

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01821

研究課題名(和文) 生物的進化システムとしてのインターネットサービスの分析

研究課題名(英文) Analysis of Internet services as Biological Evolution systems

研究代表者

池上 高志 (Ikegami, Takashi)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：10211715

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,280,000円

研究成果の概要(和文)：ウェブサービスが臨界状態(一つの投稿が大きく波及するような)に向かって進化していることを示した。それと同時にユーザーグループが特徴的な集団構造をつくっていくように観測できた。タグをつけるサービスどうしを比較し、簡単な数理モデル(Yule-Simonモデル)とでは説明できない現象を見出した。ウェブの「意味」の創出は、新しいタグの進化ではなく、タグどうしの組み合わせの進化にある。特に投稿間に親子関係を持ち込むjことで、400週に及ぶデータの進化系譜を描き、それを解析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インターネットは、人が作った進化する複雑な人工物の代表例です。人というユーザーがインターネットの動きを個別には作っているが、全体の動態はよくわからないものです。われわれはこのシステムの大規模なデータの解析を行い、それが簡単な数理モデルでは表せないことや、進化系統樹を描く解析を行うことで、進化という視点を生物以外にも拡張して論ずることに成功しました。これは、新しい学問領域を創発させたといえるでしょう。社会的にも、インターネットとはないが、という視点を更新し、進化論というのがけっして狭い生物だけの話ではなく、拡張して考えられることを普及させるのは大事なことでと考えています。

研究成果の概要(英文)：Web services are evolving towards a critical state (where a single post can spill over in a big way). The results showed that the user groups are creating a distinctive group structure. At the same time, the user groups were observed to create a distinctive group structure. We compared the tagging services and used a simple mathematical model (Yule-Simon model) and has found a phenomenon that cannot be explained. The creation of web "meaning" is not the evolution of new tags, but the evolution of the combination of tags. In particular, by bringing in the parent-child relationship between posts, we draw an evolutionary genealogy of 400 weeks of data and Analysis.

研究分野：複雑系の科学

キーワード：インターネット ウェブサービス 進化理論 自己組織的臨界状態 Big Data

1. 研究開始当初の背景

2010 年に入りインターネットのソーシャル化により、人々のパーソナルな行動や発言が大量に記録・蓄積されるようになってきている。特に近年これまで定性的にしか議論できなかった人間行動や社会現象を定量的に理解しようという「計算社会科学」や「ウェブサイエンス」といった分野が国内外で注目されている。

国内では、本研究課題の池上が長年関わってきた複雑系・人工生命が一段落し、その新しい研究対象としてインターネットの生態を取り上げ、人工知能学会において、“Massive Data Flow”というセッションを立ち上げて分野を促進した。その後、岡がウェブサイエンス研究会（人工知能学会）を設立し（2015 年）、インターネットを使ったサービスに観察される「擬似生命進化現象」を研究し、新しい自然科学と情報科学の交点としての分野形成を目指した。ちょうどサービスデータが蓄積され始め、いろんな解析ができそうになってきたのが 2010 年代の後半である。

本研究課題はそうした背景の中から、必然的に立ち上がったテーマである。生物進化以外にもアメリカの特許の進化をみてやろうという研究が Reed 大の Mark Bedau らのグループ(2010,2011)によって行われている。

2. 研究の目的

ソーシャルメディアは、その大規模さ・複雑さ・詳細さだけではなく、数年にわたるデータが蓄積し、長時間の解析ができる時期となった。本課題ではサイズ、時間ともに長大なデータを扱い、複雑化するウェブサービスをその長い時間スケールでの振る舞いについて解析する。時系列データの解析は定常状態に対し多く進められてきたが、ウェブサービスのデータは非定常で、その状態空間は常に拡大・発展するいわば「進化状態」にある。本課題では、ウェブサービスの進化を逐次的な相転移現象の連なりとして捉え、進化生物学で用いられるプライス方程式などを拡張し、進化ゲーム理論を用いることで、ウェブサービスを生命的進化システムとして解析する。それにより現在のビッグ・データ解析先行の分野に、基礎理論の展開および構成論的なモデル・シミュレーションの道が開けてくると期待される。

特に生物の進化過程で使われる、親子関係、世代、遺伝子型、表現型、突然変異、進化可能性、系列、淘汰、といった概念をウェブのデータの経時的な変化に適応することで、生物の進化についてはどの程度のことと言えるのかを考察する。

3. 研究の方法

具体的には、部屋のインテリアなどの写真共有ソーシャルネットワークサービスを提供する RoomClip というサービスの、投稿された全写真とそこにつけられた全タグ、ソーシャルアノテーションやユーザー間のフォロー・フォロワー関係、企業プロモーションなど、サービスを支える多様で大規模なデータを利用可能である。他にもベンチマークとして公開されているソーシャルメディアのデータ (i.e., Flickr, Delicious) などを分析対象データとして利用する。

これらの発展成長するサービスの特徴を捉え、その成長パターンを定量的に測定しつつ、その現象論と基礎理論を展開する。そのため、蓄積したデータから形質を抽出し、サービスにおける形質の進化を分析することで異なる成長ステージでどの形質が寄与しているかを探る。それを定量的に表すために、ダーウィン進化の数学的表現であるプライス方程式 (Price 1970) や、Hawkes 過程による分析を用いる。

プライス方程式は次世代における形質の変化量を選択と分散の和として表し、適応度と形質の共分散関係を用いて扱う量的遺伝の方程式である。これは最近、経済学の発展指標 (Thorbjorn 2004) や、アメリカの特許の進化 (Buchanan 2010) などにも使われ始めている。しかし、ウェブサービスを含むこれらの人工システムは、生物における親子関係のような本当の複製プロセスを伴っているわけではない。前の世代から次の世代への幾つかの形質の継承関係を親子関係と見立て、そこに他の形質との間に競争関係があると仮定するのである。Hawkes 過程は、ひとつの投稿がほかの投稿に与える影響を解析するための確率過程で、たとえば、ある形質が出現すると他の形質が次々に現れる

ような関係を解析することができる。これを用いて形質間のネットワーク関係（影響度の上流と下流など）を解析する。

ウェブサービスでは、Zipf/Heaps 則やそのモデルとしての Yule-Simon 過程が知られている。申請者グループはこうしたモデルを用いて幾つかのサービスの解析をすでに行ってきた（e.g. 佐藤 2015）。その統計則や確率モデルをベースに、Yule-Simon モデルとプライス方程式を比較・統合することで、ウェブにおけるダーウィン進化仮説そのものを再考し、人工システムの進化ダイナミクスの構成論的なモデルを確立したい。

4. 研究成果

研究成果は、大きく次のように分けて考えることができる。

- 1) Hawkes 過程を用いて、ウェブサービスが臨界状態（一つの投稿が大きく波及するような）に向かって進化していることを示した。それと同時にユーザーグループが特徴的な集団構造をつくっていくように観測できた。[7]
- 2) 4つのタグをつけるサービスを比較し、それらの進化動態を比較し、また Yule-Simon モデルとの、統計的性質の比較を行った。[2]
- 3) 新しいタグがどのように出現するかだけではなく、タグどうしの組み合わせがどう進化するかを調べ、サービスにおける「意味」の創出を解析した。[10]
- 4) タグの組み合わせに注目することで、投稿間に親子関係を持ち込み、400週に及ぶデータの進化系譜[図]を描き、それを解析した。[14]

最初の臨界状態の議論は、投稿につけられた Like の数に注目すると、それは臨界的な状態に漸近することがわかる。生物進化でも edge of chaos への進化としてよく議論されている（e.g. Stuart Kauffman）。しかし具体的に臨界状態への漸近を示す例はあまり報告されていない。次のタグの組み合わせの議論は、よく Yule-Simon モデルという選択の入った単純なモデルと比較できる。実際の写真共有サービスから得られたソーシャルタギングのデータと比較してみると、実データにおけるタグの組み合わせの新規性の生成レートは、モデルが示す期待値よりも非常に大きな値を示した。タグの組み合わせの選択において、実データは Yule-Simon 過程に比べて、支配的なタグとそうではないタグが別な選択基準によって出現したり、または時間的な依存性が非常に大きいことを示している。いくつかのタグは、長いこと似たようなタグと組み合わせさせて進化するが、ある時点でその組み合わせが劇的に変化する。そうした断続平衡的な振る舞いは、実際のシステムに固有の面白い現象である。

タグの固有の進化的性質は、系統樹を描くことでも明らかとなった。タグを持つ投稿の近さをジャカード係数（これはどのくらい共有しているタグがあるか）で測り、近い係数を持つものを親子関係として線で結ぶ。その結果、進化系統樹の中ではいくつかのタグの組み合わせが優先的に選択され、垂直伝搬していることがわかる。

これらの結果を統合して、2020年に報告していく予定である。

参考文献

1. 西川 仁將, 岡 瑞起, 橋本 康弘, 池上 高志, Yule-Simon 過程に基づくソーシャルタギングの分析とモデリング手法, 人工知能学会論文誌, vol.34(4), pp.1-8, 2019.
2. Takashi Ikegami, Yasuhiro Hashimoto, Mizuki Oka, Open-ended evolution and a mechanism of novelties in web services, Artificial Life, Vol. 25, No. 2, pp.168-177, 2019.
3. Yasuhiro Hashimoto, Mizuki Oka, Takashi Ikegami, Measuring Bursty Growth of Words in Social Tagging Ecosystems, ACM WebSci '18 conference, Proc. of the 10th ACM Web Science Conference, p.17, 2018.
4. Takashi Ikegami, Emergent Collective Dynamics in Large Scale Agent Systems, presented at the international conference on Collective Behavior (ICTP, Trieste, Italy, 2018).
5. 橋本 康弘, 岡 瑞起, 池上 高志, ソーシャルタギングシステムに見られる特異的なタグの成長, 2018年度人工知能学会全国大会(第32回)
6. 西川 仁將, 岡 瑞起, 橋本 康弘, 池上 高志, ソーシャルタギングにおけるタグ出現数のゆらぎ, 2018年度人工知能学会全国大会(第32回)

7. Takashi Ikegami, Mizuki Oka, Yasuhiro Hashimoto, Yoichi Mototake, Life as an Emergent Phenomenon: Studies From Large-Scale Boid Simulation and Web Data, Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences. 20160351, 10.1098/rsta.2016.0351, 15 pages, 2017.
8. Mizuki Oka, Yasuhiro Hashimoto, and Takashi Ikegami, Understanding Evolutionary Dynamics in Online Social Networks. Proceedings of the 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 10.1109/SSCI.2017.8280796, 4 pages, 2017.
9. Hashimoto, Y., Ikegami, T. Novelty production in tagging crowds, The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics(SWARM 2017), pp.311-312.
10. Hashimoto, Y.: "Growth Dynamics of Pairwise Novelty in Social Annotation" in the proceedings of A workshop of the PRIMA 2018 "Social simulations and supercomputers.
11. 西川仁将, 岡瑞起, 橋本康弘, マルコヴィッチオメール, 池上高志: ソーシャルタギングの形質表現と進化メカニズム, 2017 年度人工知能学会全国大会, 2017.
12. 佐藤晃矢, 岡瑞起, 橋本康弘, 池上高志, 加藤和彦: SNS におけるユーザ参加期間とタグ生成・利用の関係, 2017 年度人工知能学会全国大会, 2017.
13. 佐藤寛紀, 橋本康弘, 土井樹, 岡瑞起, 池上高志: Web の進化における変異と選択, 2020 年度人工知能学会全国大会.
14. Hiroki Sato, Itsuki Doi, Yasuhiro Hashimoto, Mizuki Oka and Takashi Ikegami: Selection and Accelerated Divergence in Hashtag Evolution on a Social Network Service (ALIFE2020, Montreal)

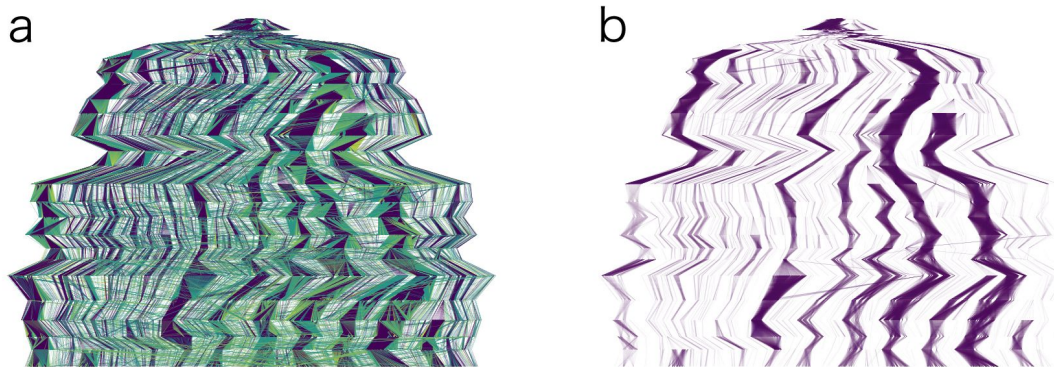


図:進化の系統樹:2012-04-10 16:12:09 の投稿と, その 50 世代(週)目までの子孫の家系図. a. 全ての親子関係. エッジの色は, 紫から 緑, 黄色に向かって低いジャックカード係数(どのくらい2つの投稿の間に共通のタグがあるかを示す)の値を示す. b. a の中でが係数1.0のエッジだけを表示したもの. 注)エッジの長さが世代ごとに異なるのは可視化処理に拠る([13]より改編)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Norman Packard, Mark A. Bedau, Alastair Channon, Takashi Ikegami,	4. 巻 25
2. 論文標題 Open-Ended Evolution and Open-Endedness: Editorial Introduction to the Open-Ended Evolution I Special Issue	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Artificial Life	6. 最初と最後の頁 11-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1162/artl_e_00282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Norihiko Maruyama, Daichi Saito, Yasuhiro Hashimoto, Takashi Ikegami	4. 巻 2
2. 論文標題 Dynamic organization of flocking behaviors in a large-scale boids model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Computational Social Science	6. 最初と最後の頁 77-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42001-019-00037-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takashi Ikegami, Yasuhiro Hashimoto, Mizuki Oka	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Open-Ended Evolution and a Mechanism of Novelties in Web Services	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Artificial Life	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 3件／うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Koya Sato, Mizuki Oka, Yasuhiro Hashimoto, Takashi Ikegami and Kazuhiko Kato
2. 発表標題 How the Nature of Web Services Drive Vocabulary Creation in Social Tagging
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Information Science and System (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Ikegami, Yasuhiro Hashimoto and Mizuki Oka
2. 発表標題 Open-Ended Evolution and a Mechanism of Novelties in Web Services
3. 学会等名 The 2018 Conference on Artificial Life (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Ikegami
2. 発表標題 Emergent Collective Dynamics in Large Scale Agent Systems
3. 学会等名 Conference on Collective Behavior (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Norihiro Maruyama
2. 発表標題 Revisiting Classification of Large Scale Flocking
3. 学会等名 PRIMA 2018 - The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hashimoto
2. 発表標題 Growth Dynamics of Pairwise Novelty in Social Annotation
3. 学会等名 PRIMA 2018 - The 21st International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Hashimoto
2. 発表標題 Measuring Bursty Growth of Words in Social Tagging Ecosystems
3. 学会等名 ACM WebSci 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Hashimoto
2. 発表標題 ソーシャルタギングシステムに見られる特異的なタグの成長
3. 学会等名 人工知能学会全国大会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Hashimoto, Mizuki Oka, Takashi Ikegami
2. 発表標題 Large Fluctuation in Social Tagging Ecosystems
3. 学会等名 International Conference on Computational Social Science (IC2S2) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本康弘
2. 発表標題 新規性の発生則と成長則：Yule-Simon過程を用いた分析
3. 学会等名 計測自動制御学会 第23回創発シンポジウム「創発夏の学校」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋本康弘
2. 発表標題 新規性の発生則と成長則：Yule-Simon過程を基礎にして
3. 学会等名 電気情報通信学会 複雑コミュニケーションサイエンス研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	岡 瑞起 (Oka Mizuki) (10512105)	筑波大学・システム情報系・准教授 (12102)	