

相互関連を持つライフライン網の 災害復旧スケジュール最適化への取り組み

味方さやか[†] 小林一郎[‡]

^{††} お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科理学専攻

1 はじめに

現在、各ライフラインの災害復旧スケジュールについての研究は多くなされているが [1][2][3], これらの多くは水道やガスなど単一のライフラインを対象としており、複数のライフライン間の相互関係は考慮されていない。そこで本研究では、複数のライフラインが同時に被害を受けた場合を想定し、早急な復旧を行うための災害復旧スケジュールの作成を目的とする。そのために、本研究ではこの問題を最適化問題としてとらえ、遺伝的アルゴリズム (GA) を利用し、ライフライン復旧スケジュールの最適化を試みる。

2 災害復旧問題

2.1 ライフラインの定義

一般的にライフラインとは都市機能を維持し、人々が日常生活を送る上で必須の諸設備のことを指し、電気・ガス・水道等の公共公益設備、電話・インターネット等の通信設備、また、圏内外に各種物品を搬出入する運送や人の移動に用いる鉄道等の物流機能のことを言う。本研究では特に電気・ガス・水道・通信に道路交通網を加えたものをライフラインとして取り扱うこととする。

2.2 災害復旧の指針

これまでに行われている実際の災害復旧方法によると、大規模な災害が起こった際には、一度使用可能になるまで仮復旧を行い、その後完全な状態になるまで復旧を行う二段階復旧という方法がとられている。本研究でもこの方針に従った復旧の指針を取るとする。また、災害にあたる人員とライフライン復旧の順序にはあらかじめ制限があるとし、モデルを設定する。

2.3 ライフラインの相互関連

ライフラインは各々密接な関係を持っていると考えられる。例えば、道路が被害を受けると、その他のライフライン復旧箇所へ到達することが困難になり、全体の復旧時間に多大な影響を与える。本研究ではライ

フラインの相互関連を復旧人員と、ライフライン間の機能の関連性に焦点を当て定義した。復旧人員については、基本的に各ライフラインの専門工事事業の人員が行うが、水道に関しては上水道と下水道において復旧人員の重複があるとする。また、ライフライン間の機能の関連性については図 1 のように定義した。図 1 において、矢印は影響を及ぼす先を示している。

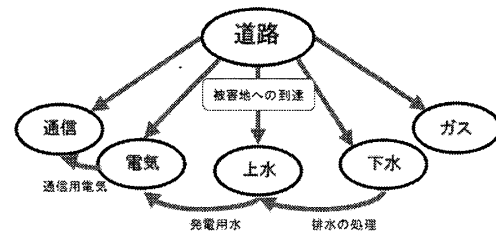


図 1: ライフライン間の機能の関連性

3 災害復旧スケジュールの作成

災害復旧スケジューリング問題は、ライフライン網の複数の制約条件の下、組み合わせを考えなければならないので、解空間が膨大になると考えられる。そこで本研究では、組み合わせ最適化に有効とされる遺伝的アルゴリズムを利用し、最適化計算を行う。

3.1 災害モデルの GA へのコーディング

災害復旧スケジュールを作成するにあたって、どの班がどの被害箇所を復旧するかや、何日間作業に当たるかなど、作業班の分配を考慮しなければならない。また、どの被害箇所を何番目に復旧するかという復旧優先順位も出力に必要となる。したがって、この問題を遺伝的アルゴリズムに適用するには、作業班の分配と復旧優先順位の 2 つの情報を組み込むコーディングが必要となる。そのため、本研究では遺伝子を二次元で表現する。各行は、図 2 で示すように復旧班の分配を表す。そのため、行数 m は復旧班数と等しくなる。また、各列は復旧優先順位を表す。 n 列数は復旧総日数と等しくなる。

3.2 JSP との相違点

最適解を得るのが困難な組み合わせ最適化問題として、ジョブショップスケジューリング問題 (Job-shop Scheduling Problems: JSP) が知られている。これは、

A Study on Optimization for a Disaster Recovery Schedule of Lifeline Networks with Mutual Relationships

[†] Sayaka AJIKATA (ajikata.sayaka@is.ocha.ac.jp)

[‡] Ichiro KOBAYASHI (koba@is.ocha.ac.jp)

Advanced Sciences, Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University (†)(‡)

2-1-1 Ohtsuka Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, JAPAN

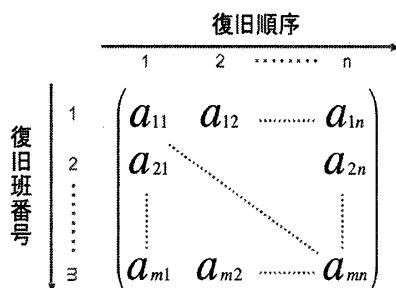


図 2: 遺伝子モデル

複数の仕事を複数の機械で処理するとき、処理時間を最小にするように、各機械への仕事の割当を決定する問題である。この問題では、一台の機械は一度に複数の仕事をすることができず、また、同じ仕事は同一時間内に割り当てることができない。一方で災害復旧スケジューリング問題は、一つの班は同時に複数の被害地を復旧することができないが、複数の班が同時に一ヶ所の被害地を復旧することがある。以上により、災害復旧スケジューリング問題を解く際には JSP を拡張したモデルの構築が必要である。

3.3 交叉と突然変異

通常の交叉方法や、突然変異方法を利用すると、制約条件を満たさない遺伝子や、モデルに即していない遺伝子が発生してしまう可能性がある。そのため、交叉・突然変異には本研究に即した方法の検討が必要である。

3.4 制約条件

ここでは、2.3 章で述べたライフライン間の機能の関連性と、復旧人員の相互関連を制約条件として設定する。ライフラインの機能の関連性は復旧順序に関連する。また、復旧はあらかじめ設定された人員で行うとする。

3.5 適応度関数

本研究では各ライフラインごとに杉本らの研究 [3] により提案された方法を用い、復旧率と復旧日数に基づく目的関数を定義する。復旧率は、復旧が必要な箇所に対し、どれくらい復旧が進んだかを表すものであり、これを算出することで復旧日数の短縮だけでなく、重要度の高い場所から復旧を行うスケジュールを算出することができる。

被害を受けた各道路の重要度を $w_i (i=1 \dots n_L)$ とする。ここで、 n_L は道路の被害箇所総数である。復旧作業開始から t 日後の道路の復旧率 $R_l(t)$ は式 (1) のように表される。

$$R_l(t) = \frac{\sum_{i \in J_l^t} w_i l_i}{\sum_{i \in J_l^0} w_i l_i} \quad (1)$$

l は道路の距離、 J_l^0 は被害を受けたリンク番号の集合、 J_l^t は t 日までに開通したリンク番号の集合を表している。同様にその他のライフラインについても目的関数を定義する。

$$R_{d_k}(t) = \frac{\sum_{i \in J_{d_k}^t} w_i d_i}{\sum_{i \in J_{d_k}^0} w_i d_i} \quad (k = 0 \dots 4) \quad (2)$$

通信の復旧率 $R_{d_0}(t)$ 、電気の復旧率 $R_{d_1}(t)$ 、上水の復旧率 $R_{d_2}(t)$ 、下水の復旧率 $R_{d_3}(t)$ 、ガスの復旧率 $R_{d_4}(t)$ とする。 d は被害を受けた箇所の被害規模、 $J_{d_k}^0$ は被害を受けた各種ライフライン番号の集合、 $J_{d_k}^t$ は t 日までに復旧が終了したリンク番号の集合を表している。災害地全体の復旧率 $R(t)$ は式 (1)(2) を用い、以下のように各復旧率の総和で表す。

$$R(t) = R_l(t) + \sum_{k=0}^4 R_{d_k}(t) \quad (3)$$

式 (3) を用いて累積非復旧率を以下のように表す。

$$TR = \int_0^T [1 - R(t)] dt \quad (4)$$

4 おわりに

相互関連を持つライフライン網の災害復旧スケジューリング問題をモデル化し、遺伝的アルゴリズムを用いた解法を検討した。遺伝的アルゴリズムは大域的探索に有効とされているが、局所探索には弱い点があり、そのような場合を考慮してシミュレーテッドアニーリングやタブーサーチなどを組み合わせることにより、より正確な解を求める方法を検討していきたい。

参考文献

- [1] 古田均, 中津功一朗, 野村泰稔, “不確実性を考慮した被災ネットワークの復旧計画策定”, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.2, p.434-445, 2008.5
- [2] 佐藤忠信, 一井康二, “遺伝的アルゴリズムを用いたライフライン網の最適復旧過程に関する研究”, 土木学会論文集, No.537, -35, p.245-256, 1996.4
- [3] 杉本博之, 片桐章憲, 田村亨, 鹿口鹿, “GA によるライフライン系被災ネットワークの復旧プロセス支援に関する研究”, 構造工学論文集, Vol.43A, p.517-524, 1997