

交通流シミュレーションによる災害時の道路復旧への支援

小西 秀和† 藤光 武志† 徳丸 正孝‡ 村中 徳明‡ 今西 茂†
†関西大学 工学部 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
‡関西大学 工学部 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号

E-mail †{konishi, fujimitsu, imanishi}@k3ki.densi.kansai-u.ac.jp, ‡{toku, muranaka}@ipcku.kansai-u.ac.jp

あらまし 本論文では、災害時における都市道路網の交通状態を評価するために、交通流シミュレーションを作成している。車両エージェントの運行状態を観測し、エージェントが災害時の交通にどれだけ満足しているかを評価値とし、最大勾配法、タブー探索法により、最適な復旧順序の探索を行っている。

キーワード 交通流シミュレーション タブー探索法 最大勾配法 災害

The Support of Road Restoration in Disasters by Traffic Simulation

Hidekazu KONISHI† Takeshi FUJIMITSU† Masataka TOKUMARU‡ Noriaki MURANAKA‡ Shigeru IMANISHI†

†Faculty of Engineering, Kansai University 3-3-35 Yamate, Suita-shi, Osaka, 504-8680 Japan

‡Faculty of Engineering, Kansai University 3-3-35 Yamate, Suita-shi, Osaka, 564-8680 Japan

E-mail †{konishi, fujimitsu, imanishi}@k3ki.densi.kansai-u.ac.jp, ‡{toku, muranaka}@ipcku.kansai-u.ac.jp

Abstract In this paper, we create the traffic simulation in order to evaluate the traffic state of the city road network at the time of a calamity. The operation state of a car-agent is observed, and it makes it an evaluation value which for the agent to have satisfied to traffic at the time of a calamity, and is searching for the optimal restoration order by the maximum slope method and the Taboo search.

Keyword Traffic simulation, Taboo search, the maximum slope method, Disaster

1. はじめに

近年、日本のいたるところで、地震活動が活発化し、阪神大震災のような大規模な地震が、私たちの身の回りで起こりうる可能性が非常に高くなっている。特に東海地方は地震がいつ発生してもおかしくない状態で、内閣府でも専門の調査会を開いて、防災ならびに、震災後の迅速な復旧活動について検討が行われている⁽¹⁾。特に、道路交通は地域社会における人や物資の輸送に多大な役割を担っている。しかし、阪神大震災のような大規模な災害が発生すると、都市の交通機能は著しく低下し、復旧活動を遅らせる大きな要因の一つとなる。そこで被害道路の復旧作業を効率よくかつ効果的に行う必要がある。

本研究では、災害時における都市の道路網を総合的に評価するために、交通流シミュレーションを実現し、各車両の運行を観測している。また、他の道路網の評価方法に著者らは、昨年度まで道路網の中で重要な2地点を設け、その2地点間の運行可能交通容量を算出する方法を採用していた[2]。しかし、この方法では、本来の交通網における評価として、十分な機能を発揮していないと考えられる。

次に、復旧順序の探索問題は、被害状況や道路の規模により復旧後の交通量の変化が著しく、また道路網の相乗効果や代替効果の影響も考えられる。そこで復旧順序の探索問題に組合せ最適化手法を用いる必要性がある。杉本らは、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms; GA) を用いて、復旧順序探索と作業班の最適化を行っている[3]。また一井らは単体遺伝的アルゴリズム (Single populated Genetic

Algorithms) を用いて、震害をうけたライフライン網の復旧問題の最適化を行っている。本研究では、最適化の簡便な近似解法として知られる最大勾配法と近傍探索の代表的な手法の一つであるタブー探索法を使用して復旧順序の探索を行い、道路復旧への支援の有効性を検討している。

2. 交通流シミュレーション

交通流シミュレータには、例 豊田中央研究所の NETSTREAM⁽⁶⁾ や、東京大学等の AVENUE⁽⁶⁾、SOUND⁽⁷⁾ などが知られている。しかし、これらは主に渋滞を解消する問題などに使われているため、短期的な処理能力を持ち、きわめてリアルタイム性が高いため、本研究のような、復旧完了するまで、かつ最適化を行う処理には適していない。そこで、本研究では独自のシミュレータを実現し、車両エージェントの動きを定量的に観測している。

2.1. ネットワークモデル

本研究において Fig.1 に示すネットワークモデルを使用している。丸印、および矢印は、それぞれ都市ノード、道路を表しており、任意の番号が振り分けられている。

2.2. 道路モデル

ネットワークモデルの道路設定を Fig.2 に示す。図中の四角い升目状のものをセルとし、セル上を車両エージェントが運行していくと考える。1セルの長さは5mと設定し、各道路のセル長は、道路の距離を1セルあたりの長さ(5m)で除算したものである。また、すべての道路は2車線で構成され、車線ごとに被害の割合を表す被害度を付加される。

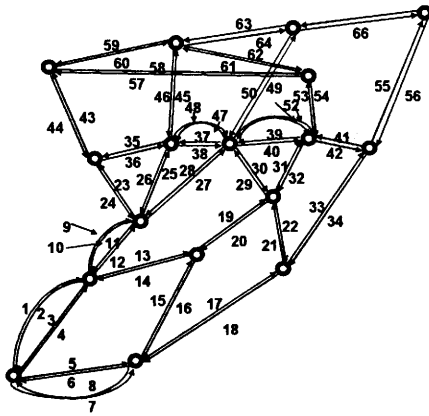


図1 ネットワークモデル
Fig.1 Road network model

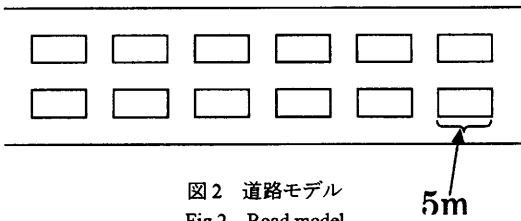


図2 道路モデル
Fig.2 Road model

2.3. 車モデル

私たちが町を運行する際、実に様々な種類の車両を目にする。制限速度を守らず運行する車両もあれば、トラックやバスなどの大型車は比較的ゆっくりとしたスピードで運行しているし、初心マークの車両も運転に慣れている車両からすれば、とんでもない行動をとりうる場合もある。次に車両エージェントの行動について説明していく。エージェントの行動パターンに大きく分けて2つのルールを設定する必要がある。

2.3.1. 移動ルール

本研究では、車両エージェントの移動パターンを4つに分類している。なお、移動ルールに関しては、エージェント自身が目視による確認で得られる情報だけで行動するものとしている。

- i) car 1 …常に左車線を運行し、1秒ごとに1セル分進む
- ii) car 2 …常に左車線を運行し、前方セルが空いていれば、3セル分まで進むことができる。
- iii) car 3 …普段の運行は standard car と同じであるが、運行中の車線の前方セルに late car が存在し、なおかつ違う車線の前後方セルが空いていれば、車線変更を行う。
- iv) car 4 …普段の運行は normal car と同じであるが、前方セルの状態により、4セル分まで進むことができる。

2.3.2. ルート選択

近年カーナビゲーションの増加に伴い、運転者自身で目的地までルートを決める必要性が減少しつつある。また、道路のいたるところで、他の道路状況・混雑状況がわかるような案内がなされており、インターネットでもそれらの情報を手にすることができる。本研究では、車両エージェントの目的地へのルート決定を、各出発地から各目的地へのルートをデータベース化しており、そのデータベースの中から①、②の処理を行い決定している。

① 通行可能かの判断

データベース内のルートに含まれる道路すべてに対して被害状態の有無の確認

② 時間距離の計算

ルート選択を行ううえで、最も早く目的地に到着することは必要不可欠である。そこで式(1)を用いて、時間距離を算出し、最小値のルートを移動ルートに決定する。

$$\min(\sum_i L_i \times C^1_i, \sum_j L_j \times C^2_j, \sum_k L_k \times C^3_k, \dots) \quad (1)$$

表1 混雑負荷率

Table.1 Congestion load factor

混雑状況	C
100%	2
80%	1.8
60%	1.6
40%	1.4
20%	1.2
0%	1

なお L_i, L_j, L_k はルート 1, 2, 3 における i, j, k 番目の道路の距離を表し、 C^1_i, C^2_j, C^3_k はそれぞれ L_i, L_j, L_k の道路に対応した混雑負荷率である。混雑状況に対する混雑負荷率は Table.1 に示す。

2.4. 都市モデル

2.3 で説明した車両エージェントは、都市ノードから出現し、目的地の都市ノードに向かい、消滅するよう設定している。また、都市において、信号交差点の機能を持たせ、一定間隔で車の交通整理を行っている。

2.5. 道路網の評価方法

都市の道路網を評価するうえで、より正確に道路網全体を評価することが必要である。また、阪神大震災では、地域によっては復旧作業の遅れが生じる問題点もあり、地域ごとの格差をなくした評価方法であることが望ましい。そこで、本研究では、まず、定常状態での車両エージェントの運行時間を観測し、各都市間の平均移動時間 ($T_{OD,k}$) をデータベー

スとして作成している。次に、被害状態での車両エージェント h の移動時間 (T'_{ODh}) を観測し、どれだけ現状の移動に満足しているかを表す総満足度 $S(t)$ を式 (2) により算出し、道路網の評価方法としている。また、 $S(t)$ は 1 日ごとに算出を行う。

$$\text{総満足度}(S) = \sum_h \frac{T_{ODh}}{T'_{ODh}} \quad \dots (2)$$

なお T_{ODh} 、 T'_{ODh} はそれぞれ同じ出発・目的地における定常状態・災害時の移動時間である。

3. 道路復旧支援システム

本章では、前章で述べた交通流シミュレーションをもとに道路復旧支援システムを構築している。以下システムの概要を記述する。

3.1. シミュレーションモデル

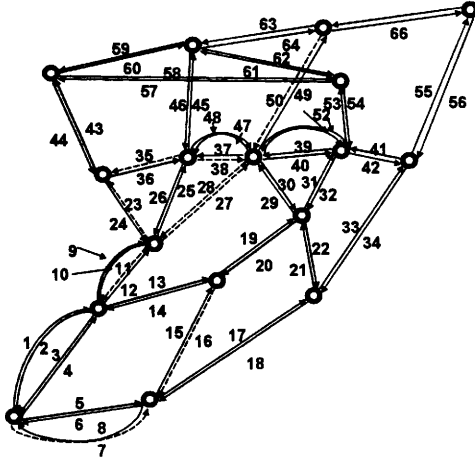


図3 シミュレーションモデル
Fig.3 Simulation model

道路復旧支援のシミュレーションモデルを図 3 に示す。図中の点線で描かれた矢印はそれぞれ被害道路を表している。被害道路には被害度を割り当てており、「1 人がその道路を復旧するのに要する日数」と定義している。

3.2. 最適化アルゴリズム

道路網の復旧問題では、復旧順序の最適化が必要不可欠である。しかし、本研究では GA のような複数の遺伝子を扱う最適化手法は、計算処理時間を必要とするため適していない。そこで比較的計算処理時間を必要としない、最大勾配法、タブー探索法を用いて最適化を行っている。

3.2.1. 最大勾配法

最適化の簡便な近似解法として最大勾配法がある。復旧過程で、復旧曲線の勾配にあたる復旧効率 $\gamma_j = h_j / t_j$ が大きいものを優先する基準である。本研究においては、 h_j が総満足度の増加分、 t_j が復旧作業日数にあたる。次に復旧すべき

被害道路 v_{next} は、式 (3) で表される。

$$v_{next} = \{v \mid \max \gamma_j\} \quad \dots (3)$$

つまり、被害道路 v の中から γ_j の高いものが選ばれる。この手続きでは 2 番目以降の作業効率を考慮できないが、計算処理時間の高速化が図られる。

3.2.2. タブー探索法

組合せ最適化問題を解く代表的な手法の 1 つにタブー探索法 (TS) があげられる。この手法は、局所的近傍探索を行い、近傍内の最良解に遷移していくことにより、最適解に到達していく。本研究では、被害道路の集合体を解として取り扱っている。また、遷移による近傍探索に転座方式と逆位方式を用いる。転座方式とは図 4 のように、任意に選ばれた二つの値を入れ替える。逆位方式とは図 5 のように、任意の 2 点間の値をすべて入れ替える。どちらの遷移方法が選択されるかの確率はそれぞれ 50% に設定している。

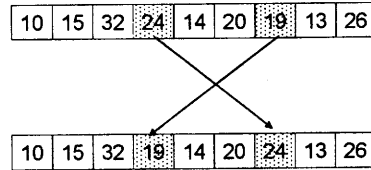


図 4 転座方式
Fig.4 Translocation

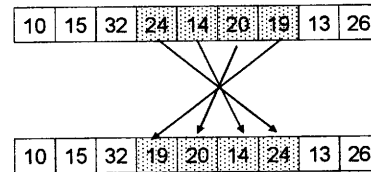


図 5 逆位方式
Fig.5 Inversion

タブー探索法の評価値は、復旧完了までの毎日の総満足度 $S(t)$ を総作業日数分加算し、総作業日数 T で除算したものと式 (4) に示す。

$$\text{評価値} = \frac{\sum_t S(t)}{T} \quad \dots (4)$$

3.3. 累積非復旧度

道路ネットワークの最適復旧問題において、代表的な目的関数として、累積非復旧度がある。これは図 6 に示すように、横軸を作業日数、縦軸を総満足度とした復旧曲線の上部の面積をさし、次 (5) で表される

$$R = \int_0^T [S(T) - S(t)] dt \quad \dots (5)$$

つまり、式 (5) で示される累積非復旧度が最小なほど復

旧効率が良いことになる。

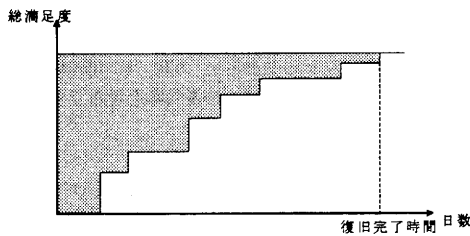


図6 累積非復旧度

Fig.6 Degree of accumulation un-restoring

3.4. 実験・検討

本研究では、(I) 最大勾配法、(II) タブー探索法、(III) 最大勾配法でもとめた復旧順序を初期解とした、タブー探索法の3通りの実験を行った。各種パラメータは総車両台数17000台、復旧作業人数60人、タブーリスト長20個、1回の遷移回数5回と設定した。図7に式(4)の評価値をもとに実験結果を示す。タブー探索法については10回のシミュレーションの平均値である。なお、最大勾配法は1度の処理だけだが、比較のため図中に表記している。

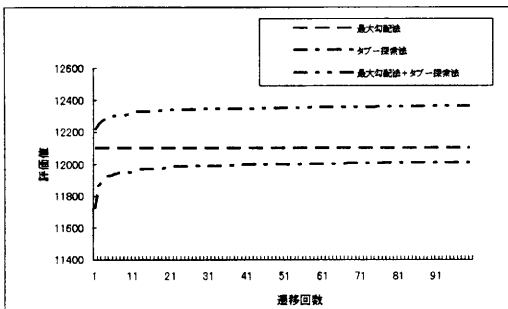


図7 シミュレーション結果

Fig.7 Simulation results

表2 累積非復旧度

Table.2 Degree of accumulation un-restoring

	累積非復旧度
最大勾配法	28,500
タブー探索法	27,900
最大勾配法+タブー探索法	27,800

また、(I)、(II)、(III)の最良解の累積非復旧度を表2に示す。また、最大勾配法の計算処理時間は1時間で、タブー探索法の処理時間が約2日要した。

図(7)より、タブー探索法を用いて最適化を行なって得られた解はあまり良い結果ではないことがわかる。表2より、最良解はタブー探索法のみと、最大勾配法+タブー探索法がほ

ぼ同じ値を示していることより、タブー探索法だけでは、評価値にばらつきが著しくなっている。これは計算処理時間がかかるため、遷移回数を制限してしまったため解がまだ収束していないと考えられる。また、最大勾配法で求めた解を初期解としたタブー探索法では、シミュレーション回数すべてにおいて、図7の評価値の最良値であった。この手法は解が安定しており、計算処理時間も2日で済み、非常に有用であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、災害時において道路が復旧するごとの道路網を定量的に評価するために、交通流シミュレータを用いて車両エージェントの移動時間の観測をもとに行なった。また、そこで得られた評価値を用いて、復旧順序探索の最適化を行なった。今後は、異なる道路網モデルに対しても実験を行い、本手法の有効性を示したい。さらに大規模なモデルに備えて、計算処理時間の軽減を行なうことが課題である。

謝辞

本研究の一部は、平成14年度および15年度関西大学学術フロンティアセンター研究費の交付を受けている。

参考文献

- (1) 東海地震専門調査会，“東海地震専門調査会報告”，(2003)
- (2) 小西秀和，森本孝紀，徳丸正孝，村中徳明，今西茂，“災害時におけるGAによる道路復旧支援システムⅡ”，平成14年電気関係学会関西支部連合大会，D-9，2002.
- (3) 杉本博之，田村亨，有村幹次，斎藤和夫，復旧班の協力を考慮した被災ネットワーク復旧モデルの開発”，土木学会論文集，No.625/IV-44，pp.135-148，1999.
- (4) 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/I-35，pp.245-256，1996.
- (5) 馬場美也子，北岡広宣，棚橋巖“GAを用いた経路最適化による広域交通流シミュレータNETSTREAMでの交通状況再現手法”情報処理学会研究報告，2001-ITS-7，pp.67-73，2001.
- (6) R. Horiguchi, M. Katakura, H. Akahane and M. Kuwahara: “A Development of a Traffic Simulator for Urban Road Networks: AVENUE”, Proceedings of Vehicle Navigation & Information Systems, Yokohama, pp.245-250, 1994.
- (7) 桑原雅夫，吉井稔雄，森田緯之，岡村寛明：“広域ネットワーク交通流シミュレーションモデルSOUNDの開発”，生産研究，Vol.48，No.10，pp.49-52，1996.