

# BCP策定のための地震ハザードマップの作成

## Proposal of Seismic Hazard Map for Business Continuity Plan

○福島 誠一郎<sup>1</sup>, 林 孝幸<sup>2</sup>, 荏本 孝久<sup>3</sup>, 高橋 郁夫<sup>4</sup>, 宮村 正光<sup>5</sup>  
 Sei'ichiro FUKUSHIMA<sup>1</sup>, Takayuki HAYASHI<sup>2</sup>, Takahisa ENOMOTO<sup>3</sup>,  
 Ikuo TAKAHASHI<sup>4</sup> and Masamitsu MIYAMURA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>東電設計(株) 防災グループ

Disaster Reduction Engineering Group, Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

<sup>2</sup>東京海上日動リスクコンサルティング(株) 自然災害リスクグループ

Catastrophe Risk Quantification Group, Tokio Marine & Nichido Risk Consulting Co., Ltd.

<sup>3</sup>神奈川大学 工学部 建築学科

Department of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

<sup>4</sup>清水建設(株) 技術研究所 施設基盤技術センター

Center for Facility Engineering, Institute of Technology, Shimizu Corporation

<sup>5</sup>鹿島建設(株) 小堀研究室

Kobori Research Complex, Kajima Corporation

In drawing up a business continuity plan, it is sometimes difficult to select an adequate scenario earthquake which causes the given ground motion intensity at the site. On the other hand, an existing probabilistic method such as a seismic hazard curve cannot be applied to the portfolio of facilities, since the dominant earthquake for each site may be different. This paper proposes the conditional seismic hazard which is the expectation of the ground motion intensity at the secondary site on the condition that the given ground motion intensity at the primary site occurs. As application, the two areas in Kanto and Kansai districts are employed followed by the conditional seismic hazard maps corresponding to some ground motion intensities at the primary site.

**Key Words :** Business Continuity Plan, Seismic Hazard Map, Conditional Hazard, Spatial Correlation

### 1. はじめに

平成 17 年 8 月, 事業体の減災と災害対応の向上を目的として, 内閣府より「事業継続ガイドライン 第一版」<sup>1)</sup>が示され, これに基づき, 様々な企業や産業団体が各々に適した BCP 策定に動き出した。同ガイドラインでは, まず地震を想定リスクとして特定し, BCP 策定に取り組むことが推奨されており, 事業に影響の大きな地震を選定することが記載されている。

地震の選定においては, 被害の甚大さとその切迫性の観点が必要となるが, 必ずしもこれらを同時に満たすような想定地震が用意できるわけではない。また, 実際は震源が予め特定できない地震が事業に最も影響を及ぼす可能性も残されている。一方, 被害の大きさや発生確率から地震動強度を推定する方法として, 地震調査研究推進本部による確率論的地震動予測地図<sup>2)</sup>の利用も考えられるが, 各評価地点の地震動強度は個別に求められたものであり, サプライチェーンのように事業拠点が面的に存在する場合に適用できない。ただし, 近年では地点間の地震動強度の相関についての研究<sup>例えば 3)</sup>が行われつつあり, 空間相関を考慮した確率論的地震動推定に資するものとなっている。

本研究では, 以上を鑑み, 面的な広がりを持つサプライチェーンを含む施設群を対象とした確率論的地震ハザードマップの作成方法を提案する。さらに, 2つの評価地域を対象に試算を行い, 提案手法の有効性を確認する。

### 2. BCP策定用ハザード評価

事業継続ガイドラインによれば, 当該企業の主要設備に大きな影響を与える地震をまず選定することとなる。

主要設備の地点を「主地点」, 主地点以外の地点を「他地点」と称し, 主地点の地震ハザードに対する条件付地震動ハザードとして他地点の地震ハザードを評価する。

#### (1) 主地点の地震ハザード

地震ハザードは, 地震動強度が所与の値  $a$  を超える年間確率 (年超過確率)  $P(a)$  で表され, 地震発生過程としてポアソン過程を想定した場合には, 次式のように与えられる。

$$P(a) = 1 - \exp[-\nu(a)] \quad (1)$$

$\nu(a)$  は地震動強度が  $a$  を超える年間頻度 (年超過頻度) である。

地震活動域モデルに従い生成された膨大な数の想定地震 (以下, イベント) について求められた地震ハザードの総和として, 主地点の地震ハザードが得られる。これを示すのが次式である。

$$\nu(a) = \sum_{i=1}^N \nu_i p_i(a) = \sum_{i=1}^N \nu_i \Phi \left[ \frac{\ln(\bar{A}_i/a)}{\beta} \right] \quad (2)$$

ここに,

- $\nu_i$  : イベント  $i$  の年発生頻度
- $p_i(a)$  : 地震動強度が  $a$  を超える条件付確率
- $\bar{A}_i$  : イベント  $i$  による地震動強度の中央値
- $\beta$  : 距離減衰式の対数標準偏差
- $\Phi[\cdot]$  : 標準正規分布関数
- $N$  : イベントの総数

である。

#### (2) 他地点の地震ハザード

他地点の地震ハザードを「主地点に所与の地震動強度

が発生した場合に、同一の発生頻度で生じる地震動強度の期待値」と定義する。イベント*i*が発生した場合に所与の地震動強度 *a* が発生する年間頻度  $\lambda_i(a)$  を以下のように与える。

$$\lambda_i(a) = \nu_i \times \left( \Phi \left[ \frac{\ln\{\bar{A}_i / (a - \Delta a)\}}{\beta} \right] - \Phi \left[ \frac{\ln\{\bar{A}_i / (a + \Delta a)\}}{\beta} \right] \right) \quad (3)$$

なお、 $\Delta a$  は地震動強度の刻み幅で、適切に設定する。

地震動強度 *a* と地震動強度の中央値  $\bar{A}_i$  は以下のように関係づけられる。

$$a = \bar{A}_i \times \exp(\alpha\beta) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha$  は中央値からの乖離を表す係数である。

距離減衰式の変動は震源の破壊過程におけるばらつき（地震間のばらつき）と伝播におけるばらつき（地震内のばらつき）に分離される。前者による距離減衰式の対数標準偏差を  $\beta_1$ 、後者による距離減衰式の対数標準偏差を  $\beta_2$  とし、互いに独立であると仮定すると、これらは以下のように関係づけられる。

$$\beta^2 = \beta_1^2 + \beta_2^2 \quad (5)$$

(4)式を  $\beta_1$  と  $\beta_2$  を用いて表すと、

$$a = \bar{A}_i \times \exp(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2) \quad (6)$$

となる。 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  は、前出の  $\alpha$  と同様、中央値からの乖離を表す係数であり、次式のように与える。

$$\alpha_i = \alpha \times \beta_i / \beta, \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

震源の破壊過程におけるばらつきは、主地点及び他地点について共通であると考えられる。これに対し、伝播におけるばらつきは、主地点と他地点の距離に応じた相関を有すると考えられる。これらを踏まえて、イベント *i* による主地点の地震動強度が *a* となるときの他地点の地震動強度  $\tilde{a}_{ji}(a)$  を以下のように定める。

$$\tilde{a}_{ji}(a) = \bar{A}_{ji} \times \exp(\gamma_1\alpha_1\beta_1 + \gamma_2\alpha_2\beta_2) \quad (8)$$

ここに、 $\bar{A}_{ji}$  はイベント *i* によって他地点 *j* に発生する地震動強度の中央値である。

$\gamma_1$  と  $\gamma_2$  は主地点と他地点における距離減衰式の変動の相関を表す係数で、 $\gamma_1 = 1$  であれば完全相関を表し、 $\gamma_1 = 0$  であれば独立を表す。 $\gamma_1 = 0$  では  $\exp(\gamma_1\alpha_1\beta_1) = 1$  となり、変動の中央値が与えられる。本研究では林他<sup>3)</sup>を参照し、次式により  $\gamma_i$  の値を規定した。

$$\gamma_i = \exp(-k_i x^{\delta_i}), \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

ここに、*x* は主地点と他地点の距離（離間距離）、 $k_i$  と  $\delta_i$  は距離による相関の低減度合いを表す係数である。

全イベントによる期待値  $\tilde{a}_j(a)$  は次式で与えられる。

$$\tilde{a}_j(a) = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i(a) \times \tilde{a}_{ji}(a)}{\sum_{i=1}^N \lambda_i(a)} \quad (10)$$

また、地震動強度 *a* が発生する年間頻度  $\lambda(a)$  は次式で与えられる。

$$\lambda(a) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(a) \quad (11)$$

(10)式と(11)式を基に、当該地震動強度と年超過頻度を求め、さらに年超過確率に変換することで、他地点の地震ハザード曲線を求めることができる。

他地点の地震ハザード評価の手順を図1にまとめる。

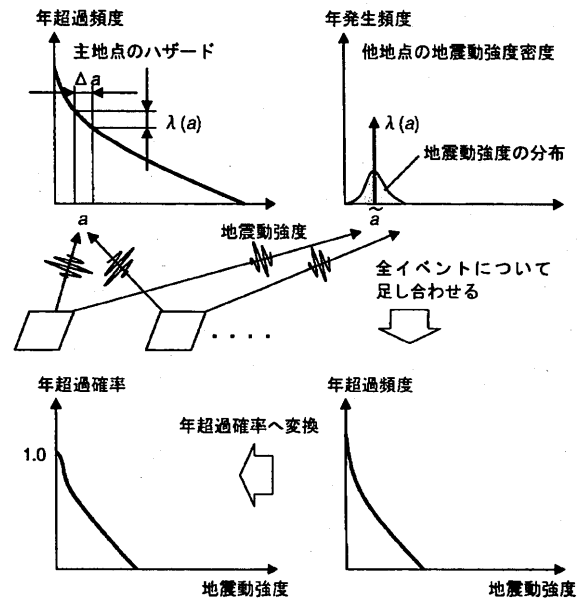


図1 他地点の地震ハザード評価の手順

### 3. 適用試算

#### (1) 対象地域

検討事例として、東西の産業の拠点である関東地域ならびに関西地域を対象に地震ハザードマップを作成する。主地点は東京都庁及び大阪府庁位置とし、主地点を中心とした半径 200km の範囲内に他地点を一様に配置した。主地点と他地点の配置を図2に示す。同図で、●が主地点、○が他地点である。

#### (2) 地震環境

地震環境については Annaka & Yashiro<sup>4)</sup>を参照した。大地震発生活動域は、海域でマグニチュード 7.5 程度以上、陸域でマグニチュード 7.0 以上の地震が繰り返して発生する領域とし、固有地震モデルによりモデル化した。中小地震発生活動域についてはグーテンベルグ・リヒターモデル (*b* 値モデル) を採用し、1885年1月～1997年7月のマグニチュード 6 以上の地震数を求め、それに基づき *b* 値を仮定して *a* 値を求めた。なお、マグニチュード 6 以上の地震が発生していない場合は、1926年1月～1997年7月のマグニチュード 5 以上の地震数に基づいた。

距離減衰式は、安中・他<sup>5)</sup>による最大速度評価式を採用した。距離減衰式のばらつきは、地震動強度の空間相関とも関連することから、前記距離減衰式についてこれらを評価している林・他<sup>6)</sup>を参照し、地震間のばらつきを 0.46 (自然対数)、地震内のばらつきを 0.47 (自然対数) と設定した。空間相関については、地震間のばらつきは完全相関と仮定し、地震内のばらつきは、同文献から、離間距離に応じた相関を与えた。主地点と他地点の離間距離と相関係数の関係を図3に示す。

#### (3) 表層の増幅特性及び計測震度の推定

表層の増幅特性には、地震ハザードステーションの表層地盤増幅率データ<sup>7)</sup>を用いた。また、地表の最大速度から計測震度への変換は、翠川・他<sup>8)</sup>による次式の変換指揮を用いた。

$$I = 2.68 + 1.72 \log PGV \quad (12)$$

ここに、*I* は計測震度、*PGV* は最大速度である。

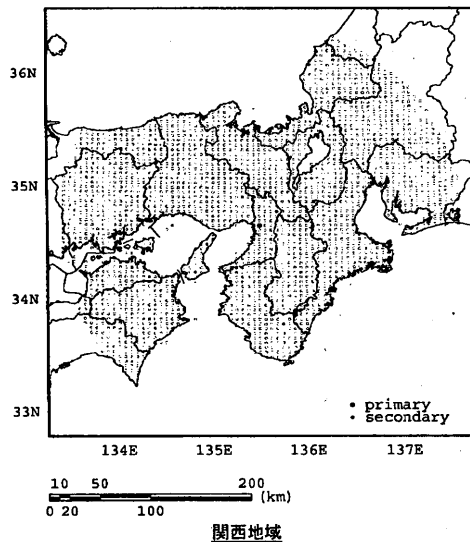
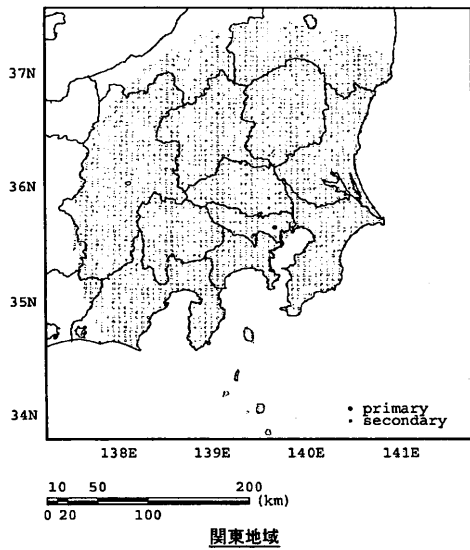


図2 地震ハザード評価地点

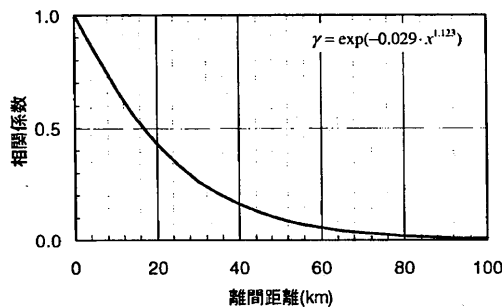


図3 設定した離間距離と相関係数の関係

(4) 地震ハザードマップ

提案手法により各地点の条件付地震ハザードを評価し、所与の年超過確率に対する値を基に地震ハザードマップを作成した。作成した地震ハザードマップを図4、図5に示す。なお、年超過確率は、主地点での震度5強、6弱、6強に対応する値とした。

主地点では所定の震度が得られていること、他地点の条件付震度は原則として主地点から遠ざかるに従い小さくなること等、地点間の従属性を考慮した地震ハザードマップとなっている。

主地点の震度により他地点の震度分布は異なる。例えば、内陸の直下地震が支配的となるような震度5強では、主地点から遠ざかるに従い、他地点の条件付震度は急激に小さくなるが、規模の大きな海溝型地震が支配的となる震度6弱や6強では、主地点からの距離よりも震源からの距離に応じた分布となる。

震度6強(主地点)の場合に関東地域と関西地域を比較すると、南関東地震が主地点に近い関東地域では、震度6強以上の地域が主地点周辺に集中するのに対し、南海地震や東南海地震が主地点から遠い関西地域では、震度6強以上の地域が限定される代わりに震度6弱に地域がかなりの範囲に広がっていることがわかる。また、同様の傾向は、震度6弱の場合にも見られる。

4. まとめ

BCPの策定における地震動の設定方法として、サプライチェーンを含む施設群を対象とした確率論的地震ハザードマップの作成を提案した。同手法によれば、当該企業の主要設備地点の地震動強度を任意に設定できるとともに、BCPの特徴の1つであるサプライチェーンの地震動強度も設定することができる。

なお、他地点の地震動強度は、地震動強度の相関の与え方と確率分布からの代表値の取り方による。前者については、観測記録の補充や地域別の評価等、評価精度の向上が今後の課題である。後者については、経営上の意思決定の問題であることから、平均値だけではなく、ばらつきを考慮した代表値による評価やその影響検討が望まれる。

謝辞

本研究は、地域安全学会・調査研究委員会「企業の災害時業務継続計画(BCP)の基本的考え方に関する研究」小委員会の活動の一環として行ったものである。関係者各位の熱心な議論と貴重な助言に感謝する。

参考文献

- 1) 内閣府：事業継続ガイドライン 第一版 - わが国企業の滅亡と災害対応の向上のために -, 内閣府 HP
- 2) 防災科学技術研究所：全国を対象とした確率論的地震動予測地図作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料第275号, 2005.8
- 3) 林孝幸, 福島誠一郎, 矢代晴実：地震動強度の空間的な相関がポートフォリオの地震リスクに与える影響, 日本建築学会計画系論文集, 第600号, pp.203-210, 2006年
- 4) T. Annaka and H. Yashiro : A seismic source model with temporal dependence of large earthquake occurrence for probabilistic seismic hazard analysis in Japan, Risk Analysis, WIT PRESS, pp.233-242, 1998
- 5) 安中正, 山崎文雄, 片平冬樹：気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.161-164, 1997.7
- 6) 林孝幸, 福島誠一郎, 矢代晴実：地震動強度の空間的な相関について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2分冊, pp.43-44, 2006.9
- 7) 地震ハザードステーション：表層地盤増幅率, 防災科学技術研究所(オンライン), 入手先 (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>), (参照 2007-08-02)
- 8) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, Vol.1, pp.51-56, 1999.11

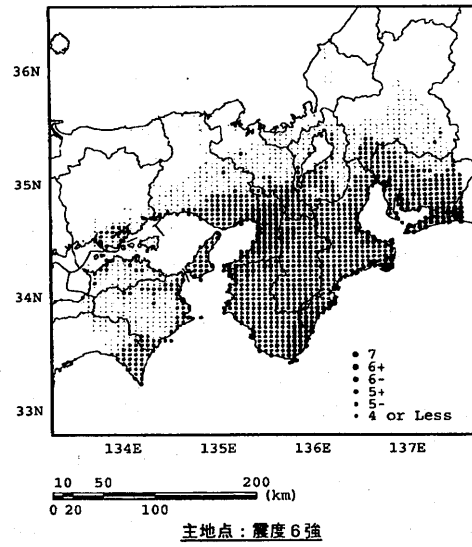
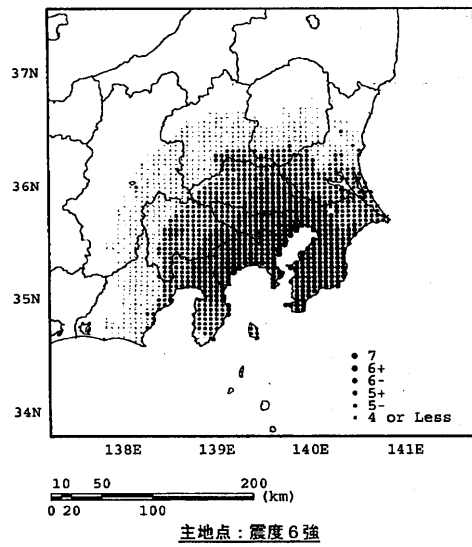
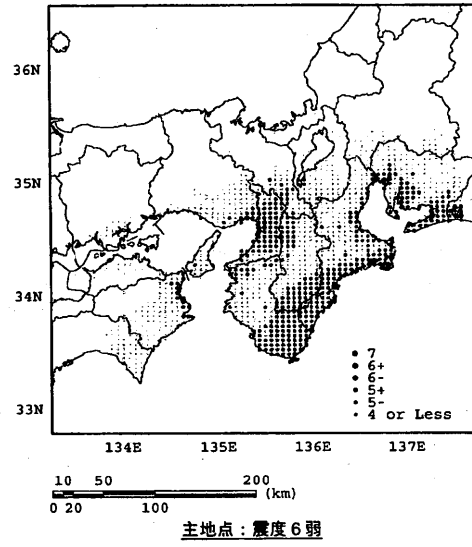
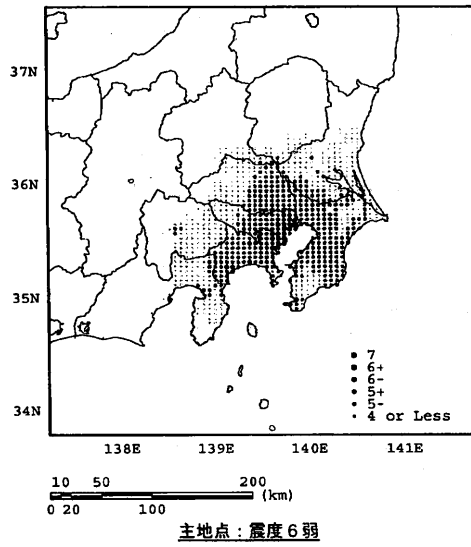
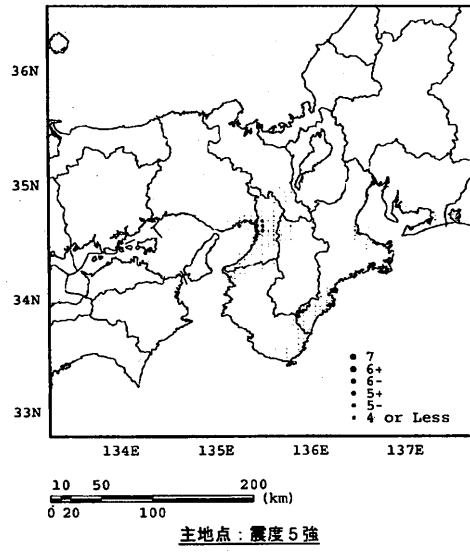
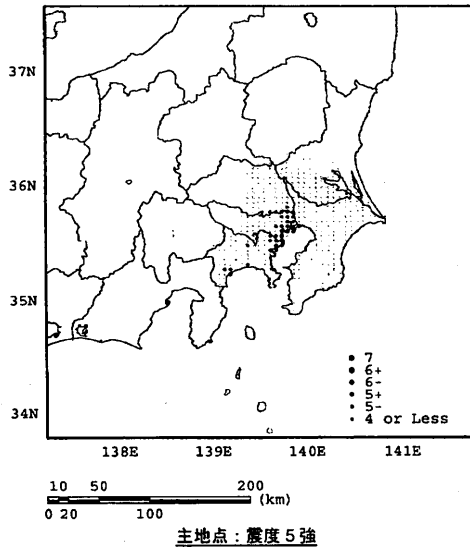


図4 関東地域の条件付地震ハザードマップ

図5 関西地域の条件付地震ハザードマップ