

# パネルディスカッション 「量子コンピュータと HPC」

モデレータ 片桐 孝洋

HPC研究会主査

名古屋大学 情報基盤センター

第196回 ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会  
九州大学伊都キャンパス 情報基盤研究開発センター 2階 多目的教室  
2024年9月30日（月） 15:45 - 17:00

# 企画趣旨

- ▶ 量子コンピュータの研究開発が注目されている
- ▶ 誤り耐性量子コンピュータ（FTQC：Fault-Tolerant Quantum Computer）の研究進展の話題があり（量子越冬？）、実用化に期待がされている
- ▶ 特に、量子・古典ハイブリット計算が注目されている。そのためには、スーパーコンピュータを含むHPC技術との連携が不可欠である。
- ▶ 本パネルでは、HPC関連の研究も行っており、かつ、量子コンピュータ関連の研究も行っている研究者が話題を提供し、討論する

# パネリストとお題

## ▶ パネリスト

- ▶ 谷本 輝夫（九州大学）
- ▶ 中島 研吾（東京大学）
- ▶ 鈴木 智博（山梨大学）
- ▶ 今村 智史（富士通）

## ▶ 本パネルの流れ

- ▶ 各10分程度のポジショントーク
- ▶ パネル討論（25分）

## ▶ 各自に出したお題

1. HPCと量子コンピュータの研究に関する接点について
2. 今後の5～10年で、何をやっていくべきか

# 1. HPCと量子コンピュータの研究 に関する接点について

# 解答

## ▶ 自動チューニング

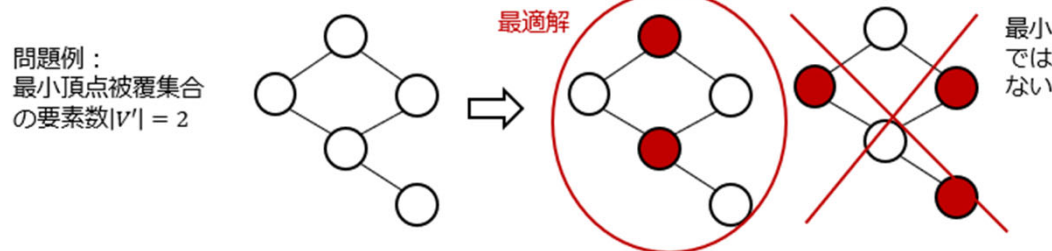
- ▶ 量子コンピュータ（量子計算）にも性能パラメタは、たくさん現れる
  - ▶ 性能チューニングが、解の精度に大きな影響を及ぼす！
  - ▶ 性能チューニングの工数は少なくない  
→ソフトウェア工学的観点

# (事例) チューニング対象の性能パラメタ (疑似量子アニーラ)

## ● 最小頂点被覆問題

グラフ $G = (V, E)$ において,  $G$ の頂点被覆である $V' \subseteq V$ のうち,  $|V'|$ が最小となるものを求める問題

※「頂点集合 $V' \subseteq V$ がグラフ $G = (V, E)$ の頂点被覆」=「全ての辺 $e \in E$ について端点の少なくとも一方が $V'$ に含まれる」



## QUBO形式

$$H = \underbrace{w_a \sum_{(u,v) \in E} (1 - x_u)(1 - x_v)}_{\text{制約項}} + \underbrace{w_b \sum_{v \in V'} x_v}_{\text{最適化項}}$$

### ① 最適化問題

↓ 定式化

### ② イジングモデル

エネルギー関数  
(各項の重み,  
問題固有のハイパーパラメータなど)

← 自動チューニング

↓ 入力

### ③ 実行

アニーリングマシン  
(アニーリングパラメータなど)

↓ 出力

### ④ スピン取得

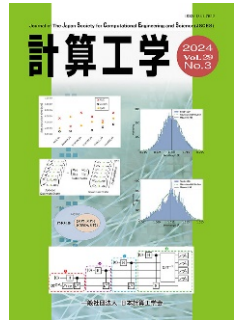
## 疑似量子アニーラ性能パラメタ

パラメータ名	説明
Wa	制約項の重み
Wb	最適化項の重み
chain_strength	チェーンの強さ
temperature_num_steps	アニーリングのステップ数
temperature_step_length	アニーリングのステップ長
temperature_initial	アニーリングの初期温度
temperature_target	アニーリングの最終温度

Source: 森下誠, 片桐孝洋, 大島聡史, 星野哲也, 永井亨, 量子コンピューティングへの自動チューニングの適用と評価, 情報処理学会研究報告2023-HPC-189, (2023)

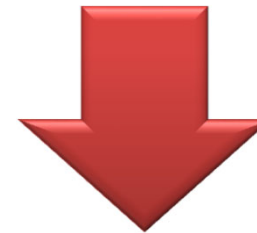
# ATソフト**Optuna**による自動チューニング (疑似量子アニーラ)

参考: 計算工学 (Vol.29 No.3 2024) 特集号  
<https://www.jsces.org/activity/journal/>



## ● デフォルトでの最適解解答率

	$w_a$	$w_b$	$chain\_strength$	最適解 回答率
$N = 3$	1.00	1.00	1.00	5%



**ATにより  
最適解の解答率向上**

## ● AT後の最適解解答率

	$w_a$	$w_b$	$chain\_strength$	最適解 回答率
$N = 3$	9.76	0.01	6.42	86%

**自動チューニング後、自動設定されたパラメタ**

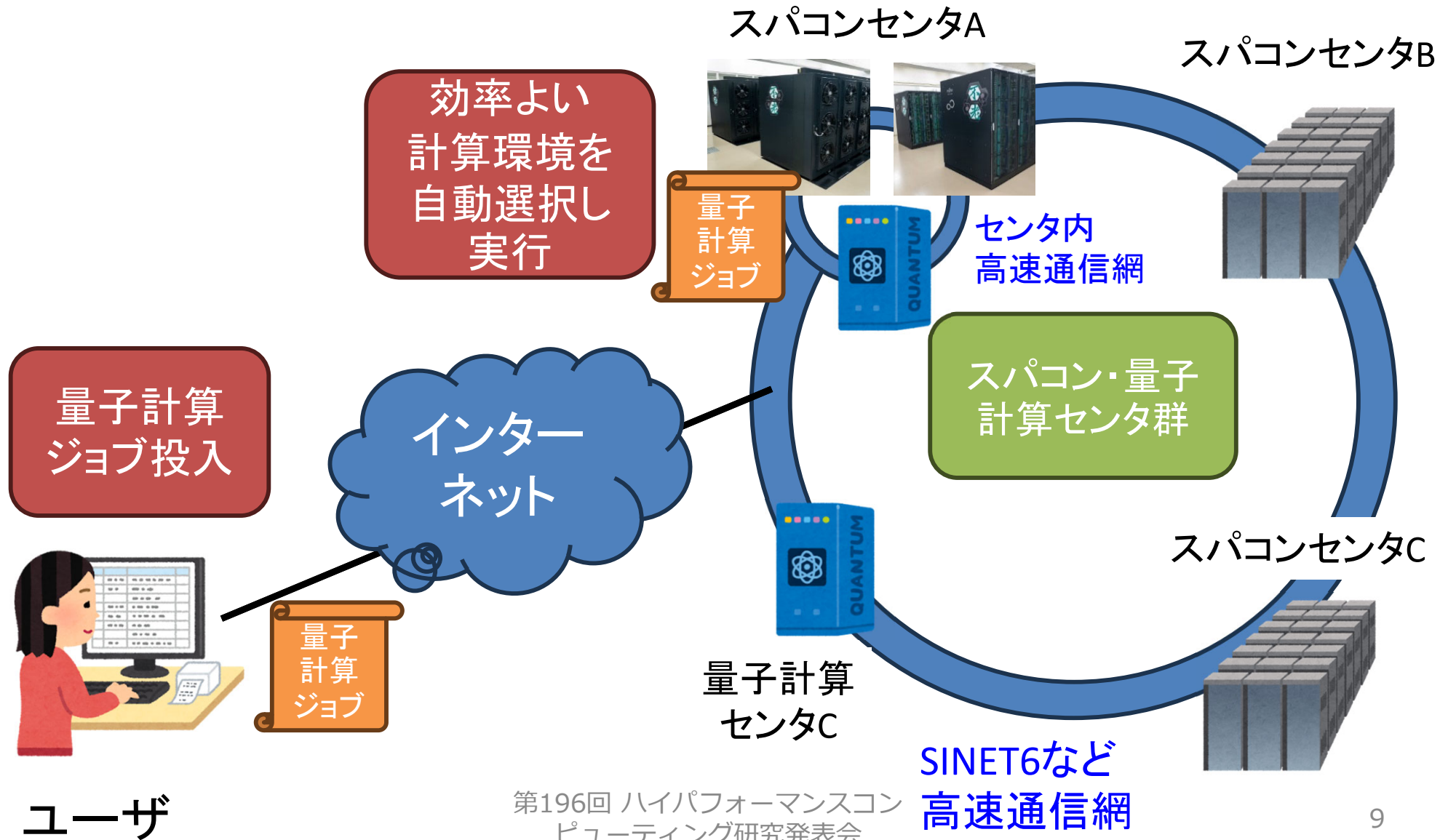
## 2. 今後の5～10年で、何を やっていくべきか



# HPC-Centric Quantum Computing

- FTQC実用化までは、HPC技術の中核として量子研究の支援をする  
**HPC-Centric Quantum Computing を行う**

Source: T. Katagiri, HQCC-AT: An Application Programming Interface for Hybrid Quantum-Classical Computing with Auto-tuning Facility, 7<sup>th</sup> September 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.18404.39043



# AT技術による量子・古典計算環境

- 将来実現するFTQCへのシームレスな移行を支援

## 古典計算機

### 古典アルゴリズム

GPU並列

マルチコア並列



スーパーコンピュータ

全自動で  
ジョブ(プログラム)  
が移動

自動  
チューニング

## 量子計算機(実機)

回路型

NISQ

アニーラ型

D-waveほか



## 量子回路シミュレータ

回路型

(シミュレータ)

GPU並列

スーパーコンピュータ



## アニーラ型(疑似量子)

日立CMOSアニーリングマシン

富士通デジタルアニーラ

NEC Vector Annealing

疑似量子コンピュータ(クラウド)

問題規模・特性等  
に応じ  
適する環境を  
自動選択

# 量子関連技術のAT課題

## ATへの要求事項

### 量子アルゴリズム

- 精度と速度に関連する性能パラメタ

問題特性に依存する  
性能パラメタチューニング

- ・静的(実行前)自動チューニング
- ・動的自動チューニング

### プログラミング環境

- QUBO記載
- 量子回路シミュレータ
- 量子コード最適化

・アニーラ選択(量子／疑似／古典)  
・性能パラメタチューニング

・シミュレータ実行環境選択(GPU/CPU)  
・性能パラメタチューニング

・コード(量子回路)最適化

### 実行環境

- クラウド上での連結  
(古典 $\leftrightarrow$ 量子)
  - ・スーパーコンピュータと量子コンピュータの連結

・実行環境選択  
(スパコン／量子／疑似量子)  
・スケジューラ、資源選択  
・問題特性に応じた最適化  
ほか

# 量子コンピュータの実力評価をする 時期が到来

- 今後すべき事：**実問題での性能評価！**
  - 例) 疎行列の連立一次方程式を解く  
Harrow-Hassidim-Lloyd (HHL) アルゴリズム
    - 古典アルゴリズムの計算量は $O(N)$ で、HHLでは $O(\text{poly}(\log N))$ で量子加速
    - とはいえ、右辺 $b$ と解ベクトル $x$ の入出力に、 $O(N)$ のコストがかかるなら、意味なし
    - 問題を縮小して解く場合、**古典でもその考えを活用し計算量削減可能**  
(例：ランダムサンプリングアルゴリズム)

実用性評価では、実用問題を、データ入出力時間を含め  
アプリケーションの起動から終了までの**実行時間と解の精度**を評価すべし

# キーワード（HPCとQC）

- スパコン（古典）とQCの、実装を考慮した性能ガチ評価
- 実際使える、スパコン+QC環境（2026年には動く）
- 量子回路シミュレータの活用
- HPCや応用数理の分野になじみが深い、連立一次方程式の解法からやってみては？
- 量子アニーラは、HPC分野でも使いやすいQC分野対象→だが、古典に勝つかは？
- （やはり）キラーアプリ探索