

遺伝的アルゴリズムを用いた緊急支援輸送（ERL）の評価手法に関する検討

国土技術政策総合研究所 正会員 ○熊谷兼太郎

京都大学経営管理大学院 正会員 小野 憲司

大規模地震の発生後から一定の期間、緊急支援輸送（Emergency Relief Logistics, ERL）が行われる。物資を集積場所から避難場所などへ適切に輸送するため、トラックの配送計画を評価する手法が求められている。

1. 目的

遺伝的アルゴリズムを用いて、ERL のトラックの配送計画の評価手法に関する検討を行う。

2. 既往の研究

間島¹⁾は、2011 年東日本大震災について物資が滞留した過程を調べている。また、物資充足率を需要地間で均等に満たすような ERL のシミュレーション手法を提案し、具体例として東京都に適用している。その結果、一次集積所よりも先の区市町村に物資が滞留することなどを表現したとしている。また、小野ら²⁾は船舶輸送とトラック輸送とを組み合わせた港湾利用の ERL のシミュレーション手法を提案し、想定南海トラフ地震について高知市中心部を事例に試算を行っている。その結果、船舶輸送の部分は詳細な設定値を具体的に示すとともに、ピーク時需要量の 32.7%を高知港から荷揚げ可能と推定している。従って、被災地域外から被災地域内へ物資を持ち込み一次集積所まで配送する部分は、既にある程度の精度で検討が可能なのである。しかし、一次集積所から先の避難場所などへトラックで配送する部分のより詳細な評価が必要であると考えられる。

平野³⁾は、 n 台のトラックで c 箇所の顧客の需要を満たす容量制限付きの（すなわち、各トラックの積載上限量を考慮した）配送問題について、遺伝的アルゴリズムを用いた最適解の探索手法を公開している。探索手法としてはこの他にも幾つか考えられるものの、トラックの配送計画に同アルゴリズムを適用する実用的な手法を提案しているという点で着目できる。

以上をふまえ、最適解の探索手法の一つである遺伝的アルゴリズムを用いて、ERL で一次集積所から先へ配送する部分について、トラックの配送計画の評価手法に関する基礎的な検討を行うこととした。

3. 遺伝的アルゴリズムを用いた最適解の探索手法

対象地域として、高知市及びいの町の一部を事例とする。その東西方向は浦戸湾西岸から仁淀川左岸までの約 10 km、南北方向は海岸から高知市中心部までの約 10 km の範囲とした。この中に物資の配送元である 1 か所の一次集積所（以下、配送元と呼ぶ。）と、配送先である c 箇所の二次集積所（以下、配送先と呼ぶ。）を想定する。ここで、配送元として春野総合運動公園を仮定した。また、配送先として 2010 年高知都市圏パーソントリップ調査で OD 交通量が定義されている点である 44 か所を仮定した（ $c = 44$ ）。次に、実際の配送では物資の種類、量、荷姿などに合わせてトラックは多様な種別が用いられるが、本研究では基礎的な検討として、トラックは全て同一の最大積載量（4,000 kg）として単純化した。また、トラック 1 台が 1 回で平均的には 3 か所程度に物資を配送できると仮定し、トラックは 15 台とした（ $n = 15$ ）。各配送先の需要量は、実際には多様な品目が考えられるが、本研究では基礎的な検討として、総需要量が $4,000 \text{ kg} \times 15 = 60,000 \text{ kg}$ 程度の 1 品種を仮定した。そのうえで、配送先 $i = 1, 2, \dots, 44$ の活動度を示す指標として先ほどの OD 交通量から集中交通量を抽出し、その値に比例するように配送先 i における需要量 d_i を仮定した。このようにして定めた d_i の値は、170～3,460 kg の範囲であった。

シミュレーションは、平野³⁾が公開している C++プログラム・ソース群を利用した。なお、2. で述べた概要に加え、配送元及び配送先の任意の 2 点間に直線的な経路が存在すること、荷物受取り可能時刻の指定はし

キーワード 緊急支援輸送、遺伝的アルゴリズム、トラック、配送計画、評価手法

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通国土技術政策総合研究所 E-mail: kumagai-k27n@mlit.go.jp 電話: 046-844-5024 ファクス: 046-844-5068

ないこと、各配送先における需要量は既知であることなどの留意すべき前提条件があるものの、本研究では基礎的な検討として、同プログラム・ソース群をそのまま用いた。

各トラックに1つないし複数の配送先を割り当てるとともに最短経路で巡回させる最適解を探索する。その手法はまず、遺伝子が並んだ染色体を模して、1番目～ n 番目のトラックの巡回ルートを記載した数字列と、巡回ルート同士の間には挿入する区切りを示す数字とを組み合わせ、一列の数字列として記述する。これを p 個作成し第1世代とする。なお個体数 p が多いほど、一般にその集団は多様な遺伝的特徴を有していると考えられる。第2世代として、 p 個の染色体のうち任意のペアの2点交叉、及び、1つの染色体中の任意の2つの遺伝子を入れ替える突然変異を組み合わせた遺伝子操作により、染色体の改変を行う。この手順を第 g 世代まで繰り返し、評価指標 f を改良していく。

f は、各トラックの経路長の和である総経路長 L 、及び、各配送先に届けることが出来た物資の量の和である総配送量 D をそれぞれ正規化し、かつ、重み係数 a, b (ただし、 $a + b = 1$) を考慮した $f = a \times L_0 / L + b \times D / D_0$ との式で定義した。ここで、 L_0 は多数のケースを実施して得られる総経路長の最良値に近い値 (200 km)、 D_0 は各配送先 i の需要量 d_i の和 (59,130 kg) である。

4. 計算ケースとその結果

トラックの配送計画を評価する代表的な指標として、 L 及び D が考えられる。そこで、 L すなわち効率性を重視したケース1 ($a = 0.3, b = 0.7$) と、 D すなわち充足度を重視したケース2 ($a = 0.2, b = 0.8$) を設定した。第1世代の p 個の染色体は、乱数の種を与えてランダムに作成される。各ケースについて乱数の種を変えてそれぞれ10回の試行を行い ($p = 1,000, g = 500$, 交叉確率 = 1.0, 突然変異確率 = 1.0), そのうちケース1は L が最小となったもの、また、ケース2は D が最大となったものをそれぞれのケースの最適解とみなした。その結果、ケース1は L, D がそれぞれ 211,272 m, 55,080 kg となった。この値は、トラック1台あたりの平均経路長にすると 14.1 km であり、また、 D_0 に対する不足量は 4,050 kg である。ケース2はそれぞれ 232,226 m, 58,540 kg となった。ケース1に比べてケース2は平均経路長が 1.4 km 増加する一方、不足量は 3,460 kg だけ解消できた。

計算は、PC (CPU は Intel Core i7-5960X, メモリは 64 GB RAM, OS は Windows 10 Pro 64bit) に Microsoft Visual Studio Professional 2013 を組み込んだ環境で行った。1回の試行に要した計算時間は 34～41 秒の範囲であった。

本研究は基礎的な検討として単純な仮定をおいた。今後の課題として、3. で述べた前提条件に関する点、効率性について総経路長だけで評価を行い渋滞、積下し等に要する時間を考慮していない点などが挙げられる。

5. 結論

最適解の探索手法の一つである遺伝的アルゴリズムを用いて、ERL で一次集積所から先へ配送する部分について、トラックの配送計画の評価手法に関する基礎的な検討を行った。高知市及びいの町の一部を事例として、効率性を重視したケースと充足度を重視したケースとをそれぞれ試算したところ、前者に比べて後者は平均経路長が 1.4 km 増加する一方、不足量は 3,460 kg だけ解消できるという結果が得られた。

本研究は、JSPS 科研費 15H02970 (2015～2017 年度「巨大災害下における避難民の生命・健康維持のための海陸一貫大量輸送システムの開発」、研究代表者：小野憲司) の助成を受けたものです。また、高知県土木部都市計画課にパーソントリップ調査のデータ提供に関しご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) 間島隆博：災害時における救援物資の輸送体制とシミュレータ，久保幹雄・松川弘明編，サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス，近代科学社，pp. 201-234，2015. 2) 小野憲司・辰巳順・中尾健良・島倉康夫：大規模災害時の緊急支援物資輸送における長距離フェリーの活用とその課題，沿岸域学会誌，Vol. 28, No. 1, pp. 71-82, 2015. 3) 平野廣美：続・遺伝的アルゴリズムと遺伝的プログラミング，パーソナルメディア株式会社，pp. 89-124, 2006.