

状況を考慮した危機対応における 組織ヒューマンモデルの構築

Modeling Context Dependent Organizational Behavior in Emergency Response

菅野 太郎¹・尾暮 拓也²・古田 一雄³

¹ 博士. (工学) 東京大学大学院 工学系研究科 (kanno@cse.q.t.u-tokyo.ac.jp)

² 博士. (工学) 産業技術総合研究所 知能システム研究部門 (ogure.takuya@aist.go.jp)

³ 博士. (工学) 東京大学大学院 (furuta@q.t.u-tokyo.ac.jp)

危機対応システム設計では、災害規模やインフラへの影響、住民の振舞いなど、様々な要素を考慮しなければならない。組織間連携におけるヒューマンファクタは、過去の災害対応例からもシステム設計上、看過できない重要要素ではあるものの、これまでに組織を跨いだ包括的な現状把握、研究が十分になされてこなかった。本研究では、危機対応、特に組織連携におけるヒューマンファクタに注目し、現状調査とそれに基づく組織ヒューマンモデルの構築を行った。また、先行研究で開発した組織シミュレーションシステムに本研究で得たモデルを実装し、ヒューマンファクタを考慮した組織連携シミュレーションの可能性を示した。

キーワード：組織モデル、ヒューマンモデル、危機対応、組織連携、ヒューマンファクタ

1. はじめに

大規模な自然災害や事故が発生すると、被害軽減や人命救助といった対応のために、中央政府、省庁、自治体、自衛隊、警察、消防といった様々な組織の連携が必要とされる。災害対応における組織間連携の枠組みは、関連法規や防災計画によって規定されている^{1,4)}。しかしながら、実際の災害対応の現場では、様々な要因によって計画された対応が困難となる。例えば、想定外の災害規模や種類に法律や制度、マニュアルによって構築された対応システムはしばしば破綻をきたす。機能別の対応計画による改善案が議論されているが、事前の想定に基づいた計画策定の限界は共通である。また災害時の住民の振舞いや反応を正確に予測することは難しく、予め設計段階において対策を完璧に準備することは難しい。また、被害に伴うライフラインやロジスティクスへの影響は、その分析手法が精力的に研究されているものの⁵⁾、必ずしも法律や制度、マニュアルに完全に反映されているわけではない。さらに、判断や対応における過誤、危機対応者の熟練度、状況依存対応といった人的要素（ヒューマンファクタ）は、過去の災害例においても対応の良し悪しを左右する大きな因子となっている⁶⁾。これらの問題を予測、考慮し、よりレジリエント（外乱に弾力的でリスク発見的）⁷⁾な社会システム、危機対応システムを構築することは、災害大国の我が国が安全で安心な社会を持続するために必要不可欠である。レジリエントな危機対応システムを実現するためには、過去の災害対応の

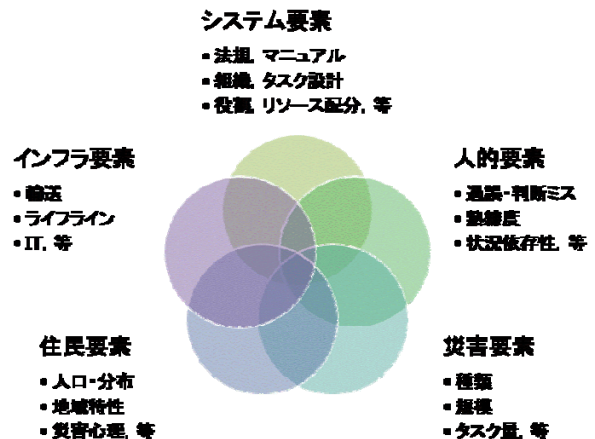


Fig. 1 危機対応システムの設計要素

教訓や防災訓練をベースに、Fig. 1 に示されるような様々な因子の影響を考慮しつつPDCA サイクルを回す必要がある。

本研究では、これらの要因のうち人的要素に焦点をあてた。まず、危機対応の現場でどのような困難な状況が生じ、どのような判断や対応が迫られるのか、そこでどのような能力や知識が必要とされるのかといった現状把握から、危機対応における組織ヒューマンモデルの構築を行い、過去の事例に基づいた対応ライブラリの作成の枠組み構築を行った。さらに、これら事例を記述するた

めに必要な概念体系の構築も併せて行った。また、先行研究で開発した組織シミュレーションのエージェントモデルに知見を実装し、ヒューマンファクタを考慮した計算機シミュレーションの可能性を示した。

2. ヒューマンモデルの構築

災害や事故時の危機対応では、普段とは異なる様々な状況が生じる。これらの不慣れた状況が、危機対応を行う人や組織の不適切な対応や判断の過誤、遅延を引き起こす原因となる。これらの状況は大きく二つに分けて考える必要がある。ひとつは、建物への被害や人的被害といった、災害や事故そのものによって生じる状況。もう一つは、情報錯綜や連絡遅延といった、多組織間の連携過程で生じる状況である。前者の状況評価、予測のための手法開発はこれまでに精力的に行われており、大きな成果を上げている⁸⁹⁾。これまで防災計画や対応マニュアルで想定されてきた対策や行動指針は、被害想定やハザードマップを考慮した、基本的に前者の状況に対するものと考えてよい。一方、多くの過去の災害事例における不適切な危機対応は、災害状況から引き起こされた後者の状況への対応に起因するものが少なくない。本研究では、特に後者の状況に対する対応の重要性喚起と理解を目指し、災害や事故時における多組織間連携で生じる状況に対して、人や組織がどのような振舞いを行うかに関するモデルの構築を行った。

2.1. モデル構築方法

本研究では、実際の危機対応現場での経験知に基づいたヒューマンモデル構築を行った。具体的には、自治体（都道府県・市町村）の災害対応部署や防災関係機関の災害対応経験者に対し、1) アンケート、2) インタビュー、を行った。また、自治体主催の、3) 訓練観察も行った。これらの3つの調査方法を併用し、それぞれの方法で得られた知見を次の調査へフィードバックすることで、加算的に調査項目と視点を追加するという手法をとった。このような方法を用いることで、アンケートやインタビューで得られた対応を実践訓練中に見出せたり、逆に、訓練での問題点に対する対応をインタビュー等で整理したりすることができ、インクリメンタルにモデルの完成度を上げることが可能となる。これらの調査は、実態把握や現象記述を目的とした社会学的調査ではなく、危機対応評価の計算機シミュレーションや、対応支援ツールの開発等を見据えた工学的、社会技術的活用の基盤となるモデル構築のために行ったものである。

Table 1 質問項目例

| | |
|---|---------------------------------------|
| 組織や部署間の連携・調整において経験した問題点があれば、以下の項目にしたがって具体的に記述してください。 | |
| 問題が生じた状況 | いつ起きたか（情報収集／状況把握／判断／連携（情報伝達）／実行時／その他） |
| | どこで起きたか（部署、場所、連携先） |
| | 具体的状況（問題を生じさせた原因状況） |
| そのときの対応 | 何をしたか／しなかったか |
| 模範的対応や考えられる対応 | 何をすべきか／しないべきか |
| 改善策があれば | |

2.2. アンケート

アンケートでは、特に組織間の連携に焦点をあて以下のような質問項目を用意した。1) これまでに経験した危機対応における成功例と問題点。2) 実際に経験はしていないが、危機対応の現状を踏まえて問題になるであろうと思われる状況と、その時生じる問題。以上の2項目についての自由記述。さらに、既に得られたアンケートでの知見や、後述するインタビューや訓練観察で得られた知見による、3) 想定状況とその時に行うであろう対応の what-if 質問。Table 1 に質問項目の例を載せる。

これらの質問項目から構成される計8ページの質問紙を、1) 都道府県庁の災害対応部署、2) 市町村役所の災害対応部署、に郵送または電子メールで送付し、回答をお願いした。これまでに59の部署に協力をお願いし、16部署からの回答を得た。

2.3. インタビュー

インタビューでは、アンケートの質問項目をベースとした半構造化インタビューを行った。本研究では、主に災害対応を経験した防災関係機関の対応者を対象に、本部対応者、現場対応者に分けて、計5組織に対して行った。また、原子力災害時の助言機関の担当者にも行った。上述のアンケート基本質問項目を基に、実際の現場で起きた生の体験を深く掘り下げ、具体的対応やその判断のきっかけ、対応改善の可能性等について聞き取りを行った。

2.4. 訓練観察

国や自治体主催の原子力総合防災訓練、震災対応訓練や国民保護法訓練の実地調査を行った。自治体の災害対策室内における活動を対象に、活動中に見られる具体的な振舞いや問題点、発話の観察を行った。得られた知見は、前述したように、アンケート項目やインタビューの質問項目にフィードバックし、追加的に調査内容を詳細に

- メタ情況 (典型情況)
- 対応オプション (and/or)
 - オプション1
 - オプション2
 - オプション3
- 必要competence (能力, 知識, 権限, 等)
- 例外的, 詳細的, 特殊な例やTip

Fig.2 基本フレーム

する方法をとった。

3. 提案モデル (基本フレーム)

調査結果を内容分析した結果, 多くの組織が経験, 想定する問題的情況があることがわかった。またそのような情況下では, いくつかの似通った対応がとられることが分かった。さらに, そのような対応の実行には, 個々の情況に依存した何らかの判断が必要であることが見えてきた。また一方で, 組織によっては非常にユニークな対応を行ったり, 限定合理性の下, 異なる組織で背反するような対応が選択されたりすることもあることが分かった。このような, 情況依存性の高い危機対応時の対応行動を記述し, 再利用が可能になることを目的に Fig. 2 に示すような基本フレームを提案する。この基本フレームを用いることで, 異なる組織において過去に経験した, あるいは経験はしていないが想定している, 組織に個別の対応の共通的な記述が可能となる。これによって, 異なる組織に散在する知見の共有に貢献できる可能性がある。以下, 基本フレームの各項目について詳述する。

メタ情況とは, 個別の対応経験・予想に共通する情況のことを指す。本研究では特に, 組織間連携や情報伝達の際に生じた情況を, 調査結果から分類しメタ情況とした。対応オプションは, あるメタ情況下で取り得る対応例のことである。調査回答を積算して記述する。また, 複数の対応オプションを同時に行ったり, 選択的に行ったりすることを明示的に回答する組織もあった。これらの複合的対応も一オプションとして記述する。また, ある情況下での対応の回答の際に, 条件付きで対応の実行を回答する場合が多くみられた (例えば, あまりにも非現実的な情報の場合は考慮しない等)。このような条件付き判断を可能にする能力や知識, 権限等を必要コンピテンシーとして別途記述する。幾つかの回答では, 非常に特殊な対応や成功例が挙げられていた, これらの例外的回答はその他として別に記述する。

Table 2 メタ情況

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. 情報送信元が不明な情報を入手 | 6. 要請や質問が対応されていない |
| 2. 要請の内容が理解できない, 詳細不足 | 7. どこが対処すべきかわからない (決まっていない) |
| 3. 矛盾する情報を入手 | 8. 自分の部署と関係ない情報が来た |
| 4. 権限部署の承認が付与されていない (手続きミス) | 9. 重要な意思決定を行うのに十分な情報がない |
| 5. 連絡が取れない | 10. 担当者がいない |

Table 3 対応例 (送信元不明)

| 対応オプション |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 提供元に問合せ ● 情報の程度により, 提供元へ問合せ ● 提供元へ問合せ, 平行して他ルートで確認 ● 既存の情報と照合, 無ければ, 情報の緊急度に応じて判断 ● 提供元へ確認. 信頼おける消防など防災機関に確認. 無視することもある ● 複数の関係機関から情報収集し, 情報の確度を高める ● 提供元に問合せるか, 関係組織に問合せるか. 情報収集に努める ● 可能な限りの情報把握手段や連絡先を確認の上, 自治体, 消防, 警察などの関係機関に照合 ● 情報内容の軽重によって提供元に確認 ● あまりにも非現実的な場合は無視. 少しでも信憑性があるなら提供元へ確認 ● 重要性のランクで異なる. 重要情報は確認, 軽易な場合は放置 ● 現場確認 |
| 必要 Competency |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 情報の程度の判断 ● 情報の確度の判断 ● 情報の緊急度の判断 ● 重要性のランク付け ● 情報の軽重の判断 ● 他ルートの考案 |
| その他 |
| 特になし |

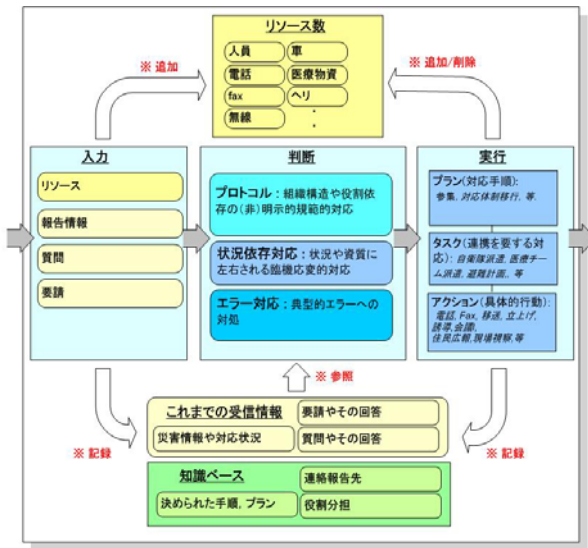


Fig. 3 組織モデル¹⁰⁾

3.1. 対応ライブラリ

今回の調査では、10メタ情況 (Table 2), 117オプションを抽出した。基本フレームを用いて表現した例を Table 3 に示す。Table 3 では、“送信元が不明の情報入手”というメタ情況における対応オプションとそれに必要なコンピテンシーの記述を示している。

3.2. 組織ヒューマンモデル

構築した基本フレームに基づいて記述された対応オプションは、危機対応シミュレーションのために開発した規範組織モデルに統合できる。先行モデルでは、危機対応における対応ルールを、1) マニュアルや行動指針に明示的に示されているルールや、組織構造に埋め込まれている対応を表すプロトコル、2) 状況によってとられる対応が変わるものを表す状況依存ルール、3) 典型的への対処を表すエラー対応ルールに分類している。今回得られた基本フレームに基づいた対応集はそのうち、状況依存ルール、エラー対応ルールとしてモデルに統合することができる。

例えば Table 2 の1項目のメタ情況に関する対応は状況依存対応に、4項目の対応はエラーへの対応にあたる。これらの状況を後述するオントロジーで記述し、電子化することで判断モジュール部分を構築することができる。

Fig. 3 にモデルの概要を示す。これは組織内での情報処理の流れを、入力—判断—実行の基本認知プロセスに分けて整理したものである。各組織は、まず、1) 他の組織や環境から情報を獲得する。計算機シミュレーションでは、他の災害状況のシミュレーション結果や災害状況シナリオ等が入力情報となる。入力された情報は、2) 獲得した情報や持ち合わせている知識に基づいて規範的なルールや状況依存ルールを適応して適切なアクションが選択される。ここでのルールは、調査結果などを基に

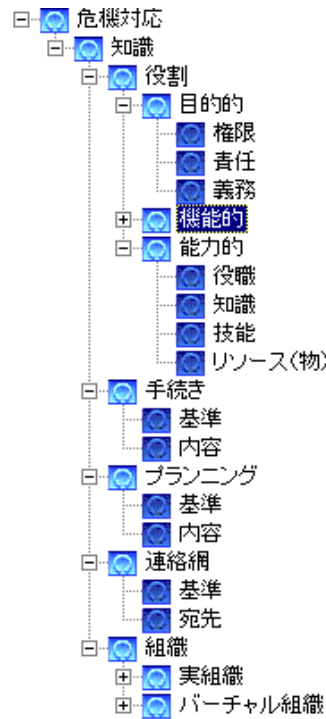


Fig. 4 OntStarによるオントロジー構築

後述のオントロジーによって実装される。その後、3) 選択された手順や、タスク、具体的な行為が行われる。各具体的な行為には、実行のために必要なリソース数があり、行為実行の制約条件となる。これらの行為は、計算機シミュレーションでは、プログラムのメソッドとして実装される。モデルの詳細と計算機への実装例は文献 10 に詳しく記述してある。

3.3. 危機対応オントロジー

本研究の目的の一つは、実地調査で得られた知見の工学的応用の可能性を示すことにある。知見の再利用や計算機シミュレーション等への応用を見据えて、組織モデルの構築と並行して、危機対応で用いられる知識の抽出とその電子化 (オントロジー構築) を試みた¹¹⁾。このようなオントロジーは、前述の組織ヒューマンモデルを計算機上に実装する際に、状況を記述したり災害対応に関する知識やリソースを表現したりするための基盤を提供する。また、計算機システムでの活用のみならず、災害状況の記述や経験の記述などアナログの記述のための統一フォーマットにもなる¹²⁾。

これまでの調査結果や既存の防災資料から、現場で用いられている概念や単語をピックアップし、オントロジー構築ツール OntStar¹³⁾を用いて構造化、編集した。

OntStar についての詳細を次節に説明する。

(1) OntStar

OntStar はオントロジーを構築するために筆者らが開発

したツールである。オントロジーは具体的には特定の問題領域のモデルを構成するために必要な概念を過不足なく収集して整理した概念体系であり，人と人とのコミュニケーションの制御や計算機シミュレーションの設計などに利用されるものである。概念とは名辞として言語化された観念のことであるが，ここで対象世界をどのような概念に分節化してどのような言葉を割り当てるかは恣意的であることが知られている。これを「言語の恣意性」という。従ってコミュニケーションの送り手と受け手の間で同じ概念体系が共有されていなければその意味内容は伝わらない。専門家のコミュニティの中で専門的知識が伝達される時には概念体系が暗黙的に共有されていると考えられるが，この専門的知識を外部に抽出するためには同時に概念体系も抽出する必要がある。

OntStar はこの問題に対処するために開発されたソフトウェアであり，専門的な語彙を抽出してその構造をトップダウン的あるいはボトムアップ的に発見できるツールである。暗黙的に共有されている専門的な概念体系はその主体が必ずしも明示的に意識できるとは限らないが，トップダウン的な構造の発見のプロセスによれば，ある概念について説明文を記述してその内包を明らかにすることでその下位概念を想起することができる。またボトムアップ的な構造の発見プロセスによれば，いくつかの概念をグループ化してそれを外延と考えることにより，その上位概念を想起することができる。これらのプロセ

スを支援するために OntStar は上位概念アイコンを下位概念アイコンへ展開できるツリービューのペインと下位概念アイコンをグループ化して上位アイコンを生成できるリストビューのペインを持っており，それぞれの概念アイコンには概念の名辞と概念の説明を付与することができるように設計されている。また概念の間には任意の関係性を定義して関係づけることができるように設計されている。このソフトウェアは論文執筆時点でベクター(株)のホームページから無料で公開されている。

(2) オントロジー例

OntStar での構築例を Fig. 4 に示す。大きく災害や被害を表す概念，行為を表す概念，知識を表す概念に分類し，現時点で計 264 概念項目数を抽出している。Fig. 4 はそのうち知識に関するオントロジーのトップレベルを示す。危機対応に用いられる知識には，役割に関する知識や手続きに関する知識といったサブ概念に分けられる。また，役割に関する知識にも権限や責任，義務といった明示的に防災計画，マニュアル等に記述されるような目的役割や，組織のトップや情報の窓口といった機能的な役割，役職や知識の有無，技能の有無といった能力的な役割といったサブ概念に分類される。これらに従って概念を整理，記述することによって，対象の包括的な理解や記述，電子化等が可能となる。

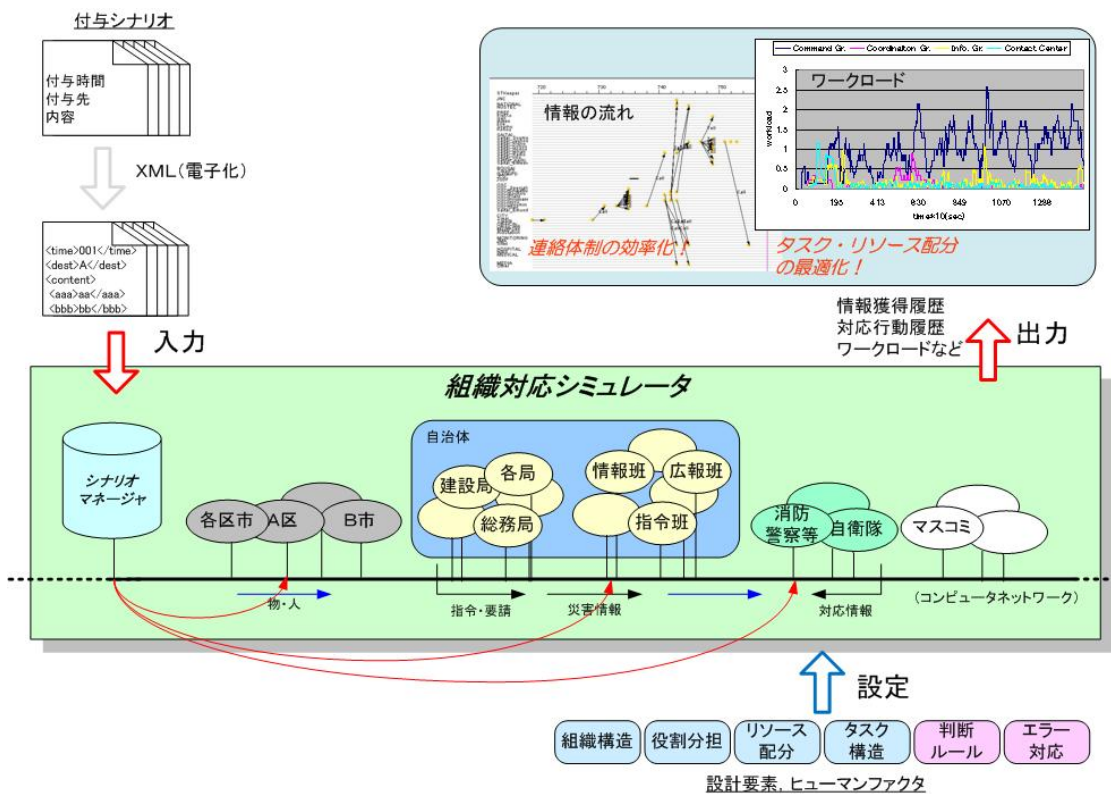


Fig.5 シミュレーション構成

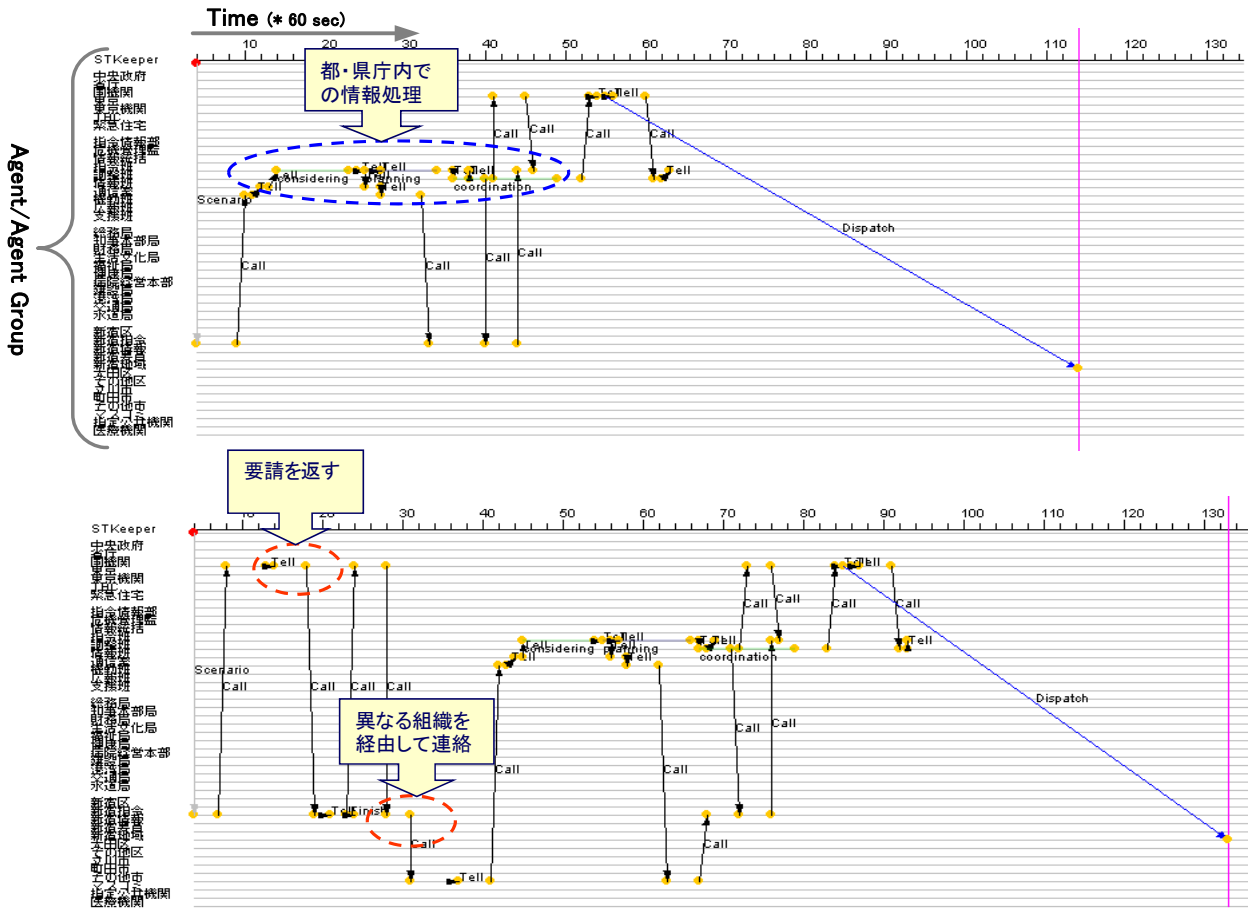


Fig. 6 シミュレーション結果例 (上：規範ルールのみ, 下：状況依存含む)

4. シミュレーションモデルとの統合

文献¹⁰⁾で開発したシミュレーションモデルに状況依存ルールを一部実装し、危機対応における情報伝達のシミュレーションを行った。Fig. 5 にシミュレーションシステムの概要を示す。シミュレーションでは、情報付与型訓練で用いられる付与情報を開発したオントロジーに基づいて電子化し、シナリオマネージャによって時間に沿って対象エージェントに入力情報として与える。各エージェントは付与情報の内容から上述のモデルに従って行動選択をし、多エージェントへ情報伝達を行うといった行動対応を行う。シミュレーション結果として、各組織エージェントの活動履歴やワークロードの時間遷移、組織間のコミュニケーションフローなどが得られる。

Fig. 6 にシミュレーション結果を示す。図中、各横軸は異なる組織の時間軸を表している。組織間の情報のやりとりは軸間の矢印で表される。またあるタスクにコミットしている時間帯は軸上の色付き太線で表される。

Fig. 6 は、あるタスク実行の要請がなされ、判断担当組織内で考慮されたのちに、実行組織へタスク実行を要請し、タスクが実行される際の情報の流れを表している。また、Fig. 6 上段は規範ルールのみでのシミュレーション

を、下は同じ内容だが、1) 最初の要請に手続きミスがある、2) 情報経路の途絶がある、の2つの条件下で状況依存ルールを入れたシミュレーションである。要請の差戻しや他ルートによる情報連絡といった情報依存の対応、所要時間の相対的な増加等が下段のシミュレーションで再現できている。規範ルールのシミュレーションでは危機対応システムが計画通りに機能した場合にどの程度のパフォーマンスになるかのベンチマークを得ることができる。一方、状況依存やエラー対応を導入することで、人間の対応のバラつきを考慮することが可能となり、同一の状況下で実際の危機対応システムがどの程度の幅を持った振舞いを示すかを理解、評価すること等が可能となる。

5. 結言

本研究では、インタビュー、アンケート、実地調査を繰り返し、観察視点を相互に詳細化するという危機対応における人間行動調査方法を提案し、危機対応での組織連携の事例を収集した。また、危機対応行動記述のフレームを考案し、収集データから10メタ状況、117オブ

ションからなる対応ライブラリを構築した。さらに、危機対応オントロジーを構築し、危機対応における状況や行動、知識を電子的に記述する基盤を構築した。これらを組織 ヒューマンモデルとして統合し、その応用例として情報伝達シミュレーションの例を示した。

航空業界や大規模プラント等におけるヒューマンファクタの重要性が認識されるようになって久しいが、一方で災害や事故時の危機対応におけるヒューマンファクタの重要性の認知度は我が国において、他分野や他国に比べると極めて低い。実際、予想される状況下における対応方法が、組織によって異なったり、また限定合理性の下、時に背反するような対応がとられていたりすること（かつそのことをお互いに知らない）等が広く知られてはいない。本研究で開発した調査方法や記述手法を用いて、大規模かつ詳細に危機対応におけるヒューマンファクタを解明、理解し、教育・訓練や体制設計にフィードバックする設計ループを確立する必要がある。危機対応で最後の砦となるのはルールでも IT 技術でもなく、人である。

参考文献

- 1) 防災行政研究会編 (2004) 『逐次解説 災害対策基本法』, ぎょうせい
- 2) 原子力防災法令研究会編 (2000) 『原子力災害対策特別措置法解説』 大成出版社
- 3) 防災基本計画
http://www.bousai.go.jp/keikaku/070320_basic_plan.pdf
 [2007, November 7].
- 4) 例えば, 東京都地域防災計画
<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/japanese/tmg/plan.html> [2008,

- March 17].
- 5) 久保慶三郎, 篠塚正宣 監修 (1998) 『地震と都市ライフライン』 京都大学出版会.
- 6) Furuta K, Sasou K, Kubota R, Ujita H, Shuto Y, Yagi E. (2000), Human factor analysis of JCO criticality accident. *Cognition, Technology, and Work*, 2(4), 182-203.
- 7) Hollnagel E., Woods D., and Leveson N. (2006) 『Resilience Engineering』 Ashgate.
- 8) 茅野正道, 安達武雄 (2003) 緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI の現状と今後の展開, *日本原子力学会誌*, 45(5), 296-301.
- 9) Jain S and McLean C (2003), Modeling and Simulation for Emergency Response, Workshop Report, Standards and Tools: NISTIR7071.
- 10) Kanno T. and Furuta K. (2006), Modeling and Simulation of Inter- and Intra-Organizational Communication and Coordination in Emergency Response, *Int. J. Emergency Management*, 3(2/3): 149-167.
- 11) 溝口理一郎 編集(2006)『オントロジー構築入門』オーム社
- 12) Kanno T., Hayano K., Ishida C., Kawahara K., and Furuta K. (2008) Ontology Building for the Cognitive Task Analysis of Disaster Nursing, Proc. 9th Probabilistic Safety Analysis and Management, Hong Kong.
- 13) Ogure T., Nakata K., and Furuta K. (2005) Information Retrieval Using a Concept Structure of Experts, Proc. 11th Human Computer Interaction International, Las Vegas

謝辞

本研究の一部は、財団法人中山科学振興財団の助成によって行われた。

MODELNG CONTEXT DEPENDENT ORGANIZATIONAL BEHAVIOR IN EMERGENCY RESPONSE

Taro KANNO¹, Takuya OGURE², and Kazuo FURUTA³

¹Dr. (Eng.) the University of Tokyo (E-mail: kanno@cse.q.t.u-tokyo.ac.jp)

²Dr. (Eng.) National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (E-mail: ogure.takuya@aist.go.jp)

³Dr. (Eng.) the University of Tokyo (E-mail: furuta@q.t.u-tokyo.ac.jp)

It is necessary to consider various influencing factors including harmful effects of disasters, damages of infrastructures, behavior of citizens, etc. in designing effective and resilient emergency response systems. Human factors in inter- and intra-organizational coordination is one of the major issues for the system design, however, it has not been paid much attention. In this study, we have investigated human factors in emergency response, especially for inter- and intra-organizational coordination, and developed a model of organizational behavior as well as domain ontology for emergency response in disasters. We incorporated the model into the simulation model previously developed and showed some simulation results reflecting those human factors.

Key Words: *Organizational Modeling and Simulation, Human Modeling, Emergency Response, Inter- and Intra-Organizational Coordination, and Human Factors.*