

サービス資源配分における利用者行動のモデル化 Modeling of User Behavior in Allocation of Service Resources

小野 良太[†] 川村 秀憲[†] 鈴木 恵二[†]
Ryota Ono Hidenori Kawamura Keiji Suzuki

1. はじめに

我々の生活は古来の物理的なモノ中心の生活から、形の無いサービスと呼ばれるものを中心とした生活になっている。サービスの定義は諸説あるが、本研究では中でも良く用いられる定義として

- 無形性：物理的な形のあるものではない
- 同時性：提供と消費が同時に行われる
- 消滅性：消費と同時に消滅する（在庫できない）
- 異質性：受け取る人によって効果が異なる

を持つ財^[1]とし、具体的な例としては飲食店、交通、医療、映画などの個人向けサービスのようものを重点的に扱う。

一方、近年の社会現象のひとつとして少子高齢化が問題視されており、それに伴う労働人口の減少がデータから明らかになっている。内閣府の子ども・子育て白書によると、高齢化の影響で労働者人口の減少が既に始まっており、2050年には現在の3分の2弱にまで減少することが予測されている。

サービスの中には単なる外食や娯楽以外にも交通や更には医療など人命に関わるものもあり、その効率化はこれからの十数年間のひとつの大きな課題となるものと考えられる。

サービス業の効率性の向上が停滞している背景として、在庫できないため調整が困難であるという要因がある^[2]。一方で、サービスの社会に占める重要度は大きく、汎用的な効率化手法の提案を行うことができればその影響は非常に大きい。

2. 目的

本研究ではこのようなサービスの中でも、誰でも自由に使うことができ、複数人が同時に使うことでそのサービスにより得られる効用が減少（競合）するという共有資源の性質を持つサービスを対象として、その効率的な利用法の提案を目的とする。

目的の達成に向けて満たすべき重要な要素が2つある。

1 つめは、個人の合理性の問題である。利用法を提案するにあたり、システムが性能や時間の制約の元に最大限合理性を満たすような利用法を提案しなければ利用者にとっては利用するインセンティブを見出すことができず単なる机上の空論として終わってしまう。

2 つめは全体の効率性の問題である。例えば、競合性を持たないサービスは単純にそれぞれが個別に最適化すれば良いが、競合性を持つ場合は「共有地の悲劇」のように個

別の最適反応戦略が全体の利益とならない場合がある。

この2つを満たす利用法を提案できれば個人各々の合理性を満たしつつ社会全体の効率を向上するという理想的な状況の達成が可能となる。しかし、この2つは「競合」という性質のために互いに絡み合った複雑な問題となっている。

このような性質を持つ問題としてゲーム理論における輻輳ゲーム(Congestion Game: CG)として定式化されている。この問題は日本では殆ど先行研究が無いが、海外では盛んに研究が行われており、CGにおける知見を生かし、社会におけるサービスに該当するような共有資源の複数人による利用における性質を明らかにするため、今回はCGの研究状況について調査、検討を行う。

3. モデル

CGの概念は1973年にRosenthalら^[3]により導入された。CGの定義を以下に示す。CGは以下のタプル Γ として定義される。

$$\Gamma(n, m, (S_i)_{i \in [n]}, (f_e)_{e \in [m]})$$

$n \in \mathbb{N}$ プレイヤー数

$m \in \mathbb{N}$ 資源の数

$S_i \subseteq 2^{[m]}$ プレイヤー*i*の戦略集合

$f_e: \mathbb{N}_{\geq 0} \rightarrow \mathbb{N}_{\geq 0}$ 資源*e*の遅延関数

戦略集合が全てのプレイヤーで等しいとき対称(Symmetric)CG, 等しくないとき非対称(Asymmetric)CGという。

さらに、全てのプレイヤーの戦略集合 $S = (S_1, \dots, S_n)$ に対する資源*e*の混雑度として $n_e(S)$ を以下のように定義する。

$$n_e(S) = \sum_{i \in [n]} S_i w_i$$

$w_i \in \mathbb{N}$ はプレイヤー*i*の重みであり、全ての重みが1のとき非重み付き(Unweighted)CG, そうでないとき重み付き(Weighted)CGという。

次に資源*e*の遅延関数(コスト)は混雑度 $n_e(S)$ の関数として $f_e(n_e(S))$ と定義される。プレイヤーがそれぞれ個別に遅延関数 $f_e^i(n_e(S))$ を持つときプレイヤー固有(Player Specific)CGという。

また、CGの目的として良く持ち出されるものとしてネットワーク上のパケットのルーティングの効率化というものがあり、パケットの数が膨大であり個々のパケットを考慮する必要性が少ないためプレイヤー数を整数値でなく、実数値とすることで解析的な考察を行う Nonatomic Congestion Game (NCG)の研究^[4]も Selfish Routingの問題などとして盛んに行われているが、

4. 先行研究

4.1 合理性

合理性については厳密な均衡点として純ナッシュ均衡の有無やプレイヤーの最適反応の繰り返しで解が収束するか

[†]北海道大学 Hokkaido University

どうか、近似手法として ϵ 近似ナッシュ均衡と呼ばれるものがある。いずれにせよ一般のゲームに対してナッシュ均衡の厳密解及び精度保証の近似解を求めることは多項式時間のオーダーで求めるアルゴリズムは知られていない問題であり^[5]CGにおいてもそのようなアルゴリズムがあるかは問題の性質によって変わることが指摘されている。

また、Singleton Congestion Game と呼ばれるプレイヤーが戦略として単一の資源のみを持つという単純な CG において純ナッシュ均衡が常に存在することが示されている^[6]。ただし、このような単純なケースにおいてもプレイヤーの最適反応の繰り返しで必ずしもナッシュ均衡に到達しない場合があることも同時に示されている。この場合、遅延関数が線形の場合はナッシュ均衡に収束することが証明されている^[7]。

戦略空間をマトロイドと呼ばれる概念に拡張した Matroid Congestion Game では純ナッシュ均衡が存在することが証明されており^[8]、戦略空間が単純であれば問題が単純であるとは限らないことが伺える。

4.2 効率性

効率性についてはゲーム全体でプレイヤーの利得の総和が最大となる最適解とナッシュ均衡のうち利得の総和が最小となる解との比である Price of Anarchy(PoA)^[9]および同様に最適解とナッシュ均衡のうち利得の総和が最大となる解との比である Price of Stability(PoS)^[10]という指標がある。純ナッシュ均衡より ϵ 近似ナッシュ均衡のほうが PoA や PoS が向上するケースも提示されており^[11]興味深い。

4.3 サービスへの適用

本研究では資源としてサービスを対象としているため、CG の中でも特定の条件の下で調査を行う必要がある。サービスの性質のひとつとして異質性があるが、これは利用者によって得られる効用が異なるというものであり、CG においてはプレイヤー固有 CG な場合として扱われているものと同様である。

次に、サービスは待ち行列モデルで表されることが多いが、この性質は非重み付き CG で遅延関数が線形なものとして考えることができるであろう。具体的には、行列となっているレストラン、テーマパークなどである。

このようなものケースに対しても厳密な均衡の存在性や PoA 及び PoS が求められている^[12]。

4.4 日本における類似の研究

国内におけるサービス工学に関する研究としてはゲーム理論のような基礎理論からのアプローチよりはエージェントベースのアプローチという実験的手法による研究が多い。例えば群ユーザ支援^[13]という研究があり、群ユーザ支援は個々のユーザのみならず複数のユーザを集めた群としての利用効率の向上を目標としており、これは本研究とほぼ一致する。群ユーザ支援の具体例としてはテーマパーク問題^[14]やカーナビゲーション問題^[15]といったエージェントシミュレーションによる研究が行われており、特定環境下での効率的な手法がいくつか提案されている。しかしながら、理論的な側面からの分析が不足しており、本研究では今後、CG の知見を用いてそれらに関する知見を与えていく方針である。

5. おわりに

本研究ではサービスの効率的な利用を目指してその達成に必要な合理性と効率性について検証を進めるため、先行研究として盛んに研究が行われている Congestion Game について調査を行いその研究状況について報告を行った。

今後、具体的なサービスへの応用や今回議論を行っていない利用者間の公平性についても調査の必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、研究の構想及び指導を行って下さった調和系工学研究室の鈴木教授、川村助教に最大限の感謝を示したい。また、日常的に議論を行ってくれた当該研究室の学生や学会等にて意見下さった多くの研究者の皆様にも感謝の意を表する。

参考文献

- [1] パート・ヴァン・ローイ, ポール・ゲンメル, ローランド・ヴァン・デイドンク編/白井義男監修/平林祥訳, "サービス・マネジメント——統合的アプローチ 上", ピアソン・エデュケーション (2004)
- [2] 内藤耕, "サービス工学入門", 東京大学出版会(2009)
- [3] Rosenthal, R.W. "A Class of Games Possessing Pure-Strategy Nash Equilibria," Int. J. Game Theory 2, 65-67 (1973)
- [4] T. Roughgarden and E. Tardos. Bounding the inefficiency of equilibria in nonatomic congestion games. Games and Economic Behavior. (2004)
- [5] 岡本 吉央, "ナッシュ均衡計算の複雑さ", OR 学会中部支部シンポジウム予稿集, (2008)
- [6] Igal Milchtaich. Congestion games with player-specific payoff functions. Games and Economic Behavior, 13(1):111-124 (1996)
- [7] Martin Gairing, Burkhard Monien, and Karsten Tiemann. "Routing (un-) splittable flow in games with player-specific linear latency functions", In Proceedings of the 33rd Int. Coll. on Automata, Languages and Programming (ICALP), pages 501-512, (2006)
- [8] Heiner Ackermann, Heiko Röglin and Berthold Vöcking, "Pure Nash equilibria in player-specific and weighted congestion games", In Proceedings of the 2nd International Workshop on Internet and Network Economics (WINE). Lecture Notes in Computer Science, vol. 4286. Springer-Verlag, New York, 50-61. (2006)
- [9] T. Roughgarden, "Selfish Routing and the Price of Anarchy", MIT Press, May 2005.
- [10] E. Anshelevich, A. Dasgupta, J. Kleinberg, E. Tardos, T. Wexler, and T. Roughgarden, "The price of stability for network design with fair cost allocation", In Proc. of 45th FOCS, pages 295-304, (2004)
- [11] Christodoulou, George, Koutsoupias, Elias, Spirakis, Paul, "On the Performance of Approximate Equilibria in Congestion Games", Lecture Notes in Computer Science, Algorithms - ESA 2009(2009)
- [12] G. Christodoulou and E. Koutsoupias. "On The Price of Anarchy and Stability of Correlated Equilibria of Linear Congestion Games", European Symposium on Algorithms, 59-70 (2005)
- [13] 車谷浩一, "群ユーザ支援: ユビキタス情報環境を用いた社会的調整サービス", 信学技報, AI2003-87, pp.35-40 (2004).
- [14] Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, and Azuma Ohuchi, "Modeling of Theme Park Problem with Multiagent for Mass User Support", Working Note of The IJCAI-03 Workshop on Multiagent for Mass User Support, Acapulco, Mexico pp.1-7 (2003).
- [15] 山下倫央, 車谷浩一, "道路交通流の円滑化に向けた情報共有に基づく協調カーナビの提案", 情報処理学会 ITS 研究会, (2006)