

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。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。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。

大規模災害・テロ・重大事故などの災害が発生した際の救助活動を円滑に実行するために，災害発生時の状況からの時系列推移をマルチエージェントシミュレーションで推定しながら救助計画を策定する救助計画立案システムの研究開発を行う。

これらのシステムは様々なサブモジュールを統合したシステムとして動作するものとなる。1) 交通シミュレータ，人流シミュレータ，構造物シミュレータなど個別のマルチエージェントシミュレータ，2) 統合シミュレーションエンジン，3) 障害予見・救助計画立案等のための付加モジュール，等である。

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，総合的な都市シミュレータ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 17 年度成果の概要

マルチエージェントによる災害時の社会シミュレーションとして，情報共有による交通情報提供や道路管制のあり方，医療従事者の配置について，シミュレーションを元に救助計画立案の際の判断の元になる解析手法の構築に着手した。

交通シミュレーションについては，災害時の緊急交通路が一般車両の交通に与える影響に注目し，交通制限および情報提供の各種手法と各種車両の交通流の関係を，各々のドライバーが状況に応じて独自の判断基準により行動するマルチエージェントシミュレーションにより解析した。その結果，一般車両を完全に排除するのではなく緊急車両の到達に遅延が出ているときに罰を課するという管理策が，社会全体の効率を改善できる可能性を示すことができた。これを用いることで，緊急車両の目的地への到達性を確保しつつ一般車両の旅行時間を従来の管理策と比較して抑えられることが示唆された。特に，一般車両が道路上の車両の状況を経路選択の判断に利用する場合，緊急車両の到達に遅延が出ている状況で標示で一般車両に知らせることで，管理策の効果を保ちながら罰を与えるコストを削減できることがわかった。

さらに，実際の地図データ，避難所・病院の情報を用いた災害時の交通状況予測・道路管制決定支援システムを構築した。本システムでは，道路閉塞や緊急交通路の情報を地図データに反映す

ることで、交通シミュレーションによりその影響の予測を行う。また、本システムは情報共有共通プロトコル(MISP)に対応しているため、情報共有データベースと連携することで他のシステムから入力された道路に関する情報をシミュレーションに利用することが可能である。11月に実施した豊橋市での実証実験では豊橋市の地図データを用いた本システムによるデモを行い、市民による通報情報を実時間でシミュレーションに反映できることを実証するとともに、緊急交通路の設定の違いで交通状況が大きく変化することを示した。

また、医療資源配分シミュレーションについては、現場救護所と後方救護所における医療関係者の配置についてシミュレーションを行い、各種設定及び運用方針の優劣について評価を行った。その結果、災害の規模に応じて、現場救護所に多めに資源を配分する方法が全体としてよいパフォーマンスを得ること判明した。

情報共有共通プロトコル設計および改良については、防災科学技術研究所と共同で減災情報共有プロトコル(MISP)を制定し、一般に公開して各種フィードバックを得てプロトコルの改良を行った。さらに、減災情報共有システムのコアとなる情報共有ハブとして、同プロトコルに準拠したデータベース、DaRuMa (Database for Rescue Utility Management) の Java による実装を開始し、アルファバージョンを完成させた。このシステムは11月の豊橋における実証実験で市民による情報収集と各種シミュレーションを中継するハブとして稼働させ、機能や安定性の確認を行った。また、MISP による情報共有サブモジュールの構築を容易にするため、DaRuMa へアクセスするための Java ライブラリを整備を開始し、一般に公開した。

6.6.3 交通シミュレーションを用いた交通管理策決定支援システムの構築

震災などの災害時には、交通網も大きな打撃を受ける。道路の閉塞による交通網の寸断や、その状況の把握の困難さが大きな問題である。しかし、災害時には負傷者の移送や救援物資の運搬、警察、消防など災害時特有の緊急車両による交通需要が大きく、平常時以上に交通は重要な役割を果たすことが期待される。本節では、罰を利用することで緊急車両だけでなく一般車両も含めた交通全体の移動時間を抑えることを目的とした交通管理策の提案とシミュレーションによる評価、および本テーマで構築している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可能な交通シミュレーションシステムについて述べる。

(1) 罰を利用した災害時の交通管理策の提案と評価

本節で対象とするのは、災害時に設置される緊急交通路および迂回路である。**緊急交通路**とは、災害対策基本法などに基づいて交通規制された緊急車両のみが通行可能な道路である。災害時には緊急車両が目的地へ早く安定して到達することが重要であるため、幹線道路など交通容量が大きく通行可能な道路が割り当てられる。緊急交通路の指定に伴い、一般車両の通行のために指定されるのが**迂回路**である。緊急交通路の指定のみでは本来その道路を通る予定だった一般車両が行き場を失い、その混乱のために交通規制の実効性を大きく下げる可能性がある¹⁾。

本節では一般車両を強制的に排除する緊急交通路を延長するのではなく、緊急車両の目的地への所要時間（旅行時間）が望ましくないときに一般車両に罰を与えることで通行を制限する方法

による交通規制を提案し、その効果を簡単なネットワークを用いた交通シミュレーションによって検証した。

a) 交通シミュレーションモデル

図 6.6-1 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 に渋滞が起り、経路 S-U-V を通る方が旅行時間が短くなる。

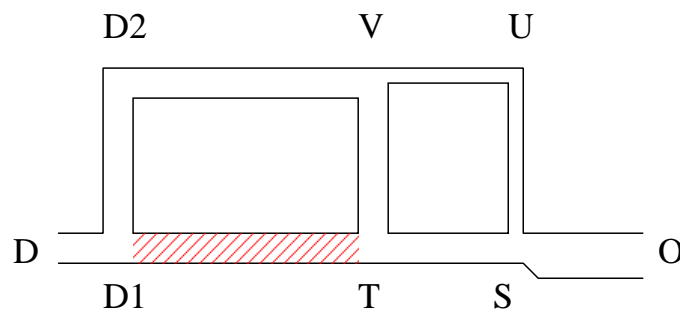


図 6.6-1 提案交通管理策の検証を行う道路ネットワーク

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平均旅行時間を図 6.6-2 に示す。ここで示した旅行時間はノード D1 での合流によるロスを省くために、緊急車両および一般車両の旅行時間はそれぞれノード D1, D2 までのものを計測した。交通シミュレータには、Paramics²⁾を用いた。Paramics は車両の挙動を個々にシミュレートするマイクロ交通シミュレータで、プラグインを作成することで車両の経路選択アルゴリズムの変更やさまざまな拡張が可能である。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。

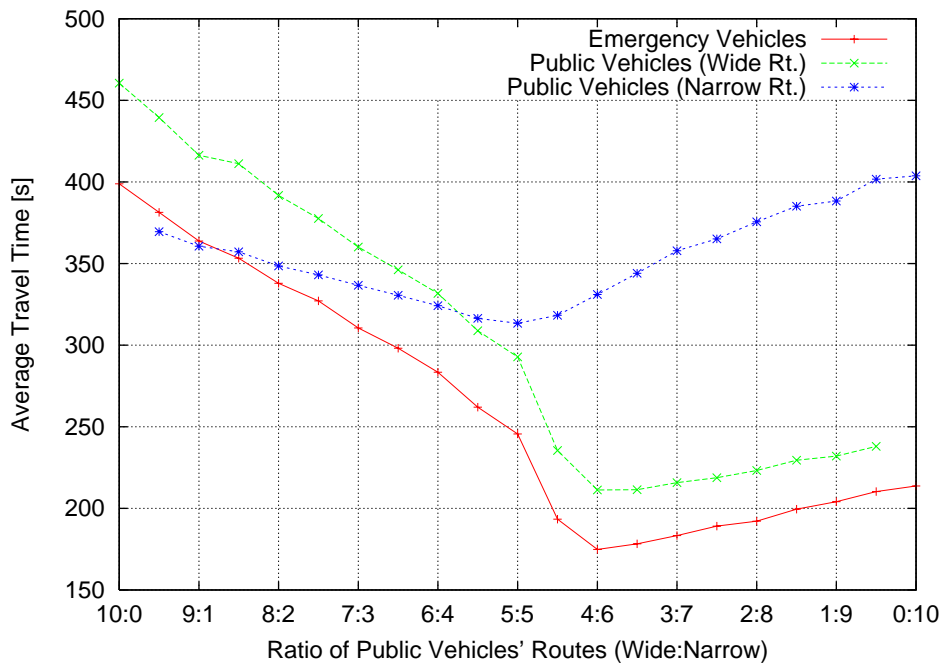


図 6.6-2 一般車両の経路選択割合による各車両の平均旅行時間

b) 実験

①交通管理策なし

まず、何も交通管理策を施行しない状態で一般車両に最短経路を学習させるシミュレーションを行った。各一般車両は、旅行時間を各経路の評価値とし、評価値をもとに ϵ グリーディ手法 ($\epsilon = 0.1$)³⁾ で経路を選択する。0からD1への旅行を行うごとにかかった旅行時間Tで各評価値 V_t を更新する。

$$V_t \leftarrow (1 - \alpha)V_{t-1} + \alpha T \quad (\text{式 6.6-1})$$

ここで α は学習率であり、車両ごとに0以上1未満の値をランダムに与える。学習率はシミュレーション中は変化しない。このシミュレーションの結果、一般車両の経路選択の割合は5.5:4.5付近に収束した。

②罰を用いた管理策

管理策を施行しない場合では、緊急車両の旅行時間が最短である4:6の場合に比べてかなり悪く、全車両の総旅行時間の点でもよいとは言えない。そこで、次のような交通管理策を施行した場合のシミュレーションを行った。

- 最近20台の緊急車両の平均旅行時間が250秒を超えているときに経路S-T-Vを通る一般車両には一定の確率で旅行時間にペナルティ(罰)を与える。

この管理策を、緊急車両の平均旅行時間と1時間あたりの罰のコストで評価する。罰のコストは以下の式で定義した。

$$\text{Cost} = 1 \text{ 回の罰で科す時間} \times \text{罰を与えた回数} \quad (\text{式 6.6-2})$$

結果を表6.6-1に示す。罰で一度に与えるペナルティが大きいほど、緊急車両の旅行時間を短くできるがその分のコストが大きくなるのは避けることができていない。一方、一度に与えるペ

ナルティが同じであればその頻度を落としても緊急車両の旅行時間は保たれている。これは頻度ではなくペナルティの大きさが一般車両の評価値を大きく変化させることができるからだと考えられる。

表 6.6-1 罰を用いた管理策を実施した場合のシミュレーション結果
(緊急車両の平均旅行時間, 1時間あたりの罰のコスト)

		ペナルティ (秒)		
		25	50	100
確率	0.5	(247.8, 5518)	(235.7, 8479)	(223.6, 12079)
	1.0	(241.4, 9593)	(231.0, 16442)	(218.5, 21408)

③標示による告知と罰を用いた管理策

次に、罰を科す可能性がある状況ではその告知である標示を出して一般車両に知らせた場合のシミュレーションを行った。この管理策は以下のように行う。

- 最近 20 台の緊急車両の平均旅行時間が 200 秒を超えているときにノード S に標示を出す。一般車両は標示の有無で違う状態と認識し各経路の評価値を別々に持つ。
- 罰を科す条件などは、標示による告知を行わない場合と同じである。

緊急車両の平均旅行時間と結果を表 6.6-2 に示す。全体の傾向は標示による告知を行わない場合とまったく同じである。しかし、一度の罰によるペナルティが大きい場合には一般車両の標示の有無による評価値に、標示がなければ広い経路 S-T-V の評価値が小さく標示があれば細い経路 S-U-V の評価値が小さいという大きな差が見られた。そのため、標示の出し入れによって経路上の車両の割合が大きく振動することが予想される。

表 6.6-2 標示と罰を用いた管理策を実施した場合のシミュレーション結果
(緊急車両の平均旅行時間, 1時間あたりの罰のコスト)

		ペナルティ (秒)		
		25	50	100
確率	0.5	(246.2, 5255)	(236.9, 8487)	(227.4, 12308)
	1.0	(239.1, 9626)	(231.3, 14323)	(222.3, 20892)

c) まとめ

本節では、災害時における罰を用いた交通管理策の提案と評価について述べた。現在までの実験では、基本的に罰のコストをかけたただけ誘導を行えるという結果しか得られていない。しかし、罰と標示を用いることで一般車両の評価値に変化が起こる事例が見られた。標示などの告知を利用することでより有効な管理策を行うことができるか検討することが今後の課題である。また、通常、一般車両は自身の経験だけでなく各経路に向かう車両の量など得られるさまざまな情報を

もとに経路を選択すると考えられる。さらに、得られた実験結果は道路ネットワークの特性によって変化すると考えられる。これらのことをふまえて一般車両の得られる情報の違いや、他のネットワークにおける検証を行うことも必要である。

(2) 情報共有データベースから道路情報を獲得・反映可能な交通シミュレーションシステム

災害時の救援・救助をスムーズに行うためには、刻々と変化する道路状況および交通状況をふまえた適切な交通管理を行うことが必要である。また実施する交通管理は、設定される緊急交通路などの影響を正しく見込んだものであることが望まれる。そこで本テーマでは交通シミュレーションを利用した、情報共有データベースと連携可能な災害時の交通管理者の意志決定支援システムを構築する。

a) システムの概要

本システムは、交通シミュレータと情報共有データベースとの通信ツールという2つの部分からなる。交通シミュレータは、道路ネットワーク上の道路閉塞や緊急交通路の設定によって交通流がどのように変化するかシミュレーションを行う。交通シミュレータには、ベースとして都市開発や交通管理策の評価などで実績のある交通シミュレータ Paramics²⁾を用いた。一方、情報共有データベースとの通信ツールは減災情報共有プロトコルMISPを用いて情報共有データベースと通信し、道路閉塞や緊急交通路の設定などの道路に関する情報を取得しシミュレーションに反映、またシミュレーションで得られた結果をデータベースに送信する。図 6.6-3 は、本テーマで構築するシステムの情報共有データベースとの連携イメージである。

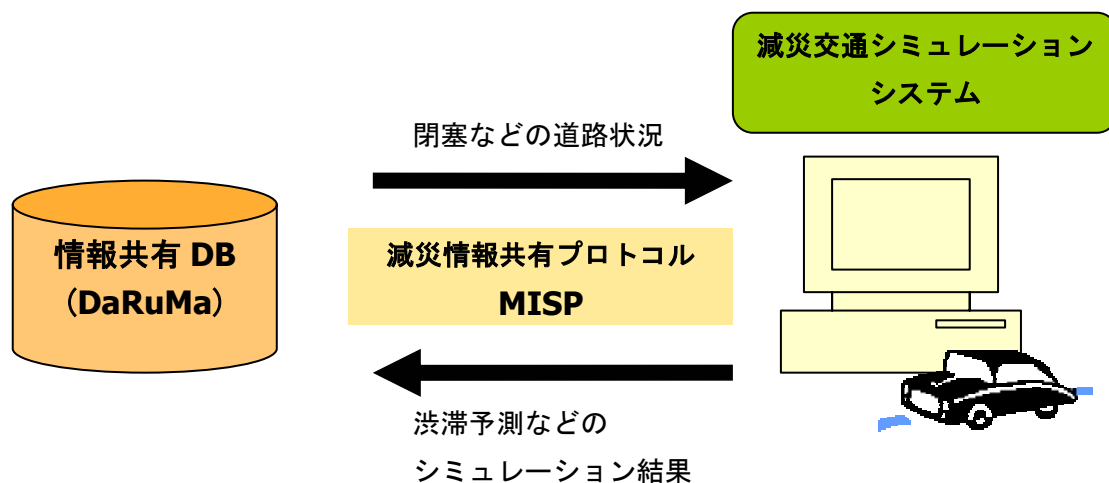


図 6.6-3 情報共有データベースと減災交通シミュレーションシステムの連携

本システムの現在の機能は、以下の通りである。

- 道路閉塞・緊急交通路の反映

すべての車両が通行不可能な道路閉塞、緊急車両のみが通行可能な緊急交通路を設定したシミュレーションが可能。

- 道路閉塞情報のデータベースからの取得

道路閉塞情報は直接、本システムに入力する以外に、減災統合システムの中心である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ことが可能。

現在、シミュレーション結果を情報共有データベースにアップデートする機能は実装できていない。そのため、シミュレーション結果は基本的に本システム上で確認しなければならない。

b) 豊橋市のデータを用いたシミュレーション

上記システムを用いて、豊橋市のネットワークデータ上でのシミュレーションを行った。

① ネットワークデータ

工学院大から提供された電子地図データのフォーマットを変換して利用した。提供されたデータはノードとノードを結ぶリンクに関する情報のリストの形式であったので、そこから本システムで必要なノードとリンクの情報をそれぞれ抽出して利用した。工学院大から提供されたデータに含まれる項目のうち本システムで利用したものは以下の通りである。

- リンクの開始点ノードと終了点ノード

ノードの ID、座標をノードデータ、リンクデータとして利用。

- 道路種別

道路種別コードを、道路の知名度として反映した。シミュレーションにおいて車両は知名度の高い道路を選択しやすい傾向がある。

- 幅員値

幅員から車線数を推定し、各リンクの車線数を設定した。1車線の幅は3~4mとした。

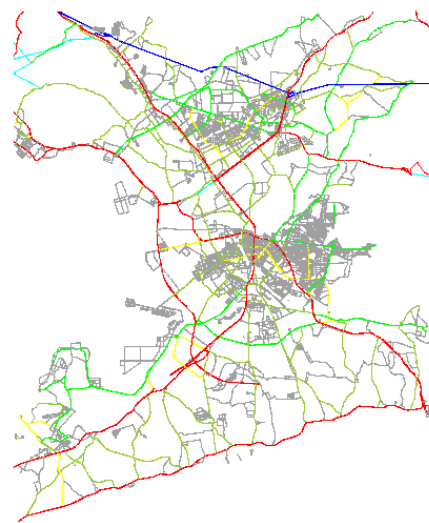
また道路の種別と幅員から制限速度を推定し、設定した。

上記の方法で変換を行い、シミュレータ上で表示したものを図 6.6-4(i)に示す。リンクは道路種別に応じて、青：高速道路、赤：国道、緑：県道、灰：一般道と色分けしてある。提供を受けたネットワークデータは、対象地域のすべての道路を含むためシミュレーションの際に計算時間がかかりすぎるといった問題が生じた。そこで、リンクの始終点ノードの1つ以上が他のリンクに接続していないリンク、および広域シミュレーションに関しては細かい一般道の影響は少ないと考え、6m未満の一般道のリンクは削除した。その処理を行った後のネットワークデータを示したものが図 6.6-4(ii)である。この処理によりシミュレータによるロード時間も大幅に短縮された。図 6.6-4に示したロード時間は、Xeon 3.6 GHz×2、メモリ 4 GB、Linux 2.6 上で測定したものである。



(i) 全リンク

リンク数： 214,270
ロード時間： 約 8 分



(ii) リンク省略処理後

48,553
約 50 秒

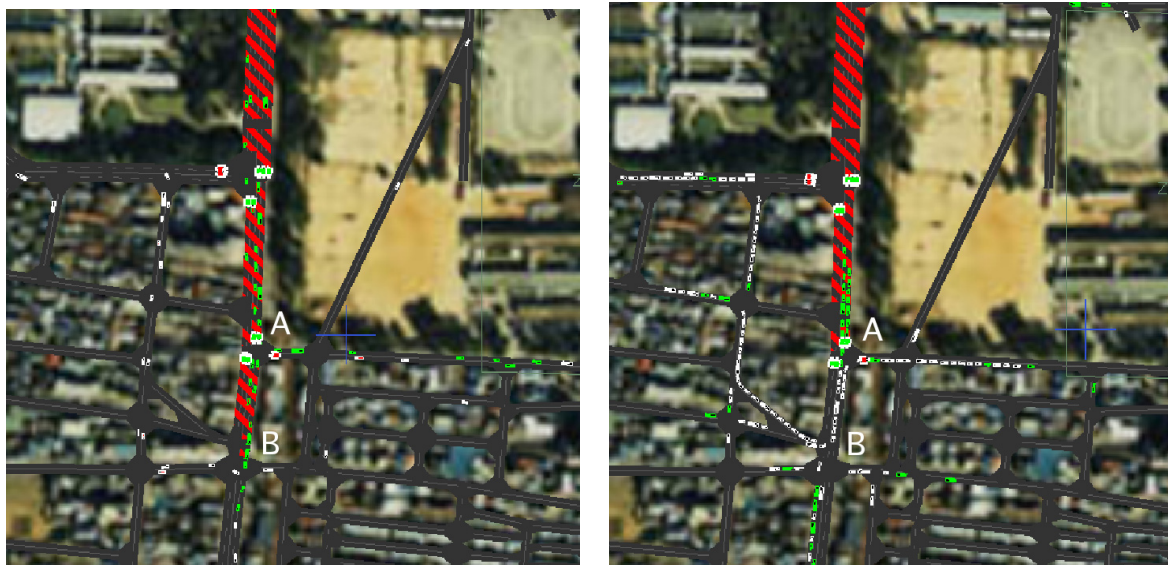
図 6.6-4 豊橋市のネットワークデータ

② シミュレーションの設定

シミュレーションの設定は以下の通りである。

- 状況
地震発災数日後を想定。
- OD (車両の起終点)
外部：高速道路，国道などの主要道路
内部：指定避難所，病院
外部から指定避難所・病院へ救援物資の配送，指定避難所から病院，病院から外部への負傷者の移送などを想定。
- 車両
一般車両，緊急車両の比は 1:1。OD は同じであると仮定した。全車両は旅行時間が最短になるような経路を選択する。
- 信号
平常時に運用されている信号は完全に利用できず，主要交差点で警察官による交通整理が行われていることを想定。本システムでは警察官による交通整理を機械的な信号で代替した。

c) シミュレーション結果



(a) 区間 A-B が緊急交通路の場合

(b) 区間 A-B が緊急交通路でない場合

図 6.6-5 緊急交通路の設定の違いによる交通流への影響

結果の一例として、愛知大学豊橋キャンパス周辺のネットワークを用いたシミュレーションでの緊急交通路の設定の違いによる影響を示す。図 6.6-5 (a), (b) の中央を上下に走っている道路は国道 259 号で赤の斜線の部分を緊急交通路に設定した。国道 259 号は豊橋市に第一次緊急輸送道路として指定されている道路である⁴⁾。(a), (b) はそれぞれ緊急交通路が図上方から交差点 A までと B までという異なる区間が指定されている。図中の緑の車両は緊急車両であり、指定された緊急交通路を含め自由に経路を決定できるが、図中の白の車両、一般車両は緊急交通路を通行できないため、それ以外の道路を使用しなければならない。この地域内の車両の流れは、市の中心部と避難所・病院を結ぶルートである国道 259 号の上下、図右上にある避難所の小学校、図上部の国道 259 号を利用できない一般車両が出入りする図の左が起終点になっている。最も大きな流れは国道 259 号上のものである。

図 6.6-5 の (a), (b) は、ともにシミュレーション開始後 15 分（シミュレーション時間）経過後のスクリーンショットである。(a) の設定では全体的に渋滞は起こっておらず、スムーズに流れている。しかし、(b) の設定では区間 A-B を中心に混雑が発生し、周辺の道路でほとんど流れなくなっている。これはどのような理由によるものだろうか。避難所のある図の右から図の左方向に（またはその逆に）向かう一般車両が、(b) の設定では緊急車両も通る A-B の区間を通る。その際に、一般車両はその目的方向から交差点 A, B でそれぞれ右折や左折を行わなければならない。特に交差点 B には信号（交通整理を行う警察官）が存在せず、B の図中ですぐ左が細い Y 字路になっていることが流れを悪くする原因となっていると考えられる。一方、(a) の設定では一般車両は区間 A-B を通れないため、制限速度の低い A-B の図中で一本右の道路を利用する。さらに、交差点 B で曲がる車両が (b) の設定に比べて少なくなるため緊急車両の交通を妨げにくい。

d) 今後の課題

本システムの今後の課題としては、システム自体の拡張に関することと利用データの整備に関

することの2つに分けられる。システム自体の拡張については、概要で述べたようにシミュレーション結果を情報共有データベースにアップロードする機能の実装を予定している。情報共有データベースにアップロードすることで他のシミュレータでの結果の利用や統合ビューアでの表示などが実現可能になる。一方、利用データについては、現在用いているネットワークデータには高度や交通規制情報など欠けている項目が多くある。その中でも、一方通行や信号に関しては交通シミュレーションの結果に大きく影響すると考えられる。しかし、これらのデータは入手と再利用の容易な地図データには含まれておらず対策が困難である。また、車両のODについてもシミュレーション結果に影響が大きいと考えられる。本システムでは災害後という非日常を対象としているためデータの収集が難しいが、人口分布や阪神・淡路大震災後のアンケートから推定した先行研究があり、参考にしたい。

6.6.4 医療資源配分計画支援システムの検討

大規模災害における初期救命医療の問題点は、発災現場における救護所・医療機関の治療能力を上回る患者数が発生することにより、平時のように全ての患者に同等の治療の機会を与えることが不可能になることである。この状況下で結果的に最大数の患者の生命を救うためには限られた医療資源を有効利用する必要がある。本研究では、災害時救急医療において、治療の優先順位を決定するための基準であるトリアージに基づいて容態が確率的に状態遷移するモデルを構築し、さらにこれに基づくコンピュータ・エージェントを実装し、発災現場で初期の救命と容態安定を行う現場救護所と集中治療が可能な後方医療機関への医療資源の投入の最適なバランスについてシミュレーションによる提言を行った。

(1) トリアージに基づく患者モデル

トリアージとは、重傷度に基づく患者の選別であり、直ちに処置が必要な緊急治療群、2～3時間処置を遅らせても悪化しない準緊急治療群と、それ以外の軽症群、死亡群に分類される。

現場救護所では緊急治療群を搬送可能な準緊急治療状態になるよう処置をし、集中治療可能な後方医療機関へと搬送するのが、災害時における救命医療の標準手続きである。そこで一般的に、外傷ショックによる容態急変の確率がポアソン分布に基づくと言われることに基づき、患者をモデル化した(図6.6-6 参照)。

状態遷移までの平均時間を変数とする指数分布に基づく乱数を発生させ、その値を越えると容態が悪化もしくは好転する。容態変化平均時間は、緊急治療群患者60分、準緊急治療群患者で180分とし、各々30分と60分の治療中容態が悪化しなければ、治療効果により容態が好転するものとする。

治療/放置による
トリアージ群間の
確率的遷移モデル

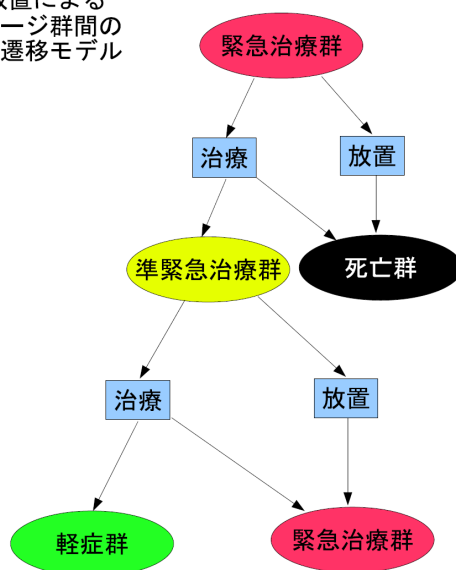


図 6. 6-6 トリアージの状態織維モデル

(2) シミュレーション

以下の設定によりシミュレーションを行った。

- 固定パラメータ：総医療資源値(100)，総患者数(2000)
- 変動値
 - 要緊急治療患者発生率(min = 30%，MAX = 90%，時間的に一様発生)
 - 初期現場救護所医療資源配分率(min = 0%，MAX = 100%)
- 出力：救命者数

結果1：初期値固定

現場救護所への医療資源の配分を発災時に決めた後，被害の規模（緊急治療群比率）に関わらず初期値のまま固定した場合のシミュレーションを示す(図6. 6-7参照)．現場救護所への資源配分が0%のときの救命者数は要緊急治療群の患者を「完全に見捨てた」ときの救命者数であり，この値は発生した緊急治療群の患者が多いシミュレーション(グラフ90%) においては低くなっており，現場救護所への医療資源を適切に増やすことで(25%)，最大化できる．このグラフの極値は，所与の総医療資源および患者発生分布における最適な医療資源配分と，それに伴う理想的救命者数を意味している．

結果2：現場→後方への動的移動

後方医療機関において、治療を受けられずに待ち行列に入っている準緊急治療患者が存在した場合、なおかつ、現場救護所において治療待ち行列が存在しない場合、現場の余剰の医療資源を後方医療機関に移動する(図6.6-8 参照)。このシミュレーションにおける医療資源移動は、結果1における最適現場医療資源配分を下回る初期配分率においては救命数理想値を上回らないが、最適

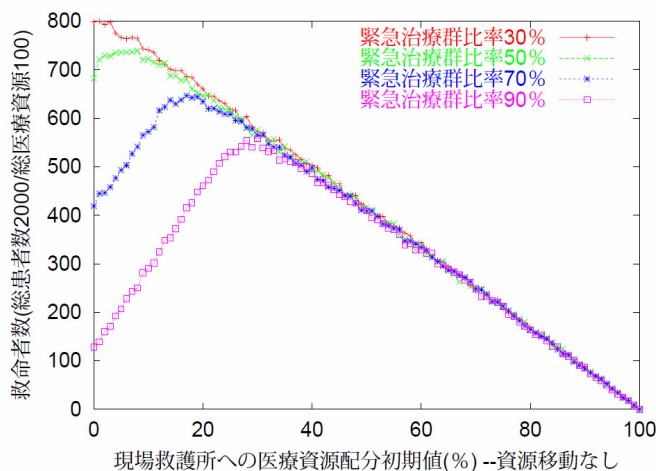


図6.6-7 固定配置の場合の救命率の変化

初期配分率を越えた初期値から開始された場合、適宜後方に医療資源が配分されることにより、初期値の多寡に関わらず容認できる救命者数を得る。

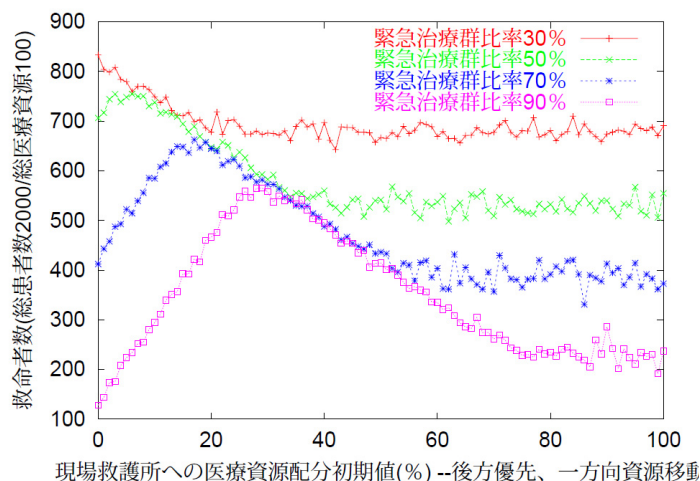


図6.6-8 後方救護所への配置変換を優先した場合の救命率の変化

結果3：後方→現場優先

現場救護所において、治療を受けられずに待ち行列に入っている緊急治療患者が存在した場合、なおかつ、後方医療機関において治療待ち行列が存在しない場合、後方の余剰の医療資源を現場救護所に移動する(図6.6-9 参照)。このシミュレーションにおける医療資源移動は、最適初期配

分率を下回る初期値から開始された場合、適宜現場に医療資源が配分されることにより、初期値の多寡に関わらずある程度救命者数を得る。ただし、緊急治療群の発生比率が多い場合(グラフ90%)は、現場救護所の恒常的資源不足のため後方医療機関の余剰資源の現場への移動が頻発する。よって、患者の遷移過程の最終段階として軽症への容態推移を可能にする後方医療機関における資源不足が起こり、結果として救命数は理想値を大きく下回る。

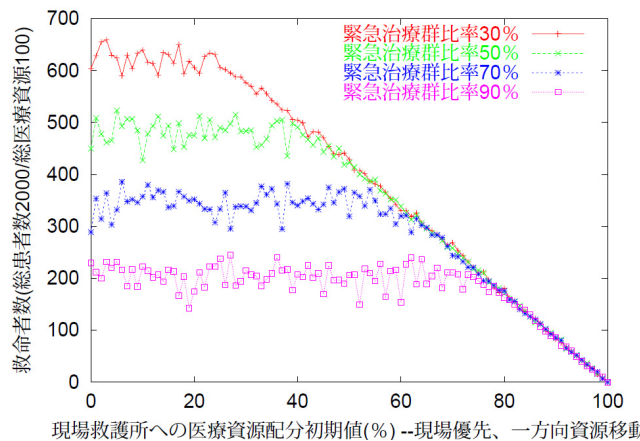


図6.6-9 現場救護所への配置変換を優先する場合の救命率の変化

(3) まとめ

以上のシミュレーションより、救命に成功する患者の最終段階は後方医療機関における治療によるため、後方医療機関の資源不足は救命数に著しい影響を与え、患者の発生分布によっては、緊急治療群の一部を見捨てても全体の救命率にはあまり影響がなく、むしろ、現場救護所においてすべての緊急治療群を治療することに拘泥することが、最終的な救命者数の低下を招くケースもあることが示された。これは赤十字が実践している「治療に時間だけかかりその場での容態改善の見込みがない患者の放置」という独自のトリアージ手法の正しさを示すものと考えられる。

6.6.5 情報共有共通プロトコル設計および改良

災害時の情報共有とその利用では、情報の表現をいかに標準化するのが最重要の問題となる。特に計算機による情報システムでは表現の標準化は非常に重要な課題となる。そのような観点に基づき本テーマでは昨年度より情報共有のための通信プロトコル(GGGD)の設計を行ってきた。本年度はこのプロトコルを汎用性や各種標準への準拠をたかめ、改めて減災情報共有プロトコル(MISP)として改めて制定した。さらに、減災情報共有システムのコアとなる情報共有ハブとして、同プロトコルに準拠したデータベース、DaRuMa (Database for Rescue Utility Management)の実装を開始し、アルファバージョンを完成させた。また、MISPによる情報共有サブモジュールの構築を容易にするため、DaRuMaへアクセスするためのライブラリの整備を開始した。これらのシステムは11月の豊橋における接続実験で市民による情報収集と各種シミュレーションを中継するハブとして稼働させ、機能や安定性の確認を行った。

さらにこれと平行して、動的に変化する災害情報とその解析結果を整理してデータベースに格

納するための枠組みについて理論的な検討を行い、データベース格納時における付加情報と計算コストの関係について考察を行った。

(1) プロトコルおよびデータベースシステムの改良

前年度に設計した情報共有プロトコルについて、以下の点について改良・検討を行い、改めてMISP(減災情報共有プロトコル, Mitigation Information Sharing Protocol)として提案・公開した。

- 点時間の示す内容について、従来の時間軸上のゼロ次元の時刻に代わり、最小時間幅をもつ区間時間として解釈することとした。
- SOAPの添付ファイル形式については、処理システムの簡略化のためにプロトコルの標準からは削除することとした。
- SOAPの標準に準拠するため、返答メッセージについてすべてResponseをprefixにつけることとした。
- Filter記述用の論理オペレータとしてTrue, Falseを追加した。

これらの修正は、基本的には各種標準に準拠することにより、既存のツール群の利用を可能にし、MISPの普及を促進することを目的としている。この改良については今後、随時続けていく予定である。

上記のプロトコルの改良にたいして、昨年度から開発してきた情報共有のためのデータベースシステムJava版gggdをベースに、新たなデータベースシステムDaRuMa(Database for Rescue Utility Management)を開発した。

DaRuMaシステムは以下から構成される。

- Ruby版DaRuMa Server(ベータ版)：MISPに準拠してデータベース機能を提供する。
- Java版DaRuMa Server(アルファ版)：MISPに準拠してデータベース機能を提供する。
- Ruby版クライアントツールセット(ベータ版)：データベースと通信回線を開き、GMLで記述された地物データやスキーマをMISPにのっとしてデータベースに登録・検索する機能を提供する。
- Java版クライアント作成用ライブラリ(アルファ版)：データベースと通信回線を開き、MISPにのっとしてデータベースに登録・検索する機能を利用するためのJAVAAPIを提供する。

(2) 豊橋における接続実験

2005年11月20日の豊橋市避難訓練の際に、以下のような内容のデモを行った。(fig:デモンシステム全体の構成)

- データ共有DB接続：工学院のDB(GIS)よりXMLの形式で被害情報を取得し、災害情報共有プロトコルによるGGGD(General GeoGraphical Database)に登録。
- 交通シミュレーション：被害情報のうち道路情報を解析して道路毎の閉塞情報に変換し、それに基づき交通シミュレーションを実行。
- 救急医療シミュレーション：救急医療に関わる医師の配置と救命率の関係を解析。

デモにおける処理の詳細を図 6.6-10 に示す。

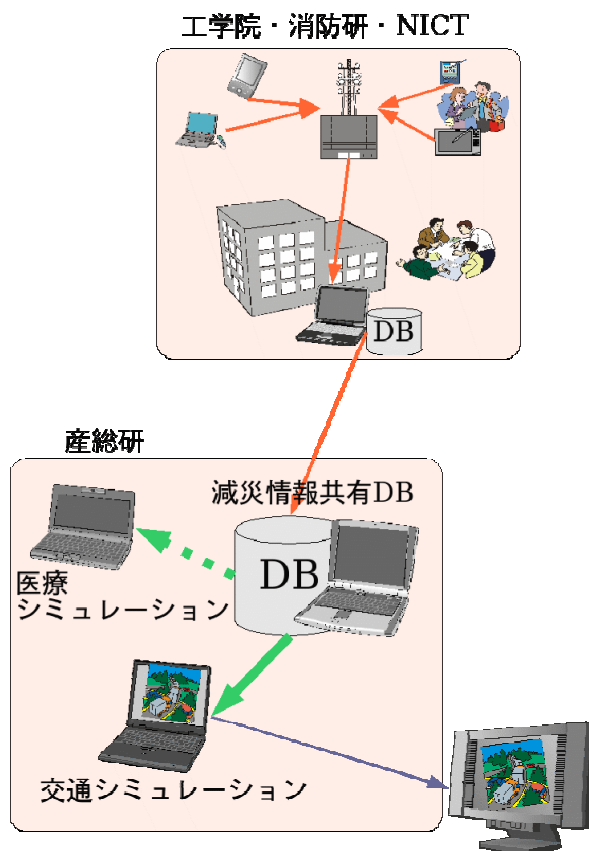


図 6.6-10 デモシステム全体の構成

a) データ共有 DB 接続

工学院 DB に集められている被害情報を取得し、これを前もって定めておいた被害情報共有形式に変換、MISP (Mitigation Information Sharing Protocol) を用いて DaRuMa へ登録した。扱った被害情報は以下の 4 種類である。

- 建物被害情報
- 火災被害情報
- 道路被害情報
- 人的被害情報

具体的には getDamageInfoSax というプログラムにより、工学院 DB に対して HTTP を介して XML 形式にて被害情報を取得。これを GML 標準等に準拠した XML に変換し、MISP にのっとりデータベースへ登録した。この getDamageInfoSax は一定時間(10 秒)毎に上記変換を繰り返しており、これにより、工学院 DB に登録された情報をほぼリアルタイムで減災情報共有 DB に自動的に反映されることになる。

また、工学院 DB は被害情報を差分の形では提供できなかったため、getDamageInfoSax 内で新規情報と既知情報を判別し、DaRuMa へは新規情報のみを登録するように設定した。

b) 交通シミュレーション

交通シミュレーションでは、DaRuMa に格納されている道路被害情報を元に栄小学校を中心とする交通シミュレーションを行った。

処理としては、以下の3段階からなる。

- 工学院 DB から取得した道路被害情報を解析し、その被害情報に対応する道路を GGD を用いて検索し、閉塞道路を特定、その結果(道路閉塞情報)を再び GGD に登録する。(checkRoadDamage)
- MISP を用いて GGD から道路閉塞情報を取得し、交通シミュレーションの初期値データに変換。
- 交通シミュレータ(Paramics)を起動し、道路閉塞を反映した交通シミュレーションを行った。各自動車の動きについては災害状況下での避難および物資輸送を想定し、避難所や医療機関、市役所に OD が集中すると仮定した。

これら一連の処理は、必要なタイミングでシミュレーション結果を示すために、半自動(起動のみ手動)で動作するように設定した。

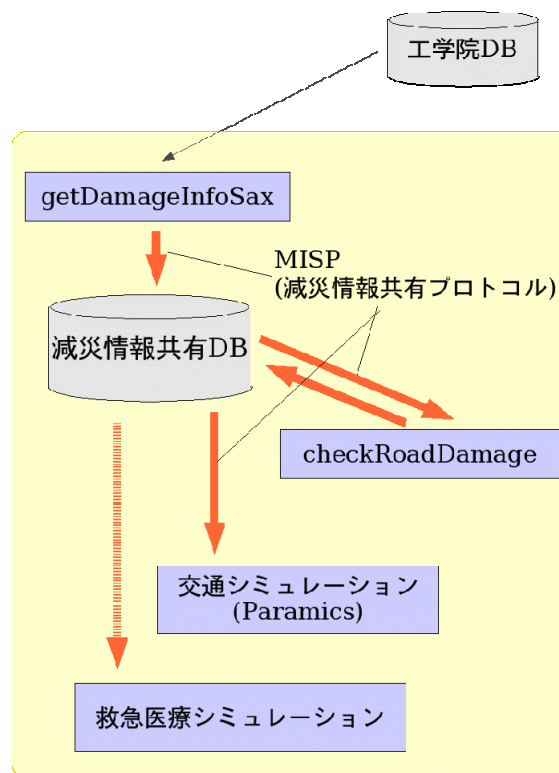


図 6. 6-11 デモシステムでの情報の流れ

c) 考察

接続テストについては、当初の予定通り、問題なく工学院システムから交通シミュレーションにデータを流すことができた。一方、以下の点についてはまだ検討が不十分であり、来年度の実験への持ち越しとなった。

- データベースの連動に関しては、共有できるデータが少なく、実際には膨大になると予想される被害情報を十分捌けるかといった実用的検証にはならなかった。これについては来年度、事前の準備がかなり必要であると思われる。
- 減災情報共有プロトコル(MISP)の有用性検証のためには、同プロトコル上でより多様な情報をやりとりする実験が必要である。各種システムの接続を用意にするライブラリ等の開発を急ぐ必要がある。
- 交通シミュレーションについては、道路の車線数、一方通行等の情報が欠落していたため、あまり現実的なシミュレーションにはならなかった。これは道路網についてどこまで詳細な情報が手にはいるかに依存する。ただし、道路の詳細データについてはその整備コストなどの点から、ある程度の自動推定などの機能を開発していく必要がある。

(2) 動的データの整合性管理

災害時における情報収集では、誤差を含む膨大な量のデータを扱い、それらの間の依存関係を適切に管理する必要がある。また、それらの情報の解析を現場で利用、すなわち災害救助の例では災害が実際に発生した直後に被害想定や救助計画立案のためにシミュレーション等の解析手法を用いる場合、災害現場のセンサーデータの報告に遅延が生じることを考慮する必要がある。このような条件をふまえた上で、データの共有や解析に対して整合性のある初期データを提供する枠組みが必要となる。本年度は、情報共有システムとしてのデータベースに求められるこのような機能について、理論的な考察を行った。

a) 定式化

ここではデータベースをデータの集まりとみなす。またデータとはある時刻のある事物について観測あるいは推定された個々の値とする。また、データベースは動的であるとする。すなわち、データベースへはシミュレーションなどとは非同期にデータが書き加えられるものとする。

これに対し、共有情報の利用とは、データベースにたいして以下のように入出力を行うものとして定義する。

- ある事象の集合に関するデータの集合を、ある時刻にデータベースから取得する。
- 別の事象の集合についてのデータを推定・解析する。
- 推定されたデータを時刻にデータベースに書き込む。

この共有情報利用の入出力に用いられるデータの集合につけられた名前をバージョンと呼ぶ。よって、共有情報利用とはあるバージョンのデータ集合をデータベースから受け取り、別のバージョンのデータ集合を作成してデータベースへ登録する処理とみなされる。

減災情報共有システムではいくつかの収集情報・解析情報を合わせて別の解析の入力として用いることが生じる。この際に、それらの解析結果が合わせて用いてもよいものかどうかを判断する必要がある。この判断を行うために、バージョン間の整合性(無矛盾性)というものを以下のように定義する。

2つのバージョンが無矛盾であるとは、それらのバージョンが根拠としている事象のうち2つのバージョンで共通のものに対して、真として扱っているデータ集合が完全に一致する場合であ

ると定義する。また、1つのバージョンが自己無矛盾であるとは、そのバージョンが根拠として
いる事象のデータセットが、どの根拠のパスをたどったとしても完全に一致することを指す。こ
れらの概念を用いれば、減災情報共有システムからデータを取り出す際には、自己無矛盾である
ようなデータ集合(バージョン)をかならず扱うこと、また、複数の情報を混ぜて利用する場合に
はそれらのデータ集合(バージョン)の間の無矛盾性を保つ必要があることに留意する必要がある。

b) 従来手法との比較

これらの定式化と従来提案されてきた各種の動的データ整合管理手法との関係について、以下
のように整理することができる。

動的データの管理手法としては、プログラム開発におけるソースコード管理手法が広く用いら
れている。特に UNIX 系で用いられている CVS(Cuncurrent Versions System)と MAKE は多数のフ
ァイル間の依存関係について整合性をチェックできる機構を持っている。しかしながらこれらの
方法では、以下のような点から減災情報共有に適用することができない。

- CVS ではファイル間の依存関係については木構造を仮定している。一方、災害情報ではデー
タ間の依存関係はラティス構造となるため、CVS では正確な依存関係の管理を行うことがで
きなくなる。
- MAKE ではラティス構造の依存関係を現すことができるが、MAKE の基本機能はデータを最新の
ものに保つことであるため、災害情報のように必ずしも最新の情報が正確でない場合に適用
することができない。

プロダクションシステムなどで用いられる ATMS(Assumption-based Truth Maintenance System)
もデータ間の整合性を保つ機能を提供している。ATMS は非常に強力な枠組みであり、求められる
機能としては災害情報共有に必要な要件を満たすことができる。しかしながら一般に ATMS は計算
量が多くなるため、基本的にデータ量の多い災害情報を扱うのには適さないと考えられる。こ
こで提案した形式化はこの ATMS を軽量化した簡易版であると見なすことができる。

c) 議論

本定式化では、データ集合からある事象のデータを取り出す操作のコスト無視して計算量を評
価している。これは、一般的な RDB を用いた場合、これらの操作は $\log N$ 程度の高速な手法が用意
されていることを前提としているためである。一方、DaRuMa では繰り返しのある XML データの操
作ではこれら高速な検索手法を用いることができないため、より細かい議論が必要になる。

また、事象集合の管理コストも上記の議論では無視している。これは、共有情報利用に関係す
る事象というのは、一般に機械的に指定されることを前提としている。例えば交通シミュレーシ
ョンでは、入力としては指定された領域の特定の種類の地物(「建物」や「道路」,「震度分布」な
ど)という形で与えられる。これらをリストアップすることも可能だが、汎用的なデータベースを
用いていけば、必要に応じて検索により求めていてもそれほどコストは生じないと考えられる。

この他、以下のような問題が形式化の上で残っている。

- バージョンの抽出に関する計算コスト。
- 統計的処理の合同や、モンテカルロシミュレーションの結果の解析に対するバージョンの考
え方。

今後はこれらの議論を行った上で, DaRuMa および MISP にデータ管理の手法を反映していく必要がある.

参考文献

- 1) 屋久哲夫: その時最前線では 「交通規制は魔法ではない!」, 東京法令出版, 2000.
- 2) Quadstone: Paramics: Microscopic Traffic Simulation, 2005.
<http://www.paramics-online.com/>
- 3) 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.
- 4) 豊橋市: 地震防災ガイドブック, 2003.
http://www.city.toyohashi.aichi.jp/syoubou/topics/bousai_gaidbook.html