

2024年度 随時応募枠共同利用研究報告書

2024年10月30日

所属・職名 大分大学・理工学部・講師

内田 俊

		整理番号	2024c003
1.研究計画題目	マルチエージェントシステムに対するハイパーグラフラプラシアンの理論の応用		
2.新規・継続	新規		
3.種別	随時募集枠		
4.種目	研究集会（Ⅱ）		
5.開催方法	対面開催		
6.研究代表者	氏名	内田 俊	
	所属 部局名	大分大学・理工学部	職名 講師
7.研究実施期間	2024年08月21日(水曜日)～2024年08月21日(水曜日)		
8.キーワード	マルチエージェントシステム, ハイパーグラフラプラシアン, 非線型発展方程式, 劣微分作用素, 最適制御問題		
9.参加者人数	13人		

10.本研究で得られた成果の概要

本研究集会は、マルチエージェントシステムとハイパーグラフラプラシアンに関する基礎的な事項と最新の研究結果についての情報交換を通じ、互いの問題意識や産業界における諸問題について交流することで、新たな観点から双方の数学的課題を検討することを目的として開催された。まず池田・内田・深尾により、ハイパーグラフラプラシアンの基本的性質とこれを主要項とする非線型多価発展方程式について講演され、ポアンカレの不等式の導出とこれを用いた時間大域的挙動の解析、及び最適制御問題について解説された。次に小松により、マルチエージェントシステムに対する合意形成問題について講演され、基本的なモデルに対する合意形成のための必要十分条件と時間遅れを考慮したモデルに対する合意形成問題について述べられた。本研究集会を通じて、マルチエージェントシステムの合意形成問題とハイパーグラフラプラシアンを主要項とする発展方程式の問題について「時間大域的挙動」という共通項があることが判明し、今後の協同の可能性が得られたことは大きな成果である。またディスカッションではハイパーグラフラプラシアンを主要項とする微分方程式やマルチエージェントシステムにおける最適制御問題の具体的な現象論的意味付けについても議論され、産業界におけるこれらの理論の応用について展望が開けたことも一つの成果である。

九州大学 IMI 共同利用(研究集会 (II))

マルチエージェントシステムに対するハイパーグラフフラクションの理論の応用

成果報告書

日時：2024年8月21日(水) 9:00 ~ 18:00

場所：九州大学伊都キャンパス ウェスト1号館 オーディトリウム D413号室

★本研究集会の目的・背景

マルチエージェントシステムとは、複数のエージェントがネットワークを通じて相互作用を行いながら協調してある目的を達成しようとする系を指し、ドローンやロボット群のフォーメーション制御、エネルギー供給の最適化、センサーネットワークにおける相互通信といった幅広い応用例がある。一方でハイパーグラフとは、有限個の点とそれらのグループから構成される数学的対象であり、SNS上のコミュニティの関係や共著者関係に代表される複雑なネットワーク構造を記述する。

マルチエージェントシステムにおいて各エージェントが相互作用を行うネットワーク環境は、点と線分からなる通常のグラフによって記述される。そのためこれをハイパーグラフへと一般化すれば、産業分野に現れるより複雑なネットワーク構造をもつ対象に対しマルチエージェントシステムの概念を展開することができる。本研究集会では、マルチエージェントシステムとハイパーグラフフラクションに関する基礎的な事項と最新の研究結果についての情報交換を通じ、互いの問題意識や産業界における諸問題について交流することで、新たな観点から双方の数学的課題を検討することを目的とする。

★本研究集会の実施内容

●池田・内田・深尾『ハイパーグラフフラクションを持つ発展方程式に対する最適制御問題について (I) (II)』

ハイパーグラフフラクションの基本的性質とこれを主要項とする非線型多価発展方程式について講演された。前半では、方程式の解の時間大域的挙動について述べられた。ハイパーグラフフラクションの背景を考慮すれば、解の挙動は熱方程式と類似していると推察される。これを示すためにまずソボレフ空間に対するポアンカレの不等式と類似する不等式がハイパーグラフフラクションに対し成立することが示された。またこれを用いることで、ハイパーグラフフラクションを主要項とする非線型多価発展方程式の解が初期値の平均に漸近すること（即ち解 $x(t)$ が $t \rightarrow \infty$ について、初期値 $x_0 = (x_0^1, \dots, x_0^N)$ に対し $c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_0^i$, $\vec{c} = (c, \dots, c)$ と定められるベクトルに収束す

ること)が示された。更にこのときの漸近レートが、 p -ラプラシアンを主要項とする放物型方程式と同じものになることについても触れられた。

後半では最適制御問題について講演された。アプリアリ評価の手法は確立しているため、適切に定義されたコスト関数に対し、最適制御(コスト関数の minimizer)の存在は容易に示される。一方で最適性必要条件(コスト関数の臨界点として最適制御が満たすべき積分不等式)については、ハイパーグラフラプラシアンの多価性により導出することは難しい。そこでハイパーグラフの Clique expansion に基づいた近似作用素を導入し、近似方程式に対する最適性必要条件を導出した。また近似パラメータの極限を取ることにより、得られた近似問題の最適制御が元の問題の最適制御へ漸近することについても述べられた。

●小松『通信遅延を考慮した合意制御の線形安定性解析について (I) (II)』

マルチエージェントシステムに対する合意形成問題について講演された。各エージェントがネットワーク内で相互作用する様子は、有向グラフラプラシアン行列を主要項とするユークリッド空間 \mathbb{R}^N 上の常微分方程式で記述される。またマルチエージェントシステムが「合意形成する」とは、微分方程式の解の各成分 $x_i(t)$ が $t \rightarrow \infty$ について同じ値に収束する(即ち $\vec{x}(t)$ が、すべての成分が同じベクトル $\vec{c} = (c, \dots, c)$ に漸近する)こととして解釈される。

本講演の前半では、マルチエージェントシステムの基本的な用語や問題意識、応用例について紹介された後、基本的なマルチエージェントシステムが合意形成するための必要十分条件について解説された。後半では最新の研究結果として、エージェントの相互作用にタイムラグが生じることを考慮し時間遅れ項を付加したマルチエージェントシステムが合意形成するための条件について紹介された。

★本研究集会の成果

本研究集会を通じて、マルチエージェントシステムの合意形成問題とハイパーグラフラプラシアンを主要項とする発展方程式の問題について「時間大域的挙動」という共通項があることが判明し、今後の協同の可能性が得られたことは大きな成果である。またディスカッションではハイパーグラフラプラシアンを主要項とする微分方程式やマルチエージェントシステムにおける最適制御問題の具体的な現象論的意味付けについても議論され、産業界におけるこれらの理論の応用について展望が開けたことも一つの成果である。

研究代表者 内田 俊 (大分大学 理工学部 講師)

九州大学 IMI 共同利用(研究集会 (II))

マルチエージェントシステムに対するハイパーグラフラプラシアン理論の応用

Application of the theory of hypergraph Laplacian to the multi-agent system

8月21日 (水)

9:00-10:30

講演者：池田正弘 (理化学研究所 AIP センター/慶應義塾大学理工学研究科)

内田俊 (大分大学理工学部)

深尾武史 (龍谷大学先端理工学部)

講演タイトル：ハイパーグラフラプラシアンを持つ発展方程式に対する

最適制御問題について (I)

10:40-12:10

講演者：池田正弘 (理化学研究所 AIP センター/慶應義塾大学理工学研究科)

内田俊 (大分大学理工学部)

深尾武史 (龍谷大学先端理工学部)

講演タイトル：ハイパーグラフラプラシアンを持つ発展方程式に対する

最適制御問題について (II)

13:30-15:00

講演者：小松弘和(近畿大学工学部)

講演タイトル：通信遅延を考慮した合意制御の線形安定性解析について（I）

15:10-16:40

講演者：小松弘和(近畿大学工学部)

講演タイトル：通信遅延を考慮した合意制御の線形安定性解析について（II）

17:00-18:00

ディスカッション

－閉会－

H P 掲載用英文

Speaker: Masahiro Ikeda (Riken/Keio University)

Shun Uchida (Oita University)

Takeshi Fukao (Ryukoku University)

Title: Optimal control problem for an evolution equation

governed by the hypergraph Laplacian (I)

Speaker: Masahiro Ikeda (Riken/Keio University)

Shun Uchida (Oita University)

Takeshi Fukao (Ryukoku University)

Title: Optimal control problem for an evolution equation

governed by the hypergraph Laplacian (II)

Speaker: Hirokazu Komatsu (Kindai University)

Title: Linear Stability Analysis for a Class of Consensus Controls with

Communication Delays (I)

Speaker: Hirokazu Komatsu (Kindai University)

Title: Linear Stability Analysis for a Class of Consensus Controls with

Communication Delays (II)