

QoS制御へのミクロ経済学モデルの適用

3C-8

青木武司 蒲田順 岩瀬詔子 飯塚史之 鳥居悟

(株)富士通研究所

1. はじめに

コンピュータの分散環境は、ネットワークの高速化、広域化によって急速に発達しており、情報サービスの公共性が高まり、サービスの内容が多様化している。それに伴いユーザのサービスに対する品質(QoS, Quality of Service)の要求の幅が広がっているが、ネットワークや計算機などの共有資源の提供には限度があるので、ユーザのQoS要求を満足させるためには、共有資源をユーザ間で効率よく配分しなければならない。

一般に限られた資源を用いて、同時には達成できない複数の目的を達成しようとするとき経済学の問題が生じる。多数のユーザが共有する計算資源の効率的配分の問題は、経済学の問題として捉えられ、市場原理などの経済学の理論や分析手法が適用できる[1,2,3,4]。本稿では、計算資源の価格付けが効率的資源配分を実現する上で果たす役割について考察し、価格調整メカニズムによってQoS制御の問題を解決する方法を述べる。

2. QoS制御の問題

QoSとは、システムの性能に対するユーザの満足度を示す尺度である。ユーザが要求するQoSはサービスによってさまざまである。たとえば、ユーザは電子メールサービスの遅延は許容するが、インタラクティブなtelnetのサービスの遅延には敏感である。ftpサービスではまとまった量のデータ転送が一度に行われ、個々のバケットの遅延は問題にならないが、全体のスループットは大きいほど望ましい。一方、音声や映像のようなマルチメディアのサービスでは、データ量が大きく、転送には一定の帯域幅を要求され、ユーザは遅延による品質の劣化に相当敏感である。ネットワークの帯域幅や計算機の処理能力などの計算資源には限度があるため、計算資源をユーザ

に効率よく配分し、QoSに敏感ではないユーザの性能のグレードを落とし、QoSに敏感なユーザの性能を向上させるようなQoSの制御を行わなければならない。

3. 経済学モデル

自由競争市場において価格は、互いに衝突する利害を調整し資源の割り当ての効率化を促す機能を与える。たとえば電車の座席指定では、自由席や指定席、グリーン席などに異なる価格付けをして、座席を確保したいユーザに相応の負担を求めることで、座席の効率的配分を行う。航空券や劇場チケットの安売りなどが行われるのも、売れ残りの座席を効率よく配分するためである。このようにある一定期間で供給量を変化させることができない財は、座席の他に、いちごのような保存ができない生鮮食品や土地などがある。通信や計算機の資源も、ある期間では資源が固定されている（通信回線は増設されるまでは帯域幅が一定）ので、同様の扱いをして価格付けを行うことが考えられる。

このような有限の財について図1の需要供給曲線の分析から市場均衡の存在と均衡点への収束を論じることができる。 n 人のユーザがある資源を共有してサービスを実現しているとする。それぞれのユーザはある価格でどれだけの資源を買うことができるかを示す需要関数 $q_i = D_i(p)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) を持つ。すべてのユーザについてこの関数を加算したものを市場の需要曲線といい、 $q = D(p) = \sum_i D_i(p)$ で表す。一方、市場の供給曲線は、供給量を価格に関わらず変化させることができないから、 $q = S(p) = K$ で与えられる。ここで K は一定量で供給される資源の量を示す定数である。市場均衡は需給が一致する図1のE点であり、このときの価格は $p = p^e$ である。市場均衡では資源が無駄なく効率的に分配される。

次に市場均衡へ収束するメカニズムを説明する。価格 $p^0 (< p^e)$ では $D(p^0) - S(p^0)$ だけの超過需要が生じ、競争によりユーザはより多くのお金を支払ってでも資源を獲得しようとし、価格が上昇する。価

The application of a microeconomic model to QoS control

Takeshi Aoki, Jun Kamada, Shoko Iwase, Fumiyuki Iizuka, Satoru Torii
Fujitsu Laboratories Ltd.

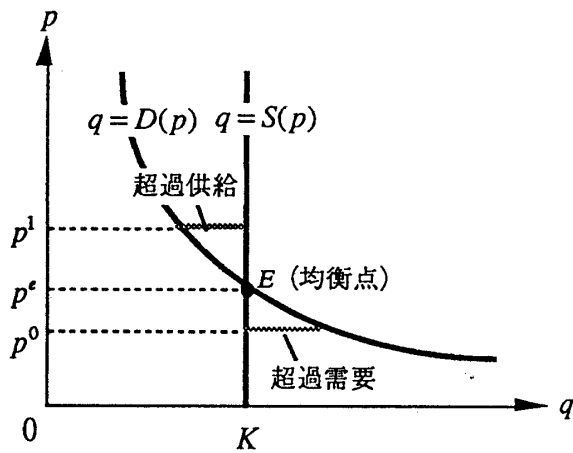


図1 市場均衡

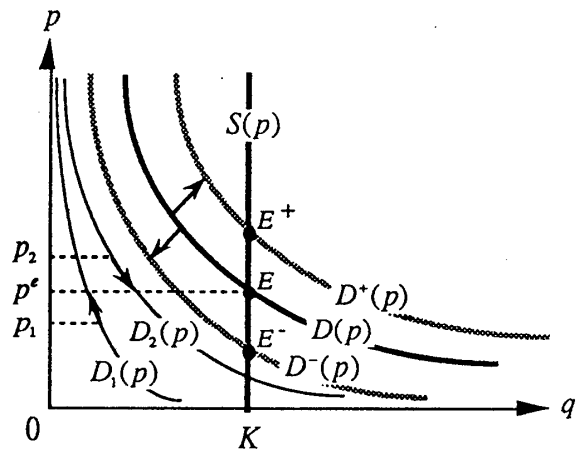


図2 市場の需要の変化とユーザの需要量の調整

格 $p^1 (> p^e)$ では $S(p^1) - D(p^1)$ だけの超過供給が生じ、供給者は売れ残った資源を価格を落としてでも売ろうとする。消費者と供給者がこのような行動をすることをワルラス的調整と呼び、図1のように供給曲線が垂直で、需要曲線が右下がりである場合、ワルラス的調整により、市場均衡点に収束する[5]。

このような価格調整の過程で起こる需要曲線上の需要量の変動とは別に、市場の需要そのものが変動することがある。ユーザの参入や退出による需要の増減や、ユーザの予算の増減による需要の増減によって市場の需要曲線自体がシフトする場合で(図2の $D^+(p)$, $D^-(p)$)、そのとき均衡点の価格が上下に変動する。

4. 経済学モデルによるQoS制御の効果

ユーザのQoSは得られたサービスに対する満足度であり、経済学の用語では効用(utility)である。QoS制御問題にミクロ経済学の市場原理を導入すると、それぞれのユーザは効用の最大化を利己的に追求するが、価格によって支払わないといけないコストが生じ、限界効用(marginal utility)-資源を一つ獲得することによって増加する効用-が価格に等しくなるところに妥協点を見いだそうとする。

市場では、競売によってより高い値段で買う消費者に資源が売られる。市場で取引されている価格よりも高い金額を支払ってもよいと考えるユーザ(図2の $D_2(p)$ の需要曲線を持つ)は購買能力に余剰があり、リソースを得る機会を増やす一方、支払う用意のある価格よりも高い価格で資源が市場で取引されていると考えるユーザ(図2の $D_1(p)$ の需要曲線を持つ)は、資源獲得の機会が少なくなりQoSのグ

レードを落とすことで辛抱したり、市場から一時退出して資源獲得そのものを断念するであろう。このように価格調整のメカニズムは、QoSの要求が低いユーザからQoSの要求が高いユーザへの資源の配分調整の役目を果たす。このような価格という誘因(インセンティブ)のメカニズムがなければ、ユーザは先着順で資源を使いたいだけ使ってしまい、資源が無駄なく利用されてたとしても、ユーザ全体のQoSの満足度は低いものになってしまうであろう。

5. 結論

本稿では、ネットワーク環境のコンピュータシステムの資源の効率的配分にミクロ経済学モデルを適用し、ユーザのQoSを制御する方法を示し、価格の果たす役割を考察した。今後はモデルをより精密なものとし、実験的に有効性を検証していきたい。

参考文献

- [1]D. F. Ferguson, "The Application of Microeconomics to the Design of Resource Allocation and Control Algorithms", Tech. Rep. CUCS-476-89(PhD Thesis), Columbia University, 1989.
- [2]C. A. Waldspurger et al., "Spawn: A Distributed Computational Economy", *IEEE Trans. on Software Engineering*, 18 (2), 103-117, Feb. 1992.
- [3]R. Cocchi et al., "Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 1 (6), 614-627, Dec. 1993.
- [4]J. K. MacKie-Mason, H. R. Varian, "Pricing the Internet", University of Michigan, Tech. Rep., April 1993.
- [5]ヘンダーソン, クオント「現代経済学」創文社