
多面的アプローチの統合による計算限界の解明

領域番号：2405

平成24年度～平成28年度
科学研究費助成事業（科学研究費補助金）
（新学術領域研究（研究領域提案型））
研究成果報告書

令和元年8月

領域代表者 渡辺 治

東京工業大学・情報理工学院・教授

はしがき

本領域では、計算複雑度理論のこれまでの研究の積み重ねの上に、さらに数理学の様々な分野からの多面的な解釈、新たな解析技法を導入して、計算限界の研究をより深めることを目指した。それにより、計算複雑度理論の究極の目標である $P \neq NP$ 予想の解明への手がかりを得ることが大きな目標である。そのため、本領域では、計算限界に対する次の3つの異なるアプローチに対応して研究項目を立て、各々の研究項目ごとに3つの研究班を立てた。

研究項目A：最先端技法の徹底検討

研究項目B：計算上界、最適化理論からのアプローチ

研究項目C：境界領域からのアプローチ

また、総括班では、研究項目・研究班間の研究連携や研究成果の波及のために、次の5つの事業を行った。(1) 研究連携を構築し、研究を深めるための事業、(2) 計算限界研究において本領域の世界的なプレゼンスを確立するための国際会議の主催、(3) 若手研究者を育成するための教育事業、(4) 波及効果を考えた専門家向けの講習会をはじめとする各種のアウトリーチ活動、そして(5) 本領域での研究の波及、さらには理論計算機科学からの革新的な情報技術を産み出すことを目指した研究組織の形成。

その結果、15年以上の未解決問題の解決(9件)や、新たなテーマ開拓につながる研究(8件)を含む数多くの成果を得た。こうした成果は論文・国際会議で発表され(816件)、数多くの論文賞等を受賞した。また、主要国際会議の国内開催の共同開催(1件)、協賛(4件)など、計算複雑度理論やそれを含む理論計算機科学の分野で我が国のプレゼンスの向上に貢献した。若手研究者の成長も大きく、多くの研究成果を出し、またそれが評価され、PDとして採用した10名のうち8名が常勤職員(准教授1名、講師1名、助教4名、研究員2名)に採用され、助教、准教授から昇進した者も8名となった。

以下では、その成果で文献として発表された中から主なものを各々の研究班(計画研究班と関連の公募班)ごとに報告する。

研究組織

計画研究

領域代表者 渡辺 治 (東京工業大学・情報理工学院・教授)

(総括班)

研究代表者 渡辺 治 (東京工業大学・情報理工学院・教授)

(計画研究A01班)

研究代表者 牧野 和久（京都大学・数理解析研究所・教授）
研究分担者 河村 彰星（九州大学・システム情報科学研究所・准教授）
研究分担者 垣村 尚徳（慶應義塾大学・理工学部・准教授）
研究分担者 小林 佑輔（京都大学・数理解析研究所・准教授）
研究分担者 ロスマン ベンジャミン（トロント大学・数学計算機科学部・助教, 当時、国立情報学研究所）

（計画研究A02班）

研究代表者 河原林 健一（国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・教授）
研究分担者 伊藤 大雄（電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授）
研究分担者 脊戸 和寿（成蹊大学・理工学部・准教授）
研究分担者 吉田 悠一（国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授）
研究分担者 玉置 卓（京都大学・情報学研究科・助教）

（計画研究A03班）

研究代表者 浅野 哲夫（北陸先端科学技術大学院大学・学長）
研究分担者 垂井 淳（電気通信大学・情報理工学研究科・准教授）
研究分担者 上原 隆平（北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授）
研究分担者 小野 廣隆（九州大学・経済学研究院・准教授）
研究分担者 清見 礼（横浜市立大学・国際総合科学部・准教授）
研究分担者 大舘 陽太（北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教）

（計画研究B01班）

研究代表者 加藤 直樹（関西学院大学・理工学部・教授）
研究分担者 岩田 覚（東京大学・大学院情報理工学研究科・教授）
研究分担者 岡本 吉央（電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授）
研究分担者 来嶋 秀治_（九州大学システム・情報科学研究所・教授）

研究分担者 神山 直之（九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授）

研究分担者 ベルモント レミー（電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教）

（計画研究B02班）

研究代表者 エイビス デイビッド（京都大学・情報学研究科・教授）

研究分担者 天野 一幸（群馬大学・大学院理工学府・教授）

（計画研究B03班）

研究代表者 徳山 豪（東北大学・情報科学研究科・教授）

研究分担者 宇野 毅明（国立情報学研究所・情報プリンシプル研究系・教授）

研究分担者 堀山 貴史（埼玉大学・理工学研究科・准教授）

研究分担者 渋谷 哲朗（東京大学・医科学研究所・准教授）

（計画研究C01班）

研究代表者 渡辺 治（東京工業大学・情報理工学院・教授）

研究分担者 伊東 利哉（東京工業大学・情報理工学院・教授）

研究分担者 小柴 健史（埼玉大学・理工学研究科・教授）

研究分担者 山本 真基（成蹊大学・理工学部・准教授）

研究分担者 安藤 映（崇城大学・情報学部・助教）

研究分担者 森 立平（東京工業大学・情報理工学院・助教）

（計画研究C02班）

研究代表者 山下 茂（立命館大学・情報理工学部・教授）

研究分担者 河内 亮周（徳島大学・大学院理工学研究部・講師）

研究分担者 中西 正樹（山形大学・地域教育文化学部・准教授）

研究分担者 ルガル フランソワ（京都大学・情報学研究科・准教授）

研究分担者 西村 治道（名古屋大学・情報科学研究科・准教授）

（計画研究C03班）

研究代表者 瀧本 英二（九州大学・システム情報科学研究所・教授）

研究分担者 篠原 歩（東北大学・情報科学研究科・教授）

研究分担者 正代 隆義（九州国際大学・国際関係学部・教授）
 研究分担者 畑埜 晃平（九州大学・附属図書館・准教授）
 研究分担者 内沢 啓（山形大学・理工学研究科・准教授）
 研究分担者 吉仲 亮（東北大学・情報科学研究科・准教授）

公募研究

研究代表者 永田 賢二（産業技術総合研究所・機械学習研究チーム・主任研究員）
 研究代表者 森山 園子（日本大学・文理学部情報科学科・教授）
 研究代表者 山中 克久（岩手大学・大学院工学研究科・助教）
 研究代表者 泉 泰介（名古屋工業大学・大学院工学系研究科・准教授）
 研究代表者 伊藤 健洋（東北大学・大学院情報科学研究科・准教授）
 研究代表者 宇野 裕之（大阪府立大学・電気情報系・准教授）
 研究代表者 コルマン マティアス（東北大学・大学院情報科学研究科・助教）
 研究代表者 塩浦 昭義（東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授）
 研究代表者 ジョーダン チャールズハロルド（北海道大学・大学院情報科学研究科・助教）
 研究代表者 森前 智行（群馬大学・先端科学研究者育成ユニット・助教）
 研究代表者 安永 憲司（金沢大学・理工学研究域電子情報学系・助教）

交付決定額（配分額）

	合計	直接経費	間接経費
平成24年度	92,430,000 円	71,100,000 円	21,330,000 円
平成25年度	140,270,000 円	107,900,000 円	32,370,000 円
平成26年度	146,770,000 円	112,900,000 円	33,870,000 円
平成27年度	143,260,000 円	110,200,000 円	33,060,000 円
平成28年度	143,130,000 円	110,100,000 円	33,030,000 円

領域全体に関する研究の解説

雑誌論文（計4件）

1. 加藤 直樹, e-サイエンスに向けたアルゴリズムの新潮流, 電子情報通信学会誌, 97(5), 370--373, 2014
2. 徳山 豪, 計算限界の解明: その意義とシナリオ(後編), 情報処理, No. 5, 528--538. 2013
3. 徳山 豪, 計算限界の解明: その意義とシナリオ(前編), 情報処理, No. 4, 374-384, 2013
4. 徳山 豪, 他, 特集「計算限界の解明への多面的アプローチ - P vs NP に向けた最前線 -」, 電子情報通信学会誌, 96(9), 671--687, 2013

学会発表（計16件, 以下は代表的発表; すべて招待講演）

1. 徳山 豪, Theoretical computer Science for data science, FIT 2016, 8 Sept., 2016, 富山大学（富山, 富山市）
2. S. Yamashita, Reduction of computational steps for topological quantum circuits, Quantum Programming and Circuits Workshop, 10 June, 2015, Waterloo (Canada)
3. T. Tokuyama, Theoretical computer science for big data analysis: recent activities in Japan, The 10th Intl Conf. on Knowledge, Information and Creativity Support Systems, 14 Nov., 2015, Phuket (Thailand)
4. 徳山 豪, 高性能融合解析技術, 情報処理学会 全国大会, 11 March, 2016, 慶応大学（神奈川・横浜市）
5. 瀧本 英二, オンライン凸最適化, 京都大学数理解析研究所「組合せ最適化セミナー」, 1 Aug., 2014, 京都大学（京都・京都市）
6. 渡辺 治, 計算限界への挑戦: P=NPの世界を目指して, RAMP シンポジウム, 17 Oct., 2014, 法政大学（東京・千代田区）
7. 渡辺 治, 計算限界解明: なぜ限界を? &なぜ今?, FIT 2013, 6 Sept., 2013, 鳥取大学（鳥取・鳥取市）
8. 瀧本 英二, オンラインアルゴリズムとストリームアルゴリズム, 計測自動

制御学会ニューラルネットワークフォーラム, 29 March, 2013, 名古屋大学
(愛知・名古屋市)

9. 渡辺 治, 計算限界解明チュートリアル, 電子情報通信学会コンピュータ-シ
ョン研究会, 10 Dec, 2012, 九州大 (福岡・福岡市)

図書 (計 7 件)

1. 畑埜 晃平, 瀧本 英二, オンライン予測, 講談社サイエンティフィク,
2016, 163
2. 堀山 貴史, 超高速グラフ列挙アルゴリズム〈フカシギの数え方〉が拓く
組合せ問題への新アプローチ, 8 章 社会のさまざまな問題への応用, 森北出
版, 2015, 84--99
3. T. Tokuyama 他編, Reviews and Lectures: Exploring the Limits of
Computation 2, IIS GSIS, Tohoku Univ., 2015, 289--399
4. 渡辺 治, コンピュータサイエンス, 丸善サイエンスパレット, 2015,
5. 渡辺 治, 今度こそわかる $P \neq NP$ 予想, 講談社サイエンティフィク, 2014
6. T. Tokuyama 他編, Reviews and Lectures: Exploring the Limits of
Computation 1, IIS, GSIS, Tohoku Univ. 2014, 1--70
7. 河原林 健一, 田井中 麻都佳, これも数学だった!?: カーナビ, 路線図,
SNS 丸善ライブラリー, 丸善出版, 2013, 184

その他: 領域のウェブページ

<http://www.al.ics.saitama-u.ac.jp/elc/>

数理論理学からの計算限界解析

雑誌論文 (含: 国際会議発表) (計 9 4 件, 以下は代表的論文; すべて査読有)

1. Satoru Iwata, Yusuke Kobayashi, A weighted linear matroid parity
algorithm, the 49th Annual ACM Symposium on Theory of Computing
(STOC), 264-276, 2017.
2. Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino, Kento Seimi, Optimal Composition

Ordering Problems for Piecewise Linear Functions, the 27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC), 42:1–42:13, 2016.

3. Benjamin Rossman, Rocco A. Servedio, Li-Yang Tan, An average-case depth hierarchy theorem for boolean circuits, IEEE 56th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS), 1030–1048, 2015.
4. Benjamin Rossman, The average sensitivity of bounded-depth formulas, IEEE 56th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS), 2015, 424–430.
5. Benjamin Rossman, Correlation Bounds Against Monotone NC^1 , Conference on Computational Complexity 2015, 392–411, 2015.
6. Benjamin Rossman, Formulas vs. circuits for small distance connectivity, The 46th annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC), 2014, 203–212.
7. Kazuhisa Makino, Suguru Tamaki, Masaki Yamamoto, Derandomizing the HSSW Algorithm for 3-SAT. *Algorithmica* 67(2), 2013, 112-124.

学会発表（計 70 件，詳細は省略）

情報理論・符号理論からの計算限界研究

雑誌論文（計 176 件（含：国際会議発表），以下は代表的論文；すべて査読有）

1. Ken-ichi Kawarabayashi, Mikkell Thorup, Coloring 3-Colorable Graphs with Less than $n^{1/5}$ Colors, *J. ACM*, Vol. 64, No. 1, 2017, 4:1–23
2. Yuichi Yoshida, Testing list H -homomorphisms, *Computational Complexity*, Vol. 25, No. 4, 2016, pp. 737–773
3. Ken-ichi Kawarabayashi, Yusuke Kobayashi, An Improved Approximation Algorithm for the Edge-Disjoint Paths Problem with Congestion Two, *ACM Trans. Algorithms*, Vol. 13, No. 1, 2016, 5:1–17

4. Eric Blais, Amit Weinstein, Yuichi Yoshida, Partially Symmetric Functions Are Efficiently Isomorphism Testable, *SIAM J. Comput.*, Vol. 44, No. 2, 2015, 411–432
5. Suguru Tamaki, Yuichi Yoshida, A query efficient non-adaptive long code test with perfect completeness, *Random Struct. Algorithms*, Vol. 47, No. 2, 2015, 386–406
6. Kazuhisa Makino, Suguru Tamaki, Masaki Yamamoto, Derandomizing the HSSW Algorithm for 3-SAT, *Algorithmica*, Vol. 67, No. 2, 2013, 112–124
7. Kazuhisa Seto, Suguru Tamaki, A satisfiability algorithm and average-case hardness for formulas over the full binary basis, *Computational Complexity*, Vol. 22, No. 2, 2013, 245–274
8. Ken-ichi Kawarabayashi, Yusuke Kobayashi, An $O(\log n)$ -Approximation Algorithm for the Edge-Disjoint Paths Problem in Eulerian Planar Graphs, *ACM Trans. Algorithms*, Vol 9, No 2, 2013, 16:1–13
9. Yuichi Yoshida, Masaki Yamamoto, Hiro Ito, Improved Constant-Time Approximation Algorithms for Maximum Matchings and Other Optimization Problems, *SIAM J. Comput.*, Vol. 41, No. 4, 2012, 1074–1093

学会発表（以下は代表的発表；すべて査読有）

1. Daniel Lokshtanov, Ramamohan Paturi, Suguru Tamaki, Ryan Williams, Huacheng Yu, Beating Brute Force for Systems of Polynomial Equations over Finite Fields, *SODA 2017*, 2017/1/16–19, Barcelona (Spain)
2. Hubie Chen, Matthew Valeriote, Yuichi Yoshida, Testing Assignments to Constraint Satisfaction Problems, *FOCS 2016*, 10/9–11, New Brunswick (USA)

3. Hiro Ito, Every Property Is Testable on a Natural Class of Scale-Free Multigraphs, ESA 2016, 8/22–24, Aarhus (Denmark)
4. Hiro Ito, Takahiro Ueda, How to Solve the Cake-Cutting Problem in Sublinear Time, FUN 2016, 6/8–10, La Maddalena (Italy)
5. Ken-ichi Kawarabayashi, Mikkel Thorup, Deterministic Global Minimum Cut of a Simple Graph in Near-Linear Time, STOC 2015, 6/15–17, Portland (USA)
6. Ken-ichi Kawarabayashi, Stephan Kreutzer: The Directed Grid Theorem, STOC 2015, 6/15–17, Portland, Oregon (USA)
7. Ken-ichi Kawarabayashi, Anastasios Sidiropoulos, Beyond the Euler Characteristic: Approximating the Genus of General Graphs, STOC 2015, 6/15–17, Portland, Oregon (USA)
8. Yuichi Yoshida, A characterization of locally testable affine-invariant properties via decomposition theorems, STOC 2014, 5/31–6/3, New York (USA)
9. Ken-ichi Kawarabayashi, Yusuke Kobayashi, Stephan Kreutzer, An excluded half-integral grid theorem for digraphs and the directed disjoint paths problem, STOC 2014, 5/31–6/3, New York (USA)
10. Michael Elberfeld, Ken-ichi Kawarabayashi, Embedding and canonizing graphs of bounded genus in logspace, STOC 2014, 5/31–6/3, New York (USA)
11. Ken-ichi Kawarabayashi, Yusuke Kobayashi, All-or-Nothing Multicommodity Flow Problem with Bounded Fractionality in Planar Graphs, FOCS 2013, 10/27–29, Berkeley (USA)
12. Ken-ichi Kawarabayashi, Yuichi Yoshida, Testing subdivision-freeness: property testing meets structural graph theory, STOC 2013, 6/1–4, Palo Alto (USA)
13. Martin Grohe, Ken-ichi Kawarabayashi, Bruce A. Reed, A Simple Algorithm for the Graph Minor Decomposition - Logic meets Structural

Graph Theory, SODA 2013, 1/6–8, New Orleans (USA)

記憶領域制限シナリオにおける計算限界の解明

雑誌論文（計 50 件，以下は代表的論文；すべて査読有）

1. D. Xu, T. Horiyama, T. Shirakawa, R. Uehara. Common Developments of Three Incongruent Boxes of Area 30. *Computational Geometry: Theory and Applications*, 64, 2017, 1-12.
2. T. Asano, L. Buzer, S. Bereg. A new algorithmic framework for basic problems on binary images. *Disc. Appl. Mathematics*, 216, 2017, 376-392.
3. T. Hayashi, A. Kawamura, Y. Otachi, H. Shinohara, K. Yamazaki. Thin strip graphs. *Disc. Appl. Math.*, 216, 2017, 203-210.
4. S. Chaplick, P. Hell, Y. Otachi, T. Saitoh, R. Uehara. Ferrers dimension of grid intersection graphs. *Disc. Appl. Mathematics*, 216, 2017, 130-135.
5. O. Rifki, H. Ono, S. Kagawa. The robustest clusters in the input–output networks: global CO2 emission clusters. *J. of Economic Structures*, 6:3, 2017, 1-29.
6. T. Ishii, H. Ono, Y. Uno. Subexponential fixed-parameter algorithms for partial vector domination. *Disc. Optimization*, 22, 2016, 111-121.
7. Y. Asahiro, J. Jansson, E. Miyano and H. Ono. Degree-Constrained Graph Orientation: Maximum Satisfaction and Minimum Violation. *Theory of Computing System.*, 58(1), 2016, 60-93.
8. E. D. Demaine, D. Eppstein, A. Hesterberg, H. Ito, A. Lubiw, R. Uehara, and Y. Uno. Folding a Paper Strip to Minimize Thickness. *Journal of Discrete Algorithms*, 36, 2016, 18-26.
9. M. Konagaya, Y. Otachi, and R. Uehara. Polynomial-time algorithms for Subgraph Isomorphism in small graph classes of perfect graphs. *Discrete Applied Mathematics*, 199, 2016, 37-45.
10. T. Izumi, T. Izumi, H. Ono, K. Wada. Approximability of Minimum

Certificate Dispersal with Tree Structures. *Theoretical Computer Science*, 591, 2015, 5-14.

- 1 1 . D. Dereniowski, H. Ono, I. Suzuki, L. Wrona, M. Yamashita and P. Zylinski. The searchlight problem for road networks. *Theoretical Computer Science*, 591, 2015, 28-59.
- 1 2 . E. D Demaine, M. L Demaine, E. Fox-Epstein, D. A. Hoang, T. Ito, H. Ono, Y. Otachi, R. Uehara, and T. Yamada. Linear-Time Algorithm for Sliding Tokens on Trees. *Theoretical Computer Science*, 600, 2015, 132-142.
- 1 3 . T. Ito, K. Kawamura, H. Ono, X. Zhou. Reconfiguration of list $L(2,1)$ -labelings in a graph. *Theoret. Computer Science*, 544, 2014, 84-97.
- 1 4 . T. Ito, S.-I. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, T. Uno, Y. Uno. A 4.31-Approximation for the Geometric Unique Coverage Problem on Unit Disks. *Theoret. Computer Science*, 544, 2014, 14-31.
- 1 5 . S.-I. Nakano, R. Uehara, and T. Uno. Efficient algorithms for a simple network design problem. *Networks*, 62, 2013, 95-104.
- 1 6 . T. Hasunuma, T. Ishii, H. Ono, Y. Uno. A Linear Time Algorithm for $L(2, 1)$ -Labeling of Trees. *Algorithmica*, 66(3), 2013, 654-681.

学会発表（計 4 4 件（査読有国際会議のみ），以下は代表的発表）

- 1 . T. Hanaka, H. L. Bodlaender, T. van der Zanden, H. Ono. On the Maximum Weight Minimal Separator. *The 14th Annual Conference on Theory and Applications of Models of Computation (TAMC 2017)*. 2017/4/20-22. Bern, Switzerland.
- 2 . R. Águeda, N. Cohen, S. Fujita, S. Legay, Y. Manoussakis, Y. Matsui, L. Montero, R. Naserasr, Y. Otachi, T. Sakuma, Z. Tuza, R. Xu. Safe sets in graphs: Graph classes and structural parameters. *The 10th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA 2016)*. 2016/12/16-18. Hong Kong, China.

3. H. L. Bodlaender, H. Ono, Y. Otachi. Degree-constrained orientation of maximum satisfaction: Graph classes and parameterized complexity. The 27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2016). 2016/12/12-14, Sydney, Australia.
4. P. Klavík, Y. Otachi, and J. Šejnoha. On the classes of interval graphs of limited nesting and count of lengths. The 27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2016). 2016/12/12-14, Sydney, Australia.
5. D. A. Hoang and R. Uehara. Sliding Tokens on a Cactus. The 27th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2016). 2016/12/12-14, Sydney, Australia.
6. H. L. Bodlaender, H. Ono, Y. Otachi. A faster parameterized algorithm for Pseudoforest Deletion. The 11th International Symposium on Parameterized and Exact Computation (IPEC 2016). August 24-26, Aarhus, Denmark.
7. A. Kawamura, S. Moriyama, Y. Otachi, J. Pach. A lower bound on opaque sets. The 32nd International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2016). 2016/6/14-18. Boston, USA.

図書（計 7 件，以下は代表的著書）

1. M. Kiyomi, Springer, “Reverse Search: Enumeration Algorithms”, 2016, 1840-1842.
2. Koryo Miura, Toshikazu Kawasaki, Tomohiro Tachi, R. Uehara, Robert J. Lang, and Patsy Wang-Inverson (Editors), American Mathematical Society, ORIGAMI 6, 2016, 368 pages.
3. 上原隆平, 近代科学社, 「はじめてのアルゴリズム」, 2013, 183 ページ.

最適化技法との融合による計算限界解析法の深化

雑誌論文（計 77 件，以下は代表的論文；すべて査読有）

1. S. Iwata, N. Kamiyama, N. Katoh, S. Kijima, and Y. Okamoto: Extended Formulations for Sparsity Matroids, *Mathematical Programming A*, 158(1), 565-574, 2016.
2. S. Iwata and Y. Kobayashi: A Weighted Linear Matroid Parity Algorithm, *Proceedings of the 49th Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 264-276, 2017.
3. M. Cygan, H. Dell, D. Lokshtanov, D. Marx, J. Nederlof, Y. Okamoto, R. Paturi, S. Saurabh, and M. Wahlström: On Problems as Hard as CNF-SAT, *ACM Transactions on Algorithms*, 12(3), Article No.41, 2016.
4. E. Ando and S. Kijima: An FPTAS for the Volume Computation of 0-1 Knapsack Polytopes Based on Approximate Convolution, *Algorithmica*, 76(4), 1245-1263, 2016.
5. S. Iwata and Y. Yokoi: Finding a Stable Allocation in Polymatroid Intersection, *Proceedings of the Twenty-Seventh Annual ACM/SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1034-1047, 2016.
6. C.-C. Huang, N. Kamkimura, and N. Kamiyama: Exact and Approximation Algorithms for Weighted Matroid Intersection, *Proceedings of the 27th Annual ACM/SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 430-444, 2016.
7. R. Belmonte, F. Fomin, P. Golovach, M. S. Ramanujan: Metric Dimension of Bounded Width Graphs, *SIAM Journal of Discrete Mathematics*, 31(2): 1217-1243, 2017.

学会発表（計 112 件，詳細は省略）

大規模数理計画による計算限界解析法の展開

雑誌論文（計 20 件，以下は代表的論文；すべて査読有）

1. D. Avis and H. Tiwary, "On the H-free Extension Complexity of the TSP", *Optimization Letters* (2017)445-455

2. D. Avis and C. Meagher, "On the Directed Cut Cone and Polytope", *J. Combinatorial Optimization* 31(2016)1685-1708
3. D. Avis and H. Tiwary, "A Generalization of Extension Complexity that Captures P", *Information Proc. Letters* 115 (2015) 6-8
4. D. Avis and H. Tiwary, "On the Extension Complexity of Combinatorial Polytopes", *Mathematical Programming B* 153(2015)95-115
5. M. Cuturi, D. Avis, "Ground Metric Learning", *Journal of Machine Learning Research* 15(1): 533-564 (2014)
6. D. Avis, H. Miyata and S. Moriyama, "Families of Polytopal Digraphs that do not Satisfy the Shelling Property", *Computational Geometry: Theory and Applications* 46 (2013) 382-393
7. K. Amano, S. Nakano, K. Yamazaki, "Anti-Slide", *Journal of Information Processing*, 23(3) (2015) 252-257
8. M. Shigeta and K. Amano, "Ordered Biclique Partitions and Communication Complexity Problems", *Discrete Applied Mathematics*, 184 (2015) 248-252
9. K. Amano, "Some Improved Bounds on Communication Complexity via New Decomposition of Cliques", *Discrete Applied Mathematics*, 166 (2014) 249-254
10. K. Amano, "On Extremal k-CNF Formulas", *European Journal of Combinatorics*, 35 (2014) 35-50

学会発表（計 8 件，以下は代表的発表；すべて査読有国際会議）

1. D. Avis and G. Roumanis(presenter), "A Portable Parallel Implementation of the lrs Vertex Enumeration Code", 7th International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA), Chengdu(China), December 12-14, 2013, *Lecture Notes in Computer Science* 8287 (2013) 414-29
2. D. Avis and H. Tiwary(presenter), "On the Extension Complexity of

Combinatorial Polytopes", 40th International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP), Riga (Latvia), July 8-12, 2013, (1) 57-68.

3. K. Amano, "Enumeration of Boolean Functions of Sensitivity Three and Inheritance of Nondegeneracy", IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), Aachen (Germany), June 25-30, 2017
4. K. Amano and A. Saito (presenter), "A Nonuniform Circuit Class with Multilayer of Threshold Gates having Super Quasi Polynomial Size Lower Bounds against NEXP", 9th International Conference on Language and Automata Theory and Applications (LATA), Nice (France), March 2-6, 2015, Lecture Notes in Computer Science 8977 (2015) 461-472

計算限界解析法から革新的データ構造化技術への展開

雑誌論文（含：査読有国際会議）（計 7 1 件，以下は代表的論文・発表；すべて査読有）

1. F. Hurtado, M. Korman, M. van Kreveld, M. Löffler, V. Sacristan, A. Shioura, R. I. Silveira, B. Speckmann, Takeshi Tokuyama: Colored Spanning Graphs for Set Visualization, Computational Geometry: Theory and Application 68, 262-276, 2018.
2. L. Gasieniec, C. Levkopoulos, A. Lingas, R. Pagh, Takeshi Tokuyama: Efficiently Correcting Matrix Products, Algorithmica 79(2), 428-443, 2017.
3. K. Ishiyama, Kunihiko Sadakane: A Succinct Data Structure for Multidimensional Orthogonal Range Searching, Proc. IEEE Data Compression Conference, 270-279, 2017.
4. D. Xu, Takashi Horiyama, T. Shirakawa, R. Uehara: Common Developments of Three Incongruent Boxes of Area 30, Computational Geometry: Theory and Applications, 64, 1-12, 2017.

5. S. Fukuda, A. Shioura, Takeshi Tokuyama: Buyback problem with discrete concave valuation functions. *Discrete Optimization* 26: 78-96, 2017.
6. T. Ito, S. Nakano, Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, Takeaki Uno, Y. Uno: A polynomial-time approximation scheme for the geometric unique coverage problem on unit squares, *Comput. Geom.*, 51, 25–39, 2016.
7. Y. Araki, Takashi Horiyama, R. Uehara: Common Unfolding of Regular Tetrahedron and JZ Solid, *Journal of Graph Algorithms and Applications*, vol. 20, no. 1, 101–114, 2016.
8. D. Koppl, Kunihiko Sadakane Lempel-Ziv Computation In Compressed Space (LZ-CICS), In *Proc. of Data Compression Conference (DCC)*, 3–12, 2016.
9. T. Onodera, Tetsuo Shibuya: Fast Classification of Protein Structures by an Alignment-free Kernel, *The 23rd International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE 2016)*, LNCS, 9954, 68–79, 2016.
10. T. Miltzow, L. Narins, Y. Okamoto, G. Rote, A. Thomas, Takeaki Uno: Approximation and Hardness of Token Swapping, *European Symposium on Algorithms 2016*, 66, 1–15, 2016.
11. J. Torres, A. Tomas, I. Medina, Kunihiko Sadakane, I. Blanquer: Pair-End Inexact Mapping on Hybrid GPU Environments and Out-Of-Core Indexes, *Current Bioinformatics*, 11(4), 459–469, 2016.
12. A. Ganguly, W-K. Hon, Kunihiko Sadakane, R. Shah, S. Thankachan, Y. Yang: Space-Efficient Dictionaries for Parameterized and Order-Preserving Pattern Matching, *Proc. CPM, LIPIcs* 54, 2:1–2:12, 2016.
13. L. Barba, M. Korman, S. Langerman, R. Silveira, Kunihiko Sadakane: Space-Time Trade-offs for Stack-Based Algorithms, *Algorithmica*, 72, 1097-1129, 2015.

- 1 4 . W-K. Sung, K. Sadakane, Tetsuo Shibuya, A. Belorkar and I. Pyrogova: An $O(m \log m)$ -time algorithm for detecting superbubbles, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 12(4), 770–777, 2015.
- 1 5 . P. Bille, G. Landau, R. Raman, Kunihiko Sadakane, S. Rao Satti, O. Weimann: Random Access to Grammar Compressed Strings and Trees, *SIAM Journal on Computing*, 44(3), 519–539, 2015.
- 1 6 . K. Murakami, Takeaki Uno: Efficient algorithms for dualizing large-scale hyper- graphs, *Discrete Applied Mathematics*, 170, 83-94, 2014.
- 1 7 . H-K. Ahn, S.W. Bae, O.Cheong, J. Gudmundsson, Takeshi Tokuyama, A. Vigneron: A Generalization of the Convex Kakeya Problem, *Algorithmica*, 70(2), 152–170, 2014.
- 1 8 . S. Koichi, M. Arisaka, H. Koshino, A. Aoki, S. Iwata, Takeaki Uno, H. Satoh: Chemical Structure Elucidation from ^{13}C NMR Chemical Shifts: Efficient Data Processing Using Bipartite Matching and Maximal Clique Algorithms, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 54(4), 1027–1035, 2014.
- 1 9 . E. Demaine, Y. Huang, C-S. Liao, Kunihiko Sadakane: Canadians Should Travel Randomly, *Proc.41st International Colloquium on Automata, Languages and Programming (ICALP)*, LNCS 8572, 380–391, 2014.
- 2 0 . S. Minato, Takeaki Uno, K. Tsuda, A. Terada, J. Sese: A Fast Method of Statistical Assessment for Combinatorial Hypotheses Based on Frequent Itemset Enumeration, *Proc. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML/PKDD)*(2), 422–436, 2014.
- 2 1 . K. Wasa, H. Arimura, Takeaki Uno: Efficient Enumeration of Induced Subtrees in a K -Degenerate Graph, In *Proc. of the 25th Int'l Symposium*

- on Algorithms and Computation (ISAAC 2014), 62(2), 94–102, 2014.
- 2 2 . L.Barba, M. Korman, S. Langerman, R. Silveira, Kunihiko Sadakane: Space-Time Trade-offs for Stack-Based Algorithms, In Proc. of the 30th Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2013), LIPIcs20, 281–292, 2013 .
- 2 3 . C-T. Nguyen, N. Kaothanthong, Takeshi Tokuyama, X. H. Phan: A feature- word-topic model for image annotation and retrieval, ACM Transaction on WEB, 7(3): 12, 2013. 10.1145/2516633.2516634.
- 2 4 . M. Kante, V. Limouzy, A.Mary, L. Nourine, Takeaki Uno: On the Enumeration and Counting of Minimal Dominating sets in Interval and Permutation Graphs, Proc. 24th Int'l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2013), LNCS 8283, 339–349, 2013.
- 2 5 . Takashi Horiyama, Wataru Shoji: The Number of Different Unfoldings of Polyhedra, Proc. 24th Int'l Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2013), LNCS 8283, 623–633, 2013.

統計力学からの計算限界解明へのアプローチ

雑誌論文（含：査読有国際会議発表）（計 1 2 3 件，以下は代表的論文・発表；すべて査読有）

- 1 . P. K. Kothari, R. Mori, R. O'Donnell, and D. Witmer, Sum of squares lower bounds for refuting any CSP, Proc. of the 49th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing (STOC), 132--145, 2017
- 2 . E. Ando, S. Kijima, An FPTAS for the volume computation of 0-1 knapsack polytopes based on approximate convolution, Algorithmica, 76(4), 1245--1263, 2016
- 3 . C. Engels（本課題雇用 PD）, Dichotomy theorems for homomorphism polynomials of graph classes, Journal of Graph Algorithms and Applications, 20(1), 3--22, 2016
- 4 . S. Hasegawa, T. Itoh, Optimal online algorithms for the multi-objective

- time series search problem, Proc. of the 10th Intl Workshop on Algo. and Comp. (WALCOM), LNCS 9627, 301--312, 2016
5. D.M. Kane, O. Watanabe, A short implicant of a CNF formula with many satisfying assignments, *Algorithmica*, 76(4), 1203--1223, 2016
 6. M. Vehkaperä, Y. Kabashima, S. Chatterjee, Analysis of regularized LS reconstruction and random matrix ensembles in compressed sensing, *IEEE Trans. Inform. Theory*, 62(4), 2100--2124, 2016
 7. R. Mori, D. Witmer, Lower bounds for CSP refutation by SDP hierarchies, Proc. of the Approximation, Randomization, and Combinatorial Opt.. Algo. and Techniques (RANDOM), LIPIcs 60, 41:1-41:30, 2016,
 8. N. Talebanfard (本課題雇用 PD) , On the Structure and the number of prime implicants of 2-CNFs, *Discrete Applied Mathematics*, 200, 1--4, 2016
 9. M. Yasuda, T. Shimoyama, J. Kogure, K. Yokoyama, T. Koshihara, New packing method in somewhat homomorphic encryption and its applications, *Security and Communication Networks*, 8(13), 2194-- 2213, 2015
 10. T. Asano, D. G. Kirkpatrick, K. Nakagawa and O. Watanabe, $O(\sqrt{n})$ -space and polynomial-time algorithm for planar directed graph reachability, Proc. of the 39th Sympos. on Math. Foundations of Comp. Sci. (MFCS), LNCS 8635, 45--56, 2014
 11. A. Kawachi, B. Rossman, O. Watanabe, The query complexity of witness finding, Proc. of the 9th Intl Comp. Sci. Sympos. in Russia (CSR), LNCS 8476, 218--231, 2014
 12. K. Makino, S. Tamaki, M. Yamamoto, Derandomizing the HSSW algorithm for 3-SAT, *Algorithmica*, 67(2), 112--124, 2013
 13. Y. Yoshida, M. Yamamoto, H. Ito, Improved constant-time approximation algorithms for maximum matchings and other

optimization problems, SIAM J. on Comput., 41(4), 1074-1093, 2012

図書 (計 3 件)

1. 小柴健史, 藤井啓祐, 森前智行, 観測に基づく量子計算, コロナ社, 2017
2. 小芦雅斗, 小柴健史, 量子暗号理論の展開, サイエンス社, 2017
3. 小柴健史, 乱数生成と計算量理論, 岩波書店, 2014

量子力学からの計算限界解明へのアプローチ

雑誌論文 (計 6 1 件, 以下は代表的論文; すべて査読有)

1. Tomoyuki Morimae, Harumichi Nishimura and François Le Gall, Modified Group Non-Membership is in Promise-AWPP relative to group oracles, Quantum Information and Computation 17(3&4), pp. 242-250, 2017
2. Seiseki Akibue and Mio Murao, Network Coding for Distributed Quantum Computation Over Cluster and Butterfly Networks, IEEE Trans. Inf. Theory ,Vol. 62, No. 11, pp. 6620-6637, 2016
3. Tomoyuki Morimae and Harumichi Nishimura, Quantum interpretations of AWPP and APP, Quantum Information and Computation 16(5&6), pp. 498-514, 2016
4. Yasuhiro Takahashi, Seiichiro Tani, Takeshi Yamazaki, Kazuyuki Tanaka, Commuting Quantum Circuits with Few Outputs Are Unlikely to be Classically Simulatable, Quantum Information and Computation, Vol. 16 No. 3&4, pp. 251-270, 2016
5. Iordanis Kerenidis, Mathieu Laurière, François Le Gall and Mathys Rennela, Information Cost of Quantum Communication Protocols, Quantum Information and Computation, Vol. 16 No. 3&4, pp. 181-196, 2016
6. Stacey Jeffery, Robin Kothari, François Le Gall and Frédéric Magniez. Improving Quantum Query Complexity of Boolean Matrix Multiplication

- Using Graph Collision, *Algorithmica*, Vol. 76 No. 1, pp. 1-16, 2016
7. Hirotada Kobayashi, François Le Gall and Harumichi Nishimura, Stronger Methods of Making Quantum Interactive Proofs Perfectly Complete, *SIAM Journal on Computing*, Vol. 44(2), pp. 243-289, 2015
 8. Akinori Kawachi, Proving Circuit Lower Bounds in High Uniform Classes, *Interdisciplinary Information Sciences*, Vol. 20, No. 1, pp. 1-26, 2014
 9. Andrej Bogdanov, Akinori Kawachi, and Hidetoki Tanaka, Hard Functions for Low-Degree Polynomials over Prime Fields, *ACM Transactions on Computation Theory*, 5(2): 5, 2013
 10. Takahiko Satoh, François Le Gall and Hiroshi Imai, Quantum Network Coding for Quantum Repeaters, *Phys. Rev. A*, Vol. 86, 032331, 2012
 11. François Le Gall, Shota Nakagawa and Harumichi Nishimura, On QMA Protocols with Two Short Quantum Proofs, *Quantum Information and Computation*, Vol.12 No.7&8, pp. 589-600, 2012.

学会発表（計 9 1 件，以下は代表的発表；すべて査読有）

1. François Le Gall, Further Algebraic Algorithms in the Congested Clique Model and Applications to Graph-Theoretic Problems, the 30th International Symposium on Distributed Computing (DISC 2016), 2016 年 9 月 27 日, Paris (France)
2. François Le Gall, Quantum Communication Complexity of Distributed Set Joins, 41st International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science, 2016 年 8 月 24 日, Krakow (Poland)
3. Harumichi Nishimura, Space-efficient error reduction for unitary quantum computation, the 43rd International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, 2016 年 7 月 12 日, Rome (Italy)
4. Shigeru Yamashita, A Pre-Optimization Technique to Generate Initial

Reversible Circuits with Low Quantum Cost, 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2016 年 5 月 25 日, Montreal (Canada)

5. François Le Gall, Quantum Algorithm for Triangle Finding in Sparse Graphs, the 26th International Symposium on Algorithms and Computation, 2015 年 12 月 11 日, 名古屋マリオットアソシアホテル (愛知県・名古屋市)
6. Masaki Nakanishi, Classical and Quantum Counter Automata on Promise Problems, 20th International Conference on Implementation and Application of Automata, 2015 年 8 月 20 日, Uppsala (Sweden)
7. François Le Gall, Generalized Quantum Arthur-Merlin Games, the 30th Computational Complexity Conference, 2015 年 6 月 19 日, Portland (U.S.A.)
8. François Le Gall, Fast Matrix Multiplication: Limitations of the Coppersmith-Winograd Method, 47th ACM Symposium on Theory of Computing, 2015 年 6 月 17 日, Portland (U.S.A.)
9. François Le Gall, Improved Quantum Algorithm for Triangle Finding via Combinatorial Arguments, 55th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2014 年 10 月 20 日, Philadelphia (U.S.A.)
10. François Le Gall, Powers of Tensors and Fast Matrix Multiplication, 39th International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, 2014 年 7 月 23 日, 神戸大学 (兵庫県・神戸市)
11. Seiichiro Tani, Collapse of the Hierarchy of Constant-Depth Exact Quantum Circuits, 2013 IEEE Conference on Computational Complexity, 2013 年 6 月 6 日, Stanford (U.S.A.)
12. François Le Gall, Time-Efficient Output-Sensitive Quantum Algorithms for Boolean Matrix Multiplication, the 23rd International Symposium on Algorithms and Computation, 2012 年 12 月 21 日, Taipei

(Taiwan)

13. François Le Gall, Faster Algorithms for Rectangular Matrix Multiplication, the 53rd Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science, 2012年10月23日, New Brunswick (U.S.A.)

学習理論からの計算限界解明へのアプローチ

雑誌論文 (含: 査読有国際会議) (計116件, 以下は代表的論文・発表; すべて査読有)

1. Takayoshi Shoudai, Satoshi Matsumoto, Yusuke Suzuki: Distributional Learning of Regular Formal Graph System of Bounded Degree, Proc. 26th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2016), Revised Selected Paper, LNAI, to appear, 2017
2. Nir Ailon, Kohei Hatano, Eiji Takimoto: Bandit Online Optimization Over the Permutahedron, Theoretical Computer Science, Vol.650, 92-108, 2016
3. Takahiro Fujita, Kohei Hatano, Shuji Kijima (B01 班), Eiji Takimoto: Online Linear Optimization for Job Scheduling under Precedence Constraints, Proc. 26th International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2015), LNAI 9355, 332-346, 2015
4. Issei Matsumoto, Kohei Hatano, Eiji Takimoto: Online Density Estimation of Bradley-Terry Models, Proc. 28th Conference on Learning Theory (COLT 2015), JMLR W&CP, Vol. 40, 1343-1359, 2015
5. Kei Uchizawa, Eiji Takimoto: Lower Bounds for Linear Decision Trees with Bounded Weights, Proc. 41st International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science (SOFSEM 2015), LNCS 8939, 412-422, 2015, Eiji Takimoto, Kohei Hatano: Efficient Algorithms for Combinatorial Online Prediction, Proc. 24th International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2013), LNAI 8139, 22-32, 2013

7. Daiki Suehiro, Kohei Hatano, Shuji Kijima (B01 班), Kiyohito Nagano, Eiji Takimoto: Online Prediction under Submodular Constraints, Proc. 23rd International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2012), LNAI 7568, 260-274, 2012
8. Shota Yasutake, Kohei Hatano, Shuji Kijima (B01 班), Eiji Takimoto, Masayuki Takeda: Proc. 4th Asian Conference on Machine Learning (ACML 2012), JMLR W&CP, Vol.25, 539-553, 2012

学会発表（計 102 件，以下は代表的発表；招待講演以外はすべて査読有）

1. Eiji Takimoto: Efficient Algorithms for Combinatorial Online Prediction, The 24th International Conference on Algorithmic Learning Theory (ALT 2013), 招待講演, 2013 年 10 月 8 日, Singapore (Singapore)
2. Kaori Ueno, Shinichi Shimozono, Kazuyuki Narisawa, Ayumi Shinohara: On the Hardness of Approximating the Minimum Consistent DFA from Prefix Samples, ICALP 2013 Satellite Workshop on Learning Theory and Complexity, 2013 年 7 月 7 日, Riga (Latvia).

図書（計 3 件）

1. 畑埜晃平, 瀧本英二: 講談社サイエンティフィク, オンライン予測 (機械学習プロフェッショナルシリーズ), 2016
2. Remi Eyraud, Jeffrey Heinz, Ryo Yoshinaka: Springer, Topics in Grammatical Inference (Chapter 2: Efficiency in the Identification in the Limit Learning Paradigm), 2016, 25-46
3. Alexander Clark, Ryo Yoshinaka: Springer, Topics in Grammatical Inference (Chapter 6: Distributional Learning of Context-Free and Multiple Context-Free Grammars), 2016, 143-172

以上