

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 28 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650028

研究課題名（和文） インターネットマーケット理論：新たな経済基盤の創出に向けた  
挑戦的萌芽研究研究課題名（英文） Internet market economy: Exploratory research to establish a new  
resource market on the Internet

研究代表者

中野 賢 (NAKANO TADASHI)

大阪大学・大学院生命機能研究科・招へい准教授

研究者番号：70571173

研究成果の概要（和文）：

本研究は、計算機資源（CPU サイクル等）を一般個人が自由に取引できる計算機資源マーケットをインターネット上に構築し、新たな経済活動の基盤を構築することを目的とする。まず、想定するマーケットのゲーム理論的モデルを構築し、計算機資源のダイナミクスを理解する。次に、数学解析やシミュレーションを通して、計算機資源に対する需給が均衡する条件を同定する。

研究成果の概要（英文）：

In this project, we consider a peer-to-peer resource market as a new economic infrastructure on the Internet, where participating peers trade computing resources (e.g., CPU cycles). First, we develop a game theoretic model of the peer-to-peer resource market to understand the dynamics of resource prices. We then identify through mathematical analysis and simulation various conditions for the peer-to-peer resource market to achieve long-term price stability.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード： ネットワークアーキテクチャ、理論経済学

## 1. 研究開始当初の背景

計算機技術の発展により、高性能な計算機が一般家庭に普及しているが、これらの計算機の CPU 稼働率は平均 10%程度と言われている。ピア・トゥ・ピア・ネットワークの分野では、これらを有効活用しようという考え方が古くから存在するものの、提供者側（一般個人）に利益が生じないため広く普及していない。本研究では、インターネット上に汎用的な通貨を導入し、計算機資源を個人レベルで売買できるマーケットを構築することで余剰計算機資源の有効利用を図ることを考える。

図 1 に想定するマーケットにおける資源売買の例を示す。Alice は、Bob 及び Tom に計算機資源を貸出し、収益を得る。得られた収益をもとに、Jon から音楽を購入する。矢印はマネーの流れを示す。

当該分野のこれまでの研究では、共通通貨を介して計算機資源を売買するための安全な通信プロトコルの設計（カリフォルニア州立大学による研究）など、実装面に主眼が置かれていた。一方、本研究は、経済学的見地からマーケットにおける資源価格の動きを体系的に捉えることを目標としており、マーケットの本質的理解に大きく貢献できると期待できる。

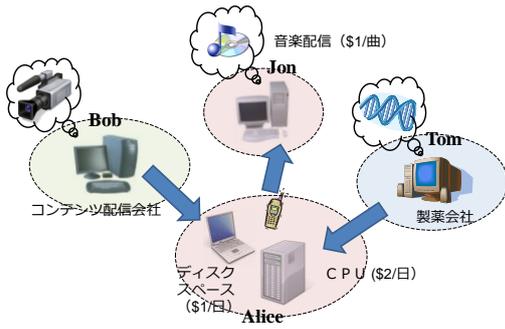


図1 本研究で想定するマーケット

## 2. 研究の目的

一般経済でも言われるように、マーケットが効率的に機能するためには資源の価格（物価）が安定している必要がある。本研究では、経済学で確立された理論や主要概念（ナッシュ均衡等）を、本研究で想定するマーケットに応用し、物価の安定性を検証することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究で想定するマーケットのダイナミクス（資源価格の変動）を理解するためにマーケット構成要素が取る戦略を定式化し、数理モデルを構築した。また、構築した数理モデルの解析、あるいは、それに基づくシミュレーション実験により、マーケットのダイナミクスについて理解を深めた。

まず、マーケット構成要素としては、(a) 計算機資源提供者、(b) 計算機資源利用者（かつサービス提供者）、及び、(c) サービス利用者を考慮した（図1）。ここで(a) 計算機資源提供者は(b) 計算機資源利用者に資源を提供することで、また、(b) 計算機資源利用者は(c) サービス利用者にサービスを提供することで、収益を得る。ここで、資源およびサービスの価格を各自が設定する自由市場を想定すると、資源提供者間、および、サービス提供者間で価格競争が生じ、物価（資源およびサービスの価格）に影響を及ぼすと考えられる。

図2に示したマーケットに基づき、マーケット構成要素が取る合理的戦略を定式化した。各構成要素の収益関数を定義し、各々がそれを最大化するように価格設定を行う、非協力ゲームとして数学モデルを構築した。例えば、資源提供者の収益関数を  $U$ 、資源の値段を  $R$  とすると「Maximize  $U(R)$ , subject to constraints」のように定義した。ここで、constraintsには、資源の性質やグラフにおける位置（局所的相互作用を考慮する為）に

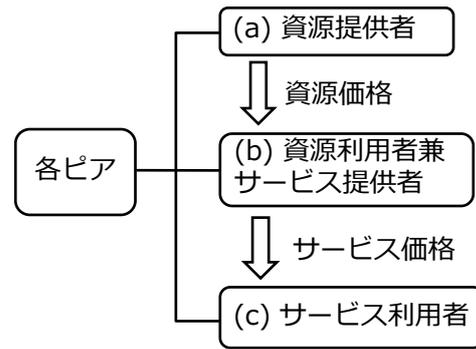


図2 想定するマーケットのモデル化

関する制約を含める。また、計算機資源利用者は、価格が安い計算資源を好んで活用すると仮定し、プラットフォーム（ネットワーク上のノード） $i$  にいる計算機資源利用者がプラットフォーム  $j$  に移動して、 $j$  の計算機資源を利用する確率を次のように定義した。

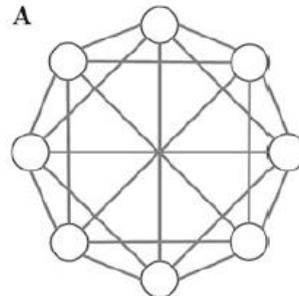
$$p_{i,j}(t) = \frac{R_j^{-\alpha}(t)}{\sum_{k \in NB_i(t)} R_k^{-\alpha}(t)}$$

ただし、 $NB_i(t)$  は時刻  $t$  におけるプラットフォーム  $i$  に隣接するプラットフォームの集合、 $R_i(t)$  は時刻  $t$  におけるプラットフォーム  $i$  の計算資源価格、 $\alpha$  は計算機資源利用者の振る舞い（移動）に影響を与えるパラメタである。

## 4. 研究成果

### 4.1 数理解析による均衡条件の導出

3で述べた数理モデルを用いて、資源価格が均衡する条件を解析的に導出した。数理解析を行うために、単純なネットワークポロジを想定した。具体的には、完全グラフ、 $k$  正則グラフ（図3A）、階層グラフ（図3B）を想定した。



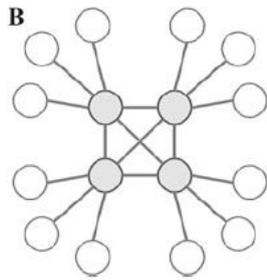


図3. k 正則グラフ(k=5)と階層グラフの例

資源価格が均衡する条件としては、計算機資源提供者が自身の効用関数 (U) を最大化する価格を採用している状態、あるいは、価格を変更した場合には効用が減少する状態であり (ナッシュ均衡)、全ての計算機資源提供者とその価格に対して、効用関数の一階微分が 0、二階微分が負となる状態として導出した。

これにより、例えば、図4のようにモデルパラメータが資源価格 (の均衡する値) に与える影響を導出できる。なお、図4において、縦軸は均衡する計算機資源価格、横軸は各種パラメータの値である。

#### 4.2 シミュレーションによる資源価格ダイナミクスの検証

資源価格のダイナミクスを検証するためのシミュレーションプログラムを開発した。これにより、4.1 より複雑な環境を考慮することや、資源価格が均衡するまでの時間を検証することが可能となる。図5にシミュレーションの実行例を示す。これは、ネットワークのトポロジが変化する環境において、モデルパラメータ ( $\alpha$  および  $\beta$ ) が資源価格のダイナミクスに与える影響を示している。これにより様々な環境下において、資源価格がどのように変化するか検証できるようになった。また、4.1 と同じトポロジを想定した場合において、資源価格は必ずしも 4.1 で導出した値に到達するとは言えないことが判明した。これは、計算機資源利用者が確率的に振舞っているためや、4.1 の解析においては全ての計算機資源提供者が同じ資源価格で均衡すると想定しているためと考えられる。

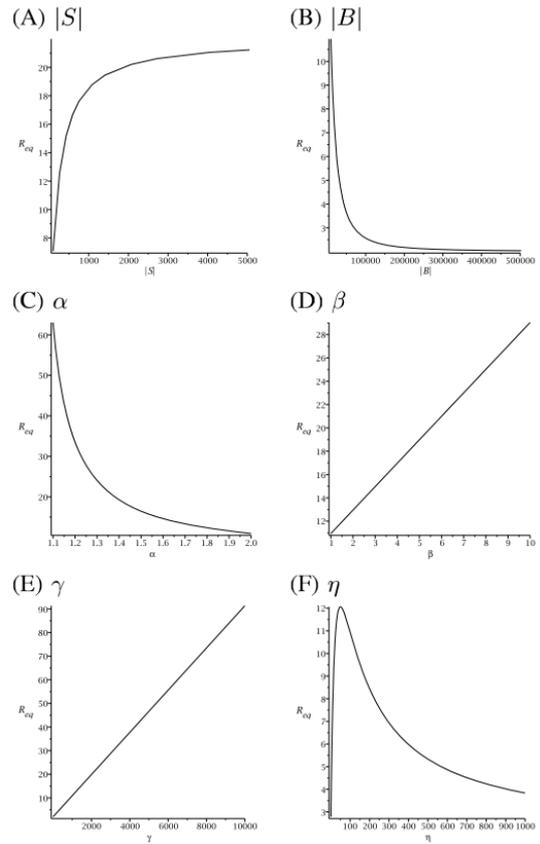


図4 解析結果の例

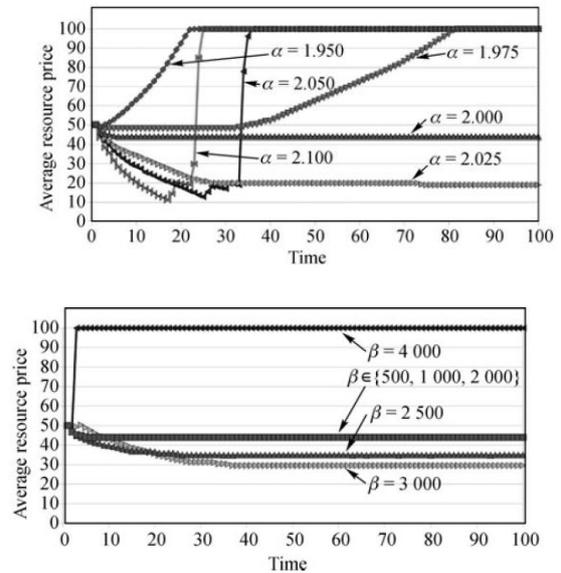


図5：資源価格のダイナミクス

#### 4.3 今後の課題

本研究で取り扱った数理モデルは現実を大幅に単純化しており、実環境を考慮してより現実的なモデルへと改良していく必要がある。また、本研究では、マーケット構成要素が非協力的に振舞うことを前提としたが、今

後は協調的振舞も考慮する。これにより、より効率的で柔軟な計算機資源の管理が可能になると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Yutaka Okaie and Tadashi Nakano, Non-cooperative optimization games in market-oriented overlay networks: an integrated model of resource pricing and network formation, *Frontiers of Computer Science in China*, 査読有, vol. 5, pp. 496-505, 2011.

Yutaka Okaie and Tadashi Nakano, A game theoretic framework for peer-to-peer market economy, *International Journal of Grid and Utility Computing*, 査読有, vol. 2, pp. 183-195, 2011.

Yutaka Okaie and Tadashi Nakano, Resource pricing games on graphs: existence of Nash equilibria, *Optimization Letters*, 査読有, vol. 7, pp. 231-240, 2013.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野 賢 (NAKANO TADASHI)

大阪大学・大学院生命機能研究科・

招へい准教授

研究者番号：70571173