ビジネス活用における
量子コンピュータの勘どころ

～ 将来に向けて今取り組むべきことは何か ～

2019年6月27日

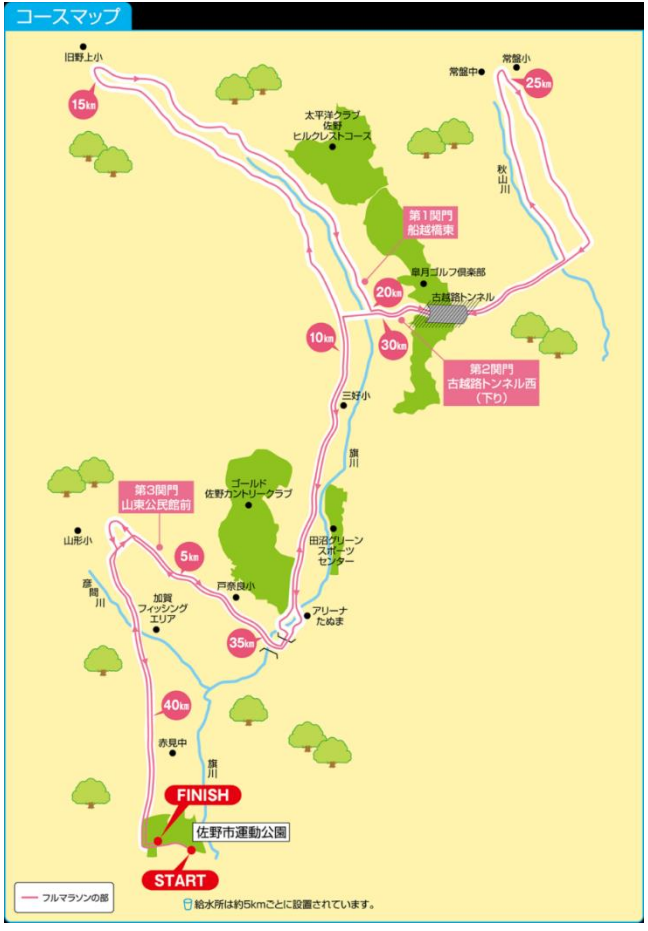
株式会社ザイナス
イノベーション事業部
量子計算コンサルタント
畔上文昭

Zynas

株式会社ザイナス
量子計算コンサルタント
畔上文昭
（あぜがみふみあき）

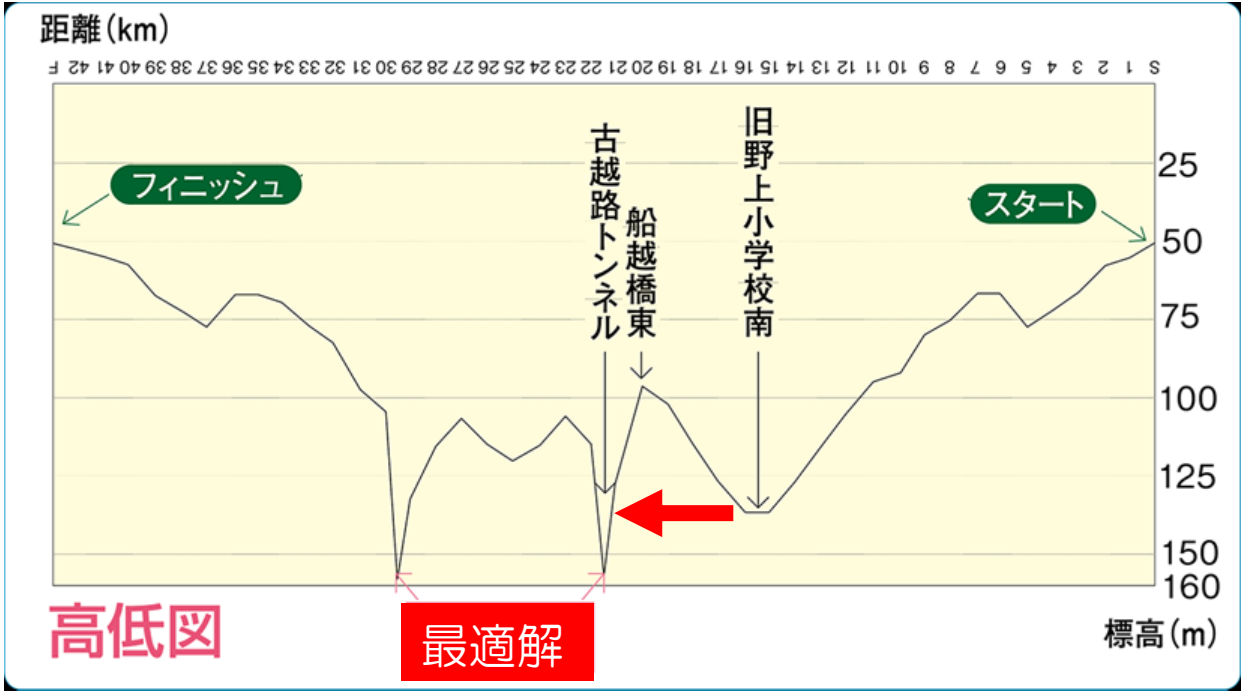
1967年9月生まれ。金融系システムエンジニアを約7年務めて、出版業界に。月刊Iセレクト（中央公論新社発行）、月刊e・Gov（IDGジャパン発行）、月刊CIO Magazine（IDGジャパン発行）の編集長を歴任。2015年2月から、2017年12月まで週刊BCN編集長（十代目）。2019年6月より現職。著書に「電子自治体の○と×」（技報堂出版）。趣味はマラソン。自己ベストは、3時間9分51秒（2018年12月）。

お笑い芸人のランナーズ、小宮ひろあきさん



さのマラソン、オフィシャルページより

さのマラソンの高低図



さのマラソン、オフィシャルページより

株式会社 ザイナス

- **設　立**：2000年5月1日
- **資本金**：7,200万円
- **社員数**：158名（2019年1月1日現在）
- **代表者**：代表取締役社長　江藤 稔明

事業内容

- コンピュータソフトウェア開発
- 各種パッケージ販売
- ITエンジニアソリューション
- Webソリューション
- 産学官連携による共同研究開発
- ホームページ制作
- 企業コンサルティング業

■大分本社
〒870-0839　大分市金池南1丁目5番1号コレジオ大分5階
TEL　097-547-8639
■東京本社
〒105-0013　東京都港区浜松町2丁目6番2号　浜松町262ビル5階
TEL　03-6435-8430
■福岡支社
〒812-0013　福岡市博多区博多駅東1丁目14番25号　新幹線ビル2号館5F
TEL　092-409-9130

今日のお題

ビジネス活用における量子コンピュータの勘どころ

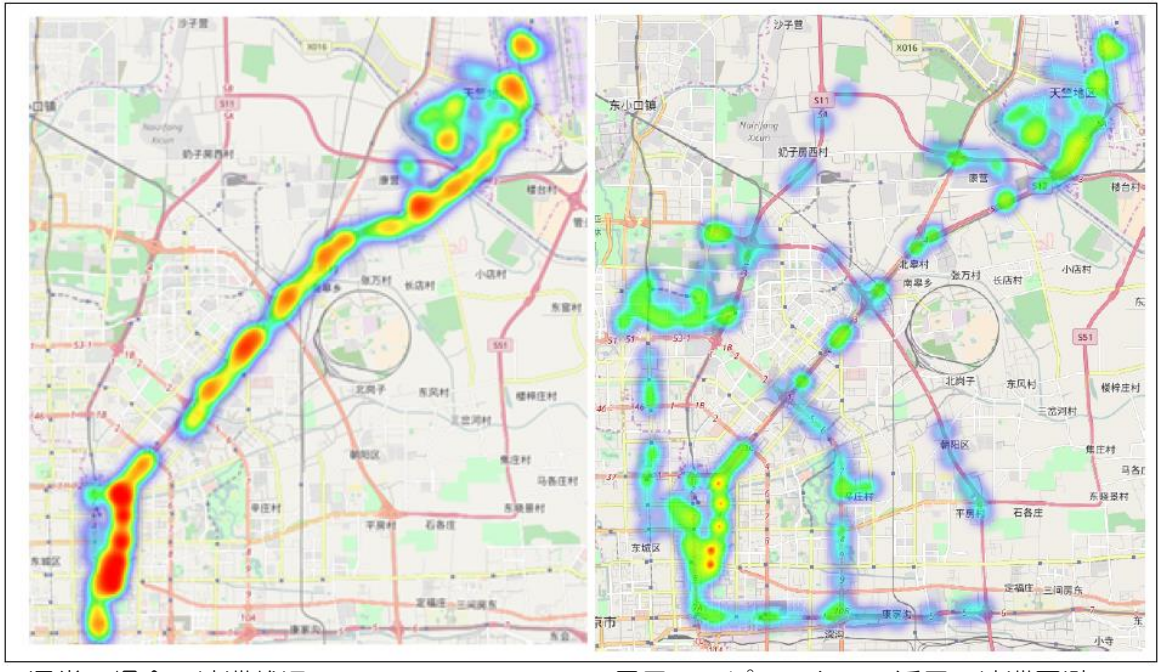
～ 将来に向けて今取り組むべきことは何か ～

　量子コンピュータの開発競争が激化して日進月歩の状態にありますが、ビジネスでの活用となると、様々な課題が見えてきています。ただ、量子コンピュータの一種であるアニーリングマシンについては、ビジネスでの活用が動き始めています。本セッションでは、量子コンピュータの現状と、アニーリングマシンを活用したビジネスの最前線についてご紹介します。

Volkswagenによる実証実験

Traffic flow optimization using a quantum annealer　2017.9

出典：Volkswagen



通常の場合の渋滞状況

量子コンピューターの活用で渋滞回避

データ（AIの活用）＜ アルゴリズム（量子計算）　ならば
世界を変えるのはデータではないかもしれない

量子コンピュータとは

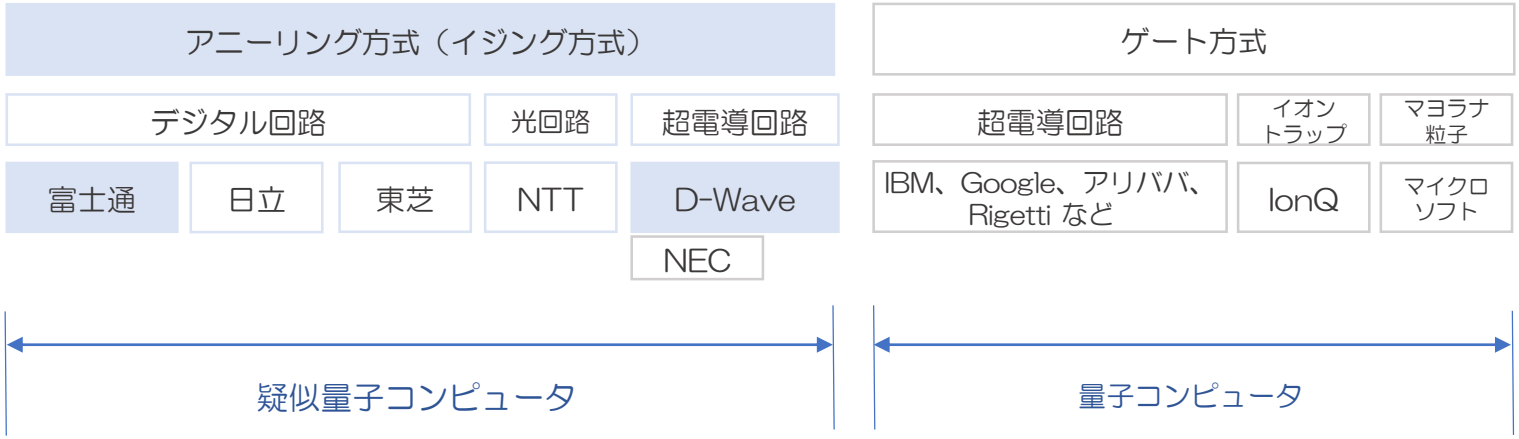
これまでのコンピュータ
・０か１か
量子コンピュータ
・０と１の両方

⇐ ビジネスではさほど重要ではない

主な量子コンピュータ
・量子ゲート方式（汎用）
・NISQ（現時点の量子ゲートマシン）
・量子アニーリング方式
（組み合わせ最適化）

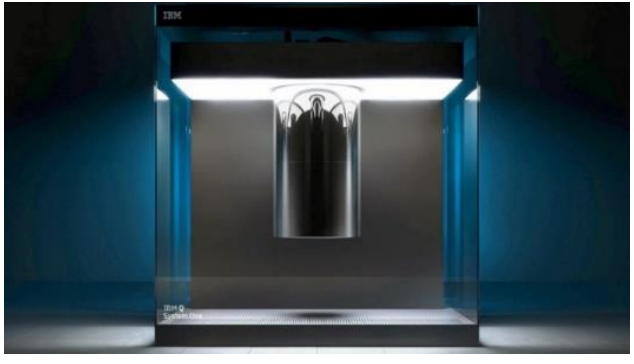
⇐ これらをどう使うかが重要

主要各社の取り組み


アニーリング方式（イジング方式）
ゲート方式
デジタル回路
光回路
超電導回路
超電導回路
イオン
トラップ
マヨラナ
粒子
富士通
日立
東芝
NTT
D-Wave
NEC
IBM、Google、アリババ、
Rigetti など
IonQ
マイクロ
ソフト
疑似量子コンピュータ
量子コンピュータ

量子ゲート方式のビット数

IBM　⇒　50量子ビット（開発中）
グーグル　⇒　72量子ビット（2018年3月）
インテル　⇒　49量子ビット（2018年1月）
アリババ　⇒　11量子ビット（2018年3月）
リゲッティ　⇒　128量子ビット（2018年9月）
マイクロソフト　⇒　？（マヨナラ粒子）
IonQ　⇒　160量子ビット（2018年12月）（イオントラップ型）



出典：IBM

※アニーリングマシンは、ほぼ2000量子ビット以上

アニーリングマシン

D-Wave Systems　⇒　2048量子ビット
※5000量子ビットで2020年出荷予定

富士通　⇒　8192（量子）ビット
（※諧調：64ビット（1845京））

※日立　⇒　10万2400（量子）ビット（4096ビット×25）
名刺サイズも発表（6万ビット）
※NEC　⇒　2023年に製品化

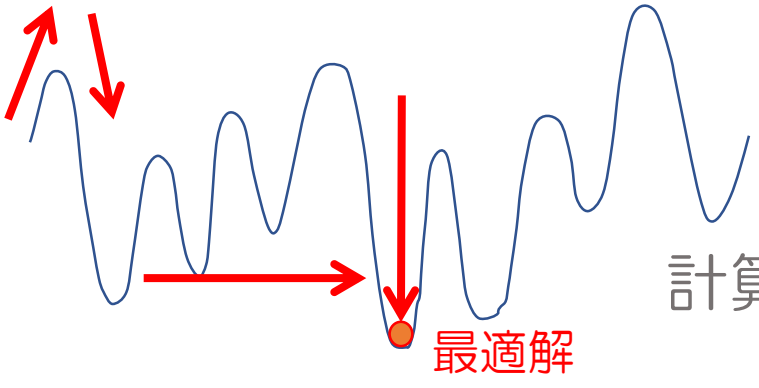
D-Wave
2000Q

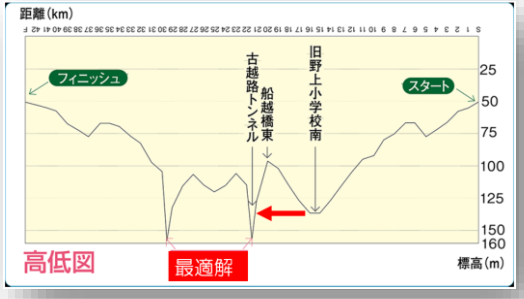
デジタルアニーラ

名刺サイズCMOSアニーリングマシン

アニーリング方式

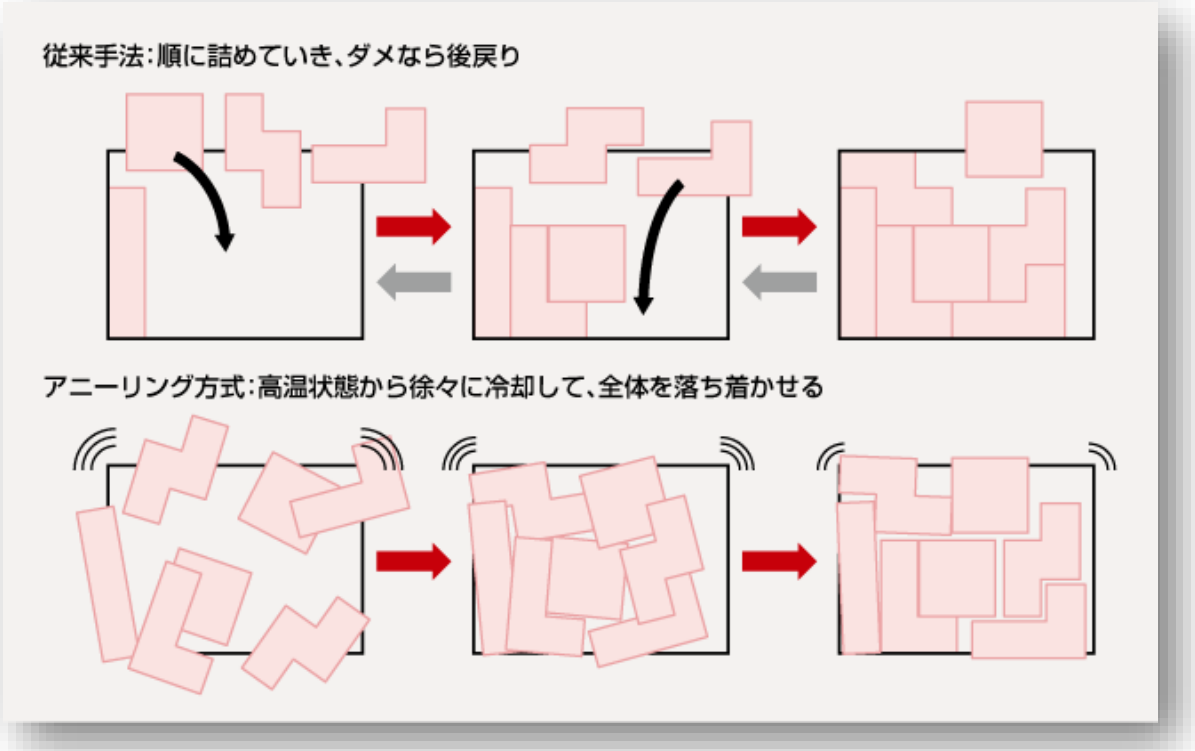
- アニーリング　＝　焼きなまし
- 組み合わせ最適化問題に特化
  ⇒　最適解を計算
- 商用サービスとして現時点で利用可能





計算処理イメージ

計算結果イメージ



出処：富士通
https://www.fujitsu.com/jp/services/knowledge-integration/insights/20180611-02/

サンプリングマシンとして尤度を求める

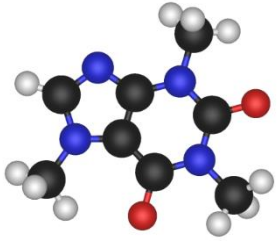
定番の活用シーン

交通渋滞の解消

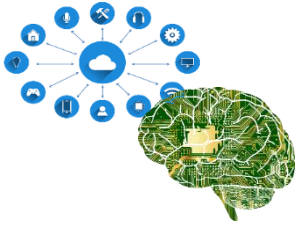
物流コストの最適化

電力送電網

ポートフォリオ
最適化（ナップザック問題）



最適な
分子構造



IoTや
人工知能（AI）

このほかにも、組み合わせ最適化の課題は数多く存在する

アニーリングマシンの活用で必要なノウハウとビジネス

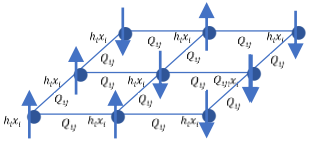
- 社会問題やビジネス課題の定式化
- 数学の知識

ビジネス課題

組み合わせ最適化問題として定式化

$$H(x) = -\sum_{i<j} Q_{ij}x_i x_j - \sum_i h_i x_i$$

アニーリングマシンで計算



計算結果を検証

この流れで、まずはPoCを実施

一般化した数式

二次式で表現されたエネルギー式

$$H(x) = -\sum_{i<j} Q_{ij} x_i x_j - \sum_i h_i x_i$$

Q_{ij} 量子ビット間の相互作用（精度（諧調））

h_i：外部磁場係数（局所磁場）

x ：バイナリ変数（量子ビットに相当）

この H（ハミルトニアン）を最小化する組み合わせを求める

アニーリングマシンで必要な数学の勘どころ

$$x_1+x_2=1$$

左記の等式を満たすバイナリ変数x_1、x_2を
量子アニーリングで計算

$$H=(1-(x_1+x_2))^2$$ ※条件を満たすときに0（最小値）

$$=1-2(x_1+x_2)+(x_1+x_2)^2$$
$$=1-2x_1-2x_2+{x_1}^2+2x_1x_2+{x_2}^2$$
$$=1-2{x_1}^2-2{x_2}^2+{x_1}^2+2x_1x_2+{x_2}^2$$
$$=1-\boldsymbol{{x_1}^2-{x_2}^2+2x_1x_2}$$

$$\rightarrow \quad (x_1\ x_2)\begin{pmatrix}-1 & 2\\ 0 & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x_1\\ x_2\end{pmatrix}$$

$$QUBO=\begin{pmatrix}-1 & 2\\ 0 & -1\end{pmatrix}$$

◆「Wildqat」（MDR）のシミュレータで3回実行

```
>>> import wildqat as wq
>>> a = wq.opt()
>>> a.qubo = [[-1,2],[0,-1]]
>>> a.sa()
[0, 1]
>>> a.qubo = [[-1,2],[0,-1]]
>>> a.sa()
[1, 0]
>>> a.qubo = [[-1,2],[0,-1]]
>>> a.sa()
[0, 1]
```

数独を解く

(1) 一つのマスには1～9のいずれかの数字が入る

$$\alpha \sum_{ij} \left(\sum_{k=1}^{9} x_{ijk} - 1 \right)^2$$

x_{ijk} ：マスijの値がkのとき1、そうでないとき0

α ：ペナルティ係数

(2)各列には同じ数字が複数入ってはいけない

$$\alpha \sum_{k=1}^{9} \sum_{j} \left(\sum_{i} \left(x_{ijk} - 1 \right)^2 \right.$$

(3)各行には同じ数字が複数入ってはいけない

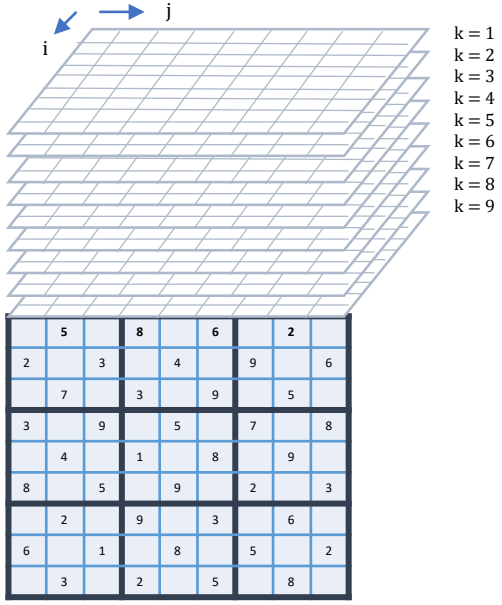
$$\alpha \sum_{k=1}^{9} \sum_{i} \left(\sum_{j} \left(x_{ijk} - 1 \right)^2 \right.$$

(4)3×3各行には同じ数字が複数入ってはいけない

$$\alpha \sum_{k=1}^{9} \left(\sum_{j}^{2} \sum_{i}^{2} \left(x_{(i+u)\ (j+v)\ k} - 1 \right)^2 \right.$$

(5)ヒントとして配置される数字の条件を守る

$$2\alpha \sum_{hint} (1 - x_{ijk})$$



目的関数

$$H(x) = ((1)+(2)+(3)+(4)+(5))$$

この H を最小化する

$x_{ijk} \in \{0,1\}$ (I,j,k=1..9) の組み合わせが解

アニーリングでQビジネス

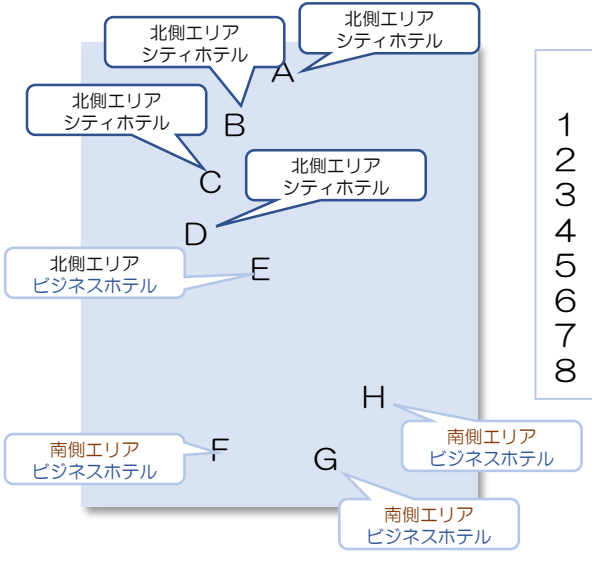
- 月単位の時間貸し
  ⇒　ex.1時間数30万円

- アニーリングでは、1回の処理が数ナノ秒
  ⇒　月間で1時間も使いきれない

量子計算コンサルティング、量子計算BPO

ビジネスへの適用事例

旅行予約サイト「じゃらん」



人気順の表示

1	O	北	シティホテル
2	B	北	シティホテル
3	A	北	シティホテル
4	D	北	シティホテル
5	E	北	ビジネスホテル
6	H	南	ビジネスホテル
7	F	南	ビジネスホテル
8	G	南	ビジネスホテル

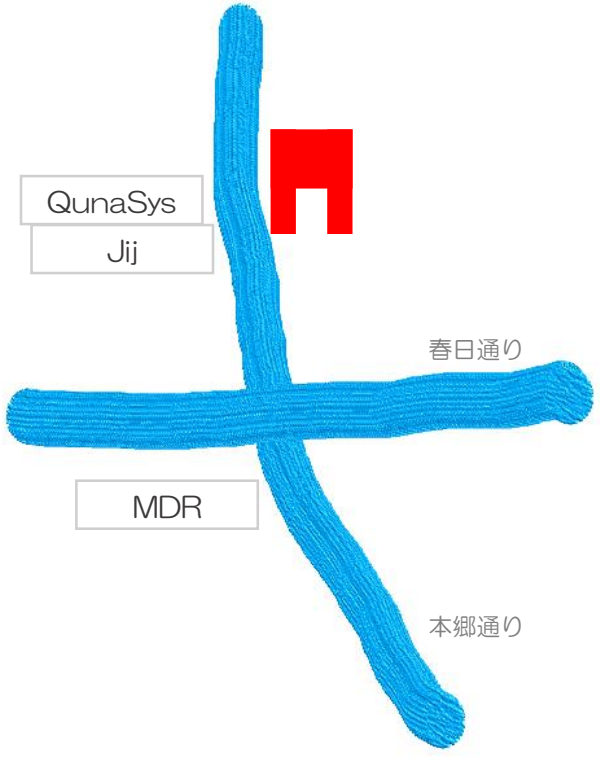
多様性を加えた結果

1	B	北	シティホテル
2	G	南	ビジネスホテル
3	A	北	シティホテル
4	E	北	ビジネスホテル
5	H	南	ビジネスホテル
6	O	北	シティホテル
7	F	南	ビジネスホテル
8	D	北	シティホテル

出典：リクルートコミュニケーションズ

RedGate Valley

東大赤門界隈で
盛り上がる
量子コンピュータビジネス



MDR Partner

ザイナスはMDRの
ビジネスパートナーです

今日のまとめ

- 現時点で実用的なのはアニーリングマシン
- アニーリング方式では、デジタル回路のマシンも提供されている
- 数学の知識と、慣れが必要
- 組み合わせ最適化問題は、どこにもある
- Qビジネスはこれから（ブルーオーシャン）

ご清聴、ありがとうございました。

株式会社ザイナス
イノベーション事業部
量子計算コンサルタント
畔上文昭