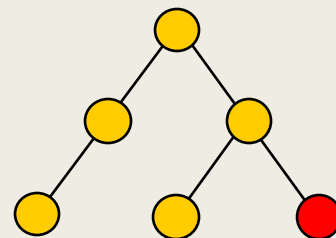


研究室紹介



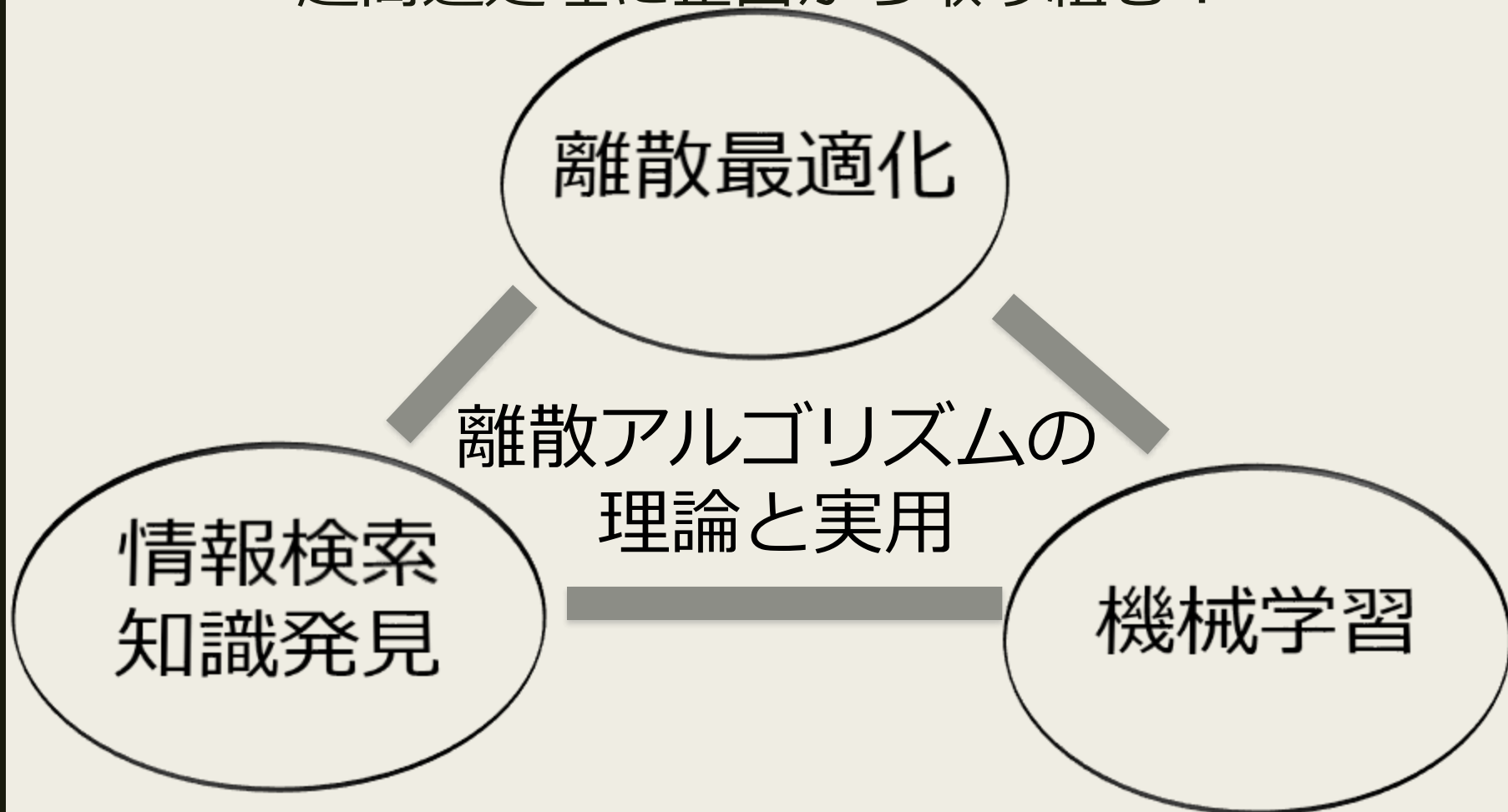
北海道大学大学院情報科学研究科
情報理工学コース・専攻

情報知識ネットワーク研究室 (通称IKN研)

有村博紀, 小林靖明, 儀間達也

情報知識ネットワーク研究室

アルゴリズムに基づいて、
実世界の**大規模・非定型・時空間データ**の
超高速処理に正面から取り組む！



情報知識ネットワーク研究室

有村博紀 (ありむらひろき), 教授



研究分野:

- ・ データマイニング
- ・ 情報検索 (とくに全文テキスト索引)
- ・ 機械学習 (アルゴリズム)

小林靖明 (こばやしやすあき), 准教授



研究分野:

- ・ アルゴリズムと計算量の理論

儀間達也 (ぎまたつや), 助教

研究分野:

- ・ グラフアルゴリズムの理論



学生 : 15名

研究テーマ

理論と実用のどちらも大切！！

高速文字列処理の研究

- ・ 圧縮文字列に対するアルゴリズム
- ・ 文字列中のパターン発見

計算困難な離散最適化問題の研究

- ・ アルゴリズムと計算量の理論
- ・ (記述的) 論理と計算量

信頼される人工知能・解釈しやすい機械学習

- ・ 離散データに対する機械学習
- ・ 多様な解を求めるアルゴリズム

データマイニング

- ・ (グラフ)データベースパターン発見
- ・ 高速データベースクエリ処理アルゴリズム

研究テーマ

※ 具体的なテーマは研究室のWebページにアップしたスライドを参照

- **離散アルゴリズム**に関わるなら何でもOK！
 - 既存のアルゴリズムや数学の結果を**理論的に改善**
 - 理論的に高度なアルゴリズムを**実用的に速く**する
- 既存技術を(社会)応用するというよりも、**新しい技術を開発** 既存技術を発展させる**基礎研究**を目指す
- 様々な分野で研究されている問題を数理最適化問題として定式化し、それらを解くアルゴリズムを開発
 - **機械学習・データマイニング**など

- プログラミングが必ずしも得意である必要はないが、できると幅は広がるかも
- 英語の難しい論文を読む方がしんどいので、そっちの方が適正に影響するのかも

配属したらしてほしいこと

ゼミナール

- ・ 英語の教科書や論文などを読む (インプット)
- ・ わかったことを適切に他のひとに説明する (アウトプット)
- ・ 既存の方法を理解し, 新しい考えの導入/方法を作る
- ・ アルゴリズムを実装し実験する
- ・ 新しい発見に関する論文を日本語または英語で書く

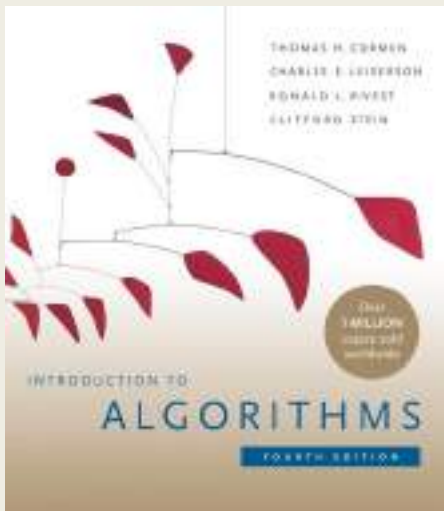
学部・大学院で身につけてほしいこと

- ・ 自分が興味あることを見つける
- ・ それが何でもいいので, 無我夢中で取り組んでみる
(社会人になるとこれが意外とできなくなる)

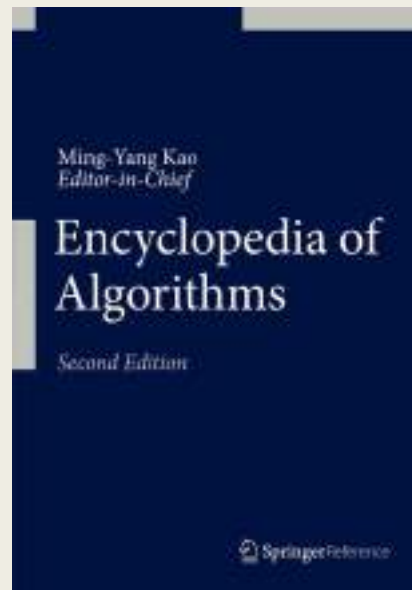
科学技術英語演習 I・II

英語の教科書の一部や論文を読んでスライドにまとめて発表

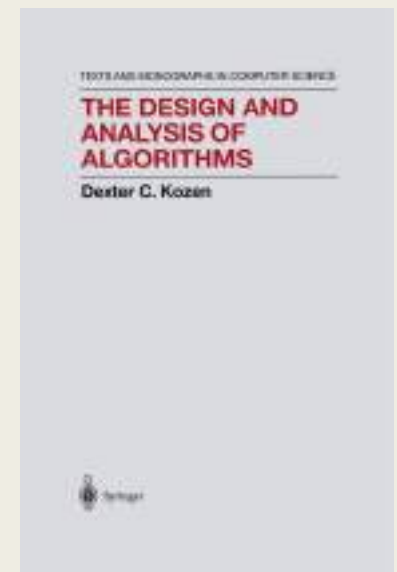
- ・ 英語で書かれている内容を適切に理解できているか
- ・ 理解した内容を適切に発表できているか



Cormen, Leiserson, Rivest, Stein:
Introduction to Algorithms



Kao: Encyclopedia of Algorithms



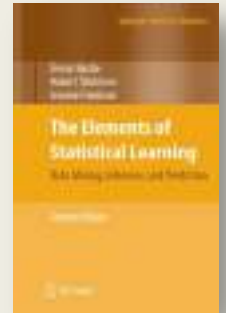
Kozen: The Design and
Analysis of Algorithms

自主ゼミ

自主的に参加者を募ってセミナー（輪講）をする

- ・ 機械学習

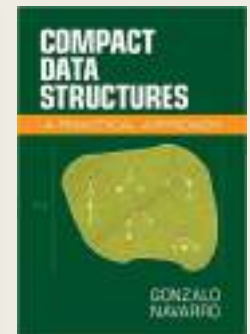
- Hastie, Tibshirani, Friedman: The Elements of Statistical Learning



- ・ 文字列・データ構造

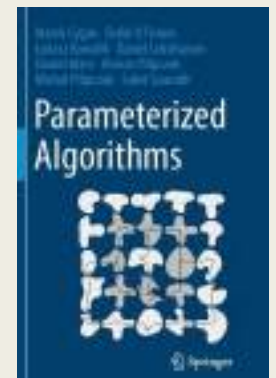
- 定兼：簡潔データ構造

- Navarro: Compact Data Structures



- ・ グラフアルゴリズム

- Cygan, Fomin, Kowalik, Lokshtanov, Marx, Pilipczuk, Pilipczuk, Saurabh: Parameterized Algorithms



研究室配属後にすること

3年後期

- ・ 科技英演習I (教科書)

4年前期

- ・ 科技英演習II (論文) ・ 全体セミナー ・ 自主ゼミ

4年後期以降

- ・ 全体セミナー ・ 自主ゼミ
- ・ 卒業論文のテーマを開始するのは (だいたい) この頃

連絡先

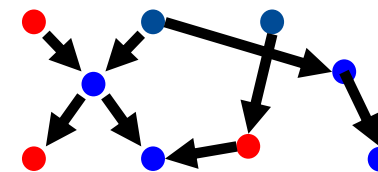
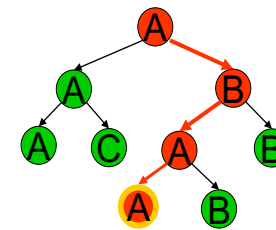
ELMSの研究室配属のサイト (Moodle) を確認してください



■ 北大大学院情報科学研究科, 教授

■ 専門:

- データマイニング
- 情報検索(とくに全文テキスト索引)
- 計算学習理論(機械学習)



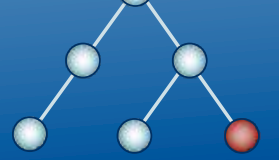
■ 興味があること

- 膨大なデータから, 人間に役立つ情報と知識をとりだすこと
- 高速なアルゴリズム(プログラム)を設計すること

■ 趣味

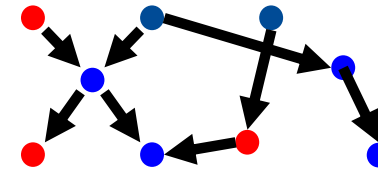
- 読書・音楽鑑賞・ハイキング・家庭菜園の手伝い





■ 情報検索(「文字列」-)

- 文字列, 木, グラフ, 集合族, . . .
- 検索・比較・発見・圧縮
- アルゴリズムとデータ構造

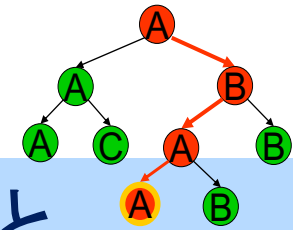


■ データマイニング

- 列挙アルゴリズム: 多数の解をもれなく計算する
- 構造・パターンマイニング

■ 機械学習(計算学習理論)

- 信頼されるAI(公平性・説明性)
- 離散機械学習(決定木ほか)
- 効率良い学習アルゴリズム



やりたいこと

- 膨大なデータから、人間に役立つ情報と知識をとりだす
- 高速なアルゴリズム(プログラム)を設計する

対象

- 文字列・木・グラフ
 - 例: テキスト・遺伝情報, etc.
- 空間データ
 - 例: 地理・移動・音楽・???

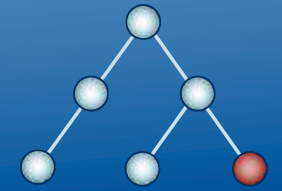


■ どちらかというと基礎

- アルゴリズムが中心 (道具)
- 情報は「形」「道具」の学問
- 先生方は二つの専門を持っている
 - 道具 (How):
 - 対象 (What): Web, Networks, 生命科学, 機械学習, 検索, データ解析...
- 現代は, いろいろなタイプの人と一緒に仕事するのがふつう: 基礎・応用・人間/社会

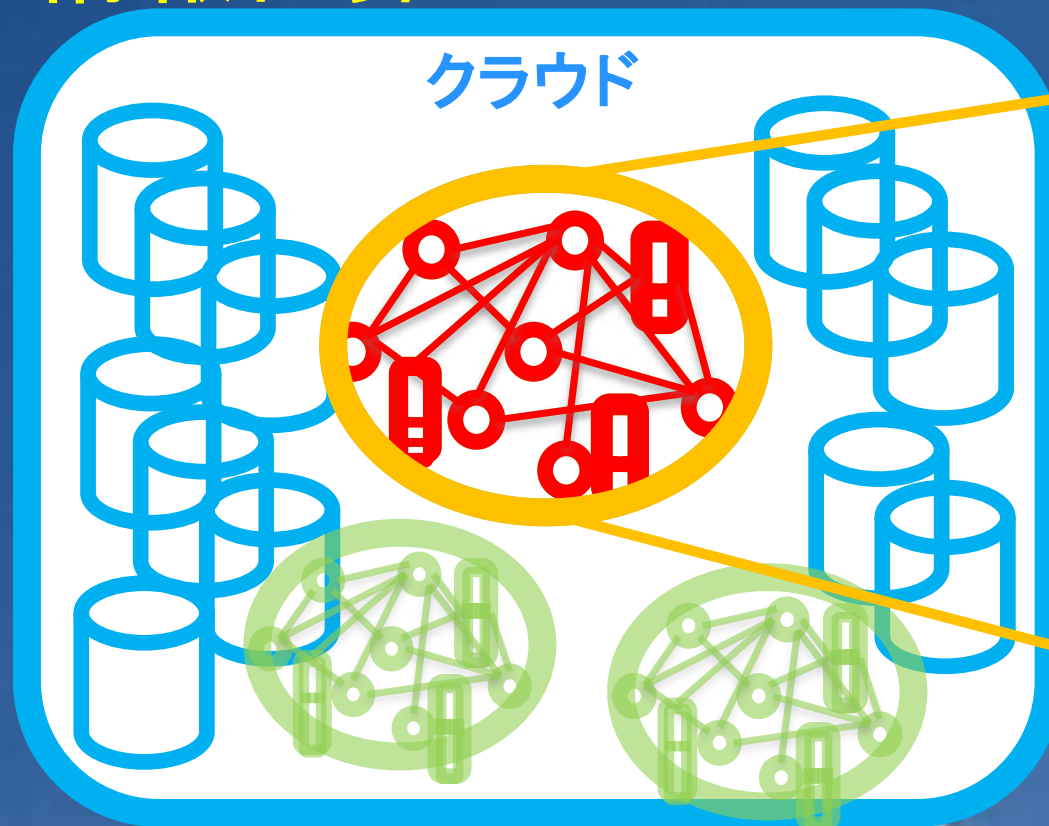
■ こんな人

- 考えるのが好き and/or 手を動かす



情報世界

実世界



- 大量のデータ
- 多数のCPU
- 高速なネットワーク
- 膨大な計算

「集中」

- さまざまなデバイス
- 多様な人間活動と応用
- 多様で非均一な時空間
- 不完全で複雑なデータと情報

「分散」

大量データと次世代情報技術

ワトソン君

- IBMリサーチ (2011/02/16)
- クイズ番組で人間に勝利!
- 100万冊の本を読んで回答
- 人工知能と自然言語、アルゴリズム、検索の技術

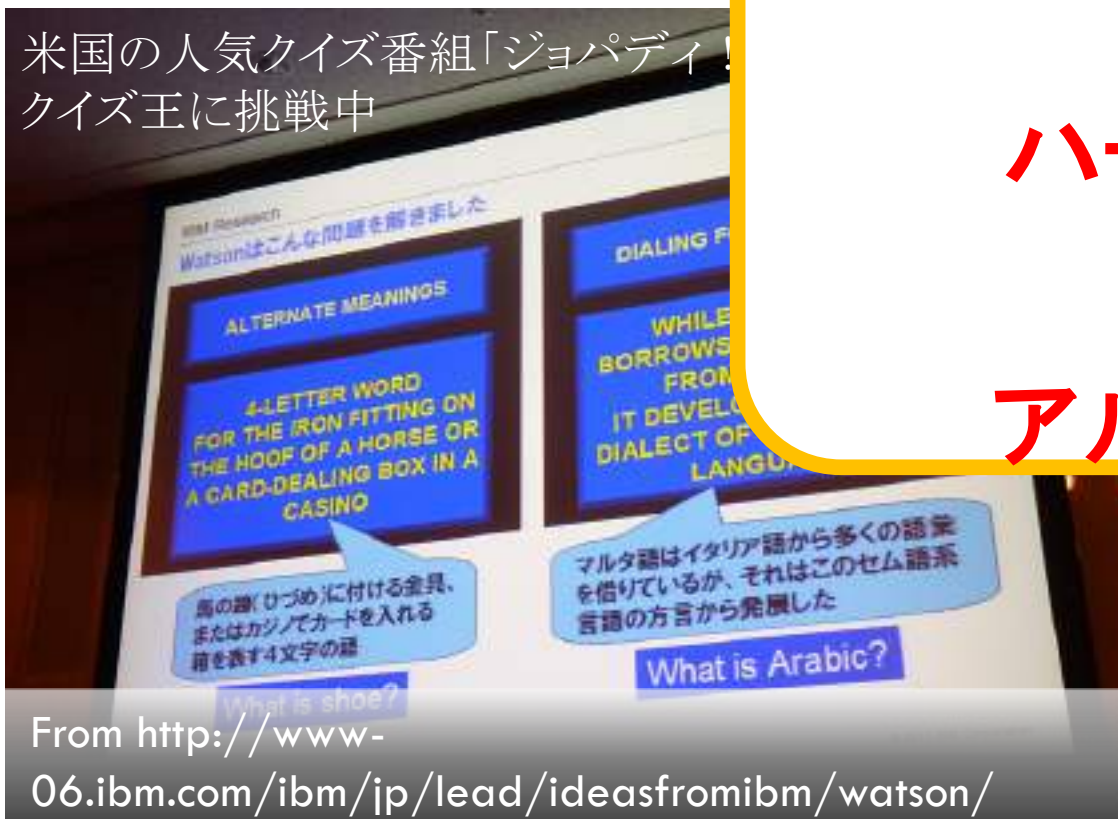
クラウド計算

世界中の情報を計算!

次世代IT(AI)の原動力

ハードウェア!
データ!
アルゴリズム!

米国の人気クイズ番組「ジョパディ」
 クイズ王に挑戦中



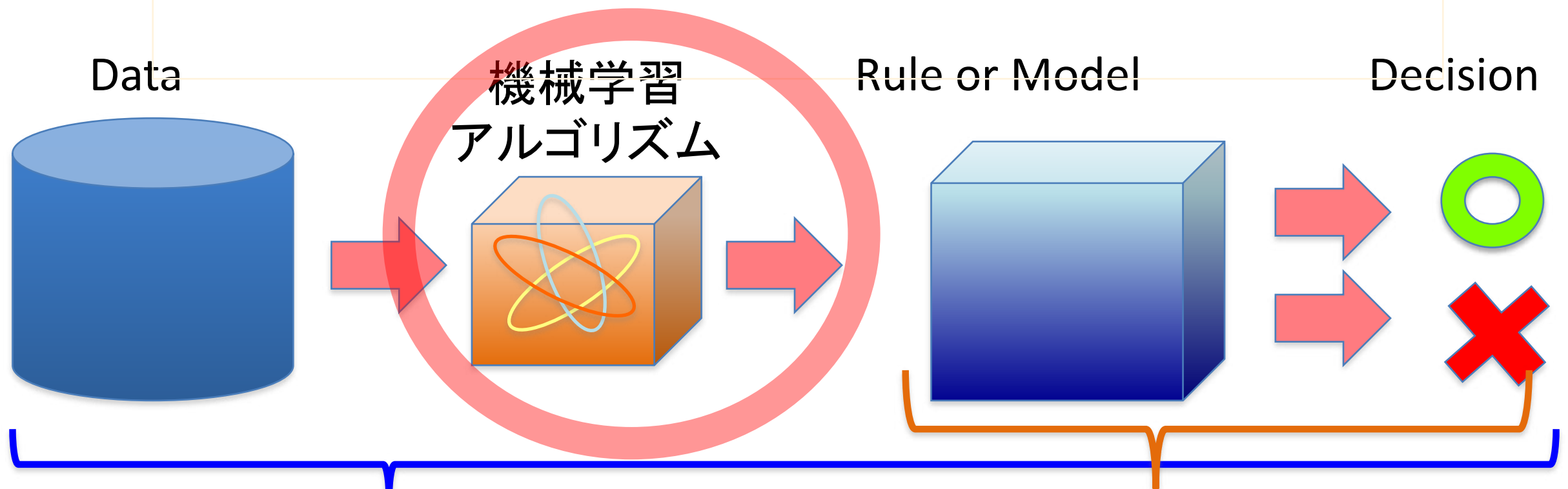
From <http://www-06.ibm.com/ibm/jp/lead/ideasfromibm/watson/>



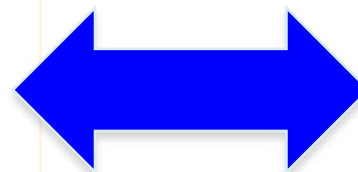
From [geek.com: Google server firm](http://www.geek.com/articles/chips/up-next-for-google-enterprise-wars-2009078/)
<http://www.geek.com/articles/chips/up-next-for-google-enterprise-wars-2009078/>
 2020.10.13

現代の人工知能

データから規則を学習する**機械学習技術**が中核技術になっている



現代のAI (データ指向AI)はデータに基づく意思決定のすべての局面をあつかう



伝統的なAIは規則を使った意思決定だけをあつかう

次世代の発見科学技術

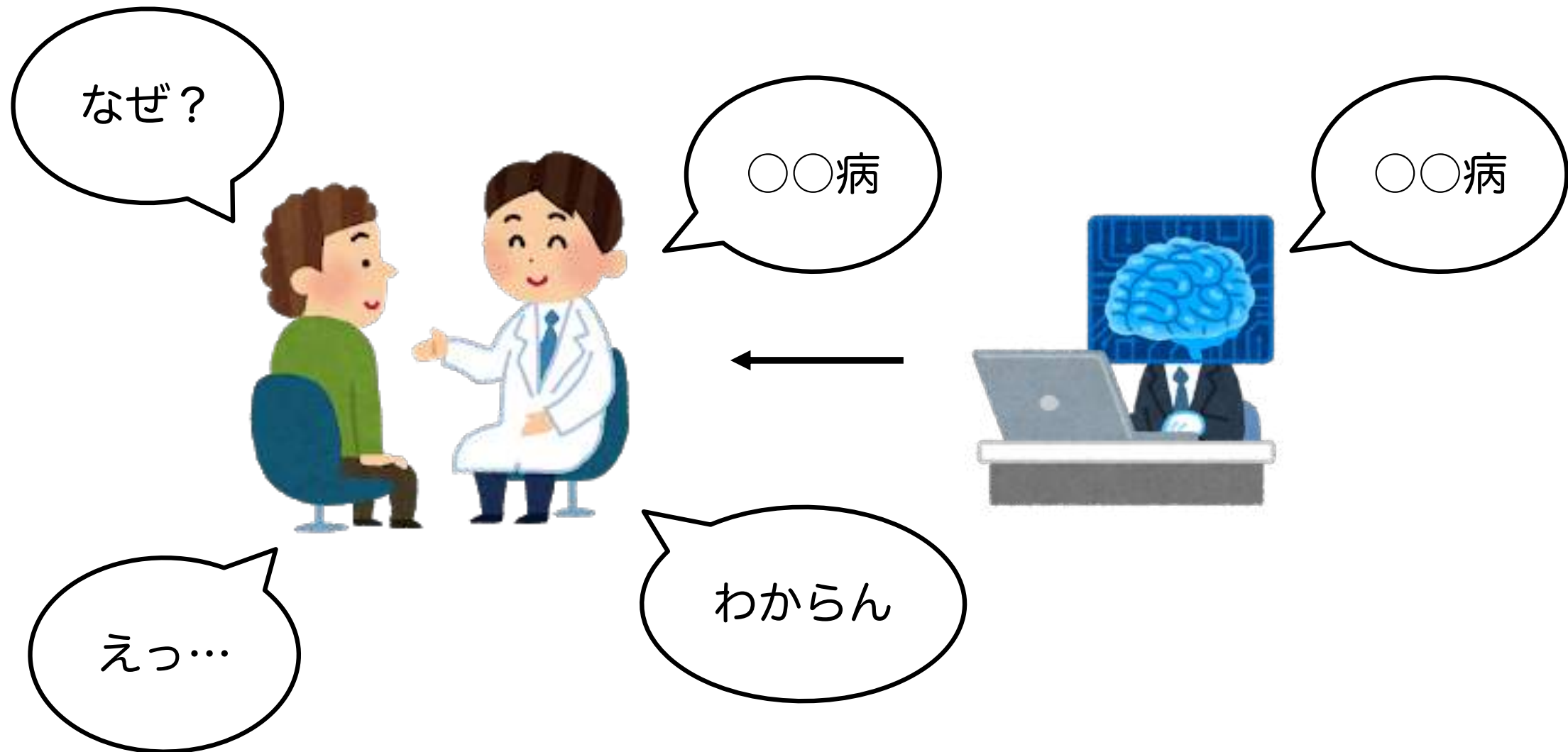
- * 最新の人工知能技術
- * 21世紀はDeep Learningだけで

有村君、21世紀
の知識獲得は
Deep Learningで
決まりかね？

- 21世紀の社会で、コンピュータが人間と働くために必要な人工知能技術とは何か？

有川節夫先生
(私の先生)

信頼されるAIの基盤技術



どうやってAIの導きだす回答を信頼させられるものにするか?

研究1：予測モデルに対する反事実説明 (Kanamori+, IJCAI2020)

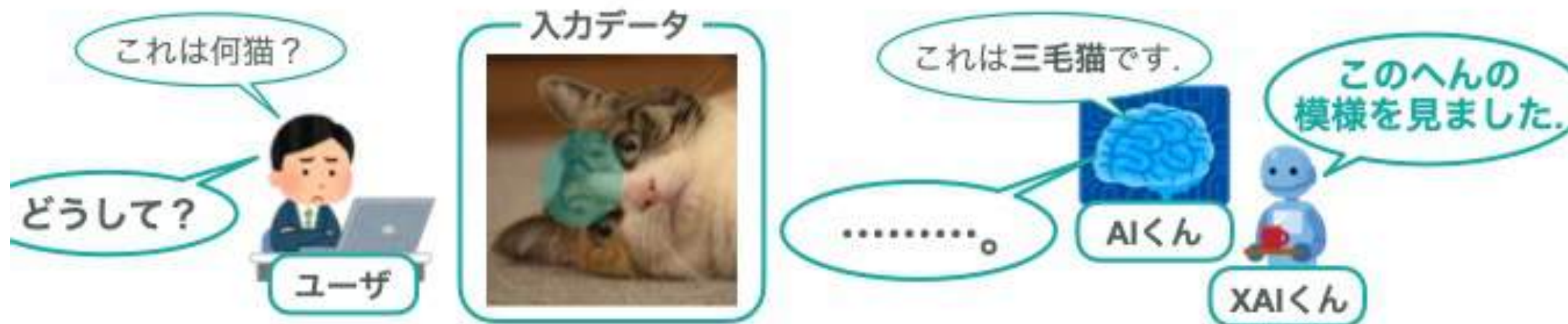
Accepted at
IJCAI 2020

DACE: Distribution-Aware Counterfactual Explanation by Mixed-Integer Linear Optimization

- 金森 憲太郎 (北海道大学)
高木 拓也 (富士通研究所 / 理研AIP)
小林 健 (富士通研究所 / 理研AIP / 東京工業大学)
有村 博紀 (北海道大学)

Take-home message: 機械学習と説明可能性

- 機械学習の目的の一つは、入力空間 \mathcal{X} と出力空間 \mathcal{Y} を上手に対応づける関数 (予測モデル) $h: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ を見つけること。
- 実応用上の要求: 予測の説明可能性 (解釈可能性)
 - ▶ 知識発見: モデルの予測結果や傾向から、新たな知見や仮説を見つけたい。
 - ▶ 信頼性: 医療や司法などの意思決定に応用するには、予測根拠の提示が必要。



- 予測結果の説明 (のようなもの) を抽出する研究が注目されている。
 - ▶ 例) 特徴量重要度: 各特徴量が予測にどのくらい貢献したかを示す指標。
 - ▶ いまのところ説明可能性 (解釈可能性) にちゃんとした定義は存在しない。

研究: 人に優しい人工知能技術

K. Kanamori, T. Takagi, K. Kobayashi, H. Arimura, IJCAI-PRICAI 2020 (to appear)

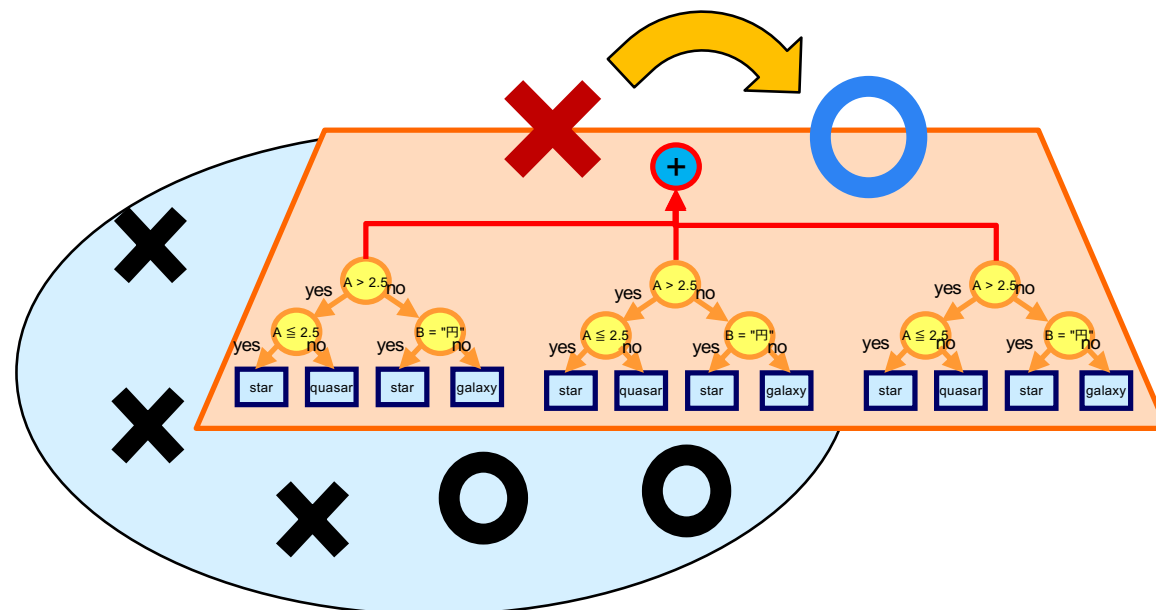
機械学習の解釈性

離散最適化に基づく学習

□ 解釈性・説明性・公平性

□ 反事実説明 (Kanamori+, IJCAI2020)

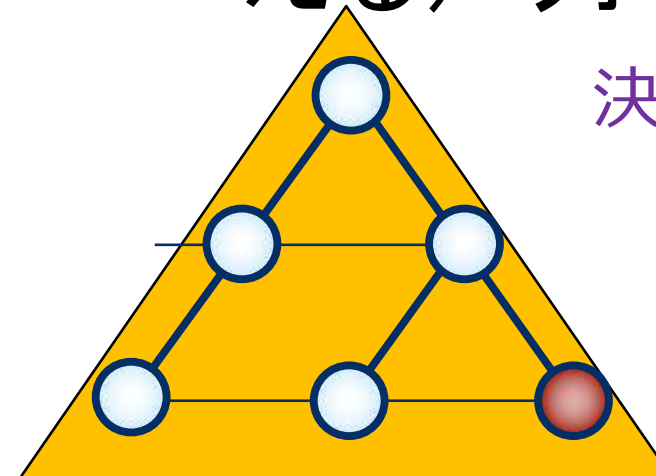
「予測を×から○へ改善するためには、状況をどう変るべきか？」



□ 解釈しやすい離散的ルールを学習する

□ トップK・計数(数を数える)・列挙・乱択

決定木を列挙!



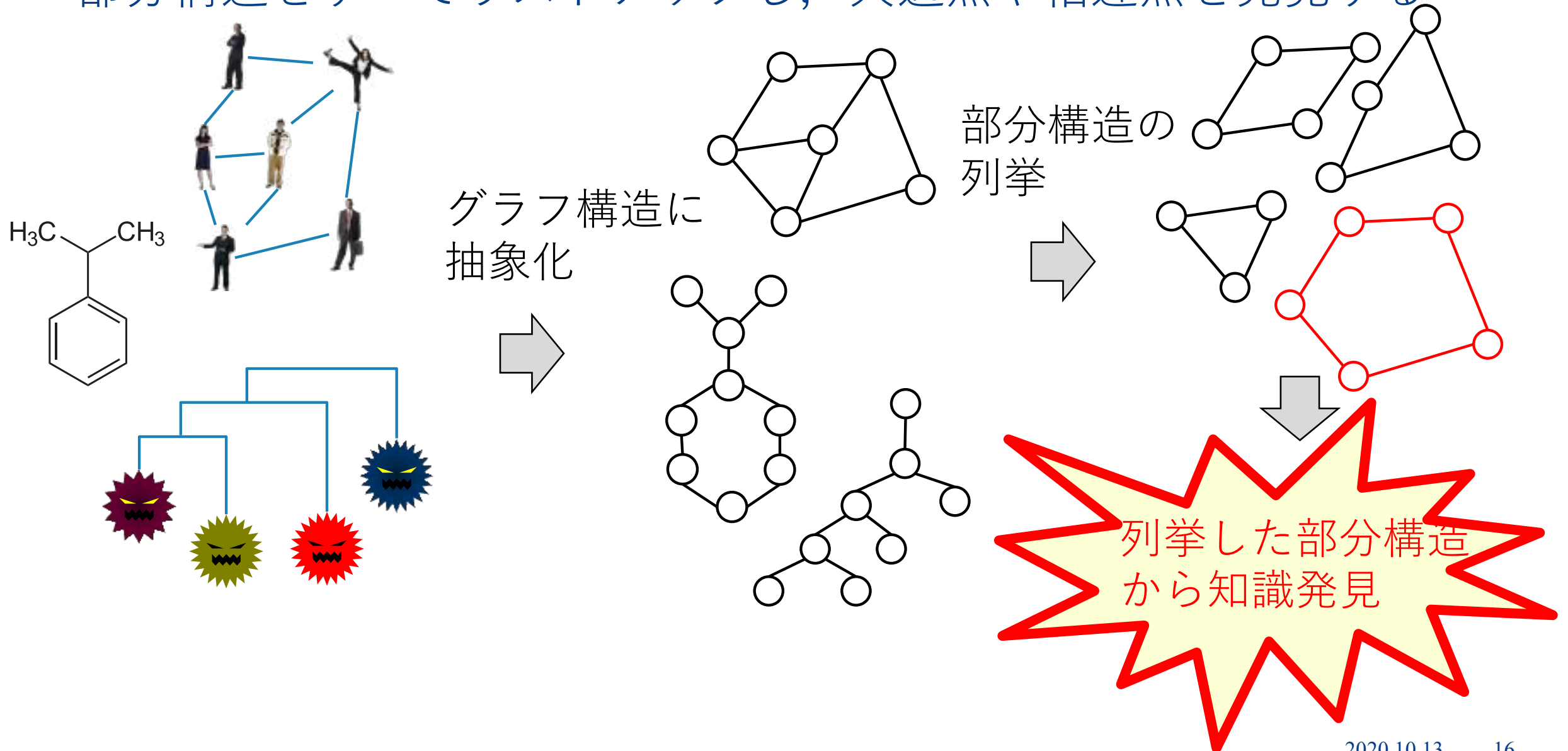
制約

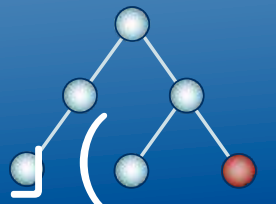
- サイズ
- 葉の例数
- 精度

研究: グラフアルゴリズム & 列挙アルゴリズムによる知識発見

どんな構造が含まれているか, すべて挙げよ!

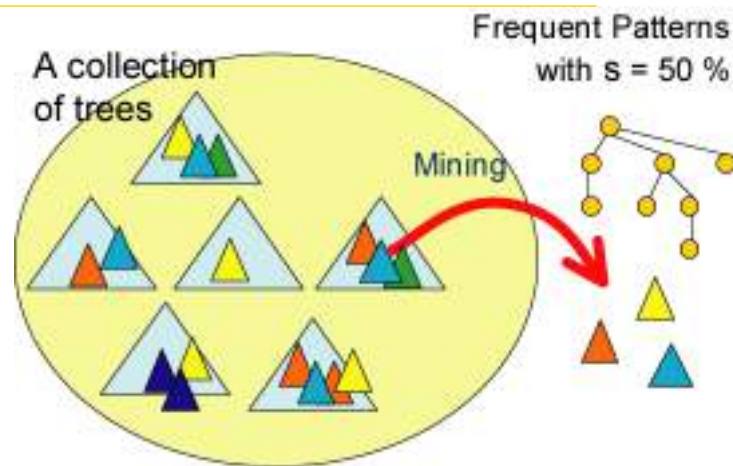
部分構造をすべてリストアップし, 共通点や相違点を発見する





高速半構造データマイニングエンジン

- Discovering all frequent sub-structures from a collection of labeled trees
- Extendible to most statistical functions



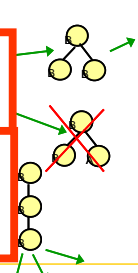
FREQT: Efficient ordered tree mining engine (SIAM DM'02)

Applications
Japanese Text Mining
(Morinaga, Arimura et al.)

Rightmost Expansion & Ordered Tree Enumeration Trees (SIAM DM'02, IEEE ICDM'02, DS'03)

FREQT: DEWS'02優秀論文賞 (H14年6月)

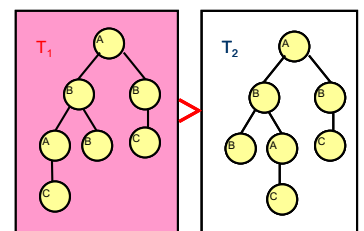
Unot: DEWS'04優秀論文賞 (H16年6月)



「最右拡張技法」に基づく高速な木パターン発見エンジン

- 半構造データの特徴的部分構造の発見
- その後のグラフマイニングの基礎技術に
- 理論と実装: FREQT, StreamT, Unot
- SIAM DM'02, PKDD'02, IEEE ICDM'02, DS'03
- 公開&応用

trees (Left-Biased Tree)
(Lexicographically largest trees over depth-label sequence encoding)



(0A,1B,2A,3C,2B,1B,2C) (0A,1B,2B,2A,3C,1B,2C)

Difficulties in un-ordered tree mining

- Exponentially many isomorphic patterns
- Unique representation
- Enumeration with duplicates in a un-ordered tree
- Efficient computation of occurrences

Awarded

MaxMotif: Awarded DEWS2004 (H17.6)

StreamT: '03AI学会大会優秀賞 (H15.6)

Google Scholar
引用数(2019.4)
[主要文献1] 596件

コンピュータの学習の例

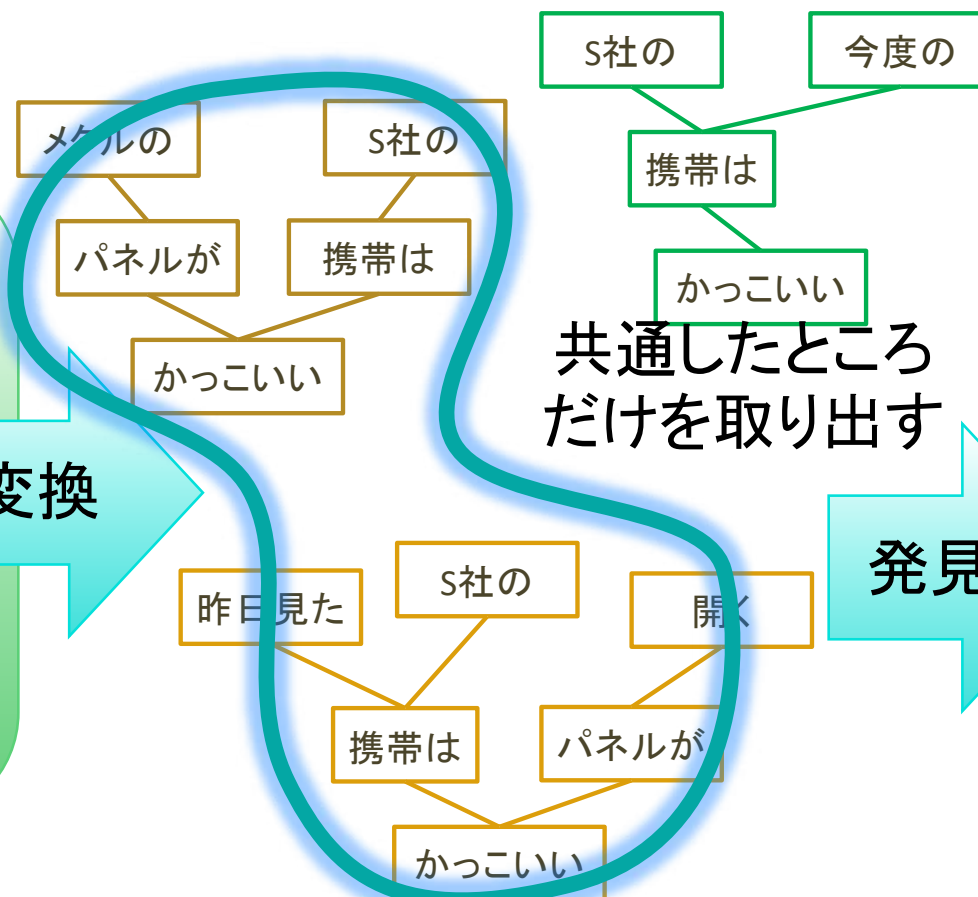
テキストマイニング:

- * まず大量のテキスト（ブログでの評判や自由記述アンケート）を解析し，文の構造を「木」としてとりだす。
- * 次に，共通する構造を発見（マイニング）すると，文書に隠れた共通の意見が取り出せる。

入力のいろいろな文章

「メタルのパネルが，S社の携帯はカッコいい」
 「今度のS社の携帯はパネルがカッコいい」
 「昨日見たS社の携帯は開くパネルがカッコいい」

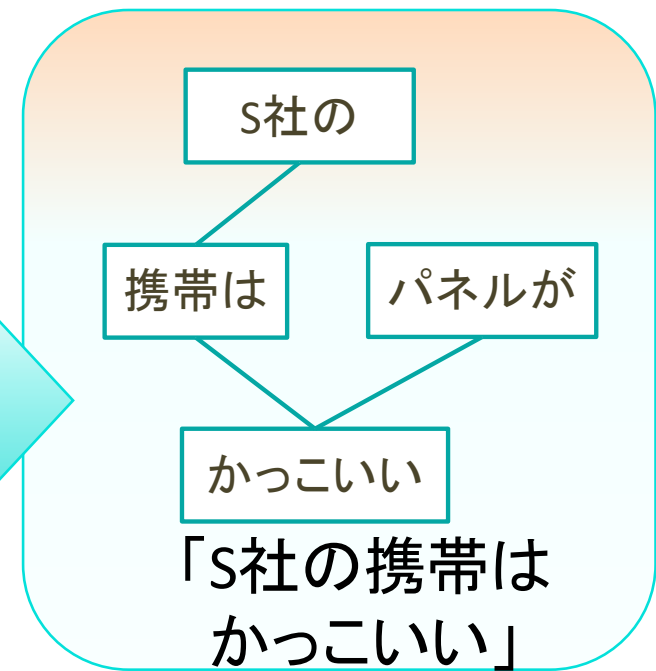
変換



共通したところだけを取り出す

発見

見つけた共通意見



この仕組みは，企業でテキストデータの解析に使われた。

人工知能技術の鍵！ = 機械学習技術

NIPS 2017 (機械学習研究最大の学会)

- Thirty-first Conference on Neural Information Processing Systems, Dec. 4-9, Long Beach Convention Center
- Attracting over 8,000 registered attendees, up 2,000 from last year

Registration



exhibition booth



session



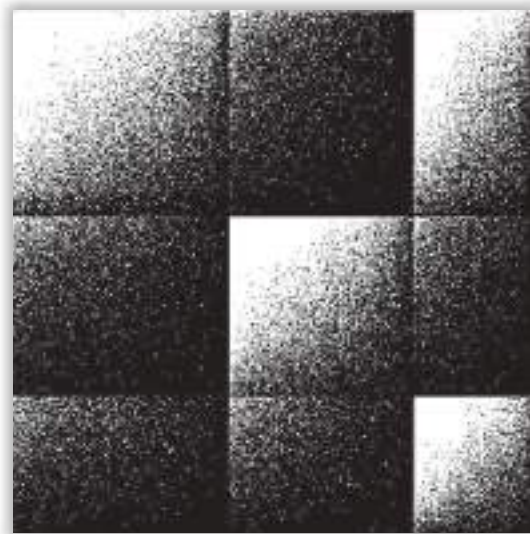
Poster site



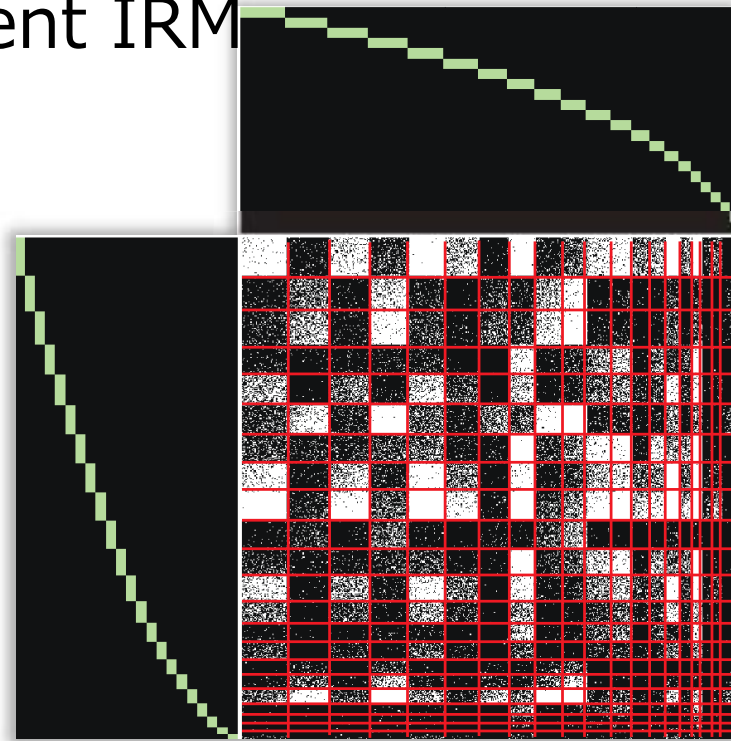
研究: ベイズ学習・トピックモデル

(Ohama, Iida, kida, Arimura, IJCAI 2017, NIPS2017)

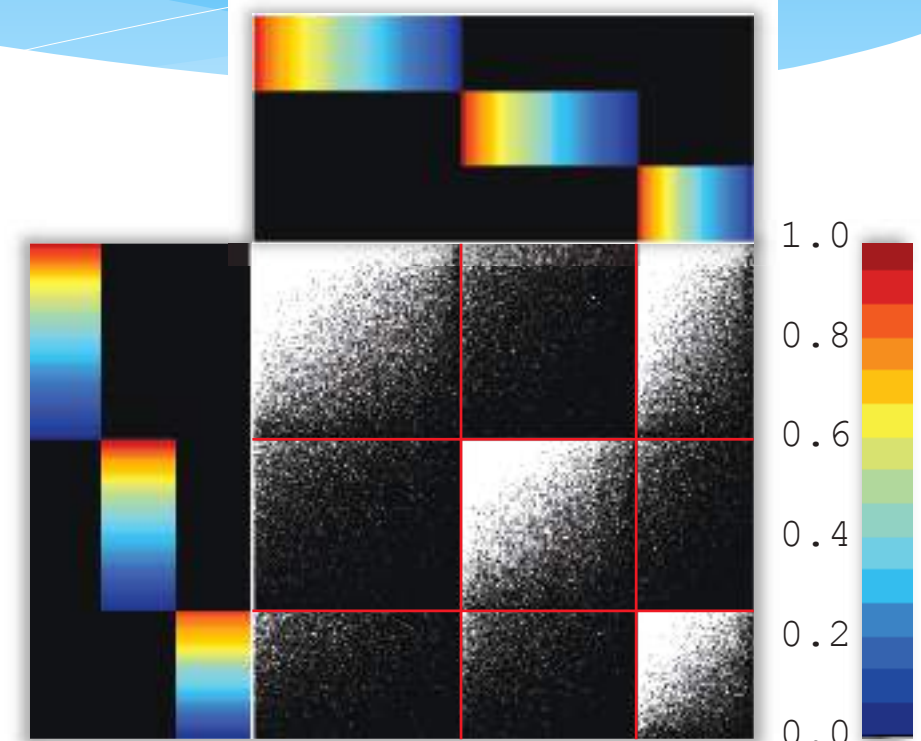
Relevance-dependent IRM



(a) Synthetic Data



(b) IRM solution



(c) R-IB solution

- 従来手法 (IRM) は、個々の人や商品の「活動度」に影響されて本来存在しない、小さなクラスに分かれている。
- 提案手法 (R-IB) は、個々の活動度に影響されずに、大きな(正しい)クラスタ構造を見つけている

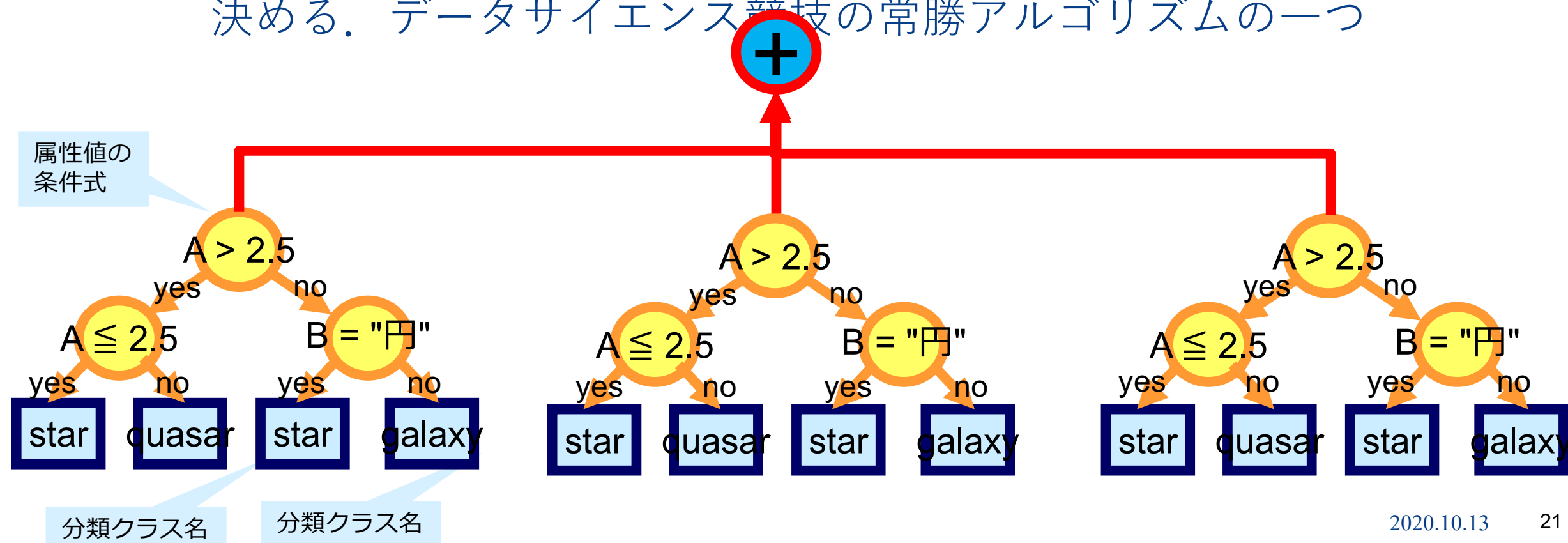
Figure 3: Synthetic example: (a) 500×500 relational data; (b) IRM solution; (c) R-IB solution. In (b) and (c), the left and top matrices indicate z_1 and z_2^\top in a 1-of-K representation, respectively. Colored areas on matrices z_1 and z_2^\top indicate relevance parameters for corresponding objects. For intuitive understanding, a relevance parameter $\theta \in [0, +\infty]$ is transformed into a probability as $1 - \exp(-\log(2) \times \theta)$, so that the probability is 0.5 when $\theta = 1$.

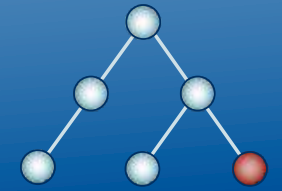
研究：機械学習の研究

* 決定木(decision tree)と木アンサンブル(勾配ブースティング, ランダムフォレスト)による自動分類

▼決定木：対象を，その属性の値に従って分類する．基本は「すごろく」と同じ．条件式の値（YES/NO）にしたがって，根から葉までたどる．ゴールが分類クラス．

▼木アンサンブル：多数の決定木の予測を，多数決して全体の予測を決める．データサイエンス競技の常勝アルゴリズムの一つ





- 世界初の線形LCP配列計算アルゴリズム (CPM2001)
- 研究分野ベスト10引用論文として表彰: 2010年に分野トップ会議(CPM)での「接尾辞木データ構造40周年記念」集会で表彰
- CACM紙の「接尾辞木データ構造40周年記念」特集で言及された: 「数十年以上の未解決問題を肯定的に解決し, 接尾辞配列と接尾辞木の相互変換のMissing Linkをつないだ」.

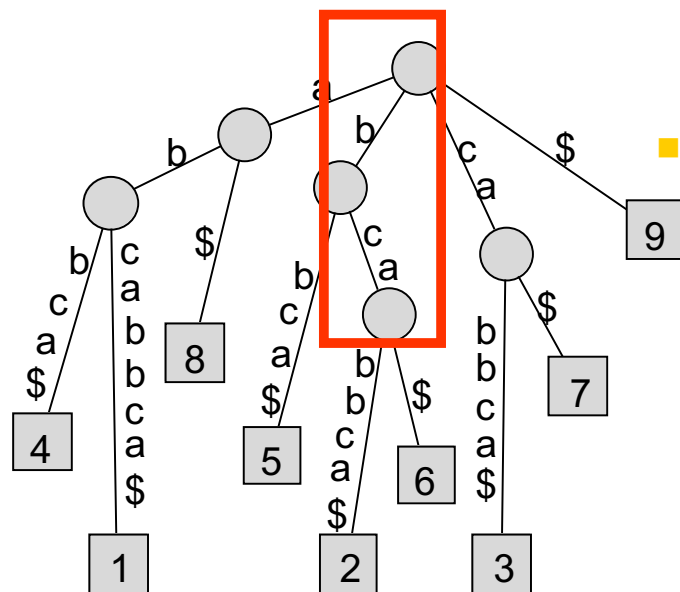
Google Scholar
引用数(2019.4)
[主要文献2] 535件

Suffix tree & array

Data structures for efficiently storing all of $O(n^2)$ substrings in $O(n)$ space

Suffix tree

(1976, McCreight)



Hiroki Arimura, Kyushu University The Future of AI Workshop

Text 1 2 3 4 5 6 7 8 9
a b c a b b c a \$

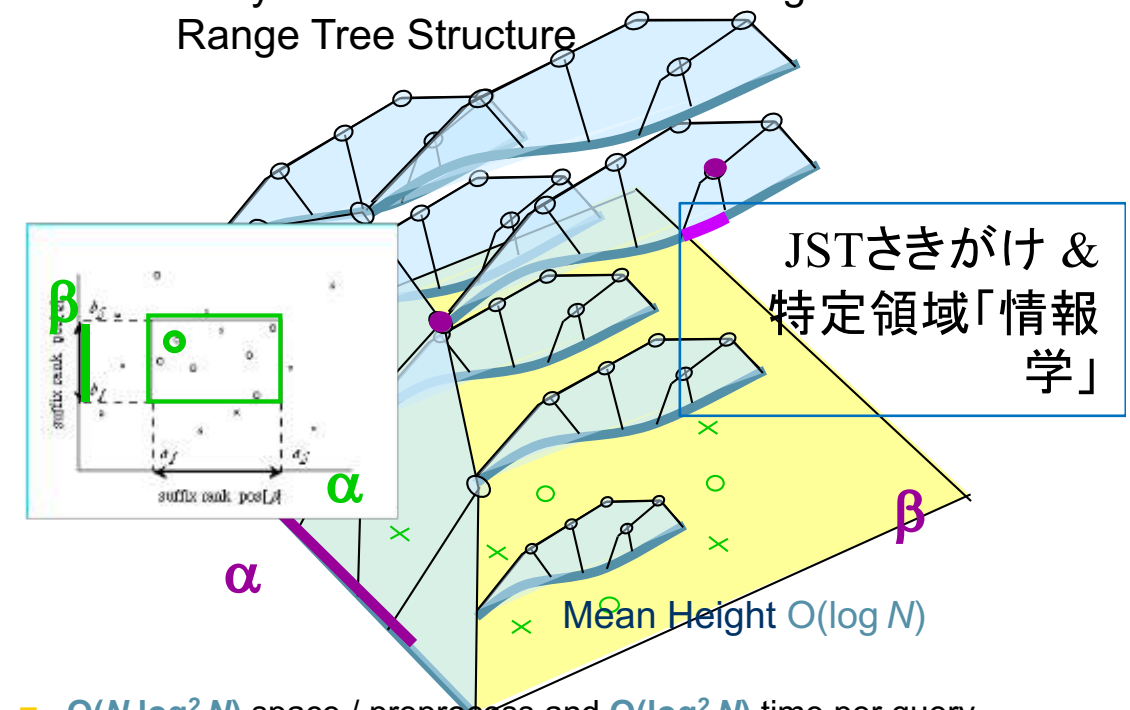
Suffix array

(1990, Manber et al.)

Compactly represents all the substrings with a 1-dimensional integer array.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SA	4	1	8	5	2	6	3	7	9
1	a	a	a	b	b	b	c	c	\$
2	b	b	\$	b	c	c	a	a	
3	b	c		c	a	a	b	\$	
4	c	a		a	b	\$	b		
5	a	b		\$	b		c		
6	\$	b			c		a		
7	c				a				
8	a				\$				
9	\$								

Efficient text mining algorithm using suffix arrays. Direct use of d -dim Orthogonal Range Tree Structure



- $O(N \log^2 N)$ space / preprocess and $O(\log^2 N)$ time per query
- improvement: $O(N^2 \log^2 N) < O(N^3)$

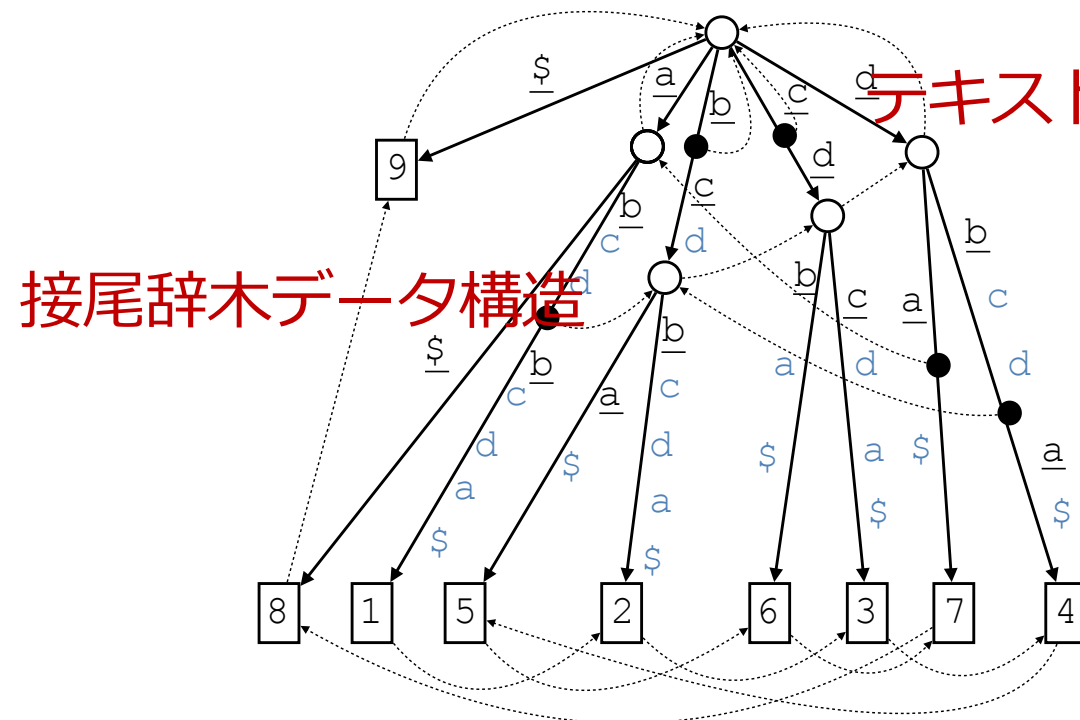
The Future of AI Workshop

Hiroki Arimura, Kyushu University
2021.01.18、北大、有村博紀

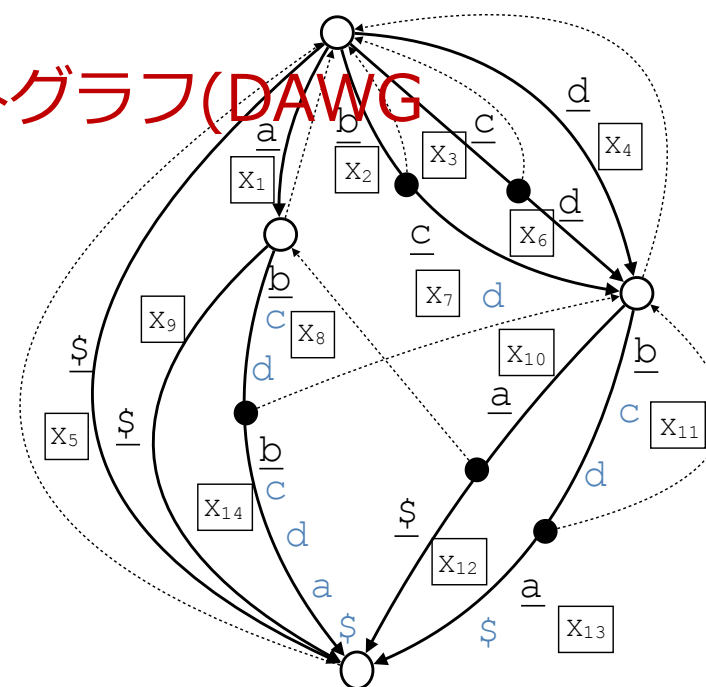
研究: 文字列アルゴリズムとデータ構造

- * 大規模テキスト・系列データを効率よく圧縮・検索・解析するためのアルゴリズムとデータ構造を研究する
- * 文字列・正規表現・木構造・NoSQLの検索アルゴリズム
- * 接尾辞木と接尾辞配列, BWT, テキストグラフ(DAWG) (二分探索木や, ハッシュ表, 領域検索, RMQなどのテキストへの拡張)

LSTrie



LCDAWG + SLP



X_1	=	a
X_2	=	b
X_3	=	c
X_4	=	d
X_5	=	\$
X_6	=	d
X_7	=	X_3X_6
X_8	=	X_2X_7
X_9	=	\$
X_{10}	=	a
X_{11}	=	X_2X_7
X_{12}	=	\$
X_{13}	=	$X_{10}X_{12}$
X_{14}	=	$X_{11}X_{13}$
X_{15}	=	X_8X_{14}
X_{16}	=	X_1X_{15}

文法圧縮



Optimally Computing Compressed Indexing Arrays Based on the Compact Directed Acyclic Word Graph

Hiroki Arimura¹

Shunsuke Inenaga²

Yasuaki Kobayashi¹

Yuto Nakashima²

Mizuki Sue¹

1) Graduate School of IST,
Hokkaido University, Japan

2) Department of Informatics,
Kyushu University, Japan

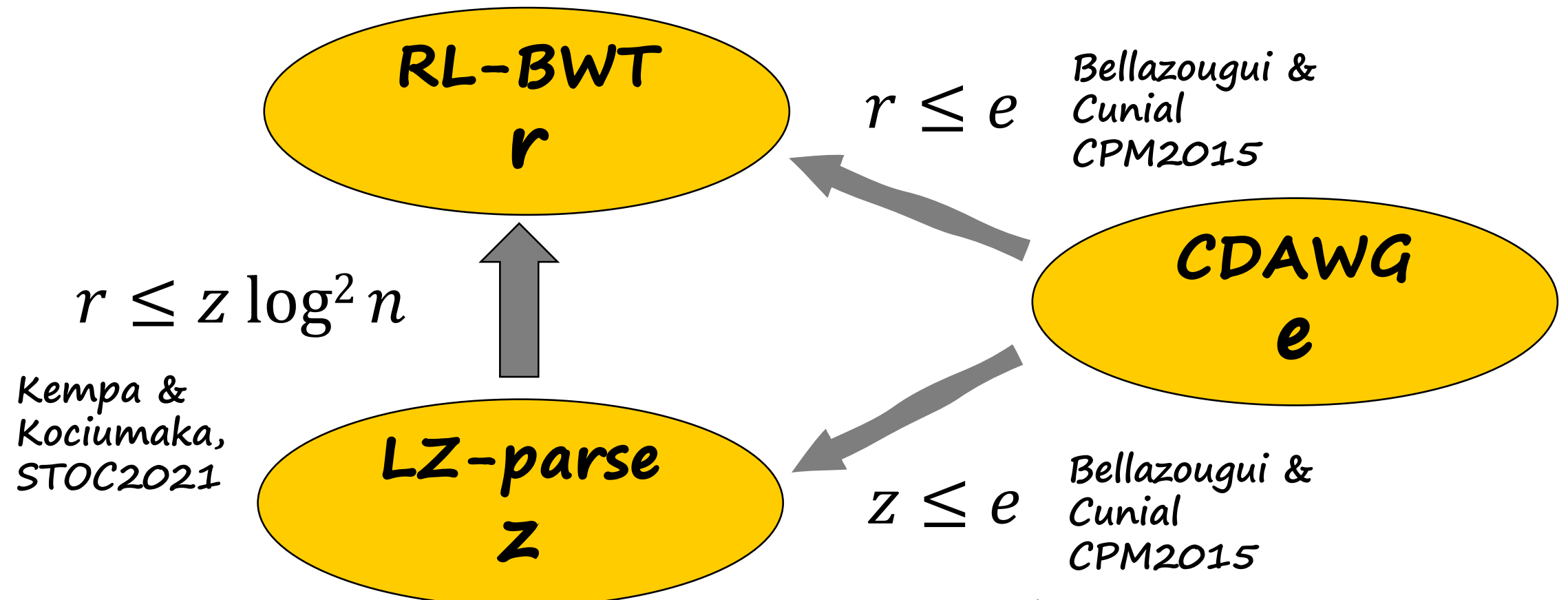
For details and proofs, visits the arXiv site of this talk:

- Manuscript at <https://arxiv.org/abs/2308.02269> ;
- Slide pdf at “Code section” or Github <https://ikndeva.github.io>)

This work is partly supported by MEXT Grant-in-Aid for Basic Research A, 2000-2004, Japan



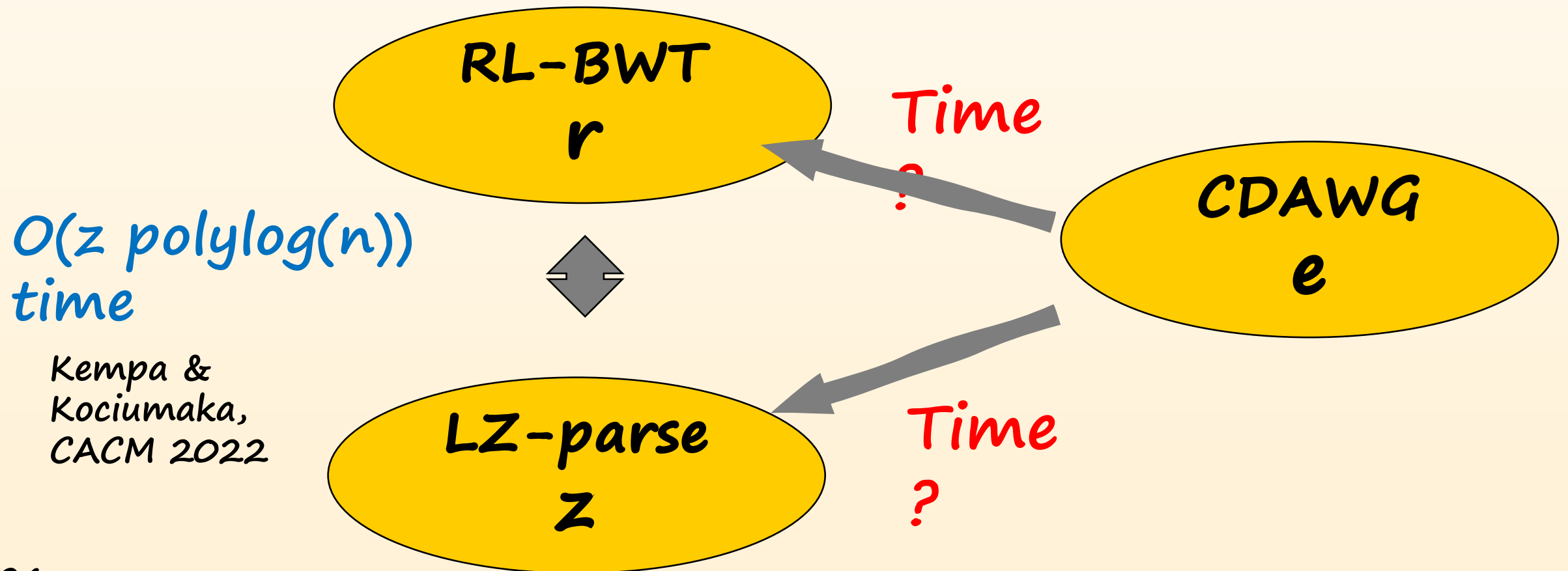
- Consider the relationship between their sizes
 - has been studied so far.





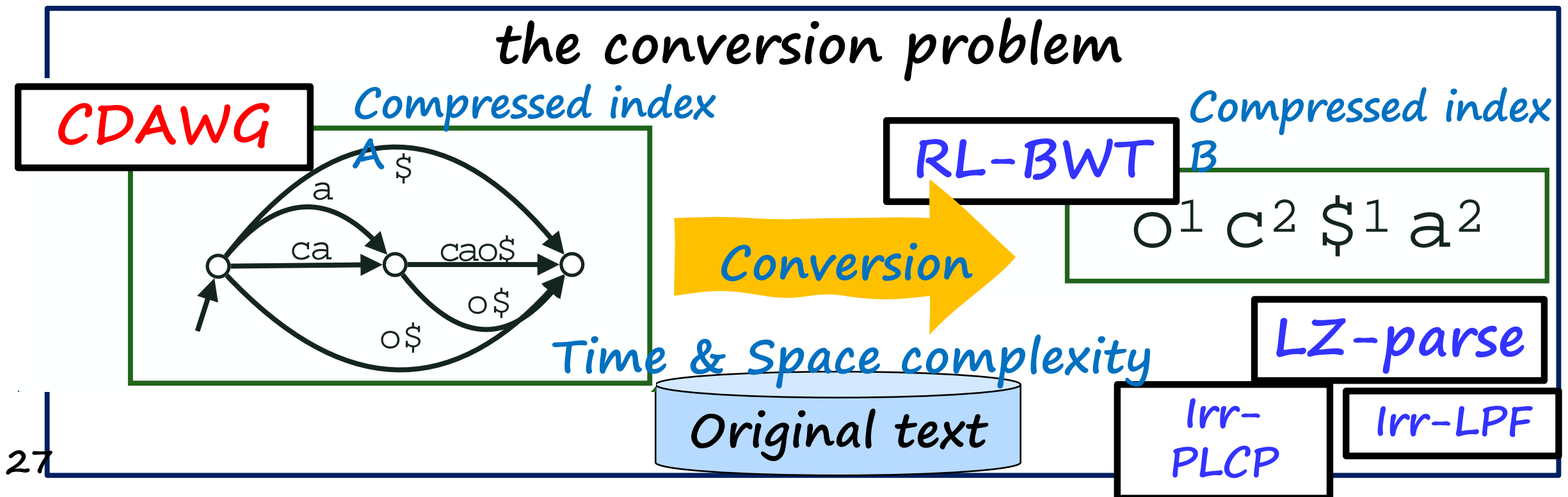
Backgrounds: Previous work

- The time and space complexities of conversions
 - have not been studied very much





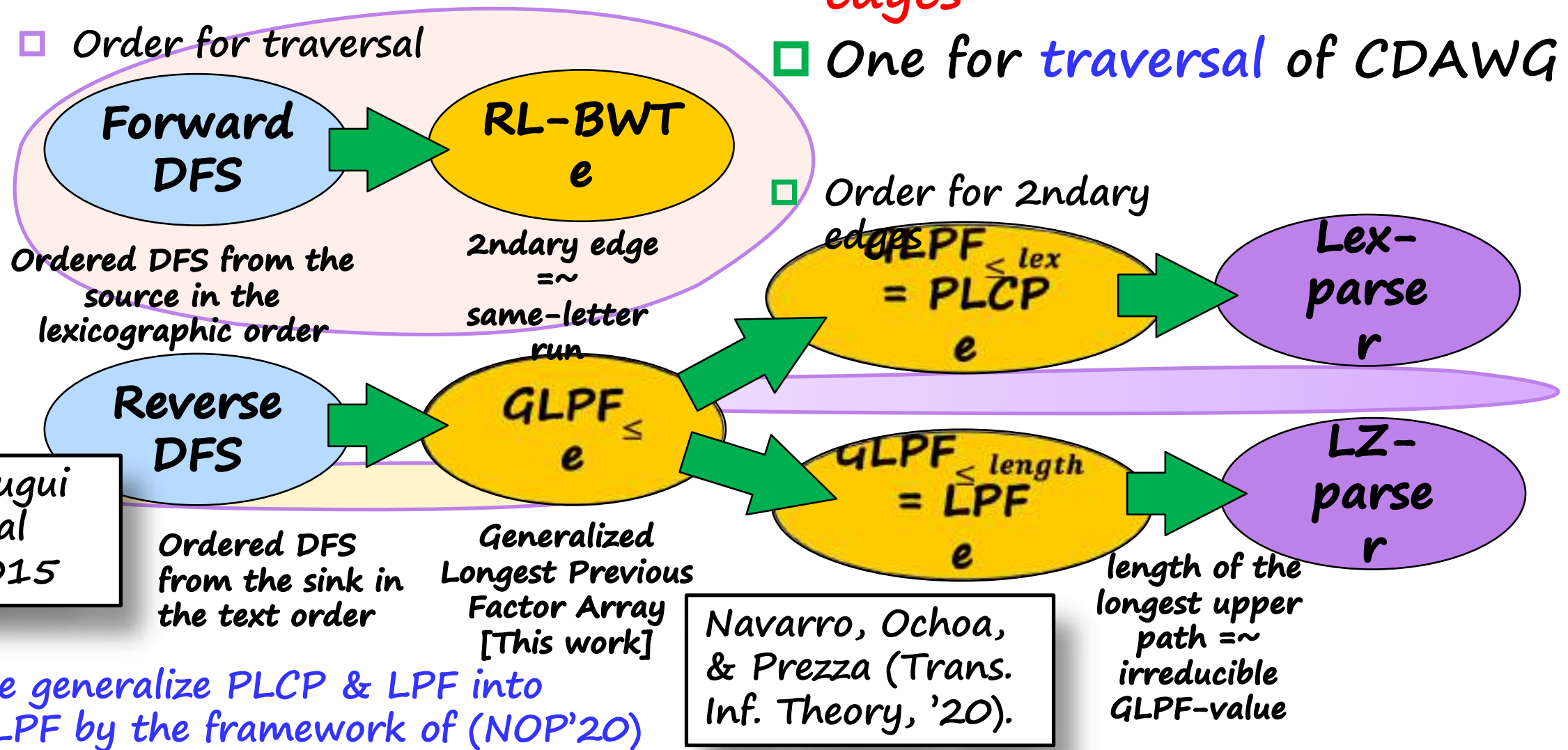
We devise efficient algorithms that solves the **conversion problem** from the **CDAWG** for a text T into various compressed indexes for T in linear time and space in the combined input/output sizes





- We use **two orders** of paths
 - Order for defining **2ndary edges**
 - One for **traversal** of CDAWG

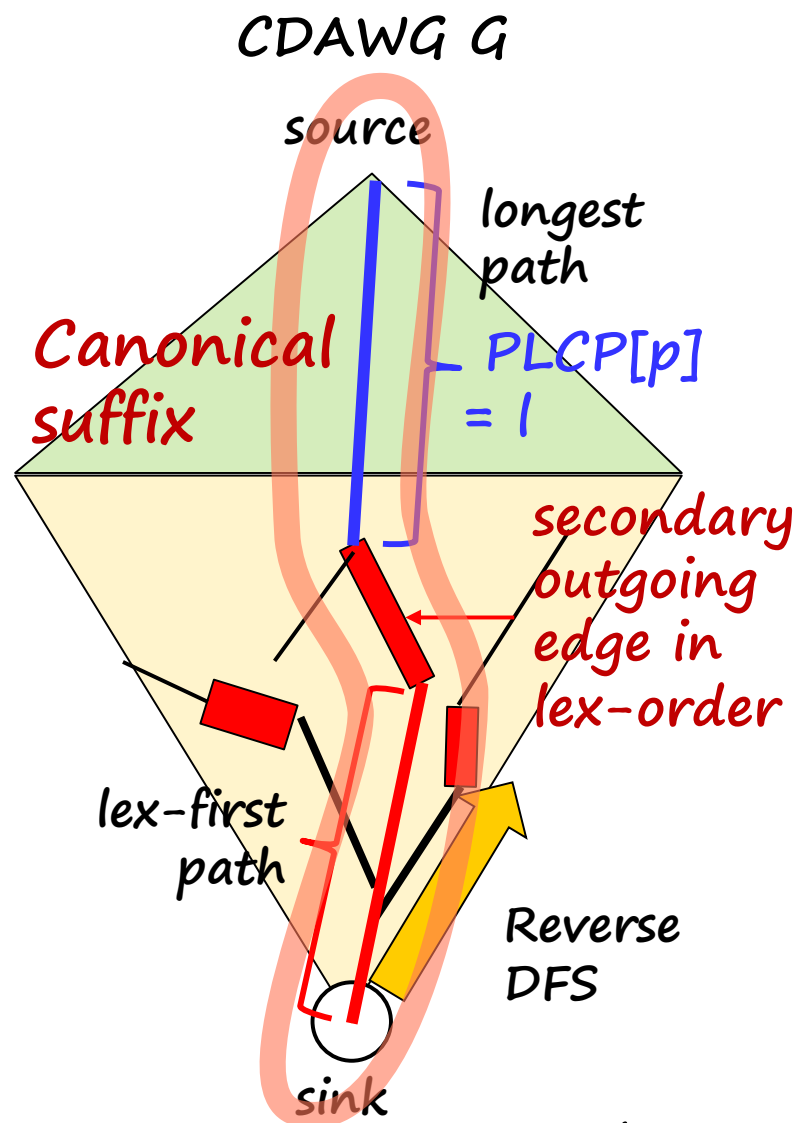
□ Order for traversal



Bellazougui & Cunial CPM2015

Navarro, Ochoa, & Prezza (Trans. Inf. Theory, '20).

- We generalize PLCP & LPF into GLPF by the framework of (NOP'20)



■ Observation A1: $O(e)$ secondary outgoing edge of $CDAWG(T)$ under the length-order determines the irreducible value $PLCP[p] = l$ by the length l of the longest path from the source to the corresponding branching node

■ Observation A2: $O(e)$ secondary outgoing edges can be enumerated in the text order of its "canonical suffix" by the reverse DFS from the sink.

We can extend the above result from PLCP to PLPF by employing the definition of 2ndary outgoing edges in length-order

自己紹介

氏名: 小林靖明 (こばやし やすあき)

所属・職位: 情報知識ネットワーク研究室・准教授

研究分野:

- ・ アルゴリズムと計算量の理論

研究スタイル:

- ・ (どちらかといえば) 理論より
- ・ 研究は楽しく, (自分に) 厳しく
- ・ わかるまで, 考えよう

小林の研究や研究指導について質問があれば

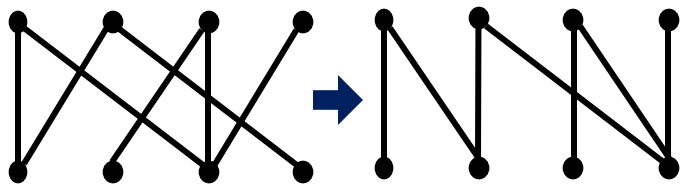
koba@ist.hokudai.ac.jp

へ連絡してください

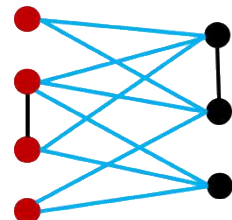
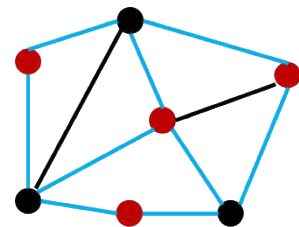


研究分野 (一覽)

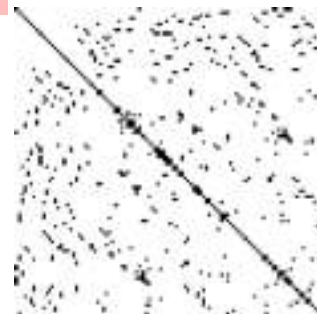
計算困難な問題に対する理論研究と応用



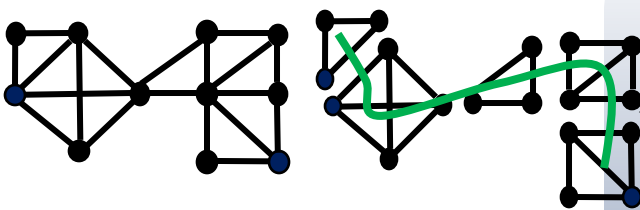
グラフの描画



疎グラフの最大カット

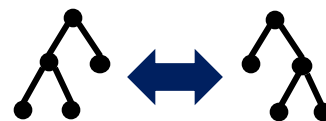


対称疎行列の掃き出し法
順序に関する実験的研究

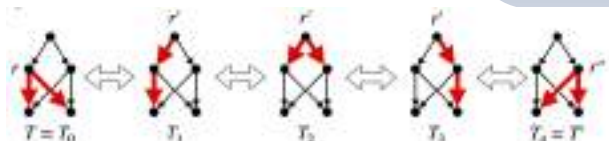


グラフの分解

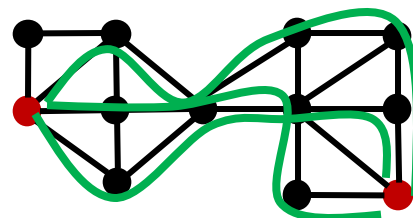
固定パラメータ容易性, 組合せ最適化, 近似アルゴリズム, 列挙アルゴリズム, 計算量理論, 離散数学, グラフ理論, 数理論理, (整数)線形計画法, etc. (+プログラミング)



木の中の距離を計算



マトロイド理論を用いた
組合せ遷移のアルゴリズム



「多様な解」を複数見つける

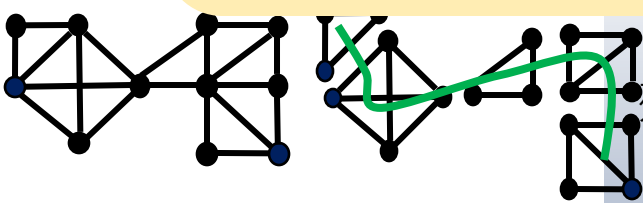
組合せ遷移(状態変化に対応するアルゴリズム)に関する研究

AI分野におけるアルゴリズム
の理論・実用研究

研究分野 (一覽)

計算困難な問題に対する理論研究と応用

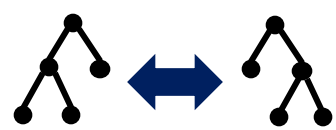
あるひとつテーマについて研究しているというよりも、
(問題を解くための) 新しい道具を作ったり、
既存の道具を拡張したりすることに興味があります



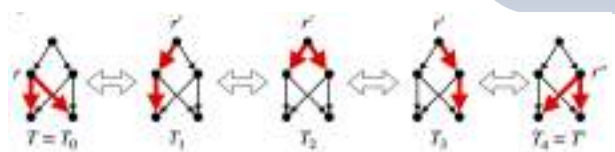
グラフの分解

最適化, 近似アルゴリズム,
列挙アルゴリズム, 計算量理論,
離散数学, グラフ理論, 数理論
理, (整数)線形計画法, etc.
(+プログラミング)

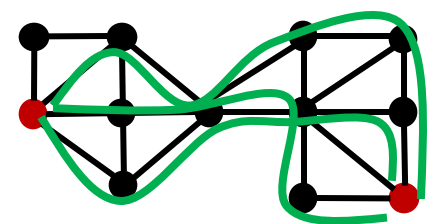
出し法
順序に関する夫的研究



木の中の距離を計算



マトロイド理論を用いた
組合せ遷移のアルゴリズム



「多様な解」を複数見つける

組合せ遷移(状態変化に対応するアルゴリズム)に関する研究

AI分野におけるアルゴリズム
の理論・実用研究

研究分野 (一覽)

計算困難な問題に対する理論研究と応用

あるひとつテーマについて研究しているというよりも、
(問題を解くための) 新しい道具を作ったり、
既存の道具を拡張したりすることに興味があります

最適化, 近似アルゴリズム,
列挙アルゴリズム, 計算量理論,
離散数学, ゲーム理論, 数理論

出し法
的研究

理論研究の魅力 (個人的意見)

既存の研究よりも (何らかの意味で) 優れ
ていることを 数学的に証明 できる!

マトロイド理論を用いた
組合せ遷移のアルゴリズム

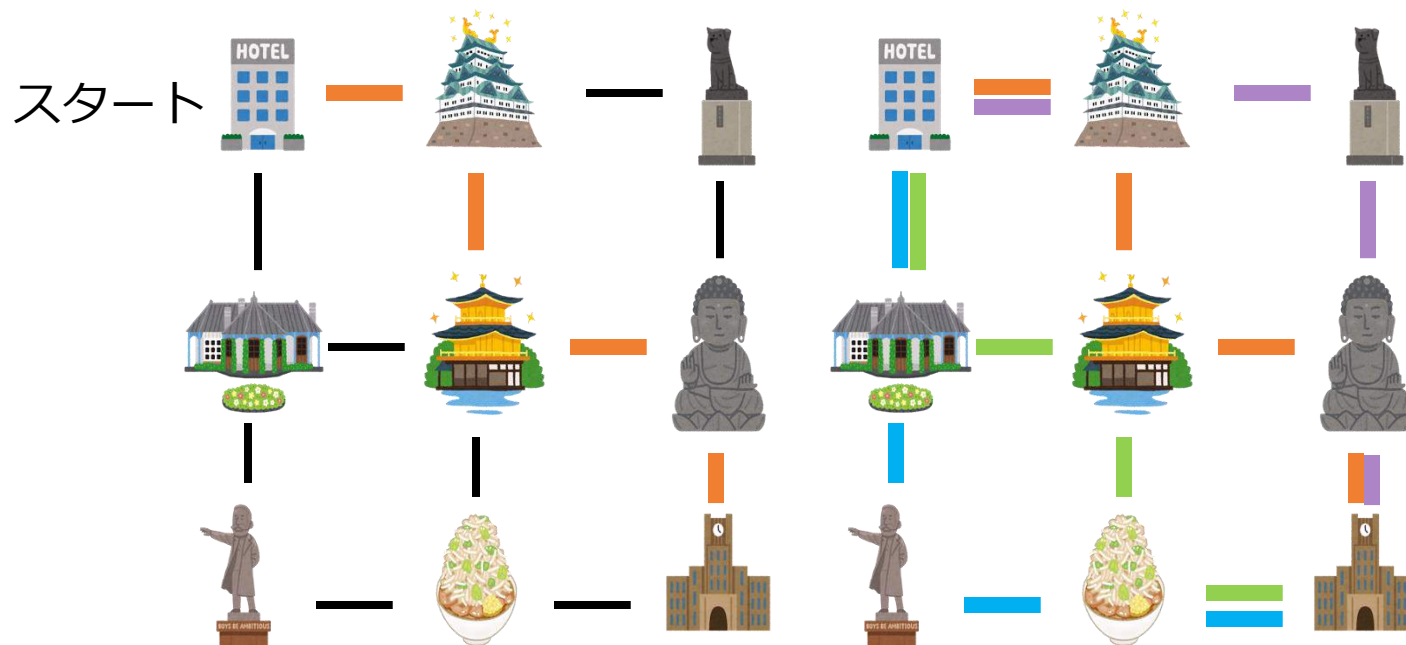
組合せ遷移(状態変化に対応するアルゴリズム)に関する研究

「多様な解」を複数見つける

AI分野におけるアルゴリズム
の理論・実用研究

学生の研究 その1 (修士)

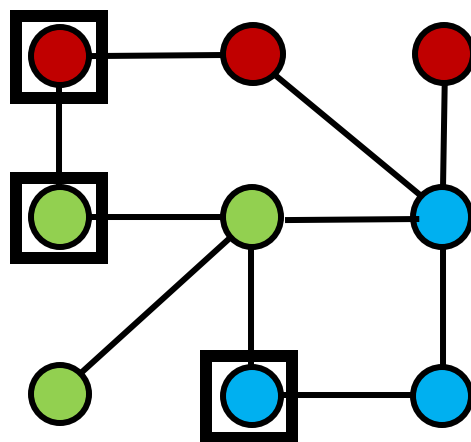
- ・ 始点と終点が指定された枝重み付き有向グラフの中から、 k 本の最短経路でできるだけ「遠い」ものを見つける



- ・ 「遠さ」を対ごとのハミング距離としたときに、その最小値の最大化問題に対して効率的なアルゴリズムを開発
 - <https://arxiv.org/abs/2402.14376>

学生の研究 その2 (学士)

- グラフの中からできるだけ少ない頂点を選んで、「羨み」の無い施設配置を行う



任意の頂点について、そこから選ばれた頂点の距離を考えたとき、最も近い頂点の中に同じ色の頂点が存在

- グラフが (n 頂点の) 木の場合 & 頂点が2色で塗られて居るときの $O(n^4)$ 時間アルゴリズム [Dey+, FCT 2021]
- それとは異なるアイデアを用いて(定数) k 色の場合でも実行可能な多項式時間アルゴリズムを開発
- 国際会議 WAAC 2023 で発表済み

研究の進め方

- 学生自身がやりたいテーマを考える
 - > 小林の専門と合えば指導できますが、そうじゃない場合は一緒に勉強していく (学生自身が主体的に研究を進める必要あり).
- テーマは与えてほしいが、研究の方向性は自分で決めたい
 - > アルゴリズムや計算量の理論研究ならば小林の専門なので、やりたいことの方向性に沿ってアドバイスすることはできます.
 - > そうじゃない場合でも、研究の方向性を一緒に勉強していきます.
- テーマを考えるのも、方向性を決めるのも思いつかない
 - > 主にグラフを対象としたアルゴリズムや計算量の理論研究のテーマをいくつか提示して、興味が惹かれるテーマに取り組んでももらいます.
 - > 自分で新たな課題を発見するという事は身につかないかもしれませんが、どのようなことが最先端の研究で行われていて、しっかり論理的に議論ができて、証明をかけるようになれば、立派な研究です.

研究の進め方

- 学生自身がやりたいテーマを考える

数学やプログラミングに優れている必要はありませんが、
数学を使った（英語の）論文をじっくり読んだり、
他者と数学的な議論をすることが要求されると思います。

この方向性に沿ってアドバイスすることはできます。

-> そうじゃない場合でも、研究の方向性を一緒に勉強していきます。

- テーマを考えるのも、方向性を決めるのも思いつかない

-> 主にグラフを対象としたアルゴリズムや計算量の理論研究のテーマをいくつか提示して、興味を惹かれるテーマに取り組んでももらいます。

-> 自分で新たな課題を発見することは身につかないかもしれませんが、どのようなことが最先端の研究で行われていて、しっかり論理的に議論ができて、証明をかけるようになれば、立派な研究です。

研究の進め方

- 学生自身がやりたいテーマを考える

数学やプログラミングに優れている必要はありませんが、
数学を使った（英語の）論文をじっくり読んだり、
他者と数学的な議論をすることが要求されると思います。

この方向性に沿ってアドバイスすることはできます。

-> そうじゃない場合でも、研究の方向性を一緒に勉強していく。

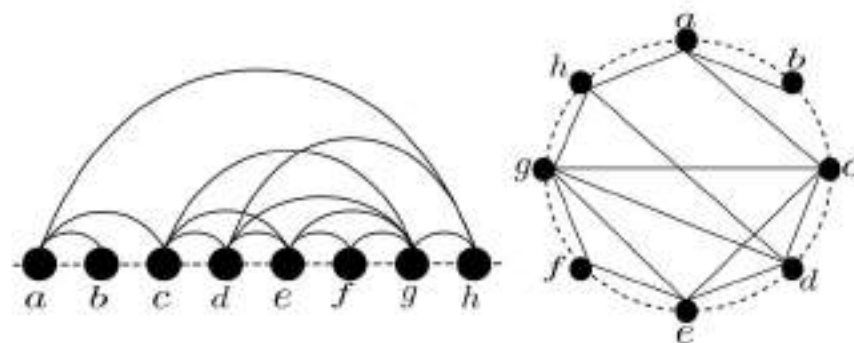
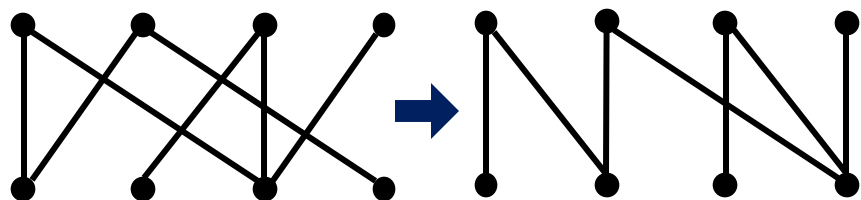
- テーマを考えるのも、方向性を決めるのも思いつかない
いろいろなことを勉強して「問題を解く」のが好きなので、
せっかくなのでその達成感を味わってほしいです。
そして、世界一の結果を出して、
国際会議で発表しましょう！

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

グラフの描画

- ・ グラフをできるだけ「見やすく」描画する
 - 「見やすさ」を「辺交差数が少ない」と定義
- ・ 一般には計算困難だが、最適な描画における辺の交差数が少ない場合に高速に動作するアルゴリズムを与えた

辺の交差が少ないほど見やすい



Yasuaki Kobayashi, Hisao Tamaki: A fast and simple subexponential fixed parameter algorithm for one-sided crossing minimization.

Algorithmica, 72(3), 778-790, 2015

Yasuaki Kobayashi, Hisao Tamaki: A faster fixed parameter algorithm for two-layer crossing minimization. **Information Processing Letters**, 116(9), 547-549, 2016.

Yasuaki Kobayashi, Hiromu Ohtsuka, Hisao Tamaki: An improved fixed-parameter algorithm for one-page crossing minimization.

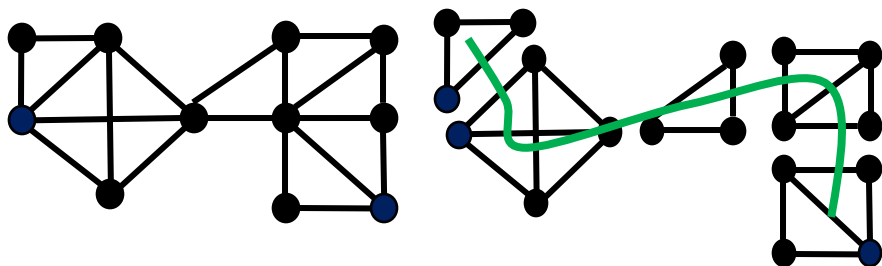
In Proc. of **IPEC 2017**, LIPICS, vol. 89, 25:1-25:12, 2017

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

グラフの分解

- ・ グラフを「うまく」分解すると様々な問題が効率良く解ける
- ・ そのような分解を見つけるアルゴリズムを与えた

グラフのパス分解の計算

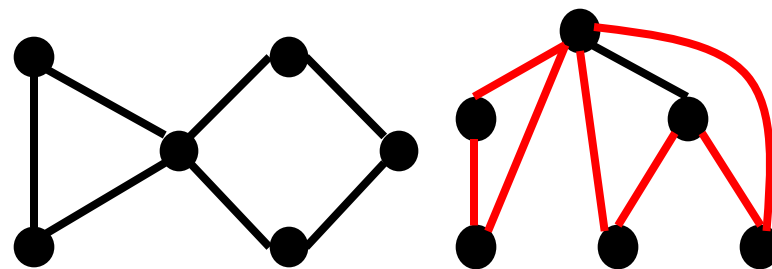


ZDDの変数順序の計算に応用

Kenta Kitsunai, Yasuaki Kobayashi, Keita Komuro, Hisao Tamaki, Toshihiro Tano: Computing directed pathwidth in $O(1.89^n)$ time. **Algorithmica**, 75(1), 138-157, 2016

小林靖明, 中畑裕: 線形枝幅を計算する厳密アルゴリズムとフロンティア法への応用. 人工知能学会 第110回SIGFPAI 2019

グラフの最適消去木の計算



Yasuaki Kobayashi, Hisao Tamaki: Treedepth parameterized by vertex cover number. In Proc. of **IPEC 2016**, LIPICs, vol. 63, 18:1-18:11, 2016

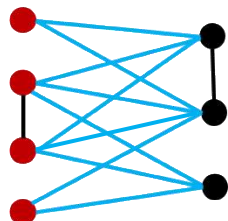
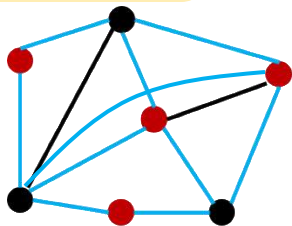
2012年に作ったアルゴリズム。
現在も世界で一番速い。

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

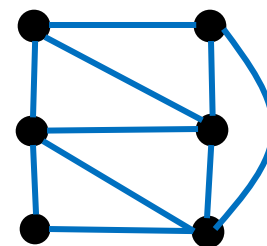
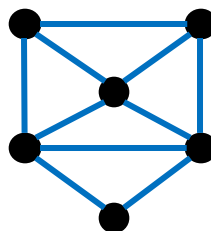
グラフの最大カット

- ・古典的な組合せ最適化問題である最大カット問題の研究
- ・一般的にはNP困難であることが知られている
- ・平面グラフ (平面に辺交差なしで描画可能なグラフ) に対する多項式時間を, 少交差グラフへ拡張することに成功

1970年代の
結果の拡張



少交差グラフの最大カット



最適2等分割

Yasuaki Kobayashi, Yusuke Kobayashi, Shuichi Miyazaki, Suguru Tamaki: An improved fixed-parameter algorithm for max-cut parameterized by crossing number. In Proc of **IWOCA 2019**, LNCS, vol. 11638, 327-338, 2019

Tesshu Hanaka, Yasuaki Kobayashi, Taiga Sone: A (probably) optimal algorithm for Bisection on bounded-treewidth graphs. **Theoretical Computer Science** 873, 38-46, 2021

(参考) 研究分野 (一覽) の詳細

NP困難な問題に対する実験的研究

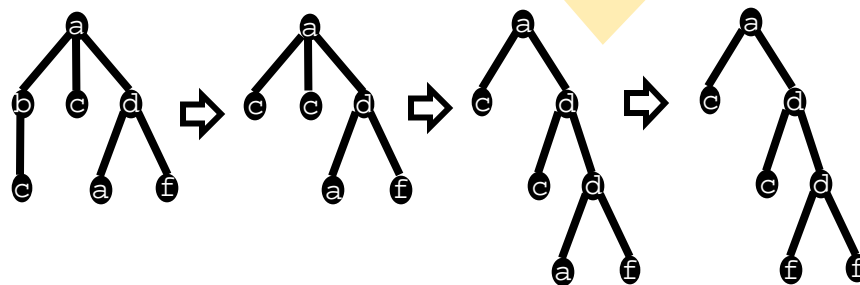
- ・ 対称行列の掃き出し法の最適順序を求めるアルゴリズム
- ・ 根付き木同士の編集距離を計算するアルゴリズム
 - 文字列では $O(n^2)$ 時間で計算できるが, (無順序) 木ではNP困難
 - 効率の良い整数計画法の定式化を提案

国際会議に併設されたプログラミングコンテストで優勝



対称疎行列の掃き出し法順序に関する実験的研究

整数計画法ソルバを使った研究



木の編集距離

小林靖明, 玉木久夫: 最小フィルイン問題に対する安全なセパレータ. 情報処理学会研究報告, 第164回アルゴリズム研究会, 京都, 2017

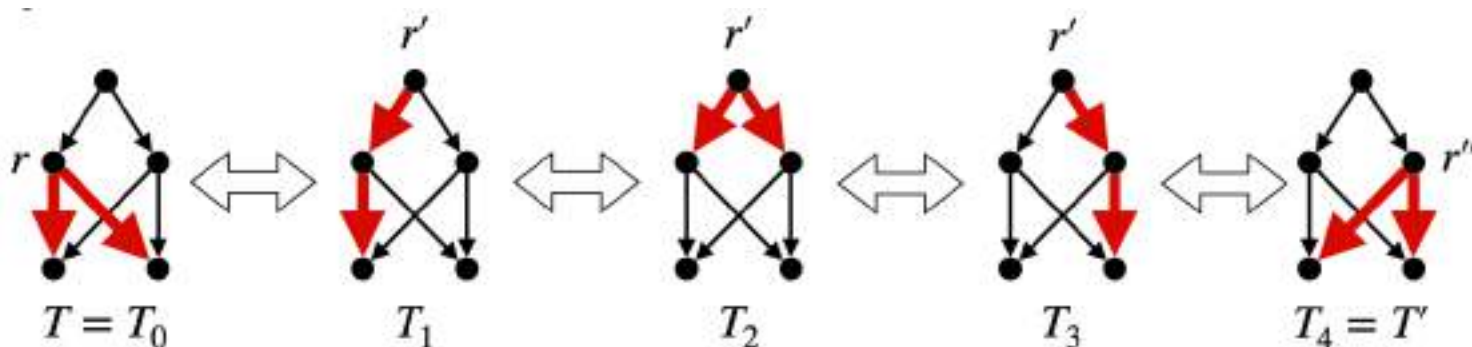
Eunpyeong Hong, Yasuaki Kobayashi, Akihiro Yamamoto: Improved Methods for Computing Distances between Unordered Trees Using Integer Programming. In Proc. of **COCOA 2017**, LNCS, vol. 10628, pp. 45-60, 2017

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

組合せ遷移問題の研究

- 与えられたふたつの「構造」を少しずつ変化させて「遷移」させるアルゴリズムと計算量の研究
- 一般的にはPSPACE完全問題となることが多いが、いくつかの問題に対して高速なアルゴリズム+を開発

マトロイド理論の技法を用いたアルゴリズム



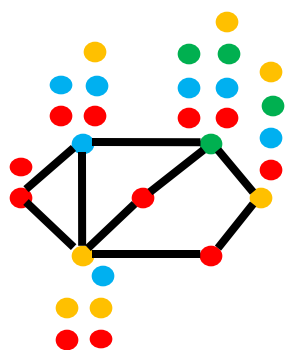
Takehiro Ito, Yuni Iwamasa, Yasuaki Kobayashi, Yu Nakahata, Yota Otachi, Kunihiro Wasa: Reconfiguring Directed Trees in a Digraph. In Proc. of **COCOON 2021**, LNCS, vol. 13025, pp. 343-354, 2021

Tesshu Hanaka, Yuni Iwamasa, Yasuaki Kobayashi, Yuto Okada, Rin Saito: Basis reconfiguration in the union of matroids. **ISAAC 2024**, accepted, 2024.

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

多様な解を見つけるアルゴリズム

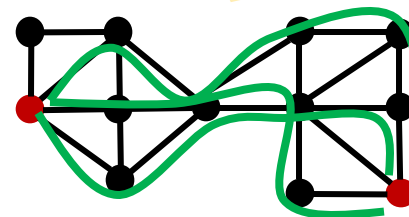
- 組合せ最適化問題において、ひとつの最適解を求めることは多項式時間で可能
 - 最短路問題: ダイクストラ法
 - 最小全域木: クラスカルのアルゴリズム
 - 2部グラフの最大マッチング: ホップクロフト・カープのアルゴリズム
- 複数の多様な解を求めるアルゴリズムを提案



Color-codingと呼ばれる技法を用いる

多様な解発見フレームワーク

Tesshu Hanaka, Yasuaki Kobayashi, Kazuhiro Kurita, Yota Otachi: Finding Diverse Trees, Paths, and More. In Proc. of **AAAI 2021**, 35(5), 3778-3786, 2021



最小費用流やマトロイドなどを使う

多様な最短路

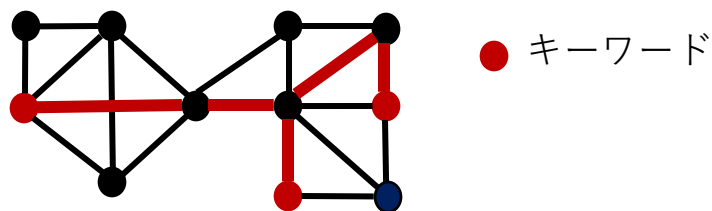
Tesshu Hanaka, Yasuaki Kobayashi, Kazuhiro Kurita, See Woo Lee, Yota Otachi: Computing Diverse Shortest Paths Efficiently: A Theoretical and Experimental Study. **AAAI 2022**, 36(4), 3758-3766, 2022

(参考) 研究分野 (一覧) の詳細

高速データベースクエリの研究

- ・ 何らかの形で表現されたデータに対して, ある性質を満たすものをすべて列挙するタスク
- ・ しらみつぶしにしらべれば簡単だけど, 意味のある実行時間で処理をするには列挙アルゴリズムの技術が重要

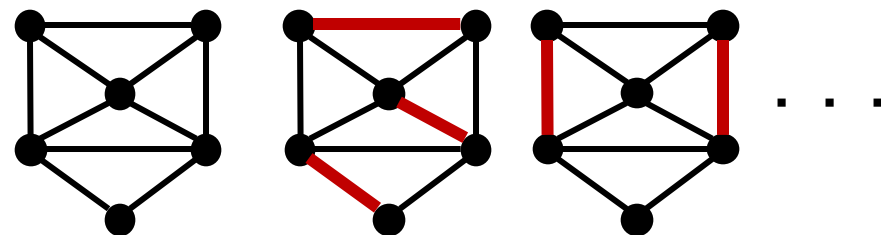
1970年代のアルゴリズム
を約50年ぶりに改良



グラフデータベースの
キーワードサーチ

Yasuaki Kobayashi, Kazuhiro Kurita, Kunihiro Wasa: Linear-delay enumeration for minimal Steiner problems. In Proc. of **PODS 2022**, 301-313, 2022

最適化と列挙アルゴリズムの融合

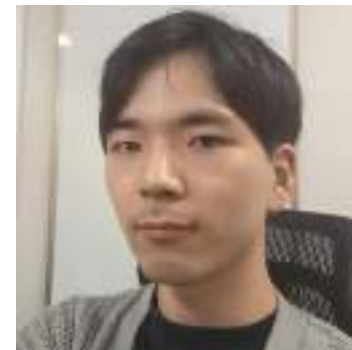


大きなマッチングの列挙

Yasuaki Kobayashi, Kazuhiro Kurita, Kunihiro Wasa: Polynomial-delay and polynomial-space enumeration of large maximal matchings. In Proc. WG 2022, LNCS, vol. 13453, 342-355, 2022.

自己紹介

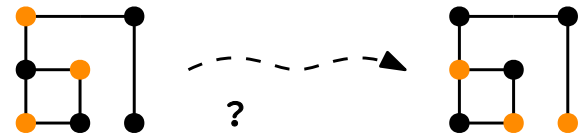
- 氏名：儀間 達也 (ぎま たつや)
- 所属：情報知識ネットワーク研究室 助教
- 学位：名古屋大学 博士 (情報学) (2024/3)
- 研究興味：
 - グラフアルゴリズム理論
 - 特に数理論理 (有限モデル理論) 的手法に興味があります



研究結果： 遷移問題のメタアルゴリズム

組合せ遷移問題：

「初期状態」を少しずつ変化させて
「目的状態」へと遷移させる問題



広範な問題群に適用可能なアルゴリズムを提案

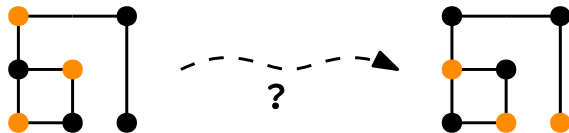
- 論理式による問題の定義から高速アルゴリズムの生成

「適切な状態」の定義

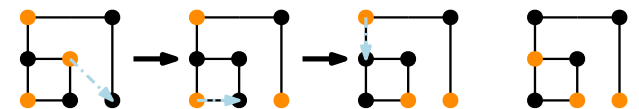
$$\exists X \forall u \forall v (E(u, v) \rightarrow (u \in X \vee v \in X))$$

提案
アルゴリズム

入力



解

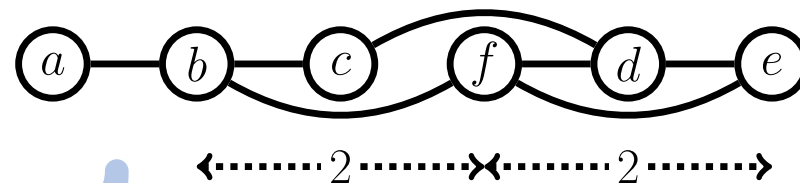
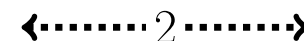
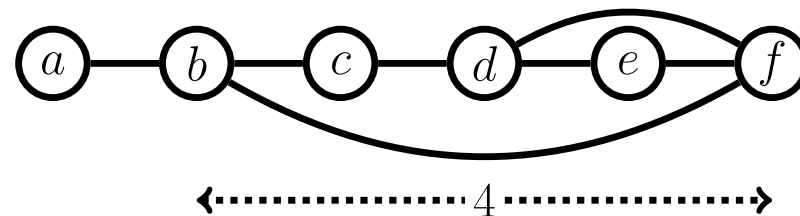


Tatsuya Gima, Takehiro Ito, Yasuaki Kobayashi, and Yota Otachi.

研究結果： バンド幅最小化問題

グラフを一直線に並べて
「辺の長さ」の最大を最小化

- 1950年代から考察されている古典的なNP困難問題



グラフ構造と「難しさ」の
関係性を（部分的に）解明



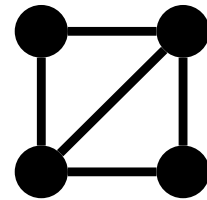
グラフ構造の階層と計算容易性の図示

博士課程時代： 修士学生と指導教員等との共同研究成果

グラフの行列表現の固有値と
グラフ構造の関係性を研究

グラフの木幅の新たな下界を導出

$$\text{tw}(G) \geq \frac{n\lambda_1}{\Delta + \lambda_1} - 1$$



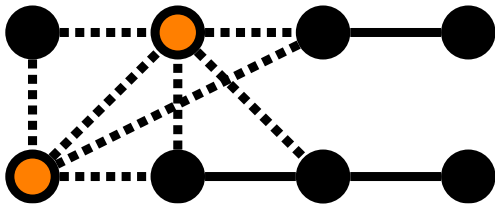
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

隣接行列

■ Tatsuya Gima, Tesshu Hanaka, Kohei Noro, Hiroataka Ono, and Yota Otachi.

On a spectral lower bound of treewidth.

IEICE Transactions on Information and Systems, E107.D Issue 3, pp. 328–330. 2024.



グラフ構造を利用した
高速なアルゴリズムの設計とその「限界」を示した

グラフの頂点インテグリティ数の計算

- グラフの「脆弱性」を測る指標
- 少ない点を消して、「バラバラ」にできるか？

■ Tatsuya Gima, Tesshu Hanaka, Yasuaki Kobayashi, Ryota Murai, Hiroataka Ono, and Yota Otachi.
Structural Parameterizations of Vertex Integrity. WALCOM 2024