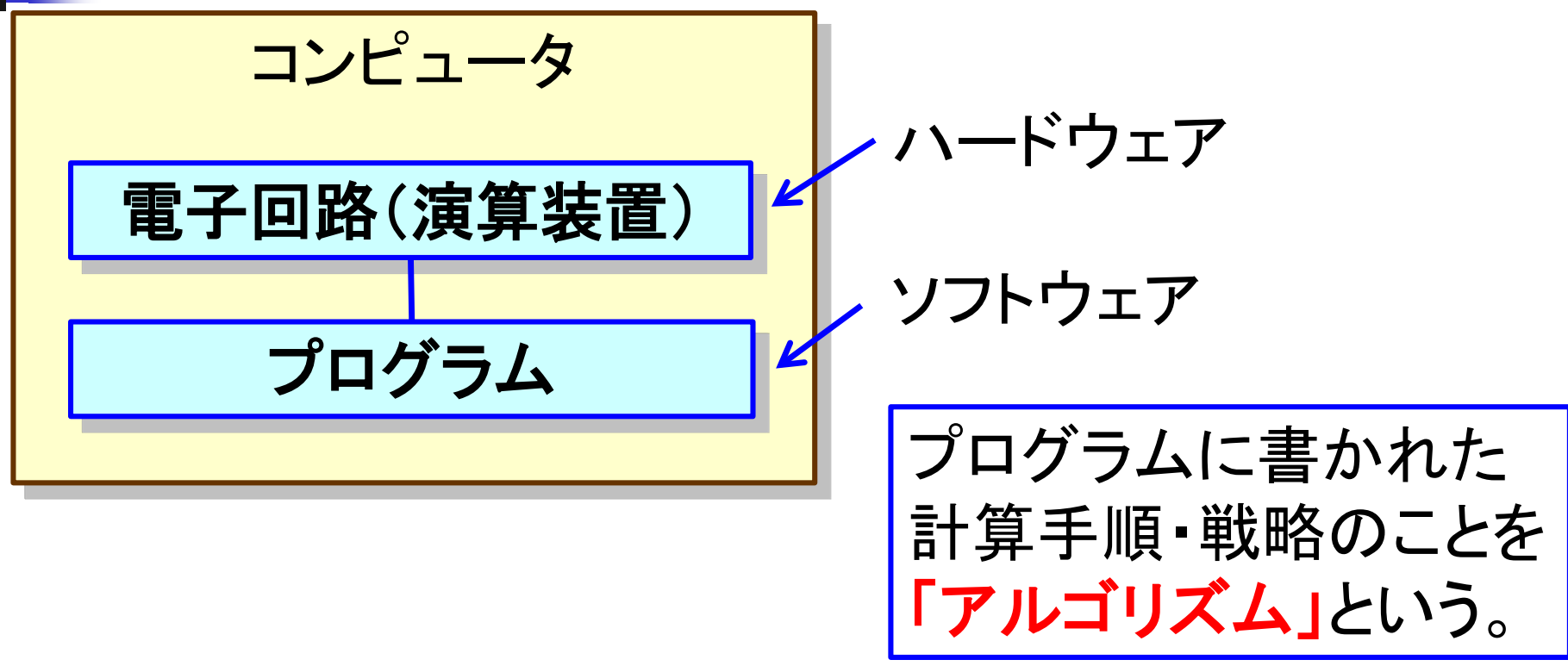


## アルゴリズム技術とは



- コンピュータで様々な計算を行う際に、アルゴリズムの工夫によって、何十倍、何百倍も計算時間が違ってくることがある。

1

## 論理関数と組合せ集合

論理関数:  
 $F = (a \cdot b \sim c) \vee (\sim b \cdot c)$

組合せ集合:  
 $F = \{ab, ac, c\}$

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

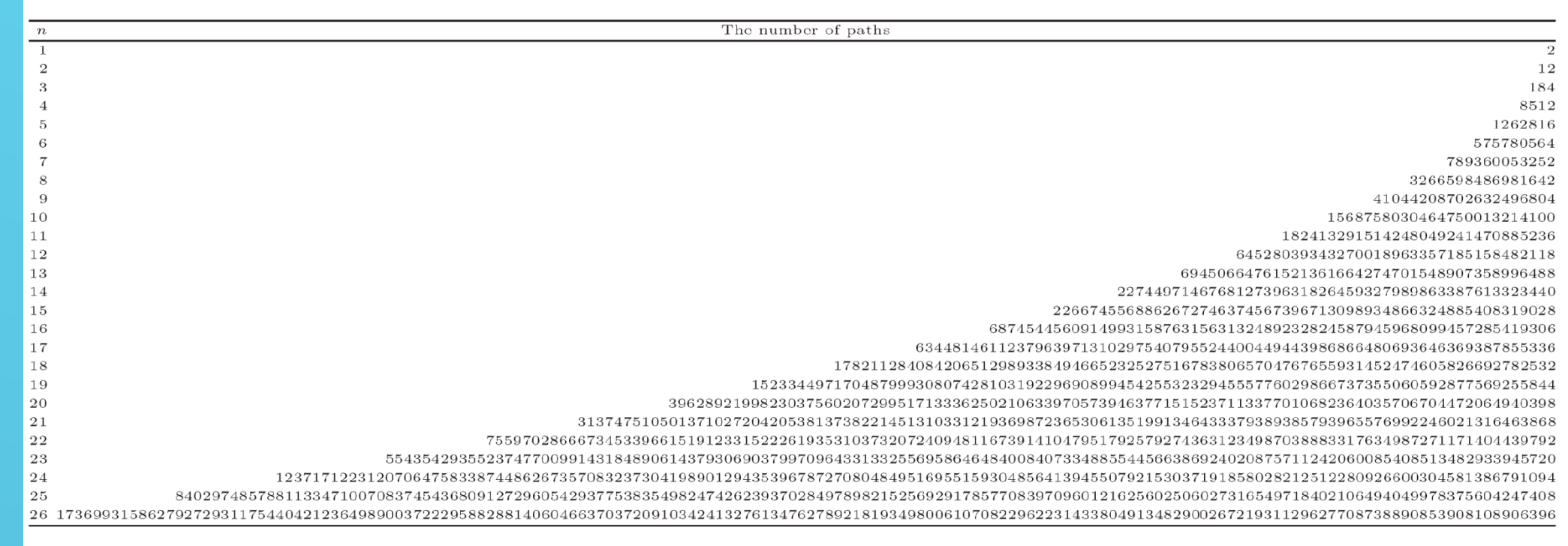
→  $ab$  (買い物客の購入品)  
→  $c$   
→  $ac$

- 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

6

## 「おねえさんの問題」の現在の世界記録

- 本プロジェクトが世界記録保持(オンライン百科事典に登録)
- n=26までの数え上げに成功(2013年12月)
  - 10進数で160桁を超える巨大数
  - 1の桁まで数え上げている



11

## 計算時間の影響

- 速いか遅いかの違いだけでなく軽く考えてはいけません。→ **とても重要!**
  - 3秒で終わるなら対話的に仕事ができるが、3分かかるとなると、ずっと座って待つてはいられない。(web検索に1回3分かかったら今のインターネットはない)
  - 新作ゲームの設計がクリスマスに間に合うかどうかで、メーカーの売り上げが大きく影響を受ける。企業の存続/倒産が左右されることも!(従業員や家族の人生にまで影響が及ぶ)
  - ある計算に100年かかるとしたら、その人にとっては解けないのと同じ (人の寿命は有限)

2

## ZDD(ゼロサプレズ型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。)

通常のBDD

ZDDの簡約化

- 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活用されて、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)
  - 他にも応用例は増えつつある。

7

## 離散構造処理系プロジェクトの基本構想

- 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

工学的応用 → 社会への影響大

性能向上 (10倍~100倍以上)

数学的概念構築

12

## 計算時間を短縮するには

- スーパーコンピュータを使う?
  - 神戸に建設されたスパコン「京」は64万個以上の演算装置を並べて毎秒1京回(兆の1万倍)計算できる。
  - ただし誰もが使えるものではない
    - 開発費: 約1000億円、運用費: 約80億円/年(うち電気代20億円/年) → 国家的/世界的に重要な問題を解くために使われる。
- アルゴリズム技術
  - 与えられた問題を解くために、できるだけ少ない基本演算回数で済ませようとする工夫
  - 同じコンピュータでも、何百倍も速くなることもある。
  - または、もっと安価で低消費電力なコンピュータで済む。

3

## 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~2013年4月25日(期間中、夏休み冬休み1回ずつ)
  - 小中高生・一般市民向けに研究内容をわかりやすく展示
  - 期間中に23万人が来場
  - 北大総合博物館や札幌市青少年科学館でも再展示を実施

13

## 超高速グラフ列挙アルゴリズムの公開

- プロジェクトの成果として超高速グラフ列挙索引化ソフト「Graphillion」を開発・公開
  - Pythonをベースとしたライブラリパッケージとして提供
- Graphillionの活用法と内部のアルゴリズム技法をまとめた専門書を出版
  - プロジェクト関係者13名の共同執筆
- 2015年4月8日発売開始
  - 予約好調につき発売前に重版増刷決定

13

## 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

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)

Bryant (CMU)

簡約化(圧縮)

(BDD)

(場合分け二分木)

BDD → AND → BDD

BDD同士の論理演算(圧縮データ量にほぼ比例する計算時間)

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)

- 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)

4

## 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**現在230万回超**(非公式サイトを合わせると500万回以上)
  - サイエンス系コンテンツでは極めて異例の大ヒットに

組み合わせの数え方

Total number of routes that do not pass by the same place twice

9

## オープンソフトウェア: "Graphillion.org"

- ZDDを用いた超高速グラフ列挙のツールボックス。- Pythonベースのライブラリとして提供

14

## BDD簡約化の効果

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

$O(2^n)$

$O(n)$

5

## 「おねえさんの問題」の豆知識

- 最短経路の数え上げは簡単(→  $2n C_n$ ; 高校で習う問題)
- 遠回りを許すと突然難しくなる。
  - 簡単な計算式は見つかっていない。
  - 湊が考案した「ZDD」と呼ばれる技法を使って高速に数え上げる方法が、最近開発されている。
  - アニメ動画で、おねえさんが25年かかった計算結果の数字が出ているため、「公式を教えてください」というコメント多数。
    - 「どうも公式ないらしいよ」
    - 「ZDDというのを使うらしいよ」

10

## US map in Knuth-book

(133)

15

### パス列挙問題 実験結果

日本地図グラフ  
北海道から鹿児島までの全パス

	頂点数	計算時間	BDDノード数	パスの数
日本地図	47	0.01秒	951	$1.4 \times 10^{10}$
2重化	94	248.72秒	18,971,787	$5.0 \times 10^{44}$

14797272518 通り  
5039760385115189594214594926092397238616064 通り  
(= 5039760385115189594214594926092397238616064)

### 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）でグラフの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<sup>63</sup> (2136那由他8201阿僧祇3834恒河沙8532極9116載8261正2214漚8049溝560積9817杼8392埃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

### おねえさんのLINEスタンプ

2015年10月より公開中

120円で40パターンが無期限で使い放題

未来館で初の公式LINEスタンプ (JSTでも初)

### 条件付きパス(サイクル)の列挙

ERATO MINATO ZDD Project

### 避難所割り当て問題

■ 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 22

### 「フカシギの数え方」オリジナルクリアファイルの商品化

2016年1月より  
未来館ショップで販売開始  
A4版 税込270円  
(ライセンス料の一部は JST公益事業に活用される)

初版900部を完売し、8月以降追加増刷  
未来館ショップのクリアファイルで首位の人気

### 鉄道ナビゲーションシステム Ekillion

Longest self-avoiding cycles (343 stations)  
6,482,787 self-avoiding paths From Ochanomizu to Suidobashi

### ZDDによる区割り列挙

■ 統計的疫学調査におけるホットスポットの抽出  
石岡先生、栗原先生(岡山大)、水田先生(北大)、川原先生(NAIST)

- 日本の都道府県の連結ブロックが何通りあるか  
→ 明治の都道府県設置以来、初めての結果
- (独)統計センターから公式データとして公開

計算時間 0.346359秒  
ZDDノード数: 12076  
解総数: 約1098億通り

■ 北大・NAIST・岡山大・統計センターから研究成果を報道発表(2016年9月2日)

- 共同通信社からニュース配信され、多くの地方紙web版に掲載
- 統計連合大会で本成果に関する企画セッションを開催

東京新聞 9/2朝刊

### まとめ

- アルゴリズム技術の社会的な重要性
  - 速いか遅いかの違いだけでなく軽く考えてはいけない。
  - 与えられた問題を解くために、できるだけ少ない基本演算回数で済ませようとする工夫
  - 同じコンピュータでも、何百倍も速くなることがある。
  - または、もっと安価で低消費電力なコンピュータで済む。
- 研究成果展示: 「フカシギの数え方」
  - 「ZDD」と呼ばれる技法を使って超高速に処理。
  - 社会の様々な問題に幅広く応用されている。

### 電力網への応用(2012年2月プレスリリース)

■ 林 泰弘 教授(早稲田大)との共同研究

- 電力系スマートグリッド業界のリーダ的存在 (経産省スマートハウス標準化検討会座長、他多数の要職)
- 電力網最適化の研究で1990年代より濃く協力関係

■ 大震災後、より緊急性の高い研究課題に

- 今後長期的に不足する電力を自然エネルギーで補うために必須の電力網解析・制御技術を支援

情報科学の研究者集団として我が国の苦境を克服するためできる限り貢献したい。

→ ERATOプロジェクトでの取り組みを加速

### 国際的に有名なホットスポット例題への適用

米N.Carolina 州内100都市の乳児突然死亡率  
連結ブロックを全列挙する ZDDの構築に成功

### ウェブ情報へのリンク

<http://www.lab2.kuis.kyoto-u.ac.jp/>  
「京大 コンピュータアルゴリズム」でネット検索すると、研究室のホームページが出ます。

### 電力網のスイッチ制御

・各区域が必ず1ヶ所の変電所に接続  
・停電しない  
・異なる変電所系統をつながない  
・電流が多過ぎると電線が焼ける  
・遠くに伝えると電圧が下がる

膨大な数の構成が存在  
右のような14スイッチの小さな例題でも16384通りの組合せの中から210通りを探し出す問題

標準的な配電網の例では468個のスイッチがあり、10の140乗の組合せから探し出す問題に

### 選挙区割りへの応用

川原先生、堀田先生(文教大)他との共同研究

一票の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

茨城県の例:  
頂点数41、辺数87、分割数7  
解の個数は11893998242846個

その中から格差が1.4倍以下のものを抜き出すと25730669個 (1925.21秒で計算)