

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102
研究種目：若手研究
研究期間：2018～2021
課題番号：18K18002
研究課題名（和文）Lyndon文字列による簡潔で高速な文字列処理アルゴリズム

研究課題名（英文）Simple and fast string algorithms by Lyndon words

研究代表者

中島 祐人（Nakashima, Yuto）

九州大学・システム情報科学研究所・助教

研究者番号：80804682

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、Lyndon文字列の性質に基づいて、簡潔で高速な文字列処理アルゴリズムを開発することである。

本目的の達成のために、Lyndon文字列を中心に、繰り返し構造や回文構造など広く文字列処理アルゴリズムや文字列組合せ論の問題に取り組んだ。Lyndon文字列を中心に、様々な文字列構造の性質の理解や、それらの性質を利用した効率的なアルゴリズムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、文字列処理アルゴリズムおよび文字列組合せ論に関する基礎理論である。本研究で着目したLyndon文字列は、1950年代頃から数学的な観点から研究されているが、本研究のようにアルゴリズムへの応用の観点からの研究は発展途上であると考えられる。本研究成果で得られたLyndon文字列の性質やアルゴリズムは、当該分野の今後の研究において利用されると期待される。

研究成果の概要（英文）：This project aims to develop simple and fast string processing algorithms based on the properties of Lyndon words.

To achieve this goal, we have tackled various problems on string processing algorithms and combinatorics on words, such as Lyndon words, repetitive structures, and palindromes.

We showed various combinatorial properties on strings and proposed efficient string algorithms using the properties.

研究分野：文字列アルゴリズム

キーワード：文字列アルゴリズム 文字列組合せ論 Lyndon文字列

1 . 研究開始当初の背景

スマートフォン、タブレットなどのモバイル端末や、多種多様な SNS の普及を背景に、大規模なデータが日々産出され続けている。機械可読なデータは、陽に構造を持たない記号の列、すなわち文字列として捉えることができるため、文字列を対象とした効率的なデータ処理技術の発展が強く望まれている。

文字列処理アルゴリズムの開発では、解決すべき問題に応じて適切なデータ構造を利用することでアルゴリズムの効率化を図ることが一般的である。例として、接尾辞木、接尾辞配列や、Lempel-Ziv 分解 (LZ 分解) など挙げられる。特にここで挙げたデータ構造は、入力文字列中の部分文字列の出現の特徴 (出現回数、出現位置など) を捉えており、最も基本的な問題の一つである文字列照合問題をはじめとして、様々な問題に対して利用されている。さらに LZ 分解は、データ圧縮にも利用されている。実際に利用されている gzip , p7zip , lz4 や , snappy といった圧縮プログラムは、LZ 分解を核とした圧縮法を採用している。

現在知られている理論的に効率的なアルゴリズムの中には、先の例のように実用的なものもあれば、実装すら困難なものまで存在するのが現状であり、データ解析などへの応用において大きな問題となる。実装の困難さは、アルゴリズムに利用されているデータ構造や、アルゴリズムそのものの複雑さが大きな要因である。つまり簡潔なアルゴリズムを考えることが重要である。

近年、文字列中の連とよばれる極大な繰り返し構造を列挙する問題 (連計算問題) において大きなブレイクスルーがあった。これまでは、入力文字列の長さ n , アルファベットサイズ σ とすると、一般アルファベット仮定において $O(n \log \sigma)$ 時間のアルゴリズムが知られていたが線形時間は達成されていなかった。より強い仮定である整数アルファベット仮定においては $O(n)$ 時間の最適計算量のアルゴリズムが知られていた。これまでに知られていたすべての効率的な連計算アルゴリズムが LZ 分解を利用していたが、ここで提案されたアルゴリズムは LZ 分解を利用しない初の連計算アルゴリズムである。このアルゴリズムの計算量は、既存手法と同じ整数アルファベット仮定における $O(n)$ 時間と高速であり、さらにこれまでに比べて非常に簡潔なものである。さらにこの結果を元にした一般アルファベット仮定の $O(n \cdot \sigma)$ 時間アルゴリズムの提案に繋がった極めて重要な結果である。ここで σ は逆アッカーマン関数であり、 $n = 264$ のとき (厳密にはさらに大きな値に対しても) $\sigma(n) < 5$ であり、このアルゴリズムの計算量は極めて線形に近いといえる。

このブレイクスルーの核となったのが Lyndon 文字列である。ここで、文字列 S が Lyndon 文字列であるとは、 S が S の任意の真の接尾辞 (S より長さが短い接尾辞) より辞書式順序が小さいことである。たとえば、文字列 aab は Lyndon 文字列であるが、文字列 aba は Lyndon 文字列ではない (aba は真の接尾辞 a より辞書式順序が大きい)。文字列情報学分野における Lyndon 文字列に関する研究は、そのほとんどが数学的な興味による組合せ的性質の研究に偏っている。言い換えると、アルゴリズムへの直接的な利用例はほとんど知られていない。しかし最近では上記の結果に加え、国際会議 CPM 2016 のベストペーパーなど高い評価を受けた Lyndon 文字列を利用したアルゴリズムが示されており、Lyndon 文字列を利用したアルゴリズム開発の可能性が見出されている。

2 . 研究の目的

本研究の目的は、Lyndon 文字列を利用したアルゴリズム開発に取り組み、Lyndon 文字列が接尾辞木や LZ 分解などと同様にアルゴリズム開発の有用なツールであることを示すことである。Lyndon 文字列に基づいたデータ構造として Lyndon 木や Lyndon 分解などが知られており、これらのデータ構造は非常に単純な構造であるため、計算も容易である。つまり Lyndon 文字列を用いたアルゴリズム開発は、上記のブレイクスルーのように簡潔で高速なアルゴリズム開発への貢献が期待できる。先に述べたように、Lyndon 文字列を扱った研究は、その組合せ的性質に偏った研究であるといえる。本研究のような、アルゴリズムへの応用を見据えた Lyndon 文字列に関する研究は世界的に見ても独自性の高い。

3 . 研究の方法

以下に示す 3 つの課題に分けて取り組む: 課題 A) Lyndon 文字列に基づくデータ構造の性質解明, 課題 B) Lyndon 文字列に基づくデータ構造と他のデータ構造との関係解明, 課題 C) Lyndon 文字列に基づくデータ構造のアルゴリズムへの応用。本研究は Lyndon 文字列や関連するデータ構造の上に立つて行うものであるため、それらに関する未知の性質を解き明かし、理解を深めることは必要不可欠であり、これが課題 A である。接尾辞木などのすでに有用なデータ構造との関係解明は、最終目的であるアルゴリズム開発への重要な鍵と言える。また、それらのデータ構造間の効率的な変換が可能ならば、既存手法を軸としたアルゴリズム開発に繋がりが、これが課

題 B である。課題 A, B で得られた成果を軸に、課題 C ではアルゴリズム開発に取り組む。

4. 研究成果

当初計画 3 年間と延長期間 1 年間の 4 年間の研究期間において、査読付き学術雑誌、査読付き国際会議録にて数多くの重要な研究成果を公表している。本研究期間における成果は、上記の目的に基づいた Lyndon 文字列に関する成果に限らず、文字列処理アルゴリズムや文字列組合せ論全般に関連する多数の成果を含んでいる。以下では主な研究内容についてその成果を説明する。

(1) Lyndon 木とアルファベットサイズの関係

Lyndon 文字列の内部構造を木構造で表現した Lyndon 木は、本研究課題の着想の経緯となった連定理や、連計算アルゴリズムに用いられた。本研究では、Lyndon 木の構造や性質を明らかにするために、逆問題に取り組んだ。Lyndon 木の逆問題とは、入力として木が与えられたとき、その木を Lyndon 木として持つ文字列を計算する問題である。この問題に対して、解となる文字列のアルファベットサイズが 2 または制限を与えないときには線形時間で解の一つを計算することが出来ることを示した。また、入力の木の高さやサイズを用いて、解となる文字列が満たす最小アルファベットサイズのタイトな上下界を示すことにも成功している。

(2) 三平方の補題と Lyndon 文字列

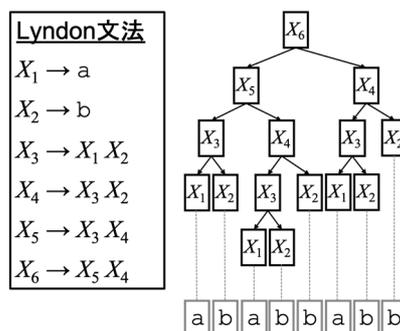
平方とは、ちょうど 2 回の文字列の繰り返しで表される文字列のことである。三平方の補題とは、文字列中の同じ位置から始まる 3 つの平方に関する制約を捉えた補題であり、これまでに知られていた周期性補題を用いた証明とは別に、Lyndon 文字列を利用することでも証明できることを示した。また、文字列中に含まれる原始根平方の数の最大数について、その上界を改善することにも成功した。

(3) トライ上の連

複数の文字列からなる集合をトライとよばれる木構造でコンパクトに表現することが出来る。本研究では、単一文字列に対する連定理や連計算アルゴリズムを、トライで表現された文字列集合に対して拡張できることを示した。

(4) Lyndon 文字列に基づいた文法圧縮と自己索引

文脈自由文法を用いて文字列をコンパクトに表現することを文法圧縮と呼ぶ。文法がチョムスキー標準形であるとき、SLP (Straight Line Program) と呼ばれる。本研究では、Lyndon 文字列に基づいた Lyndon SLP という新たな文法圧縮表現を提案した。また、Lyndon SLP に基づいた自己索引構造を提案した。この自己索引構造では、Lyndon 文字列の性質を利用することで、高速なパターン検索を実現している。



(5) Thue-Morse 語と文字列繰り返し指標

Thue-Morse 語はある射 ($f(a)=ab, f(b)=ba$) を用いて表現される文字列のクラスである。本研究ではこの Thue-Morse 語に対して、LZ77 や文字列アトラクタなどの辞書式圧縮に関連した様々な文字列繰り返し指標の解析を行った。特に文字列アトラクタに対しては、知られていた予想を否定的に解決し、国際会議 SPIRE2020 にてベストペーパーを受賞した。また、Thue-Morse 語の Lyndon 分解に関する知られた結果があり、本研究成果により、様々な反復性指標と Lyndon 文字列の関係の一端を明らかにすることに成功したといえる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 33件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Furuya Isamu, Takagi Takuya, Nakashima Yuto, Inenaga Shunsuke, Bannai Hideo, Kida Takuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Practical Grammar Compression Based on Maximal Repeats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Algorithms	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/a13040103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Watanabe Kiichi, Nakashima Yuto, Inenaga Shunsuke, Bannai Hideo, Takeda Masayuki	4. 巻 64
2. 論文標題 Fast Algorithms for the Shortest Unique Palindromic Substring Problem on Run-Length Encoded Strings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theory of Computing Systems	6. 最初と最後の頁 1273 ~ 1291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00224-020-09980-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mieno Takuya, Koppl Dominik, Nakashima Yuto, Inenaga Shunsuke, Bannai Hideo, Takeda Masayuki	4. 巻 845
2. 論文標題 Space-efficient algorithms for computing minimal/shortest unique substrings	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 230 ~ 242
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2020.09.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Funakoshi Mitsuru, Nakashima Yuto, Inenaga Shunsuke, Bannai Hideo, Takeda Masayuki	4. 巻 859
2. 論文標題 Computing longest palindromic substring after single-character or block-wise edits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 116 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2021.01.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuya Tsuruta, Dominik Koppl, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 13
2. 論文標題 Grammar-compressed Self-index with Lyndon Words	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IP SJ Transactions on Mathematical Modeling and Its Applications	6. 最初と最後の頁 84 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuruta Kazuya, Koppl Dominik, Kanda Shunsuke, Nakashima Yuto, Inenaga Shunsuke, Bannai Hideo, Takeda Masayuki	4. 巻 1
2. 論文標題 c-Trie++: A Dynamic Trie Tailored for Fast Prefix Searches	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of Data Compression Conference 2020	6. 最初と最後の頁 243-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/DCC47342.2020.00032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsuhito Nakashima, Diptarama Hendrian, Yuto Nakashima, Ryo Yoshinaka, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Ayumi Shinohara, Masayuki Takeda	4. 巻 161
2. 論文標題 DAWGs for Parameterized Matching: Online Construction and Related Indexing Structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching	6. 最初と最後の頁 26:1-26:14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2020.26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda, Ayumi Shinohara	4. 巻 161
2. 論文標題 Detecting k-(Sub-)Cadences and Equidistant Subsequence Occurrences	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31st Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching	6. 最初と最後の頁 12:1-12:11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2020.12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akihiro Nishi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 12303
2. 論文標題 Towards Efficient Interactive Computation of Dynamic Time Warping Distance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval	6. 最初と最後の頁 27-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-59212-7_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideo Bannai, Takuya Mieno, Yuto Nakashima	4. 巻 12303
2. 論文標題 Lyndon Words, the Three Squares Lemma, and Primitive Squares	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval	6. 最初と最後の頁 265-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-59212-7_19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanaru Kutsukake, Takuya Matsumoto, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 12303
2. 論文標題 On repetitiveness measures of Thue-Morse words	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval	6. 最初と最後の頁 213-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-59212-7_15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 11485
2. 論文標題 The parameterized position heap of a trie	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 11th International Conference on Algorithms and Complexity, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 237-248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-17402-6_20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 128
2. 論文標題 Faster queries for longest substring palindrome after block edit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 27:1-27:13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2019.27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Urabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 128
2. 論文標題 Overlapping Lempel-Ziv and Lyndon factorizations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 29:1-29:11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2019.29	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryo Sugahara, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 128
2. 論文標題 Computing runs on a trie	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 23:1-23:11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2019.23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kiichi Watanabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 11638
2. 論文標題 Palindromic substring queries on run-length encoded strings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th International Workshop on Combinatorial Algorithms, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 430-441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-25005-8_35	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Computing maximal palindromes and distinct palindromes in a trie	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Prague Stringology Conference 2019	6. 最初と最後の頁 3-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 11811
2. 論文標題 Direct linear time construction of parameterized suffix and LCP arrays for constant alphabets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 382-391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-32686-9#_27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuki Kai, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda, Tomasz Kociumaka	4. 巻 11811
2. 論文標題 On longest common property preserved substring queries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 162-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-32686-9#_12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takuya Mieno, Dominik Koepl, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 11811
2. 論文標題 Compact data structure for shortest unique substring queries	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 107-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-32686-9#_8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuta Fujishige, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 149
2. 論文標題 An improved data structure for left-right maximal generic words problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 30th International Symposium on Algorithms and Computation, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 40:1-40:12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2019.40	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Mieno, Yuki Kuhara, Tooru Akagi, Yuta Fujishige, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 12011
2. 論文標題 Minimal unique substrings and minimal absent words in a sliding window	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 46th International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 148-160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-38919-2_13	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Yamada, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 12011
2. 論文標題 Faster STR-EC-LCS computation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 46th International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 125-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-38919-2_11	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuto Nakashima, Takuya Takagi, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 792
2. 論文標題 On the size of the smallest alphabet for Lyndon trees	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Theoretical Computer Science	6. 最初と最後の頁 131 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tcs.2018.06.044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroe Inoue, Yuto Nakashima, Takuya Mieno, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 52-53
2. 論文標題 Algorithms and combinatorial properties on shortest unique palindromic substrings	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Discrete Algorithms	6. 最初と最後の頁 122 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jda.2018.11.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Isamu Furuya, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 105
2. 論文標題 Lyndon Factorization of Grammar Compressed Texts Revisited	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 24:1--24:10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2018.24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Urabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 105
2. 論文標題 Longest Lyndon Substring After Edit	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 19:1--19:10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2018.19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 105
2. 論文標題 Longest substring palindrome after edit	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 12:1--12:14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2018.12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kotaro Aoyama, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 105
2. 論文標題 Faster Online Elastic Degenerate String Matching	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018, LIPIcs	6. 最初と最後の頁 9:1--9:10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4230/LIPIcs.CPM.2018.9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Kuhara, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 11147
2. 論文標題 Recovering, Counting and Enumerating Strings from Forward and Backward Suffix Arrays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 25th International Symposium on String Processing and Information Retrieval 2018, Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 254--267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-00479-8_21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akihiro Nishi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 $O(n \log n)$ -time text compression by LZ-style longest first substitution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Prague Stringology Conference 2018	6. 最初と最後の頁 12--26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Right-to-left online construction of parameterized position heaps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Prague Stringology Conference 2018	6. 最初と最後の頁 91--102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Isamu Furuya, Takuya Takagi, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Takuya Kida	4. 巻 -
2. 論文標題 MR-RePair: Grammar Compression based on Maximal Repeats	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Data Compression Conference 2019	6. 最初と最後の頁 508--517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 26件)

1. 発表者名 Kazuya Tsuruta, Dominik Koppl, Shunsuke Kanda, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 c-Trie++: A Dynamic Trie Tailored for Fast Prefix Searches
3. 学会等名 Data Compression Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsuhito Nakashima, Diptarama Hendrian, Yuto Nakashima, Ryo Yoshinaka, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Ayumi Shinohara, Masayuki Takeda
2. 発表標題 DAWGs for Parameterized Matching: Online Construction and Related Indexing Structures
3. 学会等名 The 31st Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda, Ayumi Shinohara
2. 発表標題 Detecting k-(Sub-)Cadences and Equidistant Subsequence Occurrences
3. 学会等名 The 31st Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Akihiro Nishi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Towards Efficient Interactive Computation of Dynamic Time Warping Distance
3 . 学会等名 The 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hideo Bannai, Takuya Mieno, Yuto Nakashima
2 . 発表標題 Lyndon Words, the Three Squares Lemma, and Primitive Squares
3 . 学会等名 The 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kanaru Kutsukake, Takuya Matsumoto, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 On repetitiveness measures of Thue-Morse words
3 . 学会等名 The 27th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 The parameterized position heap of a trie
3 . 学会等名 11th International Conference on Algorithms and Complexity (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Faster queries for longest substring palindrome after block edit
3 . 学会等名 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yuki Urabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Overlapping Lempel-Ziv and Lyndon factorizations
3 . 学会等名 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryo Sugahara, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Computing runs on a trie
3 . 学会等名 30th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kiichi Watanabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Palindromic substring queries on run-length encoded strings
3 . 学会等名 30th International Workshop on Combinatorial Algorithms (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Computing maximal palindromes and distinct palindromes in a trie
3 . 学会等名 Prague Stringology Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Direct linear time construction of parameterized suffix and LCP arrays for constant alphabets
3 . 学会等名 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kazuki Kai, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda, Tomasz Kociumaka
2 . 発表標題 On longest common property preserved substring queries
3 . 学会等名 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takuya Mieno, Dominik Koepl, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2 . 発表標題 Compact data structure for shortest unique substring queries
3 . 学会等名 26th International Symposium on String Processing and Information Retrieval (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuta Fujishige, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 An improved data structure for left-right maximal generic words problem
3. 学会等名 30th International Symposium on Algorithms and Computation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Mieno, Yuki Kuhara, Tooru Akagi, Yuta Fujishige, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Minimal unique substrings and minimal absent words in a sliding window
3. 学会等名 46th International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Yamada, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Faster STR-EC-LCS computation
3. 学会等名 46th International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Isamu Furuya, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Lyndon Factorization of Grammar Compressed Texts Revisited
3. 学会等名 Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Urabe, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Longest Lyndon Substring After Edit
3. 学会等名 Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mitsuru Funakoshi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Longest substring palindrome after edit
3. 学会等名 Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Aoyama, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Faster Online Elastic Degenerate String Matching
3. 学会等名 Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kuhara, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Recovering, Counting and Enumerating Strings from Forward and Backward Suffix Arrays
3. 学会等名 25th International Symposium on String Processing and Information Retrieval 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiro Nishi, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 O(n log n)-time text compression by LZ-style longest first substitution
3. 学会等名 Prague Stringology Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriki Fujisato, Yuto Nakashima, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Masayuki Takeda
2. 発表標題 Right-to-left online construction of parameterized position heaps
3. 学会等名 Prague Stringology Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isamu Furuya, Takuya Takagi, Yuto Nakashima, Tomohiro I, Shunsuke Inenaga, Hideo Bannai, Takuya Kida
2. 発表標題 MR-RePair: Grammar Compression based on Maximal Repeats
3. 学会等名 Data Compression Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------