 年まで 2019 年比で 3 割削減することを求めている。米カリフォルニア州は 2045 年までに同州で販売する全てのトラックを EV や FCV にする規制を導入した<sup>119</sup>。日本政府は 2021 年度に発表した「グリーン成長戦略」の中で、積載量 8 トン以下のトラックなど小型商用車の新車販売のうち EV や FCV といった電動車を 2030 年までに 20~30%にし<sup>120</sup>、2040 年までに電動車のほか、CO<sub>2</sub> と水素の合成液体燃料で走る車両も合わせて 100%にする目標を掲げた<sup>121</sup>。

119 「商用の電気自動車とは 欧中勢先行、規制背景に普及」『日本経済新聞』(2021 年 10 月 12 日)。

120 「電動トラック 小売り・製造が充電器整備、産業省検討」『日本経済新聞』(2022 年 11 月 17 日)。

121 「電動 100%、小型トラックも 40 年に 新車販売で政府目標」『日本経済新聞』(2021 年 6 月 1

図 5-1 : 世界の電気自動車保有台数(2010-2021)



注：BEV = バッテリー電気自動車。PHEV = プラグインハイブリッド電気自動車。この図における電気自動車とは、乗用小型車両を指す。「Other」には、オーストラリア、ブラジル、カナダ、チリ、インド、日本、韓国、マレーシア、メキシコ、ニュージーランド、南アフリカ、タイが含まれる。この図のヨーロッパには、EU27 各国、ノルウェー、アイスランド、スイス、英国が含まれる。

出所：IEA (2022) *Global EV Outlook 2022*

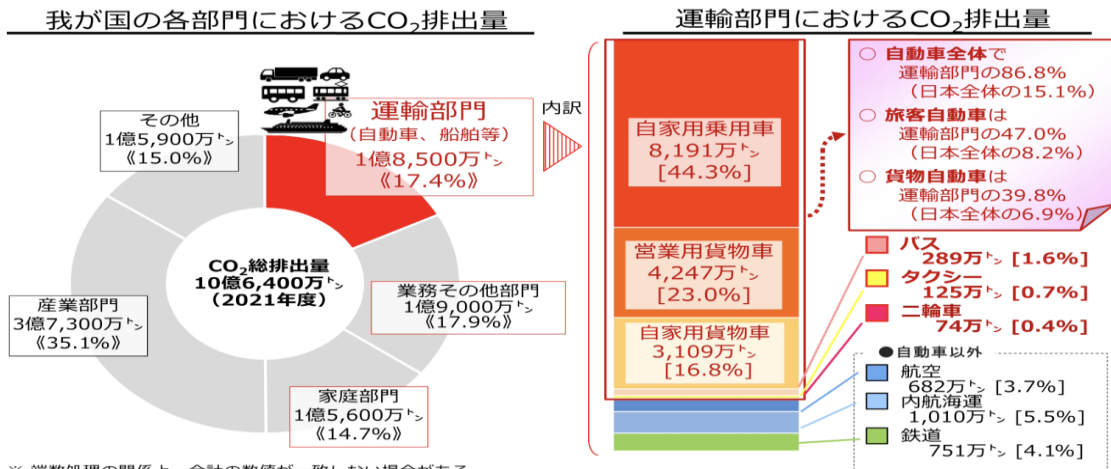
2021 年の世界の非公共用充電器(家庭用、職場用)の推定台数は 1,500 万台である<sup>122</sup>。EV の普及が進むにつれて、充電インフラの大部分を占める個人用充電器の数は増え続けている。2030 年には、非公共用充電器が全体の 90% を占めるが、非公共用充電の出力は公共用充電器より低いため、設置容量(出力)では 60% 足らずになる。逆に、急速充電の公共用充電器の設備容量が 40% ということになる。充電インフラの普及スピードや必要性は、国によって大きな差がある。EV1 台あたりの適切な充電器台数は、住宅事情、一般的な移動距離、人口密度、自宅充電の有無など、地域の特殊性によって異なる。EV の走行台数が増えれば、設置される公共充電器の数も増えることが予想される。

温室効果ガス排出量のほとんどは二酸化炭素が占めていることから、化石燃料由来のエネルギー消費を低減することが重要視されるようになってきている。図 5-2 から、2021 年度における日本の二酸化炭素排出量(10 億 6,400 万トン)のうち、運輸部門からの排出量(1 億 8,500 万トン)は 17.4% を占めている。自動車全体では運輸部門の 86.8%(日本全体の 15.1%)、うち、旅客自動車が運輸部門の 47.0%(日本全体の 8.2%)、貨物自動車が運輸部門の 39.8%(日本全体の 6.9%)を排出している。

日)。

122 IEA (2022,P.121)を参照した。

図 5-2 : 運輸部門における二酸化炭素排出量 (2021 年度)



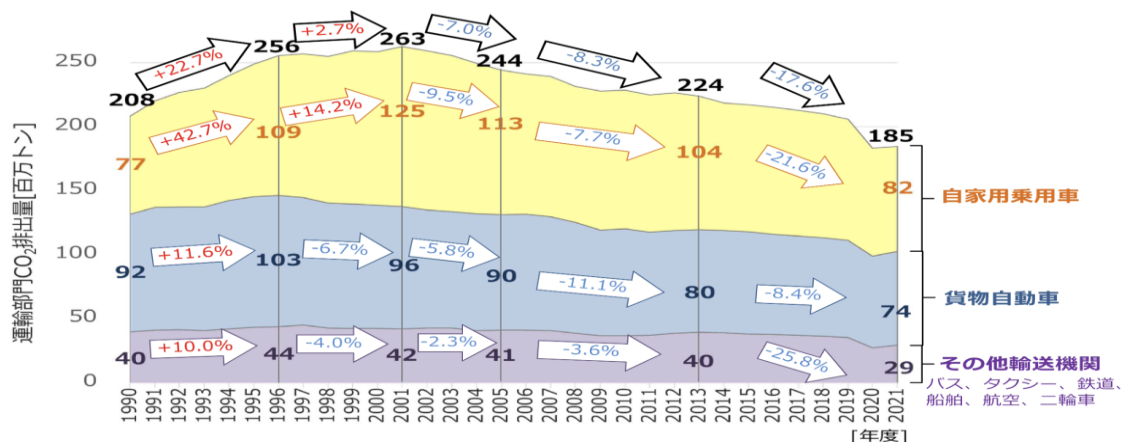
※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。  
 ※ 電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、それぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分。  
 ※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2021年度) 確報値」より国土交通省環境政策課作成。  
 ※ 二輪車は2015年度確報値までは「業務その他部門」に含まれていたが、2016年度確報値から独立項目として運輸部門に算定。

出所：国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」

[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_tk\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html)

運輸部門における二酸化炭素排出量の推移(図 5-3)から、1990 年度から 1996 年度までの間に、運輸部門における二酸化炭素の排出量は 22.7%増加したが、その後、1997 年度から 2001 年度にかけてほぼ横ばいとなり、2001 年度以降は減少傾向に転じている。2021 年度の排出量は、自動車の燃費改善や新型コロナウイルス感染症の拡大の影響による輸送量の減少等により、2013 年度比で減少している。なお、前年度比では、新型コロナウイルス感染症で落ち込んでいた経済の回復等による輸送量が増加する等により、排出量増加となった。

図 5-3 : 運輸部門における二酸化炭素排出量の推移



出所：国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」

[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_tk\\_000007.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html)

今後、燃費基準が厳しくなる一方であり、通常の内燃機関の燃費改善では基準をクリアすることが困難になってくるであろう。運輸部門について平均 CO<sub>2</sub> 排出量を下げするためには、電気(EV)トラックや燃料電池(FCV)トラックに代表される次世代環境対応車への代替を進めることも重要である。

## 5.2 先行研究と研究目的

### 5.2.1 研究対象

EV は Electric Vehicle の略で、日本語で電気自動車と呼ばれている。電気の力で動くモーターのみを使って走るためガソリンを全く使用しない。通常ガソリンスタンドでは動力源となる電気を補充できない。充電には、家庭用のコンセントから電気をとったり、高速道路や大きめの商業施設でよく見る充電スタンドを利用したりする。

FCV は燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle) の略で、その名の通り燃料電池を利用した自動車である。燃料電池には、水素のほかメタノール、エタノールなども燃料に使うことが可能なものもあるが、現在市販されている FCV は水素と酸素を化学反応させて電気を作り出す「燃料電池」で発電してモーターを回して走る。二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などの温暖化ガスや有害物質を排出せず、「究極のエコカー」と呼ばれる。

### 5.2.2 先行研究

費用便益分析の観点からの電動車普及に関する研究は伊藤・馬奈木(2010)がある。FCV や EV が実際に普及した場合のシナリオを設定し、ガソリン自動車から FCV や EV に乗り換えが進んだ場合の費用便益分析を行い、FCV や EV の製造コスト削減の感度分析を行うことで、これらの自動車についての実現的な普及可能性についての検証を試みた。

消費者の EV 購入意向に影響を与える諸要因に関する研究は酒井ら(2011)がある。酒井らは Web アンケート調査データを用い、EV に必要と考えられる航続距離や、EV 購入意向に影響を与える諸要因について分析し、EV の購入意向を決定しているものは主に価格や航続距離、乗車定員といった EV 特性であり、充電に関わる要因はそれほど購入行動に影響を与えていないことが示された。また、充電機の整備状況と EV 購入意向の関係について、充電施設がガソリンスタンドほどの密度で設置されることが最も普及を促進することが分かった。板垣・渡邊・木下(2020)では、世界各国で行われている EV 普及に向けた政策を、クロスセクション分析とパネルデータ分析を行い、結果として、国内、国外ともに現行の導入支援政策は EV の普及に対して有意とならなかったが、公共用充電施設の充実が EV 普及を助ける可能性があることを明らかにした。

電動車がガソリン車よりも環境に優しいか否かの研究はいくつか存在する。黒川(2018)はEVとガソリン自動車の双方とも、直接・間接的にCO<sub>2</sub>を排出しているのであるが、電気を作る過程でのCO<sub>2</sub>排出量とガソリン自動車の走行時のCO<sub>2</sub>排出量を比較しながら、全般的にEVはガソリン車よりも環境に優しいことを明らかにした。佐々木(2021)では、大型トラックのHV化は、主たる用途である都市間走行では電動化自体による省エネ・CO<sub>2</sub>削減効果は少ない。EV化の場合、都市間走行用途ではエネルギー回生効果が少なく、CO<sub>2</sub>は、現状ではディーゼル車と同等、2030年以降もHV比で10~20%程度の低減にとどまる。現状でも効率がよく今後も進化が予測されるディーゼルエンジン利用の大型トラック、特に主体である都市間走行用途では、軽々しく電動化が未来を拓くとは言い難いという。他車種とは全く異なる結論を得た。さらに、長寿命を求められる大型トラックの電動化では蓄電池の寿命問題も大きい。

以上のように、消費者のEV購入意向とCO<sub>2</sub>削減の観点から研究が存在するが、トラックの電動化について研究が少ない。

### 5.2.3 研究目的

カーボンニュートラル2050に向け、2021年10月に資源エネルギー庁「エネルギー基本計画」が第6次計画へと改定され、電力のCO<sub>2</sub>は大幅に削減される見通しとなった。佐々木(2022)は、6次計画の電力利用の場合のCO<sub>2</sub>削減効果次第によっては、大型トラックでもEV化の早期実現を重点とすべきか、あるいは、蓄電池依存性の高いEVでは、将来の蓄電池進化を想定しても経済性悪化が甚大と予測される場合、FCVのCO<sub>2</sub>削減の可能性および経済性によっては、FCVの実現を最重点とすべきか、という大きく異なる二つの方向選択が喫緊の課題であるとしている。

本章は、今までほとんど進んでいない電気トラックと燃料電池トラック普及への可能性、トラックの電動化が運輸部門における二酸化炭素排出量削減政策の一つになる可能性を検討する。

## 5.3 貨物車のEV化

### 5.3.1 日本のEV普及目標と政策

2015年12月にフランスのパリで開催されたCOP21で採択された「パリ協定」において、日本は2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で26%削減するという目標を掲げた。運輸部門においては、2030年度の排出量目安を2013年度の2億2500万トンから約28%減の1億6300万トンとしている<sup>123</sup>。これを実現するための施策として、政府は

---

<sup>123</sup> 環境省(2016)を参照した。



次世代自動車の普及や、内燃機関の燃料効率の改善を掲げている。

日本の自動車燃費規制は、直接規制である。貨物自動車(全体)の新燃費基準(目標年度：2025年度)の平均燃費値は7.63km/Lで、現行の2015年度の燃費基準6.72km/Lと比較して13.4%の基準強化となる。乗用自動車(全体)についても、新燃費基準(6.52km/L)は現行の2015年度基準(5.71km/L)と比較して13.4%の基準強化となる<sup>124</sup>。

日本政府は乗用車の新車販売台数に占める次世代自動車の割合を2030年に50～70%に上げることが目指され、EV・PHEVは20～30%という数値が目標となっている<sup>125</sup>。しかし、EVは市販されて数年が経つが、なかなか市場に浸透していないのが現状である。表5-1は自動車検査登録情報協会の発表された低公害燃料車の車両別保有台数(全国計)である。自動車検査登録情報協会によると、2021年度末では、乗用車国内保有台数はEVが138,327台、FCVが6,981台である。貨物車国内保有台数はEVが1,666台、FCVが2台しかないである。近年、EVやFCVの普及が進んでいるとはいえ、ガソリン車(GV)と比較すると、その普及は始まったばかりである。

貨物車のEV化は現在、世界中の企業が生産に参入するホットな分野でもある。大手としては大型トラックで世界シェア1位の独ダイムラー・トラック、北米の大型トラックメーカー大手ケンワース、スウェーデンのボルボ・トラック、米ニコラ・モーター、中国のEV大手BYDなどが挙げられる。米調査会社プレシーデンス・リサーチによると、世界の大型EVトラックの市場規模は2021年の19億ドルから2030年には156億ドル規模へと8倍超に成長し、2021年の世界のEVのトラック台数は6万9597台から2030年には141万3694台に伸びると計算している<sup>126</sup>。

欧州連合(EU)は商用車の平均二酸化炭素排出量を2025年に2019年比で15%、2030年に30%それぞれ削減することを義務付けた。現在主流のディーゼルトラックでは対応できないため各社はEV化やFCV化を急いでいる。2030年までにボルボ(スウェーデン)は欧州でのトラック販売の半数をEVにする計画で、ダイムラー・トラック(独)は2018年に大型のEVトラック「eアクトロス」を実用化し、2030年までに新車販売の6割をEVかFCVにする<sup>127</sup>。

いすゞ自動車が2022年からEVトラックの量産を始めた。現状では2～3トントラックの価格は400万～500万円であるが、EV化すると補助金を除いたベースでディーゼルトラックの約2倍になる。維持費も含めた利用者負担を段階的にディーゼル車並みにすることを目指す。

---

124 国土交通省「重量車の2025年度燃費基準に関するとりまとめ(平成29年12月)」

[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000005.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000005.html)

125 経済産業省(2014,P.20)を参照した。

126 土方細秩子「テスラのEVトラック「セミ」 自動運転システムに強み」『週刊エコノミスト』(2023年1月30日)。

127 「欧州トラック3社、EV充電網を共同構築 650億円投資」『日本経済新聞』(2021年7月5日)。

表 5-1 : 低公害燃料車の車両別保有台数(全国計)

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
乗 用 車	HEV	4,640,743	5,501,595	6,473,945	7,409,635	8,331,443	9,145,172	9,862,987	10,630,750
	PHEV	44,012	57,130	70,323	103,211	122,008	136,208	151,241	174,231
	EV	52,641	62,136	73,380	91,359	105,921	117,317	123,708	138,327
	FCV	150	630	1,807	2,440	3,009	3,695	5,170	6,981
	CNG	247	177	131	78	30	21	11	8
	合計	4,737,793	5,621,668	6,619,586	7,606,723	8,562,411	9,402,413	10,143,117	10,950,297
貨 物 車	HEV	13,727	14,026	14,694	15,241	19,560	32,502	45,102	59,670
	PHEV	2	1	1	1	1	1	1	2
	EV	385	1,271	1,568	1,420	1,394	1,408	1,688	1,666
	FCV							1	2
	CNG	12,084	10,971	9,501	8,244	7,010	5,749	4,874	3,928
	合計	26,198	26,269	25,764	24,906	27,965	39,660	51,666	65,268
乗 合 車	HEV	1,036	1,089	1,171	1,246	1,313	1,380	1,400	1,415
	PHEV		3	3	3	4	4	4	3
	EV	37	39	36	55	68	101	125	149
	FCV	5	2	5	8	24	58	101	118
	CNG	832	708	567	399	296	237	172	119
	合計	1,910	1,841	1,782	1,711	1,705	1,780	1,802	1,804

出所：『わが国の自動車保有動向』（自動車検査登録情報協会）

<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>

日本の物流において約 92%(トンベース)を担うトラック輸送の中、大型トラックは約 12%である<sup>128</sup>。物流の幹線動脈と言える都市間高速輸送の主体は大型トラックあり、燃料消費量、CO<sub>2</sub>排出量の比率も大きい。大型トラックが EV 化することにより環境性能や経済的特性がどうなるかによって、環境対策や国民生活に与える影響が大きいであろう。ところが、大型トラックは、乗用車に比べて、日本国内外ともに EV 化がほとんど進んでいない。2021 年に EU で新車販売された電動トラックはわずか 1,243 台にすぎない。電動化率はトラック全体の 0.5%にとどまり、電動自動車の割合が 10%を超える乗用車とは状況が大きく異なっている<sup>129</sup>。大型トラックにおける電動化が進まない理由は、

128 全日本トラック協会(2020,pp.4-9)および佐々木(2021)を参照した。

129 「欧州の商用車 CO<sub>2</sub>規制、40 年に 90%減 インフラ整備が壁」『日本経済新聞』（2023 年 2 月 15 日）。

① 走行距離の制約にある。市販の EV トラックの航続距離は 400 キロメートル台で、長距離走行が必要な大型トラックとしては使いづらい。

② 充電インフラも整備されていない。欧州では乗用車向けに急速充電ステーションの導入が進むが、10 倍前後の容量の車載電池を積む大型トラックでは充電時間が 2~3 時間かかってしまう。

アメリカでも大型 EV トラックを開発中だ。米ニコラは EV トラックの新興メーカーとして脚光を浴び、2020 年 6 月に特別買収目的会社(SPAC)との合併により株式上場した。ニコラ初の市販 EV トラックのトレには、最大出力 645hp を発生するモーターを搭載し、バッテリーの蓄電容量は 753kWh と大容量で、1 回の充電での航続は 563km に到達する。バッテリーのフル充電にかかる時間は、約 2 時間とした。しかし、ニコラ創業者のトレバー・ミルトンが技術力を誇大に宣伝し、投資家に虚偽の説明をしていた疑惑が浮上した。ミルトンはその後、同社の会長を辞任したが、司法省は 2021 年に彼を詐欺罪で起訴した。2022 年 10 月に 4 件の詐欺罪のうち 3 件で有罪認定を受け、2023 年 12 月にミルトン被告に詐欺罪で懲役 4 年の判決を言い渡した<sup>130</sup>。

トラックの燃料は大半を石油に依存しているため、これまでは大規模災害時への備えや、安定したトラック輸送体制の確保およびエネルギーセキュリティの観点から、天然ガス(CNG)自動車の普及対策が進められてきた。図 5-4 は全日本トラック協会(2021)が発表した天然ガス自動車導入台数の推移である。CNG 自動車普及のための車両に係る主な課題として、高価な車両価格、修理・保守費用があり、燃料・インフラに係る課題として、天然ガス価格の低廉化、スタンド数増加などインフラ整備が指摘されている。日本トラック協会では政府等に対し、天然ガス価格の一層の低廉化、天然ガススタンドの本格整備、天然ガストラック供給体制の拡大および性能向上、荷主・地域等との連携および運送事業者の自助努力による普及促進、トラック運送分野における天然ガスの本格的利用促進についての明確な方針樹立などを要望している。

液化天然ガス(LNG)自動車は欧州(特にユーロポートを擁するオランダ発の長距離貨物トラックなど)で普及が始まっている。LNG トラックおよびトラクターは、軽油と比較して PM 排出量が少なく、欧州委員会の技術開発フレームワーク「LNG Blue Corridors」で燃料供給インフラが整備されている。

しかし、さらなる CO<sub>2</sub> 排出量低減のためには、ハイブリッドトラック、液化天然ガス(LNG)トラック、燃料電池車(FCV)、電気トラック(EV)などの次世代トラックへの代替が必要と言われている。

日本政府は次世代自動車の普及や、内燃機関の燃料効率の改善のため、国内で補助金制度、税制上の優遇措置、低利融資制度など 3 種類制度を実施した。表 5-2 は EV・PHEV に適用される環境省等が行う施策をまとめた。

環境省は EV トラックを導入する運送事業者を支援し、ディーゼル車より高額な EV の

---

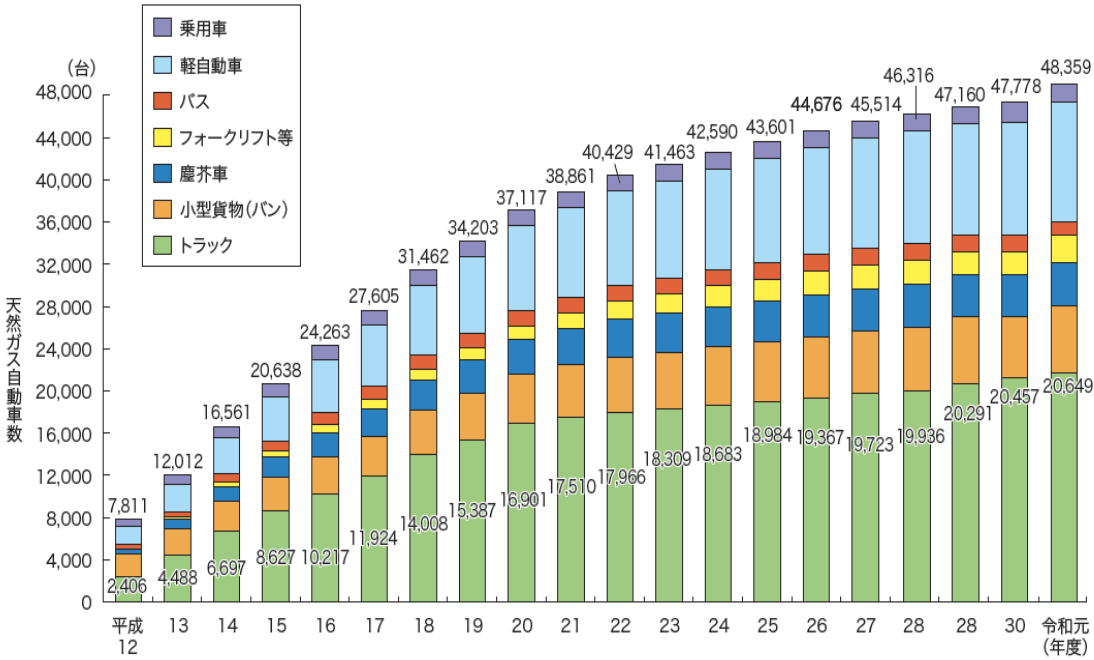
130 「米新興 EV「ニコラ」創業者に懲役 4 年 詐欺罪で」『日本経済新聞』(2023 年 12 月 19 日)。

購入費用の一部を補助する。2.5 トン超の EV トラックではディーゼル車との差額の 3 分の 2 を補助する。小型トラックの場合、1 台あたり 300 万円程度の補助額を想定する。燃料電池車は 4 分の 3 を補助する<sup>131</sup>。

ヤマトホールディングス傘下のヤマト運輸は 2024 年 3 月まで日本全国で小型 EV トラックを約 900 台導入すると発表した。最大積載量は 2 トンで、約 8 時間の通常充電で 116 キロメートル走行できる<sup>132</sup>。

以上の説明をまとめる。貨物車の EV 化の利点は、走行中に二酸化炭素や大気汚染物質を排出しないため環境にやさしい。欠点は、①走行距離の制約にあり、長距離走行が必要な大型トラックとしては使いづらい。②充電時間が長く、大型トラックでは充電時間が 2~3 時間かかってしまう。③現在走行中の貨物車より価格が高いなどである。そこで、トラックは全てが EV 化するのは難しい。小型トラックは宅配など市街地での活用が中心のため航続距離が短く、充電時間も短いことから、EV 化を進めやすい。

図 5-4 : 天然ガス自動車導入台数の推移



出所：全日本トラック協会(2021)を参照した。

131 「EV トラック 4000 台、環境省が購入費補助 脱炭素促す」『日本経済新聞』(2023 年 7 月 30 日)。  
 132 「ヤマト運輸、小型 EV トラック 900 台導入 三菱ふそう開発」『日本経済新聞』(2023 年 9 月 12 日)。

表 5-2 : EV・PHEV に適用される環境省等が行う施策

制度	内容
補助金制度	①地域交通のグリーン化に向けた次世代自動車普及促進事業および先進環境対応トラック・バス導入加速事業(トラック・バス・タクシー事業者における電気自動車及び充電施設の導入又は電気自動車への改造への補助。本体価格の 1/2~1/5)
	②クリーンエネルギー自動車導入事業費補助金(地方公共団体、その他法人及び個人におけるクリーンエネルギー自動車の導入への補助。標準的燃費水準の車両との差額の 2/3)が行われている
税制上の優遇措置	①自動車重量税の軽減措置エコカー減税(EV、PHEV 共に初回、二回目車検時全額免除)
	②自動車取得税の軽減措置エコカー減税(EV、PHEV 共に非課税)
	③自動車税の軽減措置グリーン化特例および軽自動車税の軽減措置グリーン化特例(EV、PHEV 共に概ね 75%軽減)、
	④グリーン投資減税における所得税および法人税の優遇措置(個人事業者又は法人が 1 年以内に事業の用に供した場合に普通償却に加えて基準取得額の 30%相当額を限度として特別償却できる)
低利融資制度	中小企業事業による低利融資・国民生活事業による低利融資(低公害車や燃料供給設備等の取得に係る低利融資)

出所：板垣・渡邊・木下(2020)を参照した。

### 5.3.2 日本の充電インフラの整備状況

EV の航続距離の短さというデメリットを克服するためには、充電インフラの整備が欠かせない。充電インフラが設備されれば、EV を使う長距離ドライブの利便性が大幅に高まるからである。EV の充電インフラには、(乗用車)30 分程度で約 80%充電できる急速充電のほかに、8 時間程度で充電できる普通充電器がある。

実質的にガソリン車におけるガソリンスタンドと同等の立ち位置にあるのが急速充電器だが、2020 年日本国内では給油所が 29,005 ヶ所あるのに対し<sup>133</sup>、EV の充電に使う急速充電器の設置箇所は 7,192 ヶ所であり<sup>134</sup>、GV と比較して EV の利用勝手が悪いことがわかる。急速充電器の数はガソリンスタンドと比較すればまだ少数に過ぎない。急速充電器の設置には約 540 万円の設置費用がかかり<sup>135</sup>、電源についても専用線などの工事費を要

133 石油連盟「統計資料リスト」 <https://www.paj.gr.jp/statis/statis>

134 次世代モビリティガイドブック <https://www.env.go.jp/air/car/lev/index.html>

135 荒川(2015)を参照した。

する。しかし、数千万円以上の投資や一定以上の面積、有資格管理者を必要とするガソリンスタンドの建設に比べれば、設置費用や面積、運営コストははるかに少ない。

普通充電は、一般的な単相 200V を使い、3KW 程度の出力で一般住宅でも充電は可能だが、100%まで充電するのは 7~8 時間の長時間を要し、スーパーや店舗、宿泊施設、会社や事務所、マンションの共同駐車場などに設置される<sup>136</sup>。普通充電器の設置費用は約 120 万円であり<sup>137</sup>、比較的設置しやすい。

日本は世界的に見て「EV 途上国」の状況にある。国際エネルギー機関(IEA)によると、日本の公共の EV 充電器は 2021 年で約 2 万 9000 基。日本より狭い韓国には 10 万 7000 基ある。IEA が急速充電と定義する 22 キロワット超で見ると日本は 8000 基で、1 万 5000 基の韓国や 47 万基の中国に及ばない。日本政府は 2030 年までに EV 充電器を 15 万基とし、このうち 3 万基を急速充電とする目標を持つ<sup>138</sup>。

日本の充電サービスはトヨタ自動車、日産自動車、三菱自動車、ホンダの 4 社が中心に設立し、充電器の設置費用の一部を負担するほか、8 年間の維持費を補助する制度を設け、課金や決済サービスも提供している。

急速充電の料金は設置者により様々で、30 分で 300 円、500 円、600 円などのところが多いが、自治体などで無料提供している場所もある。普通充電の場合は、その場所の駐車に付帯するサービスとして提供されている場合もあり、また 1 分 30 円程度の料金が設定されていることもある。家庭での普通充電にかかる費用は、車種、時間帯にもよるが、1 回 200 円程度で、150 キロ程度の走行が可能で、1km あたり 1.3 円である。ガソリン車の場合、1 リッター 140 円で 14km 走ったとしても、1km あたりのコストは 10 円となり、家庭で充電すれば、電気自動車は走行コストとして非常に安価となる。深夜電力料金の場合はおおむね昼間電力の 3 分の 1、太陽光パネルを使って充電した場合などはさらに安く、あるいはコストがゼロになる可能性もあるなど、充電の値段はあつてないようなものである<sup>139</sup>。

電動化がどの程度進展するのか、さらにどのようなスピードで進むかについては、さまざまな要因が絡み合って決まるが、燃料価格などの外的要因を除けば、EV 普及の鍵となる 3 要素は、①電池のコスト、②電池の性能、③充電インフラの整備である。この三つの要因は、それぞれが相互補完し合う関係にあり、すべてが完全にそろわなくても全体としてバランスがとれていけば EV の普及は進展していくと考えられる。日本のガソリンスタンドの配置ネットワークは全国的に充実しているため、急速充電器を既存のガソリンスタンドに併設する案が最も効果的に全国展開できる手法の一つと考えられている。また、充電に一定の時間がかかることを考えると、時間貸し駐車場も充電器の設置場所の有力な候補となると思われる。

---

136 天野(2019)を参照した。

137 荒川(2015)を参照した。

138 「EV 急速充電器の規制緩和 設置容易に、23 年めど」『日本経済新聞』(2023 年 1 月 4 日)。

139 天野(2019)を参照した。

EVトラックは運送事業者の施設内で充電することが多かった。小型EVトラックを対象に日本全国274カ所のコンビニエンスストアなどで充電できるようにし、EV乗用車向けの公共充電器をEVトラックでも使えるようにする計画がある<sup>140</sup>。充電の利便性が高まればEVの普及につながる。

三菱ふそうトラック・バスは2023年冬からEVトラックの電池を5分で交換する取り組みを始める。現在は電池の取り外しができないEVトラックが主流で、充電に10時間程度かかる。充電待ち時間がほぼゼロのEVトラックを投入すれば、時間に追われる配送車両に使いづらいつという課題の解消につながる。先行する中国では、新興EVメーカーの上海蔚来汽車(NIO)が交換式EVを販売し、電池交換サービスを手がけ、すでに中国で1000カ所以上の交換拠点を展開しており、今後さらに増やすだろう<sup>141</sup>。

以上をまとめると、日本はまだ「EV途上国」の状況にある。

## 5.4 貨物車のFCV化

### 5.4.1 水素社会

近年、地球温暖化や大気汚染といった環境問題や、エネルギー問題の深刻化により、消費時にCO<sub>2</sub>を発生させないこと、また特定の国・地域に偏在せず多様なエネルギー源から製造できることから水素エネルギーに対し、次世代の燃料としての注目が高まっている。日本はエネルギー源として、その4割を石油に頼っているが<sup>142</sup>、石油の埋蔵量には限界があり、かつ石油の輸入に多額の費用がかかる。石油の代替エネルギーの一つとして、水素で社会インフラを構築すればエネルギーで他国に優位に立つ。

水素は、石炭・天然ガスといった炭素質資源や様々な高温熱源および水を原料として電気分解により、比較的容易に変換できる二次エネルギーである。水素は宇宙の元素の約9割を占め、最も多く存在する物質であり、非常に軽く、燃焼時の発熱量は炭素の約4倍もある。燃やしても水になるだけで二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を排出しないため、脱炭素社会への「夢の燃料」として期待される。

水素の特徴<sup>143</sup>は、

① 宇宙の元素の約9割を占める。地球上では気体の水素のほか、ほとんどが水や炭化水素などとして存在する、

② 1立方メートルの気体で約89グラムと非常に軽くて、マイナス253度に冷やして

---

140 「EVトラック、コンビニでも充電可能に 東電系が274カ所」『日本経済新聞』(2023年11月16日)。

141 「三菱ふそう、EVトラック電池5分で交換 充電待ちゼロに」『日本経済新聞』(2023年7月25日)。

142 「働き始めた温室効果ガス排出権取引市場～現状と今後の課題～」日本政策投資銀行、P.9。

143 「水素とは 燃やしても水になるだけの「夢の燃料」」『日本経済新聞』(2021年5月3日)。

液化すると、体積は約 800 分の 1 になる、

③ 燃やしても水しか出なく、1 キログラムあたりの発熱量は約 3 万キロカロリーと炭素の約 4 倍。

「水素社会」という言葉は水素だけを使う社会を意味するものではない。将来、太陽光・風力といった再生可能エネルギーが大量に導入される場合、そこで作られる電力は不安定で長期間の保存や長距離輸送が難しいと言われている<sup>144</sup>。水素をその変動吸収や貯蔵・輸送が可能なエネルギーとして活用し、多様なエネルギーから得られる電気と水素が相互に補い合う低炭素な社会を「水素社会」と呼ぶ。これにより、現代社会において最も重要と言える電気システムの欠点を補完し、電力需給バランスを安定化する。2017 年 4 月、政府は「再生可能エネルギー・水素等関係官僚会議」を設置し、同年末には 2050 年を視野に入れた、日本が将来目指すべきビジョンとしての「水素基本戦略」を提唱した。この戦略策定を受け 2019 年 3 月、日本が国資源エネルギー庁は「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を改訂し、具体的な技術開発目標として、家庭用燃料電池の将来価格目標、燃料電池自動車の普及目標、水素発電の具体化などが盛り込まれた<sup>145</sup>。

しかしながら、水素には欠点もある。水素は 1 次エネルギーではないことである。例えば、水を電気分解して水素を取り出す時に、電気というエネルギーを使用するため、その時点で地球温暖化を引き起こしてしまう。また、水素を輸送に適した液化水素にするにもエネルギーが必要であり、CO<sub>2</sub>を発生させてしまう。

#### 5.4.2 日本の貨物車の FCV 化

燃料電池自動車(FCV)は、①走行中に排出するのは水だけ、②既存の内燃機関自動車同等の航続距離・充填時間、③モータならではの走りのよさ・静粛性を兼ね備えており、「究極のエコカー」としての実用化が強く望まれている。FCV は乗用車から大型トラックのような中長距離移動用途のパワートレインにも対応できると考えられ、トヨタは世界初の量産型 FCV「MIRAI」の発売(2014 年)に加え、その FC システムを流用した新型 FC 路線バス「SORA」(2018 年)を発売した。さらに、コンビニ配送用小型トラックや、クラス 8 トラックの実証評価(米国)も進めている<sup>146</sup>。

世界的に環境規制が強まる中、ディーゼルエンジン車がほとんどを占める商用トラックも電動化が避けて通れない。乗用車の電動化は EV ばかりに話題が集中するが、商用トラックの分野では、燃料として積んだ水素で発電して走行する FCV の導入も現実視されている。EV は将来の CO<sub>2</sub>削減効果の大きさに期待大であるが、東京~大阪間の都市間距離は約 500km であるため、東京~大阪間などの長距離走行用途への適応は蓄電池の進化および長距離走行手段として有力な走行中給電方式などの出現を待つ間の当分の間、可能性はか

144 折橋(2020)を参照した。

145 井上(2020)を参照した。

146 川原・今西・井漕(2019)を参照した。



なり低い。図 5-5 は、モビリティ棲み分けイメージである。

FCV で商用車が注目され始めたのは、長距離輸送には EV は適さないという認識が定着しつつあるためだ。一般的な乗用車の車体重量が 2 トン以下なのに対し、中型貨物トラックは最大積載時の総重量が 10 トン前後である。10 トン以上の荷物が積めて長距離の幹線輸送に使用される大型トラックになると、最大積載時の総重量は 20 数トンに及ぶ。EV 化で問題になるのは、長距離輸送用の大型トラックである。日野自動車によると、乗用車の EV として有名なテスラ「モデル 3」の 6 倍超に相当する 350kWh もの電池を搭載したとしても、最大積載時に 1 回の充電で走行できる航続距離は 300 キロメートル程度にとどまるという。しかも、それだけの電池をフル充電するには、急速充電でも約 3 時間は必要だ。また、電池の重さだけで 2.5 トンに達するため、重量的な制約により、貨物の最大積載量を現行のエンジン車よりも約 1 割減らさざるをえない。長距離輸送を担う大型トラックなら、少なくとも(500 キロメートル離れた)東京～大阪間を充電なしで走れるくらいの航続距離は必要である。1 回の充電で走行できる距離が短く、最大積載量も今より減るとなれば、運送事業者を受け入れてもらえない。そこで大型トラックでは、EV より航続距離を伸ばしやすく、燃料充填時間も短い FCV の技術が注目されているわけだ。

図 5-5 : モビリティ棲み分けイメージ



出所：川原・今西・井漕(2019)より転載。

今、FCV の実質的な選択肢はトヨタかホンダ(日本)、そして現代自動車(韓国)といったところである。FCV は日本勢が世界をリードする技術だが、日本での普及は EV に比べて遅れている。いすゞ自動車は 2023 年 12 月 22 日、ホンダと共同開発した大型 FC トラックの公道での実証実験を始めたと発表した。2024 年 9 月まで実施し、2027 年をめどに市場投入する計画を発表。日野自動車は、親会社のトヨタと大型 FC トラックの共同開発に着手し、現行の「日野プロフィア」をベースとし、車両総重量(最大積載時の総重量)が 25 トンの大型 FC トラックを共同開発すると発表した。

商用車世界大手の独ダ임ラートトラックは2020年9月、ベルリンでFCVコンセプトモデルの「メルセデスベンツ GenH2トラック」を披露した<sup>147</sup>。燃料電池トラック「GenH2トラック」は、積載重量25トンの大型トラックで、燃料電池で発電するために使う水素のタンクを2つ搭載する。トライアルのための小規模生産を経て2025年以降に量産を始める。GenH2トラックは液体水素を燃料に使用するのが大きな特徴だ。マイナス253度の極低温状態を保つなど液体水素ゆえの技術的な難しさはあるが、一般的なガス状の水素よりもエネルギー密度が高く、最大積載時の総重量が40トンに達する超大型トラックでも1000キロメートルの航続距離が確保できるという。さらに同社は、同じく商用車世界大手のボルボ・グループ(スウェーデン)とタッグを結成した。FCVの研究開発で先行するダ임ラートトラックの関連技術などを新会社に移管したうえでボルボと合弁化し、今後は2社が共同でFCシステム(FCスタックなどで構成されるFCVの基幹部品)を開発・生産する。開発費負担を軽減しつつFCトラックの実用化を急ぐために、欧州のライバル同士が手を組んだ戦略的な提携である。

中国は国家政策として電動車の早期普及を掲げ、特に環境負荷が大きい大型トラックなどの商用車はFCVを電動化の柱に据える。現地における大型トラックの市場規模は台数ベースで世界最大である。

中小型のトラックはコスト的な観点などから基本的にEVで対応する方針だが、1日の走行距離が長い用途ならサイズに関係なくFCVも選択肢に入るという。トヨタと日野は航続距離400キロメートルの小型FCトラックも共同で開発する。三菱ふそうトラック・バス、いすゞ自動車もFCトラック開発に向けた準備を進めている。韓国の現代自動車が少量ながらもすでに量産を開始した。

日本は足元でFCトラックの導入が小型車両の数十台にとどまる。車両価格が高いなどの課題がある。経済産業省はFCトラックの利用を促すために、2030年までに少なくとも1.2万台、大型で5000台程度の供給が必要だと試算した<sup>148</sup>。

物流業界では、EVトラックより補給時間が短く、航続距離が長いFCトラックが脱炭素への一つの潮流となりつつある。

ヤマト運輸は大型FCトラックを物流に活用する実証実験を始めた。大型トラックを使った中長距離の幹線輸送は航続距離などの問題でEVの導入が難しい。環境負荷低減に向けては、大型FCトラックにより大きな可能性がある。大型FCトラックはトヨタ自動車と日野自動車が共同開発した。「羽田クロノゲートベース」(東京・大田)と「群馬ベース」(前橋市)の2拠点間の輸送に1台導入する。トラックには10トンほどの荷物を集める。運行距離は往復約300キロメートルで、週6日稼働する<sup>149</sup>。

---

147 渡辺清治(2021)「カギ握る大型トラック、FCV化の最前線」『東洋経済』(2021年01月19日)。

148 「水素トラック30年に1.7万台へ 経産省、規制緩和も検討」『日本経済新聞』(2023年7月11日)。

149 「ヤマト運輸、燃料電池トラックの実証実験 物流拠点間で」『日本経済新聞』(2023年5月23日)。

日本通運は FC トラックを 2023 年末までに 20 台導入すると発表した。小型の 2.95 トン車を取り入れる。1 回 10 分の充填で走行できる距離は 260 キロメートル。

日本郵便は FC トラックを導入する。まず、小型 FC トラックを 2023 年 11 月末以降に順次導入する。最大積載量は 3 トンで、10 分の充填で 260 キロメートル走行できる。東京都江都区内の郵便局に発着する比較的近距離の地域内便に対応する。2025 年度以降には最大積載量 10 トンの大型 FC トラックも 4 台投入し、東京~大阪や東京~福島など地域間の郵便局を結ぶ中長距離輸送に活用する計画だ。2029 年までに 9 台の導入を予定する。

以上をまとめる。貨物車の FCV 化の利点は、①EV より航続距離を伸ばしやすい。②燃料充填時間も短い。欠点は現在走行中の貨物車より価格が高い。そこで、重い荷物を長距離輸送する大型トラックについては FCV に利点がある。

#### 5.4.3 日本の水素ステーションの整備状況

水素は製造過程で色分けされる(表 5-3)。いまは石炭や天然ガスを改質した「グレー水素」が主流で、製造時に CO<sub>2</sub> を放出する。化石燃料由来でも CO<sub>2</sub> を回収・貯蔵する「ブルー水素」では、石油元売り大手 ENEOS がサウジアラビアの国営石油会社サウジアラムコと協業を検討する。岩谷産業が北海道で事業化する構想もある。再生エネで水を電気分解して製造する「グリーン水素」では、旭化成が福島県浪江町の実証実験施設に世界最大級の製造装置を設置した。

表 5-3：水素の種類

種類	製造方法	CO <sub>2</sub>	1 キログラムあたりのコスト
グレー水素	天然ガスや石炭などから水素を取り出す	大気中に放出するため温暖化の原因に	1~2 ドル
ブルー水素	天然ガスや石炭などから水素を取り出す	回収・貯蔵することで排出を実質ゼロに	2~3 ドル
グリーン水素	水を再生可能エネルギーで電気分解して水素を生成	製造工程で発生しないため環境に優しい	2~9 ドル

出所：「水素とは 燃やしても水になるだけの「夢の燃料」」『日本経済新聞』（2021 年 5 月 3 日）。

FCV 普及には水素ステーションなどインフラ整備が不可欠である。水素ステーションは FCV に燃料である水素を供給するための拠点である。世界の水素ステーションは 600 カ所程度で、そのうち 4 割は中国に集中する。燃料電池実用化推進協議会によると、2023 年 9 月時点で計画中のものを含め、関東圏で 54 カ所、中部圏で 55 カ所ある。中国地方や九

州などでは1つの県に1カ所しかないところが多い<sup>150</sup>。

水素ステーションは、充電インフラ以上に整備が進んでいない。水素ステーションを増やしていく理由は、

① FCVの台数が増えないこと。インフラ事業者として、投資の足が鈍る。

② 水素ステーションの建設・運営コストが想定より下がらない。1カ所あたり4億円台である。

③ 既存燃料の液化天然ガス(LNG)より価格が4倍ほど高い、ディーゼル燃料と比べても高いため普及が進んでいない。

日本は2017年に世界で初めてとなる水素の国家戦略「水素基本戦略」を策定した。2023年6月に改定した「水素基本戦略」では水を電気分解して水素を作る「水電解装置」を、2030年までに日本企業で15ギガワット程度導入する目標を掲げた。供給量を増やし、現在1立方メートルあたり100円の価格を2030年に30円、2050年に20円まで引き下げることで、天然ガスとほぼ等しくなる。

日本政府は2030年にFCV車80万台、水素ステーション900カ所に目標を掲げた<sup>151</sup>。東京都は商用FCVに対応できる大型水素ステーション2023年に5カ所であるが、2030年過ぎに50カ所に整備する。表5-4は水素ステーションを巡る企業の動きを示す。

表5-4：水素ステーションを巡る企業の動き

企業	内容
東芝	再エネ由来のクリーン水素の充填設備を各地で
パナソニック	自社工場のフォークリフト向け開発
トヨタ自動車	フォークリフト向け再生エネ由来の水素充填設備を元町工場に設置
ENEOS	2022年から既存給油所内で展開
岩谷産業	2021年3月期、53カ所に増設。簡易型を各地で

出所：「水素供給網の整備加速 ENEOSは給油所で来春販売」『日本経済新聞』（2021年2月17日）。

2023時点で都内にはFCバスが約100台、FCトラックが約30台導入されている。2030年ごろにはバス約300台、小型トラック約3500台、大型トラック約1000台の規模になると想定する<sup>152</sup>。

東京都は水素活用の促進に向け、新たに燃料電池トラックの燃料費の補助制度を開始する。補助額は小型FCトラックで年200万円、大型FCトラックで年900万円を上限とす

150 「水素ステーションとは 1県に1カ所のみ地域も」『日本経済新聞』（2023年10月16日）。

151 「水素供給網の整備加速 ENEOSは給油所で来春販売」『日本経済新聞』（2021年2月17日）。

152 「東京都、大型水素STを50カ所整備 トラック・バスで活用」『日本経済新聞』（2023年11月13日）。

る<sup>153</sup>。

以上の説明から、大型 FC トラックの普及には、水素ステーションの整備が不可欠である。しかし、水素ステーションの整備は始まったばかりで、全国的な普及にはまだ時間がかかる。

## 5.5 おわりに

トラックは用途ごとに大型から小型まで市場が分かれる。本章の検討から、全てのトラックを EV に置き換えることは難しい。重い荷物を遠距離運ぶなどの課題から、水素のインフラが整えば、大型トラックは FCV が適している。一方、小型トラックは宅配など市街地での活用が中心のため航続距離が短く、EV 化を進めやすい。

たしかにガソリン(ディーゼル)車が EV に置き換われれば、走行時の二酸化炭素の排出量はゼロになる。しかし、EV にはガソリン(ディーゼル)車と比較した際の航続距離の短さや急速充電ステーションの未整備、充電時間の長さなど、普及に向けては複数の課題が残っており、解決に向けて多くの研究・開発がなされている。また、EV の普及には価格も問題であり、現在販売されている EV はガソリン車に比べ 1.5~2 倍以上の値段になっている。

商用車は乗用車に比べて稼働時間が長く、積載量も十分に確保する必要がある。重さ 40 トン近い貨物を運ぶ長い航続距離が求められる大型トラックでは、短時間で燃料を充填できる上、長距離を走行する必要がある。EV トラックの利用も進みつつあるが、航続距離を伸ばすために電池搭載量を増やすと、貨物積載量が減り、充電時間も長くなってしまおうという問題がある。しかし、FCV は EV より航続距離が長いなどのメリットはあるものの、コストの高さやインフラ整備が課題となっている。

---

153 「東京都、都用地に水素の製造・供給設備を整備」『日本経済新聞』(2024年1月10日)。

## 第 6 章 終章

### (1) 本論文各章のまとめと意義

第 1 章の序論で本論文の背景と研究目的を説明した。

第 2 章では、物流危機とも呼ばれる運転者の労働力不足に着目し、主にトラック運転者の人手不足の原因と人手不足なのに賃金が上がらないという現象を検討した。また、労働経済学の理論から人手不足なのになぜ賃金が上がらないのかを検討した。トラック運転者の労働市場で、コスト削減圧力がかかった場合(ケース 5)、名目賃金に下方硬直性がある場合(ケース 6)、労働市場の二重構造(ケース 7) などがあれば、人手不足があっても賃金が上がらないと考えられる。物流企業の人手不足を解消する方策としては、トラック運転者の待ち時間を削減や共同輸配送で労働生産性を向上、運転免許制度の改正によりトラック運転者の数を増やすこと、他の物流会社との合併・買収でトラック運転者を一度にまとめて獲得することなどで、トラック運転者の人手不足問題を解消できると考えられる。

第 3 章では、ロジスティクスの高度化・効率化と環境経営との両立が、外部委託(3PL)とどのような関係を持っているか、現状を定量的に明らかにすることが目的であった。そのため日本の株式市場に上場している製造業へのアンケート調査データを使い、共分散構造分析を試みた。本章の特徴は、共分散構造分析を行う前に、まず主成分分析により観測変数の数を縮約して、縮約した変数(主成分得点値)を新たに観測変数として用い、共分散構造分析を行ったことである。結果として、競争優位の LO が経営課題に貢献する直接的経路と間接的経路を確認できた。すなわち LO における委託先とのシナジー効果による、主要な経営課題への貢献は確認できた。また競争優位の LO が環境負荷の小さいロジスティクスに貢献する経路を確認できたことで、外部委託が競争優位を高めるだけでなく、環境経営を進展させる要因ともなることが示唆された。

第 4 章では、VAR モデルに従って自動車普及と SS のグレンジャー因果性を探求した。そのために、まず、自動車保有台数と SS 数の時系列データの定常性を検討し、自動車保有台数と SS 数の時系列データは非定常時系列であることを明らかにした(自動車数と SS 数の時系列データは共に二次和分過程に従う  $I(2)$  時系列データである)。VAR モデルの推定ではモデル全体が定常になっている状態にする必要があるから、自動車保有台数と SS 数の時系列データを二次の階差を取って定常過程に変換し、グレンジャー因果性検定を行った。その結果、自動車数から SS 数へのグレンジャー因果性がある一方、直観的な予想と異なり SS 数から自動車数へのグレンジャー因果性がないことがわかった。次に、自動車数と SS 数を定量的に表す式を示した。政策面での示唆としては、自動車普及の進展期において自動車数が増加すると SS 数が増加したが、その逆の関係はみられなかった。EV や FCV の普及促進にあたっては、仮に普及初期において EV ステーションや水素ステーションの設置促進政策を実施するとしても恒久的な実施は支持されない。

第 5 章では、貨物車は乗用車に比べて稼働時間が長く、積載量も十分に確保する必要が

あるから、貨物車は全てが EV に転換することは難しい。重い荷物を長距離運ぶなどの課題から水素のインフラが整えば、大型トラックは FCV が利点ある一方、小型トラックは宅配など市街地での活用が中心のため航続距離が短く、EV 化を進めやすい。

## (2) 今後の課題

第 2 章では、同時方程式体系による貨物自動車運転者労働市場の労働需要曲線と労働供給曲線を 2 段階最小 2 乗法によって推定したが、労働需要関数と労働供給関数の推定値は 5% 有意水準では有意ではない。今後は信頼性の高いデータの入手や、モデルの操作変数を変更するなどにより有意な結果を出すことが課題である。

第 3 章については、ロジスティクスに関しては実証分析に利用可能なデータが十分にはない。したがってアウトソーシングがロジスティクスの効率化・高度化・環境対応において優位となるための条件を検証するにあたっては、統計分析だけでなくケース・スタディが有効なことも考えられる。研究対象としては、荷主としての製造業だけでなく、小売業、物流業、物流機器(マテハン)製造業等を対象とすることも考えられる。

第 4 章については、グレンジャー因果性は必ずしも真の因果関係ではない。グレンジャー因果性は、X が Y を引き起こすかどうかを検定するのではなく、X によって Y を予測できるかどうかを検定するものである<sup>154</sup>。ただし、計算が単純なことから、時系列データの因果関係分析としてよく使用される方法である。グレンジャー因果性の本来の定義では、潜在的な交絡因子が考慮されておらず、自動車保有台数と SS 数の双方が共通の第 3 のプロセス(潜在的な交絡因子)によって異なる遅れで影響を受ける場合でも、グレンジャー因果性がある可能性は棄却できない。また VAR モデルで非線形の因果関係は捉えられない。また、本章の自動車データは自動車の普及進展期を対象としたものである。普及初期については別途研究が必要であるが、信頼性の高いデータの入手が鍵となろう。今後、これらの問題に対処する方法の検討が必要であると考えられる。

第 5 章については、日本より普及が先行している海外の EV および EV ステーションのデータを用いた EV および EV ステーションの因果分析はいずれ可能となると考えられる。

---

154 Hamilton (1994, pp.306-308)を参照した。

## 謝辞

本論文の第3章は JSPS 科研費 16K03934 の助成を受けたもので、主な内容は 2018 年 9 月に中国・大連で開催された T-LOG2018 及び 2021 年 9 月に開催された日本交通政策研究会「脱炭素社会に向けた持続可能な統合的交通政策に関する研究」グループの研究会で発表し、多くの有益なコメントをいただきました。第 4 章の主な内容は 2022 年 12 月に開催された日本交通学会関西西部会で発表し、多くの有益なコメントをいただきました。心より感謝いたします。

本論文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さった指導先生兒山真也教授に感謝の意を表します。また本論文の作成に重要なコメントをいただいた先生方に感謝申し上げます。特に、論文の副査とした新澤秀則教授と西中恒和教授、多くの計量経済学と統計学を教えてくださいました水野利英教授に心より感謝いたします。



## 参考文献

1. 秋川卓也(2004)『サプライチェーン・マネジメントに関する実証研究—企業間調整行動の視点から』プレアデス出版.
2. 秋山裕(2018)『Rによる計量経済学(第2版)』オーム社.
3. 芦沢哲蔵(1980a)「自動車への依存度と都市構造(1)」『運輸と経済』40(10), pp.54-61.
4. 芦沢哲蔵(1980b)「自動車への依存度と都市構造(2)」『運輸と経済』40(11), pp.46-54.
5. 阿部正浩(2017)「規制を緩和しても賃金は上がらない—バス運転手の事例から」第3章 pp.31-49, 玄田有史(2017)『人手不足なのになぜ賃金が上がらないのか』慶応義塾大学出版株式会社.
6. 天野了一(2019)「電気自動車と次世代自動車・将来の「ランドマーク商品」としての展望」『四天王寺大学紀要』第67号, pp.255-281.
7. 荒川潔(2015)「電気自動車普及のための補助金政策と充電インフラ整備」『大妻女子大学紀要.社会情報系,社会情報学研究』24, pp.1-11.
8. 石川友保・長田哲平・苦瀬博仁(2017)「SCMと環境問題・資源問題・安全安心の確保」, 苦瀬博仁編著『サプライチェーン・マネジメント概論—基礎から学ぶSCMと経営戦略—』第14章, 白桃書房.
9. 板垣健太・渡邊怜・木下健斗(2020)「次世代自動車普及政策の評価と展望」『早稲田社会科学総合研究 別冊「2019年度学生論文集」』, pp.135-151.
10. 伊藤豊・馬奈木俊介(2010)「燃料電池自動車と電気自動車の普及に伴う費用便益分析」『環境システム研究論文発表会講演集』38, pp.271-276.
11. 井上彰太(2020)「エネルギーキャリアとしての水素の社会実装展望—技術動向および市場動向について—」『低温工学』55(1), pp.3-9.
12. 上野裕也(1970)『自動車産業のモデルと予測』日本経済新聞社.
13. 鶴澤利高(1997)『よくわかる自動車業界(最新3版)』日本実業出版社.
14. 小川雄太郎(2020)『Pythonによる因果分析—因果推論・因果探索の実践入門』マイナビ.
15. 小黒由貴子・内野逸勢(2016)「サービス業の生産性が向上しない要因を探る② ~高まる物流業の重要性と低迷する生産性~」『大和総研 ESG レポート』.
16. 小田浩幸(2015)「自動車運転者の労働力不足の背景と見通し」『国土交通政策研究所報』第56号, 2015年春季.  
(<https://www.mlit.go.jp/pri/kikanshi/pdf/2015/56-7.pdf>)
17. 小野塚征志(2019)『ロジスティック 4.0—物流の創造的革新』日本経済新聞出版社.
18. 折橋信行(2020)「トヨタにおけるFCV開発について—水素社会の実現を目指して—」『低温工学』55(1), pp.10-13.
19. 梶田ひかる(2006)『ロジスティクスにおける複雑系組織とその設計に関する研究』電

気通信大学博士論文(甲第 413 号).

20. 河口至商(1973)『多変量解析入門(Ⅰ)』森北出版.
21. 川口大司(2017)『労働経済学—理論と実証をつなぐ』有斐閣.
22. 川端一光・岩間徳兼・鈴木雅之(2018)『Rによる大変量解析入門—データ分析の実践と理論』オーム社.
23. 川原周也・今西啓之・井漕好博(2019)「燃料電池システムの開発」『日本燃焼学会誌』61巻 195号, pp. 24-29.
24. 環境情報の利用促進に関する検討委員会(2012)『環境経営の推進と環境情報の利用について』(同委員会報告書).
25. 環境省(2016)『地球温暖化対策計画(平成 28 年 5 月 13 日閣議決定)』.
26. 神取道宏(2014)『ミクロ経済学の力』日本評論社.
27. 菊池康也(2000)『ロジスティクス概論』税務経理協会.
28. 橘川武郎(2012)『日本石油産業の競争力構築』名古屋大学出版会.
29. 木村達也(2004)「競争優位のアウトソーシング—ロジスティクス—」『研究レポート』No.213 富士通総研経済研究所.
30. 木村達也(2006)「競争優位のロジスティクスアウトソーシング」『日本物流学会誌』第 14 号, pp.61-68.
31. 桐野裕之(2017)「ガソリンスタンド業界における規制緩和の影響—ガソリン価格の低下が消費者にもたらした経済的利益の推計—」『流通』NO.40, pp.15-26.
32. 桐野裕之(2018a)「ガソリンスタンド業界における規制緩和の評価—Stern and El-Ansary のマーケティングチャネルの成果尺度を活用して—」『流通』NO.41, pp.19-31.
33. 桐野裕之(2018b)「ガソリンスタンド業界における規制緩和と製品流通—業者間転売品の流通量拡大に焦点を当てて—」『流通』NO.43, pp.31-43.
34. 桐野裕之(2019a)「日本のガソリンスタンド数減少の要因分析」『流通』NO.45, pp.19-31.
35. 桐野裕之(2019b)「日本の石油業界における規制緩和に関する考察」『京都大学 博士(経済学) 甲第 21521 号』 Kyoto University.
36. 桐野裕之(2020a)「規制緩和がガソリン価格に及ぼした影響—重回帰分析を用いた定量的考察—」『流通』NO.46, pp.15-27.
37. 桐野裕之(2020b)「利便性の定量的分析によるガソリンスタンド過疎地の定義に関する考察」『流通』No.47, pp.15-27.
38. 桐野裕之(2020c)「日本のセルフ SS の普及率の背景に関する—考察—消費者ニーズと SS 運営企業の戦略に焦点を絞って—」『流通』NO.47, pp.29-41.
39. 桐野裕之(2021)「日本の石油業界における競争時代の終焉—業者間転売品の流通量減少とグロスマージンの回復を主な焦点として—」『流通』NO.48, pp.27-40.
40. 金明哲(2017)『Rによるデータサイエンス(第 2 版)』森北出版株式会社.

41. 苦瀬博仁(2017)「サプライチェーン・マネジメント(SCM)の定義と内容」,苦瀬博仁編著『サプライチェーン・マネジメント概論—基礎から学ぶ SCM と経営戦略—』第 2 章, 白桃書房.
42. 栗田治(1999)「都市施設の適切な数に関する数理モデル—政令指定都市の区数に関する分析例—」『日本建築学会計画系論文集』 64(524), pp.169-176.  
([https://www.istage.jst.go.jp/article/aija/64/524/64\\_KJ00004223147/article/-char/ja/](https://www.istage.jst.go.jp/article/aija/64/524/64_KJ00004223147/article/-char/ja/))
43. 黒川文子(2017)『自動車産業の ESG 戦略』中央経済社.
44. 黒川文子(2018)「EV へのシフトと CO<sub>2</sub>排出量に関する考察」『環境共生研究』第 11 号, pp.25-36.
45. 経済産業省 (2014)『自動車産業戦略 2014』経済産業省製造産業局自動車課.
46. 経済産業省製造産業局自動車課(2014)『自動車産業戦略 2014』経済産業省製造産業局自動車課.
47. 玄田有史(2017)『人手不足なのになぜ賃金が上がらないのか』慶応義塾大学出版株式会社.
48. 敖奇(2018)「日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシングによる効率性と環境負荷の改善」兵庫県立大学大学院経済学研究科修士論文.
49. 国土交通省(2020a)「物流を取り巻く動向について」.  
(<https://www.mlit.go.jp/common/001354692.pdf>)
50. 国土交通省(2020b)「数字で見る自動車 2020」.  
([https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr1\\_000047.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000047.html))
51. 国土交通省(2020c)『トラック運送業における下請・荷主適正取引推進ガイドライン』国土交通省.  
([https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta\\_theme/pdf/kyogikaimlit202004.pdf](https://jta.or.jp/wp-content/themes/jta_theme/pdf/kyogikaimlit202004.pdf))
52. 国土交通省(2023)「数字で見る自動車 2023」.  
([https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr1\\_000084.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000084.html))
53. 国立社会保障・人口問題研究所(2017)「日本の将来推計人口—平成 28 (2016)年～77 (2065)年—平均 29 年推計」『人口問題研究資料』第 336 号, 国立社会保障・人口問題研究所, pp.2-4.  
([https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp\\_zenkoku2017.asp](https://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/j/zenkoku2017/pp_zenkoku2017.asp))
54. 小嶋正稔(2003)『石油流通システム』文眞堂.
55. 小嶋正稔(2014)「次世代自動車の普及と石油流通システムの変質 : 次世代エネルギー供給システムの移行期の石油流通システム (経営力創成研究グループ)」『経営力創成研究』第 10 号, pp.31-42.
56. 兒山真也(2014)『持続可能な交通への経済的アプローチ』日本評論社.
57. 近藤絢子(2017)「人手不足なのに賃金が上がらない三つの理由」第 1 章 pp.1-15 , cit.

- in : 玄田有史(2017)『人手不足なのになぜ賃金が上がらないのか』慶応義塾大学出版株式会社.
58. 齊藤実・矢野裕児・林克彦(2003)『現代企業のロジスティクス』中央経済社.
  59. 齊藤実・矢野裕児・林克彦(2009)『現代ロジスティクス—基礎理論から経営課題まで』中央経済社.
  60. 齊藤実・矢野裕児・林克彦(2020)『物流論(第2版)』中央経済社.
  61. 在間敬子(2016)『中小企業の環境経営イノベーション』中央経済社.
  62. 酒井大輔・三輪富生・森川高行・山本俊行(2011)「電気自動車普及要因に関する基礎的研究」『土木計画学研究・講演集』, pp.1-8.
  63. 佐々木正和(2021)「大型トラックの xEV 化の可能性検討(第 1 報)—都市間物流における CO<sub>2</sub> 削減, エネルギー転換の可能性—」『自動車技術会論文集』 52 (4), pp.750-755.
  64. 佐々木正和(2022)「大型トラックの xEV 化の可能性検討(第 3 報)—HEV, PHEV, BEV, FCEV および走行中給電利用の場合の総合的可能性評価比較—」『自動車技術会論文集』 53 (4), pp.777-783.
  65. 島田幸司(2012)「日本の 10 地域圏を対象としたガソリン需要・価格と所得の因果性分析」『環境情報科学 学術研究論文集』 26, pp.1-6.
  66. 周燕飛(2009)「介護施設における介護職員不足問題問題の経済分析」『医療と社会』19(2), pp.151-168.
  67. 首藤若菜(2018)『物流危機は終わらない—暮らしを支える労働のゆくえ』岩波書店.
  68. 白岩ひおな・川上尚志・田辺静(2021)「ウォルマート、無人配送始動」『日本経済新聞朝刊』 2021 年 11 月 18 日.
  69. 菅慶太郎・石田寛(2008)『日産の CSR 戦略：成長と信頼に基づく持続可能性の経営』生産性出版.
  70. 鈴木亘(2010)『社会保障の「不都合な真実」—子育て・医療・年金を経済学で考える』日本経済新聞出版社.
  71. 関谷次博(2019)『物流発展と生産性：戦後日本トラック輸送の発展から』晃洋書房.
  72. 全日本トラック協会(2020)『日本のトラック輸送産業現状と課題 2020』全日本トラック協会.
  73. 全日本トラック協会(2021)『日本のトラック輸送産業現状と課題 2021』全日本トラック協会.
  74. 全日本トラック協会(2022)『日本のトラック輸送産業現状と課題 2022』全日本トラック協会.
  75. 全日本トラック協会(2023)『日本のトラック輸送産業現状と課題 2023』全日本トラック協会.
  76. 高野陽太郎(2004)「科学と実証」, 高野陽太郎・岡隆(編)『心理学研究法—心を見つける科学のまなざし』有斐閣アルマ.

77. 高野陽太郎(2000)「因果関係を推定する」,佐伯胖・松原望(編)『実践としての統計学』東京大学出版会.
78. 竹内健蔵(2018)『交通経済学入門 [新版]』有斐閣.
79. 立石佳代(2005)「日本自動車産業の革新と成長」『日本国際情報学会紀要』, No.2, pp.50-61.
80. 田中勝人(2006)『現代時系列分析』岩波書店.
81. 田邊勝巳(2017)『交通経済のエッセンス』有斐閣.
82. 谷利亨(1990)『道路貨物運送政策の軌跡—規制から規制緩和へ—』白桃書房.
83. 谷口守・村川威臣・森田哲夫(1999)「個人行動データを用いた都市特性と自動車利用量の関連分析」『都市計画論文集』 34, pp.967-972.
84. 湯進(2019)『2030 中国自動車強国への戦略:世界を席卷するメガ EV メーカーの誕生』日本経済新聞出版社.
85. 丹下博文(2017)『企業経営の物流戦略研究<第 2 版>—ロジスティクス・マーケティングの創出』中央経済社.
86. 千木良弘朗・早川和彦・山本拓(2011)『動学的パネルデータ分析』知泉書館.
87. 鶴原吉郎(2018)『EV と自動運転:クルマをどう変えるか』岩波書店.
88. 翟碩(2017)「トラックドライバー不足問題へのモーダルシフトからのアプローチ」『近畿大学商学論究』 16(1), pp.91-104.
89. 唐艶林(2016)「ロジスティクスの外部委託と環境経営に関する研究」兵庫県立大学大学院経済学研究科修士論文.
90. 杜師康佑・野元翔平(2021)「運転手からエンジニアに、DX で人材移動」『日本経済新聞』 2021 年 11 月 4 日.
91. 豊田秀樹(1998)『共分散構造分析[入門編]—構造方程式モデリング—』朝倉書店.
92. 豊田秀樹(2003)『共分散構造分析[疑問編]—構造方程式モデリング—』朝倉書店.
93. 豊田秀樹(2014)『共分散構造分析[R 編]—構造方程式モデリング—』東京図書.
94. 豊田秀樹・前田忠彦・柳井晴夫(1992)『原因をさぐる統計学—共分散構造分析入門』講談社.
95. 永嶋功氏(2017)「準中型免許、18 歳で取得可—小型トラック、運転手確保に期待」『日経産業新聞』 2017 年 03 月 13 日.
96. 長野潤一(2015)「トラック運転手の長時間労働—現状と課題」『物流問題研究』 64 号, pp.8-12.
97. 中村永友(2009)『R で学ぶデータサイエンス 2.多次元データ解析法』共立出版.
98. 中室牧子・津川友介(2017)『「原因と結果」の経済学—データから事実を見抜く思考法』ダイヤモンド社.
99. 西山慶彦・新谷元嗣・川口大司・奥井亮(2019)『計量経済学』有斐閣.
100. 日本規格協会編(2013)『JIS ハンドブック 62 物流 2013』日本規格協会.

101. 日本ロジスティクス環境会議(2008)『グリーンロジスティクスガイド 第2版』日本ロジスティクスシステム協会.
102. 根来龍之(2004)「競争優位のアウトソーシング<資源-活動-差別化>モデルに基づく考察」『早稲田大学 IT 戦略研究所ワーキングペーパーシリーズ』No.7.
103. 花岡智恵(2015)「介護労働力不足はなぜ生じているのか」『日本労働研究雑誌』No.658, pp.16-25.
104. 福地純一郎・伊藤有希(2011)『Rによる計量経済分析』朝倉書店.
105. 星岳雄(2022)「志すべきは「普通の資本主義」「新しい資本主義」の視点」『日本経済新聞 朝刊』2022年7月28日, 35ページ.
106. 盆子原歩・小林隆史・大澤義明(2014)「給油所過疎地域に関する数理的考察」『都市計画論文集』49(3), pp.603-608.
107. 三土修平(1997)『初歩からの多変量統計』日本評論社.
108. 宮川公男(2015)『基本統計学[第4版]』有斐閣.
109. 皆上晃一(2022)「給油所 530 か所減少」『日本経済新聞 朝刊』2022年7月30日, 20ページ.
110. 蓑谷千鳳彦(1998)『計量経済学(第3版)』東洋経済新報社.
111. 村尾博(2019)『Rで学ぶVAR 実証分析—時系列分析の基礎から予測まで—』オーム社.
112. 森棟公夫(1985)『経済モデルの推定と検定』共立出版.
113. 山田剛史・杉澤武俊・村井潤一郎(2008)『Rによるやさしい統計学』オーム社.
114. 山本拓(1988)『経済の時系列分析』創文者.
115. 山本拓(1995)『計量経済学』新世社.
116. ロジビズ(Logi biz)編集部(2017)「特集 3PL 白書 2017」『Logi biz』2017年8月, pp.18-20.
117. 涌井良幸・涌井貞美(2005)『Excelで学ぶ多変量解析』ナツメ社.
118. 渡辺昇(1997)『よくわかる石油業界』日本実業出版社.
119. 渡辺木綿子(2016)『人材(人手)不足の現状等に関する調査』(企業調査)結果及び「働き方のあり方等に関する調査」(労働者調査)結果』(JILPT 調査シリーズ No.162),労働政策研究・研修機構.  
(<https://www.jil.go.jp/institute/research/2016/documents/162.pdf>)
120. 渡辺安虎(2018)「円城寺次郎記念賞 受賞者論文(下) データ分析、ビジネスで脚光」『日本経済新聞 朝刊』2018年12月5日, 28ページ.
121. 渡部幹(2014)「ロジスティクスと物流事業」,苦瀬博仁編著『ロジスティクス概論—基礎から学ぶシステムと経営—』第5章,白桃書房.
122. 渡部幹・苦瀬博仁(2017)「サプライチェーンと物流業」,苦瀬博仁編著『サプライチェーン・マネジメント概論—基礎から学ぶSCMと経営戦略—』第11章,白桃書房.

123. 渡部幹(2017)「サプライチェーン・マネジメント(SCM)の定義と内容」,苦瀬博仁編著『サプライチェーン・マネジメント概論—基礎から学ぶ SCM と経営戦略—』第5章,白桃書房.
124. Bowersox, D. J. (1989) “Leading Edge Logistics: Competitive Positioning for the 1990s”, *CLM*, pp.12-19, cit.in: 菊池康也(2000)『ロジスティクス概論』税務経理協会.
125. Card, D. and A. B. Krueger (2000) “Minimum Wages and Employment: A Case Study of the Fast-Food Industry in New Jersey and Pennsylvania: Reply”, *The American Economic Review*, Vol.90, No.5, pp.1397-1420.
126. Coyle, J. J., E. J. Bardi and Jr. C. J. Langley (1996) *The Management of Business Logistics*, West Publishing Company, cit.in: 菊池康也(2000)『ロジスティクス概論』税務経理協会.
127. Croissant, Y. and G. Millo (2019) *Panel Data Econometrics with R*, Wiley.
128. Eberhardt, M., C. Helmers and H. Strauss (2013) “Do spillovers matter when estimating private returns to R&D?”, *Review of Economics and Statistics*, 95(2), pp.436-448.
129. Ellram and Cooper (1993) “Characteristic of supply Chain Management and the Implications for Purchasing and Logistics Strategy”, *International Journal of Logistics Management* 4, No.2, pp.13-24, cit.in: Coyle, J. J., E. J. Bardi and Jr., C. J. Langley (1996) *The Management of Business Logistics*, West Publishing Company.
130. Enders, W. (2010) *Applied Econometric Time Series*, 3rd ed., John Wiley & Sons.
131. Engsted, T., J. Gonzalo and N. Haldrup (1997) “Testing for Multicointegration”, *Economic Letters*, Vol.56, pp.259-266.
132. Granger, C. W. J. (1969) “Investigating Causal Relations by Econometrics Models and Cross-spectral Methods”, *Econometrica*, Vol.37, No.3, pp.424-438.
133. Granger, C. W. J. (2004) “Time Series Analysis, Cointegration, and Applications”, *American Economic Review*, 94(3), pp.421-425.
134. Hamilton, J. D. (1994) *Time Series Analysis*, Princeton University Press.
135. Hoshi, T. (2022) *The Political Economy of the Abe Government and Abenomics Reforms*, Cambridge University Press. (第一章)
136. JILS 総合研究所(2018)「JILS 総研レポート(Vol.4)物流分野における労働力不足の現状と課題(1)情報化・機械化に対応したロジスティクスによる労働生産性の向上に向けて」『Logistics systems』 27(1), 30-35.  
([http://www.logistics.or.jp/jils\\_news/](http://www.logistics.or.jp/jils_news/)「JILS 総研レポート」%28Vol.4%29.pdf)
137. Kawaguchi, D. and Y. Mori (2014) “Using Central Government’s Policy Rule to Identify the Impact of Regional Minimum Wage on Employment: Impact of Japan’s

- 2007 Revision of the Minimum Wage Act”, Technical report, Hitotsubashi University.
138. Kilian, L. and H. Lütkepohl (2017) *Structural Vector Autoregressive Analysis*, Cambridge University Press.
139. Kitao, S. and M. Mikoshiba (2022) “Why Women Work the Way They Do in Japan: Roles of Fiscal Policies”, *RIETI Discussion Paper Series 22-E-016*.  
(<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/dp/22e016.pdf>)
140. Neumark, D. and W. Wascher (2000) “Minimum Wages and Employment: A Case Study of the Fast-Food Industry in New Jersey and Pennsylvania: Comment,” *The American Economic Review*, Vol.90, No.5, pp.1362-1396.
141. Pesaran, M.H. and R. Smith (1995) “Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels”, *Journal of Econometrics*, 68(1), pp.79-113.
142. Pfaff, B. (2008) “VAR, SVAR and SVEC Models: Implementation Within R Package vars”, *Journal of Statistical Software*, 27(4).  
(<https://www.jstatsoft.org/article/view/v027i04>)
143. Phillips, P. C. B. and P. Pierre (1988) “Testing for a unit root in time series regression”, *Biometrika*, Vol.75, No.2, pp.335-346.
144. Phillips, P. C. B. and S. Ouliaris (1990) “Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration”, *Econometrica*, Vol. 58, No. 1, pp.165-193.
145. Schimek, P. (1996) “Household Motor Vehicle Ownership and Use: How Much Does Residential Density Matter?”, *Transportation Research Record* 1552(1), pp.120-125.



## 付属資料 アンケート調査票

### 物流・ロジスティクスの外部委託と環境経営に関する調査

#### I. 御社について

##### Q1 御社名

御社名をご記入ください（特定できる形で公表することはありません）。

--

##### Q2 業種

日本標準産業分類（中分類）による御社の業種をひとつ選び、右側に○を記入してください。

09 食料品製造業		21 窯業・土石製品製造業	
10 飲料・たばこ・飼料製造業		22 鉄鋼業	
11 繊維工業		23 非鉄金属製造業	
12 木材・木製品製造業（家具を除く）		24 金属製品製造業	
13 家具・装備品製造業		25 はん用機械器具製造業	
14 パルプ・紙・紙加工品製造業		26 生産用機械器具製造業	
15 印刷・同関連業		27 業務用機械器具製造業	
16 化学工業		28 電子部品・デバイス・電子回路製造業	
17 石油製品・石炭製品製造業		29 電気機械器具製造業	
18 プラスチック製品製造業		30 情報通信機械器具製造業	
19 ゴム製品製造業		31 輸送用機械器具製造業	
20 なめし革・同製品・毛皮製造業		32 その他の製造業	

##### Q3 ご回答者

ご回答下さった方について、当てはまるものをひとつ選び、右側に○を記入してください。

①CL0（最高ロジスティクス責任者）など物流・ロジスティクス部門の統括者	
②全社的な物流・ロジスティクス部門に所属	
③事業部の物流・ロジスティクス部門に所属	
④広報部門に所属	
⑤その他 [	]

##### Q4 ご連絡先

差し支えない範囲で、ご連絡先やご回答下さった方についてご記入ください（特定できる形で公表することはありません）。

ご住所	希望する（メールアドレスを必ずご記入ください） ・ 希望しない
ご所属・役職	
お名前	
集計結果ご希望の有無	
電子メールアドレス	

## II. 経営全般の課題及び物流・ロジスティクスの課題について

### Q5 重視する経営全般の課題

御社では、以下のような経営全般の課題をどの程度重視していますか。1から5までのスケールの中で最も当てはまる番号を選び、その番号を○で囲んでください（以下同様にお答えください）。

	重視していない	強く重視している
①商品・サービスの品質向上	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②商品・サービスの開発	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③事業領域の選択と集中	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④業務効率化・生産性向上	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤コスト削減	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥顧客との関係強化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦サプライヤーとの関係強化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑧環境課題への対応	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

### Q6 重視する業務

御社は、他社との競争で優位に立つために、以下の業務をどの程度重視していますか。

	重視していない	強く重視している
①製造加工業務	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②輸配送業務	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③保管・倉庫業務	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④販売業務	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤調達・仕入業務	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

### Q7 経営陣の物流・ロジスティクスへの関心

御社の経営陣は、物流・ロジスティクスに関する以下の課題をどの程度重視していますか。5年前及び現在の重要度についてお答えください。

	重視して いない	強く重視 している
①物流・ロジスティクスのコスト削減	(5年前) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	(現在) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②物流・ロジスティクスの高度化・高付加価値化	(5年前) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	(現在) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③ネット通販など直接取引への対応	(5年前) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	(現在) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④サプライチェーンのグローバル化への対応	(5年前) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	(現在) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤物流・ロジスティクスにおける環境負荷削減	(5年前) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	(現在) 1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q8 競合他社に対する優位性**

物流・ロジスティクスに関連する以下の項目について、競合他社と比較して、御社はどの程度優れているとお考えですか。

	劣っている	同等	優れている
①製造コスト	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
②調達コスト	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
③物流コスト	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
④受注～納品リードタイム	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑤注文充足率（納入遅れ等の少なさ）	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑥配送頻度の高さ	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑦受注ロット（小ロット化への対応）	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑧物流における環境負荷の小ささ	1 — 2 — 3 — 4 — 5		

**Q9 物流・ロジスティクスの業務ごとの能力**

物流・ロジスティクスに関する業務ごとの能力について、競合他社と比較して、御社はどの程度優れているとお考えですか。

	該当する業務がない	劣っている	同等	優れている
①個別作業 （輸配送、保管、荷役、梱包、流通加工等）	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
②物流管理業務 （車両運行管理、在庫管理、物流センター運営等）	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
③物流情報処理	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
④物流コスト分析	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑤物流情報システム設計・開発	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
⑥物流・ロジスティクス業務のプランニング	0	1 — 2 — 3 — 4 — 5		

**Q10 環境経営の位置付け**

御社では、以下の環境経営の課題はどのように位置付けられていますか。

	該当しない	該当する
①社会的責任として位置付けている	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②環境リスク低減として位置付けている	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③事業の成長要因として位置付けている	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q11 環境経営の内容**

御社の環境経営において、以下の事項をどの程度重視していますか。

	重視していない	強く重視している
①環境関連法規制の遵守	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②環境経営に対する、経営者の主導的な関与	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③環境マネジメントシステムの運用	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④従業員への環境教育	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤グリーン調達の推進	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥環境配慮活動（省エネ、廃棄物削減等）の 目標設定と改善・進展状況	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦内部監査体制 環境情報の公表（環境報告書等）	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

### Ⅲ. 物流・ロジスティクスの外部委託について

以下、第Ⅲ部（Q12～Q24）では、国内に販売先がある代表的なケースについてお答えください。

また Q13～Q23 では、Q12 でひとつでも2か3に○が付いた方のみお答えください。ひとつも○が付かなかった場合、Q12 の次は Q24 へお進みください。

#### Q12 物流・ロジスティクスの外部委託の現状

御社では、以下の物流・ロジスティクス業務について、外部委託を行っていますか。

	該当する業務がない	外部委託はしていない	一部を外部委託	ほぼ全面的に外部委託
①個別作業 (輸配送、保管、荷役、梱包、流通加工等)	0	1	2	3
②物流管理業務 (車両運行管理、在庫管理、物流センター運営等)	0	1	2	3
③物流情報処理	0	1	2	3
④物流コスト分析	0	1	2	3
⑤物流情報システム設計・開発	0	1	2	3
⑥物流・ロジスティクス業務のプランニング	0	1	2	3

#### Q13 最も重要な委託先との関係

御社にとって最も重要な、物流・ロジスティクスの外部委託先（以下、当該委託先とします）は、以下のいずれに当てはまりますか。ひとつだけ右側に○を記入してください。

①自社（または持ち株会社）の子会社（過半数の議決権など）	
②自社（または持ち株会社）の関連会社（20%以上の議決権など）	
③自社とは独立の会社	

#### Q14 委託にあたっての業務の見直し

当該委託先に委託するにあたり、御社ではどのように業務の見直しを行いましたか。

	全く当てはまらない	よく当てはまる
①外部委託を行う際に、自社の競争力（強みや弱み）について、よく検討した。	1	5
②外部委託は、生産、営業、情報システムなど他の部門も含んだビジネス・プロセス全体の見直しを伴った。	1	5
③外部委託を行う際に、社長や上級役員など経営トップも深く関与した。	1	5

#### Q15 定例的な報告

当該委託先からの定例的な報告（電子メールを含む書面）は、どのような頻度で受け取っていますか。最も当てはまるものをひとつ選び、右側に○を記入してください。

①受け取っていない		⑤1週間に1回程度	
②2、3ヶ月に1回またはそれ以下		⑥1週間に2、3回程度	
③1ヶ月に1回程度		⑦毎日1回程度	
④1ヶ月に2、3回程度		⑧毎日2回以上	

**Q16 定例的なミーティング**

当該委託先との定例的なミーティングは、どのような頻度で行っていますか。最も当てはまるものをひとつ選び、右側に○を記入してください。

①行っていない		⑤1週間に1回程度	
②2、3ヶ月に1回またはそれ以下		⑥1週間に2、3回程度	
③1ヶ月に1回程度		⑦毎日1回程度	
④1ヶ月に2、3回程度		⑧毎日2回以上	

**Q17 委託先との連携による相乗効果**

当該委託先への委託により、以下のような相乗効果は生まれていますか。

	全く当てはまらない	よく当てはまる
①委託先からの提案や情報提供に基づき、自社の業務プロセスは改善された。	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②自社特有の事情に対応するため、委託先はオーダーメイドの工夫をしてサービスを提供している。	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③自社と委託先との連携の仕方は、競争者にとっては真似をすることが難しい。	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q18 外部委託の目的と効果**

当該委託先への委託について、下の各項目は、事前に想定した外部委託の目的としてどのくらい該当しますか。またそれらの目的に照らし、実際の効果はどのくらいありましたか。

	[目的]	該当しない	強く該当する
	[効果]	効果がなかった	大きな効果があった
①物流・ロジスティクス関連のコストの低下	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②物流・ロジスティクス関連のコストの明確化	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③無駄な生産、在庫、輸送の削減	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④リードタイムの短縮	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤物流・ロジスティクス関連投資の削減	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥物流事業者の絞り込みによる取引簡素化	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦物流・ロジスティクスのノウハウの吸収	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑧物流拠点の集約・合理化	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑨情報システムの高度化	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑩自社の経営資源の本業への集中	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑪環境負荷の削減	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑫ネット通販など直接取引の増加への対応	[目的]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[効果]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q19 外部委託への懸念**

当該委託先への委託にあたり、下の各項目のような懸念はありましたか。またそれらの事柄は、実際に問題となっていますか。

	[懸念]	懸念して いなかった	強く懸念 していた
	[問題]	問題は ない	大きな問題 がある
①物流・ロジスティクスのノウハウの喪失	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②特定の委託先への過度の依存	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③委託先からの自社情報の漏えい	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④顧客との関係の希薄化	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤サプライヤーとの関係の希薄化	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥ブラックボックス化による管理の困難	[懸念]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[問題]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q20 外部委託の経営全般の課題への貢献**

当該委託先への委託は、御社の以下のような経営全般の課題に対し、どのくらい貢献していますか。

	貢献していない	大きく貢献している
①商品・サービスの品質向上	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②商品・サービスの開発	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③事業領域の選択と集中	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④業務効率化・生産性向上	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤コスト削減	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥顧客との関係強化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦サプライヤーとの関係強化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑧環境問題への対応	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q21 外部委託への満足度**

当該委託先への委託について、どの程度満足していますか。

	たいへん不満	たいへん満足
①サービスの質	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②サービスの価格	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③トラブルへの対応	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④委託先とのコミュニケーション	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤委託先のスキル・ノウハウ	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q22 委託先の選定と環境経営**

委託先の選定において、委託先の環境経営をどの程度重視していますか。

重視していない	強く重視している
1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q23 委託先の選定と環境への取り組み**

委託先の選定において、委託先における以下の各環境への取り組みをどの程度重視していますか。

	重視していない	強く重視している
①環境関連法規制の遵守	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②環境経営に対する、経営者の主導的な関与	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③環境マネジメントシステムの運用	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④従業員への環境教育	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤グリーン調達への推進	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥環境配慮活動（省エネ、廃棄物削減等）の 目標設定と改善・進展状況	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦内部監査体制 環境情報の公表（環境報告書等）	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q24 環境負荷データの把握**

御社全体の、物流・ロジスティクスによる以下の環境負荷データはどの程度把握していますか。また、物流・ロジスティクスを外部委託した部分についての環境負荷データはどの程度把握していますか。

		把握して いない	ほぼ完全に 把握している
①総エネルギー投入量またはエネルギー効率	[自社全体]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[外部委託]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②資源の循環的利用量または率	[自社全体]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[外部委託]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③温室効果ガス排出量	[自社全体]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[外部委託]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④大気汚染物質（窒素化合物、粒子状物質等） の排出量	[自社全体]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[外部委託]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤廃棄物等総排出量	[自社全体]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
	[外部委託]	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**IV. 物流・ロジスティクスと環境経営について**

**Q25 環境経営の水準**

競合他社と比較して、御社の環境経営はどの程度優れているとお考えですか。

	劣っている	同等	優れている
①全社的な環境負荷削減	1 — 2 — 3 — 4 — 5		
②物流・ロジスティクス部門における環境負荷削減	1 — 2 — 3 — 4 — 5		

**Q26 商取引の適正化の取り組み**

以下のようなグリーン・ロジスティクスの観点からの商取引の適正化をどの程度実施していますか。

	実施して いない	きわめて 積極的に実施
①取引先へのインセンティブ提供等により、 ロットサイズを大きくするよう誘導	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②取引先との協力による、配送頻度、納品回数の削減や、 リードタイムの適正化（延長）	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③返品抑制のため、返品物流費用の有償化や 売買契約の見直し等	1 — 2 — 3 — 4 — 5	



**Q27 環境に配慮した製品開発**

以下のような環境に配慮した商品開発をどの程度実施していますか。

	実施して いない	きわめて 積極的に実施
①包装資材の削減を考慮した製品開発	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②輸送効率を考慮した製品開発	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③荷役・保管・流通加工を考慮した製品開発	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q28 包装の見直し**

以下のような包装の見直しをどの程度実施していますか。

	実施して いない	きわめて 積極的に実施
①包装資材の廃止・節減	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②リユース・リサイクル可能な 包装資材や運搬容器の使用	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③省エネ型、低公害型の包装用機器の導入	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q29 輸配送の見直し**

以下のような輸配送の見直しをどの程度実施していますか。1から5までのスケールの中で最も当てはまる番号を選び、その番号を○で囲んでください。

	実施して いない	きわめて 積極的に実施
①低排出車の積極的導入	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②輸送機器の大型化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③配車の効率化	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④積載率向上（共同配送を含む）	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤帰り荷の確保	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑥輸配送ルートの改善	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑦モーダルシフト	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**Q30 荷役・保管・流通加工の見直し**

以下のような荷役・保管・流通加工の見直しをどの程度実施していますか。1から5までのスケールの中で最も当てはまる番号を選び、その番号を○で囲んでください。

	実施して いない	きわめて 積極的に実施
①省エネ型の建物や空調の使用	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
②商品の返品・廃棄の減少	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
③省エネ型・低公害型マテハン機器の導入	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
④入出荷車両の走行円滑化のためのレイアウト設計	1 — 2 — 3 — 4 — 5	
⑤物流拠点の他社との共同利用	1 — 2 — 3 — 4 — 5	

**V. 自由記述**

Q31 物流・ロジスティクスの外部委託に関する調査研究について、お考えやご助言がございましたら、ご自由にお書きください。

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。



## 初出一覧

- ◇ 第 3 章「日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシングによる効率性と環境負荷の改善」の一部は、敖奇・唐艷林・兒山真也「日本の製造業におけるロジスティクス・アウトソーシングによる効率性と環境負荷の改善」『商大論集』75(1-3), 121-139, 2024 年 3 月 として公刊済みである。
  
- ◇ 第 4 章「自動車普及と給油所数のグレンジャー因果性に関する分析」の一部は、敖奇・兒山真也「自動車普及と給油所数のグレンジャー因果性に関する分析」『運輸と経済』83(11), 98-109, 2023 年 11 月 として公刊済みである。