

# 自動交渉プラットフォームを有する 混載マッチングシステムの提案

近藤 愛, 伊加田 恵志

トラック輸送業界では、輸送効率の向上が喫緊の課題となっている。筆者らは特に混載可能な貨物の輸送効率向上に注目し、自動交渉技術を用いて輸送条件の調整を行う混載マッチングシステムの研究を行っている。本稿では、荷主や物流事業者、運送会社などのユーザーが参加する混載マッチングシステムに対し、ユーザーの設定したエージェント同士が輸送に関わる受発注の条件調整を自動で行うための交渉プラットフォーム機能を提案する。また、マッチングの主体とその目的に着目して考案した三つのマッチングモデルを紹介し、それぞれの特徴について考察する。さらに、全体最適モデルと協力ゲームの親和性について述べ、その問題設定を紹介する。

キーワード：自動交渉、協力ゲーム、エージェント、マルチエージェント、最適化、物流

## 1. はじめに

筆者らは、複数の AI が協調・連携する基盤技術の創出により、産業や社会の発展に寄与することを目指して、複数の企業・研究機関などと連携して研究活動を行っている。この取り組みの中では、製造・物流業界でのいくつかの実社会ユースケースにおいて、AI 間連携基盤技術を用いたシステムの実証実験を行う予定である。筆者らは特にトラック輸送の輸送効率向上という課題に注目し、自動交渉技術 [1] を用いて輸送条件の調整を行う混載マッチングシステムの研究開発を進めている。

本稿では、荷主や物流事業者、運送会社などのエージェントが自動で受発注条件の調整を行う自動交渉プラットフォームを有する混載マッチングシステムを提案する。はじめに 2 節において、貨物混載の取り組みの紹介と、効果的な混載の実現に対する課題を述べる。3 節ではこの課題を解決する手段として、自動交渉プラットフォームを有する混載マッチングシステムを提案し、自動交渉技術の簡単な説明を行う。続いて 4 節では、提案システムにおけるマッチング主体とその目的に着目して考案した三つのマッチングモデルの特徴について述べる。また、マッチングや公共財分割などへの応用で知られる協力ゲーム理論 [2, 3] を用いた全体最適モデルマッチングの問題設定を紹介する。

## 2. 貨物混載の取り組みと課題

トラック輸送業界では、トラックドライバーの人手不足や長時間労働などの問題から、限られたリソースでより多くの貨物を運ぶための輸送効率向上が喫緊の課題となっている。国土交通省の自動車輸送統計調査 [4] によると、平成 30 年度の営業車平均積載率（＝輸送トンキロ／能力トンキロ）は 40% を下回っていることがわかる。

輸送効率向上策の一つに、複数社の貨物を 1 台のトラックで輸送する貨物混載が挙げられる。本節ではこの取り組みの例として、物流事業者における混載輸送、荷主企業間での共同配送、求貨求車マッチングを紹介する。

### 2.1 物流事業者における混載輸送

トラック輸送業界では一般に、物流事業者が荷主から輸送の依頼を受け、運送会社などから貨物量や輸送条件に合うトラックや運転手を手配し、輸送履行の責任を負う。ある輸送依頼の貨物量がトラックの最大積載量をおおよそ満たす場合は、手配したトラックをその依頼の単独チャーター便として運行する。一方、それに満たない小さなロットの貨物に対しては、複数の依頼の貨物をまとめて 1 台のトラックに積み、輸送する場合がある。これを混載輸送と呼ぶ。長距離輸送の場合、往路の貨物を降ろしたのち空のまま復路を帰ってくるトラックも珍しくなく、前述の営業車平均積載率を下げる要因の一つとなっている。この場合、復路便の貨物の確保も広義の混載輸送であると考えてよいだろう。

混載輸送における輸送料金は従量・距離課金制であることが多く、荷主の立場ではトラックを定額で単独

こんどう あい, いかだ さとし  
沖電気工業 (株) イノベーション推進センター AI 技術研究  
開発部  
〒 335-8510 埼玉県蕨市中央 1 丁目 16 番 8 号 OKI システム  
センター  
kondou384@oki.com, ikada333@oki.com

チャーターするよりも低いコストに抑えることができる。一方、物流事業者の利益は輸送収益の合計からトラックの手配コストを差し引いたものであるため、物流事業者は、混載によって運行距離・時間あたりにより多くの貨物を運ぶことで利益率を向上させることができる。ただし、効率よく混載できる貨物を探すことは物流事業者側の責任になり、万が一適切な混載対象が見つからなかった場合は積載率が低いままのトラックを運行させることになる。荷主とは混載輸送の料金で既に契約済みのため、差額の損失分は物流事業者が補填することとなる。

混載に適した貨物が見つからない場合、条件の近い輸送依頼に発着日時などの変更を申し入れることで混載を成立させる方法も考えられる。しかし荷主にとっては直前に電話で条件調整の打診を受けることは望ましくなく、一般の物流事業者では、繁忙期を除いて条件交渉・輸送辞退の習慣がない。このように、荷主の要求にいかに応えるかという点でサービス品質を競う業界文化も、輸送効率が上がらない理由の一つと考えられる。

## 2.2 荷主企業間での共同配送

近年、荷主企業間で長期的な輸送協力の関係を築く取り組みが活発化している。たとえば、サンスター、キューピー、JPRの3社は、関西と九州を繋ぐ輸送ルートでの共同輸送を2019年から始めている[5]。この輸送の往路では、軽量だが空間を広く占めるオーラルケア商品と体積に対して重量の大きい調味料を組み合わせることで、コンテナを効率よく利用する。復路のコンテナはJPRのパレット回収に利用され、往復便ともに高い輸送効率を実現する。このような取り組みは、あらかじめ継続的な輸送需要を見込む企業同士が定時・定ルートの共同輸送を行う場合には効果的である。一方、輸送需要の発生ごとに集配日時や集配場所、混載条件を定める必要がある非定時・非定ルートの輸送は、あらかじめ共同輸送を行う相手を決めておくことができないため、協力関係の構築が難しい。

## 2.3 求貨求車マッチング

非定時・非定ルート輸送の効率向上に寄与する取り組みの一つが、求貨求車サービスである。このサービスは、トラックを探す荷主、貨物を探す物流事業者・運送会社が互いに情報を提供することで、トラックと貨物の適切なマッチングを行うサービスである。求貨側のユーザーは、全く用途が決まっていない空のトラックのほか、貨物量が不十分な既存計画のトラックの空きスペースもマッチングに出すことができる。したがっ

て、前述の物流事業者内で貨物の混載対象が見つからない場合、このようなサービスに計画の情報を提供し、混載貨物の募集を行うことも多い。

求貨求車マッチングサービスは、業種や荷物種別を限定せず、車や貨物を求める幅広いユーザーをもち、より多くのバラエティに富んだ混載資源を集めうるという特徴をもつ。また、マッチングの際に一般の物流事業者では通常行われない集配日時・輸送条件・輸送料金などの交渉が前提とされているため、輸送条件の柔軟性が高まり、輸送効率向上につながりやすい。

日本には水屋と呼ばれる仲介業が古くからあり、顧客が電話で貨物や車輛の手配を依頼すると、水屋のもつ車輛・貨物情報の中から条件に合いそうなものを選んで依頼者の代わりに交渉し、マッチングが成約すれば輸送料金の一部を収益とするサービスを提供していた。文献[6]によると、2000年前後にはインターネットを利用した求貨求車マッチングサービスが数多く生まれ、そのマッチング方法はさまざまであった。たとえば、ユーザーが自らマッチング相手を検索する掲示板型、公開された輸送依頼に対して物流事業者などが輸送入札を行うプライスダウン・オークション型、サービス企業の従事者がマッチング候補を探索して荷主・車輛双方に条件調整を行う仲介型、一般の物流事業者と同様に配車マンが経路まで考案する配車サービスなどである。しかしこれらに共通する課題として、成約前の条件調整・交渉が挙げられた。どのサービス形態においてもシステム内で一気に通貫的に成約へ至ることは難しく、マッチングの候補を発見したら、ユーザー間、もしくはサービス従事者・ユーザー間で電話を繋ぎ、細かい輸送条件や輸送価格などの交渉を行う。この形態では物流事業者におけるシステムチックな計画立案よりも混載実現までの人的コストが高く、特に現在も主流の仲介型サービスにおいては、従事者の裁量に任された属人的な業務になりがちである。このような理由から、求貨求車マッチングサービスを用いて輸送効率を向上させるためには、これに付帯する条件調整の属人性を解消し、省力化・効率化することが効果的と考えられる。

## 3. 提案システム概要

前述のとおり、個々の物流事業者における混載では積載効率の担保が難しい。一方、個社の壁を越えて業界横断的な輸送効率向上を図るためには、幅広く混載をサポートする求貨求車マッチングにおいて、条件調整の省力化・効率化を進めることが課題となる。この



図 1 相互提案イメージ

問題を解決する手段として、筆者らは自動交渉プラットフォームを有する混載マッチングシステムの構築を提案する。このシステムでは、ユーザーの設定した交渉エージェント同士がユーザーの代わりに自動で条件調整を行うことで、効率的に求貨求車・混載マッチングを成立させる。

### 3.1 自動交渉とは

自動交渉はマルチエージェントシステムの 1 モデルであり、ゲーム理論や人工知能の分野からも研究されている [1]。このモデルでは、複数のエージェントが互いに合意可能な結論 (outcome) を探索することを交渉と呼ぶ。交渉に参加するエージェントの間では、設定された交渉プロトコルに則って、各エージェントに与えられた効用関数・戦略に従った相互作用が働く。代表的な交渉プロトコルはいくつか存在するが、本稿では、図 1 のようにエージェントが互いに提案を生成し送受信する Alternating Offers Protocol [7] を想定する。この交渉プロトコルは、自動交渉エージェントの交渉能力を競う競技会 ANAC (Automated Negotiating Agents Competition)[8] でも採用されている。

### 3.2 戦略と効用関数

ユーザーは、自分の代わりに交渉を行うエージェントに、よりよい結論にたどり着くための戦略と自身の効用関数を与える。戦略には、「相手から受信した提案に合意するべきか」を判断する受容戦略や、「次にどのような提案を行うべきか」を判断する提案戦略などがある。エージェントはこれに基づいて、相手からの提案に合意、または別の提案の生成を行って相手に送信する。

ユーザーの好みや価値観を定量化したものを効用値と呼び、与えられた条件に対する効用値を計算するための関数を効用関数と呼ぶ。商取引に関する交渉の場合、ユーザーは、各条件を受け入れた場合の利益・損害可能性を考慮して効用関数を設計する必要がある。たとえば混載輸送の受発注交渉であれば、物流事業者のエージェントの効用値は「自社の計画 A に貨物 a を追加した場合の収益はいくらか」のように算出するこ

とが考えられる。同様に荷主のエージェントであれば、「部品 b を 10 日の午後に発送できるか」「13 日に到着するとその後の生産工程に支障はあるか」のように考える。なお、この計算に利用する既存計画の収益・チャーター料金・発送スケジュール・生産計画などの情報をすべて交渉プラットフォーム上で管理することは現実的でない。したがって提案システムでは、ユーザーがエージェントに効用関数そのものを与えるのではなく、エージェントがユーザーの社内システムへ効用値を問い合わせ、回答された値を元に行動を選択することになる。

ユーザーの特性と、そのエージェントのもつ戦略・効用関数には依存関係があると考えられる。たとえば、ATM のような精密機器の輸送を依頼する荷主は、輸送中に貨物が故障することにより大きな損害を被る可能性があるため、一般の貨物と比べてより厳格に輸送品質の担保を求める。したがって、そのエージェントが参照する効用関数は（たとえ価格の減少が伴っていたとしても）、希望の輸送条件が満たされない場合は極めて小さい値を返すことになる。ほかにも、価格に強くこだわる効用関数や集配時刻に厳格な効用関数などがユーザーの特性に応じて構築され、多様なエージェントによる交渉が行われる。

交渉相手の効用関数や合意空間の推測も、効率的な合意点探索のために重要な機能である。交渉のシンプルな目標は、「相手が合意しうる点の中で、自身の効用値が最も高い点で合意する」ことであるが、各エージェントは交渉相手のエージェントの効用関数を直接観測できないため、相手から受信した提案の内容を元に相手の効用関数を推測することになる。利益の相反しうる競技交渉においては、自己の効用関数を正確に推測されることが、自身にとって不利な結論に到達する要因ともなりうるが、提案システムにおける交渉のような受発注取引においてはその限りではない。特に、「価格にこだわりがある」「集配時刻にこだわりがある」「輸送品質にこだわりがある」といった特性が判別できると、相手が受け入れやすい提案の探索が容易になり、

効率的な合意形成に繋がると考えられる。ただし、効用関数もしくはその計算に利用する情報にユーザーやその顧客の営業情報などが含まれる場合は、戦略立案時に留意する必要がある。

### 3.3 自動交渉適用のメリット

輸送受発注の合意形成のためには、集配日時・輸送料金・輸送条件（梱包方法・輸送温度帯・積み下ろしなどの付帯作業有無・運転者スキルなど多岐に渡る）などの一つ以上のパラメーターについて、調整が必要となる。調整対象の各パラメーターを交渉論点と呼ぶ。また、二つ以上の交渉論点に関する交渉問題を複数論点交渉問題と呼ぶ。現実の複数論点交渉問題では交渉論点同士が相互依存関係にある場合が多く、このことが問題をより複雑にしている。論点間の依存関係とは、たとえば「配達日を1日遅らせれば、さらに安い価格でも輸送できる」のようなものを指す。論点間に依存関係をもつ複数論点交渉問題については、2000年代以降いくつかの研究が行われている [9, 10]。

このような複雑な交渉を人手で行う場合、従事者ごとの知識や交渉手腕にバラツキがある・1回の交渉の中での合意点の探索範囲や提案回数に限界があるといった課題が存在する。これに対して自動交渉を用いた場合、単位時間あたりに人よりも多くの探索を行い、判断・提案を繰り返すことが可能で、適切な戦略と効用関数を与えれば、効率的によりよい合意点を発見することができる可能性がある。

そのほか、自動交渉を取り入れるメリットとして、24時間いつでも交渉を開始する・複数の受発注先候補と同時並行で交渉する・1度決裂した相手と別の条件で再交渉を行うなど、現在の商習慣に見られない効率的な条件調整が実現可能であることが挙げられる。本稿で扱う混載マッチングでは、成約率向上と個々のマッチングにおけるユーザー効用の向上に貢献すると考える。

## 4. マッチングモデル

交渉プラットフォームを有する混載マッチングシステムの設計に際し、マッチング主体とその目的に注目

して三つのマッチングモデルを検討した。

### 4.1 自律探索モデル

はじめに紹介する自律探索モデルは、これから挙げる3モデルの中で最もシンプルなメカニズムをもつ。このモデルでは、システムの各ユーザーが自分で交渉相手を見つけて交渉を開始する。図2において、貨物の輸送を希望する荷主ユーザーは、希望の集配日時・地域・貨物量・輸送条件などの情報をシステムに登録する。この情報は表1に示す掲示板のような形で物流事業者ユーザーに対して公開される。物流事業者はこの掲示板を参照してマッチング候補となる輸送依頼をピックアップし、その輸送依頼を投稿した荷主に対して交渉の打診を行う。このピックアップは、2.3節で述べた掲示板型と同様ユーザー自らが（人力で行ってもよいが、どのような依頼をマッチング候補として選ぶか・どのマッチング候補との交渉を優先するかという戦略をエージェントに与えることで、候補探索ごとエージェントに任せるという方法も考えられる。この場合、前述のような人間の稼働時間に縛られない条件調整が可能となる。

マッチングの候補が複数ある場合は、複数のエージェントと並列に交渉する相見積交渉を設定できる。図2では、物流事業者であるロジ2は荷主1、荷主2の中からより良い合意を得られる荷主を探索しているが、その候補である荷主1も、同じように複数の物流事業者を比較する相見積交渉を行っている。双方が自身の戦略と効用関数に従って、自由にマッチング候補を探索し、相見積交渉を行って合意を形成するこのモデルでは、戦略と効用関数の設計が、導き出す合意点（に対

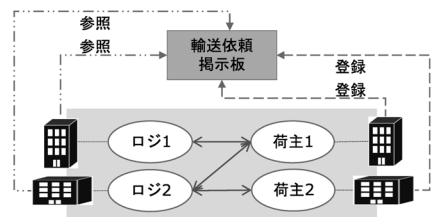


図2 自律探索モデル

表1 輸送依頼掲示板

| 集荷日時      | 配達日時       | 集荷地域  | 配達地域   | 貨物重量    | 貨物内容 |
|-----------|------------|-------|--------|---------|------|
| 8月1日 PM   | 8月2日 11:00 | 埼玉県蕨市 | 大阪府大阪市 | 500kg   | 加工食品 |
| 8月1日 8:00 | 8月1日 PM    | 埼玉県蕨市 | 東京都港区  | 200kg   | 日用品  |
| 8月1日 AM   | 8月1日 PM    | 埼玉県蕨市 | 群馬県高崎市 | 1,000kg | 精密機器 |
| ...       | ...        | ...   | ...    | ...     | ...  |

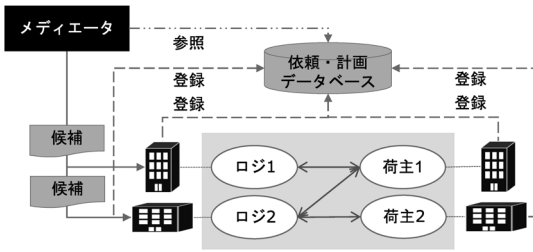


図3 仲介モデル

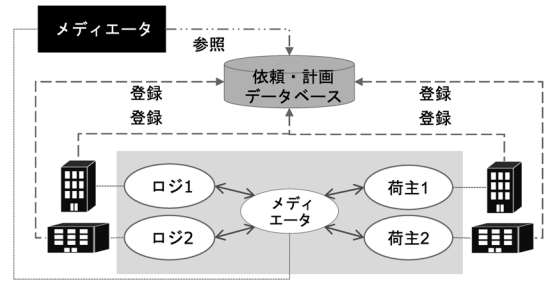


図4 全体最適モデル

する自身の効用値)を大きく左右する。このことから、自律探索モデルは、受発注における自由競争の性質を強くもつモデルと言える。

#### 4.2 仲介モデル

図3に示す仲介モデルは、自律探索モデルにおけるマッチング候補の探索を、メディエーターと呼ばれるエージェントが手助けするモデルである。メディエーターはシステムに属する中立的なエージェントで、各ユーザーの特性や効用関数を推測し、ユーザーにとってよい合意点にたどり着けそうなマッチング候補を提案する。このモデルでは、荷主だけでなく物流事業者のユーザーも、マッチングを希望する輸送依頼の情報をシステムに登録する。メディエーターはこれらの情報が蓄積されたデータベースを参照して、マッチング候補を探索する。このデータベースは自律探索モデルにおける掲示板にあたるものだが、ここではメディエーターのみが参照可能とする。輸送計画・依頼には集配先住所や貨物内容などユーザーの顧客情報・営業情報を類推しうる情報が含まれているため、自律探索モデルの掲示板のように不特定多数のユーザーに対して詳細に公開することは望まれない。しかし、公開される情報の粒度が荒くなると、適切なマッチング相手に発見されるためのコストが上がり探索効率の低下に繋がる。仲介モデルではこれを避けるため、メディエーターと限られたマッチング候補のみが参照することを前提に、輸送計画・輸送依頼情報の提供を呼び掛ける。メディエーターはそのデータベースの中から、マッチング可能性が高い候補のみを選んで各ユーザーへ情報提供する。メディエーターから情報を提供された各ユーザーのエージェントは、自律探索モデルにおける交渉と同様に相見積などの並列交渉を行い、より自分の効用を満たす相手と合意する。

仲介モデルにおけるユーザーは、自らマッチング候補の探索を行う必要がない。したがってユーザーは、探索機能や戦略の作りこみを行うことなく交渉相手を見つけることができる。また、メディエーターは各エー

ジェントの過去の成約履歴や並行して行っているほかの交渉の内容なども参照可能なため、これらを併せて分析することで、当事者同士では見つけ出しづらいマッチング候補も発見できる可能性がある。

#### 4.3 全体最適モデル

最後に挙げる全体最適モデルは、前述の2モデルとは異なる特徴をもつ。すなわち、システム全体、または社会全体で協力して達成すべき目標があり、各ユーザーはその実現のために必要な条件調整を行うモデルである。混載マッチングシステムにおける社会的目標とは、前述のとおり「輸送効率の全体最適化」である。このモデルにおけるメディエーターは、各ユーザーが合意可能な空間の中で、システム全体の輸送効率が最大となるようなマッチングを実現することを目指す。ここで、あらかじめ提供された情報からすべてのユーザーの合意空間を把握することはできないため、自動交渉による条件調整を通して合意空間を探る必要がある。ここではほかのモデルと異なり、ユーザーのエージェント間での直接交渉は行われず、その代わりに、図4に示すように、メディエーターが各ユーザーのエージェントとそれぞれ交渉する仲介プロトコルをとる。

前述のとおり、仲介モデルと全体最適モデルにおけるメディエーターは全く異なる目的をもつ。仲介モデルにおけるメディエーターは、ユーザーを助け、ユーザーの喜ぶようなマッチング候補を提案する一方、全体最適モデルにおけるメディエーターは、たとえそれが各ユーザーの満足度を下げることになっても社会公益性の高いマッチングの成立を優先する。このようなモデルのシステムにユーザーを定着させるためには、ユーザーが社会公益に貢献するようなインセンティブの設計が必要となる。

##### 4.3.1 協力ゲームによる最適化

全体最適モデルは、システム全体では社会公益を追求しつつ、個々のユーザーの協力合理性を担保することが望ましいため、協力ゲーム理論と親和性があると考

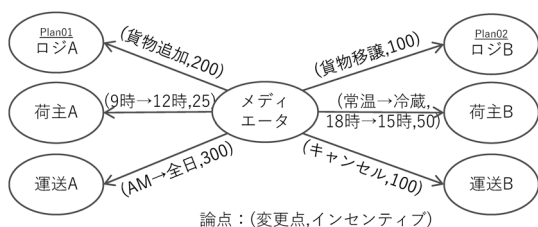


図5 複数論点交渉イメージ

表2 プレイヤー種別変更種類

| プレイヤー種類 | 変更種類             |
|---------|------------------|
| 物流事業者   | 貨物追加, 貨物移譲       |
| 荷主・荷受   | 集配時刻変更, 輸送条件変更   |
| 運送会社    | チャーター時間変更, キャンセル |

えられる。筆者らは、全体最適モデルにおけるメディーエーターが行う混載マッチングを特性関数形の提携構造形成問題 [3] として定式化し、マージ構造形成問題と名付けた [11, 12]。この問題では、貨物量が不十分な複数の輸送計画に対して、輸送トンキロの合計が最小となるマージ（混載）の組み合わせを示す最適マージ構造を求める。このために、計画の集合である各提携に対して、それらを混載して運んだ場合に削減できる輸送トンキロを特性関数値として置いた。この最適マージ構造に含まれる混載輸送を実現するためには、マージ前後の変更点に関する合意形成の必要がある。メディーエーターはこの「変更点」と「インセンティブ」の組を論点とした図5のような複数論点交渉により、関係するユーザーのエージェントと合意を形成する。以降、本モデルを提案モデルと呼ぶこととする。

提案モデルで想定される変更点の例を表2に示す。たとえば、複数の計画をマージして新しい計画を生成する場合、再受注先となる1社以外の物流事業者は、自社計画の貨物を手放す必要がある。そのため、物流事業者には、追加貨物の情報を含めた貨物追加オファーと貨物移譲のオファーが必要になる。貨物の荷主や荷受には、集配時間や輸送条件の変更オファーが想定される。また、計画の貨物量が増えたとトラックの確保時間が長くなる場合があるため、運送会社に対しては、チャーターキャンセルのほかに、チャーター時間帯変更のオファーが必要になることも考えられる。

提案モデルでは、このような変更点へ合意するインセンティブとして、余剰利益の分配を行う。金銭的なインセンティブの原資としては、マージにより利用されなくなったトラックのチャーター費用や、受注先の変更された貨物の輸送費用などが考えられる。また、

マージにより削減されたCO<sub>2</sub>排出量などを、社会貢献ポイントなどと称して還元する仕組みも考えられる。これらのインセンティブは、混載実現への貢献度などによって公平・公正に分配されることが望ましい。ここで、混載協力者としてはそれぞれ複数の物流事業者・荷主・荷受・運送会社が考えられるが、協力者の役割と属する輸送計画が異なる場合、その貢献度を一律に評価することが難しい。これに対して筆者らは、はじめに提携に含まれる各輸送計画の貢献度によって輸送計画ごとの分配を算出し、次に輸送計画内で各協力者の貢献度によって協力者ごとの分配を算出するという、2段式インセンティブ分配を提案した [11]。

## 5. おわりに

本稿では、トラック輸送業界が抱える輸送効率向上という課題に対して、複数論点交渉によって条件調整を行うための自動交渉プラットフォームを有する混載マッチングシステムを提案した。また、このシステムのモデルとして検討した自律探索モデル、仲介モデル、全体最適モデルの特徴を述べた。自由競争を強く表現する自律探索モデルに比べ、仲介モデルでは、エージェントの探索能力の差がマッチング結果にもたらす影響が少ないと考えられる。一方、全体最適モデルでは個々のユーザーの効用よりもシステム全体の公益性を重視するマッチングが望ましいため、ユーザーを公益的な行動へ誘導する設計が必要である。このため本稿では、協力ゲーム理論による最適化の例を紹介し、インセンティブ設計の重要性を述べた。

今後は各モデルの実装・評価を進め、前述の仮説を検証するとともに、モデルごとの性質を比較評価するための適切な指標の検討を進めていく予定である。

**謝辞** 本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP/ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術」（管理人：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）によって実施されました。

## 参考文献

- [1] 伊藤孝行, “マルチエージェントの自動交渉モデルとその応用,” 情報処理, **55**, pp. 563–571, 2014.
- [2] 岡田章, 『ゲーム理論 [新版]』, 有斐閣, 2011.
- [3] 横尾真, 岩崎敦, 櫻井祐子, 岡本吉史, “計算機科学者のためのゲーム理論入門シリーズ第5回 協力ゲーム,” コンピュータソフトウェア, **30**, pp. 33–51, 2013.
- [4] 国土交通省, 自動車輸送統計調査, 2019.
- [5] サンスター株式会社, 「サンスター, キュービー, 日本パレツ

トレンタル 3 社共同輸送を開始」, <https://www.sunstar.com/jp/newsroom/news/20190717112132/> (2020 年 7 月 30 日閲覧)

- [6] 内田三知代, “求貨求車・有力サイトを検証する,” 月刊ロジスティクス・ビジネス, 2001 年 5 号, pp. 28–33, 2001.
- [7] A. Rubinstein, “Perfect equilibrium in a bargaining model,” *Econometrica*, **50**, pp. 97–109, 1982.
- [8] 藤田桂英, 森頭之, 伊藤孝行, “ANAC: Automated Negotiating Agents Competition (国際自動交渉エージェント競技会),” 人工知能, **31**, pp. 237–247, 2016.
- [9] 服部宏充, 伊藤孝行, M. Klein, “非線形効用関数をもつエージェントのためのオークションに基づく交渉プロトコル,” 電

子情報通信学会論文 D, 情報・システム, **89**, pp. 2648–2660, 2006.

- [10] 伊藤孝行, M. Klein, “多論点交渉問題のための GA に基づくエージェント間の合意最適化機構,” 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2009 (JAWS2009), 2009.
- [11] 樋田愛, 伊加田恵志, “協力ゲームを用いた輸配送計画最適マージ問題定式化,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2020 年春期研究発表会アブストラクト集, pp. 322–323, 2020.
- [12] 樋田愛, 伊加田恵志, “協力ゲーム, 複数論点交渉を用いた輸配送計画マージ方式の提案,” 人工知能学会第 34 回全国大会 (2020), 2020.