

IV-5

都市道路の震災復旧支援システムの構築

室蘭工業大学	学生員	上西和弘
室蘭工業大学	学生員	有村幹治
室蘭工業大学	正 員	田村 亨
北海学園大学	正 員	杉本博之
専修大学短大	正 員	榎谷有三

1 はじめに

日本は地震が多い国であり、その被害は最近の北海道南西沖地震や阪神大震災のような大規模なものになると、水道・ガス・電気等のライフライン系が遮断され、かつ交通ネットワークが分断された状況下で被災住民の避難・救助、救援・復旧がなされる。

大規模災害が起きた時の復旧過程について考えてみると、災害復旧の目的は、対象とする道路ネットワークの規模（階層性）や地形的な条件、また時間的スケールによって変化する。

時間的スケールから見ると、災害発生時から現場が落ち着くまでの数時間から数週間の時間スケールでは必要な交通量などの情報を得ることは難しく、また判断に急を要する場面も多い。このような災害初期では、固定した復旧スケジュールとして問題をとらえることはできない。よって災害初期段階では、流動する現場の状況に常に対応することができる復旧支援システムを構築する。これに対してある程度時間が過ぎ、復旧が始まる時点では、他のライフラインとのかねあいや資材人員の制限により道路の復旧順番は異なるため、復旧スケジュールを予測する問題としてとらえることができる。よって災害中～後期段階では、他の復旧作業に効果的な復旧スケジュールリング支援システムを構築する。

本研究は、災害初期段階と中～後期段階では得られる情報が異なることを踏まえ、復旧の時間推移に応じて現状追従型システムと復旧予測システムに分け、震災復旧問題と定式化して支援モデルの開発を行う。できるだけ早くかつ有効な復旧策を導かなくてはならないことからGAを用いることに意味があ

ると考え、それぞれのシステムに適用する。第2章で最適連結問題、第3章では最適復旧スケジュール問題として順に説明する。

2 最適連結問題

災害発生初期段階の道路復旧は、救助・消火車両の活動が及ばない地域を無くし、避難路を確保することが優先される。この時点の問題は、災害発生時の混乱状態での情報通信網の確保が難しく、現場の状態を把握するのが難しいことと、現場の状況が逐一変化し、その度に迅速な判断が求められることが挙げられる。

本研究では、初期復旧時点において、孤立地区を無くするために、各被災リンクでの分断箇所の情報が航空機、電子野帳等より得られるものとして、最も少ない修理箇所を選択してノードの連結をはかるシステムを構築した。連結パターンを得ることで、各復旧班への指示や、現場復旧班の復旧リンクの選択判断を支援する。このシステムは得られた情報を元に逐一、初期線列に代入することで更新ができるものとし、常時与えられる情報から、現況での最適な連結パターンを示すものとした。以下にGAに用いた線列構成、目的関数を説明し、計算例を示す。

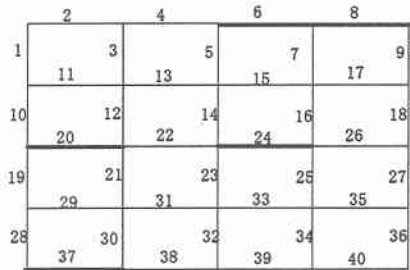
(1) 線列構成

線列には先頭より順にリンク番号を対応させる。連結するリンクを1、そうでないものを0とする。いまネットワークを構成するノード数が25、リンク数が40本とする。ここで災害後、リンク番号6, 8, 20, 24, 37番以外被災し、分断したとする。すると初期設定として 線列構成は以下ようになる。

Study on the Support Systems for Post-Earthquake Restroration of Urban Road

by Kazuhiro JOHNISI, Mikiharu ARIMURA, Tohru TAMURA, Hiroyuki SUGIMOTO and Yuzou MASUYA

戦列（リンク番号） 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11・・・
 遺伝子情報 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0・・・



図－１ 初期ネットワーク

この線列が表す初期ネットワークは図－１のようになる。この線列をもとに世代交代の中で進化させ、最も修理箇所が少なく、かつ全てのノードが連結するネットワークを探索する。また随時情報が得られ次第、この初期線列を変更することで現状に対応することができる。

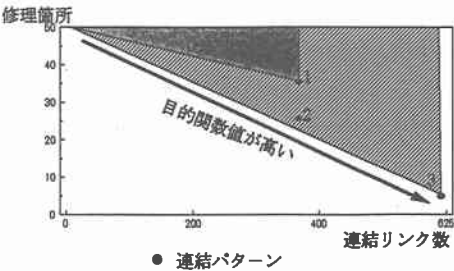
（２）目的関数の計算

目的関数はできるだけリンクが結合していて、かつ修理箇所が少ないリンクを評価するものでなくてはならない。本研究ではこのことを踏まえて①式の目的関数を最大化することを考えた。目的関数は図－２の上部の三角形の面積部分であり、今、連結パターンが三つ（図－２中１、２、３）あるとすると、GA内では斜線部の連結パターン３（図－２中・３）の目的関数の値が１番大きく評価される。

①式

$$\text{目的関数} = \frac{(A \times \sum_{i=1}^K ILINK_i) \times (B \times (\text{MAXDAMAGE} - \sum_{i=1}^K \text{DAMAGE}_i))}{2}$$

A・B 重み
 ILINK そのリンクと連結しているリンク数
 $\sum \text{DAMAGE}$ 連結させたネットワークの総修理箇所
 MAXDAMAGE 対象とするネットワークの総被害箇所
 K 総リンク数



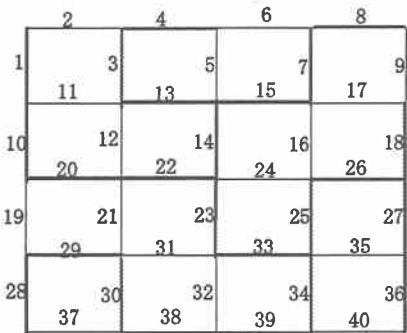
図－２ 目的関数

（３）ケーススタディ

本研究では想定ネットワークとして図－１に挙げる５×５のノードで構成されるネットワークの各リンクにランダムに修理箇所数を与えたもので計算を行った。図－３のようにネットワークと修理箇所数を与えたところ、図－４の計算結果のとおり全ノードを連結したうえ修理箇所数もかなり少ない結果が計算された。

リンク番号	修理箇所	リンク番号	修理箇所
1	4	21	6
2	6	22	3
3	0	23	3
4	1	24	4
5	8	25	0
6	6	26	1
7	1	27	0
8	3	28	1
9	4	29	3
10	2	30	0
11	8	31	4
12	4	32	2
13	3	33	1
14	0	34	0
15	1	35	7
16	4	36	2
17	7	37	7
18	0	38	3
19	9	39	0
20	0	40	4

図－３ 修理箇所数



図－４ 最適連結形と収束状況

３ 最適復旧スケジュール問題

災害発生時における最適連結の過程を引き継ぐ形で行うため、全てのノードが連結されておりこの時点では人命救助や二次災害等も迅速に対処できるものとし、避難者にとって日常生活の不便さはあるものの被災状況は多少収まってきているものとする。

そこで避難者にとっての日常生活における不便さを解消させるにあたり、救援物資の輸送やライフラ

イン系の復旧を早く回復させるために、できるだけ効率よく交通ネットワークを復旧させることを目的としたシステムを構築した。以下にGAを用いた線列構成、目的関数を説明し、計算例を示す。

(1) 線列構成

線列には先頭より順にリンク番号を対応させる。線列上の数字により、リンクを復旧する班が決定されるものとする。復旧するリンクの順番は復旧班ごとに、復旧率と復旧時間で表す折れ線グラフの傾きの大きい順に並ぶものとする。これは、図-5のように復旧が終了する時間が等しいなら復旧時間が短く、なおかつ復旧率の高い順に復旧することが最も効率がよいと考えたためである。なお、復旧率、復旧時間については、後ほど説明する。

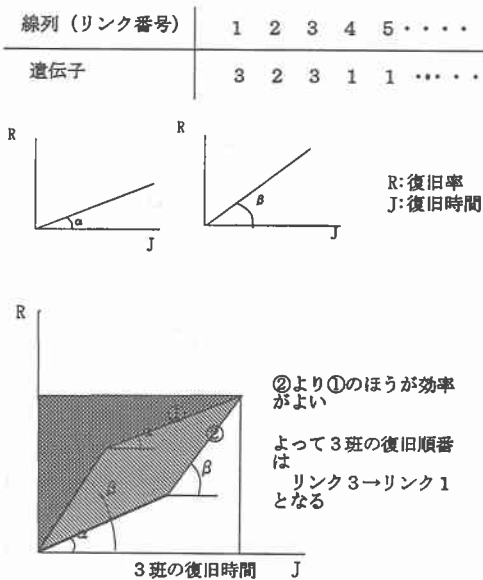


図-5 線列構成と対応する班と順番

(2) 目的関数

「効率のよい復旧」とは、復旧できるだけ早く交通マヒを解消するために復旧完了時間を短くする事、それから修理されたノードは順次通行可能になることから交通ネットワーク全体の道路復旧率を常時高くなるようにすることの2つと考え、以下のように目的関数を設定した。

a) 復旧完了時間

1つの復旧班に与えられたスケジュールを、始めてから終了するまでの時間を復旧時間とおく。各リンクには、ダメージ、整備時間、道路重要度がそれぞれ与えられているものとした時、復旧時間は次のように与えられる。

$$(\text{復旧時間}) = \Sigma (DM + SJ) / HN$$

ここで、DM ; 路線復旧時間 (日×人)

SJ ; 整備時間 (日×人)

HN ; 復旧班の能力 (人)

その中で最も長い復旧時間を持つ復旧班の復旧時間を復旧完了時間とする。

なお、道路重要度は、本来なら震災がおきた時に重要になると思われる路線から高い数値を付けてゆくが、ここでは変数として普段最も重要な幹線系を100(UNITE)として、全てのリンクに重みを付ける。

b) 道路復旧率

復旧途中での交通状況を、災害が起こる以前の交通状況と比較したもので次のように与えられる。

$$(\text{道路復旧率}) = \frac{(\text{復旧したリンクの道路重要度の和})}{(\text{全リンクの道路重要度の和})}$$

道路復旧率と時間の関係を図で表すと、図-6のようになり、時間が経つにつれて通行可能な道路が増えてゆき、そのつど復旧率が上がってゆく。

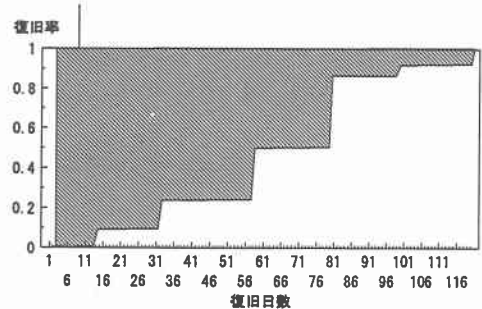


図-6 道路復旧率と復旧時間の関係

非復旧率と時間で表される面積 (図-6の斜線部分) が、小さくなればなるほど、復旧効率が良くなるとみなし、この面積を目的関数としている。

(3) ケーススタディ

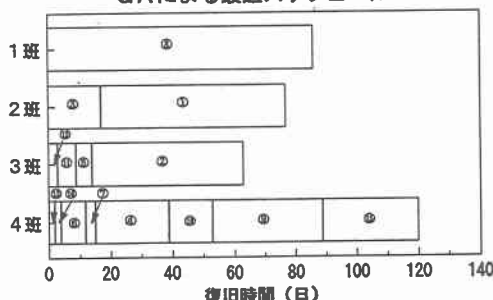
ケーススタディとして被災リンク数を15本、被災リンクデータを図-7のようにして計算した。また目的関数を最短時間での復旧とした場合との比較を行った。

リンク	路線復旧時間 (日×人)	整備時間 (日×人)	道路重要度 (UNITE)
1	45	1,150	30
2	100	2,300	80
3	80	250	55
4	150	3,300	85
5	70	140	32
6	210	900	100
7	0	350	20
8	150	700	15
9	0	5,300	80
10	0	2,030	45
11	120	165	75
12	50	50	50
13	55	150	60
14	0	205	30
15	40	4,550	90

1班:10人 2班:20人 3班:50人 4班:150人

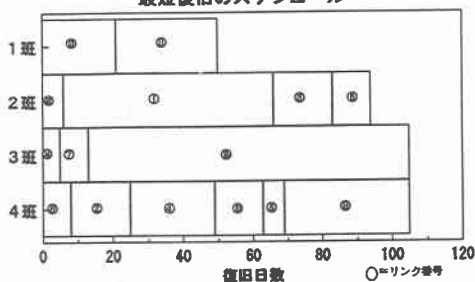
図-7 被災リンクデータ

GAによる最適スケジュール



目的関数値=42.749

最短復旧のスケジュール



復旧時間と復旧率の推移

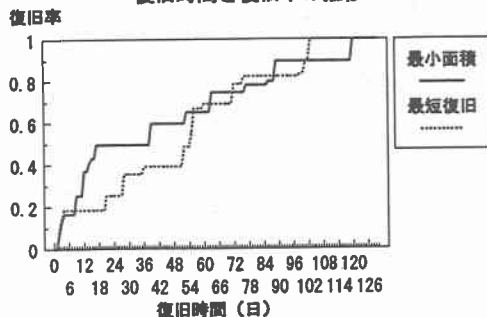


図-8 計算結果

計算結果から、目的関数の取り方によって、最初の18日までの復旧率に大きな差ができています。最小復旧で求めたスケジュールの方が最短復旧で求めたスケジュールよりも復旧率の立ち上がりがかなり早いことが解る。

4 まとめ

本研究は震災復旧過程にGAを適用したものであり、孤立地点の連結と全体ネットワークの復旧時に別々の目的関数を与えた。

災害初期は、流動する現場の状況に常に対応することができるシステムとしてGAの計算時間の速さに着目し、刻々と変化する現場の状況と常に対応させることができるシステムを構築した。また問題には最小スパニング・ツリーとなるが、従来のアルゴリズムとは違い、目的関数を工夫しGAを適用する事で、ネットワーク全体の連結形で評価することを可能とした。

復旧スケジュールが組める災害中期～後期は、他のライフラインとのかねあいや資材人員の制限により道路の普及順番は異なる。本研究では復旧率を用い復旧スケジュールとしてシステムを構築した。その結果、復旧率が早い段階で立ち上がり、その分避難民の受けられるサービスが多く、ライフライン系の修理や救援物資の輸送等も早く進むことが考えられ、目的関数を最小面積で求めることの意義が解る。

今後の課題として、災害初期、中～後期の復旧システムを一貫した交通ネットワークを用いた検討や、実際問題での適用が必要である。

<参考文献>

- 1) 川島一彦・杉田秀樹：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
；1993年2月 オペレーションズリサーチ
- 2) 山田善一・家村浩和・野田茂・伊津野和行：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 1986年4月
- 3) 能島暢呂・亀田弘行：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 1992年7月
- 4) 波平博人；アルゴリズム ；CQ出版社 1995年