

# 京都周辺の長期的危険度解析と中期的地震発生確率の算定法について

京都大学工学研究科 正会員 清野純史  
 京都大学工学研究科 フェロー 土岐憲三  
 京都大学大学院 学生員 ○玉井達毅

## 1. はじめに

2001年6月、国の地震調査研究推進本部、地震調査委員会によって「長期的な地震発生確率の評価手法について」が公表され<sup>1)</sup>、地震発生の長期予測に広く利用されている。

本研究では、京都に甚大な被害を及ぼすと考えられる内陸型の断層に対して上記の手法を援用し、その長期的地震発生確率を算定して危険度解析を行う。また、中期的な発生確率算定のために地震先行現象等の新たな情報を取り入れ、これによる想定地震の発生確率の更新を図る。

## 2. 長期的地震発生確率の評価手法

想定される地震の長期的な発生確率は、想定地震の活動間隔がBrownian Passage Time分布（以下「BPT分布」という）に従うという仮定の下で、平均活動間隔( $\bar{T}$ )、活動間隔のばらつき( $\sigma$ )を用いて計算される。この分布の確率密度関数は以下の式に従う。

$$f(t) = \{\bar{T}/(2\pi\sigma^2 t^3)\}^{1/2} \exp\{-(t - \bar{T})^2/(2\bar{T}\sigma^2 t)\}$$

$f(t)$ が求められると、地震の前回発生年からの経過時間 $T$ まで地震が発生していない条件の下で、 $T$ 以後の時間 $\Delta T$ 以内に地震が発生する確率（条件付き確率） $P(T, \Delta T)$ は次のように求められる。

$$P(T, \Delta T) = \int_T^{T+\Delta T} f(t)dt / \int_T^{\infty} f(t)dt$$

## 3. 京都周辺の長期的地震発生確率と危険度解析

本研究では、京都に甚大な被害を及ぼすと考えられる内陸型起震断層として、花折断層系、西山断層系、黄檗断層系による3つの断層系を想定する。各断層系に対する想定地震のパラメータを表1に示す。各想定地震の長期的発生確率を算定した結果を図1である。図中の総合確率は想定地震のうちどれか1つでも発生する確率である。図2は想定地震が発生し、さらに評価地点（図1中の京都）において、最大加速度が800(gal)を超える確率である。なお、距離減衰式は福島・田中式<sup>2)</sup>を用い、ばらつきは対数標準偏差0.5の対数正規分布でモデル化した<sup>3)</sup>。各想定地震の発生確率の大小を比較するため以下のような条件付き確率を用いる。

$$c_A(p_0) = \frac{P_A(p_0)}{P_A(p_0) + P_B(p_0) + P_C(p_0)}$$

ここで、 $P_A(p_0)$ は想定地震Aによりあるサイトに危険度レベル $p_0$ を満足する地震が発生する確率であり、 $c_A(p_0)$ は危険度レベル $p_0$ を満たす地震が生じた場合に、その地震が想定地震Aで発生したものである条件付き確率で貢献度と呼ばれる。貢献度を用いることで、ハザードマップ（最大貢献度マップ<sup>3)</sup>）を描くことが可能となる。

表 1: 想定地震のパラメータ

断層系	花折断層系	西山断層系	黄檗断層系
長さ (km)	47	42	25
想定マグニチュード	7.6	7.5	7.1
最新活動時期	2,500 年前	2,000 年前	12,000 年前
平均活動間隔	4,500 年	3,500 年	8,000 年
平均活動間隔のばらつき	0.24	0.24	0.5

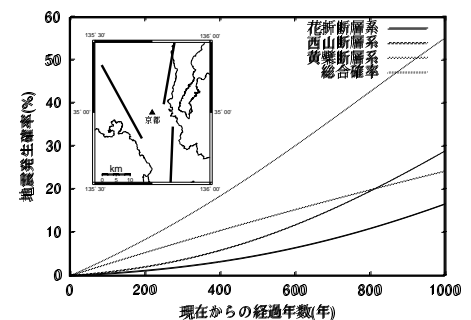


図 1: 各想定地震の位置と地震発生確率

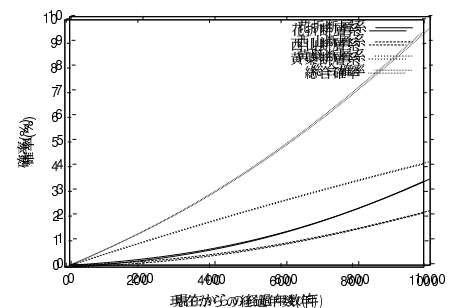


図 2: 評価地点で $\alpha > 800$ (gal)となる確率

キーワード：長期的地震発生確率、中期的地震発生確率、地震先行現象、バイズの定理

連絡先：〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5133 FAX：075-762-2005

図3は、危険度レベルとして、期間  $T$ (年) と最大加速度  $\alpha$ (gal) を設定した際の最大貢献度マップである。なお、図中、黒色の領域は花折断層系の貢献度が最大の領域で(今後  $T$  年の間に最大加速度が  $\alpha$ (gal) を超える地震が発生した時、その地震が花折断層系による地震の確率が最も高い領域)、灰色の領域は西山断層系、白色の領域は黄檜断層系の貢献度が最大となる領域である。

#### 4. 先行現象の導入による中期的地震発生確率の算定

本研究では、異常地殻変動という新たな情報が観測された条件の下で、BPT 分布により計算される想定地震の長期的な地震発生確率(事前分布)をベイズの定理を用いて更新を図る。簡単な流れを図4に記す。

地震先行現象としての異常地殻変動とは、土地の異常隆起等が観測された際、その時点からある時間(先行時間)が経過した後に地震が発生する現象であり、有名な事例としては、新潟地震 ( $M=7.5, 1964$ ) 等がある。その先行時間の従う分布として本研究では対数正規分布と仮定した。対数平均、対数標準偏差の計算における先行時間の入力データは、力武<sup>4)</sup>により得られたデータを用い、対数平均 $=-2.10$ 、対数標準偏差 $=4.80$ を得た。

なお、本研究では、長期的地震発生確率に先行現象を取り入れたものを「長期」に対して「中期」と呼び、これがベイズの定理における「事後分布」に相当することになる。

事前分布として、平均活動間隔の異なる宮城県沖地震 ( $\bar{T} = 37.1$  年) と花折断層系による地震 ( $\bar{T} = 4,500$  年) について解析を行った。

図5に解析結果を示す、(a)の宮城県沖地震について、事前の確率は今後5年で約5%程度であるのに対し、現在に異常地殻変動が観測されたという新たな情報を取り入れた事後の確率は約45%となり、新たな情報の導入に伴って生起確率が大幅に更新されているのがわかる。(b)についても事前の確率分布が更新されているのがわかる。

#### 5. 結論

危険度レベルを変化させることで、ハザードマップは大きく変化する。これより、同一地区でも危険度レベルを変化させると対策を要する地震も異なるということがわかった。しかしながら、発生確率そのものは100年で数%程度となっている。一般市民には安心情報となりかねない結果となった。従って、長期的地震発生確率は、繰り返し時間が短く、しかも歴史的な発生年代が比較的容易に推定できる海溝型地震への適用は妥当性が高いものと思われるが、地震発生間隔が数千年以上となる場合が多い内陸型の地震に対してはその適用について更なる議論が必要である。この場合、統計的な推定値は他の判断材料で補うことが重要であり、本研究ではその一例として異常地殻変動を採用した。結果からわかるように新たな情報の入手によって長期確率が更新され、中期的地震発生確率として、より身近で切迫度の高い情報として地震発生確率の活用が可能であると思われる。

#### 参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長期的な地震発生確率の評価手法について,2001
- 2) Fukushima, Y and Tanaka, T : A new Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan, Simizu Tech. Res. Bull, No.10, pp1-11, 1991
- 3) 亀田 弘行・石川 裕・奥村 俊彦・中島 正人：確率論的想定地震の概念と応用, 土木学会論文集, No577, pp75-87, 1997
- 4) Rikitake, T : Earthquake precursors, Bull. Seism. Soc. Am., 65, No5, pp1133-1162, 1975

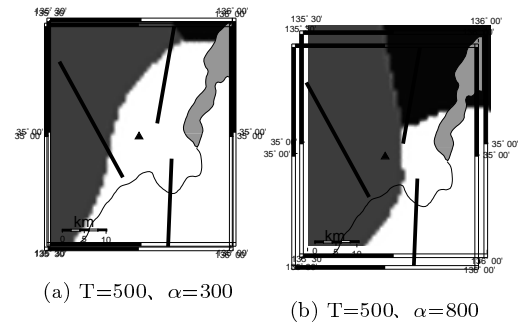


図3: 最大貢献度マップ

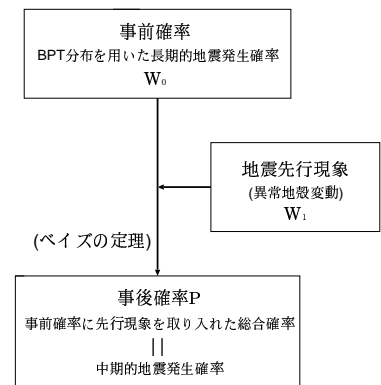
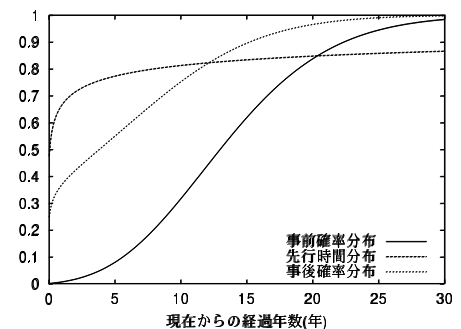
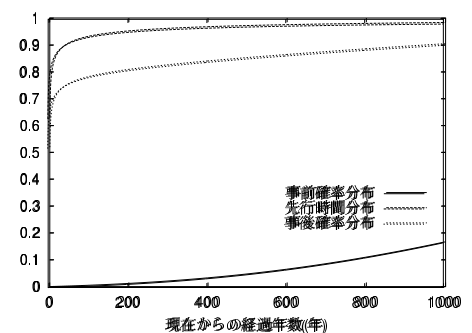


図4: 先行現象の導入方法



(a) 宮城県沖地震



(b) 花折断層系

図5: 想定地震の事前分布と事後分布