

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23501170

研究課題名(和文) 学習者群が示す高次規則性の解明と学習の環境最適化への応用

研究課題名(英文) The macroscopic pattern at a crowd level observed in collective behaviors by a group of learners

研究代表者

石川 浩一郎 (Ishikawa, Koichiro)

千葉工業大学・社会システム科学部・准教授

研究者番号：00468547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複数の教育機関で運用されている e-learning コースで記録された、学習者のコンテンツ視聴履歴ログを、複雑系科学的視点で分析した。本来自由に学習を進めているはずの学習者の行動に、学習者群全体すなわち高次のレベルで、パタン(規則性)が創発したことを示唆する結果が得られた。さらに、創発のメカニズム他に関して、マルチエージェントシミュレーション手法を用いた基礎研究的な研究を進め、成果を公表した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we analyzed two sets of learning history data obtained from two deferent e-learning courses. The result is that a group of learners may show a macroscopic pattern at a crowd, or group total, level in their collective behaviors. We also tried a research by multi-agent simulation method to disclose the mechanism how a pattern emerges.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 教育工学

キーワード：教育工学 e-learning 複雑系科学 高次規則性 ベキ分布

1. 研究開始当初の背景

本研究では、学習者がより効果的に学習を進めることができる環境を実現することを、学習の環境最適化と呼ぶものとする。学習者が学習を進める環境には、環境最適化に関係する様々な要因（以下多様性要因と呼ぶ）が存在していると予想される。

これまでの研究の多くは、多岐にわたると考えられる多様性要因の1つを対象とし、その多様性要因が、主に個人の学習行動やその学習効果にどう関連するかというアプローチで進められてきた。個々の多様性要因に関する要素還元論的研究は進められるべきであるが、環境最適化を最終目標した場合、こうしたアプローチのみでは不十分である。その理由は、実際の学習行動は、多様性要因が複雑に絡み合った結果生じるためである。

一方、複雑系科学領域の研究により、多数の構成要素の局所的で比較的単純なインタラクションから、高次のレベルで、規則的かつ複雑な構造（パタン）が創発される現象が、様々な学問分野で観測されることが明らかになってきた。本研究では、創発されるこうしたパタンを、以下高次規則性と呼ぶものとする。

高次規則性は、広い学問分野で観測されてきたことから、教育及び学習関連の分野も例外ではない可能性がある。すなわち、例えば学習者群の行動の総体を巨視的視点から俯瞰すると、高次のレベルに規則性が存在する可能性がある。さらに、その規則性は、学習環境最適化に応用できる可能性もあると考えられる。

先行研究に拠れば、複数のコンテンツ（SCO）群で構成された教材をもつ、特定のe-learning コースにおいて、ある学習者が、あるコンテンツの視聴を開始した後、次のコンテンツの視聴を開始するまでの時間間隔（以下 time-diff 値と呼ぶ）には、高次規則性の存在を推測させるパタンが見られるとの報告がある（Ishikawa, K., et al., Toward Efficient Learner Supports under the Mobile Learning Environments, Proc. of the 9th World Conf. on Mobile and Contextual Learning (mLearn 2010), pp. 385-386, 2010）。こうした結果の普遍性・応用可能性は、現時点で十分に解明されていないが、個々の学習行動を、学習者グループ全体の中でどう位置付け、理解し活用するかについての手掛かりになることが期待される。

また、複雑系科学研究の対象の一つである自己組織化過程では、高次規則性としてベキ分布が観測されると報告されている。ベキ分布の観測は、物理学・化学・生物学・計算機科学・経済学・社会科学等、多数の分野にわたっている（例えば、Barabasi, A-L., Linked: The New Science of Networks, Cambridge,

2002）。

ベキ分布の特徴は、その fat-tail 性及び scale-free 性である。例えば、正規分布等と比較して、極端な（外れ値）データの観測が増える。このため、「平均から大きく逸脱する少数のデータ点はつねに出現する」（Barabasi, A-L., Bursts: The Hidden Patterns Behind Everything We Do, Plume, 2010. 邦訳：青木監訳，バースト：人間行動を支配するパターン，NHK 出版，2012）。学習行動が、ベキ分布に従う特徴を持つ場合、当該行動の理解のために平均値を用いることは適切とは言えなくなる。

さらに、上述のように高次規則性としてベキ分布が注目されていることから、観測データがベキ分布に従うことを検証する数学的手法も提案されている（例えば、Clauset, A., et al., Power-Law Distributions in Empirical Data, SIAM Review, 51 (4), pp.661-703, 2009）。しかし、検証手法整備の試みは、未だ発展中の分野であり、手法の洗練化やツール等の整備を進める余地が残っている。

さらに、複雑系科学分野では、シミュレーション等の手法を活用した構成論的アプローチの研究も進められている。こうしたアプローチを採用することで、従来の科学が採用する要素還元論的アプローチでは難しかった、複雑な現象が創発するメカニズムの解明や、その根底に存在する単純なルールへの還元が可能となることも期待される。

2. 研究の目的

以上のように、学習者の行動履歴情報を分析し、どのような高次の規則性が何故創発するのかを明らかにすることは、学習者の行動理解という観点から重要な意味をもつ。さらに、学習行動の特徴に関して得られた知見を、各学習者の多様性要因を踏まえた環境最適化を自律的に実現するために活用できる可能性がある。こうしたアプローチは、教育工学他の分野と複雑系科学分野との融合をも視野に入れた、高い新規性を持ち、有用性も期待される。

本研究では、学習者の行動履歴情報を対象とし、学習者群の行動の総体を巨視的視点から俯瞰した際、どのような高次レベルの規則性が観測されるのか、何故そうした規則性が創発するのかを明らかにすることを目的とする。分析対象のデータとしては、マルチメディア（映像・音声）コンテンツを中心に構成された教材を用いた e-learning コースにおいて得られた、学習者の視聴履歴情報を用いる。

焦点とするのは、学習者群が総体として創発する、ベキ分布他の高次規則性とし、

- (1) 創発する規則性の種類
- (2) 創発の成立範囲やその条件

(3) 創発メカニズムの解明
等を進める。さらに、以上の過程で、
(4) 高次規則性の妥当性検証のための手法
の検討
も併せて実施する。

高次規則性示すデータの対象としては、既に成果を公表 (Ishikawa, K., 2010 前掲) 済の time-diff 値を候補の1つとし、上記 (1) の通り、その他の規則性の存在に関して、調査・分析する。上記 (2) の通り、分析対象とする期間 (コースの開講回次) も従来より広げる。さらに、他 e-learning カリキュラムでも同様の高次規則性が観測されることを確認することで、結果の一般性・妥当性を検証する。また、(3) の通り、高次規則性が創発するメカニズムを検討し、その理由を明らかにする。さらに、得られた規則性を環境最適化に反映させる手法についても、最終的に検討する。

3. 研究の方法

上記の目的を踏まえ、研究の方法及び計画の概要としては、

- (1) e-learning コースにおける視聴履歴データに基づき、学習者群が総体として示す高次規則性の確認を継続し、その種類や創発条件他を特定する。
収集済データの分析継続と新規規則性の有無の確認
結果一般性 (ないし限界) 検討
・分析対象範囲の拡大
- (2) 高次規則性の創発メカニズムの検討
マルチエージェントシミュレーション (MAS) 手法を用いた、実験等による、創発過程の再現と創発条件他の明確化
・構成論的アプローチの採用
- (3) 高次規則性の妥当性を検証するための手法の検討を行う。
検証方法の評価、洗練、ツール整備等

に沿って進めるものとした。

4. 研究成果

上記の研究手法・実施計画に沿って研究を進めた結果、以下の成果を上げた。

まず、実施計画「(2) 高次規則性創発メカニズムの検討」に関連して、高次規則性が創発する過程や、初期値依存性等の解明を目的とし、MAS 手法を用いた、構成論的アプローチによる基礎研究的内容の研究を進めた。

この結果、ある種の MAS 実験において、それが比較的単純な課題であっても、初期値に敏感な性格が顕在化し、収束先が大きく異なることがあるという事例のいくつかが判明した。こうした初期値依存性は、他の複雑系科学現象において観測されている初期値依存性とも共通性をもつ可能性がある。また、初

期値依存性と、ベキ分布に代表される極端なデータ点 (外れ値) の観測との関連性も予想され、今後さらに研究を進める必要がある。

以上のように、実験を通して、(とくにマルチエージェント) シミュレーション結果の理解には、初期設定を詳細に把握することが不可欠であることが示された。当該成果を、International Information Institute が刊行する査読有英文学術誌論文 (第 1 著者) 1 編として、2013 年に公表した (5. [雑誌論文] 参照)。

さらに、「(1) 高次規則性の存在の確認の継続」における、「結果一般性 (ないし限界) 検討」に関して、データ分析の対象範囲を拡大することで、一般性を考察する方針で研究を進めた。第 1 に、青山学院大学によって運営されていた、平成 20 年度社会人学び直しニーズ対応教育推進プログラム委託業務「主婦・団塊世代等社会人経験を有する人材に対するオンライン学習支援者育成プログラム」e-learning カリキュラムである (例えば、Ishikawa, K., et al., E-mentor Development Course, Proc. of Int'l Sympo. and Conf. for Educational Media in School (ICoME 2009), pp. 87-92, 2009)。

当該コースの学習履歴データに関して、分析対象の期間をより長期化した。従来 (Ishikawa, K., 2010 前掲) では、4 コース (2009 年 9 月 - 2010 年 3 月) のみが対象であったが、7 コース (2009 年 9 月 - 2010 年 12 月) に拡大した。この結果、対象受講者数は約 80 人から 150 人へ、分析対象視聴行動は 537 件から 3,187 件へと増加した。分析対象を長期化した場合でも、先行研究と同様の高次レベルの規則性の存在を示唆する結果が得られた。本成果を、International Conference on Behavioral, Cognitive and Psychological Sciences の査読有英語論文 (第 1 著者) 1 編として、2011 年に公表した (5. [雑誌論文] 参照)。

第 2 に、従来より多くの e-learning カリキュラムの学習履歴データを分析の対象とした。その 1 つが、筑波大学医学部が主体となり、大学間連携の形態で運用されている「がんプロフェッショナル育成講座」e-learning カリキュラムである。

当該カリキュラムは、規模・受講者属性・コンテンツが対象とする学問分野・開講及び受講の目的・運用形態等の面で、上記青山学院大学のカリキュラムとは大きく異なる。筑波大学のコースでは、約 500 人以上の大学院生・医療周辺従事者を対象とし、医学・看護学の内容のコンテンツを、講義のための補助教材として配信し、オンラインでの学習者支援 (e-mentor によるサポート) は実施されない。

当該カリキュラムの、2011 年度の学習履歴データの提供を受け、258 人の受講生の 57,132 件のコンテンツ視聴行動を対象に分

析をした。その結果、コース内容が大きく異なるにも関わらず、青山学院大学のデータと類似した、高次レベルの規則性の存在を示唆する結果が得られた。当該成果を、International Journal of Information and Education Technology の査読有英語論文(第1著者) 1編として、2013年に公表し(5. [雑誌論文] 参照)併せて International Conference on Education Technology and Computer 国際会議において口頭発表した(5. [学会発表] 参照)。

一方、筑波大学留学生センターで準備中であつた日本語・日本事情教育用 e-learning カリキュラムに関しても、高次規則性の存在を確認する対象に含めるべく活動した。しかし、2011年度その e-learning の構築に携わり、2012年に査読有紀要論文を1編公表した(5. [雑誌論文] 参照)ものの、システムの本格稼働タイミング他の問題で、本研究課題の分析の対象に含めることはできなかった。

さらに実施計画「(1) 収集済データの分析継続と新規規則性の有無の確認」について、関連論文他のサーベイを継続した。そこで、本研究でこれまで観測された、高次レベルでの規則性を示唆する独自の結果との関連性を推測させる結果が、他の複数の研究領域でも観測されていることが判明した(例えば、Barabasi, A-L., 2010, 前掲書における "time between two consecutive actions")。上述の通り、様々な学問分野を超えて、類似した規則性が観測されることが、複雑系科学の特徴でもある。

こうした多分野で得られた結果は、現在、Human Dynamics と呼ばれる分野の知見としてまとめられつつある。今後も、本研究と Human Dynamics 成果との関連性についての考察を進める予定である。とくに、Human Dynamics 分野の研究では、高次規則性の創発メカニズムに関する仮説が提示されており、その検証も進められている。今後、そうした仮説が、本研究にも該当するかの確認も必要である。

実施計画「(3) 高次規則性の妥当性を検証するための手法の検討」に関しても、いくつかの研究を進めた。第1に、既に提案・ツール提供済の手法 (Clauset, A., et al., Power-Law Distributions in Empirical Data, SIAM Review, 51 (4), pp.661-703, 2009) を用いた、ベキ分布の妥当性の検証作業を実施した。これは、当該手法の動作確認・追試等の目的も併せもって実施し、適用結果を論文にて公表した(5. [雑誌論文] 参照)。

第2に、上述の高次規則性を示唆する可能性のある結果に対しては、ベキ分布 (power-law distribution) の他、一般化ベキ分布 (generalized power-law

distribution) * によるフィッティングも試みた。

ただし、ベキ分布に代えて一般化ベキ分布を採用するかという点に関しては、上記 Human Dynamics 分野における、高次規則性生成メカニズムに関する仮説との関連性も含め、より検討を重ねる余地がある。

以上のように、妥当性検証手法に関しては、主に統計学的な観点からのアプローチにより、研究を継続する必要がある。さらに、得られた高次規則性を用いて、自律的な学習の環境最適化のための手法を具体的に確立することや、実現された環境最適化手法の有効性を評価等について、今後も研究を進める必要がある。

本研究では、複雑系科学領域と、教育工学等、教育・学習に関する諸学問分野との融合を目標の1つとした。こうしたアプローチは、これまで十分には試みられておらず、高い新規性・将来性がある。今後、具体的なレベルで連携が進み、さらに有益な知見が得られることを期待したい。

* 宮下洋一、幅広い複雑性領域に適合する一般化ベキ乗分布モデル、情報処理学会研究報告 MPS, 2010-MPS-80(19), ISSN: 09196072, pp. 1-7, 2010, <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007993935/>.

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4件)

Koichiro Ishikawa, Bongsung Chu, Akito Sakurai and Hiroaki Matsukawa, An Analysis of MML Agent Simulation under Uniform Distribution of Gain Parameter, INFORMATION: An International Interdisciplinary Journal, ISSN: 1343-4500, Vol. 16, No. 7 (A), pp.4693-4704, 2013, 査読有, http://jglobal.jst.go.jp/detail.php?JGLOBAL_ID=201302235141051280.

市原 明日香, 古川 雅子, 石川 浩一郎, 飯田 将茂, 李 在鎬, 今井新悟, 日本語・日本事情遠隔教育拠点にて企画中の e ラーニング教材について、筑波大学留学生センター日本語教育論集 第27号 pp.67-80, 2012, 査読有, http://www.intersc.tsukuba.ac.jp/~kyoten/documents/ronsyu27_67-80.pdf.

Koichiro Ishikawa, Masako Furukawa, Yutaka Saito, Takahiro Naito and Mamiko Shichida, Log Data Analysis of Learning Histories in an e-Learning Course, International Journal of

Information and Education Technology,
ISSN: 2010-3689, Vol. 3, No. 6, pp.
587-590, 2013, 査読有, DOI:
10.7763/IJJET.2013.V3.341.
Koichiro Ishikawa, Masako Furukawa,
Mamiko Shichida and Yutaka Saito, A
Macroscopic Pattern at Global Level
Shown in Learners' Behaviors,
Proceedings of the 2nd International
Conference on Behavioral, Cognitive
and Psychological Sciences (BCPS 2011),
ISBN: 978-981-07-0624-1, pp.62-66,
2011, 査読有,
<http://connection.ebscohost.com/c/articles/74274058>.

〔学会発表〕(計 1 件)

Koichiro Ishikawa, Log Data Analysis
of Learning Histories in an e-Learning
Course, 5th International Conference
on Education Technology and Computer
(ICETC 2013), Male, Maldives, August
18, 2013, 再掲.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 浩一郎 (ISHIKAWA, Koichiro)
千葉工業大学・社会システム科学部・准教授
研究者番号: 00468547

(2) 研究分担者

齋藤 裕 (SAITO, Yutaka)
筑波大学・医学医療系・研究員
研究者番号: 10316888

古川 雅子 (FURUKAWA, Masako)
筑波大学・留学生センター・研究員
研究者番号: 20617287

内藤 隆宏 (NAITO, Takahiro)
筑波大学・医学医療系・助教
研究者番号: 50552155

七田 麻美子 (SHICHIDA, Mamiko)
島根大学・教育開発センター・講師
研究者番号: 10700586