

2026 年 10 月 5 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

少ない観測データから人の流れを予測 —量子技術で案内板配置を支援—

【発表のポイント】

- 量子アニーリング^(注1)を使って、あり得る移動経路を多数生成し、30 分ごとの人数データから仮想的な人流^(注2)を予測する手法を開発しました。
- 東北大学工学部のオープンキャンパス会場を 10 区域に分け、量子アニーリングを模した計算で利用が集中しやすい通路を抽出し、案内板を 30 分ごとに置き直す実証を行いました。
- 個人を追跡せずに人流を把握できるため、大学行事や展示会などの案内改善への応用が期待されます。
- 量子アニーリング実機では約 95 %の時間断面で物理的な制約への違反が生じ、現場利用に向けた課題も明らかになりました。

【概要】

大学のオープンキャンパスや大型イベントでは、限られた人員で来場者の流れを把握し、案内板を適切に配置する必要があります。東北大学大学院情報科学研究科の大関真之教授、同研究科学生 of 安部央人さん、同大学経済学部の荒木達亘さん、および株式会社美装社の狩野嵩大代表取締役社長による共同研究グループは、30 分ごとの人数計測と量子アニーリング型の計算を組み合わせ、人流を予測して案内板の配置を支援する手法を開発しました。

東北大学工学部のオープンキャンパス会場を 10 区域に分けた実証では、利用が集中しやすい通路を抽出し、その結果に基づいて移動式案内板を 30 分ごとに置き直しました。さらに、量子アニーリング実機を用いる際の課題も明らかにしました。

本研究成果は、2026 年 8 月 23 日に科学誌 Scientific Reports に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

大学のオープンキャンパス、展示会、学会、地域イベントなど、多くの人が短時間に移動する会場では、来場者をどの方向へ案内するかが運営上の重要な課題です。案内板や誘導サインの配置は現場の経験に基づいて決められることが多く、時間帯による混雑状況や来場者の目的の変化に合わせて、柔軟に配置を変更することは容易ではありません。

人の流れを詳しく把握する方法として、カメラ、ビーコン、スマートフォンの位置情報などを利用する技術があります。しかし、設備の導入・運用コストに加え、個人情報やプライバシーへの配慮が必要です。一方、スタッフが一定時間ごとに区域内の人数を数える方法であれば、個人を特定する情報を収集せず、比較的低コストで会場全体の混雑傾向を把握できます。ただし、区域ごとの人数だけでは、一人ひとりがどの経路を通ったのかを直接知ることはできません。

そこで本研究グループは、量子アニーリングを使って、観測結果と整合する複数の移動経路を生成し、それらを集計して会場内の人流を予測する手法を考案しました。現実の会場に対応する仮想的な人流を計算機上に再構成するこの考え方を、本研究では「量子ツイン」と位置付けています。

今回の取り組み

本研究グループは、東北大学工学部のオープンキャンパス会場を10区域と会場外に分け、通路のつながりを数理モデルで表しました（図1）。仮想的な歩行者が各時刻にどの区域にいるかを0または1で表し、同じ時刻に複数の区域に存在するなど、物理的にあり得ない状態を避ける仕組みを組み込みました。

この問題をQUBO^(注3)と呼ばれる形式で表現しました。本研究では、量子アニーリングを一つの最適解だけを求めるために使うのではなく、条件を満たす複数の移動経路を取り出すサンプリング^(注4)の手段として用いました。歩行距離や各区域の人数から推定した移動傾向をモデルに組み込み、多数の経路を集計することで、区域間の人の流れを予測します。

実証では、スタッフが各30分区間の最初の10分間、各区域の境界を通過する来場者数を手動のカウンターで記録しました。分析には区域ごとの人数割合を用いており、個人の追跡や、個人を識別できる情報の収集は行っていません。観測結果では、区域9の人数が最も多く、続いて区域5、区域10、区域1の人数が多くなりました（図2）。

本研究グループは、この人数データと会場の通路構造をもとに、区域間の移動傾向を30分ごとに更新しました。量子アニーリングを古典コンピュータ上で模す疑似量子アニーリング^(注5)を使って、各更新時に3万本の移動経路候補を生成しました。これらの移動経路を集計することで、区域ごとの混雑の変化や、

利用されやすい通路を推定しました。

疑似量子アニーリングを用いた計算では、物理的な制約を満たしながら、観測された混雑傾向におおむね対応する人流を再構成できました。全区域・全時間帯における観測値と計算値のずれを示す RMSE^(注6) は 0.0777 でした。また、区域 1 と 3、区域 6 と 7、区域 8 と 9 を結ぶ経路が利用度の高い主要通路として抽出されました（図 3）。

実証会場では、予測された通路利用度を順位付けし、案内板の数や現場での設置可能性を考慮して配置場所を決定しました。さらに、30 分ごとに最新の人数データを取り込み、再計算した結果に基づいて移動式の案内板を置き直しました。これにより、本手法を実際のイベント運営に接続できることを示しました。

一方、同じ QUBO モデルを D-Wave Quantum 社の量子アニーリング実機で計算したところ、一人の歩行者が同じ時刻に複数の区域に存在するなどの制約違反が、評価した時間断面の約 95 % で発生しました（図 4）。違反を事後的に修正すると、RMSE は疑似量子アニーリングに近い値になりましたが、通路ごとの流れは断片化し、空間的な整合性が失われました。この結果は、人数割合の誤差だけでは、人流予測の妥当性を十分に評価できないことも示しています。

同じ QUBO モデルを古典的な計算手法である交換モンテカルロ法で処理した場合、制約違反率は 1 % 未満でした。この比較から、今回確認された制約違反はモデル自体ではなく、大小の異なる係数を同時に表現する量子ハードウェアの有効な数値範囲に主な原因があると考えられます。実機を利用するには、制約に対する罰則だけを強くするのではなく、装置特性に合わせてモデル全体の係数設計を再調整する必要があります。

今後の展開

本手法は、個人を追跡せず、区域ごとの集計人数だけから人の流れを推定できるため、プライバシーに配慮した会場運営と相性のよい技術です。今後、今回と同程度の低密度から中程度の混雑環境を対象として、大学行事、展示会、商業施設、観光施設などへの応用が期待されます。

学術的には、量子アニーリングを最適解の探索だけでなく、人の行動の不確実性を表す複数の経路候補を生成する手段として用いた点に意義があります。一つの最適経路に限定せず、複数の可能な移動パターンを生成して集計することで、観測できない個々の移動経路を確率的に推定する方法を示しました。

今後は、より複雑な通路構造を持つ会場、複数日にわたるイベント、より混雑度の高い環境で検証を進めます。また、量子アニーリング実機で制約違反を抑えるため、装置の有効な数値範囲を考慮した係数設計や誤差低減手法を検討し、量子ツインによる人流予測の実用化を目指します。

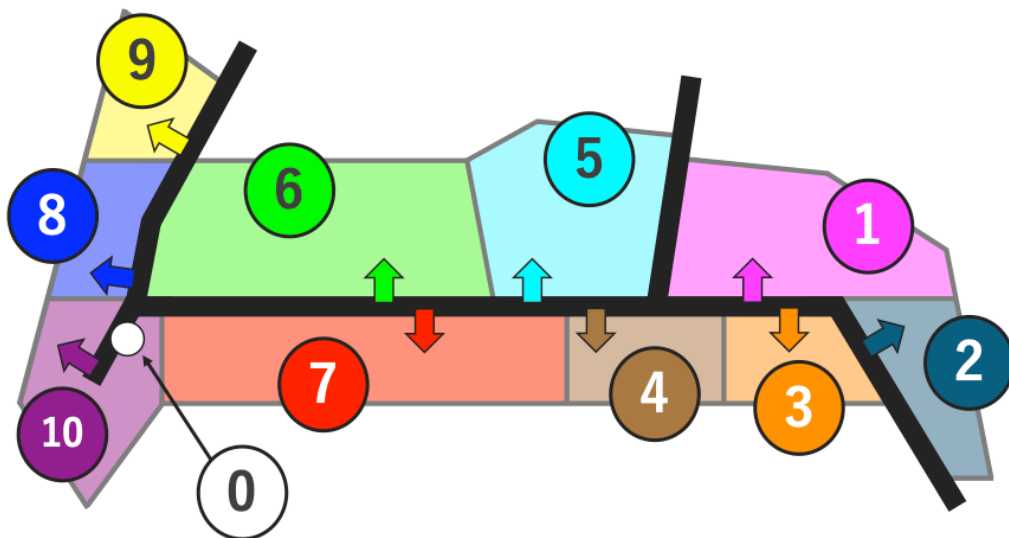


図 1. 実証会場と数理モデルで用いた区域分割。東北大学工学部のオープンキャンパス会場を 10 区域と会場外に分け、各区域の境界を通過する人数を観測しました。

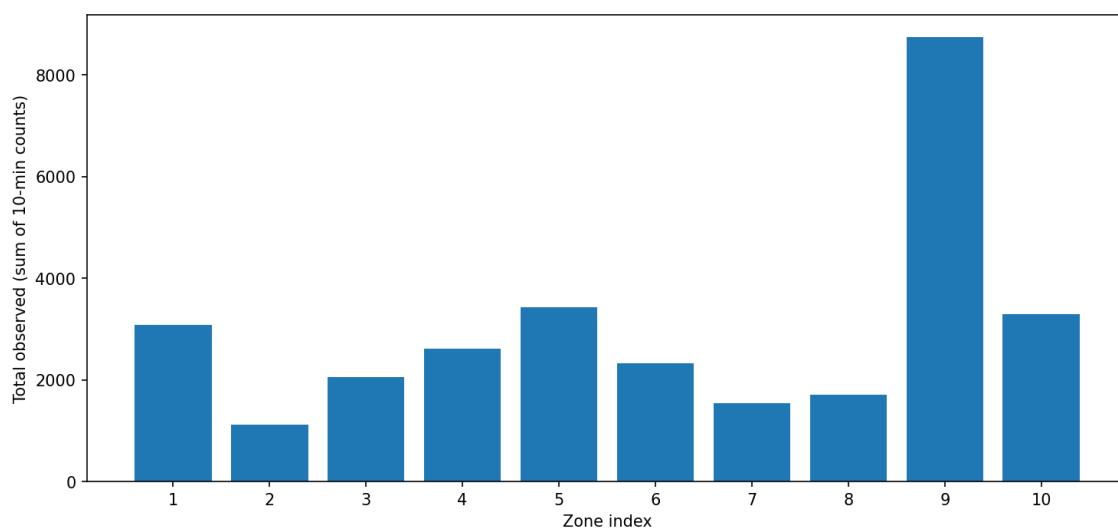


図 2. 観測された区域ごとの累積人数。30 分ごとの観測データを集計した結果、区域 9 の人数が最も多く、続いて区域 5、区域 10、区域 1 の人数が多くなりました。提案手法では、このような会場内の偏った混雑傾向の再現を目指しました。

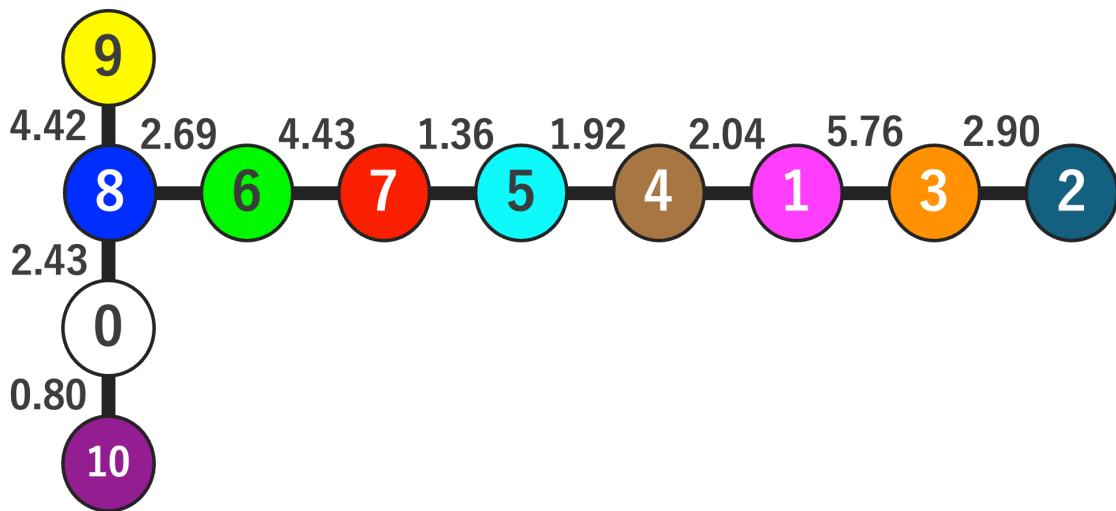


図 3. 疑似量子アニーリングによって推定された通路利用度。生成した移動経路を集計した結果、区域 1 と 3、区域 6 と 7、区域 8 と 9 を結ぶ通路が、主要な人流経路として抽出されました。

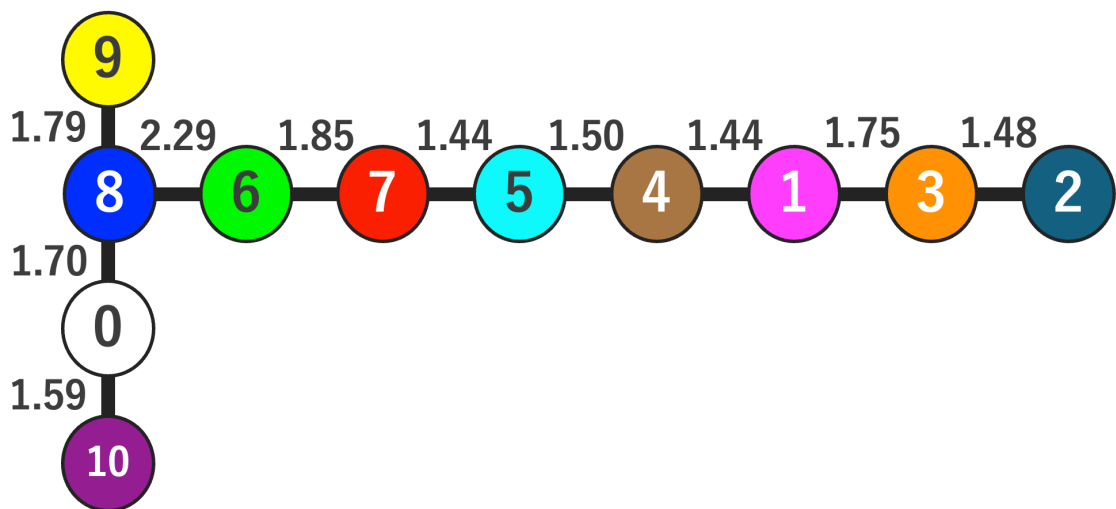


図 4. 量子アニーリング実機で得られたサンプルの課題。同じモデルを実機で計算した場合、物理的な制約に反する状態が高い割合で発生しました。量子ハードウェアを制約の厳しい人流予測に利用するには、装置特性に合わせたモデル調整が必要です。

【謝辞】

本研究は、内閣府「研究開発と Society 5.0 との橋渡しプログラム

(BRIDGE)」および内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)」の支援を受けて実施されました。

【用語説明】

- 注1. 量子アニーリング：量子力学の性質を利用し、多数の候補の中から望ましい答えを探す計算技術です。組合せ最適化の手法として知られていますが、本研究では、あり得る移動経路を多数生成する用途に着目しました。
- 注2. 人流：人がどこからどこへ、どの程度移動しているかを表す流れです。人流を把握することで、駅、商業施設、大学キャンパス、イベント会場などの混雑緩和や案内の改善につながられます。
- 注3. QUBO：Quadratic Unconstrained Binary Optimization の略で、日本語では「二次制約なし二値最適化」と呼ばれます。0 または 1 の値を取る変数を用いて、望ましい組み合わせを探す数理モデルです。
- 注4. サンプルング：一つの答えだけを求めるのではなく、条件に応じた複数の候補を取り出すことです。本研究では、多数の移動経路を生成して集計することで人流を予測しました。
- 注5. 疑似量子アニーリング：量子アニーリングの振る舞いを古典コンピュータ上で模擬する計算手法です。実機を使用する前に、数理モデルの妥当性や得られる結果の傾向を検証できます。
- 注6. RMSE：Root Mean Square Error の略で、予測値と観測値のずれを表す指標です。値が小さいほど予測が観測に近いことを意味しますが、人流予測では、移動経路が空間的に自然かどうかをも併せて評価する必要があります。

【論文情報】

タイトル：Prediction-based Sign Placement Using QA Sampling
著者：Hiroto Abe、Tatsuhiro Araki、Takahiro Karino、Masayuki Ohzeki*
*責任著者：東北大学大学院情報科学研究科 教授 大関 真之
掲載誌：Scientific Reports
DOI：10.1038/s41598-026-68107-3
URL：
<https://doi.org/10.1038/s41598-026-68107-3>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学大学院情報科学研究科
教授 大関 真之
TEL: 022-795-5899
Email: mohzeki@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学大学院情報科学研究科
広報室 小野寺祐美子
TEL: 022-795-4529
Email: koho_is@grp.tohoku.ac.jp