

# 不確実性を考慮した防災事業の予算配分の評価 -木造住宅の耐震化事業と仮設住宅の備蓄-

松下 哲明<sup>1</sup>・秀島 栄三<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 有限責任監査法人トーマツ (〒450-8530 名古屋市中村区名駅3-13-5)

E-mail:noriaki.matsushita@tohmatu.co.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋工業大学大学院 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail:hideshima.eizo@nitech.ac.jp

生起事象の不確実性から複数の防災事業に投資配分を行うことは一般的に難しい。本研究では木造住宅の耐震化補助事業と仮設住宅の備蓄をケーススタディとして、ポートフォリオ法を用いて予算の配分比率の評価を試みた。評価により、一般的な費用便益分析では得にくい意思決定の基礎情報が得られることを示した。また、耐震化補助事業の予算の一部を仮設住宅の備蓄に配分することは、有効である可能性が示唆された。

**Key Words :** *portfolio theory, policy evaluation, policy mix, temporary house*

## 1. はじめに

我が国は既に人口減少時代に突入し、大幅な増収の見込めない。したがって、限られた予算を効率的に配分することがこれまで以上に求められる。このような中、公共事業については費用便益分析が行われ、事業の効率性や有効性が検討されている。各省庁は費用便益分析の評価マニュアルを公表しており、我が国の標準的な評価手法となっている。費用便益分析は予算策定の基礎資料となり、この分析結果を踏まえ、公共団体の各部・各課は予算案を策定している。そして、この予算案を財政の主幹部局が複数回審査し、最終的に議会によって議決されることで、予算が確定する。

このように、公共団体の予算の策定時には費用便益分析を行なうだけでなく、複数回の審査を経ながら事業の必要性や効率性、または複数の事業に対する予算配分を検討している。しかしながら、予算策定のプロセスにおいて、いくつかの課題が指摘されている。例えば、事業の不確実性が十分に評価されていない場合がある。また、複数事業に対し予算配分を検討する手法が確立されていないことも指摘されている<sup>1)</sup>。さらに、議会の審査は事業毎の評価ではなく、款・項・目といった予算区分の合計額で行なうことから、複数の事業に対する予算配分の評価が十分でないことも指摘されている<sup>4)</sup>。予算策定プ

ロセスにおいて事業の不確実性を十分に考慮しながら、複数事業に対する予算配分を評価することが必要である。

この評価は、防災事業において特に必要と言える。1つ目の理由としては、災害の発生時期や規模には大きな不確実性が伴うためである。2つ目の理由は、防災事業には耐震化などの被害の減少に向けた対策（災害発生前の対策）と、物資の備蓄などの対策（災害発生後に向けた対策）があり、これら複数の事業の組み合わせが求められるためである。例えば、飲料水の提供という観点から防災対策を考えると、現在は上水道の耐震化と飲料水の備蓄が行われている。耐震化が進めば飲料水の備蓄数を減少してもよいはずであるが、これらの関係は明確に整理されていない。これらの事業は共に必要不可欠なものであるが、事業の不確実性を評価しながら、それぞれの事業の予算配分を検討することが必要と言える。このような観点から、異なる不確実性を有する防災事業を対象として予算配分の評価について研究した事例は、著者の知る限りない。

そこで、本稿は木造住宅に対する耐震化事業（以下、耐震化事業という）と、仮設住宅の備蓄を事例とし、複数の防災事業に対する予算配分の評価を行なう。

## 2. 評価の手法

### (1) 評価の考え方

事業の不確実性とは、ある事業に投資した際に期待通りの便益を生じない可能性といえる。これは、金融工学で発達したポートフォリオ分析を参考にできる。ポートフォリオ分析では、それぞれの事業を実施することによる便益（期待収益率）と、便益が得られる可能性を分散（以下、リスクとも言う）で検討する。表-1を用い割引率が0として費用便益比と比較する。費用便益比は総コストに対する総利益の割合を示すことから1.05となる。一方、ポートフォリオ分析ではそれぞれの期間ごとの期待収益率を算出し、その収益率のブレ（分散）を計算する。

$$\text{平均期待収益率 } E(x) = \mu_x = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n \frac{r_t}{c} \quad (1)$$

$$\text{分散} = \sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (r_t - \mu_x)^2 \quad (2)$$

$r_t$ : 各年の期待収益率

これより平均期待収益率が0.2625、標準偏差が2.4%と計算できる。費用便益比は表-1の収益が必ず得られるという前提に基づき推計するが、ポートフォリオ分析では期待収益率に加え分散を算出する。分散は期待収益率のばらつきを表すことから、事業のリスクを示している。例えば、図-1はx軸に期待収益率を、y軸に発生頻度をとったものである。事業A、Bの期待収益率の最頻値は同じだが、Bはブレ（分散）が大きい。Aと比較してBはより高い収益をあげる可能性がある一方、下回る可能性も高い。

次に、ある一定の予算のもとで複数の事業に投資することを考える。複数の政策を組み合わせた政策ポートフォリオの期待収益率と分散は一般に次式の通り定式化できる。

$$\text{期待収益率} = \sum_{k=1}^n w_k \cdot r_k \quad \left( \sum_{k=1}^n w_k = 1 \right) \quad (3)$$

$$\text{分散} = \sum_{k,l} w_k w_l \sigma_{kl} \quad (\sigma_{kk} = \sigma_k^2) \quad (4)$$

$r_k$ : 各事業の期待収益率

$w_k, w_l$ : 予算に占める各事業の配分比率

図-2はx軸に標準偏差を、y軸に期待収益率をとり、異なる期待収益率、標準偏差を持った事業A、Bを組み合わせ、その投資比率を変化させた例である。左下のAは、すべての予算をAに配分したものであり、順次Bの投資比率を増加させることによって右上のBに推移する。こ

表1 期待収益率の算出

| 期間 $t$ | 初期投資<br>( $C_t$ ) | 収益<br>( $B_t$ ) | 収益率<br>( $r_t$ ) |
|--------|-------------------|-----------------|------------------|
| 0      | 100               |                 |                  |
| 1      |                   | 10              | 10/100=0.1       |
| 2      |                   | 45              | 45/100=0.45      |
| 3      |                   | 30              | 30/100=0.3       |
| 4      |                   | 20              | 20/100=0.2       |
| 合計     | 100               | 105             | 平均期待収益率=0.26     |

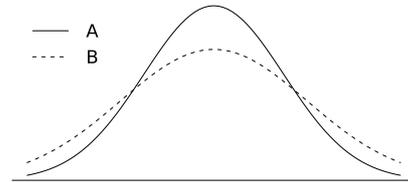


図-1 リスクのブレ

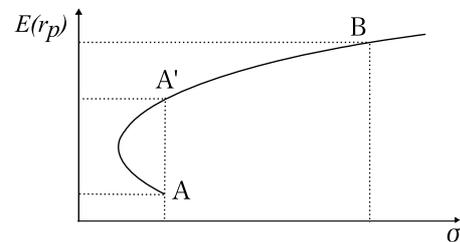


図-2 事業A、Bの投資比率を変化した場合の期待収益率と標準偏差の推移

ここで、AとA'を比較すると、同じリスクを保有していても期待収益率はA'が高い。

このように、ポートフォリオ分析は①期待収益率と事業リスクを可視化することが可能であり、②複数の事業に対し、事業の不確実性を考慮しながら予算の配分比率を評価することが可能、という2つの特徴を有する。

### (2) 防災事業への適用

ここではポートフォリオ分析を防災事業に適用することを考える。防災事業は災害の規模によって生じる便益が異なる。そのため、被害度別の発生確率に、その事象が発生した際に生じる事業の便益（被害の減少額）を乗じたものが平均期待収益率となる。

$$r_k = \sum_{i=1}^n p_i r_i \quad (5)$$

$r_k$ はある事業の平均期待収益率、 $p_i$ は被害度*i*の発生確率、 $r_i$ は被害度*i*が発生した際に生じる便益である。

また、分散は下式の通り計算される。

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n p_i (r_i - r_k)^2 \quad (6)$$

### 3. 防災事業の組み合わせに関する評価

#### (1) 分析の概要

国による耐震化事業と仮設住宅の備蓄を事例として、予算の配分比率を評価する。ここでは国家事業を対象としており、(5)式の期待収益率を計算するためには災害の発生確率を設定しなければならない。しかし、日本の地震ハザードは均一ではなく、被害度別の災害発生確率を設定することは困難である。そこで、ここでは被害シナリオに基づき災害が発生し、災害の規模は確率分布に従うものとしてモンテカルロシミュレーションを行うことで期待収益率を計算する。

分析は以下のステップで行った。

- 1) 被害シナリオに基づき、 $t$ 年における倒壊戸数 $H_t^0$ を設定する。
- 2) 耐震化事業を実施しない場合の、新築年と同じ耐震力を有する木造住宅の割合(耐震化率) $\alpha_t^0$ を推計する。
- 3) 投資比率 $\mu$ における、 $t$ 年の耐震化を行った建物数 $P_t$ と仮設住宅の備蓄数 $Q_t$ を算出する。これにより、耐震化事業を行った場合の耐震化率 $\alpha_t^1$ を推計する。
- 4) 被害シナリオや耐震化率 $\alpha_t^1$ から、耐震化事業を行った場合の倒壊戸数 $H_t^1$ を推計する。耐震化事業に伴う倒壊戸数の減少数( $H_t^0 - H_t^1$ )から便益を推定する。
- 5) 倒壊戸数 $H_t^1$ に基づき仮設住宅の需要を推定する。仮設住宅の需要と備蓄による提供量を基に便益を推定する。

以上のステップを2010年から2040年まで実施し、期待収益率と分散を計算した。

#### (2) 被害シナリオの設定

被害シナリオは2030年に東海・東南海・南海地震、2035年に首都直下地震が発生し、それ以外の年度は過去の災害の発生を参考に、5年間で3000戸が倒壊するものとして設定した。

災害の発生規模の不確実性に対しては、首都直下地震の被害想定<sup>9)</sup>で用いられた木造住宅の全壊率テーブルを参考とし、サンプルパスを発生する(図-3)。建物の全壊率は標準正規分布の累積確率密度関数に従っているものの、図-3よりどの築年も最大20%程度のばらつきが存在する。そこで、建物の倒壊戸数は被害シナリオで設定した倒壊戸数 $H_t$ を平均とし、分散が0.1 $H_t$ の正規確率分布に従うものとしてサンプルパスを発生させた。

#### (3) 耐震化事業による便益

耐震化により家屋が倒壊しなければ、地方公共団体は仮設住宅の提供や倒壊家屋の撤去を行わずに済む。これ

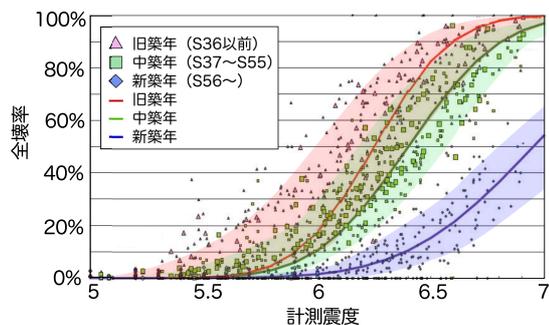


図-3 計測震度と全壊率(「首都直下地震に係る被害想定手法」より加工して引用)

らの便益は吉村<sup>9)</sup>らを参考に1300万円とする。

また、自宅が倒壊した避難者は体育館等での避難生活を余儀なくされる。藤見<sup>7)</sup>は避難所生活に伴う住環境の質の低下をフロー被害として定義し、表明選択法を用いてフロー被害額を推計した。これによれば、体育館等で生活する避難者は自宅で生活できるならば、毎月最大20.6万円を支払ってもよいと考えている。また、自宅と比較して仮設住宅の生活の価値は16万円低下しているとの結果が得られている。ここでは平均的な避難者は3ヶ月を避難所で過ごし、2年間を仮設住宅で過ごすものとして、耐震化事業により自宅が倒壊しない場合の便益(住環境の質の低下の防止)は1戸当たり1700万円とする。

#### (4) 仮設住宅の備蓄による便益

阪神淡路大震災等の事例から1戸当たりの費用は400万円とする。便益は耐震化と同様に藤見を参考に、2年間の居住地を住民に提供する価値として110万円とする。

#### (5) 耐震化率の推計

##### a) 耐震化率

$t$ 年における木造住宅の総数を $S_t$ とし、昭和56年以降に建てられた新築年と同等の耐震性を有する木造住宅の数を $M_t$ として、耐震化率を以下の通りす。

$$\alpha_t = \frac{M_t}{S_t} \quad (7)$$

木造住宅の総数や、新築年と同等の耐震性を有す住宅数は年度によって変化し、以下の通り表せる。

$$S_t = S_{t-1} + N_t - D_t \quad (8a)$$

$$M_t = M_{t-1} + N_t - D_t - O_t + P_t \quad (8b)$$

$N_t$ : 新規建設の木造住宅数

$D_t$ : 取り壊し木造住宅数

$O_t$ : 老朽化により耐震基準を満たさない木造建築数

$P_t$ : 耐震工事により補強した木造建築の建築数

予算を $C$ 、仮設住宅に対する投資比率を $\mu$ 、1戸あたりの木造住宅の耐震化事業に必要な平均補助費用を $E^t$ 、1戸あたりの仮設住宅の備蓄費用を $E^*$ とすれば、耐震補強

件数 $P_t$ 、仮設住宅の備蓄戸数 $Q_t$ は以下の通りとなる。

$$P_t = \frac{(1-\mu)C}{E^t}, Q_t = \frac{\mu C}{E^k} \quad (9)$$

また、木造建築の建築年数と耐震力の関係は十分に解明されていない。ここでは更谷<sup>8)</sup>を参考に築後10年から新耐震基準を満たさない木造建物が出現し、築後30年ではすべての建物が新耐震基準を満たさないものとする。

$$\begin{cases} O_t = 0 \\ O_t = N_{t-10} \times 0.05 \times (t-10) \\ O_t = N_{t-10} \end{cases} \begin{cases} 0 \leq t < 10 \\ 10 \leq t < 30 \\ 30 \leq t \end{cases} \quad (10)$$

#### b) 木造住宅数

中央防災会議によれば、2003年の戸建て木造住宅は約2450万戸だった。人口の減少に伴い今後の大幅な住宅戸数の増加は見込めず、木造住宅の総戸数は今後も横ばいか低下傾向を示すと考えられるため、総木造住宅戸数 $S_t$ は2450万戸で一定とする。

一方、耐震性が不十分な木造住宅は1998年から2003年にかけて約1400万戸から約1150万戸に減少しており、毎年50万戸ずつ耐震化が進んでいる。また、我が国は毎年45-50万戸程度の木造住宅を着工しており<sup>9)</sup>、耐震化戸数 $(N_t D_t)$ は50万戸/年とする。

#### (6) 倒壊戸数の減少数の推定

国家予算を対象とした場合、日本のハザードは均一ではなく、被害度別の発生確率を設定することが困難なことから、ここでは震度によらず耐震化の効果は一定とする。耐震化の効果は、前章と同様に木造建築物の全壊テーブルを用い検討する(図-3)。計測震度6.4で、旧築年、中築年は約70%と50%の全壊率であるのに対し、S57年以降の新築年は約10%の全壊率である。計測震度6.4以上の場合も同様に、新築年は概ね50%程度全壊率が低い。耐震化工事を行った建物は新築年と同等の耐震力を有すものとして、被災した場合は5割が倒壊しないものとする。また、ここでは新築年と同等の耐震力を有さない建物が被災した場合は全て倒壊するものとする。

次に、耐震化事業による被害の減少を考える。今、耐震化事業を行わない場合の倒壊戸数 $H_t^0$ は被害シナリオに基づき設定している。このときの耐震化率を $\alpha_t^0$ とし、強振動にさらされた罹災戸数を $x_t$ とすれば、倒壊戸数 $H_t^0$ は新築年と同等の耐震力を有さない建物の罹災戸数と、新築年と同等の耐震力を有す建物のうちの半数の合計となる。

$$H_t^0 = x_t(1 - \alpha_t^0) + x_t \cdot 0.5\alpha_t^0 \quad (11a)$$

同様に耐震化事業を行った場合の被害戸数を $H_t^1$ 、耐震化率を $\alpha_t^1$ とすれば以下の通り表せる。

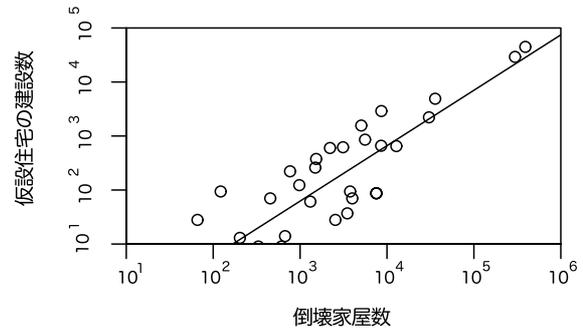


図-4 全壊・半壊戸数と仮設住宅建設実績

$$H_t^1 = x_t(1 - \alpha_t^1) + x_t \cdot 0.5\alpha_t^1 \quad (11b)$$

これより、被害戸数の減少分は次の通りとなる。

$$H_t^1 - H_t^0 = \frac{x_t}{2}(\alpha_t^1 - \alpha_t^0) \quad (12)$$

この被害戸数の減少分に伴う便益を $t$ 年までの総コストで除して期待収益率を算出した。

#### (7) 仮設住宅の需要の推計

1960年以降の大規模地震時による全壊・半壊戸数 $x$ と仮設住宅の建設戸数 $y$ を対数軸にプロットした結果、全壊・半壊戸数の約1割の仮設住宅が建設されていた(図-4)。また、回帰分析により以下の式を得た。

$$y = 0.0521x^{1.026} \quad (13)$$

実際には、自宅の損傷度や行政による住宅の借り上げ事業等に応じて仮設住宅の需要は変動する。静岡県が行った仮設住宅の入居需要予測では、被災世帯の内約23%が入居を希望しており<sup>10)</sup>、本推計結果と10%程度の乖離が生じている。したがって、回帰分析による推計結果 $y$ を平均とし、分散 $0.02y$ の正規分布に従い仮設住宅が建設されるものとした。

また、プレハブ建築協会によれば、2011年に災害が発生した場合の3ヵ月以内の供給能力は、中部地方ならば2万5000戸、関東地方ならば3万戸としている。この供給能力は2000年と比較して半分程度となっており、人口や建設業界の縮小に伴い、今後も企業は流通在庫を減少させることが考えられる。そのため、ここでは流通在庫を1万戸とした。仮設住宅の需要が1万戸以上の場合に備蓄していた仮設住宅を提供し、その提供戸数に応じて便益が生じるものとした。

#### (8) 分析結果

分析結果を図-5に示す。図中のグラフの右端が仮設住宅への投資比率が0%であり、左端が90%の投資比率で

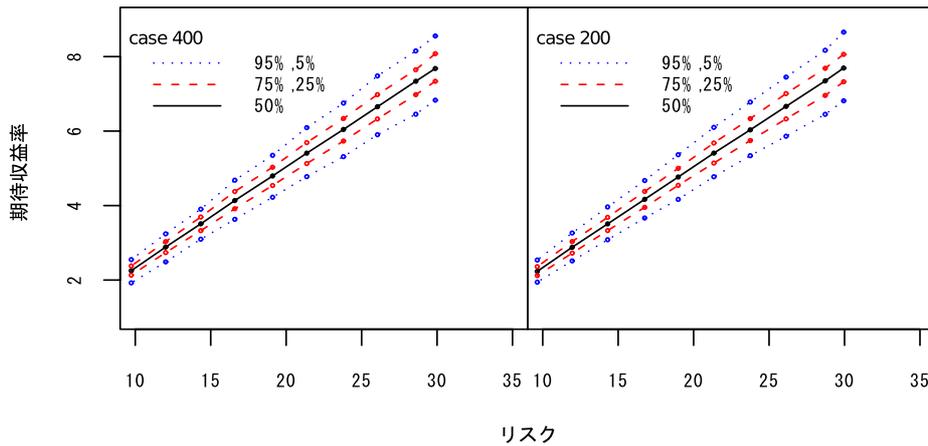


図-5 耐震化と仮設住宅の分析結果（左図は仮設住宅のコストが400万円、右図は200万円のケースを示す）

ある。リスク（標準偏差）は平均値を採用し、期待収益率は上から95, 75, 50, 25, 5パーセンタイルを記載した。仮設住宅の備蓄割合を増やすと、期待収益率とリスクが減少した。耐震化事業に注力することは、将来に大きな便益を得る可能性がある一方、期待した便益が得られないリスクも高まる結果となった。予算の数パーセントを仮設住宅の備蓄に配分しても、期待収益率の低下はわずかである。また、400万円と200万円のケースでは大きな違いが生じなかった。この理由を図-6に示した仮設住宅の備蓄事業の期待収益率の推移から考える。期待収益率は投資割合が大きくなるにつれ過剰な備蓄量となり同じ値となっている。仮設住宅の備蓄への投資比率が数%では、2つの事業を組み合わせた事業ポートフォリオの期待収益率や分散への影響は限定的であるため、400万円と200万円のケースでは大きな違いが生じなかったと考えられる。

仮設住宅のコストが400万円の場合、投資比率が1%から5%までは仮設住宅の期待収益率は同じ値となり、6%以上の投資となると、過剰な備蓄量となり期待収益率が低下した。この投資比率5%は、流通在庫1万戸を合わせ、計3万5000戸を備蓄することになる。なお、仮設住宅の備蓄は、自治体による備蓄のほか、民間業者に対し流通在庫確保のための補助といった施策を講じる事でも同等の効果を得られる。

### (9) 仮設住宅の備蓄に関する考察

東日本大震災では仮設住宅や公営住宅、自治体が借り上げた民間住宅の提供だけでなく、被災者が自前で契約した民間住宅を「みなし仮設」として一定期間の家賃は国や県が負担した。また、佐藤<sup>11)</sup>は、首都直下地震において、賃貸住宅の空家が仮設住宅の代わりに応急住宅として利用できる可能性を示している。これらより、期待収益率が低い仮設住宅を備蓄するよりは耐震化事業を積

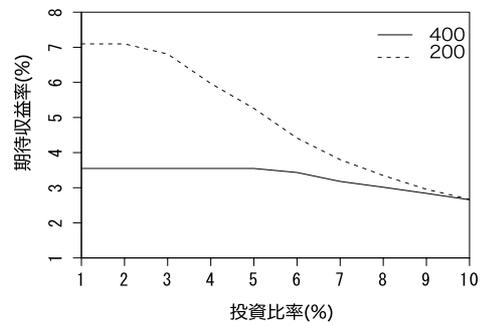


図-6 仮設住宅の投資比率と期待収益率の推移

極的に進め、被災時に不足する住居は民間住宅の借り上げ等を活用することも1つの手段として考えられる。

一方で、東日本大震災においても被災者の多くは住み慣れた生活圏の維持を希望し、多くの仮設住宅が建設された。生活圏の変更は収入手段の変更を伴うことが多く、この生活圏の維持を希望する傾向は今後も継続するものと考えられる。

本論の分析において、仮設住宅の備蓄による期待収益率の低下はわずかであったことを考慮すれば、避難所の早期解消及び既存生活圏への居住地の早期提供というメリットが存在する仮設住宅の備蓄事業は、有効な事業である可能性が示唆されたと言える。

## 5. 結論

本研究は事業の不確実性が高い防災事業に対し、予算の配分比率を評価することを提案した。評価手法として用いたポートフォリオ分析はこれまで困難だった事業の期待収益率と不確実性の可視化が可能であり、予算配分の検討資料が得られることを示した。この評価を予算の策定時、または事業評価等で実施することで、より多面的な検討による意思決定が可能となる。特に防災事業に

においては、災害発生前の対策と、災害発生後の対策を同時に考慮することができる。

なお、本論は事業の不確実性が高い防災事業を事例として分析したが、本論で用いた分析のフレームワークはその他の分野の事業にも適用可能である。

また、耐震化事業と仮設住宅の備蓄をケーススタディとして検討した結果、耐震化事業の予算を数%仮設住宅に備蓄に配分しても、期待収益率の低下はわずかであった。避難所の早期解消及び被災者に対する居住地の早期提供という観点から、国家プロジェクトとしての仮設住宅の備蓄は有効といえる可能性が示唆された。

分析により、仮設住宅の配分比率を増やすと仮設住宅の備蓄事業の期待収益率も徐々に低下した。政府による仮設住宅の備蓄、またはプレハブメーカーに対し流通在庫の維持に向けた補助を行う際は、仮設住宅の備蓄事業の期待収益率が低下しない3万5000戸の供給体制を確保することが一つの目安として考えられる。

なお、本稿に示された内容や意見は、筆者らが所属する組織の見解を示すものではないことを申し添える。

#### 参考文献

- 1) 森杉壽芳：社会資本整備投資に関する評価システムの現状と課題，会計検査研究，No.25，2002.3

- 2) 山田宏：公共事業における費用便益分析の役割，立法と調査(256)，pp.9-16，2006.
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所：公共事業評価手法の高度化に関する研究，国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告，2005.3.
- 4) 朝倉健太：事業別予算が地方議会の予算審議に与えた影響について-兵庫県川西市の事例を手がかりとして-，龍谷大学大学院法学研究(12)，pp.69-101，2010
- 5) 内閣府：首都直下地震に係る被害想定手法について，2005.2.
- 6) 吉村美保，目黒公郎：公的費用の軽減効果に着目した木造住宅耐震補強助成制度の評価，地域安全学会論文集，No.4，pp.247-254，2002.
- 7) 藤見 俊夫，多々納 裕一；“災害後の応急・復興住宅政策がもたらす便益フローの定量評価”，土木学会論文集D，Vol. 65，No. 3，pp.399-412，2009.
- 8) 更谷安紀子，森井雄史，林康裕：木造住宅の経年劣化を考慮した最大地動速度に対する損傷確率曲線，第12回日本地震工学シンポジウム，No.0011，pp.150-153，2006.11.
- 9) 国土交通省：建築着工統計調査
- 10) 総務省消防庁：東海地震に係る広域的な地震防災体制のあり方に関する調査検討報告書，2003.3.
- 11) 佐藤慶一，翠川三郎：首都直下地震後に利用可能な賃貸住宅空家分布の把握，地域安全学会論文集 No.9，pp.47-54，2007.11.

(2011.?.? 受付)

## EVALUATION OF THE POLICY MIX UNDER UNCERTAINTIES - SEISMIC REINFORCEMENT FOR WOODEN HOUSE AND STOCK OF TEMPORARY HOUSING-

Noriaki MATSUSHITA and Eizo HIDESHIMA

It is difficult to allocate the budget to multiple disaster prevention measures due to the uncertainty. In this research we analysed the budget allocation for seismic reinforcement for wooden house and stock of temporary house, by means of the portfolio method. As the result, we showed that the method could visualize the uncertainty and return, and that the method was useful for policy making. Moreover, we derived that redistribution to the stock of temporary house to some extents was effective.