

アドバンス・シミュレーション 第5回 ・セミナー 2025

2025 年 9 月 12 日 (金) 開催

プログラム

1. アドバンスソフト株式会社についてと、先生のご紹介 1

招待講演

2. 「量子技術を活用した次世代流体解析基盤の確立に向けて」 3

九州大学 工学研究院 航空宇宙工学部門 准教授 久谷 雄一 様

3. アドバンスソフトからの情報提供 26

講演概要

「量子技術を活用した次世代流体解析基盤の確立に向けて」

九州大学 工学研究院 航空宇宙工学部門 准教授 久谷 雄一 様

ムーアの法則の限界が指摘される中、量子力学の原理に基づき、特定の問題ではスーパーコンピュータを凌駕する可能性を持つ量子コンピュータが注目されており、世界中で開発競争も激化している。一般に量子コンピュータとは「ゲート型」のものを指すが、それとは全く異なる仕組みで動作する量子アニーリングマシンの開発も進んでいる。量子アルゴリズムは従来の古典コンピュータに対するアルゴリズムとは大きく異なるため、量子コンピューティングの流体理工学分野への応用に関してはまだ模索が始まったばかりである。本発表では、量子コンピューティングの基礎や当該分野の現状、そして我々の最近の取り組みを紹介したい。

AdvanceSoft



アドバンスソフト株式会社 セミナー事務局

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台四丁目3番地 新お茶の水ビルディング17階西

TEL: 03-6826-3971 FAX: 03-5283-6580

URL: <https://www.advancesoft.jp/> E-mail: office@advancesoft.jp

アドバンスソフト株式会社についてと 先生のご紹介

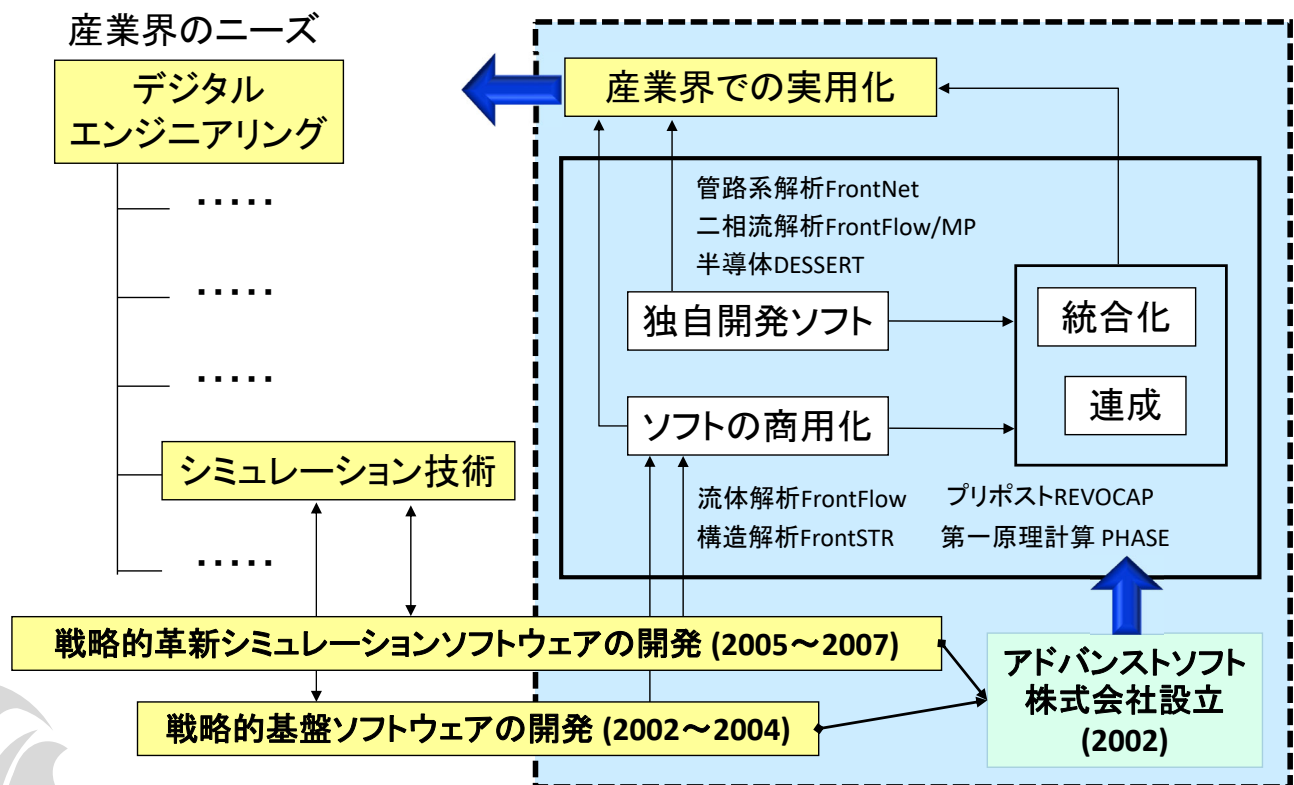
第5回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2025
(九州大学 工学研究院 航空宇宙工学部門
准教授 久谷 雄一 様)

2025年9月12日（金）開催
アドバンスソフト株式会社

Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

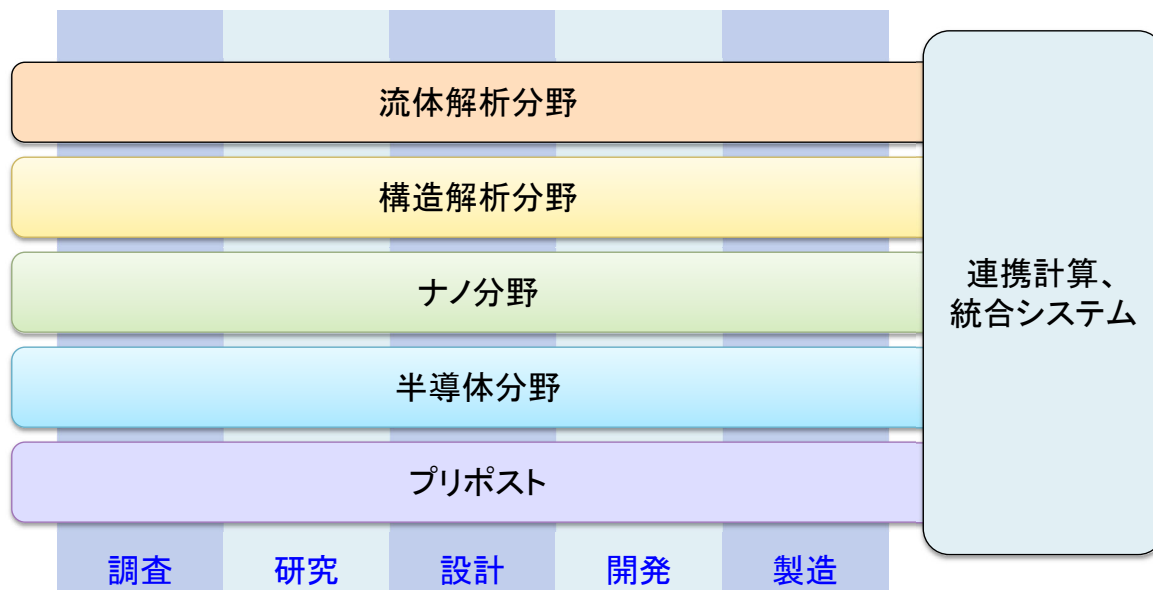
1

アドバンスソフトとは



Copyright ©2025 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、
科学技術計算によるソリューションをご提供します。

久谷 雄一 先生 のご紹介

ご経歴

2010年	University of Southampton, School of Engineering Sciences, Postgraduate research programme 修了 (PhD) .
2011年	University of Southampton, Airbus Noise Technology Centre, Research fellow.
2012年	Mercedes-AMG Petronas Formula One Team, CFD aerodynamicist.
2016年10月	東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻 助教.
2022年4月	同准教授.
2025年1月	九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門 准教授.

ご研究内容

専門分野は、空気力学、数値流体力学、量子コンピューティング。

量子技術を応用した次世代流体解析基盤の確立に向けて

九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門
久谷 雄一

自己紹介・研究歴

1

- ・ 久谷 雄一
- ・ 所属: 九州大学 大学院工学研究院 航空宇宙工学部門
- ・ 研究歴: 大阪大学 (学士 / 修士)

- ガスタービンのフィルム冷却に関する実験的研究

University of Southampton (PhD / Research fellow)

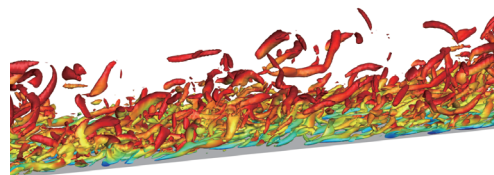
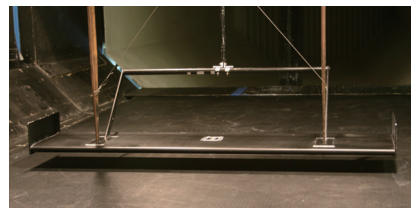
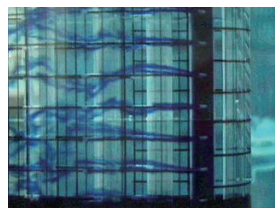
- グラウンドエフェクト下に置かれた翼の剥離制御に関する研究
- 風洞実験と数値計算データを融合させた応答曲面の構築
- 航空機ランディングギア周りの空力音響に関する研究

Mercedes-AMG PETRONAS F1 Team (CFD aerodynamicist)

- なし

東北大学 (-2024.12)

- 圧縮性流体の高精度数値計算を目的とした数値計算手法の構築
- 数値流体計算における層流-乱流遷移モデルの構築 (Reynolds stress model, directed percolation)
- **量子コンピュータを用いた流体計算・形状最適化・機械学習**



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Nico_Rosberg_2016_Malaysia_FP2.jpg

- ・ 次世代流体解析基盤の確立に向けた研究・開発に先駆的に取り組む
- ・ ソフト開発によりハード開発を牽引

現在の主な取り組み - 量子コンピューティング × 流体工学

	量子アニーリング	ゲート型量子コンピューティング	量子インスパイアード (古典コンピュータ)
流体計算	✓	✓	✓
最適化	✓	Future work?	Future work?
機械学習	✓	Future work?	✓

Annual Meeting of the APS Division of Fluid Dynamics

- Quantum Algorithms for Fluid Flows (2021)
- Quantum Computing for Fluids (2022)
- Quantum Computing (2023)
- Quantum Computing for Fluids (2024) + 2件の量子インスパイアード手法に関する発表
- Quantum Computing for Fluids (2025)

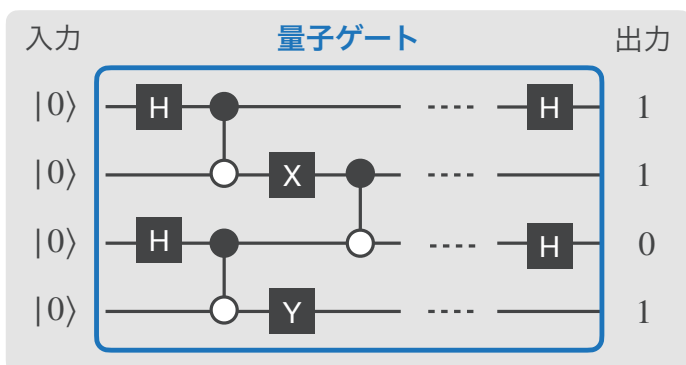
35th Parallel CFD International Conference 2024

- Quantum Computing for CFD Applications

1st International Conference on Applied Quantum Methods in Computational Science and Engineering (AQMCSE) 2025

量子コンピュータ (ゲート型 & アニーリング型)

ゲート型 (量子コンピュータ)



- 汎用計算が可能 (ベクトルと行列演算)
- IBM: 1121 qubits
Riken: 64 qubits
IonQ: 32 qubits

アニーリング型 (量子アニーリングマシン / 量子アニーラ)

QUBOモデル (0 or 1)

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

イジングモデル (-1 or 1)

$$E(\{\sigma_i\}) = \sum_i h_i \sigma_i + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i \in \{-1, 1\}$$

$$x_i = \frac{\sigma_i + 1}{2}$$

- 組み合わせ最適化に特化
- D-wave: 5000 qubits
NEC: Vector Annealing (300,000 qubits)
Fujitsu: Digital Annealer (100,000 qubits)
Toshiba: SQBM+ (10,000,000 qubits)

List of quantum processors: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_quantum_processors



≈



現在の量子コンピュータは紙飛行機 (B787やA350ではない)

飛べる, しかし...

- スケールが小さい (利用可能な量子ビット数が限られている)
- 完璧にコントロール出来ない (出来ていない)

実用化までにはまだ少なくとも10年以上かかると言われている
(60-70年と言う人もいれば, 20-30年と言う人もいる)

https://newsroom.ibm.com/media-quantum-innovation?l=10&o=100#gallery_gallery_0:21596

量子コンピューティング (主にゲート型) とは?

- (特定の問題に対して,)
 - 古典コンピュータよりも演算が高速に行える (量子優位性)
 - 古典コンピュータでは実行不可能な計算が, 量子コンピュータにより実行可能となる (量子超越性)
- ▶ (おそらく) 適している: 膨大な数の組み合わせから確率的に良い解を見つける問題
e.g.) 創薬, 機械学習, 暗号
- ▶ (おそらく) 不適: 厳密解を求める問題
e.g.) 給与計算, 流体計算

量子コンピューティング (主にゲート型) とは?

8

- (特定の問題に対して,)
 - 古典コンピュータよりも演算が高速に行える (量子優位性)
 - 古典コンピュータでは実行が事実上不可能な計算が量子コンピュータによる実行可能となる (量子超越性)
- 量子重ね合わせや量子もつれなどの量子力学特有の現象が利用されている

量子コンピュータの特徴: 量子重ね合わせ

9

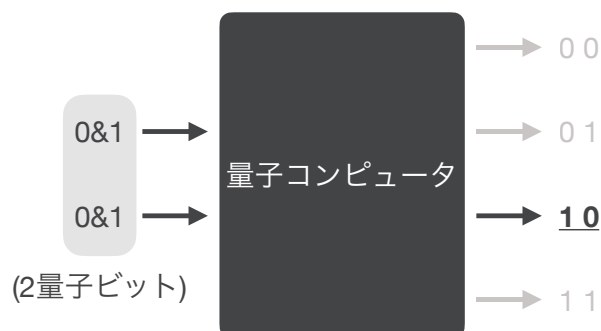
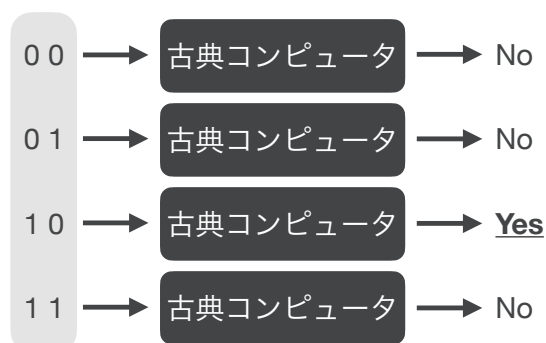
古典コンピュータ



量子コンピュータ



(例) ブラックボックスの中から [1, 0] の組み合わせを取り出す





量子コンピューティング (主にゲート型) とは?

- (特定の問題に対して,)
 - 古典コンピュータよりも演算が高速に行える (量子優位性)
 - 古典コンピュータでは実行が事実上不可能な計算が量子コンピュータによる実行可能となる (量子超越性)
- 量子重ね合わせや量子もつれなどの量子力学特有の現象が利用されている
- 古典コンピュータと比較して熱効率が良いとされている
- まだまだ演算時にエラーが生じやすく, 利用できる量子ビット (qubit) の数も限られている
 - 物理量子ビット (エラー訂正なし) と論理量子ビット (エラー訂正あり) は異なる
 - 例えば, IBM Condorは1121量子ビット搭載しているが, これは物理ビット
 - 実用計算には数百から数千論理量子ビットが必要とされる (数百万から数千万物理ビット)

- ・ 武田俊太郎「量子コンピュータが本当にわかる」

	利点	欠点
超伝導回路方式	エラー率が1%以下 集積化可能	量子ビットが不安定 冷凍機が必要
イオン方式	エラー率が1%以下 量子ビットが安定	一部の演算が低速 真空容器が必要
半導体方式	高密度に集積化可能	エラー率がまだ高い 冷凍機が必要
光方式	室温・大気中で動作 演算が高速	エラー率がまだ高い 一部の演算が確率的

- ・ ムーンショット型研究開発事業

目標6 公開シンポジウム2025 YouTube:

https://www.youtube.com/playlist?list=PLPMYruqT8NVM6_4z28YEIOSj9lZcel3Sy

量子アニーリング

イジングモデル (-1 or 1)

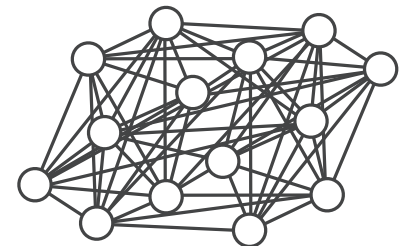
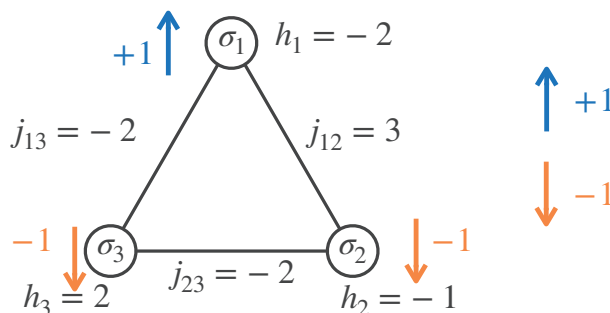
$$E(\{\sigma_i\}) = \sum_i h_i \sigma_i + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i \in \{-1, +1\}$$

QUBOモデル (0 or 1)

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

- ・ イジングモデルもしくはQUBOモデルを最小化する σ_i もしくは q_i の組み合わせを最適解として得る

e.g.)



こんな場合は？

イジングモデル (-1 or 1)

$$E(\{\sigma_i\}) = \sum_i h_i \sigma_i + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i \in \{-1, +1\}$$

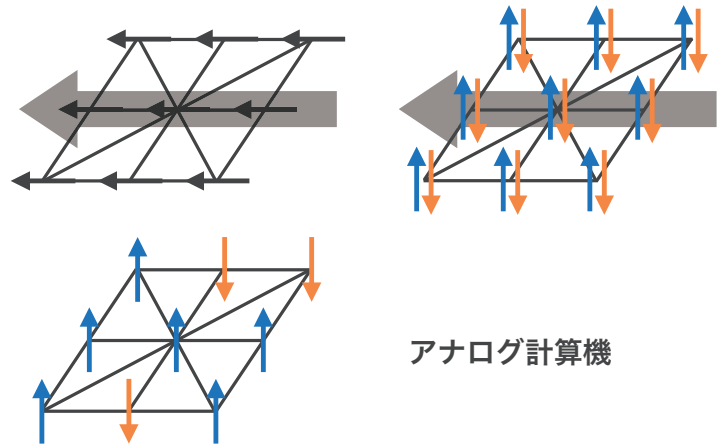
QUBOモデル (0 or 1)

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

- イジングモデルもしくはQUBOモデルを最小化する σ_i もしくは q_i の組み合わせを最適解として得る

1. 横磁場により量子重ね合わせの状態を作る

2. 横磁場を徐々に緩める
(最も安定で、低エネルギー状態に遷移させる)



量子アニーリング

イジングモデル (-1 or 1)

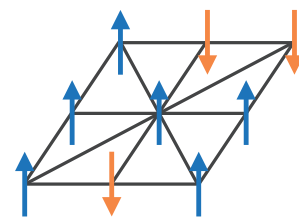
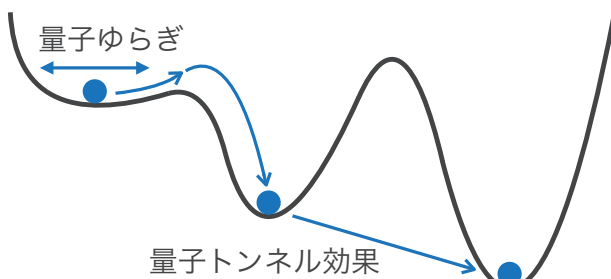
$$E(\{\sigma_i\}) = \sum_i h_i \sigma_i + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i \in \{-1, +1\}$$

$$x_i = \frac{\sigma_i + 1}{2}$$

QUBOモデル (0 or 1)

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

- イジングモデルもしくはQUBOモデルを最小化する σ_i もしくは q_i の組み合わせを最適解として得る
- イジングモデルもしくはQUBOモデルは基本的に等価
- 理想的な量子アニーリングマシンは量子力学の効果により大域的な最適解探索が可能
- 量子アニーリングマシンの実行時間は $20\mu s$ (デフォルト設定)



(技術的には非常に難しいが) 十分な量の量子ビットが全結合されていれば、問題規模に関わらず実行時間は変わらない

<https://www.dwavequantum.com/solutions-and-products/systems/>

Simulated (quantum) annealing solvers

イジングモデル (-1 or 1)

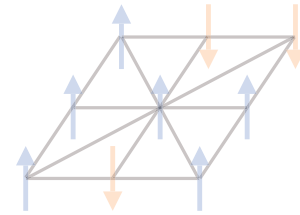
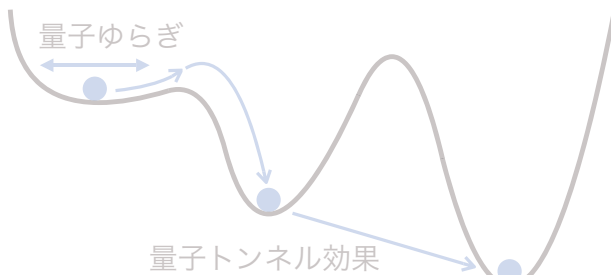
$$E(\{\sigma_i\}) = \sum_i h_i \sigma_i + \sum_{i < j} J_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad \sigma_i \in \{-1, +1\}$$

$$x_i = \frac{\sigma_i + 1}{2}$$

QUBOモデル (0 or 1)

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

- イジングモデルもしくはQUBOモデルを最小化する σ_i もしくは q_i の組み合わせを最適解として得る
- イジングモデルもしくはQUBOモデルは基本的に等価
- 理想的な量子アニーリングマシンは量子力学の効果により大域的な最適解探索が可能
- 量子アニーリングマシンの実行時間は $20\mu s$ (デフォルト設定)



(技術的には非常に難しいが) 十分な量の量子ビットが全結合されていれば、問題規模に関わらず実行時間は変わらない

先行研究: 量子アニーリングを用いた流体計算

有限差分法

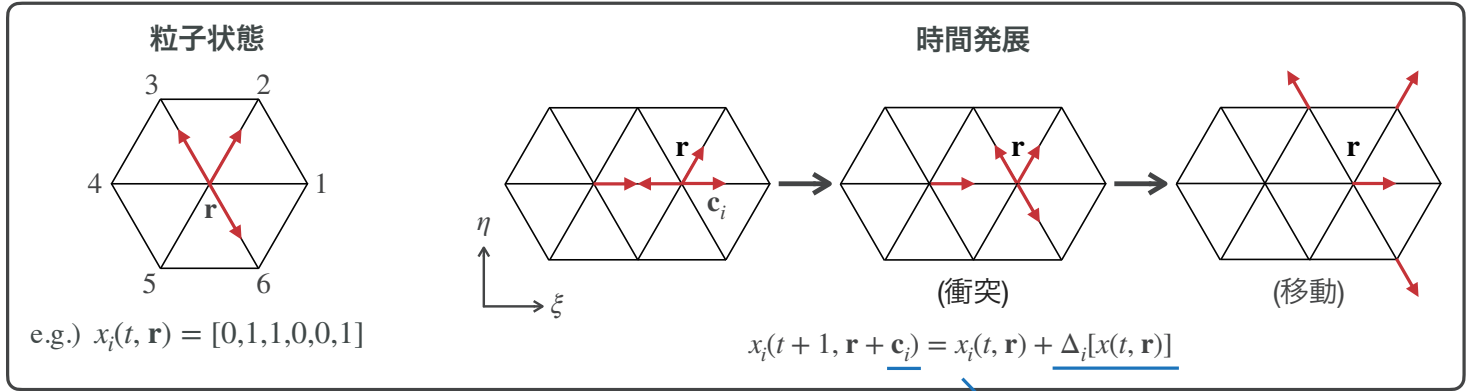
- N. Ray, T. Banerjee, B. Nadiga, and S. Karra
On the viability of quantum annealers to solve fluid flows
Frontiers in Mechanical Engineering, 8, (2022) 906696

格子気体法 (LGA: lattice gas automata)

- Y. Kuya, K. Komatsu, K. Yonaga, and H. Kobayashi
Quantum annealing-based algorithm for lattice gas automata
Computers & Fluids, 274 (2024) 106238

スペクトル法

- D. O'Malley and V. V. Vesselinov
Toq. jl: A high-level programming language for D-Wave machines based on Julia
2016 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC), 1–7
- J. D. D. Rodriguez, A. P. Perez, E. I. Fernandez, and A. J. J. Valera
A quantum annealing approach to fluid dynamics problems solving Navier-Stokes equations
2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech) 1–6
- K. Takagi, N. Moriya, S. Aoki, K. Endo, M. Muramatsu, and K. Fukagata
Implementation of spectral methods on ising machines: toward flow simulations on quantum annealers
Fluid Dynamics Research 56 (2024) 061401



粒子速度: $\mathbf{c}_i = \left(\cos \frac{\pi(i-1)}{3}, \sin \frac{\pi(i-1)}{3} \right) \quad (i = 1, \dots, 6)$

衝突関数: $\Delta_i[x(t, \mathbf{r})]$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta_i(x) = 0 \\ \sum_i \mathbf{c}_i \Delta_i(x) = 0 \end{cases} \text{を満たす}$$

時間発展の保存式

質量保存: $\sum_i x_i(t+1, \mathbf{r} + \mathbf{c}_i) = \sum_i x_i(t, \mathbf{r})$

運動量保存: $\sum_i \mathbf{c}_i x_i(t+1, \mathbf{r} + \mathbf{c}_i) = \sum_i \mathbf{c}_i x_i(t, \mathbf{r})$

qaLGA (量子アニーリングによる格子気体法) のQUBOの構築

時間発展の保存式

質量保存: $\sum_i x_i(t+1, \mathbf{r} + \mathbf{c}_i) = \sum_i x_i(t, \mathbf{r})$

運動量保存: $\sum_i \mathbf{c}_i x_i(t+1, \mathbf{r} + \mathbf{c}_i) = \sum_i \mathbf{c}_i x_i(t, \mathbf{r})$

流体物理に大きく
関わるのは衝突項
移動を外す

衝突前後の保存式

質量保存: $\sum_i x_i(t', \mathbf{r}) = \sum_i x_i(t, \mathbf{r})$

運動量保存: $\sum_i \mathbf{c}_i x_i(t', \mathbf{r}) = \sum_i \mathbf{c}_i x_i(t, \mathbf{r})$

衝突後の状態 $x_i(t', \mathbf{r})$ を求める (t' は衝突後の時間)

質量保存: $\sum_i x'_i = \sum_i x_i = C^\rho \longrightarrow C^\rho - \sum_i x'_i = 0 \longrightarrow \left(C^\rho - \sum_i x'_i \right)^2 = 0$

運動量保存: $\sum_i \mathbf{c}_i x'_i = \sum_i \mathbf{c}_i x_i$

$\mathbf{c}_i = \left(\underbrace{\cos \frac{\pi(i-1)}{3}}_{\mathbf{u}_i}, \underbrace{\sin \frac{\pi(i-1)}{3}}_{\mathbf{v}_i} \right) \quad (i = 1, \dots, 6)$

ξ 方向 $\sum_i \mathbf{u}_i x'_i = \sum_i \mathbf{u}_i x_i = C^{\rho u} \longrightarrow C^{\rho u} - \sum_i \mathbf{u}_i x'_i = 0 \longrightarrow \left(C^{\rho u} - \sum_i \mathbf{u}_i x'_i \right)^2 = 0$

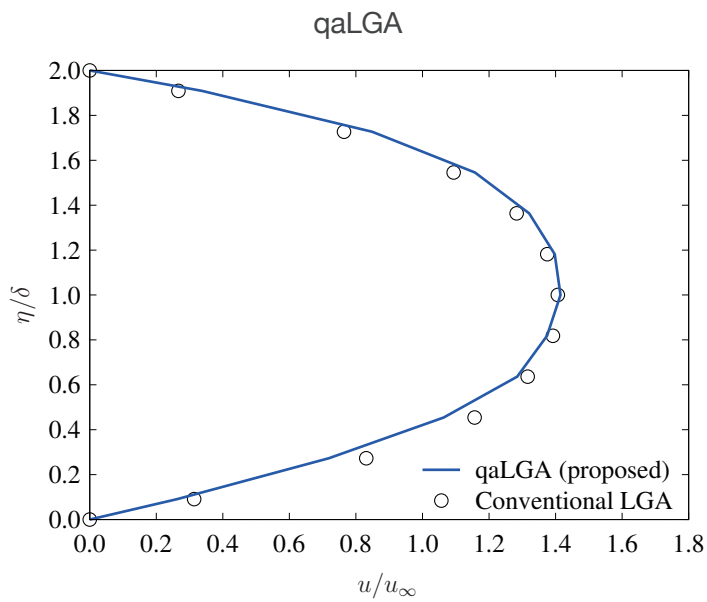
η 方向 $\sum_i \mathbf{v}_i x'_i = \sum_i \mathbf{v}_i x_i = C^{\rho v} \longrightarrow C^{\rho v} - \sum_i \mathbf{v}_i x'_i = 0 \longrightarrow \left(C^{\rho v} - \sum_i \mathbf{v}_i x'_i \right)^2 = 0$

$$\text{QUBOモデル: } E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0,1\}$$

$$E(\{x'_i\}) = \underbrace{\left(C^\rho - \sum_i x'_i \right)^2}_{\text{質量保存}} + \underbrace{\left(C^{\rho u} - \sum_i u_i x'_i \right)^2}_{\xi \text{方向運動量保存}} + \underbrace{\left(C^{\rho v} - \sum_i v_i x'_i \right)^2}_{\eta \text{方向運動量保存}}$$

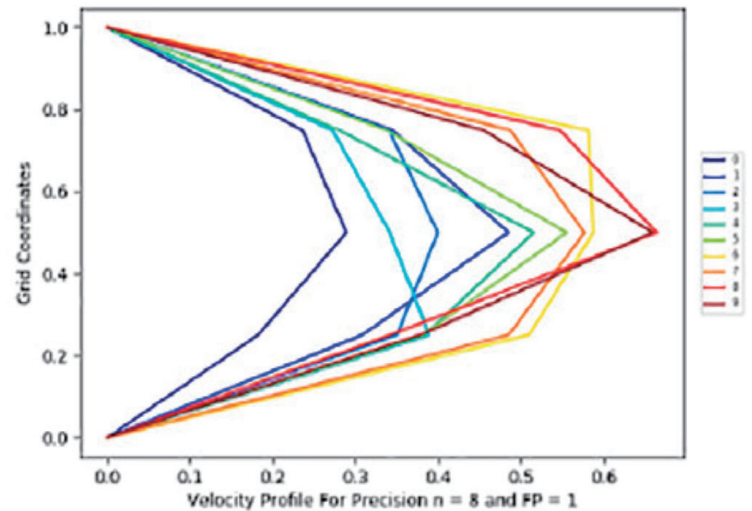
$$\text{QUBOモデル: } E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0,1\}$$

$$E(\{x'_i\}) = \underbrace{\left(- \sum_i 2C^\rho \cdot x'_i x'_i + \sum_i \sum_j 1 \cdot x'_i x'_j \right)}_{\text{質量保存}} + \underbrace{\left(- \sum_i 2C^{\rho u} u_i \cdot x'_i x'_i + \sum_i \sum_j u_i u_j \cdot x'_i x'_j \right)}_{\xi \text{方向運動量保存}} \\ + \underbrace{\left(- \sum_i 2C^{\rho v} v_i \cdot x'_i x'_i + \sum_i \sum_j v_i v_j \cdot x'_i x'_j \right)}_{\eta \text{方向運動量保存}} + \underbrace{\lambda \sum_i x'_i x'_i}_{\text{追加制約条件 } x'_i \neq x_i (\lambda = 0.37)}$$

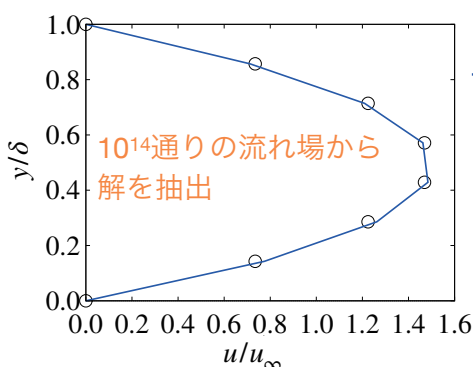
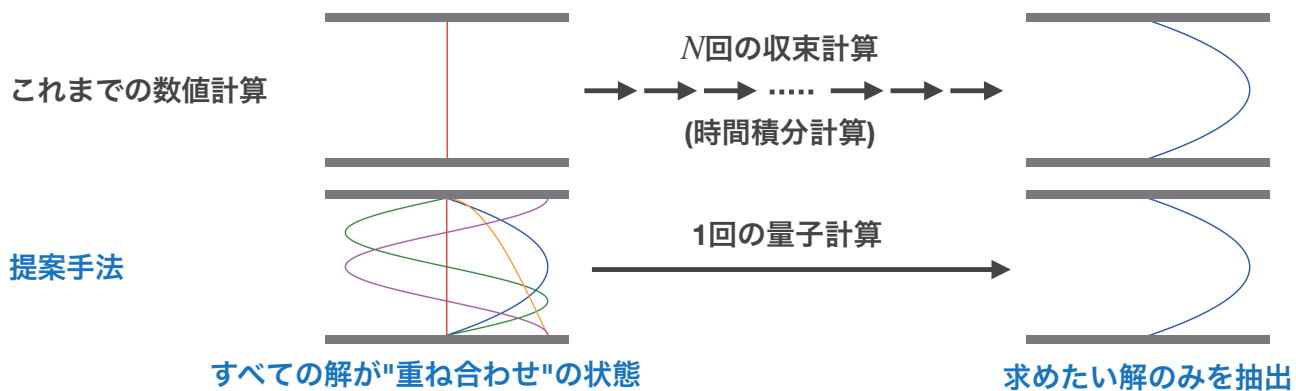


Y. Kuya, K. Komatsu, K. Yonaga, and H. Kobayashi,
Quantum annealing-based algorithm for lattice gas automata,
Computers & Fluids, Vol. 274, 2024, p. 106238

Ray et al., *Front. Mech. Eng.*, 8 (2022) 906696



収束計算を必要としない数値流体解析 (量子アニーリング)

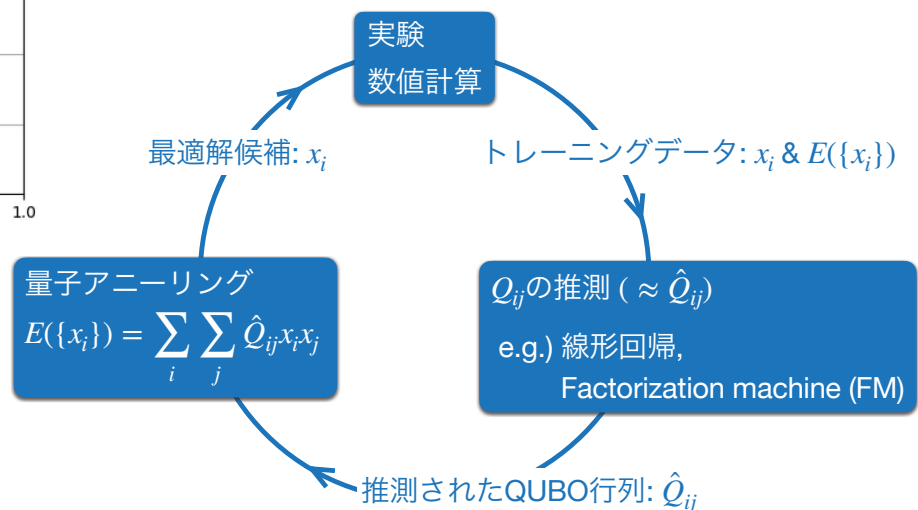
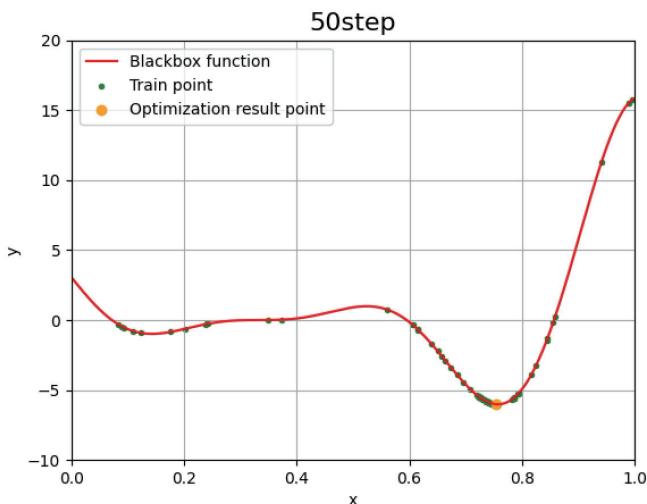
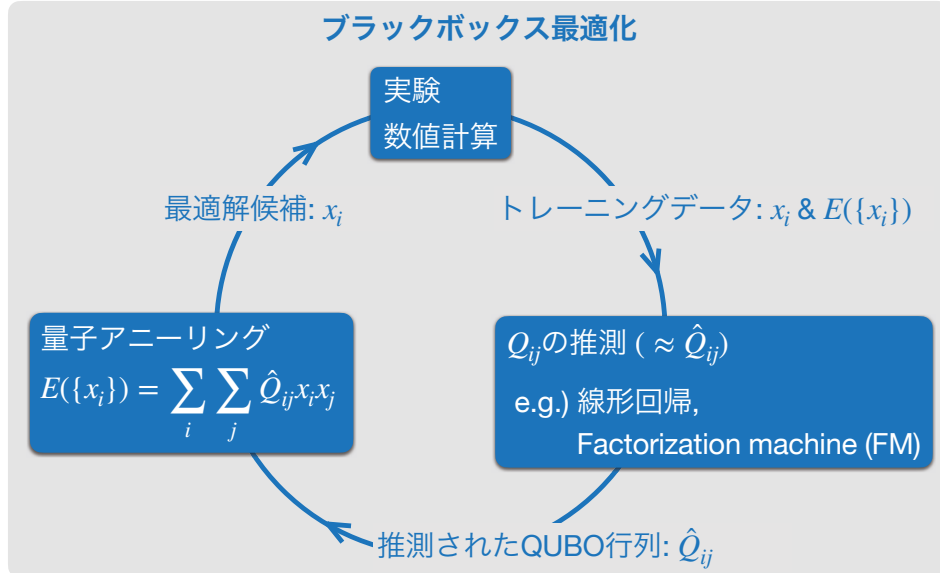


- 量子アニーリングマシンのデフォルトの実行時間は20 μ s
- (技術的には非常に難しいが) 十分な量の量子ビットが全結合されていれば、問題規模に関わらず実行時間は変わらない

Asaga, T., and Kuya, Y.,
Obtaining converged flow solutions using quantum annealing (under 2nd review)

QUBOモデル: $E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0,1\}$

- コスト関数 $E(\{x_i\})$ を最小化する x_i の組み合わせを求める
- QUBO行列 Q_{ij} のみが問題を定める $\longrightarrow$ Q_{ij} がわからない (作れない) ときはどうする?



第 36 回数値流体力学シンポジウム
講演番号 C02-1

高速鉄道車両のトンネル微気圧波低減のための緩衝工開閉パターン調査 Investigation on tunnel entrance hood to reduce micro-pressure wave of high-speed train

- 山内優果, KHI, 岐阜県各務原市川崎町 1, yamauchi_yuka@khi.co.jp:
上野陽亮, KHI, 岐阜県各務原市川崎町 1, ueno_yosuke@khi.co.jp:
田島厚志, KGE, 岐阜県各務原市川崎町 2, tajima_atsushi-kge@corp.khi.co.jp:
安田英将, KHI, 岐阜県各務原市川崎町 1, yasuda_hidemasa@khi.co.jp:
佐々木隆, KRM 神戸市兵庫区和田山通 2-1-18, sasaki_takashi@khi.co.jp:
Yuka Yamauchi, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., 1, Kawasaki-cho, Kakamigahara, Gifu
Yosuke Ueno, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., 1, Kawasaki-cho, Kakamigahara, Gifu
Atsushi Tajima, Kawaju Gifu Engineering co., Ltd., 2, Kawasaki-cho, Kakamigahara, Gifu
Hidemasa Yasuda, Kawasaki Heavy Industries, Ltd., 1, Kawasaki-cho, Kakamigahara, Gifu
Takashi Sasaki, Kawasaki Railcar Manufacturing Co., Ltd., 2-1-18, Wadayama-dori, Hyogo-ku, Kobe



Fig. 1 efSET® (environmentally friendly Super Express Train).

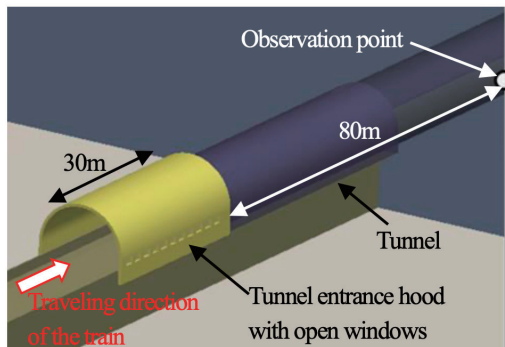


Fig. 3 Tunnel entrance hood and tunnel

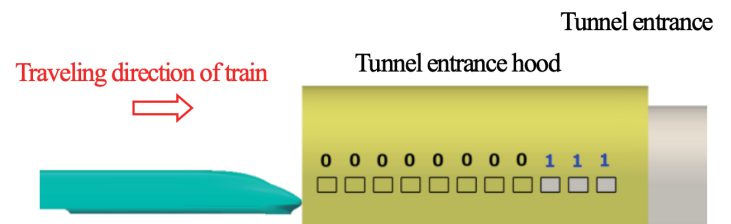


Fig. 5 Opening/Closing pattern of tunnel entrance hood window

(注意) 発表の中でQAが使われているわけではない

- 開口部は11箇所
- $2^{11} = 2048$ 通りの組合せ最適化問題
- トンネル入口における最大圧力勾配により、微気圧波の低減効果を評価
- CFDにより42パターンを解析
- 「開口部を連続して3つ開けると最大圧力勾配が下がる傾向にある」という先行研究*に従ってパターンを決定

* 伊戸川ら, 第68 回土木学会年次学術講演会 (2013) VII-036

Rank	緩衝工側壁開閉パターン	dp/dt_max [kPa/sec]
1	0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1	7.459
2	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	7.489
3	0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1	7.562
4	0 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1	7.612
5	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0	7.758
6	1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1	7.815
7	1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1	7.836
8	1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1	7.956
9	1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0	7.980
10	1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0	8.057
11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0	8.210
12	0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1	8.281
13	0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 1	8.281
14	0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 1	8.370
15	0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0	8.425
16	0 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0	8.468
17	0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 1	8.542
18	0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0	8.619
19	0 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1	8.621
20	0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0	8.728

21	0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1	8.802
22	0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0	8.874
23	0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0	8.888
24	0 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0	8.963
25	0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 0	9.082
26	1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1	9.140
27	1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0	9.209
28	0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	9.255
29	1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0	9.291
30	1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0	9.395
31	1 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0	9.532
32	1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	9.737
33	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1	9.754
34	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0	9.817
35	0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0	9.891
36	0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0	9.984
37	0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0	10.103
38	0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0	10.271
39	0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0	10.510
40	0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0	10.847
41	1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	11.277
42	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	12.036

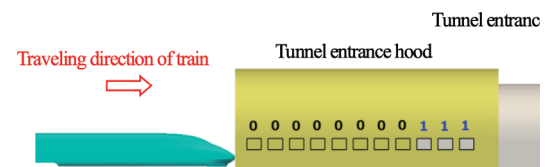


Fig. 5 Opening/Closing pattern of tunnel entrance hood window

適応例: QAブラックボックス最適化

30

- 開口部は11箇所
- $2^{11} = 2048$ 通りの組合せ最適化問題
- トンネル入口における最大圧力勾配により、微気圧波の低減効果を評価
- CFDにより42パターンを解析
- 「開口部を連続して3つ開けると最大圧力勾配が下がる傾向にある」という先行研究*に従ってパターンを決定

*伊戸川ら, 第68回土木学会年次学術講演会 (2013) VII-036

Rank	緩衝工側壁開閉パターン										dp/dt_max [kPa/sec]
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	7.459
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7.489
3	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	7.562
4	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	7.612
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7.758
6	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	7.815
7	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	7.836
8	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	7.956
9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	7.980
10	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	8.057
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8.210
12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	8.281
13	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	8.281
14	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	8.370

QAブラックボックス最適化結果

[10100101101] $dp/dt = 6.67335$

- 実際に解析されたパターンよりも優れた微気圧波の低減効果を示唆
- 連続した2つの開口部を開口

(注意) QAサイクルは1回のみ

適応例: QAブラックボックス最適化

31

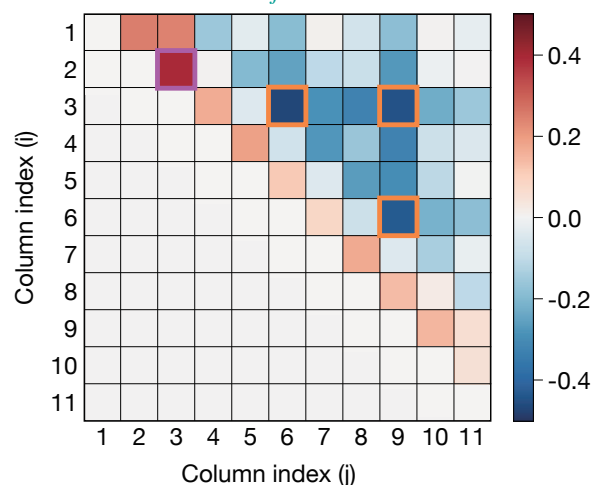
Rank	緩衝工側壁開閉パターン										dp/dt_max [kPa/sec]
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	7.459
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7.489
3	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	7.562
4	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	7.612
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	7.758
6	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	7.815
7	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	7.836
8	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	7.956
9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	7.980
10	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	8.057
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8.210
12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	8.281
13	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	8.281
14	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	8.370

QAブラックボックス最適化結果

[10100101101] $dp/dt = 6.67335$

$$\text{QUBOモデル: } E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0, 1\}$$

QUBO行列 Q_{ij} (相互作用項) の値



低い Q_{ij} に対して $x_i = 1$ の場合に $E(\{x_i\})$ は小さくなる

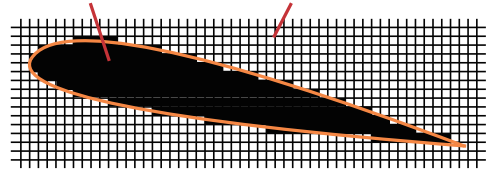
- 3番目, 6番目, 9番目を同時に開けると良い
- 2番目と3番目を同時に開けない方が良い

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j Q_{ij} x_i x_j, \quad x_i \in \{0,1\}$$

CFD (immersed boundary method)

$x_i = 1$ (固体セル)

$x_i = 0$ (流体セル)



実験
数値計算

最適解候補: x_i

トレーニングデータ: x_i & $E(\{x_i\})$

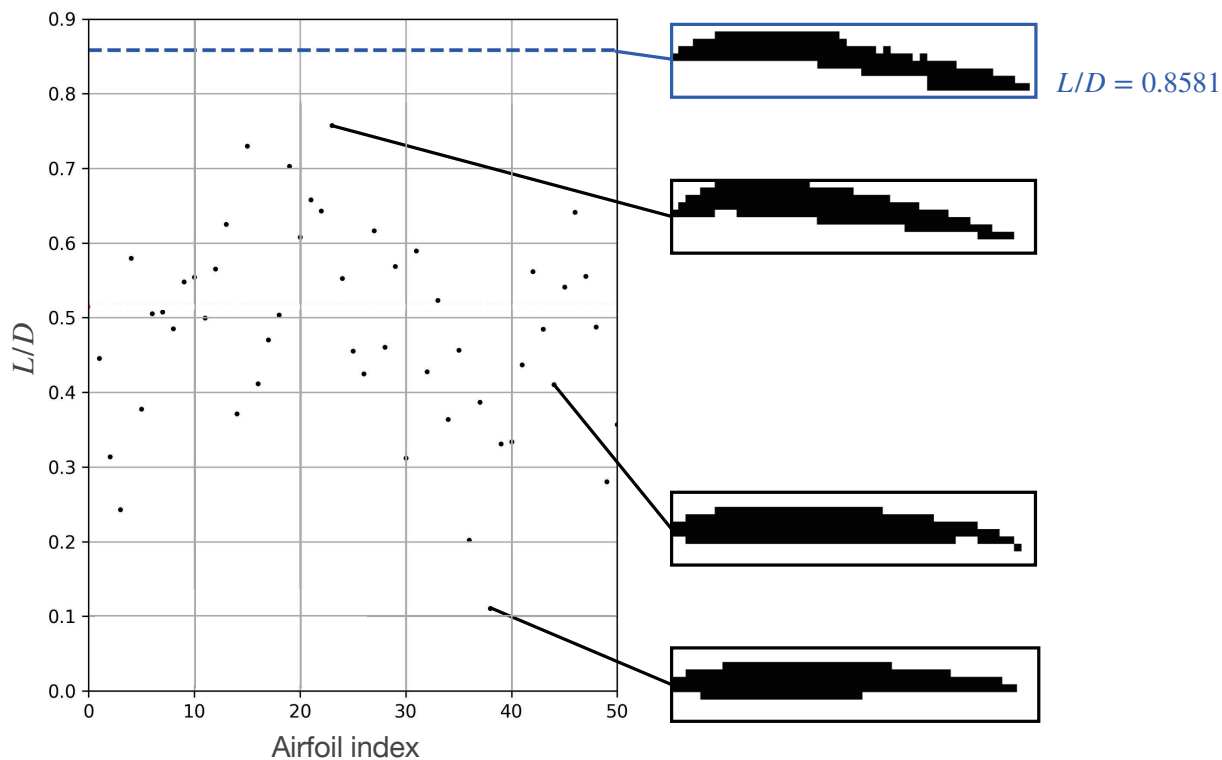
e.g.) $C_L, L/D$
形状データ

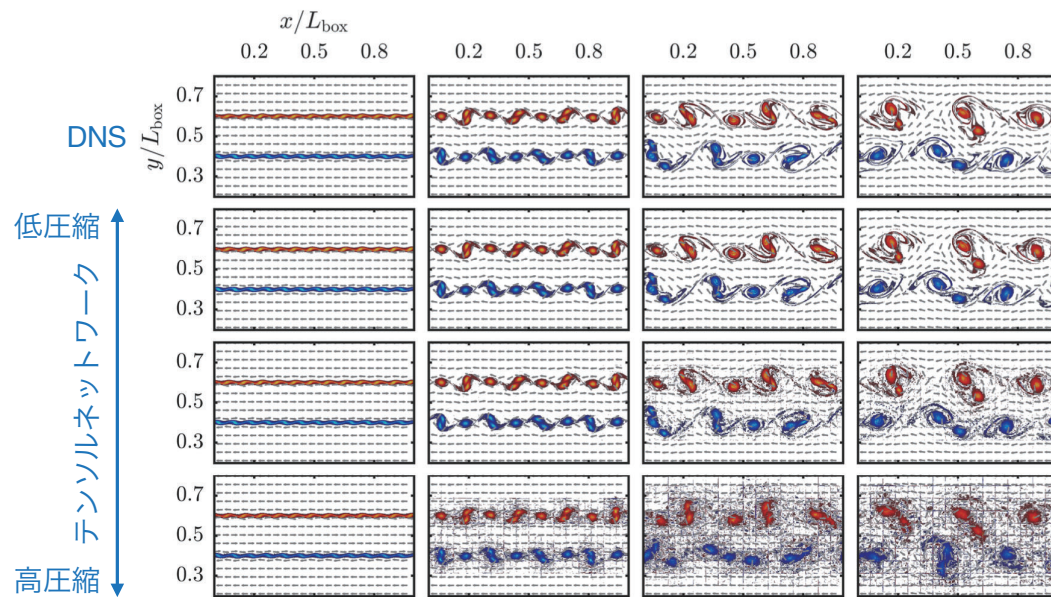
量子アニーリング

$$E(\{x_i\}) = \sum_i \sum_j \hat{Q}_{ij} x_i x_j$$

Q_{ij} の推測 ($\approx \hat{Q}_{ij}$)
e.g.) 線形回帰,
Factorization machine (FM)

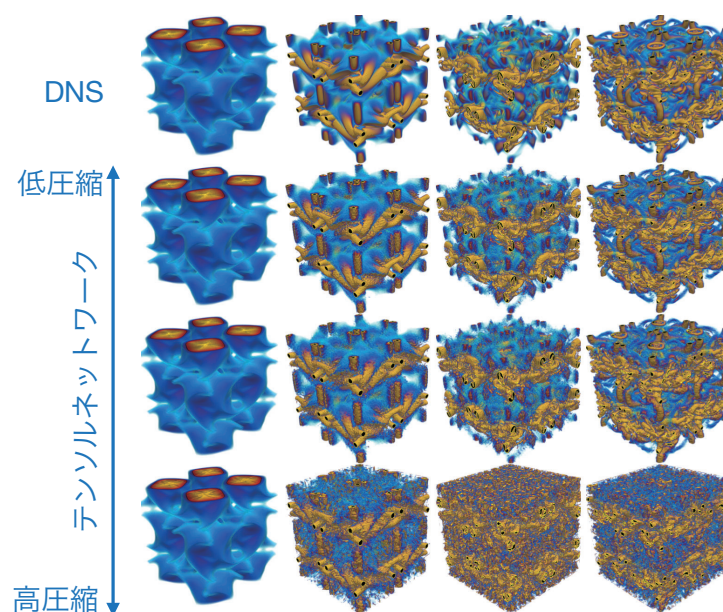
推測されたQUBO行列: $\hat{Q}_{ij}$





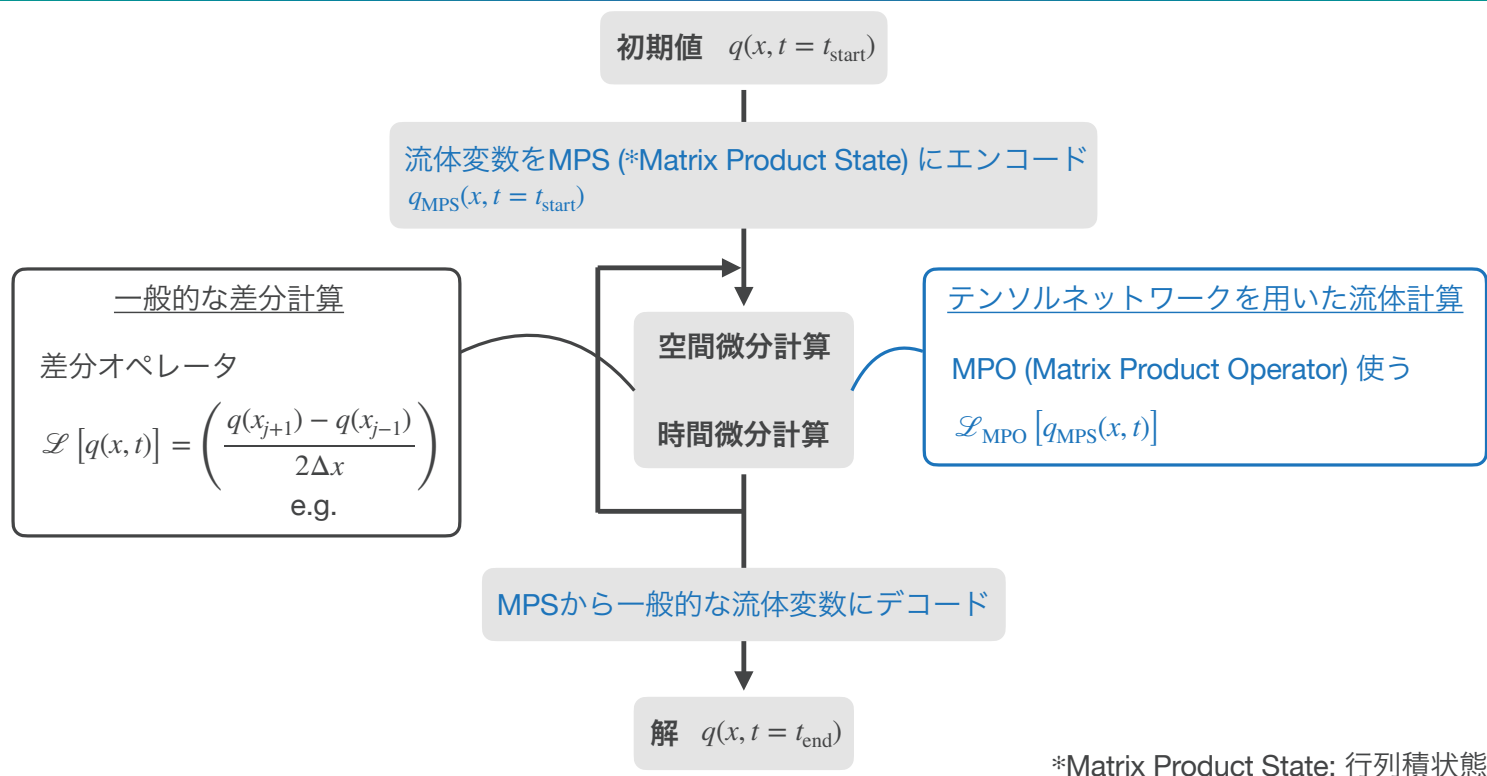
Gourianov, Exploiting the structure of turbulence with tensor networks, PhD thesis (2022)

Gourianov et al., A quantum-inspired approach to exploit turbulence structures, Nature Computational Science, 2 (2022)



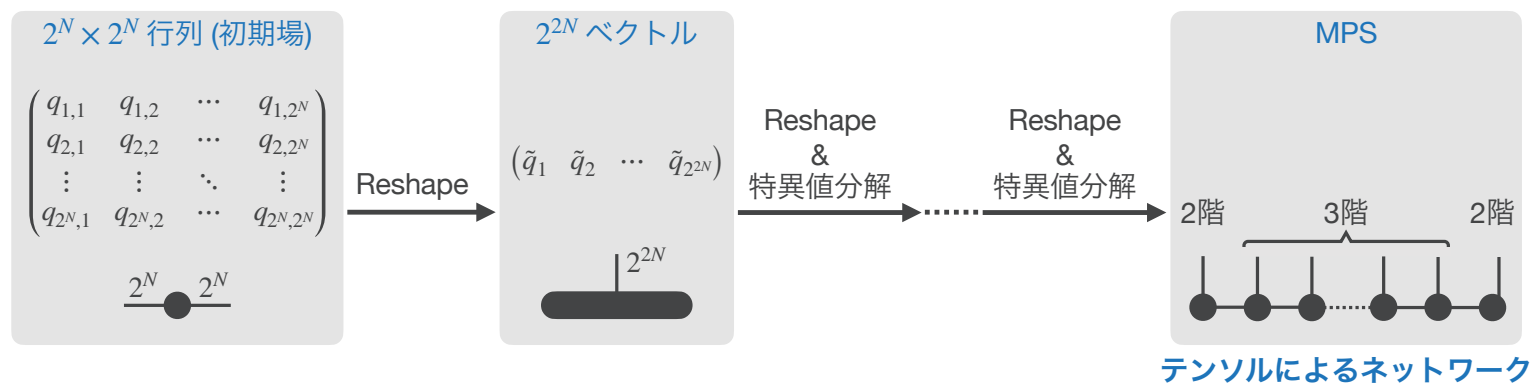
Gourianov, Exploiting the structure of turbulence with tensor networks, PhD thesis (2022)

Gourianov et al., A quantum-inspired approach to exploit turbulence structures, Nature Computational Science, 2 (2022)

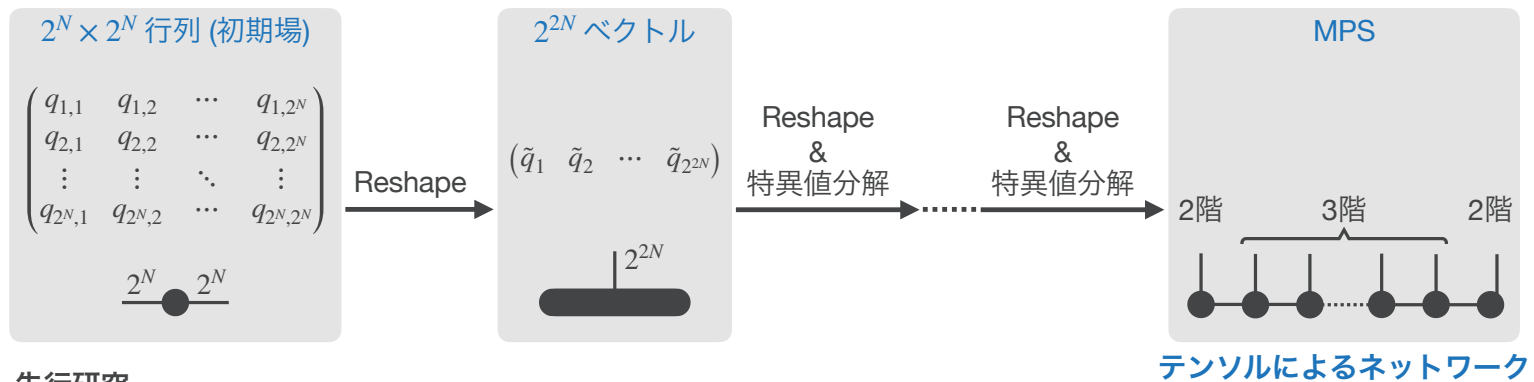


MPS: Matrix Product State, 行列積状態

MPSの作り方の概要 (2次元流れの場合)



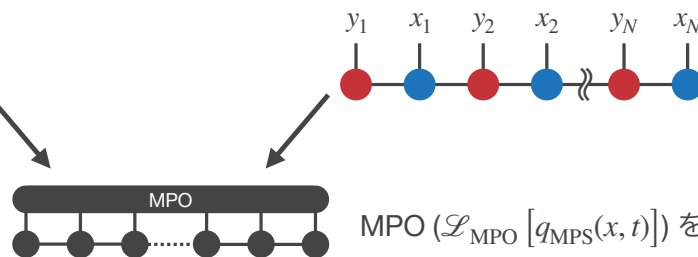
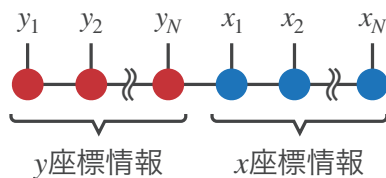
MPSの作り方の概要 (2次元流れの場合)



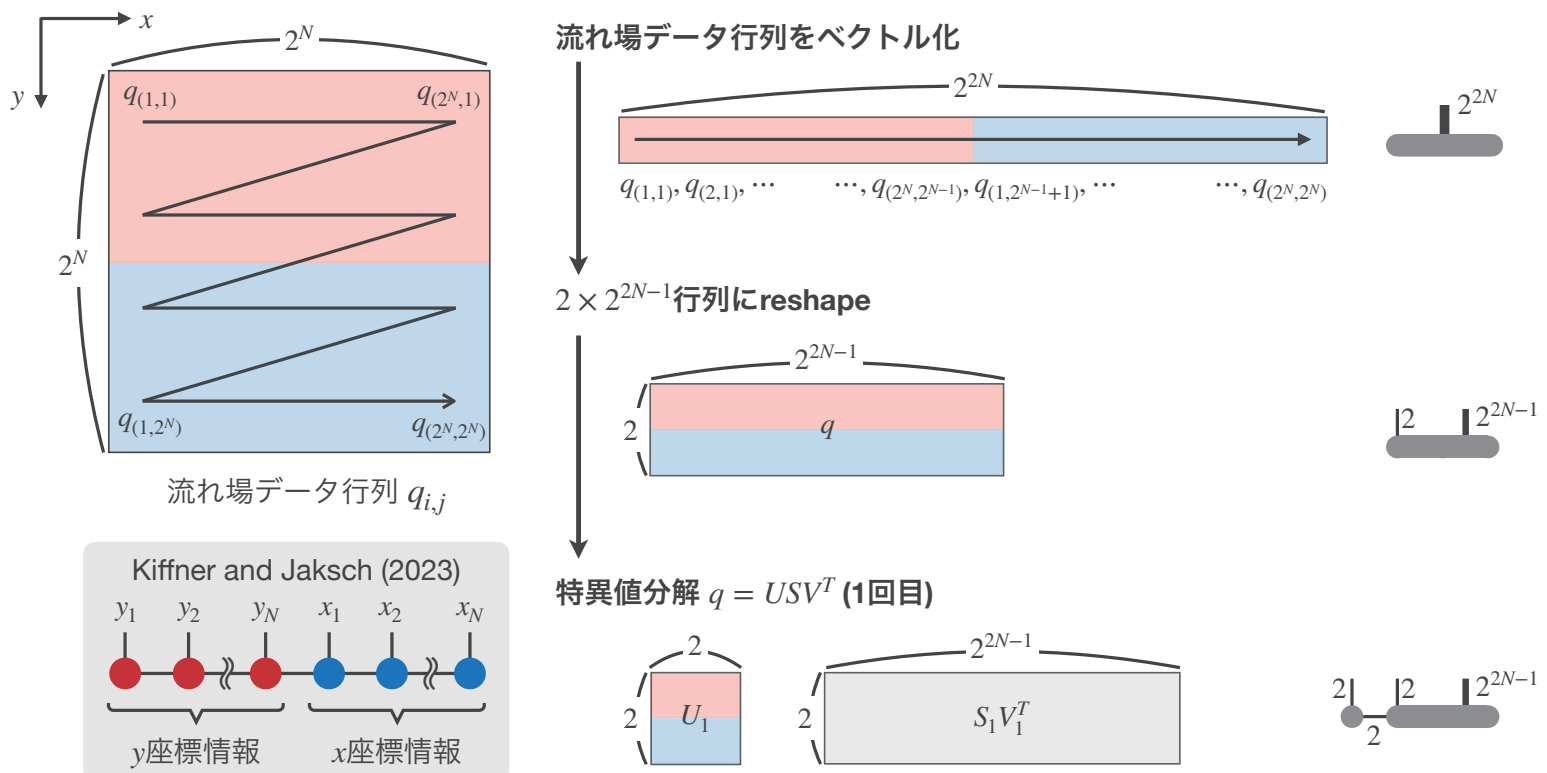
先行研究

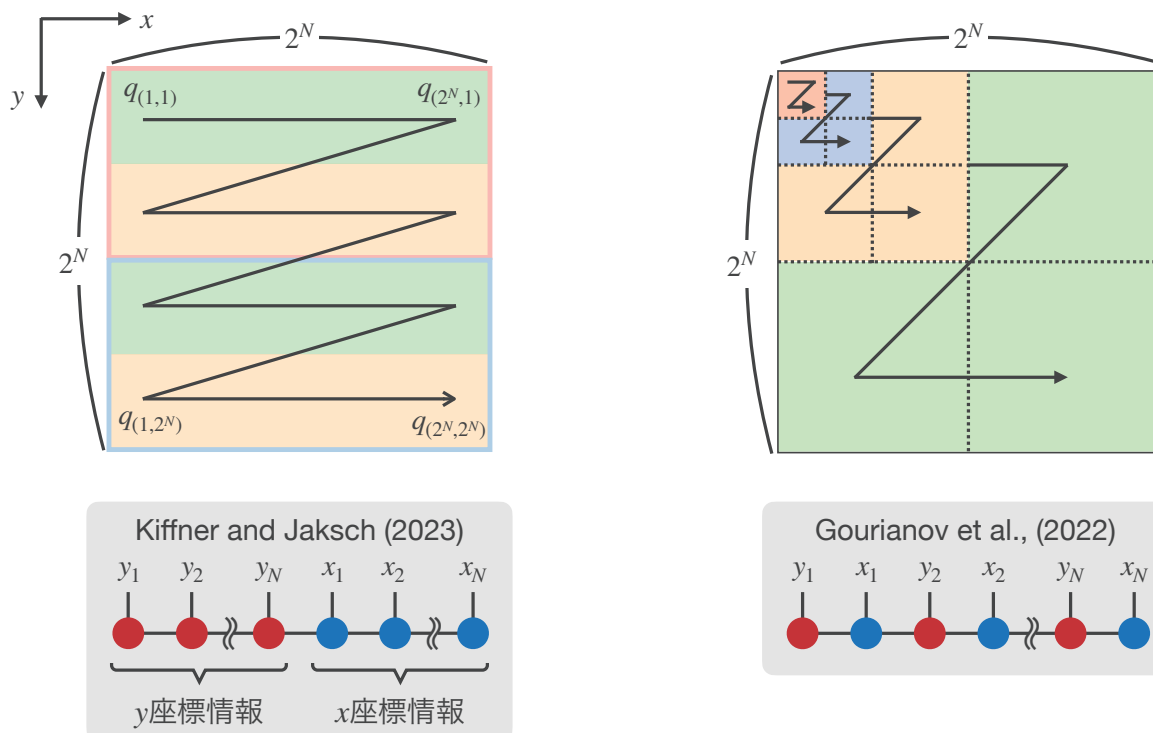
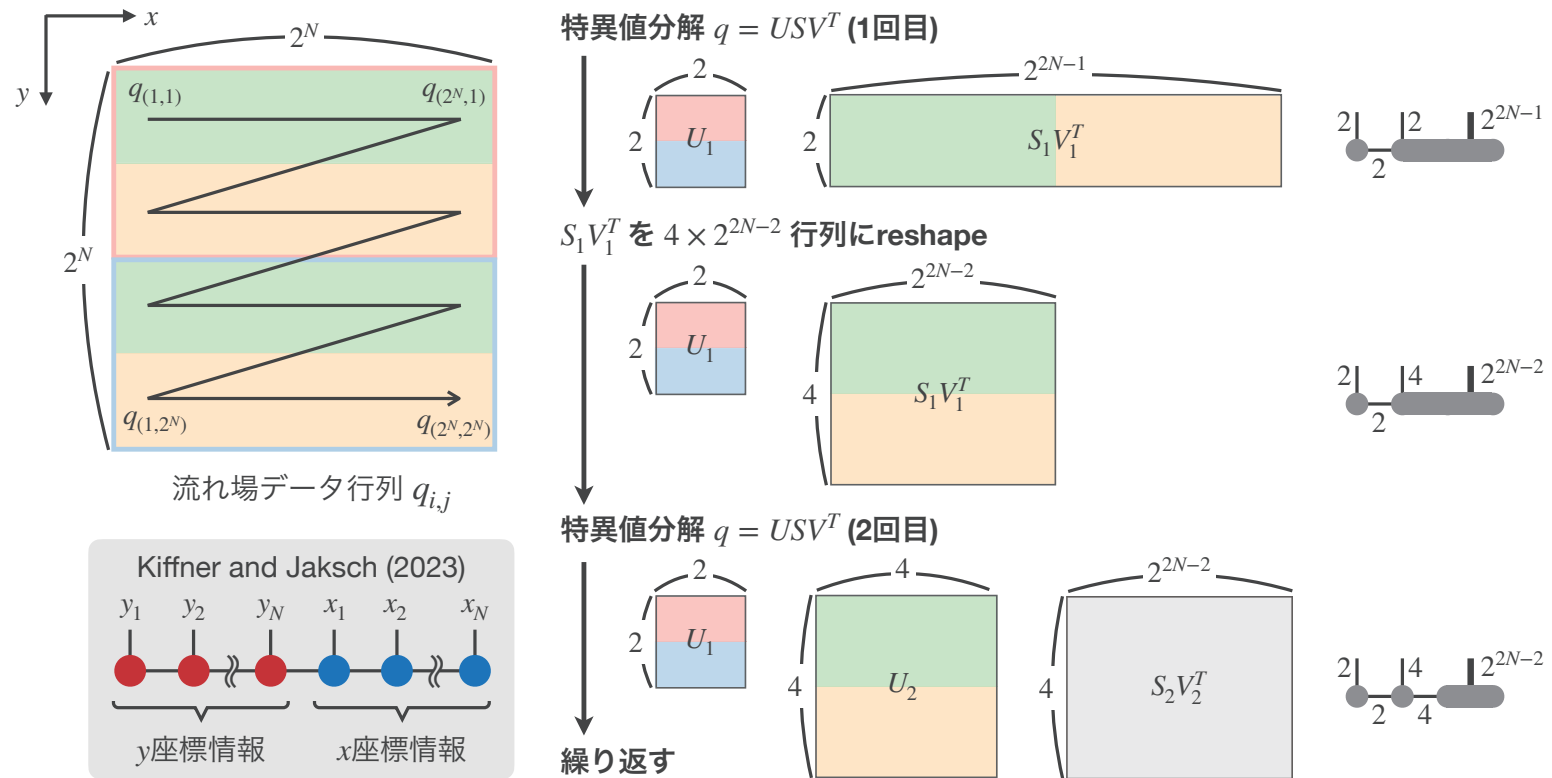
Kiffner and Jaksch, Phys. Rev. Fluids, 2023

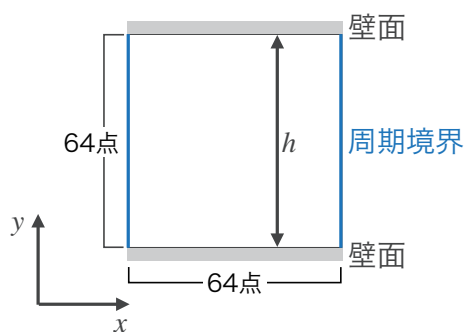
Gourianov et al., Nat. Comput. Sci, 2022



2次元MPSの作り方 (Kiffner and Jaksch, 2023)







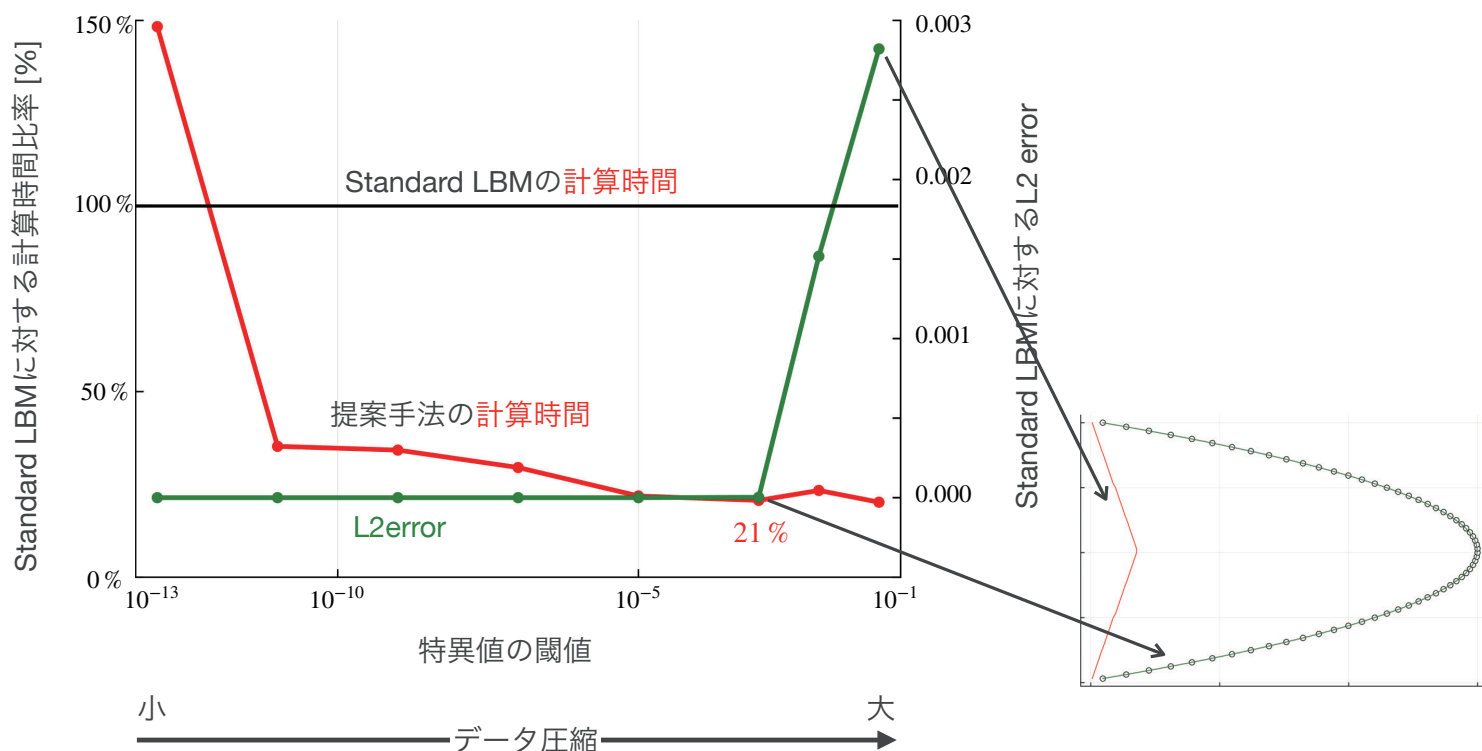
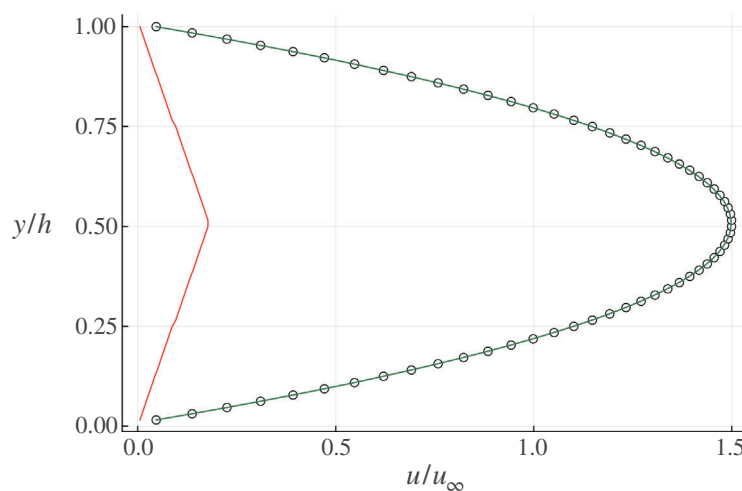
格子ボルツマン法

- BGKモデル
- D2Q9モデル

計算条件

- $\rho_0 = 1, u_0 = v_0 = 0$
- $Re_h = \frac{u_\infty h}{\nu} = 55$
- $Ma = \frac{u_\infty}{a} = 0.030$

- 解析解
- Standard LBM(計算時間: 100 %)
- 提案手法(計算時間: 148 %)
- 提案手法(計算時間: 21 %)
- 提案手法(計算時間: 20 %)



量子技術を応用した次世代流体解析基盤の確立に向けて

- 自己紹介・研究歴
 - 現在の主な取り組み
 - 量子コンピューティング概要
 - 量子アニーリング × 流体工学
 - 量子アニーリングによる流体解析
 - 量子アニーリングによるブラックボックス最適化
 - 量子インスパイアード × 流体工学
 - テンソルネットワークを用いた流体計算
-
- ▶ 量子コンピュータ実機はまだまだ準備段階
 - ▶ 数は多くはないが、世界では当該分野を注目し始めている研究者が増えている
 - ▶ ソフトとして何が出来るかを示すことが今後の量子コンピュータ開発に非常に重要
 - ▶ 量子インスパイアード手法に関する研究も始められたばかり

アドバンスソフト
からの情報提供

1. 今後のセミナー予定
2. セミナー資料のダウンロード
3. アーカイブ動画のご案内

Copyright ©2024 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

今後のセミナー予定

第6回

2025年10月17日（金）
14：00～15：30

「火災・爆発現象のモデリングおよび早期異常検知」

東京理科大学 創域理工学研究科 国際火災科学専攻
教授 桑名 一徳 様

受付中

第7回

2025年11月7日（金）
14：00～15：30

「AI とシミュレーションが駆動する創薬分子設計」

東京科学大学 情報理工学院 情報工学系
准教授 大上 雅史 様

受付中

Copyright ©2024 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

下記のURLから、過去のセミナー資料をダウンロード可能です。
<https://www.advancesoft.jp/download/>

アドバンスソフト株式会社

シミュレーション図書館（資料ダウンロード）

ホーム / シミュレーション図書館（資料ダウンロード）

シミュレーション図書館（資料ダウンロード）について

- 初めてご利用いただくお客さまは、「新規メンバー登録（フォーラム会員登録）」をお願いします。ご登録いただきますと、いただいたメールアドレスあてにダウンロード用のログインパスワードをお知らせします。
- ログインパスワードをお持ちのお客さまは、お客さまのご登録されたメールアドレスと、こちらからお知らせしましたパスワードで、ログインしてください。ログイン中はどの資料もダウンロードいただけます。
- 会社案内、会社概要、開発実績は、ログイン不要でダウンロードいただけます。
- ご登録いただいたメールアドレスあてに、メールマガジンやアドバンスソフトからのご案内をお送りさせていただきます場合がございますので、ご了承ください。
- 資料に含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改定、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって厳禁されています。

資料カテゴリー一覧

パッケージソフトウェア / シナリオ・パイオ 半導体 流体 管路系 二相流 防災 構造 統合環境
解析・コンサルティング / 防災・地震 二相流 2次元電磁 その他

アドバンスソフト株式会社

シミュレーション図書館（資料ダウンロード）

ホーム / シミュレーション図書館（資料ダウンロード） / 解析・コンサルティング

解析・コンサルティング

【パンフレット】> FEM 解析と機械学習の融合による高度予測ソリューション
カテゴリ選択 パンフレット 解析・コンサルティング 製品・サービス

【解析・コンサルティング（その他）】> セミナー資料【オンラインセミナー】第1回 アドバンス・シミュレーション・セミナー 2025「名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授 堀田 英之 様」20250530_all【全席】
カテゴリ選択 解析・コンサルティング

【解析・コンサルティング（その他）】> アドバンス・シミュレーション・セミナー 2024 開催報告（ログイン不要）
カテゴリ選択 解析・コンサルティング

【パンフレット】> OSS・内製コードの活用 カスタマイズ・サポートサービス
カテゴリ選択 パンフレット 解析・コンサルティング

【パンフレット】> Advance/mcLeGA 最適化ソリューション
カテゴリ選択 パンフレット 解析・コンサルティング

Copyright ©2024 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

YouTubeにて、セミナーのアーカイブ動画を配信中
<https://www.youtube.com/user/advancesoft>

YouTube

検索

アドバンス・シミュレーション・セミナー

作成者: advancesoft、再生リスト: 22 本の動画、1,661 回視聴

アドバンスソフト株式会社は、このたび、我が国における最先端研究をテーマとして... さらに

すべて再生

- 【セミナー動画】第11回 アドバンス・シミュレーション・セミ...
advancesoft、50 回視聴、6 日前
- 【セミナー動画】第10回 アドバンス・シミュレーション・セミ...
advancesoft、176 回視聴、6 か月前
- 【セミナー動画】第8回 アドバンス・シミュレーション・セミ...
advancesoft、340 回視聴、6 か月前
- 【セミナー動画】第7回 アドバンス・シミュレーション・セミ...
advancesoft、293 回視聴、7 か月前
- 【セミナー動画】第6回 アドバンス・シミュレーション・セミ...

YouTube

検索

アドバンスソフトのセミナー動画（アーカイブ）

作成者: advancesoft、再生リスト: 15 本の動画、214 回視聴

すべて再生

- 【セミナー動画】NanoLabo/NeuralMD 製品紹介セミナー 202...
advancesoft、370 回視聴、11 か月前
- 【セミナー動画】プラントエンジニア向け流体セミナー 2024...
advancesoft、275 回視聴、11 か月前
- 【セミナー動画】NanoLabo/NeuralMD 新機能および今後の開発...
advancesoft、313 回視聴、1 年前
- 【セミナー動画】生成 AI・大規模言語モデルとCAE セミナー ...
advancesoft、1162 回視聴、1 年前
- 【セミナー動画】NanoLabo/NeuralMD 新機能紹介セミナー ...

Copyright ©2024 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.



警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。
このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。
このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。