

ヤマト運輸プログラミングコンテスト 2019 を振り返って

黒木 裕介

ヤマト運輸プログラミングコンテスト 2019 では、実際の輸配送オペレーションに基づいたモデルを、競技プログラミングの問題として出題した。数理最適化の問題をプログラム実装により解くことを目指すという点では、通常の研究開発と同様であるが、競技プログラミングの特徴に合わせるために出題にあたって気を付けた点を紹介する。また、問題やデータを与えて問題解決を促進する取り組みについて調査した結果を報告する。

キーワード：コンテスト、コンペティション、競技プログラミング、巡回セールスマン問題、配送計画問題、最短路問題

1. はじめに

近年、ライフスタイルの変化や E コマース市場の急激な拡大への対応など、宅配業界は大きな社会的課題に直面している。このような状況下で、ヤマト運輸は従来にない新しい物流システムを再構築し、業務効率化を図ることで、将来にわたって高品質な宅急便サービスを提供していくことを目指している。

この実現に向けた取り組みの一環として、ヤマト運輸プログラミングコンテスト 2019（以後、「ヤマトコン」と書く）を開催した [1]。実際の輸配送オペレーションに基づいたモデルを問題として出題することで、ヤマト運輸が取り組む課題を専門的な知識・技能をもつより多くの方々に広く知っていただくことを短期的な目的とし、長期的にはヤマト運輸との協力や連携、ナレッジの共有へと発展することを期待している [2]。

ヤマトコンは、2019 年 8 月 3 日から 18 日の約 2 週間にわたり、競技プログラミングサイト「AtCoder」上でオンラインにて実施した。参加登録者 2,182 名、解答提出者 275 名（うち得点あり 216 名）を記録し、盛況であった。

本稿では、まず 2 節で競技プログラミングとは何かを紹介した後、3 節にて出題の概要を紹介し、盛況となった要因を考察する。ヤマトコンのように、何かしらのお題やデータを与えて、外部の参加者を巻き込みながら開催するイベントや、問題解決を促進する方法は複数ある。4 節において、いくつか調査した結果をまとめる。

2. 競技プログラミングとヤマトコン

競技プログラミング（またはプログラミングコンテスト）とは、プログラミングを題材として行う競技のことであり、ここでは、プログラミングによって問題を解くものを指すこととする。多くの問題を早く正確に解くことを目指す設定が多数を占める。また多くの参加者が集まれるように設計されたコンテストにおいては、Web 上で自動採点するオンラインジャッジというシステムを稼働させていることがある [3]。

今回ヤマトコンで利用した AtCoder もオンラインジャッジを備えた、上記の定義に当てはまる競技プログラミングサイトである。パズル的な問題が多く出題され、コンテストで出題された問題をいつでも自由に解くことができるため、楽しくアルゴリズムを学ぶことができるサービスといえる [4]。

プログラムの記述作法としては、入力は標準入力から与え、結果は標準出力に吐き出すことが求められる。実行には時間と使用メモリ量に制限が課される。オンラインジャッジシステムでは、受付可能なプログラミング言語でプログラムを書いて提出すると、(1) コンパイルが必要な言語ではプログラムがシステム内でコンパイルされて、(2) プログラム（または実行イメージ）が実行され、(3) パズル的な問題では出力結果と期待出力が比較されて、正答であれば得点が得られる。インスタンスに許容される入力規模は問題文に記載されている。問題文ではいくつかの小さな入力例と期待出力が示されるが、得点計算に利用されるインスタンスはチーティング防止のため伏せられている。インスタンスが伏せられている中で、与えられた実行時間と使用メモリ量の制限の下で、正答を出すプログラミング能力が試される。

くろき ゆうすけ
ヤマトホールディングス（株）デジタル戦略推進機能
（現所属）ヤマト運輸（株）デジタル機能本部デジタル改革部
〒104-0031 東京都中央区京橋 2-2-1 京橋エドグラン 19 階
kuroky@kuronekoyamato.co.jp

AtCoder では週末の夜間 (21 時からなど) に、短時間 (100 分など) で開催されるコンテストが多数を占める。ヤマトコンでは次節に述べるように最適化問題を出题したことから、試行錯誤してよりよい解を求めるために約 2 週間という長い開催期間を設けた。

AtCoder 自身が主催するコンテストだけではなく、企業名が冠に付いたコンテストも頻繁に開催されている¹。スポンサーシップだけを提供して問題の作成などは AtCoder 側に任せるオプションもあるが、ヤマトコンでは、コンテスト開催に必要な要素のうちジャッジシステム以外をすべて主催者 (冠企業側) が用意する形式で実施した。つまり、問題・インスタンス・採点プログラムなどを弊社で用意した。その分の労力がかかったが、適切に問題を作成できるレベルにあることを示せたことは喜ばしく思う。

3. ヤマトコンの出題内容

ヤマトコンでは、身近で問題設定を理解しやすく、かつ競技プログラミングとしても興味がもてるテーマとして、宅急便の配達ルート最適化を巡回セールスマン問題や配送計画問題の亜種にモデル化して出题した。当初想定していた配達ルート最適化の問題は、道路ネットワークと配達先などの場所情報を与えて、配達ルートを求めるものであった。この問題設定では、初めに最短路問題を解いて必要なだけの距離をすべて求めて (距離行列を作成し)、残りの時間は配達順序の入替えなどを多数試してより良い配達ルートを求めることに費やすのが定石である。しかし、オンラインジャッジシステムではインスタンスが伏せられていることから、距離行列の作成部分においてプログラミングミスをしていても気づけないことが容易に想像された。

そこで、問題を決定問題と最適化問題の 2 問構成とした。つまり、道路ネットワークと配達先などの場所情報を与えて距離行列を求める問題 A と、距離行列を入力として配達ルートを求める最適化問題 B に分離した。問題 A は、期待出力が定まることから、正答か誤答かを判定できる決定問題となる。正答の場合には得点を与え、誤答の場合には与えないこととした。問題文に矛盾しない範囲でのコーナーケースを多数用意することにより、易しくなりすぎないように注意した。コーナーケースの例としては、3 点の間の距離が三角不等式を満たさない場合が挙げられる。問題 B は、配達時間に制限がある中でより多くの荷物を配達したい、

という最適化問題であり、配達できた荷物の個数に比例した得点を与えた。問題 A と問題 B の得点の合計で競う競技とした。実務では最適化問題に取り組める能力だけではなく、正確にプログラミングできる能力も重要であると考えているためである。

オンラインジャッジシステムでは、プログラムを修正して何度でも提出できるが、再提出までに一定の間隔を課したり、得点から誤答回数に応じた点を減点したりといったルールを設定することがある。問題 B では、採点対象のインスタンスに過度な合わせ込みを行った最適化プログラムの開発を促したいわけではなかったことから、1 時間の再提出間隔を設けたかった。一方、問題 A はインスタンスが伏せられていてデバッグしにくい中で、何度でもプログラムの修正に挑戦できるように再提出間隔を設けない予定だった。しかし、システムの都合により、問題 A と問題 B には同じ再提出間隔を設ける方法しか用意されていなかったため、両方の問題に 30 分の再提出間隔を設けることになった。問題 A を完答するには不利な条件だったものと想像される。

上記のような設定のもとで実施された結果、多くの参加登録者、解答提出者を得た。問題 A と問題 B のどちらか 1 問に取り組んだ参加者も一定数いたことから、決定問題と最適化問題の 2 題構成にしたことにより、参加するハードルが下がったと考えている。また、問題 A の解答提出者は 258 名であったが、完答は 80 名にとどまった。完答者であっても平均 10 回は誤答しており、問題 A もそれなりの難易度であったといえる。なお、問題 B 上位の解法は、読み解けている限りはすべて焼きなまし法であり、近傍の定義などにさまざまな工夫が見られた。

4. 問題やデータを用意して問題解決・研究進展を促す取組み

ヤマトコンでは、最短路問題、巡回セールスマン問題、配送計画問題といった数理最適化分野でよく扱われるモデルに関連した問題を出题し、問題文中にサンプルデータ 1 例と、オンラインジャッジシステム内に問題ごとに 10 例のデータを用意して、問題を解決する競争を促した。そのような試みは、形式もさまざまに以前から行われていることから、いくつかの関連事例をまとめてみたい。

競技プログラミングについては 2 節で説明したが、AtCoder において他社が主催した事例の中で、主に最適化問題を扱っているものを二つ紹介する。一つは、工

¹ <https://atcoder.jp/contests/archive> (2020 年 12 月 30 日閲覧)

場の生産スケジューラを開発販売しているアスプローバが主催するコンテストである。6回開催されており、毎回現実のスケジューリング問題を想起させる設定で出題されている [5]。もう一つは、日立製作所と北海道大学が共同で開催しているコンテストで5回を数える。特に、2019年に開催された2回 [6] は、チャーター便による動的な配送計画問題を題材としている。

別の競技プログラミングサイト TopCoder では、ヤマトコンと同時期に、配送計画問題に関するコンテストが開催されていた [7]。賞を獲得するためには、アイデアを記したレポートの提出が求められる。提出されたプログラムだけから有益なアイデアを見出すのが難しいことはヤマトコンを開催して実感したところであり、参考にしたい取り組みである。

データサイエンスと機械学習に関する世界最大規模のコミュニティを自称する² Kaggle でも、2012年12月には巡回セールスマン問題を出題していた [8]。

研究拠点の DIMACS (Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science) が開催する Implementation Challenge [9] は、特に理論研究の意味で困難性が示されている重要な問題に対して、アルゴリズムの現実的な性能を理解したり改善したりすることを促している。ヤマトコンと関連する問題として、第8回(2001年)には巡回セールスマン問題を、第9回(2005-6年)には最短経路問題を扱っている。チャレンジのテーマを設定することにより、研究者の焦点を当てさせて、ベンチマークの収集や、開催後に論文集が出ることもあるなど、実装研究の進展に寄与している。なお、本稿執筆時点では第12回として配送計画問題に対するチャレンジが開催されている。

フランスおよび欧州の学会が約2年に一度開催している ROADEF/EURO Challenge [10] は、企業の協力の元、現実に近いさまざまな制約条件を伴った最適化問題を題材に扱っている。たとえば2016年にはガスの供給経路計画最適化問題を、2020年には送電設備の保守スケジューリング問題を扱っている。

2017年には、実社会における設計問題を題材とした進化計算学会による進化計算コンペティション 2017 [11] が開催された。マツダ、宇宙航空研究開発機構、東京理科大学による共同研究成果「応答曲面法を用いた複数車種の同時最適化ベンチマーク問題」 [12] を用いたコンペティションであり、問題とベンチマークデータは2018年より完全公開されている。

学会によるコンペティションとしては、現在では経営科学系研究部会連合協議会にて主催されているものの、開始当初は OR 学会の研究部会が主催していた「データ解析コンペティション」 [13] についても言及を忘れてはならないだろう。現場に近いデータが企業などから提供され、データ分析の実施だけではなく、課題設定を含めてコンペティション参加者に任されている点が特徴である。本誌の毎年2月号に、成果報告の特集が組まれるのが慣例である。2020年度は、タクシーブローデータを対象としたコンペティションが開催され、岩田ら [14] には多くの最短経路問題を解くことに対する工夫が述べられている。

私企業が独自にプログラミングコンテストを開催した例としては、ダイワロジテックによる「物流ロボットプログラミングコンテスト」が挙げられる [15]。物流施設において物流ロボットを最適に制御するアルゴリズムを競うプログラミングコンテストであった。

上記以外にも、グラフデザインに関するコンテストである Graph Golf [16] やスケジューリング(特にタイムテーブル作成)に関するコンテスト [17, 18] など、オペレーションズ・リサーチや離散数学に関連するテーマでのコンテストを見つけることができる。

コンテストなどのイベントの形ではなく、ベンチマーク問題を公開することで研究を促す取り組みについてもいくつか取り上げる。

巡回セールスマン問題では、William Cook 氏の Web サイト [19] に豊富な情報やデータが掲載されている。その一部として、Mona Lisa TSP Challenge [20] という懸賞問題が設けられている。

電気学会の専門委員会 [21] では、電力・社会インフラ関係の産業分野で発生した最適化問題を集めて「産業応用のための最適化ベンチマーク問題集」として公開している。

林ら [22] は配電網の標準解析モデルを学会で公表しており、これを用いた研究成果は本誌にも掲載されている [23]。2017年には早稲田大学スマート社会技術融合研究機構が電力会社と共同で仮想配電システムを開発し、申請ベースでデータが提供されているようである [24]。

5. おわりに

ヤマトホールディングス(株) デジタル戦略推進機能(現ヤマト運輸(株) デジタル機能本部デジタル改革部)では、集荷・配達を行うセールスドライバー向けの、集配経路決定支援システムの企画、開発を行っ

² <https://www.youtube.com/watch?v=TNzDMOgZsw> (2021年1月12日閲覧)

ている。その中では、ヤマトコンで出題したような最短経路問題、巡回セールスマン問題や配送計画問題にモデル化して解決にあたる機会も豊富である。既存研究や多種多様なコンテストの成果を取り込み、ヤマトコン参加者や本稿の読者とも、協力や連携を図っていければ幸いである。

謝辞 ヤマトコンは、弊社の三木優足氏、村上久治氏とともに運営にあたった。運営にあたり、ヤマト運輸(株)デジタル戦略推進部(当時)のメンバーに協力いただいた。

ヤマトコン開催および本稿執筆にあたり、野々部宏司教授(法政大学)、今堀慎治教授(中央大学)にご助言、ご協力いただいたことを感謝する。

参考文献

- [1] ヤマト運輸, 「ヤマト運輸プログラミングコンテスト2019」, <https://atcoder.jp/contests/kuronekoyamato-contest2019> (2020年12月29日閲覧)
- [2] ヤマト運輸, 「「ヤマト運輸 プログラミングコンテスト2019」を8月3日より開催」, https://www.kuronekoyamato.co.jp/yt/pressrelease/2019/news_190802.html (2021年2月4日閲覧)
- [3] 秋葉拓哉, 岩田陽一, 北川宜稔, 『プログラミングコンテストチャレンジブック [第2版]』, マイナビ, 2012.
- [4] 大槻兼資, 秋葉拓哉, 『問題解決力を鍛える! アルゴリズムとデータ構造』, 講談社, 2020.
- [5] アプローバ, 「第6回 Asprova プログラミングコンテスト」, <https://atcoder.jp/contests/asprocon6> (2020年12月31日閲覧)
- [6] 日立製作所・北海道大学, 「Hitachi Hokudai Labo & Hokkaido University Contest 2019-1」, 「同 2019-2」, <https://atcoder.jp/contests/hokudai-hitachi2019-1>, <https://atcoder.jp/contests/hokudai-hitachi2019-2> (2020年12月31日閲覧)
- [7] TopCoder, Vehicle routing problem—Upcoming marathon matches, <https://www.topcoder.com/vehicle-routing-problem-upcoming-marathon-matches/> (2020年12月31日閲覧)
- [8] Kaggle, Traveling Santa Problem, <https://www.kaggle.com/c/traveling-santa-problem> (2021年1月30日閲覧)
- [9] DIMACS, Implementation Challenge, <http://dimacs.rutgers.edu/programs/challenge/> (2021年2月4日閲覧)
- [10] ROADEF and EURO, ROADEF/EURO Challenge 2020, <https://www.roadef.org/challenge/2020/en/> (2021年2月4日閲覧)
- [11] 進化計算学会・宇宙航空研究開発機構, 「進化計算コンペティション 2017」, <http://is-csse-muroran.sakura.ne.jp/ec2017/EC2017compe.html> (2021年2月4日閲覧)
- [12] 小平剛央, 銀持寛正, 大山聖, 立川智章, 「応答曲面法を用いた複数車種の同時最適化ベンチマーク問題の提案」, 進化計算学会論文誌, **8**, pp. 11–21, 2017.
- [13] 生田目崇, 「データサイエンス教育の題材としての「データ解析コンペティション」」, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **65**, pp. 599–606, 2020.
- [14] 岩田真奈, 桑原淳, 石塚湖太, 倉又迪哉, 清原明加, 中田和秀, 「タクシーの流し営業における強化学習を用いた顧客獲得ナビ」, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **66**, pp. 75–83, 2021.
- [15] ダイワロジテック, 「物流ロボット プログラミングコンテスト」, <https://daiwalogitech-contest.jp/> (2021年2月20日閲覧)
- [16] Graph Golf, The Order/degree Problem Competition, <http://research.nii.ac.jp/graphgolf/> (2021年2月4日閲覧)
- [17] PATAT, PATAT Community Support, <http://www.patatconference.org/communityService.html> (2021年2月4日閲覧)
- [18] D. Van Bulck, D. Goossens, J. Beliën and M. Davari, International Timetabling Competition 2021: Sports Timetabling—website.itc2021.ugent.be, <https://www.sportscheduling.ugent.be/ITC2021/> (2021年2月4日閲覧)
- [19] William Cook, The Traveling Salesman Problem, <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/index.html> (2021年2月4日閲覧)
- [20] William Cook, Mona Lisa TSP Challenge, <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/data/ml/monalisa.html> (2021年2月4日閲覧)
- [21] 電気学会計算知能技術と産業応用のためのベンチマーク問題調査専門委員会(他), 「産業応用のための最適化ベンチマーク問題集」, <http://www.ssl.te.chiba-u.jp/~okamoto/BP-IA/ja/index.html> (2021年2月4日閲覧)
- [22] 林泰弘, 川崎章司, 松木純也, 松田浩明, 酒井重和, 宮崎輝, 小林直樹, 「分散型電源連系配電ネットワークの標準解析モデルの構築とネットワーク構成候補の多面的評価手法の開発」, 電気学会論文誌 B, **126**, pp. 1013–1022, 2006.
- [23] 井上武, 高野圭司, 渡辺喬之, 川原純, 吉仲亮, 岸本章宏, 津田宏治, 湊真一, 林泰弘, 「フロンティア法による電力網構成制御」, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **57**, pp. 610–615, 2012.
- [24] 早稲田大学スマート社会技術融合研究機構, 「地域特性を都市規模で捉えた配電系統モデルを国内外で公開」, <http://www.waseda.jp/across/news/2536/> (2021年2月4日閲覧)