

大規模地震の動的被害予測モデル

目 黒 公 郎*

Dynamic Evaluation Model for Large Earthquake Disaster

Kimiro MEGURO *

Abstract

From national to local governments and private sectors, many organizations have carried out earthquake damage estimation of their facilities by comparing their strength and earthquake demand. Based on these estimations, they have established plans for disaster reduction measures. Although these earthquake damage estimations are conducted by consuming large budgets and time, in many cases the results are neither used well nor trusted, especially by specialists. Why?

The major reason is that these estimation results are calculated based upon chains of assumptions. In other words, the probability of having the assumptions adopted in the damage estimation calculation is very low. Furthermore, simulations are carried out under static conditions while real phenomenon is very dynamic.

Although a static condition is used in many simulations, the time factor is certainly very important, especially for human related activities. For a reliable assessment of earthquake disaster damage, three time factors must be considered. The first defines the characteristics of the social system and development level of the affected area. The second is related to the point in time when the event occurs: season, month, day, hour, etc. The last is time elapsed after the event.

Recently, accurate estimations of the characteristics of an earthquake (location, magnitude, mechanism, etc.) and the strong ground motion at each site is improving. However, even if accuracy becomes reliable, damage caused by the event cannot be discussed quantitatively as there is great uncertainty due to time factors and research on how to manage this uncertainty is scarce.

In this paper, the direction of future research on earthquake damage evaluation and disaster countermeasure plans are discussed stressing the above-mentioned issues. Some studies on these matters are introduced.

Key words : earthquake disaster countermeasures , disaster response , dynamic damage evaluation , disaster reduction manual

キーワード : 地震防災 , 災害対応 , 被害予測 , 防災マニュアル

* 東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター

* International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

I. はじめに

上は政府レベルからはじまって、様々なレベルの自治体や企業が現有の設備と想定する地震との比較から、地震被害の予測を行い、その結果に基づいた防災計画を立てている。多額の金と労力を費やして行われる被害予測であるが、多くの場合、その結果が有効に活用されているようには見えないし、数値そのものも人々からは信用されていない。特に専門家の間でその結果を鵠のみにする者はいない。なぜか？

理由は、それらの結果が、「仮定の仮定の仮定の…」の上に推定された数値であることによる。言い換えれば、前提とした仮定通りに災害が発生する確率が極めて低い点と、本来ダイナミックであるはずの被害が、スタティックなものとして扱われている点に問題がある。言い方を変えれば、地震そのものの特徴（位置・大きさ・メカニズム、など）やそれによって各地で観測される地震動が信頼に値する精度で予測されたとしても、これを受けて社会に生じる地震被害については不確実性が高く、従来この点に対する検討が全く不十分であったということである。

本報は、この点に重点を置き、今後の地震被害予測や災害対応計画に関する方向性や、関連して現在進めている幾つかの研究について報告するものである。

II. 災害は進化する 災害現象における時間のファクター

一般に地震被害は、入力（インプット：I） システム（S） 出力（アウトプット：O）の関係として考えると理解しやすい（巨大災害はカオスであり、ここで言うような「I S O」の関係づけは難しいとの意見もあるだろうが）。地震工学や地震防災においては、入力としては、地震の発生や地震動、津波などをまずは考える。システムとしては、地域住民の生活スタイルに影響を与える社会システムを想定する必要がある、これは地域の自然状況の特徴づける自然環境特性（気象/気候、地理、地形、地質/土質など）と社会状況を表す

社会環境特性（都市システム・インフラ・政治・経済・文化/教育・歴史/伝統・宗教・思想など）から構成される。また地域活動や住民生活が時間によってダイナミックに変化することから、地域特性を表現する変数には、季節（天候を含む）・曜日・時刻などの時間の項が入ってくる。出力は、対象とする現象によって 建造物の応答や社会/組織の対応となって現れ、これがあるレベルを越えると地震被害となる。すなわち、地震被害の規模と質は、入力（I）とシステム（S）の関係によって決定される。阪神・淡路大震災などの巨大災害は、この（I S O）が複雑に絡み合いながら連鎖反応を起こしていくことで、時空間的に拡大した現象として捉えることができる。災害軽減において大切なのは、この連鎖反応を時空間的に小さな状況下でいかに断つかである。

「災害は進化する」と言われる所以は、入力としての災害（ハザード）が変化しているのではなく、それを出力である被害（ディザスター）に変換する社会システムの変化がもたらす現象として理解できる。発展途上国で現在発生している災害が、先進国の過去の災害に類似したり、開発や発展の程度によって起こり得る被害のタイプの分類が可能であるのもこのためである。余談だが、同じ地震を対象とする分野でも、地震学の場合は地震工学の世界で入力として考えている地震の発生メカニズムが興味の対象となり、これを出力とする（I S O）の関係解明が研究の対象となる。また地震工学の研究者の中にも、地震動や津波の挙動を研究対象としている人がおり、彼らにとっては地震動や津波の特性を決定する（I S O）のメカニズムが重要課題となっている。

上で説明したように、災害現象を理解する上では、三つの時間的なファクターが重要になる。災害発生時の社会システムを特徴づける「時代」という時間ファクター、そして「発災時刻」と「発災からの経過時間」という二つの時間的なファクターである。

近年では、歴史地震や活断層の研究成果により、我が国で発生する各地の地震被害を考えた場合は、地域別に予想される最大級の被害地震の規模と位



図 1 私の考える総合的地震防災システム。

地震災害環境シミュレータ(主として物理現象編)

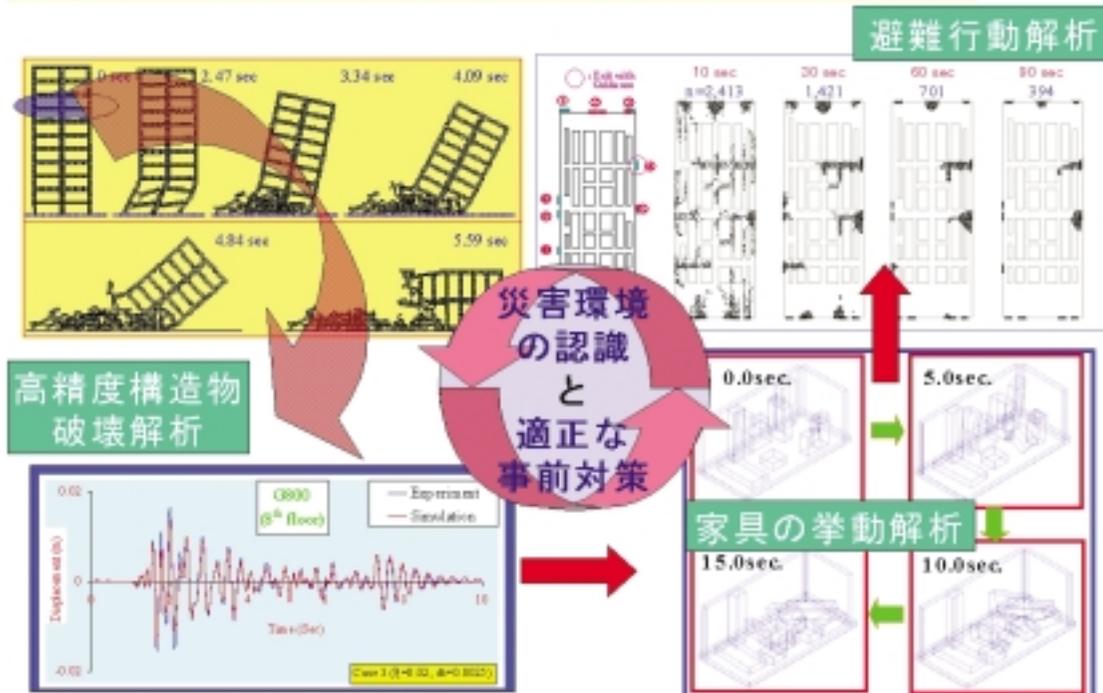


図 2 地震災害環境シミュレータ構想。

イメージできる人は、放っておいても何らかの準備や対策を自分で講じることができる。

これはベテランドライバーと経験のない若いドライバーを比較してみればよくわかる。反射神経だけで言えば、もちろん若いドライバーの方が勝っている。しかしどちらのドライバーが事故を起こしにくいかというと、それは当然ベテランドライバーである。「なぜか？」ベテランドライバーはその時々起こり得る状況をイメージすることで、とっさに対応できる準備をしている。ゆえに反射神経はいいが、状況認識のできない、すなわち出たとこ勝負の若いドライバーよりも結果的には、迅速で適切な対応ができ、事故を防ぐことができる。阪神・淡路大震災の対応に当たられた職員の手記を読みいただきたい。「次に何が出てくるかわからない。これまで経験したことがないので、どう対応していいかわからない。先が見えない。不安である。」などの記載だけである。これはまさにイメージ力がないために起こっていることなのだ。

我々防災の専門家の使命は、災害の実像を認識できないことで準備せず、結果的に被害を被ってしまう人を減らすことである。このためには物理的/社会的根拠に基づいて災害時の環境を具体的に示すツールが必要であり、ここに数値シミュレータの存在意義がある。

一般に数値シミュレーションを行う背景には、次のような目的や理由が存在する。専門家による現象分析や検証と、一般の人々の現象理解を補助するための「現象の再現手段」、実験をするに当たって、現象が種々な危険性を伴ったり、規模が大き過ぎたり小さ過ぎたり、あるいは材料パラメータや境界条件の自由度の制約等から実験の実施が困難な場合の「代替仮想実験手段」、実時間では瞬時の現象だったり、再現に長時間を要する場合に、現象の再現期間を観察に適した長さに調節する「時間の調節ツール」などの目的である。

ここで示した図2の例は、兵庫県南部地震の教訓を踏まえ、地震防災上最も重要性の高い地震時の構造物の破壊挙動とその建物に付随する設備や家具などの地震時の挙動、さらに災害時の人の避

難行動などを総合的にシミュレーションするシステムである。社会・経済的な活動や復旧・復興過程までのシミュレーションを行うモデルは別途開発中であり、これらを融合することで、「ユニバーサル地震環境シミュレータ」が完成する。

ところで、ここで紹介したシミュレータを構成する一つ一つのシミュレーションモデルは、それぞれ単体としても十分優れたものになっている。例えば、ここで言う高精度破壊解析法は、私の研究室で独自に開発された新しい解析手法（応用要素法:AEM と呼ぶ）(Meguro and Hatem, 2000; Hatem and Meguro, 2000) で、これを用いると構造物の健全な状態から完全に崩壊するまでのプロセスを高い精度で追跡できる。図にも示したように、驚異的に高い精度での建物の非線形応答が求められるので、これを入力とする各フロアでの家具の動的挙動が追いかける。この手法も3次元の非連続体解析手法（3次元拡張個別要素法）(松本・目黒, 2000; 榎本・目黒, 2001) であり、価値の高いものである。これを使うと、例えば自分の部屋の内部が地震の際にどのようなかをシミュレーションできる。もう一つ紹介されているのは、避難行動シミュレーションモデルであり、これは個人特性の異なる数万人規模の人間の避難行動を一人一人を単位として解析できる手法である (Meguro and Harada, 2000)。これを用いることで、避難行動から見た都市の安全性の評価や設計、最適避難誘導法などの提案が可能となる。

VI. 災害のイメージトレーニングツール

1) 目黒メソッド (目黒, 2000b)

一口に防災と言っても、ニーズは時々刻々と変わる。発災直後に必要なこと、2, 3日後に重要となってくること、1週間で問題となること、1ヶ月、1年と時間の経過に伴って、「何がどのくらい必要になるか」が変わってくる。例えば、地震直後ではまず、生命の安全確保（救命・救助を含む）、そして安否確認、半日経つと飲料水と食料、避難所に落ち着いてくると財産の安全、1週間後には今後の生活となる。対応する側はこうしたニーズの変

化をくみ取りながら対処しなければならない。後手後手に回るといふ批判はこのニーズの変化を読み切れなかったことに起因する。

図3は地震被害を具体的にイメージしてもらうために、私が考え利用している表である。縦軸は1日の時間と各時間帯の行動パターンである。「何時に起床して、朝の支度・朝食をとって、どんな手段でどこを通過して、どれだけの時間をかけて通勤して、会社ではどんな仕事をして、...そして何時に床に着く」という具合に、典型的な(最も頻繁に繰り返している)1日の行動パターンを詳細に記載する。この時、住んでいる地域や会社周辺の環境、住家や会社の耐震性、立地条件や屋内の家具の構成や配置、家族構成やメンバーの行動パターンなども考える。

そしていよいよ作業に取りかかる。各行動パターンの時間帯に、兵庫県南部地震のような揺れを伴う地震が、あなたを襲ったと仮定する。地震発生から、「3秒後、10秒後、1分後、2分後、...

時間後、...、日後、...、週間後、...、ヶ月後、...、年後、...、10年後」まで、それぞれのマス(例えば、A1あ、B1あ、...など)に、自分の周辺で起こると考えられる事柄を一つ一つ書き出してみる。

なかなか大変な作業である。何が起こるのが想像もつかない人もいるだろう。適切に書き出せたと考えている人でも、実は全く認識不足なことを平気で書いてしまっていることも多い。災害時の状況を適切に記述できる人は非常に少ない。防災の担当者でも平気でおかしなことを書いてしまう。この点が大きな問題なのだ。

2) 地震の発生時刻の違いで大きく変化する状況ととるべき対応

さて、まあ何とか全てのマスを埋めたとしても。この作業を通じてまず認識してもらいたい点は、地震の発生時刻によって自分の周辺で起こる事柄が大きく変化することである。そして季節や天候を特定しないと状況が大きく変化してしまうことである。

次にそれぞれの出来事に対して、「あなたは何をしなくてはなりませんか?あなたに求められるも

のは何ですか?」と問いかける。そしてまた同様の表を使って、それぞれのマスを埋めてもらう。次に、「それを実行するためには何が必要ですか?」「今の状況で、それは入手できそうですか?準備できていますか?」「できないと思われる場合、それはなぜですか?」「ではどうしましょう?」というように問いかけを続ける。

一通り考えてもらった後に、具体的に災害がイメージできたかどうかを尋ねる。一連の作業を行う前に比べたら、皆さんかなり具体的に災害のイメージを持つことができるようになっていく。ただしまだまだ十分ではない。次のような質問で、「あっ、そうか」となる。

表を見ながら、「そのマスに書かれていることは、夜、しかも地震後は停電する可能性が高いので、暗闇の中での作業となりますがその点を認識していますか?」「家族には、けが人が出ましたか?想定上、出せましたか?亡くなった人はいませんか?」「なぜあなたはピンピンしているのですか?」「地震の3日後は、お葬式ですよ。認識できていますか?」「対策は長期化していますが、日常業務の年間スケジュールとの関係は把握していますか?」この辺まで来ると皆さんかなり本気になってくる。自分の日常生活をモデルとしているので、当事者意識を持ちやすいのだ。さらに兵庫県南部地震での出来事を紹介しながら考えてもらうことで、より現実感が湧いてくる。

次に同様なシミュレーションを、季節や天候を変えて行う。するとこれらの条件によって大きく変化する事柄、それほど変化しない事柄がわかる。自分が置かれている立場、しなくてはならない事柄が具体的に見えてくる。そして尋ねる。「さあ、本当に大切なのは何ですか?これからやるべきことは何でしょう?」

これらの作業を「個人でまず」「次に家族やグループで」実施すべきであることを強調する。繰り返しになるが、具体的な災害をイメージできない人が、災害に対して適切な心構えや準備ができるはずがない。

3) 個人としての二面性(多面性)の把握と十分な理解

一連のシミュレーションを通して、防災や危機管理とは、誰もが常に考えなくてはならないことであり、他人任せにはできないことを認識し始める。自分はいつも「守ってもらう側」と考えている圧倒的に多数の一般市民が、例えば家庭の主婦が、家に子供と自分しかいない時間帯に地震に襲われれば、自分が「守る立場」にならざるを得ないことを実感する。自治体の防災関係者が、職員として住民を「守る側」にある時間が、1日8時間勤務、週休2日、その他の休暇...と考えていくと、時間的には全体の20パーセントちょっとであることに気づく。他の住民同様に被災する可能性と、防災職員として活動できない状況の多さを実感する。自分自身が負傷した場合、幸いにして自分は大丈夫でも自宅が倒壊したり家族が負傷・行方不明となった場合など、いくらでも考えられる。

社会の一員としての私たちには、それぞれの立場で、状況に応じた個人としての二面性(多面性)がある。「社会での顔と私人としての顔」「守ってあげる側と守ってもらう側」「つくってあげる側とつくってもらう側」「提供する側と受け取る側」このような相反する二つの側面を、立場と時間によって、自覚の有る無しに関わらず、巧みに使い分けて生きている。この立場で変わる「すべきこと」と「ニーズ」の把握、双方の立場に立った対策の立案が重要である。

ところが、「対策の立案」というと、我々は急に公的な、社会的な存在としての一面にのみ立った思考を取り始めてしまいがちである。この点に注意しないと、「受手側の期待、求められるもの」の把握困難に落ちいてしまう。逆に「サービスの受手側」としての自覚しかない人々にとっては、「地域社会の実力/耐力と自分達からのリクエスト」のアンバランスさに気づけないという状況を生んでしまう。

行政の防災担当者に関して少し補足すると、彼らの口からは以前は良く「この情報はオープンにすると、クレームが出た場合に具体的な対応策がないから無責任になるので出せない。」などの言葉を聞いた。これは全く逆である。今日の社会では、情報があれば自分の判断と資金で何らかの対策を

とることのできる人が大勢いる。そのような人々から「行政が情報を出してくれなかったばかりに、自分でも可能な対策を講じることができない間に災害が発生し、その結果として被害を受けてしまった。どうしてくれる。」と問い詰めるられた場合どう答えるのか?その問に対して何も答えられないことの方がよっぽど無責任であり、今後はこの種の訴訟が確実に増えていくであろう。行政の人達もいずれかの地域の納税者であり、既に説明したように一市民としての顔を持っている。その市民としての立場から考えて対処法が適切かどうかを考える視点が今後益々重要になってくる。行政の世界では、従来は問題が発覚した特にたまたまその問題の責任ポストにいる人が責任を問われてきた。しかし最近では、薬害エイズの例を出すまでもなく、ある時点で情報を持っていたにもかかわらず、適切な対処をとらなかったということが、時間をさかのぼって問われるようになってきている。これは、いわゆる減点主義から、その時点その時点で積極的な対処をしてきたかどうか問われるという基本的な評価システムの変化を意味している。私はこの変化が公的な立場で防災に当たる人々の認識と姿勢に今後大きな変革を与えようと思うし、そうなることを大いに期待している。

4) 次の地震までの時間がわかると

一連のシミュレーションを通して、地震発生後に時間の経過に伴ってどのような出来事が自分の周囲で起こるのかをイメージできる能力がつくと、今度は次の地震までの時間が与えられた場合に、その時間をどうやって有効に使えばいいかがわかってくる。図4のように、先ほどとは矢印の出発点の位置を変えた図を用意して考えるのだ。地震学的に活動期に入ったとされる我が国において、地域別にこのような作業をしておくことの重要性を強調したい。

VII. 次世代型防災マニュアル

1) 2 極化する防災マニュアル

冷静な判断と機敏な行動が要求される震災時。どのように行動したらいいのか?マニュアルづく

りの重要性が喧伝される一方で、どんなマニュアルが必要かの議論は全く不十分である。防災に関するマニュアルには「とりあえず、作りました」的なものから、かなり具体的な内容まで踏み込んだものまでいろいろある。これらを見ていくと、極論すれば「ただ一言、災害の状況を的確に判断し、最適な対処をとれ」という「百戦錬磨の専門家対象型」のマニュアルと「微に入り細に入り、1: をしなさい、2: をしなさい、3: ...」ファーストフードショップのアルバイトさん向けマニュアル的「ずぶの素人対象型」に分かれる。当然両者とも災害時には機能しない。前者はそれを判断できる人間がいないから、後者は災害が想定した通りに進展してくれないからである。しかし、私は基本的にはマニュアルは前者であるべきと考えている。そのための人づくりが大切であることは言うまでもない。しかし急に専門家は育成できない。本人の努力と環境が必要である。若い人材がその部署に配置になった時、彼らはまず自分の上司や先輩達を見る。先輩達が輝いて仕事をしているかどうか。いきいきしているかどうか。上司が周囲から尊敬されているかどうか。ポイントは、新しく配置になった新人に「ここで頑張れば努力すれば、恵まれた環境も手に入るし、人々の役にも立つ。やりがいもあるし周りからも大変尊敬される。一生懸命努力して知識や経験を積んで、先輩達のように輝いて仕事をすぞ。」と思わせる環境づくりである。赴任して早々に、「ああ、俺はラインからはずれた。」とか「どうせ腰掛けだから、適当にやっていたらいいや。まさか自分が防災担当をしている間には何も起こらないだろう。」などと感じさせてしまうことは絶対に避けなくてはならない。

防災担当の部署を他の一般業務と同じように考えて短期間のローテーションで人事移動させることは避けなくてはならない。専門家の育成が望めないこと、組織内のノウハウの遺伝が望めないこと、責任の所在が不明確になることなどがその理由である。

2) 防災マニュアルのあるべき姿

防災マニュアルは細かな約束ごとのファイルで

はない。行動を拘束するものでもない。マニュアルは、然るべき教育とトレーニング、経験を積んだ担当者がその判断に基づいて行った行為に対する責任を保障するものでなくてはいけない。現在の一般的な状況は、マニュアルに従っていれば、後で責任を問われなくてすむ、書いてある通りにしていれば、自分の立場が後々問題になることはない、というものである。これでは機敏な判断や迅速な対応などとれるはずもない。後手後手になって当然である。

防災マニュアルは、必要とされる時に取り出して読むものではない。マニュアルはその背景を学び理解するものである。マニュアルは当事者達がつくるべきものであり、実践的訓練を通して、アラ捜しをし合って積み上げるものである。

当事者達が自分の考えるマニュアルを持ち寄る。そしてお互いに見せ合い、なぜその項目を書いたのかを説明し合う。関係者の安否確認、帰宅難民、周辺住民の救済、企業であれば会社の経営戦略、...様々な項目が検討課題になってくる。これらの項目の是非、意味の有る無しを、相互に厳しく指摘し合う。この前段階としては、章で既に説明したような時間別・状況別の災害分析が当然必要になってくる。このような作業を繰り返して、参加者が相互に了解し合えるものができるまで続ける。当事者達が了解を出し合った時、一つのマニュアルが完成することになるが、この時既に参加者の脳裏にはマニュアルの各項目の背景が理解され、有事にとるべき対応法はインプットされている。マニュアルづくりを通して、潜在的リスクの洗い出しとその回避法を徹底的に検討したということである。もはやこの時点では完成したマニュアルそのものは当事者達には必要ない。状況に応じて適切な対処をとれるだけの訓練がすすんでいることになる。

3) 次世代型防災マニュアル

(近藤・目黒, 2001; 近藤ほか, 2001)

既に説明したように、理想的な防災対策とは、「被害抑止」「災害対応/被害軽減」「最適復旧/復興計画」の三つをバランス良く実施することであり、こうすることで初めて総合的防災力の向上が

実現する。言うまでもなく、防災マニュアルは総合的防災力の向上に貢献するものでなくてはならないが、現行のほとんどの防災マニュアルは、災害対応/被害軽減を主目的としてつくられている(図5)。さらに「分厚い紙の印刷物」であることや、「お上指導型/提供型」であるなどの点を背景として、責任の所在が不明確、対象組織/地域の特性把握が不十分、検索性や更新性が悪い、既存マニュアルの良し悪しの評価ができない、などの問題があった。これでは総合的防災力の向上には役立たない。

近年発生した「阪神・淡路大震災」や「東海豪雨水害」の事例はこの事実を如実に示している。これらの事例と最近の我が国の地震活動度を踏まえると、国の中央政府をはじめとする行政から企業や個人に至るまで、それぞれのレベルで総合的防災力の向上を可能とする環境整備とそれを具体化する防災マニュアルの作成は最も重要な緊急課題の一つと言ってよい。

そこで私は、上記のような点を踏まえた上で、これらの課題を解決する「次世代型防災マニュアル」の研究を進めている。このマニュアルは利用主体である組織や地域が潜在的に有している問題点の洗い出し、対処法の検討と実施、そしてその評価を行うことで、総合的防災力の向上が実現する環境整備を可能とするものである(図6)。そしてこのマニュアルを実現するための機能として、既存マニュアルの分析と評価、目的別/ユーザ別編集、当事者によるマニュアル作成と更新の三つを考える。図7~図11はそれぞれ上で紹介したような機能を具体的に示すものである。なお、これらは首都圏のある政令指定都市の防災マニュアルを対象として本システムを適用した場合の結果である。

現在はさらに一歩進めて、ダイナミックな災害現象を考慮した上で、図12に示すように、「被害想定」「防災マニュアル」「人材運用法」「災害対応業務の需要予測」を相互にインターラクティブにつないで総合的な対処法の実現をめざすシステムを提案している。このようなシステムを構築することにより、図13に示すような地震発生時刻別、

シナリオ地震別に防災マニュアルが自動的に作成される。図14は提案するシステム全体の利用法とその効果についてまとめたものである。

VIII. 災害時最適人材運用法

大規模な災害時には、図15に示すように膨大な量の災害対応業務が発災直後から発生するにもかかわらず、それに対応する職員自身の被災や交通事情の問題などから、著しい人手不足の状態が起ってしまう。しかし突発的な災害に対応可能な人材運用計画を持つ組織はほとんどないために、過去の災害時には、何とか参集できた職員が非常に過酷な状況下で活動せざるを得ない状況が発生している。このような状況は災害対応を長引かせ、職員の負担を増すばかりでなく、被災地域の住民の生活にも大きな支障をきたす。

そこで私は、災害時の業務処理モデルを構築し、事前情報として発生業務の種類と各業務の単位処理エネルギーを把握し、災害下における業務処理量をリアルタイムでモニタリングすることを条件とした、効率的かつロバストな人材運用戦略を提案している(濱田・目黒, 2001)。

業務処理のモデルには、図16に示すような目黒らによって提案された修正タンクモデル(江村・目黒, 2000)を用いる。このモデルは通常、水理学や河川工学などで用いられるタンクモデルを業務処理分析法として応用したモデルである。各人材の特徴は、業務処理の能率および耐久力(業務処理継続能力)の二つの指標を用いて表し、またそのばらつきも考慮に入れている(図17)。また小休憩と睡眠による体力の回復の効果をモデル化している(桐原, 1932; 斉藤, 1954)。

被災者が受けることができる直接のサービスを考えた場合、それは階層化された業務において、最下位のタンクで処理された業務となる。図18は、最下位のタンクにおける累積業務処理率を表すグラフであり、図中の t は被災者がサービスを受けられない時間を表している。そこで本研究では、図中の「斜線部分の面積 S が小さいほど効率的である」と定義した。

図19に示すような階層構造の単純な業務に関

震度 強（神戸クラスの揺れ）を伴う地震動を今あなたは感じました。
それぞれの時点で、どんなことが起こると思いますか？

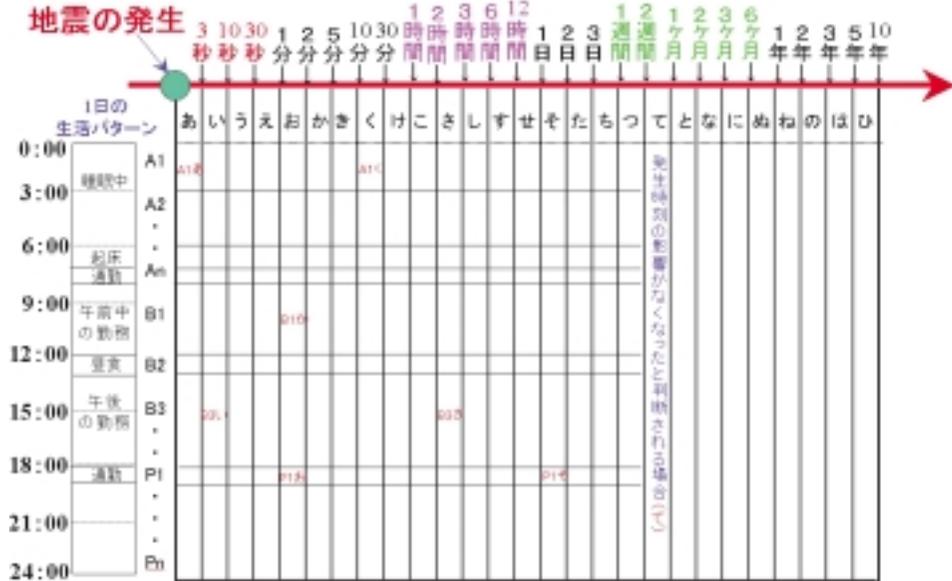


図 3 それぞれの時間帯に地震が発生した場合に、あなたのまわりではどんなことが起こるでしょうか？

それぞれの時点で、
何をすべきですか？ 何ができますか？

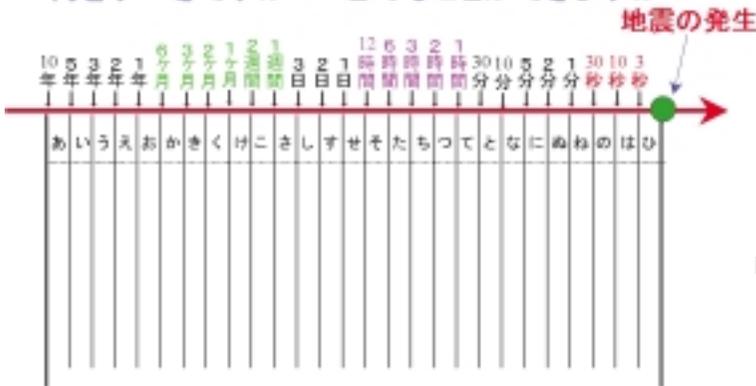


図 4 次の地震までの時間がわかると。

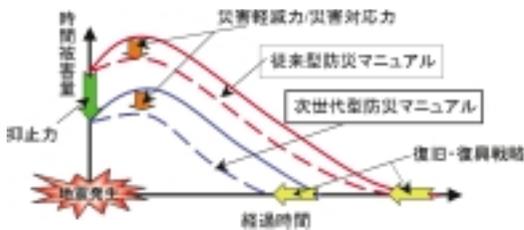


図 5 従来型と次世代型防災マニュアルの被害軽減に対する効果の違い。



図 6 次世代型防災マニュアルが実現をめざす利用者環境。

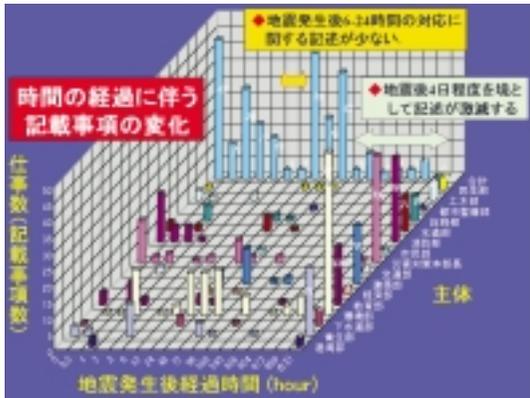


図 7 既存の防災マニュアルの性能を評価する機能。災害時からの時間経過に伴う業務記載事項の変化。

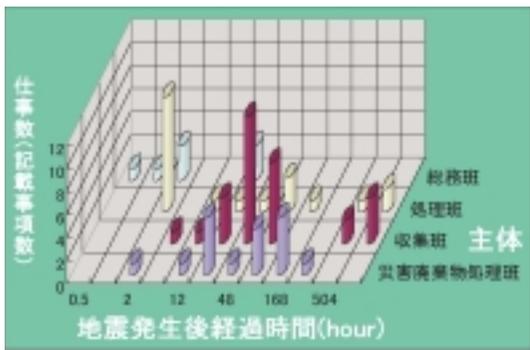


図 8 サービスに当たる主体の時間的変化。災害廃棄物等処理を例として。

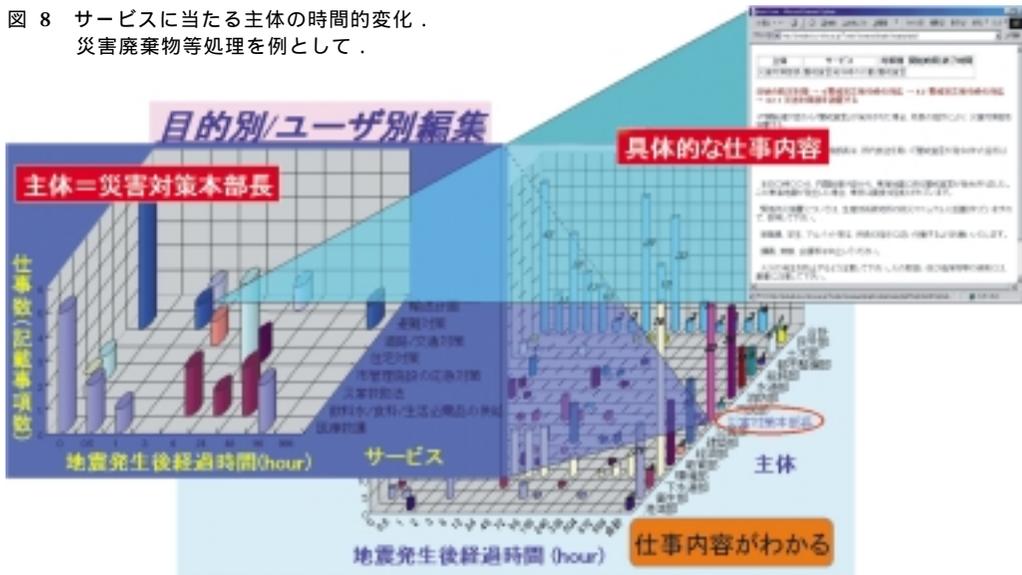


図 9 目的別 / ユーザー別編集機能。災害対策本部長を例とした対応業務の時間変化。各グラフをクリックすることで、必要なマニュアルの内容が表示される。

して行った検討(図 20)から、効率的かつロバストな人材運用方法のために重要な点をまとめると、以下になる。人材の配置法に関しては、各タンクで処理された業務量を、リアルタイムにモニタリングすることで、並列関係にあるタンクの業務はなるべく同時に終了し、直列関係にあるタンクについては、上のタンクと下のタンクにおける業務の処理時間の差をなるべく小さくなるよう

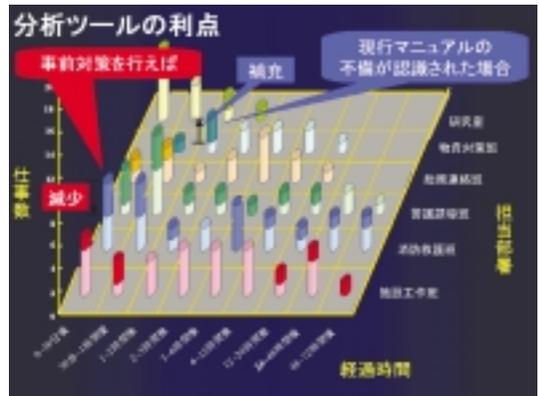


図 10 マニュアルの不備と事前対策の効果を示す機能。

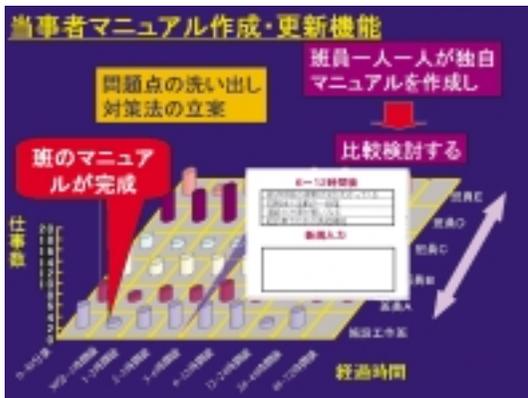


図 11 当事者達の手によるマニュアルの作成・更新機能。

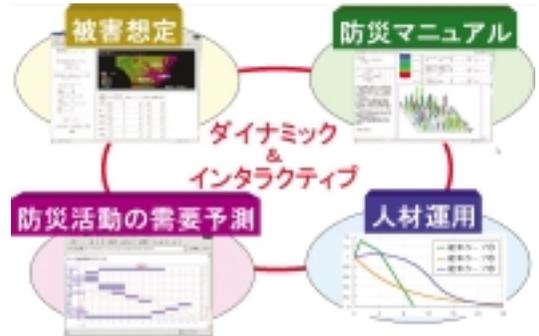


図 12 総合的地震防災力の向上を目指す提案システム。

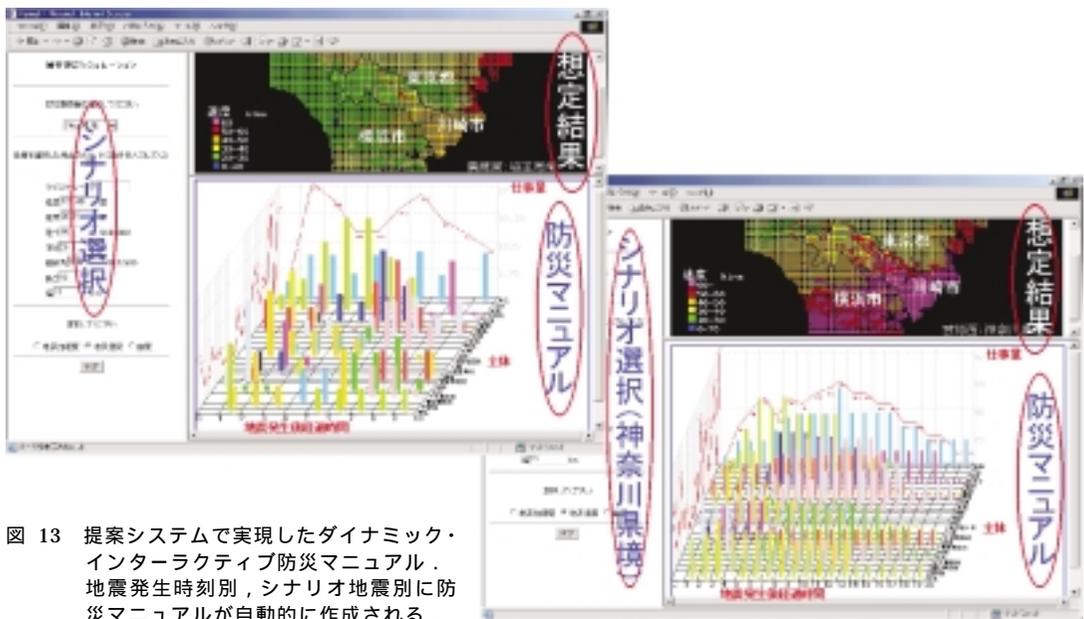


図 13 提案システムで実現したダイナミック・インタラクティブ防災マニュアル。地震発生時刻別、シナリオ地震別に防災マニュアルが自動的に作成される。

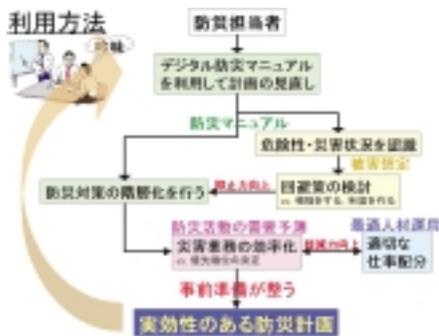


図 14 提案するシステムの利用法とその効果。

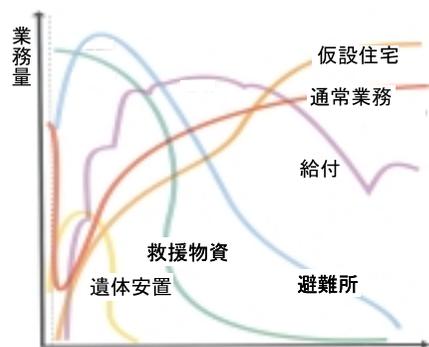


図 15 大規模地震発生後の災害対応業務の発生のイメージ。

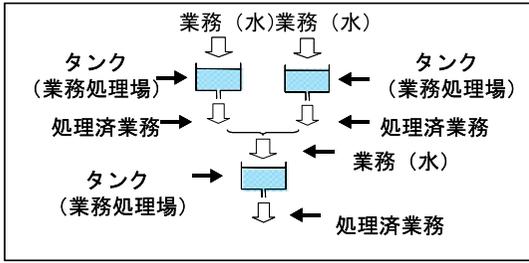


図 16 提案した修正タンクモデル .

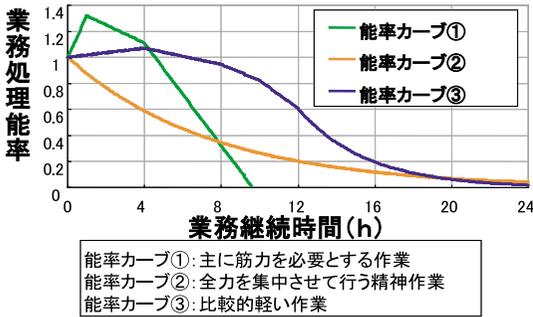


図 17 業務処理継続事案に伴う能率の変化 .

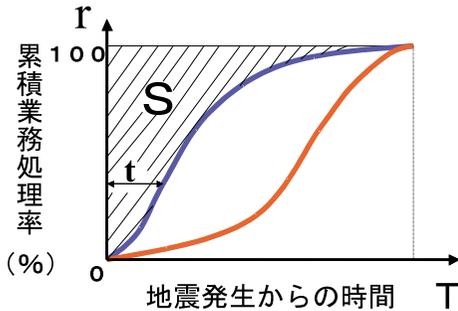


図 18 最下位のタンクにおける累積業務処理率 .

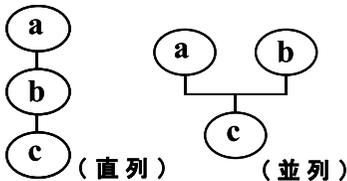


図 19 最も簡単な業務の流れ .

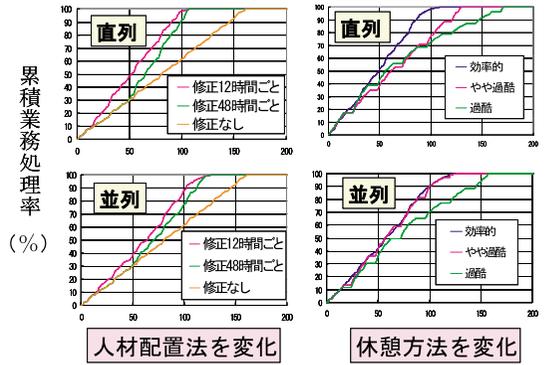


図 20 簡単なモデルへの適用結果 .

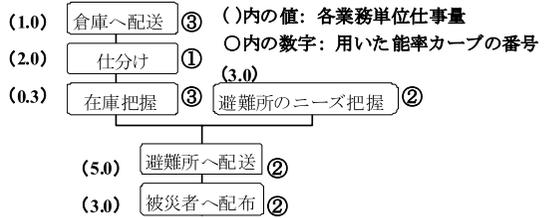


図 21 救援物資配布業務の階層化 .

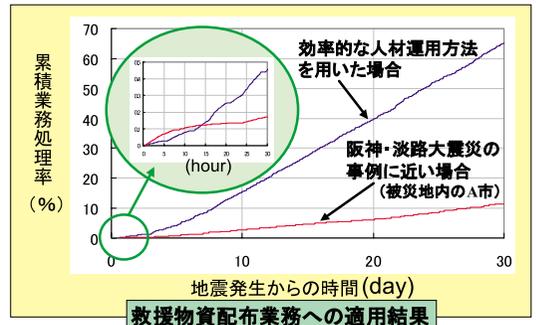


図 22 提案する人材運用法と災害現場で実際に行われた人材運用法による処理業務量の違い .

に人材配置の修正を行う。休憩については、災害業務が約1週間以上長引くことが予想される場合には、初動時から適度な休憩をとらせることで、持続的な労働条件を確保する。

以上のポイントを踏まえ、図21に示す救援物資配布の業務を取り上げた。能率カーブについては、業務をその性質によって分類し、性質の似ている業務には同じ能率カーブを適用させた。このモデルに、本研究で得られた効率的な人材運用方法を採用した場合と、阪神・淡路大震災の災害現場で実際に行われていた人材運用に近い状況（神戸市、1996；芦屋市、1997）を適用させ、両者を比較した結果が図22である。全く同じ数と能力の人材を使っているにもかかわらず、両者に大きな差が生じることがわかる。

ここでは、災害対応業務の効率化と効果的な人材運用を可能とする修正タンクモデルを提案し、様々な条件下でのシミュレーション分析を行った。その結果、持続的な労働条件とリアルタイムの業務処理量のモニタリングに基づく適切な人材配置が、業務処理の大幅な効率化につながる事がわかった。

IX. おわりに

本報告では、従来型の地震被害想定やその結果に基づく対策が、本来相互に関係を持ち動的に変化していくのにもかかわらず、その点に関する配慮が非常に低かったことを反省し、相互にインタラクティブでかつダイナミックに変化する被害想定とその結果に基づいた対策の立案に向けたシステムづくりに関する研究を紹介した。

具体的には、「ユニバーサル地震環境シミュレータ構想」「災害状況イメージネーションツール」「次世代型防災マニュアル」「災害時最適人材運用法」などに関して、その概要を説明した。これらはいずれも、防災関係者はもとより、様々な人々に災害時の状況を具体的にイメージしてもらおうツールとして、また「抑止力」「被害軽減/災害対応」「復旧・復興戦略」の三者をバランス良く講じてもらうために研究しているものである。

地震時の被害を大幅に軽減するには、各人が災

害状況を精度高くイメージできる能力を身につけることが重要であることを本報では繰り返し述べてきた。このとき、インタラクティブとかダイナミックというのは重要なキーワードになるが、この能力が身につけば、誰もが自から何らかのアクションを取り始める。我が国の地震防災上の問題を考えれば、最も重要な課題は既存不適格構造物の耐震補強の推進であり、これが進んでいくものと期待される。既存不適格構造物の問題が解決に向かえば、地震による人的・物的被害は大幅に軽減される。

今回は紙面の制約から、この耐震改修促進策やその優先順位に地震予知情報を活用する手法については割愛したが、これらについては目黒・高橋（2000）や吉村・目黒（2000）を参照されたい。また災害状況を、発災直後から復旧・復興過程までの長期にわたりリアルタイムモニタリングする「電力の供給量の変化による被災状況の変化に関する評価」についても、秦・目黒（2001）を参照いただきたい。これらの研究も皆、インタラクティブ、ダイナミックを基本とするもので、本報告の趣旨に合致したものである。

文 献

- 芦屋市（1997）：阪神・淡路大震災 芦屋市の記録 95～96. 75-89.
- 江村元行・目黒公郎（2000）：地震災害時における最適人材運用法に関する基礎的研究．土木学会第55回年次学術講演会論文集，I-B289.（CD-ROM）
- 榎本美咲・目黒公郎（2001）：三次元拡張個別要素法を用いた家具の動的挙動シミュレーション．土木学会第56回年次学術講演会概要集，I-A118，CD-ROM.
- 濱田俊介・目黒公郎（2001）：事前対策型防災システムの提案．土木学会第56回年次学術講演会概要集，IV-224.（CD-ROM）
- 秦 康範・目黒公郎（2001）：電力供給の変動を利用した地震による建物被害評価の可能性について．地震工学研究発表会講演論文集，1425-1428.
- Hatem Tagel-Din and Meguro, K. (2000) Applied element method for dynamic large deformation analysis of structures. *Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE*, 17 2, 215s-224s.
- 桐原保見（1932）：休憩時間の長さとの配置に関する研究．労働科学研究，9 4，427-449.
- 神戸市（1996）：阪神・淡路大震災 神戸市の記録 1995年.
- 近藤伸也・目黒公郎（2001）：総合的防災力の向上に貢献する次世代型防災マニュアルの提案．土木学会第56

- 回年次学術講演会概要集, I-A206 . (CD-ROM)
- 近藤伸也・濱田俊介・目黒公郎 (2001) 総合的な防災対策を可能とする次世代型防災マニュアルの提案 . 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, 1481-1484 .
- 松本晋太郎・目黒公郎 (2000) 3 次元個別要素法による地震時の家具の挙動シミュレーション . 土木学会第 55 回年次学術講演概要集, I-B401, CD-ROM .
- 目黒公郎 (2000a) 災害軽減ツールとしての数値シミュレータの可能性 . 土木学会「1995 年兵庫県南部地震」5 周年特別企画シンポジウム講演集, 153-156 .
- 目黒公郎 (2000b) ライフライン地震防災論 . 静岡県 : 防災総合講座 都市災害論 . 33-55 .
- Meguro, K. and Harada, M. (2000) Urban space design and safety evaluation from the viewpoint of evacuation behavior of users. *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM.
- Meguro, K. and Hatem, Tagel-Din (2000) Applied element method for structural analysis: Theory and application for linear materials. *Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE*, **17** 1, 21s-35s.
- 目黒公郎・高橋 健 (2000) 既存不適格建物の耐震補強推進策に関する一考察 . 生産研究, **52** 12, 24-27 .
- 斉藤 一 (1954) : 労働時間・休憩・交代制 . 79-104 ; 135-146 .
- 吉村美保・目黒公郎 (2000) 期待損失軽減額から見た長期地震予知時の事前対策評価 . 地域安全学会梗概集, No.10, 35-38 .
- (2001 年 10 月 11 日受付 , 2001 年 11 月 2 日受理)