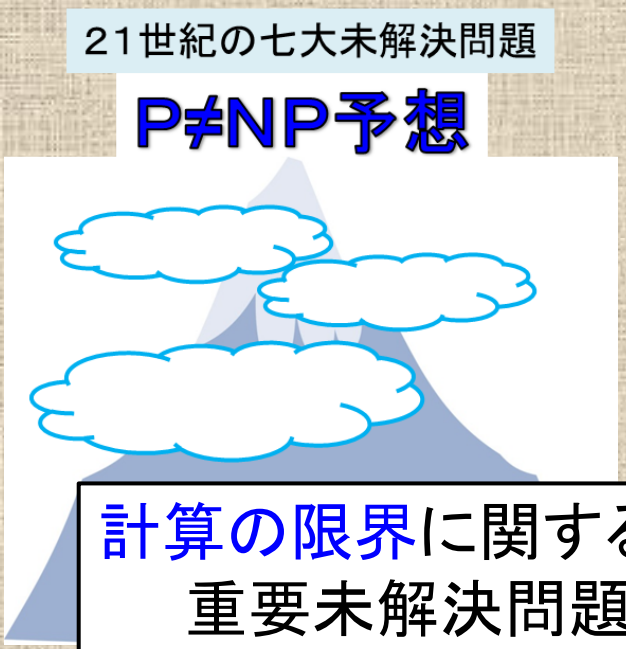
多面的アプローチの統合による計算限界の解明



領域代表
東京工業大学　情報理工学院
渡辺　治

計算の限界に関する
重要未解決問題に挑戦

1.将来の基礎となる結果
2. 新たなアプローチを開拓

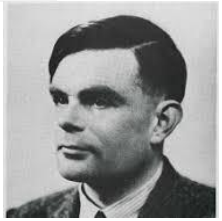
⇒ 計算の理解の深化
⇒ 3. 革新的な計算技術へ

背景:「計算の理解」の意義

情報分野の特徴

理解(理論)は技術の開拓に直結する

計算の理解の歴史



チューリング

計算の基本解明

•1940

コンピュータ登場

アルゴリズム

定式化

P≠NP予想

計算論的暗号論

計算の一方向性

•1970

RSA暗号発明

計算論的学習理論

計算予測力基準

•1980

ランダムネスの
計算論的理解

•1990

学習アルゴリズムの創出

セキュリティ方式の創出

サイバーセキュリティ

機械学習

•1995

Web検索技術

PageRank発明

•1998 Google

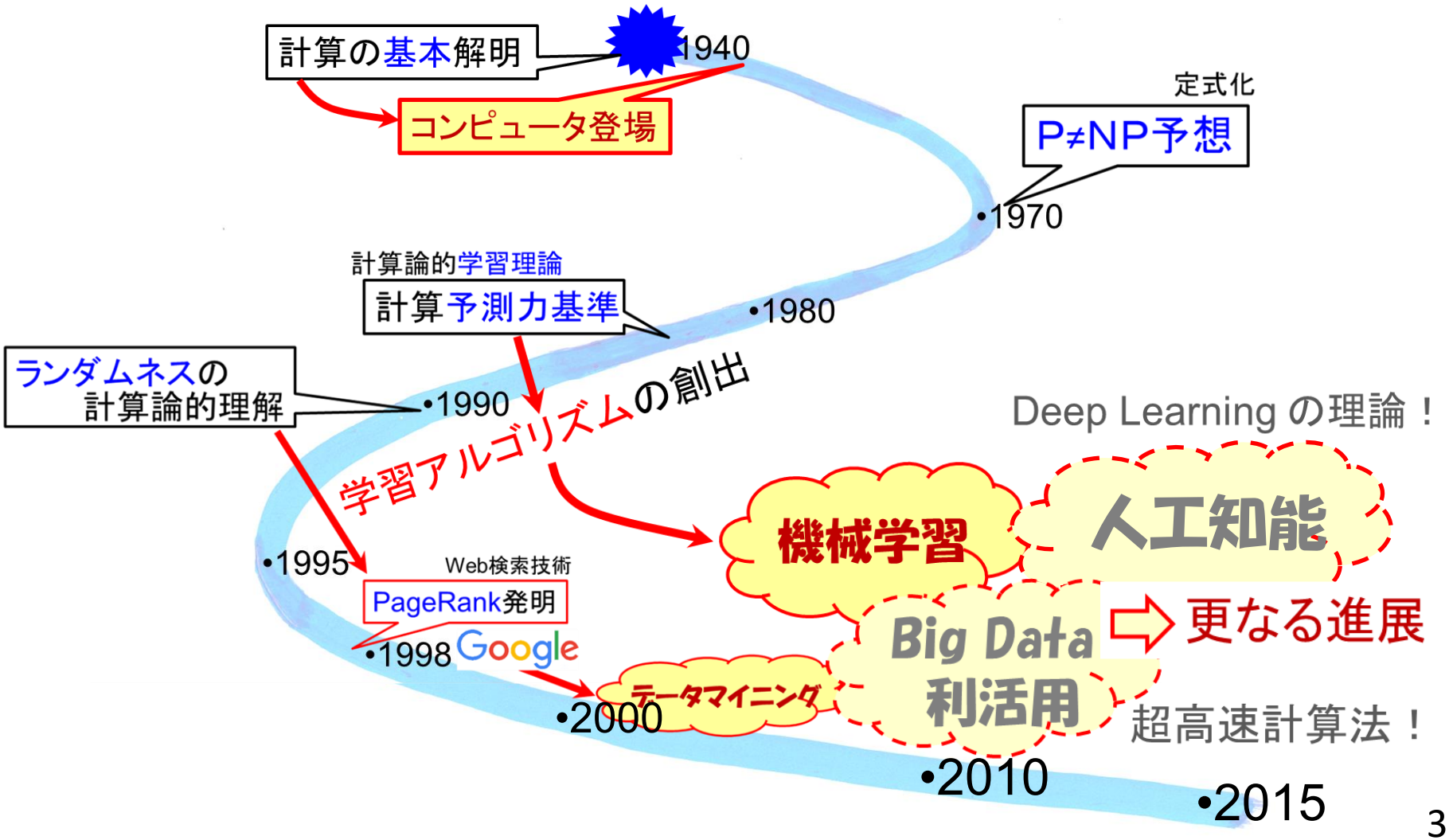
データマイニング

背景:「計算の理解」の意義

より高度な情報科学技術 ⇦ 計算のより深い理解

計算限界の解明が鍵 ⇧

計算の理解の歴史

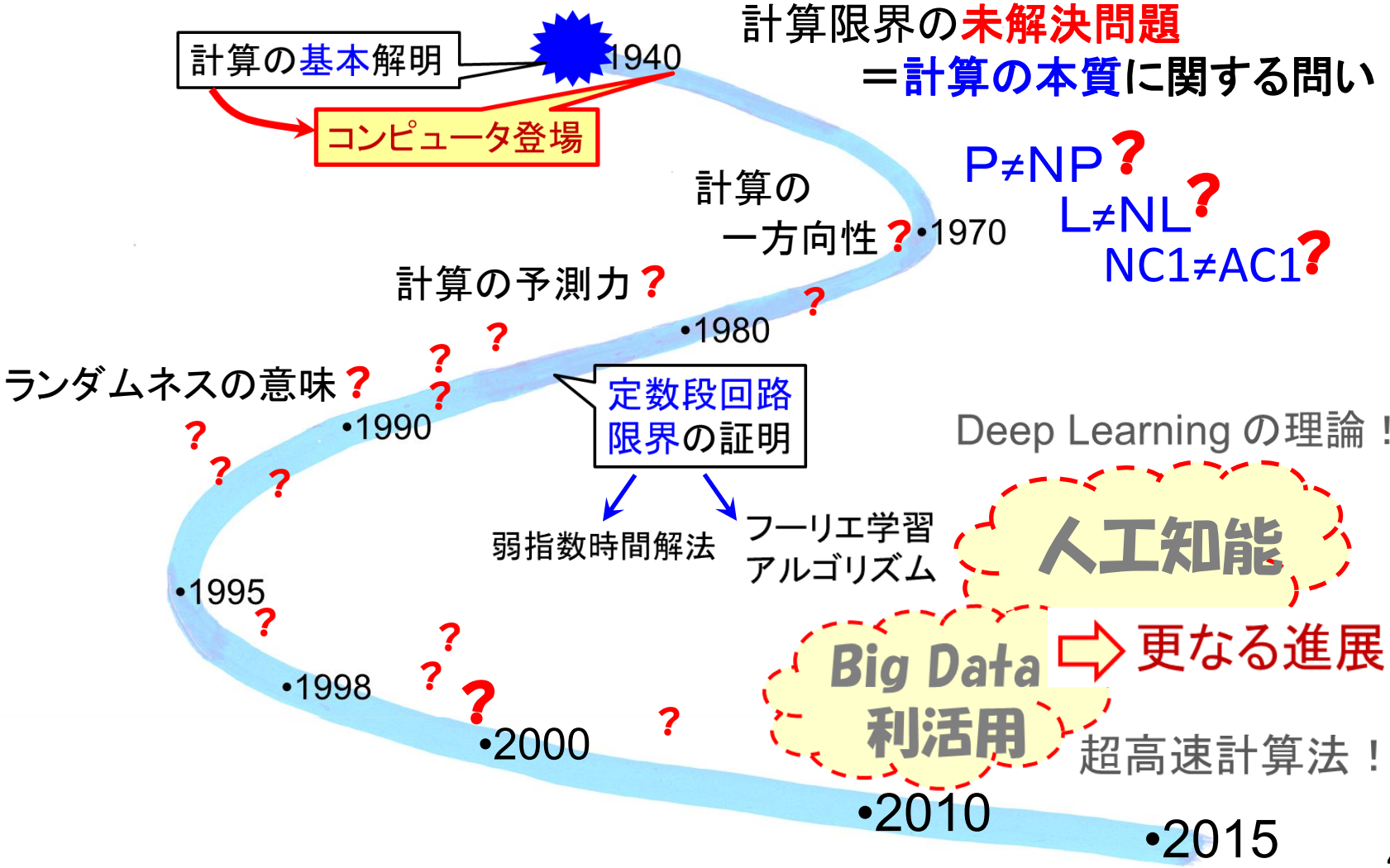


背景:「計算の理解」の意義

より高度な情報科学技術 ⇦ 計算のより深い理解

計算限界の解明が鍵 ⇧

計算の理解の歴史



本領域の戦略

課題　P≠NP予想に代表される
計算限界の未解決問題への挑戦

1. 将来の礎となる結果
2. 新たな研究手法

⇨ 3. 革新的な計算技術

戦略　**日本型共同研究**　vs. 個人主体の理論研究

複数視点からの検討の連携

Ⅰ. フロンティア開拓
1. 将来の礎となる結果
2. 新たな研究手法

⇔ Ⅱ. 既存手法の限界解明

計算の理解

Ⅲ. 新たな解釈の提案

Ⅳ. 新技術の基礎
3. 革新的な計算技術

A. 主要解析技法の探究班
- A1. 数理論理学から
- A2. 情報・符号理論から
- A3. 限定計算の解析

B. 新技法開拓班
- B1. 最適化理論から
- B2. 数理計画法・大規模計算から
- B3. 解析技法 ⇒ アルゴリズム

C. 境界領域からの新解釈導入班
- C1. 統計力学から
- C2. 量子計算から
- C3. 学習理論から

本領域の成果

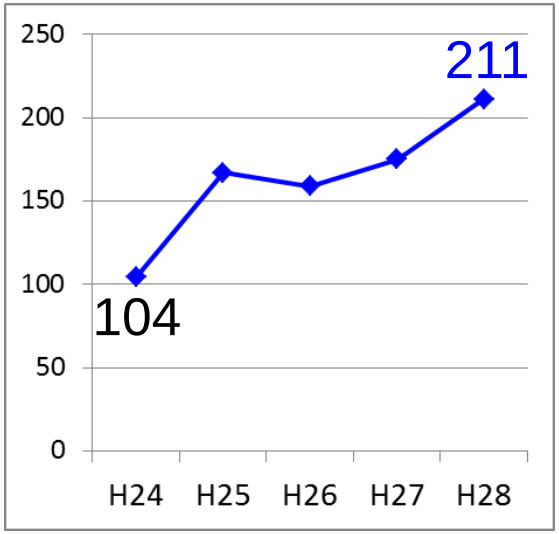
研究成果

☆ 査読有り論文 816件（各班平均 90 件強）

☆ STOC, FOCS など著名国際会議 多数

☆ STOC と FOCS の各々で
年間最優秀論文賞

☆ 多数の班間共同研究



各年度の論文総数（査読有）

コンピュータ理論全体で，Nature, Science に匹敵する二大国際会議

若手の登用と活躍

☆ PD の進路（領域で 10 名雇用）
准教授 1，講師 1，助教 4
常勤研究員 2，海外 PD 2

☆ 若手教員（領域分担研究者）
助教→講師 or 准教授 8
准教授→教授 3（含：H29 年度）

☆ 学生受賞：国際学会論文賞 6，
国内学会論文賞 13，学会賞 3

	A01	A02	A03	B01	B02	B03	C01	C02	C03
A01		18	34	17	3	18	2		
A02			9	2			4	4	
A03				27	3	47	2		4
B01						22	1	1	4
B02							1		
B03									7
C01								3	
C02									
C03									

5 年間の総数
合計 **233 件**（重複有）

班間共著論文総数（査読有）

国際研究拠点の確立

☆ 計算限界の旗艦国際会議 東京開催

☆ 主要国際会議協賛 4，国際WS主催 57

研究成果

1. 将来の礎となる成果：15年以上の重要未解決問題の解決

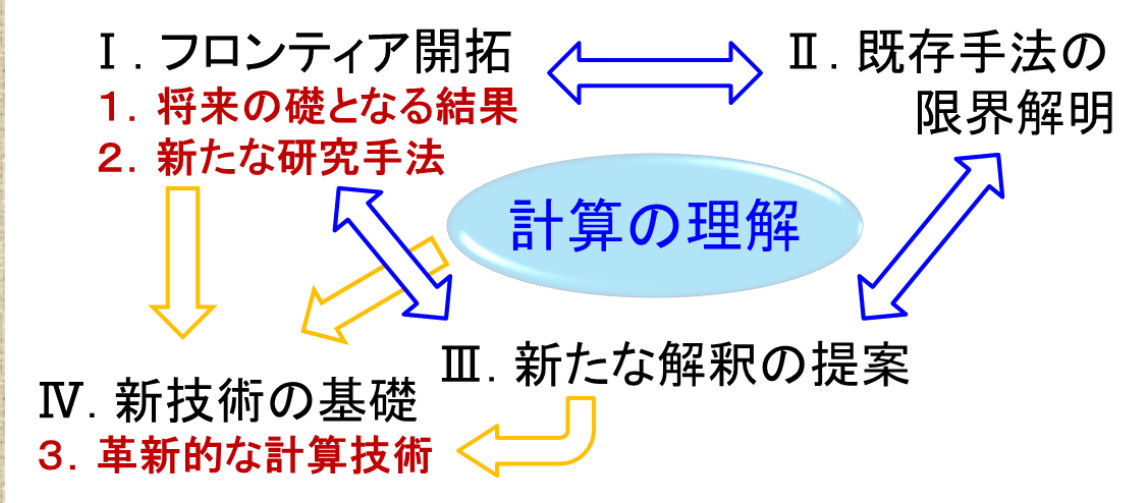
① 回路計算量で，論理式と回路の計算能力の差を初めて証明
② 上記の結果を平均時の差まで拡張
③ 単調論理回路の計算限界を20年ぶりに更新
④ 30年以上未解決だった代数的定数時間検査可能性の特徴付けに成功
⑤ 30年以上未解決だった組合せ最適化問題に対する初の多項式時間アルゴリズム
⑥ グラフ上の2者間通信問題の通信計算量の下界を15年ぶりに更新
⑦ 線形計画問題の単体解法の対する初の指数関数時間下界の証明
⑧ 量子対話型証明 QMA モデルにおいて，15年以上の未解決問題に大きく進展
⑨ 行列積の計算問題に対する30年来使われてきたCW法の限界を初めて証明

2. 新たな展開，新たな枠組みを創出した研究 （代表例）

(1) L≠NL予想（P≠NP予想と相似な予想）に迫る結果
(2) NP問題（充足解探索問題）の計算困難さの変化を初めて証明
(3) 定数回質問性質検査法から定数時間超高速アルゴリズムを提案
(4) 定数回質問性質検査が有効なスケールフリーネットワークの特徴化に成功
(5) 劣線形メモリ計算の研究分野を創出
(6) 最適化問題計算法をオンライン学習へ適用する基礎理論の創出
(7) スパコンを用いた下界解析に成功
(8) オークションの性能評価への計算複雑さ理論の展開

研究成果の代表例 ＋ 本領域の研究戦略

- 段数制限回路での論理式と回路の計算能力差の証明
  1. 将来の礎となる結果 ← 計算の理解を深める共同研究
- 充足可能性問題の計算困難さの相転移の証明
  2. 新しい研究手法 ← 統計物理の視点と新解釈
- 定数時間性質検査可能性の特徴付けとその展開
  3. 革新的な計算技術 ← 理論から技術へさらにその展開へ

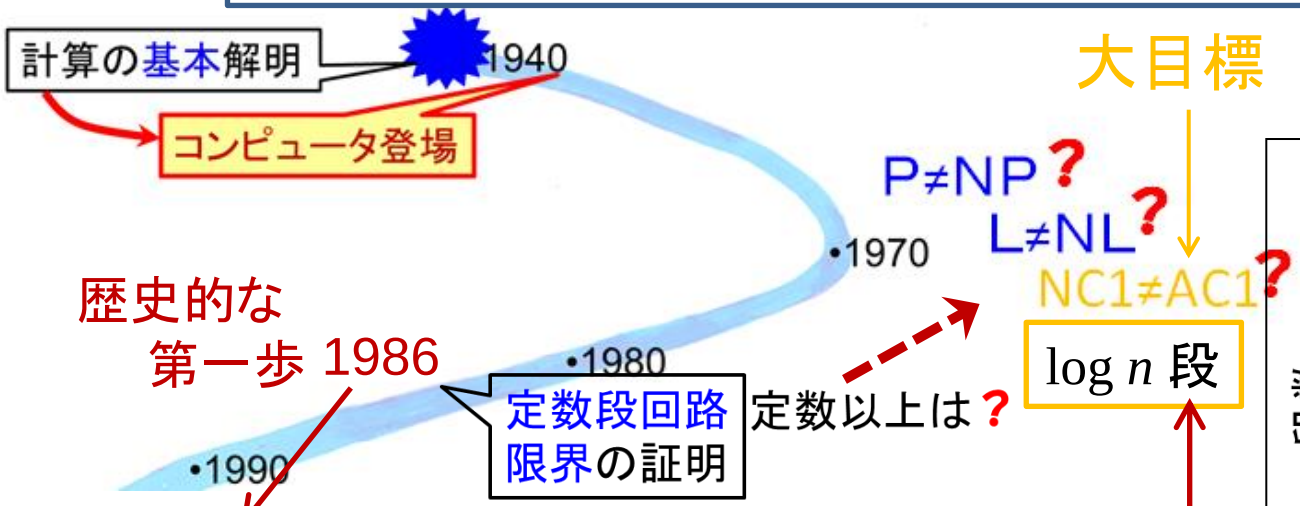


1. 段数制限回路の計算限界

将来の礎となる結果
← 共同での詳細検討

【概要】

段数制限回路での計算能力差の証明
NC（論理式型）<< AC（制約無し）

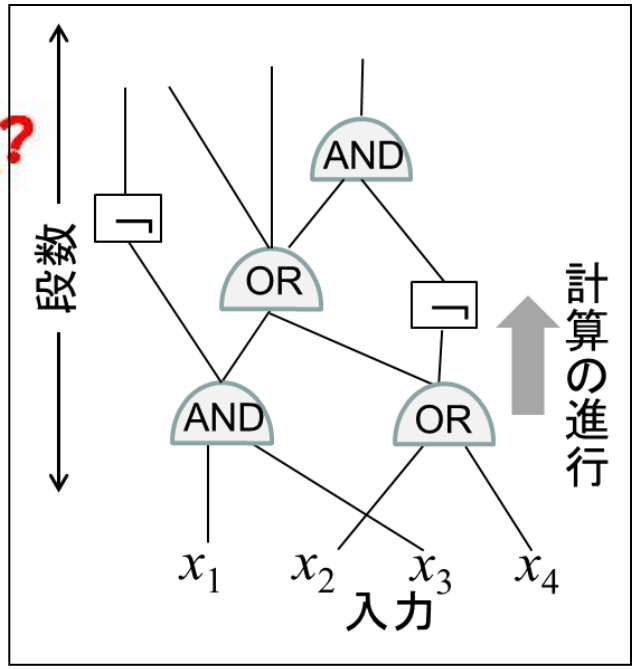


[STOC 2014]
段数制限 loglog n 段で能力差証明

解析手法を多視点から検討

[FOCS 2015a]
各 $d = o(\log n)$ 段で能力差証明

先が
見えてきた



多段型回路計算モデル

1. 段数制限回路の計算限界

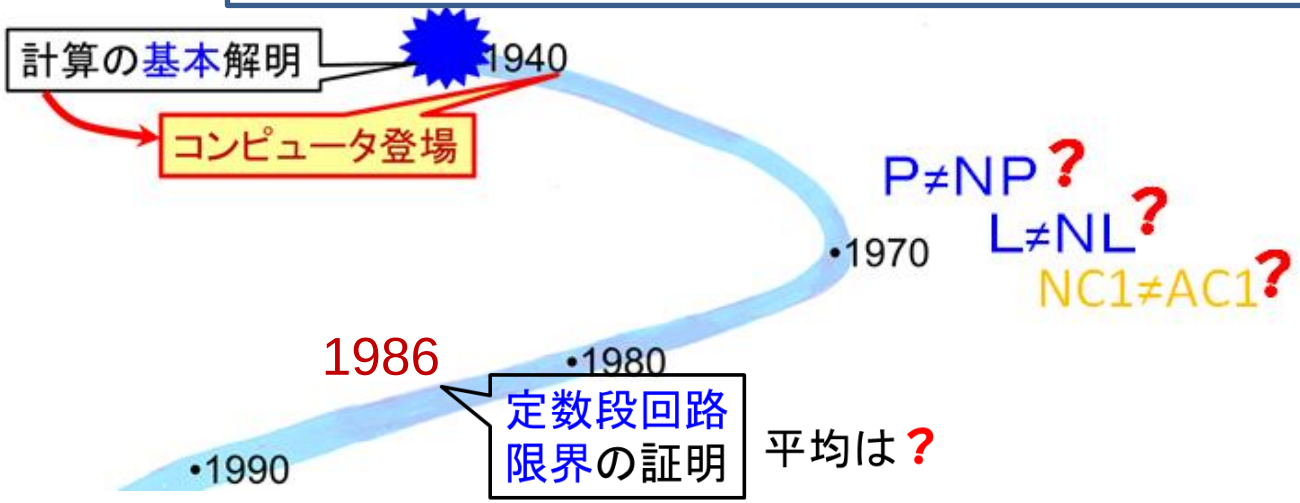
将来の礎となる結果

← 共同での詳細検討

【概要】

段数制限回路での計算能力差の証明

NC（論理式型）<< AC（制約無し）



人工知能

[STOC 2014]

段数制限 $\log\log n$ 段で能力差証明

Deep Learning（深層学習）

の基礎理論へ

解析手法を多視点から検討

計算の理解

[FOCS 2015b]

FOCS 論文賞

平均的な能力差も証明

「深さ」は

大抵の計算で本質的?

2. 計算困難さの相転移

新しい研究の枠組み
← 統計物理の視点から

【概要】

充足解探索問題（典型的なNP問題）で
計算困難さの相転移を議論する枠組みの提案
と相転移現象の証明

背景：計算困難さの非一様性

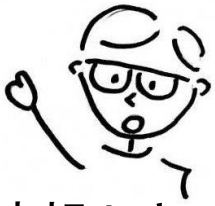
充足解探索問題

典型的なNP問題

人工知能

比較的容易 ⟷ 大変困難

大きなギャップ



情報セキュリティ

対象とする入力データに応じて
計算困難さの質に変化が起きているのでは？

2. 計算困難さの相転移

新しい研究の枠組み
← 統計物理の視点から

【概要】

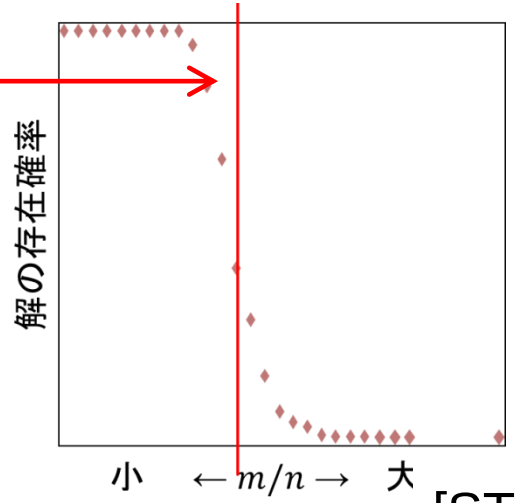
充足解探索問題（典型的なNP問題）で
計算困難さの相転移を議論する枠組みの提案
と相転移現象の証明

統計物理：入力データの質の相転移

解存在の相転移

計算困難さ
の相転移も!?

飛躍あり



[Algorithmica 2013] 渡辺

計算困難さの相転移を
議論する枠組を提案

[STOC 2017] 森＋CMU

その枠組みの下
計算困難さの相転移を証明

本領域の戦略：大規模予算の活用

若手の登用（集団で）

優秀な博士研究員を採用（隣接領域からも）
約 5 名の枠（A01, A02, B01, C01）を領域で計画的に使用
領域全体で計算の理論の専門家に育成　→ 研究連携の要

CMUの研究者

例）　森立平：統計物理 → PD（C01） → 東工大助教

量子計算（C02）の研究者

研究者（とくに海外）招聘

3. 定数時間性質検査

革新的な計算技術 ← 純粋理論から

【概要】

[STOC 2014]

データの性質に関する(性質検査)において定数回質問検査可能な代数的性質の完全な特徴付け

未解決問題の完全解決

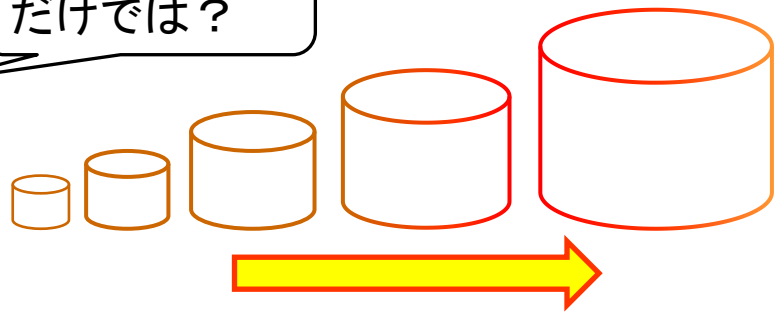
どこまで可能？

高度な計算も可能！

定数回質問の性質検査法

データの性質を定数個のデータを見るだけで判定する計算法

単純な統計量だけでは？



データ量が増えても計算量は不変

より一般的な場合でも？

1990年代後半

[FOCS 1994]

NP問題の解の正しさの判定を定数ビットを見るだけで可能

NP問題の近似不可能性を特徴付ける画期的な理論結果

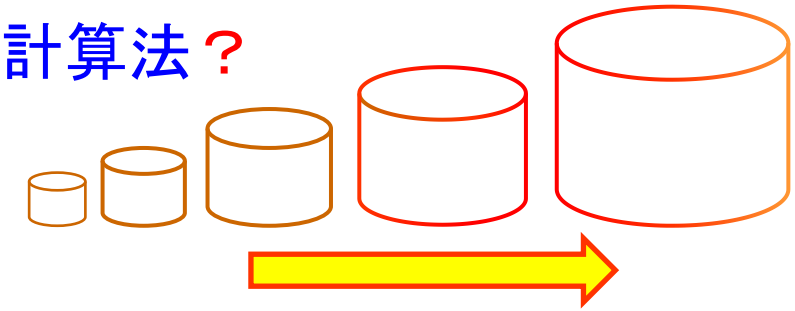
3. 定数時間性質検査

革新的な計算技術 ← 純粋理論から

【概要】 [STOC 2014]

データの性質に関する(性質検査)において定数回質問検査可能な代数的性質の完全な特徴付け

夢の超高速計算法？



データ量が増えても計算量は不変

高度な計算も可能！

[SODA2017]

ある種の最適化問題の近似解の定数時間計算法

[ESA2016]

定数回質問検査法を持つ大規模ネットワーク・モデル

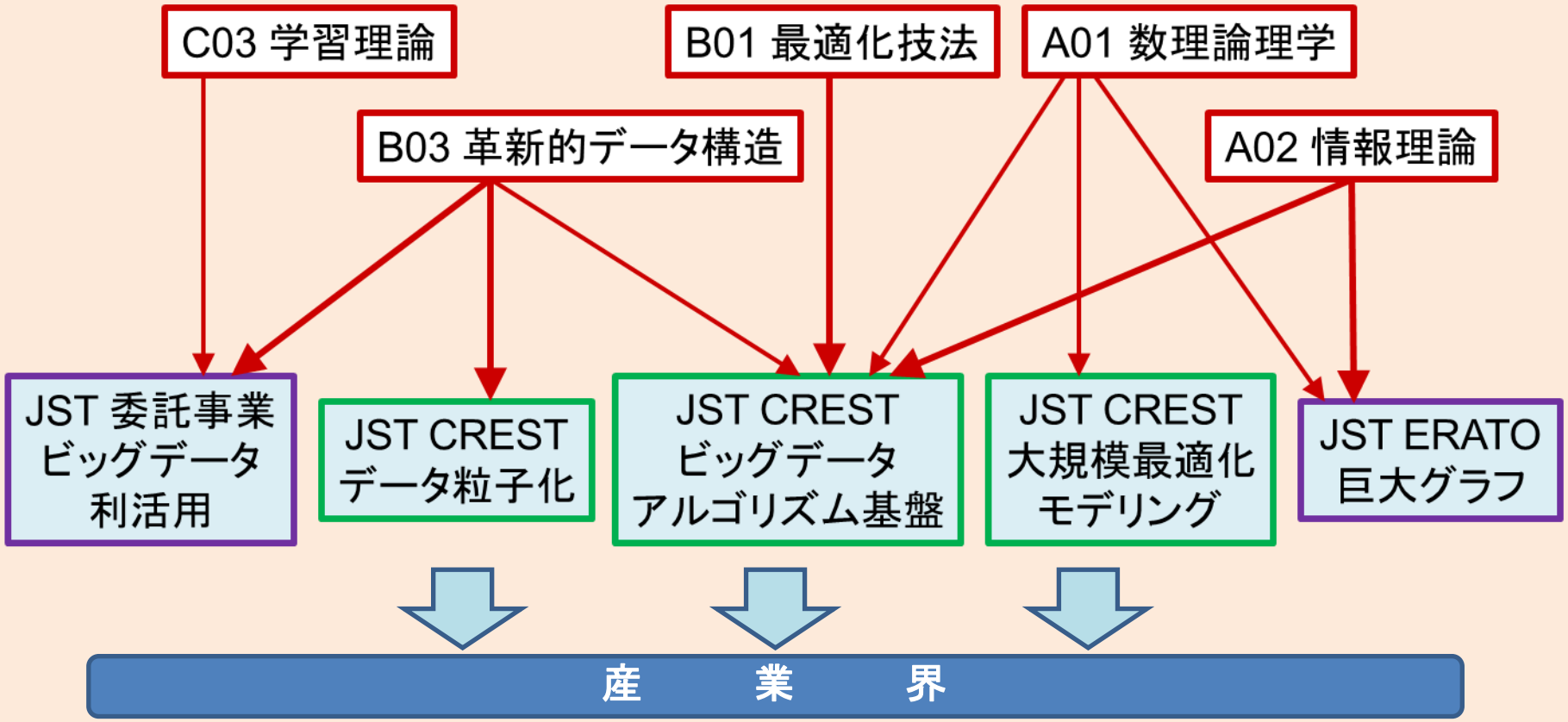
さらに ⇩ 大規模データ Big Data 利活用の基礎 ⇩ さらに

本領域の戦略：理論の波及を目指して

さらに ⇩ 大規模データ Big Data 利活用の基礎 ⇩ さらに

革新的技術の応用を目指したプロジェクトの始動

基礎理論から直ちに応用への波及を進める戦略



公募研究について

活躍！連携の要として

2年×2ラウンドで延べ 98 件

		計画班								
	公募班	A01	A02	A03	B01	B02	B03	C01	C02	C03
2013 2014	公募 1（A01）	2	1	12	6		4			
	公募 2（B03）	1		7	3		3			3
	公募 3（B03）			3	2		1			1
2015 2016	公募 1（A01）	2	3	10	2	5				
	公募 4（A03）	1	2	3		2				
	公募 2（B03）	2		8	4		3			2

共著論文総数（査読有り）

活躍！新たな展開先の開拓

公募 5: 計算量解析にスーパーコンピュータを利用する道を開拓

公募 6: 省領域計算や量子計算の解析を分散計算へ展開

公募 7: 計算複雑さの理論をオークションの性能評価へ展開

領域としての活動

若手の育成

主にプロジェクト関係の学生に対して

- 国際会議参加：?件
- 長期（1月以上）海外研修：5件
- 学生定例勉強会：隔週実施
  - ELC研究センターにて
  - 遠隔会議システム利用

広く全国の大学院生に対して

- 秋学校：９回
  - 理論計算機科学の最近の話題から
- 電子情報通信学会総合大会で COMP-ELC 学生発表賞：5 回
  - 優秀な学生のエンカレッジ

理論系プロジェクトの使命

アウトリーチ活動

研究者（含：周辺領域）に対して

- チュートリアル講演：5件
- 学会解説記事：6編
- 英文解説論文集：2巻
- 専門書（計算限界関連）：4冊

ELC Survey Series

一般の方々に対して

- サイエンスカフェ：3回
- ニュースレター：4号
- 「数セミ」特集：1件
- 啓発書：3冊

コンピュータサイエンス
丸善サイエンスパレット

PD延べ10名

准教授 1　講師 1
助教　4　海外 PD 2
常勤研究員 2

秋学校

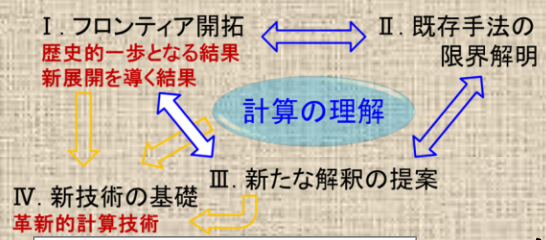
ELC Workshop 2017

Computational Complexity Conference Tokyo 2017

旗艦国際会議開催

Kickoff Symp. 2013

計算限界研究センター



査読論文 **800件**以上
共著論文 **100件**以上
二大会議の論文賞 **2 件**

若手の登用
育成

研究者
招聘

大きな予算

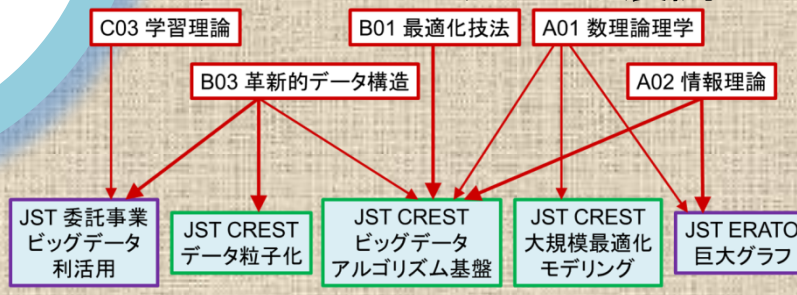
新学術領域

研究集団
の組織化

多面的
な解析

拠点形成

大型プロジェクトへの展開



公募班
の活用

重要未解決問題を解決
新たな研究手法の提案

日本の地位向上 ⇦　⇨ 計算限界の新段階

ありがとうございました