

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学専攻人間人工環境コース

修士論文

原子力災害時における
住民行動モデルの構築とシミュレーション

2005年2月17日提出

指導教員 古田 一雄 教授



学生証番号 36682

清水 達哉

目次

| | | |
|-------|------------------|----|
| 第1章 | 序論 | 1 |
| 1.1 | 背景 | 2 |
| 1.2 | 目的 | 5 |
| 1.3 | 本論文の構成 | 6 |
| 第2章 | 住民定性モデルと MASTERD | 7 |
| 2.1 | 災害時の住民定性モデル | 8 |
| 2.1.1 | S-O-R モデルの構造 | 8 |
| 2.1.2 | 住民行動の影響要因 | 9 |
| 2.2 | MASTERD | 11 |
| 第3章 | ベイジアンネットワーク | 13 |
| 3.1 | ベイズ理論とネットワーク | 14 |
| 3.2 | 単結合ネットワークでの推論機構 | 17 |
| 3.2.1 | 推論の手法 | 19 |
| 3.2.2 | 初期推論 | 19 |
| 3.2.3 | 証拠入手時の推論 | 21 |
| 第4章 | 住民モデルの構築 | 25 |
| 4.1 | モデルの概要 | 26 |
| 4.2 | 情報入手と情報認識 | 27 |
| 4.2.1 | 注意レベルと認識条件 | 27 |
| 4.2.2 | 注意レベルの増減 | 29 |
| 4.3 | 状況認識と行動必要性判断 | 30 |
| 4.3.1 | 確率推論ネットワークの構造 | 30 |
| 4.3.2 | 情報入手と証拠ノード | 33 |
| 4.3.3 | ネットワークによる推論結果 | 34 |
| 4.4 | 避難行動の決定 | 35 |
| 4.5 | 情報行動の決定 | 37 |
| 第5章 | PRIMA | 38 |
| 5.1 | システムの概要 | 39 |
| 5.2 | シナリオマネージャ | 40 |

| | | |
|-------|----------------------|----|
| 5.3 | 情報制御センター | 43 |
| 5.4 | 住民推論モデル | 45 |
| 5.5 | ビューア | 46 |
| 第6章 | シミュレーション実験 | 48 |
| 6.1 | 実験手法 | 49 |
| 6.2 | 実験結果 | 54 |
| 6.2.1 | 住民行動の変化 | 54 |
| 6.2.2 | 住民個人の心理状態 | 57 |
| 6.2.3 | 広報情報の影響 | 59 |
| 6.2.4 | 情報行動 | 61 |
| 6.2.5 | MASTERD での連結実験 | 61 |
| 6.3 | 考察 | 64 |
| 6.3.1 | S-O-R モデルとの比較 | 64 |
| 6.3.2 | アンケート結果との相違点 | 66 |
| 6.3.3 | 今後の改良点 | 68 |
| 第7章 | 結論 | 70 |
| 7.1 | 結論 | 71 |
| 参考文献 | | 73 |

図表目次

| | |
|--|----|
| 図 1.1 : 原子力防災体制の仕組み[1]..... | 2 |
| 図 1.2 : 茨城県原子力防災訓練でオフサイトセンターの様子 | 4 |
| 図 2.1 : S-O-R モデル[13] | 9 |
| 図 2.2 : MASTERD 概念図 | 11 |
| 図 2.3 : MASTERD (原子力災害の場合) | 12 |
| 図 3.1 : 泥棒警報問題を表すベイジアンネットワーク | 16 |
| 図 3.2 : 単結合ネットワーク | 17 |
| 図 3.3 : 木構造ネットワーク | 18 |
| 図 3.4 : 多重結合ネットワーク | 18 |
| 図 3.5 : 単結合ネットワークでの 1 ノード | 18 |
| 図 3.6 : 推論アルゴリズムにおける各ノードのプロセッサ表現 | 23 |
| 図 4.1 : 注意レベルによる情報獲得判定 | 28 |
| 図 4.2 : 確率推論ネットワーク Prima-Net | 31 |
| 図 4.3 : Prima-Net 概念図 | 31 |
| 図 4.4 : 情報の複数入力と証拠ベクトル | 33 |
| 表 4.1 : 個人属性・環境属性と補正值 | 35 |
| 図 4.5 : 行動障壁と行動決定 | 36 |
| 図 5.1 : PRIMA の概念図 | 39 |
| 図 5.2 : シナリオマネージャーからのメッセージ例 | 41 |
| 表 5.1 : メッセージスロット一覧 | 41 |
| 図 5.3 : シナリオファイルの例 | 42 |
| 図 5.4 : 情報制御センター | 43 |
| 図 5.5 : PRIMA ビューア実行画面 | 47 |
| 図 5.6 : 住民アイコンの拡大図 | 47 |
| 図 6.1 : 住民配置と行動分布(19 時現在) | 50 |
| 表 6.1 : JCO 臨界事故時のシナリオ概要 | 51 |
| 図 6.2 : MASTERD (原子力災害の場合) 一再掲 | 53 |
| 図 6.3 : 住民の行動意思 | 55 |
| 図 6.4 : 住民行動の詳細意思 | 56 |
| 図 6.5 : 1 避難住民の行動意思割合 | 58 |
| 図 6.6 : TV 誤報の場合の住民行動時間変化 | 60 |

| | |
|---|----|
| 図 6.7 : MASTERD 連結実験での住民行動の時間変化 | 62 |
| 図 6.8 : MASTERD 連結実験での住民行動の時間変化 (詳細版) | 63 |
| 図 7.1 : 作成した住民モデルの概念図 | 71 |

第 1 章 序論

1.1 背景

1.2 目的

1.3 本論文の構成

1.1 背景

去る 1999 年 9 月 30 日に発生した茨城県東海村の JCO ウラン燃料加工施設における臨界事故は、原子力界だけでなく大きく社会に衝撃を与えた。この事件において、関連機関相互の情報共有が出来ず、対応が遅れたこと、そして住民に原子力施設への大きな不信感を与えた反省から、原子力に関する安全性の再構築が迫られることになった。

事故後、原子力災害対策措置法（原災法）が制定され、原子力防災体制のさまざまな改革が図られた。その一環として、原子力災害が発生した時に、国・県・市町村・原子力事業者及び専門家が集まり、「どのようにすれば住民が一番安全か」、「どのようにすれば事故が早く終わるか」等の対策を検討し、関係機関相互の意思統一を行い、方針を決定する「オフサイトセンター」が設置される運びとなる。

原子力防災体制のしくみ

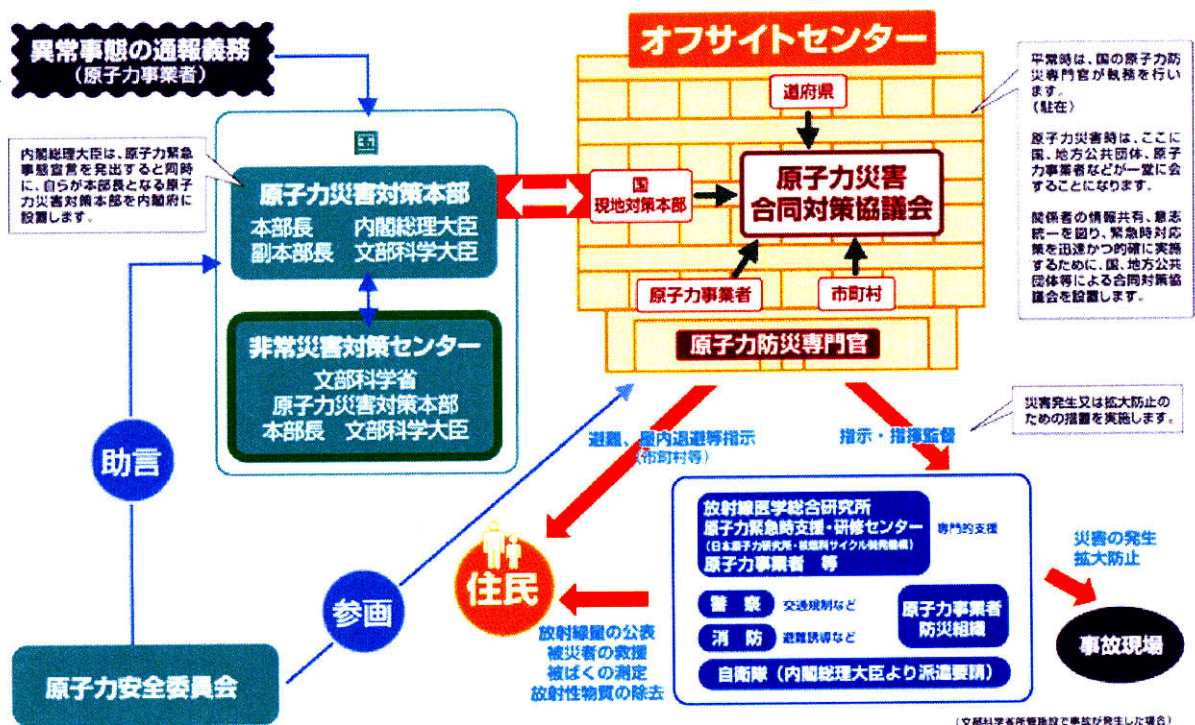


図 1.1：原子力防災体制の仕組み[1]

ここで問題となるのが、オフサイトセンターをはじめとする関係機関や制度が実際の災害時に期待通りの機能を果たすことができるのかという点である。図 1.1 のように、有事の際、オフサイトセンターには国や県、市町村から代表者が集まり、それに原子力業者、専門家が加わり、相互に意思統一を行って、方針を決定することになっている[1]。

こうした災害対策制度の有効性を検証する為、文部科学省や原子力関連施設を持つ各都道府県で、図 1.2 のように自治体単位での原子力防災訓練が行われている。JCO がある茨城県東海村でも、毎年原子力関連施設の事故を想定した防災訓練が行われてきた。ただし、この訓練は時間的な制約により、縮約した時間軸の中で実施している。そのため関連施設及び住民は事前に災害進行の状況や行動が決められている中で訓練をすることになる。よって実際に災害が起こったときに対策制度が有効に機能するかを検証することは困難である。特に、法律等でなすべき行動が定められているオフサイトセンターや役所、マスコミと異なり、住民は自分で何をすべきかが具体的に決められていないため、その挙動や影響は十分に検証されていない。

一方で、大規模災害時での救助、システム改善の為にロボカッププロジェクトが進行中であり、その中でもロボカップレスキューは住民救助の支援活動を目的として研究が進められている[2]。しかし、改善されたシステムが災害時に有効に機能するかどうかをきちんと検証することは未だ困難である。なぜならば、原子力防災システムがさまざまな組織が同時に行動及び意思決定をし、さらに各組織・個人が相互作用して全体の政策が決定するからである。これまで東海村及び原子力関連施設を持つ地域で避難訓練が実施されてきたが、時間的背景などから圧縮した時間軸の中で行わざるを得ず、またシナリオに沿って避難訓練が行われている為、システムの有効性を十分に検証するにはいたらなかった。

緊急時災害対策および体制の全体的な性能を理解し評価するためには、災害現象だけでなく、避難行動やコミュニケーションなどの個人・組織の振る舞い、そして異なる組織間での相互作用も考慮する必要があるからである。このような中、様々な組織をエージェントとして相互作用を含めたシミュレーションを行うマルチエージェントシステム (MASTERD) の開発が行われてきた[3,4]。その中でも、住民モデルの作成は避難状況の把握、そして広報計画の立案にも関わる事項であり、大変重要であるといえる。

一方、これまで住民避難に関する研究は数多く行われてきた。船内や地下鉄構内などの閉所空間におけるもの[5-8]から、都市全体にわたっての住民移動[9-12]にいたるまで、さまざまな研究が行われてきた。しかし、これらは避難指示を受け取ると同時に避難行動を始めるという前提の中、避難の経路探索や混雑状況などを検証するものであり、避難を決定する要因についてはこれまでほとんどなされてこなかった。これ

までの各種災害を見てもわかるとおり、避難指示などの情報が流されても住民が必ずその情報を手に入れ、そして意味を理解できるとは限らず、もし避難の必要性を多少感じたとしても何らかの原因により避難を思いとどまるケースは多々存在してきた。こうした住民は長期間高いリスク下に置かれることになるため、いかに指示を網羅させるかが重要になってくる。そのためには災害時の住民の意思決定プロセスについての研究が不可欠であるが、こうした研究はこれまでほとんどされていなかった。こうした中で、八木ら[14]は原子力災害時の住民について定性的なモデルを過去の事故後の住民へのアンケートや新聞調査などによって提唱した。

また、原子力災害は他の災害と異なり、災害の現状を視覚や聴覚、嗅覚など住民自身の感覚で直接知ることが困難である。そして、実際に目に見える形で被害が進行することはないため、災害状況の認知にはマスコミや役所、もしくは知人や家族などからの伝聞情報に頼らざるを得ない。こうした特性を持つ原子力災害での住民避難についてはこれまでなされていなかった。よって、原子力災害における、住民の意思決定を含めた行動プロセスの解明及びそのモデル化は緊急時の災害対策評価の面で重要であるといえる。



図 1.2 : 茨城県原子力防災訓練でオフサイトセンターの様子

1.2 目的

このような背景を受け本研究では、原子力災害時の住民の意思決定プロセスを八木らによる定性モデル[14]を基に検証し、住民の意思決定モデルを構築し、シミュレーションシステムとして実装することを目的とする。住民はさまざまな環境要因の下、マスコミや役所、個別無線などから災害情報および避難指示を獲得し、情報から避難必要性までの推論を行い、実際の行動を決定する。この住民モデルを元に、シミュレーションシステムを作成し、住民の状況認識の移り変わりを観察、検証を行う。また、住民モジュールとして MASTERD システムとの連結を行い、その挙動も確認する。

1.3 本論文の構成

次の章では八木らによる災害時における住民行動定性モデル (S-O-R モデル) [13,14]と菅野らによる緊急災害時におけるマルチエージェントシミュレーションシステム MASTERD の概要[3,4]を説明する。第3章では住民モデルの作成に用いたベイジアンネットワークによる確率推論についての計算手法をまとめる。続く第4章ではこれらの定性モデルやシステムを基にして構築した住民モデルについて説明していく。その後、その住民モデルを利用して作成した住民意思決定シミュレーションシステム PRIMA の第5章で説明し、第6章ではシミュレーションシステムを用いた実験、MASTERD システムと連結したシミュレーション実験を行い、その結果から考察を行う。最後に、第7章で本研究の結論を述べる。

第 2 章 住民定性モデルと MASTERD

2.1 災害時の住民定性モデル

2.2 MASTERD

2.1 災害時の住民定性モデル

八木らは、原子力災害を含む一般事故・災害事例から住民行動特性を抽出する基本的な考え方を整理するため、「災害時の住民行動基本モデル（S-O-R モデル）」を構築した[13,14]。

2.1.1 S-O-R モデルの構造

図 2.1 に S-O-R モデルの概念図を示す。このモデルは、原則として一般的に用いられる人間の情報処理過程と同様に、「情報入力（Stimulus）→状況判断（Organism）→意思決定及び行動（Response）」の 3 つのステップからなる。

① 情報入力

「注意報や警報などの情報を入手できるか」「入手した情報を理解できるか」がこの段階に相当する。

② 状況判断

この段階では、入手した情報により、「自分が置かれている状況の危険性を認識できるか」「不安を感じるか」が判断される。

③ 意思決定と行動

①、②のステップを経た上で、どのような行動をとるかという意思決定をし、行動を起こすかがこの段階に相当する。

災害時の住民の行動は情報収集や情報発信などの「情報行動」、避難準備や避難実施、屋内退避などの「避難行動」の大きく二つに分類することができる。そのため、この 2 つの行動を分けて意思決定をするようにしている。意思決定の内容は、さらに「行動の有無」、「行動のタイミング」、「行動をする際の手段」「行動の対象相手や行き先」に整理することができる。

そして、その結果に基づいて何らかの行動をとることになるが、行動の成否は行動主体以外の要素（他の住民の行動や、物理的条件）によって影響を受けることになる。

そして、3 つのステップが終了すると、再び情報入力を待つ待機状態になる。①や②で情報の入手に失敗したり、危険性や不安を感じなかったりした場合は③のステップにいくことなく、待機状態に戻ることになる。

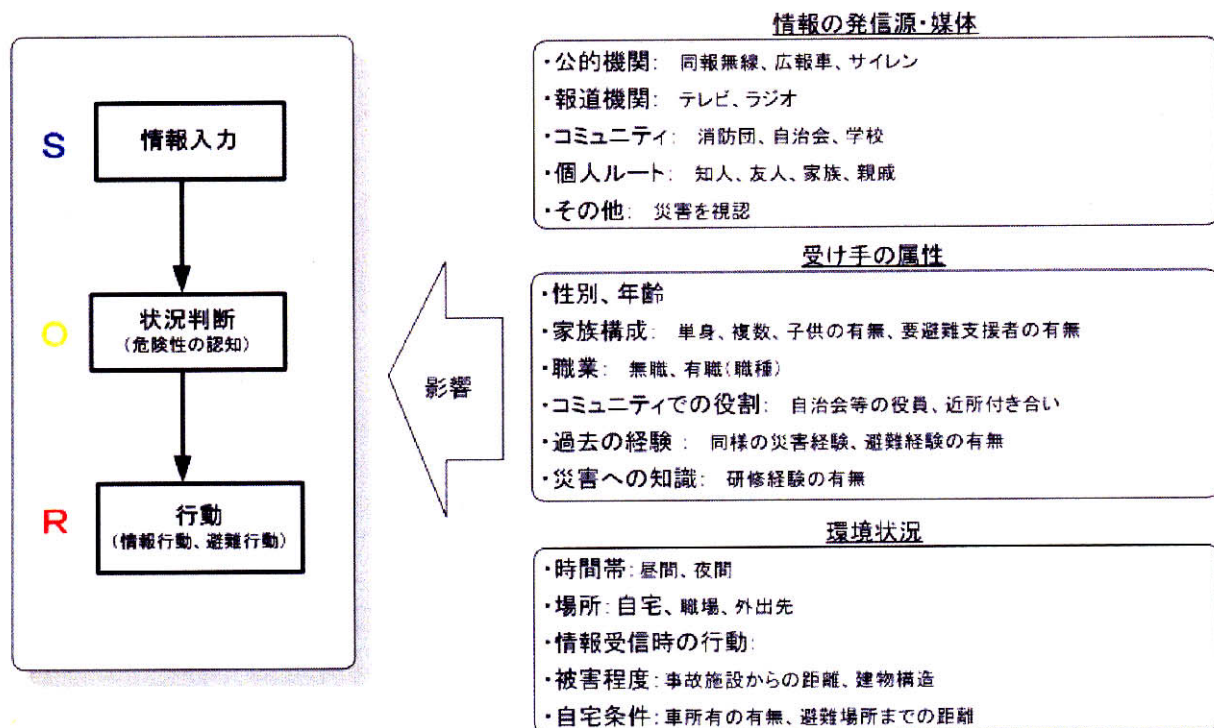


図 2.1 : S-O-R モデル[13]

2.1.2 住民行動の影響要因

S-O-R モデルの各ステップでは、それぞれの判断に対し、様々な影響要因が作用する。影響要因の主なものとしては、図 2.1 にあるようなものがあげられるが具体的には、次のように作用する。

① 情報属性に関する要因

- 「避難するように」などの避難行動の直接指示を受け取るとより危険性の認識が高まる傾向にある。
- 他者が避難している様子を見ると、避難行動を誘発することがある。
- 自然災害の場合は自分自身の目や耳で異常の発生を感じることもあるが、原子力災害ではその可能性は低い。ただし、救急車や消防車などの出動を知ることによって、異常の発生を認識する場合がある。
- 情報媒体の種類や情報頻度が少ない場合は、受け取った情報の信頼性は低い。
- 役所やマスコミなどの公的機関からの情報に比べ、家族や知人などの私的な情報媒体からの情報の方がより信頼される傾向にある。

② 個人属性に関する要因

- 男性よりも女性のほうが災害情報を他者に伝達しやすく、避難を決意しやすい。
- 家族に要介護者や未就学児など単身での避難が困難な住民（避難要介護者）がいる場合は避難を実施する可能性が高く、また時期も早い。
- 家族の構成人数が少ないときは、情報の取得数が少なく、情報伝達もしにくい。
- 若い世代ほど避難率は高くなり、年齢が上がるほど避難率は減少する。また年配者は避難に際してより受動的であり、能動的に避難を決定することは少ない。
- 農漁業従事者などは、自分たちの財産（船・畑・家畜など）を守るため、避難に消極的になると推測される。
- また、公務員や会社員などに比べ、農漁業従事者のように小規模かつ他業種との交流も少ない業種の場合は入手情報が少なくなる傾向がある。

③ 環境状況に関する要因

- 防災無線による情報伝達は有効に機能するが、天候状況・風向きなどによっては認識が困難になる場合がある。
- 避難要介護者がいる場合、雨天時や気温が低い場合などは避難の困難さから避難率が下がる傾向がある。

④ その他

- 避難指示を受け取る以前に自主的に避難する場合も少なくない。また、そうした住民は自家用車で避難を行うものが大多数である。
- 避難場所が指定されていても、プライバシーなどの観点から、知人等ほかの場所に避難する場合も多い。特に災害が長期化する可能性がある場合（原子力災害もこれに当てはまる）はその割合が大きくなる。

このような定性モデル及びその影響要因を考慮して住民モデルを構築していく。

2.2 MASTERD

菅野らは災害対応を行う多種多様な組織、住民の振舞いなどを解析、評価する緊急時行動シミュレーションシステム(MASTERD: Multi-Agent Simulation sysTem of Emergency Response in large-scale Disasters)の開発を行っている[3,4]。

MASTERD は、分散シミュレーション環境(CORBA)上に様々なシミュレーションモジュールを実装し、統合的な災害対応シミュレーションを可能にするものである。MASTERD の概念図を図 2.2 に示す。MASTERD は、①関係機関の政策決定および対策実行を司る人・組織行動シミュレータ (HOS: Human-Organization Simulator)、②住民の避難行動や情報行動を決定し避難経路探索などを行う住民行動シミュレータ、③災害の進展状況を計算する現象シミュレータ、④地理情報を管理するGISサーバ、⑤事故進展のシナリオを送信するとともに各シミュレータの結果を表示する情報提示モジュールの5つと CORBA を用いたシミュレーションカーネルから構成されている。

原子力災害の場合の MASTERD の概念図を図 2.3 に示す。各エージェントは外部環境や他エージェントからの入力情報・リソースを基に、獲得情報および知識ベースを参照し適切な行動を選択、実行する。役所や防災施設の各セクションに、知識ベースには原災法下における対応ルール、基準、連絡先が格納されている。また、放射線の拡散シミュレータが現象シミュレータとして組み込まれている。

本研究では、住民行動選択モデルを作成し、それを元に MASTERD の中で住民行動シミュレータとして実行できるようなシステムを開発した。

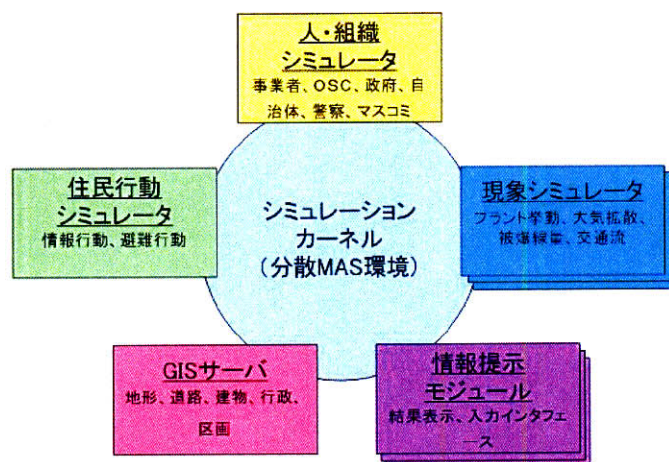


図 2.2 : MASTERD 概念図

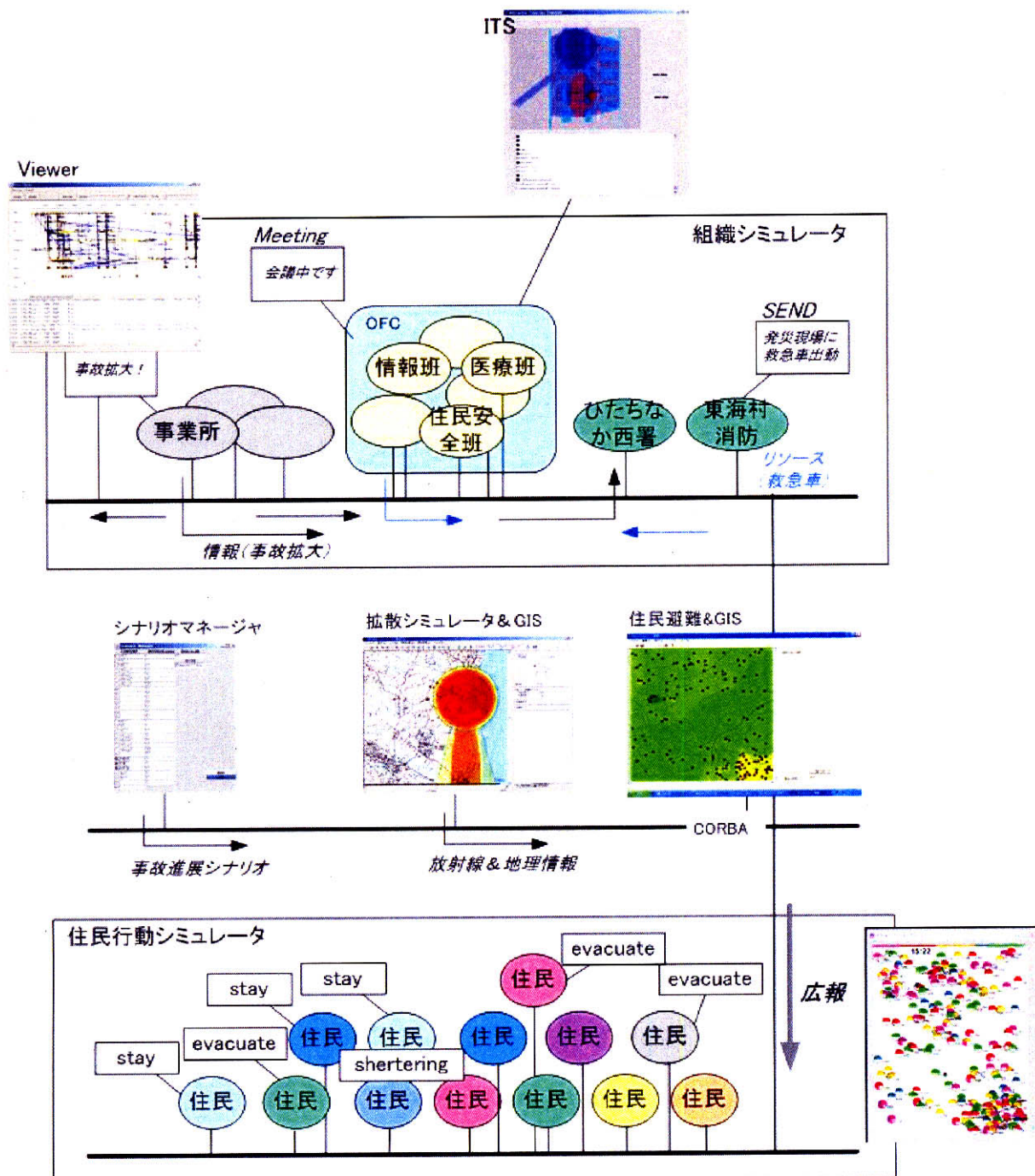


図 2.3 : MASTERD (原子力災害の場合)

第3章 ベイジアンネットワーク

- 3.1 ベイズ理論とネットワーク
- 3.2 木構造での推論機構
- 3.3 単結合ネットワークでの推論機構

3.1 ベイズ理論とネットワーク

ベイズの定理とは、条件付き確率についての定理であり、事象Aと事象Bに条件付き確率 $P(A|B) = P(A \cap B) / P(B)$ が存在するとき、

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (3.1)$$

が成立することをいう。

一方、確率的推論に重要な役割を果たすもう一つの関係に、条件付き独立がある。確率変数Zの値が与えられたとき、XとYが条件付き独立であるとは、

$$P(X \cap Y | Z) = P(X | Z)P(Y | Z) \quad (3.2)$$

が成り立つことである。このことは同時に

$$P(X | Y \cap Z) = P(X | Z) \quad (3.3)$$

も成り立つといえる。

これらを利用したネットワークがベイジアンネットワーク[15-17]である。ベイジアンネットワークとは、条件付き独立の関係を有向グラフを用いてあらわしたものである。確率変数をノードとし、条件付き従属である2つのノード間に有向枝を張った有向非循環グラフ (**directed acyclic graph: DAG**) である。有向枝がないことはその2つのノードの確率変数同士が条件付き独立であることを表す。ベイジアンネットワークでは、確率変数を表すノードXに、条件付き確率分布 $P(X|Y_1, \dots, Y_n)$ を示す条件付き確率表(**conditional probability table: CPT**)がつけられている。ここで、 Y_1, \dots, Y_n はノードXの親ノードに対応する確率変数である。また、ノードXはXの各状態に対応する変数 x_j をもち、1つのノードの中では変数の値の総和は1になる。2変数の場合はそのノードの真偽を表すものと考えることができる。図3.1に泥棒警報問題を

表すベイジアンネットワークを例としてあげる。

このネットワークとベイズの定理を利用することによって、証拠入手によるノード入力から各ノードの信念確率を推論することができる。また、前提知識に基づくモデル構築とデータからの学習の両方の側面を持っているため、不完全なデータや観測が困難な要素も扱うことができる一方で、専門家の持つノウハウをネットワーク構造として導入することが可能なため、推測される仮説を実データに基づいて検証することができるという利点もある。この特徴からベイジアンネットワークは人間のさまざまな状況推論に利用されることが多く、畠山は作業員の状況認識に利用している[18]。また、村上はベイジアンネットワークを消費者の購買にいたる心理や内部状態など通常ではモデル化できないような消費者行動についてモデル化を行っていく。このように、専門家が持つ定性的なデータと、アンケート調査の結果など定量的なデータの双方を踏まえ、個人の内部状態の変化を含めてモデル化できることがベイジアンネットワークの特徴である。また、推論の過程として、根源事象から条件付き確率表によって末端ノードへ推論を重ねていくトップダウン推論と、末端事象に与えられた証拠ノードによって親ノードへ推論を重ねていくボトムアップ推論の2種類を利用している。そうしたことを踏まえ、原子力災害時の住民もさまざまな情報入手を経た内部状況の変化が避難行動などに影響していると考えられること、住民の推論過程には自身で事故情報を認識して行動を決定していく能動的行動決定（トップダウン推論に相当する）と、役所やマスコミなど各種情報機関から直接行動指示を受けて行動を決定する受動的行動決定（ボトムアップ推論に相当する）の2種類が考えられ、どちらもベイジアンネットワークにてモデル化可能である。よって、本研究では、ベイジアンネットワークによる推論を住民の状況認識及び避難の必要性認識に利用している。この章ではベイジアンネットワークによる推論を紹介していく。

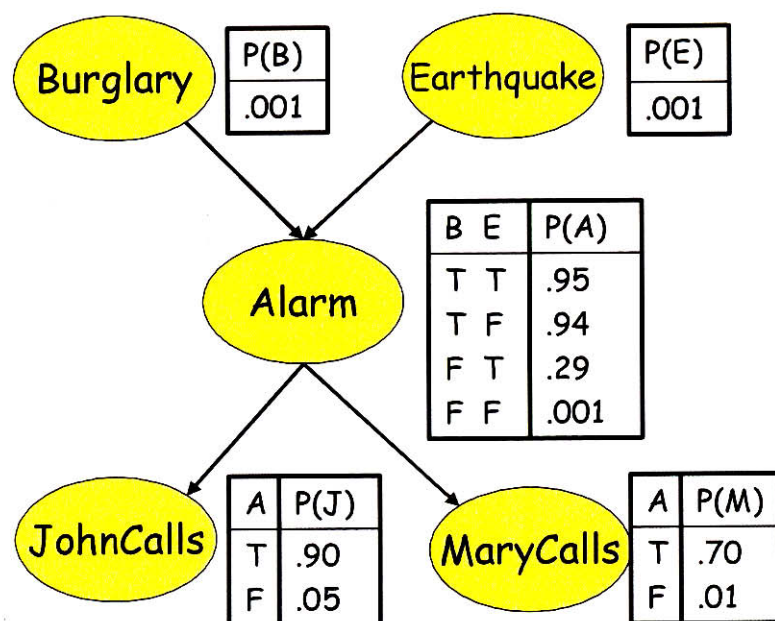


図 3.1 : 泥棒警報問題を表すベイジアンネットワーク

3.2 単結合ネットワークでの推論機構

ベイジアンネットワークにおける確率的推論は、一般的にはNP問題であることが知られている。しかし、ベイジアンネットワークの構造に単結合という制約を加えると、節点の数に対して多項式時間となる計算アルゴリズムが多数存在する[17]。単結合とは、任意の節点の間に、無効経路が1つしか存在しないようなネットワークを言う。具体的には図 3.2 のようなネットワークである。図 3.2 のノードのうち、ノード X は親を複数持つノードである。このようなノードがあると推論アルゴリズムは複雑化するが、計算を簡素化するアルゴリズムが存在する。sum-product アルゴリズム[17]は因子グラフを利用することによって、図 3.3 のような親が一つしかないようなネットワーク（木構造ネットワーク）にネットワークを適宜組み替え、推論をしていくアルゴリズムである。今回は住民モデルに用いるネットワークの特性から、ネットワーク構造に制約をつけることによって推論アルゴリズムを改良し、単結合ネットワークでの推論を可能にした。なお、任意の節点間に無効経路が複数存在する多重結合ネットワーク（図 3.4）については、クラスタリング法などを用いて、単結合ネットワークに改変してから推論を行う必要があるが、今回構成した住民モデルのネットワークは多重結合ネットワークではないため利用しなかった。

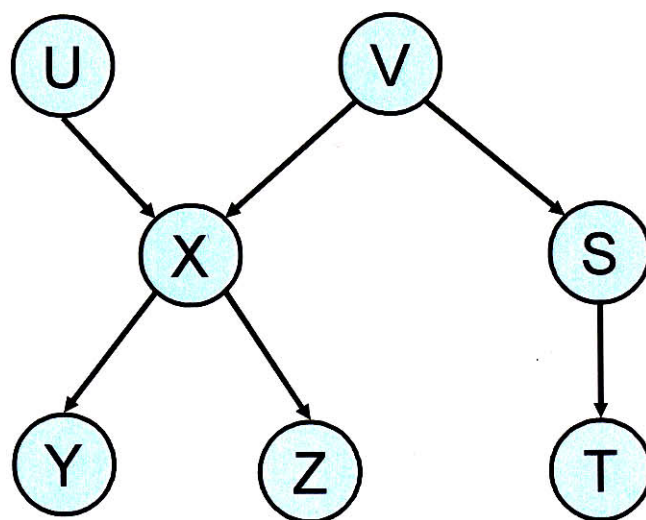


図 3.2 : 単結合ネットワーク

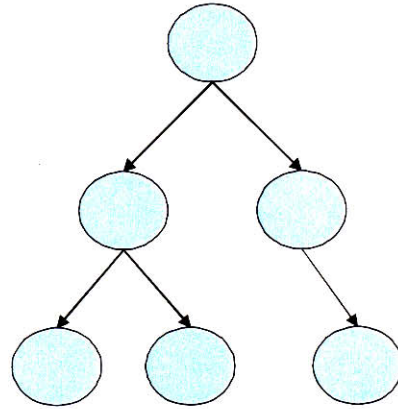


図 3.3 : 木構造ネットワーク

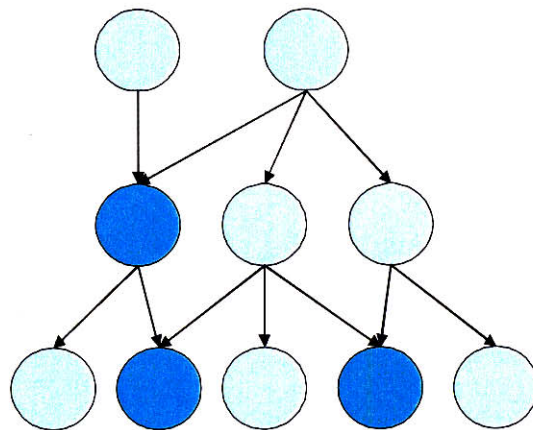


図 3.4 : 多重結合ネットワーク

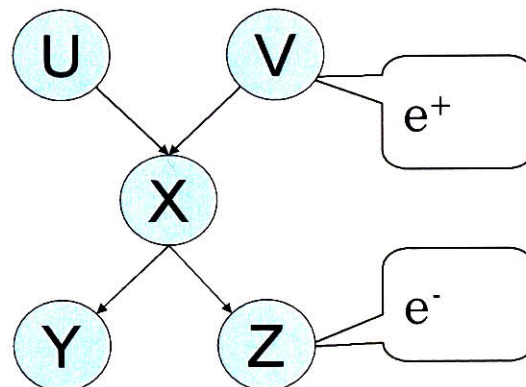


図 3.5 : 単結合ネットワークでの 1 ノード

3.2.1 推論の手法

図 3.5 に単結合ネットワークの 1 ノード (X) を示す。ノード X の信念確率は証拠ノードにより与えられた状況のときの条件付確率に値するから、親ノード方面の証拠を e^+ 、子ノード方面の証拠を e^- とすると、

$$BEL(x_i) = P(x_i | e) = P(x_i | e^+, e^-) \quad (x_i \text{ は } X \text{ における各事象確率}) \quad (3.4)$$

となり、また、これはベイズの定理により、

$$\begin{aligned} BEL(x_i) = P(x_i | e^+, e^-) &= \frac{P(x_i \cap e^+ \cap e^-)}{P(e^+ \cap e^-)} \\ &= \frac{P(e^+)P(x_i | e^+)P(e^- | e^+, x_i)}{P(e^+)P(e^- | e^+)} \\ &= \frac{P(x_i | e^+)P(e^- | x_i)}{P(e^- | e^+)} \\ &= \alpha P(e^- | x_i)P(x_i | e^+) \\ &= \alpha \lambda(x_i) \pi(x_i) \end{aligned} \quad (3.5)$$

と表すことができる。2 行目から 3 行目にかけて、 e^- は x のみに依存し、 e^+ の影響を受けないことを利用した。また、 α は $1/P(e^- | e^+)$ を正規化定数（確率合計が 1 になるように計算するためのもの）としてみたものである。このことより、X において事象 x_i が発現する信念確率は証拠 e^+ が生じた場合の x_i の条件付確率 $\pi(x_i)$ と、 x_i が生じた場合の e^- の条件付確率 $\lambda(x_i)$ の積を用いて求めることができる。なお、実際に使っていくネットワークでは各ノードがもつ親ノードの数は最大 2 であるため、今後の推論においては親ノードが 1 つまたは 2 つの場合のみを扱う。

3.2.2 初期推論

図 3.5 のような親ノードを最高 2 つまで持つノードについて推論機構を述べることにする。まず、証拠が何もない状態での初期信念確率を求める。 π の値は親ノードが 1 つの場合は親ノードの U から X に与えられた $\pi X(u)$ 、そして条件付確率行列

$P(x_i | u_j)$ を用いて

$$\pi(x_i) = \sum_j P(x_i | u_j) \pi_X(u_j) \quad (3.6)$$

とできる。また、親ノードが2つの場合はUからXに与えられた $\pi_X(u)$ とVからXに与えられた $\pi_X(v)$ 、そして条件付確率行列 $P(x_i | u_j, v_k)$ を用いて、

$$\pi(x_i) = \sum_{j,k} P(x_i | u_j, v_k) \pi_X(u_j) \pi_X(v_k) \quad (3.7)$$

と求めることが出来る。また、根源事象のノードの π を初期確率で設定することによって、単結合ネットワークでの全てのノードで π を再帰的に求めることが出来る。なお、初期推論での $\pi_X(u)$ 、 $\pi_X(v)$ はそれぞれ $\pi(u)$ 、 $\pi(v)$ に等しい。

一方で、 λ はそれぞれの子ノードから与えられた $\lambda_{Y_m}(x_i)$ を用いて

$$\lambda(x_i) = \prod_m \lambda_{Y_m}(x_i) \quad (\text{図 3.5 の例では } \lambda(x_i) = \lambda_{Y_1}(x_i) \lambda_{Y_2}(x_i)) \quad (3.8)$$

と求めることが出来る。証拠が何もない場合の末端ノードの λ を全ての成分が1のベクトルとすれば上式によって全てのノードの λ が初期設定され((1,1,...,1)になる)、初期信念確率が

$$BEL(x_i) = \alpha \lambda(x_i) \pi(x_i) \quad (3.9)$$

によって求められる。

3.2.3 証拠入手時の推論

あるノードに証拠が与えられたときは、ボトムアップ推論とトップダウン推論が行われ、各ノードの信念確率が更新される。証拠は、対応するノードの λ に (FALSE,TRUE)=(1,0)のように与えられる。証拠自身は 0or1 である必要はなく、確率推定値((0.8,0.2)など)を代入することも出来る。

ボトムアップ推論

まず、 λ を自分の親ノードに伝える必要がある。親ノードが U、V と2つある場合、それぞれのノードに受け渡す λ は、自身の持つ λ と親ノードから与えられた π 、そして条件付確率行列を用いて、

$$\begin{aligned}\lambda_X(u_j) &= \sum_{i,k} \lambda(x_i) \pi_X(v_k) P(x_i | u_j, v_k) \\ \lambda_X(v_k) &= \sum_{i,j} \lambda(x_i) \pi_X(u_j) P(x_i | u_j, v_k)\end{aligned}\tag{3.10}$$

と表すことが出来る。親ノードが1つの場合は、自身の λ と条件付確率行列のみを用いて、

$$\lambda_X(u_j) = \sum_i \lambda(x_i) P(x_i | u_j)\tag{3.11}$$

によって求めることが出来る。

親ノードでは全ての子ノードからの λ 情報を集め、それらの積、つまり

$$\lambda(u_j) = \prod_m \lambda_{Y_m}(u_j)\tag{3.12}$$

によって自身の λ を決定する。

トップダウン推論

ボトムアップ推論の後、今度は π の更新を行う。ノード X から自身の持つ各子ノード Y_m へ送る π は、初期推論での信念確率 BEL(X)、ボトムアップ推論で用いた $\lambda(X)$ の式を用いることにより、

$$\begin{aligned}\pi_{Y_m}(x_i) &= \alpha \left[\prod_{l \neq m} \lambda_{Y_l}(x_i) \right] \sum_{j,k} P(x_i | u_j, v_k) \pi_X(u_j) \pi_X(v_k) \\ &= \alpha \frac{BEL(x_i)}{\lambda_{Y_m}(x_i)}\end{aligned}\tag{3.13}$$

と単純にもとめることが出来る。

推論手順

最終的に、 λ および π を各ノード間で通信を行いながら次のような順番により推論していくことにより、全ノードの信念確率を求めることが出来る。

子ノードから λ^* を受信したときは、

- ① 子ノードから λ^* を受信
- ② 自身の λ を計算（もしくは証拠から λ を更新）(3.12)
- ③ 自身の π 、 λ から信念確率 BEL を計算(3.9)
- ④ 親ノードからの π^* 、自身の λ から親ノードに送る λ^* を計算し(3.10,3.11)、親ノードに λ^* を送信

親ノードから π^* を受信した時は

- (1) 親ノードから π^* を受信、受け取った π^* を用いて自身の π を計算(3.6,3.7)
- (2) 更新した π を使って信念確率 BEL を再計算(3.9)
- (3) 子ノードに返す π^* を自身の BEL と受け取った λ^* を元に計算し(3.13)、 π^* を子ノードに送信

となる。これを 1 ノードに注目して図で表したものが図 3.6 である[16]。

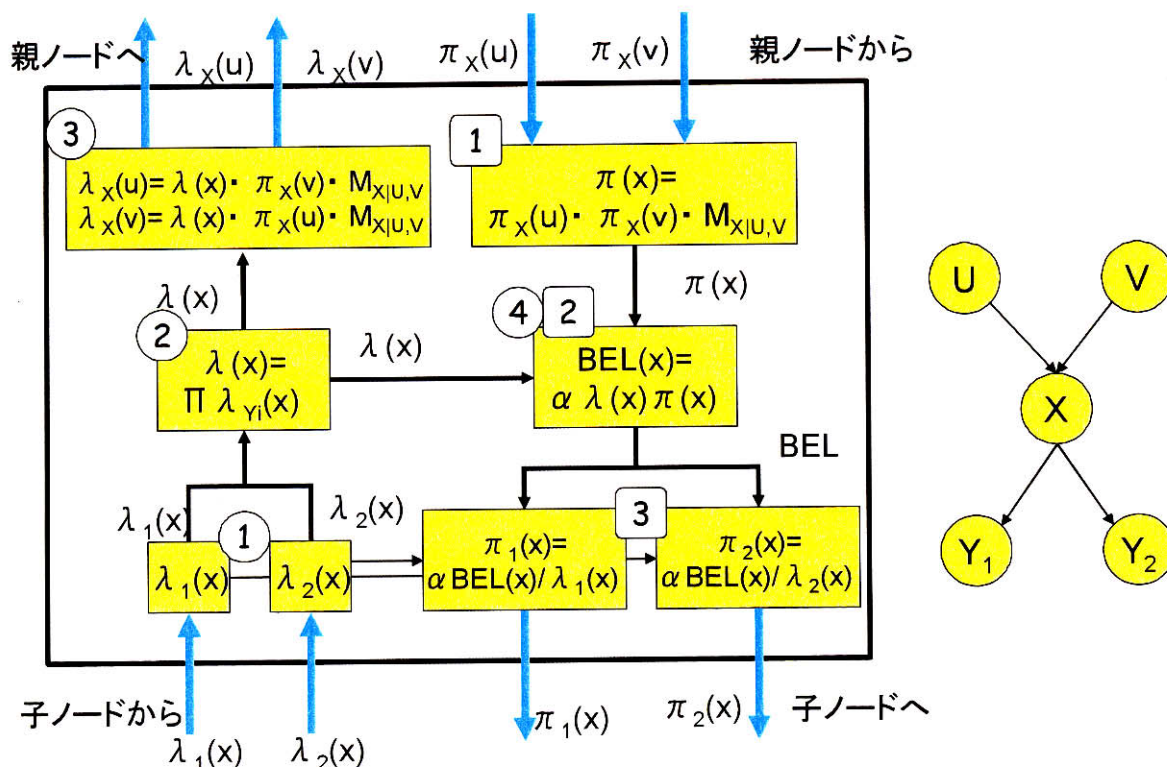


図 3.6 : 推論アルゴリズムにおける各ノードのプロセッサ表現

ここで、推論アルゴリズムを単純化させるため、以下の制約を設定した。

- ① 単結合ネットワークを **rank** (階層)、ID (同階層の中での通し番号) の 2 つのパラメータで扱う。
- ② 各ノードにつながる親ノードは最高 2 つまでに限定する
- ③ ノード間のリンクは階層差 1 のみとする
- ④ 各ノードの変数の数は 2 または 3 に限定する (FALSE/TRUE か A/B/C)

このような制約の元でネットワークを作成することにより、ノードの検索対象範囲が狭くなり、推論が高速化するほか、推論アルゴリズムを簡素化することができる。また、④については、各ノードの真偽だけではなく、事故現場までの距離ノードに関しては (遠距離/中距離/近)、行動必要性認識ノードに対しては (避難/屋内退避/行動必要なし) などというように、より実用的にしつつ、ノードの数を減らすため、3 つ

までの変数に対応出来るようにした。

証拠を入手すると、それに対応するノードが発火、リンクをたどりながら次々に λ 、 π を変更していくことになるが、実際にリンクをたどって計算をしていくことは難しい。そこで、ネットワークの階層ごとに全てのノードを計算することで対応することにした。

第 4 章 住民モデルの構築

- 4.1 モデルの概要
- 4.2 情報入手と情報認識
- 4.3 状況認識と行動必要性判断
- 4.4 避難行動の決定
- 4.5 情報行動の決定

4.1 モデルの概要

この章では、前章第4節で紹介した住民推論モデルについて詳しく説明していく。住民による推論システムはS・O・Rモデルを元にして3つの工程から作成した。

① 情報入手と情報認識

情報を入手できるかどうか、また入手した情報を認識できるかどうか注意レベルを用いて判断した。

② 状況認識と行動必要性判断

事故状況および行動の必要性を推論するため、ベイジアンネットワークを導入して推論システムを作成した。情報入手工程で得た情報をノード化して証拠ノードとして推論し、自身の行動必要性を推論する。

③ 避難行動の決定

避難行動の必要性を認識したとしても個人の属性や天候、時間帯などによっては避難を思いとどまる場合がある。本研究ではこれらを行動障壁として扱い、自身の行動決定を行っている。

④ 情報行動の決定

避難行動と平行して、必要な場合は事故状況を役所等に問い合わせる情報要求行動や、自身の持つ情報を他者に提供する情報発信行動を起こすことがある。本研究では注意レベルと情報入手状況に基づいて情報行動判断を行う。

次節以降、この4つの工程について詳しく説明していくことにする。

4.2 情報入手と情報認識

情報を入力することができるか、また、入手できてもそれを認識することができるかどうかは 2.1 節での S-O-R モデルの最初のステップに当たる。このステップを表現するため、注意レベルという概念を導入した。

4.2.1 注意レベルと認識条件

情報を入力する機会を得るには、まずその情報を入力する手段を持つかどうか判断される。テレビやラジオの視聴状況、また、屋内にいるか屋外にいるかによって入力することができる情報媒体が異なってくるからである。しかし、情報媒体に接していたからといって、その情報内容まで認識できるとは限らない。ある程度流される情報に注意していないと内容を聞き逃してしまうことが考えられる。そこで、注意レベルという、視聴状況などとは別の指標を利用することにした。

注意レベルはその住民がどれだけ情報を入力することができるかを表す視聴能力指標である。注意レベル At は整数値で表され、 $At \geq 100$ で緊急認知状態とみなす。それぞれの情報には必要となる 100 以上の注意レベル Co が設定されており（注意障壁）、 $At \geq Co$ を満たす住民にのみ、情報が認識される仕組みになっている。そのため、注意レベルが高いほど、異常を認知し、公的機関などからの情報の取得が容易になる。また、このことは危険性や不安を認識しているともいえるため、状況認識の結果も兼ねているといえる。注意障壁は全て同じ高さではなく、情報媒体ごとに設定してある。屋内で他の雑音がない中視聴することができるテレビやラジオ、個別無線に比べ、屋外で放送されるスピーカーや広報車については注意障壁が高くなる。

平常時、注意レベルは住民ごとに異なる初期値を持つ。これは平常時での注意意識の差を表現している。平常時注意レベルは 80 前後に設定されており、第一報で情報を認識することは比較的困難である。これは、日常生活では災害時を想定して行動することはまれであり[26]、情報の入手によって緊急モードになってから実際の推論を始めるためである。しかし、注意レベルが Pe ($Pe \ll Co$) 以下の場合を除き、注意障壁を超える注意レベルを持たなくても、情報の存在を認識することは可能であるように設定した。これは情報の内容は理解できなくても、情報が何か発信されたことは認識できるという状況を再現させるためである。この認識によって、異常の発生を認識し、さらには自身の注意レベルを増加させ、次の機会には情報獲得の可能性が高まる要因にもなる。これらを図に表したものが図 4.1 である。

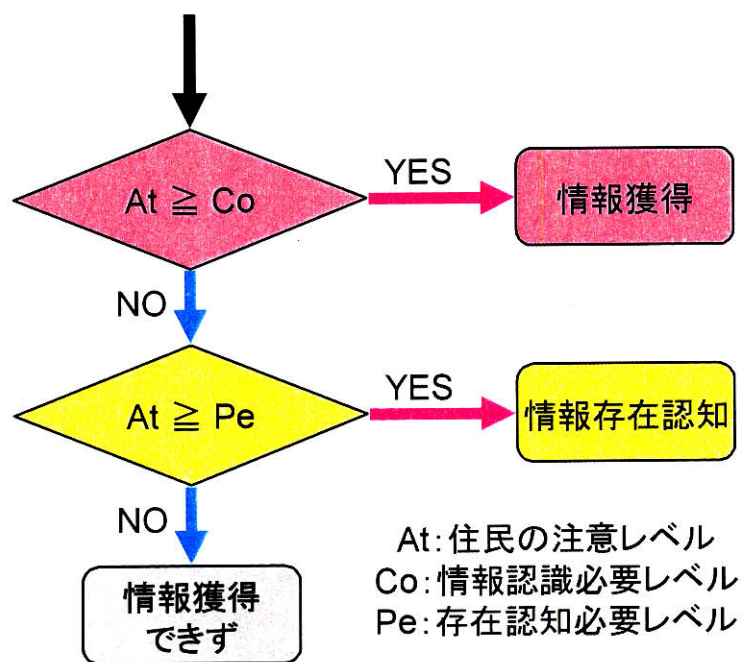


図 4.1 : 注意レベルによる情報獲得判定

4.2.2 注意レベルの増減

注意レベルは初期値のまま固定されるのではなく、情報入手や状況認識の結果によって変化する。後の 4.5 節でも述べるが、異常事態や危険性を認識したり、不安を感じたりした場合は注意レベルが上昇する。その結果、以前よりもより情報入手しやすい住民になる。注意レベル上昇の主な原因には次の 3 つがある。

- ① 情報を獲得し、内容を読み取った結果、異常事態・危険性を認識した。
これには(1)事故の発生・進展を認知、(2)屋内退避・避難を決意、(3)行動が決定できなかった（行動判断に時間がかかっている状態）の 3 つがある。
- ② 情報を獲得したが、内容を読み取ることができなかった。
注意レベルが足りず情報を読み取ることができなかったケースに加え、救急車やパトカー、ヘリコプターや他者の避難行動など、事故の発生を案じさせるような事象の発見もこれに含まれる。
- ③ 家族や他人から情報を受け取った。
家族等によって事故の発生が伝えられたときは注意レベルが増加する。

こうした要因が注意レベルを上昇させる一方で、注意レベルを減少させる要因も存在する。主なものとしては以下のような事象が挙げられる。

- (a) 事故の終息を知った。
- (b) 避難行動の必要性がないと確信できた。

本研究でのシミュレーションでは避難行動と情報行動の発現を主においているため、事故の終息、屋内退避の解除までシナリオを設定しなかった。そのため、注意レベルが減少することはほとんどなかったが、より長期間のシミュレーションではこのような注意レベルの減少も考慮する必要がある。

4.3 状況認識と行動必要性判断

住民は情報を入手・認識すると、自分の知識構造のもとで推論を行い、行動の必要性や事故状況を推定する。本研究では、この知識構造にベイジアンネットワークを用い推論を行った。

4.3.1 確率推論ネットワークの構造

図 4.2 に本研究で用いたベイジアンネットワークである Prima-Net、そして図 4.3 にはその概念図を示した。ノードは事故と自身の状況を表す状況ノードカテゴリーと他者からの情報を表す情報ノードカテゴリーに二分される。情報ノードは対応する状況ノードの子ノードとなっており、情報媒体ごとにノードが存在する。図 4.3 の中で、星印のついたノードは 3 つの変数、その他のノードは 2 つの変数を持つ。ルートノードである原子力関連事故発生ノードと事故現場との距離ノードには事前確率が設定されている。また、リンクでつながれたノード間には条件付き確率表が設定されている。条件付き確率表および事前確率は本研究では設定するためのアンケート結果がなかったため、1 エージェントで以下のような定性的な特徴を表現できるように独自に設定した。

- ① 情報を何も得ていないときの初期確率、避難必要性はきわめて低い
- ② 行動指示を確信したときは他の情報の影響がない限りその行動に従う
- ③ 救急車やパトカーなどの環境情報は事故との関連性は薄い
- ④ 行動指示がなくても、事故情報、環境情報などから避難行動を決定できる
- ⑤ マスコミよりも家族など人伝の情報の方が、情報に対する信頼度が高い

これらの確率値に付いては今後アンケート等によって検証されれば、より現実に対応したモデルが作成できると考えられる。

状況ノードカテゴリー

状況ノードカテゴリーには原子力関連事故発生、放射線漏れ、事故現場との距離、そして行動必要性の4つのノードがある。前者2ノードは「真／偽」の2変数しか持たないが、事故現場との距離ノードは「遠距離／中距離／近距離」、行動必要性ノードは「避難／屋内退避／行動必要性なし」の3変数を持つ。なお、情報が何もない状況では事故発生および放射線漏れノードはきわめて低い値をとるように設定し、距離ノードについては「遠距離」変数が、行動必要性ノードについては「行動必要性なし」変数が最も大きい値になるように条件付き確率表を設定した。

情報ノードカテゴリー

情報ノードカテゴリーは上記の情報ノードカテゴリーの証拠となる情報源であり、マスコミや役所などによる言語情報と、ヘリコプターや救急車、スピーカー後方の存在などの環境情報に分けることができる。言語情報は情報源ごとにノードが分けられ、異なる情報源から情報を得た場合はそれだけ信念確率が上昇するように設定した。環境情報についても、それぞれの事象にノードを分けることで様々な状況を認識できるようにした。この中には他の住民の避難行動をあらわすノードも含まれ、周囲の様子によって自分もそれについて避難を行うという従属行動を表すこともできるが、現段階のシステムでは他者の行動を直接見ることはできないためPRIMA内では省略してある。また、役所に問い合わせた取得したメッセージ、家族から送られてきたメッセージにも対応するノードを設定している。

4.3.2 情報入手と証拠ノード

住民はメッセージを入手するとそのメッセージからスロットを読み取り、対応する情報カテゴリーノードを検索する。例えば、**Radiation** スロットが **True**、**Media** ノードが **TV** のメッセージを受け取った場合は放射線漏れノードに付随する情報ノードのうち、**TV** ノードを発火させればよい。また、スピーカー放送の存在に気がついたがその内容が把握できなかった場合は **Media** スロットが **Speaker** となるメッセージが送られてくるため、環境状況ノードの **Speaker** ノードのみ発火し、各種言語情報ノードは発火しない。そして、情報ノードにあわせて証拠ベクトルを作成し入力、推論を行う。

ここで、通常証拠ベクトルは一つの変数のみ1で残りの変数は0となる単位ベクトルとなる。しかし、同一情報であっても、情報が少ない段階では信頼性が低い場合がある **S-O-R** モデルでの性質を表現するために、言語情報ノードに対しては情報の入手回数にあわせて段階的に証拠確率を上昇させる方式をとった。図 4.4 のように、初回の情報入手では **True:0.9**、**False:0.1** となるが、2回目では **0.99** 対 **0.01**、そして3回目では始めて **True:1**、**False:0** となるようにした。こうすることで、情報媒体への信頼度だけでなく、情報自身への信頼度を表現することができ、現実の定性的特徴をより反映できることになる。変数が3つの場合でも、同様に過去に受け取った情報を記憶しておき、情報の弾力性を表現した。

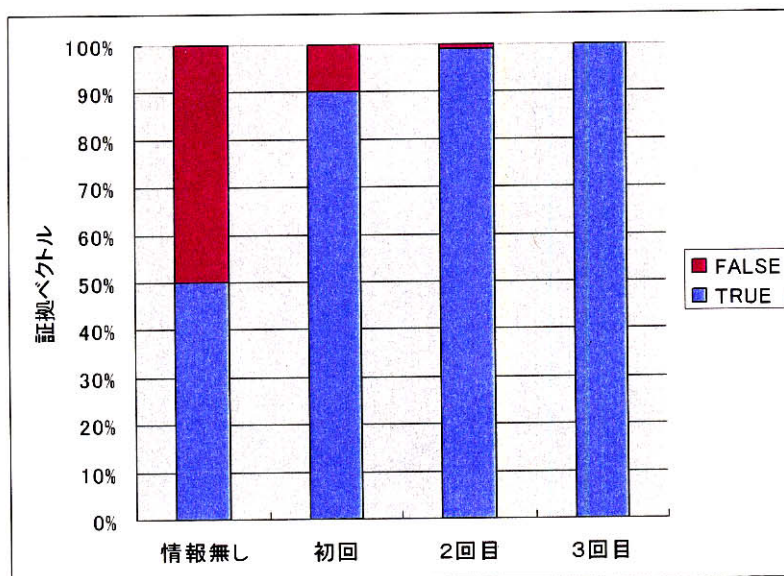


図 4.4 : 情報の複数入力と証拠ベクトル

4.3.3 ネットワークによる推論結果

証拠ベクトルを入力してベイジアンネットワークによって推論すると、各種状況カテゴリーノードの確率値が更新される。このうち、行動必要性ノードは住民自身がどれだけ避難行動の必要性を認識しているかを表す。ただ、4.1 節でも述べたように、必要性を認識していても行動を思いとどまることも考えられる。よって、このノードの確率ベクトルを次の行動決定工程に送ることによって最終的な行動判断を行う。

4.4 避難行動の決定

前節で述べたベイジアンネットワークの「行動必要性」ノードの推論結果を受け、住民ごとに避難行動を決定する。ただし、信念確率をそのまま使うのではなく、個人属性および環境属性による補正を行った数値を利用した。これは2章での定性モデルでの影響要因に対応する。表4.1に今回使用した個人属性および環境属性とその補正値を示す。その後、図4.5のように、避難、屋内退避、行動必要性なしの順に行動障壁の値を超えるかどうかを判断する。最終的にどの選択肢も取れないときは思考状態として、注意レベルの上昇とともに、他者への情報要求を試みることにした。今回は役所に問い合わせるものとする。また、避難を行う場合、自分で状況を判断して直接の指示を得ることなく避難を決定した住民は自家用車にて個別の目的地を設定して避難を行う。公的機関の指示を聞いている受動的避難については基本的には指示されたとおりに集合場所に向かうが、2.1節で述べたように、プライバシー等の関係から避難場所以外に移動する場合も多いため、ランダムで目的地を選択することとした。

表 4.1：個人属性・環境属性と補正値

| カテゴリー | 属性 | Evacuate | Shelter | No Act |
|-------------|--------|----------|---------|--------|
| 年齢 | 29 歳以下 | 1.3 | 1.0 | 1.0 |
| | 30 歳以上 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 60 歳以上 | 0.7 | 1.0 | 1.0 |
| 要介護者 | 有り | 1.4 | 1.0 | 0.7 |
| | 無し | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 財産 (農漁業) | 有り | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 無し | 0.7 | 1.2 | 1.0 |
| 天候 | 良 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 不良 | 0.8 | 1.1 | 1.0 |

値は確率値に掛けられる係数

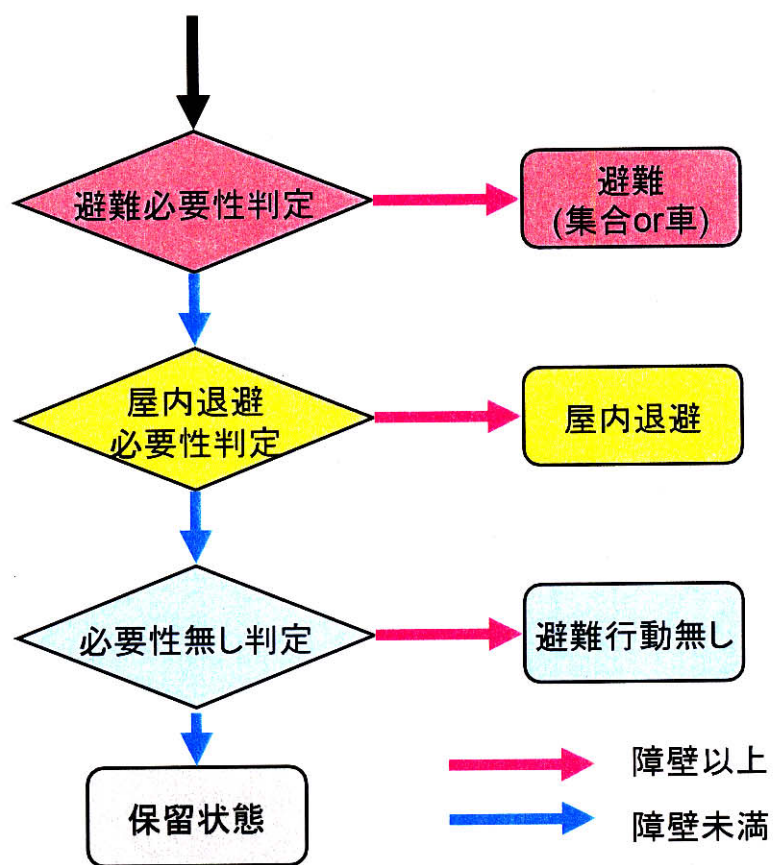


図 4.5 : 行動障壁と行動決定

4.5 情報行動の決定

避難行動の決定と平行して、情報発信や情報要求などの情報行動の決定も行う。情報行動としては、注意レベルと情報接触機会の増加、情報発信、情報要求の3つがあげられる。

注意レベルおよび情報接触機会の増加

情報取得によって事故の発生や進行を認識すると、それに伴い注意レベルを増加させる。この行動は危険の認識によって注意力が上がる様子を表現している。また、注意レベルが上昇していくと意識的に屋内に入る（これは退避とは異なり、情報を得るために個別無線を聞きに行くなどするもの）、テレビやラジオをつけ、視聴状態に入るなどの行動を行う。

情報発信

これまでの推論結果によって避難行動が決定し、なおかつ注意レベルが高い場合は自分の家族に自身の持つ情報を送信する。メインクラスに情報発信を依頼すると、各住民が持つ家族 ID を調査し、同じ家族 ID を持つエージェントにメッセージを追加する。

情報要求

これまでの推論結果からは自分の避難行動が決定できない上に、なおかつ注意レベルが非常に高い場合は、役所に電話等で問い合わせるという情報要求行動を行う。将来的には MASTERD 内での役所エージェントへ問い合わせるようにする予定だが、現段階では MASTERD への情報要求は実装できていない。そこで、PRIMA 内に独自の役所エージェントを持ち、そこから情報を摂取する方式にした。役所は時間によって情報を更新していき、要求に応じて現段階での事故状況と行動必要性の情報を要求がきたエージェントのメッセージスタックに追加することになっている。

第 5 章 PRIMA

- 5.1 システムの概要
- 5.2 シナリオマネージャー
- 5.3 情報制御システム
- 5.4 推論モデル
- 5.5 ビューア

5.1 システムの概要

ここまで定性モデル、緊急時マルチエージェントシミュレータ MASTERD、そしてベイジアンネットワークについて述べてきた。これらを用いて住民意思決定シミュレーションシステム PRIMA (Probabilistic Reasoning In Making A decision) を作成した。図 5.1 にシステムの概要を示す。MASTERD へ連結するため、CORBA をベースにしてシステムを作成している。PRIMA は災害時の状況を送信するシナリオマネージャー、送信された情報を住民エージェントに割り振る情報制御センター、住民の状況認識および意思決定を行う推論モジュール、そしてビューアの4つのモジュールに分けることができる。この章では、PRIMA が持つこの4つのモジュールについて説明していく。

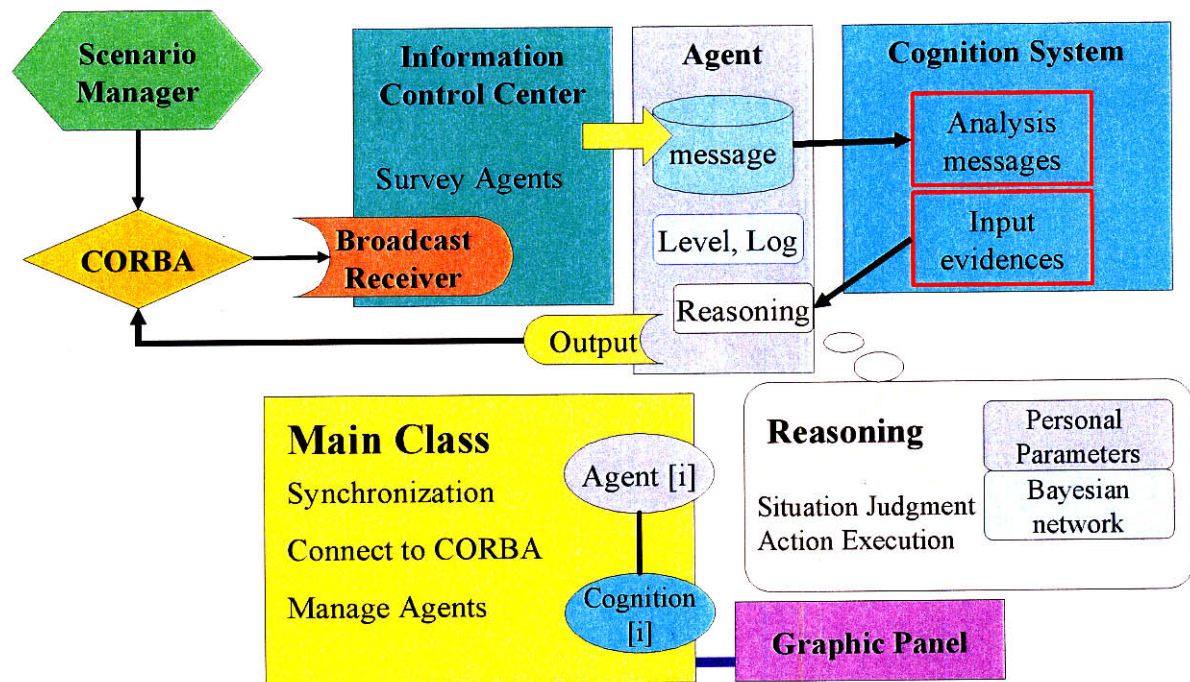


図 5.1 : PRIMA の概念図

5.2 シナリオマネージャー

このモジュールは PRIMA の外部にあり、CORBA を通して PRIMA に情報を送信する役割を持つ。情報は災害の進展状況や役所の広報、マスコミからの情報を表したものであり、図 5.2 のような MASTERD 独自のフォーマットに基づいて送信される。表 5.1 にシナリオが持つ各スロットの概要を示す。情報は事前にこのスロットに収まる形に編集しておき、シナリオファイルとして保存しておく。シナリオファイルは図 5.3 のようになっている。送信時間とメッセージ（CORBA システムの都合上、改行記号¥n は無視されるため、\$ で置き換えている）を一行として時系列で並べられている。シナリオマネージャーはこのシナリオファイルから一つずつシナリオを読み込み、その時間設定にあわせてメッセージを CORBA を通して情報制御センターに送信する。

災害の進展状況については原子力災害の場合実際の事故情報を感じ取ることはできないため、基本的には存在しない。事故発生に伴うヘリコプターや救急車、パトカーなど公共車両があればその存在を認知することができるため、これを情報に変換して住民に知らせることとする。他の災害の場合は火災の煙や爆発音の発生などがあるため、より数多くの進展状況が送信されることとなる。役所からの広報とマスコミからの情報は広報文を分解してスロットに割り振ったものが送信される。そのため、複数のスロットに情報が入った形でメッセージが送信される。

MASTERD 上で実行する場合は、メッセージを送信するのは役所やマスコミなど他の組織エージェントであり、CORBA 上で接続されてこのシナリオマネージャーと同じ役割をする。

```

(inform
  :sender tokai
  :receiver RECEIVER
  :content
    (kouhou
      :title Accident
      :time 12:30
      :kind leak
      :situation true
      :radiation true
      :facility JCO
      :action Shelter
      :region around-JCO
      :meetpoint null
    )
  :media IDPhone
)

```

図 5.2 : シナリオマネージャーからのメッセージ例

表 5.1 : メッセージスロット一覧

| 変数 | 説明 |
|------------|-------|
| Sender | 送信者 |
| Receiver | 受信者 |
| Title | タイトル |
| Time | 時間 |
| Kind | 事故の種類 |
| Situation | 事故状況 |
| Facility | 放射線 |
| Action | 行動指示 |
| Region | 指示範囲 |
| Meet point | 集合場所 |
| Media | 情報媒体 |

| | | | |
|------------------------------|------------------|------------------------|-----|
| time=11:30,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=11:50,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:30,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:30,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:45,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:45,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:46,message=(inform\$ | :sender NHKTV\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:50,message=(inform\$ | :sender NHKTV\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:55,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=12:55,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=13:00,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver tokai_resi\$ | :co |
| time=13:05,message=(inform\$ | :sender lbarad\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=13:30,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=13:30,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=14:00,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=14:00,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=14:40,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=14:50,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=15:00,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=15:10,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |
| time=15:25,message=(inform\$ | :sender tokai\$ | :receiver RECEIVER\$ | :co |

図 5.3 : シナリオファイルの例

5.3 情報制御センター

実世界では情報は各住民が独自に取得を試みるため、情報が獲得できるかどうかは住民ごとに個別に判断されるのが妥当である。しかし、今後大多数の住民でシミュレーションを行うことになるとそれだけ CORBA にレシーバーを登録する数が多くなってしまうため負荷が過大になる恐れがある。そこで、情報制御センターというモジュールを作成し、災害情報の一括制御と情報の配布を担当させることにした。図 5.4 に情報制御センターの概念図を示す。CORBA を通してシナリオマネージャーからメッセージを受け取ると、情報制御センターは各スロットを読み込み、情報を送るべき住民エージェントを決定する。

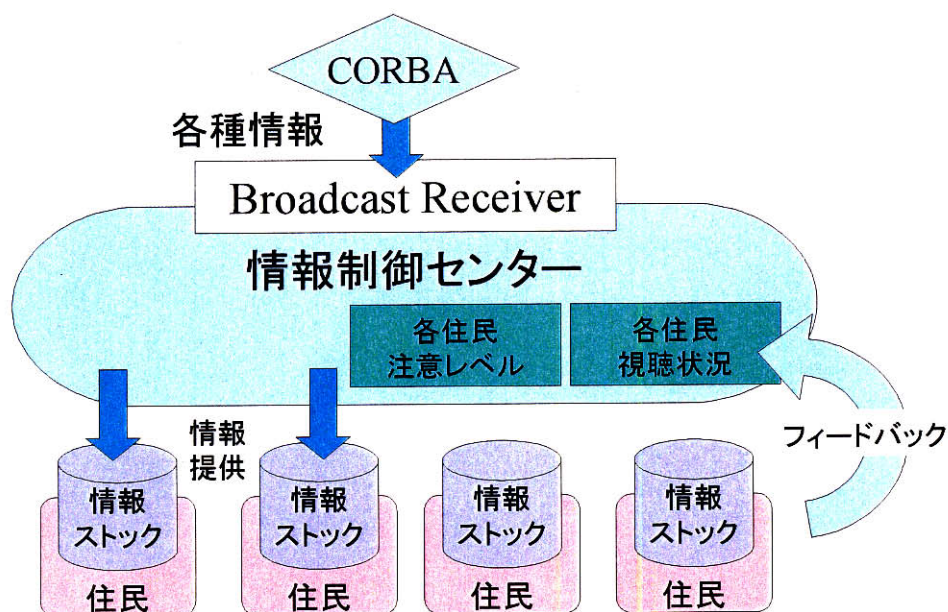


図 5.4 : 情報制御センター

送り先を判断する要因は以下のようなものがある。

- ① その住民の注意レベル（4.2 節参照）が情報を取り入れるに十分高いかどうか。注意レベルが足りなかった場合でも、極端に注意レベルが低くなければ情報があつたこと自体は認識することができる。テレビやラジオなどに比べ、スピーカーや広報車による情報は建物や気候によって音が遮断、攪拌されるため、認識が困難であると考えられるので、必要とされる注意レベルが高い。
- ② 住民が屋内にいるか室外にいるか。戸別無線やテレビは屋内にすることが情報獲得の必要条件である。逆にスピーカーや広報車は屋外にいないと情報の内容をきちんと入手することはできず、その存在のみ確認できる。ラジオについては屋外でも携帯ラジオなどを利用している住民もいる一方で、屋内でラジオを視聴している住民もいることから、屋内外ともに条件を満たしていると考ええる。
- ③ テレビ・ラジオを視聴しているかどうか。マスコミからの情報入手に必要である。

こうした各住民の情報獲得属性は情報制御センターに集められ、その属性を元にセンターは情報内容まで獲得できる住民エージェントと、内容までは把握できないが、その存在を理解することができる住民エージェントを検索し、送信する。前節で紹介したヘリコプターや救急車など事故状況にかかわる環境情報は後者のエージェントのみ検索して送信することになる。住民の属性が変化した場合、情報制御センターにフィードバックされ、次回以降の情報振り分けに利用される。

5.4 住民推論モデル

各住民エージェントは、メッセージスタックを持っており、情報制御センターから受け取った情報は逐次この中に入れられる。メッセージスタックはキュー構造になっており、推論ターンごとに一つずつメッセージを取り出す。取り出したメッセージは4.3節で述べたベイジアンネットワークのノードに対応した形に変換され、証拠ノードとして入力される。その後、住民はベイジアンネットワークによる推論を行い、その結果から個人属性などの影響を踏まえ自身の行動を決定する(4.4節参照)。決定された行動によっては自身の属性を変化させる、役所エージェントに問い合わせる、家族(同じ家族IDを持つエージェント)に情報を発信するなどといった情報行動も行う(4.5節参照)。各エージェントの行動はメインクラスによって集約され、結果を外部に送信するとともに、ビューアに結果表示される。

5.5 ビューア

MASTERD や住民避難シミュレータに送信する結果とは別に、PRIMA 単体でも結果を検証するため、専用のビューアを作成した。図 5.5 にビューアの画面を示す。ビューアは空間上に各住民の状態を表示するものである。各住民は円状のアイコンで表され、その色によって自身の状態を識別できるようにした。現段階では避難による住民の移動には対応していないが、避難シミュレータからの情報獲得によって移動しながらの状態変化にも対応することができる。図 5.6 に住民アイコンの拡大図を示す。住民アイコンは以下の 4 つの部分からなる。

① 上半分…避難行動ランプ（常時どれかの色が点灯）

ピンク：徒歩で集合場所に向かい、役所のバスによって屋外避難行動を行う

濃い赤：自家用車で独自に避難をする（目的地は各住民で異なる）

黄色：屋内退避

濃い緑：屋内にいるが、屋内退避や避難を考えていない状態

薄い緑：屋外にいて、屋内退避や避難を考えていない状態

灰色：避難行動を決められない状態（確率値が拮抗している場合）

② 右下部分…情報行動ランプ（行動時に点灯）

赤：家族に情報発信をする

緑：役所に問い合わせる

③ 左下部分…情報獲得ランプ（情報取得時に点灯）

ピンク：情報獲得に成功し、内容を把握した状態

青：情報獲得には失敗したが、情報の存在を認識した状態

④ 数字…その住民の現在の注意レベル（常時表示）

このアイコンは認識ターンごとに書き換えられる。また、それとは別に現在の時間と屋内にいる人数、全体の避難行動の住民割合が画面上部に表示され、時間経過による住民意識の変化を容易に見ることができるになっている。なお、初期状態では①は濃い緑もしくは薄い緑になっており、②、③は発火していない。

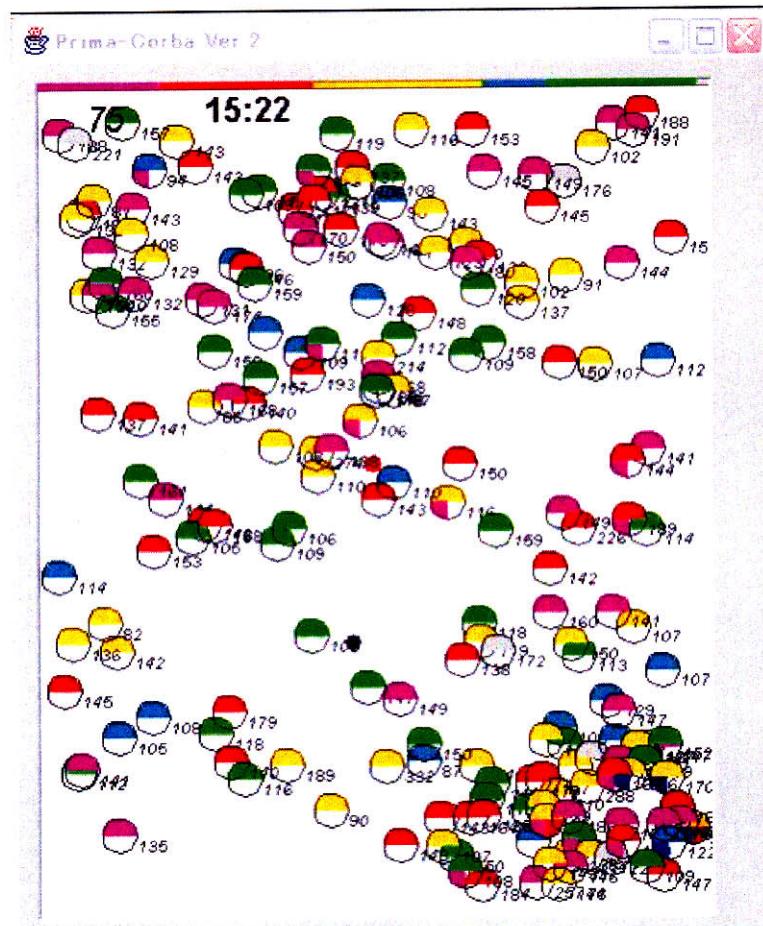


図 5.5 : PRIMA ビューア実行画面

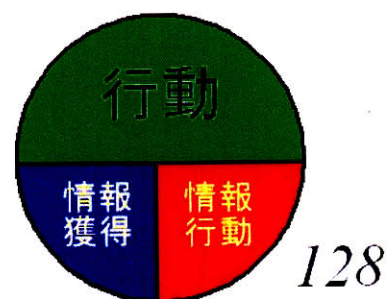


図 5.6 : 住民アイコンの拡大図

第6章 シミュレーション実験

6.1 実験手法

6.2 実験結果

6.3 考察

6.1 実験手法

これまで述べてきたモデルの有効性を検証するため、シミュレーション実験を行った。事例として、1999 年におきた茨城県東海村での JCO 臨界事故を用い、そのときのマスコミの広報履歴[19]および防災無線での広報履歴[24]を元にシナリオファイルを作成した。表 6.1 にシナリオの概要を示す。また、シミュレーションの実行条件は以下のように設定した。

- 対象領域 : JCO を中心とする約 2km 四方。
- 住民数 : 200 人 (JCO 中心 350m 圏内に 16 人)。
- 住民所在地 : 人口密度などを元に図 6.1 のように割り振る。
- 住民属性 : 東海村発表の年齢別人口を元に住民に世代属性を与えた。
初期段階で屋内に 55%、屋外に 45%の住民がいるようにした。
- 注意レベル : 住民の注意レベルは平均 80 ± 30 の間でランダムに設定した
- 時間圧縮 : 60 倍
- 必要時間 : 約 7 分
- 留意事項 : 東海村で全世帯に防災無線が設置されている。
屋内待機要請は屋内退避要請として扱う。

最後の屋内待機要請については、アンケート結果[20]により、ほとんどの住民が防災計画の定める屋内退避と「外に出ないでください」もしくは「室内で待機しててください」という屋内待機を区別できなかったという結果による。

この条件とシナリオの下、シミュレーション実験を行った。実験では、住民の行動の変化を時系列で観察するとともに、JCO から 350m 圏内に一人の住民に着目してその意思決定確率推移を観察した。そしてその結果を梅本らが 2000 年から 2001 にかけて行ってきたアンケート結果[20]、廣井らが事故後に行ったアンケート結果[24]、社会安全研究所による災害時の住民行動調査結果[13]と比較した。

また、情報流言やマスコミの影響を調べるため、表 6.1 のシナリオで 16 時からの TV 広報避難指示を JCO 周辺のみに行うのではなく、東海村全域に行うテストシナリオも作成し、同様の実験を行った。

最後に、MASTERD の中での挙動を調べるため、MASTERD との連結実験を行った。MASTERD シミュレーションシステムの全体図を図 6.2 に再掲する。これまでシナリオマネージャーからのメッセージを受け取っていたものを、MASTERD の個

人・組織シミュレータからのメッセージに切り替えてシミュレーションを行った。また、住民の行動決定データは逐次住民避難シミュレータに送信した。住民避難シミュレータでは、避難を決定した住民に対して、避難経路の探索及び住民移動行動を行うようになっている。実験条件はPRIMA単体の場合とほぼ同じだが、広報シナリオについては現在の法体制の下で、各自治体・運営班が正常に作用した場合のものになる。ただし、テレビやラジオなど、マスコミの自主的な情報発信はされていないものとする。

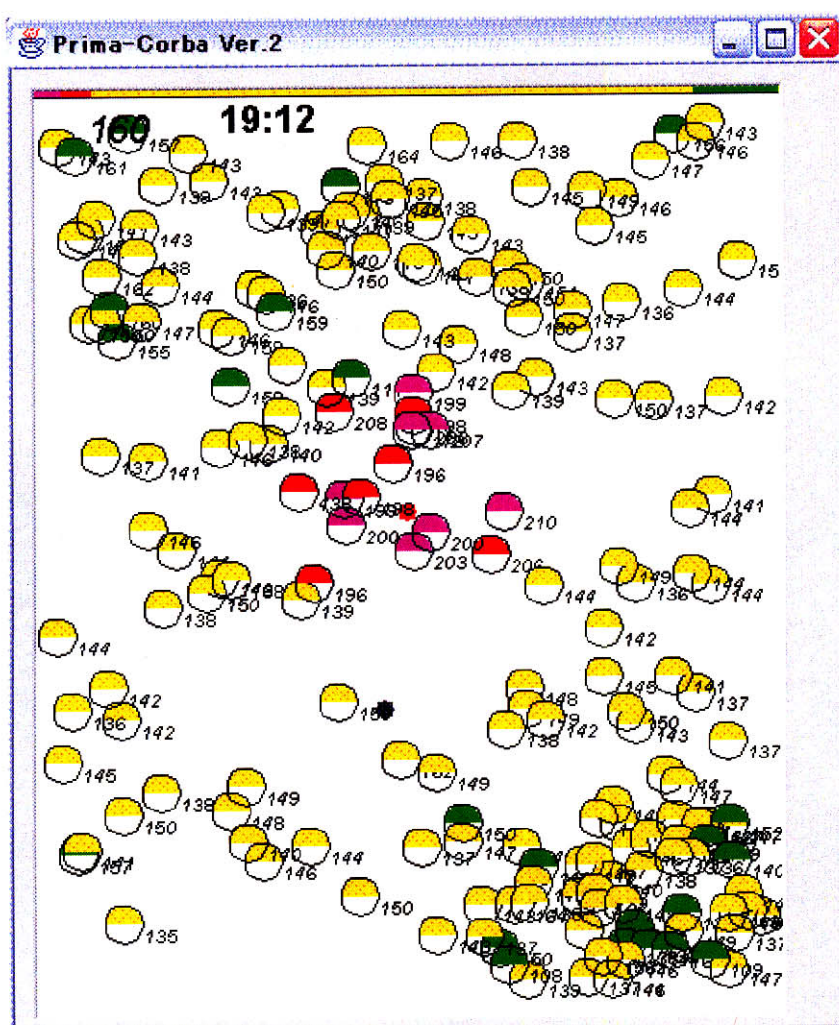


図 6.1 : 住民配置と行動分布(19 時現在)

表 6.1 : JCO 臨界事故時のシナリオ概要

| 時刻 | 対象地域 | 情報媒体 | 内容 |
|-------|--------|--------------|---------------|
| 10:35 | - | - | 事故発生 |
| 10:45 | JCO 周辺 | 救急車 | 救急車到着 |
| 11:52 | JCO 周辺 | 救急車 | 救急車出発 |
| 12:35 | 東海村全域 | 戸別無線(第1報) | 事故発生・屋内待機 |
| 12:37 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第1報) | 事故発生・屋内待機 |
| 12:45 | 東海村全域 | 戸別無線(第2報) | 事故発生・屋内待機 |
| 12:46 | 全域 | TV(NHK第1報) | 事故発生 |
| 12:48 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第2報) | 事故発生・屋内待機 |
| 12:55 | 東海村全域 | 戸別無線(第3報) | 事故発生・屋内待機 |
| 12:58 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第3報) | 事故発生・屋内待機 |
| 13:00 | 東海村全域 | 広報車 | 事故発生・屋内待機 |
| 13:05 | 全域 | ラジオ(茨城放送) | 事故発生・屋内待機 |
| 13:06 | 全域 | TV(FNS第1報) | 事故発生 |
| 13:11 | 全域 | TV(NTV第1報) | 事故発生 |
| 13:15 | 東海村全域 | 広報車 | 事故発生・屋内待機(再掲) |
| 13:16 | 全域 | TV | 事故発生 |
| 13:30 | 東海村全域 | 戸別無線(第4報) | 事故発生・屋内待機 |
| 13:35 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第4報) | 事故発生・屋内待機 |
| 14:00 | 全域 | ラジオ(茨城放送) | 事故発生・特別番組 |
| 14:00 | 東海村全域 | 戸別無線(第5報) | 事故発生・屋内待機 |
| 14:05 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第5報) | 事故発生・屋内待機 |
| 14:40 | 東海村全域 | 戸別無線(第6報) | 学校関係情報 |
| 14:45 | 東海村全域 | 屋外スピーカー(第6報) | 学校関係情報 |
| 14:55 | 全域 | TV(ANN第1報) | 事故発生 |
| 15:00 | 全域 | ラジオ(茨城放送) | 事故発生・特別番組 |
| 15:05 | 全域 | TV | 事故発生 |
| 15:10 | JCO 周辺 | 広報車 | 事故発生・避難要請 |
| 15:15 | JCO 周辺 | 職員の戸別訪問 | 事故発生・避難要請 |

| | | | |
|-------|---------|--------------|-----------|
| 15:20 | JCO 周辺 | 職員の戸別訪問 | 事故発生・避難要請 |
| 15:45 | JCO 周辺 | 戸別無線(第7報) | 事故発生・避難要請 |
| 15:47 | JCO 周辺 | 屋外スピーカー(第7報) | 事故発生・避難要請 |
| 15:50 | JCO周辺外部 | 戸別無線(第7報) | 屋内退避解除 |
| 15:52 | JCO周辺外部 | 屋外スピーカー(第7報) | 屋内退避解除 |
| 16:00 | 全域 | TV・ラジオ | 事故発生 |
| 16:30 | 全域 | TV特別報道 | 事故発生 |
| 16:35 | JCO周辺 | TV特別報道 | 事故発生・避難要請 |
| 16:38 | 常磐線西側 | TV特別報道 | 屋内退避 |
| 16:40 | 全域 | TV特別報道 | 事故発生 |
| 16:45 | JCO周辺 | TV特別報道 | 事故発生・避難要請 |
| 16:48 | 常磐線西側 | TV特別報道 | 屋内退避 |
| 17:00 | 全域 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生 |
| 17:05 | JCO周辺 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生・避難要請 |
| 17:10 | 常磐線西側 | TV・ラジオ特別報道 | 屋内退避 |
| 17:40 | 全域 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生 |
| 17:45 | JCO周辺 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生・避難要請 |
| 17:50 | 常磐線西側 | TV・ラジオ特別報道 | 屋内退避 |
| 18:00 | 全域 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生 |
| 18:10 | JCO周辺 | TV・ラジオ特別報道 | 事故発生・避難要請 |
| 18:15 | 常磐線西側 | TV・ラジオ特別報道 | 屋内退避 |
| 18:40 | 常磐線西側 | 屋外スピーカー(第8報) | 屋内退避 |
| 18:45 | 常磐線西側 | 戸別無線(第8報) | 屋内退避 |

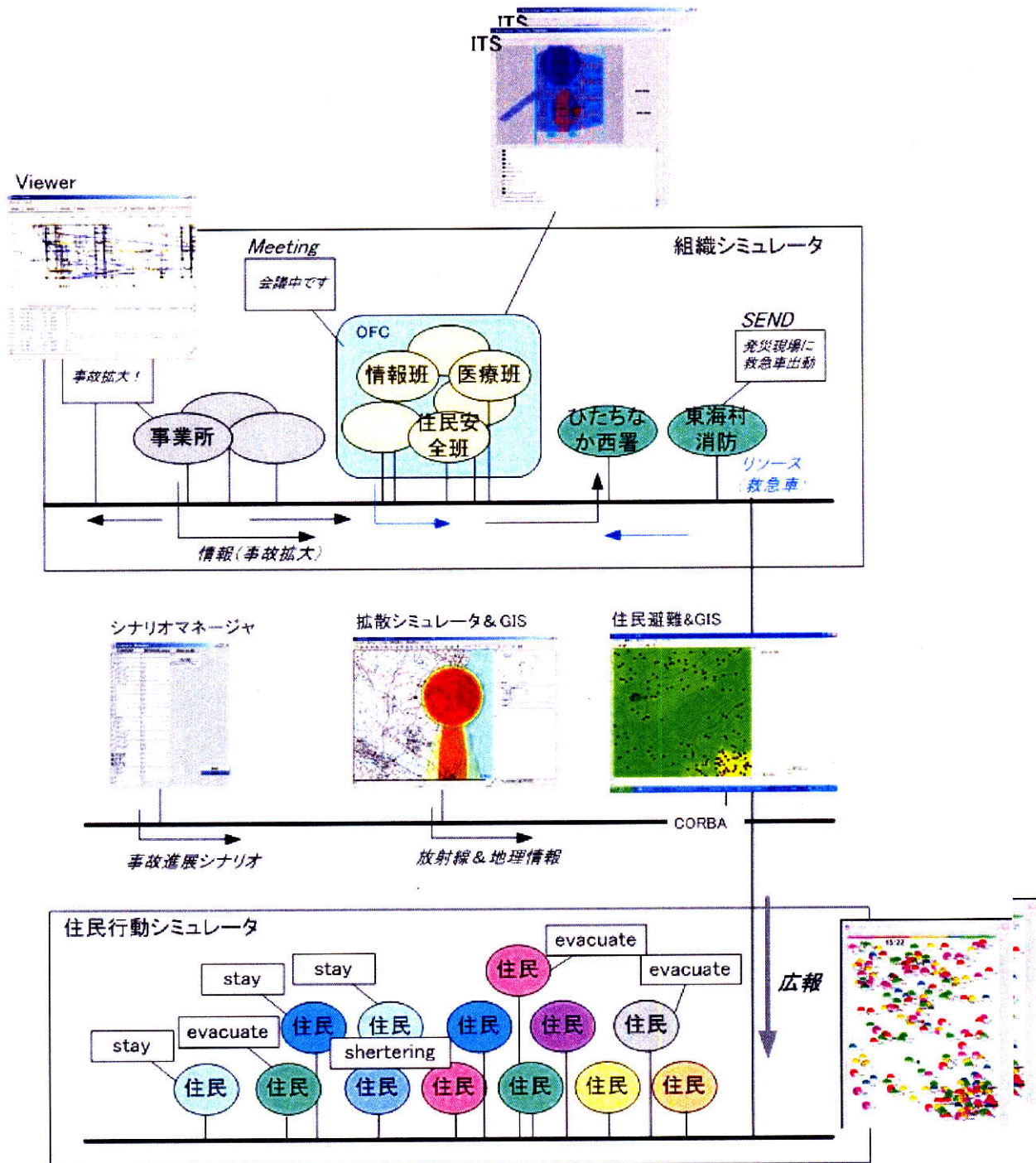


図 6.2 : MASTERD (原子力災害の場合) —再掲

6.2 実験結果

6.2.1 住民行動の変化

図 6.3 に住民行動の時間変化を示す。住民が取得した屋内退避要請および避難要請にしたがって行動する様子がわかる。住民がそれぞれの行動意思を固める時刻は同一ではなく、注意レベルや視聴状況などによって異なるものとなっていた。また、避難要請を受ける前に自発的に避難を行うエージェントもわずかながら存在した。これは、梅本らの地域住民へのアンケートの結果[20]とも一致する。その一方で、常に屋外にいる住民の中にはスピーカーや広報車による情報の取得に失敗して屋内退避などの行動をとらないものが存在していたが、この情報を最後まで認識できない住民の数はアンケート結果に比べてかなり多かった。最終的に避難を決めた住民は全体の 10% 弱であり、実際の避難結果と比べて少なかったが、JCO 近辺の住民に関してはほぼ全員避難を行っていた。

引き続き図 6.3 を見ると、12 時 45 分及び 16 時の段階で自分の行動をきちんと決めることができない住民が少数出現した。彼らはその後役所に問い合わせたり、他の情報を得たりすることによって自身の決断を行っていった。また、16 時少し前には一部の地域に屋内退避の解除が防災無線によって放送された。その結果、屋内退避をしている住民が退避解除を行ったり、また自分の行動を迷ったりする場面があった。しかし、その後テレビなどによって屋内退避の情報が与えられたため、再び屋内退避に切り替えるなどの動きも見受けられた。

図 6.4 にはより詳しい行動種類の変化をまとめた。避難を行った住民のうち、自発的に避難を決意した住民を除くと、約 7 割が集合場所に集まってバスに乗ることを選択した。これは指示をきちんと聞いており、それに従うという決断がおもに行われたからと考えられる。一方で、何も避難行動を行わなかった住民はほとんどが屋外にいており、スピーカーや広報車の情報を受け取ることが困難であったため、最後まで避難行動にはいたらなかったと考えられる。

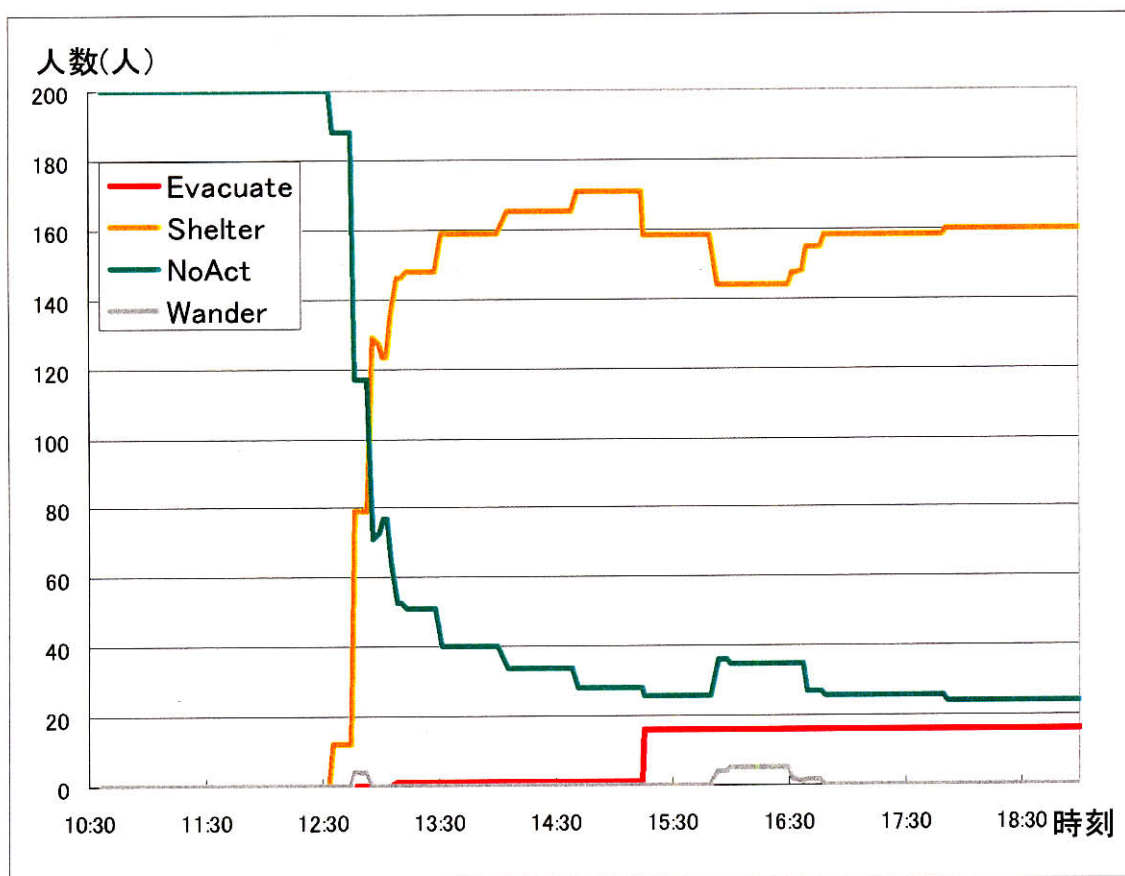


図 6.3 : 住民の行動意思

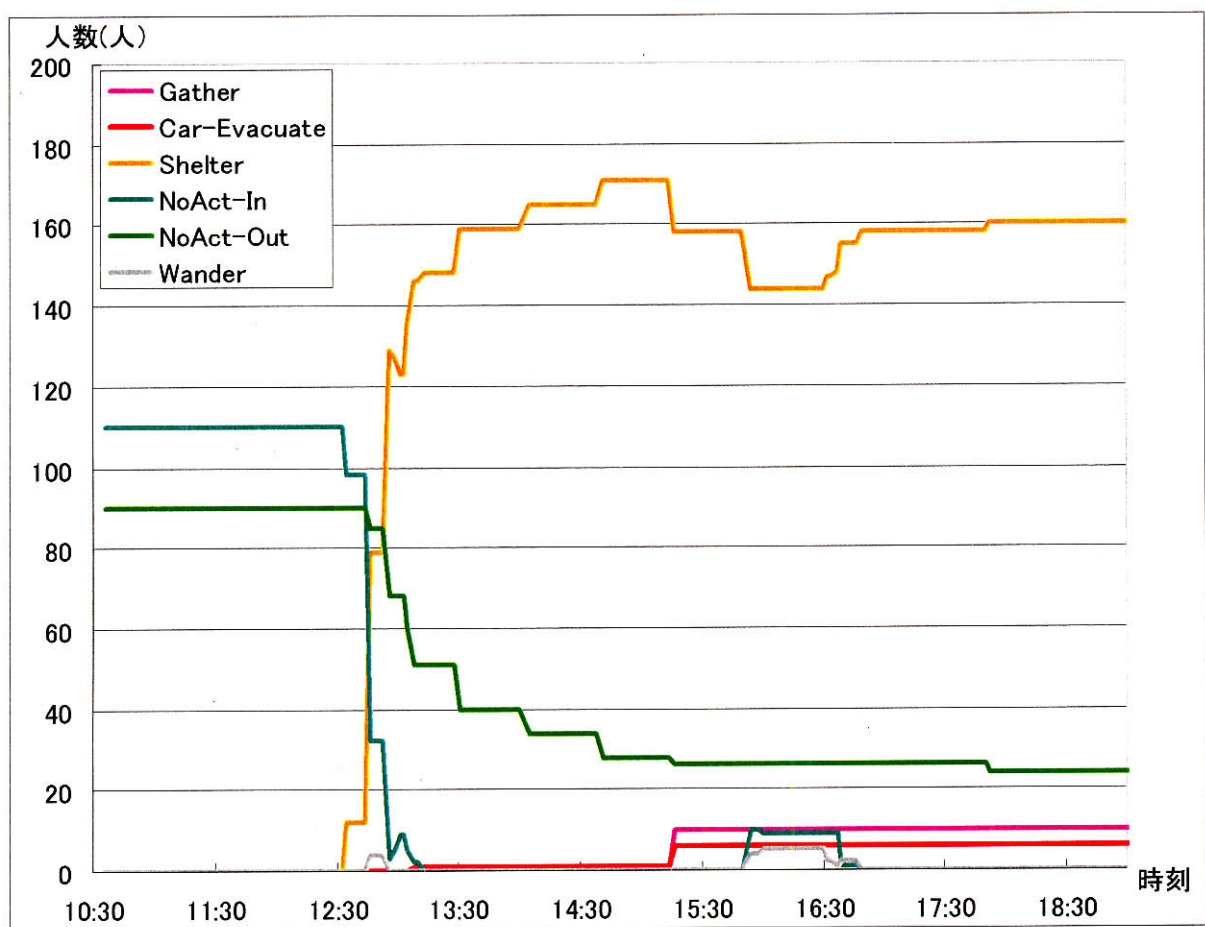


図 6.4 : 住民行動の詳細意思

6.2.2 住民個人の心理状態

次に住民個人の心理状態の変化について観察した。図 6.5 に避難を決定した一人の住民の心理状態変化を示す。この住民は実験開始の 12 時 30 分には屋内にてラジオを視聴している住民でありこのとき注意レベルは 78 である。12 時 45 分ころに最初の情報（戸別無線によるものと考えられる）を得た時点で屋内退避を決定し、そして 15 時 15 分、職員の戸別訪問による情報獲得の時点で避難を決意している。

また、屋内退避をし始めた後、避難欲求が次第に上昇し、13 時を過ぎたあたりでは避難欲求がかなり高くなっていることがわかる。これはラジオやテレビなどによって事故の発生、そしてそれが放射線漏れを引き起こしていること、さらに現場が近いことなどを次々に知っていったため、各種ノードが発火したからと考えることができる。しかし、14 時の時点で屋内待機が再び放送されると、屋内退避必要性がより高まり、その結果屋内退避を継続している。

そして、1 つの情報だけで住民の行動が確定するのではなく、複数の情報によって次第に行動必要性、および行動欲求（補正後の値）を変化させていく様子が観察された。これは複数の媒体によって、情報が複数回取得できたことに由来する。

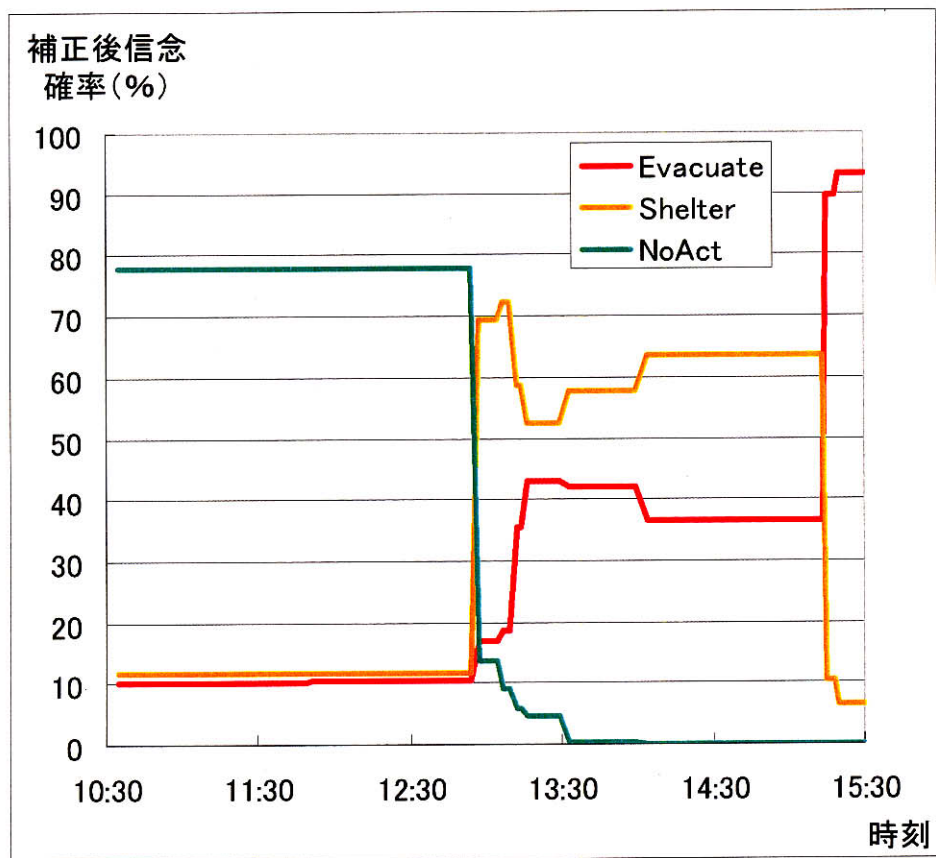


図 6.5 : 1 避難住民の行動意思割合

6.2.3 広報情報の影響

次に、テレビによって間違った情報が与えられたときの住民の挙動を観察した。本実験では屋内退避であるはずのエリアにいる住民に対し、テレビが東海村全域に避難要請情報を流すことで避難を促すシナリオでシミュレーションを行った。図 6.6 にその結果を示す。16 時 30 分以降に流された東海村全域への避難要請情報を獲得することにより、屋内退避状態の住民は 30%程度が自身の行動について思考状態に入るが、その後の正しい情報によって再び屋内退避状態になっていることがわかる。これは、証拠ノードが複数入力に対応した形になっているためで、これまで屋内退避情報を獲得し続けていた住民は、それと相反する情報を得たとしても、即座に避難を選択することはなくなっているためである。よって、本モデルでは得た情報をそのまま鵜呑みにするのではなく、情報に対して現在の推論を重視しながら推論する対応をとっているといえる。

一方で、こうした誤情報を複数与えることによってこれまでの推論に反して自身の選択を変更する様子も観察された。こうした意思決定の変更には、単一の情報ではなく、複数媒体、もしくは同一媒体による複数回数の情報が必要になっている。また、複数の情報媒体による情報のほうが、単一の情報媒体のみの場合よりも影響が大きかった。これらは災害後のアンケート[13]とも一致する。情報の繰り返し取得など情報発信のシナリオ設定によって、情報の獲得状況が変化するため、シナリオの更なる検証も必要であるといえる。

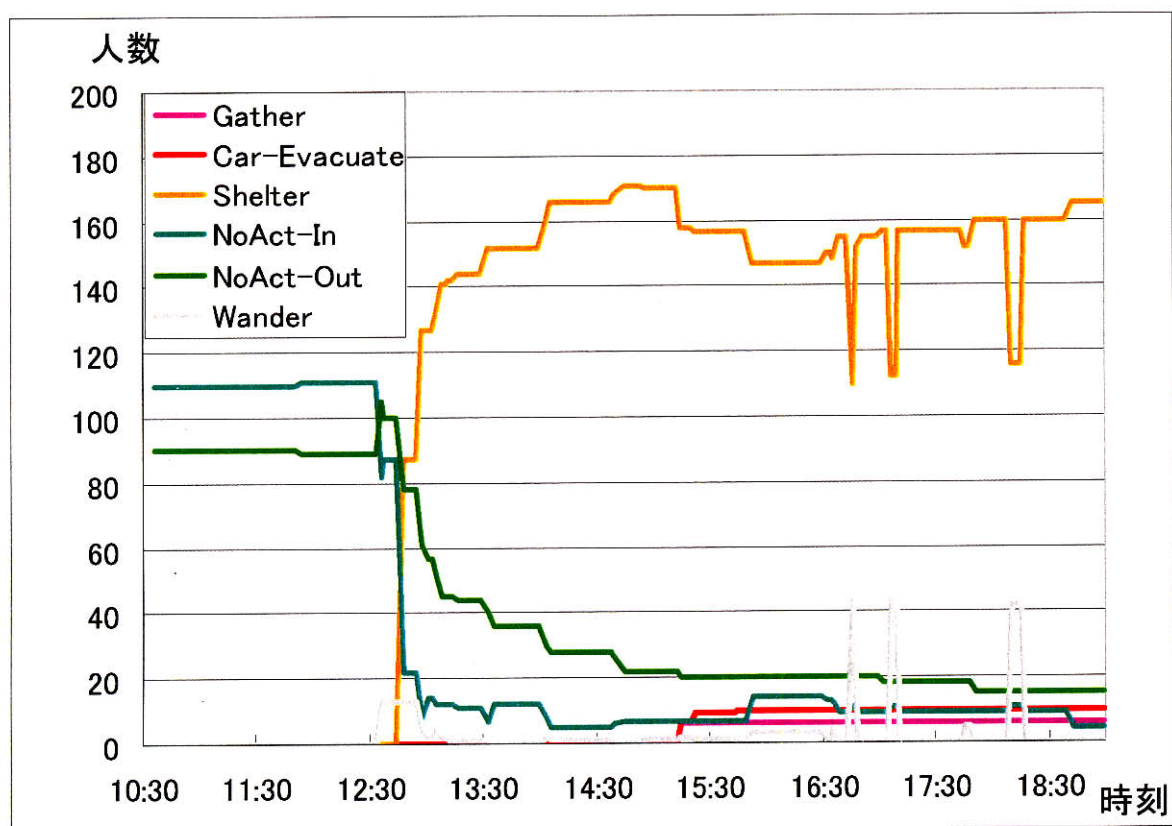


図 6.6 : TV 誤報の場合の住民行動時間変化

6.2.4 情報行動

次に、避難行動と並列して行われる情報行動について述べる。情報行動には役所への問い合わせ（情報要求）と家族への連絡（情報発信）の2つがあることはすでに述べた。このうち、情報要求行動については、シミュレーションを行った7時間の中で、役所への問い合わせは10件程度と少ないながらも行われていた。現実のJCO臨界事故では、対象区域よりも外部の住民からの情報も多数存在したため、単純な比較はできないが、内部からも情報要求は行われていた可能性は高く、現実と対応しているといえる。困惑状態（どの行動をとればいいのか判断できない状態）の住民が要求によって得た情報を利用して、自身の決定が定まったケースがほとんどだが、ごくまれに、その住民の今までの獲得情報とは相反する情報を得てしまい、引き続き困惑状態になってしまうことがあった。これは現段階では単一の役所しか情報を要求できる先がないためと考えられる。

その一方で、情報発信行動は盛んに行われた。家族からの情報によって自身の行動が決定したと推定されるケースもあり、アンケート結果に即した現象が見られた。一方で、家族にしか情報を発信しないため、家族全員が外出中などで情報が届かない現象も見られた。

6.2.5 MASTERDでの連結実験

最後に、MASTERDに連結した状態でのシミュレーション結果について述べる。図6.7と図6.8に住民行動割合の時間変化を示す。6.2.1であげた実験結果に比べ、住民の反応は遅いことがわかった。これは、テレビなどからの情報が報道要請に従う場合のみに限定され、自主的に発信される情報がなく、情報の頻度が少なかったためと考えられる。また、この実験ではJCOから350m以内の避難要請地域では情報が受け取れないために避難をしなかった住民がいたほか、350m以上はなれた場所でも避難をする住民が存在した。これも、シナリオの中で情報発信が少なかった一方で、350m圏内以外にも情報が発信されていたことを示す。

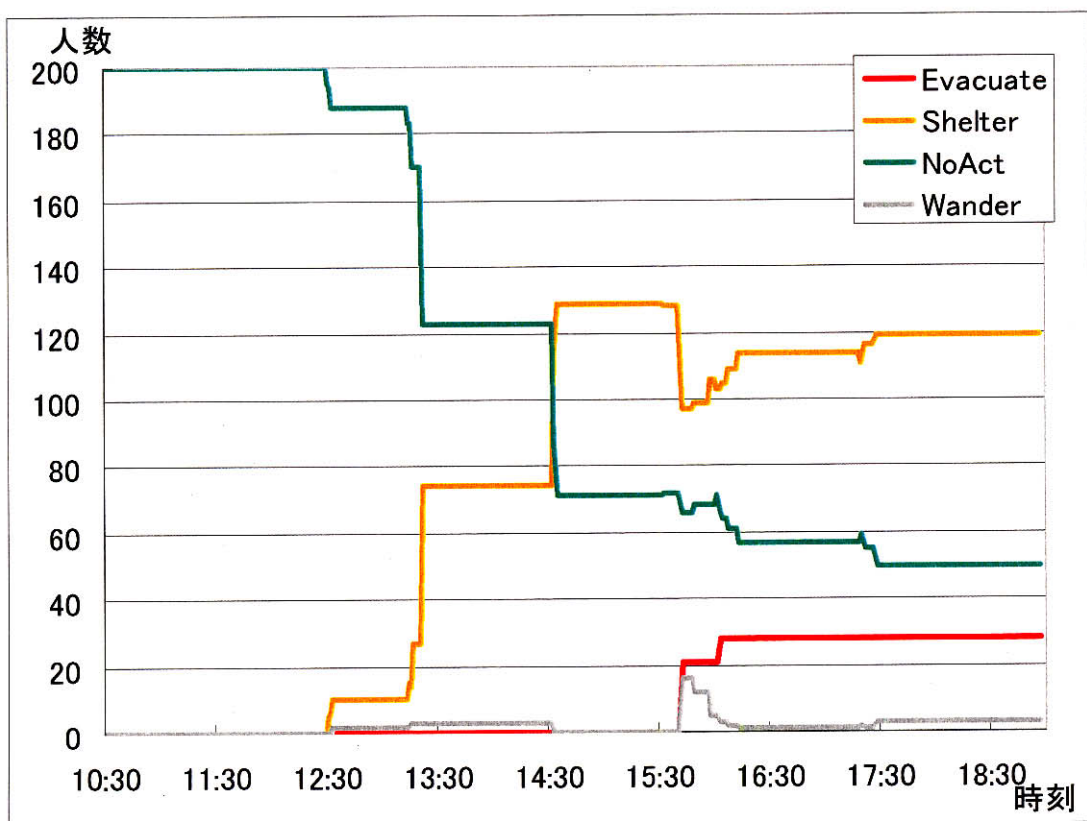


図 6.7 : MASTERD 連結実験での住民行動の時間変化

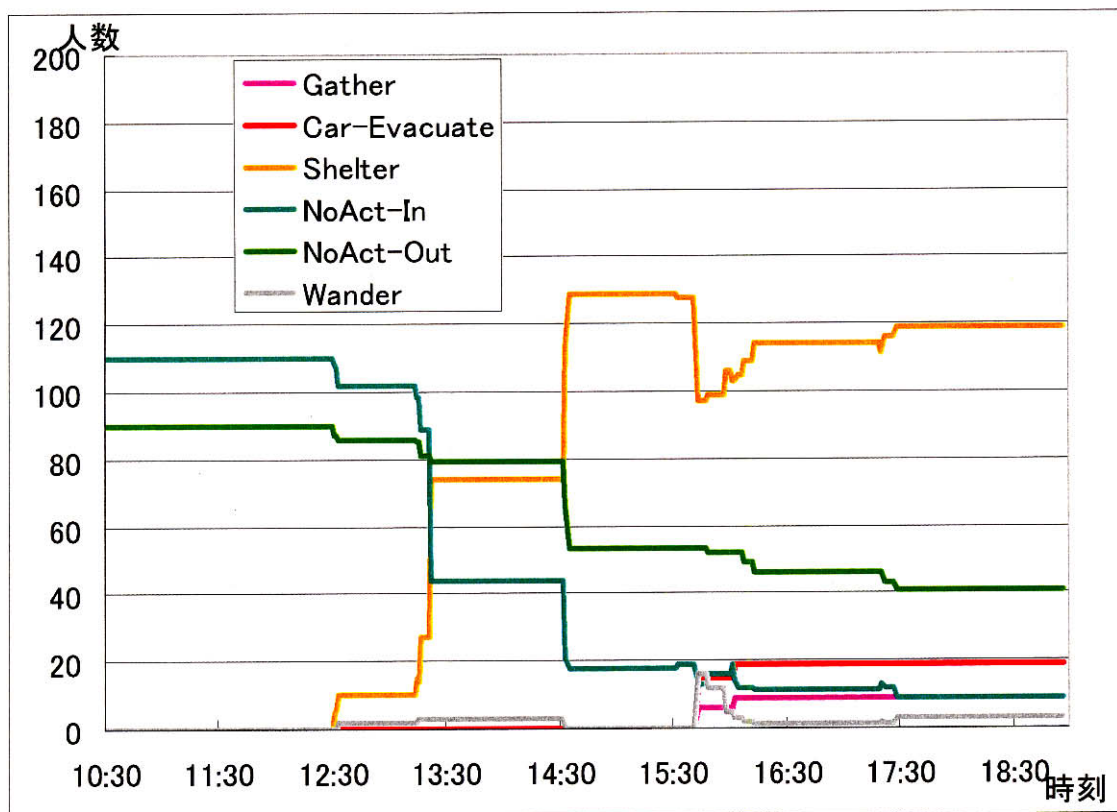


図 6.8 : MASTERD 連結実験での住民行動の時間変化 (詳細版)

6.3 考察

6.3.1 S-O-R モデルとの比較

前節の結果より、作成した住民モデルは情報獲得（S）に伴い次第に自身の信念確率を変化させ（O）、行動を決定していく（R）ことがわかった。このことは、八木らの S-O-R モデルの大部分の特徴を捉えていると判断できる。ただし、S-O-R モデルの影響因子と比較していくと、影響因子を反映した事項、このモデルでは対応し切れない事柄が存在する。これについてまずまとめていく。

本モデルで表現できる影響因子

影響因子のうち、本モデルで適応可能な事柄は以下のようなものである。

- 避難するようになどの直接指示は危険性の認知と行動決定に大きく影響する
避難行動の直接指示ノードは行動必要性認識ノードに隣接しており、また、条件付き確率も信頼性の高い値をとっているため、このような状況が再現できる。
- 救急車など異常を表す要因の認知により危険性認知がやや高まる
環境状況によって、事故発生や放射線漏れなどの事故情報を推論できるため、状況認知によって危険性認知、および行動の促進が行われる。また、注意レベルの増加によって情報取得能力も上昇することになり、危険性の認知を表現できる。
- 情報媒体の頻度や種類が少ない場合、受け取った情報の信頼性は低い
証拠ノードに複数入力に対応した段階的値をとらせることによって、単一の情報では信頼性が低い様子を表現することができた。証拠ノード確率値の設定を今後補正していくことによって、より現実に即したモデルが作成可能であろう。
- 家族の情報は役所やマスコミなど公共機関の情報より信頼されやすい
媒体種類によって異なるノードに証拠入力されるため、情報媒体ごとにその媒体の信頼度を設定することが可能である。
- 男性より女性のほうが、情報発信・避難決意が実行されやすい
- 要介護者の有無によっては避難が推進される場合がある
- 自分たちの財産がある場合は避難が消極的になる
- 家族の構成人数が少ない場合は情報の取得数が少ない
- 若い世代ほど避難率は高い

本モデルでは表現できない影響因子

一方で、本モデルでは表現できない事項は以下のようなものである。

- 業種によっては他者からの入手情報が少ない

家族以外からの対人的伝聞情報は本モデルでは考慮できていないため、農漁業従事者が他者との交流が少ないために情報量が少なくなることは現段階では表現できない。今後、家族以外の他者との情報交換について考えていく必要がある。

- 他者が避難している様子を見ると、避難行動を誘発することがある

- 天候状況・風向きの影響によっては、防災無線が聞き取り困難になる

現モデルは他者の避難状況や天候状況などを他のモジュールから獲得する設計になっていないため、こうした要因については表現できない。

- 避難場所が指定されていても、知人等のほかの場所に避難する場合も多い

現モデルでは避難を決意した住民のうち、具体的な避難場所が指示されていれば一定確率でその場所に向かう設定になっている。それ以外の場合は他の場所に避難をすることになるが、実社会では確率的な判断をされるわけではなく、役所や公的機関への信頼度、またプライバシーを重視する程度が要因となって避難場所が決定されると考えるべきである。こうしたパラメータは現在導入されていない。

このように、影響因子のうち、表現が現段階ではできないものもあるが、大部分は現モデルおよびその改良によって表現可能である。よって、S-O-R モデルのうち、その大部分を反映した住民モデルが作成できたといえる。

6.3.2 アンケート結果との相違点

住民行動分布の移り変わりと実際のアンケート結果を比較すると、情報獲得・避難決定のタイミングなど定性的な特徴はよく合致していた。特に、情報を獲得できた住民だけで考えると、避難開始のタイミングおよび事故情報取得のタイミングはアンケート結果と酷似していることがわかった。

しかし、避難を決定する住民の人数や情報を聞き取れない住民の人数など、定量的な面で合致しない部分が多かった。これは、情報を聞き取れない住民が多すぎる、また、情報を聞くタイミングが遅すぎるという情報の網羅性について実際の災害時と異なっていたからと考えられる。このことについて、以下のような原因が考えられる。

決定論的行動決定

本研究ではベイジアンネットワークによる推論を中心に据えた意思決定モデルを作成することが目的であり、基本的に決定論的に意思決定が行われるようにしている。乱数要素が入るのは避難時に用いる手段決定のみであり、避難・屋内退避などの意思決定を始め、室内に入る、視聴状態を変更する、情報行動をとるなど、ほとんどの意思決定が注意レベルとベイジアンネットワークでの推論結果、そして現在の属性のみで判断されることになる。特に、室内に入ったり視聴状態を変更したりする行動は注意レベルのみに依存し、設定された閾値を超えるかどうかで判断されている。しかし、実際は注意レベルが上昇するに従い、次第に室内に入るなどの活動を行う確率が増えていくと考えたほうが自然である。このように、確率的行動決定を行っていないため、住民の反応が敏感になりすぎてしまったことが最終的な値の変化に影響したと考えられる。

住民の生活パターンの無視

本研究ではまた、住民自身が災害と関係のない行動をとることを考慮していない。例えば、災害進行に関係なく夕方になって帰宅をしたりテレビをつけたりする、屋外に用事をすませる、家族や他人に連絡を取るなどといった行為は十分に起こりえることであり、それによって偶然情報を取得したり伝達したりといったことは十分に考えられる。しかし、本研究では上でも述べたとおり偶然の行動を設定していないため、こういった行動を表現できないという問題がある。

情報行動の単純化

家族以外に情報を与える、役所以外に問い合わせるといった情報行動を無視してい

るため、いつまでも情報を得ることができない住民が存在していた。実際の災害では、家族以外の知人、親戚や近所の住民に情報を与える、もしくは自治会長や公務員などコミュニティを支える役割を持つ住民に問い合わせるなどという行動があると考えられ、情報のチャンネルが多数存在していたことが予想される。しかし、今回のシミュレーションではこういったチャンネルを設定していないため、情報の網羅性が実際よりも低く計算されたと考えられる。

周囲観察行動の無視

ネットワーク構造の説明でも述べたが、本モデルの推論ネットワークには周囲の避難状況というノードが存在する。特に屋外にいる際、周囲に避難行動をとっている住民を発見すると、それに追従する欲求が現れることを表したものである。しかし今回のシミュレーションシステムでは、住民が周囲の状況を見ることは考慮していない。よって、このノードが発火することはないため、屋外の情報取得チャンネルが少なく見積もられたことも一因と考えられる。

シミュレーション対象地域外との通信の省略

本研究では東海村以外の住民を考慮していない。過去の大震災などでは、震災地にいる住民に震災地以外の親族が電話で安否を確認するというような外からの情報確認行動が多数行われたことはよく知られている。原子力災害の場合も同じような外からの情報確認行動が多数行われ、そのときに情報提供や危険性の通知も並行して行われる場合があると考えられる。この情報通知による影響も少なからず関係しているだろう。しかし、災害対象区域に比べ外部の住民は災害発生を認知する時刻がかなり遅いはずであるから、この通信による影響は少ない。

このような実際の災害時との違いが情報の網羅性に関与していると考えられる。しかし、これらは住民の内部モデル以外の入出力に対する誤差であり、住民の心理状態を表すモデルを作成するという本研究の目的とは少し論点がずれている。また、それ以外の全体の挙動、特に時系列での住民行動決定の移り変わりや、地理的条件の違いによる影響などは現実の災害時の場合をよく反映している。よって、この住民モデルは推論および心理状態の変化を表すことについて大変有効であり、目的は十分に果たしているといえる。

6.3.3 今後の改良点

このように、作成した住民モデルが住民の心理状態などを表現する上で有効であるということがいえましたが、入出力に関し、情報の網羅性という点では改良の余地がある。過去の研究を利用しながら入出力について特に以下のように改良、モジュールの追加などを行うことによって、さらなる実現象への近似が図れるだろう。

住民の生活パターンの導入

住民が普段生活するように、外出および帰宅行動や、テレビの視聴を導入することによって偶然の情報獲得を期待することができ、情報の網羅性が現実になづくであろう。具体的には住民をいくつかのカテゴリーに分けて住民スケジュールを設定、それにしたがって行動するようにすればいい。そのために住民の移動も考えると、より現実になるであろう。

情報伝達機構の改良

家族を含め、知人に情報を与える情報発信先の選定については、片田らによってアンケート結果などを元に研究が進められている[21]。また、スモールワールドネットワークやスケールフリーネットワークなどネットワーク構造の知識[22]を情報伝達ネットワークに応用することもできる。こうして情報伝達ネットワークを改良することで、より多くの情報を獲得できると考えられる。

GIS 利用による情報提供

事故の進展が視覚や聴覚から認識することが困難な原子力災害の場合でも、周囲の人間の行動や、緊急車両を認知することは可能である。こうした住民移動や緊急車両の動きは GIS を用いて認知できるかを判別し、ノード入力することで、外部環境の変化に対応した形にすることができる。広報車の動きについても、現在は東海村全域に広報することになっているが、片田らの研究[23]では、GIS の道路データを利用し、広報車があるルートで広報を行った場合の情報網羅性について検証されている。これらの研究を利用し、広報車の巡回ルートなども導入することで、情報提供を詳細化できるほか、巡回ルートの評価もできるだろう。

ここまで情報取得について改良点を述べてきたが、状況推論、行動決定の改良点としては以下のようなものが上げられる。

条件付き確率表の改良

ベイジアンネットワークに用いた条件付き確率表については、現在は事前確率を予想して独自に設定したものだが、今回行ったシミュレーションではかなりよい挙動を示した。ただ、今後情報入力の部分で改良を加えていくと、より多種多様の情報を扱うことになり、現実の推論結果とずれてくる可能性も考えられる。よって、今回作成したネットワークのリンクにあたる部分の条件付き確率表をアンケートなどによって修正していくことで、よりよい推論ネットワークを作成し、モデル化が可能になる。

注意レベルの上昇による確率変化

注意レベルの初期値は住民によって異なる設定にしてあるが、極端な違いをとることはない。また、屋内に入ったりテレビをつけたりという情報取得行動については注意レベルによる単純障壁によって判断を行っていた。すると、初期値が近い住民は同じプロセスで情報を獲得すると全員がいつせいに同じ情報取得行動をとることが考えられた。そこで、多少ランダムな要素を加え、注意レベルが高いほどこうした情報取得行動をとりやすいように障壁を改良することで、住民の情報行動にばらつきをもたせることができる。しかし、このばらつきが現実在即しているかは検討の余地があり、単純に導入すればいいというものではない。

また、MASTERD に導入するに当たっては以下の点を考慮していく必要がある。

マスコミの自主報道

MASTERD では、現在テレビやラジオなどによる報道は役所など各種災害対策組織から要請があった場合のみ情報を発信する設定になっている。しかし、現実では各種報道機関は独自に特別番組等で報道を行うであろうから、こうした自主報道による情報発信を組み込んでいく必要がある。

以上のような項目は今後の検討すべき課題であるが、住民モデルの大綱としては十分に役割を果たしているといえるであろう。

第 7 章 結論

7.1 結論

7.1 結論

緊急時における住民定性モデルに基づいて、原子力災害時における住民モデルを作成した。このモデルは図 7.1 のように **S-O-R** モデルに即して設計されており、情報取得に注意レベルによる障壁、状況認識の推論モデルにベイジアンネットワークによる状況推論、行動決定に個人属性による補正および行動障壁を用いている。

このモデルに基づいて、住民意思決定シミュレーションシステムを作成、JCO 臨界事故時のシナリオを元にシミュレーション実験を行った。シミュレーション実験では情報取得による内部確率変化、そして意思決定と、**S-O-R** モデルに基づいた挙動を示し、また行動決定のタイミングなど事故後のアンケート結果と合致する点が数多く見られた。

また、緊急時行動シミュレーションシステム **MASTERD** 上でも同様の結果が出ることを確認され、今後情報シナリオの設定、条件付き確立などの改良を加えていくことで原子力災害等各種災害時の住民行動の推定に役立てることができると考えられる。

今後、情報入力機構の改善、条件付き確率表の改良などによって、より現実に即した住民モデル、そして住民エージェントの構築が期待される。

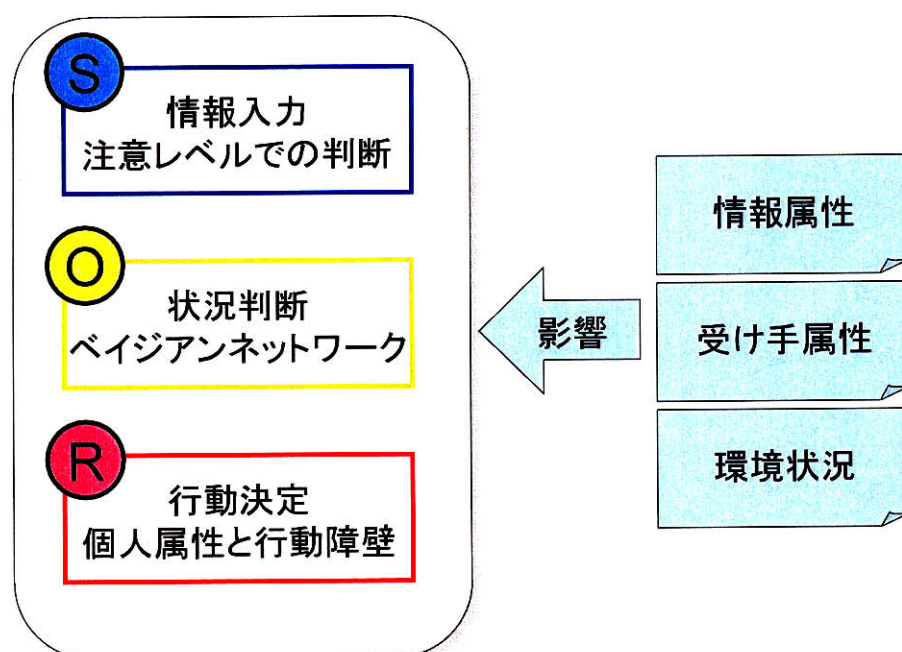


図 7.1：作成した住民モデルの概念図

参考文献

- [1] 文部科学省原子力安全課原子力環境防災ネットワーク 環境防災 N ネット
<http://www.bousai.ne.jp/>
- [2] 田所 諭・北野宏明 監修, RoboCup-Rescue 技術委員会・The RoboCup Federation・ロボカップ日本委員会 編:ロボカップレスキュー 緊急大規模災害救助への挑戦, 共立出版, 2000
- [3] T. Kanno, Y. Morimoto, and K. Furuta: "Multi-agent Simulation System of Emergency Response in Nuclear Disaster", Proc. 7th. Int'l Conf. Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM7), 389-394, 2004
- [4] 菅野太郎・古田一雄: 原子力安全のための社会技術研究 (XVIII)ー原災法下における危機対応行動シミュレーションー, 日本原子力学会秋の大会, 2004
- [5] 横山秀史・目黒公郎・片山恒雄: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, No. 513/I-31, 225-232, 1995.
- [6] 福地信義・小山清文・篠田岳思: 緊急時の心理過程と歩行モデルによる避難行動の解析, 日本造船学会論文集, No.186, 545-558, 1999
- [7] 南 一久・村上陽平・河添智幸・石田 亨: マルチエージェントシステムによる避難シミュレーション, The 16th Annual Conference of Japanese Society for Artificial Intelligence, 2B1-04, 2002
- [8] 清野純史・三浦房紀・瀧本浩一: 被災時の群衆避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用について, 土木学会論文集, No.537/I-35, 233-244, 1996
- [9] 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻 正矩: 大震火災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究, (1) 延焼過程を組み込んだ避難シミュレーションシステムの設計, 日本建築学会論文報告集, No.275, 141-147, 1979
- [10] 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻 正矩・鈴木克彦: 大震火災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究, (2) 避難シミュレーションによる人的被害の推定と都市防災対策の効果, 日本建築学会論文報告集, No.308, 110-118, 1981.
- [11] 森脇哲男・松本博文・江田敏男: 大震火災時の避難シミュレーション, 日本建築学会論文報告集, No.341, 142-149, 1984
- [12] 小坂俊吉・堀口孝男: 広域避難シミュレーション手法による大震災時の群衆行動解析, 土木学会論文集, No.365/IV-4, 51-59, 1986
- [13] ㈱社会安全研究所: 緊急時住民行動ならびに JCO 事故対応に関する調査報告書, 2002

-
- [14] K. Furuta, T. Kanno, E. Yagi, and Y. Shuto: "Socio-Technological Study for Establishing Comprehensive Nuclear Safety System", Proc. 11th. Int'l Conf. Nuclear Engineering (ICONE11), 2003
- [15] Judea Pearl: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 143-184, 1988
- [16] S. Russell, P. Norving 著, 古川康一監訳: エージェントアプローチ 人工知能, 共立出版, 1997
- [17] 松本啓之亮・黄瀬浩一・森 直樹: 知能システム工学入門, 第4章, pp. 63-92, コロナ社, 2002
- [18] 畠山 直: ベイジアンネットワークを用いた運転員の意図推論モデル, 博士論文, 東京大学工学系研究科システム量子専攻, 2004
- [19] 総合ジャーナリズム研究所 編: 総合ジャーナリズム研究, No.171/37-1, p11-24, 2000
- [20] 梅本道孝・小林健介・石神 努・渡辺 実: 東海村ウラン加工工場臨界事故時の住民の情報認知と対応行動, 地域安全学会梗概集, No.10, p113-116, 2000
- [21] 片田敏孝, 及川 康, 田中隆司: 災害時における住民への情報伝達シミュレーションモデルの開発, 土木学会論文集, No.625, IV-44, pp.1-13, 1999.
- [22] 佐藤幸恵: ネットワークの違いがダイナミクスに与える影響, 修士論文, 奈良女子大学大学院人間文化研究科物理科学専攻, 2002
- [23] 片田敏孝, 浅田純作, 桑沢敬行: GISを用いた災害情報伝達のシミュレーション分析, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.49-58, 2000.
- [24] 廣井 脩, 田中 淳, 三上俊治等: 1999年JCO臨界事故と住民の対応, 社会情報研究所調査紀要, 2000.
- [25] 村上知子: ベイジアンネットワークによる消費者の購買行動分析, 東芝レビュー, Vol.60 No.1, pp. 64-65, 2005
- [26] 池田謙一: 認知科学選書9ー緊急時の情報処理, 東京大学出版会, 1986

謝辞

修士研究を進めるにあたり、本当に様々な方からのご支援をいただきました。担当教員である古田一雄教授には、お忙しい中熱心にご指導をしていただき、研究や論文作成に行き詰まったときも励ましていただきました。古田先生の暖かいご支援がなければ、きっとここまで頑張る事はできなかったでしょう。本当にありがとうございます。

社会技術研究システムの菅野太郎さんには、JAVA も CORBA もわからなかった私に MASTERD を一から説明していただいただけでなく、様々な場面で助言、お力添えをいただきました。特に、英語論文作成時には一つ一つの文章をチェックしていただいたり、時に挫けそうな自分を激励していただいたりと、大変お世話になりました。菅野さんのアドバイスがなければ、これまで全く経験のなかった通信を用いたソフトウェア開発や研究などは到底できなかったと思います。本当にありがとうございます。

また、尾暮さん、木村先生、畑中先生など、社会技術研究システムのみなさまには、お昼休みなどにお話を聞かせてくださったり、励ましていただいたりと、大変お世話になりました。本当にありがとうございます。打ち上げの日に歯の治療でお酒が飲めずすみません。ぜひまた誘ってください。

同じ修士2年の飯野君、石井君、長瀬君とは研究について語り合ったり、時には愚痴をこぼしたりと研究を進める上でなくてはならない存在でした。また、研究室の修士課程、博士課程、そして卒業研究の皆様にも、様々な助言をいただきました。ありがとうございます。特に、学部4年生の奥君には、私の進捗状況に大きく依存する研究であるにも拘らず、私の方が研究に手間取ってしまい、大変ご迷惑をおかけしました。それでも文句ひとつ言わない奥君にどれだけ救われたかは筆舌に尽くしがたいものがありました。ありがとうございました。

この他にも、お互い励ましあって学生生活を送ってきた友人達、本当は気分転換に母校に来ているのに暖かく接してくれた高校の後輩の皆さん、研究スケジュールに合わせて時間を設定していただいたアルバイト先の塾の先生方など、数え切れないほど様々な方のお力添えがあってこそ、本研究を修了できたのだと思っています。本当にありがとうございました。

最後になりましたが、時に自暴自棄になることもあった自分を温かい目で見守り、24年間ここまで支えていただいた両親と家族に感謝いたします。