

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

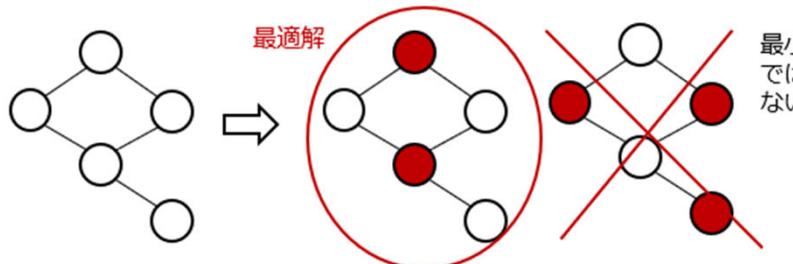
(事例) チューニング対象の性能パラメタ (疑似量子アニーラ)

● 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」

問題例：
最小頂点被覆集合の要素数 $|V'| = 2$



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

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)



入力

④ スピン取得



出力

QUBO形式

$$H = w_a \sum_{(u,v) \in E} (1 - x_u)(1 - x_v) + w_b \sum_{v \in V'} x_v$$

制約項
最適化項

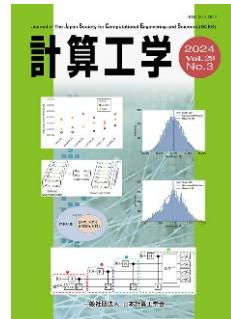
疑似量子アニーラ性能パラメタ

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	チェインの強さ
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, 大島聰史, 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)

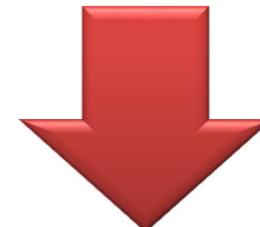
参考:計算工学 (Vol.29 No.3 2024)特集号
<https://www.jsces.org/activity/journal/>



● デフォルトでの最適解解答应率

	w_a	w_b	<i>chain_strength</i>	最適解 回答率
$N = 3$	1.00	1.00	1.00	5%

● AT後の最適解解答应率



ATにより
最適解の解答应率向上

	w_a	w_b	<i>chain_strength</i>	最適解 回答率
$N = 3$	9.76	0.01	6.42	86%

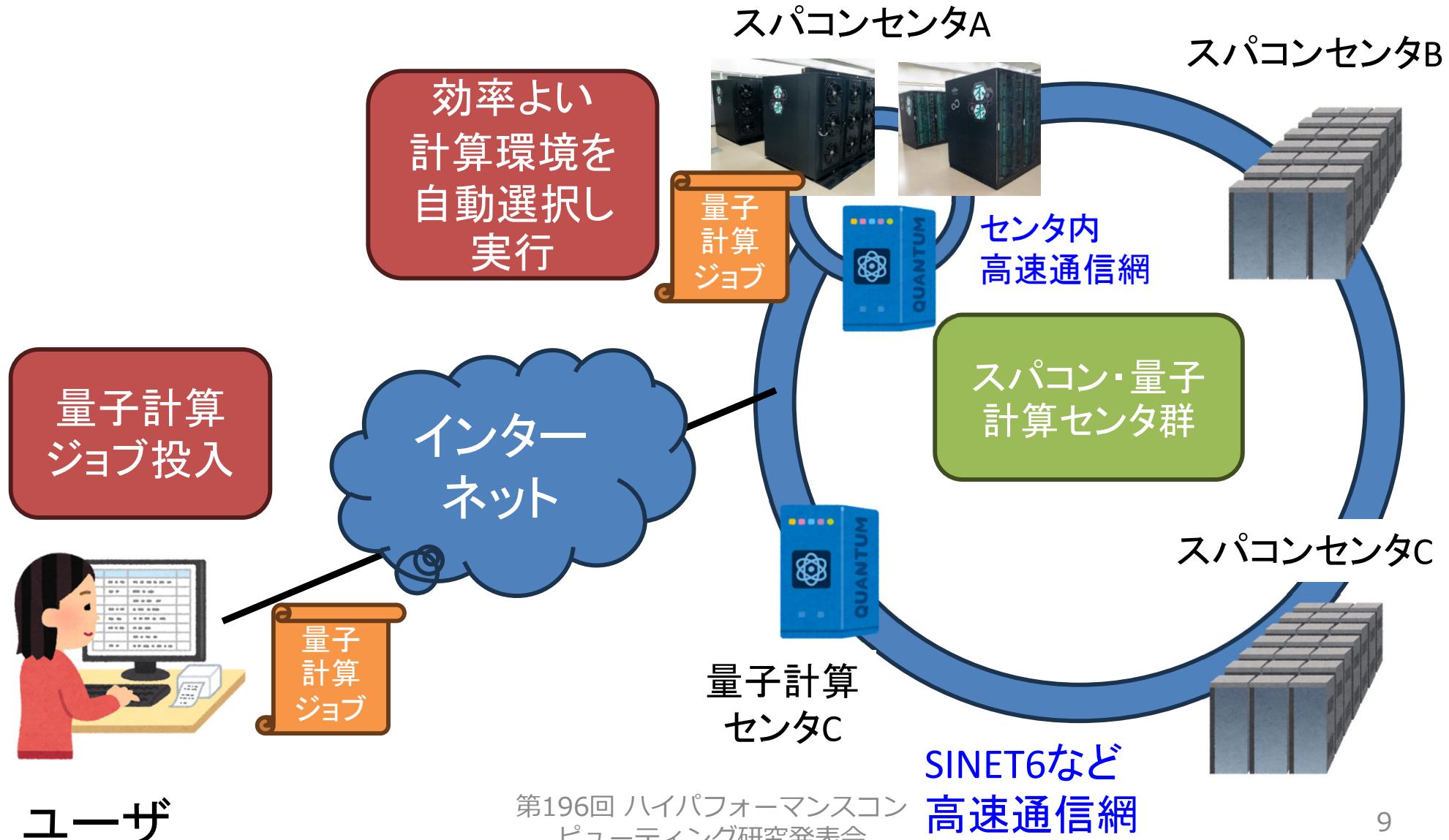
自動チューニング後、自動設定されたパラメタ

2. 今後の5～10年で、何を
やっていくべきか

HPC-Centric Quantum Computing

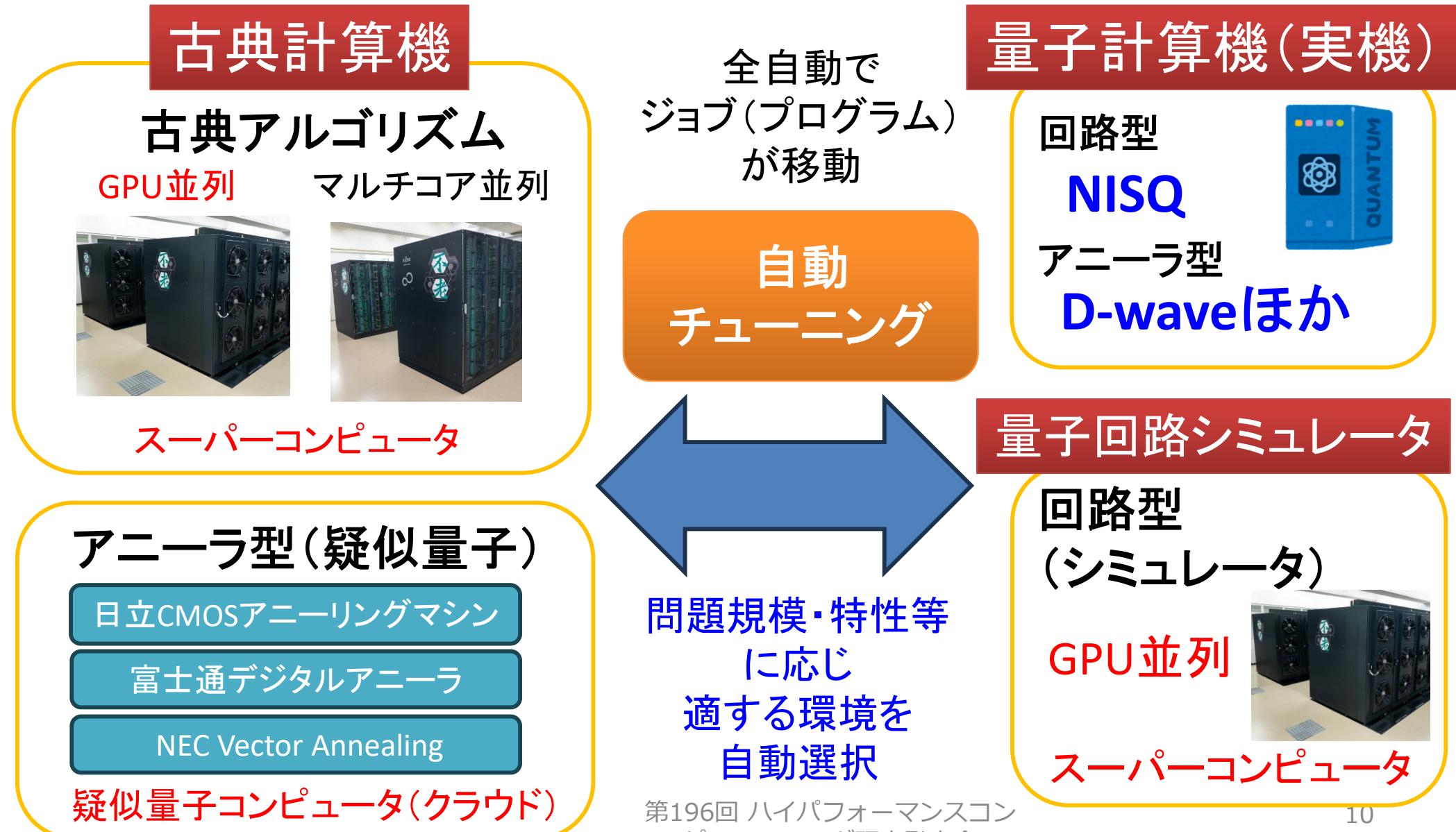
- FTQC実用化までは、HPC技術を中心として量子研究の支援をする
HPC-Centric Quantum Computing を行う

Source: T. Katagiri, HQCC-AT: An Application Programming Interface for Hybrid Quantum-Classical Computing with Auto-tuning Facility, 7th 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



量子関連技術のAT課題

- 量子アルゴリズム
 - 精度と速度に関連する性能パラメタ
- 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
- 実行環境
 - クラウド上の連結 (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

ATへの要求事項

- 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
- ・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
 - とはいっても、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、古典でもその考え方を活用し
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、データ入出力時間も含め
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