

数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用
2020 年度採択研究者

2020 年度 年次報告書

平原 秀一

国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系
助教

メタな視点に基づく計算量理論の新展開

§ 1. 研究成果の概要

本年度は平均時計算量の解析をメタ計算量という観点から解析する研究を推し進め、重要な成果を二つ得ることができた。

一つは多項式階層 (PH) と呼ばれる計算量クラスの平均時計算量を最悪時メタ計算量によって正確に特徴づけたことである。具体的には、PH が平均時計算量の意味で効率的に計算できることと、PH オラクル付きコルモゴロフ記述量が最悪時計算量の意味で効率的に計算できることが同値である、ということを示した。特徴づけの応用として、PH に関して困難性増幅定理が成立することを示した。つまり、PH の問題に対する 1% の入力計算困難であることと、99% の入力計算困難であることが同値である。これらの研究成果は理論計算機科学のトップ会議である FOCS 2020 に採択された。

もう一つの成果として、上述の特徴づけの成果をさらに発展させ、平均時計算量に関する長年の未解決問題を解決することに成功した。NP の平均時計算量を理解することは暗号の安全性の観点等から重要であるが、NP の平均時計算困難性を UP という計算量クラスの最悪時計算困難性から導くことは長年の未解決問題であった。特に、「ブラックボックス帰着」や「最悪時困難性増幅」と呼ばれる既存の証明手法では、この未解決問題を解決できないということが知られていた。

本研究成果では、それらの証明手法の限界を突破し、前述の未解決問題を解決することに成功した。証明手法は平均時計算量を最悪時メタ計算量の概念で捉えることに基づく。この研究成果は理論計算機科学のトップ会議である STOC 2021 に採択された。

【代表的な原著論文情報】

1. Shuichi Hirahara, “Characterizing Average-Case Complexity of PH by Worst-Case Meta-Complexity.” FOCS 2020: 50-60
2. Shuichi Hirahara, “Average-Case Hardness of NP from Exponential Worst-Case Hardness Assumptions”, STOC 2021, to appear