6.6 社会システム障害予見，救助計画立案技術（産業技術総合研究所）

6.6.1 研究の概要と目標

本テーマは，マルチエージェントシミュレーション技術を用いて，日常に潜む社会システム障害の予見，すなわち人為的要因を含む災害・事故の予見や，災害・事故被害の時系列推移の予測，災害時の救助計画の立案・実行のサポートを行うシステムの研究開発を行う．

具体的な目標として，救助計画立案システムすなわち万が一災害・事故が発生した場合に円滑な救助を実現するために，リアルタイム情報を併用したシミュレーションによる救助計画の立案ならびに救助実行のサポートを行うシステムを開発する．本システムの対象は，大震災などの天災に加え，テロなどの人為的災害における救助を扱うものとする．また平常時には，同システムを利用した救助計画立案や救助実行の演習を行うことも可能となることも視野に入れた開発を行う．このため，共有情報による人間の判断をシミュレーションに反映させることが可能となるマルチエージェントシミュレーションを中核としてシステムを構築する．

研究開発の手法としては，様々なサブモジュールとその上での障害予見・救助計画立案機能を検証しつつ，最終プロダクトとして，情報共有プラットフォームと連携できる総合的な都市減災機能を伴った障害予見・救助計画システムの開発を目指す．

6.6.2 平成 18 年度成果の概要

災害時のマルチエージェントモデル社会シミュレーションの活用として，災害時の道路状況を反映した交通シミュレーションによる救助計画立案支援システムの構築，および一般車両への情報提供による交通状況への影響のシミュレーションシステムによる検証を行った．

救助計画立案支援システムは，減災情報共有データベースから道路の被害・規制情報およびシミュレーション指示を取得することで要求に応じて道路状況を反映した交通状況や車両到達時刻の予測を行うことができる．見附市実証実験では，道路被害情報の更新に応じて随時要救護者のバス搬送の所要時間の推定を行った．豊橋市実証実験では，実験対象地域全域の道路の交通状況予測を行い，渋滞・混雑が予想される道路の提示を行った．

また，災害時の一般車両への情報提供による交通状況への影響の検証では，同じ交通管理策を実施しても車両ドライバが目前の車両がどの方向に進もうとしているかという情報が得られる場合には効果が低いことがわかった．しかし，この場合でもさらに各経路の推定所要時間が得られる場合には，管理策が本来の効果を得られることが実験の結果得られた．これは，一般車両にどのような情報を提供するかによって交通状況を改善できる可能性を示唆している．

6.6.3 交通シミュレーションを用いた救助計画立案支援システムの構築

災害時には道路網も被害を受ける．震災時には建物倒壊や道路自体の破損により多くの道路が使用できなくなり，道路ネットワークが大きく変容することで交通状況も大きく変化する．そのような状況では平常時の知識は役に立たず，緊急車両が渋滞に巻き込まれたり，使用予定だった道路が閉塞していたために緊急車両が立ち往生するということが発生する．本節では，情報共有

データベースと連携することで入力された道路閉塞情報などを反映した交通シミュレーションを行うことで救援救助計画立案に有益な情報を提供するシステムの概要と実証実験での活用事例を述べる．

(1) 指定経路に沿った緊急車両の到達所要時間推定

水害発生時には救援救助，被害への対策のための人や車両などあらゆるリソースに余裕がなくなる．限られたリソースを適切に活用し最大限の効果を挙げるためには，得られる情報をふまえた計画の立案と所要時間のできるだけ正確な予測が必要である．本システムは道路および交通の状況をふまえた交通シミュレーションを用いて，要救護者のバス搬送および広報車の巡回にかかる所要時間を推定し，計画立案に資することを目的とする．

a) システム概要・機能

本システムは，指定された経路を通過する車両の総所要時間と指定された各経由地の到着時刻を交通シミュレーションにより推定するものである．交通シミュレーションの設定として所要時間を推定する車両の経路の指定だけでなく，道路被害や規制といった道路状況を減災情報共有データベースから取得し，シミュレーションに反映する．シミュレーション実行後には，推定所要時間など得られた結果を減災情報共有データベースに登録する．データベースを介して入出力を行うことで，さまざまなシステムからシミュレーション指示を行うことやビューアなどでのシミュレーション結果の表示が容易になる．図 6.6-1 にシステムの入出力のイメージを示す．

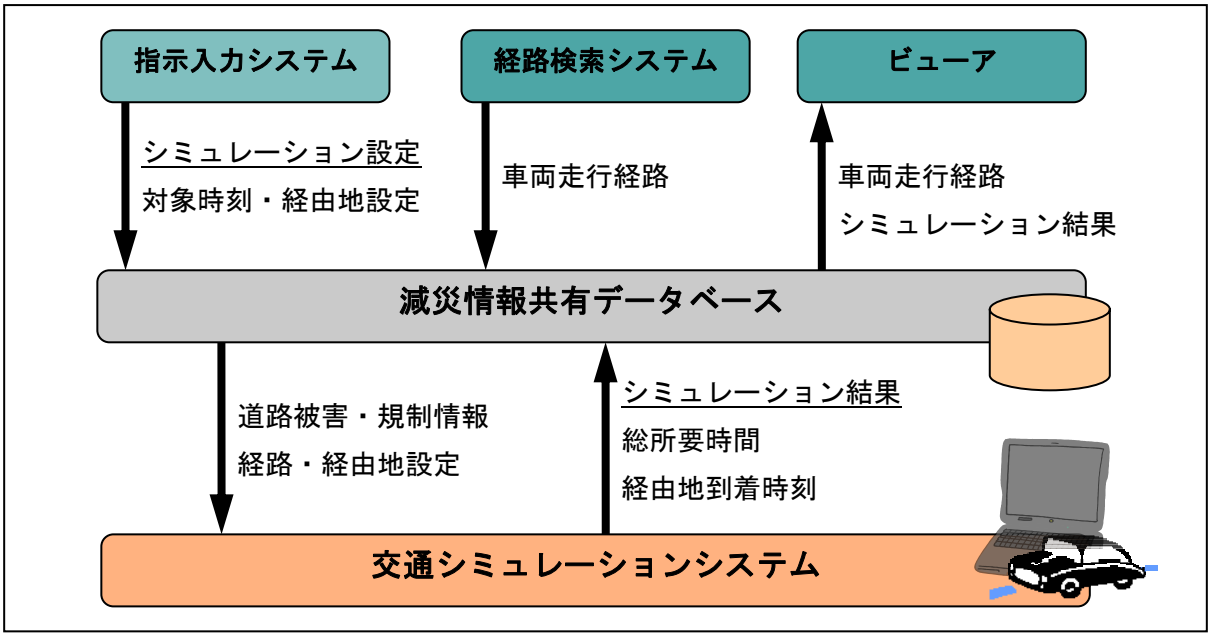

図 6.6-1 指定経路に沿った運行所要時間予測システムの入出力イメージ

b) 見附市実証実験での実行の流れ

見附市実証実験では避難支援シナリオでの対策本部の要請に応えるために，交通シミュレーションと避難誘導シミュレーションを連携し「要救護者バス搬送の所要時間推定」および「広報車

による避難勧告を行った場合の住民避難所要時間推定」を行った．それぞれの実行の流れを以下に示す．

①要救護者バス搬送の所要時間推定

1. （シミュレーション要請登録システム）：バス搬送要請情報の登録
   （バス業者 → 一時避難所 → 広域避難所，搬送人数）
2. （避難誘導シミュレータ）：バス搬送最短経路の算出，登録
3. バス経路，道路被害・規制の取得
4. 道路被害・規制を道路ネットワークに反映，バス経路の設定
5. 交通シミュレーション実行（実行時イメージは**図 6.6－2** 参照）
6. シミュレーション結果処理，推定所要時間と経由地予測通過時刻登録

②広報車による避難勧告を行った場合の住民避難所要時間推定

1. （シミュレーション要請登録システム）：避難勧告広報対象地域情報の登録
2. （避難誘導シミュレータ）：広報車巡回最短経路の算出，登録
3. 広報車経路，道路被害・規制の取得
4. 道路被害・規制を道路ネットワークに反映，広報車経路の設定
5. 交通シミュレーション実行
6. シミュレーション結果処理，各地域の予測通過時刻の登録
7. （避難誘導シミュレータ）：各地域の住民の避難所への避難時間を推定，登録

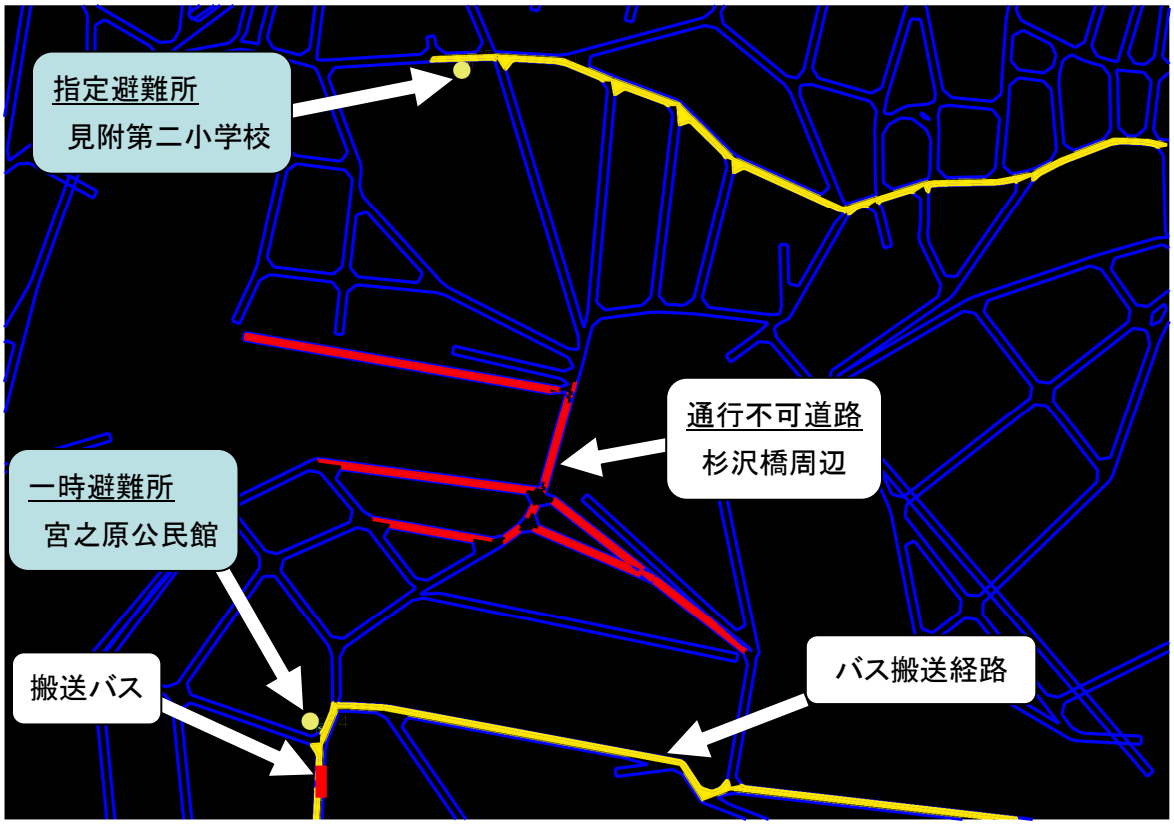

図 6.6-2 宮之原地区における要救護者のバス搬送シミュレーション

(2) 災害時の道路状況を反映した交通状況予測システム

震災発生時には，救援救助のための消防や救急を代表とする緊急車両に対する需要が大きくなる．しかし，建物倒壊などによる道路閉塞や逃げ場をなくした一般車両により道路交通は大きな混乱に陥っているために，緊急車両といえども目的地への到達が非常に困難になる．これは道路被害などで通行可能な道路が減少するという避けられない要因以外に，平常時と交通特性が変化しているために普段行っている経路選択の判断が役に立たなくなることが原因として考えられる．そこで，時々刻々と報告される道路状況の情報を反映した交通シミュレーションによる，渋滞予測情報などを災害対策本部や緊急車両ドライバに提供することを目的とした交通状況予測システムを作成した．

a) システム概要・機能

本システムは対象地域の全道路を対象に交通シミュレーションを行い，渋滞・混雑の発生する道路を予測するものである．本システムでは，入力として減災情報共有データベースから取得した道路被害および道路規制情報を道路ネットワークに反映し，データ取得時刻から 30 分後の交通状況をシミュレーションにより推定する．その後，推定した 30 分後の状況から渋滞・混雑の発生する道路の地理情報を結果として減災情報共有データベースに登録する．データベースに結果を登録することで，ビューアや対策本部で利用されるシステムでの参照が容易になる．**図 6.6-3** にシステムの入出力のイメージを示す．

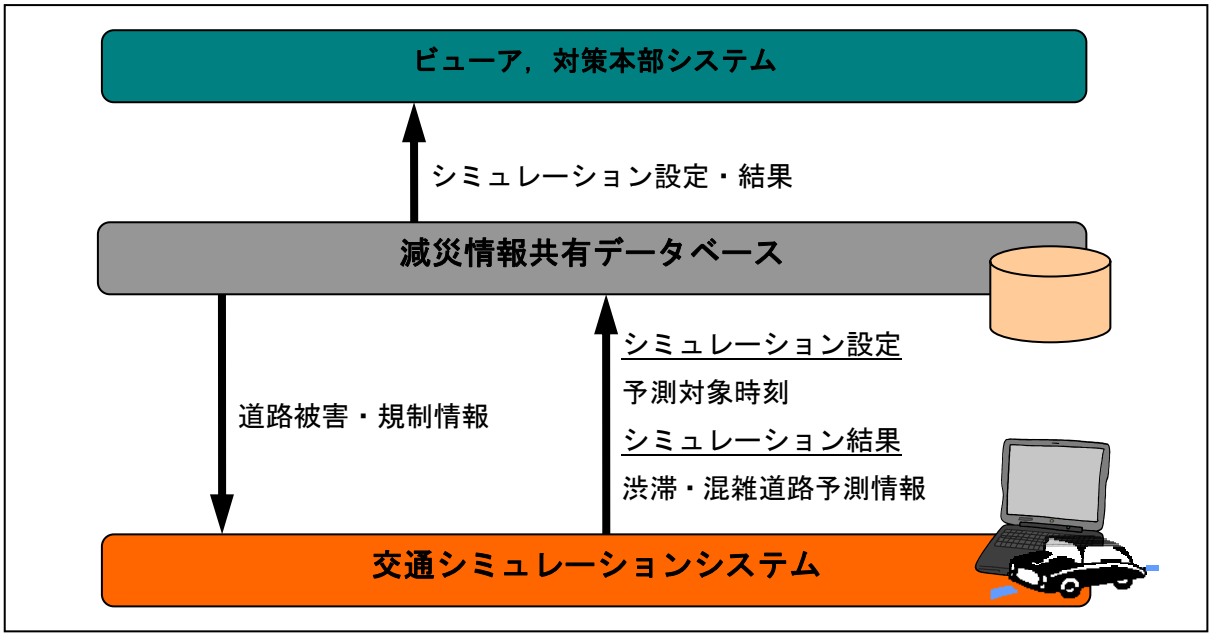

図 6.6-3 災害時の道路交通状況予測システムの入出力イメージ

b) 豊橋市実証実験での結果

図 6.6-4 にシステムの動作画面を示す．渋滞が起こり，通過速度が遅くなっている道路ほど赤に近い色で表示される．図の例では，高師口交差点から駅，市役所方面（図上方向）へ向かう国

道 259 号に渋滞が発生している．

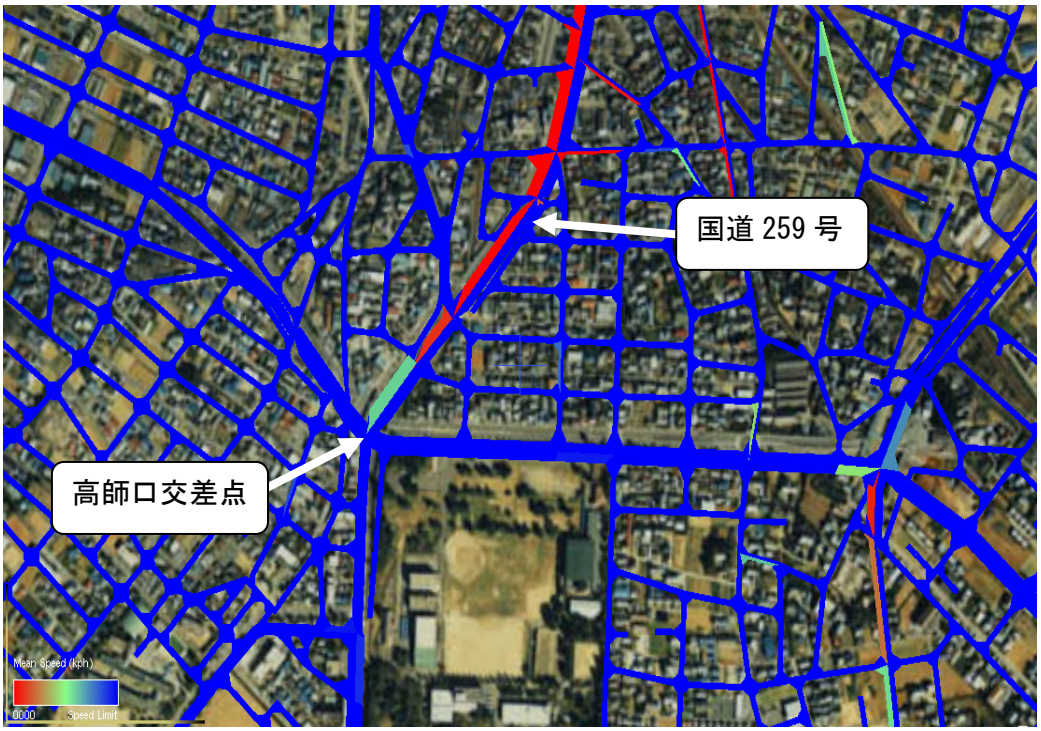

図 6.6-4 高師口交差点周辺における交通状況予測シミュレーション

豊橋市実証実験では，平日朝の通勤時間帯に発災したことが想定されていた．対象地区は通勤渋滞が起こりやすい地域であり，平常時に渋滞が発生する主要道に平常時以上の渋滞が発生した．一方で，道路閉塞が起こり通行不可能な箇所が発生した主要道では，本来その道路を通る車両が分散したために車両の集中が起こりにくくなる現象が見られた．

6.6.4 情報と交通状況

災害時には一般車両のドライバも変化した道路についての情報が乏しいために，当局がどのような情報を広報するかによって大きく交通状況が変化する可能性がある．緊急車両を早く安定して目的地に到達させるためにはどのような管理策をとるべきであろうか．本節では災害時の**緊急交通路**と**迂回路**が設定された簡単な道路ネットワーク上で一般車両ドライバが利用可能な交通状況情報と一般車両ドライバに対する罰則により交通状況がどのように変化するか交通シミュレーションを用いて評価を行った．

(1) 交通シミュレーションモデル

図 6.6-5 のネットワークを対象にシミュレーションを行う．一般車両，緊急車両ともにできるだけ短い旅行時間で O から D に向かうことを目的とする．緊急車両は緊急交通路 T-D1 を利用した最短のルート O-S-T-D1-D を経路とするが，一般車両は緊急交通路を通れないため，迂回路 T-V-D2-D1 を通るか事前に迂回する経路 S-U-V-D2-D1 を通らなければならない．事前に迂回する経路 S-U-V は，経路 S-T-V に比べて狭く，制限速度が低いため，旅行時間の短い経路 S-T-V を選

択しようとする．しかし，災害後の非常に大きな交通量を想定した本研究のシミュレーションでは，経路 S-T-V を選択する一般車両の割合がある程度大きくなると，リンク S-T に渋滞が起こり，経路 S-U-V を通る方が旅行時間が短くなる．

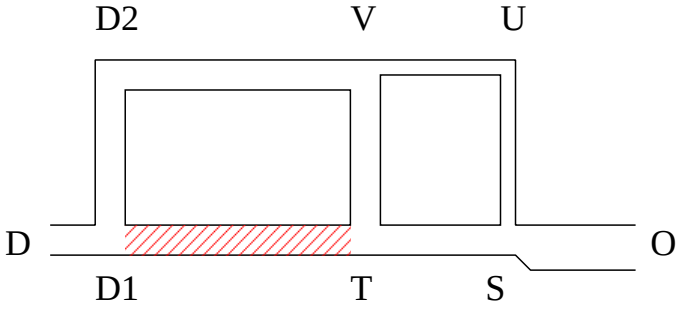

図 6.6-5 災害時を想定した道路ネットワーク

一般車両の経路S-T-V(Wide)とS-U-V(Narrow)を選択する割合による各経路の旅行時間を図 6.6-6 に示す．交通シミュレータには，Paramics[1)]を用いた．全車両の総旅行時間が最小になるのは割合が 4:6 のときで，その割合で一般車両のみの総旅行時間も最小になる．また，常により旅行時間の短い経路を一般車両が選択する場合，割合は 5.5:4.5 付近に収束する．

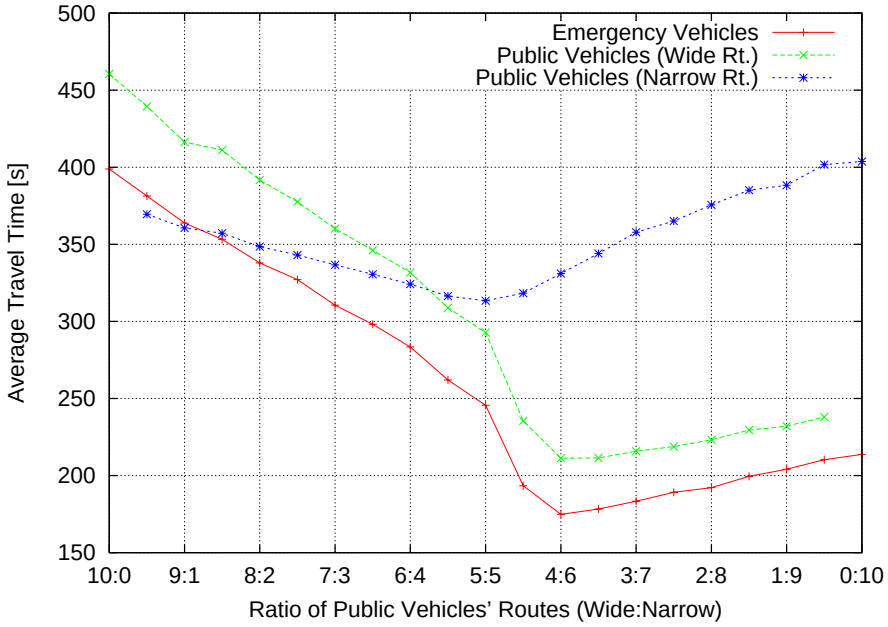

図 6.6-6 一般車両の経路選択割合による各車両の平均旅行時間

(2) 車両エージェント

a) 緊急車両

緊急車両は，経路 O-S-T-D1-D を通行して目的地に向かう．行動の選択はないため，学習は行わない．

b) 一般車両

一般車両は，現在の状態と得られる情報に応じた各経路の旅行時間評価関数に基づいてノードSで経路の選択を行う．また，本実験では一般車両はOからDへ繰り返し移動するものとし（目的地Dに到達した後，Oの出発待ち車両の列に並ぶ），学習によって各評価関数を更新する．

① 得られる情報

一般車両が得られる情報の種類は以下の通りとする．

- C：過去の経験
- U：最近到着した一般車両の平均旅行時間
- V：各経路上の車両の平均速度
- L：分岐前リンクO-Sの各経路に近い車線上車両数

それぞれの情報が取得できるかどうかは実験の設定による．

② 評価関数

車両iの状態sにおける経路rの旅行時間評価関数を以下のように定義する．

$$T^{i}(r,\ s,\ L_r,\ V_r,\ U) = K^{i}_{r,s}\ L_r + J^{i}_{r,s}\ /\ V_r + I^{i}_{r,s}\ U + C^{i}_{r,s} \qquad (式6.6\text{-}1)$$

ここでTは推定旅行時間，L，V，U，Cは得られる各情報である．各情報が得られる設定の場合には，対応した係数K，J，IとCを目的地Dに到着後，学習率αの最急勾配法で更新する．情報が得られない項目に関しては，対応する係数は常に0とする．

③ 行動選択

一般車両はリンクO-S上で，評価関数で得られる各経路の推定旅行時間に基づき経路選択を行う．選択方法はεグリーディ手法（$\varepsilon = 0.1$）[2)]を用いた．

(3) 実験

得られる情報の種類，また後で述べる罰則を用いた管理策の設定を変化させて，実験を行った．各実験は緊急車両の平均旅行時間で交通状況を評価することとする．

a) 罰を用いた管理策なし

まず，罰則を用いた管理策を実施しない場合の実験を行った．この場合は得られる情報の種類にかかわらず，緊急車両の平均旅行時間に大きな変化は見られなかった．

b) 罰を用いた管理策あり

次に以下の管理策を実施した場合の実験を行った．

> 緊急車両の旅行時間が閾値(180秒)を超えているときにリンクS-Tを通る一般車両に対し，確率pで罰bを与える．本研究では簡単のため，罰bは旅行時間に加算されるものとする．確率p，罰bおよび標示を使用するかどうかは実験の設定として与える．

得られる情報が1種類の場合の罰の期待値と緊急車両の平均旅行時間を**図6.6-7**に示す．どのような情報の設定でも罰の期待値が大きくなるほど広い迂回路を通る一般車両が減少し，緊急車両の平均旅行時間が短くなる傾向が見られた．

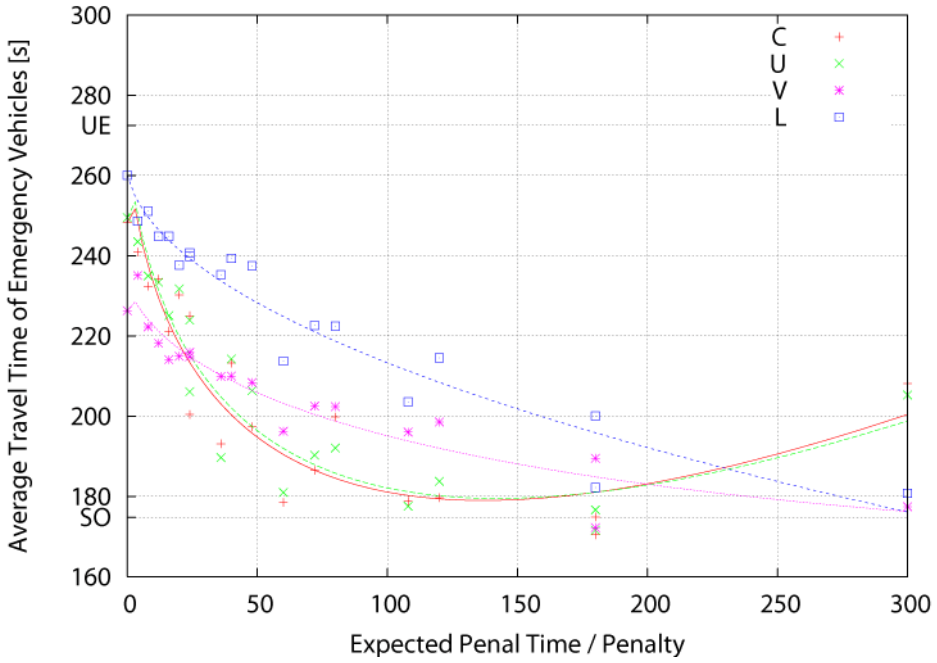

図 6.6-7 得られる情報が 1 種類のときの罰と緊急車両の平均旅行時間

しかし，各経路寄りの車線上の車両数Lが得られるときにはその傾向が小さくなり，管理策の効果が小さかった．これは，得られる情報の種類が 2 種類以上の場合にも同様の現象が見られた．

(4) まとめ

本研究では，災害時における道路交通において一般車両が得られる情報による交通状況への影響を交通シミュレーションを用いて検証した．その結果，各経路寄りの車線上の車両数 L が情報として得られる場合に，罰を用いた管理策の効果が弱くなることがわかった．しかしこれは，ドライバが得やすい情報であるため，別の情報を与えることで影響を抑えることが期待される．

6.6.5 成果

(1) 口頭発表

- Hiroki Matsui, Kiyoshi Izumi, Itsuki Noda: “Soft-Restriction Approach for Traffic Management under Disaster Rescue Situations”
  First International Workshop on Agent Technology for Disaster Management
- 松井宏樹，和泉潔，野田五十樹：「交通シミュレーションを用いた災害時の交通管理支援システムの構築」
  第 20 回人工知能学会全国大会
- 松井宏樹，和泉潔，野田五十樹：「災害時の道路ネットワークにおけるドライバの得られる情報と状況の変化」
  ネットワークが創発する知能研究会第 2 回国内ワークショップ

- 松井宏樹，和泉潔，野田五十樹：「災害時の道路交通におけるドライバの得られる情報と交通管理策」
  第 2 回社会における AI 研究会
- 松井宏樹，和泉潔，野田五十樹：「災害時における道路交通管理策とドライバの得られる情報による状況の変化」
  第 7 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会

参考文献

1) Quadstone: Paramics: Microscopic Traffic Simulation, 2006.
http://www.paramics-online.com/
2) Sutton, R. S. and Barto, A. G. （三上貞芳，皆川雅章 訳）：強化学習，森北出版，2000.