

## 自動交渉を用いた求貨求車マッチングにおける選好の異なる運送会社の成約傾向

沖電気工業株式会社 \*近藤 愛 KONDO Ai  
 沖電気工業株式会社 伊加田 恵志 IKADA Satoshi  
 沖電気工業株式会社 奥谷 大介 OKUYA Daisuke

## 1. はじめに

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おり、この解決策の1つが求貨求車サービスである。求貨求車とは、貨物を持つ荷主と空き荷台を持つ運送会社が互いに情報を提供することで、貨物と車輛の適切なマッチングを図るサービスである。しかし、荷主と運送会社の間での条件調整に手間がかかること、各利用者がオンデマンドにマッチング相手を探索する仕組みであることから、安定的によりマッチング相手を獲得し続けることが困難である。そこで筆者らは、同日・同路線の求貨・求車依頼を一定量蓄積可能と仮定し、マッチング候補となる全ての求貨依頼・求車依頼について自動交渉[1]で条件調整を行った後、その交渉結果に基づいた最適なマッチングを算出する方式を提案している[2]。

求貨求車サービスでは、マッチング率の向上と同時に、利用者満足度の高い受発注条件で成約することが望まれる。しかしこのサービスを利用する運送会社は、ドライバの拘束時間が短い貨物を好む場合や、輸送料金の高い貨物を好む場合など、多様な選好を持つことが想定される。利用者の選好はマッチング率や成約傾向に影響を及ぼすと考えられるため、選好の分布に対する成約傾向の検証を行う必要があると考えた。

本稿では運送会社の選好を5タイプ想定し、いずれか1タイプの運送会社しか存在しない場合と5タイプの運送会社が混在する場合のマッチング結果をそれぞれ評価・検証する。

## 2. エージェントの効用関数設計

本実験では荷主エージェントと運送エージェントの間で集荷時刻・配送時刻・輸送料金を論点とした自動交渉を行うため、荷主エージェント $s$ の効用関数 $f_s$ を以下のように設定する。

$$f_s(t_{pick}, t_{deli}, p) := k_{s,t_{pick}} + k'_{s,t_{deli}} + l(p).$$

ただし、 $k_{s,t_{pick}}$ は集荷時刻 $t_{pick}$ に対する荷主エージェント $s$ の集荷時刻効用値、 $k'_{s,t_{deli}}$ は配送時刻 $t_{deli}$ に対する荷主エージェント $s$ の配送時刻効用値、 $l$ は輸送料金 $p$ に対して単調に減少する輸送料金効用関数を表す。

次に運送エージェントの効用関数について述べる。選好タイプが $r$  ( $r \in \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ ) である運送エージェントの効用関数 $f_r$ を下記に示す。

$$f_r(t_{pick}, t_{deli}, p) := \begin{cases} -\infty & (\text{集配不可の場合}) \\ \alpha_r g(t_{pick}, t_{deli}) + \beta_r h(p) & (\text{その他}) \end{cases}$$

表 1: 交渉論点と値域

論点	値域
集荷時刻	{13:00, 13:30, ..., 18:30}
配送時刻	{6:00, 6:30, ..., 12:30}
輸送料金	$N_{[35000, 70000]}$

表 2: 運送エージェント発生数

	0	0.25	0.5	0.75	1
試行 1	100	0	0	0	0
試行 2	0	100	0	0	0
試行 3	0	0	100	0	0
試行 4	0	0	0	100	0
試行 5	0	0	0	0	100
試行 6	20	20	20	20	20

ただし、 $\alpha_r = r$ ,  $\beta_r = 1 - r$  であり、 $g$ は集荷時刻 $t_{pick}$ かつ配送時刻 $t_{deli}$ で輸送する場合の拘束時間に対して単調に減少する拘束時間効用関数、 $h$ は輸送料金 $p$ に対して単調に増加する輸送料金効用関数を表す。また集荷不可とは、時刻 $t_{pick}$ での集荷、または時刻 $t_{deli}$ での配送に対応できない場合を指す。

効用関数 $f_r$ は集荷時刻・配送時刻・輸送料金を引数とし、その運送会社にとって望ましい入力値であるほど大きい値を返す。また、 $r = 0$ は輸送料金のみを用いて評価する選好、 $r = 1$ は拘束時間のみを用いて評価する選好、 $r = 0.25, 0.5, 0.75$ はそれぞれ拘束時間と輸送料金の評価の重みが異なる選好を表す。

## 3. 実験

## 3.1 実験 1: 自動交渉

自動交渉シミュレータ NegMAS<sup>sl</sup>上に荷主・運送エージェントを実装し、交渉結果の傾向を運送会社の選好タイプごとに分析する。本シミュレーションに用いる交渉論点と値域を表1に示す。いずれの荷主・運送エージェントも譲歩姿勢が消極的なBoulware型<sup>2)</sup>の戦略を与えており、シミュレーションのステップ数は200である。 $\forall r \in \{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ に対し、下記の手順に沿って1回ずつ実験を行う。

- ① 集配日・集配地域が同一である求車依頼 50 件、求貨依頼 100 件を6セット入力する。
- ② 各求車依頼に対して、効用関数 $f_s$ を与えた荷主エージェントを生成する。各求貨依頼に対して、効用関数 $f_r$ を与えた運送エージェントを生成する。
- ③ 各セットに対し、貨物重量が空き容量以下である求車・求貨依頼の組み合わせを全てマッチング候補として抽出する。

- ④ 未交渉のマッチング候補を1つ選び、対応する荷主・運送エージェントの間で交渉を実行する。合意した場合はその結果を、決裂した場合はその旨を記録する。
- ⑤ 未交渉のマッチング候補がなくなるまで④を繰り返す。

### 3.2 実験2：求貨求車マッチング

実験2では、荷主エージェントと運送エージェントの自動交渉後に、その結果を入力とした求貨求車マッチングを行う。この際、いずれか1タイプの選好の運送会社しか存在しないと仮定した場合と、5タイプの選好の運送会社が混在する場合を想定し、運送タイプの偏りが成約傾向に及ぼす影響を分析する。表2の試行1~6について、下記の手順に沿って1回ずつ実験を行う。

- ①~⑤ 実験1と同様である。ただし②で効用関数 $f_r$ を与える際は、各タイプの運送エージェントの数が表2に従う。
- ⑥ 各エージェントは自身が行った全ての交渉の結果を自身の効用値順に並べ、マッチング相手に関する選好順序のリストを作成する。
- ⑦ 各セットに対し、荷主エージェントと運送エージェントの安定マッチング[3]を行う。

## 4. 実験結果と考察

### 4.1 実験1の結果

実験1の交渉結果における拘束時間増加量、輸送料金、荷主効用値の平均値を表3左に示す。拘束時間効用関数の重み $\alpha_r$ が大きい運送エージェントほど拘束時間増加量の短い集配時刻で合意し、輸送料金効用関数の重み $\beta_r$ が大きい運送エージェントほど高い輸送料金で合意していることが分かる。また、 $\alpha_r$ の小さい運送エージェントほど、その交渉結果に対する荷主エージェントの効用値が低いことが分かる。

### 4.2 実験2の結果

実験2の結果を表3、表4に示す。表3右は、試行6のマッチング結果における、運送タイプ別の拘束時間増加量、輸送料

表3：実験1、2結果

選好タイプ	交渉結果			マッチング結果 (試行6)		
	時間	料金	荷主	時間	料金	荷主
0	327	52998	18.3	301	65310	16.8
0.25	324	52455	18.4	309	62000	17.1
0.5	314	51145	18.8	277	57764	18.2
0.75	298	48335	19.6	256	48107	20.1
1	266	41104	21.7	206	36586	24.5

表4：実験2結果

選好タイプ	成約率[%]		運送		荷主	
	単独	混在	単独	混在	単独	混在
0	40.8	35.0	72.9	86.6	17.4	16.8
0.25	41.2	28.3	72.0	75.1	17.6	17.1
0.5	41.2	30.0	70.9	68.7	17.9	18.2
0.75	41.2	35.0	72.2	65.2	19.1	20.1
1	40.3	77.5	82.7	79.4	24.1	24.5

金、荷主効用値の平均値である。網掛け部分を除いたほとんどの項目で実験1と同様の傾向が見られる。表4では、いずれかのタイプの運送エージェントしか発生しない場合(試行1~5)と、5タイプが混在する場合(試行6)の、タイプ別のマッチング成約率、マッチング結果に対する運送・荷主エージェントの平均効用値を比較している。マッチング成約率は、単独発生を試行ではいずれのタイプの運送も40%程度であるのに対し、タイプ混在の試行ではタイプ1のみ大きく向上し、その他のタイプは低下している。運送効用値に注目すると、タイプ0, 0.25はタイプ混在の試行でより大きく、タイプ0.5, 0.75, 1は単独の試行でより大きい。荷主効用値には全く逆の傾向が見られた。

### 4.3 考察

実験1, 2の結果より、今回設計した5つの効用関数は、自動交渉だけでなく交渉結果を用いた安定マッチングの成約結果においても、運送会社の各選好の特徴を概ね表現できていると考えられる。また実験2の結果より、輸送料金を無視して拘束時間のみを評価する運送会社は他タイプよりも成約しやすく、輸送料金をより重く評価する運送会社ほど成約した荷主の効用値が小さくなる傾向にあるが、これは輸送料金に関する選好が荷主と運送会社の間で競合するのに対し、集配時刻に関する選好は独立であるためと考えられる。

### 5. おわりに

本稿では、拘束時間と輸送料金に対して異なる選好を持つ5タイプの運送会社の効用関数を設計し、この効用関数を用いた自動交渉・安定マッチングは、選好と概ね矛盾しない結果が得られることシミュレーションによって示した。また、運送会社のマッチング成約率や成約結果は、同じマッチングに参加する他の運送会社の選好タイプに影響を受ける可能性があることを示した。今後は更に多様な選好を持つ運送エージェントを設計するとともに、安定マッチング以外の求貨求車マッチングの検討を行う予定である。

### 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] 近藤愛, 伊加田恵志, “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” オペレーションズ・リサーチ, 66(1), pp. 18-24, 2021.
- [3] 宮崎修一, “安定結婚問題” 電子情報通信学会誌, 88(3), pp. 195-199, 2005.

\*1 <https://github.com/yasserfarouk/negmas>

\*2

<http://www.yasserm.com/negmas/api/negmas.sao.AspirationNegotiator.html>