

レジリエンス確保に関する技術検討委員会

「道路分科会」検討報告書

(「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書：付録 I)

2018 年 6 月

土木学会

平成 29 年度会長特別委員会

「レジリエンス確保に関する技術検討委員会」

道路分科会

レジリエンス確保に関する技術検討委員会「道路分科会」 委員名簿

役職	氏名	所属
主査	藤井聡	京都大学
幹事長	白水靖郎	中央復建コンサルタンツ株式会社
委員	片山慎太郎	一般社団法人 システム科学研究所
〃	小池淳司	神戸大学
〃	田名部淳	株式会社 地域未来研究所
〃	中尾聡史	京都大学
〃	東徹	一般社団法人 システム科学研究所
〃	樋野誠一	一般社団法人 計量計画研究所
〃	毛利雄一	一般社団法人 計量計画研究所

目次

1. 被害の計量推計の前提	5
(1) 検討の諸条件の概要	5
(2) SCGE（空間的応用一般均衡）モデルの概略	6
① モデルの概略	6
② 企業の行動モデル	8
③ 世帯の行動モデル	10
④ 地域間交易モデル	11
⑤ 市場均衡条件	12
(3) SCGE（空間的応用一般均衡）モデルの前提条件	13
① 対象範囲とゾーニング	13
② 産業分類	14
③ 経済データ	15
2. SCGEによる災害経済被害の推計	16
(1) 「20年経済被害」の推計の基本的な考え方	16
① 阪神・淡路大震災によるGDP毀損率	17
② 阪神・淡路大震災による、資産（M）毀損率	19
(2) GDP ^(Before) の推計方法	19
(3) GDP ^(Damage) の推計方法	20
① 基本的な考え方	20
② 被災後の T_{ij} の求め方	20
③ 「 TL_{ij} 」の求め方	24
④ 「 TD_i 」「 TD_j 」の求め方	24
⑤ 「 V_i 」：被災メッシュの速度の設定	24
⑥ 「道路網の毀損状況」と「考慮する災害」との関係について	25
⑦ 災害時の「 M_i 」（ゾーン i の”資産量”）の求め方	27
(4) T_{ij} （生活圏間所要時間）の算出結果	28
(5) 各強靱化対策の経済被害軽減推計方法、および事業費の推計方法	33
① 道路の強靱化対策の内容とその計量化方法	33
② 海岸堤防対策の内容とその計量化方法	39
③ 建築物対策の内容とその計量化方法	40
(6) GDP ^(After) の推計方法	45

3. 死者数の推計..... 46

- (1) 「道路強靱化」による死者数の縮減..... 46
- (2) 「津波堤防整備」による死者数縮減..... 47
- (3) 「建築物強靱化」による死者数縮減..... 47
- (4) 推計結果 47

1. 被害の計量推計の前提

(1) 検討の諸条件の概要

・計量の概要：

各ハザード発生時の「道路網機能不全」「資産毀損」による経済被害を SCGE モデルで推計する。

→2015 年 DRM における「対策前後」双方の GDP 等を推計し、その差分で推計。

・計量評価尺度：全国と地域別 GDP

・対象ハザード：地震による「道路網毀損状況」を入力データとする。

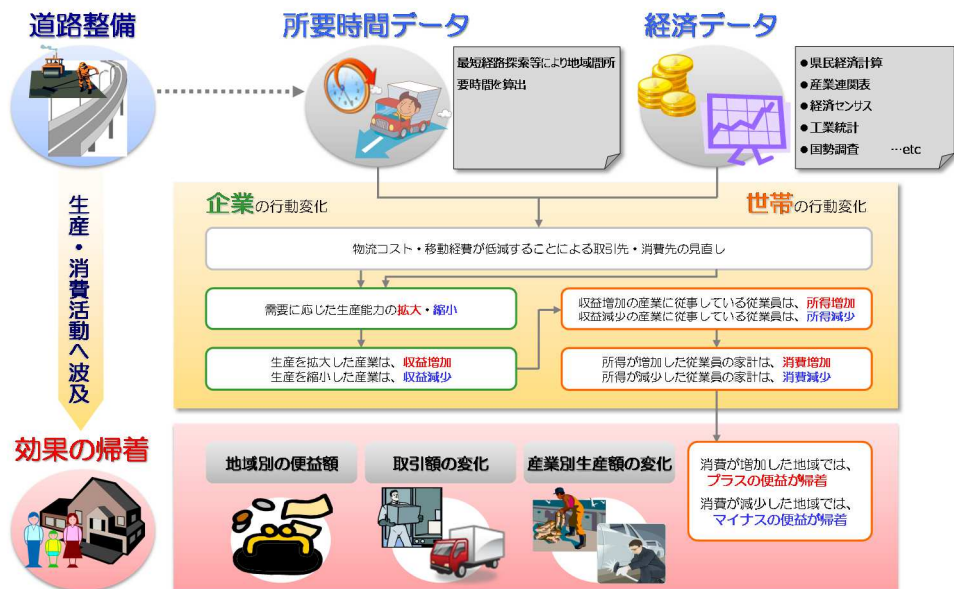
なお、地震については「南海トラフ地震¹⁾」と「首都直下地震²⁾」を対象とした。

・SCGE モデルの前提：

- ・ゾーン設定は、207 生活圈（ただし、島嶼部地域を除く）。
- ・被災時および強靱化の影響は、所要時間、資本量（被災時の毀損）、サプライチェーンの寸断により反映。
- ・複数の地域に分割されている多地域多産業で構成された経済を想定する。
- ・各地域には複数の財市場が存在し、それぞれに代表的産業がある。
- ・各地域には 1 つの代表的家計が存在する。
- ・財生産企業は家計から提供される生産要素（労働・資本）、他の財生産企業の生産物を投入して生産財を生産する。
- ・家計は企業に対して生産要素（労働・資本）を提供し、対価として所得を受け取り、その所得をもとに財消費を行う。
- ・輸送費用は Ice-berg 型輸送費用を仮定する。
- ・労働市場は地域で閉じているが、資本市場は全地域に開放（地域外からの資本注入（移動）を許容）。

¹⁾ 中央防災会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），平成 25 年 3 月 18 日。（http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html）

²⁾ 中央防災会議・首都直下地震対策検討ワーキンググループ：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）～本文～，平成 25 年 12 月 19 日。（http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/）



【メリット】 どの？誰に？どの程度？効果があるのかを把握することが可能

図2 SCGE モデルによる効果の計測フロー

本検討での SCGE モデルでは、まず複数の空間に分割された社会経済を想定し、それぞれの空間にはアクティビティベースの企業および代表的消費者が存在し、それぞれ費用最小化行動および効用最大化行動を想定する。市場に関しては、財、資本は全地域に開放されており、労働市場は地域内で閉じているものと仮定する。各市場においては、完全競争を仮定し、財の輸送に関しては、Ice-berg 型輸送技術を想定する。モデルの概略は下図に示す通りである。

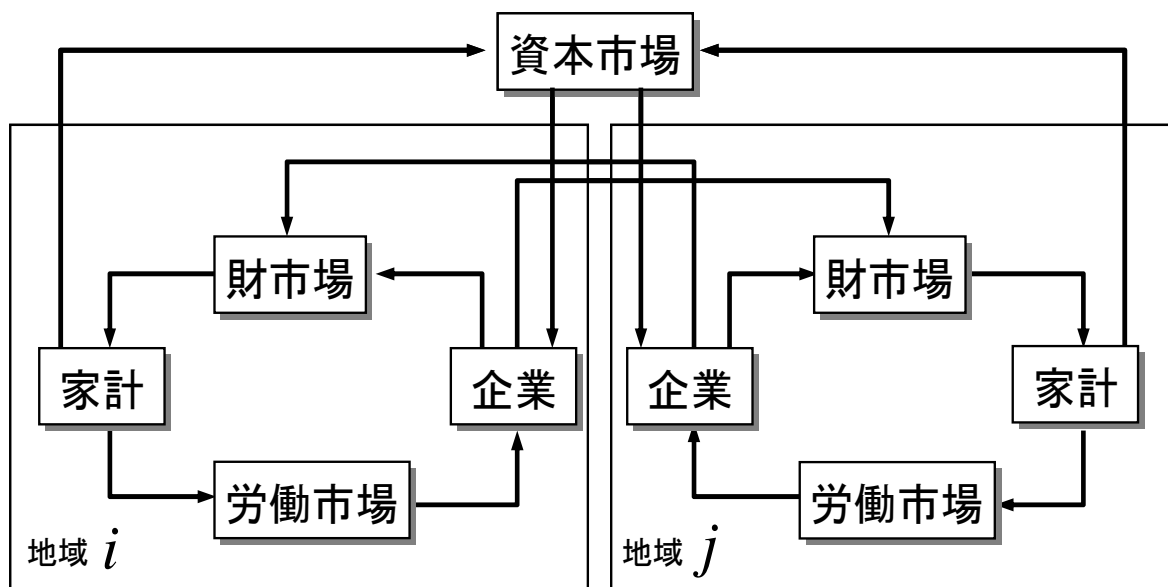


図3 SCGE モデルの概略

なお、本モデルでは、以下のサフィックスで変数を表すものとする。

- ・ 地域を表すサフィックス : $I \in \{1, 2, \dots, i, \dots, j, \dots, o, \dots, l\}$
- ・ 産業を表すサフィックス : $M \in \{1, 2, \dots, m, \dots, n, \dots, M\}$

② 企業の行動モデル

地域*i*に立地し、財*m*を生産する企業は、自地域と他地域で生産された中間投入財、本源的生産要素（労働・資本）により構成される生産要素を用いて、下図に示すような生産構造技術を用いて財を生産する。

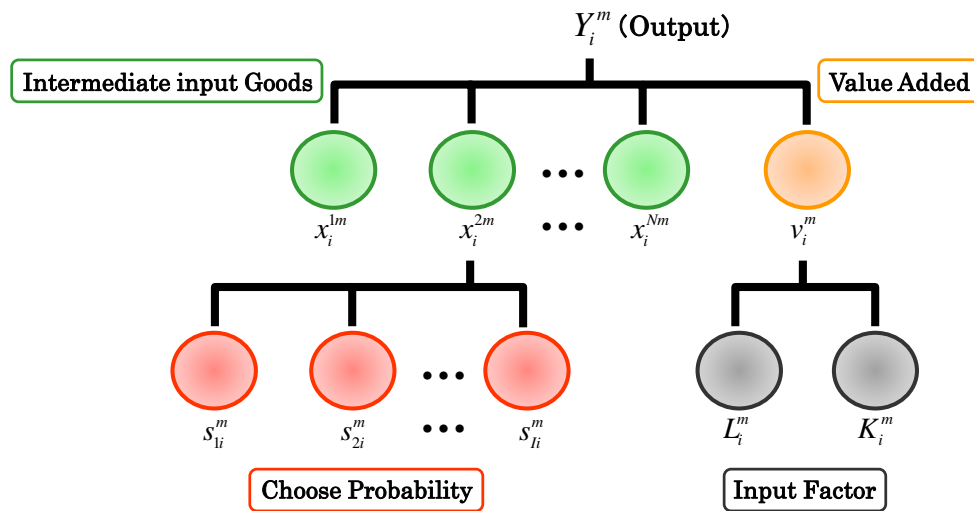


図4 企業の生産関数の階層的構造

各地域には、生産財ごとに1つの企業が存在することを想定し、地域*i*において財*m*を生産する企業の生産関数を Leontief 型で仮定すると以下のようなになる。

$$Y_i^m = \min \left\{ \frac{v_i^m}{a_i^{0m}}, \frac{x_i^{1m}}{a_i^{1m}}, \dots, \frac{x_i^{nm}}{a_i^{nm}}, \dots, \frac{x_i^{Nm}}{a_i^{Nm}} \right\} \quad (1)$$

ただし、

Y_i^m : 地域*i*財*m*の生産量

v_i^m : 地域*i*財*m*の付加価値

x_i^{nm} : 地域*i*の産業*n*から産業*m*への中間投入財

a_i^{nm} : 地域*i*の産業*n*から産業*m*への中間投入財の投入係数

a_i^{0m} : 地域*i*財*m*の付加価値比率

次に、企業の付加価値に関する最適化問題は、付加価値 1 単位当たりの要素費用最小化行動として以下のように定式化する。ここで付加価値関数は、労働と資本について規模に関して収穫一定を仮定したコブ・ダグラス型を仮定する。

$$\begin{aligned} \min . \quad & w_i L_i^m + r_i K_i^m \\ \text{s.t.} \quad & v_i^m = A_i^m (L_i^m)^{\alpha_i^m} (K_i^m)^{1-\alpha_i^m} \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、

- w_i : 地域 i の労働賃金率
- r : 資本レント
- L_i^m : 地域 i 財 m の労働投入量
- K_i^m : 地域 i 財 m の資本投入量
- α_i^m : 地域 i 財 m の生産要素（労働）の分配パラメータ
- A_i^m : 地域 i 財 m の効率パラメータ（全要素生産性）

式 (2) の費用最小化問題をラグランジュ未定乗数法により解くと、生産要素需要関数（労働・資本）が求まる。また、付加価値関数が超過利潤ゼロの条件から、平均費用として求めることができる。

$$L_i^m = \frac{\alpha_i^m}{w_i} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (3)$$

$$K_i^m = \frac{1-\alpha_i^m}{r} a_i^{0m} q_i^m Y_i^m \quad (4)$$

$$cv_i^m = \frac{a_i^{0m} w_i^{\alpha_i^m} r^{1-\alpha_i^m}}{A_i^m (\alpha_i^m)^{\alpha_i^m} (1-\alpha_i^m)^{1-\alpha_i^m}} \quad (5)$$

ただし、

- cv_i^m : 地域 i 財 m の 1 単位生産当たりの付加価値

③ 世帯の行動モデル

各地域には代表的な世帯が存在し、自己の効用が最大になるように自地域と他地域からの財を消費すると仮定し、下図のような効用関数構造を持つと仮定する。すなわち、世帯がどの地域からどれだけ財を消費するかを地域間交易モデル（Logit モデル）で表現する。

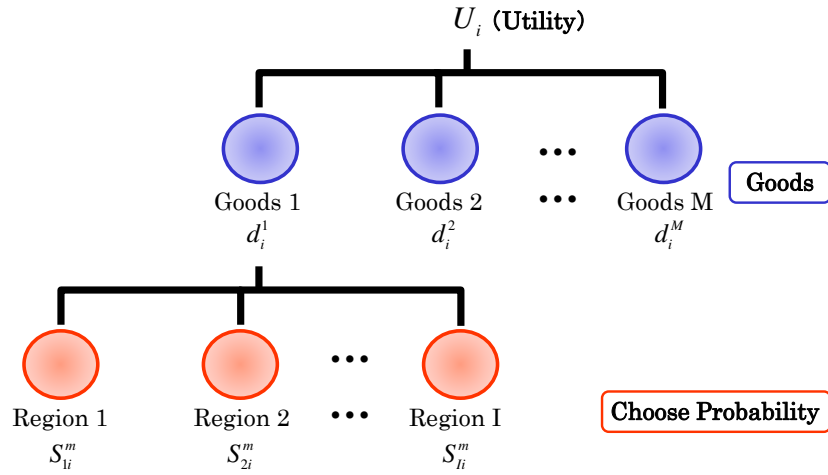


図 5 世帯の効用関数の階層的構造

世帯の行動は、以下のような所得制約条件下での効用最大化問題として定式化する。

$$\begin{aligned} \max. \quad & U_i(d_i^1, d_i^2, \dots, d_i^M) = \sum_{m \in M} \beta^m \ln d_i^m \\ \text{st.} \quad & \bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} = \sum_{m \in M} p_i^m d_i^m \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、

U_i : 地域 i の効用関数

d_i^m : 地域 i 財 m の消費水準

p_i^m : 地域 i 財 m の消費者価格 (C.I.F.PRICE)

β^m : 財 m の消費の分配パラメータ ($\sum_{m \in M} \beta^m = 1$)

\bar{l}_i : 地域 i の一人当たり労働投入量 ($\bar{l}_i = \sum_{m \in M} L_i^m / N_i$)

\bar{K} : 世帯全体における総資本保有量 ($\bar{K} = \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} K_i^m$)

T : 世帯全体における総人口 ($T = \sum_{i \in I} N_i$)

式 (6) の効用最適化問題をラグランジュ未定乗数法により解くと、消費財の需要関数を求めることができる。

$$d_i^m = \beta^m \frac{1}{p_i^m} \left(\bar{l}_i w_i + r \frac{\bar{K}}{T} \right) \quad (7)$$

④ 地域間交易モデル

Harker モデルに基づいて、各地域の需要者は消費者価格 (C.I.F.PRICE) が最小となるような生産地の組み合わせを購入先として選択する。地域 j に住む需要者が生産地 i を購入先として選択し、その誤差項がガンベル分布に従うと仮定すると、その選択確率は以下のようなロジット型の交易モデルで表現できる。なお、本モデルでは、最終需要量と中間投入需要量を分類し、各財の消費先選択確率を明示したモデルを想定するため、消費先選択確率を最終消費財と中間投入財の 2 パターンで定義する。ただし、実証分析においては、最終消費財と中間投入財の流動を分別することができないため、 $FS_{ij}^m = IS_{ij}^m$ とする。

$$FS_{ij}^m = \frac{FY_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} FY_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \psi_o^m t_{kj})]} \quad (8)$$

$$IS_{ij}^m = \frac{IY_i^m \exp[-\lambda_o^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij})]}{\sum_{k \in I} IY_k^m \exp[-\lambda_o^m q_k^m (1 + \psi_o^m t_{kj})]} \quad (9)$$

ただし、

FS_{ij}^m : 地域 j の需要者が地域 i から最終消費財 m を購入する選択確率

FY_i^m : 地域 i 財 m の最終需要量を満たす生産量

IS_{ij}^m : 地域 j の需要者が地域 i から中間投入財 m を購入する選択確率

IY_i^m : 地域 i 財 m の中間投入需要量を満たす生産量

t_{ij} : 地域 i から地域 j への所要時間 (交通抵抗)

λ_o^m : ロジットモデル内のパラメータ

ψ_o^m : 価格に占める輸送比率

消費者価格 (C.I.F.PRICE) は、生産者価格 (F.O.B.PRICE) に交通抵抗を考慮することで、(10) 式のように表わすことができる。

$$p_j^m = \sum_{i \in I} FS_{ij}^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij}) \quad (10)$$

⑤ 市場均衡条件

本モデルでは、以下の市場均衡条件が整理する。

- 需要（最終消費財）

$$Fz_{ij}^m = N_j d_j^m F s_{ij}^m \quad (11)$$

$$FY_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m) Fz_{ij}^m \quad (12)$$

- 需要（中間投入財）

$$\begin{bmatrix} IX_i^1 \\ \vdots \\ IX_i^m \\ \vdots \\ IX_i^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_i^{11} & \cdots & 0 - a_i^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 - a_i^{M1} & \cdots & 1 - a_i^{MN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} FY_i^1 \\ \vdots \\ FY_i^m \\ \vdots \\ FY_i^M \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$Iz_{ij}^m = IX_j^m \times Is_{ij}^m \quad (14)$$

- 供給

$$Y_i^m = \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m t_{ij}) Fz_{ij}^m + \sum_{j \in J} (1 + \psi_o^m t_{ij}) Iz_{ij}^m \quad (15)$$

- 本源的生産要素

$$\sum_{m \in M} L_i^m = \bar{L}_i \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M} K_i^m = \bar{K} \quad (17)$$

- 生産者価格体系

$$q_j^n = a_j^{0n} c v_j^n + \sum_{m \in M} a_j^{mn} \sum_{i \in I} Is_{ij}^m q_i^m (1 + \psi_o^m t_{ij}) \quad (18)$$

ただし、

Fz_{ij}^m : 財 m の地域 i から地域 j の最終需要流動量

Iz_{ij}^m : 財 m の地域 i から地域 j の中間投入需要流動量

IX_j^m : 地域 j 財 m の中間投入需要量

q_j^n : 地域 j 財 n の生産者価格 (F.O.B.PRICE)

(3) SCGE（空間的応用一般均衡）モデルの前提条件

① 対象範囲とゾーニング

SCGE モデルの分析対象範囲については、明確な設定基準はないが、社会資本整備による影響が及ぶ範囲、即ち、現況での経済的取引が多いエリアを網羅的に設定することが望ましいと考えられる。本検討で対象とする首都直下型地震や南海トラフ巨大地震による被害は全国に波及すると考えられることから、全国 47 都道府県を対象とする。また、ゾーニングは、全国幹線旅客純流動調査で設定されている 207 生活圈とする。



図6 対象範囲とゾーニング³⁾

³⁾ 国土交通省：第5回（2010年）全国幹線旅客純流動調査, 2010.

(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/soukou/sogoseisaku_soukou_fr_000016.html)

② 産業分類

本検討では、県民経済計算の産業分類を基本に以下の16分類でデータの整備を行った。

表1 産業分類

No.	産業名
1	農林水産業
2	鉱業
3	飲食料品
4	繊維製品
5	パルプ・紙・木製品
6	化学製品
7	石油・石炭製品
8	窯業・土石製品
9	鉄鋼・非鉄金属・金属製品
10	一般機械
11	電気機械・情報・通信機器
12	輸送機械
13	その他の製造工業製品
14	建設
15	電力・ガス・水道
16	サービス

③ 経済データ

これまで設定した前提条件を基に、SCGE モデルにインプットする経済データを作成する。SCGE モデルで通常使用される経済データは、地域間産業連関表であるが、207 生活圈レベルでの産業連関表は政府統計として整備はされていない。そこで、本検討で用いる経済データは、生活圈別の付加価値額データを基に産業連関表を推計し、基準均衡データとする。産業分類別に、下表で示す算出方法に基づき産業活動関連データ（ゾーン別経済指標）の整理を行う。付加価値額データについては、都道府県民経済計算から工業統計データ等を用いて案分し、整備を行う。

表2 インプットデータの概説

産業活動関連データ	算出方法および出典
付加価値額	・ H17 都道府県民経済計算
人口	・ H17 国勢調査
労働所得	・ ゾーン別付加価値額×労働シェア ※労働シェアは H17 産業連関表（都道府県別）より設定する
資本所得	・ ゾーン別付加価値額×資本シェア ※資本シェアは H17 産業連関表（都道府県別）より設定する
中間投入額	・ H17 産業連関表（都道府県別） 中間投入額
消費のシェア	・ H17 産業連関表（都道府県別） 産業別最終需要額／最終需要額計

2. SCGEによる災害経済被害の推計

(1) 「20年経済被害」の推計の基本的な考え方

地震・津波等によって、生産施設等が破壊され、交通インフラが破壊されることを通して、経済活動が低迷することによって生ずる経済被害を推計した。南海トラフ地震による国内総生産（GDP）に対する影響が、阪神・淡路大震災の時（下記（1）①参照）と同様に20年間継続すると想定しつつ、南海トラフ地震が生じた場合、生じなかった場合に比べて国内総生産（GDP）がどの程度毀損するかを推計し、その差分を20年間累計することで測定し、それを「20年経済被害」と呼称することとした。すなわち、下記の式の考え方に基づいて、20年経済被害を推計した。

$$D_{TA} = f(GDP^{(Before)}, GDP^{(Damage)}, GDP^{(After)}, TD, TA)$$

$$= \sum_n (GDP^{(Before)} - GDP^{(Damage_n)}) \times TD_n + (GDP^{(Before)} - GDP^{(After)}) \times (TA - TD1 - TD2)$$

D_{TA} ：20年経済被害

TA：評価対象期間

TD1：復興期間1の期間長（ネットワークと被災地の資産が毀損。交通サービスレベルの設定方法は下記（3）⑤、⑥、資産は下記（1）②を参照。なお、この時のGDPは $GDP^{(Damage_1)}$ と表記）

TD2：復興期間2の期間長（ネットワークは復旧しているが、経済活動は毀損。そのGDPの水準（ $GDP^{(Damage_2)}$ ）は、下記（1）①に示した $GDP^{(Damage_1)}$ と阪神・淡路大震災のGDP推移に基づいて設定）

$GDP^{(Before)}$ ：災害「前」のGDP水準 ←現状データに基づいてSCGEで推計

$GDP^{(Damage_1)}$ ：災害「後・復興前」のGDP水準 ←被災状況を想定しSCGEで推計

$GDP^{(After)}$ ：災害「復興後」のGDP水準 ← $GDP^{(Damage_1)}$ と阪神・淡路大震災のGDP推移に基づいて設定

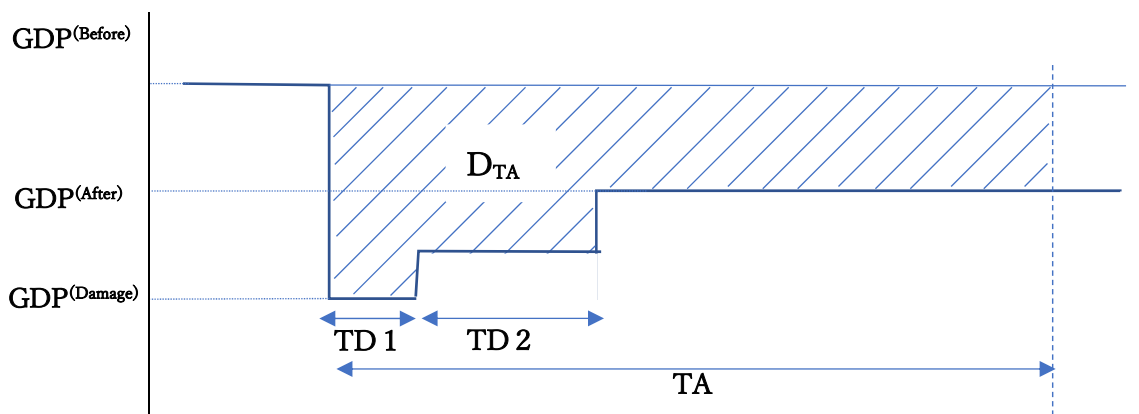


図7 「20年経済被害」の概念図

① 阪神・淡路大震災による GDP 毀損率

阪神・淡路大震災後の地域総生産（実質）から、復興事業費及びその乗数効果を考慮し、震災後の地域総生産（1994 暦年比）の全国値との差を整理した。その結果、被災地の地域総生産の回復状況を踏まえ、L2 地震の評価対象期間（TA）を 20 年とした（図 8 参照）。また、高速道路網が被災後 622 日で回復したことを踏まえ、復興期間 1（TD1）を震災直後～2 年後、復興期間 2（TD2）を 2～10 年後とした。

さらに、激甚被災地及びその周辺の GDP(Damage)、GDP(After)の毀損率は、地域総生産の推移を踏まえ、以下のように設定した（図 8 参照）。

表 3 阪神・淡路大震災による GDP 毀損率

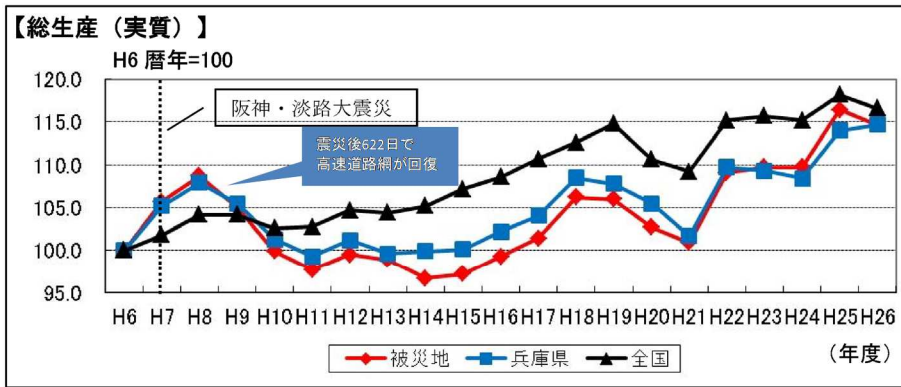
		激甚被災地	激甚被災地周辺
GDP(Damage)	復興期間 1（直後～2 年後）	-40%	-25%
	復興期間 2（2～10 年後）	-20%	-15%
GDP(After)（10～20 年後）		-6.2%	-5.5%
備考		被災地の値より設定	兵庫県 の値より設定

■地域総生産(実質)の推移(1994年暦年値を基準)

一定期間内に生産された物・サービス等の付加価値の総額(平成27.12月末作成)

※震災の影響を受けていない震災直前の経済状況を反映した平成6暦年値を基準に震災後の数値を表している。

県統計課「県民経済計算」「市町民経済計算」、内閣府「国民経済計算年報」



出典: 阪神・淡路大震災の復旧・復興の状況について(兵庫県)

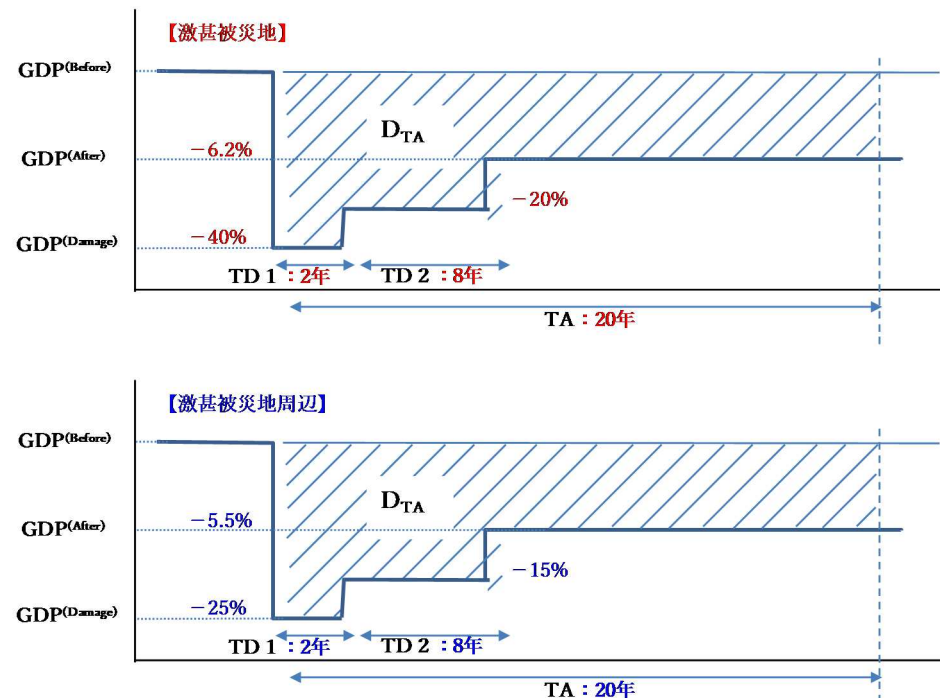
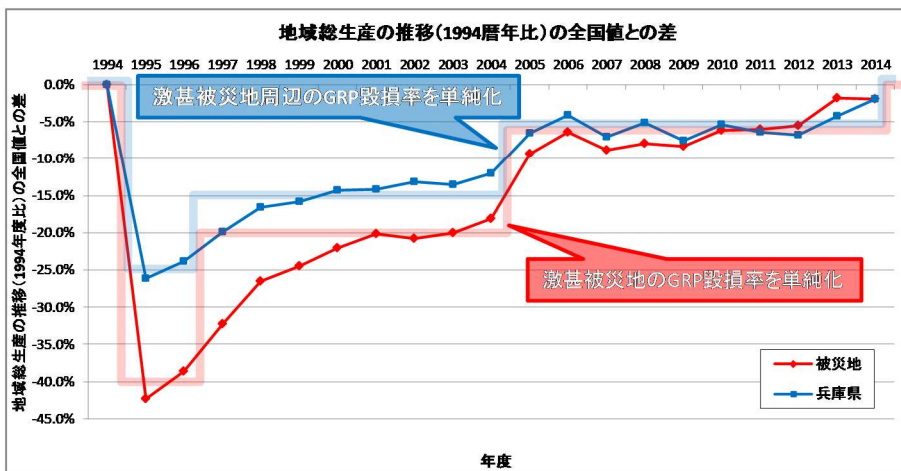


図8 阪神・淡路大震災によるGDP毀損率の導出過程

② 阪神・淡路大震災による、資産（M）毀損率

SCGEモデルは、ゾーン間の所要時間データに加えて、各ゾーンの資産量（以下、M）のデータを用いて、GDPを推計する。この資産量が、地震発生時に毀損するが、その毀損量を、阪神・淡路大震災時の実績データに基づいて推計する。

まず、阪神・淡路大震災の被災エリアにおけるMの毀損率が0%、-10%、-20%、-30%の時のGDP毀損率を算定すると、図9の様になった。一方、実績値として阪神・淡路大震災時の被災エリアの復興期1（TD1）のGDPは-40%であったことから、図9よりこの時のM毀損率を-26.8%と設定した。

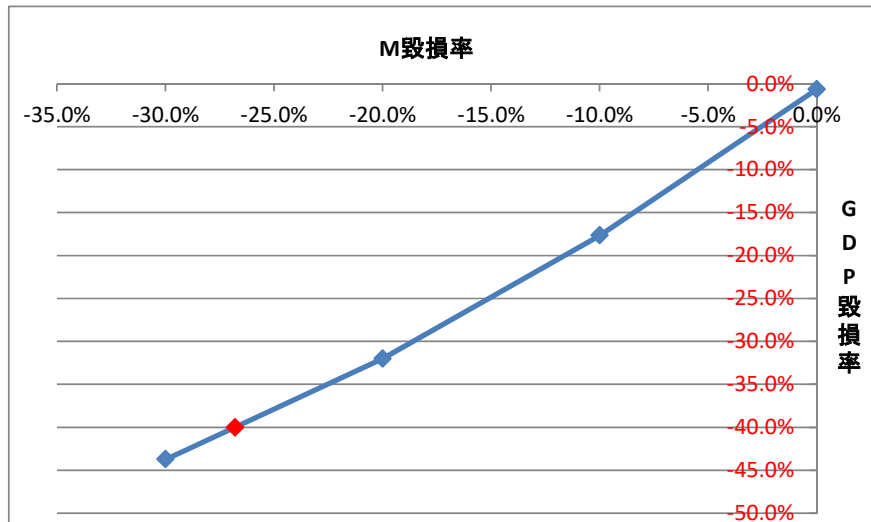


図9 阪神・淡路大震災による毀損（M）毀損率

(2) GDP^(Before)の推計方法

- ・全国およびゾーン毎のGDPを、現状ネットワークにおいて推計。
- ・推計ために必要なデータ

T_{ij}：ゾーンij間の所要時間

- ・現況の道路網は、平成27年（2015年）を想定。道路網はデジタル道路地図（DRM）の平成27年版を活用し、全国の207生活圏間の所要時間を算定。
- ・アウトプットは、生活圏間の最短経路探索による所要時間

M_i：ゾーンiの“資産量”

(3) GDP^(Damage)の推計方法

① 基本的な考え方

- ・ GDP^(Before)の推計と同様の方法だが、T_{ij}とM_iを、被災後のものに変える。
- ・ 復興期間1 (TD1: 直後~2年後): 一定のリンクが不通 T_{ij}(1)、M_i(1)

② 被災後のT_{ij}の求め方

(ア) 概要

- ・ 下表の道路網を想定し、それぞれの道路状況におけるサービスレベルの分析を実施。

表4 道路網の想定

現況	現況 (平成27年) 道路網
災害時	災害時 (南海トラフ地震または首都直下型地震)
災害時 (対策あり)	災害時 (南海トラフ地震または首都直下型地震) に高規格幹線道路網全線 (14,000km) 整備時

- ・ 巨大地震が生じて、高速道路は復旧が早く、走行不能とならない前提とし、被災生活圏内1km²メッシュから高速道路ICまでの一般道の強靭性を評価する。

$$T_{ij} = T_{Di} + T_{Dj} + T_{Lij}$$

↑ ↑ ↑
 ゾーンij間のラインホールの所要時間
 ゾーンjを出るための平均所要時間
 ゾーンiを出るための平均所要時間

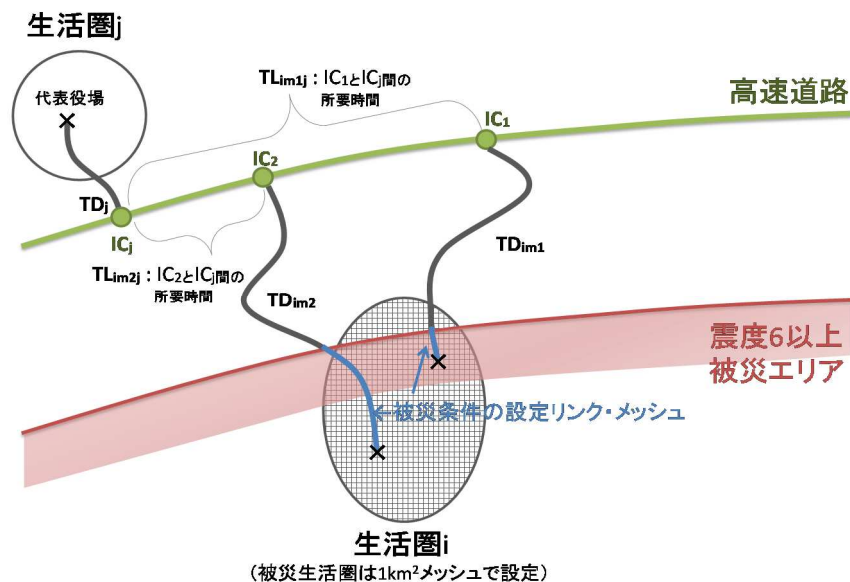


図10 生活圏間所要時間の算定イメージ

・以下の手順で生活圏間所要時間の算定を行う。

手順 1. 被災想定エリア内における各 1km^2 メッシュから高速道路の IC アクセス所要時間および IC イグレス所要時間 (TD_{im1} 、 TD_{im2} 、 TD_j) を算定する。

手順 2. 乗降 IC 間の高速道路ラインホール所要時間 (TL_{im1j} 、 TL_{im2j}) を算定する。

ここで変数は以下の意味である。

TD_{im} : 被災想定エリア生活圏 i 内の 1km^2 メッシュ m から最寄り高速 IC までのアクセス時間

TL_{imj} : 被災想定エリア生活圏 i 内の 1km^2 メッシュ m から相手生活圏 j への IC 間ラインホール所要時間

TD_j : 最寄り IC から (被災想定エリアでない) 生活圏 j までのイグレス時間

$$\overline{TD_i + TL_{ij}} = \frac{\sum_m (TD_{im} + TL_{imj})}{m}$$

ここで $\overline{TD_i + TL_{ij}}$ は、被災想定エリア生活圏 i 内の 1km^2 メッシュ m から (被災想定エリアでない) 生活圏 j までの所要時間を考慮した、生活圏 i - j 間の平均所要時間である。

手順 3. 生活圏間所要時間を算定する。

上式を反映して、生活圏 i - j 間の所要時間は下式で表せる。

$$T_{ij} = \overline{TD_i + TL_{ij}} + TD_j$$

(イ)災害時における被害エリアの想定

- ・中央防災会議の想定に基づき、南海トラフ地震および首都直下型地震ともに、震度 6 以上のエリアを道路被害が想定される地域と設定する⁴⁾。
- ・下表に示す中央防災会議の設定では、震度 6 以上の地域は道路被害が想定されるが、高速道路の通行止め期間は短いことを前提としているため、本分析では高速道路の寸断は想定せず、直轄国道以下の道路が寸断される場合の影響を捉えるものとする。

表 5 中央防災会議における 南海トラフ地震における道路の被災想定

	中央防災会議の記述
高速道路	<ul style="list-style-type: none"> ・震度 6 強以上エリアを通過する東西幹線交通（東名高速道路及び新東名高速道路）は、被災と点検のため、通行止めとなる。中央自動車道は点検の後、通行可能となる。東名の迂回ルートとして、愛知県付近まで機能を果たすが愛知県内の震度 6 強以上エリアに進入できない。 ・中央自動車道は点検の後、通行可能となる。東名の迂回ルートとして、愛知県付近まで機能を果たすが愛知県内の震度 6 強以上エリアに進入できない。 ・本州と四国を連絡する道路のうち、震度 6 強以上の揺れが想定される神戸淡路鳴門自動車道、瀬戸中央自動車道が被災と点検のため通行止めとなる。
直轄国道等	<ul style="list-style-type: none"> ・震度 6 弱以上となる東海地方一帯・紀伊半島・四国・瀬戸内海沿岸・九州南東部では、概ね 6km につき 1 箇所程度の割合で被害が発生する。 ・中山間部においては、震度 6 強以上となったほとんどの区間で亀裂や陥没が発生するほか、橋梁の取り付け部・横断ボックスの境界部などの段差や、車道部のすべり、トンネルのコンクリート擁壁の剥離等が発生し、多くの箇所で通行不能となる。また、土砂崩れや法面崩壊の発生が顕著になる。震度 6 弱エリアにおいても多くの箇所で亀裂や陥没等、同様の被災が発生する。 ・震度 6 強以上の揺れを受けた幅員 5.5m 未満の道路の 5 割以上が通行困難となる。 ・沿岸部の津波 浸水深が 1m~3m のエリアでは、3km につき 1 箇所程度の被害が発生する。津波により被災した場合、ほぼ全ての浸水整備した道路が通行困難となる。 ・三重県南部、和歌山県南部、徳島県南部、高知県南部、宮崎県北部・南部等、高規格道路が未整備でアクセスが限定される地域があり、当該地域が揺れ・津波により大きな被害を受けた際には迅速な災害応急対策が困難となる。

⁴⁾ 中央防災会議・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），平成 25 年 3 月 18 日，2013. (http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html)

1. 南海トラフ地震

中央防災会議資料に基づき、南海トラフ地震における震度6以上の生活圏を図示する。

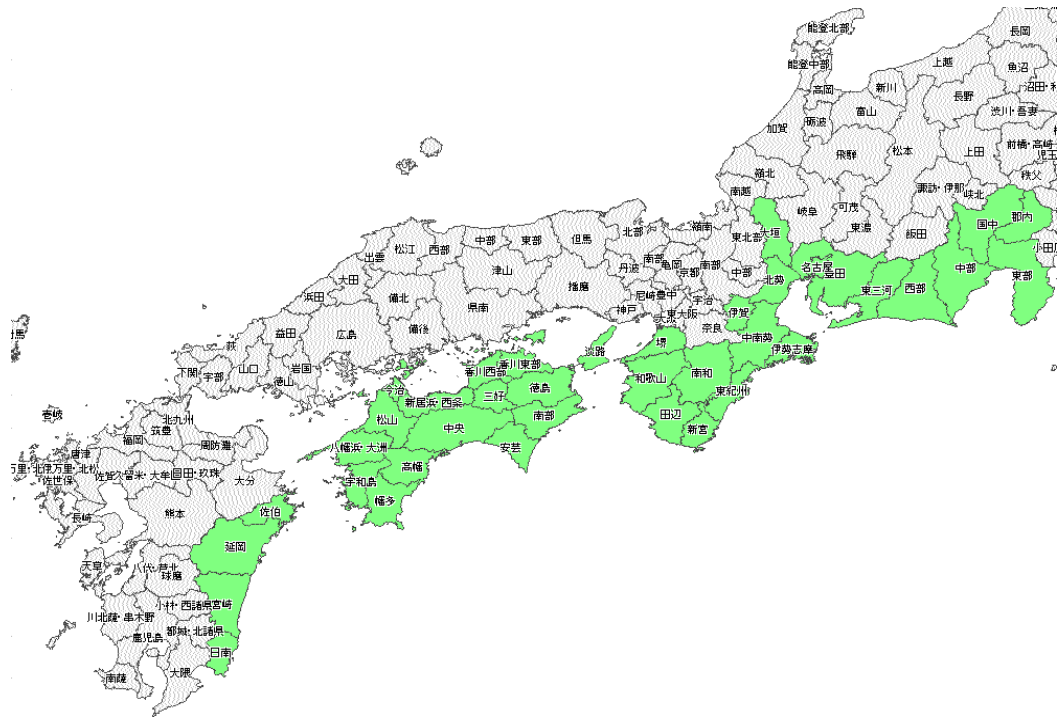


図11 南海トラフ地震における震度6以上の生活圏

2. 首都直下型地震

中央防災会議資料に基づき、首都直下型地震における震度6以上の生活圏を図示する。

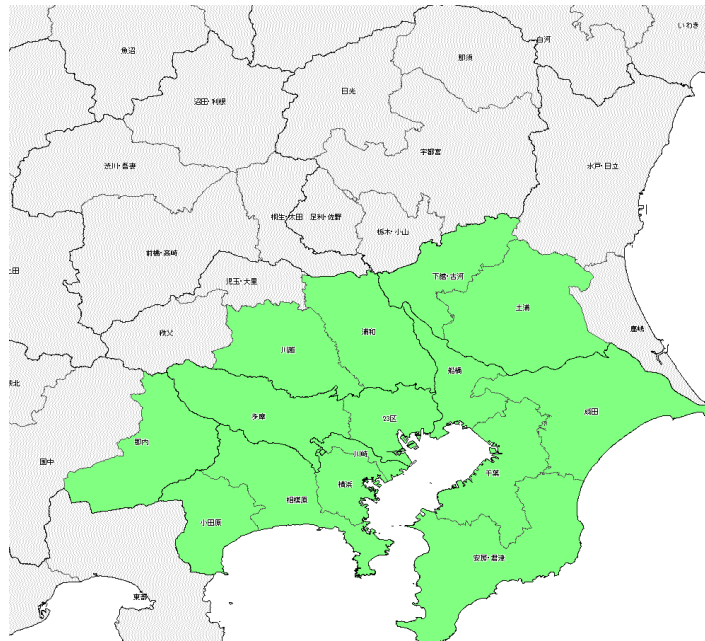


図12 首都直下型地震における震度6以上の生活圏

③ 「TLij」の求め方

- ・ラインホールの IC ペア間所要時間は、IC 間距離および法定速度から算定する。
- ・対策ありケースでは、将来の高速道路整備を想定する。

④ 「TDi」「TDj」の求め方

- ・被災地外の場合は、生活圏代表役場から最寄り IC までの最短時間を求める。
- ・被災地内の場合は、生活圏内の各 1km²メッシュから最寄り IC までの最短時間を求める。
- ・被災メッシュにおける速度、通行困難確率等の道路条件はリンク単位で設定。
- ・被災や強靱化の設定により、各メッシュから最寄り IC へのルート変更を考慮する。
- ・被災地内の生活圏の代表アクセス・イグレス時間は、生活圏内全 1km²メッシュのアクセス・イグレス時間の平均値とする。

⑤ 「Vi」: 被災メッシュの速度の設定

- ・被災メッシュにおける速度は、東日本大震災時のプローブデータを用いて算出した平均速度の低下率を適用。
- ・プローブデータの集計対象エリアは、東北地方（青森県・岩手県・宮城県・秋田県・山形県・福島県）における、推計震度分布（下図参照）の震度 5 以上の地域（メッシュ）を対象とした。

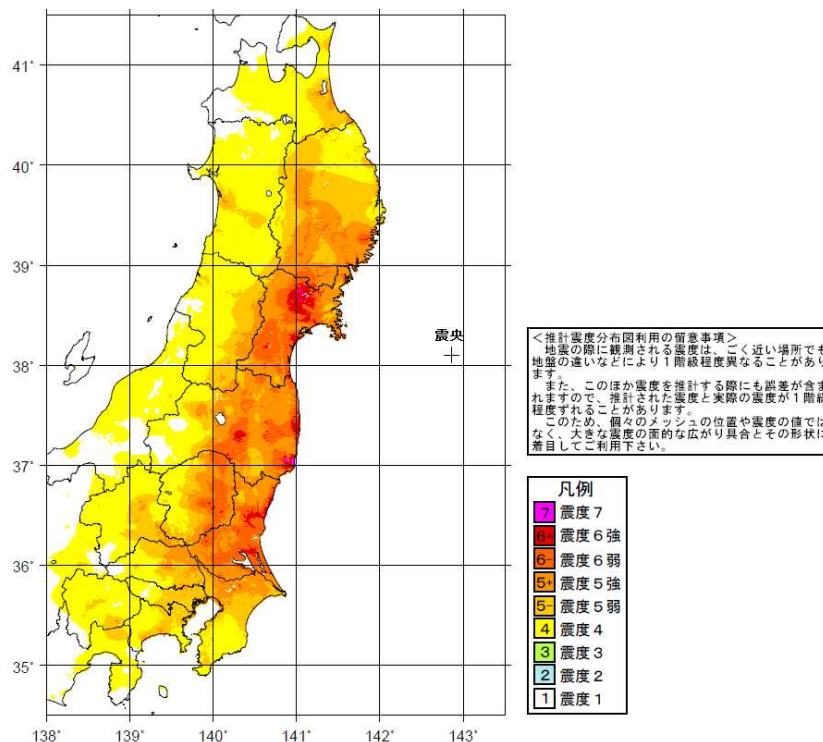


図 13 推計震度分布図⁵⁾

⁵⁾ 気象庁：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震。 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/)

- ・集計対象期間は、災害発生前と災害発生後（4 期間）の計 5 期間を対象とした。各期間の集計日時は下表に整理する通りである。

表 6 集計の対象期間

区分		集計期間
震災発生前		2010 年 9 月 1 日（水） 0 時～2010 年 10 月 1 日（金） 24 時【1 ヶ月】
震災発生後	直後	2011 年 3 月 11 日（金） 15 時～2011 年 3 月 12 日（土） 15 時【24 時間】
	半年後	2011 年 9 月 9 日（金） 0 時～2011 年 9 月 15 日（木） 24 時【1 週間】
	1 年後	2012 年 3 月 9 日（金） 0 時～2012 年 3 月 15 日（木） 24 時【1 週間】
	1 年半後	2012 年 9 月 7 日（金） 0 時～2012 年 9 月 13 日（木） 24 時【1 週間】

- ・以上の条件による算出結果を下表に示す。

表 7 震災前後における速度変化（単位：km/h）⁶⁾

震度	道路種	震災前	震災後 ：直後	震災後 ：半年後	震災後 ：1 年後	震災後 ：1 年半後
震度 6	NEXCO	94.0	58.0	83.1	79.9	89.4
〃	直轄国道	41.1	24.3	39.8	38.8	39.8
〃	補助国道	44.8	34.7	43.1	41.2	43.3
〃	都道府県道	37.9	27.2	36.7	35.4	37.1
〃	市町村道以下	25.4	21.2	26.4	26.0	27.3
震度 7	NEXCO	98.5	56.9	86.7	88.9	94.0
〃	直轄国道	45.0	37.2	43.8	43.4	43.7
〃	補助国道	43.8	37.0	39.7	37.9	40.5
〃	都道府県道	42.3	31.7	41.0	39.7	40.3
〃	市町村道以下	24.8	20.4	27.7	27.7	28.3

- ・平均速度は、震度別・道路種別に、直後・半年後・一年後・1 年半後の 4 時点を集計し、日数を反映して 1：25：26：52 の比率で加重平均して適用。
- ・通行困難箇所（後述）は、徒歩を想定して 4km/h で移動と設定。

⑥ 「道路網の毀損状況」と「考慮する災害」との関係について

- ・地震による道路網の毀損状況については、震度別・道路種別の通行困難率を適用。
- ・震度別・道路種別の通行困難率は東日本大震災時のプローブデータを用いて、震災前にプローブデータが観測されており、震災後にデータの無いリンクを通行困難と判定。メッシュ別・道路種別に延長ベースの通行困難率を算定して震度別に平均。

⁶⁾ 国土技術政策総合研究所：大規模災害発生時の通行不能区間把握に関する基礎調査業務報告書, 2017.

- ・集計対象エリアおよび集計対象期間は、前述の速度と同様。
- ・以上の条件による算出結果を下表に示す。

表8 震災後における道路種別での通行困難率⁷⁾

震度	道路種	震災後 ：直後		震災後 ：半年後		震災後 ：1年後		震災後 ：1年半後	
		通行困難延長 (km)	通行困難率 (%)	通行困難延長 (km)	通行困難率 (%)	通行困難延長 (km)	通行困難率 (%)	通行困難延長 (km)	通行困難率 (%)
震度6	NEXCO	1,330	94.0	81	5.7	67	4.7	16	1.1
〃	直轄国道	413	26.9	18	1.2	12	0.8	12	0.8
〃	補助国道	572	30.2	249	13.1	203	10.7	115	6.1
〃	都道府県道	3,376	55.4	1,499	24.6	1,219	20.0	500	8.2
〃	市町村道以下	5,663	68.9	2,768	33.7	1,897	23.1	793	9.7
震度7	NEXCO	118	95.3	1	0.9	1	0.5	1	0.5
〃	直轄国道	3	3.5	0	0.0	0	0.0	0	0.0
〃	補助国道	46	55.3	14	16.3	10	11.7	5	5.7
〃	都道府県道	224	62.3	55	15.4	48	13.3	10	2.7
〃	市町村道以下	389	72.0	172	31.9	108	20.0	45	8.4

- ・速度と同様に、直後・半年後・1年後・1年半後の4時点を集計し、日数を反映して1：25：26：52の比率で加重平均して適用した。
- ・算出した通行困難率を適用してモンテカルロシミュレーションにより通行困難リンクを設定。
- ・強靱化対策後ケースでは、緊急輸送道路の無電柱化による効果をリンク毎に
「基本通行困難確率」×「補正係数1」×「補正係数2」
で通行困難確率を設定。

1. 基本通行困難確率（上述）

東日本大震災時プローブデータの震度別・種別別の通行困難発生率

2. 補正係数1 対象：市街地のリンク

$$\text{「補正係数1」} = (\text{緊急輸送道路率} \times (1 - (\text{将来無電柱化率} - \text{現状無電柱化率})) + (1 - \text{緊急輸送道路率}))$$

3. 補正係数2 対象：橋梁のあるリンク

$$\text{「補正係数2」} = 1 - (\text{将来橋梁耐震化率} - \text{現況橋梁耐震化率})$$

- ・津波（洪水）の被害は、「国土数値情報 津波浸水想定データ」に基づいて「浸水エリア」の道路は使用不可と考える（不使用期間は、過去の経験に基づいて設定）。津波浸水エリアの面積比率を乗じてMを低減させる。対象ハザードは「南海トラフ地震」のL2とする。

⁷⁾ 国土技術政策総合研究所：大規模災害発生時の通行不能区間把握に関する基礎調査業務報告書, 2017.

⑦ 災害時の「Mi」（ゾーン i の”資産量”）の求め方

- ・資本量（被災時に毀損するM）は、地震による震度6以上の地域に対して、阪神・淡路大震災の事例を踏まえて、**26.8%低減**（※**2.（1）②** 参照）すると想定する。
- ・さらに、「津波浸水」が想定される地域には、「地域のメッシュ内浸水道路延長／地域のメッシュ内の道路延長合計」の値（割合）をMの毀損率（26.8%）にさらに上乗せする形で設定。
- ・なお、「津波堤防」による「浸水域の縮減」の考え方については、**2.（5）②**を参照。
- ・同時に、道路が破断され「外部から隔離された沿線資産」は、生産に貢献できない（サプライチェーンの寸断）ためゼロとする。前述の通行困難箇所を経由しないと到達できないメッシュの割合を到達困難メッシュ率として集計し、到達困難メッシュ率をMの毀損率（26.8%）にさらに上乗せすることにより設定。
- ・「旧耐震」の建築物を全て「新耐震」化することを行えば、Mの毀損率が縮小すると想定する。その縮小率については、**2.（5）③**を参照。

(4) T i j (生活圏間所要時間) の算出結果

① 災害時における道路破断の想定

大規模災害発生時には、異常把握に時間を要し、また車両通行実績は提供されるが、所要時間については提供されていない。本業務は、今後 ETC2.0 プローブ情報を活用した大規模災害発生時の通行不能区間等を考慮した所要時間の提供に向けた検討の基礎資料を得るため、災害時における通行不能区間率(破断率)の算出を行うものである。

東日本大震災等の大規模災害について、震災前に車両が通行可能だった区間に対する災害後に車両が通行不能となった区間の割合(通行不能区間率:破断率)を算出する。

なお、区間ごとの通行の可否については、プローブデータを用い DRM リンクごとに、プローブデータが存在する区間については通行可能、プローブデータが存在しない区間については通行不能と判定して算出する。また、災害発生直後を含む5期間で判定する。

通行不能区間率は、震度ランク別にエリアを区分し、道路種別毎(NEXCO・直轄国道・補助国道・都道府県道・市町村道以下)に対象エリアの延長ベースで算出する。

なお、破断率は、国土交通省国土技術政策総合研究所、大規模災害発生時の通行不能区間把握に関する基礎調査業務報告書、平成29年10月に記載される算定方法を活用した。

具体的には、東日本大震災時のプローブデータを用いて、DRM リンクごとに、プローブデータが存在する区間については通行可能、プローブデータが存在しない区間については通行不能と判定して算出した。通行可能/不能の判定は災害発生直後・半年後・1年後・1年半後の4期間で実施し、直後は24時間、その他の期間は1週間の間にプローブデータが存在しなかった場合を通行不能と判定した。この結果を用いて、道路種別(NEXCO、直轄国道、補助国道、都道府県道、市町村道以下)に通行不能延長/全延長により期間別・道路種別の破断率を算出した。この期間別・道路種別の破断率を期間の長さによって過重平均することにより、道路種別の破断率を算出した。この道路種別の破断率を用いて、南海トラフ地震および首都直下地震が発生時の DRM リンク別の破断状況をモンテカルロシミュレーションにより設定した。具体的には DRM リンク毎に1~0の乱数を発生させて、乱数が破断率を下回った場合は破断し、上回った場合は破断しないものとして設定した。

② 道路破断の設定

(ア) 南海トラフ地震

以上の設定を踏まえ、南海トラフ地震の道路破断箇所を下図に図示する。対策なしの破断箇所（赤）が対策あり（青）よりも広範囲に及んでいることが分かる（なお、下記の分析では、**2. (5) ①ア**）に示した将来道路網図を想定している）。

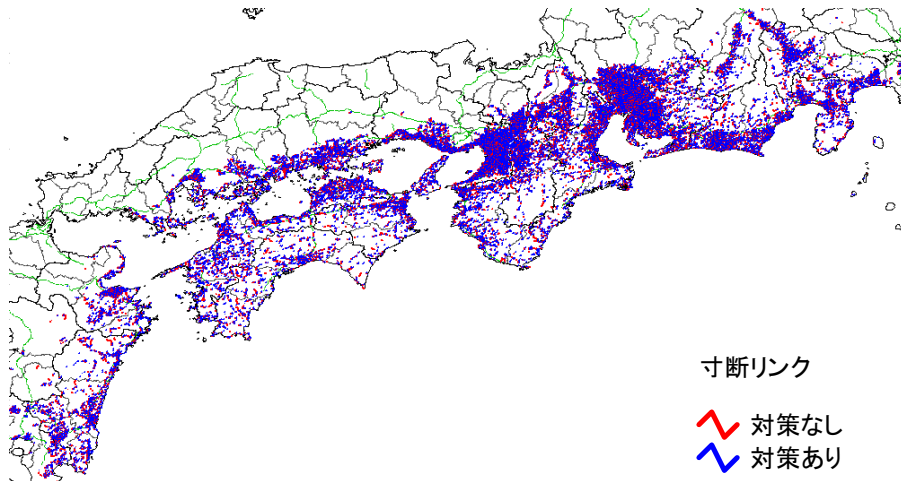


図 14 南海トラフ地震の破断箇所

(イ) 首都直下型地震

以上の設定を踏まえ、首都直下型地震の道路破断箇所を下図に図示する。対策なしの破断箇所（赤）が対策あり（青）よりも広範囲に及んでいることが分かる。

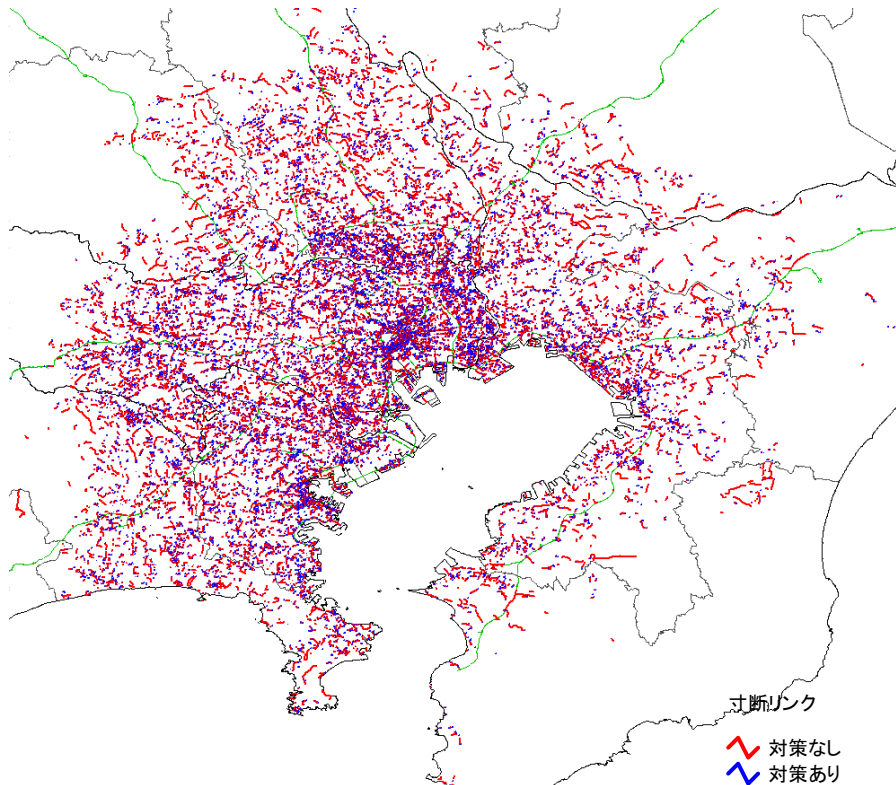


図 15 首都直下型地震の破断箇所

③ 破断率

(ア) 南海トラフ地震における生活圏別の破断率

南海トラフ地震の震度6以上の地域で一般道路の破断率を算定した。破断率は、生活圏内の一般道路延長のうち破断される道路延長の割合を示した指標である。太平洋沿岸部の被災想定エリアで高い破断率を示している。

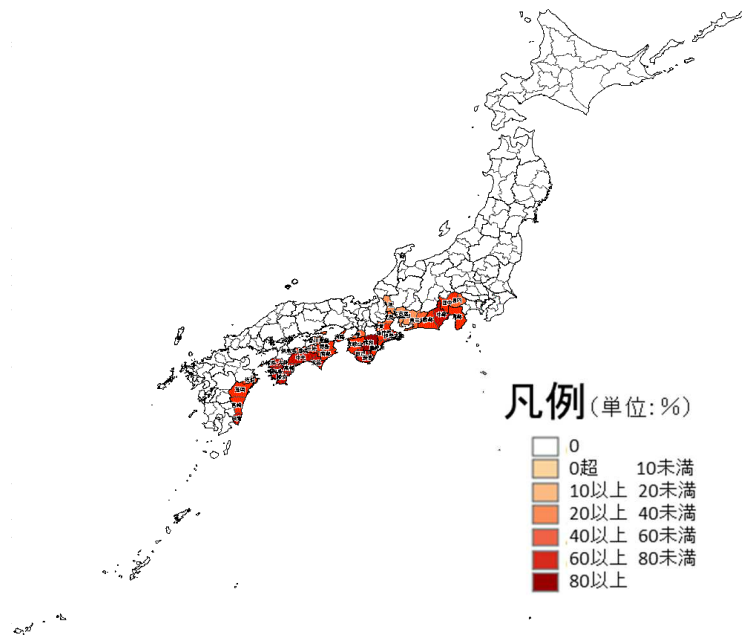


図16 南海トラフ地震の破断率(災害時)

一般道路の対策により南海トラフ地震の震度6以上の地域において、破断率は改善している。

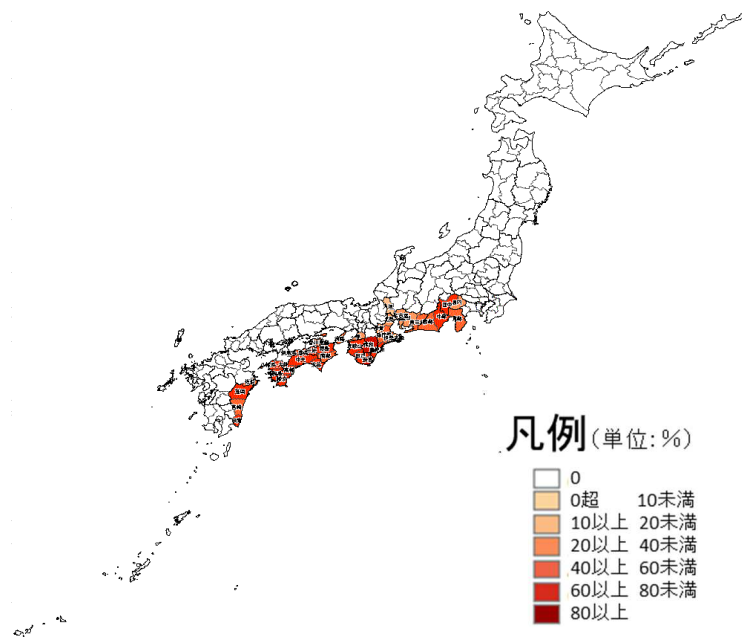


図17 南海トラフ地震の破断率(災害時(対策あり))

(イ) 首都直下型地震における生活圏別の破断率

首都直下型地震の震度6以上の地域で一般道路の破断率を算定した。破断率は、生活圏内の一般道路延長のうち破断される道路延長の割合を示した指標である。首都圏における被災想定エリアで高い破断率を示している。

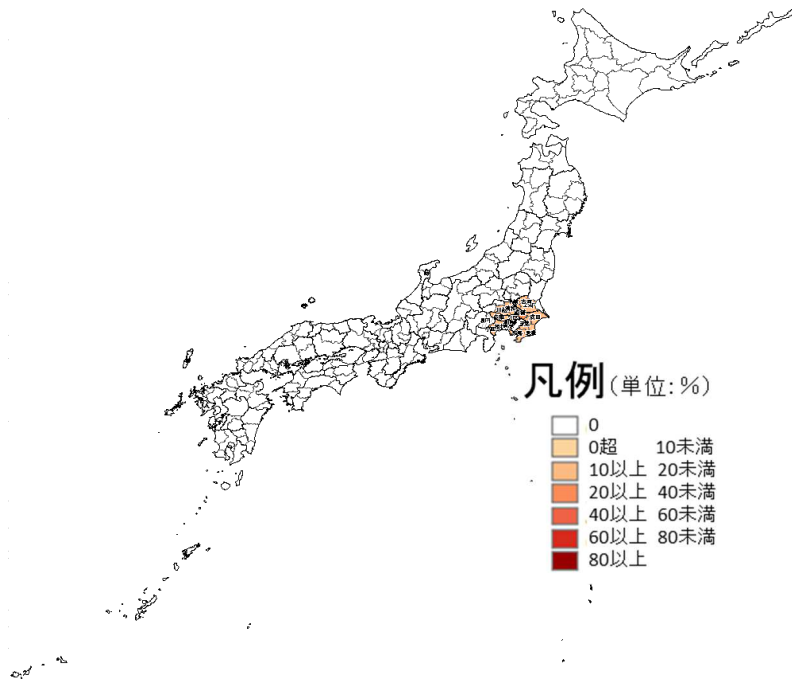


図18 首都直下型地震の破断率 (災害時)

一般道路の対策により首都直下型地震の震度6以上の地域において、破断率は改善している。

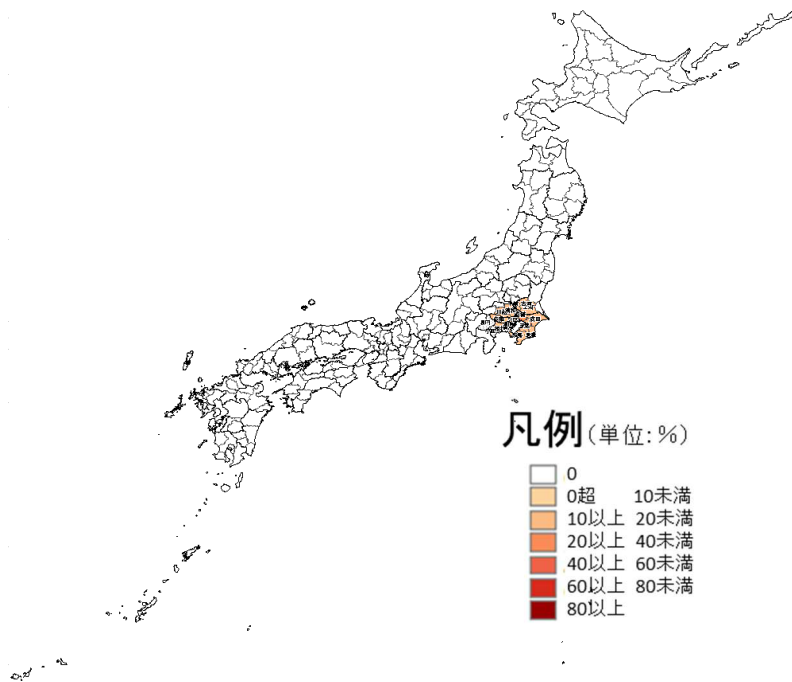


図19 首都直下型地震の破断率 (災害時 (対策あり))

④ 到達不能地域・通行困難率

南海トラフ地震の被災地域を 1km メッシュに区分し、最寄りの高速道路インターから破断リンクが通行不能な場合に到達可能か否かを算定した。生活圈別に到達不能地域(メッシュ)の割合(孤立率)を算出し、生活圈単位で平均したところ、南海トラフ地震の発生後2年間の孤立率は約5割となった。

これは地震発生後の2年間の平均において、半数の地域に自動車で到達できない事を意味している。地震発生直後ならまだしも、2年間の平均で到達できないという算定結果は、東日本大震災後の状況と大きな乖離があり、破断率が高すぎると言わざるを得ない。

破断率が高すぎる要因を考察すると、本検討における到達可能/不能の判定はプローブデータが存在するか否かで判定しているが、プローブデータはサンプルデータであるため、プローブデータが存在しなくても通行可能であったものと考えられる。

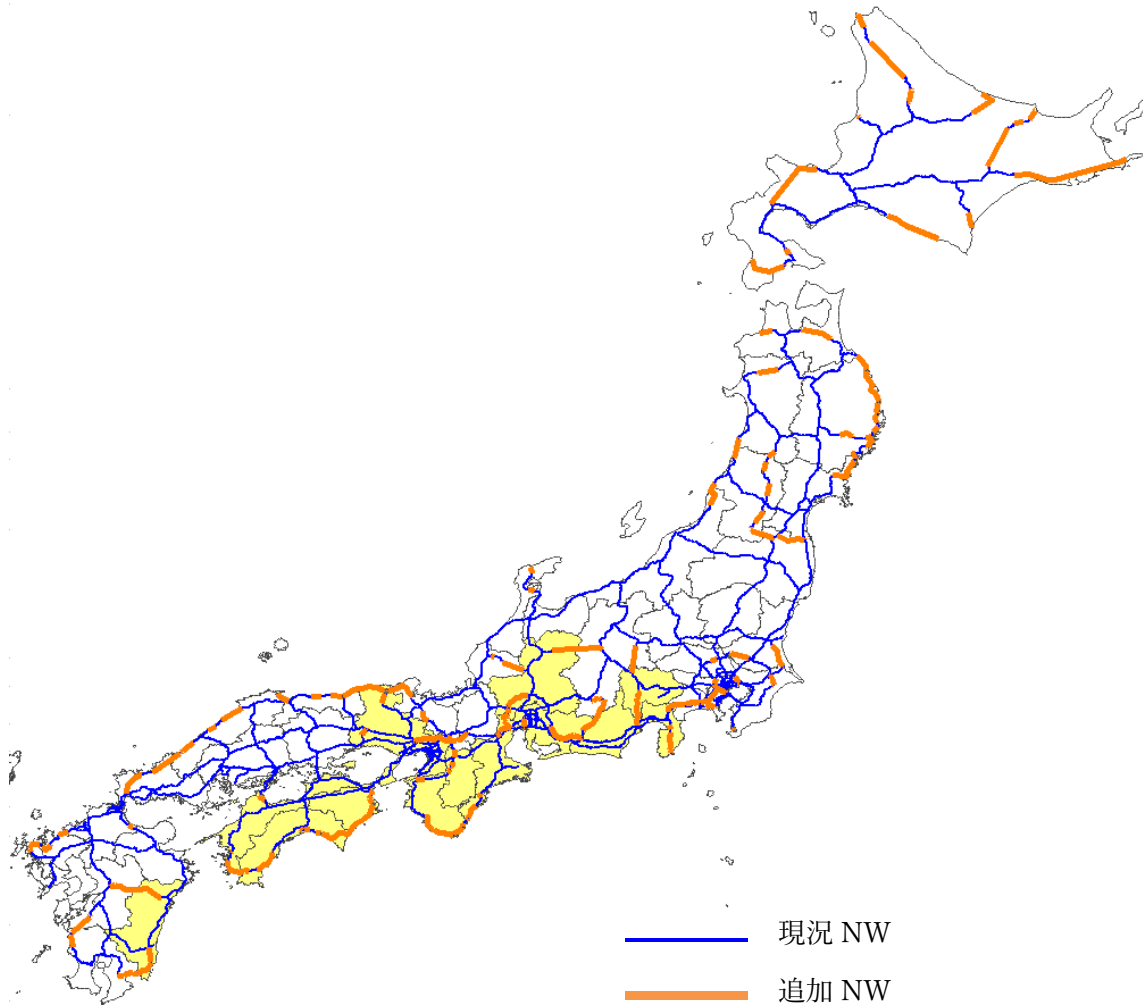
このため、破断と判定されたリンクも全く通行不能ではなく、通行が困難に陥ったものと解釈することとした。具体的には、破断と判定されたリンクは歩行速度並の徐行であれば通行できたものと考えて時速4km/hと設定し、メッシュから最寄りICまでの所要時間を算定した。

(5) 各強靱化対策の経済被害軽減推計方法、および事業費の推計方法

① 道路の強靱化対策の内容とその計量化方法

(ア) 高規格幹線道路網の整備をする

- ・ 下記の高規格幹線道路網図における「追加NW」という形で示した区間を整備すると想定。なお、この整備想定は、現在公表されている国土交通省の「全国路線図」⁸⁾をもとに設定した。
- ・ これにより、被災地と非被災地とのアクセス性を高め、被災後の被災地の道路アクセシビリティを高め、経済被害の最小化を図ると同時に、被災直後の迅速な救護救援を可能とし、失われる死者数を縮小する。あわせて、地方活性化を果たし、人口分散化を促して国土利用それ自身を強靱化し、被害軽減を図る。



※追加NW（ネットワーク）として約 3000 キロを想定。結果、現況および追加NW併せて約 14000 キロとなる。

図 20 将来道路網の設定

⁸⁾ 国土交通省：平成 30 年度道路関係予算概要, 2018. (<http://www.mlit.go.jp/common/001218546.pdf>)

<高規格幹線道路整備の事業費>

高規格幹線道路の整備（現時点における未完成区間 3,000km）に要する事業費は、「整備延長×km あたり単価」によって算出した。

ここで、事業費の km あたり単価は車線数によって異なることが想定されるため、2 車線区間と 4 車線区間にわけて設定することとした。平成 27 年度及び平成 28 年度に実施された事後評価事例の中から高規格幹線道路を抽出し、その事業費を整理した（※ここでの事業費は現在価値を用いている）。これをみると、2 車線区間の平均単価は 47.3 億円/km となっている。2 車線区間の個別路線ごとの単価は 43.4～53.9 億円/km となっており、平均単価との乖離はほとんどみられない。4 車線区間は近畿道名古屋亀山線（名二環）の 1 事例のみであるが、未完成区間のうち 4 車線区間は大都市圏内に位置する約 80km であり、用地費が相対的に安い地方部は含まれていない。以上を踏まえて、4 車線区間については 199.6 億円/km を単価として採用した。

表 9 高規格幹線道路の整備に用いる単価の算定

Seq	路線名	区間	車線数	延長 (km)	事業費 (億円)	単価 (億円/km)
1	日本海沿岸東北道	温海～鶴岡	2	25.8	1390	53.9
2	四国横断道	宇和島北 ～西予宇和	2	16.3	707	43.4
3	日本海沿岸東北道	荒川～朝日	2	20.4	917	45.0
4	近畿道名古屋亀山線	名古屋南 JCT ～上社 JCT	4	15	2,994	199.6
5	四国横断道阿南四万十線	須崎新荘～窪川	2	21.8	971	44.5
2 車線区間平均			2	-	-	47.3
4 車線区間平均			4	-	-	199.6

※延長、事業費は国土交通省の Web サイトで公開されている H27 及び H28 の事後評価結果より引用

上述の単価を用いて、本推計で対象とした高規格幹線道路の未完成区間 3,000km（都市部で整備すると想定される 4 車線区間を約 80km、残りは 2 車線区間で整備すると想定）の事業費を算出（推計）した。事業費の合計は 15.4 兆円であり、その内訳は 4 車線以上の区間が 1.6 兆円、2 車線区間が 13.8 兆円である。

また、将来道路網の追加整備区間の内、南海トラフ地震、および、首都直下地震の想定被災エリアの延長はそれぞれ 750km、220km であり、その総延長から両地震の被災エリアの事業費を求めると、それぞれ 3.9 兆円と 1.1 兆円となる。

表 10 将来道路網における高規格幹線道路の整備に要する事業費（推計値）

対象	車線数	整備量 (km)	単価 (億円/km)	事業費 (兆円)
全国	4車線以上	80	199.6	1.6
	2車線	2,920	47.3	13.8
	合計	3,000	—	15.4
南海トラフ	—	—	—	3.8
首都直下	—	—	—	1.1

(イ) 被災地における道路を「強靱化」する

（橋梁をL2外力があっても破断しないように耐震補強し、沿線の電柱を地中化する）

- ・現状、緊急輸送道路上の橋梁の耐震化率 75 % (H25)、政府は今、H32 に 81 % を目指しているが、これが 100% になったと想定する。
- ・現状、市街地等の幹線道路の無電柱化率 16 % (H25)、政府は今、H32 に 20 % を目指しているが、これが 100% になったと想定する。
- ・以上に加えて、被災地における橋梁も、強靱化する。
- ・これらを通して、被災地のネットワークを強靱化し、被災後の被災地の道路アクセシビリティを高め、経済被害の最小化を図る。同時に、被災直後の迅速な救護救援を可能とし、失われる死者数を縮小する。

<橋梁耐震化の事業費>

橋梁を L2 外力があっても破断しないように耐震補強するために要する事業費は、「耐震化されていない橋梁数×1 橋あたりの単価」によって算出した。

耐震化されていない橋梁数は、首都直下・南海トラフそれぞれの被災地における全橋梁数×(1-耐震化率)によって算定する。本推計で用いた道路ネットワークは、リンク内の橋梁の有無に関する情報を有しているため、ここでは橋梁有りのリンク数=橋梁数と見做した。耐震化率については、国土交通省によって緊急輸送道路の値が公表されている⁹⁾。これに拠れば、道路種別別の耐震化率は国管理で 81%、都道府県管理と政令市管理で 78%、市町村管理で 65%となっている。緊急輸送道路に占める市町村管理道路の割合は低いと考えられることから、本推計では耐震化率を 80%と仮定した。この耐震化率は緊急輸送道路を対象としたものであり、緊急輸送道路以外の一般道路についての値は公表された数値が存在しない。本推計は生活圏を基本単位としており、ネットワークも生活圏間の移動に用いられる都道府県・政令市管轄以上の道路を主たる対象として構成している。従って、緊急輸送道路以外の一般道路についても耐震化率は緊急輸送道路と同等であると考え、80%と仮定した。以上の考え方に基づいて算

⁹⁾ 国土交通省：緊急輸送道路上の橋梁の耐震補強進捗率, 2017. (http://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/img/r3_1.pdf)

出した耐震化されていない橋梁数を表 12 に示す。

表 11 緊急輸送道路の耐震化率（平成 29 年 3 月末時点）

道路管理者	進捗率
高速道路会社管理	73%
国管理	81%
都道府県管理	78%
政令市管理	78%
市町村管理	65%
計	77%

表 12 耐震化されていない橋梁数

項目	首都直下	南海トラフ	重複分
A：橋梁数（＝橋梁フラグのあるリンク数）	150,175	468,510	4,825
B：耐震化率	0.80	0.80	0.80
C：耐震化されていない橋梁数（＝A×(1-B)）	30,035	93,702	965
うち、緊急輸送道路の橋梁数	7,101	24,731	228
うち、緊急輸送道路以外の橋梁数	22,934	68,971	737

橋梁の耐震化に要する事業費は当然ながら橋長によって異なると考えられる。しかしながら、前述のとおり、本推計で用いた道路ネットワークは、リンク内の橋梁の有無に関する情報は有しているが、橋長に関する情報は含まれていない。以上を踏まえて、単価は 1 橋あたりの耐震化に要する事業費として設定することとした。具体的には、表 13 に示す社会資本総合整備計画の事前評価書において橋梁ごとの耐震化事業費が公表されている愛知県の資料¹⁰⁾をもとに単価を設定した。緊急輸送道路については、大河川を跨ぐ橋長の長い橋梁から中小河川を跨ぐ橋長の短い橋梁まで全てが含まれると考えて表-5 に示す全橋梁の平均値を、緊急輸送道路以外に関しては中小河川を跨ぐ橋長の短い橋梁が主となると想定して表 13 に示す橋長 50m 未満の橋梁の平均値を単価とした（表 14 参照）。

¹⁰⁾ 愛知県：社会資本総合整備計画について、2018. (<http://www.pref.aichi.jp/soshiki/douroji/0000083252.html>)

表 13 耐震化事業の単価算出に用いた橋梁及び事業費一覧

道路種別	路線名	延長(m)	橋長ランク	市町村名	事業費(億円)
(主)	春日井長久手線・下志段味橋	202	200m以上	春日井市・名古屋市	10.0
(一)	大垣江南線・尾濃大橋	768	200m以上	一宮市・岐阜県	20.0
(主)	春日井稲沢線・稲沢跨線橋	336	200m以上	稲沢市	7.0
(主)	大垣一宮線・濃尾跨線橋	259	200m以上	一宮市・岐阜県	6.0
(主)	名古屋碧南線・石ヶ瀬跨線橋	96	50m以上100m未満	大府市	0.8
(主)	名古屋岡崎線・日名橋	381	200m以上	岡崎市	11.4
(主)	岡崎碧南線・棚尾橋	442	200m以上	碧南市・西尾市	3.0
(国)	301号・新城橋	170	100m以上200m未満	新城市	0.4
(一)	能登瀬新城線・湯谷大橋	89	50m以上100m未満	新城市	0.2
(国)	155号・萩原跨線橋	192	100m以上200m未満	一宮市	3.0
(一)	犬山自然公園線・善師野高架橋	268	200m以上	犬山市	3.0
(一)	犬山自然公園線・今井高架橋	246	200m以上	犬山市	3.0
(一)	犬山自然公園線・奥雑木洞橋	100	100m以上200m未満	犬山市	2.4
(主)	蟹江飛島線・新日光川橋(上り線)	228	200m以上	蟹江町	16.2
(主)	西尾知多線・長浦跨線橋	55	50m以上100m未満	知多市	1.4
(一)	富好新田宮崎島羽線・新宮崎橋	48	30m以上50m未満	吉良町	1.5
(国)	247号・明石跨道橋	32	30m以上50m未満	碧南市	1.0
(国)	247号・碧跨道橋	32	30m以上50m未満	碧南市	1.0
(一)	西尾新川港線・常盤橋	57	50m以上100m未満	碧南市	1.5
(一)	豊田環状線・山室橋(下り線)	188	100m以上200m未満	豊田市	4.0
(一)	豊田東郷線・潮見橋	54	50m以上100m未満	みよし市	2.5
(一)	豊橋環状線・福岡高架橋	167	100m以上200m未満	豊橋市	1.3
(国)	247号・小坂井跨線橋	854	200m以上	豊川市	3.0
(主)	国府馬場線・追分跨線橋歩道橋	28	20m以上30m未満	豊川市	0.6
(一)	大山豊橋停車場線・城海津跨線橋歩道橋	56	50m以上100m未満	豊橋市	0.8
(主)	蟹江飛島線・新善太川橋(上り線)	53	50m以上100m未満	蟹江町	3.2
(主)	蟹江飛島線・新善太川橋(下り線)	53	50m以上100m未満	蟹江町	3.2
(主)	蟹江飛島線・新宝川橋(上り線)	77	50m以上100m未満	弥富市	7.0
(国)	155号・新日長橋	99	50m以上100m未満	知多市	1.8
(国)	247号・新大田橋(上り線)	115	100m以上200m未満	東海市	2.0
(国)	247号・新大田橋(下り線)	115	100m以上200m未満	東海市	2.0
(国)	247号・千鳥橋(上り)	180	100m以上200m未満	東海市	1.3
(一)	碧南半田常滑線・東雲橋	63	50m以上100m未満	半田市	1.6
(国)	247号・港新川橋	273	200m以上	碧南市	4.4
(国)	23号・渡津橋	290	200m以上	豊橋市	4.2
(国)	23号・前芝大橋	153	100m以上200m未満	小坂井町	4.2
(国)	23号・浜田橋	60	50m以上100m未満	豊橋市	2.1
(国)	23号・永久橋(上り線)	102	100m以上200m未満	豊川市	1.0
(国)	23号・永久橋(下り線)	102	100m以上200m未満	豊川市	1.0
(国)	23号・塚橋	19	15m以上20m未満	豊川市	1.0
(国)	259号・立川橋	21	20m以上30m未満	田原市	1.2
(国)	259号・汐川橋	48	30m以上50m未満	田原市	1.2
(主)	豊橋渥美線・紙田川橋(下り)	150	100m以上200m未満	豊橋市	2.2

表 14 耐震化事業の単価

道路区分	A：橋数	B：総事業費(億円)	C：単価(B/A)(百万円/橋)	備考
緊急輸送道路	43	149.5	348	全橋梁の平均値
それ以外の道路	7	7.5	107	橋長 50m 未満の平均値

以上より、橋梁の耐震化に要する事業は、首都直下の場合で 4.93 兆円、南海トラフの場合で 15.99 兆円と算定された（表 15 参照）。

表 15 橋梁耐震化に要する事業費

対象	車線数	整備量 (橋)	単価 (百万円/橋)	事業費 (兆円)
首都直下	緊急輸送道路	7,101	348	2.47
	それ以外の道路	22,934	107	2.45
	合計	30,035	-	4.93
南海トラフ	緊急輸送道路	24,731	348	8.61
	それ以外の道路	68,971	107	7.38
	合計	93,702	-	15.99
(重複分)	緊急輸送道路	228	348	0.08
	それ以外の道路	737	107	0.08
	合計	965	-	0.16

以上に求めた事業費に基づくと、道路対策の総事業費は下表のようになる。

表 16 道路に関する層事業費

	事業費(兆円) 首都直下	事業費(兆円) 南海トラフ	事業費(兆円) うち重複	事業費(兆円) 計
全国の高規格道路の整備費用	15.6	15.6	15.6	15.6
被災エリアの高規格道路の整備費用	1.1	3.8	0.04	4.9
橋梁強靱化	4.9	16.0	0.2	20.8
総事業費(全国整備の場合)	20.5	31.5	15.7	36.3
総事業費(被災エリアのみ整備した場合)	6.0	19.8	0.2	25.6

② 海岸堤防対策の内容とその計量化方法

○レジリエンスランク A・海岸堤防対策

- ・南海トラフ巨大地震で想定されている地域及び三大湾において、海岸堤防等の L1 高潮・津波対応の嵩上げ、L1 耐震化を行う。
- ・この取り組みにより、浸水域が 76%にまで縮減できる、すなわち、縮減率が 24%となる、という結果が示されている¹¹⁾ (整備前後で L 2 津波の浸水面積が 3,300ha から 2,500ha に減少しているため、 $2,500 / 3,300 = 0.758 \div 76\%$)。ついては、この縮減率で、浸水域が縮小すると想定し、SCGE モデルにおける各エリアの資産量の津波による毀損量を縮減させて、計算を行うこととした。同様に、津波による死者数も、この縮減率に比例して縮小すると想定し、推計した。

○レジリエンスランク S・海岸堤防対策

- ・南海トラフ巨大地震で想定されている地域及び三大湾において、上記の対策に加えて海岸堤防等の粘り強い化、L2 耐震化を行う。
- ・全国自治体にて、この対策を行った場合の、浸水域の縮減率が推計されている。その結果を、下記表にとりまとめる。この表に示した各自治体での整備後の浸水面積の推計値平均が、「48%」になる結果となった (すなわち、浸水面積縮減率が 52%)。ついては、この縮減率で、浸水域が縮小すると想定し、SCGE モデルにおける各エリアの資産量の津波による毀損量を縮減させて、計算を行うこととした。同様に、津波による死者数も、この縮減率に比例して縮小すると想定し、推計した。

表 17 浸水面積減少率

堤防の嵩上げ・粘り強い化等によるL2津波の浸水面積減少率

分類	No.	海岸／地域名	L2津波に対する減災効果 (整備後の浸水面積／整備前の浸水面積)	想定外力	整備内容	Without時(整備前)		With時(整備後)		出典	URL
						浸水面積 (ha)	越流後の堤防の状況	浸水面積 (ha)	越流後の堤防の状況		
評直備替資料業	1	和歌山下津港海岸	62%	南海トラフ巨大地震	・嵩上げ ・粘り強い化※	450	越流と同時に全壊※	281	倒壊しない※	和歌山下津港海岸直轄保全施設整備事業(再評価)平成27年3月 近畿地方整備局	https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/zigyohyoka/pdf/2014-05/1-4.pdf
地方自治体公表資料	2	静岡県	47%	南海トラフ巨大地震	・嵩上げ ・液状化対策 ・粘り強い化	16,390	越流と同時に全壊	7,710	倒壊しない	レベル1津波対策の施設整備による減災効果平成29年3月 静岡県	http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-320/documents/201703kensai1.pdf
	3	大阪府	48%	南海トラフ巨大地震	・嵩上げ※ ・液状化対策 ・粘り強い化	11,000	越流と同時に全壊※	5,300	倒壊しない※	大阪府都市整備部地震防災アクションプログラム平成27年3月 大阪府	http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/5818/00000000/Action_program.pdf
	4	兵庫県	35%	南海トラフ巨大地震	・嵩上げ ・液状化対策 ・粘り強い化	6,141	越流と同時に全壊※	2,142	倒壊しない※	南海トラフ地震・津波対策アクションプログラム平成27年6月 兵庫県	https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk37/documents/h270722nantora-actionprogram.pdf
			平均	48%							※海岸管理者・地方整備局へのヒアリング (出典には明記されていない)

¹¹⁾ 高知県国土交通省四国地方整備局：高知港における地震・津波防護対策の最終とりまとめ，2016。

(<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/175001/2016062400137.html>)

③ 建築物対策の内容とその計量化方法

現存する「旧耐震規準」で作られた全ての建築物（住宅・非住宅）を、「新耐震基準」に変える。

- ・現状、「住宅」の耐震化の進捗状況は82%（H25）、政府は今、H32に95%を目指している（図表1）が、これが100%になったと想定する。
- ・現状、「非住宅」の耐震化の進捗状況は85%（H25）、政府は今、H32に95%を目指している（図表2）が、これが100%になったと想定する。

1) 改正耐震改修促進法の施行状況（平成25年2月第一次答申）

国土交通省

住宅の耐震化の進捗状況

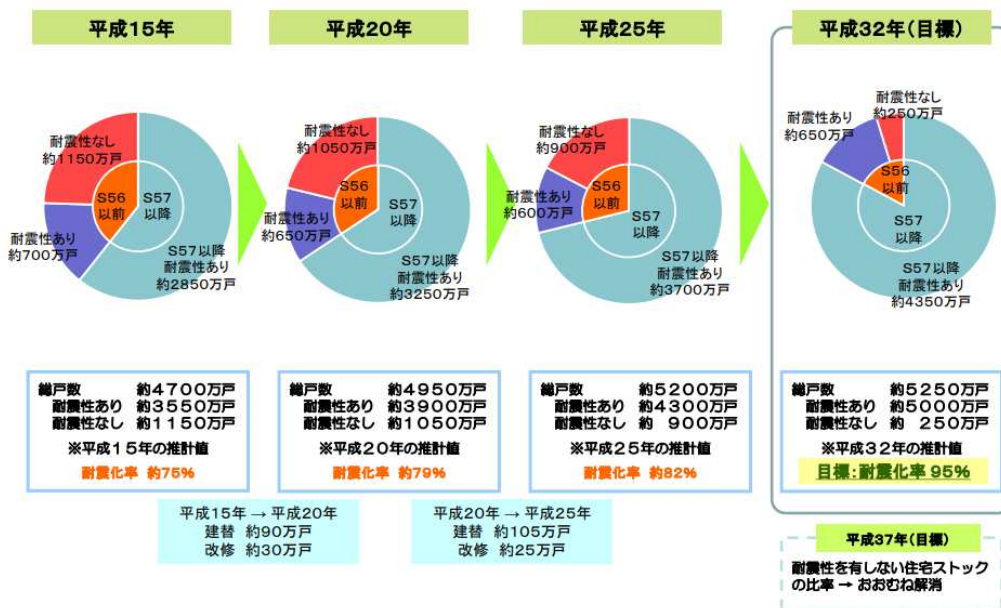


図 21 「住宅」の耐震化率¹²⁾

¹²⁾ 国交省：建設行政に係る最近の動向, 2017. (<http://www.mlit.go.jp/common/001205303.pdf>)

多数の者が利用する建築物の耐震化の進捗状況

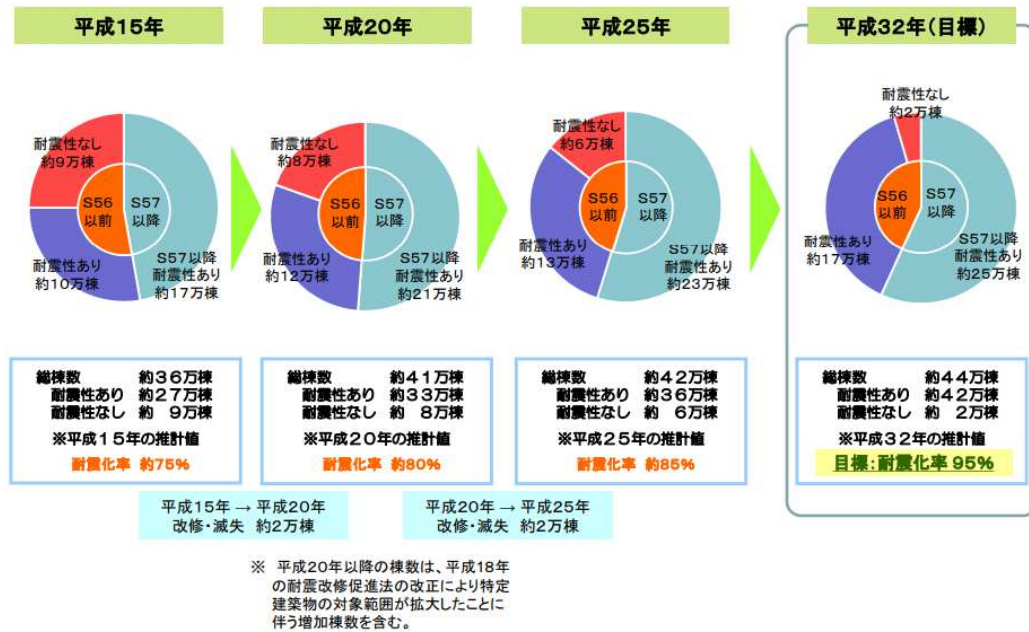


図22 「非住宅」の耐震化率¹²⁾

「住宅」「非住宅」を、強靱化対策によって、耐震化率を100%にすると、Mの被害がどれくらい減少するかを図23の被害率を用いて推計。

<住宅>

耐震化率 「82%」のとき

$$(\text{被害を受ける建物の確率}) = (100 - 82)\% \times 75.5\% + 82\% \times 31.1\% = 39.1\%$$

耐震化率 「100%」のとき

$$(\text{被害を受ける建物の確率}) = (100 - 100)\% \times 75.5\% + 100\% \times 31.1\% = 31.1\%$$

つまり、耐震化によって、「住宅」の建物崩壊による被害が

$$100\% - 31.1\% \div 39.1\% = \text{「20.5%」減少する。}$$

<非住宅>

耐震化率 「85%」のとき

$$(\text{被害を受ける建物の確率}) = (100 - 85)\% \times 54.0\% + 85\% \times 23.6\% = 28.2\%$$

耐震化率 「100%」のとき

$$(\text{被害を受ける建物の確率}) = (100 - 100)\% \times 54.0\% + 100\% \times 23.6\% = 23.6\%$$

つまり、耐震化によって、「非住宅」の建物崩壊による被害が

$$100\% - 23.6\% \div 28.2\% = \text{「16.3%」減少する。}$$

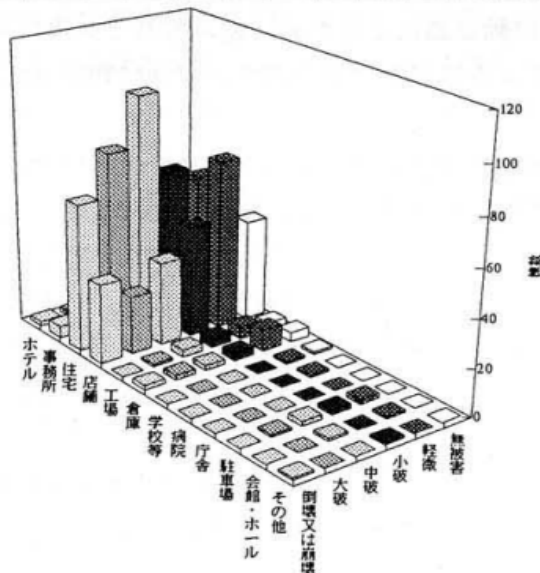
よって「住宅」「非住宅」の建物崩壊による被害（工事受注高（億円）により重みづけ）は
 $20.5\% \times 55657 \div (55657 + 100891) + 16.3\% \times 100891 \div (55657 + 100891)$

= 「17.79%」減少する。

表2.2.4.9 用途と被害状況との関係（昭和56年以前）

(単位:棟)

被害度 ランク	用途													
	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)		
倒壊又は崩壊	2	5	62	33	0	2	0	0	0	0	0	0	1	
大破	2	7	80	24	1	2	0	0	0	1	0	0	0	
中破	0	9	101	35	3	2	0	0	0	2	1	0	0	
小破	0	12	66	47	4	3	0	0	0	2	0	1	0	
軽微	0	17	61	72	5	9	1	1	0	2	1	0	0	
無被害	0	12	34	8.4	43	16.9	3	18.8	4	18.2	1	50.0	0	
総計	4	62	404	254	16	22	2	1	0	7	2	2	0	



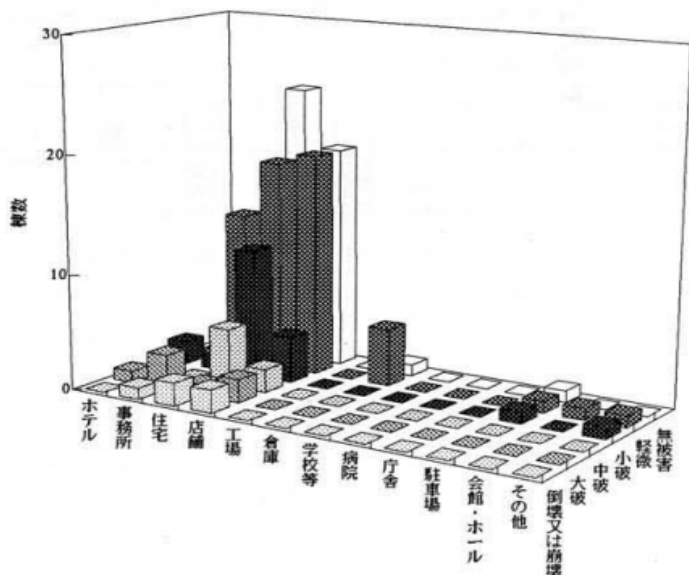
用途別建築棟数の内訳

建物用途	棟数	(%)
ホテル	4	0.5
事務所	62	8.0
住宅	404	52.1
店舗	254	32.7
工場	16	2.1
倉庫	22	2.8
学校等	2	0.3
病院	1	0.1
庁舎	0	0.0
駐車場	7	0.9
会館・ホール	2	0.3
その他	2	0.3

表2.2.4.10 用途と被害状況との関係（昭和57年以降）

(単位:棟)

被害度 ランク	用途													
	ホテル (%)	事務所 (%)	住宅 (%)	店舗 (%)	工場 (%)	倉庫 (%)	学校等 (%)	病院 (%)	庁舎 (%)	駐車場 (%)	会館・ホール (%)	その他 (%)		
倒壊又は崩壊	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
大破	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
中破	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
小破	2	1	11	4	0	0	0	0	0	1	1	0	1	
軽微	0	13	18	19	0	5	0	0	0	1	1	100.0	0	
無被害	0	8	24	19	0	1	0	0	0	1	1	33.3	0	
総計	3	26	61	48	0	6	0	0	0	3	1	100.0	2	



用途別建築棟数の内訳

建物用途	棟数	(%)
ホテル	3	2.0
事務所	26	17.3
住宅	61	40.7
店舗	48	32.0
工場	0	0.0
倉庫	6	4.0
学校等	0	0.0
病院	0	0.0
庁舎	0	0.0
駐車場	3	2.0
会館・ホール	1	0.7
その他	2	1.3

図23 「住宅」・「非住宅」の地震による被害率¹³⁾

¹³⁾ 建築震災調査委員会：平成7年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会中間報告，1995. (<http://www.lib.kobe-u.ac.jp/directory/eqb/book/11-43/index.html>)

全ての建築物を新耐震基準に変えることで、建物倒壊による資産毀損を 17.79%軽減し、同時に、建物倒壊による死者数を 17.79%縮小する。

<参考情報：耐震化の事業費>

- ・建築物の耐震化は基本的には民間投資であるが、その投資額は、以下の様に推計される。すなわち、**耐震化 100%のための投資額**（耐震性なしの建物をすべて耐震化工事するための投資額）は、住宅、非住宅のそれぞれで次のように推計される。

「住宅」

$$900 \text{ 万戸 (図 21)} \times 200 \text{ 万円/戸}^{14)} = 18 \text{ 兆円}$$

「非住宅」

$$6 \text{ 万棟 (図 22)} \times 2444 \text{ 万円/棟}^{15)} = 1.47 \text{ 兆円}$$

$$18 \text{ 兆円} + 1.47 \text{ 兆円} = \underline{\underline{\text{「19.47 兆円」}}}$$

¹⁴⁾ 国土交通省：住宅・建築物の耐震化の促進, 2011. (<http://www.mlit.go.jp/common/000206274.pdf>)

¹⁵⁾ 国土交通省：建築物リフォーム・リニューアル調査報告, 2016. (http://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000694.html)

(6) GDP^(After)の推計方法

阪神・淡路大震災の災害時のデータより、回復率を推定し、下式により算出する。

$$GDP_i^{(After)} = GDP_i^{(Before)} \times (100\% - 6.2\%)$$

※6.2%→阪神・淡路大震災データより特定(2.(1)①参照)

<以上の前提に基づく推計結果>

表18 首都直下地震における強靱化対策の経済効果推計

	20年経済効果				直近2年間・経済状況	
	経済被害 の縮小 (経済効果)	(総被害額)	(被害 減少率)	税収縮小 回避(増 税収)効 果	GDP 推計値	(被害額)
震災がない場合	—	—	—	—	522兆円	—
震災が起こった場合 (対策無し)	—	(678兆円)	—	—	434兆円	(89兆円)
道路対策	48兆円	(631兆円)	(7.0%)	+5兆円	440兆円	(82兆円)
道路 &建物耐震対策	218兆円	(461兆円)	(32.1%)	+23兆円	462兆円	(60兆円)

表19 南海トラフ地震における強靱化対策の経済効果推計

	20年経済効果				直近2年間・経済状況	
	経済効果	(総被害額)	(被害 軽減率)	増税収 効果	GDP 推計値	(被害額)
震災がない場合	—	—	—	—	522兆円	—
震災が起こった場合 (対策無し)	—	(1,048兆円)	—	—	386兆円	(137兆円)
道路対策	139兆円	(909兆円)	(13.3%)	+15兆円	403兆円	(119兆円)
津波ランクA対策	41兆円	(1,007兆円)	(3.9%)	+4兆円	393兆円	(129兆円)
津波ランクS対策	88兆円	(960兆円)	(8.4%)	+9兆円	397兆円	(125兆円)
津波ランクS &道路対策	227兆円	(821兆円)	(21.7%)	+24兆円	415兆円	(107兆円)
津波ランクS &道路 &建物耐震対策	408兆円	(640兆円)	(38.9%)	+43兆円	439兆円	(84兆円)

3. 死者数の推計

「死者数」は、内閣府試算¹⁶⁾、¹⁷⁾をベースに、推計する。

「各強靱化対策」の死者数縮減効果は、下記の様に推計。

(1) 「道路強靱化」による死者数の縮減

■基本的認識

阪神・淡路大震災などの地震のケースをベースに、「救援が遅いことで無くなった死者数」の推計値を求め、その数値が、道路強靱化によって迅速に復旧できることで、どれだけ縮小するか、を推計。

■推計方法とその結果

(強靱化により減少する死亡人数) =

$x \times 2192$ (阪神・淡路大震災における被災後5日間における救出されたが死亡していた人数 (図24の黄色部分の合計)) $\div 6432$ (阪神・淡路大震災における総死亡数) $\times y$

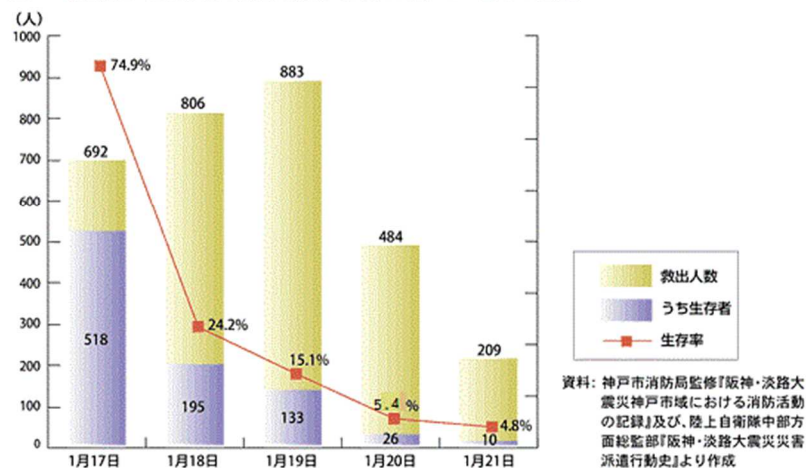
x : 津波被害を除いた死亡人数

y : 「対策なし」から「対策あり」の孤立メッシュ数減少率

2. 早く助けるほど高い生存率

救出者のうち生存者の占める割合について日を追って見ると、早く助けるほど生存の確立は高かった。被災当日の1月17日は、救出者の4人に3人は生存していたが、翌18日では、救出者のうち生存していた人は4人に1人しかいなかった。

図2 救出者中の生存者の割合の推移(1月17日~21日の5日間)



倒壊家屋の下敷きになったままで焼死された方も、早く救出できれば助かったかもしれないことが悔やまれるが、救出の人数が足りなかった。

図 24 阪神・淡路大震災の生存率¹⁸⁾

¹⁶⁾ 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），2012.

(http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_higai.pdf)

¹⁷⁾ 中央防災会議：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告），2013.

(http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_siry01.pdf)

¹⁸⁾ 国土交通省：阪神・淡路大震災の経験に学ぶ，2002. (<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/index.html>)

■南海トラフ大地震

$$x=93000$$

$$y=0.2446 \quad (24749 \rightarrow 18695)$$

$$(\text{強靱化により減少する死亡人数}) = 93000 \times 2192 \div 6432 \times 0.2446 = 7752(\text{人})$$

■首都直下大地震

$$x=23000$$

$$y=0.3132 \quad (763 \rightarrow 524)$$

$$(\text{強靱化により減少する死亡人数}) = 23000 \times 2192 \div 6432 \times 0.3132 = 2455(\text{人})$$

(2) 「津波堤防整備」による死者数縮減

津波による死者数が、「堤防整備による、津波浸水域の減少率」(2. (5) ②参照) に応じて縮小すると想定。

(3) 「建築物強靱化」による死者数縮減

「建物倒壊」による死者数が、「建築物強靱化による、資産毀損量の縮減率」(2. (5) ③参照) に応じて縮小すると想定。

(4) 推計結果

表 20 首都直下地震における強靱化対策の経済効果推計

	死者数	死者数縮小効果
震災ケース	23000	0
+道路対策	20545	2455
+道路&建物耐震対策	19527	3473

表 21 南海トラフ地震における強靱化対策の経済効果推計

	死者数	死者数縮小効果
震災ケース	323000	0
+道路対策	315248	7752
+津波対策(ランクA)	267800	55200
+津波対策(ランクS)	203400	119600
+津波(S)&道路対策	195648	127352
+津波(S)&道路&建物耐震対策	182268	140732