

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18653

研究課題名(和文)協調学習を支える主要メタファ(理論)の数理モデル化に関する基礎研究

研究課題名(英文)A Basic Research on Mathematical Modelings Relating to Collaborative Learning

研究代表者

安武 公一(Yasutake, Koichi)

広島大学・人間社会科学研究科(社)・准教授

研究者番号：80263664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：われわれは協調学習を理論化するために必要な理論的枠組として、現在の教育工学・学習科学研究で広く使われている静的なネットワークのフレームワークに代わり、テンポラル・ネットワークを使うこと、圏論の枠組みを利用すること、動的ネットワークの枠組みを応用することなどの有用性について検討した。

その結果次の成果を得た。(1) 協調学習を理論化する上で重要なのは静的なモデルの枠組みではなく、テンポラル・ネットワーク理論のような本質的に動的な理論的枠組みである。(2) 「圏論」あるいは群論と親和的な位相的データ解析の遡上に協調学習を理論的に乗せようとするならば、高階層ネットワーク・モデルの枠組みが適切である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

われわれがわが国の教育工学・学習科学研究の中でおそらく最初に協調学習研究に対してネットワーク理論を採用して以来、これまでのところ協調学習分析で数理的な基礎を提供しているのは静的なネットワーク理論である。これに対して本研究でわれわれは、静的なネットワーク理論の枠組みでは協調学習の分析にはまったく不十分であること、この問題を解消するためにはテンポラル・ネットワーク理論などの動的なネットワーク科学理論が適切であること、という結論を得た。この結論は今後、協調学習研究を数理的に展開し関連数理科学の領域に拡張する上で、従来の協調学習研究では見いだせなかった点である。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the usefulness of the following theoretical frameworks for theorizing cooperative learning: the use of temporal networks, the use of a sphere theory framework, and the application of a dynamic network framework, instead of the static network framework that is widely used in current educational engineering and learning science research. The usefulness of using temporal networks, utilizing the framework of sphere theory, and applying the framework of dynamic networks, etc. was examined.

As a result, we obtained the following results. (1) In theorizing cooperative learning, it is not a static model framework but an inherently dynamic theoretical framework such as temporal network theory that is important. (2) The framework of higher hierarchical network models is appropriate for theorizing cooperative learning in the context of topological data analysis, which is compatible with "category theory" or group theory.

研究分野：教育工学

キーワード：教育工学 学習科学 協調学習 計算社会科学 複雑ネットワーク理論 位相的データ解析 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

複雑ネットワーク科学や計算社会科学といった新しい社会科学の分野では、人々のダイナミックで複雑な「相互作用」が数学的にとらえられ、その「メカニズム」や「機能」が徐々に明らかにされてきている。特に近年では Multilayer Networks 研究に見られるように、重層的な時間と空間の構造を入れた研究にまで発展しており、認知神経科学の分野にまで影響を与えている。こうした学習科学・教育工学以外の先行領域の成果を導入することで、個別実践のプロファイルの積み重ねることしかできていない学習科学研究に対し、その一般化・普遍化を目指すこと、さらには他領域で先行しているマイクロレベルでの数理的研究との学際的研究の足掛りを構築すること、それを目指したのが本研究である。

2. 研究の目的

本研究では、1) 協調学習に関する主要メタファ(理論)を、複雑ネットワーク科学の知見を使って数理モデル化し、2) 数理化が進む関連諸科学(特に認知科学)との接合の扉を開くこと、以上の2点を重点的な目的とした。

3. 研究の方法

われわれが目指したのは、Multilayer Networks を使ったダイナミクスモデルである。Multilayer Networks とは多階層ネットワーク・モデルのことで、複雑な構造の中で生成される社会現象を記述するモデルとして、研究計画調書作成時には複雑ネットワーク科学やそれに影響を受けた分野で研究が進められていた。われわれは、協調学習を支える主要理論が対象としている学習活動を Multilayer Networks のダイナミクス現象として記述することを目指した。

当初の計画では次の方法で上述の目的を達成する予定であった。

- (1) 主要理論の理論的検討とネットワーク・モデル化の可能性を探る
- (2) 実証データによる理論の検証とモデルの拡張。

4. 研究成果

研究初年度には、主要理論の理論的な構造と特徴をネットワーク科学と力学系の観点から数学的に抽出することを目指した文献研究を行うことを予定していたが、この過程を実際に進めたところ、重点とすべき問題点が明らかとなった。そこで2018年度(研究初年度)は予定を一部変更し、次の3点に重点を置いた研究プランを実施した。(1)「関係性」を分析の中心に置く圏論(Category Theory)の学習科学理論への応用の検討、(2) 研究計画作成時からさらに発展した複雑ネットワーク科学の最新の知見、特にネットワーク上で展開される情報ダイナミクス現象の理論モデルの協調学習理論への応用の検討、(3) 国外の関連カンファレンスに参加し、最新の情報を収集するとともに知見を深めること。

(1) については2019年度(研究次年度)も引き続き検討することとした。(2)については、ある種の情報ダイナミクスを再現する複雑ネットワーク・モデルを協調学習の理論化へと応用することを検討した。この点は研究計画調書作成時点には想定していなかった重要な進展である。(3)については、2018年11月に数学教育関係のカンファレンス(ATCM2018)、2018年12月Complex Networks Workshop 2018、そして2019年3月SITE2019に参加し、知見を深めた。特にComplex Networks Workshop 2019 には理論モデルに関する発表を行った。

研究初年度において特に重要な展開だとわれわれが考えたのは、(1) 圏論の応用の可能性と(2)複雑ネットワーク上のある情報ダイナミクス現象モデルの応用という、ふたつのアプローチに関するアイデアである。このふたつのアイデアは研究計画調書作成時には検討の対象外であったが、その後のこの分野での研究の進展を考慮し、研究初年度(2018年度)に本研究に導入することとした。2019年度と2020年度にはこの新しいアプローチを軸として研究を展開させることとした。

上記の研究を引き継いだ2019年度では、(1) 圏論の応用の可能性と(2) 複雑ネットワーク上の情報のダイナミクス現象モデルの応用、この2点に特に研究の重点を置いた。(1)については日本認知学会で「圏論」に関するセミナーが実施され始めていることから分かるように、「圏論」を人間の認知活動・学習活動をモデル化する際に理論的基盤とするという本研究の方向性は間違っていないことを確認した。実際、認知科学会の研究者らとそれぞれの知見を交換する機会を得ることが今年度のひとつの成果である。(2)については、昨年度からの研究の引き継ぎ事項であり、この可能性を追求することが、次年度(すなわち研究最終年度)の課題のひとつとなる

ことを検討，確認した．

2018 年度から 2019 年度にかけの研究をわれわれは，「やや遅れている」と自己評価した．その理由は，第一に，上にも記載したように，研究計画作成時の計画を一部修正したためである．「圏論」による理論モデルの構築は，認知科学会でもほとんど始まったばかりであり，前年度に引き続きその応用をモデル構築に結実させることをまだ完全にはできておらず，「やや遅れている」と評価せざるを得なかった．しかしながら上でも述べているように，「圏論」と複雑ネットワーク科学を応用することによって協調学習モデルを構築することは，教育工学・学習科学の分野に限らず認知科学の分野でも現在注目されているテーマである．そのため，本研究計画作成時には検討の対象外であったこの 2 つのアイデアを融合させること，すなわち「圏論」によって学習の「関係性」を記述し，その概念を「複雑ネットワーク」上でのダイナミクス現象として記述すること，この新しいアプローチを研究最終年度の目標としていた．「やや遅れている」と評価した第二の理由は，2019 年度末に発生した新型コロナウイルス感染症の影響拡大により，国内外の移動がきわめて制限されはじめ，必要な研究ミーティング，関連 諸学会，国内外の研究会・学会に参加することができなかつたためである．

令和 2 年度(2020 年度)研究計画作成当初は本研究の最終年度であった．しかしながら本研究は 2021 年度に繰り越すこととした．言うまでもなくその理由は，SARS-Cov-2(新型コロナウイルス)による世界的なパンデミックが多方面に渡り研究に影響を与えたからである．本研究では，研究初年度(2018 年度)と研究 2 年目(2019 年度)に研究の方向性について検討を行い，圏論(Category Theory)の枠組みを応用して「関係性」の抽象化と理論モデル化を導入することとした．「圏論」を人間の認知活動・学習活動をモデル化する際に理論的基盤とするという本研究の方向性は，認知学会で「圏論」に関するセミナー等が開催されていることから判断できるように，間違っていないことをわれわれは再確認していた．その上で 2020 年度にわれわれが予定していたのは，この「圏論」の枠組みと「Multiplex Network 上での情報のダイナミクス現象のモデル化」を組み合わせることであった．残念ながら SARS-Cov-2 による COVID-19(新型コロナウイルス感染症)の世界的拡大は 2020 年度には収束の気配は見せず，2020 年度にわれわれは研究活動を思ったように進めることができなかつた．もちろん，リモートでの研究会議の開催など，可能な限りの代替的研究活動は行った．しかしながら，「圏論」と複雑ネットワーク科学の知見を組み合わせる協調学習モデルを構築することは，教育工学・学習科学の分野では従来なかつた研究テーマであるため，思った以上に思索と議論の時間が必要であり，われわれは止むなく，本研究を 2021 年度に繰り越すことを決定した．

CARS-Cov-2 による Covid-19 のパンデミックは 2020 年度に続き 2021 年度でも収束することはなく，この影響で 2021 年度に予定していた繰越研究の多くも未完了のまま残ってしまった．ただし，「圏論」と複雑ネットワーク科学の知見を組み合わせるといふ当初のアイデアにさらに新しいアイデアを組み込むことに至ったのは，2021 年の大きな研究成果である．それはエンゲストロームの活動理論に着目して「エージェンシー」概念を活動理論をベースとして理論化する，という方向である．この方向をさぐるためにわれわれはエンゲストロームの著作に関する，オープンナリモート勉強会を立ち上げ，現在のところ，基本的に毎月 1 回最終月曜日に開催した．こうした研究の推進状況であったためわれわれは本研究をさらに 2022 年度へ繰り越すことを決定した．

2022 年度の Covid-19 による研究の延長期間を利用してわれわれは本研究画時にはプランに組み入れていなかったアプローチを検討した．その結果，本研究を総括するにあたり最終年度には，この延長期間における関連諸分野の研究の進展も考慮し，次のよう方向性をとることにした．まずわれわれは協調学習を理論化するために必要な理論的枠組として，現在の教育工学・学習科学研究で広く使われている静的なネットワークのフレームワークに代わり，テンポラル・ネットワークを使うことの有用性について検討した．協調学習という本質的に動的かつ時間に依存した学習活動をとらえるのに，従来の静的ネットワーク・モデルの枠組みでは，分析視点としても不十分なのである．次にわれわれが検討したのが，多階層ネットワーク・モデルと高階ネットワーク・モデルの応用である．このうち多階層ネットワークを応用したモデル化はネットワーク科学の分野でもすでに多くの応用研究が行われている．これをわれわれは協調学習理論のモデル化に応用することを検討した．一方，高階ネットワーク・モデルは，ネットワーク科学の分野でも研究が始まったばかりであるため，学習科学や教育工学，Learning Analytics の分野での応用はまだ見当たらない．われわれが高階ネットワーク・モデルに注目したのは，Learning Analytics の分野でわれわれがチャレンジしている位相的データ解析と親和的であること，そして本研究前半に検討した「圏論」と概念的に関連があると見ているからである．

以上の結果われわれが得た本研究は次の通りである．

1. 協調学習を理論化する上で重要なのは静的なネットワーク・モデルの枠組みではなく，テンポラル・ネットワーク理論のような本質的に動的な理論的枠組みである．
2. 「圏論」あるいは群論と親和的な位相的データ解析の遡上に協調学習を理論的に乗せようとするならば，高階層ネットワーク・モデルの枠組みが適切であると考えられる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yasutake, K., Nakamura, Y., Tagawa, T., Kitao, M., and Tasaka, Y.	4. 巻 2022
2. 論文標題 An Essay on the Relationship between the Characteristics of Aggregated Learning Physiological Data and the Growth of Learning Communities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2022	6. 最初と最後の頁 375-380
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 -

1. 著者名 山川修	4. 巻 036-06
2. 論文標題 社会情動的スキル向上プログラムにおける学習者特性による効果の違い	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSISE-TR	6. 最初と最後の頁 120-126
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 無
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 Yasutake, K., Nakamura, Y., Tagawa, T., Kitao, M., and Tasaka, Y.	4. 巻 2022
2. 論文標題 An Essay on the Relationship between the Characteristics of Aggregated Learning Physiological Data and the Growth of Learning Communities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2022	6. 最初と最後の頁 375-380
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 -

1. 著者名 多川孝央	4. 巻 104
2. 論文標題 教育環境におけるデータを活用した学習コミュニティ分析手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 884-887
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 -

1. 著者名 山川修	4. 巻 036-06
2. 論文標題 社会情動的スキル向上プログラムにおける学習者特性による効果の違い	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSiSE-TR-036-06	6. 最初と最後の頁 120-126
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 無
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 田中洋一, 山川修, 合田美子	4. 巻 036-07
2. 論文標題 変革に適応するキャリア教育の設計	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSiSE-TR-036-07	6. 最初と最後の頁 19-22
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 無
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 藤村直美, 多川孝央, 眞崎義憲, 木實 新一	4. 巻 23
2. 論文標題 九州大学における教育データの利活用とそのため の 枠組み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大学情報システム環境研究	6. 最初と最後の頁 23-29
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 -

1. 著者名 Tagawa, T., Yamakawa, O.	4. 巻 2020
2. 論文標題 A Smartwatch-Based System for Students Sensor Data Collection: A Trial of Use and Study on Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference	6. 最初と最後の頁 1036-1040
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 -

1. 著者名 多川孝央、藤村直美	4. 巻 119
2. 論文標題 学習支援システムのデータの利活用および管理に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 信学技報	6. 最初と最後の頁 143-148
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 無
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 山川修	4. 巻 19
2. 論文標題 対話による知の創造 ~問いと関係性の変化を導くものとしての対話~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 臨床心理学	6. 最初と最後の頁 570-574
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 -

1. 著者名 Yasuyuki Nakamura, Koichi Yasutake, Keiya Ando, and Takahiro Tagawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Effects of Interaction and Learning Distance on Cooperation in Evolutionary Games on a Multiplex Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings The 7th International Conference on Complex Networks and Their Applications COMPLEX NETWORKS 2018	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-05411-3_63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件(うち招待講演 1件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 毎日の実践報告の可視化と返却の自動化
3. 学会等名 日本教育工学会2022年度春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上仁, 安武公一, 山川修, 多川孝央, 隅谷孝洋
2. 発表標題 学習分析への位相的データ解析の適用に向けて
3. 学会等名 日本教育工学会2022年度春季大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 デザイン思考のプロセスを補完するコトのデザインのプログラム
3. 学会等名 日本教育工学会2022年度秋季大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 ライフデザイン・ポートフォリオプログラムの学習者特性による効果の違い
3. 学会等名 教育システム情報学会第47回全国大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多川孝央, 山川修
2. 発表標題 映像データに基づく学習者の身体活動・心的状態の情報収集についての検討
3. 学会等名 第46回教育システム情報学会全国大会,
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 Secure Base と情動知能および内発的動機の関係性に関する研究
3. 学会等名 教育システム情報学会第46回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中洋一, 山川修, 合田美子
2. 発表標題 オンラインでのキャリア教育科目におけるSELの設計
3. 学会等名 教育システム情報学会第46回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 SELの手法としてのライフデザインポートフォリオ
3. 学会等名 日本教育工学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安武公一
2. 発表標題 ヴァーチャルな空間でリアルな授業を! -インタラクティブ性を導入したオンライン授業の実践報告-
3. 学会等名 サイエンティフィック・システム研究会教育環境分科会2020年度会合(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安武公一
2. 発表標題 複雑ネットワーク構造を組み込んだ SIR モデルによる COVID-19 禍の「Go To トラベル」政策に関する シミュレーション分析
3. 学会等名 計算社会科学ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中洋一, 山川修
2. 発表標題 質問ワークは心理的安全性を向上させるのか
3. 学会等名 教育システム情報学会第44回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 キャリア教育としてのライフデザイン・ポートフォリオ
3. 学会等名 日本教育工学会2019年秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 ダイアログに対して内受容感覚の果たす役割とセキュアベース
3. 学会等名 日本教育工学会2019年秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川修
2. 発表標題 教育におけるマインドフルネスとヨーガ療法
3. 学会等名 日本ヨーガ療法学会第1回東海北陸ブロック大会
4. 発表年 2019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	多川 孝央 (Tagawa Takahiro) (70304764)	九州大学・情報基盤研究開発センター・学術研究員 (17102)	
研究分担者	山川 修 (Yamakawa Osamu) (90230325)	福井県立大学・学術教養センター・教授 (23401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------