

IV-50

途絶発生時に代替ルートを利用可能な道路網の構成手法

山口大学 正員 南 正昭

1. はじめに

本研究は都市内や広域圏の防災力を高めることを目的とし、道路が途絶したときに代替ルートが存在するように、道路網をあらかじめネットワークとして構成する手法について考察したものである。

この問題を、代替ルートの整備水準を設計条件としてあらかじめ与え、それを満たしかつ総投資を最小化するネットワーク構成問題として定式化し、GA (genetic algorithm) を用いた実用的な解法の開発を行っている。著者は既に同様の問題に対し、ヒューリスティックな解法について検討を行ってきた。¹⁾しかし、この方法では現実の大規模なネットワークへの適用が難しいという解法上の課題を残していた。GAの適用はこの課題の克服を目標としている。本稿は、開発している計算手法の現段階における成果である。

2. 問題設定と定式化

2. 1 本研究における代替ルートのモデル化

対象とする代替ルートを、道路網上において以下の仮定に基づいて設定する。

道路網 (G) を、都市ノード集合 (U) を含むノード集合 (V) とリンク集合 (E) で表現する ($G=(V,E)$, $V \supset U$)。2 ノード (A, B) 間が連結で経路が存在するとき、その経路集合は $\{P | P(A,B), U \ni A, B\}$ で表される。

ここで経路集合 P の任意の経路を、便宜的に基準ルート P_0 とよぶ。

本稿では、基準ルート P_0 の代替ルート P_a が満たす条件として以下の2点を仮定した。

I) 基準ルートの1箇所の道路リンクに途絶が生じる。

$$\{P_a | P_a \in P(A,B), P_0 \neq P_a, E(P_a) \not\subset Li(P_0)\} \quad \text{式1}$$

ここで $E(P_a)$ は、経路 P_a の構成リンク集合、 $Li(P_a)$ は経路 P_a の i 番目構成リンクを表す。

II) 代替ルートの所要時間は、基準ルートの m 倍以下である。

$$T(P_a) < mT(P_0) \quad \text{式2}$$

ここで、 $T(P_a)$ は経路 P_a の所要時間

上の条件を満たす経路は、複数存在し得る。そこで、

次のような経路を考察の対象として設定した。

①基準ルート：2 ノード間最短経路

②1 番目代替ルート：式1と式2を満たす最短経路

③2～ $k_{\max}$ 番目代替ルート：式1と式2を満たし ($k-1$) 番目代替ルートと、基準ルート以外で重複区間をもたない最短経路

2. 2 途絶発生時に代替ルートを利用可能な道路網の構成問題

道路を多経路化することと、道路建設費用とは通常トレードオフの関係にあると考えられる。

そこで本問題は、事前に必要と考え設定した代替ルートの整備水準を満たし、かつ総コスト最小となるネットワークを構成する問題として以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & Z = \sum \sum C_{ij} X_{ij} & \text{式3} \\ \text{subj. to} \quad & R_{i'j'} > R_{i'j'} \\ & SRL_{i'j'} > SRL_{i'j'} \\ & C_{ij} \geq 0 \\ & (i, j \in V, i', j' \in U) \end{aligned}$$

where

C_{ij} ; ij 間リンクコスト

$X_{ij} = 1$; ij 間にリンクが存在するとき

0 ; ij 間にリンクが存在しないとき

$R_{i'j'}$; $i'j'$ 間代替ルート整備水準の事前設定値

$R_{i'j'}$; $i'j'$ 間代替ルート整備水準の実現値

$SRL_{i'j'}$; $i'j'$ 間最短経路所要時間の事前設定値

$SRL_{i'j'}$; $i'j'$ 間最短経路所要時間の実現値

代替ルートの整備水準は、次式で与える。

$$R_{Li} = \min R_{Li} \quad (i=1, \dots, i_{\max}) \quad \text{式4}$$

ここで $R_{Li} = T(P_0)/T_{si}$

$$1/T_{si} = \sum (1/T(P_a(i,k))) \quad (k=0, \dots, k_{\max})$$

$T(P_0)$; 基準ルートの所要時間

$T(P_a(i,k))$; 基準ルートの i 番目構成リンク

途絶時の k 番目代替ルートの所要時間

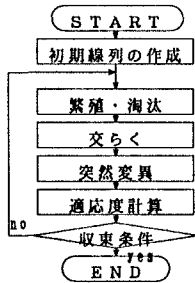


図1 計算アルゴリズムの概要

3. 遺伝的アルゴリズム（GA）を用いた解法

式3は、費用最小化を目的関数とする組み合わせ最適化問題をなしている。

以下に解法の手順について説明を加える。図1にその概要を示した。なお以下のc) d)については田村ら²⁾を参考に行っている。

(a) 入力データ

データとしてノード間時間距離行列、建設コスト行列、代替ルート整備水準の事前設定値行列、考慮する代替ルートの経路数（ $kmax$ ）、代替ルート所要時間比（ m ）等の目的関数の計算に用いる値と最大世代数、集団サイズ（ N ）等のGAに必要な値を入力する。

(b) 線列のコーディング

各ノード間の接続の有無を表す（1, 0）情報を設計変数とした。

(c) 目的関数・適応関数の設定

目的関数は、式3に定義される総コスト最小化である。これをスケールし適応度を求めた。

(d) 繁殖・淘汰

適応度が平均値より高い線列を優先し、残りはモンテカルロ・モデルを用いて交配プールを作成した。

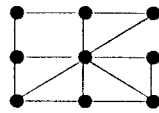
(e) 交らく

交らく法には、One Point Crossoverを用いた。制約条件を満たすときのみ交らくを実行した。親線列の構成するネットワークの一部を交換することにより、親の形質を子に受け継ぐことを意図している。交らく確率は、事前に与える。

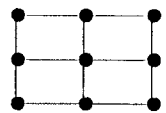
(f) 突然変異

1つの線列をランダムに選定し、リンクの付加あるいは削除をランダムに行なう。制約条件を満たすときのみ突然変異を実行した。これにより探索空間が、限定されることを避けた。突然変異確率は、事前に与える。

$kmax=1$ $m=4$ $N=15$



<初期線列の図化例>



<探索解>

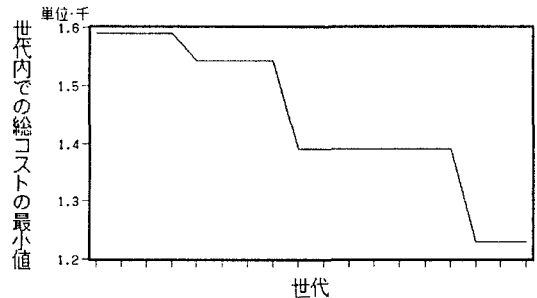


図2 計算例

(g) 収束条件

収束条件は、以下の2つとした。

- ①世代数が事前に設定した最大世代数に達した場合。
- ②各線列の適応関数が一定値に収束した場合。

4. 計算例

現開発段階におけるGAの動作を例示することを目的に、9ノードのモデルネットワークでの計算例を図2に示した。各ノード間において、基準ルート途絶時に代替ルートが最低でも1経路利用できること、またその代替ルートの所要時間は、最大でも基準ルートの所要時間の4倍以内であることを設計条件として一律に与えた。また本計算例では、最短経路の所要時間に関する制約を与えていない。左上は初期線列から作成されるネットワークの例である。N個の内の1つを図化した。右上は26世代後に探索された解である。下段に世代数の増加に伴い、ネットワーク総コストの世代内での最小値が減少する様子を表した。

適用規模を拡大し、収束性の検討やアルゴリズムの改良を行うことは今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 南正昭：災害時に代替性をもつ道路網の構成手法、土木計画学研究講演集 No16(1)、pp387-394、1993
- 2) 田村亨、杉本博之、上前孝之：遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用、土木学会論文集 No482、IV-22、pp37-46、1994