

論文

地域地震防災対策の数理計画(1)

— 一定式化と直後対策における簡単な計算例 —

太田 裕*・塩野 計司**

Mathematical Planning of Regional Countermeasures against Earthquake Disasters: Part 1. Formulation and a Simple Model Study for Emergency Responses

Yutaka OHTA* and Keishi SHIONO**

Abstract

By applying a mathematical method of linear programming, we formulated a procedure for enhancing the effectiveness of the emergency response taken by a local government at city level. We laid the planning criteria on the optimum allocation of available resources, both human and material, into the multiple objectives of disaster management, including conservation of lives, properties, and living of affected inhabitants. To replace this multi-objective optimization problem into single-objective one, which is far convenient in practical solution, we introduced a set of weighting coefficients that allows the significance and priority of response objectives and activities. We carried out a case study for a hypothetical disaster situation to demonstrate the performance of the planning procedure. We, referring the results of the case study, suggested that the procedure is also applicable to the evaluation of regional preparedness in terms of the availability of response resources.

キーワード：地域地震防災，数理計画，最適化，計算例

Key words: regional earthquake protection, mathematical planning, optimization, model study

1. はじめに

地域地震防災計画は昭和34年(1959)の伊勢湾台風に伴う激甚災害の発生を契機に制定された災害対策基本法(昭和36年10月31日成立)を根拠に全国的に策定が進められ、地域における地震防

災に関する基本計画大系としての位置付けを与えられている。すなわち、同法の第4条(都道府県)および第5条(市町村)において、「・・・当該都道府県(市町村)の住民の生命、身体及び財産を災害から保護するため・・・当該都道府県(市町村)の地域に係わる防災に関する計画を作成し、及び法令に基づきこれを実施する責務を有する」ことが規定され、内容に関しては第35条において、災害予防に関する事項・災害応急対策に関する事項・災害復旧に関する事項のそれぞれについて重

* 東京大学地震研究所

Earthquake Research Institute, University of Tokyo

** 東京都立大学工学部土木工学科

Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Tokyo Metropolitan University

この論文に対する討論は平成5年4月末日まで受付ける。

点をおくべき項目が詳しく規定されている¹⁾。このような体制は法令が組織的に整っている点で、世界的にも抜群のものであり、わが国が諸外国に誇ってよい体系の一つではあるが、その内容に立ち入ってみると検討・改善を必要とする多くの問題が残っている。

防災において重視すべき災害の種別や対策には、地域行政体の規模や置かれた環境（自然、社会）の違いが加味されてしかるべきである。現有の地域防災計画の中にも、この点に配慮したものが無い訳ではない³⁾。しかし、地域防災計画策定の理念やトップダウン型の策定経緯を反映して、多くの地域で大同小異の計画が実現されていることも事実である。

地震対策に関しては、人口規模の小さい地域にあっては風水害他の災害に対する対策と、いわば混在（あるいは共用を想定）の形で記載されているものが多い。一方、中規模以上の都市にあっては、「地震編」・「風水害編」などと別建てにして、災害の特徴に応じた防災対策が立案・計画されている。東京都の地域防災計画⁸⁾は、後者の典型例である。

ところで、現有の地域地震防災計画を実際の地震時の対策計画として見ると、実行可能性において多くの問題を残している。すなわち、その記載が多分に規範的であり、取り扱うべき事項が多項目にわたっているにもかかわらず、戦略的観点からの検討（実効性のある対策を適時に発動し得るか否か等）が必ずしも十分には行われていない。したがって、現有の地域地震防災計画はオペレーショナルと言うには概念的に過ぎ、科学性・合理性に乏しいといわざるを得ない。

本研究は、この点に鑑み、現有計画がもつ問題を分析し、これを克服すべく、防災戦略に科学性を付与し、その最適化方を数値計画学的に探索しようとするものである。今回はその手始めとして地震発生に時間原点をおいた「直後対策」の問題を主対象に話を進める。

2. 現状分析

一般に地域地震防災計画は以下のように大別さ

れる。すなわち、

- 発災対応型防災対策
 - 予防型防災対策
 - 予知・警報型防災対策

である。

第1のものは発災後の緊急ないしは復旧対策に重点をおき、第2のものはいつかは来るであろう地震に対して恒久的対策を主眼としたものであり、いずれもわが国では長い歴史をもっている。これらは、いわば在来型かつ準備型と言える計画である。これに対して第3のものは、最近の地震予知学の発展と軌を一にして次第に重視されるに至った計画手法で、昭和53年（1978）年施行の「大規模地震対策特別措置法」によって一挙にオーソライズされたものであり、準備型計画の発展版と言える。

他方、これを地震発生との時間関係で見ると

- 事前防災
 - 長・中期対策
 - 短期・直前対策
 - 事後防災
 - 直後・応急対策
 - 復旧・恒久対策

のようになる。ここでの所論（数値計画手法）は、これらのいずれにも適用可能なものであるが、話に具体性と簡明性をもたせるため、当面「直後・応急対策計画」（発災対応型）に的を絞って考察する。

地震発生の直後に地域行政が主導的に行うべき対策項目を、神奈川県川崎市の場合を例として列挙すると、〔活動体制の確立、情報収集伝達、広報広聴、消防対策、警備交通対策、混乱防止対策、避難、医療救護助産、飲料水食料、障害物除去、輸送、清掃防疫、遺体処理、文教対策、住宅対策、公共施設応急対策、災害救助法〕などの多項目にわたっている²⁾。これらは地域がもつ被災特徴などとの関係で、地域毎に多少の違いはあるものの全国的にはほぼ共通したものになっている。

問題は、地震の発生時にこのような20項目に近い、多様な対策を如何に発動させ、防災・減災の実効を高めるかにある。しかしながら、現有計画

を見る限り、この点に立ち入って考察を加え、合理性ある防災戦略のレベルにまで到達したものは皆無に近い。

事実、現有の応急対策計画が強調する点を列挙するならば、i) 地震時には、多項目にわたる同時的な対策を実施すべきこと、ii) 迅速かつ適切に実施すべきこと、iii) 各対策の実施に際して万全を期すこと、等々である。これらの強調点は、現有の地域防災計画をそれが掲げる目標共どもに規範ないしはスローガンとして見るかぎりには誠に尤もである。しかし、直後対策適正実施へのマニュアルとしてこれを見るならば、実現への手順が具体的かつオペレーショナルな形では殆ど提示されておらず、内容的に不十分と言わざるを得ない。

地震防災計画をあくまで規範ないしはスローガンと位置づけ、それを具体化するマニュアルを別に設けるという考えも有り得る。しかし今日の状況を見る限り、地域防災計画の内容をさらにブレイクダウンした形の活動マニュアルが十分に整備されている訳ではない。

したがって、これら強調点の裏返しは現有の地震防災計画がもつ問題点に直ちに結びつく。すなわち、

- 問題点 1：地震発生の瞬時に同時的に対象とすべき項目が網羅的に過ぎること
- 2：規範のないしはスローガンの願望表現が多く、実行計画と言えるには程遠いこと
- 3：対策資源（種類、保有量）との関係が明示されていないこと

である。

地域がもつ対策資源が一定（有限）かつ一般には十分とは言えない以上、また相当の震害ともなれば実施可能な対策の項目数と程度との間には必然トレードオフの関係が生じ、現実の対策は現有の対策計画が願望するレベルでは実行し得ないであろう。現有の地震防災計画はこの点を十分に認識して策定されているとはいえず、いまだ未完の段階にあると言える。

地震防災計画が望ましい形で成立するためには、i) 地震の状況に応じた対策間重要度を識別し、

ii) 保有防災対策資源量（人、物）との調和を考慮した上で、対策実行案の組み立てが無理なくできるようにしなければならない。すなわち、もっぱら定性的な記述に止まる現有の対策計画に一層の科学性を付与し、量的かつオペレーショナルなレベルで戦略を展開しておくことが要請される。他方、逆にこのような作業を通じて、現有の計画大系そのものについて、見直しの手掛かりが得られるはずである。

このための具体策として、本論文では上記の問題点の各々について次のような改善を施し、これによって当該課題の解決に一つの方向を与える。すなわち、

- 改善 1：対策目標の重点化を行う
- 2：対策実行の戦略化を進める
- 3：保有資源の最適な配分を考える

ことである。

このような改善の方針は、以下に述べる数理計画の定式化の基本枠組みを与える。

3. 定式化の枠組み

発災直後の対策を合理化するための戦略は、まず「目標」を明確にし、設定された目標に見合う形で「対策項目の選定」を行うこと、そしてそれらを地域がもつ対策資源との関係でどのように実行すべきかについて具体的展開をはかることに他ならない。

これは数理計画上の多目標資源配分問題に還元されるものの、そのままでは数理的扱いが必要以上に複雑になる。この難点を避けるため、ここでは目標間に重み付けを導入することで、本来は多目標になる問題を一目標資源配分問題（線形計画法）に簡略化した扱いとして考えてみる。これによって数理的扱いが簡単になるのみならず、多目標問題では扱いの困難な、異質の資料間の処理も容易になるという利点がある。考え方の手順は、以下の通りである。

3.1 前準備

まず何よりも目標の明確化が先決である。現有地震防災計画にあっては、災害対策基本法の主意を受けて「地域住民の生命・身体・財産の保護」、

NII-Electronic Library Service

いことを考え併せると、対策間は“あちら立てれば、こちら立たず”というトレードオフの状況に陥り易い関係にあることを示唆している。

(2) 被害件数に関する制約条件式

第2の制約条件式は対策毎に処理すべき件数 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) と被害件数 D_i ($i=1, 2, \dots, n$) とに関するもので

$$x_1 \leq D_1, x_2 \leq D_2, \dots, x_n \leq D_n \quad (2)$$

のように n 個の簡単な不等式で表される。右辺の D_i ($i=1, 2, \dots, n$) は、震害予測あるいは被災情報(推定値)などにもとづき決定される量で、既知量と考える。ただし、これらは必ずしも予測ないしは推定値そのものを意味するものではない。人命についていえば、適切な対策活動が行われることによって救出されるであろう人数(=要救助者数)に相当する。この意味で、要処理件数の上限値を与えるものである。

(3) 目標関数

以上の制約条件下で、 k 個の多目標関数

$$G_k = F_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

のそれぞれを同時に最大にするように変数 x_i を決定できればよい。ここに k は任意の整数($k > 1$ のとき、多目標関数になる)、また関数 F は任意のそれでよいが、通常は変数 x_i の線型結合を仮定する⁵⁾。しかし、これは実際に解を求める段になると、いうほどに易しい問題ではない。ここでは、以下のような簡略化を考える。

目標間に重み付けを行うことによって、本来複雑な多目標関数を一目標関数に簡略化した扱いができる。この場合、一般形は

$$G = \sum \omega_k F_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

となるが、とくに簡単な場合には変数 x_i の重み付き単純和

$$G = \sum \omega_i x_i \quad (3)$$

の形をとる。ここに ω_i は目標別の重み係数である。なお、これらの式において、 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) のみが未知数であり、これらを制約条件式(1)、

(2)のもとで唯一の目標関数を最大化するように決定すればよい。ここでは、式(3)による表現を採用する。重み係数 ω_i の決定には一対比較法の発展形としてのAHP法などが援用できる。この後は、線形数理計画解法のいずれかを持ち込めばよい。

(4) 対策の評価指数

以上の手順で未知量(処理可能件数) x_i ($i=1, 2, \dots, n$) が決定されたとき、その結果としての対策達成度を評価しておく必要がある。このための指標として資源充足度・目標達成度などが考えられる。資源充足度 S は「保有資源量と所要資源量との比率」のように定義できることから、保有資源量別の関係式としては

$$S_j = \frac{a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jn}x_n}{R_j} \quad (4)$$

のように書ける。ここに、 $j=1, 2, \dots, n$ である。

同様に、対策全体としての、いわば総合目標達成度 T は目標関数において、その上限値と実現値との比率を見ることで評価できる。すなわち、

$$T = \frac{\sum \omega_i x_i}{\sum \omega_i D_i} \quad (5)$$

のようになる。これらの関係式は、実現可能な対策(資源量)が算定された段階で、結果の評価に有用なものとなる。

4. 簡単な事例

以上の一般式のみでは、問題処理の実際手順がやや分かりにくいかも知れない。ここでは、目標や制約条件などを限定した簡単なモデルを想定し、事例計算を行った結果を示す。なお筆者らは、この簡単なモデルを、事後対策構造モデルの原型としての位置づけ、そこに実用モデル開発への第一歩が実現したものと考えている。

4.1 問題の設定

まず、防災対策基本法にいう主要目標のうち、第一の目標(混合形)を分解し、「生命の尊重、財産の保全、生活の維持」の3項目からなる新たな目標群を設定する。また、これらの目標達成のために必要な対策として「救出、避難誘導、類焼

防止、家財搬出、仮設住宅、非常供給」の6項目を想定し、[人、物(自動車で代表)]からなる対策資源によって、これを実施する場合を考える。Fig. 1は、これら3者の階層構造の関係を示したものである。

このとき、[人、車]という資源をどのように配分すれば、最も適切な戦略になるかが解決すべき問題になる。したがって、これは一般式で $m=2$, $n=6$ の場合に相当する。

モデル地区として人口100万程度の都市(例えば川崎市クラス)を想定し、当面の対象とする。地域行政体の職員数は、わが国の場合住民100人当たり1~1.5人として概算できるが⁶⁾、地震発生の際に全ての職員が直後対策に出動できるとは到底考えられない。ここでは、可能動員数(人的資源量)として7,500人(全職員数の50%程度)を仮定する。同様に車(物的資源)の出動可能な台数として1,000台を仮定する。

目標間の重み付けには、前述のように本来はA

HP法などを用いるのが望ましい。しかし、この問題の詳細な検討(これを行うだけでも、ゆうに一編の論文に値しよう)は別の機会に譲ることとし、ここではややア prioriに決めることとした。単位の対策を実施するための対策資源量についての検討も同様に重要な課題であるが、これも深い吟味なしに経験的に決めた。

すなわち、まず目標間の重み係数として[生命の尊重、財産の保全、生活の維持]の間で[0.7, 0.15, 0.15]を与えた。次ぎに生命を守るための主対策として[救出・避難]を考え、緊急性の観点から救出に0.7、避難に0.3の重みを与えた。また、単位の仕事を達成するために要する資源量についても現場担当者の経験などをもとに妥当と思われる値を与えた。以下、同様な方法で必要な係数を決定し、その結果をTable 1で総括した。

4.2 事例算定式

二組の制約条件式のうち、資源量関連のものは一般式(1)およびTable 1の係数を参照して

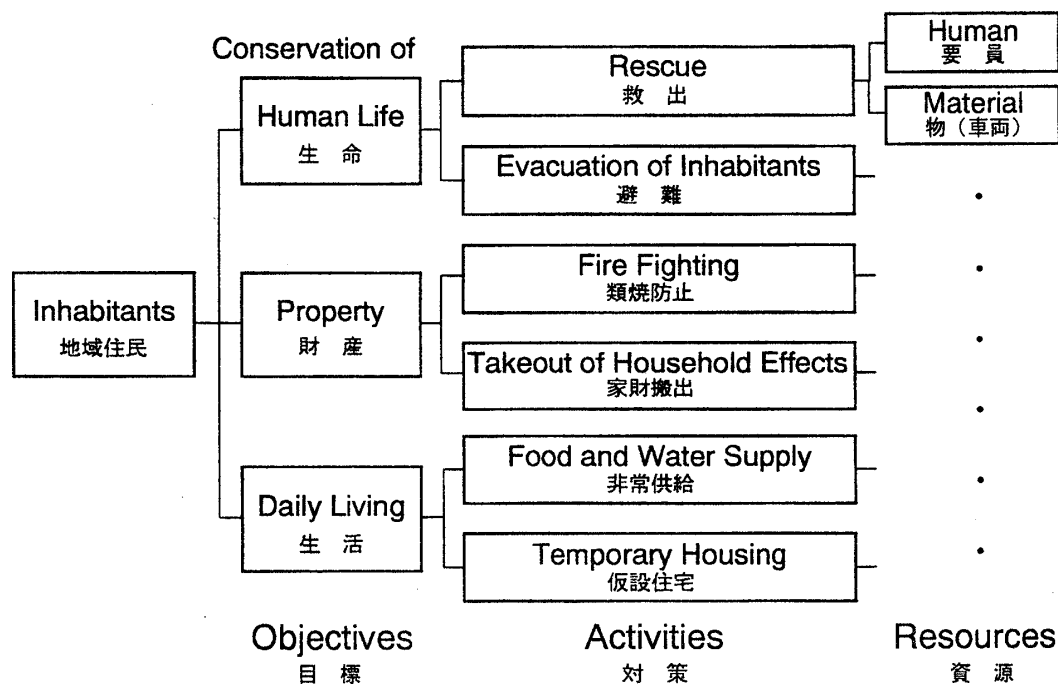


Fig. 1. A simple model for the emergency response taken by a local government in an immediate phase of an earthquake disaster for the protection of inhabitants.

Table 1. Coefficients assigned in the model case

Objective, Conservation of: 目 標	Weight 重 み	Activity 対 策	Weight 重 み	Resources Needed to Handle a Case 単位仕事あたり所要資源量	
				Personnel 要 員	Motor Vehicle 車 両
Human Life 生命	0.70	Rescue 救出	0.60	10	2
		Evacuation of Inhabitants 避難	0.40	0.1	0.01
Property 財産	0.15	Fire Fighting 類焼防止	0.70	5	1
		Takeout of Household Effects 家財搬出	0.30	5	0.1
Daily Living 生活	0.15	Food and Water Supply 非常供給	0.30	0.05	0.02
		Temporary Housing 仮設住宅	0.70	5	0.1

$$\begin{aligned}
 10x_1 + (1/10)x_2 + 5x_3 + 5x_4 + (1/20)x_5 + 5x_6 \\
 \leq 7500 \text{ [人]} \\
 2x_1 + (1/100)x_2 + 1x_3 + (1/10)x_4 + (1/50)x_5 \\
 + (1/10)x_6 \leq 1000 \text{ [車]}
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

のように書ける。ここに、 x_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) が対策項目毎の要処理件数であり、求めたい数値である。

他方、防災対策の性質上、想定される被害件数を越えて対応することは当然ながらあり得ず、このことが以下の一群の制約条件式を構成する。

$$x_i \leq D_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (6)$$

これが第2の制約式である。ここに、 D_i は被害項目毎の件数（正確には、対策を必要とする項目別件数）であり、あらかじめなんらかの方法で与えておく必要がある。このためには、一般震害予測法によるのも良いし、あるいは別途攻究中の地震防災情報支援システム⁴⁾ (の被害推定サブシステム) からの出力に直結する行き方もあろう。

しかし、ここではこの点には深く立ち入らず、

Fig. 2 のように関係被害が与えられているものとして話を進める。これは、いずれの被害も震度と対数比例の関係にあるとするとごく大ざっぱなものではあるが、川崎市における最近の震害予測結果²⁾を参照しながら作成したもので、概数的には妥当性をもつ値と考えられる。

この簡単な事例における目標関数は、以下のようになる。

$$\begin{aligned}
 G = & (0.7 \times 0.6)x_1 + (0.7 \times 0.4)x_2 + (0.15 \times 0.7)x_3 \\
 & + (0.15 \times 0.3)x_4 + (0.15 \times 0.3)x_5 \\
 & + (0.15 \times 0.7)x_6
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

ここに、括弧内の数値は Table 1 に示す重み係数である。しかし、このままでは被害件数（絶対値）が大きいものが自然に優先され、目標間の重点化の意味が薄れてしまう。この欠点を除去するため、ここでは $x_i = x_i / D_i$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) とする基準化変数を採用している。したがって、 G の最大値 ($G_{\max}$) は 1.0 になる。

実際の計算のためのプログラムはシンプレックス法によった。まず、ある震度における被害（要処理件数）を Fig. 2 より読みとり、上記の2組の

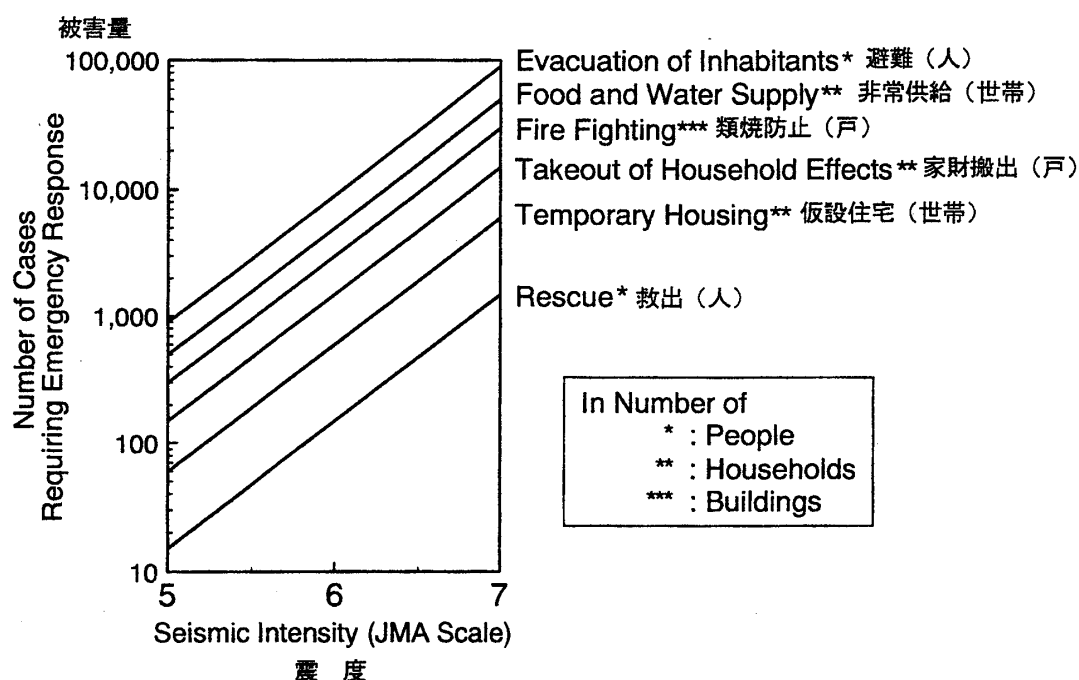


Fig. 2. Damage versus seismic intensity. Number of cases requiring assistance was enumerated for an urban area carrying a population of one million.

制約条件式(5), (6)の下で目標関数 G を最大とする x_i を求めていく。震度をいろいろに変えて同様の計算を行い、震度と対策(目標)達成度に関する結果の図面を作成する。

4.3 算定結果

(1) 保有資源量の配分を特化しない場合

Fig. 3(a), (b)に算定結果の一例を示す。これは保有資源量(人, 車)がどの対策に対しても必要に応じて配分できるとする, “ゆるい” 条件下の事例である。ここに前者は個別対策項目 ($3 \times 2 = 6$ 項目) 別の目標達成度 S ($0 \leq x_i / D_i \leq 1.0$) を震度の関数として表示したものである。

この図から, 次のようなことがよみとれる。人命に直接関わる「避難誘導, 救出」等の対策が最優先の扱いとして発動されるものの, 高い震度にあっては対策資源(人, 車)の有限性の故に, たとえ全資源を投入したとしても, 十分な達成度というには程遠い状況にある。したがって, 低い優先度を与えた財産・生活関連の諸対策へは殆ど手が廻らないことになる。しかし, 震度の低減と共にこのような状況は次第に改善され, 対策毎の目

標達成度が向上する。

Fig. 3(b)は同様の状況を総合的にみたものである。この場合の縦軸の値は, 目標関数の最大値に対する比率(目標達成度, $G/G_{\max}$)を示す。震度と目標達成度の関係を実線で示した。また, 対策資源の充足度(保有量/所要量)と震度の関係を破線で示した。ここに, 所要量とは, すべての被害に対応するために必要な対策資源の量を示し, 式(5)の左辺において, 処理件数 x_i を被害件数 D_i で置き換えることによって算定できる。なお, この計算例では人・車両それぞれについての算定結果がきわめて近い値だったことから, 両者の平均を図示した。

この図で, 目標達成度が資源充足度のそれに比べて大きいのは目標を重点化する操作を通じて資源の合理的配分を考えたことによっており, 対策効率が大幅に改善されることを意味する。ここに対策戦略の立案に数理計画法を導入することの意義の一端がある。他方, このように最善と思われる努力をしたとしても, 直後対策が一応十分と言えるのは, この図に見るように, 精々が震度5以

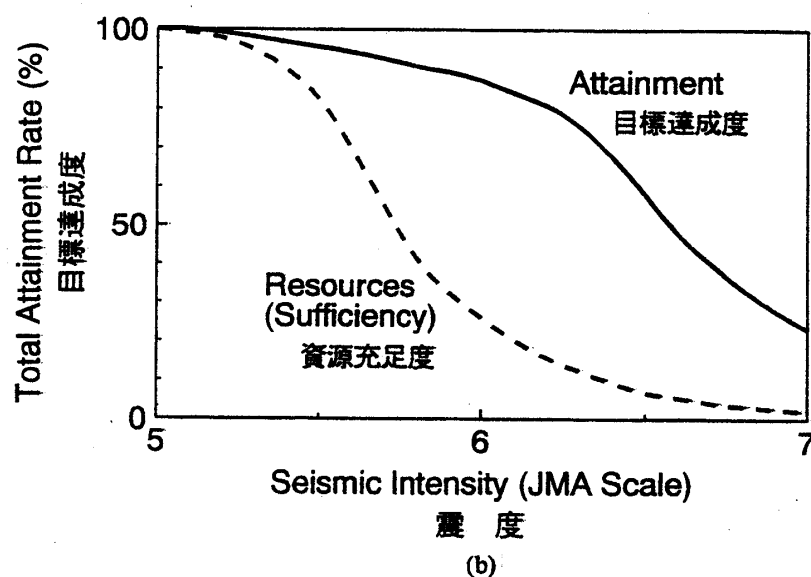
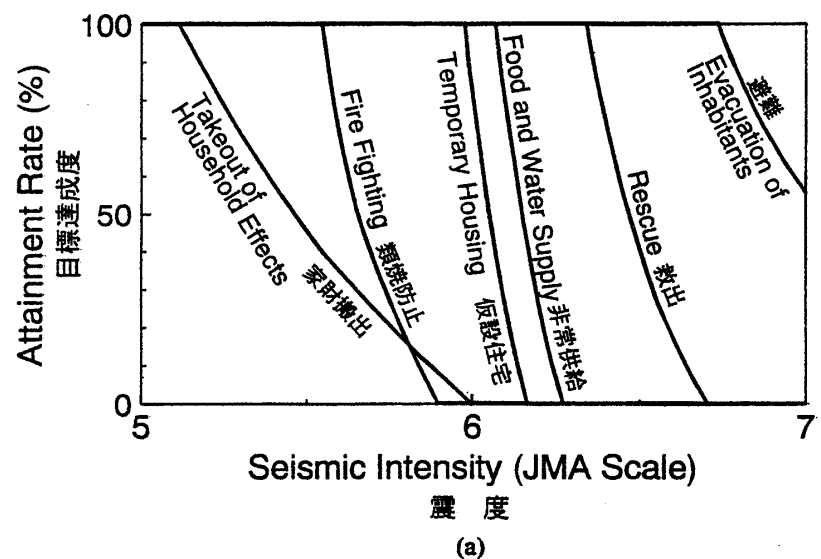


Fig. 3. Response attainment versus seismic intensity. Attainment was evaluated by the rate of cases being managed among those requiring assistance. Available resources were assigned at 7,500 personnel and 1,000 motor vehicles. (a) Activity-by-activity evaluation of attainment. (b) Comprehensive evaluation of response attainment and the sufficiency of response resources.

下の場合に限られており、対策資源のさらなる準備が必要になることを示唆している。

(2) 保有資源量の配分を特化した場合

前段の結果は、保有資源量（人、車）が、どのような対策にも配分可能とする、“ゆるい”条件下での計算によっている。しかし、実際場面を想定するならばこれが簡単に過ぎることは容易に判る。地域行政体の職員のなかには、消防・医療・建設などの専門職に属する相当数の職員がいる。車についても同様で、一般車両のほかに消防車に代表される、使用目的を特化した各種の車両が少なからずある。これら専門職員や、目的別に特化された資源を、前例のように何等の識別をすることなく配分することは資源の不適合利用ともなりかねず、まして最適戦略を念頭においた対策活動とは到底いえない。

このような問題の解決には、保有資源量を使用目的に適合するよう、一段の配慮を加えた配分計画が立案できればよい。以下に、このような場合の簡単な一例を示す。

いま、出動可能な職員数〔(6)式の右辺、7,500人〕のうち2,500人が、このような特化職員（消防隊員）であると考え、車についても1,000台のうち250台が特化（消防関係）車両である場合を想定する。また、対応する対策として〔類焼防止、家財搬出〕の2項目を仮定し、所要資源量を一般の場合と等分に考える。このとき、第1の制約条件式(5)は以下のように分化する。

$$\begin{aligned}
 &10x_1 + (1/10)x_2 + (5/2)x_3 + (5/2)x_4 \\
 &\quad + (1/20)x_5 + 5x_6 \leq 5000 \text{ [一般職員]} \\
 &\quad (5/2)x_3 + (5/2)x_4 \leq 2500 \text{ [特化職員]} \\
 \\
 &2x_1 + (1/100)x_2 + (1/2)x_3 + (1/20)x_4 \\
 &\quad + (1/50)x_5 + (1/10)x_6 \leq 750 \text{ [一般車両]} \\
 &\quad (1/2)x_3 + (1/20)x_4 \leq 250 \text{ [特化車両]}
 \end{aligned} \tag{8}$$

すなわち、保有対策資源の種別を特化扱いした分だけ条件が見かけ上増えたこととする扱いで、一般関係式の枠内で処理できる。

Fig. 4(a), 4(b)はこのような特化条件をつけ加

えた場合の算定結果である。これらをFig. 3の対応するカーブと比較してみると、個別および総合のいずれにおいても目標達成と資源充足が一段と困難になっていることが判る。実際場面においては、防災資源の特化性ははるかに厳しいはずで、この事例は単にその一端を示しているに過ぎない。

5. おわりに

以上、簡単ながら地震直後の地域防災対策を〔対策項目の選定、有限資源の配分〕の問題とみて数値計画的に定式化する方法について提案した。また、直後対策に関する簡単な事例計算を行った。

この結果、現有の防災計画に合理性を与え、保有資源有限の条件下で最適戦略化を進めるための一つの方向を見出すことができた。逆に、このような推算を進めることで、「対策」を主軸として地域がもつ地震防災ポテンシャルの実際的評価が可能になることを示唆した。なお、今回の報告では対象を防災諸対策のうち、直後の緊急対応に限定した議論に止まっているが、本論で展開された数値計画的アプローチは、事前～事後に至る全ゆる場面に対応すべく展開可能になるであろうことを付言しておく。

しかし、ここに述べた考え方にもとづき、かつ実現したプロトタイプモデルを出発点として、これを実用モデルにまで発展させようとする場合、その途次において解決すべき問題も少なくない。その2～3を挙げれば、i) 目標の明確化と重み係数の客観的決定、ii) 目標と対策の対応関係（構造モデル）の確立、iii) 保有資源量データベースの合目的作成と対策別所要量の設定、などがある。

i), ii) はそれ自体非常に大きな問題であり、場合によっては地震防災対策計画の基本理念にまで遡って議論する必要があるかもしれない。今後共、これらの重要事項を念頭に置きながら、さらに考察を進め、このような手法にもとづく合理的な戦略が地域行政の地震時危機管理機構の一貫として、早い時点で組み込みが可能になるよう、努力を続けていきたい。

本研究は文部省科学研究費（重点領域：自然災

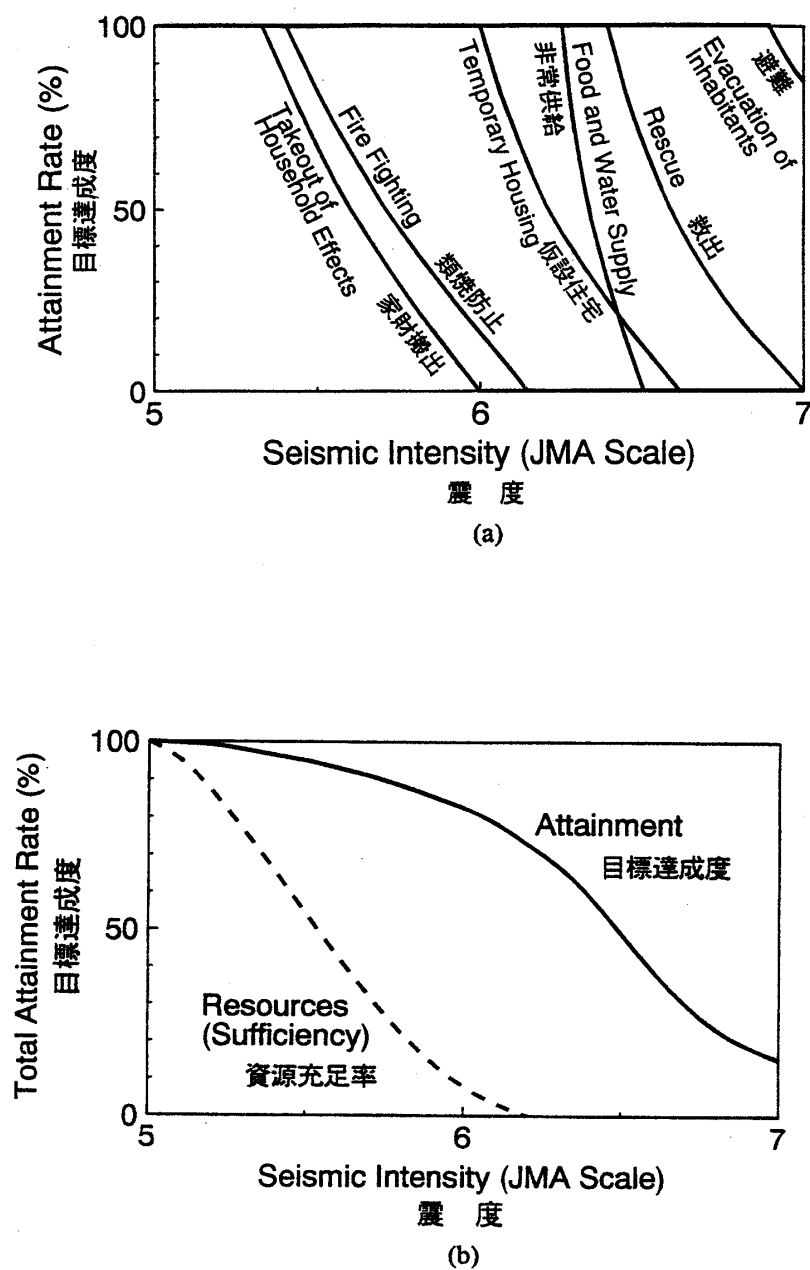


Fig. 4. Response attainment versus seismic intensity. Available human resources were assigned at 7,500 people consisting of 5,000 general personnel and 2,500 professional firefighters; Available material resources at 1,000 motor vehicles consisting of 750 for general purpose and 250 fire trucks. (a) Activity-by-activity evaluation of attainment. (b) Comprehensive evaluation of response attainment and the sufficiency of response resources.

害研究, 課題番号: 02201113, 03201117) によるところが大きいことを記し, 謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 防災法研究会: 災害対策基本法解説, 全国加除法令出版, 477p., 1987.
- 2) 川崎市防災会議: 川崎市地域防災計画: 地震対策編, 川崎市土木局防災対策室, 573p., 1988.
- 3) 太田 裕・岡田成幸: 北海道における災害対策の実状—地震災害を中心として—, 北海道地区自然災害科学資料センター報告, No. 3, pp. 17-34, 1988.
- 4) 太田 裕・岡田成幸: 震害予測情報システムに関する研究—基本構想と実現への考察—, 文部省科学研究費(重点領域)研究報告, 210p. 1990.
- 5) 坂和正敏: 線形システムの最適化, 森北出版, 231p., 1989.
- 6) 総理府統計局: 日本統計年鑑, 大蔵省出版局, 842p., 1990.
- 7) 竹村伸一(編): システム技法ハンドブック, 日本理工出版, 467p., 1981.
- 8) 東京都防災会議: 東京都地域防災計画: 震災編, 東京都民生局広報部都民資料室, 614p., 1980.
- 9) 刀根 薫: ゲーム感覚意思決定法, 日科技連出版, 218p., 1989.

(原稿受理 平成4年2月20日
訂正受理 平成4年5月13日)