

# 経路選択のための予測市場システムの性能に 情報の分布が与える影響

The Influence of Information Distribution on the Performance of  
Route Selection Prediction Market System

別府 桂介\*1 野中 朋美\*2 水山 元\*3  
Beppu Keisuke Nonaka Tomomi Mizuyama Hajime

\*1\*2\*3 青山学院大学  
Aoyama Gakuin University

When we face a problem which can be captured as a shortest path problem, it is not always straightforward to resolve it due to the limit of available information on the topology of the network as well as the weight of each arc. Thus, the authors proposed a prediction market approach to recommend appropriate paths by supplementing the lacking information on the conditions with collective intelligence. This study conducts laboratory experiments to investigate the performance of the route selection prediction market system under different information distribution.

## 1. はじめに

個人が生活を送る中で、また、企業が事業を営む中で目的地までの最短経路を知りたいことがある。最短経路問題は Dijkstra 法 [1] など既存のアルゴリズムを用いれば比較的容易に解くことができる。そうしたアルゴリズムを適用するためには、通常、経路網の設定が完全に記述されていなければならない。しかし、これは現実では困難なことも多い。その理由として経路網のトポロジや経路の重みに関する情報収集にコストや時間がかかることが挙げられる。さらに時間経過により経路網のトポロジや重みが変わり、収集した情報の価値が失われてしまう可能性もある。そこで、著者らはこれまでに、これらの問題に集合知を活用するための、予測市場システムを提案した [2]。予測市場とは、対象となる確率変数の未知の実現値に依存して事後的に価値が決まる仮定の証券を売買する先物取引市場である。予測市場を最短経路問題に適用することによって、市場参加者の知識を集め、情報を補足し、動的な変化に対応することが可能になる。本研究ではこの経路選択を目的とした予測市場システムを Web アプリケーションとして実装し、それを用いて実際に実験を行う。さらに、予測市場参加者に経路網についての情報がどのように分布しているときに、実装した予測市場システムが有用であるかを検証し、その性能を評価することを目的とする。

## 2. 経路選択問題の定式化

対象とする経路網をノード集合  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots\}$ 、とアーク集合  $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$  からなる有向グラフ  $G = (V, A)$  で定義し、アーク  $a$  の長さを  $l_a$  とする。始点ノードを  $v_S$ 、終点ノードを  $v_E$  とし、 $v_S$  から  $v_E$  までの閉路を含まない可能な経路の集合を  $\Omega$  とする。本研究では各アーク  $a$  の長さ  $l_a$  に関する情報が不明確である状況について考慮する。そこで各アーク  $a$  の長さ  $l_a$  をそれぞれある正規分布  $N(\mu_a, \sigma_a^2)$  に従う確率変数として捉える。ただし、意思決定者はこの分布のパラメータを知らない。このとき、経路長自体も確率変数になる。任意の経路  $P(\in \Omega)$  の平均経路長  $E[L(P)]$  は次のように与え

られる。

$$E[L(P)] = \sum_{a \in P} \mu_a \quad (1)$$

本研究の最短経路問題とはこの平均経路長が最短となる経路  $P(\in \Omega)$  を求める問題とする。

## 3. 予測市場システムの設計

本研究では先行研究 [2] で提案された市場制度のうち、セントラルマーケットメカ (CMM) 方式を採用する。そして、CMM のアルゴリズムは Hanson が提案した LMSR (Logarithmic Market Scoring Rule) [3] を用いる。これにより合理的な市場参加者は主観的予測分布に従って売買を行うと考えられる。予測証券の最短経路問題へのマッピングについては以下で述べる。市場運営者は最短経路を見出したいため、その候補となる経路を証券化する方法が適している。この証券を経路証券と呼ぶ。それに対して、市場参加者にとっては経路全体よりもアーク単位での検討の方が認知負荷を抑えることができるので、各アークを証券化する方法が望ましい。この証券をアーク証券と呼ぶ。しかし、アーク証券が最短経路に含まれる事象は排反でない。したがって、アーク証券にそのまま LMSR を適用することはできない。そこでアーク証券を経路証券のバンドルとみなすことによって、市場運営者、市場参加者どちらのニーズも満たせるようにする。つまりアーク証券の売買を経路証券の売買とみなす。この LMSR を用いて経路証券とアーク証券の価格を評価する具体的なアルゴリズムは以下で述べる。参加者を  $K$  人、 $N$  個の経路証券が発行されているとし、任意の市場参加者  $k$  が所持している経路証券  $P$  の枚数を  $q_{kP}$  とすると経路証券  $P$  の総数は以下の式で与えられる。

$$Q_P = \sum_{k=1}^K q_{kP} \quad (2)$$

コスト関数 (市場全体での経路証券購入金額) は次の式で定義される。

$$C(Q) = b \cdot \log \left( \sum_{P=1}^N \exp(Q_P/b) \right) \quad (3)$$

ここで  $b$  はパラメータであり予測市場の規模に合わせて調整する。市場参加者が経路証券について  $\Delta q$  売買するときに (買

連絡先: 青山学院大学, 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1  
青山学院大学相模原キャンパス O 棟 422-a

