

# 実ネットワークにおける網象因果の解析

河内 佑美 [北海道大学大学院情報科学研究科/博士後期課程]

## 背景・目的

グラフ理論的視点からネットワークの要素をノード、要素間の関係をリンクとみなすと、巨大で複雑に見えるが故にランダムであると考えられてきた実世界のネットワーク構造の一部について実は、ある秩序や法則を持った構造が存在するという事実が分かつてきた。

本研究では、個々のミクロな相互作用から生まれる相互関係によって創発されるマクロな普遍的性質や現象をネットワークダイナミクス上の網象と位置づける。動的環境の中にある実世界のネットワークについて、具体的にはインターネットやWorld Wide Web(WWW)上でユーザビヘイビアの反映されるシステムを対象とし、網象因果の解析によって普遍的性質を探ることを目的とする。

## 内容・方法

本研究では電子商取引システム、特にインターネットオークションに焦点を当てる。オークションユーザをノード、商品取引を行った出品者と落札者の関係を出品者から落札者への有向リンクと考えネットワークを構成する。このネットワーク構造を解析することによって、ユーザビヘイビアの特徴抽出やネットワークの時間的成長過程を探る。

まず、特定のオークションサイトで公開されているユーザ間の取引データを、クローリングシステムを構築することで取得する。クローリングシステムとは、指定URLのHTMLデータをダウンロードし、テキスト解析・抽出を行うことで必要なデータをデータベースへ蓄積させるものである。本研究での取得情報は、ある商品の出品者ユーザID、落札者ユーザID、取引終了時間である。ユーザのビヘイビア特徴抽出のための解析手法として、各ユーザの評価値をユーザ間の関係性というネットワークを通じて再帰的に定量化するHITSアルゴリズムを適用する。さらに、ネットワークの成長過程には、各ノードのリンク数分布の時系列的变化を解析する。

## 結果・成果

クローリングシステムによって取得したデータ数は、ユーザ(ノード)数1,201,371、商品取引(リンク)数3,416,070である。オークションサイトに公開されている全てのデータを取得するのは時間的、計算機リソース的にも困難であるが、上記のデータ数による解析結果は全体の振る舞いに反映できるものと考える。

ユーザビヘイビアの特徴を抽出するために適用したアルゴリズムによってユーザの評価値を計算し、解析した結果、以下のが分かつた。適用アルゴリズムでは、各ユーザの出品に対

する評価値と落札に対する評価値の二つが算出される。出品回数または落札回数がほぼ同じようなユーザ同士でも、どのようなユーザと取引を行ったかによってそれら評価値の大きさが異なる。特に出品回数に対する出品の評価値が大きなユーザと、落札回数に対する落札の評価値が大きなユーザ間に強い取引関係が見つかった。つまり、出品を主に行うユーザの中でも、落札を専門に行うユーザから商品を多く落札されているユーザが存在していることが判明した。いわゆる“ブランド”ユーザとそれらのユーザと多くの取引を行いながらも全体としての取引回数は同じ落札の評価値を持つユーザに比べて小さく、出品ユーザをある程度慎重に吟味しているのではないかと思われる“ロイヤリティ”ユーザの関係が出現した。

次に、商品取引の終了時間データを利用して、オークションネットワークの構造が時系列的にどのように成長・変化していくのかを調べた。まず、各ノード(ユーザ)の出次数(出品回数)と入次数(落札回数)に対するノード数の分布を時間ごとにプロットしたところ、出力されたグラフから以下のことが分かつた。出次数に対する分布は時間経過に関わらずスケールフリーである一方、入次数には、時間経過に関わらず約10~30の次数範囲に変局点が出現し、その前後でスケールフリーとなった。スケールフリーは横軸に次数、縦軸にノード数を両対軸logスケールとしたとき、直線分布になる特徴がある。次数の小さいノードほど数が多く、次数の大きいノードほど数が少ない。これらの分布により、出品という行為に対してはユーザの抵抗感が少ないと、落札に対してはある閾値回数を超えるまで躊躇や抵抗感があるのではないかと考えられる。

さらに、商品取引成立時にその出品ユーザと落札ユーザはそれまでにどれくらいの取引を行ってきているのか、つまりネットワークのリンクはどのようなユーザ間に付加されていくのかを調べた。任意の時間範囲内でリンクが付加されたノードの次数とその次数を持つノード数の分布を、出次数と入次数についてプロットしたところ、両者ともほぼ同じ分布となった。この分布は、スケールフリー構造を持つネットワークにおいて次数に比例した確率によってノードを一つ選んだときの次数分布に類似している。以上によりユーザは各自出品、落札を自己意志に従って自由に行っているにも関わらず、全体としてのネットワーク構造には法則性やパターンが出現していることが分かつた。

## 今後の展望

ノードとリンクによって構成されるネットワーク構造や構造遷移について、特徴的な性質やパターンが実システム上に出現することが分かつた。今後はこれらの特徴をどのように工学的応用へ導くかが問題となってくる。特に人間のビヘイビアを主眼にしたシステムでは、ノードとリンクのみの構造だけでは情報不足である。一方で得られる全ての情報を取り入れてしまっては複雑になり過ぎ、裏側に隠れる重要な性質や特徴を見逃してしまう恐れもある。どのような情報を取り入れ、どのような手法で解析を行うのかを吟味し、工学的応用へ役立つ研究を進めなければならない。