

災害時の配送計画に関する疑似量子コンピュータの有効性

05001559 株式会社日立製作所
株式会社日立製作所
海上・港湾・航空技術研究所
海上・港湾・航空技術研究所
株式会社日立製作所

*高橋 佳歩 TAKAHASHI Kaho
正木 晶子 MASAKI-KATO Akiko
荒谷 太郎 ARATANI Taro
間島 隆博 MAJIMA Takahiro
小埜 和夫 ONO Kazuo

1. はじめに

災害時の支援物資輸送では、被災による物資拠点の不足や、地方自治体の物流ノウハウの欠如によりラストワンマイルの輸送に課題が存在する。そのため、災害時において、限られた輸送モード・インフラが連携して各避難所に迅速かつ平等に支援物資を輸送する手法を確立する必要がある。本報告では、日立製作所が開発する疑似量子計算機技術「CMOS アニーリング」[1]を用いて緊急支援物資の配送計画問題を解く手法を考案し、東京都と神奈川県各避難所の緊急支援物資配送計画への適用検討を実施した。

2. 問題設定

本研究の輸送計画では、各供給拠点と避難所間の輸送網はあらかじめ上位システムで算出されているものを使用する。図1に輸送網の模式図を示す。東京都内の2か所{ST0, ST1}の供給拠点到被災地外から輸送された支援物資が備蓄されているものとし、どちらかの供給拠点を出発地として、東京都及び神奈川県各箇所の避難所{ST2, ST3, ..., ST83}に支援物資を配送する計画を立案する。各避難所は、その所在地から決定される1つの基礎自治体に属するものとする。

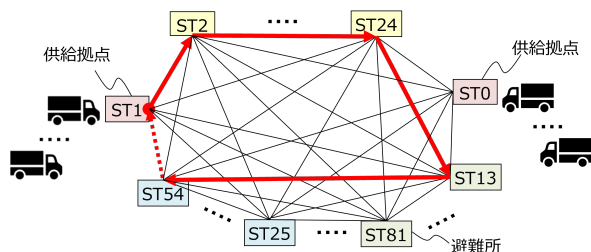


図1: 供給拠点と避難所間の輸送網

3. 評価値

本件で最適化の対象となる評価値は、「輸送距離」と、「避難所の平等性」とする。「輸送距離」は、各輸送機材が供給拠点から出発し、最後の避難所で荷降ろしを終了するまでの輸送距離を対象とし、全輸送機材の総和とする。「避難所の平等性」とは、各基礎自治体間の充足率を揃えることを意味する。各基礎自治体の充足率 Y^c は、要請量 W_{demand}^c に対する供給済み量 W_{supplied}^c と供給量 W^c の和で定義し、本研究では、以下の充足率の標準偏差 σ を用いる。

$$\sigma := \sqrt{\frac{1}{N_{\text{city}}} \sum_c \left(Y^c - \frac{\sum_c Y^c}{N_{\text{city}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$Y^c := \frac{W_{\text{supplied}}^c + W^c}{W_{\text{demand}}^c},$$

$$W^c := \sum_j W_j^c x_j,$$

$$x_j \in \{0, 1\}.$$

ここで、 x_j は決定変数、 N_{city} は基礎自治体の総数、また、 W_j^c は経路 j での基礎自治体 c に対する供給量である。

4. 手法

本研究で用いた手法の大枠は次のようになる。
Step1) 制約を考慮して経路候補を生成する
Step2) 生成された経路候補の中から、最適な経路の組合せを選択する

4.1. 経路候補生成

経路候補生成では CMOS アニーリングで計算する数理モデルの係数を算出する。CMOS アニーリングに限らず、アニーリング型計算機が苦手とする制約条件や、そもそも数式で表現できない制約条件等を効率的に取り込むために有効な手法である [2]。本研究では、輸送網上で、輸送機材 1 台当

たりの経路のパターンを探索し、その輸送機材の経路候補として列挙した。

4.2. 数理モデル

前節で生成した経路候補から最適な経路の組合せを求める問題は以下のように定式化できる。

$$\min \sum_c \left(Y^c - \frac{\sum_c Y^c}{N_{\text{city}}} \right)^2 \quad (2)$$

$$+ \alpha_1 \sum_c (W_{\text{demand}}^c - W_{\text{supplied}}^c - W^c) \quad (3)$$

$$+ \alpha_2 \sum_j D_j x_j, \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_j P_{kj} x_j = N_{\text{truck}}^k, \quad (5)$$

$$\sum_j A_{ij} x_j \leq 1. \quad (6)$$

ここで、 α_1 、 α_2 は目的関数間の重み係数である。また、 D_j は j 番目の経路候補の総移動距離、 P_{kj} は経路候補 j が供給拠点 k を出発地点として含むか否かを 0/1 で与える定数行列、 A_{ij} は経路候補 j が避難所 i を訪問先として含むか否かを 0/1 で与える定数行列である。決定変数 x_j は j 番目の経路候補を選択するか否かを表す。本研究の主たる目的関数は、式 (2) の基礎自治体間の物資不足量の分散最小化であり、これに加え、各基礎自治体の物資不足量とすべての輸送機材の総走行距離を、それぞれ式 (3)、(4) で最小化する。式 (5) は供給拠点 k から出発可能な輸送機材数 N_{truck}^k の制約条件、式 (6) は各避難所 i ごとの訪問回数の制約条件である。式 (5) の条件が成立するときに実行可能解とする。

5. 実験結果

本研究では、10 台の 2 トントラックで支援物資を輸送するとし、各トラックが 2、3、4 箇所の避難所に訪問した後、初期位置に戻らないものとした。要請量到達まで 0.5 トンのところまでは既に配送済みであるとした。評価指標は標準偏差（式 (1)）と輸送機材の総走行距離を、既存のルールベース手法 [3]（ルールベース：最も充足率の低い避難所や基礎自治体を優先するロジックで配送ルートを決）と CMOS アニーリング、それぞれの手法で算出し、結果を図 2、3 で比較する。CMOS アニーリングがルールベース手法よりも、標準偏差が最大 13.5% 小さくなることが確認できた。また、輸

送機材の総走行距離を最大 21% 短縮する緊急支援物資配送ルートが算出可能であることを確認した。講演ではより詳細な比較を紹介する。

本研究は、国土交通省総合政策局技術政策課の支援で実施されたものである。

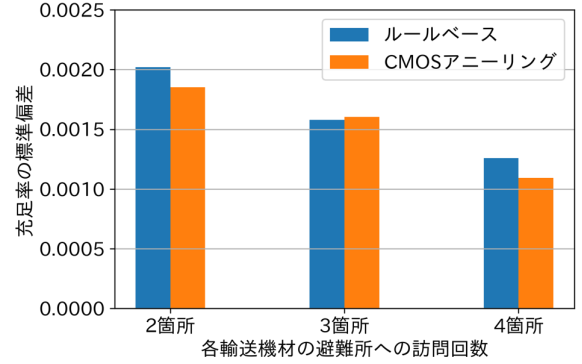


図 2: 各輸送機材が 2、3、4 箇所を訪問する時の充足率の標準偏差

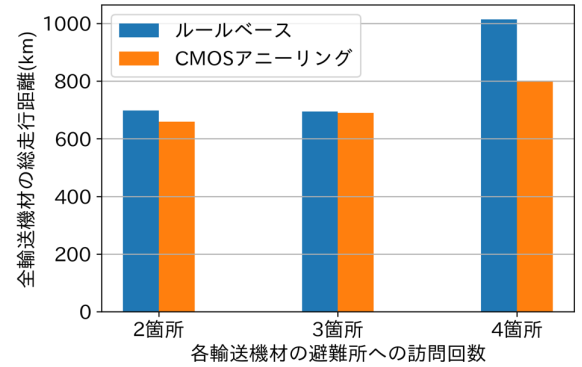


図 3: 各輸送機材が 2、3、4 箇所を訪問する時の全輸送機材の総走行距離

参考文献

- [1] T. Okuyama, T. Sonobe, K.-i. Kawarabayashi and M. Yamaoka: “Binary optimization by momentum annealing”, Physical Review E, 100, 1, p. 012111 (2019); 他.
- [2] 富井, 今泉, 加藤: “鉄道の運行計画作成の高度化に向けて 現状と課題”, 情報処理学会誌, 55, 1, pp. 72–81 (2014).
- [3] T. Majima, T. Aratani, S. Hosotsubo: “Information Sharing System for Relief Supplies Transport Operation”, 9th International Conference on Transportation Logistics, Sep. 2022.