

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月18日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]
東京工業大学・工学院
[職・氏名]
教授・中尾裕也
[課題番号]
JPJSBP 120202201

1. 事業名 相手国: ベルギー (振興会対応機関: F.R.S.-FNRS) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 複雑ネットワークシステムにおける自己組織化構造:モデル化・解析とデザイン

(英文) Self-organized structures in complex networked systems: modeling, analysis, and design

3. 共同研究実施期間 2020年4月1日～2023年3月31日 (3 年 0 ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

University of Namur, Full Professor, Timoteo Carletti

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		962,360 円
内訳	1年度目執行経費	0 円
	2年度目執行経費	962,360 円
	3年度目執行経費	円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	6名
相手国側参加者等	4名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	0()
2年度目	0	0	0()
3年度目	2	0	0()

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣: 委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入: 相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究の目的は、ネットワーク結合系の自己組織化を解析・設計・制御するための一般的な理論基盤を構築することであった。実世界には多数の動的な要素がネットワークを介して相互作用しつつ時間発展するシステムが数多く存在する。その設計・制御を実現するには、ネットワーク系そのものを大自由度で非線形な力学系として解析し、相互作用がもたらすマクロな集団運動や動的構造を解明することが必要不可欠である。本研究では、力学系の動的次元削減理論、大規模ネットワークのグラフ極限理論、最適化・制御理論、機械学習など、先端の数理的手法を発展させることでこれを達成し、構築した理論の実ネットワークへの適用を目指していた。

2020年度と同様、2021年度も新型コロナウイルス流行が続いたため、日本側からもベルギー側からも海外出張することができず、また国内での長距離出張も困難であったため、計画していた研究メンバー間の対面での交流は実施できなかった。そのため、2021年度委託期間を2022年度に延長した。2022年度も前半は新型コロナウイルス流行のため出張が難しい状況が続いたが、2022年度の10月になって一部メンバーのベルギーへの出張が可能となり、相手国代表者の所属する Namur 大学を5日間ほど訪問して双方のメンバーでワークショップを開催するとともに、対面で研究討論を行うことができた。また、2023年3月には Namur 大学で開催された本研究課題と関係の深い学位審査にも日本側研究代表者がオンライン参加した。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

双方の研究者の交流を通じて、主な研究課題であったネットワーク結合系と Koopman 作用素に基づく非線形ダイナミクス解析の観点から研究を実施し、以下に挙げるような学術的価値を得た。(i) ネットワークを介して相互作用する要素系の集団振動ダイナミクスをマクロな位相と振幅を用いて記述するための位相振幅縮約理論を定式化し、同期制御への応用を示した。(ii)量子散逸系として記述される非線形振動子に対して Koopman 作用素論的な観点から漸近位相を導入する方法を提案し、その性質を調べた。(iii) 振動系の時系列データから Koopman 作用素の固有関数である漸近位相と振幅を推定する手法を開発し、データ駆動型の同期制御への応用可能性を示した。(iv) ノイズを受けることにより興奮を繰り返す動的素子のネットワークの集団ダイナミクスを数理解析した。(v) 大規模ソーシャルネットワークのデータを解析して新型コロナワクチンをめぐり人々の話題・関心の変化を分析した。他にも様々な研究課題を遂行し、得られた学術的知見を国際会議等で成果発表し、学術論文を国際学術誌にて公表した。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

双方の研究者により、マルチプレックスなネットワーク上での自己組織化現象、グラフ極限に関する数学的議論、非正規なネットワークのスペクトル解析、ハイパーグラフ上の結合力学系のダイナミクス、大自由度非線形ダイナミクスの縮約理論や制御応用などに関して、様々な議論を行ない新たな知見を得た。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本研究では数理的な立場からネットワークを介して相互作用する各種の系を解析した。ネットワークは実世界における普遍的な構造であり、その上で生じる様々な集団ダイナミクスの自己組織化の解析、制御、最適化に

関する知見を得ることは、学術・文化的な観点からも、より実際的な現代的諸問題の克服の観点からも、社会に資するものと考えられる。昨今の新型コロナウイルス感染拡大の調査に、患者間のネットワークの解析と感染症の数理モデルの解析が重要な役割を果たしたことは記憶に新しく、本計画でも、大規模ソーシャルネットワークデータを解析し、新型コロナワクチンをめぐる人々の関心の変化に関する知見を得る関連研究を実施した。また、ネットワーク上の振動的要素の集団同期の数理解析は、昨今の自然エネルギーの導入により不確定性が増加しつつある電力系統の安定な運用などの実際的な問題にも知見を与える可能性がある。本研究計画で二国間の共同研究により得られた様々な成果は、以上のように様々な形で社会的に貢献するものと考えている。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

日本側から2名の若手研究者が参加した。うち1名は任期付きの助教だったが、より条件の良いテニュアトラック助教として他大学に異動した。また、別の1名はポスドク研究員であったが、他大学にて准教授の職を得た。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本計画を通じて培われた日本側研究者と相手国ベルギーの Namur 大学所属の研究者、また、本計画を通じて知り合った Ghent 大学等の研究者との交流は本計画終了後も続け、さらなる共同研究に発展させる。例えば、2023年5月に米国で開催される国際会議にて双方の研究者でミニシンポジウムを開催する他、Namur 大学で学位取得予定の学生がポスドク研究員として日本側代表者の大学に滞在することが既に決まっている。

(7)その他(上記(2)~(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例: 大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

本計画をきっかけに、大学間協定について Namur 大学より打診があったが、東京工業大学にて検討の結果、成立しなかった。