

エージェントシミュレーションによる トラック運送業における多層取引の研究

Study of multilayer structure market in trucking industry through Agent-based Simulation

川口有彦¹ 倉橋節也¹

Arihiko Kawaguchi¹, Setsuya Kurahashi¹

¹ 筑波大学

¹ University of Tsukuba

Abstract: This paper proposes to develop the BA model as a model describing the transaction relationship network of seller and buyer in the truck transport market. With this model, it is possible to reproduce the multilayer structure of the trading network and the characteristics of small scale enterprise which the actual trucking industry has. In this paper, we examined the effectiveness of the transportation transaction model and the influence of the seasonal demand fluctuation on the transaction network structure and each agent's strategy.

1.はじめに

1.1.研究の背景

近年、EC 市場の成長を背景に日本の物流におけるトラック輸送量は年々増加傾向にある中で、一方、トラックドライバーは不足しており、輸送品質の低下や物流サービスの継続性自体が危ぶまれている。

業界構造の特徴をみると、トラック運送業界は圧倒的に中小・零細事業者が多く、また、大半の事業者が実運送と利用運送の両機能を有し、元請けによる下請けへの運送委託が常態化していることがあげられる。

このような状況から、国土交通省はトラック運送業における多重下請け構造を問題として捉え、荷主と運送事業者双方に働きかけることで、取引適正化を推進しているものの、根本的な解決には至っていない。また、近年の IT 技術の発展に伴い、荷主と物流事業者を高度にマッチング可能とするシェアリングエコノミー型のマッチングサービスも登場しつつあり、業界構造の変容が期待されている。

しかし、物流取引市場は、多数のステークホルダーが相互に関連し、重層化した複雑なネットワーク構造を持つため、市場構造の分析が困難であり、改善効果が期待されている施策は提案されているものの、その効果や波及する影響について十分な分析が行われていない。

1.2.本研究の目的と意義

本研究ではエージェントベースモデリング手法を用いた、成長するネットワークモデルである BA モデルをベースに、事業者間の結びつきや取引関係を記述することで、トラック事業者の輸配送取引モデルを構築した。

しかし、実際の社会では、自社でトラックを抱え、自社便を中心に取引を実行する事業者がいる一方で、自社でトラックを極力持たず、下請けのトラック事業者へ仕事を仲介するだけで生計を立てる水屋運送と呼ばれる事業者も存在する。このように事業者にとって、下請け活用という度合いで異なる戦略をとるエージェントを表現するために、下請け率遺伝子をパラメータとしてエージェントに固有で与え、その値に応じて各エージェントが異なる戦略に基づいて行動するような機能を追加した。また、トラック運送業界の多層化の要因の一つに季節性による物流波動が指摘されていることから、シミュレーションで発生させる総需要について、波動の大きさを調整できる機能を追加した。

これらを用いてシミュレーションを実施し、トラック運送業における多層化取引に関する先行研究で指摘されているいくつかの市場特性について再現性が確認できることを検証する。

本研究の意義は、現在の我が国の物流市場の取引構造をモデル化することにより、法規制やシェアリ

ングエコノミーなどの、日本の物流課題に対して、現在検討されているいくつかの施策の評価、分析するための手段を提案することである。

また、今後検討される、物流市場への改善施策について、共通プラットフォームにより迅速に試行錯誤することで、政策立案と効果予測の速度と効率性および透明性を高めることにある。

2. 先行研究

2.1. 多重下請け構造に関する研究

小野(2008)は、トラック運送業における多層化構造を分析し、各階層での取引の割合や取引量を算出している。また、多層化の要因として、貨物量の波動への対応、営業力の機能補完といった機能を指摘している。一方で、多層化により配送品質の低下や実運送運賃のさらなる低下といったデメリットがあることを指摘している。

中田(2007)は、下請けや傭車といったトラック運送業界の慣習が縦型の重層構造をもたらしている点を指摘した。また、会社は低い収入で経営を維持するために、小規模化、企業数が増加し、縦型構造がさらに進展する懸念を指摘した。

嶋本(2014)は、日本と韓国の比較分析により、トラック運送事業者の運賃や車両台数規模別の営業利益、または平均給与への影響を分析した。

鈴木(2014)は、事業者の規模と取引の流れに着目した what-if 分析により、各階層において、小規模な事業者ほど、営業収入が悪化する傾向を示した。

一方、これらの研究では、解決策の提案にとどまり、その有効性の検証にまでは踏み込んでいない。

2.2. ABM による取引市場の研究

森(2013)は、新規学卒者市場におけるマッチングプロセスの動きに注目し、新規学卒者採用市場をモデル化し、分析している。

池田(2008)は、競争市場形成が困難な分野である防衛関連装置、航空管制装置および宇宙関連装置における政府調達分野において、モデル化を行い、調達価格の低減および企業にとっても適正な年間利益が確保され健全な取引が形成される取引過程を解明した。

3. トラック事業者の輸送取引モデル

ネットワーク成長モデルである BA モデルをベースに、トラック運送業の取引ネットワークと輸送取引を組み込んだモデルをトラック事業者の輸送取引モデルとして構築した。

モデルの実行画面を図 1 に示す。

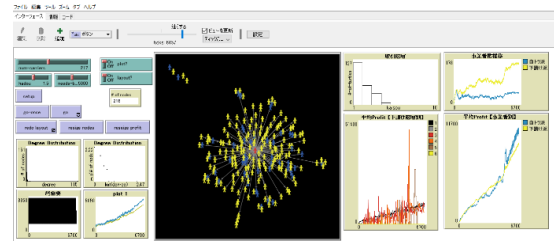


図 1: 輸配送モデル画面

3.1. BA モデル（ベースモデル）

一組のリンクが張られたノードを初期状態として存在する。シミュレーションの 1 試行に対して、新しいノードが生成され、既存のネットワークのノードに対し新たにリンクが張られる。その際、既存のネットワーク内のノードが新しくリンクを受け取る確率は、次式の優先的選択によって定められる。

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j}, \quad k_i: \text{各ノードの次数} \quad (1)$$

優先敵選択により、次数の高いノードは新しいリンクを受け取りやすくなりべき則を持つネットワークに成長する。

トラック事業者の輸送取引モデルでは、BA モデルと BA モデルの拡張である適合度モデルの考え方をうい、トラック事業者間のネットワーク生成の仕組みをモデル化した。

3.2. トラック事業者の輸送取引モデル

3.2.1. モデル概要

輸送取引モデルは、BA モデルをベースに、優先的選択ロジックを修正し、新たに事業者間の輸送取引ロジック、取引によって事業者が成長し再投資を行うロジック、及び一度、構成されたネットワークを一定の確率で剪定する機能を追加した。

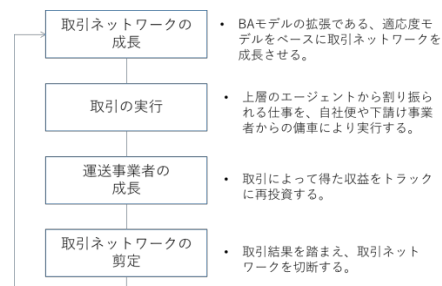


図 2: モデル概要

3.2.2. エージェントと下請け遺伝子

①エージェントの種類

輸送取引モデルのエージェントは「荷主エージェント」と「トラック事業者エージェント」の2種類を設定する。荷主エージェントはモデル内に1つだけ存在し、仕事を生成する。トラック事業者エージェントは下請け遺伝子をランダムで持ち、下請け陰電子に応じて取る戦略が異なる。

②下請け遺伝子

下請け遺伝子は0~1の実数を一様分布に従って各エージェントに与える。下請け遺伝子が1に近づくほど、自社トラックを保有せずに下請けを活用していく戦略をとる。

なお、下請け遺伝子が0.5以上のエージェントは黄色、0.5未満のエージェントは青色で表現する。

3.2.3. 取引ネットワークの成長

BAモデルでは各ノードの次数における優先的選択によりネットワークを成長させるが、本輸送取引モデルでは、各エージェントが持つ信頼性と下請け遺伝子における優先的選択によってネットワークを成長させるモデルとしている。

①信頼性の初期値と更新条件

各エージェントは信頼性の初期値をパラメータとして持ち、次式(2)で与える。信頼性は事業者の規模が大きいほど初期の信頼性が高く、また、下請け戦略をとらず、自社トラックでの配送を志向するほど信頼性が高くなる。

$$\text{Reliability} = \text{trucks} * 10 * (2 - \text{gene}) \quad (2)$$

trucks: エージェントが保有するトラック台数
gene: 下請け遺伝子

また、各エージェントは後述の取引結果によって信頼性を次式のルールで更新し、取引に成功した場合、信頼性が増え、取引に失敗した場合、信頼性が減る。この際、増減する値は、自トラックでの配送を志向する戦略を持つエージェントほど、信頼性が増加しやすく減りやすくする。

(取引に成功)

$$\text{Reliability} = \text{Reliability} + (2 - \text{gene}) \quad (3)$$

(取引に失敗)

$$\text{Reliability} = \text{Reliability} - (2 * \text{gene}) \quad (4)$$

③取引ネットワークの成長

既存のネットワークから新たにリンクを受け取るエージェントを優先的選択により次式のとおりに確率的に選択する。

$$\Pi_i = \frac{r_i g_i}{\sum_j r_j g_j} \quad (5)$$

r_i : 各エージェントの信頼性

g_i : 各エージェントの下請け遺伝子

また、新しくネットワークに加わるエージェントについても優先的選択により次式のとおりに確率的に選択する。

$$\Pi_i = \frac{r_i t_i}{\sum_j r_j t_j} \quad (6)$$

r_i : 各エージェントの信頼性

t_i : 各エージェントが保有するトラック台数

3.2.4. 取引の実行

荷主エージェントが取引需要を生成し、取引ネットワークを通じて、仕事を配賦する。その際、配賦する仕事量はリンクで繋がっている下層のエージェントの信頼性に比例して暗部する。仕事を受け取ったエージェントは、自社のトラックで賄える仕事のみを自社で実行し、賄えない仕事を下請けへ再委託する。仕事を実行した成果としてエージェントは収入を得ることができる。

3.2.5. 運送事業者の成長

各エージェントは実行した仕事によって算出される収入と、保有するトラック台数に応じて算出されるコストをパラメータとして持つ。シミュレーションの各試行において、利益が出た場合は保有トラック台数を増やし、損失を出した場合は保有トラックを減らす。この際、下請け遺伝子が小さいほど、自社でトラックを保有する戦略をとるため、利益が出た際の増車数が大きくなるロジックとする。

また、各エージェントの累積利益がマイナスになった場合、債務超過としてエージェントを倒産させる。

3.2.6. 取引ネットワークの剪定

現実世界を写像する上で、取引ネットワークが成長し続けるモデルは自然では無い。本モデルでは優先的選択により取引ネットワークを剪定する。

4. 輸送取引モデルのシミュレーション結果

エージェント数 300、取引需要のベースラインを 5000、物流波動のパラメータを 1.5 の設定により、3000 試行のシミュレーションを 100 回実施し、3000 試行目におけるトラック事業者間の取引構造について分析を行った。

4.1. 取引階層構造

シミュレーション結果を表 1 に示す。取引階層構造は実態とほぼ近似しており、トラック運送業における取引階層構造を写像できた。

表 1. 取引階層構造の結果

階層	実態※	シミュレーション 結果
元請け	60%	59.9%
1 次下請け	34%	30.3%
2 次下請け	5.4%	8.6%
3 次下請け	0.6%	1.1%
4 次下請け	0%	0.3%

出展：国土交通省資料（2011，n=618）

4.2. 事業者数の時系列推移

自トラック活用戦略を取るエージェントと、下請け活用戦略を取るエージェントを 2 群に分類し、取引ネットワーク上におけるそれぞれの事業者数の時系列推移を図 3 に示す。取引ネットワーク内において徐々に下請け活用戦略を取るエージェントの占める割合が増加していくことが示されており、備車が業界全体で商慣習化している実態が再現されている。

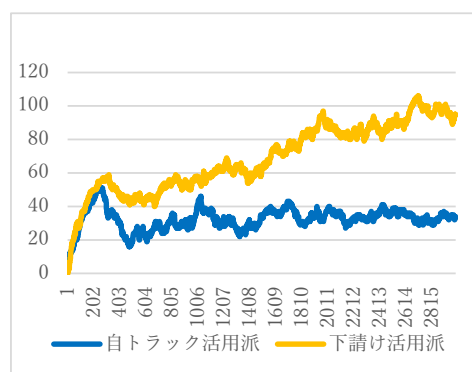


図 3. 事業者数の時系列推移

また、初期値を一様分布によりランダムに与えた下請け遺伝子の分布の変化について図 4 に示す。下請け遺伝子が 0 に近づく程、エージェント数が少なく、1 に近い程、エージェント数が増える傾向が確認できた。3000 回の試行の中で、自トラック活用の戦略を取るエージェントが自然淘汰され、下請けを積極的に活用するエージェントが生き残る結果となった。

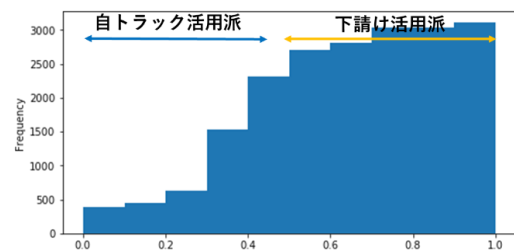


図 4. 3000 試行時点での下請け遺伝子の分布

4.3. 保有トラック数の分布

各エージェントが保有するトラック台数の分布を図 5 に示す。一部のエージェントで 100 台を超えるものの、大多数は 10 台以下の保有台数に留まっている。現実においても、トラック保有台数が 10 台未満の中小零細事業者が全体の 99% を占めることから、妥当なシミュレーション結果であると考えられる。

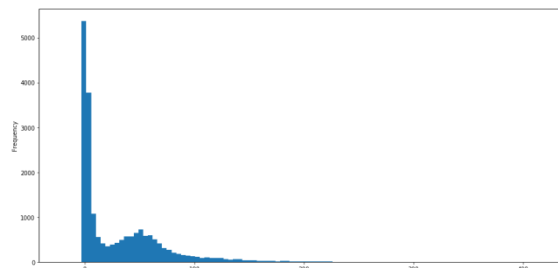


図 5. 3000 試行時点でのトラック保有台数の分布

4.4. 事業収益性の考察

自トラック活用戦略を取るエージェントと下請け活用戦略を取るエージェントを 2 群に分け、それぞれについて、貧富の差を示すジニ係数を比較した。

図 6 に示すとおり、双方とも高いジニ係数であり、事業者間の貧富の差が大きいことを示しているが、下請け活用戦略を取るエージェントの方が、ジニ係数 0.74 とより高く、貧富の差がより大きいことが示唆された。

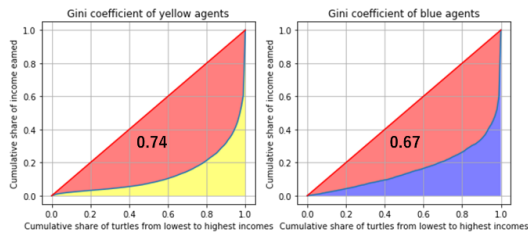


図 6..ローレンツ曲線とジニ係数

4. 5. 物流波動が取引階層に与える影響

次に、物流波動を調整するパラメータを 0,1.5,3 と変化させ、各 100 回ずつシミュレーションを実施した。取引階層と物流波動の関係を図 6 に示す。シミュレーションの結果から、物流波動によって取引階層に与える影響はごく僅かであることが示された。

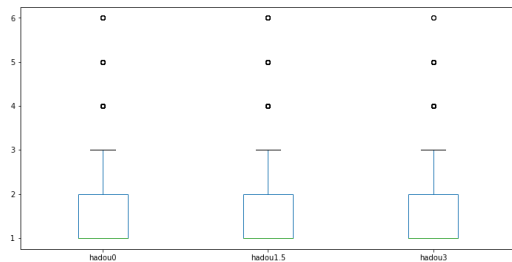


図 7.物流波動と取引階層の関係
(左から hadou:0,1.5,3)

4. 6. 物流波動が債務超過に与える影響

自トラック活用戦略を取るエージェントと、下請け活用戦略を取るエージェントを 2 群に分類し、物流波動と債務超過による倒産の関係を分析した。

図 7 のとおり、波動が無い状態と比べ、波動が大きくなると自トラック活用戦略を取るエージェントは倒産件数が減り、一方、下請け活用戦略を取るエージェントは倒産件数が増える結果が示された。

自トラック活用戦略を取るエージェントは、物流波動のピーク時に大きく収益を上げられることから倒産件数が減少したと考えられる。一方で、下請け活用戦略は、波動に関わらず安定的な収益を上げられるが、物流波動が大きくなると波動の下限で大きく損失を被ることから波動が大きくなることで倒産件数が増加したものと考えられる。

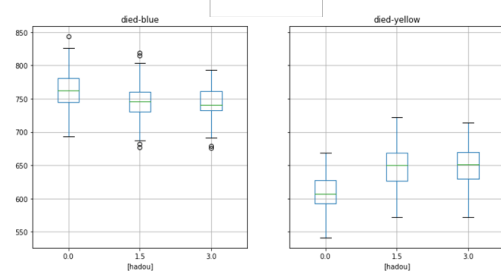


図 8.物流波動と倒産件数の関係

(左：自トラック活用戦略、右：下請け活用戦略)

5. 結果

本研究で提案した輸送取引モデルは、現実社会の複数の特徴と照らし合わせた結果、実社会で示される複数の特徴が再現されており、現実の輸送取引をシミュレーションするモデルとして有効性があると言える。

また、物流波動は直接的に取引階層に与える影響は軽微であるが、各環境下における下請け活用戦略と自社トラック活用戦略の優位性には影響を及ぼすことがわかった。

6. 今後の取り組み

本研究では、実社会のトラック事業者の輸送取引を再現するモデルを構築し、シミュレーションによりモデルの有効性と、物流波動が市場構造に与える影響について検証した。今後は、本モデルを、現在進行形で取り組まれている政策の有効性や物流シェアリングエコノミーなど新しい概念の有効性を検証可能なモデルへ拡張することで、より実社会に還元可能な知見を得ることを目指していきたい。

参考文献

- [1] 小野秀昭,トラック運送業界の多層取引に関する考察,日本物流学会誌,16 号,pp73-80,(2008)
- [2] 中田信哉,貨物自動車運送業界の構造再編,東京経済大学会誌,254 巻,pp65-82,(2007)
- [3] 嶋本宏征,トラック運送産業における多重下請け構造に関する考察,日本物流学会誌,第 22 号,pp149-156,(2014)
- [4] 鈴木重徳,トラック運輸業界における中小事業者の現状把握とその改善手法の提案-What-if 分析による下請け多重構造の定量分析-,日本情報ディレクトリ学会誌,vol12,pp108-117,(2014)
- [5] 生田目章,エージェントシミュレーションによる制度設計,計測と制御,第 43 巻 12 号,pp932-937(2004)

- (ア) 森敬子, エージェントベースシミュレーション
による新規学卒者採用市場における学生行動
の分析,経営情報学会誌,22 巻,pp1-23,(2013)
- [6] 池田明,マルチエージェントシミュレーションによる
開発をともなう政府調達 の制度設計に関する一考察,
情報処理学会論文誌,Vol.49 No.7,pp2731-2740,(2008)
- [7] 中田愛子,トラック運送業の規制と採算性からみた事
業規模水準に係わる考察,物流問題研究,
- [8] 国土交通省・全日本トラック協会,トラック輸送の実
態に関する調査報告書,(2011)
- [9] 国土交通省・全日本トラック協会, トラック輸送事業
の運賃・原価に 関する調査. (2011)