

## 2022年度 随時応募枠共同利用研究報告書

2022年12月16日

所属・職名 東京工業大学工学院情報通信系・准教授

實松豊

		整理番号	2022c003	
1.研究計画題目	情報通信の技術革新のための基礎数理			
2.新規・継続	新規			
3.種別	随時募集枠			
4.種目	研究集会（Ⅱ）オンライン型			
5.開催方法	ハイブリッド開催			
6.研究代表者	氏名	實松豊		
	所属 部局名	東京工業大学工学院情報通信系	職名	准教授
7.研究実施期間	2022年09月15日(木曜日)～2022年09月16日(金曜日)			
8.キーワード	通信理論, 情報理論, 機械学習, 圧縮センシング			
9.参加者人数	71人			

### 10.本研究で得られた成果の概要

次世代移動体通信システム (6G) が目指す利用形態とその数値目標に対し、情報通信を支える根幹の基礎システムの革新が求められている。これにはハードウェアの向上に加えて、ソフトウェア（信号処理・アルゴリズム）の進化が必要である。

3G（CDMA方式）から4G（OFDM方式）へ方向転換したことに類する大幅な方向転換には、その元となる堅牢な数学理論を必要とする。現在の通信技術の改良では通信の真のイノベーションは起こせないだろう。

通信の本質を理解・抽出する洞察力に加えて、異分野のアイデアや数学理論が求められている。そのような背景から、本研究計画が立案された。講演者には、通信特有の専門用語を出来るだけ排し、前提知識が無くても聴講しやすい講演を依頼した。このことにより、数学分野からの新規参入障壁を低くすることを意図した。

研究集会では、和田山正（名古屋工業大学教授）、山田功（東京工業大学教授） 菅野 一生（KDDI 総合研究所コアリサーチャー）、Ahmed Arafa(University of North Carolina at Charlotte (USA), Assistant Professor), Karim A. Banawan(Alexandria University (Egypt), Assistant Professor)の招待講演を開催し、活発な議論がなされた。

Zoom参加者からも活発な質問がなされ、研究者間の交流が多いに促進された。参加登録者は71名であり、想定である50名前後を超えたため本研究集会は成功したと言えるだろう。数学界からは、主催者が期待していたよりも少なかったものの一定数の参加があり、工学と数学の交流の機会を提供することが出来たと言える。

## 研究集会 (II) オンライン型

### 「情報通信の技術革新のための基礎数理」開催報告書

研究代表者 實松豊（東京工業大学工学院情報通信系・准教授）

実施期間： 2022年9月15日（木）～9月16日（金）

#### 開催報告：

本研究集会は、次世代の移動体通信を支える基礎理論・数理の発展のため、日本国内の情報通信及びこれと密接に関連する信号処理の基礎理論に携わる研究者及び海外からの招待講演者の間の交流を深めることを主たる目的とした。既存の研究者のみならず、この分野に数学界からの新規参入を促すため、招待講演の先生方には通信特有の専門用語を出来るだけ排した講演を依頼した。

以下、招待講演及び一般講演の概要を報告する。

#### 1. 和田山 正（名古屋工業大学）[招待講演]

講演題目：微分可能プログラミングと微分方程式

講演者の和田山正教授は、LDPC（低密度パリティ検査）符号をはじめとした符号理論及び無線通信における信号処理の分野に功績があり、近年は、通信における復号のための反復アルゴリズムに対し、深層ニューラルネットワークを用いてパラメータの最適化を行う深層展開の研究分野を開拓している。本講演では、無線通信におけるある種の復号問題を連続時間の微分方程式と関連付ける手法及び、深層展開を含むより広い概念である微分可能プログラミングに関する最新の研究成果をご講演いただいた。

#### 2. 山田 功（東京工業大学工学院情報通信系）[招待講演]

講演題目：信号処理と最適化を進化させる無限集合表現法とアルゴリズムについて

講演者の山田功教授からは、広範なスパース信号処理問題や階層構造を持つ逆問題を解決するために開発された2つの基幹アルゴリズムの考え方について、「非拡大写像の不動点近似理論」の観点から解説していただいた。準備として、不動点近似の基本戦略が、凸射影法とその一般化の文脈で紹介された後、最新の応用研究事例として「LiGMEモデルによるスパース推定アルゴリズム」と「ハイブリッド最急降下法による階層型凸最適化アルゴリズム」が背景にある計算数理と共に分かりやすく解説された。

#### 3. 菅野 一生（KDDI 総合研究所 先端技術研究所 無線部門）[招待講演]

講演題目：無線通信における空間信号処理

菅野一生コアリサーチャーは、KDDI 総合研究所において第5世代移動体通信(5G)の国際標準化に向けた研究開発をはじめ、長年無線通信方式に関する研究開発に携わっている。本講演では、移動通信システムの進化に大きな影響を与えてきた空間信号処理技術について、初学者にも理解しやすいようご講演いただいた。

4. 武石 啓成 (九州大学) [一般講演]

講演題目：スパース重ね合わせ符号と辞書の離散化について講演テーマのスパース重ね合わせ符号は誤り訂正符号の一種である。本講演では、通常ガウス分布から生成されるスパース重ね合わせ符号の辞書の要素をベルヌーイ分布に従って $\pm 1$ の値を取る辞書に置き換えた場合の符号の性能を理論評価した講演者の研究成果が詳しく解説された。

5. Karim A. Banawan (Alexandria University, Egypt) [招待講演]

講演題目：Private Information Retrieval: Information-Theoretic Limits

講演者の Banawan 教授は、Private Information Retrieval(PIR)の分野に貢献がある。PIR とは、ユーザが大量にデータの保管されているデータベースから、本当に必要な情報がどれかサーバにも第三者にも知られることなくダウンロードする手法である。必要なデータとともに、必要でないデータも併せてダウンロードすると秘密は保たれるが効率はとても悪い。本講演では、秘密の漏洩量と漏洩確率を定量化し、データ伝送の効率の間のトレードオフに関する講演者の研究成果を解説していただいた。

6. Ahmed Arafa (University of North Carolina at Charlotte, USA) [招待講演]

講演題目：Timely-X: Low-Latency Communications in Networked Systems

講演者の Ahmed Arafa 准教授は、Age of Information(AoI)に関する分野で活躍している。AoI は、情報の鮮度というあいまいな概念を、数学的に取り扱える問題として定式化した新しい学問分野である。講演者には、AoI に関する事前知識がゼロでもついていけるような講演を依頼した。本講演は、AoI のチュートリアルであった。

7. 實松 豊 (東京工業大学) [一般講演]

講演題目：ドップラー周波数と無線通信

携帯電話のような移動体通信では、移動局の移動速度が高速化すると、ドップラー周波数の影響が無視できなくなる。本講演では、ドップラー周波数が無視できないような通信環境を表現する標準的な手法である、時間周波数選択性(2重選択性)通信路の表現法及び時変通信路の表現法について、初学者にも分かりやすいよう順を追った説明がなされた。

8. 大橋 正良 (福岡大学) [一般講演]

講演題目：離散ガウス波形による 2 次元 BPSK 信号の性能評価

本講演では、伝搬遅延とドップラー周波数を検出するレーダーの基本問題に対し、講演者の研究成果である離散時間ガウス波形による 2 次元 BPSK 信号を用いた検出方法が解説された。また、最新の数値実験の結果が紹介された。

9. 櫻井幸一 (九州大学) [一般講演]

講演題目：次世代無線通信に向けた数理学研究の動向：海外編

世界各国で第 5 世代携帯電話以降の研究開発が活発になされている。通信の数理を支える数学を駆使して、大きな変革をもたらすことが期待されている。本講演では、世界各国の最新の研究動向に関して、欧州・北米・アジアなど地域別にまとめた詳細な調査研究の報告がなされた。

## 情報通信の技術革新のための基礎数理

Mathematics for Innovation in Telecommunications Technology

ハイブリッド開催

(九州大学 西新プラザ (福岡市早良区西新2-16-23) および Zoom配信)

### 9月15日 (木)

13:30-13:35 開会のあいさつ

13:35-14:35 (発表 50 分, 質疑応答 10 分)

講演者: 和田山 正 (名古屋工業大学)

講演タイトル: 微分可能プログラミングと微分方程式

14:35- 15:35 (発表 50 分, 質疑応答 10 分)

講演者: 山田 功 (東京工業大学工学院情報通信系)

講演タイトル: 信号処理と最適化を進化させる無限集合表現法とアルゴリズムについて

(休憩)

15:50 - 16:50 (発表 50 分, 質疑応答 10 分)

講演者: 菅野 一生 (KDDI 総合研究所 先端技術研究所 無線部門)

講演タイトル: 無線通信における空間信号処理

16:50-17:25 (講演 30 分, 質疑応答 5 分)

講演者: 武石 啓成 (九州大学)

講演タイトル: スパース重ね合わせ符号と辞書の離散化について

(休憩)

17:45-18:45 (発表 50 分, 質疑応答 10 分)

講演者: Karim A. Banawan (Alexandria University, Egypt)

講演タイトル: Private Information Retrieval: Information-theoretic limits

### 9月16日 (金)

9:00-10:00 (発表 50 分, 質疑応答 10 分)

講演者: Ahmed Arafa (University of North Carolina at Charlotte, USA)

講演タイトル: Timely-X: Low-Latency Communications in Networked Systems

(休憩)

10:10 - 10:45 (講演 30 分, 質疑応答 5 分)

講演者: 實松 豊 (東京工業大学)

講演タイトル：ドップラー周波数と無線通信

10:45-11:20 (講演 30 分, 質疑応答 5 分)

講演者：大橋 正良 (福岡大学)

講演タイトル：離散ガウス波形による 2 次元 BPSK 信号の性能評価

11:20-11:55 (講演 30 分, 質疑応答 5 分)

講演者：櫻井幸一 (九州大学)

講演タイトル：次世代無線通信に向けた数理学研究の動向：海外編

11:55-12:00 クロージング

15<sup>th</sup> September 2022

13:30 — 13:35 Opening Greeting

13:35 — 14:35

Speaker: Tadashi Wadayama (Nagoya Institute of Technology)

Title: Differential programming and differential equations

14:35—15:35

Speaker: Isao Yamada

Title: On algorithmic expressions of certain infinite sets for signal processing and optimization

(Break)

15:50 — 16:50

Speaker: Issei Kanno

Title: Spatial signal processing in wireless communications

16:50 —17:25

Speaker: Yoshinari Takeishi

Title: On Sparse Superposition Codes and Discretization of Their Dictionaries

(Break)

17:45-18:45

Speaker: Karim A. Banawan (Alexandria University, Egypt)

Title: Private Information Retrieval: Information-theoretic limits

16<sup>th</sup> September 2022

9:00 — 10:00

Speaker: Ahmed Arafa (University of North Carolina at Charlotte)

Title: Timely-X: Low-Latency Communications in Networked Systems

(Break)

10:10 — 10:45

Speaker: Yutaka Jitsumatsu (Tokyo Institute of Technology)

Title: Doppler Frequency in Wireless Communications

10:45 — 11:20

Speaker: Masayoshi Ohashi

Title: Study on a performance of 2-dimensional BPSK signal using discrete gaussian wave

11:20—11:55

Speaker: Koichi Sakurai (Kyushu University)

Title: On Trends in Mathematical Science Research for Next-Generation Wireless Communications: The case of overseas

11:55—12:00 Closing