

# 論文の内容と要旨

## 論文題目

### Consensus-Building on Citations in Peer-to-Peer Systems (Peer-to-Peer システムにおける引用の合意形成について)

氏名 伊東 謙介

本論文の目的は、Peer-to-Peer (P2P) システムにおける引用の合意形成である。知的生産物 (e.g., 学術論文、特許、ウェブページ) を定量的に評価する様々な指標の源となる引用は、もしその真の構造を P2P システム内の自律したピアたちによって決定・構築することができるならば、より頑健かつ生産的なものとなる。しかしこの合意形成は、先行研究がこれまで同時に扱ってこなかった 3 つの問題: *ただ乗り*、*戦略的な誤報告*、*査読者の割当* のせいで信頼性が低いままだった。そこで本論文は、*グラフ上のランダムウォーク*と *ピア予測法*を組み合わせることで、合意形成に参加した査読者に報酬を与える 2 種類のインセンティブメカニズム (事前の合意形成に基づくものと事後の合意形成に基づくもの) を提案した。実験では、ピアたちは ①より高い PageRank スコアを得ることでより頻繁に査読者になることができ ②常に真の信念を報告することで査読あたりの期待報酬を最大化することができる という、3 つの問題全てに対する 2 種類のインセンティブ・メカニズムの有用性を支持する結果が得られた。引用関係の合意形成を通じた報酬という本論文の提案は、助成金・印税・広告に代わるスキームとして、知的生産物のオープンアクセス化にも貢献するだろう。他方で、実用的な応用に向けては、スパム攻撃やシビル攻撃を防いだり、報酬を十分なインセンティブとするためのさらなる研究が必要である。

本文は 6 章から成る。第 1 章では、本論文の背景および前提条件を示した。具体的な内容は以下のように要約できる。

- *なぜ引用は重要なのか?* --- 引用は、その成長する有向非巡回グラフとしての構造が、数が増え続ける知的生産物 (e.g., 学術論文、特許、ウェブページ) を定量的に評価する様々な指標の源となるため重要である。
- *なぜ P2P システムにおける引用は重要なのか?* --- P2P システムにおける引用は、不正を働く可能性がある集権的な権威に依存せず、かつ頑健性と生産性の両方を高めることができるため重要である。
- *なぜ P2P システムにおける引用は難しいのか?* --- P2P システムにおける引用は、ただ乗り、

戦略的誤報告、査読者の割当、という 3 つの問題によって合意形成の信頼性が低いままであるため難しい。

- 本論文の *Research Question (RQ)* とは？ --- 本論文の RQ は「P2P 引用システムにおける信頼できない合意形成を解決するために、何らかのインセンティブ・メカニズムを設計することは可能か？」である。
- *RQ* の学術的意義とは？ --- RQ の学術的意義は、①P2P システムの合意形成に専門性を反映させること、②査読者の割当問題の対象を戦略的なピアたちのグループへと拡張すること、③ネットワーク形成の研究における How と Why のアプローチを橋渡しすること、である。

第 2 章では、グラフ上のランダムウォークとピア予測法を組み合わせた 2 種類のインセンティブ・メカニズム（事前の合意形成に基づくものと事後の合意形成に基づくもの）を用いるという、RQ を検証するための手法に関して説明を行った。具体的な内容は以下のように要約できる。

- なぜ 2 種類のインセンティブ・メカニズムは重要なのか？ --- 2 種類のインセンティブ・メカニズムは、それぞれが学术论文や特許のような査読を伴う引用とウェブページのような査読を伴わない引用をカバーするため重要である。
- なぜグラフ上のランダムウォークは重要なのか？ --- グラフ上のランダムウォークは、引用における査読者の割当問題への対処に有用なため重要である。
- なぜピア予測法は重要なのか？ --- ピア予測法は、P2P システムにおけるただ乗りや戦略的誤報告の問題への対処に有用なため重要である。
- 手法の学術的意義とは？ --- 手法の学術的意義は、①グラフ上のランダムウォークに強い真実性という解概念をもたらすこと、②ピア予測法の実用化に向けてグラフを活用するという新たなアプローチを提案すること、である。

加えて本章では、実世界における科学論文、特許、ウェブページそれぞれの引用から取得した実験データの説明も行った。

第 3 章では、グラフ上のランダムウォークである Personalized PageRank (PPR) アルゴリズムとピア予測法である Dasgupta and Ghosh 2013 (DG13) メカニズムで構成される、①科学論文や特許の引用を主な対象とした、②事前の合意形成に基づく、インセンティブ・メカニズムについて詳述した。具体的な内容は以下のように要約できる。

- なぜ PPR アルゴリズムは査読者の割当問題を解決できるのか？ --- PPR アルゴリズムは、「ピアたちはより高い PageRank スコアを得ることでより頻繁に査読者になる」という条件を満たしつつ適切な査読者を選択するので、査読者の割当問題を解決できる。

- なぜ *DG13* はただ乗りと戦略的誤報告の問題を解決できるのか? --- *DG13* は、「ピアたちは常に真の信念を報告することで査読あたりの期待報酬を最大化する」という条件を満たしつつ査読者への報酬を計算するので、ただ乗りと戦略的誤報告の問題を解決できる。

加えて本章では、科学論文・特許の引用データを用いた実験的研究も行った。

第 4 章では、グラフ上のランダムウォークである *two-path* メカニズムとピア予測法である *DG13* メカニズムで構成される、①ウェブページの引用を主な対象とした、②事後の合意形成に基づく、インセンティブ・メカニズムについて詳述した。具体的な内容は以下のように要約できる。

- なぜ *two-path* メカニズムは査読者の割当問題を解決できるのか? --- *two-path* メカニズムは、「ピアたちはより高い PageRank スコアを得ることでより頻繁に査読者になる」という条件を満たしつつ適切な査読者を選択するので、査読者の割当問題を解決できる。
- なぜ *DG13* はただ乗りと戦略的誤報告の問題を解決できるのか? --- *DG13* は、「ピアたちは常に真の信念を報告することで査読あたりの期待報酬を最大化する」という条件を満たしつつ査読者への報酬を計算するので、ただ乗りと戦略的誤報告の問題を解決できる。

加えて本章では、ウェブページの引用データを用いた実験的研究も行った。

第 5 章では、第 3 章と第 4 章で詳述した 2 種類のインセンティブ・メカニズムに関して、応用可能性と今後の研究を議論した。具体的な内容は以下のように要約できる。

- 2 種類のインセンティブ・メカニズムの応用可能性とは? --- 2 種類のインセンティブ・メカニズムの応用可能性は、P2P 引用システムの構成要素として、学术论文、特許、ウェブページを扱う既存のクラウドソーシングをより頑健かつ生産的にすることである。
- *RQ* の社会的意義とは? --- *RQ* の社会的意義は、助成金やロイヤリティ、広告に代わる新たな報酬源の提案によって、知的生産物のオープンアクセス化に貢献することである。
- 2 種類のインセンティブ・メカニズムの今後の課題とは? --- 今後の課題は、①スパム攻撃やシビル攻撃の防止、②報酬を十分なインセンティブ化、③その他オープンクエスションの解決、を目的とする追加機能の設計である。

第 6 章では、結論として各章のまとめと *RQ* への回答を示した。本論文は、単純化のためのいくつかの仮定の下で、*RQ* の答えが Yes であることを明らかにした。