

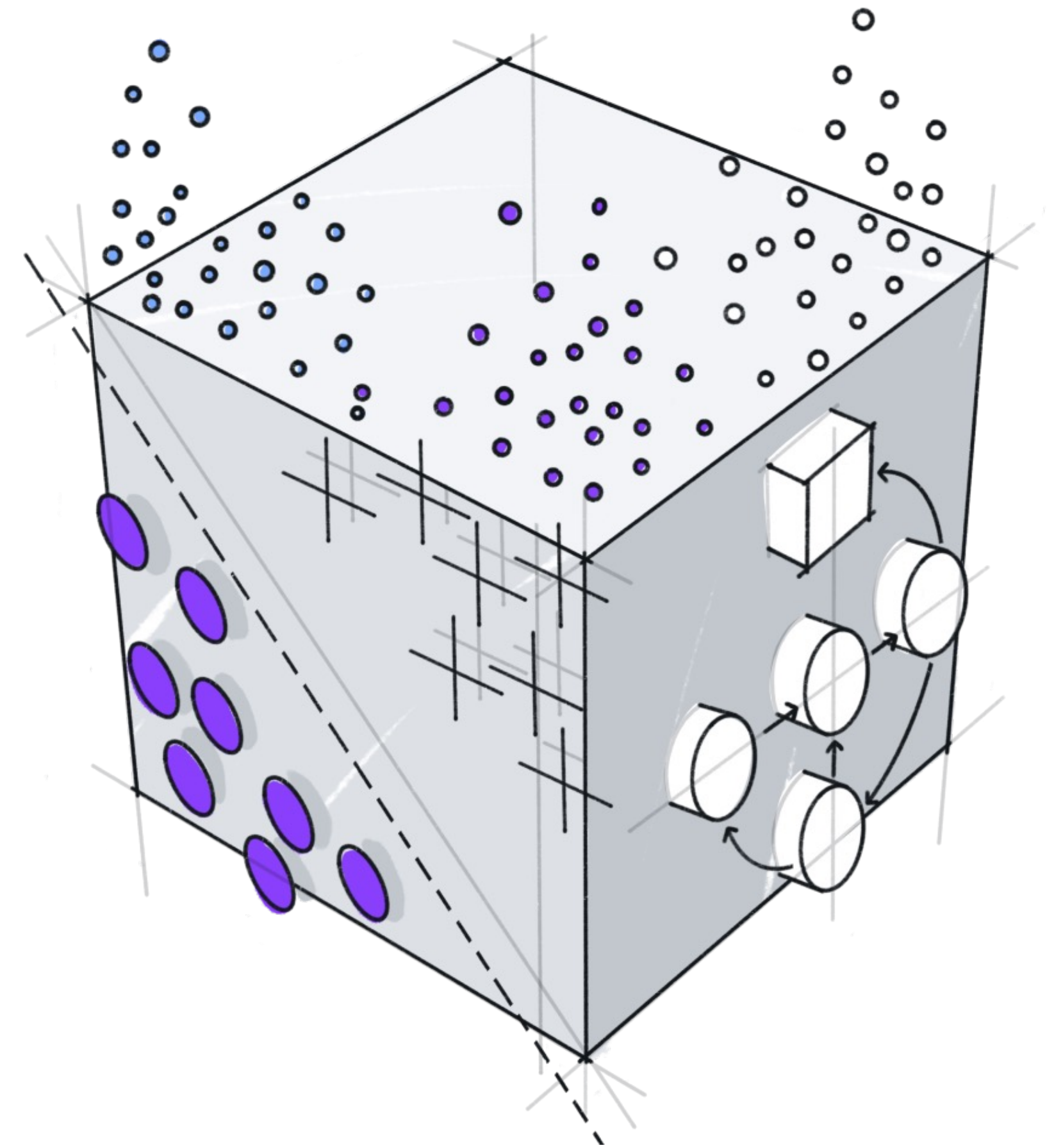
Kawasaki Quantum Summer Camp

量子機械学習

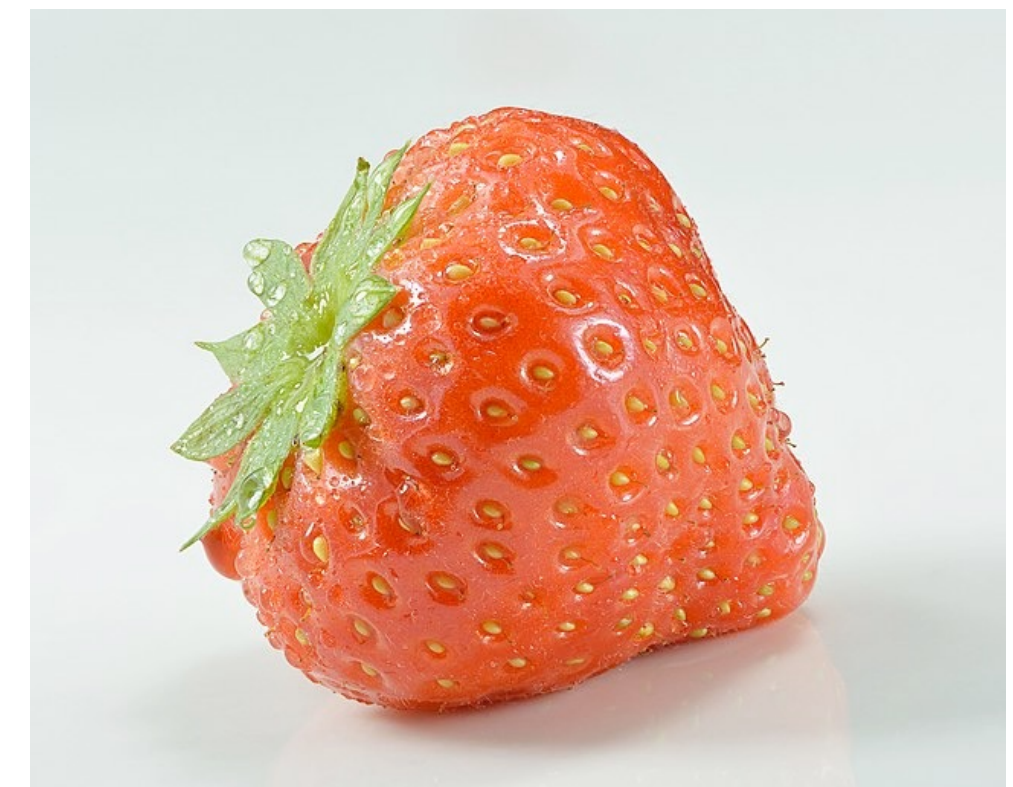
沼田 祈史

Kifumi Numata

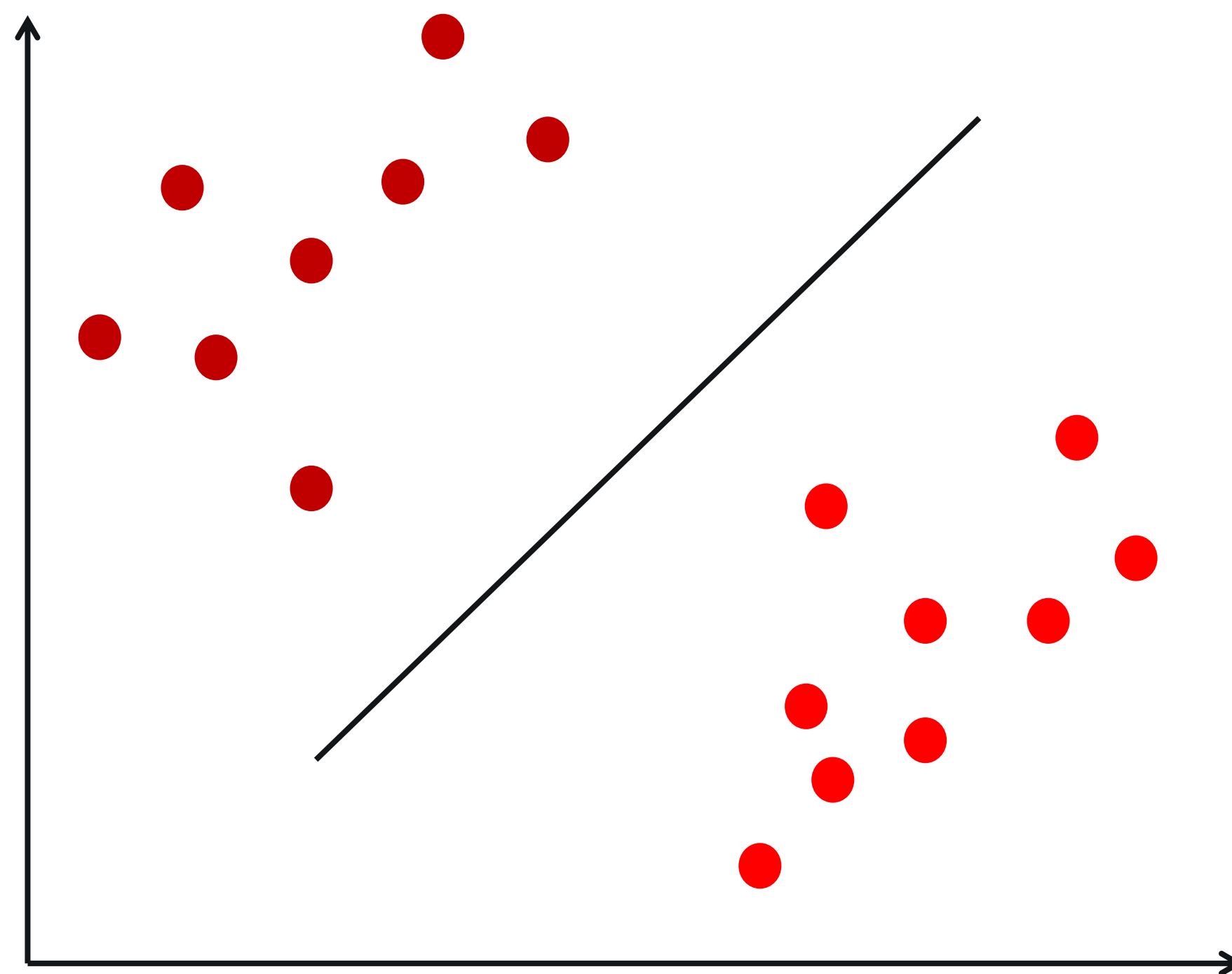
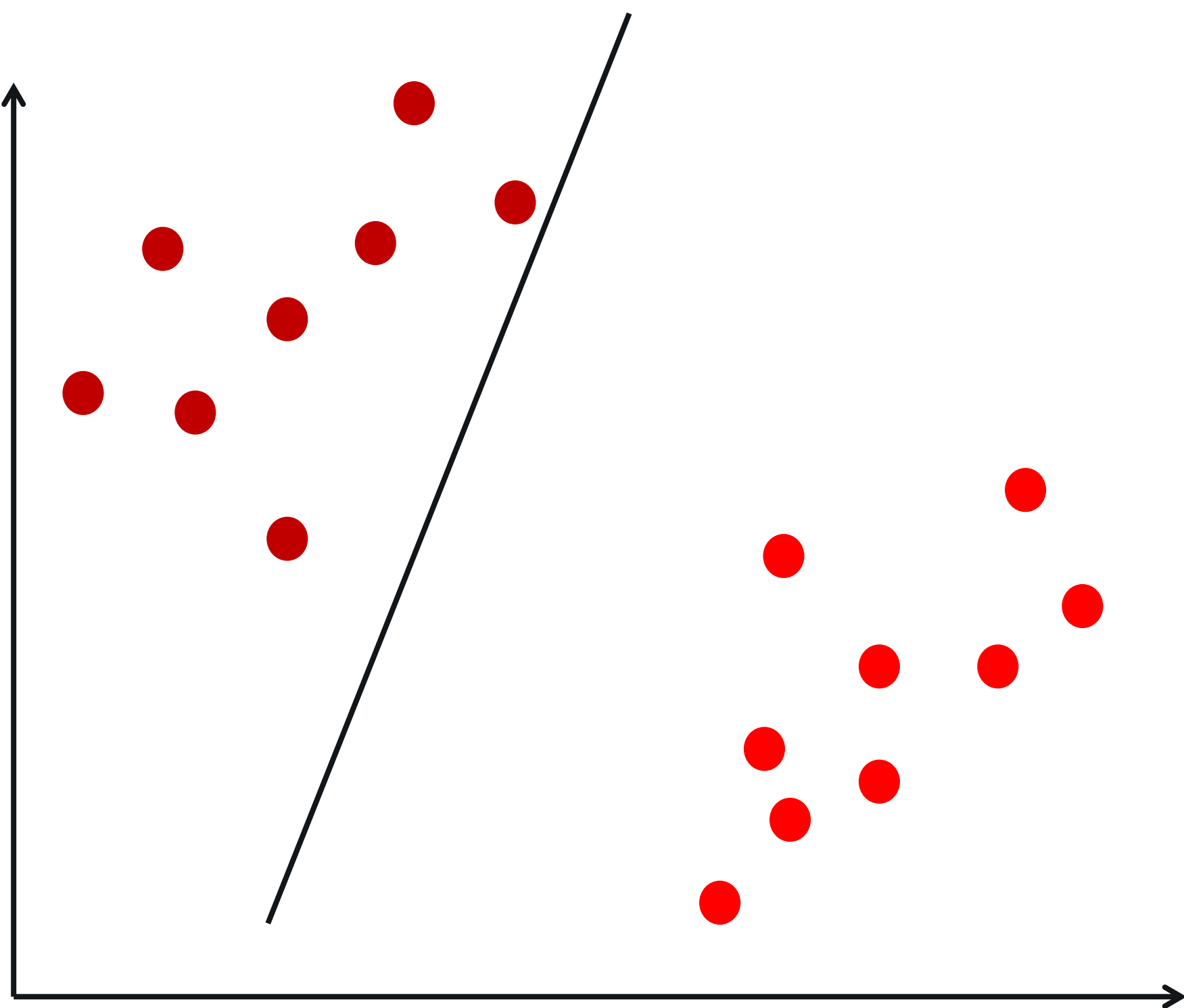
IBM Quantum



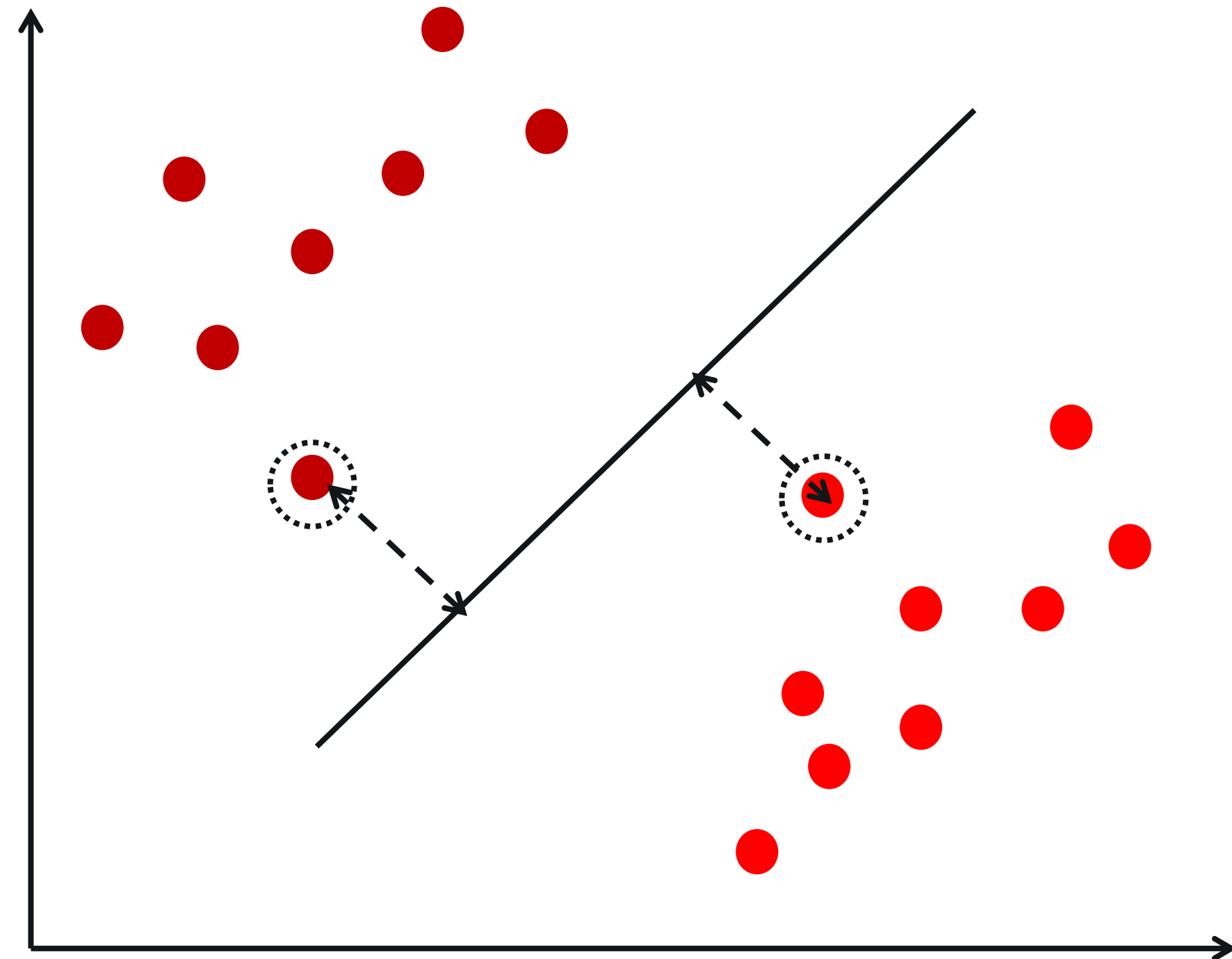
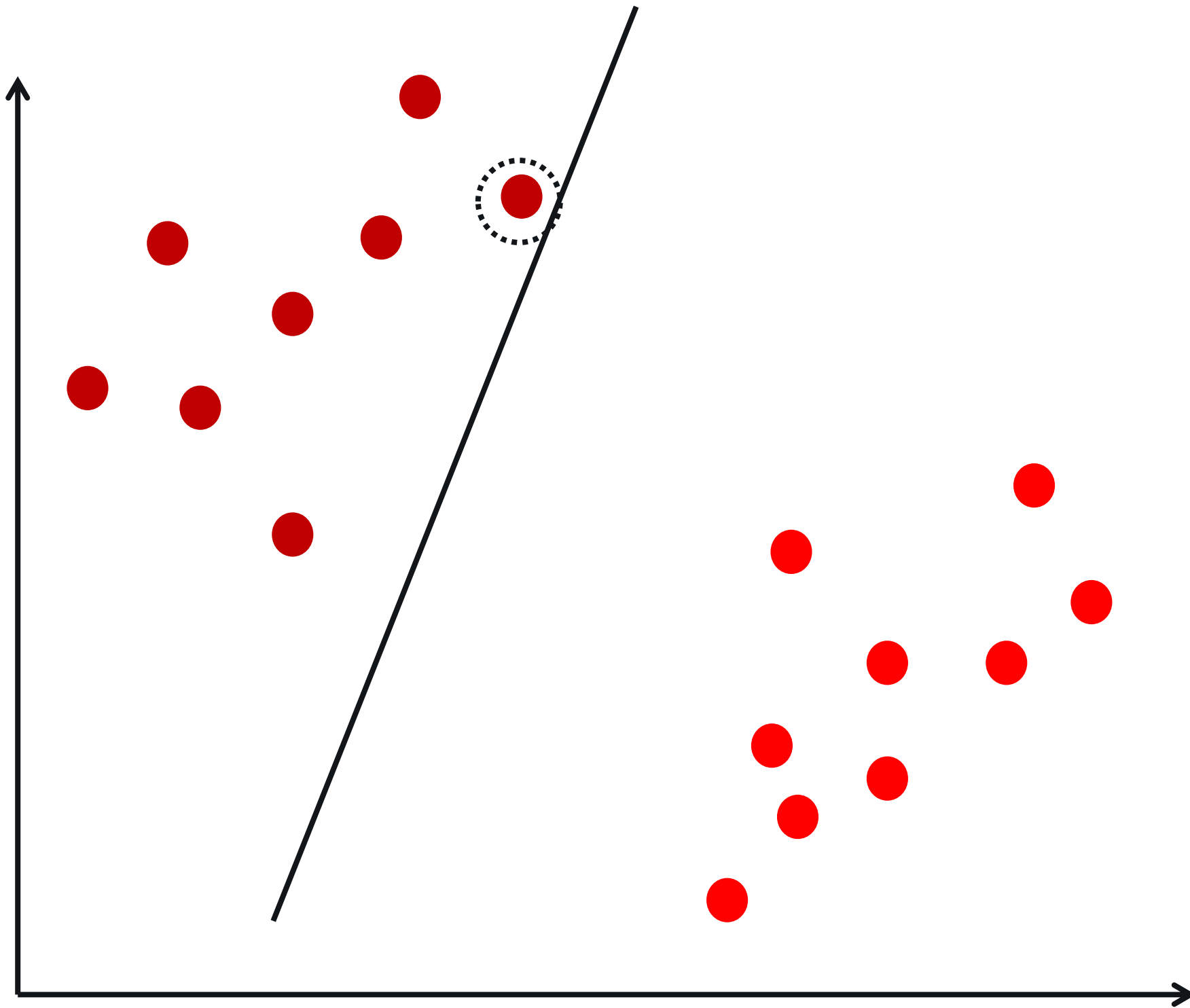
イチゴとリンゴをどうやってコンピューターは 見分けるのでしょうか？



どちらの方がよく分類できているでしょうか？



右図の方が境界線と最も近いデータ点との距離が長い

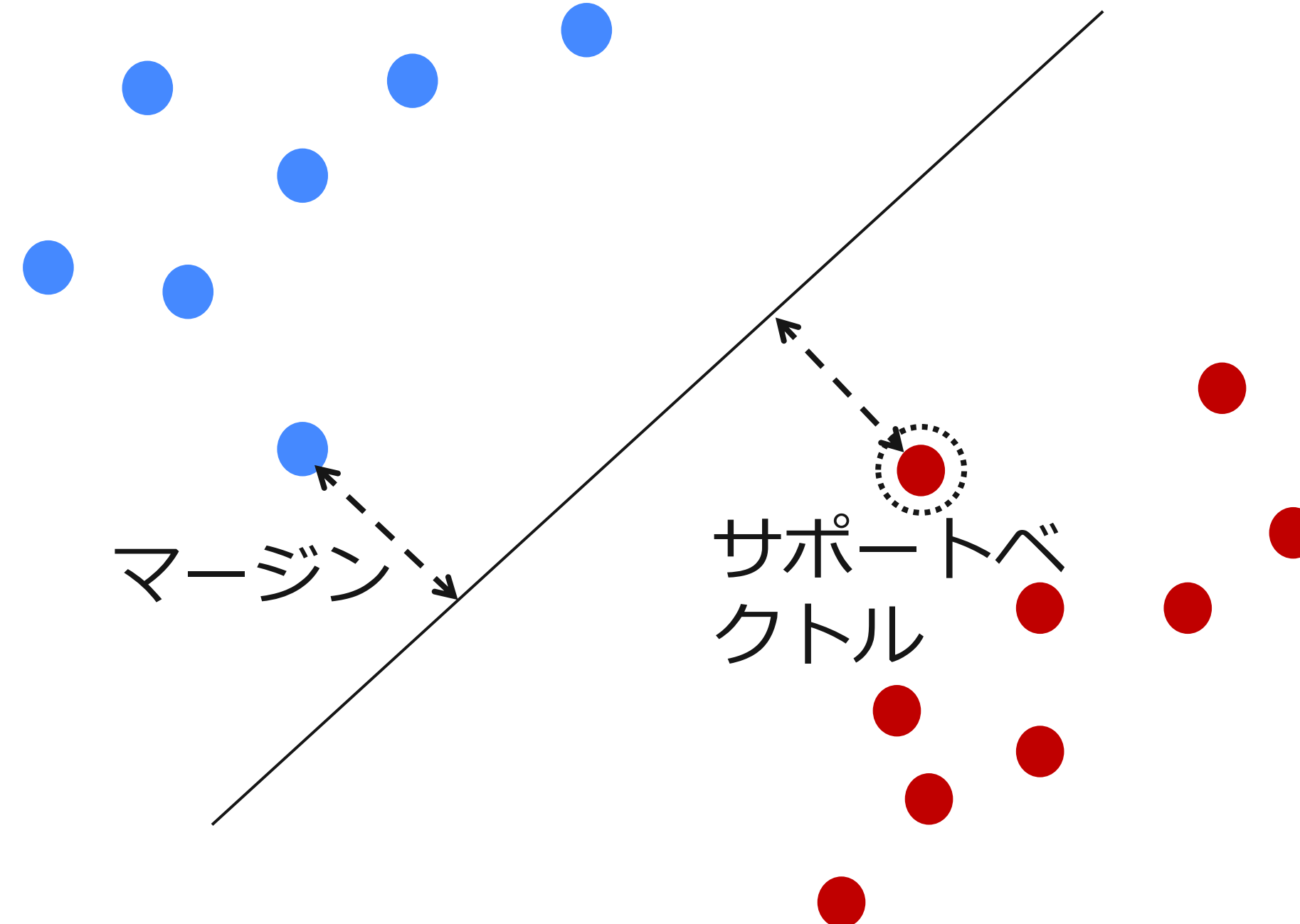


より安定した分け方

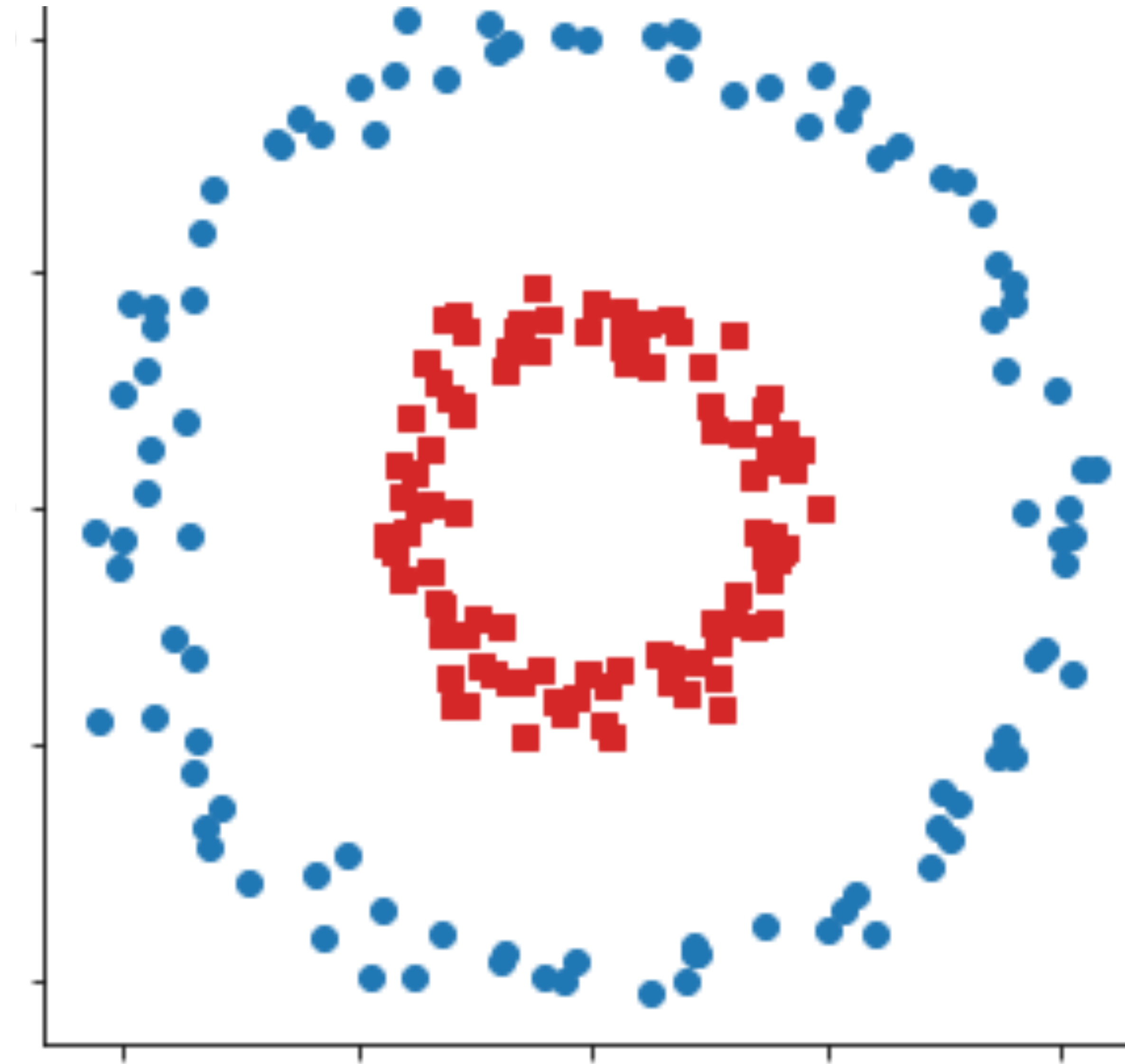
SVM(サポートベクターマシン) とは

データを2つのグループに分ける手法(2値分類)

- グループ間の境界面を定める分析手法
- マージン（境界線と最近接データ点との距離）をできるだけ大きく取るように最適化

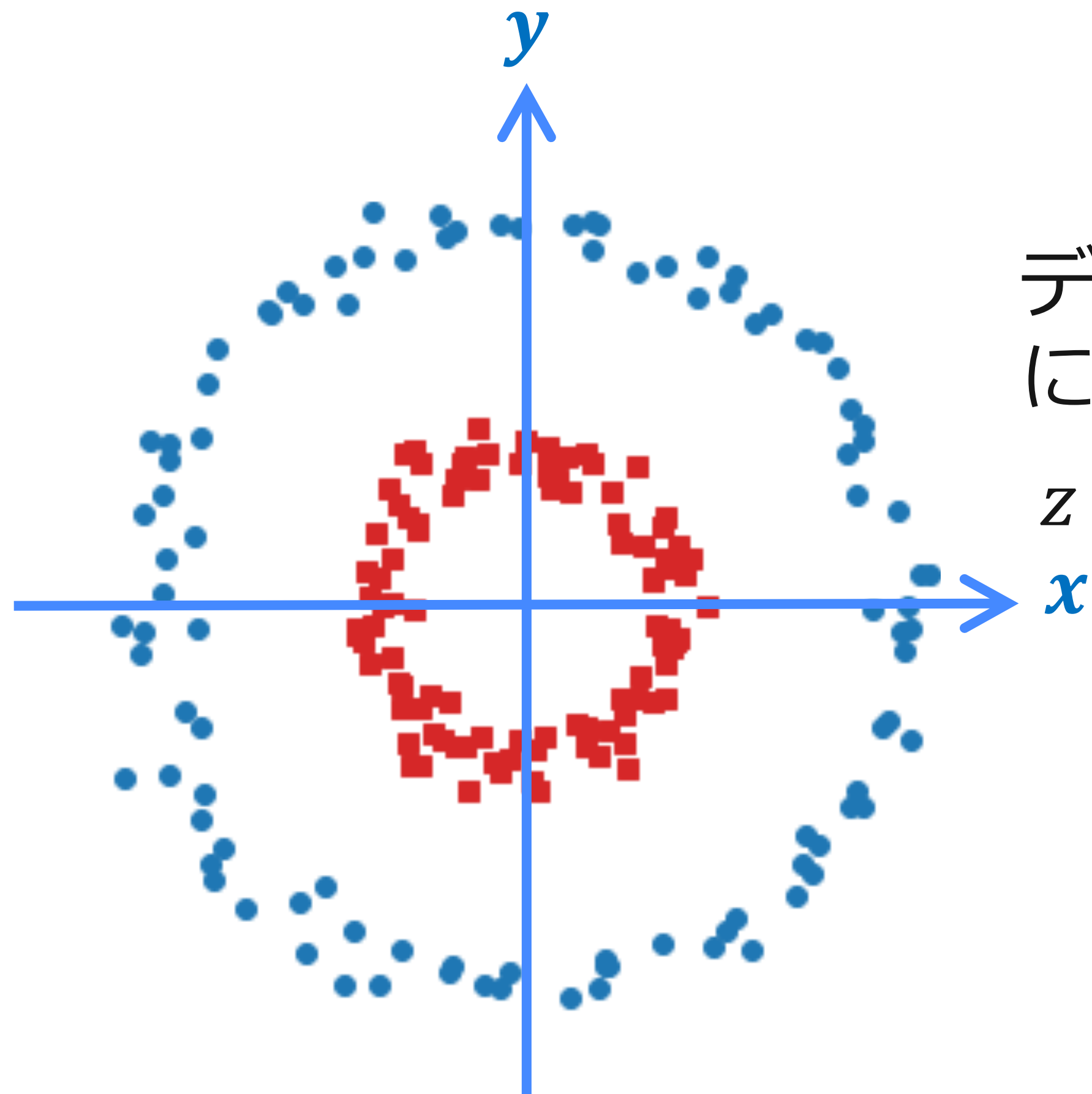


直線で分けられないデータの場合



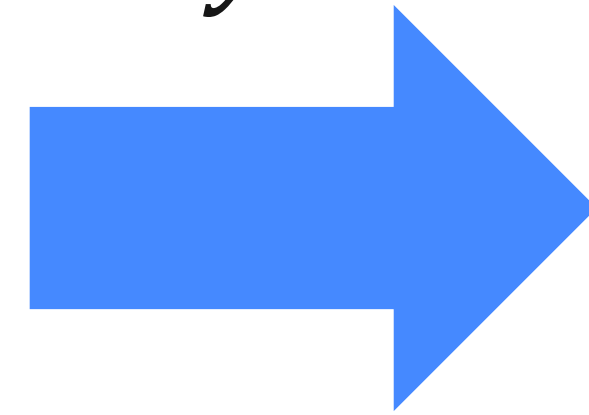
このようなデータセットは、
2グループに分けられることは
明らかですが、
境界線が直線にはなりません。
(線形に分離できないといいます)

データマッピングで分類

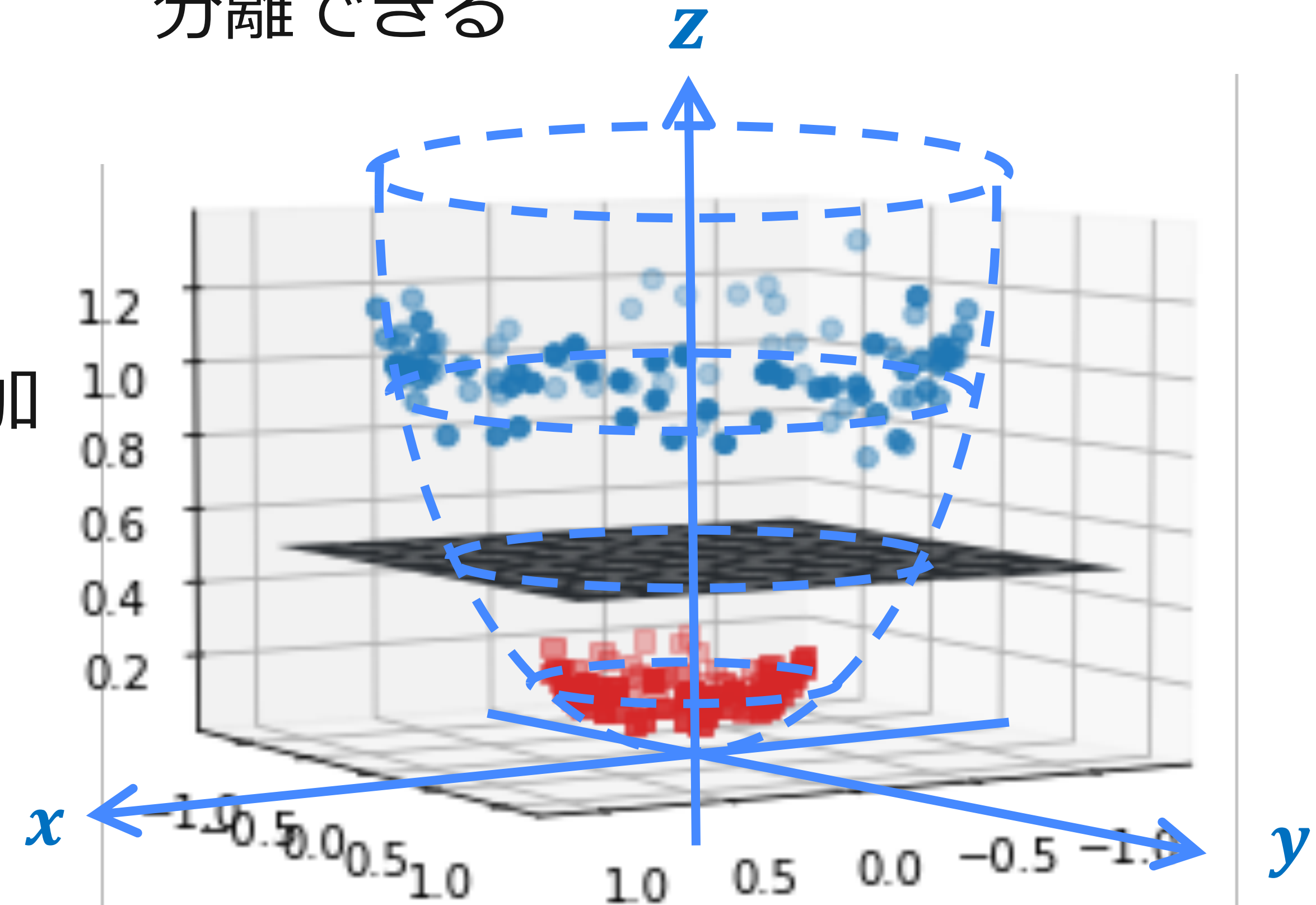


データを3次元
に変換

$$z = x^2 + y^2 \text{を追加}$$



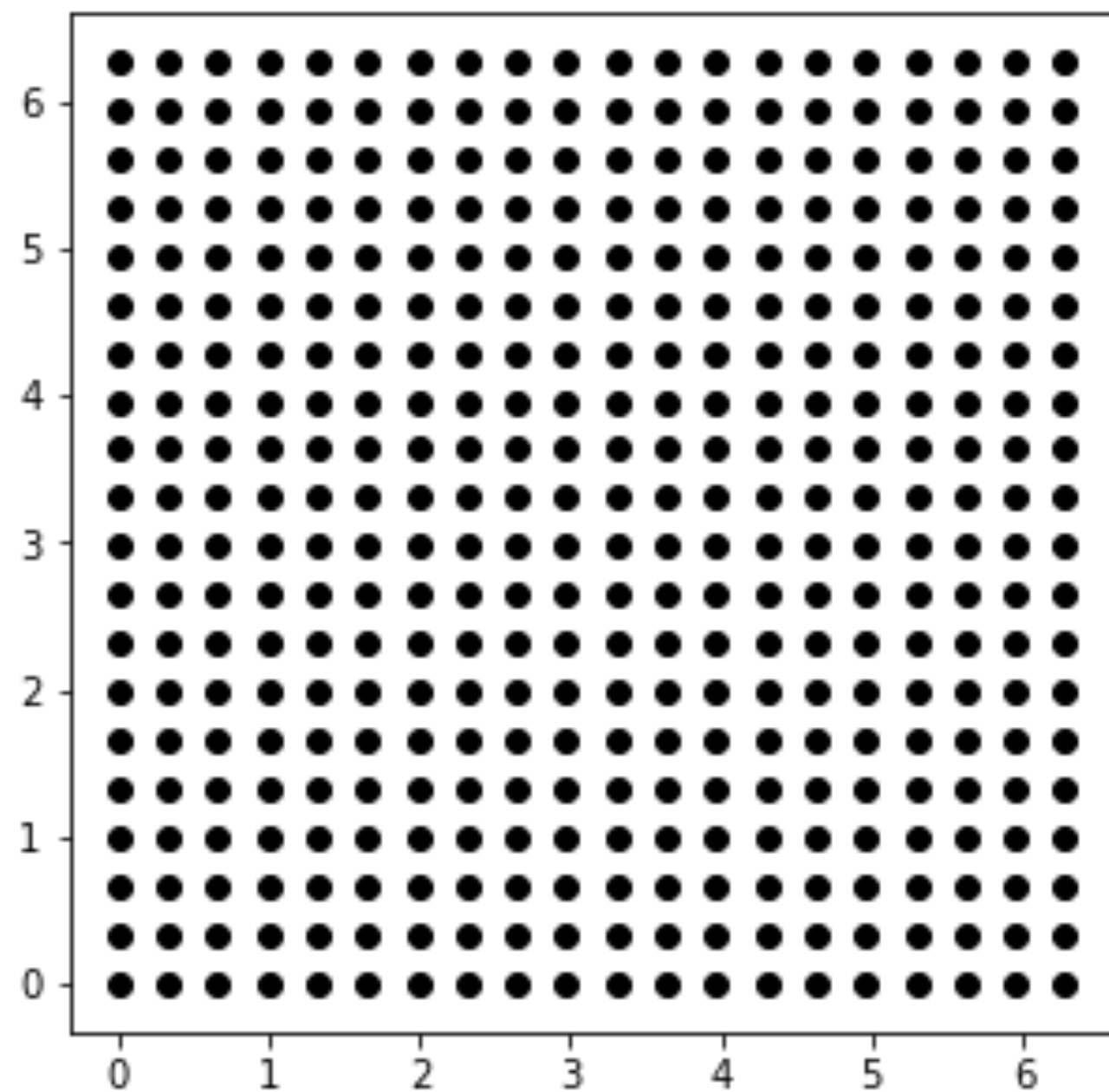
3次元では、データは平面で
分離できる



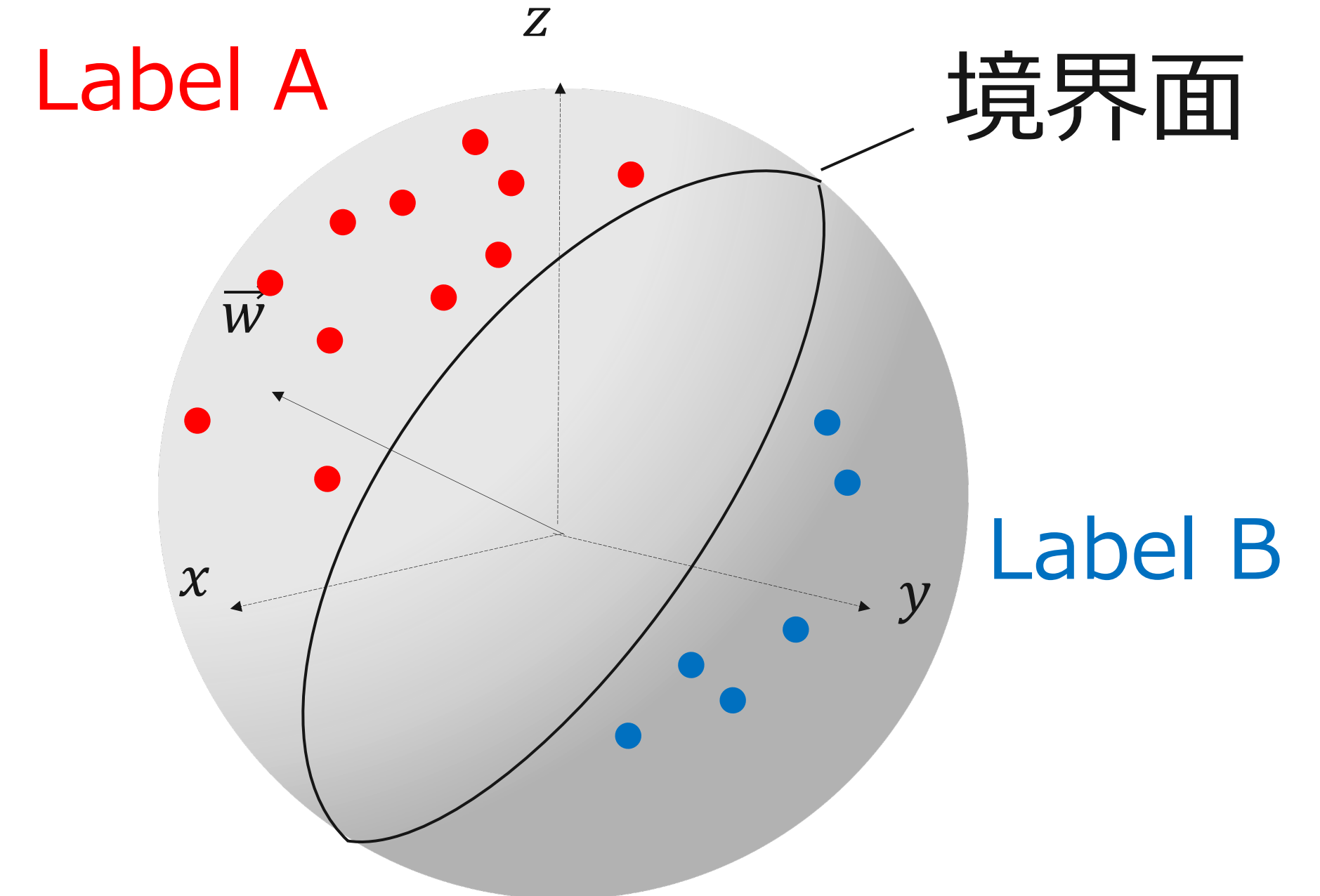
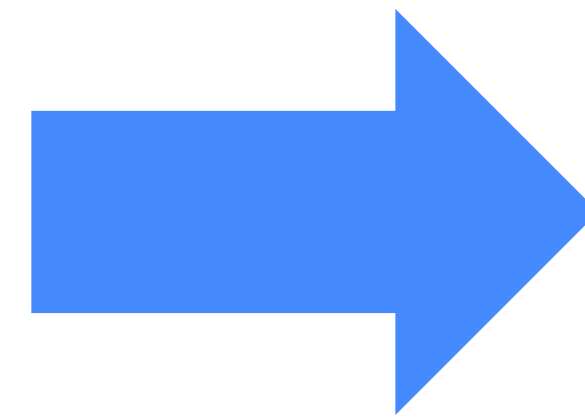
特徴量を高次元化(特徴量マッピング)することで、
平な(線形な)境界面で切り分けることができます。

量子SVM(サポートベクターマシン)

特徴量を量子空間に特徴量マッピングすることで、線形な境界面で切り分けます。



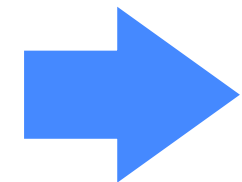
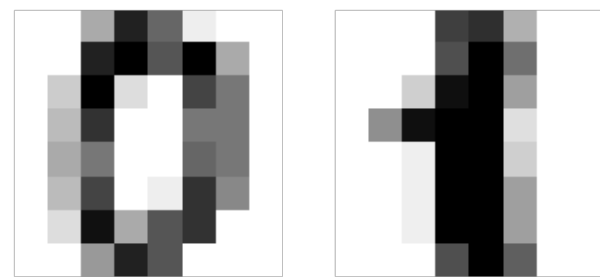
量子状態の球に
マッピング



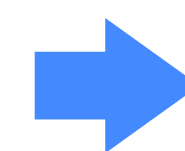
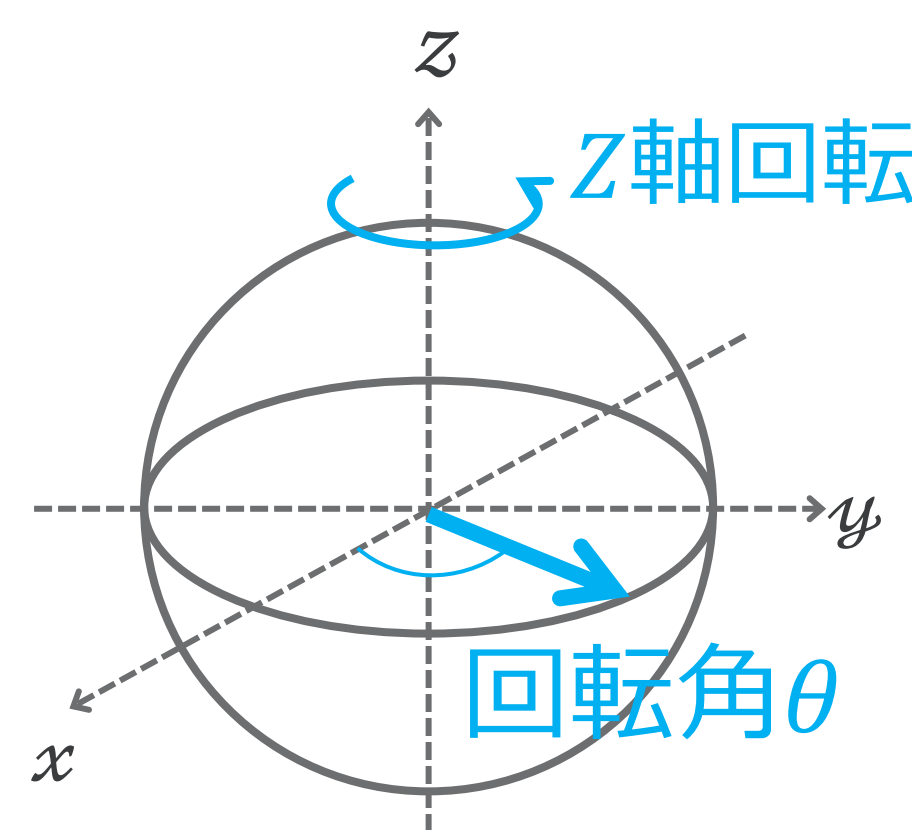
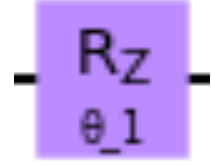
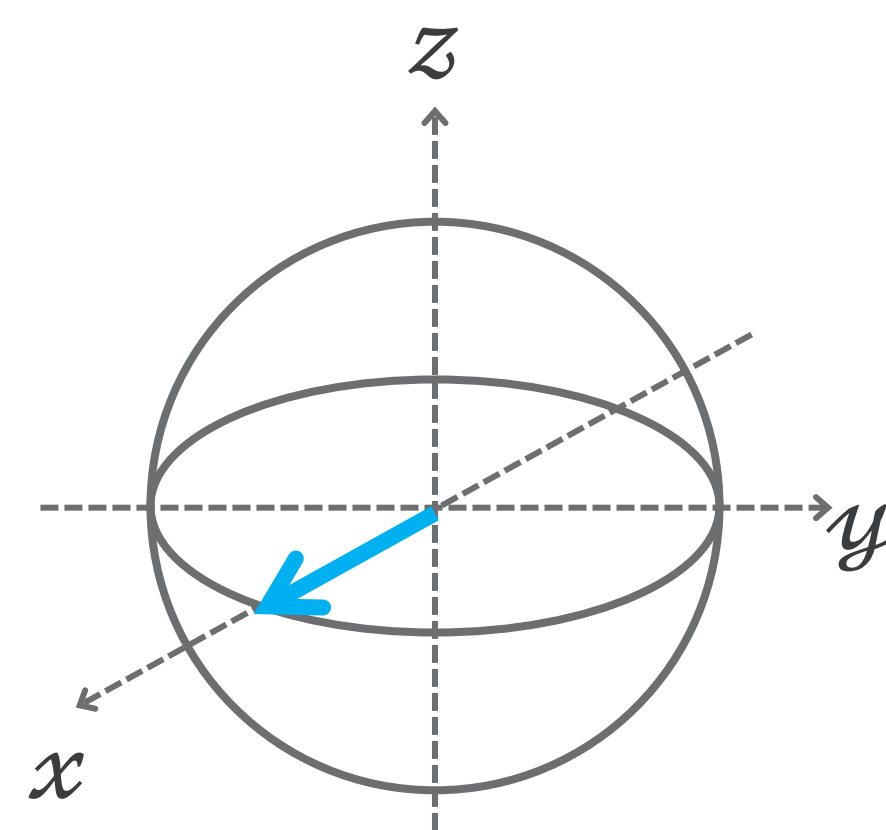
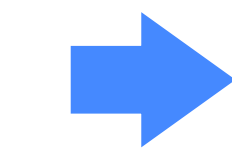
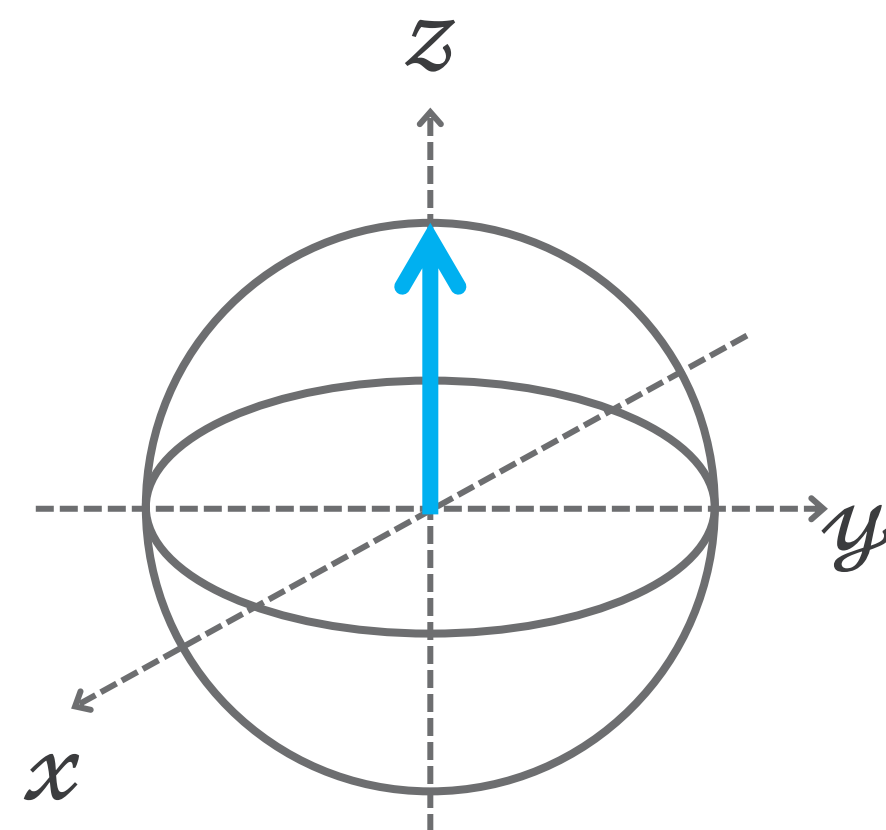
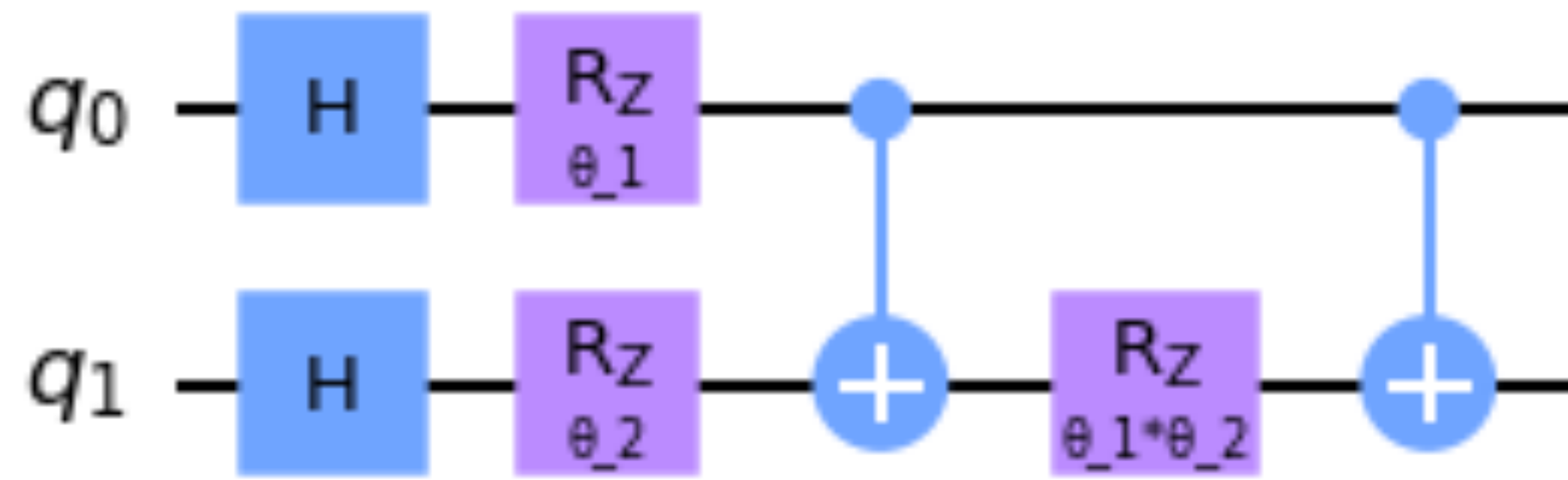
量子カーネルSVM

データを量子データにエンコード（符号化）する際に、
パラメーター（量子ゲートの回転角 θ ）を使った、**量子特徴量マップ**(Feature Map)
を使って、回転角 θ の部分にデータを入れます。

入力データ



量子特徴量マップ

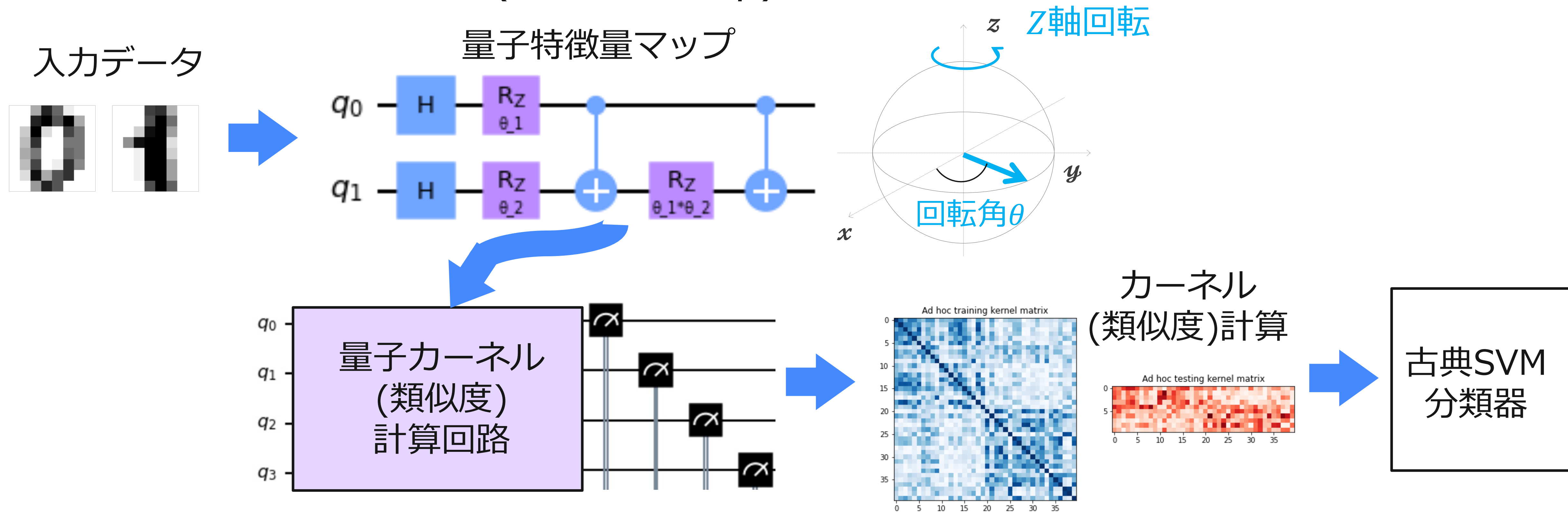


エンタングルメント



量子カーネルSVM

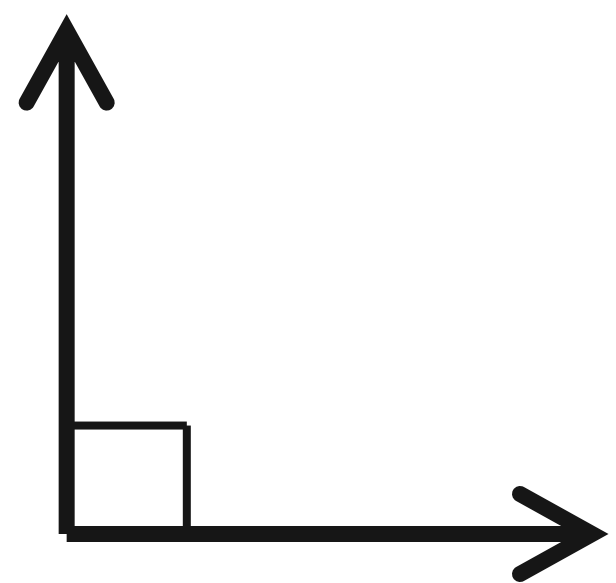
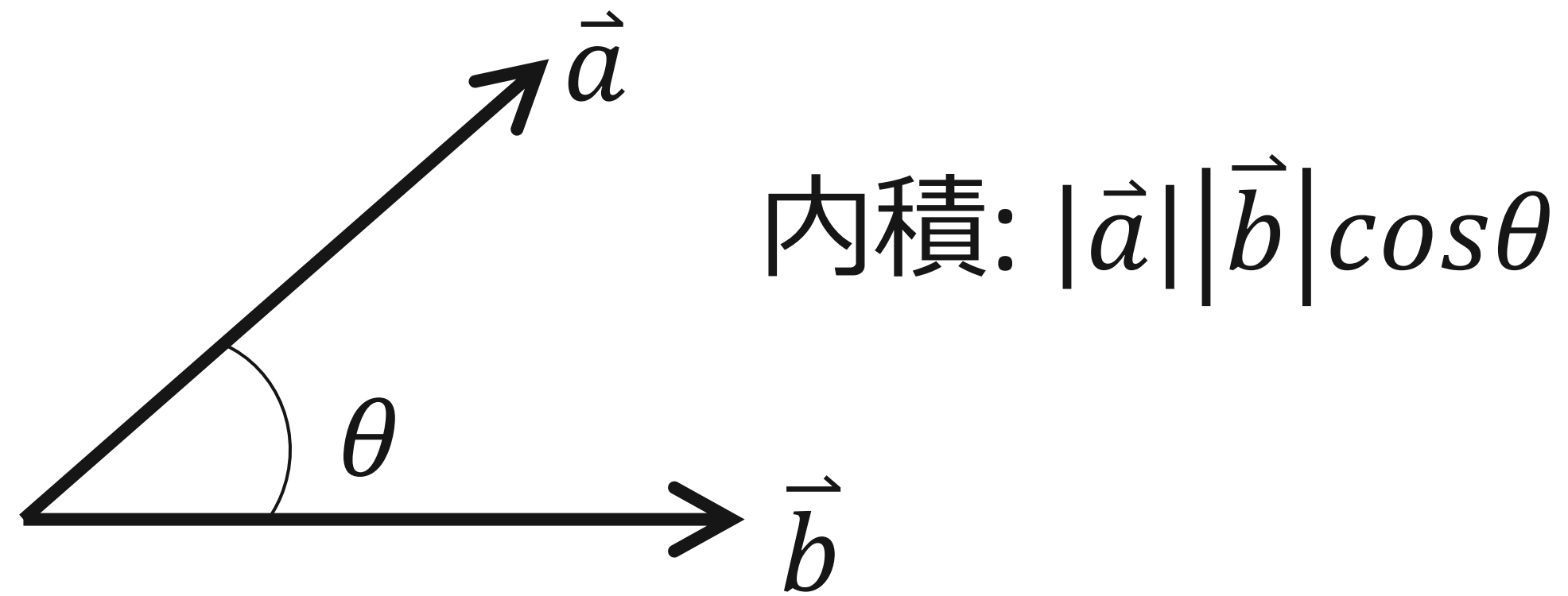
データを量子特徴量マップ(Feature Map)でエンコードした後、



量子回路で量子カーネル(類似度)の計算を行い、
量子カーネルを使って、古典SVM計算(線形な境界面で分ける2値分類)で学習・分類を行います。

(ベクトルを習っていたら・・・)

カーネル(類似度)計算は、ベクトルの内積の発展形

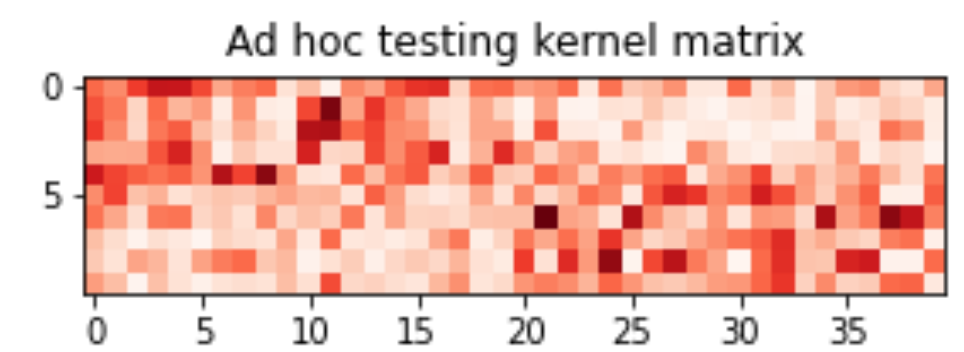
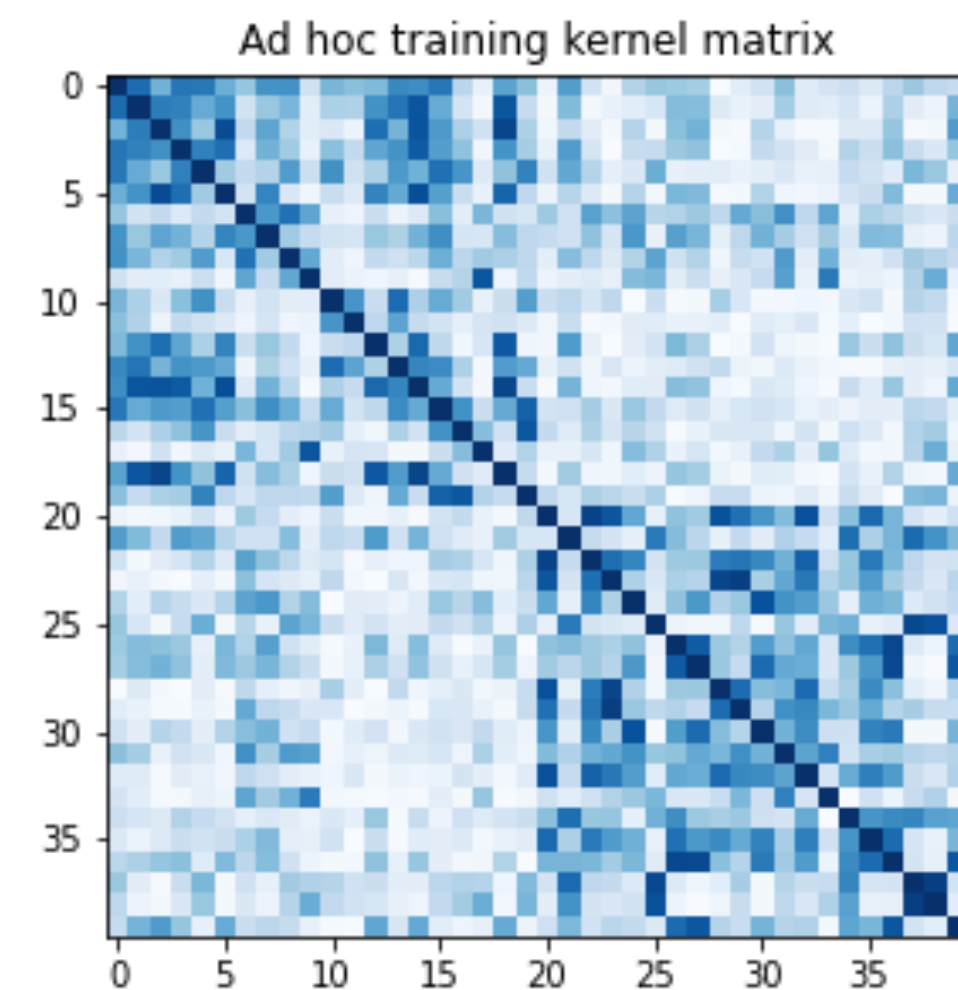
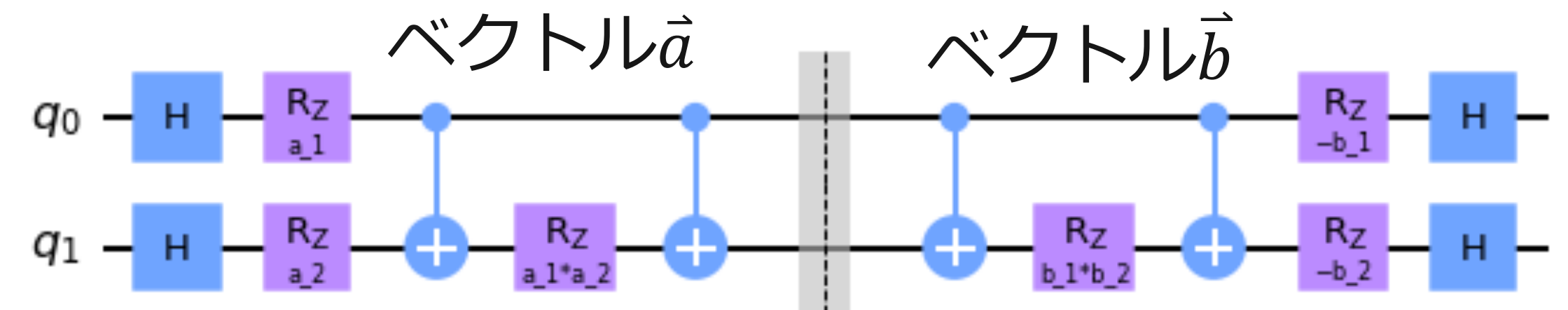


直行した
ベクトルの
内積は0



自分自身との
内積は1

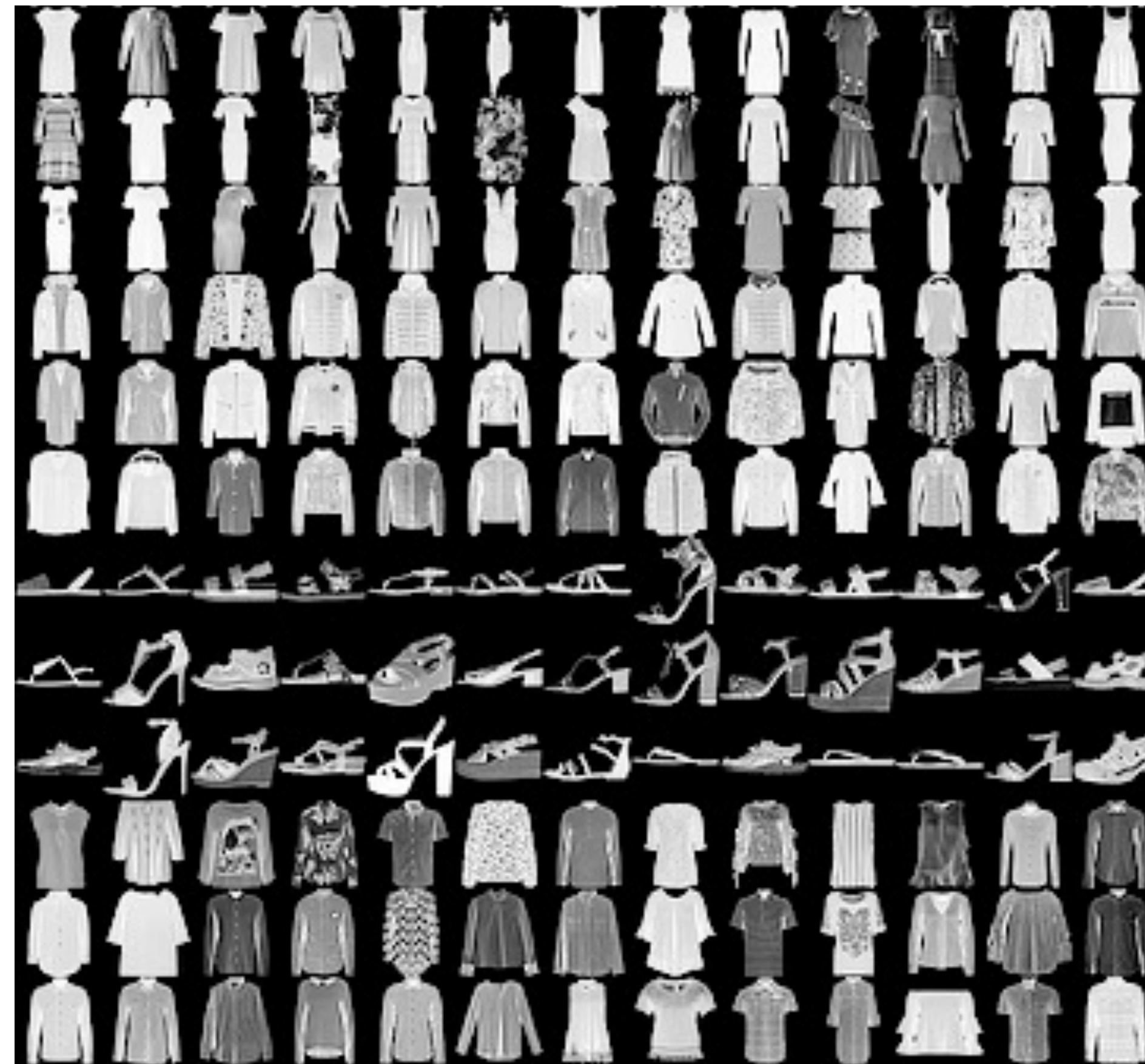
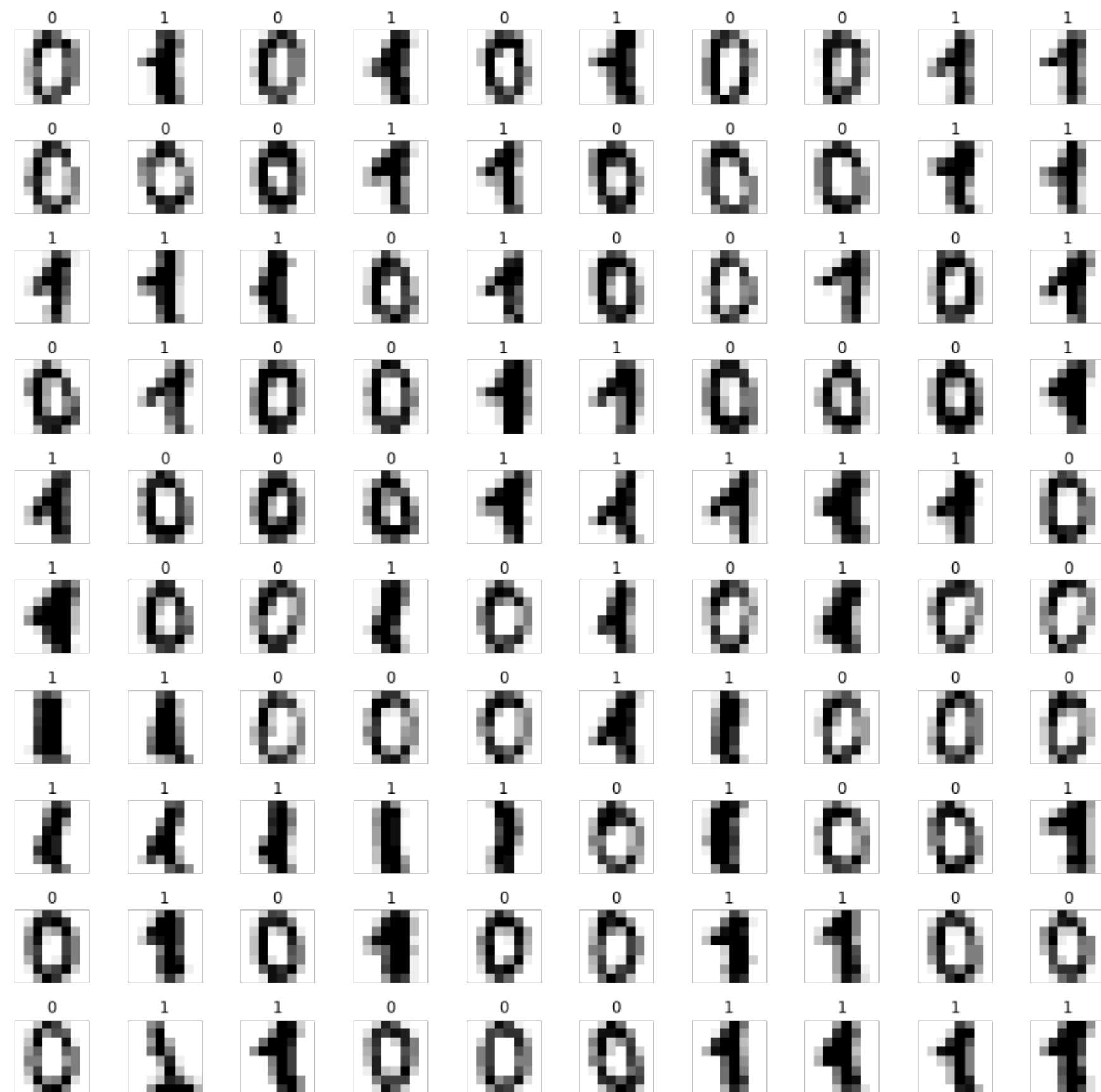
カーネル(類似度)行列



全く違う特徴：0(白)
同じ特徴：1(濃紺/赤)

演習

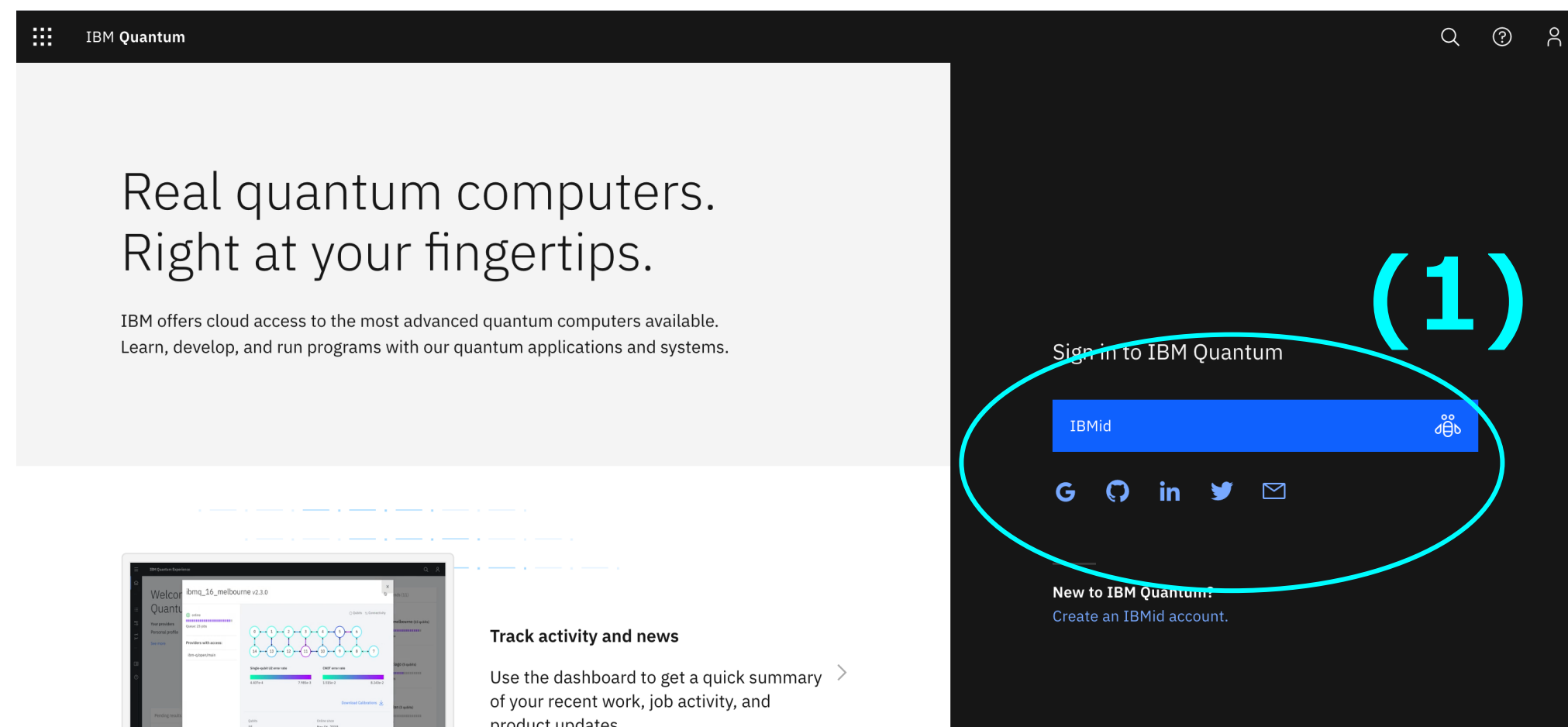
手書き文字(数字)データで量子カーネルを使った機械学習を学んだ後、洋服の画像について、学習分類を行ってみます。



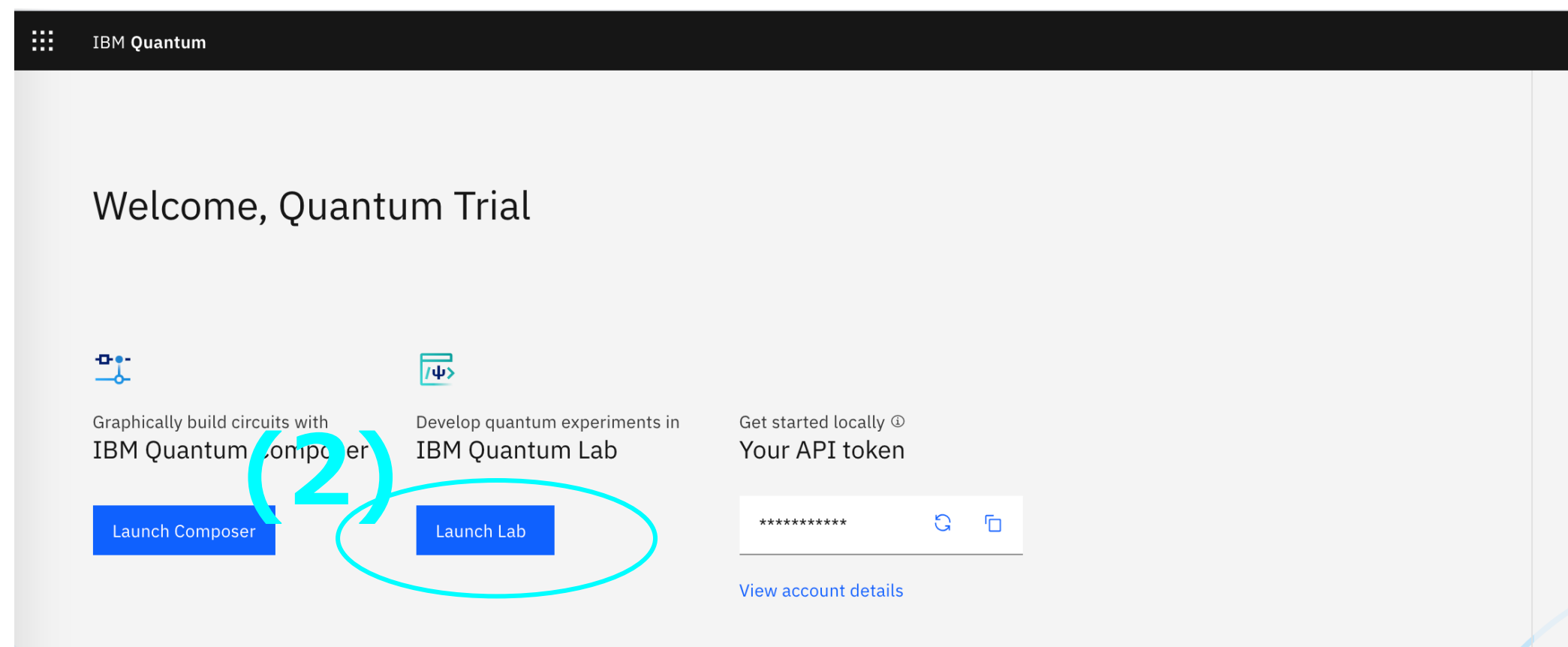
IBM Quantum Labでの実行

サインインの方法：『[IBM Quantum Composerの登録（くわしいバージョン）](#)』

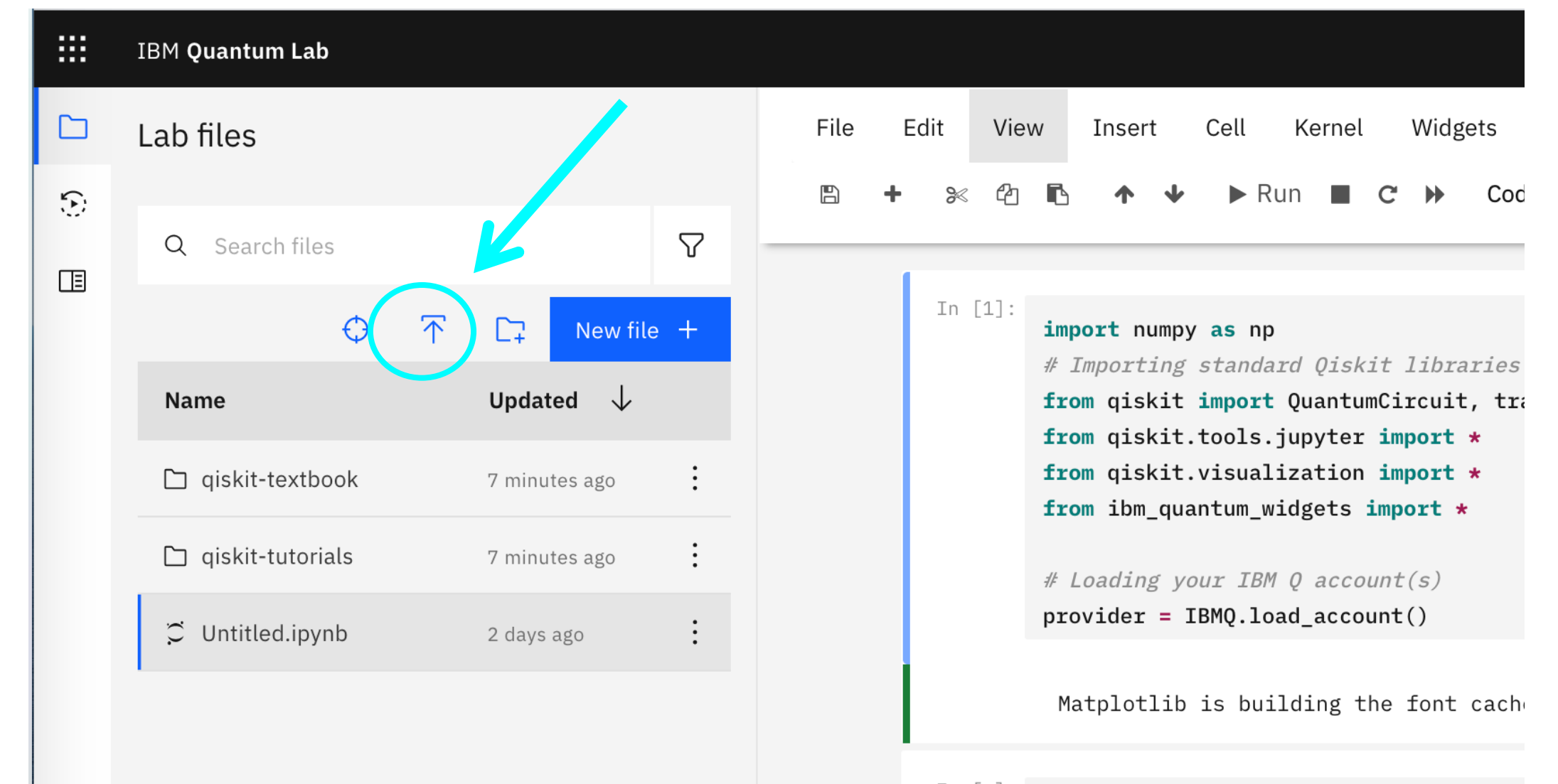
(1) IBM Quantumにログインします。
URL: <https://quantum-computing.ibm.com/>



(2) 青の右側「Launch Lab」をクリック。



(3) 左側 ↑ の「Upload file」から、ご自分のローカルに保存したハンズオンコンテンツ「20220608_qml.ipynb」を探して、アップロードします。



(4) ファイル名「20220608_qml.ipynb」をダブルクリックして開きます。



nature

THE INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

CLASSIFIED INFORMATION

Machine learning gets a boost from quantum computing **PAGE 179 & 209**

CELL BIOLOGY
THE SECRET LIFE OF THE CELL
Internal interactions that drive cellular processes
PAGE 162

BIOTECHNOLOGY
REWRITING THE GENOME
Time for a moratorium on human germline editing?
PAGE 145, 165 & 175

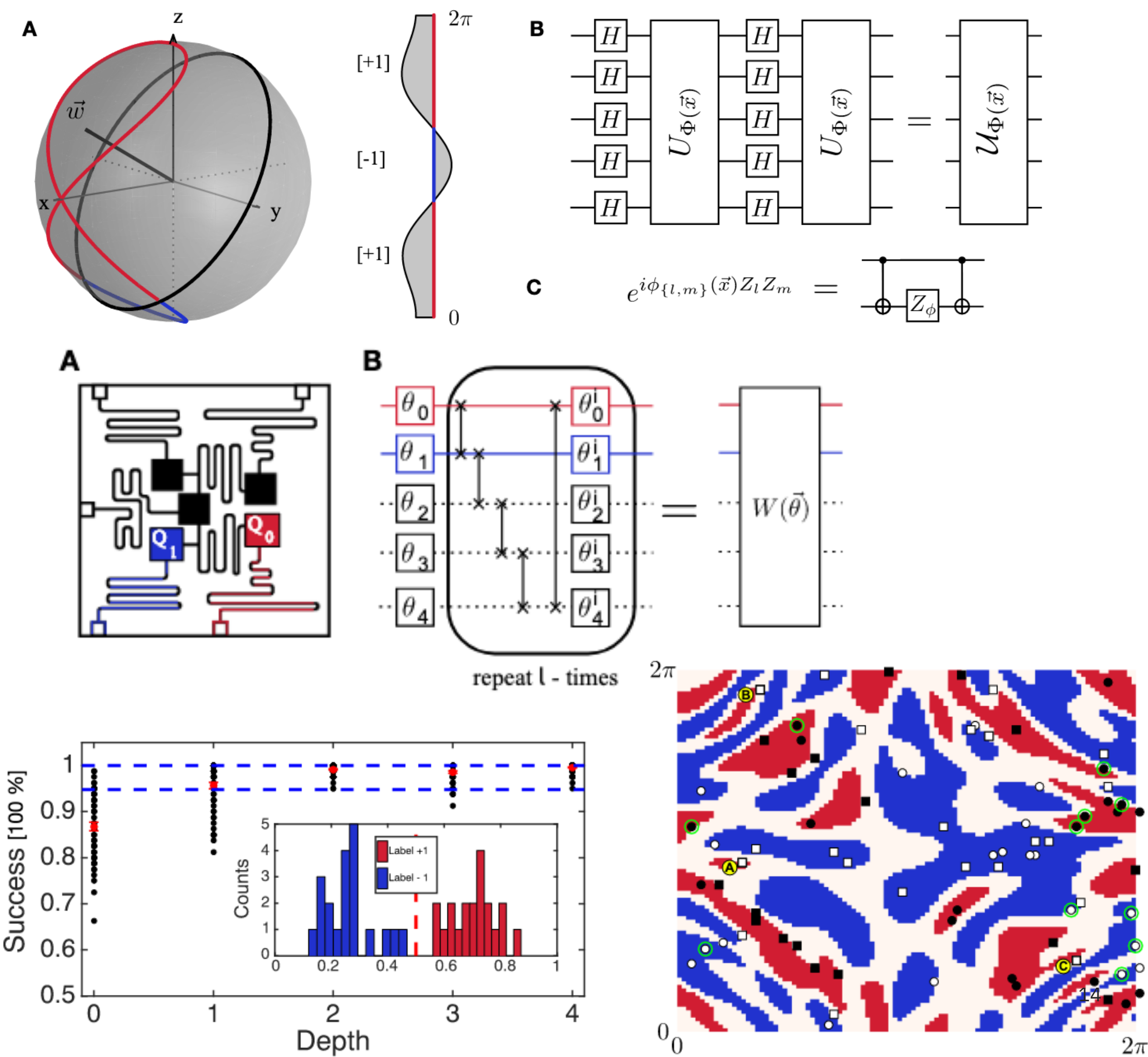
MEDICAL RESEARCH
MALARIA TRANSMISSION
A possible fix for insecticide resistance in mosquitoes
PAGE 185 & 239

NATURE.COM/NATURE
14 March 2019 £10
Vol. 567, No. 7747
9 770028 083095 28

Letter | Published: 13 March 2019

Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces

Vojtěch Havlíček, Antonio D. Córcoles, Kristan Temme, Aram W. Harrow, Abhinav Kandala, Jerry M. Chow & Jay M. Gambetta



量子カーネルSVMの参考文献

量子カーネルSVM：最も普及している量子カーネルアルゴリズム。

- Yunchao Liu, Srinivasan Arunachalam and Kristan Temme, *A rigorous and robust quantum speed-up in supervised machine learning* (2020), [arXiv:2010.02174](https://arxiv.org/abs/2010.02174).
量子カーネルSVMが特定の特定の入力データクラスに対して従来の方法よりも高速化することを証明。
- Hsin-Yuan Huang, Michael Broughton, Masoud Mohseni, Ryan Babbush, Sergio Boixo, Hartmut Neven and Jarrod R. McClean, *Power of data in quantum machine learning* (2020), [arXiv:2011.01938](https://arxiv.org/abs/2011.01938).
量子カーネルSVMを使用して、量子機械学習アルゴリズムのデータの計算能力を定量化し、量子モデルが従来のモデルを上回ることができる条件を提示。
- Lloyd, Seth, Maria Schuld, Aroosa Ijaz, Josh Izaac, and Nathan Killoran, *Quantum embeddings for machine learning* (2020), [arXiv preprint arXiv:2001.03622](https://arxiv.org/abs/2001.03622)
量子カーネルアラインメント(最適化できるパラメーターを持つ構造)を可能にする量子メトリック学習と呼ばれる手法を提示。