

都市間時間距離に基づく被災道路の最適復旧モデル

The Optimize Restoration Model Based on the Time Distance Matrix

有村幹治*・上西和弘**・田村亨***・杉本博之****・榎谷有三*****

by Mikiharu ARIMURA, Kazuhiro JOUNISI, Tohru TAMURA, Hiroyuki SUGIMOTO, Yuzo MASUYA

1. はじめに

本研究の背景として地方部の道路整備の現状がある。地方部では、人口5～10万人ほどの地方中心都市に、周辺地域が産業・医療・教育等で依存する場合が多い。そのような地域社会での災害による道路寸断は、地域社会の生活維持に多大な影響をもたらす。一般に、交通量の少ない道路への災害対策投資は、交通量の多い都市部の道路と比べ、優先されにくい。従って、地方部では、災害後の復旧過程をとおり早期に都市間連結が図られる、回復性を持った道路ネットワークを構築することが重要となる。このため、地方部の道路網において新しい路線を計画する場合、災害時でも連結性能が保持されるリンク設定が重要となる。

本研究は、地震等による広域的な道路ネットワークの寸断を想定し、人員・機材等の制約条件下での復旧過程に、都市間の連結性能を定量化する近接性指標¹⁾を用い、都市間の時間距離を指標とした復旧過程の定量化を行う。平常時の都市間の近接性に制約条件下で早急に回復する被災道路の復旧順序をGAを用い探索するものである。近接性を用いることで、OD的効率の尺度ではなく、公共サービスとしての地方国道の在り方として、他都市との連結、回復性のある道路ネットワークの在り方、が考察できるものとなる。また、復旧過程の最適化手法に、あらかじめ切断される可能性があると思われるリンクや、代替路線の候補となるルートを入力することにより、より多くのシナリオ下での復旧過程を把握する事ができる。これは、リスクマネジメントの見地から、復旧時に優先されるリンクや、

キーワード：防災計画、交通網計画、交通管理

*, ** 学生員 室蘭工業大学大学院 建設システム工学専攻

(〒050 室蘭市水元町27-1 Tel0143-47-3419 FAX 0143-47-3411)

*** 正会員 室蘭工業大学

(室蘭市水元町27-1)

**** 正会員 北海学園大学

(札幌市中央区南26条西1丁目1-1)

***** 正会員 専修大学北海道短期大学

(美唄市光珠内町)

回復力のある道路ネットワーク形成のための代替・補欠路線選定上も、意義があるといえる。

2. 最適復旧スケジューリングモデルのながれ

本研究で構築したGAによる最適復旧スケジューリングモデルのフローチャートを図-1に示す。GAに組み込む復旧スケジューリングモデルとその評価について重要になるのは、①GAで生成される数列からの復旧スケジューリングの構成、②近接性指標の算出、③目的関数の算出である。また本研究では、遺伝子線列の構成上、淘汰法を工夫している。以上について次章より説明する。

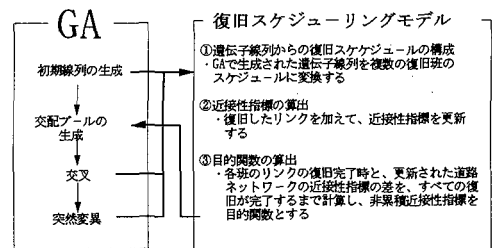


図-1 復旧スケジューリングモデル

3. 遺伝子線列によるスケジューリング構成

この項では、GA内で生成される数列（遺伝子線列）に、いかに意味を持たせ（線列の設計）、復旧スケジューリングに変換するかを、図-2を用いて説明する。

①線列長

線列の長さは、復旧リンク数の2倍の長さとする。

②設計変数（線列中の遺伝子）

設計変数は、「復旧班の番号」及び「工事の優先順番」を示すものが用意される。

③設計変数の配置

線列の前半部は復旧班の番号を示す設計変数が、後半部は工事順番を示す設計変数が配置される。ここで、前半部の線列の番地は順に復旧リンクに対応している。どの番地にも、1から復旧班数分の遺伝子が自由に入

れる。後半部は1からリンク数分の遺伝子が重なることなく配置される。線列の前半と後半の遺伝子の持つ情報により、各班の復旧するリンクと順番（遺伝子の小さい順に）が得られる。

この線列構成は配分型と巡回セールスマン型の2つの線列構成の型が1つの線列の中に同時にあることになる。

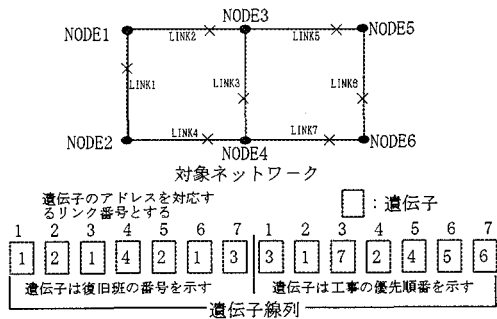


図-2 線列設計

図-2は復旧リンク数が7、復旧班が4班の設定で構成した遺伝子線列である。この線列より、復旧班1班の場合は、リンク1, 6, 3の順に復旧するスケジュールが得られる。図-3は、図-2の線列を復旧スケジュールに変換したものである。

班	復旧するリンクと順序
1	1 6 3
2	2 5
3	7
4	4

図-3 スケジュール構成

以上の線列の交叉法であるが、線列前半部は従来の一点交叉、二点交叉、マスク法を採用できるが、後半部は典型的な巡回セールスマン型の交叉法（同じ設計変数が重ならない交叉法）を採用する必要がある。しかし、これらの交叉を同時に行うと生成されたスキーマが破壊される可能性が強い。本研究では、交叉は前半部が後半部で一回行われるものとし、探索開始時は線列前半部の交叉確率を上げ、ある程度収束するに従って、後半部の交叉確率を上げるものとした。これは、すべてのリンクの復旧完了時間が、目的関数の算定に大きな関係があるからで、線列前半部が復旧リンクの復旧班への振り分け、後半部が復旧順番の決定、という線列の仕様による以上、振り分けにより完了時間は決定されるからである。割り振りにより計算初期の遺

伝子線列郡を良好な解空間に導くものである。

4、近接性指標の算出

ここで述べる近接性指標は、対象地域全体および各都市間の交流の機会、アクセシビリティを定量化するものである。これにより、道路の交通途絶の回復に伴って、各都市間の時間距離がどの程度回復したかを把握することができる。この章では（1）、（2）で具体的に、近接性指標算定に必要な累積頻度分布曲線の作成、近接性指標の算定法について述べる。

（1）累積頻度分布曲線の作成

累積頻度分布曲線は、ある時間内に到達可能な活動の機会の和（累積頻度あるいは比率）を求めることによって作成する。横軸（x軸）にアクセスビリティを求める都市iから他の都市jへの対象地域内の時間距離、縦軸（y軸）には都市iへの、ある時間距離以内（限界時間）に到達可能な機会の累積比率を用いる。以上をグラフ化すると、以下ようになる。

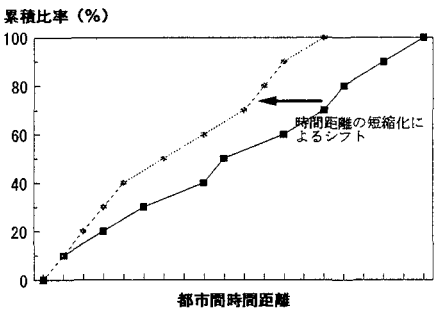


図-4 累積頻度分布曲線

図-4からも理解できるように道路網の整備による利便性が増大（時間距離の短縮）すると、累積頻度分布曲線は全体的に左にシフトする。反対に、交通途絶による利便性が減少（時間距離の増大）すると、累積頻度分布曲線は全体的に右シフトする。

（2）近接性指標の算定

アクセシビリティ算定のためのひとつの指標である累積機会指標（Cumulative-opportunity Measures）の考え方を基礎に作成されている累積頻度分布曲線を用いて算定できる指標を考察した。図-4を用いて説明すると、累積頻度分布曲線、横軸の時間軸及びある設定された時間距離（T）の縦軸で囲まれた面積を求めて指標を算定する方法である。

この指標を近接性指標という。そうすると、道路網

全体の近接性指標の値ANは、累積頻度分布曲線A(x)を用いて次式で算定できる。

$$AN = \int_0^T A(X) dx$$

指標ANを算定するとき、曲線A(X)を定式化することは一般に困難であることから、実際には台形公式等を用いて求められる。

本研究では、以上により算出される近接性指標を挙動変数的に用いることによってGAで求められた復旧スケジュールを評価する。これは、GAで構築された復旧スケジュールに基づき、各リンクが復旧される度に各ノード間の最短時間距離を求め、そのつど回復したネットワークの連結性能の定量化（近接性指標の計算）を行う。そしてスケジュール全体での連結性能の向上の過程を、GAの目的関数として評価する。

5 目的関数

目的関数は、全ての班の復旧開始から完了まで、各リンクが復旧することによる、近接性の回復を評価する。本研究では累積頻度分布曲線の左上部の囲まれた面積（図-5左）を非近接性指標とする。ここで、災害時の非近接性指標と、時間tでの非近接性指標の差は、時間tでの道路ネットワークの利便性の回復を示していることから、これを回復近接性指標とする。

回復近接性指標
＝災害時非近接性指標－時間tでの非近接性指標
目的関数は、復旧スケジュールに沿って、リンクが復旧されるとともに増加する回復近接性指標を縦軸に、復旧時間を横軸にとった時に得られる直線の左上部の面積（図-5右）とする。

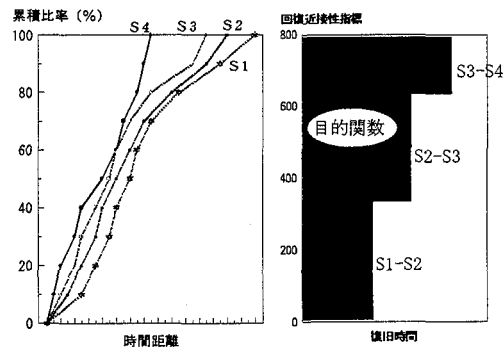


図-5 累積頻度分布曲線と目的関数の対応

目的関数を以下に示す。

$$OBJ = \sum_{i=1}^K ((S_i - S_{i+1})) * time_i$$

ここで

- S_i : 非近接性指標
- time_i : リンク i の復旧完了時間
- K : 総リンク数-1

以上の目的関数をGAにより最小化することはつまり、累積頻度分布曲線の左へのシフトの仕方を評価するものであり、道路ネットワークの持つ時間距離の早期の回復を期待できる復旧過程を得ることである。

5、ケーススタディ

ケーススタディとして、北海道後志管内の国道ネットワークを用い、計算を行う。所要のデータとしては、復旧班数を4班とし、最大世代数は50、人口サイズは20とした。図-6に対象ネットワーク、図-7にモンテカルロシミュレーションによるスケジュール、図-8にGAによるスケジュールを示す。

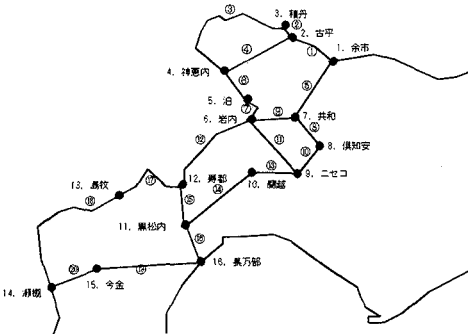


図-6 対象ネットワーク（北海道後志管内）

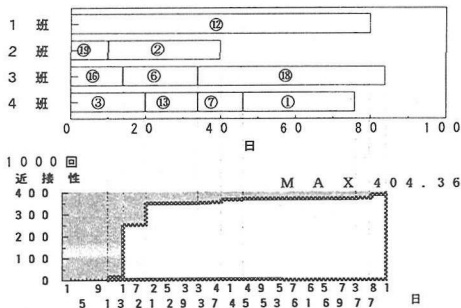
表-1 各都市間の時間距離

リンク	通常時間距離	災害時間距離	連絡状況
1	23	46	片側交互通行
2	14	999	寸断
3	57	999	寸断
4	48	48	
5	41	41	
6	14	29	片側交互通行
7	16	32	片側交互通行
8	23	23	
9	11	11	
10	19	19	
11	42	42	
12	54	999	寸断
13	24	48	片側交互通行
14	47	47	
15	19	19	
16	24	999	寸断
17	16	16	
18	68	999	寸断
19	60	999	寸断
20	24	24	寸断

表-2 所要復旧日数

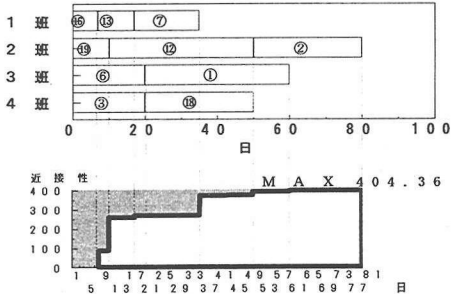
復旧リンク	1班	2班	3班	4班
1	88	40	40	30
2	60	30	40	46
3	50	50	40	20
6	40	25	20	16
7	18	15	14	12
1 2	80	40	50	30
1 3	10	20	14	14
1 6	7	14	14	14
1 8	78	40	50	30
1 9	7	10	14	14

単位：日



目的関数値=8332.331

図-7 復旧スケジュール（モンテカルロ法）



目的関数値=7658.683

図-8 復旧スケジュール（GA）

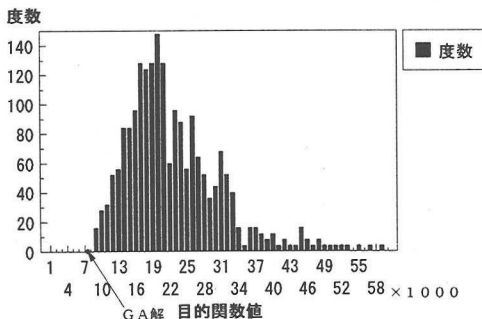


図-9 MC法による目的関数の度数分布

道路ネットワークの回復過程を比較すると、GAにより早い時間での近接性の回復が見込めるスケジュールが得られていることがわかる。

6. 結論

本研究では、復旧スケジュール最適化にGAを適用し、目的関数に近接性指標を用いた最適化を行った。操作変数は、①復旧班数②復旧班の各リンクの復旧完了時間③ネットワーク形態である。また、ケーススタディとして、北海道後志の道路ネットワークを用い、モンテカルロシミュレーションとの比較を行った。結果としてGAを適用することにより、復旧早期での連結性の回復を期待できるスケジューリングが可能となった。

最適スケジュールモデルが得られることにより、災害後だけではなく、災害事前対策としての道路ネットワークの回復性についても①代替路線②復旧班数③復旧班の能力等の操作変数への、モデルを通じたフィードバックにより、路線選択、班構成の判断のための情報が得られるといえる。

本研究のこれからの課題としては、代替路線の最適配置と予算制約下でのノード間のネットワーク信頼性からみた土木構造物の最適配置にGA適用を行うことである。

<参考文献>

- 1) 梶谷有三・田村亨・斉藤和夫（1995年8月）：
「道路網を対象とした時間距離行列の視覚化」、
土木計画学研究・論文集No12
- 2) 川島一彦・杉田秀樹（1993年2月）：「広域震災を
受けた道路ネットワークの復旧過程予測システムの
開発」、オペレーションズリサーチ
- 3) 山田善一・家村浩和・野田茂・伊津野和行（1986年
4月）：「道路交通網の最適な震後復旧過程の評価」、
土木学会論文集第368号
- 4) 能島暢呂・亀田弘行（1992年7月）：「幹線支線の
階層性を考慮したライフライン系の最適震後アルゴ
リズム」、土木学会論文集第400号
- 5) 長尾・村上・小山田・田村・斉藤・梶谷・難波江
本田（1996年）：「地方部の交通途絶が地域に与え
る影響」、土木学会北海道支部 論文報告集、
pp412-417