

平成 21 年 5 月 13 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17300011
 研究課題名（和文） 情報ネットワークや分散システムにおける独立分散管理に関する研究
 研究課題名（英文） A study on distributed decision making in communications networks and distributed systems
 研究代表者
 亀田 壽夫 (KAMEDA HISAO)
 筑波大学・名誉教授
 研究者番号：10011660

研究成果の概要：Internet等の情報ネットワークや、Grid等の分散システムにおいて、各ユーザ等の意志決定主体が、独立に自己の利益を追究する状況（独立分散管理）が将来想定される。本研究は、そのような場合に起こり得る問題の検討を行った。独立分散最適化による性能劣化パラドックスの発生の可能性が知られており、その可能な大きさを示した。また、そのような性能劣化が起こる、特殊な場合、および、かなり広い条件等を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,300,000	0	3,300,000
2006年度	5,000,000	0	5,000,000
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
総計	15,000,000	2,010,000	17,010,000

研究分野：情報科学

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：情報ネットワーク Internet 経路選択 分散システム GRID 負荷均衡 独立分散管理 パラドックス

1. 研究開始当初の背景

独立分散管理として、例えば、情報ネットワークであるInternetにおいて多数の独立なプロバイダが独立に自己の顧客のパケットのみの性能向上を追究し経路選択する状況が考えられ、GRID等の分散システムにおいて、各ユーザが、自己に関わる計算のみの処理コ

スト/応答時間(Turnaround time)を追究し負荷分散する状況が考えられる。

一般に、独立分散管理することにより、(すなわち、参入する個人・企業体・組織体が、各々のコストを独立に最小化することにより、)システム全体の利用効率が向上し、全ての個人・企業体・組織体に効用がもたらさ

れると信じられている。同様に、情報ネットワークや分散システムにおいても、独立分散管理が、全体的に効用をもたらしてくれると信ずるのが自然である。ゲーム理論においては、独立分散管理により、各意志決定主体（プレーヤーと呼ばれる）が、各々のコストを最小化する状況は非協力ゲームと呼ばれ、各プレーヤーのコストの独立した最小化が追究された状態を、Nash均衡と呼ぶ。

しかし、独立分散管理の下で（すなわち Nash均衡化で）、新たな通信装置を増強すると、かえって、全てのユーザに対する応答性が悪化する逆説的な現象の存在が、ネットワークルーティングにおいて、指摘された（Braess, Cohen & Kelly, 等）。このような現象は、直観的には信じ難く逆説的であり、パラドックスと呼ばれる。これは、ゲーム理論において、Nash均衡が、一般に、最適でない（Pareto非最適である）ことに関連している。

我々は、パラドックスの害が限りなく大きくなる深刻な場合があり得ることを発見している（Kameda & Pourtallier, J. ACM '02）。このことは、独立分散管理には大きな困難の可能性を示している。特に、上記のような状況の Internet や GRID 等の分散システムでは、パラドックス発生の可能性があり、いずれも、その害が限りなく大きく深刻になる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、独立分散管理における、パラドックスの発生条件、および、その被害がどの程度になり得るかについて、明らかにし、その防止策、および、パラドックスの起こらない集中型管理方式の Fairness、等に関する見通しを得ることを、目的とする。経路選択、負荷分散、フロー制御を含む広範囲の問題に視点を置く。現実の場合にパラドックスがどのように起こるかについて、可能な限り現実的状況を用意し確認する。

3. 研究の方法

情報ネットワークや、分散システムについて、理論的な追究と数値的な検討を行った。海外出張を、何度か行い、また、電子メールにより、海外研究協力者等と、密接に連絡し、検討を行った。また、ゲーム理論の専門家との接触も図った。

4. 研究成果

本研究では、独立分散管理における、パラドックスの発生条件、および、その被害がどの程度になり得るかについて、明らかにし、その防止策、および、パラドックスの起こらない集中型管理方式の Fairness、等に関する見通しを得、経路選択、負荷分散、フロー制御を含む広範囲の問題に視点を置いて研究成果を得た。

(1) 平成 17 年度は、特に、情報ネットワークや、分散システムについて、理論的な追究と数値的な検討を行った。まず、パラドックスがいかなる状況で起こるかを、より詳細に究極めることを行った。以下のような問題に対しある程度の成果を得た。

① パラドックスの大きさの程度を計る指標を検討した。

② その指標に基づき、パラドックスがどのような場合に大きくなるかを、追究した。

③ ネットワークのフロー制御に関して、独立分散管理の不都合さが存在することを示した。

④ 独立分散管理による、各ユーザ間の公平さを実現しながら、パラドックスの害をもたらさない、新しい管理方式の発見を試みた。関連研究を行っている研究者達の研究を調査し、国際会議などに出席し発表することによって、ゲーム理論専門家を含む関連研究者達との交流をはかった。

(2) 平成 18 年度は、さらに情報ネットワークや、分散システムについて、パラドックスの状況を求め、それがどの程度の大きさになり得るかを、詳細に究めた。非常に一般的な場合について、パラドックスにつながり得る、独立分散管理の不都合さの一般的存在条件を示した。特にネットワークのフロー制御を中心として、異なる分散意志決定の程度を持つ意志決定者が共存する場合の意志決定解を、かなり複雑な一般的なシステムについて求め検討した。独立分散管理による、各ユーザ間の公平さを実現し、かつパラドックスの害がない、新しい管理方式の追究を深めた。数値的な検討を行うための実験環境を整備した。さらに、ゲーム理論専門家を含む関連した研究者達と交流を深めた。

(3) 平成 19 年度は、情報ネットワークや、分散システムの非常に一般的な場合について、パラドックスにつながり得る、独立分散管理の不都合さの一般的存在条件を示した。特にネットワークのフロー制御を中心として、異

なる分散意志決定の程度を持つ意志決定者が共存する場合の意志決定解を、かなり複雑な一般的なシステムについて求め検討した。独立分散管理による、各ユーザ間の公平さを実現し、かつパラドックスの害がない、新しい管理方式の追究を深めた。数値的な検討を行うための実験環境を整備した。さらに、ゲーム理論専門家を含む関連した研究者達と交流を深めた。

(4)平成20年度は、昨年度に引き続き、情報ネットワークや、分散システムについて、理論的な追究と数値的な検討を行った。まず、共通の資源のプールから、各意志決定者が資源の利用を競い合う状況において、その均衡点(Nash均衡)では、Pareto非最適である、すなわち、どの意志決定者もそれより効用の高い状態が存在する、非常に一般的な条件を示した。そして、Nash均衡状態に対して、どの意志決定者にとっても、それよりも、効用が悪くないPareto最適な状態が存在する、条件を求めた。また、一般的な待ち行列網で表される、情報ネットワークにおいて、各意志決定者が、Nash均衡における効用に比例して大きい効用を与える、Pareto最適状態が存在することを示した。

さらに、対照的な分散型コンピュータシステムにおいて、種々の異なった程度の分散意志決定者が混在する場合の、均衡解を明示的に求めた。また、種々のネットワークについて、資源を追加した場合、Wardrop均衡やNash均衡において、逆説的・非逆説的な状況がどのように生じるか、その程度はどのくらいになるかについて求めた。その他、情報ネットワークに対する、ゲーム理論的追究を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7件)

① H. Kameda, "Coincident cost improvement vs. degradation by adding connections to noncooperative networks and distributed systems," *Networks and Spatial Economics*, posted-at = {2009-03-08 20:48:13}, url={<http://dx.doi.org/10.1007/s11067-009-9102-2>} March, 2009(査読有)

② H. Kameda and E. Altman, "Inefficient

noncooperation in networking games of common-pool resources," *IEEE J. on Selected Areas in Communications, Special Issue on Game Theory in Communication Systems*, vol.29, issue 7, pp.1260-1268, Sept. 2008 (査読有)

③ H. Kameda, E. Altman, and O. Pourtallier, "A mixed optimum in symmetric distributed computer systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol.53, no. 2, pp.631-635, March 2008 (査読有)

④ S. F. El-Zoghdy, H. Kameda and J. Li, "Numerical studies on a paradox for non-cooperative static load balancing in distributed computer systems," *Computers and Operations Research*, Vol. 33, pp.345-355, 2006 (査読有)

⑤ A. Inoie, H. Kameda and C. Touati, "A paradox in flow control of M/M/n queues," *Computers and Operations Research*, Vol. 33, pp.356-368, 2006 (査読有)

⑥ 亀田 壽夫, "独立分散最適化によるネットワークにおける性能劣化パラドックスとその大きさ," *日本オペレーションズリサーチ学会和文論文誌*, 第48巻, 26-47頁, 2005年12月 (招待、査読有)

⑦ E. Altman and H. Kameda, "Equilibria for multiclass routing in multiagent networks," in *Advances in Dynamic Games: Annals of International Society of Dynamic Games*, Vol. 7, A.S. Nowak and K. Szajowski, Eds., Birkhäuser, Boston, pp. 343-367, 2005 (査読有)

[学会発表] (計 3件)

① E. Altman, V. Kamble, and H. Kameda, "A Braess type paradox in power control over interference channels," PHYSCOMNET 2008 -- The 1st Workshop on Physics-Inspired Paradigms in Wireless Communications and Networks, Berlin, Germany, April 4, 2008

② E. Altman, Y. Hayel and H. Kameda, "Evolutionary dynamics and potential games in non-cooperative routing," International Workshop on Wireless Networks: Communication, Cooperation and Competition,

Limassol, Cyprus, April 16, 2007

③H. Kameda, "A measure of Pareto superiority and degrees of Braess-like paradoxes," Proc. 5th International ISDG Workshop, Segovia, Spain, pp. 131-147, Sept. 23, 2005

[その他]

ホームページ等

<http://www.osdp.cs.tsukuba.ac.jp/kameda>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀田 壽夫 (KAMEDA HISAO)

筑波大学・名誉教授

研究者番号: 10011660

(2) 研究分担者

李 頡 (LI JIE)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・
教授

研究者番号: 50251046

(3) 連携研究者 なし

(4) 海外研究協力者

Eitan Altman

フランス共和国国立情報・自動制御研究所・
一級研究部長

Odile Pourtallier

フランス共和国国立情報・自動制御研究所・
研究員

Corinne Touati

フランス共和国国立情報・自動制御研究所・
研究員