Web の新潮流

— Web 2.0とネットワーク関連技術動向—

Emerging Web—Web 2.0 and Related Network Technology Trend—

阪田史郎[†]
Shiro Sakata[†]

Summary

2005 年より Web 2.0 なる用語が急速かつ盛んに使われるようになってきている。Web 2.0 は、2005 年に米国の Tim O'Reilly が名づけ定義付けした新しい概念あるいはパラダイムであるが、インターネットのサービスやビジネスに大きなインパクトを与えつつある。本論文では、まず Web 2.0 の特徴や従来の Web 1.0 との相違など Web 2.0 の最新動向について、Web 2.0 を支える技術を含めて、Web 2.0 をベースとする新しいサービスやビジネスの詳細を述べる。次に、Web 2.0 を基点とする将来のネットワークの研究課題の抽出や Web 2.0 の展望を行うことを目的として、Web 2.0 と密接に関係する複雑ネットワークとユビキタスネットワークの動向について述べる。Web の成長モデルやコミュニティネットワークと一致する性質をもつ複雑ネットワークの構造を解析することは、Web 2.0 の新しいビジネスモデル創出にも示唆を与え得る。ユビキタスネットワークは、プラットフォーム非依存や P2P ネットワーキング、コンテキスト・アウェアネスなどの面で Web 2.0 と共通性をもち、Web 2.0 の将来の適用の場としても重要となる。

Key words

Web 2.0, インターネット, WWW, 複雑ネットワーク, ユビキタスネットワーク

1. ま え が き

インターネットの普及に伴い、WWW (World Wide Web, 以下 Web) の進化・発展は目覚ましいものがあり、2005 年後半からは Web 2.0 なる用語が使われ始め、今

や Web 2.0 は一大ブームとなっている。Web 2.0 は、IT 業界に革命的なパラダイムシフトをもたらすともいわれている。Web 2.0 は技術的な仕様の詳細を表すものではないが、今後様々な側面から通信ネットワーク技術や IT 分野のビジネスを変革する引金になる可能性をもっている [1]。

このような状況において、本論文では、2. の Web 2.0 を基点として、Web に関連する技術、発展経緯及びそれが IT やネットワークの研究、情報サービスビジネス等に与えるインパクト、展望などについて解説する。

2. では、Web 2.0 への発展経緯や Web 2.0 のサービス機能、技術を中心とした Web 2.0 の概要を述べる。

3. では、Web の成長モデルでもあり通信ネットワークの研究に重要な指針を与えるスケールフリー (Scale-free) ネットワーク、及びスケールフリーネットワークを含む複雑ネットワークの研究動向について述べる。Web のハイパリンク構造がもつスケールフリー性は、生命のごとく成長する Web の向かう先を占う上での指針を与えるとともに、その性質を活用した、情報間の関係の構造化・組織化、検索の高精度化・高速化の方式や、効率的な情報配信・共有メカニズムの解明などは、Web 2.0 以降も重要な研究課題となる。

4. では、今後の 10 年間、IT (Information Technology) 分野の中で最も大きい市場の伸びと最も激しい技術革新が起これと予想されているユビキタスシステムと Web 2.0 との関係について述べる。

2. Web 2.0

2.1 Web 2.0 とその生い立ち

(1) Web 2.0 への進展の動き

国内では、2004 年にブログ (blog, Weblog が略されたものとされる) が爆発的に普及し、SNS (Social

[†] 千葉大学大学院融合科学研究科, 千葉市
Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University,
Chiba-shi, 263-8522 Japan

Networking Service) が台頭し始めた。2005 年には、del.icio.us や Flickr, Wikipedia などの Web 2.0 を象徴する Web サイトが脚光を浴び、Ajax (Asynchronous JavaScript + XML) が突如浮上し、RSS (RDF/Rich Site Summary, または Really Simple Syndication, RDF は Resource Description Framework で、特定のアプリケーションに依存しない XML をベースとするメタデータの表現方法についての枠組み。2.2 参照) の普及が進展した。

また、Google Maps などのサービスが API (Application Programming Interface) を続々と公開し、一般利用者が作成する CGM (Consumer Generated Media) を含めたマッシュアップ (Mashup) やリミックス (Remix) と呼ばれる手法を使った連携サービスが多数現れ、ソーシャルタギング、ソーシャルブックマーク機能も話題になった年でもある。

2006 年にも新たなサービスを提供する Web サイトが数多く出現し、日本では Web 2.0 を標榜するサービスや企業が登場し始めている。Web 2.0 を社名とする企業も誕生している。以上が、Web 2.0 が急速に注目を集め始めた 2 年ほど前からのおよその動きである。

2006 年の 7, 8 月の 2 か月間で Web 2.0 に関する書籍が 10 冊以上刊行され、12 月の段階でもなお出版ラッシュが続いている。情報処理学会では、急きょ Web 2.0 特集を 2006 年 11 月号で組んでいる [2]。技術の進展が特に著しい IT 分野でも、これほどの出版ラッシュは業界初という異例の大ブームとなっている。

しかし、2 か月間で同一テーマを対象とした書籍が 10 冊以上も刊行されるということは、見方を変えれば、Web 2.0 が深い専門知識に裏打ちされた技術内容というよりも、サービスやビジネス面を中心とした新潮流、トレンドを表すということができる [3] ~ [6]。[7] では、Web 2.0 を前提としたネットワークビジネスを経済学の視点から分析している。

このように、Web 2.0 は、Web における Google の急成長に端を発したといわれている変化をまとめて概念化したものである。大まかには、米国で起こった IT (ドットコム) バブル崩壊以降に、Web を基盤としてサービスに関して台頭した新たなタイプのソフトウェアや提供機能などが Web 2.0 とされる。Web 2.0 的(型)企業、Web 2.0 的(型)ビジネス、Web 2.0 的(型)サービスのような呼ばれ方をする。本論文では統一して“的”を用いる。

しかし、Web 2.0 が大きく取り上げられるようになったのは、国内では 2005 年末以降である。米国でも、2005 年に Tim O'Reilly (O'Reilly Media 社) による提唱が Web 2.0 を一般用語にしたといわれている。IT バブル崩壊以前に確立したサービスを Web 1.0 と呼ぶようになり、Web 2.0 と区別しているが、Web 1.0 と Web 2.0

の間に明確な境界はない(2.3 (2)参照)。

Tim O'Reilly は、Web 1.0 からの成功事例や新たに登場したサービスの分析などから、2005 年 9 月に Web 2.0 的企業のコアコンピタンスと考えられる要件や Web 2.0 の原則をまとめている (表 1) [8], [9]。表 1 では、Web 2.0 の特徴を表すキーワードに下線を付けた。

Tim O'Reilly は、「七つの項目に当てはまる項目が多いほど Web 2.0 的企業と呼ぶにふさわしいが、七つをすべて満たすよりどれか特定の項目で突出している方が、より Web 2.0 的である」としている。Tim O'Reilly が提唱した Web 2.0 の七つの原則は、Web 2.0 的企業の要件との類似項目が多いが、以下を挙げている。

- ① Web がプラットフォームに (従来の OS のような位置付けとなり、その上で多くのアプリケーションが実行)
- ② 集合知を利用 (多くの利用者から情報を集め、新しい価値を付加して提供)
- ③ 「データインサイド」(データがサービスの核に)
- ④ ソフトウェアのリリースサイクルから脱却 (ソフトウェアのバージョンアップを繰り返して売るビジネス

表 1 Tim O'Reilly 氏による Web 2.0 型企業の七つの要件

条 件	概 要
(1) サービス提供者	Microsoft による Windows や Office のようなパッケージソフトではなく、連続的な改良が可能なサービスを提供。この特徴から、Web 型サービスが <u>永遠のベータ版 (Perceptual Beta)</u> と呼ばれることがある。
(2) データの収集, 加工, 流通	良質なデータを大量に収集し適切な加工を施し付加価値を付けてユーザが再利用できるようにする。'Intel Inside' との対比で ' <u>Data Inside</u> ' と呼ばれることがある。
(3) 集合的知識を利用	ユーザが次々に Web 上に情報を発信し、ユーザデータの収集、 <u>集合知の利用</u> によるサービスの価値向上が自動的に実現。
(4) ユーザ情報の活用	ユーザを共同開発者と考えて信頼し、ユーザからのフィードバックの開発への反映やユーザのサービス利用特性の自動分析により、ユーザの欲する情報を提供。
(5) ロングテールの活用	Amazon.com に代表されるニッチ市場 (データ量増大と検索力向上による <u>ロングテール領域の事業</u>) を対象としたビジネスモデルを構築。
(6) プラットフォーム非依存	PC, 携帯電話, PDA などの単一プラットフォームに依存しない、 <u>Web そのものがプラットフォーム</u> 。
(7) オープンで高機能, 軽量, サービス作成が容易	<u>Ajax</u> や <u>LAMP</u> などのオープンソース技術を活用し、 <u>マッシュアップ</u> により再利用を容易にするサービス、ユーザインタフェースを提供。

は消滅)

⑤ 軽量のプログラミングモデル (扱いやすいソフトウェア部品で構成し迅速な開発が可能)

⑥ 単一デバイスのレベルを超えたソフトウェア (携帯電話や情報家電, カーナビ等にも搭載して Web の可能性を広げる)

⑦ 高度なユーザ体験を提供 (Ajax 等による待ち時間のないデスクトップアプリケーション並みのリッチクライアントユーザインタフェース)

O'Reilly 社は, 2004 年 10 月と 2005 年 10 月に, 第 1 回と第 2 回の Web 2.0 コンファレンスを開催している [10].

表 1 のサービスは Google が提供するサービスとほとんど符合し, 急成長を遂げている Google を表現した用語ともいえる. 書籍のネット販売で成長した Amazon.com も Web 2.0 的企業の代表格とされている. 一方 2.0 も, やや便乗的であるがビジネス 2.0, EC2.0 (EC: Electronic Commerce), サービス 2.0, コンテンツ 2.0, マーケティング 2.0 などのような使われ方もされている.

米国では, RSS フィード (XML によるコンテンツ配信フォーマット) を中心に最新の Web 技術やサービスの普及促進, 共同研究推進のための Syndicate と呼ぶ会議が 2005 年より開催されている [11].

(2) Web 2.0 を盛り上げた要因

Web 2.0 が大きく広がった理由は大きく二つ考えられる.

① 個人参加型 Web 環境

ブログや Amazon の書評サービスなどに代表されるように, だれでも自由に参加できる場が提供されるようになった. 発言することや, 広がっていく双方向コミュニケーションを楽しんでいる人が増え, 積極的にサイトに参加する, 総表現社会への機運が高まった.

② ブロードバンド通信環境

21 世紀になり, ブロードバンドが普及したことで, 多くの人が高速で常時接続の環境を手に入れることができるようになった. 国内では, 2006 年末には ADSL, CATV インターネット, FTTH を合わせたブロードバンドアクセス網の利用世帯が 2,600 万を超え, 全世帯の半数以上が常時接続の高速インターネットを利用している. それによって気軽にインターネットを使うことができ, 多くの人の生活の一部に溶け込んだということができた.

個人が情報を軽快・快適な通信環境で気軽に発信できるようになったことで, より多くの情報がインターネット上に蓄積され, 双方向のコミュニケーションが広がった. その結果, 口コミなどで多くの意見を集めることができるようになった. 最近では, 企業が自社の商品やサー

ビスの説明をするのに口コミを使ったり, 消費者や利用者からの評価を集めたりするなど, プロモーションやマーケティングの分野でも注目を集めている. 社会的にも口コミの力が大きな存在に成長してきたといえる.

2.2 Web 2.0 への発展経緯

(1) HTML から XML へ

Web は 1988 ごろからスイスの CERN (the European Laboratory for Particle Physics, 欧州原子核研究機構) の研究者 Tim Berners-Lee らを中心に開発が進められ, 1992 年に基本機能がほぼ完成した. その後の改良, 1994 年の標準化機構の W3C (World Wide Web Consortium) の発足を経て, 1995 年ごろから急速に普及した.

当時の Web の利用は, ハイパテキスト構造をもったデータベースとしての Web サーバに格納された HTML (HyperText Markup Language, Web ページを記述するためのマークアップ言語) で記述されたコンテンツを, Web ブラウザから URL (Uniform Resource Locator, HTML で記述されたコンテンツの格納場所) を指定することで HTTP (HyperText Transfer Protocol, Web サーバと Web ブラウザ間の通信プロトコル) を通して, 検索したり入手したりするものであった.

その後 Web は, ポータルサイトの登場, 検索エンジンの進化 (ロボット (クローラとも呼ばれ, Web 上の文書や画像などを自律的かつ周期的に取得する) 型検索から, ロボット型検索とデータベース化された階層型ディレクトリの組合せ, Web サイトへのアクセス数を表すページビューの導入など), バナー広告から検索連動型広告など, 機能面での高度化が進展した. このような進展の中での大きな分岐点は, W3C において 1998 年 2 月に XML1.0 として標準化された XML (eXtensible Markup Language, 拡張可能なマークアップ言語) の利用である.

HTML は, Web ページのブラウザへの表示という単純さが文書記述を極めて容易にし, 大量のハイパテキストがコンテンツとしてネットワーク上に蓄積されるようになった. これがインターネットの普及を促進することにもなった. しかし, Web 利用の高度化に伴い, HTML では記述できない, または記述しにくい文書の記述に対する要請が強くなり, HTML と同様の手軽さで SGML (Standard Generalized Markup Language, 1986 年に ISO (International Organization for Standardization) において標準化された汎用的な構造化文書の記述言語) [12]) と同様の文書記述を行いたいという要求が強まった.

この要求にこたえるために, SGML のサブセットとして W3C で開発された記述言語が XML である. HTML では扱えない文書構造を, DTD (Document Type Def-

図1 Webサービスの基本形態

inition, 文書型定義)を定義することによって扱えるようになった。

例えば、HTMLではタグが固定で表示に特化した構造となっているためアプリケーションからそのタグ情報をもとにプログラム処理したいという要件に対応できないが、XMLでは利用者が自由にタグを定義でき、文書中の文字列に意味付けができる言語構造をもっているためプログラムで自在にXMLデータを情報処理できるというメリットがある。更に、SGMLのもつ複雑な印刷系のオプションなどを省略して言語仕様を規定しており、理解しやすさ、使いやすさを向上させている点にもメリットがある。

(2) WebサービスとSOA

XMLの標準化が契機となって、企業システム向けでは、大手ITソフトベンダを中心に企業間取引(EC)を目的としたWebサービス技術の開発が活発になり、2004年ごろには基本機能の標準化が進展した。Webサービスは、「Web関連の標準的なソフトウェア技術(XML, SOAP, UDDI, WSDLなど)を用いて、インターネット上に広く提供される異なるプラットフォーム上のデータや機能をオンデマンドに動的に組み合わせることが可能な情報処理サービスの総称」であり、ネットワークを通じて企業間・組織間のシームレスなコラボレーションをねらいとしたものである[13]。

当初の目標であった、企業間の商取引を担う大規模なものから、単一の機能をもったソフトウェア部品まで、様々な規模・種類のものがある。2005年からは、携帯電話によるコンシューマ向けの決済サービスへの適用も検討され、Webサービスは、企業間取引に限らずWebを通したサービスやソフトウェア部品の登録、検索、取引等のための汎用プラットフォームになりつつある。図1

表2 Webサービスで利用される共通仕様

SOAP (当初 Simple Object Access Protocol の略語として命名されたが2002年に略語という形を廃して略なしのSOAPに)	<ul style="list-style-type: none"> XMLデータをシステム間で交換するためのプロトコル。通常はHTTPを下位のプロトコルとして使用するため、ファイアウォールを隔てたWebサービス同士の通信が可能。 オブジェクトへのアクセスからメッセージングの汎用プラットフォームへ。
WSDL (Web Services Description Language)	<ul style="list-style-type: none"> Webサービスを呼び出すためのXMLベースのインタフェース記述言語。 CORBAにおけるIDLに相当。
UDDI (Universal Description, Discovery and Integration)	<ul style="list-style-type: none"> Webサービスのためのディレクトリ、及びディレクトリサービス。(Webサービスの登録、公開、検索)

と表2にWebサービスの概要と関連プロトコルを示す。

Webサービスは、企業システムにおけるSOA(Service Oriented Architecture, サービス指向アーキテクチャ)が再び脚光を浴びる契機を与えた。SOAは、1980年代から提唱されていた分散コンピューティングの一形態であり、企業内外の情報システムの機能を再編し、業務視点でソフトウェア部品(サービス)化することで、ビジネス環境変化にサービスの組換えでシステムを柔軟に変更する概念である。XMLやWebサービスの業界標準技術を利用した相互接続・連携による究極の企業システムの考え方とされる。

ソフトウェアの世界では、2004年にWebサービスやSOAを中核概念としたサービスサイエンスと呼ぶ研究分野が生まれている。Web 2.0は、サービスサイエンスの研究を加速する要因にもなる。

(3) Webの研究的側面とセマンティック Web (SemanticWeb)

Web コンテンツの記述や検索を中心とした研究面では、1999 年代末より Web インテリジェンス、Web マイニング、Web ダイナミックス、Web サイエンスなどの名で多くの研究論文が発表された。国内でも、情報処理学会会誌特集号 3 編、NTT ジャーナル 1 編などがある [14]～[17]。この研究面での一つの代表的な動きがセマンティック Web である。

セマンティック Web は、1990 年代末に W3C の Tim Berners-Lee によって提唱された。Web ページの意味を扱う、すなわち Web ページの閲覧という行為に加え、データの交換の側面に意味の疎通を付加することを可能とする標準やツール群の開発によって Web の利便性を向上させることを目的とする [18]。

人間が読むための「文書の Web」(HTML は画像やテキストを表示させるためのフォーマットで、コンテンツの意味を伝えるものではない) から、様々なデータを自在に収集・発見して利用できる「データの Web」へと拡張させるため、表現のモデルや交換・共有を可能にするオントロジー (メタデータを記述する用語を定義する構造)、推論や信頼性検証などの各レベルでの技術開発が進められている。メタデータを適切に与えることで、文書情報をこの「データの Web」に組み込むことが可能になる。

セマンティック Web は、XML によって記述した文書に RDF や OWL (Ontology Web Language) を用いてタグを付け加える。この、データの意味を記述したタグが文書の含む意味を形式化し、コンピュータによる自動的な情報の収集や分析へのアプローチが可能となると期

待されている。セマンティック Web は XML, XML Schema, RDF, RDF Schema, OWL などの標準及びツール群から構成される。

(4) Web 2.0 への前兆

このような進展の中で、1990 年代末以降も Web は爆発的に拡大・増幅を続け、XML の普及も相まってコンシューマ向けを中心に Web 2.0 への前兆のような以下の変化が徐々に見られるようになった。

- ① Web が単なる壁新聞ではなくプラットフォームに
- ② 参加型アーキテクチャの進展
- ③ Web に大量データと検索を基盤とするサービス
- ④ 1 人の専門家よりも 100 人の素人
- ⑤ ネットワーク効果をもったサービスが高い人気

ネットワーク効果は、1970 年代当時 XEROX PARC (Palo Alto Research Center) の研究者でイーサネットの開発者の一人であった R. Metcalfe (現 IT 評論家) が提唱。コンピュータネットワークの価値若しくはパワーは、そのネットワークに接続された全ノード数の 2 乗に比例して増加することをいう。

⑥ ベータ版サービスの増加

図 2 に、これまでの Web の発展経緯をまとめて示す。W3C は、上記のように 1994 年に URL, HTML, HTTP の三つの仕様を起点として発足し、その後発展してきたが、そのまとめとして 2006 年 10 月現在の Web 技術の体系概要を図 3 に示す [19]。

2.3 Web 2.0 の概要

(1) Web 2.0 の全体像

ここでは、2.1、表 1 で挙げた Web 2.0 の代表的なキーワードを、必ずしも明確には分けられない面があるが、サービス機能 (ソフトウェア、活用事例) と技術に分け、

図 2 Web 関連技術の発展経緯

図3 2006年10月現在のWeb技術の体系概要

図4 Web 2.0の全体像

表3 概念的なWeb 1.0とWeb 2.0の比較

Web 1.0	Web 2.0
個人の	多人数の
偏在(個別に存在)	遍在
クローズ	オープン
静的	動的
受動的(利用者はWebサイトを見るだけ、受け手・受信者)	能動的(利用者はWebサイトにアップ、送り手・発信者)
管理型	参加型
専門家(プロフェッショナル)	一般利用者(アマチュア)*

*Web 2.0がユーザ主導のWeb革命といわれることがある。

図4にWeb 2.0の全体像を示す([4]の内容を加筆・修正)。

(2) Web 1.0とWeb 2.0

Web 1.0とWeb 2.0の対比に関しては、概念的には表3のようにまとめられる。Tim O'Reillyは、Webを通して提供される14の機能に関してWeb1.0とWeb 2.0の対比を表4のように示している[9]。これらの表と(1)の全体像で、Web 2.0の何たるかがある程度明確になると思われる。

2.4 Web 2.0の構成技術とサービス機能

Web 2.0的なサービスとそれを実現するための主要な技術としては、RSS, Ajax, ソーシャルタギング(フォークソノミー), SEO (Search Engine Optimization) が挙

表 4 Tim O'Reilly 氏による Web 1.0 と Web 2.0 の対比(<http://tim.oreilly.com/>)

機 能	Web 1.0	Web 2.0
広告	DoubleClick (マス向けバナー広告)	GoogleAdSense (コンテクスチュアルなテキスト広告)
写真共有	Ofoto (クローズドな写真共有サイト)	Flickr (オープンな写真共有サービス)
コンテンツ配信	Akamai (大容量のキャッシュサーバ)	BitTorrent (P2P ファイル共有)
音楽共有	MP3.com (Web サイトから MP3 をダウンロード)	Napster (MP3 の P2P 分散型共有)
百科事典	Britannica.com (専門家によるオンライン百科事典)	Wikipedia (共同編集の百科事典)
個人ページ	個人ホームページ	ブログ
イベント管理	Evite (イベントサポートサイト)	upcoming.org と EVDB (カレンダーイベント共有サービス)
ビジネス振興	ドメイン名を知らしめる	検索エンジン最適化(SEO)
広告費算出	page views (PV) (ページビュー)	cost per click (CPC) (クリックレート)
コンテンツ連携	screen scrapping (画面から情報を勝手に取る)	web services (Web サービスで連携)
コンテンツ作成	publishing (パブリッシング)	participation (参加)
コンテンツ管理	content management systems (CMS) (コンテンツ管理システム)	Wiki
コンテンツ分類	directories (taxonomy) (専門家による分類)	social tagging ('folksonomy') (参加者のタグ付けによる分類)
相互運用性	stickiness (個別サイトへの接続)	Syndication (Web サイト間の連携)

SEO: Search Engine Optimization, PV: Page View, CPC: Cost Per Click,
CMC: Content Management System

表 5 Web 2.0 を構成する主要技術

技 術	内 容
RSS	<p>Web サイトの各ページのタイトル、アドレス、見出し、要約、更新時刻などを RDF/XML フォーマットで記述し、多数の Web サイトの更新情報を統一的な方法で効率的に公開できる。コンテンツシンジケーションの一種。</p> <p>利用者は、RSS フィードを RSS リーダ (RSS フィードを閲覧するためのソフト) で購読すると、ブログや RSS 対応サイトの更新情報をほぼリアルタイムに知ることができる。また、気に入ったコンテンツをカテゴリー別に分類して登録しておくことにより、好きな読み方で読むことが可能となる。</p> <p>適用例。図 5 のように、HP の最新ニュースがユーザの手元に自動的に配信される (RSS リーダが RSS フィードのあるサーバから定期的に取得する)。</p>
Ajax	<p>Web ブラウザに操作性の高いプログラムを組み込み、サーバと連携して動作させることで、軽快で体感的、視覚的なインタラクションによりリッチなヒューマンインタフェースを提供する Web サイトの開発手法。Ajax という技術が存在しているわけではなく、動的に Web 表示を変化させる DHTML (DynamicHTML = JavaScript + CSS) と XML HTTP Request にサーバサイドの Web アプリケーションとを組み合わせることで実現。</p> <p>Web サイトの更新では、全体を読み出して表示するのではなく、更新部分のみを表示。</p> <p>適用例。GoogleMaps, MSN Virtual Earth。GoogleMaps では、閲覧している地図が境界に達する前にマウスの動きに反応して、次に読み込むべき地図をバックグラウンドで非同期通信により取得 (図 6)。</p>
ソーシャルタギング (フォークソノミー)	<p>ソーシャルブックマークなどに集積された情報にタグ (キーワードに相当) を多数の利用者が思い思いに付加して、ボトムアップ的に Web 上の情報を組織化 (ネットワーク型のフラットな構造) する仕組み。</p> <p>フォークソノミーは、folks (民衆) と taxonomy (分類学) の合成語で、諸概念を階層的に組織する従来の分類学的発想に対して用いる用語。</p> <p>適用例。del.icio.us や flickr (ともに Yahoo が買収) が実現していると考えられる。</p>
SEO	<p>特定の検索エンジンに対して検索結果で上位になるように Web ページを書き換える技術。検索にかかってほしいキーワードを <meta> タグや <h1> (ヘッディング 1, 大見出し) タグ, (強調) タグで指定、強調するなど、HTML が主体の Web1.0 の時代から使われたテクニックが多いが、RSS と連携したブログなどにおいて、その中のキーワードの強調や検索、効果的なトラッキングなどが容易になる。</p>

図 5 RSS 配信による表示の様子

図 6 Ajax の仕組み

図 7 Ajax を利用した GoogleMaps

げられる。これらの技術の概要を表5にまとめて示す。図5にRSS配信の表示例、図6にAjaxの仕組み、図7にAjaxを利用したGoogleMapsの処理の例を示す。

表中にも述べたが、各技術が個別のサービスに適用されるというのではなく、一つの技術が複数のサービスに適用されたり、複数の技術が組み合わさった形で一つあるいは複数のサービスに適用されたり様々な形態がある。WebがプラットフォームというWeb 2.0の特徴でもあるが、その組合せも日々進化し、新しいサービスも続々登場している。以下に、2006年末現在の代表的なサービス機能の概要を述べる。

(1) ブログ

これまでWebページを作るにはHTMLを用いる必要があったが、このような専門的な知識を必要とせず構築することができる個人の日記風のサイト。簡単にWebページを作ることができるため、個人サイトとして使われることが多いが、最近はブログを開設する企業も増えてきている。

記事に対して受け手側がコメントを書いたり、他のブログに自分のブログへのURLなどを表示させたりすることができるトラックバックと呼ばれる機能をもつ。更に、書いた記事を時系列やカテゴリー別に分類することも大きな特徴である[20]。日本でも2004年から急速に普及し、2006年末には国内でブログサイトが1000万以上といわれている[21]、[22]。

(2) SNS

会員制のコミュニティサイトの一種で、参加者が、ブログのように日記を書いて、知人に公開したり、興味があるテーマのグループに参加したりすることにより、人間関係を広げることができるソーシャルインフラといえる[23]。参加者がそれぞれに固有のページをもち、他の参加者と相互にリンクすることでコミュニティを形成する。既存の参加者から招待された人が今度は別の知人を招待することで、信頼できる人とのコミュニケーションが可能。

不特定多数に情報が公開されるBBS (Bulletin Board System, 電子掲示板) やブログと異なり、この非匿名性と信頼性の確保によって爆発的な普及を促し、2006年からはイントラネット用として官公庁や企業、大学での導入も増大している。世界最大の米国のMySpace、日本最大のmixiの会員数は、2006年10月末でそれぞれ1億2000万、600万人を超えている[22]、[23]。

(3) 百科事典サイト

不特定多数の人が参加し、協力して作成していくユーザ参加型の百科事典サイト。複数の人が自主的に参加することで、記事が加筆・修正され、コンテンツの質を向上させていくことができる。その代表に、Wikipedia[24]

がある(Wikiは、Webブラウザから簡単に記事の投稿・編集を行える、オープンソースのCMS(Content Management System))。

2001年5月ごろから始まったとされるWikipediaの収録項目は、2006年9月末現在で英語版で130万項目、日本語版で25万項目を超えている。更に200を超す他の言語版にも多くの記事が存在する。利用者を信頼してコンテンツをオープンにし、共同で更新するような進歩的性善説をもとにしたCGMとして最大の成功事例といえる。

(4) ソーシャルブックマーク

ブラウザの「お気に入り」を自分のパソコンの中に登録するのではなく、インターネット上のサイトに情報を登録しておくことができるサイト。その結果、外出先からアクセスしたり、他の利用者と共有したりすることができる。また、人気度やコメントが利用者によって付けられる。ソーシャルタギング機能を搭載している米サイトdel.icio.us[25]が有名であるが、日本でもはてなブックマークやMM/Memoなど多くのサービスが立ち上がっている。

(5) オンラインアルバム

デジカメで撮った写真をインターネット上に保存することで、自分以外の人にも閲覧してもらうことができるサービス。多くのサイトでは、ブログと同じようにコメントを付けることができる。更には、写真を公開する対象を、すべての人、知人にのみ、と限定することも可能である。

ソーシャルタギング機能が搭載された米サイトFlickr[26]が有名であるが、日本ではカメラメカがサイトを開設するケースや、OCNフォトフレンドやInfoseekフォトアルバムのようにISP(Internet Service Provider)やポータルサイトなどが、サービスの一つとして提供している。また、フォト蔵などの写真共有の専門サイトもある。

(6) 検索(コンテンツ)連動型広告

ホームページの検索結果と広告を結び付けることで、広告を届けたい利用者により的確に広告を届けことが可能となるインターネットならではのサービス。ターゲット広告とも呼ばれる。一般に、利用者によるクリックごとに課金されるため、広告主にとっては費用対効果が明確になり、有力なマーケティングツールになっている。GoogleやOvertureのAdWordsが代表的である。

(7) マッシュアップ

公開されたWebアプリケーションを組み合わせる新しいWeb上のサービスを構築する手法。APIの公開はじめ、RSSやAjaxはマッシュアップを支える技術でもある[27]。マッシュアップはもともと異なるジャンルの音楽をミックス(リミックス)して新しい音楽として演奏

全国の映画館 >> 東京都 >> 渋谷

図8 地図情報と映画館情報のマッシュアップの例

図9 ロングテール現象

する、という意味で用いられた。適用例としては、GoogleMaps と特定の商品・店舗（不動産、レストラン、映画館など）との連動表示などが代表的である。図8にGoogleMaps を利用した地図情報と映画館情報のマッシュアップの例を示す。

(8) ロングテール

店頭ではほとんど売れないニッチ商品の販売額の合計が、ネット販売においてベストセラー商品の販売額合計を上回るようになる現象を意味する。雑誌“Wired”編集長の Chris Anderson が2004年に提唱したもので、図9に示すように販売ランキング順に販売額の曲線を描く

と、ベストセラーが恐竜の高い首(ヘッド)で、ニッチ商品が長い尾(テール)のようになっているところから名づけられた[28].

Web 2.0 の面からは、Amazon.com における書籍の売上げにおけるロングテール現象が指摘された。3.3 で述べる Pareto (パレート) の法則 (80 : 20 の法則, 2 : 8 の法則と記すこともある) のアンチテーゼであるが、Amazon ではロングテール部分の売上げが 40 % 以上といわれている。

3. 複雑ネットワークと Web

Web のハイパリンク構造は、20 世紀末になって発見されたスモールワールドネットワークやスケールフリーネットワークの複雑ネットワーク (Complex Network) と密接に関連する。Web 2.0 を含め今後の Web の成長を推測する上で重要となるこれらの複雑ネットワークを概説し[29], [30], Web 2.0 との関係について述べる。

3.1 複雑ネットワークの研究経緯

ネットワークの構造(連結性や情報伝搬特性など)に関する研究は、古くは 18 世紀のオイラーにまでさかのぼる(グラフ理論の基本問題の Königsburg Problem など。例えば [31])。その後、完全グラフや正方格子のように規則正しく結合されたレギュラーネットワーク (Regular Network) あるいはレギュラー (正則) グラフと、1959 年に Erdos と Reyi によって発表された一様にランダムな結合構造をもつランダムネットワーク (Random Network) あるいはランダムグラフによって、グラフ理論に基礎を置く解析的なアプローチはほぼ終結したとされていた。

しかし、1998 年に「複雑系」の研究で有名な米国サンタフェ研究所 (1984 年に基礎研究所として設立された非営利組織) の Watts と Strogatz が、平均経路長が短いというランダムネットワークの特徴と、クラスター係数(3.2 参照) が大きいというレギュラーネットワークの特徴を併せ持つネットワークを発見した [32], [33]。このようなネットワークが、図 10 のようにレギュラーネットワークのリンク(辺)を適当な確率でつなぎ替えることによっ

図 10 スモールワールドのネットワーク

て構成できることを示した[34]。現在では、このようなネットワークはスモールワールドネットワーク (Small-world Network) と呼ばれる。

スモールワールドネットワークについては 1967 年に社会心理学者の Milgram によって実施されたスモールワールド実験によって検証されている。この実験は、人間の知合い関係を芋づる式にたどっていけば、比較的簡単に世界中のだれにでも行きつく、という仮説に基づいている[35]。日本語的には、広いようで世間は狭い、ということになる。

Milgram はこの仮説をもとに、アメリカ合衆国国民から 2 人ずつの組を無作為に抽出し、平均すると 6 人の知合いを介してその 2 人がつながっていることを実際に示した。この仮説と検証により、6 次の隔たり (Six degrees of separation) というフレーズが生まれた[36]。

Watts と Strogatz の論文が発表された翌年の 1999 年に、Barabasi と Albert は、Web のハイパテキスト構造などの次数分布がべき乗分布に従うことを発見し [37]、このようなネットワークをスケールフリーネットワーク (Scale-free Network) と名づけた。スケールフリーは、次数が極端に多いノードとそうでないノードがある、あるいは数学的には従来のランダムネットワークではポアソン分布に従い、そのピークにおける平均次数がネットワーク規模を決定したが、このようなピークがなく広いすそ野があるため、特徴的な規模の尺度を決定できないという意味である[38]~[41]。

2000 年には Amaral らはスモールワールドネットワークを、Scale-free Network と Broad-scale Network と Single-scale Network の 3 種類に分類し、Web のハイパリンク構造、論文引用、食物連鎖などがスケールフリー性が強い、すなわち一部のノードに経路が極度に集中する(ハブとなるノードが存在する)としている[42]。スケールフリーネットワークをスモールワールドネットワークの一つの形態としている。

表 6 スケールフリー性をもったネットワークの例

種 別	例
現実のネットワーク	インターネット (ルータ, AS), 物流輸送などの流通ネットワーク, 電話回線網, 電力網, 道路交通網, 航空路マップ
自然界・生態系	生物種間の関係, 神経回路網 (線虫など), 細胞内の代謝マップ, たんぱく質相互作用ネットワーク, 生命分子ネットワーク, 遺伝子制御ネットワーク, 食物連鎖
人間関係	電子メールの送受信, 趣味やサークルなどのコミュニティネットワーク, 知人関係 (論文・書籍の共著者, 映画の共演関係など), AIDS や SARS の接触感染ネットワーク
その他のネットワーク	WWW のハイパリンク構造, 企業間取引, 論文引用

その後、表6に示すような世の中に存在する極めて多くの大規模で複雑なネットワークが、多かれ少なかれスケールフリー性を有するということが認められるようになった。Webに関しては、8億にも上るホームページが平均19クリックでつながっていることが報告されている[43]。

表7に、べき乗則分布と、べき乗則分布に従うZipf (George Kingsley Zipf, ジップ)の法則(1949年)、Pareto (Vilfredo Pareto, パレート)の法則(1896年)の概要を示す。

インターネットやWebはもちろん、自然界の生態系や人的ネットワーク、交通網などの実際のネットワーク、リアル、バーチャルを問わず自然発生的あるいは自己組織的に成長した多様なネットワークがスモールワールドあるいはスケールフリー性を有すること、更にこのような発見がわずか8年ほど前のことであったことは興味深い。

この20世紀末にある意味で突然起こった、レギュラーネットワークにもランダムネットワークにも属さない、スモールワールドネットワークとスケールフリーネットワークの新しい発見は、ネットワークの構造に関する研究分野に極めて大きなインパクトを与えた。2000年以降は複雑ネットワークなどの呼び名で、数理基礎面では情報科学者や数学者、統計物理学者などが参入してWebの成長過程も含め活発な研究が進められ、応用面では生命・生体工学、金融論、産業組織論、経営組織論などの社会科学分野[44]の研究者からの論文発表も増えている。

以上のスケールフリーネットワークに関する研究経緯の概要を図11に示す。

表7 スケールフリー性とべき乗則分布

<p>べき乗則分布(Power Law Distribution)</p> <p>ある確率変数 X が、x の値をとる確率(確率密度関数) :</p> $f(x) = d\Pr[X < x](x) / dx$ <p>がべき乗で表される*。</p> $f(x) \propto x^{-\gamma}$
--

- *実際のネットワークにおける γ の値は、
- ・インターネット : $\gamma \approx 2.2 \sim 2.4$
 - ・Web : $\gamma \approx 2.1$
 - ・電力網 : $\gamma \approx 4$
 - ・たんぱく質相互作用ネットワーク : $\gamma \approx 2.2$
 - ・細胞内の代謝マップ : $\gamma \approx 2.2 \sim 2.3$ (生物種により異なる)
 - ・映画の共演関係 : $\gamma \approx 2.3$

法 則	説 明	例
ジップの法則 (Zipf's Law) = ランクサイズ ルール (順位・規模法則)	ある事象の出現頻度(規模) x とその順位 r について、べき乗の関係がある。 $x \propto r^{-b}$	・ 英文で使われる単語の出現頻度 x とその順位 r の関係 ($b \approx 1$) ・ 都市人口の規模と順位の関係
パレートの法則 (Pareto's Law) = 80 : 20 の法則	ある確率変数 X が、 x より小さい値をとる確率(累積分布関数) : $\Pr[X < x](x)$ がべき乗関数となる。 $\Pr[X < x](x) \propto x^{-k}$	・ 収入 X が x より多い人の人数の割合 $\Pr[X \geq x] = 1 - \Pr[X < x] = 1 - ax^{-k}$ (世の中の富の8割は、2割の人で占有される) ・ 現実の店頭では(店舗面積が限られるため) 2割の商品で8割の売上げを占める(本やCDなどの商品で見られる)。

図11 複雑ネットワーク研究の変遷と関連する法則

3.2 スケールフリーネットワークの性質

(1) グラフの性質

ネットワークの構造(リンクの重みはない)を特徴づける量として、以下の三つを用いることが一般的である。

① 平均経路長：あるノードと他のノードまでの最小リンク数(経路長)の平均。

② クラスタ係数：あるノードとつながっているノード同士がまたつながっている(三角形を形成)確率。三つのノードが完全グラフをなすときこれをクラスタと呼び、クラスタ係数はネットワークの緊密度を表す。

③ 次数分布：ノードの接続リンク数の度数分布。スケールフリーネットワークでは、次数分布 $P(x)$ がべき乗則に従う、すなわち $P(x) \propto x^{-\gamma}$ が成り立つ。レギュラーネットワーク、ランダムネットワーク、スモールワールドネットワーク、スケールフリーネットワークにおける三つの量の比較を表8に示す。

(2) スケールフリーネットワークの二つの基本原理

次数分布がべき乗則分布を示すスケールフリー性が二つの基本原理によって生成できることが示されている[45]。

① 成長 (Growth)：自律的に新たなノードが追加されネットワークが成長し続ける。

② 選択的結合 (Preferential Attachment)：あるノードが選択される確率は、そのノードに既に結合されているリンク数に比例する、すなわち新しいリンクは多くのリンクを集めたノードに、より結合されやすくハブとなるノードを生成しやすい。金持ちが更に金持ちになることにたとえ、Rich-get-richerといわれることがある。

(3) ネットワークの信頼性と脆弱性

ランダムネットワークとスケールフリーネットワークは、ネットワークにおける予期しない偶発的な障害や人為的な攻撃において、それぞれ逆の対照的な特性をもつ。

① 偶発的な障害に対する耐性：ランダムネットワークでは、各ノードに結合されたリンク数がほぼ一定のため、障害が発生したノード数に比例してネットワーク全体が受けるダメージが大きくなる。一方、スケールフリー

ネットワークでは、多くのノードには結合されたリンク数が1あるいは2であるため、複数のノードに障害が発生してもネットワーク全体が受けるダメージはそれほど大きくない。インターネットでは、全体のランダムな5%のノードに同時に障害が発生してもネットワークはほとんど問題なく稼動する、という報告もある[40]。

② 人為的な攻撃に対する耐性：①と同じ理由で、スケールフリーネットワークでは、大規模なネットワークにおいても、リンク数が集中しているハブとなるノードに対して攻撃されると、少数のノードが攻撃されただけでネットワーク全体に大きなダメージを与え得る。

これらの性質は、耐障害性、耐攻撃性を高めたデイベンダブルネットワークの設計において重要となる。Webにおいては、Webサイトの偶発的な障害は考えにくい。ため、Webサイトへの攻撃に対していかにその波及を抑えるか、というサイトマップの設計において重要な指針となる。更に数学的な解析については[40]ほかを参照されたい。

3.3 スケールフリーネットワークと Web 2.0

以上に述べたスケールフリーネットワークと Web 2.0との密接な関係を示す、いくつかの例について述べる。

(1) スケールフリーネットワークを形成する Web

Web 2.0の火付け役ともなったGoogleは、Webを隣接するリンク数によってランク付けを行い、わずか2年ほどの間に最も多く利用される検索エンジンになっている。このアルゴリズムは、PageRankアルゴリズムと呼ばれ、現在もWeb検索エンジンの改良に利用されている。KleinbergとLawrenceによるHITS (Hyperlink-Induced Topic Search)においても、スケールフリー性を活用したWebのトピック検索を行っている[46]、[47]。

Webビジネスの面からは、大量のリンクを得ることが自社サービスの価値を高めることになり、その成功につながる。Web 2.0は、現在及び今後現れる技術を用いてこれを実現するための戦略を提示しているといえることができる。

表8 ネットワークの構造と特徴

ネットワーク	レギュラーネットワーク (完全グラフや格子グラフなど)	ランダムネットワーク	スモールワールドネットワーク	スケールフリーネットワーク
提案者	—	P. Erdos (1960年代) (Erdos-Reyi モデル)	D. J. Watts and S. H. Strogatz (1998) (古くは S. Milgram (1967))	A. L. Barabasi and R. Albert (1999)
平均経路長	長	短	短	短
クラスタ係数	大	小	相対的に大	小*
次数分布 $P(x)$	—	ポアソン分布 $P(x) = e^{-\lambda} \lambda^x / x!$	—	べき乗則分布 $P(x) \propto x^{-\gamma}$

*その後、現実のネットワークでは大きい値となるという指摘もなされている。

(2) スケールフリー性を形成する SNS

Web 2.0 の代表的なサービスである SNS の中で国内最大利用者数を誇る mixi における調査によれば、その広がりスケールフリー性をもつ、すなわちノードに相当する利用者とリンクに相当する利用者間の関係に関して、ノードの次数分布がべき乗側に従うことが知られている [21]。このフリースケール性は、表 8 の人間関係の部分に相当する。SNS に限らずソーシャルタギングやソーシャルブックマークなどのコミュニティを形成する人間ネットワークがスケールフリー性をもつことは、社会性を深める Web 2.0 において、(1)と同様 Web ビジネスでの成功に導く上で重要な指針となる [48]。

(3) Pareto の法則とロングテール現象

2.2 でも述べたように、Web 2.0 が生み出した代表的な現象の一つとしてロングテール現象が挙げられる。これまで、店頭におけるリアルビジネスの世界で成立するとされてきたスケールフリー性 (Pareto の法則) が、Web 2.0 では Pareto の法則とは対極のロングテール現象を引き起こしている。ハイパリンクの構造がスケールフリーに向かう Web に対して、Web を利用インタフェースとするネット販売の売上げではスケールフリーとは逆の減少を示していることは興味深い。

3.4 スケールフリー性と P2P ネットワーク

1999 年の米国の Napster によって、自律対等分散ネットワークの代名詞としての P2P (Peer-to-Peer) ネットワーク (以下 P2P) がインターネット上で利用され始めた。著作権侵害や高トラフィック発生の元凶とされながらもその利用は増加している。P2P の中でも集中サーバが存在しない Pure-P2P は複雑ネットワークの一種ではないかとの考察もなされ [49]、代表的な Pure-P2P である Gnutella, Freenetなどを例として複雑ネットワークの解析も試みられている [50], [51]。P2P を複雑ネットワークとして、分散ファイル上のコンテンツ検索を効率化するための研究もなされている [52]。

また、Pure-P2P の中でもトポロジーに制約がなくルーチングや検索の効率面で劣る Gnutella, Freenet, Winnyなどを Unstructured P2P と呼ぶのに対して、DHT (Distributed Hash Table: 分散ハッシュテーブル) を用いて高効率化を実現した Pure-P2P を Structured-P2P と呼ぶ。

DHT では、データのハッシュ法を用い、フラッディングを用いる Pure-P2P であってもネットワーク負荷をそれほど増大させずに、ネットワーク内の全ノードとの通信が可能で、検索、ルーチングも高速に行える。Pure-P2P の場合は数十万ノード程度が限界とされてきたが、DHT を使うと数億ノードの通信が可能といわれている [53], [54]。また、フラッディングベースのロバストネスには及ばないものの、ノードのネットワークから

参加したり離脱したりすることも考慮されている。

DHT を用いることで多くの P2P アプリケーションが容易に作成できることが期待されている。DHT には適用する数学的な性質によって、Chord, CAN, Pastry, Tapestry, Kademlia などの方式 (アルゴリズム) がある [54]~[56]。DHT を前提とし、複雑ネットワークがもつ平均経路長が短いという性質を利用してマルチキャストアルゴリズム効率化の研究もなされている [53]。

DHT は今や P2P では必須技術になっているが、今後 Web コンテンツを P2P で配信するときにも重要な役割を果たしていく。

4. ユビキタスシステムと Web 2.0

ユビキタスは、1980 年代末に、当時 XEROX 社の PARC (Palo Alto Research Center) において、HCI (Human Computer Interaction) 分野の研究者であった故 Mark Weiser (1952 ~ 1999) が、「遍く存在する (どこにもある)」という意味で使い始めた用語である。故 Mark Weiser は、ユビキタスコンピューティングを、「多くのコンピュータが人間の見えない、あるいは人間が意識しないところで協調しながら、その時その場所の状況に合わせて、的確に効果的にかつきめ細かく人々の生活を支援する仕組み」と定義した [57], [58]。

ユビキタスコンピューティングにネットワーク機能を連携させたシステムはユビキタスシステムと呼ばれ、2001 年に政府より e-Japan が発表されて以降ユビキタスネットワーク社会なる用語も徐々に使用されるようになっていく。ユビキタスシステムについては、図 12 のような体系化がなされており [59]~[61]、ユビキタスシステムと Web 2.0 は以下の点で密接に関係している。

(1) プラットフォーム非依存とユビキタス端末

Tim O'Reilly がまとめた Web 2.0 的企業のコアコンピタンスと考えられる要件と Web 2.0 の原則では、ともに Web が多様な端末上でのプラットフォームになっている。すなわち、Web 2.0 的なサービスが多様な端末機器上で実現されることを想定している。

一方で、ユビキタス端末としては、携帯電話、情報家電、カーナビ・車載端末、ウェアラブル端末 (衣服、腕時計、眼鏡、アクセサリ等) 更にセンサ、RF-ID (Radio Frequency Identification) 等が挙げられている [59], [61]。既に携帯電話ではブログや SNS のサービスが提供されているが、更に他の端末上での Web 2.0 的サービスの実用化は、人々の生活環境を劇的に変容させる可能性がある。

(2) アドホックネットワークと SNS

自律分散型の制御を行う P2P の代表的なネットワークであり、ユビキタスシステム実現のための重要な構成

図 12 ユビキタスシステムのアーキテクチャ

図 13 シンビオティックコンピューティング

図 14 Web 2.0 を取り巻く関連技術

要素としてアドホックネットワークがある [62] ~ [65]. アドホックネットワークは軍事研究に端を発し, 30 余年にわたる研究, 検証を経て, 災害時における避難誘導や安否確認連絡などの緊急通信, 民間レベルの応用への展開が期待される状況になっている. 民間レベルの代表的な応用の一つとして, 人々が集まったその場で相互通信が行えるコミュニティネットワークが挙げられている. SNS 等の双方向性の強いコミュニケーションの進展はアドホックネットワークの利用を促進すると思われる.

(3) コンテキストウェアネスとセマンティック Web

図 12 のように, ユビキタスシステムのアプリケーションレベルの最重要機能は, コンテキストウェアネス (Context-awareness, 状況認識・適応) である. 状況には, 時間や場所, 通信状態か否かなどの物理的でコンピュー

タによる認識が容易な情報と, その場の雰囲気や利用者の体調, 心理状態などの意味を含みコンピュータによる認識が容易でない情報がある. 後者の意味的な情報を, 記述し状況認識しやすいようにするための方法として, セマンティック Web を利用しようという研究が, W3C や MIT (Massachusetts Institute of Technology) の Auto-ID Labo. などにおいて進められている.

また, [66] では未来型の情報技術として, 人間や環境との共生と調和を目指したシンビオティック (Symbiotic) コンピューティングを提案している. シンビオティックコンピューティングは, 図 13 に示すように Web コンピューティング, ユビキタスコンピューティングに更にパセプチュアル / ソーシャルコンピューティングを融合させた領域としている. パセプチュアルはコンテキストウェアネスに共通する概念であり, ソー

シャルと合わせ Web 2.0 の進む方向と合致している。

5. 今後の課題

これまでは Web 2.0 の光の面に焦点を当てたが、影の面ともいえる課題がある。例えば、セキュリティに関して、2005 年に新たに発生したネット犯罪だけでもフィッシング、スパイウェア、ボットネット、SQL インジェクション、コマースサイトへの DoS (Denial of Service) 攻撃などがある。携帯電話向けコンピュータウイルスも検出されている[67], [68]。

これらの大部分は Web サイトを通じたものであり、Web 2.0 により API の公開などが進展すると、利用者へのサービスがどのプログラムで動作しているかの判別が難しく、不正な攻撃を受けたときの発生源の特定も困難になる。また、マッシュアップ機能については、その使い方やコンテンツの組合せ方によっては、著作権侵害の問題も発生し得る[69], [70]。

また、集合知の活用は、Web 2.0 の重要な側面であるが、多くの人の意見を並列的に集めれば、そのまま新しい知が生まれるわけではない。多様な意見を組み合わせる過程では、ただ自動化を進めるのではなく、建設的な集合知に育てていくことが重要である。ロングテール現象で見られたような、人気がなくとも価値の高い情報を探り出すことも重要となる。

6. む す び

本論文では、一足早く新潮流としてその実用サービスが認知された Web 2.0 を中心に、今後の更なる研究、技術開発が期待される複雑ネットワーク、ユビキタスネットワークを Web 2.0 との関連を含めて述べた。本論文で述べた、Web 2.0 と複雑ネットワーク、ユビキタスシステムの各技術との位置付けをまとめて図 14 に示す。

Web 2.0 に対しては、現在の盛上りは一過性でバブルは早晩崩壊するという批判がある。大企業による Web 2.0 的サービス企業の買収合戦や、ベンチャーキャピタルによる投資熱の高まりなどの現象もある。しかし、Web 2.0 はバブル特有の実体のないものではなく、Web 2.0 を牽引するソフトウェアやサービス、コンテンツが存在し、しかもそれらは様々な形で組み合わされて新しい実体が開発・制作されている。

Web 2.0 という用語はいずれ陳腐化するが、実体としての Web 2.0 は増殖し続けられると思われる。今後、Web 2.0 の実体を使いこなす、人間の知恵を深める方向へ進めていくことが重要と考えられる。

文 献

- [1] 梅田望夫, Web 進化論, 筑摩書房, 2006.
- [2] “Web 2.0 の現在と展望,” 情報処理, vol.47, no.11, Nov. 2006.
- [3] 小川 浩, 後藤康成, Web 2.0 Book, インプレスジャパン, 2006.
- [4] 内山幸樹, 図解 Web 2.0, 秀和システム, 2006.
- [5] 中野 宋, 安藤直紀, Web 屋の本, 技術評論社, 2006.
- [6] “Web 2.0 特集,” 東洋経済, March 2006.
- [7] 林紘一郎, 湯川 抗, 田川義博, 進化するネットワーク—情報経済の理論と展開, NTT 出版, 2006.
- [8] O'Reilly, “What is Web 2.0 — Design patterns and business models for the next generation of software,” Sept. 2005. <http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html>
- [9] <http://tim.oreilly.com/>
- [10] <http://www.Web2.0con.com/>
- [11] <http://www.syndicateconference.com/live/38/>
- [12] 阪田史郎, “マルチメディア文書通信と電子出版の技術動向,” 電学誌, vol.110, no.6, pp.452–458, June 1990.
- [13] 青木利晴 (監修), Web サービスコンピューティング, 電子情報通信学会, 2005.
- [14] “セマンティック Web 特集,” 情報処理, vol.43, no.7, July 2002.
- [15] “Web ダイナミックス特集,” 情報処理, vol.44, no.7, July 2003.
- [16] “Web サイエンス特集,” NTT 技術ジャーナル, June 2004.
- [17] “最新! データマイニング手法特集,” 情報処理, vol.46, no.1, Jan. 2005.
- [18] T. Berners-Lee, J. Hendler, and O. Lassila, The Semantic Web, Scientific American, 2000.
- [19] <http://www.w3.org/Consortium/technology.html>
- [20] 武田英明, 大向一輝, “Weblog の現在と展望—セマンティック Web およびソーシャルネットワークの基盤として,” 情報処理, vol.45, no.6, pp.586–593, June 2004.
- [21] http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/050517_3.html
- [22] http://www.soumu.go.jp/s-news/2005/051019_2.html
- [23] 大向一輝, “SNS の現在と展望 —コミュニケーションツールから情報流通の基盤へ,” 情報処理, vol.47, no.9, pp.993–1000, Sept. 2006.
- [24] <http://ja.wikipedia.org/>
- [25] <http://del.icio.us/>
- [26] <http://www.flickr.com/>
- [27] http://blogs.itmedia.co.jp/speedfeed/2005/10/mashup_ebb7.html
- [28] C. Anderson (著), 篠森ゆりこ (訳), ロングテール—「売れない商品」を宝の山に変える新戦略, 早川書房, 2006.
- [29] M. E. J. Newman, “The structure and function of complex networks,” SIAM Review, vol.45, pp.167–256, 2003.
- [30] 増田直紀, 今野紀雄, 複雑ネットワークの科学, 産業図書, 2005.
- [31] C. L. Liu (著), 成嶋 弘, 秋山 仁 (訳), コンピュータサイエンスのための離散数学入門, オーム社, 1995.
- [32] D. J. Watts and S. H. Strogatz, “Collective dynamics of ‘small-world networks’,” Nature, vol.393, no.4, pp.440–442, April 1998.
- [33] D. J. Watts (著), 栗原 聡, 福田健介, 佐藤進也 (訳), スモールワールドネットワークの構造とダイナミクス, 東京電機大学出版局, 2006.
- [34] J. Kleinberg, “The small-world phenomenon: An algorithm perspective,” Proc. 32nd ACM Symp. on Theory of Computing, pp.48–55, 2000.
- [35] S. Milgram, “The small world problem,” Psychology Today, vol.1, pp.61–67, 1967.
- [36] D. J. Watts, Six degrees: The Science of a Connected Age, Norton Press, 2003.
- [37] A. L. Barabasi and R. Albert, “Emergence of scaling in random networks,” Science, vol.286, pp.509–512, 1999.
- [38] A. L. Barabasi and E. Bonabeau, Scale-free Networks, Scientific American, 2003.

- [39] A. L. Barabasi, Linked ? The New Science of Networks, Perseus Publishing, 2002. (邦訳, 新ネットワーク思考, NHK 出版, 2003)
- [40] 林 幸雄, “Scale-free ネットワークの生成メカニズム,” 応用数理, vol.14, no.4, pp.58-74, April 2004.
- [41] 林 幸雄, “インターネットや WWW のトモグラフィ — Scale-free ネットワークのサンプリング,” 信学誌, vol.89, no.4, pp.322-325, April 2006.
- [42] L. A. N. Amaral, A. Scale, M. Barthelenny, and H. E. Stanley, “Classes of small-world networks,” Proc. National Academy of Sciences, vol.97, no.21, pp. 111-149, 2000.
- [43] R. Albert and A. L. Barabasi, “Statistical mechanics of complex networks,” Reviews of Modern Physics, vol.7J, pp.47-97, Jan. 2002.
- [44] B. Wellman, “Computer networks as social networks,” Science, vol.293, pp.2031-2034, 2001.
- [45] A. L. Barabasi, R. Albert, and H. Jeong, “Mean-field theory for scale-free R%andom networks,” Physica A, no.272, pp.173-187, 1999.
- [46] J. Kleinberg and S. Lawrence, “The structure of the Web,” Science, vol.284, pp.1849-1850, 2001.
- [47] S. Chakrabarti, B. E. Dom, S. R. Kumar, P. Raghavan, S. Rajagopalan, R. Stata, A. Tomkins, D. Gibson, and J. Kleinberg, “Mining the Web’s link structure,” Computer, vol.32, no.8, pp.60-67, Aug. 1999.
- [48] 木村昌弘, “Web の成長モデル,” NTT 技術ジャーナル, vol.16, no.6, pp.18-21, June 2004.
- [49] S. Saroiu, P. K. Gummadi, and S. D. Gribble, “A measurement study of peer-to-peer file sharing systems,” Proc. MMCN, pp.44-49, 2002.
- [50] M. Ripeanu, A. Iamnitchi, and I. Foster, “Mapping the gnutella network,” IEEE Internet Computing, vol.6, pp.50-57, Jan./Feb. 2002.
- [51] H. Zhang, A. Goel, and R. Govindan, “Using the small-world model to improve freenet performance,” IEEE INFOCOM, pp.174-179, 2002.
- [52] 小島一浩, “局所ルールによる P2P ネットワークの自己組織化,” 人工知能誌, vol.20, no.3, pp.312-322, March 2005.
- [53] 首藤一幸, “アプリケーション層マルチキャスト: 基本と応用,” UNIX マガジン, vol.15, pp.34-47, Oct. 2006.
- [54] 西谷智広, “分散ハッシュテーブル,” UNIX マガジン, vol.15, pp.26-33, Oct. 2006.
- [55] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, “Chord: A scalable ppeer-to-peer lookup service for internet applications,” ACM SIGCOMM 2001, pp.149-160, Aug. 2001.
- [56] A. Rowstron and P. Druschel, “Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems,” IFIP/ACM Int’l Conf. Distributed Systems Platforms (Middleware), pp.329-350, Nov. 2001.
- [57] M. Weiser, The Computer for the 21st Century, Scientific American, Sept. 1991.
- [58] M. Weiser, “Some computer science issues in ubiquitous computing,” Commun. ACM, vol.36, no.2, pp.34-43, July 1993.
- [59] 阪田史郎, “ユビキタスシステムの中核となる無線ネットワークの最新技術と将来動向,” ITU ジャーナル, vol.35, pp.44-50, Nov. 2005.
- [60] 阪田史郎, 嶋本 薫 (編著), 無線ネットワーク技術大全, リックテレコム, 2006.
- [61] 阪田史郎 (編著), ユビキタス技術 センサネットワーク, オーム社, 2006.
- [62] 阪田史郎, 青木秀憲, 間瀬憲一, “アドホックネットワークと無線 LAN メッシュネットワーク,” 信学論 (B), vol. J89-B, no.6, pp.811-823, June 2006.
- [63] C. S. R. Murthy and B. S. Manoj, Ad hoc Wireless Networks, Prentice-Hall, 2004.
- [64] 間瀬憲一, 阪田史郎, アドホックネットワーク, コロナ社, 2007.
- [65] 野崎正典, “IEEE802.11s における無線メッシュネットワークの標準化動向,” 信学会第 4 回アドホックネットワーク・ワークショップ, pp.1.7-1.10, June 2006.
- [66] 白鳥則郎, 菅原研次, 菅沼拓夫, 藤田 茂, 小出和秀, “Symbiotic Computing —ポスト・ユビキタス情報環境へ向けて,” 情報処理, vol.47, no.8, pp.811-816, Aug. 2006.
- [67] 阪田史郎, 高田広章 (編著), 組込みシステム, オーム社, 2006.
- [68] 阪田史郎 (編著), インターネット・プロトコル, オーム社, 2005.
- [69] 平成 17 年度インターネット白書, インプレス, 2006.
- [70] 阪田史郎 (監修), オンライン詐欺に関するユーザー調査, ブロードバンド推進協議会, 2006.

(平成 18 年 11 月 8 日受付, 19 年 1 月 5 日再受付)

阪田 史郎 (正員)

▶昭 47 早大・理工・電子通信卒。昭 49 同大大学院修士課程了。同年 NEC (日本電気) 入社。以来, 同社中央研究所にてインターネット, マルチメディア通信, モバイルコンピューティング, ユビキタスシステム等の研究に従事。工博。平 9 同社パーソナル C&C 研究

所所長, 平 11 同社インターネットシステム研究所所長。平 9 ~ 11 奈良先端科学技術大学院大学客員教授, 平 9 ~ 11 情報処理学会理事。平 13 情報処理学会フェロー。平 15 ~ 17 本会企画理事。平 16 ~ 18 情報処理学会監事。平 19 より本会評議員。平 16 より千葉大学大学院教授。「マルチメディアシステム」(昭晃堂), 「モバイルコンピューティング」(アスキー出版), 「インターネットと QoS 制御」(裳華房), 「インターネット・プロトコル」, 「ユビキタス技術 無線 LAN」, 「組込みシステム」(オーム社), 「ワイヤレス・ユビキタス」, 「情報家電プロトコル」, 「ZigBee センサネットワーク」(秀和システム), 「無線通信技術大全」(リックテレコム)ほか著書・共著書 30 余。