

ライフライン網の相互連関を考慮した 災害復旧計画作成への取り組み

A Study on Making a Disaster Recovery Schedule
Considering Mutual Relationships among Lifeline Networks

味方 さやか*¹
Sayaka AJIKATA

小林 一郎*¹
Ichiro KOBAYASHI

*¹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
Advanced Sciences, Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

There is a possibility that plural life-lines get damaged at the same time when a large scaled disaster occurs. This causes much damage to our lives, therefore, we urgently need a plan of disaster recovery without delay when the disaster occurs. However, since each life-line has close relationship with the other life-lines, there are several constraints among them in terms of fixing them. Therefore, it is hard to promptly make a proper schedule for disaster recovery. With this background, in this study, we aim to efficiently make a restoration plan for a disaster, in which plural life-lines with several mutual relationships get damaged, by using genetic algorithm.

1. はじめに

大規模な自然災害が起きた際、人々は社会的にも経済的にも大きな被害を受けることが予想される。自然災害によって起こる被害はできる限り最小限に抑えられるよう予測し、事前に対策を練っておくべきであるが、被害状況は予測不可能な場合も少なくない。また、被害が起きてしまった際には、元の生活が送れるよう、できるだけ早急な復旧が求められるが、災害復旧にあたることのできる人材には限りがあり、災害の状況によっては道路や複数のライフラインが同時に被害を受ける場合も容易に予想され、復旧には時間がかかることが予想される。このような場合、どのような順序で、どのように人員を配置するかやどのライフラインを早急に修繕すべきかなどを効率的に実行することによって復旧の速度には大きな違いが現れると考えられる。このようなことを踏まえて、現在までに災害復旧スケジュールについての研究は多くなされてきている [2][3][4]。しかし、これらの多くは水道やガスなど単一のライフラインの復旧を対象としており、複数のライフライン間の相互関係に基づく災害復旧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。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、相互連関を持つ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関のことを言う。本研究では、特に人々の生活に影響を及ぼすものとして、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。

連絡先: 味方さやか, 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情報科学コース小林研究室, 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1, 電話: 03-5978-5708, Fax 番号: 03-5978-5708, E-Mail: ajikata.sayaka@is.ocha.ac.jp

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、ライフラインが一旦、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。本研究においても、基本的にこの方針に従った復旧の指針を取るとする。その他、復旧に関わる要因として被災対象に対する復旧の順序と人員の割り当てに対する制約が挙げられる。復旧の順序は街全体の復旧率に影響を及ぼし、また、復旧の人員割り当てについては予め制約があるとし、その制約下における配置を考えるとする。

2.3 ライフラインの相互連関

道路が被害を受けると、その他のライフライン復旧箇所に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など、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。また、本研究ではライフラインの相互連関を復旧人員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会社の人員が行うが、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。

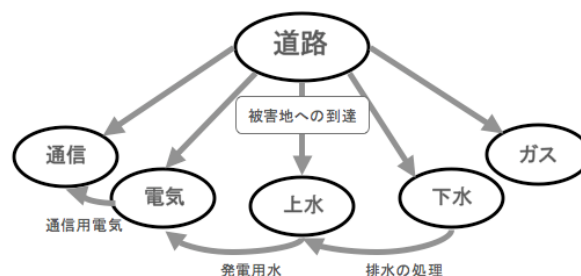


図1: ライフライン間の機能における関連性

道路は復旧時の移動に関する重要な要因となるため、全てのライフラインの復旧に大きな影響を及ぼす。よって、各ライフラインの復旧の前にそこに隣接した道路の復旧が必要となる。また、通信には電気が使用されること、電気の発電には水力が

使われることから、図 1 に示すように各ライフラインの相互連関を定義した。また、とくに水道使用の際には上水道と下水道、双方のそれぞれの復旧が不可欠となる。

3. 災害復旧問題のモデル化

本研究では、道路・電気・ガス・上水道・下水道を複数持つ都市を想定し、各ライフラインはそれぞれが道路で結ばれているとする。また、各道路は (1) 通行可能状態、(2) 通行可能だが復旧が必要な状態、(3) 通行不可能な状態、以上の三種類のいずれかの状態であるとする。災害都市のモデル化例を図 2 に示す。

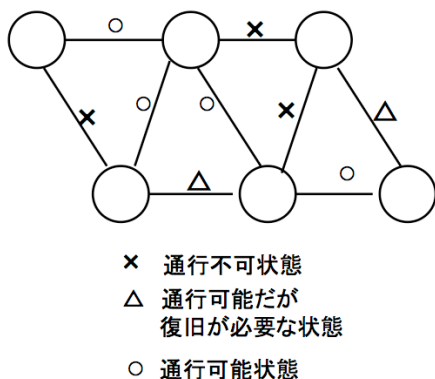


図 2: 災害都市モデルの例

4. 災害復旧スケジュールの作成

災害復旧スケジュールの作成においては、ライフライン網における複数の制約条件の下、組み合わせを考慮し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な遺伝的アルゴリズムを利用し、スケジュール作成を行う。

4.1 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 3 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。各行列の要素は被害地番号を表す。例えば、 a_{11} は復旧班 1 が被害地 a_{11} を 1 番目に復旧を行うということを表す。

4.2 JSP との相違点

スケジュール作成における代表的な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 [1]。JSP は、複数の仕事を複数の機械で処理する際に、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

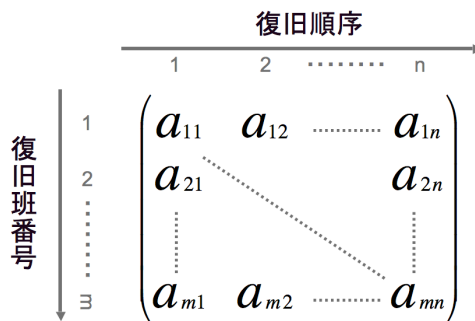


図 3: 遺伝子モデル

度に複数の仕事を行うことができません。また、同じ仕事は同一時間内に割り当てることはできないという制約を持つ (図 4 参照)。一方、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 (図 5 参照)。以上により、災害復旧スケジューリング問題は通常の JSP のモデルとしてを解くことはできず、JSP を拡張したモデルの構築が必要となる。

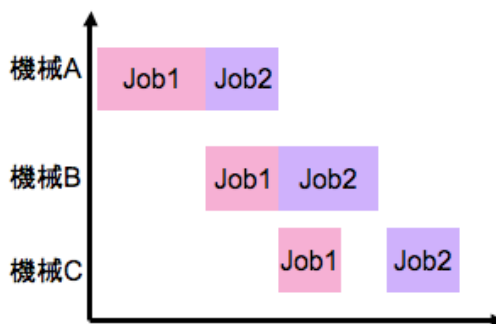


図 4: ジョブショップスケジューリング問題の例

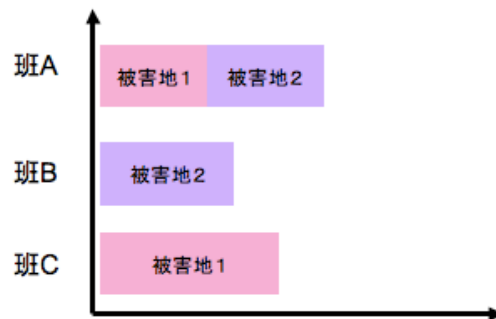


図 5: 災害復旧問題の例

4.3 交叉と突然変異

図 3 に示した遺伝子モデルにおいて、本研究では、あらかじめ用意された被害地に対して復旧を行う。そのため、限られた遺伝子の中での並べ替えを考えなければならない。通常の方法や突然変異方法を適用すると、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。

そこで、交叉、突然変異には本研究で採用する遺伝子モデルに即した方法の検討が必要になる。交叉については、各ライフラインごとに一樣順序交叉を行うとする。また、突然変異については各行ごとにランダムに選んだ2つの遺伝子について行うこととする。

4.4 制約条件

ここでは、2.3項で述べた復旧人員の相互関係を制約条件として設定する。水道の復旧については、通常、同一の工事会社が復旧を担当することが多い。そのため、同一の復旧班が上水道・下水道両方の復旧が可能であるとする。その他のライフラインについては、各専門の工事会社がそれぞれ復旧を行うとする。

4.5 復旧の評価

一般に、復旧計画問題における代表的な目的関数として累積非復旧度がある。図6のように縦軸に復旧率、横軸に復旧日数を取り、 t 日までの復旧率の総和を累積非復旧度として算出する。これを全体から引いたものを累積非復旧度として用いる。

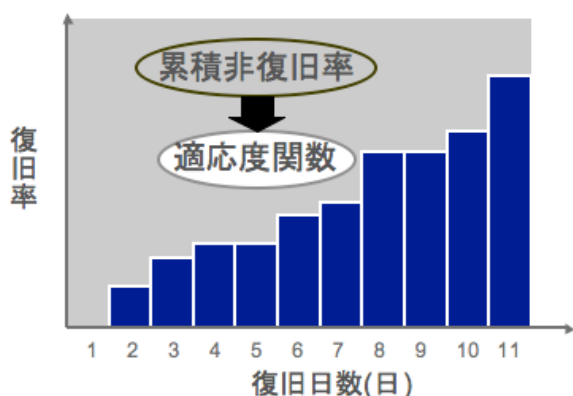


図6: ライフライン間の機能の関連性

本研究では各ライフラインごとに杉本らの研究 [4] 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。

4.5.1 各ライフラインの復旧率

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。

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

通信の復旧率を $R_{d_0}(t)$ 、電気の復旧率を $R_{d_1}(t)$ 、上水の復旧率を $R_{d_2}(t)$ 、下水の復旧率を $R_{d_3}(t)$ 、ガスの復旧率を $R_{d_4}(t)$ 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。

4.5.2 累積非復旧率

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 TR を以下のように表す。

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

5. 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の検討を行った。

モデル化に伴い、出力には復旧班の配置、復旧の順序、復旧の日数など複数の情報が必要となった。また、複数のライフラインの相互関連を定義し、同時に復旧計画を作成する方法を提案した。そのため、遺伝的アルゴリズムの遺伝子表現を二次元行列で表現を行った。また、本研究で取り扱った災害モデルに適する適応度関数を定義し、それを用いて複数のライフラインの累積非復旧度を表現した。

スケジュール作成においては、遺伝的アルゴリズムを用いたが、遺伝的アルゴリズムは大域的探索に有効とされている反面、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の局所探索手法を組み合わせるにより、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] J. Adams, E. Balas and D. Zawack, The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling, Management Science 34, pp.391-401, 1988.
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 杉本博之, 片桐章憲, 田村亨, 鹿 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
- [5] 森本孝紀, 徳丸正孝, 村中徳明, 今西茂, “災害道路復旧計画問題の一解法”, 情報処理学会 研究報告, IPSJ SIG Notes, p45-48, 2005