

2020年度共同利用研究報告書

2022年02月01日

所属・職名 KLab株式会社 エンジニアリング本部 開発推進部 機械学習グループ・リサーチエンジニア

濱田 直希

		整理番号	20200017
1.研究計画題目	進化計算の数理		
2.新規・継続	継続		
3.種別	一般研究		
4.種目	研究集会(I)		
5.研究代表者	氏名	濱田 直希	
	所属 部局名	KLab株式会社 エンジニアリング本部 開発推進部 機械学習グループ	職名 リサーチエンジニア
6.研究実施期間	2021年09月07日(月曜日)～2021年09月08日(火曜日)		
7.キーワード	特異点論, 進化計算, 最適化		
8.参加者人数	140人		

9.本研究で得られた成果の概要

研究代表者らはこれまで、下記のIMI短期共同研究をととして、進化計算が実応用における大域的多目的最適化問題にしばしば効果的である理由を数学者とともに研究してきた。

2017年「ベクトル値滑層分割Morse理論の構築による多数目的最適化問題の解集合の可視化」

2018年「多目的最適化と特異点論：パレート点の特異型の分類」

2019年「実践と数理に根ざした多目的最適化ベンチマークの開発」

これらの共同研究から、進化計算の振舞いへの数理的な理解を深める様々な成果が得られた。これを受けて、今まで10名程度のメンバーで進めてきた共同研究の輪を超えて、より広く分野間の交流を促進するため、本研究集会を開催することとした。研究集会には主に数学と進化計算の分野から140名を超える参加者が集まり、大変活発な分野間交流が行われた。

本研究集会における寺本氏、一木氏、溝田氏、早野氏、櫻井氏の講演は、研究代表者との共同研究の途中経過をまとめたものである。すなわち、現在5件の共同研究が進行中であり、いずれも論文を執筆中である。そのほか、既出版された共同研究の成果を応用して、解集合の大域的構造を活用した進化計算アルゴリズムに関する共同研究も進めている。また、研究代表者の所属するKLab株式会社では、一連の共同研究の成果を応用したゲームAIの開発にも取り組んでいる。

加えて、上記の2019年IMI短期共同研究から発足した進化計算学会 実世界ベンチマーク問題分科会は、これまで有志によって行われていた進化計算コンペティションの運営を引継ぎ、コンペティションのシステムOptHub (<https://ec-comp.jpnssec.org>) を開発した。このシステムは、コンペティションの運営を円滑化するとともに、コンペティションを通じて最適化の実問題やその解データを収集し、オープンデータベースとして一般公開するものである。ここで蓄積したデータを用いて、一連の共同研究で構築した数学理論が実問題で成立するかを検証したり、その理論を進化計算分野に普及したりする取り組みも進めている。

以上のように、本研究集会および一連の共同利用を通して、数学と進化計算の橋渡しをする活動へと発展しており、複数の学術的成果が得られつつあるとともに、それらの成果をゲーム産業に応用する取り組みもスタートしている。全体として、一連の共同利用から派生した諸活動は非常に順調に発展していると考えられる。

令和 2 年度 IMI 共同利用研究集会 (I) 「進化計算の数理」成果報告書

濱田直希 (KLab 株式会社)

本報告書は令和 2 年度 IMI 共同利用研究集会 (I)「進化計算の数理」における議論をまとめたものである。本研究集会は、新型コロナウイルス感染症の影響により次年度への延期を経て、2021 年 9 月 7 日から 9 月 8 日にかけてオンラインで開催された。研究代表者らはこれまで、下記の IMI 短期共同研究をとおして、進化計算が実応用における大域的多目的最適化問題にしばしば効果的である理由を数学者とともに研究してきた。

- 2017 年「ベクトル値滑層分割 Morse 理論の構築による多数目的最適化問題の解集合の可視化」*1
- 2018 年「多目的最適化と特異点論：パレート点の特異型の分類」*2
- 2019 年「実践と数理に根ざした多目的最適化ベンチマークの開発」*3

これらの共同研究から、進化計算の振舞いへの数理的な理解を深める様々な成果が得られた。なかでも、特異点論における特異ファイバーや折り目特異点といった概念が多目的最適化問題のランドスケープや解集合の大域的構造を特徴付けるために役立った。さらには、それらの大域的構造をより深く解析するために、パレート A 同値に基づく写像芽の分類問題や認識問題といった特異点論の新しい問題が生み出された。進化計算と特異点論の間に双方向の貢献が生まれた事実は、これらの分野が両輪として発展しうる相互関係をもつことを示唆するものであった。これを受けて、今まで 10 名程度のメンバーで進めてきた共同研究の輪を超えて、より広く分野間の交流を促進するため、本研究集会を以下の趣旨のもとで開催することとした。

製品設計やシステムの運用計画などの多くの産業問題は、与えられた関数の最小点を求める最適化問題として定式化される。関数が非凸であったり導関数が利用できなかつたりしても適用できる汎用的な近似解法として、進化計算は様々な実問題で利用されてきた。進化計算は、実用上は満足はいく近似解を発見できるケースも多いが、その数理的なメカニズムは十分に解明されていない。扱う関数を強く制限すれば、最小点への収束などを保証できるケースがあることは知られている。しかし、進化計算の長所はその汎用性にこそあるため、できるかぎり広いクラスの関数に対して成立する理論が望まれている。

本研究集会の目的は、進化計算の汎用性を裏付ける数学理論の確立に向けて、進化計算と数学の研究者の交流を将来に渡って生み出すことにある。各々の分野の研究者による研究発表を通して、両分野の現状を相互に理解し、今後の研究の方向性を探る。進化計算の側からは、主に現状の進化計算の理論に関する研究を紹介する。数学の側からは、数学者 S. Smale がシリーズ論文“Global Analysis and Economics I-IV”で創始した、多目的最適化への特異点論的アプローチに関する研究を主に紹介する。

1970 年代に創始された S. Smale 流のアプローチは、写像空間においてジェネリックな最適化問題を

*1 https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/joint_research/detail/20170013

*2 https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/joint_research/detail/20180007

*3 https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/joint_research/detail/20190009

扱う汎用的な理論でありながらも、分野間の交流不足から今日まで進化計算には応用されてこなかった。本研究集会を通して進化計算と数学の交流が深まることにより、進化計算の基礎理論としての検討が進むことが期待できる。将来的には、進化計算の数理が解明されることによって、様々な実問題に直面したときにどの解法を使うべきかを適切に判断したり、解法の収束性を保証したりできるようになると期待できる。

以上の目的を達成するため、本研究集会は進化計算学会研究会との連動開催という形態をとった。2021年9月7日から9月8日午前にかけて本研究集会をオンラインで開催し、同一のオンライン会場にて9月8日午後から9月9日にかけて第20回進化計算学会研究会を開催した。また、9月8日夜には両研究会の合同でオンライン懇親会を開催した。これにより、数学と進化計算の研究者が双方の研究集会に参加し、活気ある交流が行われた。それぞれの研究集会には、どちらも140名を超える参加者が集まった。これは過去3回のIMI短期共同研究の公開講演の4倍以上、例年の進化計算学会研究会の2倍以上の規模であり、それぞれの分野で活躍する研究者の大部分に参加していただけたものと推測される。

本研究集会では、5件の招待講演と5件の一般講演、およびオープンディスカッションを行った。招待講演では、はじめに研究代表者から、数学と進化計算の関係性について、大まかな展望を紹介した。つづいて、お互いの分野の先導的な研究者をお招きして、はじめてその分野を知る人に向けて、入門的な内容をご講演いただいた。最後に、分野間交流を広げるきっかけとなるような、それぞれの分野の中でも比較的对手の分野に近いと思われるトピックをご紹介いただいた。一般公演では、主に研究代表者の共同研究メンバーから、これまでの共同研究で得られた研究成果を、より技術的な詳細に踏み込んで紹介していただいた。ここでは、数学と進化計算が具体的にどのように相互に貢献するのかを例示したつもりである。オープンディスカッションでは、数学と進化計算の分野間交流を促進するために必要な、いわゆるイノベーションのジレンマにおける「死の谷」を超えるための方策を、会場からも自由に意見を募って議論した。

加えて、第20回進化計算学会研究会では、進化計算学会 実世界ベンチマーク問題分科会（分科会員にはIMI研究会の組織委員である濱田と能島が含まれる）が運営するイベント「進化計算コンペティション」の事前説明会を行った。この分科会は、上記の2019年IMI短期共同研究から発足したもので、コンペティションを通じて最適化の実問題やその解データを収集し、共同研究で構築した数学理論が実問題で成立するかをデータから検証したり、その理論を進化計算分野に普及したりする取り組みを行っている。

本研究集会により、今までほとんど注目されていなかった数学と進化計算の関係を、従来の共同研究のメンバーを超えて両分野の研究者に広く周知することができ、新たな研究を動機づけることができたと考える。実際、研究代表者の周囲では、新たなメンバーを加えて、特異点論によって解明された解集合の大域的構造を活用した進化計算アルゴリズムの研究が進んでいる。これを契機として、さらに多くの研究者がこの実りある新分野に参入し、数学の産業応用が進展することを望む。

プログラム

日程	タイトル	講演者
9月7日(月)		
10:00-10:10	オープニング	濱田 直希 (KLab 株式会社)
10:10-10:50	進化計算の数理	濱田 直希 (KLab 株式会社)
10:50-11:40	多目的進化アルゴリズム入門	大山 聖 (宇宙科学航空研究開発機構 宇宙科学研究所)
11:40-12:30	特異点論の見方・やり方・使い方	石川 剛郎 (北海道大学 理学研究院 数学部門)
12:30-13:30	昼食	
13:30-14:20	確率モデルに基づく進化計算とその応用	白川 真一 (横浜国立大学 大学院環境情報研究院)
14:20-15:10	パレート集合およびフロントの局所構造とその分岐	寺本 央 (関西大学 システム理工学部 数学科)
15:30-16:00	SAN (ノベルティに基づくサブpopulationアルゴリズム) による多目的最適化の最先端	ダニロ ヴァルスコンセロス ヴァルガス (九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報学部門, 東京大学 大学院工学系研究科)
16:00-16:30	強凸多目的最適化問題への特異点論の応用	一木 俊助 (東京工業大学 情報理工学院)
16:30-17:00	制約なし強凸問題は全て弱単体的である	溝田 裕介 (九州産業大学 理工学部)
9月8日(火)		
9:00-9:30	単体的問題の弱パレート解はパレート解	早野 健太 (慶応義塾大学 理工学部 数理科学科)
9:30-10:00	多目的最適化のためのレーブ空間論に基づくベンチマーク問題設計	萩原 黎弥 (九州大学), 濱田 直希 (KLab 株式会社), 山本 卓宏 (東京学芸大学), 櫻井 大督 (九州大学)
10:00-10:20	オープンディスカッション「数学と進化計算の Valley of Death を越えるには？」	参加者全員
18:00-20:00	懇親会 (第 20 回進化計算学会研究会との合同)	