

予測市場の情報集約メカニズムの特性*

Analysis of Information Gathering and Aggregation Property of Prediction Market*

福本潤也**・鈴木純***

By Junya FUKUMOTO**・Jun SUZUKI***

1. はじめに

予測市場 *Prediction Market* とは、将来の不確実な事象を正確に予測することを目的として設けられる市場である。多くの予測市場は、インターネット空間などに設けられる仮想市場である。予測市場では、将来の不確実な事象に関連した金融商品が取引される。代表的な予測市場の一つに *Iowa Electronic Markets (IEM)* がある。IEM では、例えば、大統領選挙の選挙結果に連動した金融商品として、1) ある候補者が勝利した場合に 1 ドルのペイオフを得られる Arrow-Debreu 証券や、2) ある候補者が獲得した得票率に比例してペイオフが確定する証券が取引されている。予測市場の参加者は、不確実な事象についての主観的な信念（予測）と、事象に対応する金融商品の価格を比較した上で、市場で金融商品を購入したり売却したりする。市場参加者の行動の結果として定まる金融商品の均衡価格は、取引に参加した全ての主体の主観的な信念を反映している。そこで、金融商品の均衡価格を将来の不確実な事象の生起確率 (e.g. IEM の例の 1) の証券) や期待値 (e.g. IEM の例の 2) の証券) とみなしてしまおうというのが予測市場の基本的発想である。

予測市場の最大の意義は、市場メカニズムを通じて、多様な人々の主観的な信念を均衡価格に集約する点にある。個々の参加者が将来の不確実な事象について断片的な知識しか持っていない場合でも、予測市場に基づく予測では、それらを結合した『集合知としての予測』を行うことができる。また、時々刻々と変化する金融商品の価格は、全ての主体に観察可能である。その結果、予測対象となっている事象についての新たな情報が発見されると、それらは短期間のうちに市場価格に組み込まれ、市場を観察する全ての主体へと拡散していくというメリットがある。また、個々の市場参加者は、自らの予測が正確であればあるほど市場取引を通じて大きな利益を得られる可能性がある。予測市場には、個々の市場

参加者に予測精度を高めるインセンティブを与えるというメリットがある。さらに、予測市場に基づく予測は、予測結果の恣意的操作に対して頑健であるというメリットも有する。将来の不確実な事象を、何らかの予測モデルに基づいて予測しようとする場合には、分析者によって恣意的操作が行われる危険がある。これに対し、予測市場に基づく予測では、一部の参加者が市場価格の恣意的操作を試みたとすると、他の参加者（潜在的な市場参加者を含む）に価格の恣意的操作の影響を相殺する取引を行うインセンティブが生じる。その結果、恣意的操作の試みは失敗しやすくなる。

予測市場は、冒頭にも述べたとおり、将来の不確実な事象を正確に予測するために設けられる市場である。ただし、最近では、予測市場の仕組みを将来予測にとどまらず、公共政策の意思決定に活用することを模索する研究が進展しつつある。それらの研究は、将来予測や社会的意思決定に関する様々な課題を抱える土木計画学にとっても、参考となる考え方を含んでいる。本稿では、土木計画学分野における予測市場の活用可能性を検討するための一助となることを目的に、予測市場に関する先行研究について解説する。

2. 予測市場のメカニズム

(1) 生起確率の予測

予測市場の市場参加者の信念分布と証券の均衡価格の関係を最初に厳密に分析したのは Manski(2004) である。Manski は、互いに排反する二つの事象（以下、事象 m と事象 n ）に対応する Arrow-Debreu 証券が取引される予測市場を想定している。また、IEM の仕組みを念頭に、各々の市場参加者が証券 m と証券 n を I 単位ずつ保有する状況を出発点として取引が開始されると想定している。以上の想定のもと、Manski は、異質な信念と保有資産を有する参加者が市場取引を行った場合に成立する証券価格を解析的に導出している。以下、Manski の分析を簡単に示しておく。

予測市場で成立する証券価格が π_m と π_n で表される場合、無裁定条件より $\pi_m + \pi_n = 1$ が常に成立する。

*キーワード：計画情報，調査論，公共事業評価法

**正員，博士(工学)，東北大学大学院情報科学研究科
e-mail : fukumoto@plan.civil.tohoku.ac.jp

***非会員，学士(工学)，東北大学大学院情報科学研究科
e-mail : j-suzuki@plan.civil.tohoku.ac.jp

この時、それぞれの事象の生起確率に関する信念 (q_m, q_n) を有する危険中立的な市場参加者は、 $q_m > \pi_m$ であれば全ての資産を証券 m の購入に、 $q_n > \pi_n$ であれば全ての資産を証券 n の購入にあてる。すなわち、資産 I を保有する市場参加者は、 $q_m > \pi_m$ であれば証券 m を I/π_m 単位、 $q_n > \pi_n$ であれば証券 n を I/π_n 単位購入する。これより、市場全体での証券 m の総需要量が次のように表される。

$$\int_{\pi_m}^1 \int_0^\infty \frac{I}{\pi_m} \cdot f(q_m, I) dI dq_m \quad (1)$$

ただし、 f は市場参加者の信念と資産の結合分布の密度関数である。ここで、信念と資産が独立に分布すると仮定すると、証券 m の総需要量は次のように書き換えられる。

$$\frac{N \cdot E[I]}{\pi_m} P_m(q_m > \pi_m) \quad (2)$$

ただし、 N は市場参加者の総数、 P_m は信念 q_m の分布関数である。一方、証券 m の総供給量は次のように表される。

$$\int_0^1 \int_0^\infty I \cdot f(q_m, I) dI dq_m = N \cdot E[I] \quad (3)$$

証券 m の需給均衡条件は、式(2)と式(3)の右辺が等号で成立する場合であり、これより、証券の均衡価格が以下のように表される。

$$\pi_m = P(q_m > \pi_m) \quad (4)$$

この条件式は、均衡価格 π_m が信念分布の π_m 分位数に等しくなることを示している。信念分布関数の単調性より、均衡価格は 0 から 1 の範囲で一意に求まる。この均衡価格を事象 m の予測確率とみなそうというのが予測市場の基本的な発想である。

なお、Manski は市場参加者が危険中立的な場合について分析しているが、Gjerstad(2005)は Manski とほぼ同様の枠組みで、市場参加者が危険回避的な場合について分析している。分析結果として、証券の均衡価格と市場参加者の信念の平均が概ね一致することを示し、予測市場に基づく予測の正当性を主張している。

(2) 条件付き生起確率の予測

予測市場に基づき、ある事象 (事象 s) が生じたという条件のもとで別の事象 (事象 m) が生起する確率、すなわち、条件付き生起確率を予測することもできる。条件付き生起確率は、以下の二つのいずれかの方法で予測することができる。

第一は、次の 3 つの性質をもつ証券を発行する方法である。すなわち、1) 事象 s が生起する前に購入する必要があるが、2) 売買の代金を支払う必要があるのは事象 s が生起した場合のみであり、3) 事象 s

と事象 m の両方が生起した場合に 1 ドルのペイオフを得られる、という 3 つの性質をもつ証券である。この時、市場取引を通じて成立した証券の均衡価格を、市場参加者の条件付き信念を集約した予測市場に基づく予測確率とみなすことができる。

第二は、次の 2 つの Arrow-Debreu 証券を発行する方法である。すなわち、1) 事象 s と事象 m の両方が生起した場合に 1 ドルのペイオフを得られる証券と、2) 事象 s が生起した場合に 1 ドルのペイオフを得られる証券の 2 つである。この時、1) の証券の均衡価格 $\pi(m \cap s)$ を事象 s と事象 m の同時生起確率、2) の証券の均衡価格 $\pi(s)$ を事象 s の生起確率とみなすことができる。さらに、ベイズの定理を援用することで、2 つの証券の均衡価格の比 $\pi(m \cap s) / \pi(s)$ を事象 s が生起したという条件下で事象 m が生起する条件付き予測確率とみなすことができる。

(3) 期待値の予測

予測市場に基づき、離散的な確率変数の生起確率だけでなく、連続的な確率変数の期待値を予測することもできる。例として、次期衆議院選挙における与党と野党のそれぞれの獲得議席数の予測問題を取り上げてみる。この場合、与党が全議席数 K のうち x ($0 < x < K$) の議席を獲得した場合に x/K ドルのペイオフを得られる証券と、野党が $(K-x)/K$ ドルのペイオフを得られる証券を発行すればよい。それぞれの証券の均衡価格が π_x と π_{x^c} になるとすると、 $K \cdot \pi_x$ と $K \cdot \pi_{x^c}$ を与党と野党の獲得議席数の期待値とみなすことができる。

(4) 条件付き期待値の予測

予測市場に基づき、ある事象が生起したという条件のもとで、連続的な確率変数の実現値の期待値を予測することもできる。具体的には、(2) と (3) で定義した証券の特徴を組み合わせた新たな証券を市場で発行すればよい。条件付き期待値の予測は、3. と 4. で示すように、予測市場の仕組みを公共政策の意思決定に活用していく上で重要な役割を果たす。

3. 予測市場に基づくガバナンス

(1) 基本的発想

Hanson(2007)は、予測市場に基づき、組織や社会の意思決定をガバナンスする仕組みを提案している。Hanson は、まず、現代社会の様々な意思決定の場面において、多様な主体の間に分散した情報を有効に集約できないために意思決定の効率性が損なわれる

「情報集約の失敗」が生じているのではないかと問題提起する。例えば、現代の民主主義という政治形態では、投票者である国民が政府の政策を評価するために必要な情報を自律的に収集して投票行動に反映させることが求められる。しかし、現実には個々の投票者にとって、必要な情報を収集するインセンティブが十分に働いているとは限らない。また、投票という意思決定の仕組みにおいて、それぞれの主体が有する情報の量と質が適切に集約されて、最終的な意思決定（ここでは選挙結果）に反映される保証はない。Hanson は、こうした情報集約の失敗に起因する非効率性を克服するために、冒頭でも述べた予測市場の優れた情報集約機能を活用したガバナンスの仕組みを構想している。

（２）適用例

Hanson は、予測市場に基づくガバナンスの適用可能性として、1) 企業のガバナンス、2) 中央銀行のガバナンス、3) 国家のガバナンス、の3つを提示している。いずれも既存のガバナンスとは全く異なる仕組みであり、直ちに実現可能なものとはいえない。Hanson は、実証実験を通じて、予測市場に基づくガバナンスの実現可能性を検証したり、実現に向けた障害を一つずつ克服していく研究プログラムを構想している。

a) 企業のガバナンス

現在のコーポレート・ガバナンスは、株主が取締役を選出し、取締役が代表取締役を選出する仕組みとなっている。代表取締役の意思決定は、企業価値を大きく左右するため、適切な監視を受ける必要がある。代表取締役を監視する重要な機能を担う組織は取締役会である。ただし、代表取締役に取締役の決定権が実質的に委ねられている場合が少なくなく、実際には監視が十分に機能していない可能性がある。また、監視が十分に機能している場合であっても、代表取締役の解任などが迅速に行われるとは限らない。こうした欠点を克服する新たなガバナンスの仕組みとして次のような仕組みが考えられる。

そこでは、新たに、「現在の代表取締役が解任される条件下での企業価値」を表す新たな株式を発行する。そして、新たに発行する株式と従来の株式（すなわち、「現在の代表取締役が留任している条件下での企業価値」）の価格を比較し、前者が後者を一定以上の大きさで上回る場合には、代表取締役を解任することを企業の規約のなかに明記する。こうした仕組みでは、代表取締役の解任が企業価値にもたらす影響が、二つの株式の価格差として市場を通じて評価される。また、代表取締役の解任に関する意思決

定が市場評価に連動する結果として、株主利益を最大化すると市場で評価される意思決定が常に行われることになる。

b) 中央銀行のガバナンス

中央銀行の役割は、公定歩合や為替レートの操作を通じて、景気循環やインフレの抑制、経済成長の促進などを図ることである。金融政策をめぐるのは、1) 金融政策が影響する複数の経済指標（e.g. インフレ率、GDP 成長率）のいずれを重視すべきか、2) 金融政策（e.g. 公定歩合の変更、為替レートの変更）が経済指標にいかなる影響をもたらすか、という2つの点で多様な意見が存在する。Hanson は 1)と 2)のうち、2)をめぐる意見の多様性がより大きいとの問題意識のもと、中央政府のガバナンスについて次のような仕組みを構想している。1) まず、金融政策を評価するための指標として、インフレ率や GDP 成長率などのマクロ経済指標を適切に重み付けた指標を用意する。2) 次に、「ある金融政策が採られた場合にのみ指標の数値に連動したペイオフを得られる証券」として複数種類の証券を発行する（ただし、2.（2）で定義した証券と同じく、ある金融政策が採られた場合にのみ代金を支払う必要が生じる）。3) そして、価格が最も高い証券に対応する金融政策を採用することを中央銀行に義務づける（具体的には、法的ルールを通じて中央銀行の意思決定を拘束する）。以上の仕組みのもとでは、中央銀行が裁量的な金融政策を発動することは不可能となり、ルールを通じて市場評価に完全に委ねられることになる。

c) 国家のガバナンス

現在の政治形態では、国家政策の重要な意思決定の多くが、直接選挙や間接選挙を通じて選出された政治的な意思決定権者に委ねられる。効率的な意思決定が行われるには、選挙を通じて優れた意思決定権者が選出されなくてはならない。また、選出された意思決定権者によって、十分な情報が収集されて適切な意思決定が行われなくてはならない。しかしながら、現実には、情報集約の失敗により、選挙を通じて優れた意思決定権者が選出されるとは限らず、また、適切な意思決定が行われるとも限らない。こうした欠点を克服する新たなガバナンスの仕組みとして、Hanson は次のような仕組みを構想している。

そこでは、1) 国民が政治的な意思決定権者を選挙を通じて選出する。2) 選出された意思決定権者は、国民厚生を評価するために複数の計測可能な統計指標を重み付けした新たな指標を定義する。3) さらに、「ある国家政策が採られた場合にのみ指標の数値に連動したペイオフを得られる証券」として複数種類の証券を発行する。4) そして、価格が最も高い証券

に対応する国家政策を採用することを意思決定権者に義務付ける。

以上の仕組みのもとでは、意思決定権者の重要な任務は、1) 国民厚生を評価するための指標を定義すること、2) 指標を確実に計測すること、3) 市場で最も望ましいと評価された政策を確実に実行すること、の3つになる。政策の実施に関する実質的な意思決定の権限は市場へと委ねられるが、指標の定義という重要な任務は政治的な意思決定権者に委ねられる。国民厚生を評価するための指標として、例えば、一人当たり GDP などが考えられる。しかし、一人当たり GDP では十分に計測されない人間生活の側面が数多くあるのも事実である。国民の寿命や余暇活動、幸福度、環境、文化といった多様な項目を考慮する必要がある。適切な指標の定義は、予測市場に基づく国家のガバナンスの実効性を大きく左右する重要な課題である。

4. 予測市場に基づく政策評価

公共政策の意思決定に予測市場を活用する新たな仕組みとして、Abramowicz(2003)は、*Predictive Cost-Benefit Analysis (PCBA)*を提唱している。Abramowiczが想定しているのは、ある公共政策の実施の是非について意思決定を迫られている状況である。そして、次のような仕組みを構想している。1) まず、意思決定権者は、「政策が実施された場合に実現する事後的な費用便益比にペイオフが連動する証券 (with 証券)」と「政策が実施されない場合に実現する事後的な費用便益比にペイオフが連動する証券 (without 証券)」の2つを発行する。2) そして、意思決定権者は、均衡価格がより大きい証券に対応する意思決定を選択しなければならないとする。3) さらに、意思決定権者は、一定期間が経過した後に、政策の実施の有無に関わらず、政策の事後評価を行って事後的な費用便益比を計測しなければならないとする。4) そして、事後的な費用便益比に基づいて証券の保有者に対してペイオフを支払い、予測市場を清算しなければならないとする。

多くの場合、費用便益分析は公共政策の実施を検討する段階、すなわち事前の段階で実施される。そして、意思決定権者は費用便益分析の結果を踏まえて公共政策の実施に関する意思決定を行う。こうした従来の仕組みと比較すると、PCBAに基づく意思決定の仕組みは次のような特徴をもっている。第一に、多様な市場参加者が保有する断片的な情報を意思決定に反映できる点である。また、長期的なトレンドが変化しているような状況で、統計データに基

づく費用便益分析では十分にトレンド変化などを考慮できない場合であっても、市場参加者の主観を通じて影響の一部を評価に反映させることができる。第二に、事後的に費用便益分析が実施される段階では、既に公共政策の実施に関する意思決定が行われているため、費用便益分析の分析結果が政治的バイアスなどによって歪められる危険性が小さい点である。第三に、第二と同様の理由より、費用便益分析の方法論をめぐる論争 (e.g. *distributive weight* を利用することの是非) をある程度回避できる点である。方法論の選択は、事後的な費用便益分析の分析者の裁量に委ねられ、評価の対象となっている政策に適した方法論が選択されやすくなる。

PCBA は上記のようなメリットを有するが、もちろん、実現に向けて解決すべき課題も少なからず残されている。例えば、公共政策の利害関係者が市場取引を通じて証券の均衡価格を操作することを目論む可能性がある。また、市場参加者の分布が社会全体の特定集団に偏っている場合には、歪んだ評価が行われる可能性がある。さらに、一部の市場参加者が、より多くのペイオフを得るために、事後的な費用便益分析の結果を操作するよう政治的な圧力を加える危険性などもある。これらの課題の解決に向けて、現在、予測市場のパフォーマンスを左右する潜在的な危険の大きさを実証的に把握することを目的とした研究や、潜在的な危険を克服する新たな予測市場メカニズムの設計を目的とした研究が進められている。

5. おわりに

本稿では、予測市場の仕組みを公共政策の意思決定に活用することを模索する先行研究についてレビューした。これらの研究で得られた知見の土木計画分野における活用可能性については、筆者らの考えを改めて整理した上で、研究発表会の場で問題提起したい。

参考文献

- 1) Manski, F.C.: Interpreting the Prediction of Prediction Markets, working paper, 2005.
- 2) Gjerstad, S.: Risk Aversion, Beliefs, and Prediction Markets, working paper, 2006.
- 3) Hanson, R : Shall We Vote on Values, But Bet on Beliefs?, working paper, 2007.
- 4) Abramowicz, M.: Information Market, Administrative Decisionmaking, and Predictive Cost-Benefit Analysis, working paper, 2003.