

「フカシギの数え方」から広がる 知能情報処理アルゴリズム技術

湊 真一

北海道大学 情報科学研究科

自己紹介

■ 湊 真一 (みなと しんいち)

北海道大学 大学院 情報科学研究科 教授

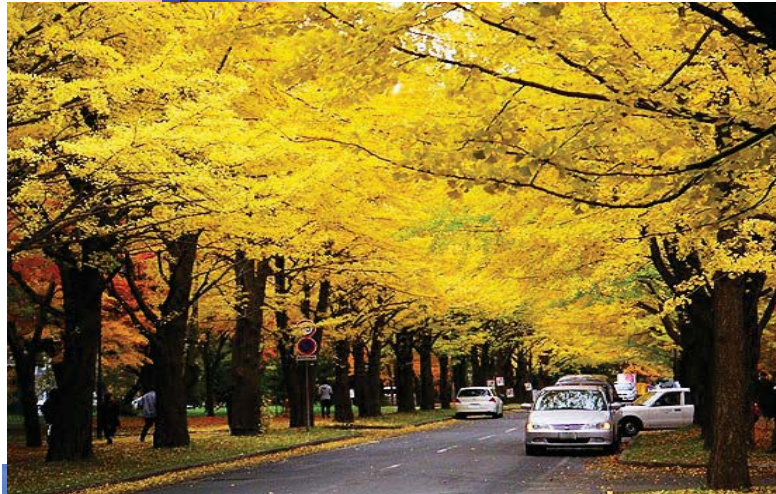
JST ERATOプロジェクト 研究総括(2009~2015)

- 石川県出身 金沢大学附属高校卒
- 1990年 京都大学 大学院 修士課程 修了
(1995年 博士(工学))
- 1990年~2004年 NTT研究所(厚木/横須賀) 研究員
- 1997年 米国スタンフォード大学 客員研究員(1年間)
- 2004年~ 北海道大学 情報科学研究科 助教授
- 2010年~ 同 教授

(北大に着任して12年目)



北海道大学@札幌



本講演の内容

- 「フカシギの数え方」とは
- ERATO離散構造処理系プロジェクト
 - 離散構造処理とBDD/ZDD技術
- 日本科学未来館での成果展示とその反響
 - 展示の目的と全体構成
 - アニメーション動画とその制作過程
 - 数え上げ世界記録
- 「フカシギの数え方」の知能情報処理への応用
 - 超高速グラフ列挙技術の実問題への適用例
 - アルゴリズム技術と人工知能に関する雑感



「フカシギの数え方」とは



JST ERATOプロジェクトの 研究成果展示 (日本科学未来館で開催)

展示作品の1つとして制作した
アニメーション動画がブレイク

YouTubeで
165万 ビューを突破



ERATOとは

■ JSTの戦略的創造研究推進事業

- さきがけ(牧場型)、CREST(八ヶ岳型)、**ERATO(富士山型)**

■ ERATOプロジェクトの特徴

- 新しい科学技術の源流を作るような研究を支援。
- 昭和56年発足。過去に約100プロジェクトを採択。
(科学技術の全分野で年4~5件)
- プロジェクト期間:5年半 研究費総額:10~15億円(テーマによる)
- メンバ規模:10~15人(人件費に依存)
- 研究総括に自由裁量を与え、分野・組織にとらわれずに機動的なプロジェクトを構成。
- 単なる助成金ではなく、JSTが主体的にプロジェクトを推進。
本務研究室とは別に独自のオフィスを設置。

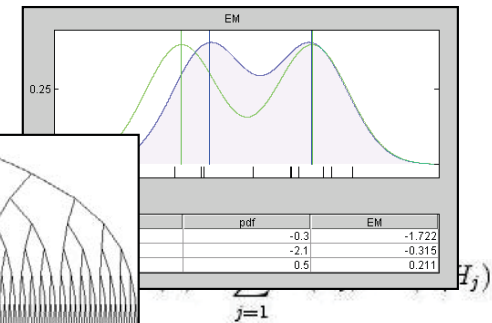
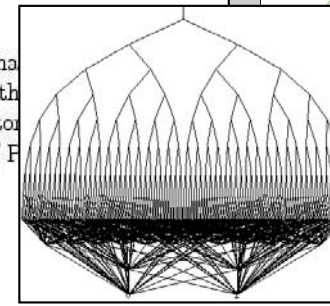
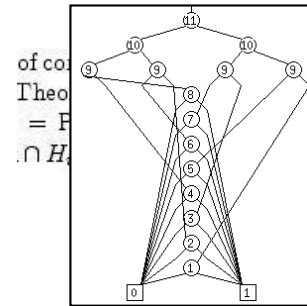


背景：離散構造とその処理

■ 離散構造とは

- **離散数学および計算機科学の基礎をなす数学的構造**
- 集合理論、記号論理、帰納的証明、グラフ理論、組合せ論、確率論などを含む

$$\Pr(H_i|A) = \frac{\Pr(A|H_i) \cdot \Pr(H_i)}{\sum_{j=1}^n \Pr(H_j) \cdot \Pr(A|H_j)}$$



probability, we may rewrite Bayes' $\Pr(H_i|A) = \frac{\Pr(A|H_i) \cdot \Pr(H_i)}{\Pr(A)}$

■ およそ計算機が扱うあらゆる問題は、単純な基本演算を要素とする離散構造の処理に帰着される。

- 最終的には、**膨大な数の場合分け処理**を要することが多い。

■ 離散構造の処理は、計算機の様々な応用分野に共通する基盤技術

- 典型的な応用分野： システム設計自動化、大規模システム故障解析、制約充足問題、データマイニングと知識発見、機械学習と自動分類、生命情報科学、web情報解析、etc.
- **現代情報化社会に対する波及効果は極めて大。**

ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト

- 様々な工学的応用を持つ基盤技術として「**離散構造処理系**」に着目し、研究開発を行う

システム設計自動化

データマイニングと知識発見

大規模システム故障解析

機械学習と自動分類

制約充足問題

生命情報科学

web情報解析

工学的応用

→ 社会への
影響大

性能向上
(10倍～
100倍以上)

離散構造処理系

本研究の
対象領域

集合論

記号論理

帰納的証明

組合せ論

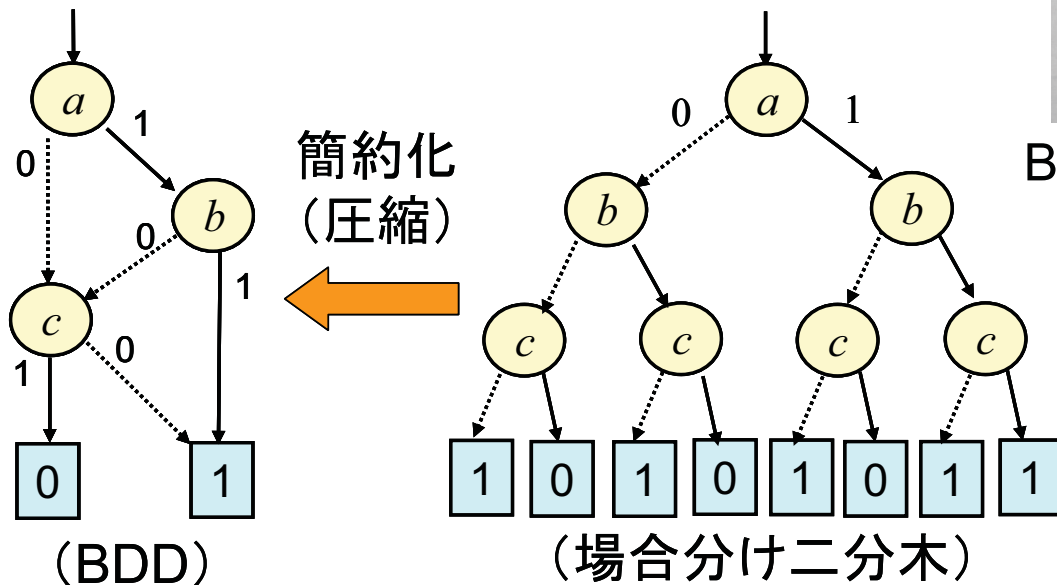
グラフ理論

確率論

数学的
概念構造

BDD(二分決定グラフ)

離散構造の最も基本的なモデルである「**論理関数**」の処理技法

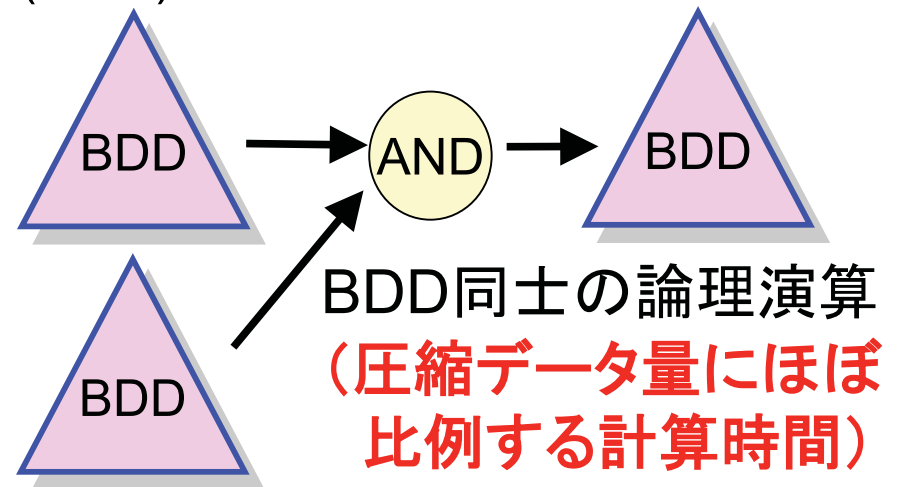


- ・ 場合分け二分木グラフを簡約化(データ圧縮)
- ・ **多くの実用的な論理データをコンパクトかつ一意に表現。**(数十～数百倍以上の圧縮率が得られる例も)



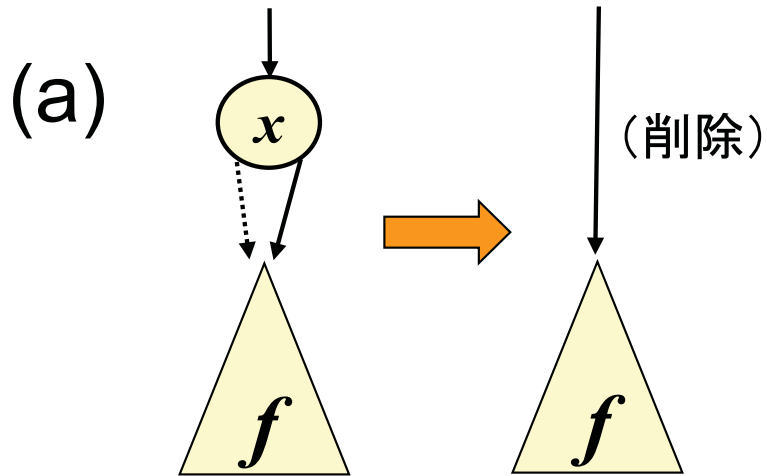
Bryant (CMU)

1986年に画期的なBDD演算(**Apply演算アルゴリズム**)を提案。以後急速にBDD技術が発達。(長期間、情報科学の全分野での最多引用文献となった)



近年のPC主記憶の大規模化により、BDDの適用範囲が拡大(特に2000年以降)

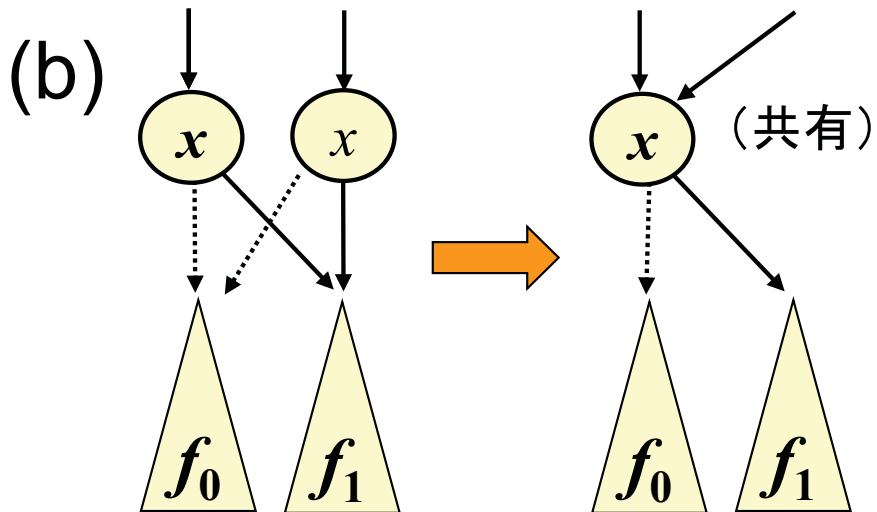
BDDの簡約化規則



(a) 冗長な節点を全て削除
(b) 等価な節点を全て共有

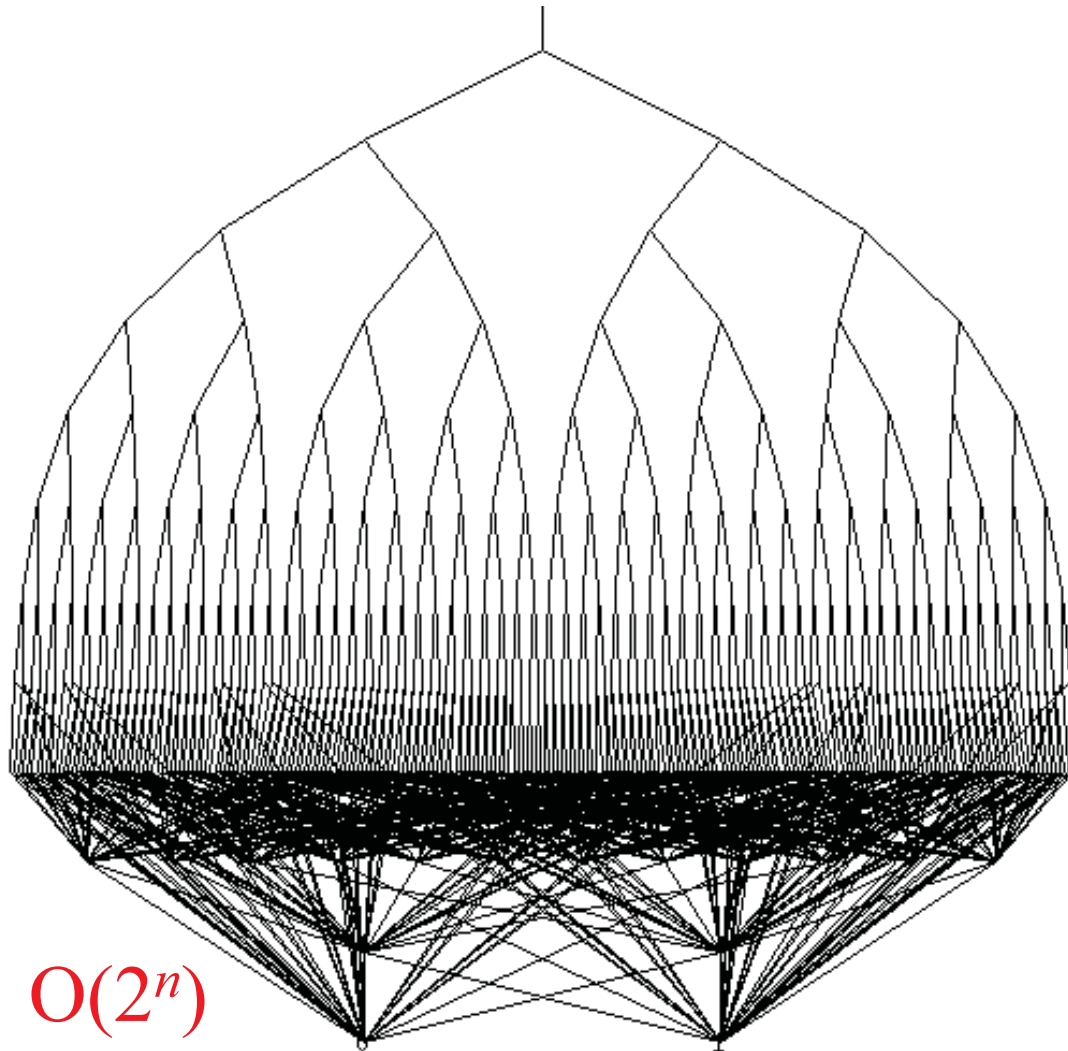


既約なBDDが得られる

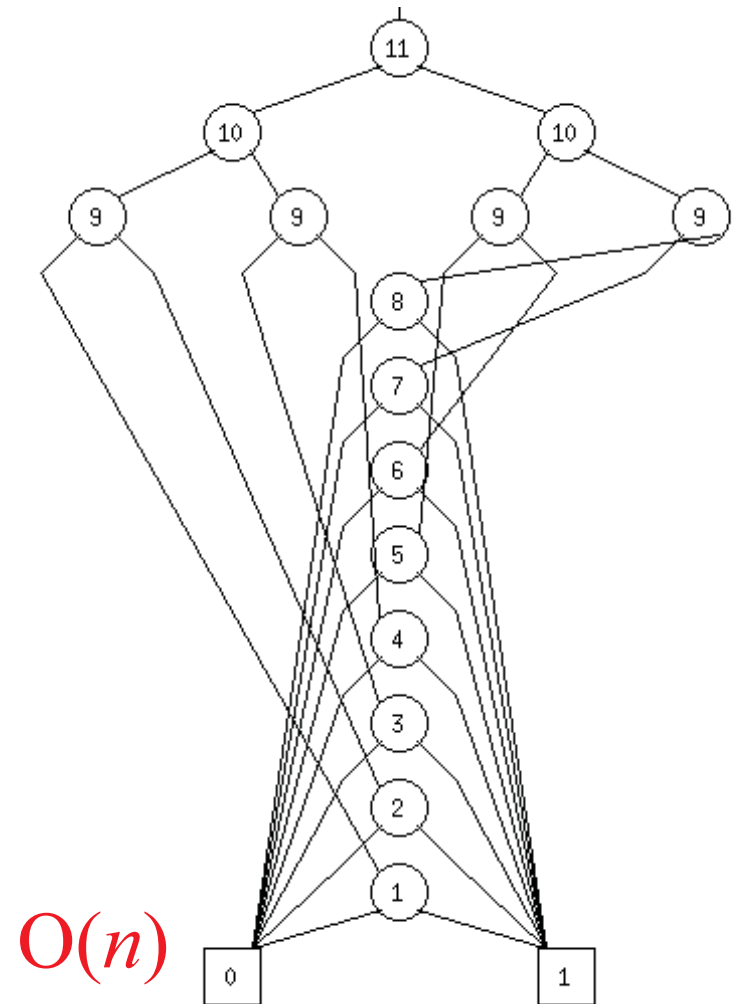


BDD簡約化の効果

- 特定の問題では、指数関数的な圧縮効果を得られる。
 - 例題に依存するが、多くの実用的な問題で効果がある。



$O(2^n)$



$O(n)$

論理関数と組合せ集合

a	b	c	F
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	1
0	0	1	1
1	0	1	1
0	1	1	0
1	1	1	0

論理関数:

$$F = (a b \sim c) \vee (\sim b c)$$

組合せ集合:

$$F = \{ab, ac, c\}$$



(買い物客の購入品)

→ ab

→ c

→ ac

■ 組合せ集合と論理関数の演算は対応関係がある。

- Union of sets → logical OR
- Intersection of sets → logical AND
- Complement set → logical NOT



ZDD(ゼロサプレス型BDD)による集合の表現

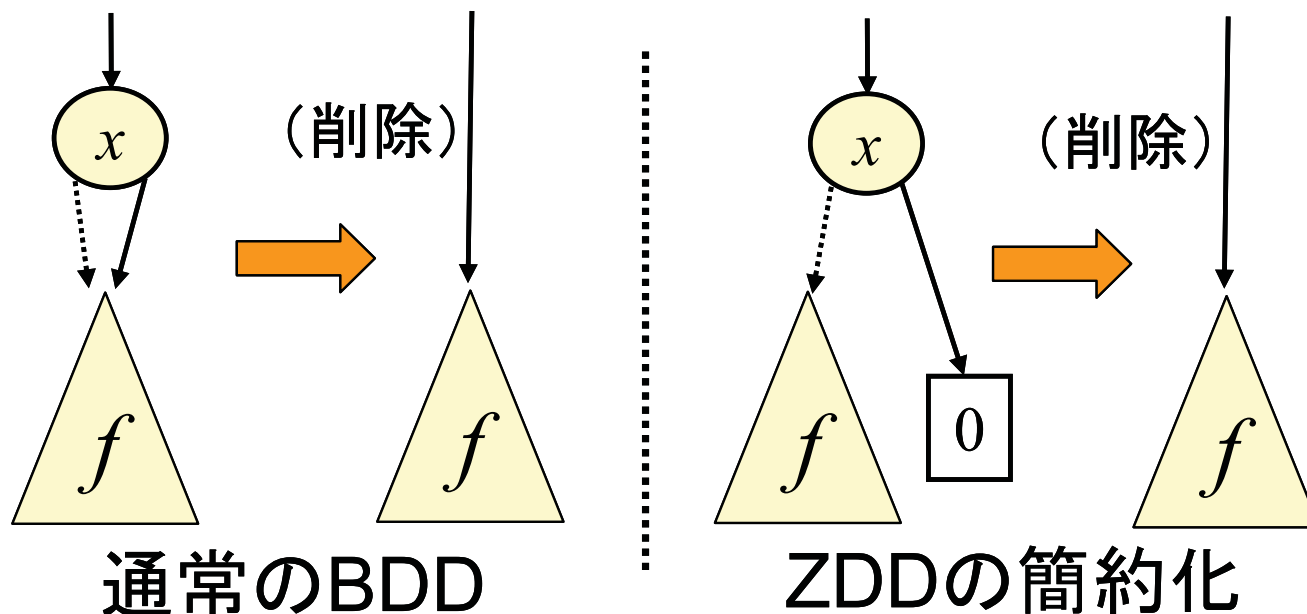
■ 「組合せ集合」を効率的に表現するためのBDDの改良

- 湊が世界で初めて考案し命名(1993年)

- 通常と異なる簡約化規則を考案。

- 疎な集合の族を扱う場合に著しい効果が得られる。

(例: 商店の陳列アイテム数に比べて1顧客の購入点数は極めて少ない。)



■ ZDDはBDDの改良技術として現在、世界的に広く使われている。

- 最近では、データマイニング分野に応用されて、画期的な有効性が示されている。(数百倍のデータ圧縮率・数十倍の処理高速化)
- グラフに関する種々の問題への応用(最大クリーク問題、彩色問題、カバー問題、超高速パス列挙、電力ネットワークの制御、避難所配置問題、他)

頻出アイテム集合の列挙への応用

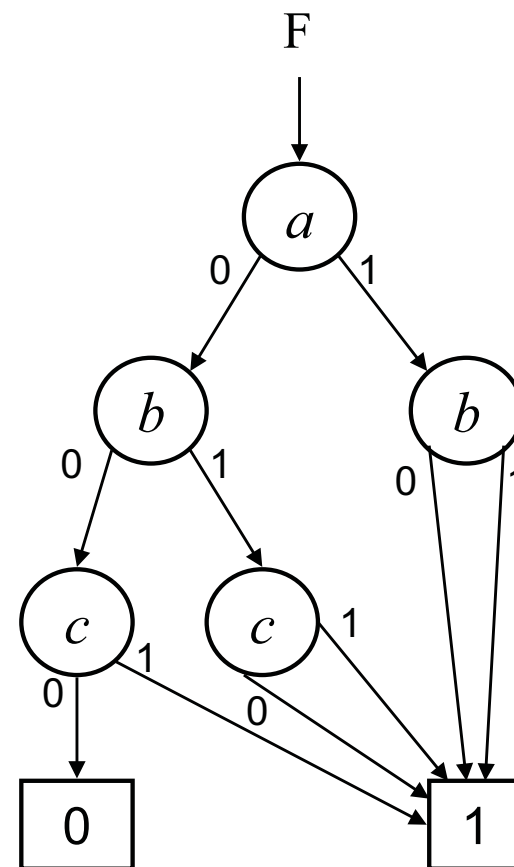
- 一定頻度以上のアイテム集合を列挙し、膨大なパターンをメモリ上に圧縮してZDDで表現し、そのポインタのみを返す。
 - 計算結果をファイルに出力しない。

レコード番号	アイテム集合
1	<i>a b c</i>
2	<i>a b</i>
3	<i>a b c</i>
4	<i>b c</i>
5	<i>a b</i>
6	<i>a b c</i>
7	<i>c</i>
8	<i>a b c</i>
9	<i>a b c</i>
10	<i>a b</i>
11	<i>b c</i>

(最小頻度 $\alpha = 7$)



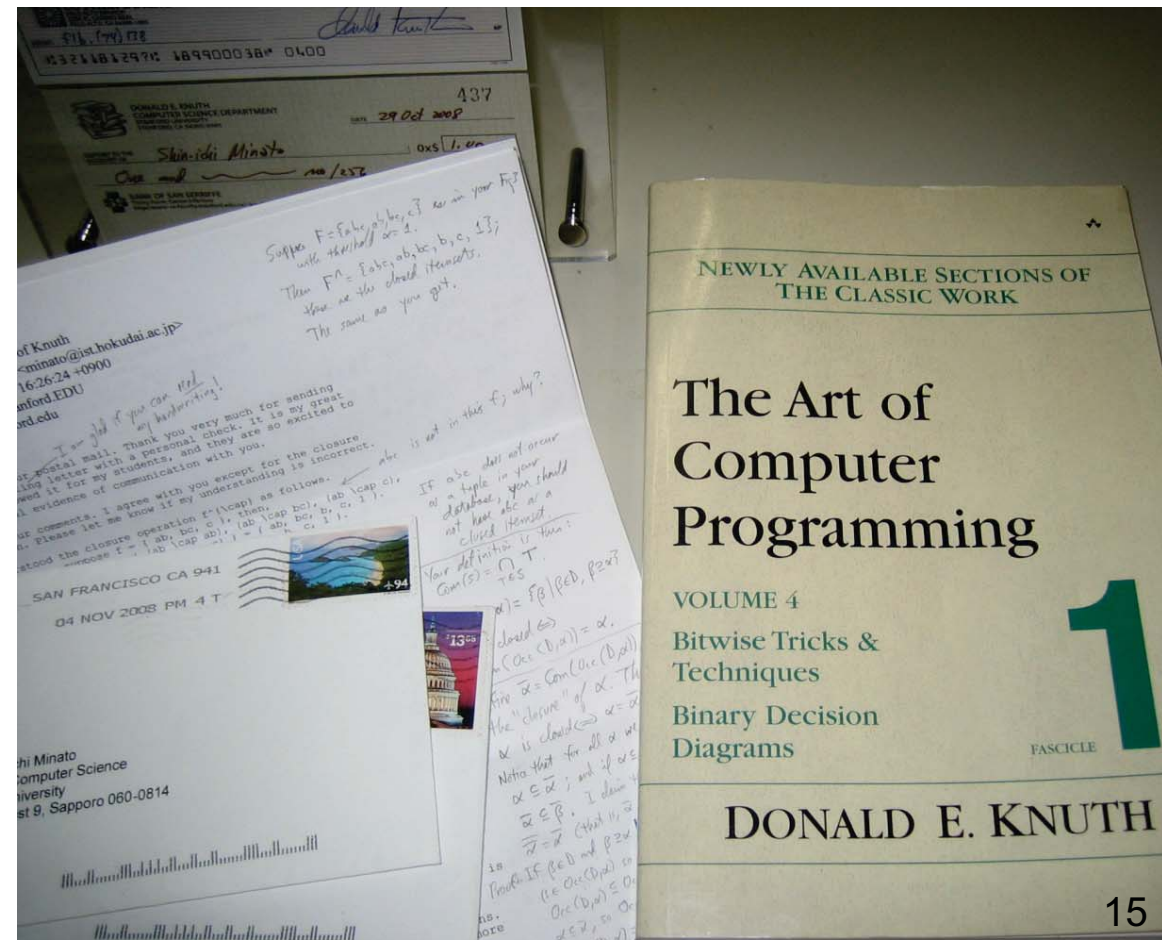
{ *ab, bc, a, b, c* }



Knuthの名著とBDD/ZDD

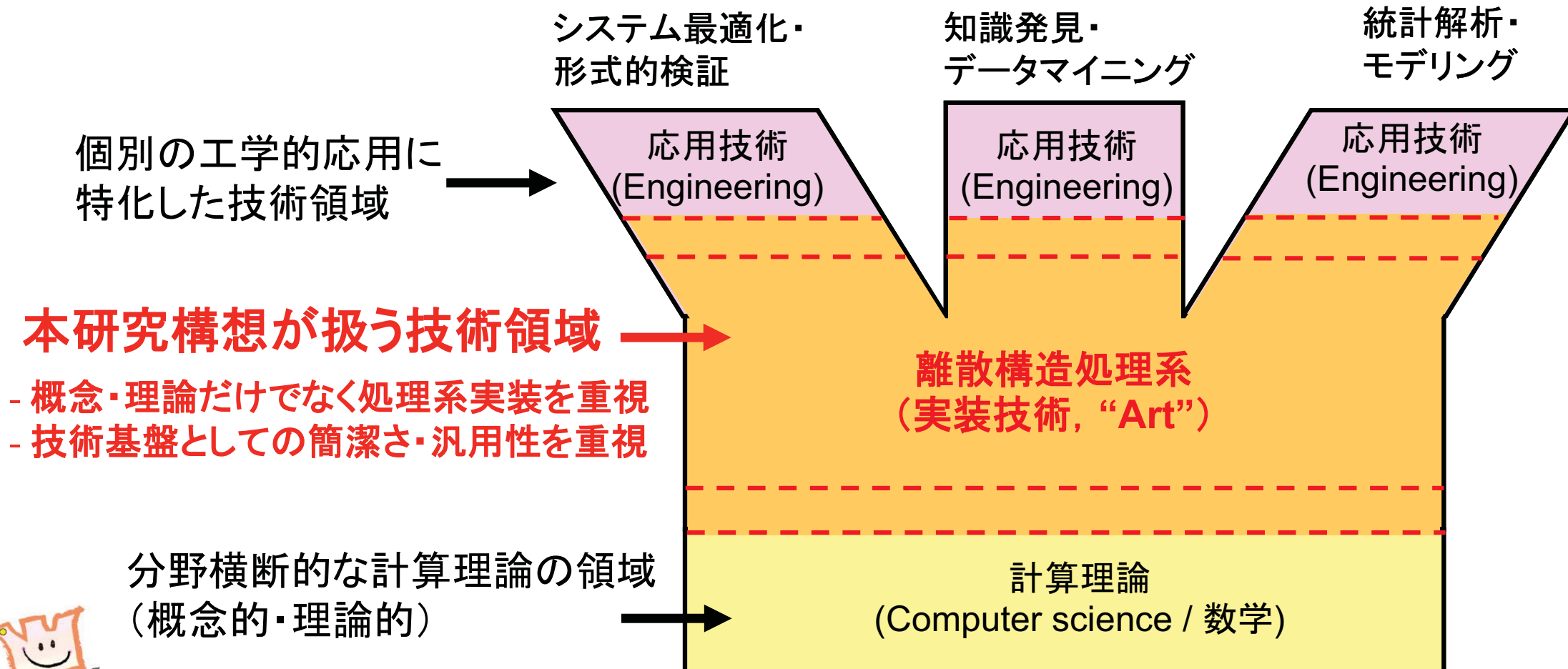


- Knuthの世界的名著「The Art of Computer Programming」の最新巻 (Vol.4, Fascicle 1, 2009) で、BDDが取り上げられ、その中でZDDが30ページ以上に渡り詳しく解説された。
- **日本人の研究成果が、このシリーズに項目として詳細に掲載されるのは初めて。**
- Knuth氏本人から、ZDD考案者として校正作業への協力を依頼する長文のメールと手紙を受領。
- 2010年5月には湊がKnuth邸を訪問し、プロジェクトの方向性について意見交換を行った。



本研究構想の対象領域

BDD/ZDD技術の新しい切り口として、様々な離散構造を**統合的に演算処理**する技法を体系化し、**分野横断的かつ大規模な実問題**を高速に処理するための技術基盤を構築する。

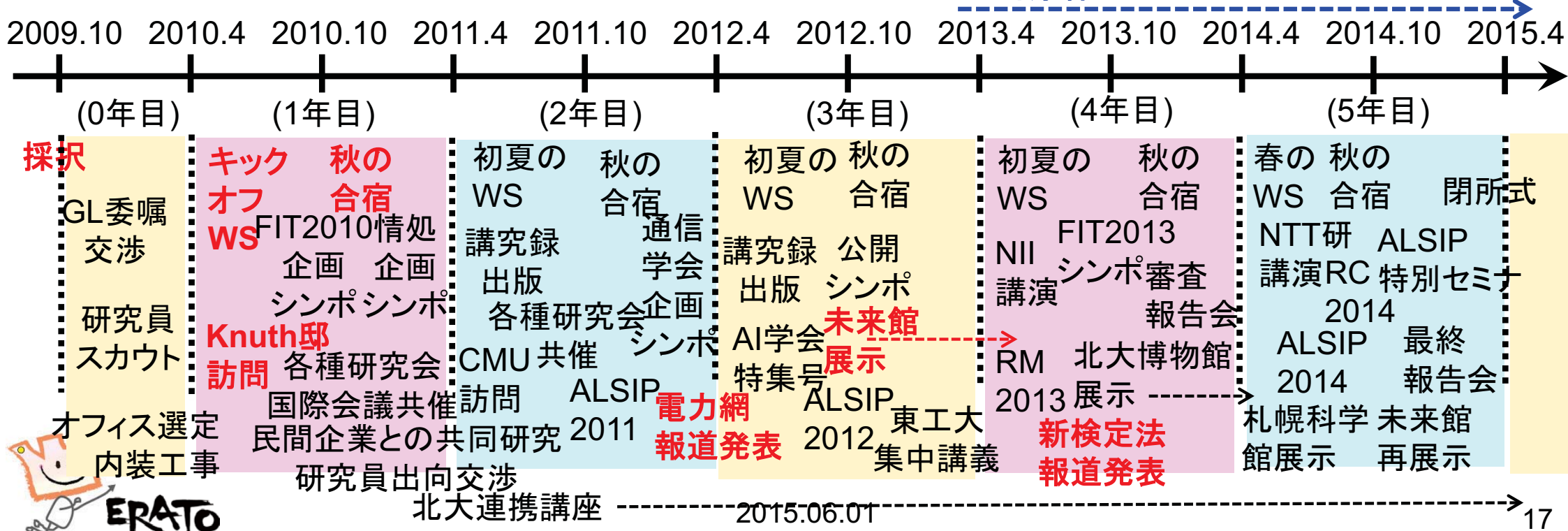


湊ERATOプロジェクトの活動経過

■ 昨年度までで5年間のプロジェクト期間を成功裏に終了

- 現在、1年間のERATO「特別重点期間」(後継フォローアップ期間)を実施中
- 今年度より科研費・基盤研究(S)の開始が内定
 - ・ 今後5年間に渡り、「Art層」の研究者が集まる「場」を継続して提供し、周辺の研究プロジェクトを支援

ビッグデータCREST/さきがけ
 新学術領域ELC(渡辺治代表)
 河原林ERATO



2015.06.01

本講演の内容

- 「フカシギの数え方」とは
- ERATO離散構造処理系プロジェクト
 - 離散構造処理とBDD/ZDD技術
- 日本科学未来館での成果展示とその反響
 - 展示の目的と全体構成
 - アニメーション動画とその制作過程
 - 数え上げ世界記録
- 「フカシギの数え方」の知能情報処理への応用
 - 超高速グラフ列挙技術の実問題への適用例
 - アルゴリズム技術と人工知能に関する雑感





日本科学未来館での成果展示

- 日本科学未来館(東京・お台場)で我々の研究プロジェクトの展示「**フカシギの数え方**」を開催
 - 2012年8月1日～2014年4月25日
 - 合計23万人が来場
 - 小中高生・一般市民向けに研究内容をわかりやすく展示
- 好評につき再展示
 - 北大総合博物館(2013/7～2014/4)
 - 札幌市青少年科学館(2014年春)



@ Laboratory for New Media (Miraikan), The 11th Exhibition
The Art of 10⁶⁴ - Understanding Vastness-

「フカシギの数え方」(Miraikan) 第11期展覧会

JST ERATO Mimatō Discrete Structure Manipulation System Project
JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト

の	フ
数	カ
え	シ
方	ギ

2012. 08 / 01 (wed.)
()
2013. 02 / 25 (mon.)

なぜ展示することになったか

■ 元々はJST本部からの紹介

- 日本科学未来館はJSTの組織。
- 2年前に、ERATO五十嵐プロジェクトで展示をした前例がある。
(五十嵐プロジェクトのときは「研究成果＝展示品」だったが、
アルゴリズム技術は実体がないので難しい)

■ 未来館スタッフにプロジェクト内容を紹介したところ、非常に興味を持ってもらえて、展示することに。

- 「組合せ爆発のすごさ」と、それに立ち向かう
「アルゴリズム研究者のワザ」を見せるというコンセプト
- 科学展示の主流は「宇宙地球科学」「生命科学」
「情報科学」は新しい分野なので展示技法も未発達
- 新しい展示手法を開発することは未来館のミッションの1つ

今回の展示の難しさと新しさ

- アルゴリズムという物理実体のない物をどう見せるか
 - 極めて簡単な問題を実際に解いてもらう
 - そのまま規模を大きくして行って指数爆発を実感させる
- 想像を絶するような、すさまじい数をどう実感させるか
 - ZDDを普通に画面表示したら真っ黒
 - 圧縮率は0.00000...00002 % (小数点の下に0が154個)
 - 数が大きいだけでなく計算時間がかかることを実感させたい
- これまでも大きな数の展示はあったが、単純な公式で表せて、机上で計算できる例しかなかった。
 - (例) 一休さんが将棋盤に米粒を置いてもらう話
- 今回は、実際に数え上げてみないとわからない問題で、那由他とか不可思議まで行く例を扱っている。(→画期的)
 - 2000年以降の計算機性能の進歩とアルゴリズム技術の組合せで初めて可能に。

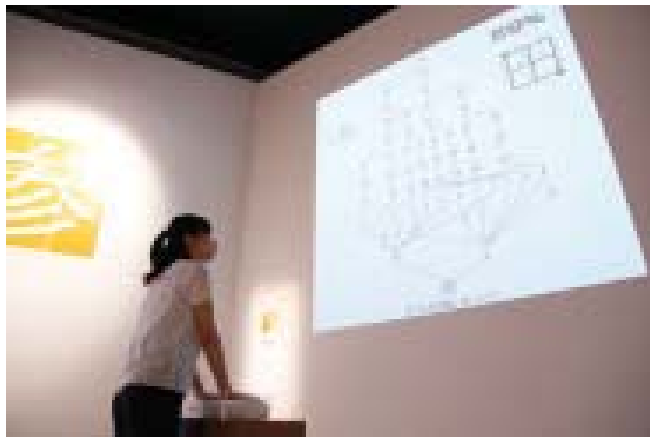
展示の工夫



インタラクティブ展示
(ペンでなぞってみる)



巨大な数表
(視野の広さで実感)



体感展示
(体重をかけて圧縮)



顔写真と説明文
(研究者が語りかける)

アニメーション動画の反響

- 「フカシギの数え方」で、本プロジェクトの企画・監修によるアニメーション動画を製作
- **YouTube再生回数が165万回以上**（ニコ動でも65万回以上）
 - サイエンス系コンテンツでは極めて異例の大ヒットに



アニメ制作に関する裏話

2015年1月に未来館で開催した
ERATO最終成果報告会(第2部)
「未来館を通じたアウトリーチ活動」
で詳しく紹介。

(おねえさん担当の声優さんが
特別ゲスト司会で出演)

- 当日の収録ビデオを
本プロジェクトのWebページ
(下記URL)で公開中。

<http://www-erato.ist.hokudai.ac.jp/concluding-symposium/>

JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト 最終成果報告会

日時 2015年1月24日(土) 13:00~17:30

(17:30~18:30 参加者交流会)

会場 日本科学未来館(東京・お台場)7階・未来館ホール

プログラム

13:00~ 第1部 「本プロジェクトの概要と主要な成果」

湊 真一(研究総括・北海道大学 教授)

津田宏治(グループリーダー・東京大学 教授)

鷲尾 隆(グループリーダー・大阪大学 教授)



14:15~ 第2部 「未来館を通じたアウトリーチ活動」

特別ゲスト司会: 三間はるな

(声優・「フカシギおねえさん」の声を担当)

- 未来館展示制作者・アニメ動画制作者による座談会
「フカシギの数え方」ができるまで
- アマチュアプログラマーとの協力と数え上げ世界記録
- オープンソフトウェア「Graphillion」のご紹介



15:45~ 第3部 「実問題への応用と今後の展望」

プロジェクトメンバ/共同研究者による成果報告

- 電力網の網羅的解析とスマートグリッド分野への応用
- 新統計検定法LAMPの開発とビッグデータ実験科学への応用
- BDD/ZDD技術の様々な実社会問題への応用
- 本プロジェクトから育った若手研究者のご紹介
- 関連する今後の大型研究プロジェクトのご紹介
- プログラムオフィサーからのメッセージ

無料・茶話会形式)



聴講無料(準備の都合上、参加登録をお願いします)

参加登録はこちら

<http://www-erato.ist.hokudai.ac.jp/concluding-symposium/>

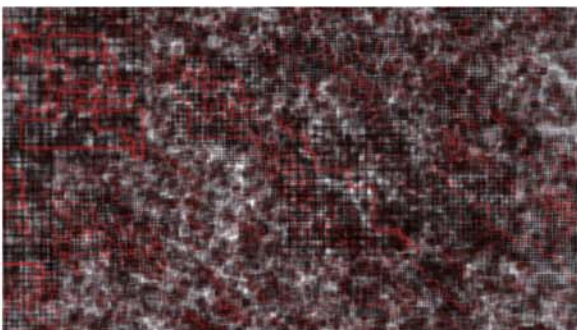
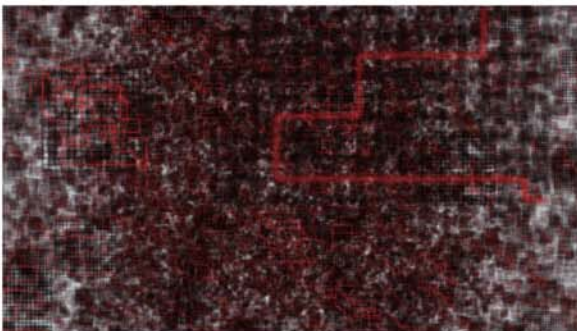
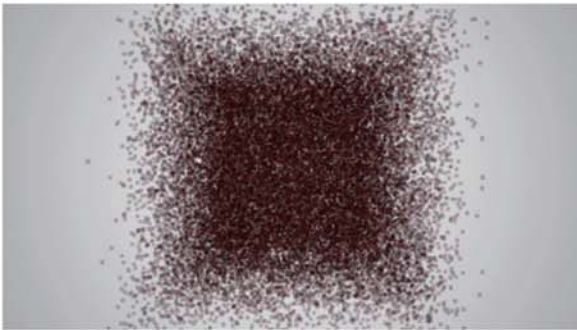
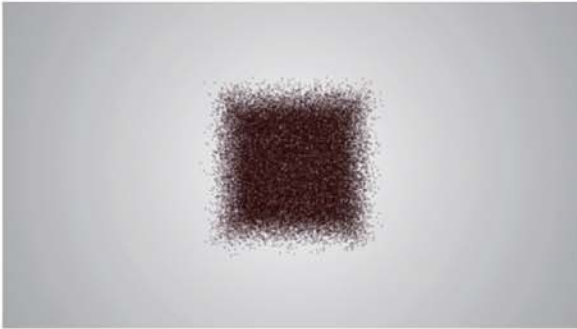
お問合せ: 011-728-8270 (技術参事 白井)



同会場にて連続開催:

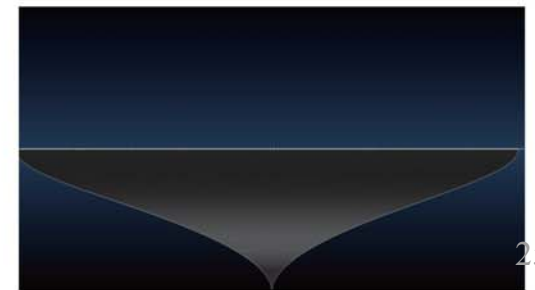
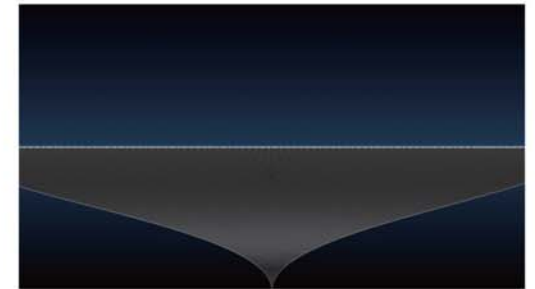
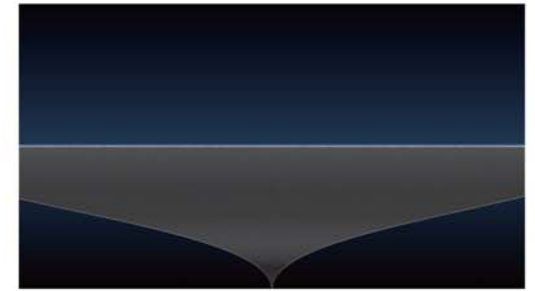
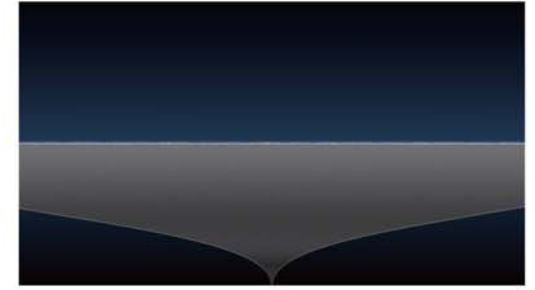
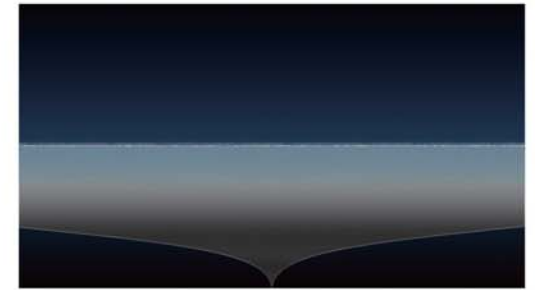
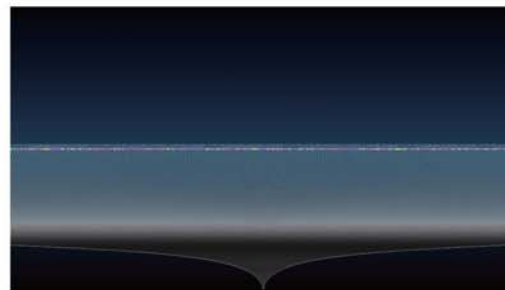
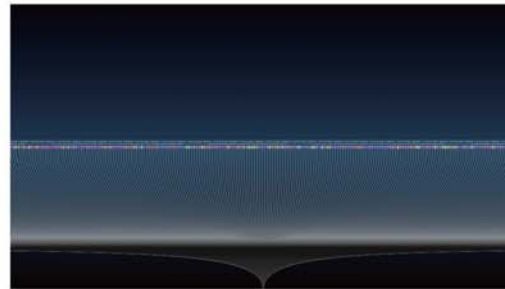
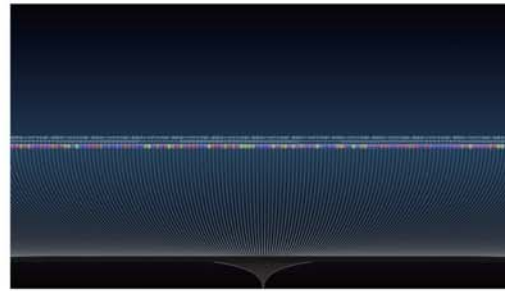
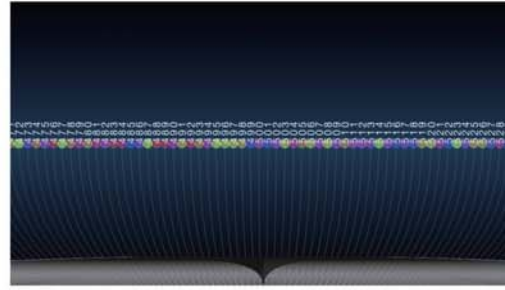
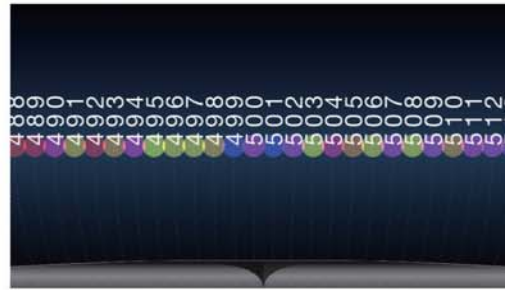
ERATO 河原林/湊プロジェクト
合同ワークショップ

visualize 01



2015.06.01

visualize 02



(教育番組風?)



1 2

2 12

3 184

4 8512

5 1262816

6 575780564

7 789360053252

8 3266598486981642

9 41044208702632496804

10 1568758030464750013214100

11 182413291514248049241470885236

12 64528039343270018963357185158482118

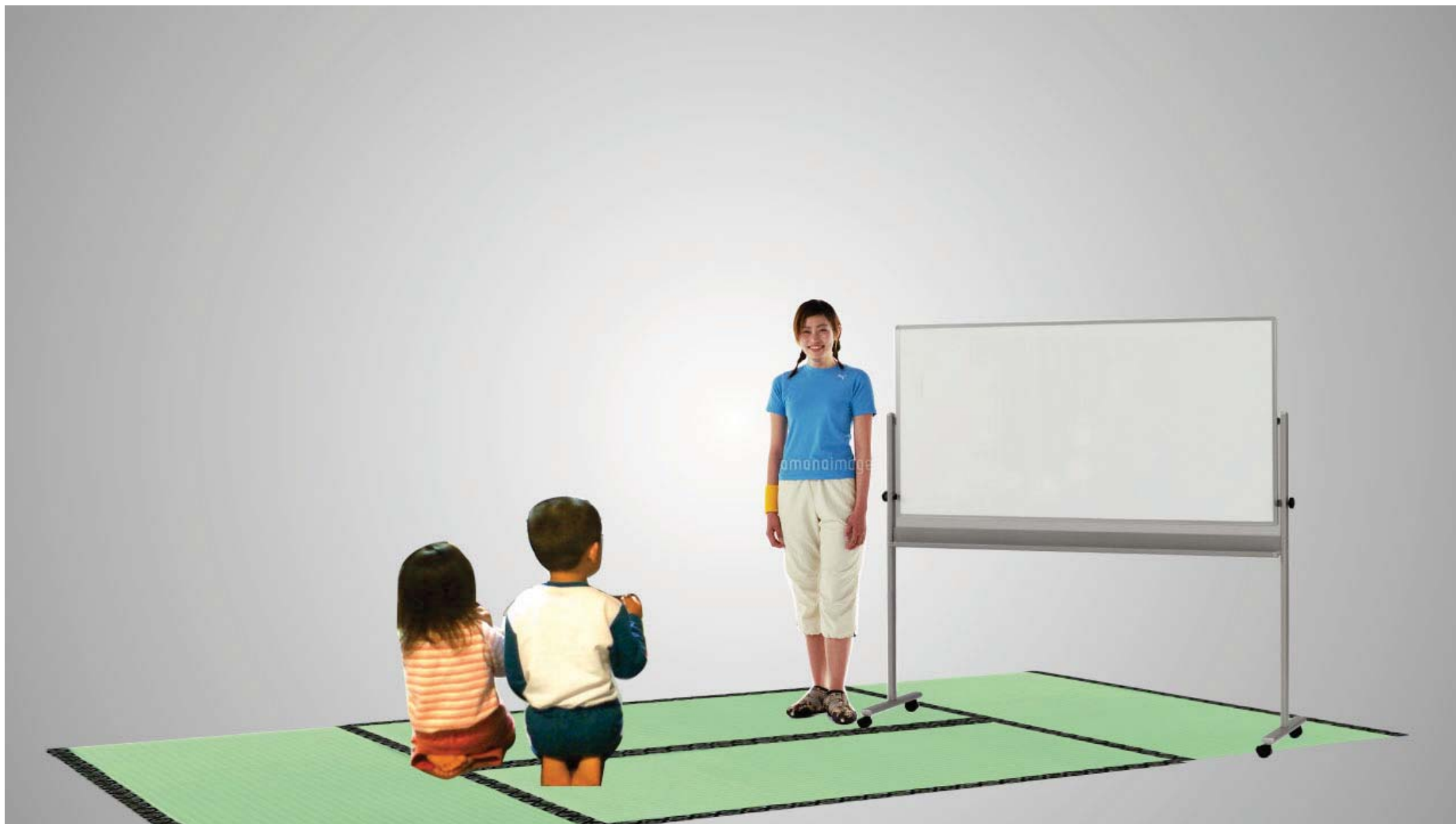
13 69450664761521361664274701548907358996488

14 227449714676812739631826459327989863387613323440

15 2266745568862672746374567396713098934866324885408319028

16 68745445609149931587631563132489232824587945968099457285419306

(実写版のイメージ)





絵コンテ

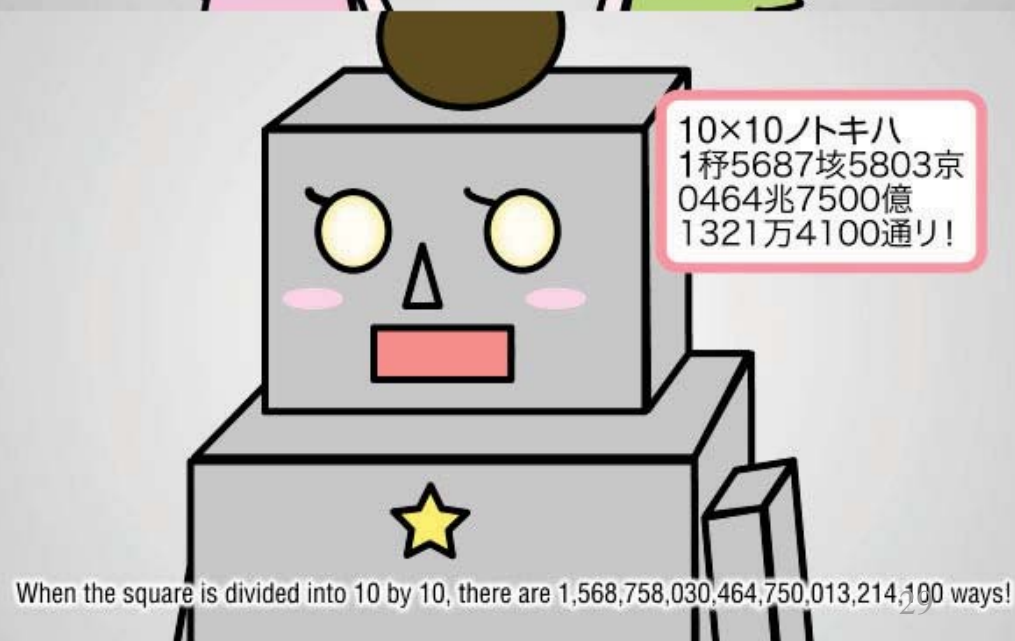


仮ナレーション版

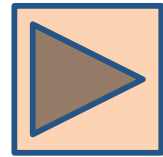


声優ナレーション版

声優さん（三間はるなさん）1人4役



(BGM・音響効果)

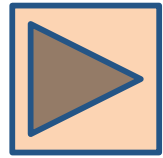


BGMなし版



完成版

解の表示方法の工夫



ランダム表示の演出



ランダム解表示プログラム



開発者：
川原 純 ERATO研究員
(現在：奈良先端大 助教)

展示公開のスケジュール

2012年7月31日 展示内覧会

8月1日 「フカシギの数え方」 展示開始
(数え上げ動画のみ展示)

8月25日 ERATO公開シンポジウム
(おねえさんの動画を追加投入)

9月8日頃 動画をYouTubeで公開

9月10日午後～ ネット上で急激に拡散

おねえさんの動画の大ブレイク

- 9月10日朝 はてなブックマークに書く人が出現
10時頃～ ツイッター等で拡散が始まる
15時頃 ニコニコ動画に無断転載される
- 9月11日朝 一晩で4万回再生される
昼頃 YouTubeの国内トップページに掲載
夕方 ネット系ニュースで速報される
- 9月12日 JST本部に連絡・関係者に注意喚起
はてなブックマーク数が600を超える
- 9月14日 ニコ動・24時間ランキング総合首位
- 9月17日 1週間でYouTubeで80万回再生
海外からのコメントが増え始める
- 9月19日 ニコ動・週間総合首位を記録

MiraikanChannel

登録済み

ホーム **動画** 再生リスト チャンネル フリートーク 概要

アップロード済み

人気の動画 グリッド



「フカシギの教え方」おねえさんといっしょ！ みんなで教え...
 視聴回数 1,609,931回 • 2年前
 CC



「フカシギの教え方」同じところを2度通らない道順の数
 視聴回数 205,971回 • 2年前



常設展示「アナグラのうた ～消えた博士と残された装置～」
 視聴回数 26,020回 • 3年前



常設展示「アナグラのうた」寺田克也氏による壁画ライブペイン...
 視聴回数 23,862回 • 2年前



企画展「トイレ？ 行ットイレ！ ～ボクらのうんちと地球のみ...」
 視聴回数 18,829回 • 6か月前



「整腸ラップ - SAY! Cho-oh Rap」
 視聴回数 13,870回 • 6か月前



日本科学未来館 展示案内-
 視聴回数 7,524回 • 2年前



企画展「世界の終わりのものがたり～もはや逃れられない73...」
 視聴回数 7,118回 • 2年前



サイエンティストトーク「3.11の地震はまだ終わっていない」
 視聴回数 6,482回 • 2年前



サイエンティストトーク「ヒッグス粒子で探る宇宙の始まり...」
 視聴回数 6,619回 • 1年前



宇宙から見た地球 / Earth



企画展「THE 世界一展 ～極め



新型ASIMOを用いた自律型説



3.11後の日本科学未来館～震



オバマ大統領スピーチ

MW2013: Museums and the Web 2013

The annual conference of Museums and the Web | April 17-20, 2013 | Portland, OR, USA



[About](#) [News](#) [Attending](#) [Exhibiting](#) [Conference](#) [People](#) [Publications](#)

A Case Study on Producing Million-Viewed Video in Museum Channel

Demonstration

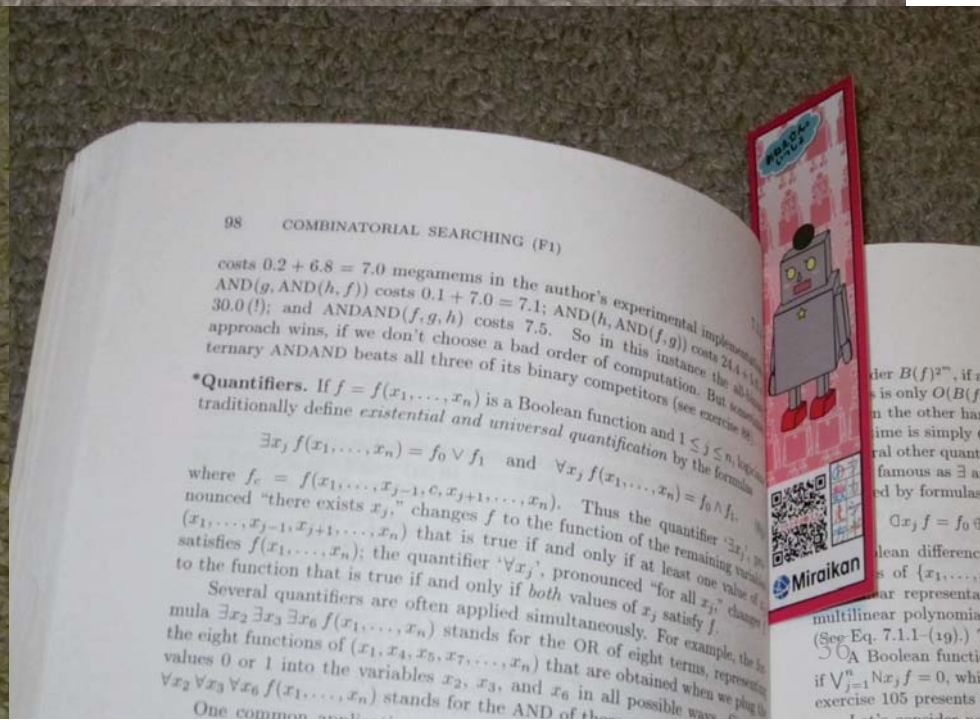
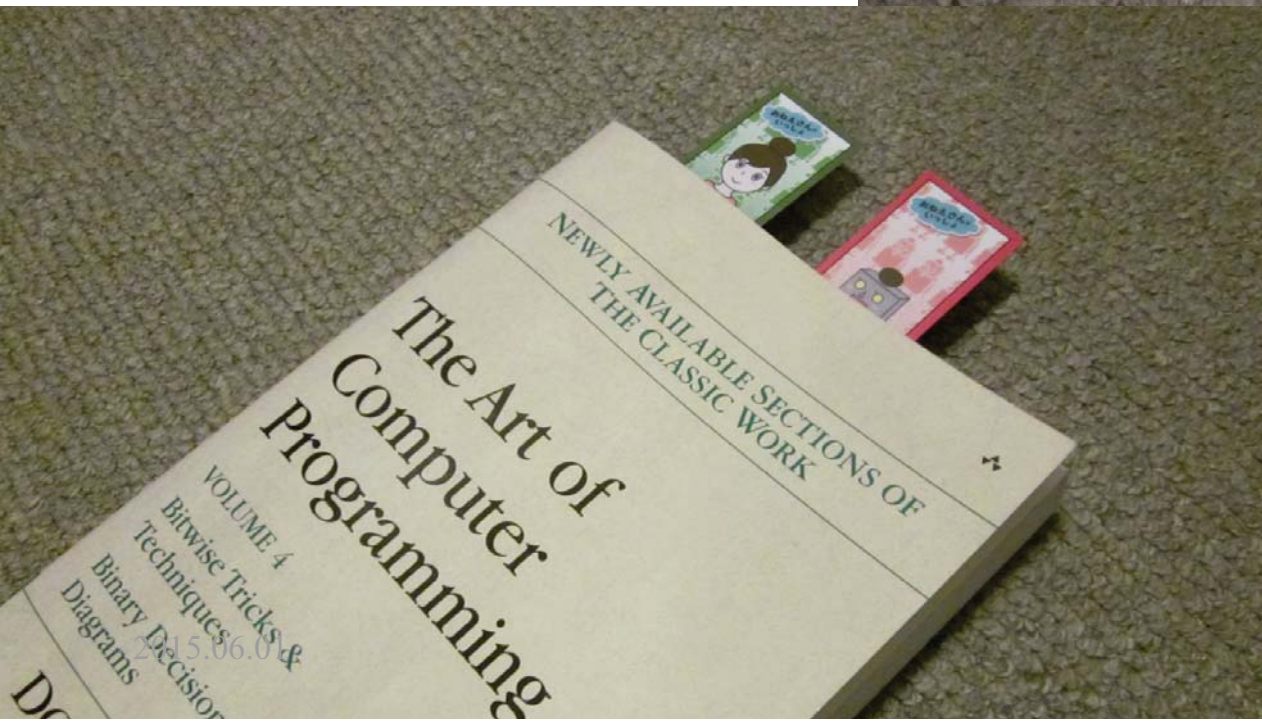
[Shin'ichiro SUZUKI](#), Japan , [Shin-ichi Minato](#), Japan

2015.06.01

REGISTER

LOGIN

おねえさんの しおり (QRコードつき)



(おねえさんステッカー)

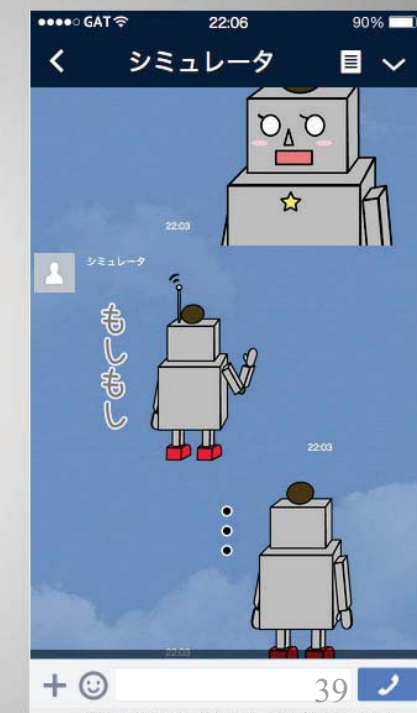
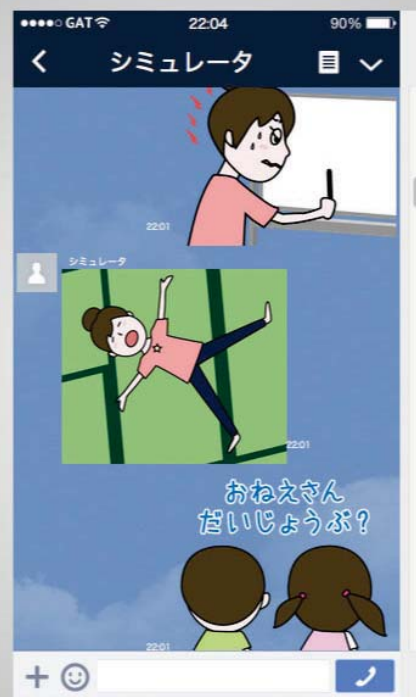


(折り絵パズル)



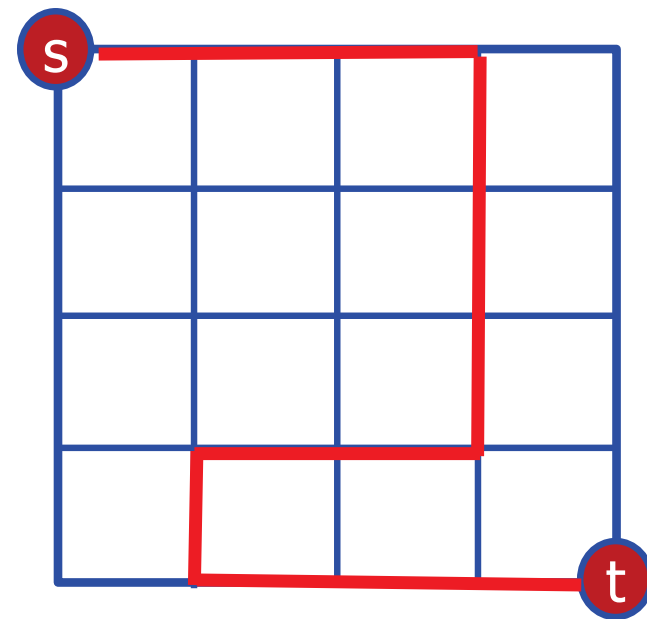
(折り合わせの例)

おねえさんの LINEスタンプ案 (準備中)



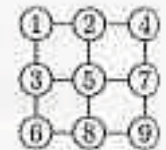
“self-avoiding walks”の数え上げについて

- 最短経路の数え上げは簡単
($\rightarrow {}_{2n}C_n$; 高校で習う問題)
- 最短でない経路を許すと突然難しくなる。
(計算式や漸化式は見つかっていない)
 - おねえさんが25万年かかった結果がアニメの中に表示されているため、「計算式教えて」というコメント多数。
 - 残念ながら計算式は知られていない。効率良く数え上げるしかない。

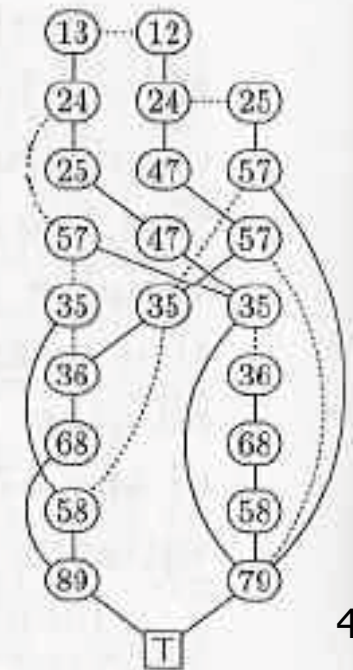


Knuthの教科書の記述

We can also use ZDDs to represent simple paths in an *undirected* graph. For example, there are 12 ways to go from the upper left corner of a 3×3 grid to the lower right corner, without visiting any point twice:



These paths can be represented by the ZDD shown at the right, which characterizes all sets of suitable edges. For example, we get the first path by taking the HI branches at (13), (36), (68), and (89) of the ZDD. (As in Fig. 28, this diagram has been simplified by omitting all of the uninteresting LO branches that merely go to \perp .) Of course this ZDD isn't a truly great way to represent (132), because that family of paths has only 12 members. But on the larger grid $P_8 \square P_8$, the number of simple paths from corner to corner turns out to be 789,360,053,252; and they can all be represented by a ZDD that has at most 33580 nodes. Exercise 225 explains how to construct such a ZDD quickly.



A similar algorithm, discussed in exercise 226, constructs a ZDD that represents all *cycles* of a given graph. With a ZDD of size 22275, we can deduce that $P_8 \square P_8$ has exactly 603,841,648,931 simple cycles.

Knuthの教科書の記述

122 COMBINATORIAL SEARCHING (F1)

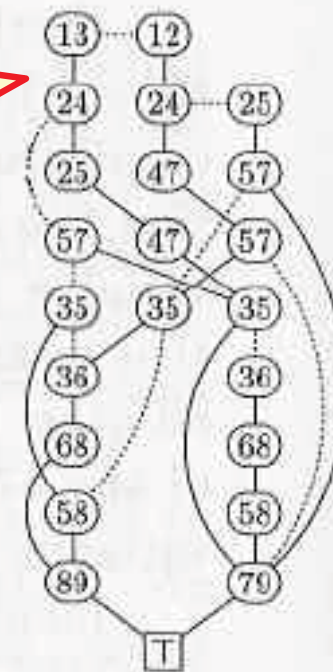
7.1.4

We can also use ZDDs to represent simple paths in an *undirected* graph. For example, there are 12 ways to go from the upper left corner of a 3×3 grid to the lower right corner, without visiting any point twice:



These paths can be represented by the ZDD shown at the right, which characterizes all sets of suitable edges. For example, we get the first path by taking

28,



(Knuth先生からの手紙)

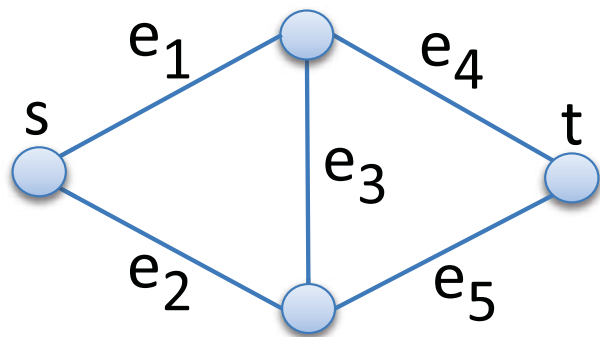
「... I enjoyed the YouTube video about big numbers, and shared it to several friends.」

be represented by a ZDD that has at most 55580 nodes. Exercise 225 explains how to construct such a ZDD quickly.

A similar algorithm, discussed in exercise 226, constructs a ZDD that represents all *cycles* of a given graph. With a ZDD of size 22275, we can deduce that $P_8 \square P_8$ has exactly 603,841,648,931 simple cycles.

2015.06.01

Knuth によるアルゴリズム Simpath

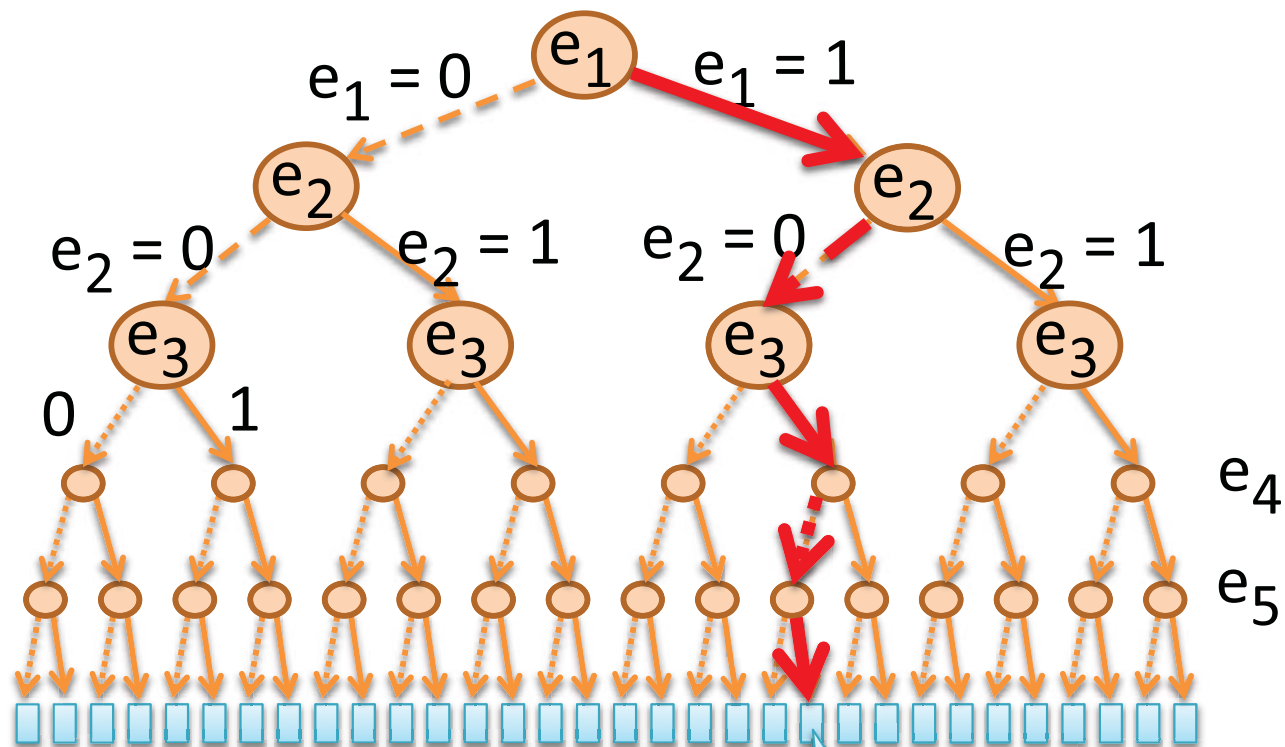


1. 枝に順番を付ける
(例えば、s から幅優先)
(もっと良い方法もあり)

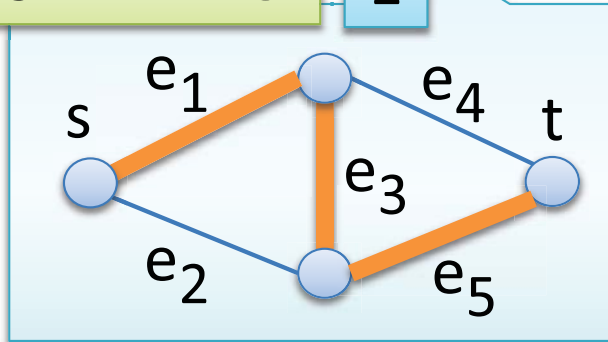
2. 2分木を構築

枝 e_1, e_2, \dots の順に処理

各枝変数 e_i に対し、
 $e_i = 0$ or 1 を決めていく

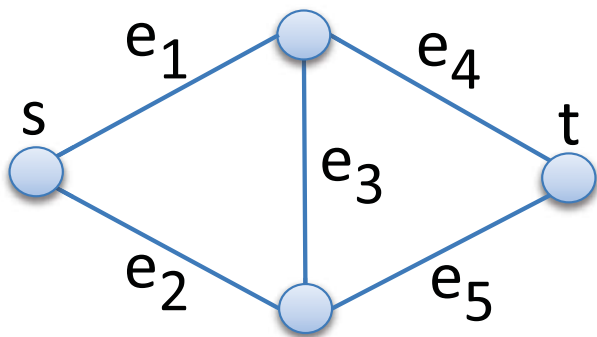


s-t パスになっている 1



$e_i = 1$ である枝が s-t パスになっているか？

Knuth によるアルゴリズム Simpath

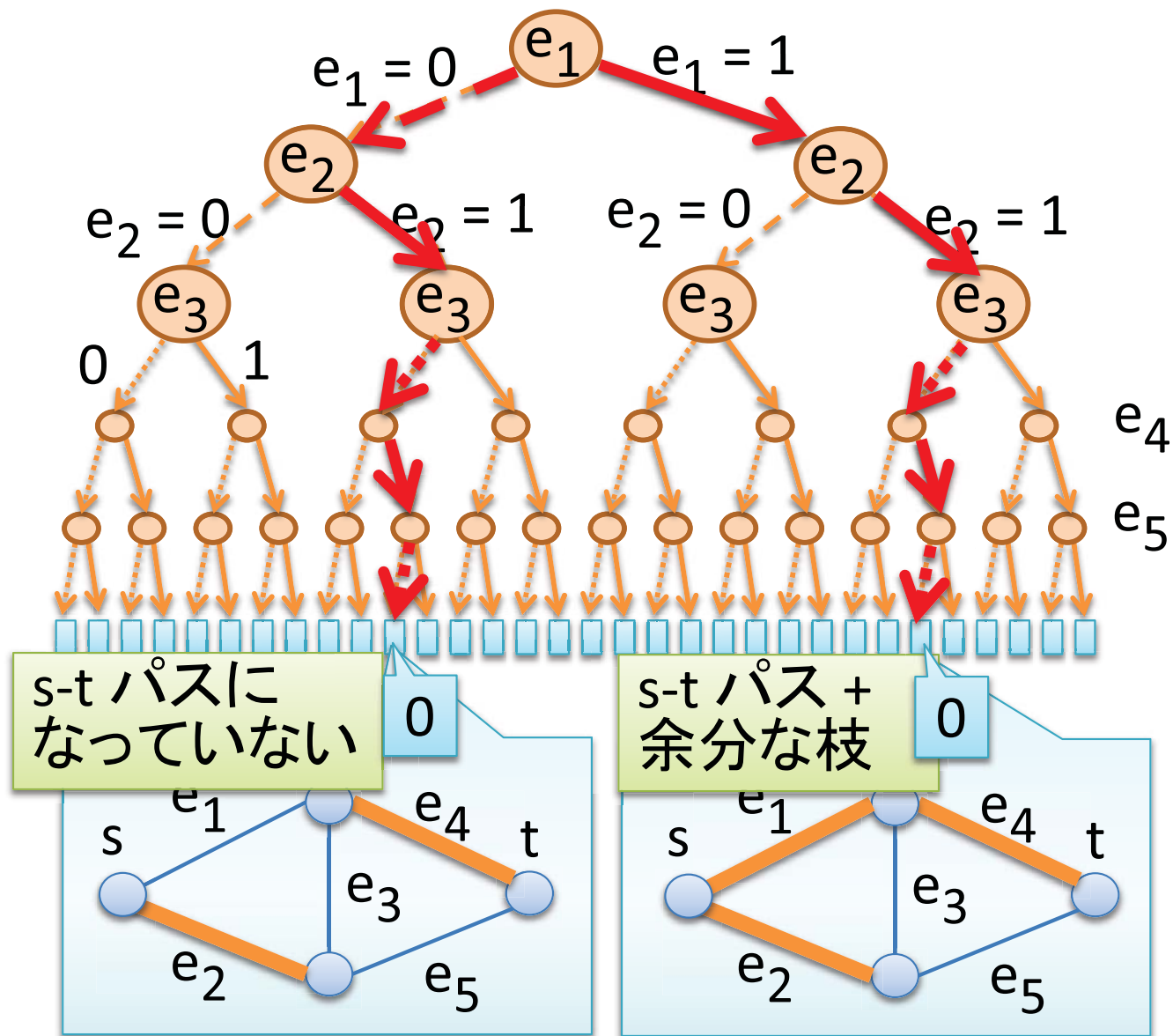


1. 枝に順番を付ける
(例えば、s から幅優先)
(もっと良い方法もあり)

2. 2分木を構築

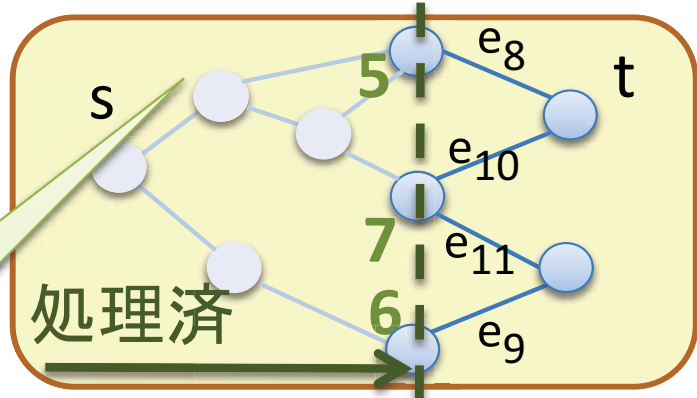
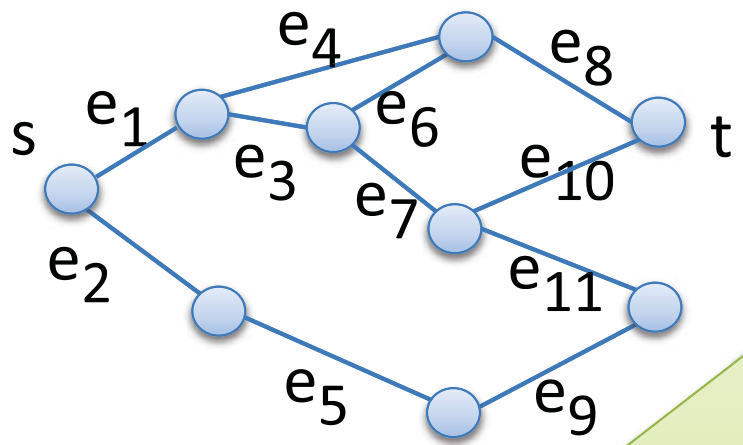
枝 e_1, e_2, \dots の順に処理

各枝変数 e_i に対し、
 $e_i = 0$ or 1 を決めていく

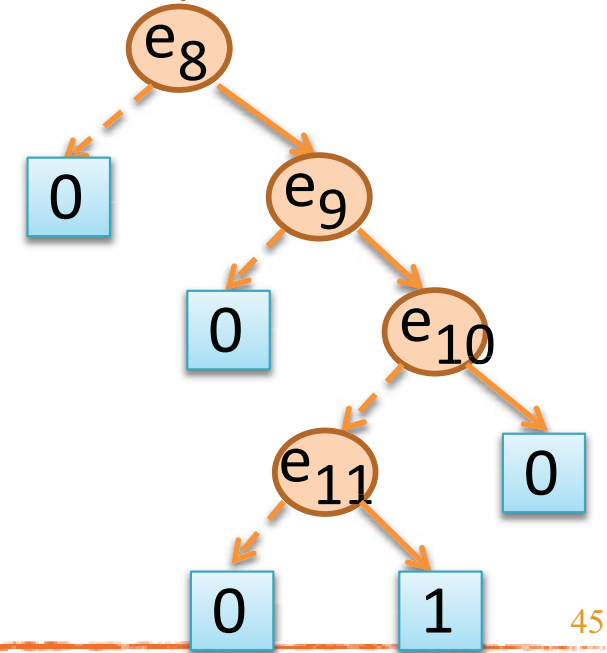
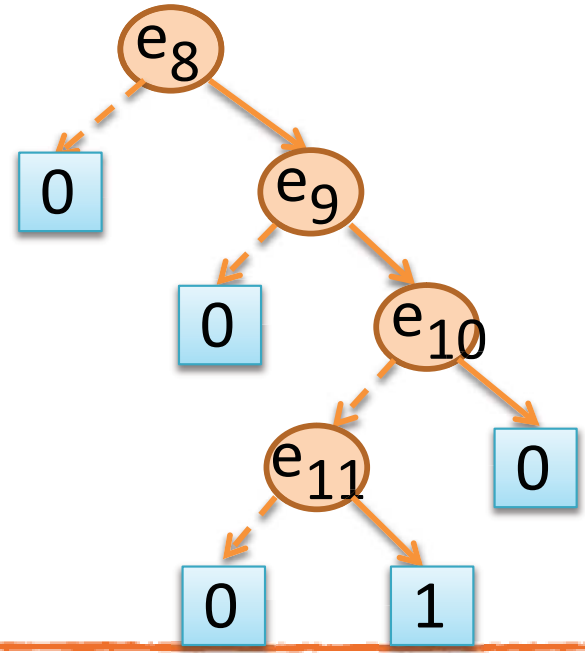
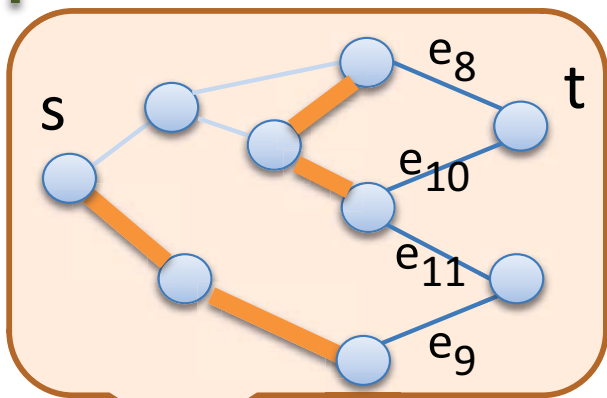
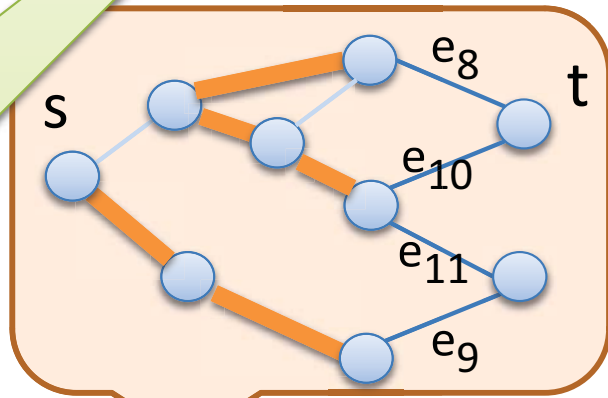


$e_i = 1$ である枝が s-t パスになっているか？

Knuth によるアルゴリズム Simpath



6 は s とつながっている
5 は 7 とつながっている



「おねえさんの問題」の世界記録

- ERATO研究員の岩下氏が世界記録を更新(2013年12月)
 - **n=26までの数え上げに成功**
 - ノルウェーの大学が記録したn=24(2013年2月)を2段階上回る。
 - 様々な工夫を凝らした末に、
主記憶2TBの計算機2台を約1週間占有して計算。

n	The number of paths
1	2
2	12
3	184
4	8512
5	1262816
6	575780564
7	789360053252
8	3266598486981642
9	41044208702632496804
10	1568758030464750013214100
11	182413291514248049241470885236
12	64528039343270018963357185158482118
13	69450664761521361664274701548907358996488
14	227449714676812739631826459327989863387613323440
15	2266745568862672746374567396713098934866324885408319028
16	68745445609149931587631563132489232824587945968099457285419306
17	6344814611237963971310297540795524400449443986866480693646369387855336
18	1782112840842065129893384946652325275167838065704767655931452474605826692782532
19	1523344971704879993080742810319229690899454255323294555776029866737355060592877569255844
20	3962892199823037560207299517133362502106339705739463771515237113377010682364035706704472064940398
21	31374751050137102720420538137382214513103312193698723653061351991346433379389385793965576992246021316463868
22	755970286667345339661519123315222619353103732072409481167391410479517925792743631234987038883317634987271171404439792
23	55435429355237477009914318489061437930690379970964331332556958646484008407334885544566386924020875711242060085408513482933945720
24	12371712231207064758338744862673570832373041989012943539678727080484951695515930485641394550792153037191858028212512280926600304581386791094
25	8402974857881133471007083745436809127296054293775383549824742623937028497898215256929178577083970960121625602506027316549718402106494049978375604247408
26	17369931586279272931175440421236498900372229588288140604663703720910342413276134762789218193498006107082296223143380491348290026721931129627708738890853908108906396

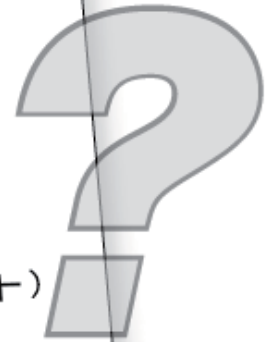




◆解説◆

「おねえさんの問題」の最先端 —YouTube 動画と世界記録—

湊 真一 (北海道大学大学院情報科学研究科 / JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクト)



「おねえさんの問題」とは

2012年8月1日より2013年4月15日までの約
9ヵ月間、東京・お台場の日本科学未来館において、

**読者アンケート評価
2013年の全記事中で第1位**

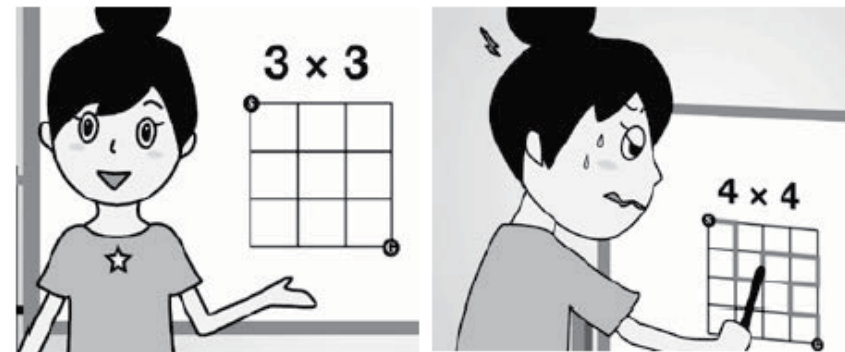


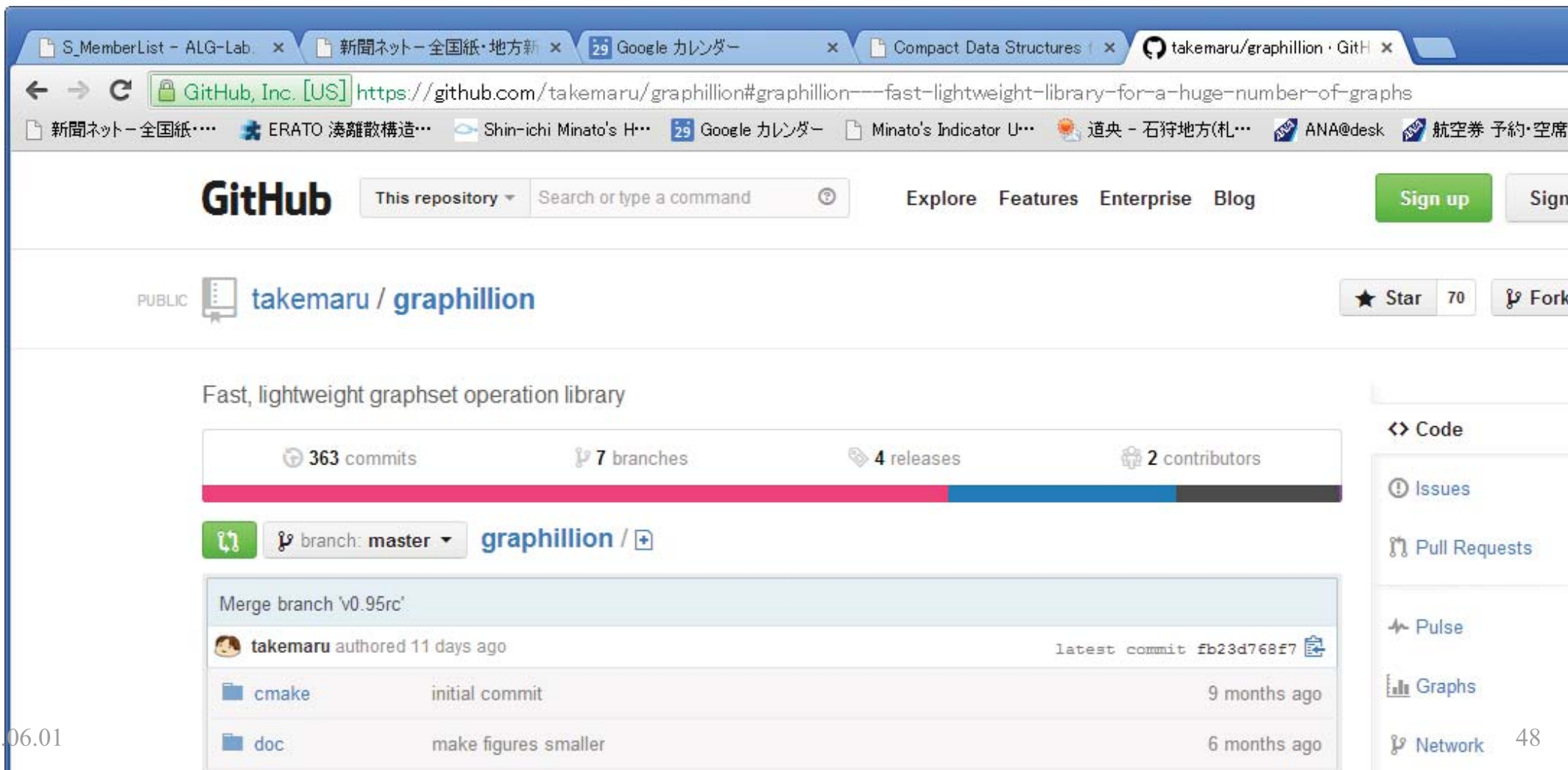
図-1 「フカシギおねえさん」の動画²⁾のカット

の一環として、組合せ爆発のすごさとアルゴリズム

あるが、最先端のアルゴリズム技術を使えば、同じ

Open software: “Graphillion.org”

- Toolbox for ZDD-based graph enumeration.
 - Easy interface using Python graph library.



The screenshot shows the GitHub repository page for `takemaru/graphillion`. The browser's address bar displays the URL `https://github.com/takemaru/graphillion#graphillion—fast-lightweight-library-for-a-huge-number-of-graphs`. The repository is public and has 70 stars and 48 forks. The description is "Fast, lightweight graphset operation library". The repository statistics show 363 commits, 7 branches, 4 releases, and 2 contributors. The current branch is `master`. The commit history shows a merge of branch `v0.95rc` by `takemaru` 11 days ago, with the latest commit `fb23d768f7`. The commit history also shows an initial commit for `cmake` 9 months ago and a commit for `doc` to make figures smaller 6 months ago.

GitHub
This repository ▾ Search or type a command ⓘ Explore Features Enterprise Blog Sign up Sign in

PUBLIC `takemaru / graphillion` ★ Star 70 Fork

Fast, lightweight graphset operation library

363 commits 7 branches 4 releases 2 contributors

branch: master ▾ `graphillion` / +

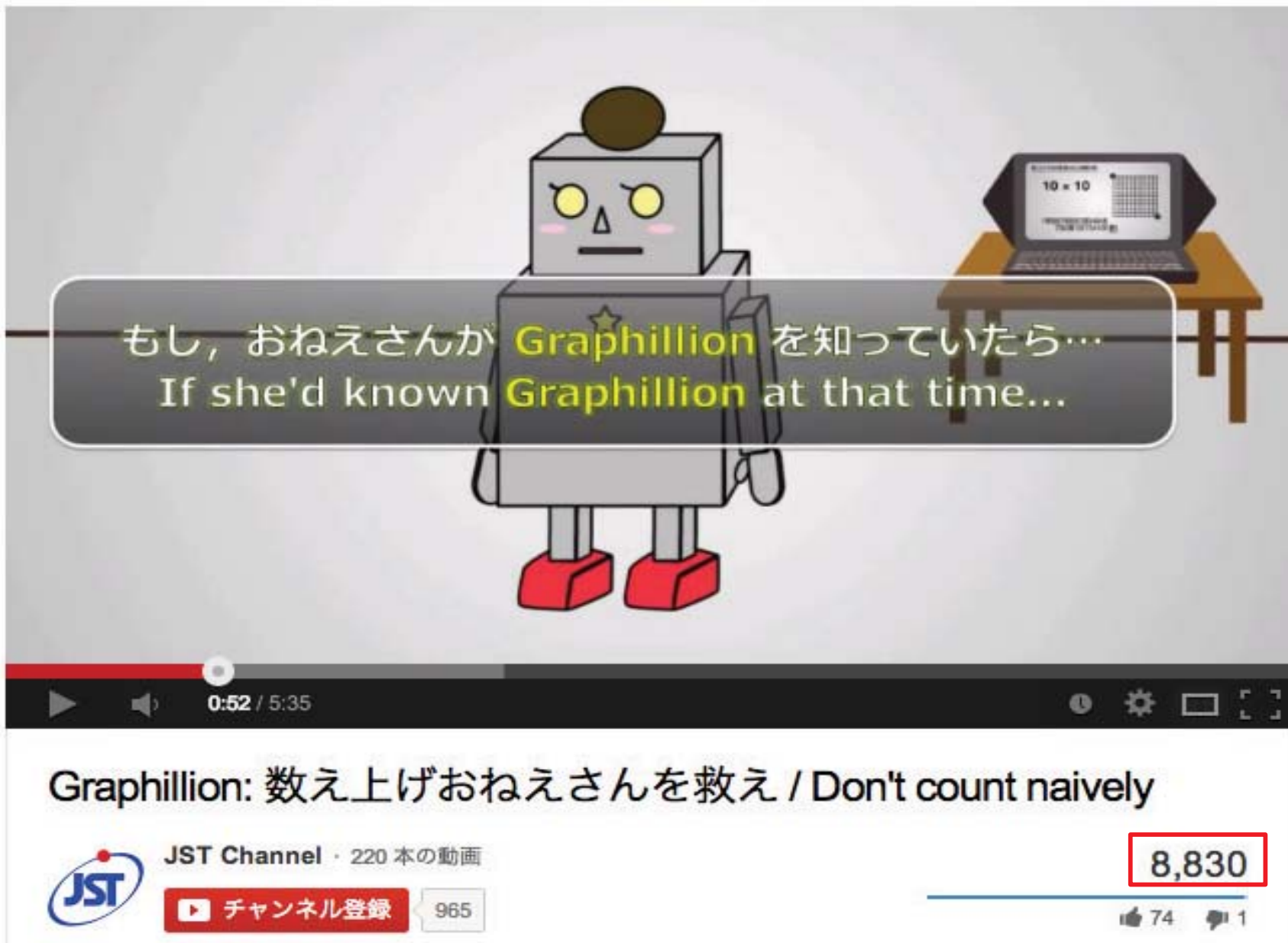
Merge branch 'v0.95rc'

`takemaru` authored 11 days ago latest commit `fb23d768f7` ⓘ

<code>cmake</code>	initial commit	9 months ago
<code>doc</code>	make figures smaller	6 months ago

Code Issues Pull Requests Pulse Graphs Network 48

Graphillion チュートリアル動画



もし、おねえさんが **Graphillion** を知っていたら…
If she'd known **Graphillion** at that time...

0:52 / 5:35

Graphillion: 数え上げおねえさんを救え / Don't count naively

JST Channel · 220 本の動画

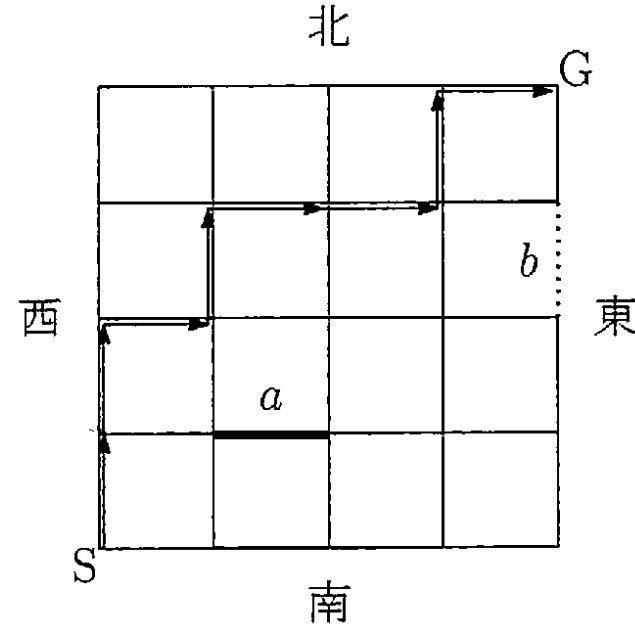
チャンネル登録 965

8,830

74 1

昨年の大学入試問題 (2014年度 北大理系 数学)

4 図のような格子状の道路がある。S地点を出発して、東または北に進んでG地点に到達する経路を考える。ただし太い実線で描かれた区間 a を通り抜けるのに1分、点線で描かれた区間 b を通り抜けるのに8分、それ以外の各区間を通り抜けるのに2分かかるものとする。たとえば、図の矢印に沿った経路ではSを出発しGに到達するまでに16分かかる。



- (1) a を通り抜ける経路は何通りあるか。
- (2) a を通り抜けずに b を通り抜ける経路は何通りあるか。
- (3) すべての経路から任意に1つ選んだとき、S地点からG地点に到達するのにかかる時間の期待値を求めよ。

```

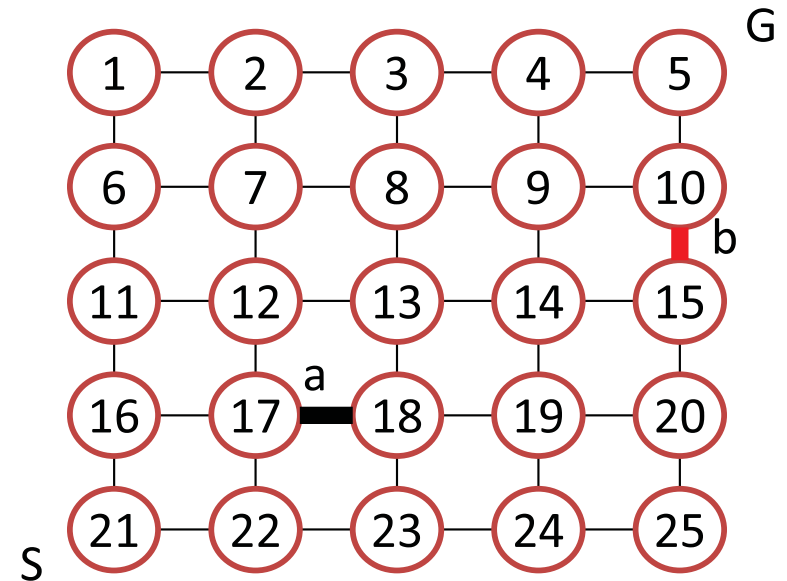
>>> from graphillion import GraphSet
>>> import graphillion.tutorial as tl
>>> GraphSet.set_universe(tl.grid(4, 4))
>>> S, G, a, b, L = 21, 5, (17,18), (10,15), 8
>>> P = GraphSet.paths(S, G).len(L)

>>> '(1)', len(P.including(a))
(1) 20

>>> '(2)', len(P.excluding(a).including(b))
(2) 9

>>> def E(P): # 集合 P のパスを通る時間の期待値
>>>     L = 0.
>>>     for p in P:
>>>         for e in p:
>>>             if e == a: L += 1
>>>             elif e == b: L += 8
>>>             else      : L += 2
>>>     return L / len(P)
>>>
>>> '(3)', E(P)
(3) 17.0

```



Graphillionで解いた例

遠回りを許して同じところを2度通らない場合でも解ける。
(こちらの方がGraphillionの記述は簡単)

```
>>> P = GraphSet.paths(S, G)
>>> '(1)', len(P.including(a))
(1) 3322
>>> '(2)', len(P.excluding(a).including(b))
(2) 2698
>>> '(3)', E(P)
(3) 37.4081296992
```

Graphillion専門書の出版

- Graphillionの初歩的な使用法から応用事例までを記載した専門書
 - プログラムコードを例示しながら解説
 - 付録:リファレンスマニュアル
- 2014年7月頃より執筆作業
 - ERATO関係者13名による共同執筆
- 2015年4月発売開始
 - 予約好調につき
発売前に増刷決定

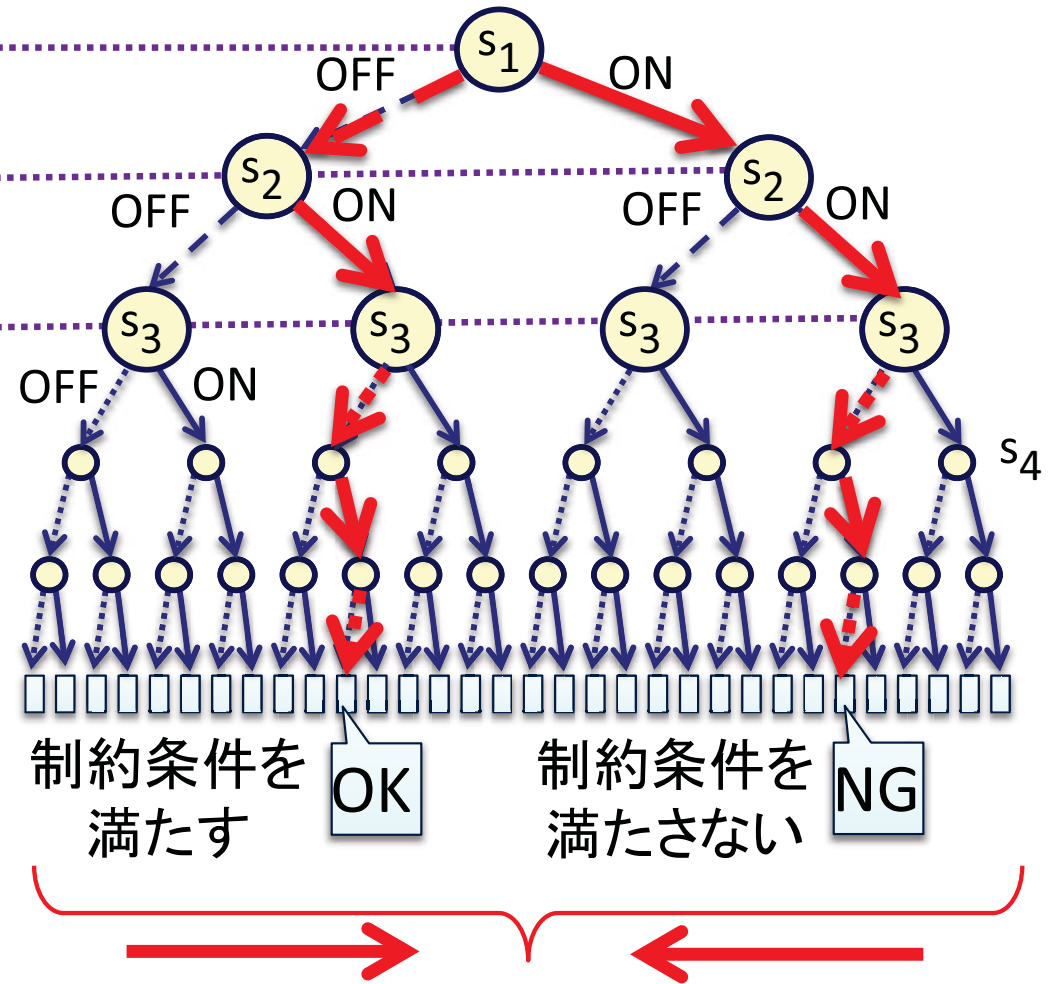
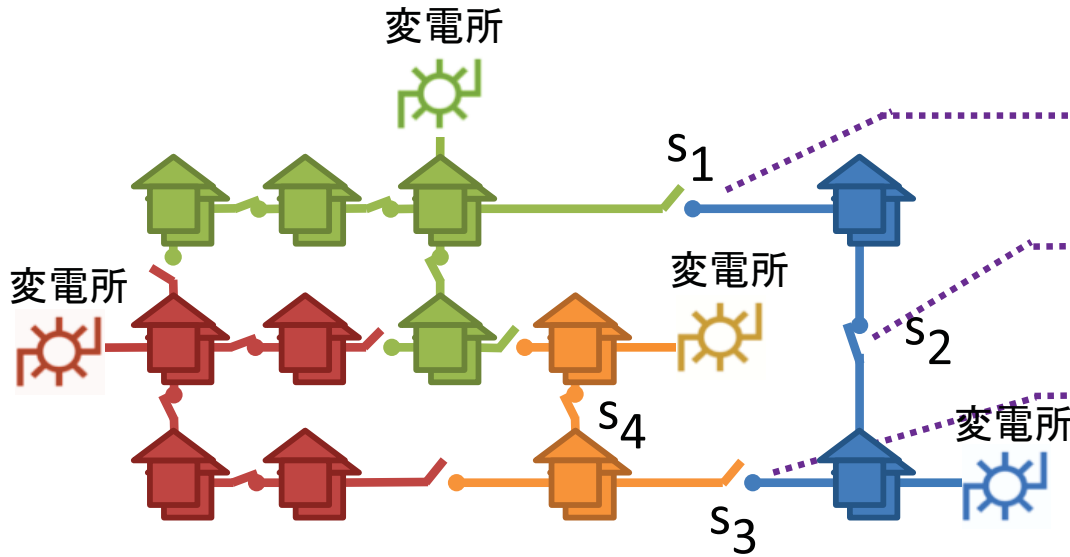
2015.06.01



本講演の内容

- 「フカシギの数え方」とは
- ERATO離散構造処理系プロジェクト
 - 離散構造処理とBDD/ZDD技術
- 日本科学未来館での成果展示とその反響
 - 展示の目的と全体構成
 - アニメーション動画とその制作過程
 - 数え上げ世界記録
- 「フカシギの数え方」の知能情報処理への応用
 - 超高速グラフ列挙技術の実問題への適用例
 - アルゴリズム技術と人工知能に関する雑感

配電網構成とZDDの対応



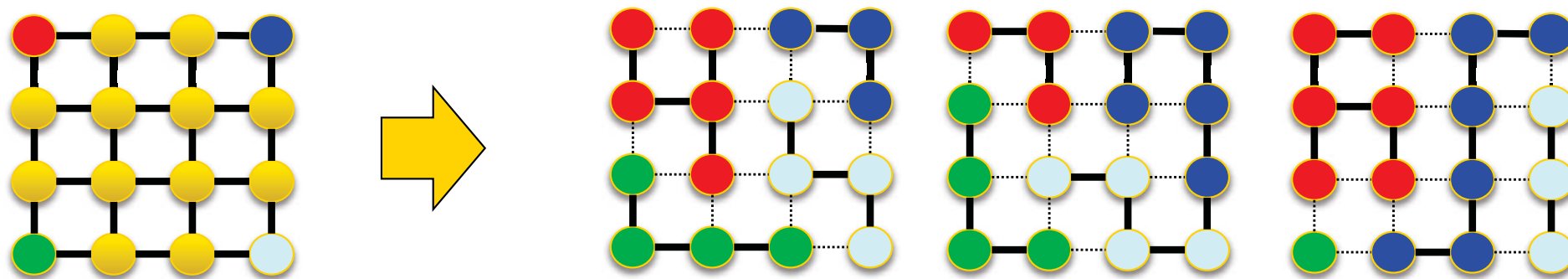
ZDD技法で圧縮して
超高速に処理

- 配電網の各スイッチのON/OFFを、ZDDの場合分けに対応づけ
- 制約を満たすかどうかを末端節点の記号に対応づけ

2015.06.01

電力網のスイッチ制御

- ZDDを使った新しい高速アルゴリズムを開発。
- 標準的な電力網モデル（スイッチ468個）でグラフ的制約と電氣的制約を共に満たす解を全て求め、圧縮して表現することに成功
- 電力の損失を最小にする組合せを求めることにも成功



圧縮データ: 約110万個 (779MB)

実行時間: 数十分

解の個数: 約 10^{63} (2136那由他8201阿僧祇3834恒河沙8532極9116載8261正2214澗8049溝560穰9817杼8392垓4438京5235兆3981億8952万1540) 通り

電力網のほかにも様々な応用がある

- 避難所の配置問題
- 道路、鉄道、ガス、水道、通信
- 選挙の区割り問題
- 建物のフロアプラン

社会的に重要な様々な実問題に関係

- 有向/無向グラフのパス列挙：
 - 地理情報システム
 - 大規模システムの依存関係の解析、フローチャートの解析
 - ナンバーリンク、スリザーリンク等のパズル
 - 文字列の接続可能性の列挙
- グラフk分割問題：
 - 電力網の配電区割りの列挙(早大・林先生との共同研究)
 - 避難所の配置問題(京大・加藤先生との共同研究)
 - 建物フロアプランへの応用(大阪市大・瀧澤先生との共同研究)
 - 選挙区割り問題(文教大・堀田先生との共同研究)
- 地理情報、電力網、物流網のような社会インフラの構造は、平面グラフや格子グラフに近い形であることが多い。
→ ZDDの圧縮効果が極めて高くなる傾向がある。

■ 京大建築系・加藤直樹先生他との共同研究

- 京都市上京区の避難所割り当て問題に適用
- オペレーションズリサーチの国際会議 (ISORA 2013) で発表

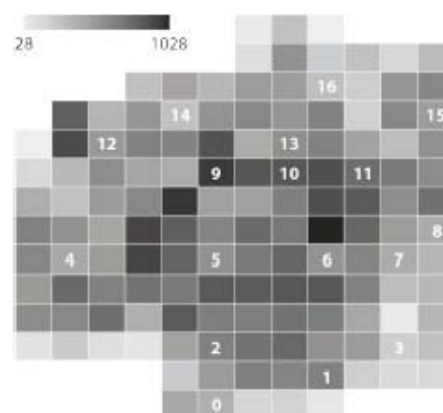
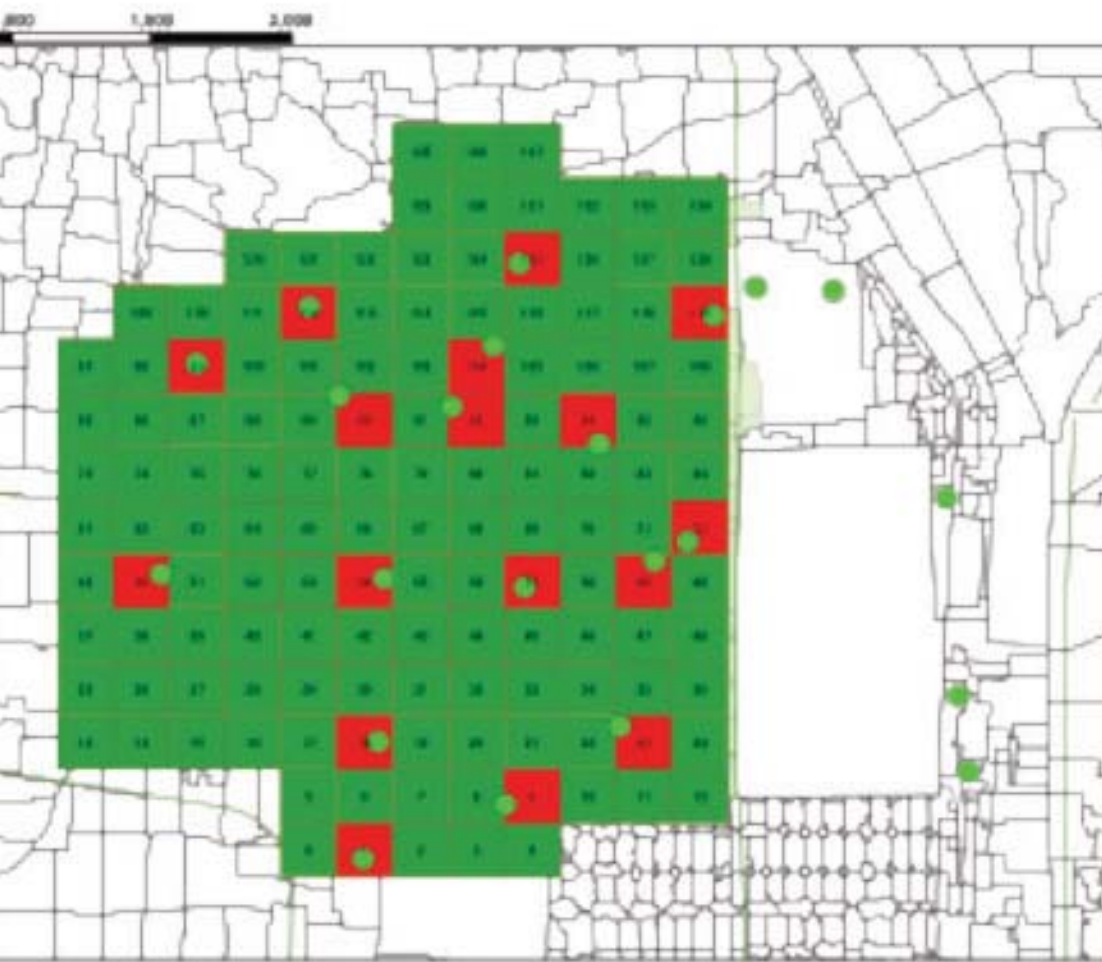


Figure 13: Number of population in each cell.

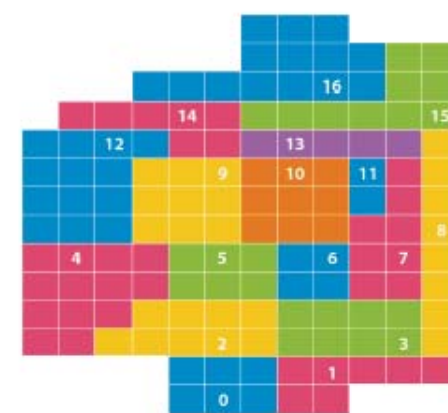


Figure 14: The optimal pattern with respect to *Criterion 1*.

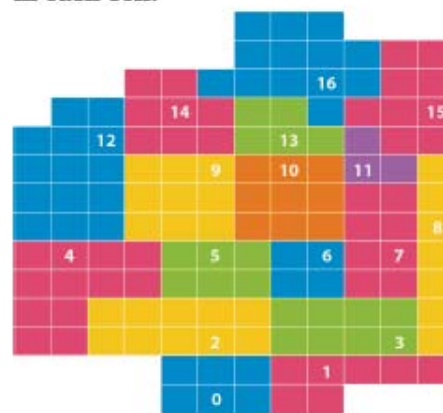


Figure 15: The optimal pattern with respect to *Criterion 2*.

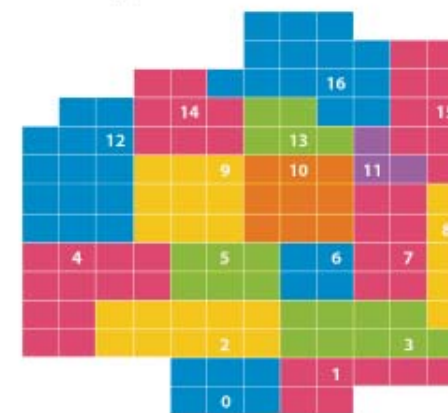
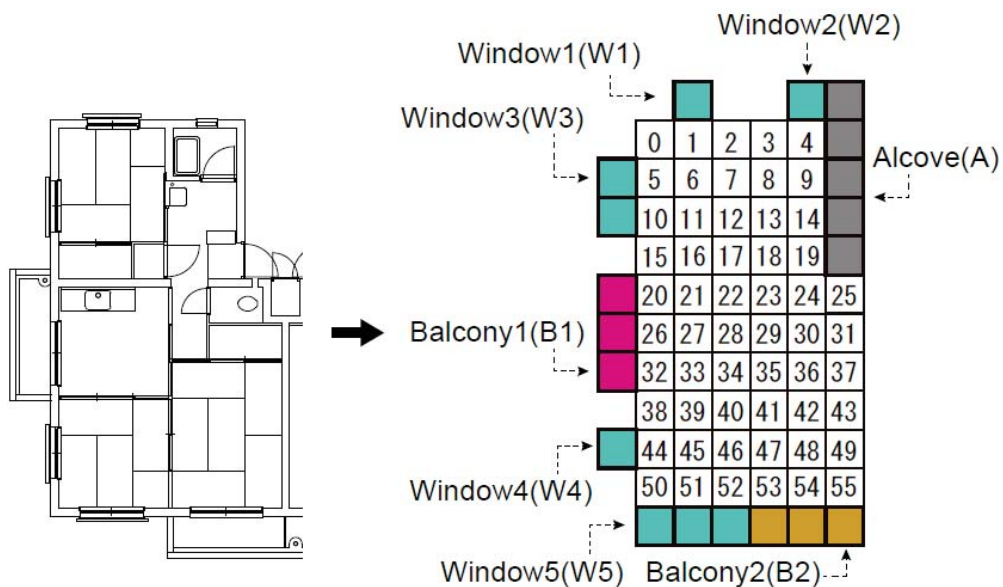


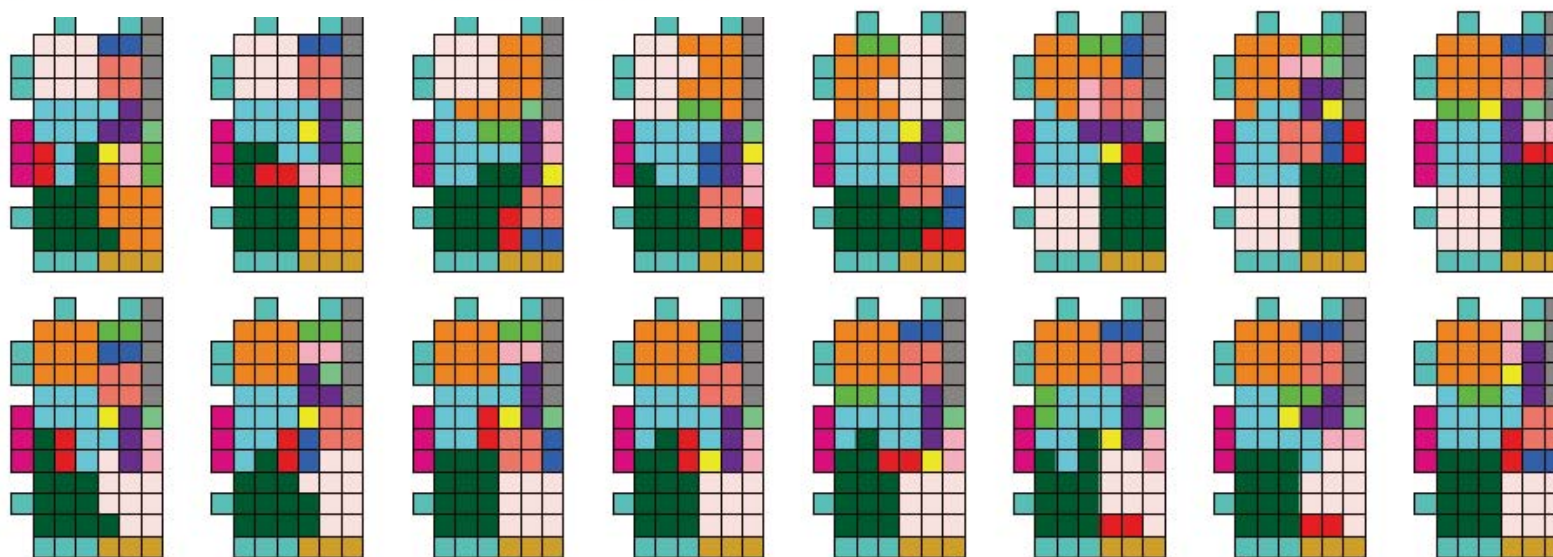
Figure 16: One of the pareto 58



- 大阪市大・瀧澤先生との共同研究
- 建築分野の国際会議 CAADRIA2014で Best paper awardを受賞

(a)

(b) □ = 0.95m*0.93m



Living room
 Private room1
 Private room2
 Kitchen
 WC
 Bath room
 Lavatory
 Closet1
 Closet2
 Storage
 Entrance
 Hall

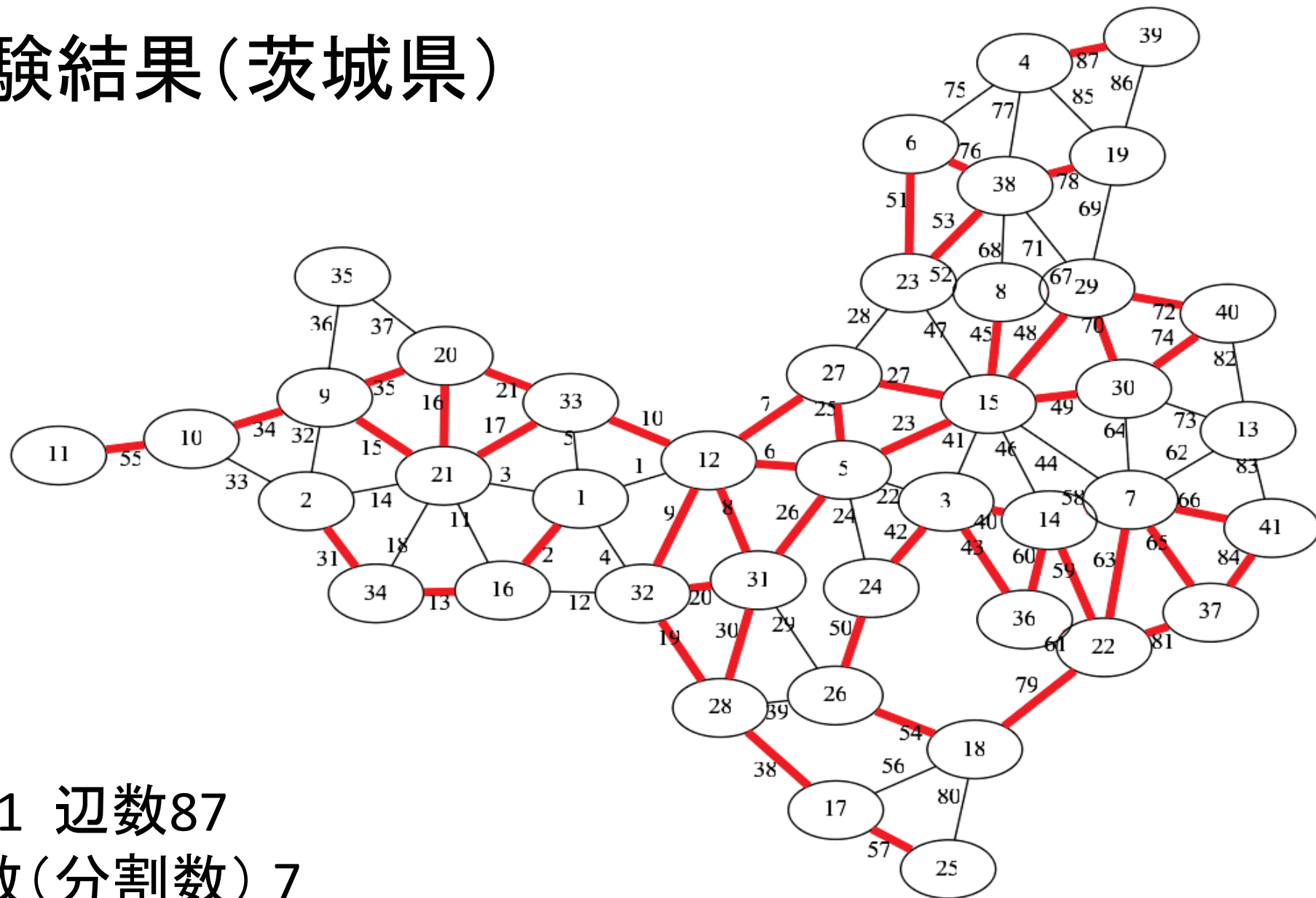
- この問題の専門家である堀田先生(文教大)との共同研究
- 「一票の格差」を最小にする選挙区割りを求めたい
- 最適解を1つ求めるだけなら、従来手法でも容易だが、解の全列挙は困難と考えられていた。
- 格差最小だけではなく地理的・社会的制約条件があるため、列挙して解の分布を示すことに社会的意味がある

ERATOプロジェクト関係者

(NAIST・川原先生、神戸大・斎藤先生、埼玉大・堀山先生)
との共同研究により、選挙区割りアルゴリズムを開発

5月の選挙学会で発表

実験結果(茨城県)



茨城県

頂点数41 辺数87

選挙区数(分割数) 7

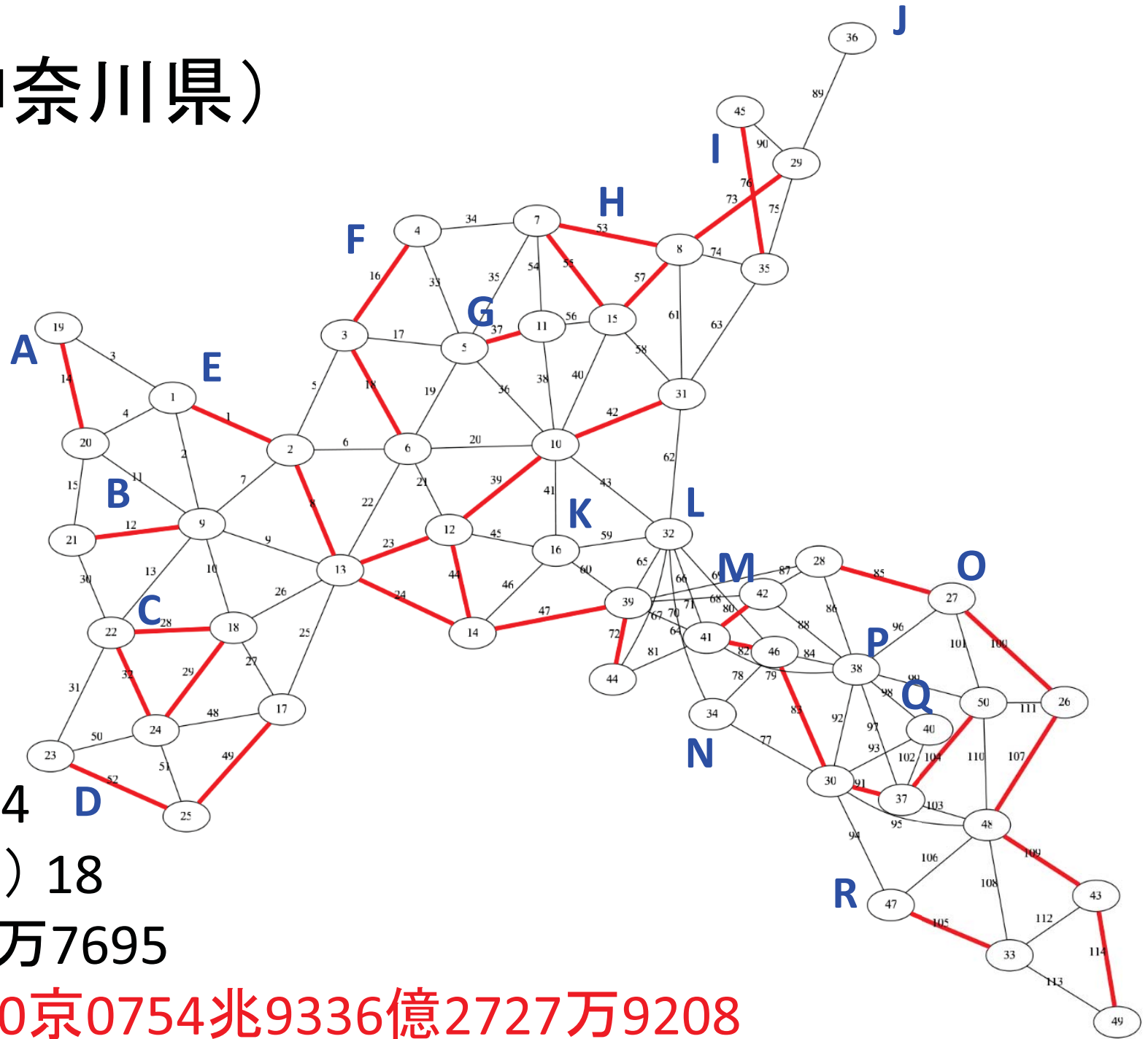
ZDDノード数 1億0859万4149 解の数 11兆8939億9824万2846

118.10 sec.

2015.06.01

※図は実際の形とは異なります 61

実験結果(神奈川県)



神奈川県

頂点数50 辺数114

選挙区数(分割数) 18

ZDDノード数 3864万7695

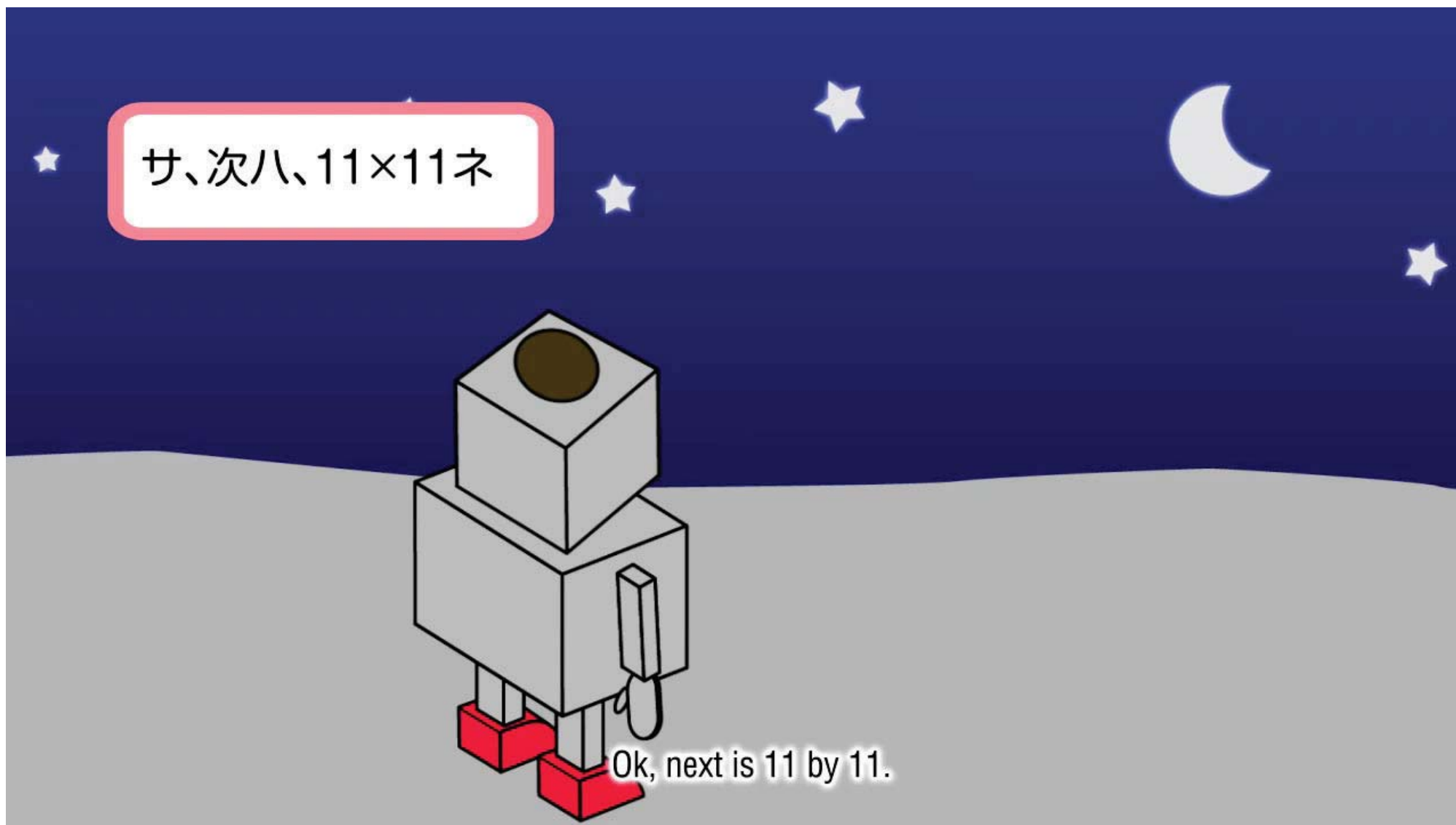
解の数 23垓5610京0754兆9336億2727万9208

39.62 sec.

「フカシギの教え方」の技術的发展

- ZDDを用いた新しい列挙アルゴリズムの広がり
 - 単なる列挙ではなく、圧縮とリッチな演算を持つ索引化技術
 - 最近出てきたグラフ列挙法は、ZDD生成をさらに高速化
(問題によっては革命的に高速化)
- 様々な実応用
 - パス列挙 → 地理情報処理、ソフトウェアのテスト
 - カットセット列挙 → 電力網、通信網、道路網、避難所配置問題
- 「最適化と列挙は車の両輪」(© 湊)
 - 最適化は世界中で競争が激しいが、列挙はまだそれほどでない
 - 日本は列挙の分野では、伝統的に強い
 - ZDDを利用する列挙・圧縮・索引化技術は、文句なく世界をリード

- 人工知能学会的には、「おねえさん」がどうしてこんなロボットになったかという話をすべきだったのでは？



さらに余談(いつ終わっても良い話)

■ 私は「古き良きAI」からたぶん最も遠かった「LSI設計技術」分野の出身ですが、なぜか今ここに立っています。

- BDD/ZDDやSAT技術はLSI設計技術分野で発展し、近年、データベースやAI系の応用が急速に広がってきた。
- でも、TuringやShannonの時代まで遡れば計算機設計と人工知能研究は、同じ人たちがやっていた。
- 最近になって計算機パワーが圧倒的に上がってきた結果、また分野の境界がなくなって来たような気がする。

■ 昔から思っていたのですが、ロボット(AI)にとって最も難しいことは「責任を取ること」ではないか？

- 責任を取る相手が人間である限り、原理的に難しい。
- 責任が取れないと、リスクを負って仕事をすることができない。
- 逆にいうと、責任を取らなくてよい仕事は、効率だけの勝負になるので、いつか機械に奪われても文句は言えない。
- 機械に責任を取らせる仕組みが整備される日は来るのでしょうか？