

放送・通信連動により生じる通信輻輳発生予測に関する研究 —マルチエージェントアプローチによる—

奥田 隆史 愛知県立大学情報科学部教授

1 はじめに

平成18年度末の統計によると、我が国におけるインターネット利用者数は8,754万人、人口普及率は68.5%と推定されている[1]。また、インターネットに接続する際に利用する機器は、パソコンと携帯電話・PHSの両方を利用する人が6,099万人と最も多く、パソコンのみ利用している人が1,627万人、携帯電話・PHSのみの人が688万人となっている。

インターネットの普及により、インターネットを利用した様々なサービスが社会生活に定着しつつある。特に、ここ数年、ブログ、ソーシャルネットワーキングサービス(SNS)、ロコミサイト等の消費者発信型メディア(CGM: Consumer Generated Media)と呼ばれるサービスが急速に普及した。

CGMにより、我々は、インターネットを介して個人の所有情報を他者と共有可能となり、情報が広く、高速に伝播される環境を手に入れた。我々の環境の変化は、`検索'と`共有'という行動を含むAISASと呼ばれる行動パターンを発生させている。この行動パターンにより、検索行動を起こす消費者から特定サイトへアクセスが集中し、インターネット回線やサイトへ想定外の負荷がかかる場合がある。そこで本研究では、消費者の検索行動が情報ネットワークリソースへ与える影響を考察するために、(1)消費者間のヒューマンネットワークを考慮した情報伝播過程の表現、(2)(1)がネットワークに与える負荷の分析を行う。

インターネットを利用した様々なサービスが社会生活に定着しつつある。特に、ここ数年、ブログ(Blog)ⁱ、ソーシャルネットワーキングサービス(SNS)ⁱⁱ、ロコミサイトⁱⁱⁱ等の消費者発信型メディア(CGM: Consumer Generated Media)と呼ばれるサービスが急速に普及した[1]。従来の情報発信者は、テレビや新聞、雑誌等のマスメディアに限られていたが、CGMの普及により、インターネットを介して個人が所有する情報を他者と共有することが可能となった。我々は、個人の所有情報を、CGMを用いて発信することにより、情報発信を広範囲かつ高速に伝播する環境を手に入れたことになる。

我々の環境の変化は、消費者の購買行動パターンに影響を与えている。従来の購買行動パターンはAIDMAとして表現されていたが、現在は、“検索”と“共有”という行動を含むAISASとして表現されるようになった[2]。AIDMAとは、マスメディアからの情報により、消費者は商品に注意(Attention)・関心(Interest)を持ち、その商品を欲しい(Desire)と考え、記憶(Memory)し、そして商品の購買等の行動(Action)を起こすことをいう。一方、AISASとは、マスメディアあるいはCGMからの情報により、消費者は商品に注意(Attention)・関心(Interest)を持ち、検索サイトを用いて検索(Search)し、そして商品の購買等の行動(Action)を起こし、その情報をCGM等により発信し他者と共有(Share)する。

AIDMAとAISASの異なる点として、欲求(Desire)と記憶(Memory)が検索(Search)に変化したこと、行動(Action)の後に共有(Share)が加わっていることが挙げられる。つまり現在の消費者は、購買行動前後にインターネットを用いて情報検索や情報発信を行う傾向にあることを示している。

消費者は、情報検索時に、主に企業サイト等の特定サイト、CGMを利用する。特定サイトでは、最も信頼のおける情報が入手可能である。一方、CGMでは、消費者の意見が入手可能である。また、CGMは消費者の情報発信により活性化するメディアであるため、情報伝播が進み、情報発信者が増加することにより、その内容は充実する。CGMの充実は消費者の購買意欲を促進させ、消費者を情報リソースである特定サイトへと誘導する。その結果、情報検索者による特定サイトへのアクセスが集中し、サーバーやインターネット回線へ想定外の負荷がかかり、図1のような輻輳が発生する場合もある[3]。

例えば、以下のような事例が報告されている。

2003年7月3日

オンライン証券取引サイトへ個人投資家からのアクセスが集中し、SLA(サービス・レベル契約)で定めた遅延が発生した。前日、日経平均株価が9500円台に回復し、一時は2002年9月以来の9800円台にまで急伸したためである。当該サイトのサーバーはピーク時の2倍の負荷に耐え得る設計であるが、当日はサーバーに

3～4 倍の負荷が集中した[4].

2006 年 11 月 12 日

ラジオ局の競馬情報提供サイトへアクセスが集中し、当該サイトのサーバーがダウンした。人気馬が降着となったこともあり、情報収集を目的とするアクセスが集中したためである。他の情報提供サイトにおいても、一時的にアクセス不能な状態が発生した[5].

2008 年 1 月 22 日

青森県八戸市の市議会議員の公式サイトへアクセスが集中し、数時間にわたってアクセス不能な状態に陥った。SNS や Blog において、議員サイトに関するコメントが数多く書き込まれ、それらを読んで興味を持った多くのユーザーが、一斉にアクセスしたことで障害が発生した[6].



図 1：消費者の検索行動による輻輳

このようにサイト運営側に予想外のアクセスが集中し、その結果、サイト側が提供するサービスの品質を低下させないためには、電子空間での消費者の検索行動が情報ネットワークリソースへ与える影響を考察する必要がある。そこで、本研究では、以下の 2 つの問題：

- (1) 消費者間のヒューマンネットワークを考慮した、AISAS に基づく情報伝播過程の表現
- (2) (1) がネットワークに与える負荷の分析

を行う。

(1) では、マルチエージェントアプローチを用いて多様な消費者行動を表現することにより情報伝播パターンを生成し、(2) では、ネットワークシミュレータを用いて(1) がネットワークに与える負荷をシミュレーションにより分析する。

以下、3 節では、輻輳発生過程モデリングを示す。4 節では、ネットワークの性能評価手法を示し、5 節で、数値例を示す。最後に 6 節で、まとめと今後の課題について述べる。

2 輻輳発生過程モデリング

本研究では、消費者をエージェントとして表現し、情報伝播パターンを生成する。なお、消費者間のヒューマンネットワークは複雑系ネットワーク[7, 8]として表現する(図 2)。

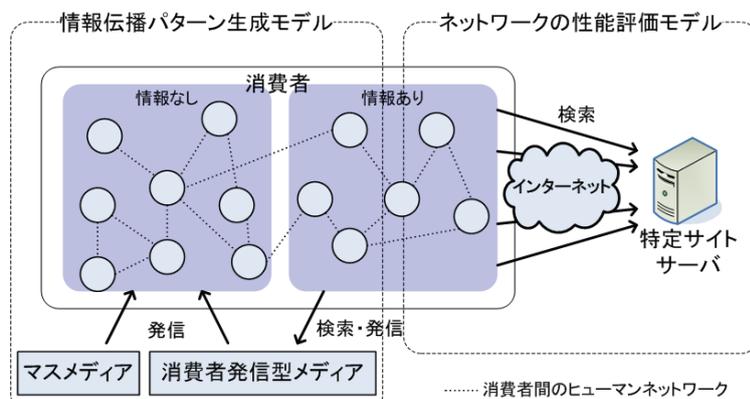


図 2：AISAS に基づく輻輳発生過程モデル

1) 情報伝播パターン生成モデル

情報伝播パターン生成モデルでは、消費者の生活環境 Env ，各消費者をエージェント Con としたマルチエージェントシステム $S = \{Env, Con\}$ として捉える[9]。本研究で使用する Env と Con の属性を表 1 に示す。

表 1: Env と Con の属性

記号	設定項目	
Env	消費者数	n
	マスメディア数	m
Con	口コミ発信友人数	k_m
	口コミ発信ネットワーク生成確率	p
	Blog・SNS 発信友人数	k_b
	忘却確率	α
	検索行動確率	$p_{ss}, p_{sc}, p_{sm}, p_{sb}, p_{sa}, p_{sn}$
	発信行動確率	p_{tm}, p_{tb}, p_{tn}
	情報伝達確率	p_m, p_b

生活環境(Env)

Env は、想定する電子空間に存在する消費者数 n と消費者が影響を受けるマスメディア数 m で規定する。なお、本研究ではマスメディアとして、テレビや新聞、雑誌、広告等、情報を伝達する媒体を想定する。

各消費者(Con)の属性

各 Con は、AISAS に基づき、3 種類の状態：“情報を受信する”，“受け取った情報について検索する”，“得た情報を他者に発信する”のいずれかをとるものとし、同一人物であるが便宜上、各状態に応じて、「受信者 R_c 」, 「検索者 S_c 」, 「発信者 T_c 」となる(図 3)。各状態の詳細は以下のとおりである。

R_c : R_c は、マスメディアや T_c から情報を得て、 S_c となる。

S_c : S_c は、行動確率 $p_{ss}, p_{sc}, p_{sm}, p_{sb}, p_{sa}, p_{sn}$ に従い、企業ホームページ等の特定サイトへアクセス、比較サイトへアクセス、友人からの口コミ、Blog・SNS からの情報、マスメディアからの情報、検索行動を行わない、のいずれかの検索行動をとり、 T_c となる。

T_c : T_c は、行動確率 p_{tm}, p_{tb}, p_{tn} に従い、友人へ口コミ、Blog・SNS へ書き込む、発信行動を行わない、

のいずれかの発信行動をとる。なお、友人へ口コミする確率を p_m 、Blog・SNS へ書き込む確率を p_b とする。

また、 T_c は、忘却確率 α に従い、受信した情報を忘却する。

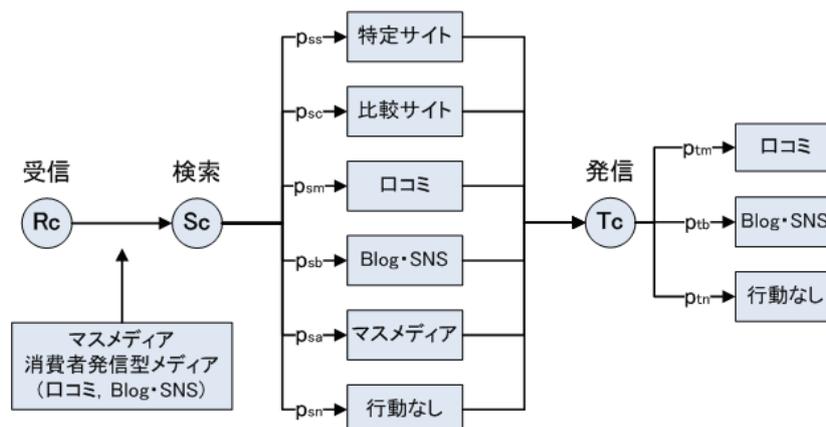


図3：AISASに基づく消費者の状態遷移

2) 口コミ行動モデル

本研究で想定する消費者の口コミ行動は、友人関係に基づいて特定の人に情報発信する口コミ発信と不特定多数の人に情報発信するBlog・SNS発信とする。

口コミ発信

本研究で想定する口コミ発信は、会話口コミ (会話による口コミ) と電子口コミ (電話や電子メールによる口コミ) である。会話口コミは、友人と実際に会うことにより発生するが、電子口コミは、友人と実際に会わなくとも発生する。

本研究では、各口コミを表現するために、消費者間のヒューマンネットワークを表現するモデルとして、スモールワールドモデルを用いる。

現実世界における消費者間のヒューマンネットワークを表現するために、スモールワールドモデルを用いて生成されたネットワークは、小さい消費者間距離と大きいクラスター係数を持つ必要がある。消費者間距離は「ある消費者からある消費者に情報が伝達されるために通らなければならない枝の最小の本数」、クラスター係数は「自分の友人の友人が、また自分の友人である確率」である。

スモールワールドモデルを用いた、消費者間のヒューマンネットワークを生成する際のアルゴリズムを以下に示す[7, 8]。

- ① 消費者 n 人は、隣接する k_m 人の消費者とそれぞれ繋がっているものとする (密な関係)。このとき、ネットワーク内に消費者同士を繋ぐ枝は合計 $k_m n / 2$ 本ある。
- ② $k_m n / 2$ 本のうち、割合 $p (0 \leq p \leq 0.1)$ だけの枝、つまり $p k_m n / 2$ 本をランダムに繋ぎかえるため、まずこの枝を選択する。
- ③ 選択したそれぞれの枝について、片方の消費者を切り離す。切り離す消費者については $1/2$ の

確率で決定する。

- ④ 各枝の新しい繋ぎ先の消費者をランダムに選択し繋ぐ(薄い関係)。この新しい枝をショートカットと呼ぶ。ただし、選択する消費者について(a)自分自身、(b)すでに自分と繋がっている消費者、(c)すでにショートカットが存在する消費者、は選択できないものとする。

Blog・SNS 発信

Blog・SNS 発信を行う消費者は、インターネット上(電子空間)で情報を発信するため、不特定多数の消費者と繋がっている。この電子空間上における消費者間のヒューマンネットワークを、Blog・SNS 発信を行わない消費者が、Blog・SNS 発信を行う消費者をランダムに k_b 人選択しネットワークを構成することにより、表現する。

3 ネットワークの性能評価手法

前節 2 より、消費者の特定サイトへのアクセス数の時系列を得ることができる。本研究では、得られたアクセス数に比例するパケットが指数分布にしたがって、当該サイトの情報ネットワークシステムに到着するランダム到着モデル[10, 11, 12]と仮定する。到着パケットがサイトに与える影響予測(性能評価)は、ネットワークシミュレータ OPNET[13]を用いて行う。

ネットワークシミュレータを利用することにより、サイトのネットワークリソース構成を忠実に表現することができる。ここで、サイトのネットワークを構成するリソース(サーバーや回線など)の種類、リソース同士がどのように接続されているかを表現するために、機器ネットワークトポロジ、サーバーの性能、利用プロトコルなどにより規定する。

また、アクセスパターンに応じた、応答時間やパケット廃棄率などの QoS(Quality of service, サービス品質)を計算することができる。サイト運営者は、希望する QoS を維持するように、ネットワークシミュレータ上で、サイトのシステムを構成することができる。

4 数値例

本節では、消費者間で起こる情報伝播が情報ネットワークリソースへ与える影響について数値例により示す。

情報伝播パターン生成

電子空間における情報伝播を想定し、消費者間のヒューマンネットワークを考慮した情報伝播パターンをマルチエージェントにより生成する。 Env に関するパラメータ(表 1)は、 $n = 200$ [人]、 $m = 5$ とする。各マスメディアは、空間上にランダムに配置する。

Con に関するパラメータは、 $p = 0.1$ 、 k_m は平均10 [人]の正規分布に従い、 k_b は $0 \leq k_b \leq 2$ 、 α は $0 \leq \alpha \leq 1$ とし、消費者の検索・発信確率は、表 2, 3 に従う[14]。また、各消費者は空間を徘徊するため各マスメディアとランダムに接触する。

表 2 : 検索行動確率(%)

P_{ss}	P_{sc}	P_{sm}	P_{sb}	P_{sa}	P_{sn}
23	33	23	2	8	11

表 3 : 発信行動確率(%)

p_{tm}	p_{tb}	p_{tn}	p_m	p_b
51	8	41	50	10

時刻 0 で消費者の 5%に情報が発信されるものとし、シミュレーションを実施した。シミュレータには artisoc を用いた[15]。なお、シミュレーションは、情報発信者を従来型と現在型として実施した。従来型受信者では、マスメディアと口コミ(会話のみ)発信者により情報を受信する。現在型受信者では、マスメディアと口コミ(会話・電子)発信者、Blog・SNS 発信者により情報を受信する。

各型に対する情報伝播の時刻変化の一例を図 4, 5 に示す。

図 4, 5 の結果から、従来型と比較して、現在型では、急激に情報伝播が進展することがわかる。図 5 において、情報を受信した消費者の割合は、情報を忘却する消費者がいるため増減を繰り返すが、最終的に 8 割付近に収束している。なお、様々な初期条件でシミュレーションを実施した結果、最終的に情報を受信した消費者の割合は、6~9 割に収まることが分かった。

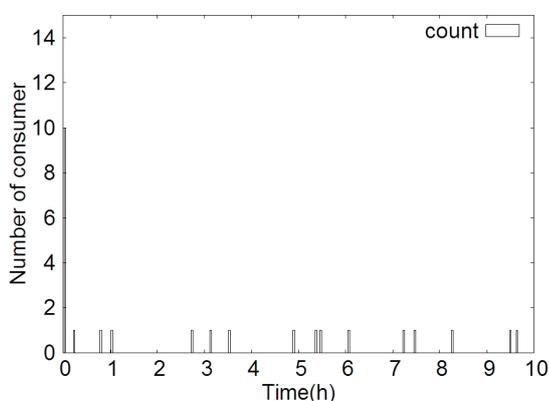


図 4 : 従来型の情報伝播

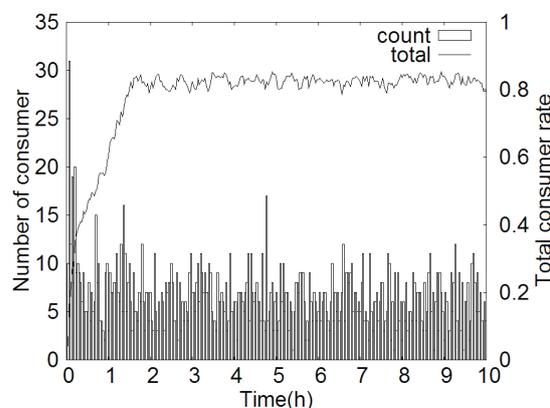


図 5 : 現在型の情報伝播

ネットワークの性能評価

図 5 から生成される消費者からのアクセスパターンは図 6 のようになり、このアクセスパターンに対するネットワークの応答時間は図 7 のようになる。なお、ネットワークリソース構成は、Web サーバーが 1 台、LAN の回線速度は 100Mbps とした。シミュレータには OPNET を用いた[13]。

図 7 の結果から、消費者間の情報伝播による連続アクセスが、応答時間に与える影響度が分かる。この結果を利用して、SLA で定めた QoS 保証を満足するようなネットワークを構築することが可能となる。

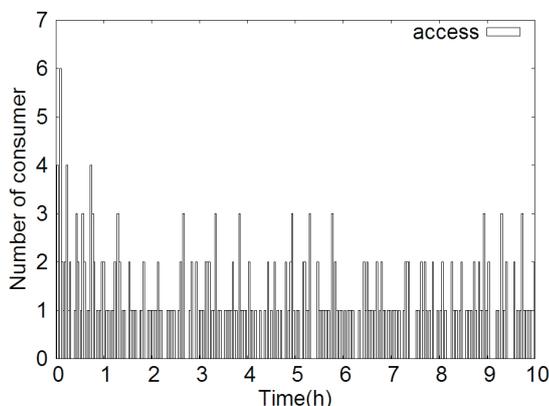


図 6 : アクセス人数

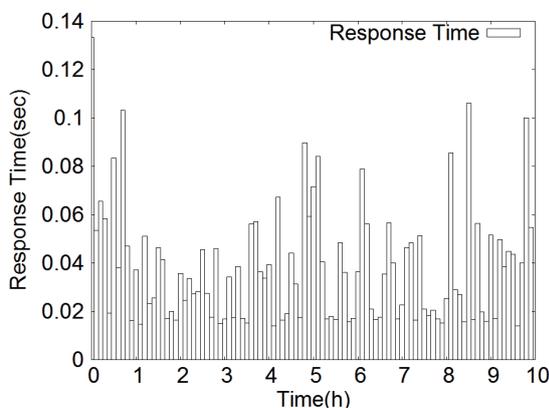


図 7 : 応答時間

5 おわりに

本研究では、複雑系ネットワークを用いることにより消費者間のヒューマンネットワークを表現し、そのネットワーク内で起こる情報伝播が情報ネットワークリソースへ与える影響について分析した。

2006年4月より地上デジタルテレビ放送による携帯機器向け放送サービスである「ワンセグ」が開始された。「ワンセグ」の番組サービスは基本的に通常のテレビ受信機向けの番組と同じ内容であるため、利用者は、いつでも何処に居ても、重要なニュースや天気予報・災害情報を入手することができ、お気に入りのドラマ、バラエティ、スポーツ中継を楽しむことができる。さらに、携帯電話の通信機能を利用することにより、固定電話と比較し、よりインタラクティブに番組に参加することが可能となる。

一方で、「ワンセグ」のような放送と連携したサービスは、放送番組での“よびかけ”による呼(放送と連動した呼)の発生を誘引し、ネットワークに集中的な呼が現れ、ネットワークに輻輳を発生させる可能性が高くなってきている。このような放送と連携・連動した通信の輻輳は、視聴エリアや視聴者の行動により、放送局のサーバー、インターネット、固定網、移動網、無線回線ネットワークの様々な場所で、様々な規模で発生することが報告されている。

今後の課題としては、ワンセグなどの新しいメディアがロコミに与える影響の検討、世代間格差などを反映した消費者間ネットワークの構築、待ち行列ネットワークモデルによる近似手法によるネットワークの性能評価時間の短縮、アクセスの集中に対してもロバストなネットワーク構成アルゴリズムの検討等が挙げられる。

末筆であります。本研究を推進するために、研究助成をいただいた(財)電気通信普及財団の皆様にご心より感謝します。研究推進において、ロコミデータ生成に関して中心的役割を果たしてくれた平成19年度愛知県立大学卒業生の福井綾子君、石川未来君に感謝します。また、ネットワークの性能評価に関して貴重な意見交換をいただいた、愛知県立大学情報科学部井手口哲夫教授、田学軍准教授、朝日大学経営学部矢守恭子准教授、国立情報学研究所山田茂樹教授、早稲田大学大学院国際情報通信研究科田中良明教授、九州大学システム情報科学研究所福田晃教授、熊本大学大学院自然科学研究科北須賀輝明准教授に感謝します。

参考文献

- [1]総務省、『通信利用動向調査報告書』, 2007.
- [2]秋山隆平,『情報大爆発 ～コミュニケーションデザインはどう変わるか～』, 宣伝会議, 2007.
- [3]高橋幸雄, 森村英典,『混雑と待ち』, 朝倉書店, 2001.
- [4]“想定外のアクセス増で株取引に遅れ”, <http://itpro.nikkeibp.co.jp>, 2003年9月2日.
- [5]“アクセス殺到でサーバダウンのお詫び”, <http://blog.radionikkei.jp/webmaster>, 2006年11月12日.
- [6]“美しすぎた? “八戸市議会のアイドル”HPがアクセス不能に”, <http://headlines.yahoo.co.jp>, 2008年1月24日.
- [7]増田直紀, 今野紀雄,『複雑ネットワークの科学』, 産業図書, 2005.
- [8]アルバート=ラズロ=バラバシ,『新ネットワーク思考 ～世界のしくみを読み解く～』, 日本放送出版協会, 2002.
- [9]大内東, 山本雅人, 川村秀憲,『マルチエージェントシステムの基礎と応用』, コロナ社, 2002.
- [10]Vidyadhar G. Kulkarni, Modeling, Analysis, Design, and Control of Stochastic Systems, Springer-Verlag, 1999.
- [11]Kishor S. Trivedi, Probability and Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2001.
- [12]高橋敬隆, 吉野秀明, 山本尚生, 戸田彰,『わかりやすい待ち行列システム-理論と実践』, 電子情報通信学会, 2003.
- [13]OPNET, <http://www.opnet.com>.
- [14]総務省, “ユビキタスネットワークの社会経済への影響に関する調査”, 2006.
- [15]山影進,『人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門』, 書籍工房早山, 2007.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
市川貴久, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “中継ノードの行動がWLANに与える影響の 評価 -Mixed Mode と Ad-hoc Mode の比較-”	マルチメディア・分散・協調とモ バイル(DICOM02007)シンポジウム 論文集, pp. 446-450	2007年7月
市川貴久, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “エージェントベースモデリングによる Mesh Network の通信品質の評価-中継ポ イント制による安定したネットワークを目的 として-”	情報学ワークショップ 2007 論文 集, pp. 47-51	2007年9月
石川未季, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “ユビキタスネットワークが可能とする高 齢社会における待ち行列処理方法の提案”,	情報学ワークショップ 2007 論文 集, pp. 57-60	2007年9月
奥田隆史, “Spam メールとサイレントメ ールを考慮した電子メール利用リスクに関 する一考察”	電子情報通信学会 技術と社会・ 倫理研究会 (SITE), pp. 11-16	2007年5月
奥田隆史, “スパムメール到着特性に着目 した情報システムの設計法”	経営情報学会 2007 年度春季全国研 究発表大会論文集, 横浜国立大学,	2007年6月
河路慶一, 奥田隆史, 市川貴久, 井手口哲夫, “待ち行列網モデルによる spam メールを考 慮したメールサーバーシステム設計法”	マルチメディア・分散・協調とモ バイル(DICOM02007)シンポジウム 論文集, pp. 1736- 1739	2007年7月
河路慶一, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “待ち行列網モデルによるメールサーバ システムの性能評価-spam メール の到着特性を考慮して-”	情報学ワークショップ 2007 論文 集, pp. 61-64	2007年9月
福井綾子, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “ロコミ伝播による検索行動が情報通信 ネットワークに与える影響の予測”	情報処理学会 数理モデル化と問 題解決 (MPS) 研究会 2008, pp. 149-152	2008年3月
石川未季, 奥田隆史, 井手口哲夫, 田学軍, “ユビキタスネットワーク環境を利用した フォーク型待ち行列システムの性能評価- ICT 演用によるユニバーサルデザインと しての設計-”	情報処理学会 数理モデル化と問 題解決 (MPS) 研究会 2008, pp. 153-156	2008年3月

ⁱ Blog とは、個人または数人のグループで運営され日々更新される日記的な Web サイトのことである。内容は、個人の趣味、雑記等を含め多種多様なものとなっている。平成 18 年度末の統計によると、Blog 登録者数は 868 万人となっている。Blog が普及した要因としては、「テキスト入力で簡単に自分のホームページを作ることができる」「無料で利用できるサービスが用意されている」「携帯電話からも更新や閲覧ができる」「トラックバック、RSS 配信機能等コミュニケーションを活性化するツールがある」等が挙げられる。

ⁱⁱ SNS とは、友人知人等の社会的ネットワークをオンラインで提供することを目的とするコミュニティ型のインターネットサービスである。代表的な SNS として日本最大の会員数を持つ mixi、世界最大の会員数を持つ MySpace が挙げられる。平成 18 年度末の統計によると、SNS 登録者数は 716 万人となっている。SNS では、信頼性を確保するため、既存利用者からの紹介がないと登録できない仕組みを採用していることが多い。このため、クローズドなコミュニティとして会員間に高い信頼性が保たれている。一方、企業側から見ると、SNS の利用者の登録・公開情報を利用し、利用者の趣味やニーズに応じた広告を表示するなど、マーケティング戦略上の利点があると考えられる。既に広告収入以外にもいろいろなビジネスモデルが構築されつつある。

ⁱⁱⁱ ロコミサイトとは、投稿者が実際に体験した感想や意見等を掲示板に書き込み、閲覧者がそれを商品購

入やサービス利用等の判断材料に使うインターネット上の掲示板のことである。代表例として化粧品関連の「アットコスメ」や価格比較サイト「価格ドットコム」等が挙げられる。また、口コミサイトは商品やサービスを提供する企業にとって消費者の製品評価を容易に知ることができる、という点で重要なマーケティング手段となっている。