

## 鑑定人立会ルート最適化問題に対する量子アニーリング

非会員 コグニビジョン株式会社 \*森直哉 MORI Naoya  
非会員 コグニビジョン株式会社 増野祐一郎 MASHINO Yuichiro†  
非会員 コグニビジョン株式会社 古川悟 FURUKAWA Satoshi

### 1. はじめに

災害時において損害保険会社は現地立会によって保険金算定のための見積を実施することが基本的であり、現地に設置された各オフィスから1日数百人の鑑定人を被災した建物へ派遣する。その際、どの鑑定人をどの建物にどの順序で立会させるか決定しなければならず、効率的な立会を実施するためにそのルートを最適化する必要がある。本研究で我々はこの立会ルートの計算を**鑑定人立会ルート最適化問題** (Adjuster Routing Problem; ARP) として定式化し、量子アニーリングによって求解する手法を提案する。

ARP は配送計画問題を拡張した問題と見なすことができ、実際鑑定人と建物とのマッチングや、立会の希望時間を満たすといった追加に必要な制約が存在する。我々はこれらの制約を QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) 形式で定式化し、量子アニーリングによる求解を可能とした。上述の通り、ARP ではどの鑑定人がどの建物をどの順序で立会するか決定する。この際3つのパラメータが必要となり、ハードウェア上の制約から扱える問題サイズに制限のある量子アニーリングの適用が難しくなる。そこで Feldら [?] によって提案された Q2Q のアプローチに従い、鑑定人が立会する建物を決定するクラスタリングフェーズと、(1人の) 鑑定人が立会する建物の順序を決定するルーティングフェーズに問題を分割し、それぞれを QUBO によって定式化した。さらに量子アニーリングマシン D-Wave を用いて数値実験を行い、我々の定式化の正しさを確認した。

### 2. 鑑定人立会ルート最適化問題

本稿で我々の扱う ARP について必要な制約を説明する。通常の配送計画問題と同じく、各鑑定人はあるオフィスから出発し元のオフィスに戻る。また、各建物には必ず1度1人の鑑定人が立会を実施する。本問題ではさらに追加で考慮すべき制約が存在する。まず、各建物の種類に応じて立会可能な鑑定人が限られることである。建物は使用される建材に対応して3段階の立会難易度(易・中・難)を持つ。鑑定人も3段階のスペック(低・中・高)を持ち、スペックによって立会できる建物が決まる。具体的には、スペックが“高”ならどの難易度の建物も立会ができ、“中”なら難易度が“中”以下、“低”なら難易度が“易”の建物しか立会できない。立会にあたってはこの鑑定人と建物のマッチングを考慮する。また、各建物が予め提出する希望時間に立会を開始できる必要がある。この希望時間は午前・午後1・午後2のように時間帯で指定し、

鑑定人はこの時間帯に立会を開始する。また、1人が立会う建物の数が多ければ時間内に終了しないため、立会できる建物の数に上限を設ける。

以上をまとめると、ARP では以下の制約が必要となる:

1. 鑑定人はあるオフィスから出発し、立会終了時に同じオフィスに戻る。
2. 各建物には必ず1度1人のみの鑑定人が立会する。
3. 各建物が提出する立会希望時間を満足する。
4. 鑑定人のスペックと建物の種類をマッチングさせる。
5. 1人の鑑定人が立会できる建物の数は設定された上限を超えない。

以上の制約を満たしたルートのうち、総立会時間 (= 移動時間 + 各建物での立会所要時間) を最小化するものを探索するものが ARP である。§1 で述べた通り、我々はこの最適化問題をクラスタリングフェーズ・ルーティングフェーズに分割する。制約 4, 5 はクラスタリング、制約 1, 2, 3 はルーティングでそれぞれ考慮する。また、クラスタリングにおいて建物の希望時間帯の重複が多かったり立会時間が長いものが1つのクラスターに集中したりすると、ルーティングで制約を満たすことができない。そこで我々はさらにそれらが分散するような(多様性を担保する)制約をクラスタリングに導入する。

### 3. 定式化

クラスタリング・ルーティングの各フェーズを QUBO によって定式化し、量子アニーリングによる求解を可能にする。**クラスタリング**

クラスタリングのハミルトニアンを  $H_{\text{clustering}}$  と書くと、以下の様に定式化できる。

$$H_{\text{clustering}} = H_{\text{vanilla}} + H_{\text{div}} + H_{\text{matching}} + H_{\text{num}} \quad (1)$$

ここで  $H_{\text{vanilla}}$  は通常のクラスタリングの QUBO, すなわち

$$H_{\text{vanilla}}(\mathbf{x}) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{(uv) \in E} D_{uv} x_u^k x_v^k + \sum_{n=0}^{N-1} \left( \sum_{k=0}^{K-1} x_n^k - 1 \right)^2.$$

また、 $H_{\text{div}}$  は立会希望時間及び立会所要時間の多様性を担保する項で

$$H_{\text{div}}(\mathbf{x}) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{T \in \{\text{AM}, \text{PM1}, \text{PM2}\}} \left( \sum_{n \in T} e_n x_n^k \right)^2,$$

† 執筆時 (2021/12) コグニビジョン株式会社所属

$H_{\text{matching}}$  は鑑定人のスペックと建物の難易度をマッチングさせる項で<sup>1</sup>

$$H_{\text{matching}}(\mathbf{x}) = \sum_{n \in \text{Hard}} \left( \sum_{k \in \text{High}} x_n^k - 1 \right)^2 + \sum_{n \in \text{Normal}} \left( \sum_{k \in \text{High} \cup \text{Middle}} x_n^k - 1 \right)^2,$$

$H_{\text{num}}$  は 1 人の鑑定人が立会できる建物の数に関する制約項で

$$H_{\text{num}}(\mathbf{x}) = \sum_{n=0}^{K-1} \left( \sum_{n=0}^{N-1} x_n^k - M \right)^2,$$

とそれぞれ書ける．ここで  $x_n^k \in \{0, 1\}$  は鑑定人  $k$  が建物  $n$  を立会する場合 1 となる意思決定変数， $D_{uv}$  は建物  $u, v$  間の距離， $e_n$  は建物  $n$  における立会所要時間をそれぞれ表す．

### ルーティング

ルーティングのハミルトニアンを以下に記載する．

$$H_{\text{route}}(\mathbf{x}) = H_{\text{TS-TSP}}(\mathbf{x}) + \lambda \left( \sum_{\substack{1 \leq a \leq N \\ 1 < \tau \leq e_{a, \text{depot}} - 1}} x_{\tau, a} + \sum_{\substack{1 \leq a \leq N \\ T - e_{\text{depot}, a} \leq \tau \leq T}} x_{\tau, a} \right) + \lambda \sum_{T_m \in \text{TG}} \sum_{a \in N_m} \left( \sum_{\tau \in T_m} x_{\tau, a} - 1 \right)^2 \quad (2)$$

ここで  $H_{\text{TS-TSP}}(\mathbf{x})$  は Irie ら [?] によって提案された TS-VRP のハミルトニアンで第 2, 3 項はそれぞれ制約 1, 3 のハミルトニアンを表す．また  $e_{a,b}$  は立会所要時間を含む建物  $b$  から  $a$  への移動時間， $\text{TG} = \{\text{AM}, \text{PM1}, \text{PM2}\}$  は希望時間帯の集合， $N_m$  は時間帯  $T_m$  を希望時間に持つ建物の集合をそれぞれ表す．変数  $\tau$  は時間に関するパラメータであり，詳細は [?] を参照のこと．

## 4. 実験結果

ここで定式化した ARP を量子アニーリングマシン D-Wave を用いて数値実験を行った結果を示す．古典アルゴリズムとして simulated annealing ベースの Neal ソルバを，量子アルゴリズムとして (古典・量子ハイブリッドの) Hybrid Solver System (HSS) を用いた．

### 設定

数値実験における設定値を述べる．立会する建物については (グラフ構造を持つ) 地図上のノードとし，出発するオフィスを熊本県川尻駅とした．建物の数は 100，鑑定人の数は 20 人とし，立会難易度の割合を hard : middle : easy = 6 : 16 : 78，スペックの割合を high : normal : low = 2 : 3 : 15 とした．さらに鑑定人の実働時間を 9:00~17:00，平均移動速度を 40km/h とする．各建物に対し希望時間帯の割合を AM : PM1 : PM2 = 40 : 30 : 30，立会所要時間の割合を

0.5h : 1.0h : 1.5h = 75 : 23 : 2 とそれぞれ設定した．また，地図上の点を 1000 点サンプリングし，クラスタリングすることによって 100 点から成るクラスタを 10 個作成し，上設定を持つ 10 インスタンスで実験を行った．この設定で， $H_{\text{clustering}}$  において  $K = 20, N = 100, M = 5$ ，また  $H_{\text{route}}$  において  $N = 5, T = 32$  となる．

### 結果

可視化の結果，break のない解について制約 1~5 を満たした立会ルートを実現できていることが確認できたため，我々の定式化の正しさが示された．クラスタリング・ルーティングをそれぞれ Neal・HSS で解いた場合の処理時間の結果を以下に示す．

項目	サイズ	処理時間 [min]	
		Neal	HSS
クラスタリング	20 × 100	0.6±0.1	<b>0.4±0.0</b>
ルーティング	5 × 32	<b>3.1±0.0</b>	5.8±1.0

表 1 各フェーズにおける処理時間：SA では数値実験を通して 5 回実施して時間計測を行った．10 インスタンスを 5 回計測し，平均および分散を求めた．またルーティングでは 20 個のインスタンス (1 クラスタ分のルーティングに相当) を直列で解いたときの総時間を記載している．

クラスタリングにおいては，HSS 解の方がエネルギーが小さい傾向にあったため，処理速度・解の品質共に HSS に優位性があった．ルーティングでは 10 インスタンス 200 クラスタのうち 2 ケースで (Neal・HSS 共に) 制約条件が break した．break した解をどのように後処理するかは今後の課題となる．

## 5. まとめ

本研究で我々は損害保険会社の災害見積における鑑定人のルーティング計算を最適化問題として定式化し，量子アニーリングを用いて数値実験を行った．本研究は量子アニーリングの実社会問題への応用に新たな一例を与えるものであり，災害時の立会作業の効率化に寄与するものと考えられる．

また § 4 で述べた設定以外にも複数のケースで実験を行っており，こちらは当日の発表で紹介する．

### 参考文献

- [FRG<sup>+</sup>19] S. Feld, C. Roch, T. Gabor, C. Seidel, F. Neukart, I. Galter, W. Mauerer, and C. Linnhoff-Popien, *A hybrid solution method for the capacitated vehicle routing problem using a quantum annealer*, Front. ICT **6** (2019), no. 13.
- [IWT<sup>+</sup>19] H. Irie, G. Wongpaisarnsin, M. Terabe, A. Miki, and S. Taguchi, *Quantum annealing of vehicle routing problem with time, state and capacity*, Quantum Technology and Optimization Problems. QTOP 2019. Lecture Notes in Computer Science **11413** (2019).

<sup>1</sup> Easy の場合は全ての鑑定人が立会できるため制約は存在しない．