

東京都江東区豊洲3-2-20 豊洲フロント
SCSK株式会社
プラットフォームソリューション事業部門
製造エンジニアリング事業本部
解析ソリューション第四部 第二課

製造Eビジネスにおける量子コンピュータ活用の検討 ～現状調査～

2020年 2月 19日

作成者：中野

SCSK株式会社

～目次～

1. はじめに
2. 自己紹介
3. 量子コンピューターとは？
4. 量子コンピューターの種類
5. 組合せ最適化問題について
6. 量子アニーリングマシンの凄さ
7. 事例紹介
8. 量子アニーリングマシンの動作原理
9. 最適化問題を量子アニーリングマシンの原理を利用して解いてみる
10. DWAVE SDK使ってみる
11. 製造Eビジネスにおける量子コンピューター活用案
12. おわりに

この資料を読んでわかること

- 量子コンピューターはどれくらいはやすく計算できるのか
- 量子コンピューターが現状どの程度実用化されているか
- 量子コンピューターはどのような原理で動いているのか
- 量子コンピュータを実際にどう使うのか

前提

- 量子力学の知識がない人向け
- 高校数学までしか利用しない
- 量子アニーリングマシンに限定

2. 自己紹介

資料作成者：解析四部 中野（内線：3738）

経歴

2012～2018 物理学専攻 修士卒
2018～ 材料DB、GeoDict担当エンジニア

※大学1～3年次

- ・物理学の基礎を学ぶ
(量子コンピュータの要素技術に関する量子力学など)

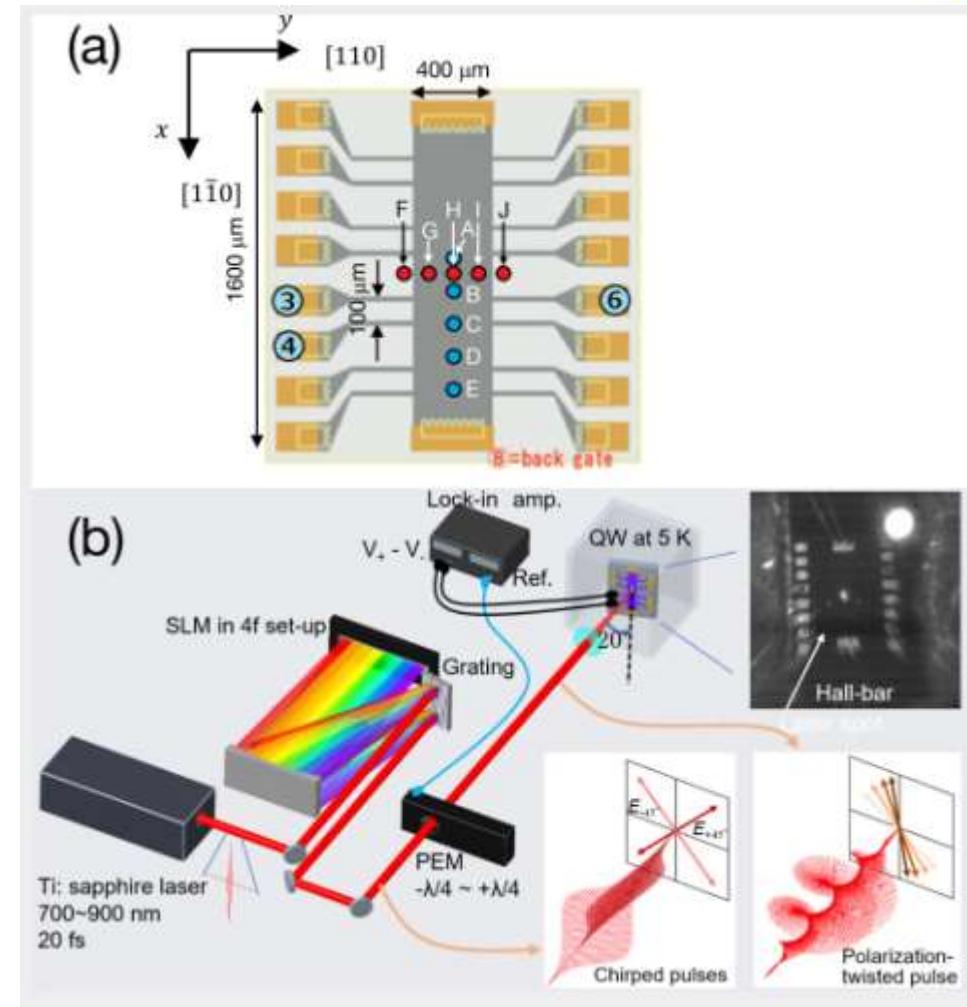
※大学4～大学院2年

半導体やレーザーを用いた物性物理学の研究を実施。

右図(a)の半導体デバイスを作成し、

(b)のセットアップで特殊なレーザー光をデバイスに照射し、
発生した光起電力を測定した。

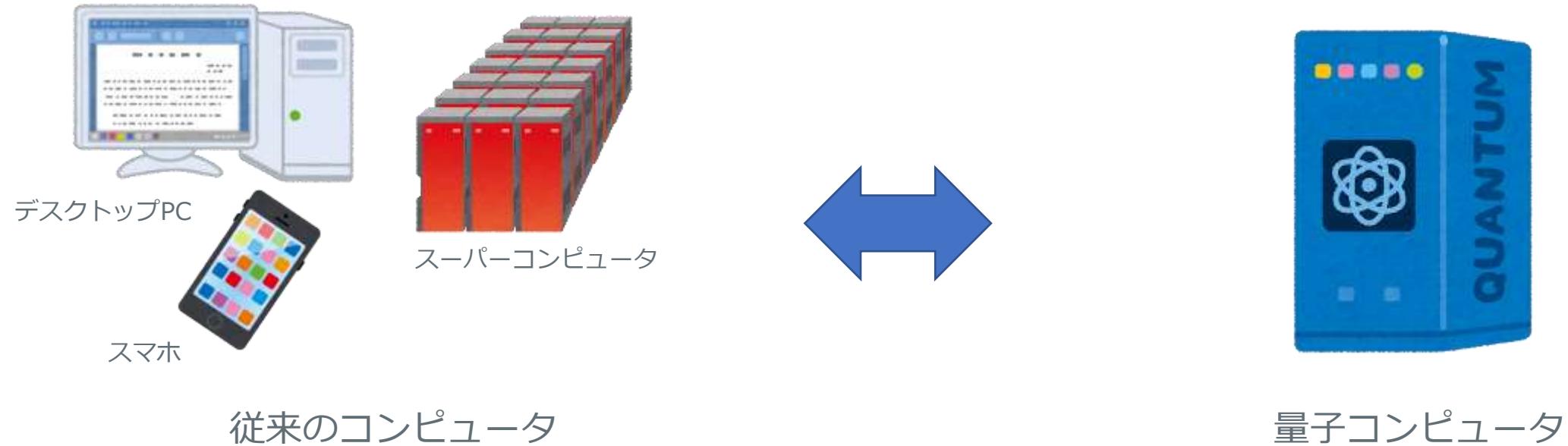
(将来的に抵抗0の電流を流し、デバイスの熱発生を0に
することができるかもしれないという基礎研究)



論文：<https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-27-20-28091>

3. 量子コンピュータとは？

量子コンピュータは、世の中に普及している従来のコンピュータとは全く異なるものである。



量子コンピュータとは?
⇒**量子力学の原理**を利用した次世代のコンピュータ

※量子コンピュータは、従来のコンピュータの機能を全てカバーしてゐるわけではない事に注意

4. 量子コンピュータの種類

量子コンピュータは、大きく分けると2種類

今回のターゲット

量子ゲート型

- 量子ゲートを利用して計算
- 米国や中国のIT企業中心
- まだ実用化には至っていない

量子アニーリング型

- 特定のアルゴリズムのために作られた
- 日本やカナダが中心の取り組み
- 既に実用化されている



量子アニーリングマシンは、
組み合わせ最適化問題に特化した計算が可能

5. 組み合わせ最適化問題の例

巡回セールスマン問題の例

営業のYさんが年末のカレンダー配りの訪問地をどのようなルートで回ると距離が短くなるか（コストが低くなるか）。

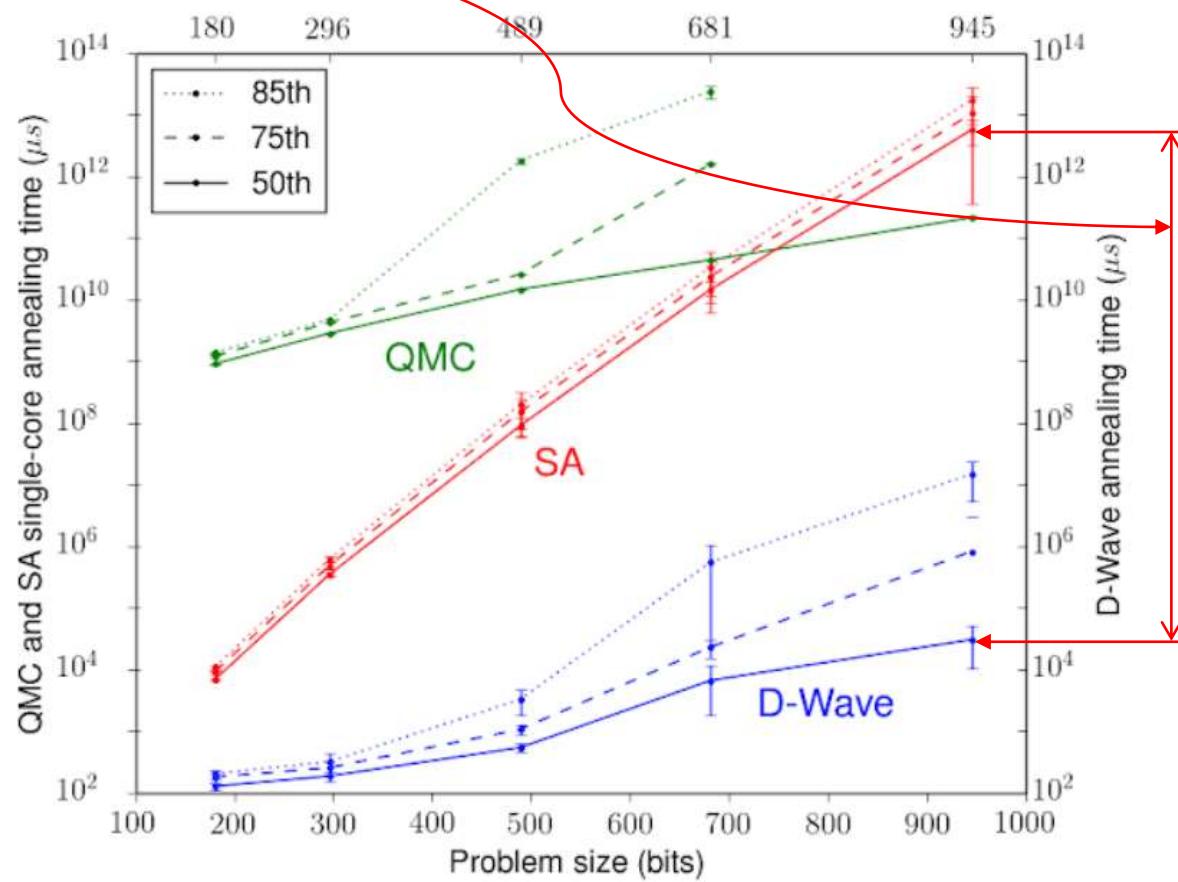
訪問数	ルート組み合わせ	計算時間※
5	120	1.2×10^{-14} 秒
10	360万	3.6×10^{-10} 秒
15	1兆3000億	0.00013 秒
25	1.6×10^{25}	49年
30	2.7×10^{32}	8.4億年
:	:	:

※スーパーコンピュータ「京」で1秒間に1京 (10^{16}) 回計算した場合、各ルートを総当たりで計算する。

訪問数を増やすと計算時間が指数関数オーダーで急激に増加してしまう。⇒組み合わせ爆発

6. 量子アニーリングマシンの凄さ

2015年の暮れにGoogleとNASAが共同で発表を行った。
カナダのD-Wave社が開発した量子アニーリングマシンと既存計算機を比較した結果、
最大で1億倍も高速になったという驚異的な内容であった。



[Google AI Blog: When can Quantum Annealing win? \(googleblog.com\)](https://ai.googleblog.com/2015/12/when-can-quantum-annealing-win.html)

1億倍速い
⇒3年2か月かかる計算が1秒で

横軸：問題数
縦軸：計算時間

SA：シミュレートドアニーリング
QMC：量子モンテカルロ法
↑従来の計算手法2つ

※注意
あくまで、量子アニーリングマシンは組み合わせ最適化問題に特化した計算しかできない！！

7. 事例紹介

量子アニーリングマシンはとても速いことが何となくわかったが、
果たして2021年地点でどのくらい実用化されているのだろうか？
ここからは、日本国内に焦点を絞り、量子アニーリングマシンを利用した以下4つの事例を紹介する。

1. DENSO

工場内を走る自動搬送車の渋滞軽減に活用



3. TDK

「原子レベルの磁性体の最適な組み合わせ」を求める



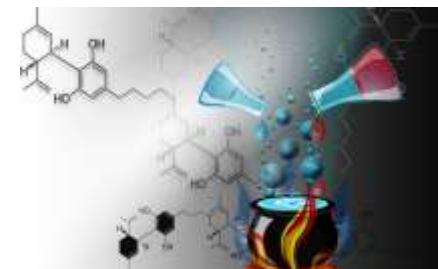
2. リクルートコミュニケーションズ

広告配信の最適化に利用



4. 物質材料研究機構 (NIMS)

材料開発の効率を高める



<https://www.sbbt.jp/article/cont1/37010>

7-1. DENSOの事例

- 工場内の無人搬送車の稼働率向上を目的とした実証実験
- D-Wave System社の量子コンピューター D-Wave2000Qを使用
- 結果として、各無人搬送車の停止時間を平均15%短縮

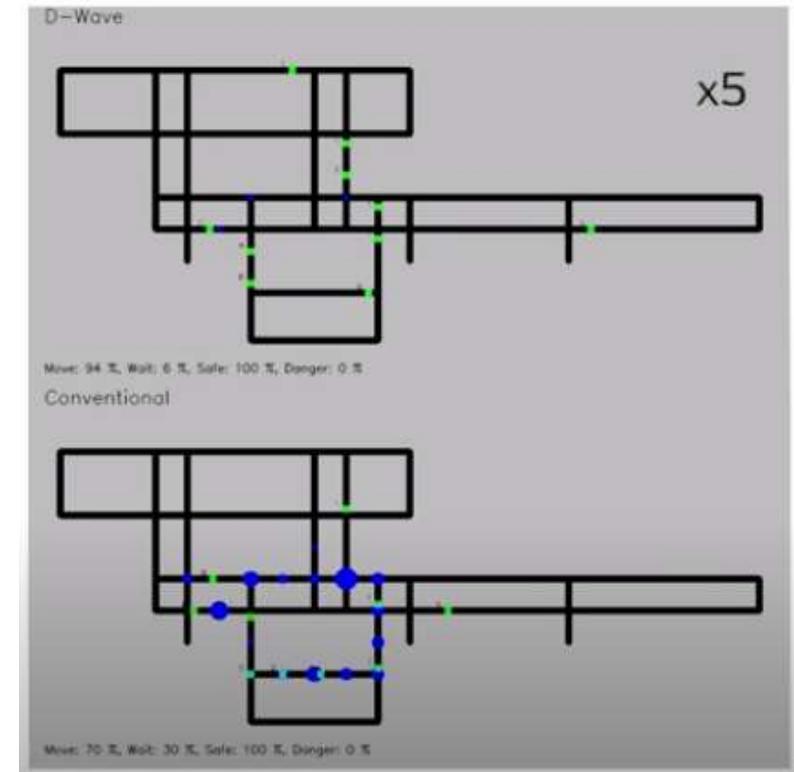


D-Wave2000Q



工場内の無人搬送車

●が渋滞量
■が無人搬送車



工場内のシミュレーション途中経過
(上) D-Wave、(下) 既存システム

参考：<https://www.youtube.com/watch?v=31vnkvCj3kM>
https://dwavejapan.com/app/uploads/2019/12/Final_D-Wave_DENSO_case_study_2019_11_22.pdf

7-2. リクルートの事例

- 旅行情報サイト「じゃらんnet」における宿の表示内容の最適化を実施
- 従来は単に人気の高い宿を上から順に並べていた。
⇒「ビジネスホテルばかり」「同じエリアのホテルばかり」などの問題が発生
- 宿の「人気度」に合わせて、「多様性」の情報を抽出し、人気度と多様性を両立。
(二次割り当て問題に帰着：目的関数が二次関数で従来のコンピューターでは計算が困難)
- D-Wave社の量子コンピューターで計算を実施したところ、1%ほど全体の売り上げが向上



宿・ホテルごと 宿泊プランごと [並び順] 人気順 | 料金が安い順 | エリア順

49軒ありました。 この一覧をMAPに表示して見られます。 観光MAP 最初 | 前へ | 1 | 2 | 次へ | 最後

料金は1泊1部屋の人数分の合計料金です（税抜・サービス料込み） [料金について](#)

ビジネス・観光・記念日など様々なシーンに対応。 エリア： [新木屋](#) > [宇都宮](#)

リッチモンドホテル宇都宮駅前アネックス
最高評価 | 接客高評価 | 清潔感高評価 | ②
JR宇都宮駅南口より徒歩2分・Wi-Fi全館接続無料！小学生以下のお子様添寝無料♪ ご朝食は洋食/和食から選べるバイキング
12分前に予約されました

最高料金(税抜)
6,636円～
(3,318円～/人)

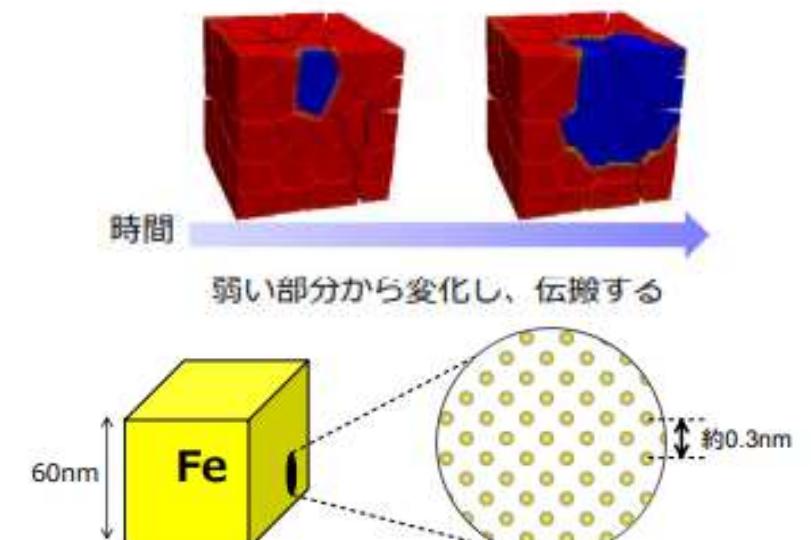
参考：<https://www.sbbit.jp/article/cont1/37010>
<https://www.jalan.net/>
<https://www.youtube.com/watch?v=Pb2wM-nNEk4>

7-3. TDKの事例

- ・「フェライト」という磁性材料の開発に量子コンピューターを利用
- ・磁性体を構成する原子レベルの粒子の形、大きさ、組成などの組み合わせを変えることで磁石の特性が変化
- ・磁性体を構成する粒の組み合わせは**数十万通り**になることも



磁石は大きさによって、
磁場や磁石の向きが変わる強さが変化する



https://www.meti.go.jp/press/2019/07/20190704002/20190704002_09.pdf

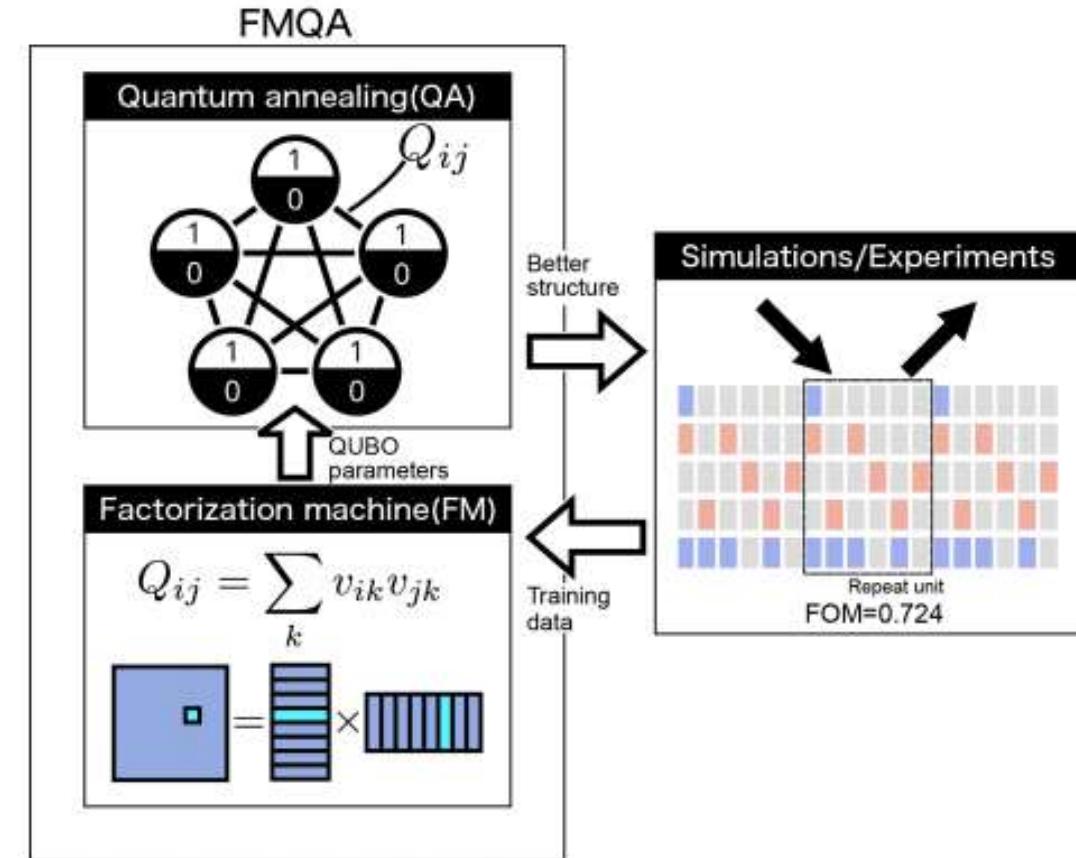
<https://www.youtube.com/watch?v=lxdpR-d0-nY>

7-4. NIMSの事例

- マテリアルズ・インフォマティクスに量子コンピューターを応用

全ての候補から
予測特性が一番より
候補をアニーリング
マシンで選ぶ

特性予測用
イジングモデル
を学習



一番良い候補の特性を
計算or実験する

<https://www.youtube.com/watch?v=Efy7YpgZtqs>

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1902/1902.06573.pdf>

1. 組み合わせ爆発が起こる問題に対して量子コンピューターを使用
2. 製造Eの既存顧客すでに量子コンピューターを利用している企業が複数存在
3. ほぼすべての事例で、D-Waveが利用されている

我々も、量子アニーリングマシンは何ができるどのように動いているか把握し、D-Waveを利用できる状態にすべき。

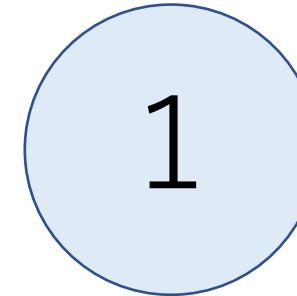
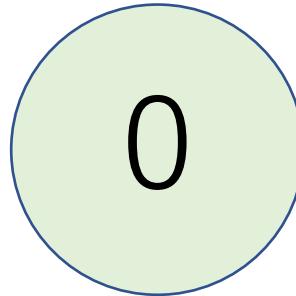
8. 量子アニーリングマシンの動作原理

量子アニーリングマシンの動作原理を理解するために、
以下の5項目についてご紹介する。

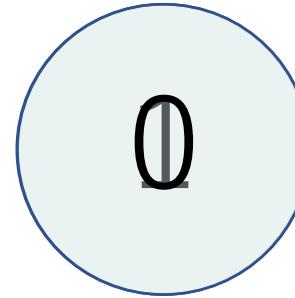
1. 量子ビットと量子の重ね合わせ
2. 量子ビットの接続と基本的な考え方
3. イジングモデル
4. トンネル効果
5. 量子アニーリングマシンの計算手順

8-1. 量子ビットと量子の重ね合わせ

古典ビット：0か1の状態のどちらかを保持

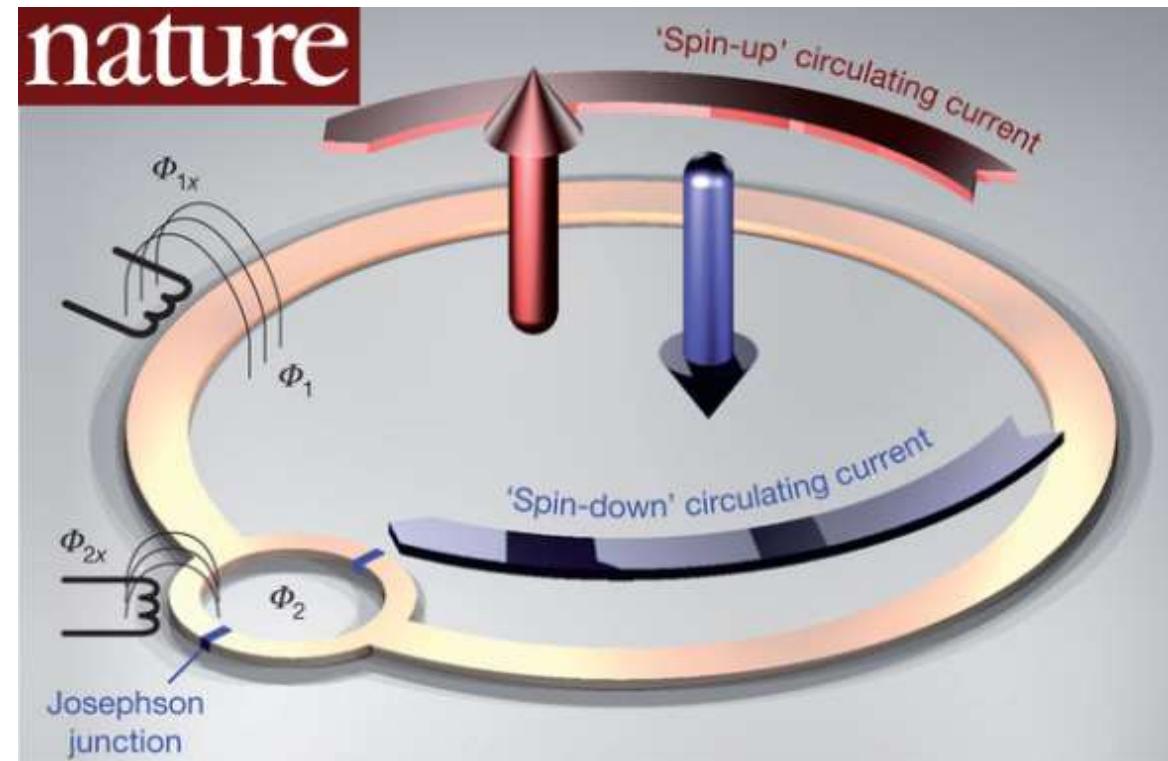


量子ビット：0と1の状態を同時に保持



0と1の状態を同時に保持している状態
→量子の「重ね合わせ」

※D-Waveの場合、以下のようなリングに右回りの電流と左回りの電流を同時に発生させ重ね合わせの状態を作っている



johnson et al. nature 473, 194-198(2011)

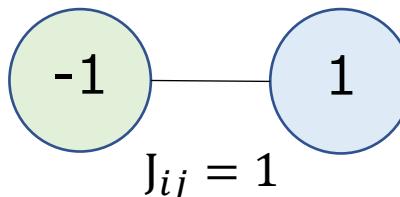
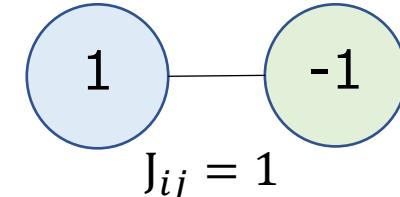
右回りの電流と左回りの電流が同時に流れている状態
(D-Waveの場合は、0と1ではなく-1と1の状態を持つ。)

8-2. 量子ビットの接続と基本的な考え方

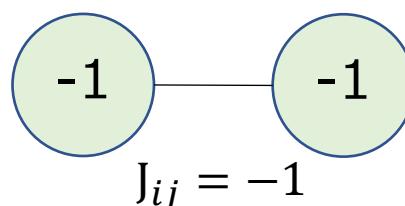
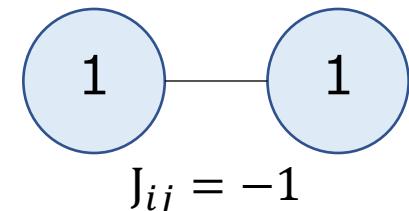
量子アニーリング型では、解きたい問題をエネルギー最小化問題に落とし込んで計算を実行するだけ。以下の図は、2つの量子ビットを図示したものである。（※ここから、-1と1の状態で説明する。）2つの量子ビットが持つエネルギーの総和を数式で表し、そのエネルギーが最小値をとるものが解となる。

問題設定値の法則

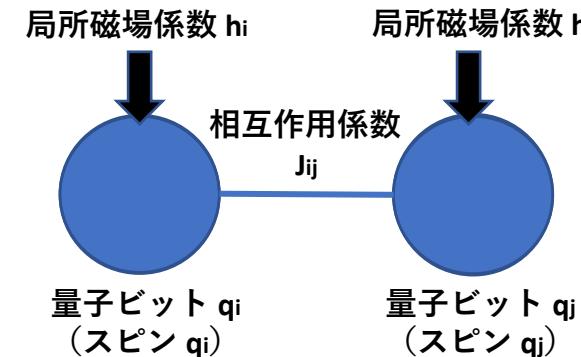
相互作用に +1 をかけると隣接同士が異なる値になりやすくなる



相互作用に -1 をかけると隣接同士が同じ値になりやすくなる

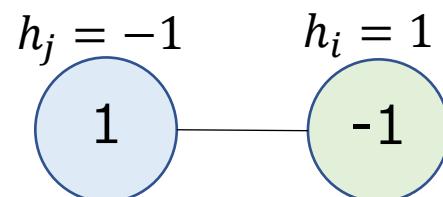


局所磁場 +1 をかけると量子ビットは -1 に、
局所磁場 -1 をかけると量子ビットは +1 になりやすくなる



$$E = (h_i q_i + h_j q_j) + (J_{ij} q_i q_j)$$

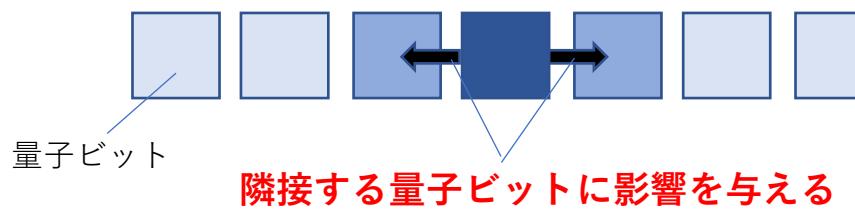
2量子ビット系のエネルギー関数



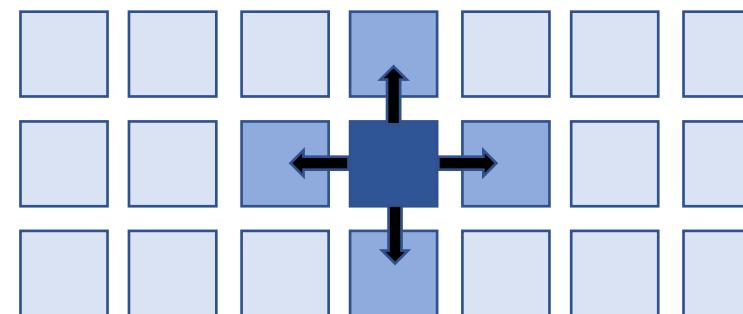
8-3. イジングモデル

量子アニーリングでは、量子ビット同士をつないだネットワークにより、
以下のような「イジングモデル」を構築する。

1次元イジングモデル

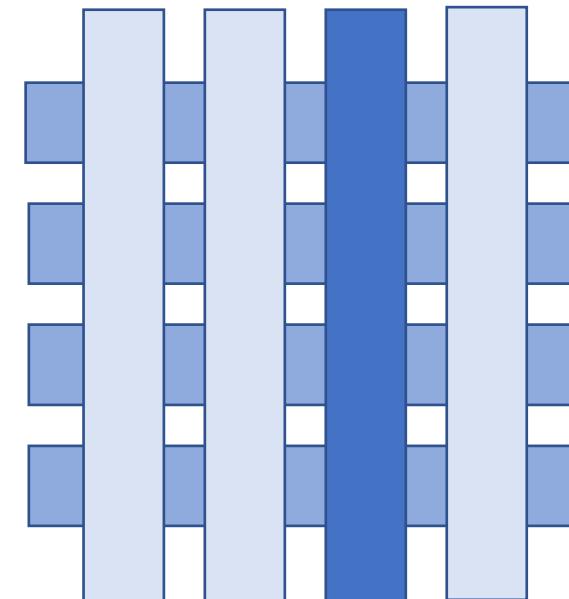


2次元イジングモデル



1次元、2次元ではそれぞれ接続数が2つ、4つとなる

D-Waveキメラグラフ型イジングモデル



※イジングモデルのエネルギー関数

$$E(\vec{s}) = \sum_{i \in V} h_i s_i + \sum_{(i,j) \in E} J_{ij} s_i s_j$$

1つの量子ビットからほかの
量子ビットへの接続数が多い
ほど良いといわれている。
⇒キメラグラフは1つの量子
ビットから**最大で6つ**の量子
ビットへの接続が実現

https://www.jstage.jst.go.jp/article/sicejl/58/3/58_203/_pdf/-char/ja

このエネルギー関数の最小値を探す

8-4. トンネル効果

ニュートン力学の世界



野球ボール

壁

量子力学の世界（ミクロな世界）



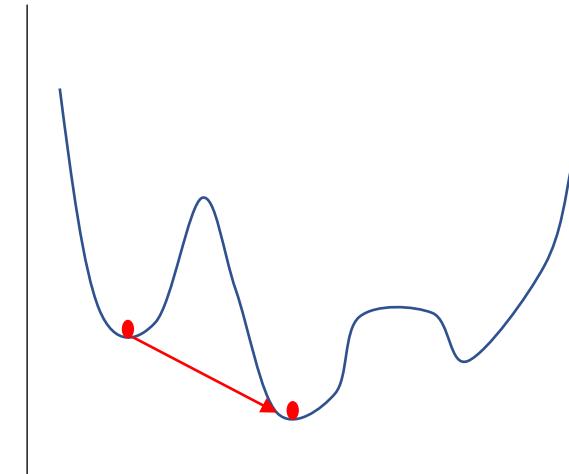
電子

ポテンシャル壁

必ず壁に当たり跳ね返る

ある確率で壁を通り抜けることがある
⇒ 「**トンネル効果**」という

エネルギー関数



状態

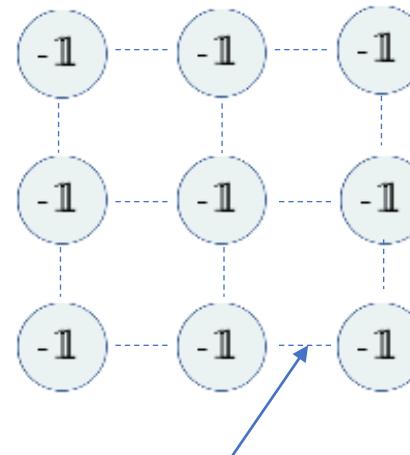
トンネル効果を利用して最適解（最小値）に到達することができる。

トンネル効果を利用して様々な状態の重ね合わせを作ることにより状態探索をする。

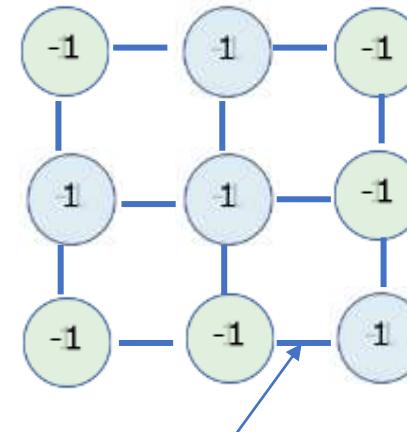
8-5. 量子アニーリングマシンの計算手順

最後に、量子アニーリングマシンの動作手順を確認する。

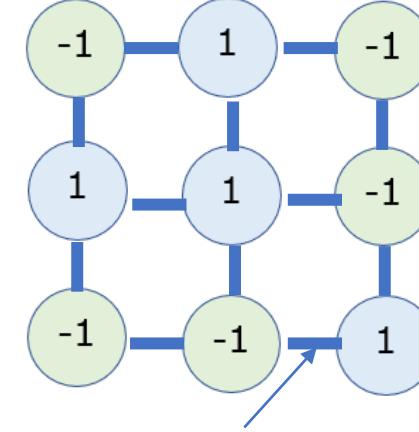
\vec{B} : 磁場 



\vec{B} : 磁場 



\vec{B} : 磁場 0



1. 横磁場をかけて、重ね合わせ状態にする。量子ビット間の相互作用は0。このとき全ての量子ビットは重ね合わせ状態。

2. 徐々に横磁場を弱めていくとともに、量子ビット間の相互作用は強くしていく。そうすると量子ビットは徐々に-1か1どちらかの割合が増えてくる。

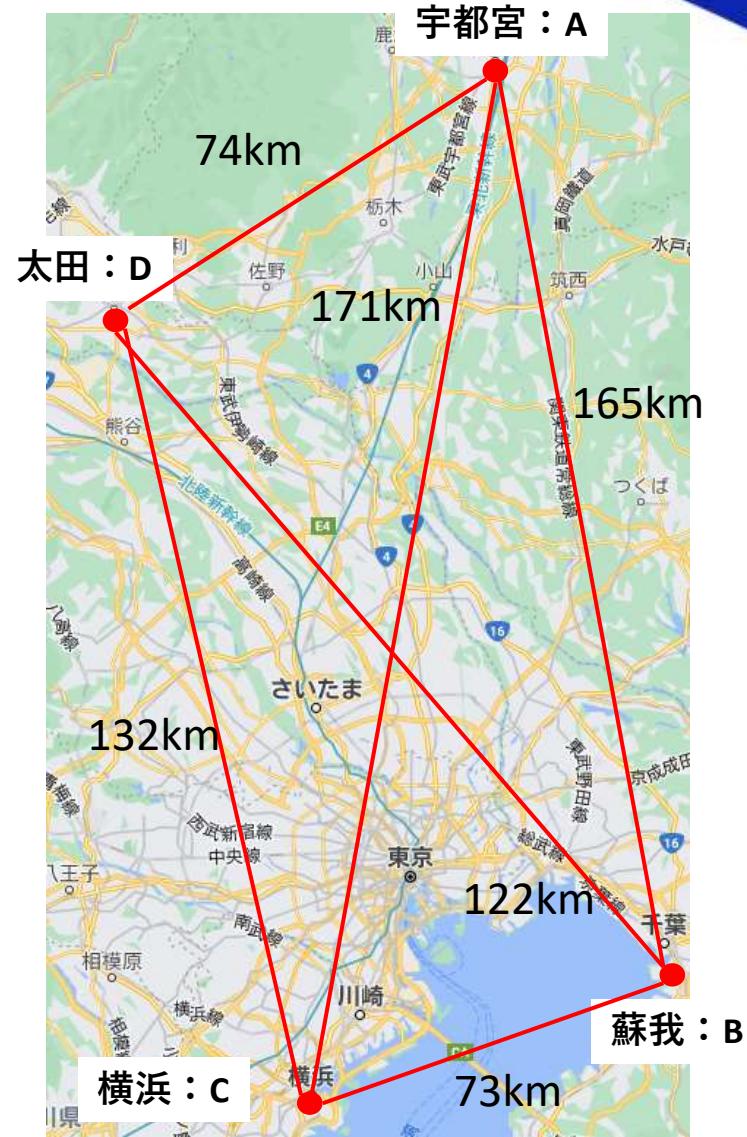
3. 横磁場が0になるころには、全ての量子ビットが-1または1の値を持つ。この地点で、イジングモデルのエネルギー関数の最小値が求まったことになる。

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

例題

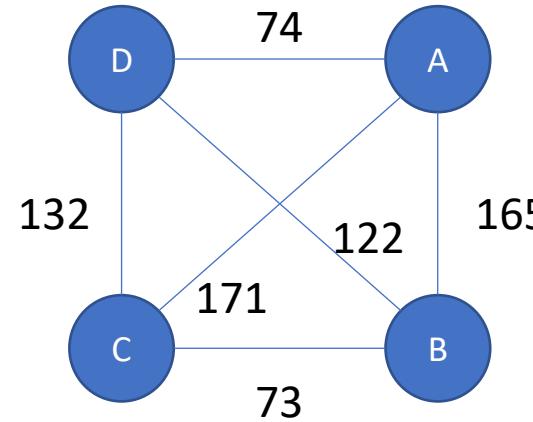
宇都宮、蘇我、横浜、太田の4都市にある企業へ
Y君がカレンダーを配りに行きます。

その際、事前に一筆書きで最短距離を見つける
ことを目標とします。

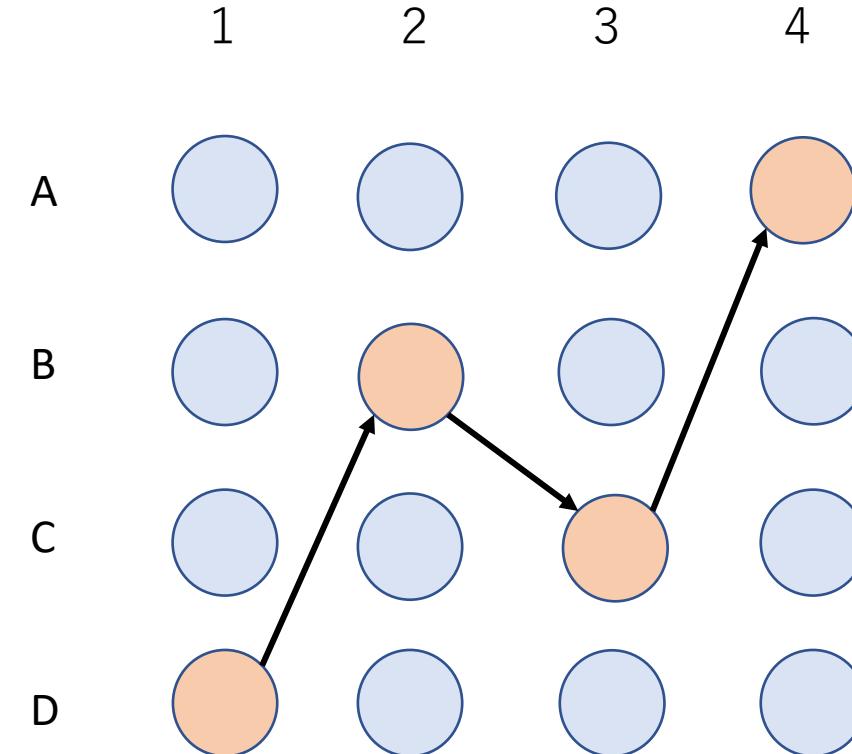


9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

今回の例題の場合、イジングモデルを作るために必要な量子ビットは**16量子ビット**となる。
かつ、量子ビットはバイナリ値 {0, 1} で考える。



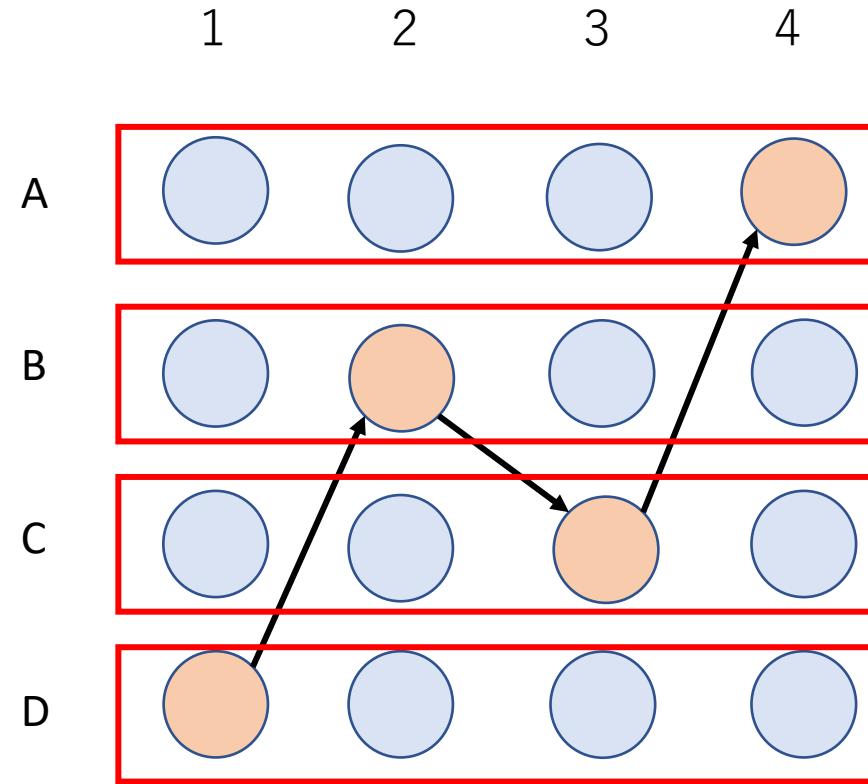
先ほどの地図の略図



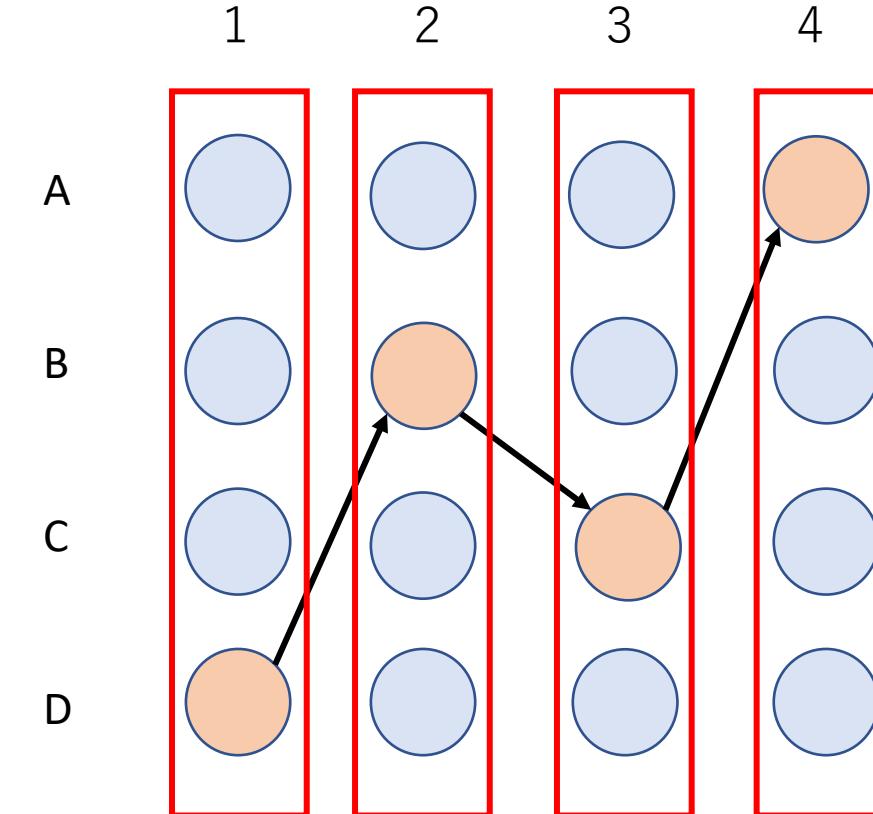
D → B → C → A の順で回る

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

続いて、以下2つの制約条件を考える。



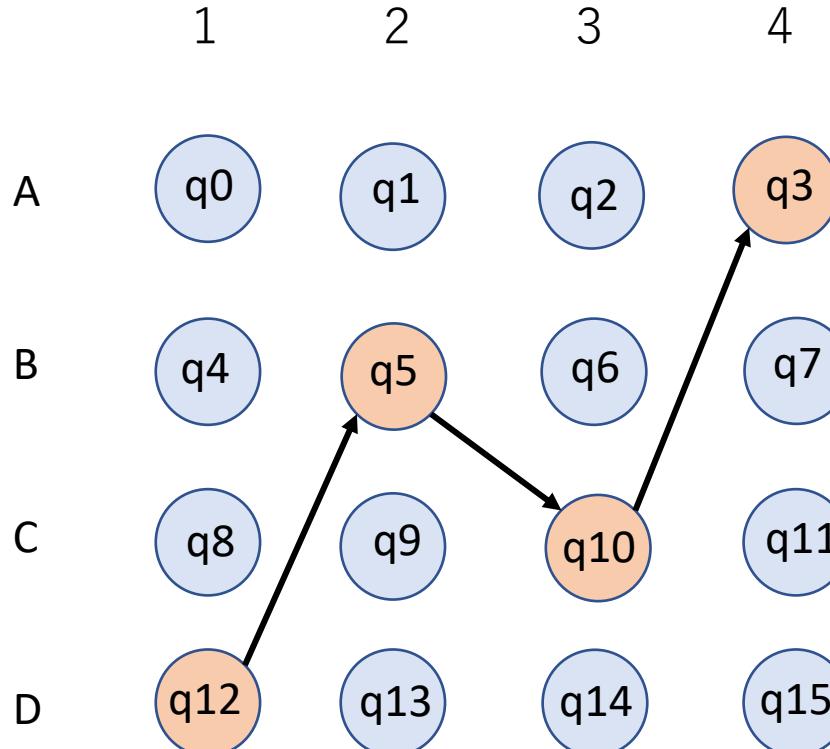
1都市は一度だけ出現
 $A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1$



1つの順番は一度だけ出現
 $A_1 + B_1 + C_1 + D_1 = 1$

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

量子ビットを割り当て、制約条件を数式に置き換える



制約条件	q0	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	q11	q12	q13	q14	q15
q0	-2	2	2	2	2				2			2				
q1		-2	2	2		2				2			2			
q2			-2	2				2			2			2		
q3				-2					2			2				2
q4					-2	2	2	2	2			2				
q5						-2	2	2		2			2			
q6							-2	2			2					2
q7								-2			2					2
q8									-2	2	2	2				
q9										-2	2	2		2		
q10											-2	2				2
q11												-2				
q12												-2	2	2		
q13													-2	2		
q14														-2		2
q15																-2

2つの制約条件を展開し、足し合わせた結果を表にまとめたもの

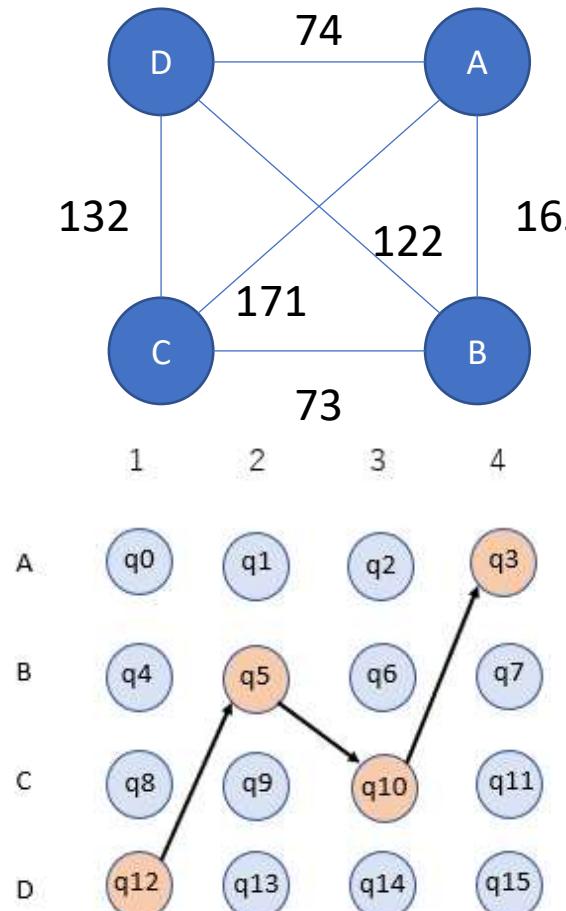
1都市は一度だけ出現 : $(1-q_0-q_1-q_2-q_3)_2 + (1-q_4-q_5-q_6-q_7)_2 + (1-q_8-q_9-q_{10}-q_{11})_2 + (1-q_{12}-q_{13}-q_{14}-q_{15})_2$

1つの順番は一度だけ出現 : $(1-q_0-q_4-q_8-q_{12})_2 + (1-q_1-q_5-q_9-q_{13})_2 + (1-q_2-q_6-q_{10}-q_{14})_2 + (1-q_3-q_7-q_{11}-q_{15})_2$

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

続いて、距離を考える。都市間の距離を対応する量子ビット間にセットする。

例えば、q0とq5の量子ビットは都市A（宇都宮）と都市B（蘇我）の移動に対応するため、距離「165(km)」を相互作用項にセットする。以下の表は、すべての都市間の距離をセットしたものである。



距離	q0	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	q11	q12	q13	q14	q15	
q0						165		165		171		171		74		74	
q1							165		165		171		171		74		74
q2							165		165		171		171		74		74
q3							165		165		171		171		74		74
q4											73		73		122		122
q5										73		73		122		122	
q6										73		73		122		122	
q7										73		73		122		122	
q8														132		132	
q9														132		132	
q10														132		132	
q11														132		132	
q12																	
q13																	
q14																	
q15																	

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

最後に、制約条件（J1）とコスト関数（J2）を組み合わせる。

制約条件とコスト関数は等しい割合で参入することができない。

そのため、結合する際にどちらかに係数（b）をかけてその係数を調整する必要がある。

今回は、コスト側に係数bを割ってから足し合わせる。

係数の値は、全都市間での最小値であるBC間の距離73[km]の整数倍で5通り計算してみた。（73,146,219,292,365）

とりあえず、D-Waveではなく量子ゲートシミュレータのオープンソースフレームワークであるBlueqatを使用。

Blueqatは二次形式二値変数最適化(QUBO)シミュレータもwq(Ising/QUBO問題用ライブラリ Wnidqat に由来)モジュールとして利用可能。

式いれる？

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

スクリプトと計算結果

blueqat.optでQUBOを使ってみる。

```
In [1]: import blueqat.opt as wq  
a = wq.opt()
```

```
In [3]: import numpy as np
```

```
In [4]: J1 = np.array([  
    [-2,2,2,2,2,0,0,0,2,0,0,0,2,0,0,0],  
    [0,-2,2,2,0,2,0,0,0,2,0,0,0,2,0,0],  
    [0,0,-2,2,0,0,2,0,0,0,2,0,0,0,2,0],  
    [0,0,0,-2,0,0,0,2,0,0,0,2,0,0,0,2],  
    [0,0,0,0,-2,2,2,2,0,0,0,2,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,-2,2,2,0,2,0,0,0,2,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,-2,2,0,0,2,0,0,0,2,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2,2,0,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2,0,2,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,0,0,2,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2,2,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2,2],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2,2],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,-2],  
])
```

```
In [7]: J2 = np.array([  
    [0,0,0,0,0,165,0,165,0,171,0,171,0,74,0,74],  
    [0,0,0,0,165,0,165,0,171,0,171,0,74,0,74,0],  
    [0,0,0,0,0,165,0,165,0,171,0,171,0,74,0,74],  
    [0,0,0,0,165,0,165,0,171,0,171,0,74,0,74,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,73,0,73,0,122,0,122],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,73,0,73,0,122,0,122],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,73,0,73,0,122,0,122],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,73,0,73,0,122,0,122],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,132,0,132],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,132,0,132],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,132,0,132],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,132,0,132],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],  
    [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0],  
])  
  
for b in [73,146,219,292,365]:  
    a.qubo = J1+J2/b  
    answer = a.sa()  
    print("b=" + str(b) + ":" + str(answer))
```

解

```
b=73:[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]  
b=146:[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0]  
b=219:[0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0]  
b=292:[0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0]  
b=365:[0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]
```

9. 最適化問題を量子アニーリングの原理を利用して解いてみる

結果

b=73:[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0]

制約条件が満たされていない

b=146:[1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0]

A→D→C→B

b=219:[0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0]

D→A→B→C

b=292:[0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0]

D→B→C→A

b=365:[0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0]

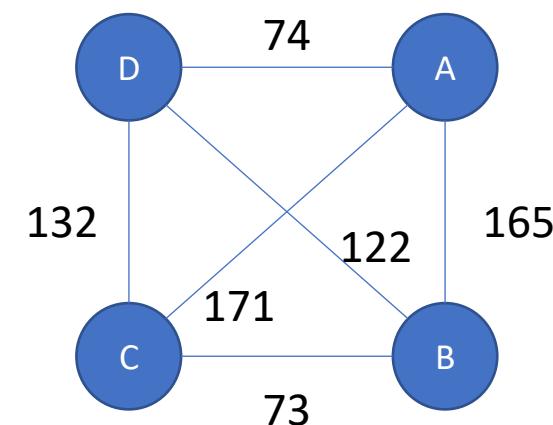
B→A→D→C

考察

- コスト関数の影響が大きいと（bの値が小さいと）、制約条件が反映されず、制約条件を満たさない解が導出された。
- コスト関数の影響を小さくしていくと、制約条件の満たされた解が導出された。
- 係数の調整が解に大きな影響を与えることが確認された。
⇒係数の調整方法は今後要検討

所感

- 計算方法自体はある程度理解できた
- 問題設定がいまいちであった（難しく微妙な距離間の都市を選定してしまった）



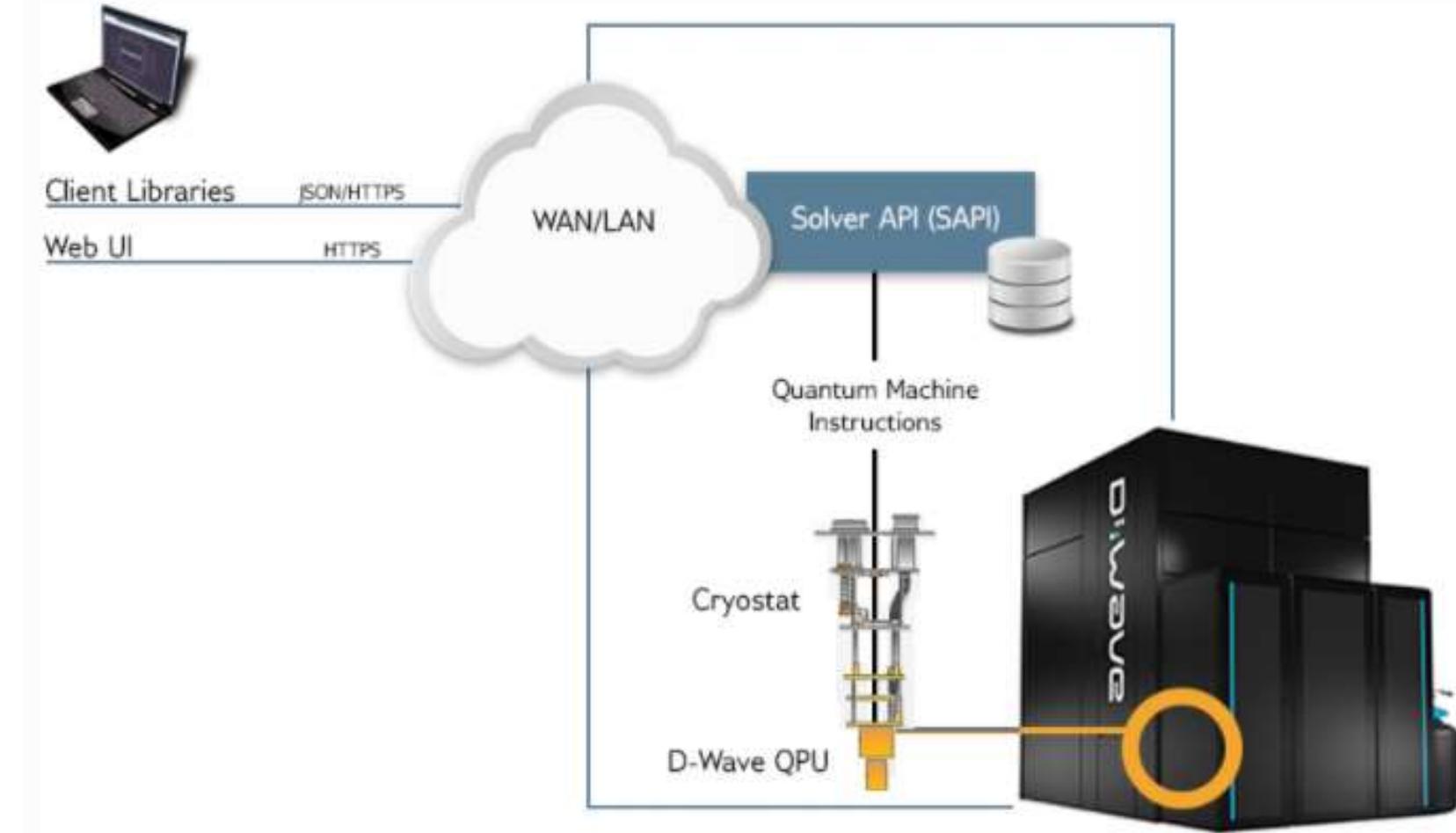
10. D-WAVE SDKを利用してみた

- ・9章で解いた巡回セールスマン問題を今度はD-Waveで解く
- ・今回は「DW_2000Q_6」を使用
- ・キメラグラフを考慮する必要がある
- ・パラメータのレンジをJijが{-1,1}、hiが{-2,2}の範囲に収める必要がある

10. D-WAVE SDKを利用してみた

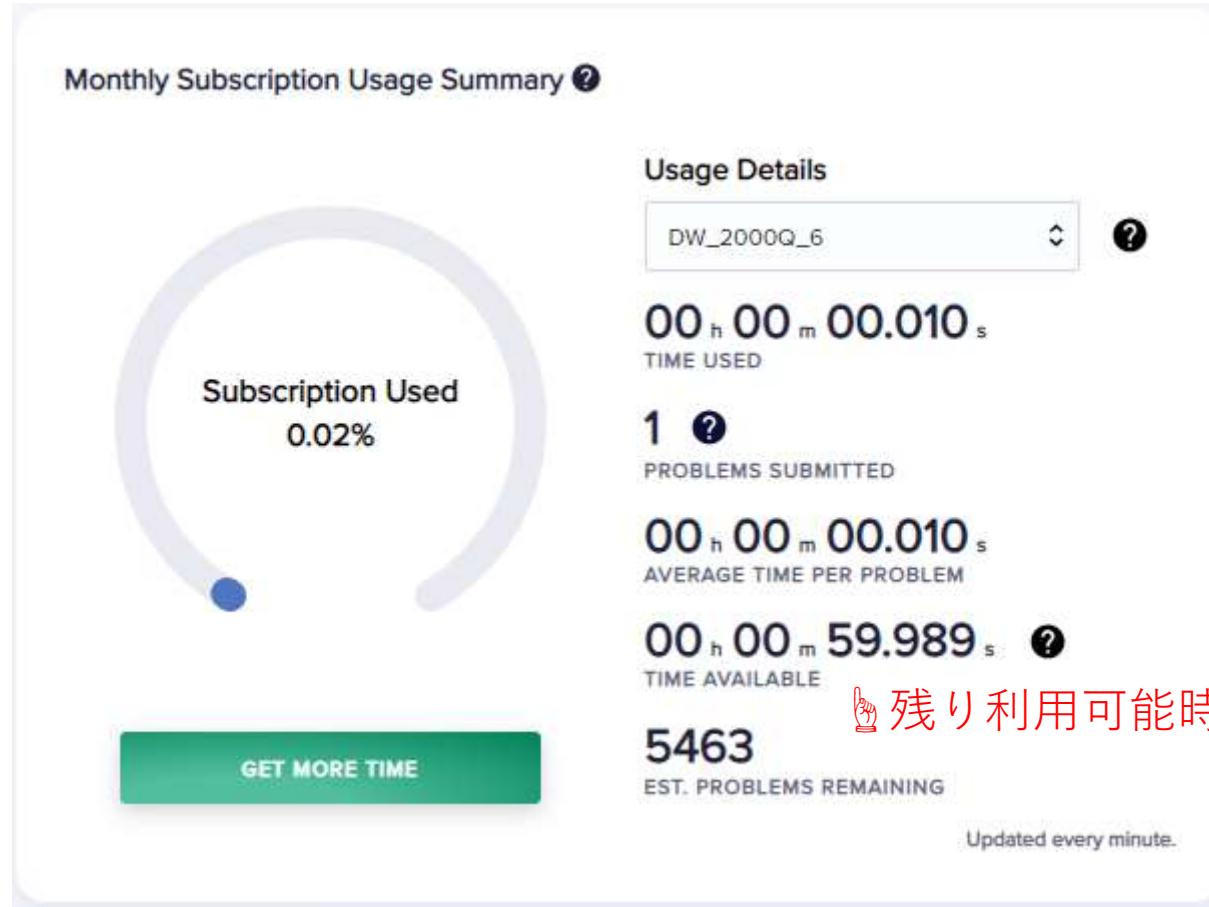
システム構成は右図の通り

- 登録するとクラウド上のD-Wave 2000Qが利用可能
- 1か月1分間の利用が無料
有料プランもあり
- 要GitHubリポジトリ



10. D-WAVE SDKを利用してみた

登録をすると、ダッシュボードで使用状況が確認できる。



Properties Parameters Search properties X

DW_2000Q_6
D-Wave 2000Q lower-noise system
See [System Documentation](#) for more information on solver properties.

QC STATUS: **Online** WORKING QUBITS: **2041** QUBIT TEMP (mK): **13.5 ± 1**

NUM_QUBITS: 2048

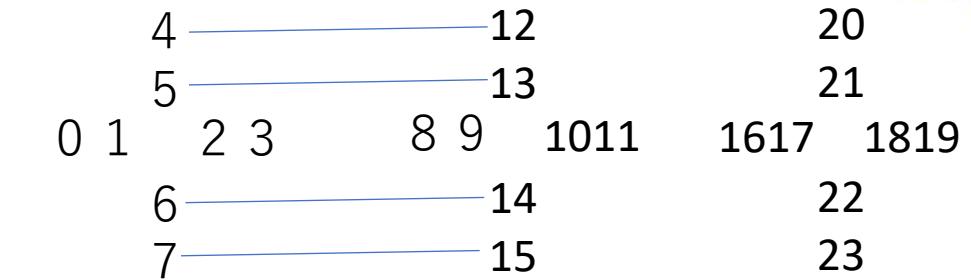
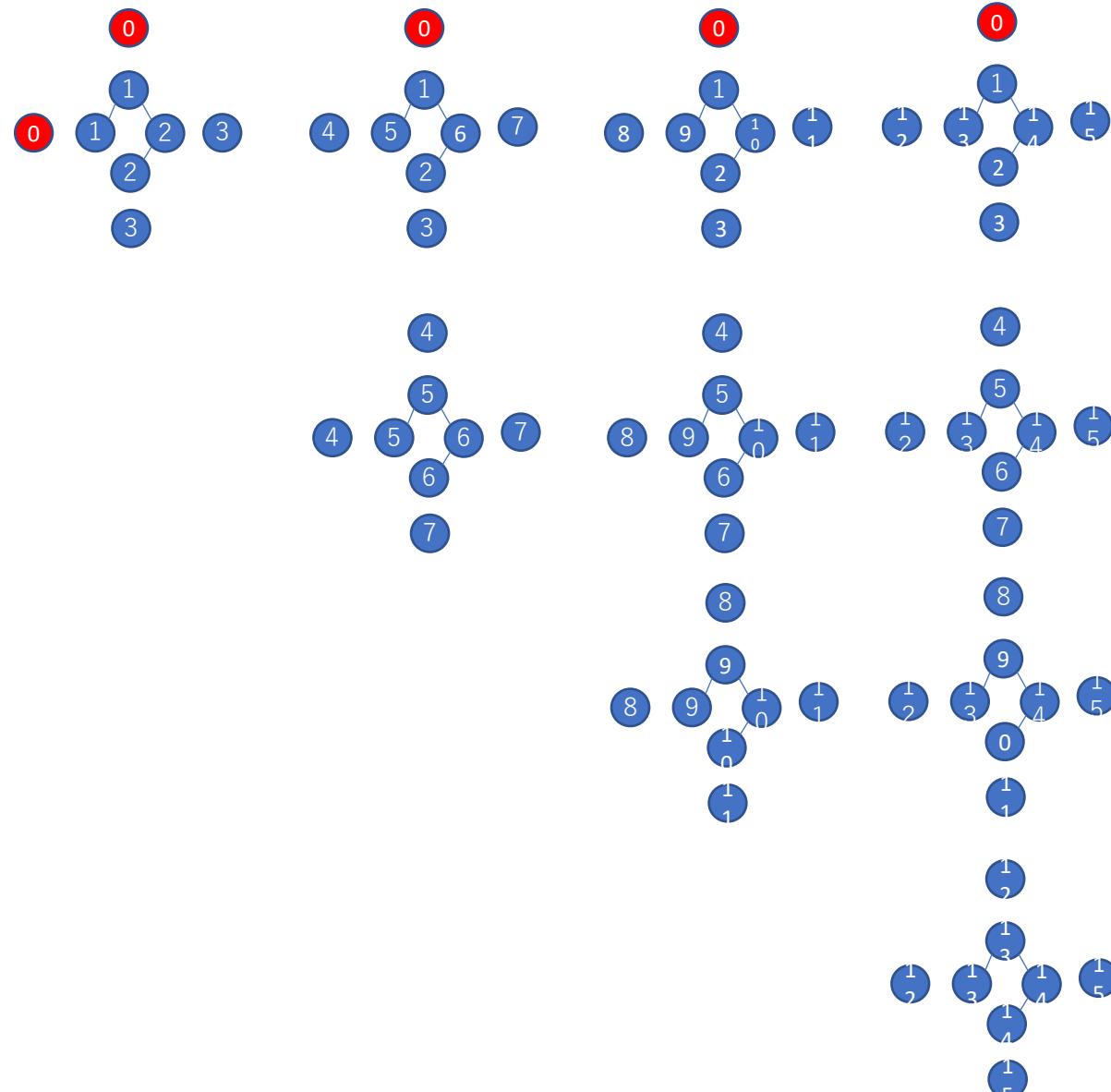
QUBITS [Copy Values](#)
[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,44,45,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112,113,114,115,116,117,118,119,120,121,122,123,124,125,126,127,128,129,130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,149,150]

COUPLERS [Copy Values](#)
[[0,4],[1,4],[2,4],[3,4],[0,5],[1,5],[2,5],[3,5],[0,6],[1,6],[2,6],[3,6],[0,7],[1,7],[2,7],[3,7],[4,12],[8,12],[9,12],[10,12],[11,12],[5,13],[8,13],[9,13],[10,13],[11,13],[6,14],[8,14],[9,14],[10,14],[11,14],[7,15],[8,15],[9,15],[10,15],[11,15],[12,20],[16,20],[17,20],[18,20],[19,20],[13,21],[16,21],[17,21],[18,21],[19,21],[16,22],[17,22],[18,22],[19,22],[15,23],[16,23],[17,23],[18,23],[19,23],[20,28],[21,28],[25,28],[26,28],[27,28],[21,29],[24,29],[25,29]]

10. D-WAVE SDKを利用してみた

- ・パラメータのレンジをJijが{-1,1}、hiが{-2,2}の範囲に収める必要があるため調整をした。結果は以下。

10. D-WAVE SDKを利用してみた



132 140
133 141
128 129 130 131 136 137 138 139
134 142
135 143

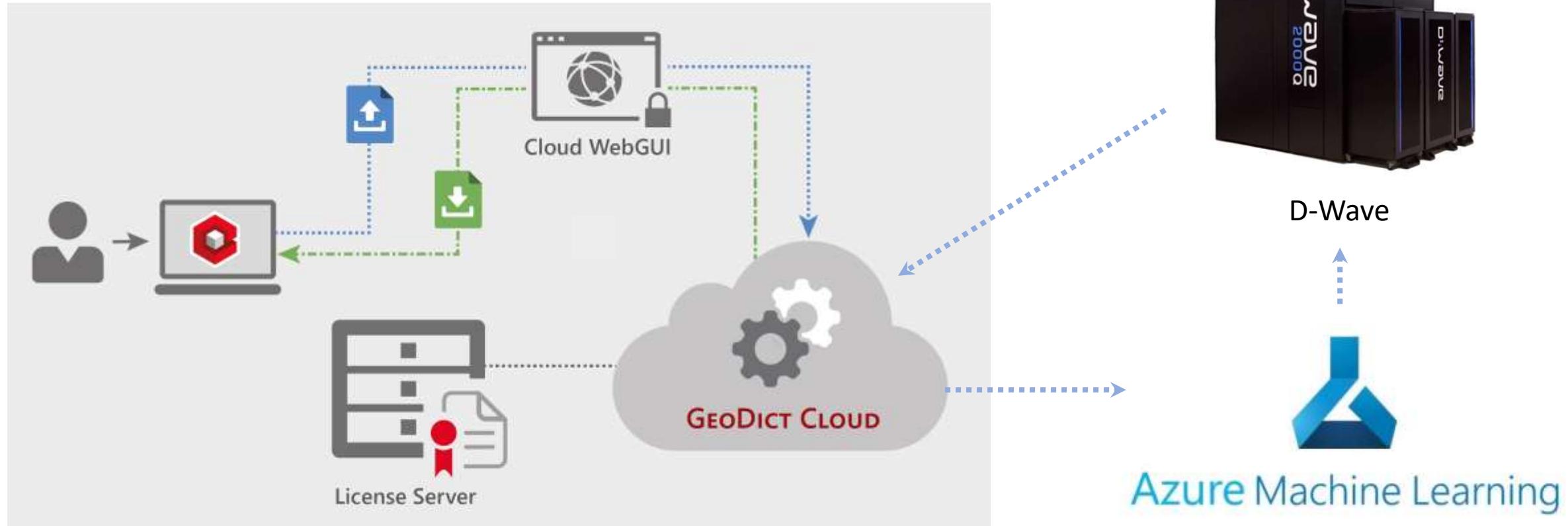
0~3 1
136~159
272~287
408~415
全部正常であること確認

10. D-WAVE SDKを利用してみた

- 計算結果

11. 製造Eビジネスへの活用案

GeoDict × MLへの量子アニーリングマシン適用案の概念図を1つ紹介する。
(7章のNIMSの事例を参考にした。)



CAEとイジングモデルに対応したMLモデルとD-Waveを組み合わせることで、
組み合わせ爆発が起こる問題に対しても最適化計算の実施が可能になる！！

12. まとめ

この資料を読んでわかること

- 量子コンピューターはどれくらいはやく計算できるのか
- 量子コンピューターが現状どの程度実用化されているか
- 量子コンピューターはどのような原理で動いているのか
- 量子コンピュータを実際にどう使うのか



この資料を読んでわかったこと

- 量子コンピューターは従来のコンピューターより1億倍速くなる場合があることがわかった
- 量子コンピューターはすでに製造Eの顧客の一部で利用していることがわかった
- 量子コンピューターは重ね合わせの原理、イジングモデル、トンネル効果など、量子力学や統計力学の基本的な原理をもとに動いていることがわかった
- D-Waveは、無料登録してGitHubリポジトリを準備することで計算を実行することができるわかった

所感

- ・来年は量子ゲート型について調査してみたい
- ・量子アニーリングマシンを利用したビジネスを考え、GeoDictユーザーに提案できるようにしたい

(参考) SBI証券の量子コンピューティングまとめ

- 量子コンピューター関連株についてSBI証券のサイト内にまとめがある

リクルートHD(6098)(日足、4/3-9/26)

傘下のリクルートコミュニケーションズが、量子コンピューターをマーケティング、広告の最適化に利用するため、Dウェーブ・システムズとの共同研究を本格化することを2017年5月に発表。[\(同社株を対象としたeワラントはこちら\)](#)



デンソー(6902)(日足、4/3-9/26)

Dウェーブ・システムズの量子コンピューターの利用を念頭に、自動運転支援に関する実証実験を始めるという内容が2017年9月に報道される。



量子コンピューターを利用したビジネスを発表したのちに株価は上昇傾向を示している！？

https://www.sbisec.co.jp/ETGate/?OutSide=on&_ControlID=WPLETmgR001Control&_PageID=WPLETmgR001Mdtl20&_DataStoreID=DSWPLETmgR001Control&_ActionID=DefaultAID&getFlg=on&burl=search_market&cat1=market&cat2=report&dir=report&file=market_report_ew_170929.html

D-Wave 2000Q

販売価格 約 17 億円 + 別途専門家のサポート必須

クラウド利用 初心者向け… 1か月 1分間分 無料

開発者向け… 1時間 約 30 万円

クラウド利用が可能になったことで、一気にD-Waveの使用ハードルが下がった。

(参考) 量子コンピュータのわかりやすい動画



[Shohini Ghose: A beginner's guide to quantum computing | TED Talk](#)

- ・実は、巡回セールスマン問題を新型PCで解決する手法もある！？

<https://research-er.jp/articles/view/94485>

