

量子コンピュータを活用したダンプトラックの土運搬経路の最適化

宮岡 香苗・田中 孝

量子コンピュータとは、量子状態を利用して並列計算を実現するコンピュータであり、膨大な量の組み合わせから短時間で最適解を導出することが可能である。本稿では、量子コンピュータを用いたダンプトラックの土運搬経路の最適化の試行について報告する。試行においては、複数の運搬経路を有する土運搬を対象に、各経路の渋滞状況等、土運搬に影響を与える情報を基に量子コンピュータを用いて最適な経路をリアルタイムに算出するシステムを構築した。システムの試験運用の結果、従来の土運搬と比較して1往復あたりの運搬時間の短縮と、それに伴うCO₂排出量削減の効果を確認することができた。

キーワード：量子コンピュータ、組み合わせ最適化計算、i-Construction、ダンプトラックの土運搬、カーボンニュートラル

1. 背景と目的

量子コンピュータとは、量子状態を利用して並列計算を実現するコンピュータである。問題を解く方法の違いにより「ゲート型」と「アニーリング型」の2つに大別され、後者は膨大な量の組み合わせから短時間で最適解を導出することが可能である¹⁾。これを用いて他産業では、工場の製造ラインや拠点間輸送、廃棄物の収集ルート、鉄道ダイヤの運行計画などの最適化を図る取り組みが行われている²⁾。一方、建設業においては、国土交通省のi-Constructionの政策のもと、建設現場の生産性向上が推進されている³⁾。また、グリーン社会の実現に向けた「国土交通グリーンチャレンジ」の中では、重点プロジェクトの一つに「インフラのライフサイクル全体でのカーボンニュートラル、循環型社会の実現」が位置付けられている⁴⁾。建設施工段階のCO₂排出量は産業分野の約1.4%を占め、今後、ICT等の技術を活用した施工業務の効率化によるCO₂排出量の削減を進めていくことが必要である。

本稿は、量子コンピュータを用いたダンプトラックの土運搬経路の最適化の試行について報告するものである。試行を通じて、土運搬業務における生産性向上およびCO₂排出量削減への効果を検証するとともに、量子コンピュータの施工段階での活用可能性について考察を行う。

2. ダンプトラックの土運搬経路最適化の考え方

本試行対象現場の土運搬方法を図-1に示す。当該現場では、土の発生・搬出場所の往復に、高速道路と一般道路の2種類の経路を使用する。高速道路については、経路の途中に待機場所を有する。尚、搬出場所から発生場所に向かい、また搬出場所に戻る過程を1往復とし、1往復中は同一の経路を走行する。

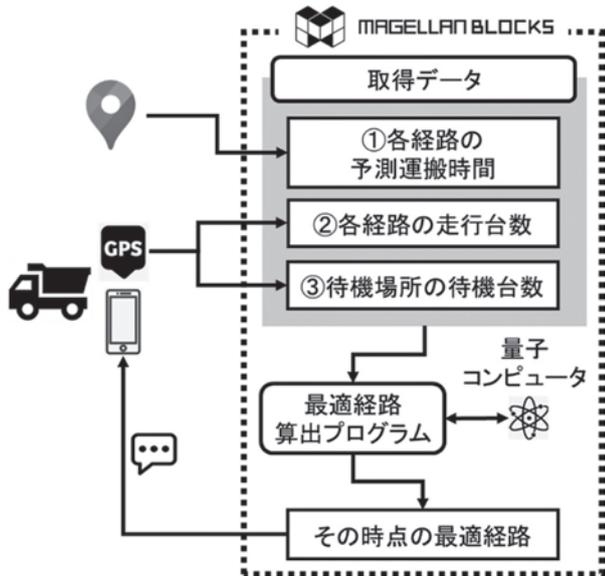
従来、複数の経路がある場合は、ダンプトラック毎に当日の走行経路を定めて運搬を行う。しかしこの方法では、経路の経時的な渋滞状況の変動や、突発的なトラブルへの対応が困難である。そこで本試行では、各経路の渋滞状況や待機場所の混雑状況といった土運搬に影響を与える要因に関する情報をリアルタイムに取得し、それらの情報を基に量子コンピュータを用いて算出した最適経路をダンプトラックが走行する仕組みを構築する。



図-1 試行現場の土運搬方法

3. システム構成と使用データ

本試行で構築した最適経路計算システムの構成を図一2に示す。システムの構築にあたっては、(株)グーヴノーツの提供する、量子コンピュータによる高速演算処理が可能なクラウドプラットフォーム「MAGELLAN BLOCKS (マゼランブロックス)」を利用した⁵⁾。



図一2 最適経路計算システムの構成

各ダンプトラックはGPS搭載のモバイル端末を携帯して土運搬を行う。土の発生場所、搬出場所、待機場所、各経路の位置を登録したマップと、GPSの位置情報を照合することで、各ダンプトラックの所在地や走行経路を常時判定する。ダンプトラックが土の搬出場所に接近すると、次の運搬における最適経路の計算を実行する。本試行では対象現場の土運搬状況を踏まえ、最適経路の算出に使用する情報として、①各経路の予測運搬時間、②各経路の走行台数、③待機場所の待機台数を選定した。①については、Googleマップの移動所要時間予測データを利用し、②、③についてはモバイル端末のGPSデータから算出する。これらを「MAGELLAN BLOCKS」に取り込み、量子コンピュータを用いてその時点での最適経路を算出する。算出した結果は、メッセージとしてダンプトラックのモバイル端末に送信する。

4. 最適経路計算システムの試験運用

最適経路計算システムを用いた土運搬の試験運用を、4日間に渡り計29台のダンプトラックを対象に実施した。試験運用中の最適経路計算に基づいた走行

結果を表一1に示す。試験運用を通じて、最適経路計算システムにおけるデータ取得、最適経路計算、結果のモバイル端末への送信の一連の流れを、走行中のダンプトラックに対して適切なタイミングで実施できることを確認した。また、モバイル端末に送信されたメッセージについては、土の搬出場所においてダンプアップ前に荷台の養生シートを剥がす時間を利用して、ダンプトラックのオペレータが安全に目視確認することができた。

表一1 試験運用中の最適経路計算に基づいた走行結果

	ダンプトラック台数	延べ往復回数	高速道路の往復回数	一般道路の往復回数
1日目	5	27	11	16
2日目	8	26	6	20
3日目	8	27	24	3
4日目	8	29	17	12
計	29	109	58	51

5. 効果の検証

試験運用の結果から、下記3点について効果の検証を行った。

(1) 運搬時間に関する効果

従来の土運搬と最適経路計算システムを用いた土運搬の1往復あたりの運搬時間の比較を表二に示す。最適経路計算システムを用いることで、高速道路で8分、一般道路で6分の運搬時間の短縮を図ることができた。運搬時間は土の積込時間など様々な要因に影響を受けるが、最適経路計算結果を基に適時経路を選択することで、運搬時間の短縮に一定の効果があったと考えられる。

表二 1往復あたりの運搬時間の比較

土運搬方法	1往復あたりの運搬時間(分)	
	高速道路	一般道路
従来の方法	89	84
最適経路計算システム使用	81	78
計	-8	-6

(2) 土運搬量に関する効果

工期短縮を図る上では、一日あたりの土運搬量の増加を図ることが肝要である。(1)で示した1往復あたりの運搬時間の短縮により、対象現場では一日あたり平均約50トン(10トン積載ダンプトラック5往復分)

の土運搬量の増加が可能となることが確認できた。

(3) ダンプトラックのCO₂排出量に関する効果

CO₂排出量算定方法の一つである燃料法⁶⁾を用いて、従来の土運搬と最適経路計算システムを用いた土運搬のダンプトラックのCO₂排出量の算出・比較を行った。その結果、(1)で示した運搬時間の短縮により、1往復あたり約10%のCO₂排出量削減が可能となることが確認できた。重量に換算すると、今回の試験運用で運搬を行った延べ109往復においては、約0.4トンのCO₂排出量の削減となる。

6. 施工段階における量子コンピュータの活用に関する考察

今回の試行において、最適経路計算の最大組み合わせ数は約1,600万パターンとなった。量子コンピュータを用いた最適経路計算システムでは、この計算には約5秒を要した。一方、従来の古典型コンピュータでの計算には約16秒かかると試算され、パターン数に比例して処理時間はますます増加する。今回対象とした土運搬は、土の発生・搬出場所が1箇所、経路が2種類と比較的簡単なものであるが、このような条件でも量子コンピュータの計算特性を確認することができた。今後、土の発生・搬出場所や経路数が多い、より複雑な土運搬を対象とすると、量子コンピュータの利点をさらに活かすことが可能であると考えられる。また、施工段階の他の業務にも着目すると、土工事における建設機械の自動運転技術の開発が進められている。近年は単独の機械だけでなく、複数の機械の組み合わせ作業を対象とした研究開発も進められており、この実現には周辺の状況データや設計データを基に即時に動作を判断することが必要である⁷⁾。このようなリアルタイムなオペレーションが求められる業務にも、量子コンピュータの適用が期待できる。

また、今回の試験運用中に、通信状況に応じてメッセージの送信に遅れが生じた。最適経路計算システムでは、データの取得、計算処理の実行、メッセージの送信の各プロセスで通信ネットワークを利用する。今後、量子コンピュータを用いた最適化計算を施工現場の業務に活用していくためには、必要な通信の仕様を

検討し、安定した通信状況を確保することも肝要である。

7. おわりに

本試行では、量子コンピュータを用いてダンプトラックの土運搬経路の最適化を行った。リアルタイムな情報を基に最適経路を算出し、ダンプトラックの走行に反映することで、従来の土運搬と比較して、1往復あたりの運搬時間の短縮と、それに伴うCO₂排出量の削減の効果を確認することができた。量子コンピュータの利点は、膨大な量の組み合わせから短時間で最適解を導出することにある。今後、施工段階の生産性向上とカーボンニュートラルのさらなる推進に向け、他の施工業務への量子コンピュータの活用を検討していきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 西森秀稔, 「量子アニーリングの解説」 ホームページ : <http://q-annealing.org/QA/q-annealing.html>
- 2) ㈱グルーヴノーツホームページ : <https://www.groovenauts.jp/information/>
- 3) 国土交通省, i-Construction ホームページ : <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>
- 4) 国土交通省, グリーン社会の実現に向けた「国土交通グリーンチャレンジ」, p.23 : <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001412433.pdf>
- 5) MAGELLAN BLOCKS ホームページ : <https://www.magellanic-clouds.com/blocks/>
- 6) 経済産業省・国土交通省, 物流分野のCO₂排出量に関する算定方法ガイドライン, p.4
- 7) 土木研究所, 建設現場が無人工化する日にむけて, p.29 : <https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/event/2020/1021/pdf/kouen6.pdf>

【筆者紹介】

宮岡 香苗 (みやおか かなえ)

清水建設㈱
土木総本部 土木技術本部



田中 孝 (たなか たかし)

㈱グルーヴノーツ
プロダクト Div. 兼 コンサルティングサービス Div.

