

強震動予測レシピに基づく 予測結果のバラツキ評価の検討 ～逆断層と横ずれ断層の比較～

山田 雅行¹・先名 重樹²・藤原 広行³

¹株式会社 ニュージェック 技術開発グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東二丁目3番20号)

²独立行政法人 防災科学技術研究所 防災システム研究センター (〒305-0006 つくば市天王台3番1号)

³独立行政法人 防災科学技術研究所 防災システム研究センター (〒305-0006 つくば市天王台3番1号)

レシピに基づいて強震動予測を行う場合、予測結果が震源パラメータのバラツキによってどの程度のバラツキを有するのかを評価する手法について検討を行った。「バラツキ」を考慮するパラメータとして、アスペリティの位置と破壊開始点、アスペリティの強度(平均すべり量の比)、アスペリティの強度(応力降下量)、破壊伝播速度を考慮した。特定サイト、空間分布ともにアスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

Key Words : Recipe for Strong-motion Prediction, Predicted Ground Motions, Stochastic Green's Function Method, Attenuation Relation

1. はじめに

経験的グリーン関数法, 統計的グリーン関数法, ハイブリッド法といった, 震源・伝播経路・サイトの影響を物理的に考慮して, 将来発生する地震の強震動を予測する(「断層モデルを用いた強震動予測」と呼ばれる場合もあるが, 以下では簡単のため「強震動予測」と略す)方法は, 平成7年兵庫県南部地震を契機として, 急速に研究が進められてきた。今日では, このような強震動予測は土木・建築構造物に対する設計入力地震動の評価^{1,2)}, 国や自治体の被害想定^{3,4)}など, 広く利用される傾向にある。

この強震動予測を精度よく行うには, 震源・伝播経路・サイトの影響を精度よくモデル化しなければならない。伝播経路⁵⁾, サイト⁶⁾および既往地震の震源⁷⁾については, 地震観測データに基づいて, その特性が詳細に求められているものも見られる。しかし, 近代の地震観測によって精緻な地震記録が得られていない地震の震源については, その地表近くでの位置, 大きさ,

変位量が明らかにされている程度で, 強震動予測を行うための詳細な震源パラメータの設定には多くの不明確な要素が残存している。こうした状況下で, 強震動予測手法の標準化を目指し, 「強震動予測レシピ」^{8,9)}(以下, 「レシピ」と略す)が提案されている。「レシピ」では, 震源の面積と地震モーメントの関係や短周期レベルと地震モーメントの関係など, 主要な部分に経験式が用いられており, その経験式は過去の観測データの回帰により求められていることが多い。このため, 「レシピ」にしたがって設定した震源パラメータは「平均的な」値となり, その値に対するバラツキを有していることになる。すなわち, 設定した震源パラメータによって予測された地震動も「平均的な」値となり, その値に対するバラツキを有しているということになる。このように強震動予測では, 設定する震源パラメータが一意的に決定できるものではないため, そのバラツキのために予測された地震動もバラツキを生じることがわかる^{例えば, 10)}。

これまで, 著者らは森本・富樫断層帯を例にレシピ

表-1 “バラツキ”の分類

	Aleatory variability (偶発的バラツキ)		Epistemic uncertainty (認識論的不確定性)	
	定義	具体化表現	定義	具体化表現
Modeling モデル化	①モデル化しない(できない)ことによって生じる偶発的バラツキ	震源特性, 伝播経路特性, サイト特性のモデル化がどれだけ適切かということになる。距離減衰式による強震動予測と比べて影響は比較的小さいものと考えられる。	③モデル化の違いによる認識論的不確定性	判断の違い, 用いる手法, 用いる経験式の違いなどを意味し, 確率論的な地震動評価ではロジックツリーとして表現されることが多い。
Parametric パラメータ設定	②真値が存在しない(地震発生までわからない)ことによる偶発的バラツキ	強震動予測における入力パラメータ値の“バラツキ”であり, 一般に言われる“バラツキ”はこれを指すことが多い。通常, 予測モデルにおいては確率変数により表現され, 確率論的地震動評価におけるハザードカーブの計算に用いられる。	④知識やデータが不足していることに起因する認識論的不確定性	例えば, 震源パラメータでは断層の位置, 走向, 傾斜で, 地質調査・地質解析データの多少によって, その精度は異なったものとなる。また, 本論文では検討対象としていないが, 地下構造に関する不確定性もここに含まれる。

表-2 震源パラメーター一覧

巨視的震源パラメータ	微視的震源パラメータ	その他のパラメータ
基準点位置(緯度・経度)	アスペリティの数 ②③	破壊伝播速度 ②③
走向・傾斜	アスペリティの位置 ②③	破壊開始点 ②③
長さ・幅(面積)	アスペリティの面積 ②③	破壊形態 ②③
断層上端深さ (地震モーメント (平均すべり量) (平均応力降下量)	アスペリティの地震モーメント ②③ (アスペリティの平均すべり量) アスペリティの平均応力降下量 ②③ (背景領域の地震モーメント) (背景領域の平均すべり量) (背景領域の平均応力降下量) f_{max} ②③ (ライズタイム)	

※ ②: パラメータ設定における偶発的バラツキ, ③: モデル化における認識論的不確定性
 ※※0: レンピにおいて他のパラメータに連動して変化するパラメータ

表-3 短周期レベルのバラツキを算定した地震一覧

内陸地震	M_0 (dyne·cm)	A (dyne·cm/s ²)
1992Landers	7.50E+26	1.15E+26
1978Tabas	5.80E+26	1.45E+26
1989Loma Prieta	3.00E+26	1.70E+26
1995Hyogo-Ken Nambu	2.40E+26	6.20E+25
1983Borah Peak	2.30E+26	2.81E+26
1985Nahanni	1.50E+26	1.81E+26
1994Northridge	1.10E+26	1.80E+26
1985Nahanni	1.00E+26	2.81E+26
1979Imperial Valley	5.00E+25	3.77E+25
1986North Palm Springs	1.80E+25	7.40E+25
1987Whittier Narrows	1.00E+25	9.88E+25
1979Coyote Lakes	3.50E+24	2.84E+25

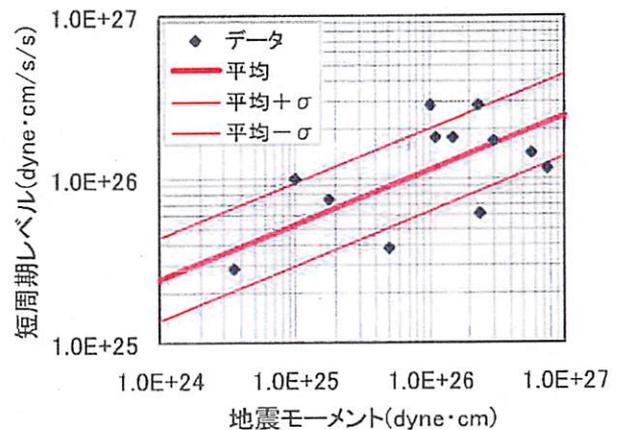


図-1 短周期レベルのバラツキの算定結果

に基づいた強震動予測におけるバラツキの評価手法について検討を行ってきた。本稿では, 地震基盤における地震動の比較を行うことから, 森本・富樫断層帯を参考に仮定の逆断層と横ずれ断層を想定し, そのバラ

ツキの違いについて検討を行った。なお, ここでは「バラツキ」を考慮するパラメータとして, アスペリティの強度(応力降下量)を追加するものとし, 統計的グリーン関数法について述べることにした。

2. 震源パラメータのバラツキ評価

(1) “バラツキ”の分類

強震動予測における“バラツキ”は既往の研究¹¹⁾によって偶発的バラツキと認識論的不確定性に分類されている。さらに、それぞれをモデル化とパラメータ設定に分類し、表-1に示すように4種類に分類されている。

これは、距離減衰式を基本とする確率論的ハザード解析を念頭に分類されたものであるが、震源・伝播経路・サイトの影響を物理的に考慮した強震動予測に対しても適用することができる。強震動予測を念頭において、具体化を行った結果を表-1に併記した。

(2) バラツキ評価の対象とする震源パラメータの選定

強震動予測を行う場合に設定しなければならない震源パラメータを、「地震調査研究推進本部地震調査委員会：森本・富樫断層帯の地震を想定した強震動評価について¹²⁾」に倣って整理した結果を表-2に示す(カッコは他のパラメータに連動して変化するパラメータを示す)。ただし、応力降下量に関しては、短周期帯域の検討において地震モーメントと独立と考えて、連動しないパラメータに見直した。

ここでは、レシピに基づいた強震動予測について検討を行うことから、モデル化に関しては「レシピ¹³⁾に従う」という前提条件を設けることができる。これより、分類①の偶発的バラツキと微視的パラメータおよびその他のパラメータの分類④の認識論的不確定性については無視するものとした。一方、巨視的震源パラメータに関しては、活断層の長期評価¹⁴⁾に従って設定しているため、これも前提条件と考えることができる。すなわち、巨視的震源パラメータに対して支配的と考えられる分類④の認識論的不確定性を無視するという判断を行い、巨視的震源パラメータに関しては、“バラツキ”を考慮しないものとした。これらの前提条件に基づいて、各震源パラメータを表-1の分類に従って分類した結果(①～④)を表-2に併記した。なお、レシピにおいて他のパラメータに連動して変化するパラメータは分類をしなかった。さらに、表-1の微視的震源パラメータのうち、アスペリティの数、アスペリティの面積は、本来自然現象としては分類②の偶発的バラツキとして分類される“バラツキ”を含んでいると考えられる。しかし、レシピに従ったパラメータ設定では、アスペリティの数は1個または2個とされ、“バラツキ”を表現することができないことに加え、アスペリティの面積は後述のように短周期レベルの関数とされており、その“バラツキ”は短周期レベルとトレ

ードオフを生じることになることから、ここでは分類③の認識論的不確定性が支配的であるものと考えた。また、その他のパラメータのうち、破壊形態についても同様であると考えられる。

本論文ではレシピに基づく強震動予測を用いて確率論的評価を行うことを念頭におき、そのハザードカーブの計算に用いる「パラメータ設定における偶発的バラツキ」に主眼をおいている。したがって、分類③に位置付けられたアスペリティの数、アスペリティの面積、破壊形態といった本来ロジックツリーとして取り扱うパラメータについては、本論文で扱うバラツキ評価の対象とせず、アスペリティの位置、アスペリティの強度(アスペリティの地震モーメントなど)、破壊伝播速度、破壊開始点を対象として選定するものとした。

なお、 f_{max} については、“バラツキ”の分類は②が支配的であると考えられるが、その値自体が研究途上であることから、ここではその取り扱いについて言及しないこととした。また、アスペリティの数は1個、アスペリティの面積は短周期レベルより求まる値、破壊形態は同心円状に設定して検討を行うこととした。

(3) 震源パラメータのバラツキの評価

(2)節で選定した震源パラメータのバラツキの評価は、大きく2種類のパラメータ群に分けて行った。1つ目は、震源パラメータの設定値に明確な根拠が与えられず、かつ設定値がある範囲に限定されるアスペリティの位置と破壊開始点で、震源断層内に一樣な確率で存在するものと考えた。ただし、破壊開始点はアスペリティよりも深部に存在するという既往の研究結果^{15), 16)}に基づいて、ここでは破壊開始点はアスペリティ位置とは無関係に、断層下端の3箇所(両端と中央)にランダムに配置するものとした。2つ目は、震源パラメータの設定値がレシピの経験式によって与えられるアスペリティの強度と破壊伝播速度で、これらは経験式が求められた際のバラツキを震源パラメータのバラツキとして与えることとした。

レシピによると、短周期レベルからアスペリティの面積を求め、断層全体とアスペリティの平均すべり量の比からアスペリティの地震モーメント、一方、短周期レベルとアスペリティの面積からアスペリティの応力降下量が決定される。アスペリティ強度はアスペリティの地震モーメント、応力降下量の2つのパラメータで規定され、山田¹⁴⁾ではアスペリティの面積を対象外と判断したため、アスペリティの地震モーメントのみと考えた。本論文では、アスペリティの地震モーメントすなわち平均すべり量の比は石井ほか¹⁵⁾に記載されている平均値(2.0)および標準偏差(0.6)を用いる

表-4 バラツキを与える震源パラメータ

パラメータ	記号	平均値の設定方法	バラツキの設定方法
アスペリティの位置	—	活断層で発生する地震の場合、活断層の変位量の分布をもとに「推定」または「仮定」	一様分布
アスペリティの強度 (平均すべり量の比)	D_a/D	$D_a/D=2.0$ (石井ほか, 2000) ¹⁵⁾	正規分布, 標準偏差 0.6 (石井ほか, 2000) ¹⁵⁾
アスペリティの強度 (短周期レベル)	$\log(A/(Mo^{1/3}))$	$\log(A/(Mo^{1/3}))=17.391$ (壇ほか, 2001) ¹⁶⁾	正規分布, 標準偏差 0.254
破壊伝播速度 (V_r と V_s の比)	V_r/V_s	$V_r/V_s=0.694$ (宮腰ほか, 2005) ¹⁷⁾	正規分布, 標準偏差 0.078 (宮腰ほか, 2005) ¹⁷⁾
破壊開始点	—	アスペリティ下端とすることが多い	アスペリティの位置と連動 ^{18), 19)} (アスペリティ下端に固定)

D_a : アスペリティの平均すべり量 (cm), D : (震源全体の) 平均すべり量 (cm), V_s : S波速度 (km/s), V_r : 破壊伝播速度 (km/s)

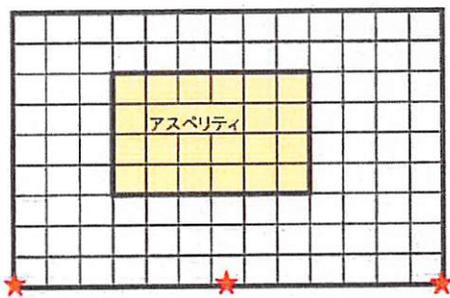


図-2 アスペリティの位置と破壊開始点

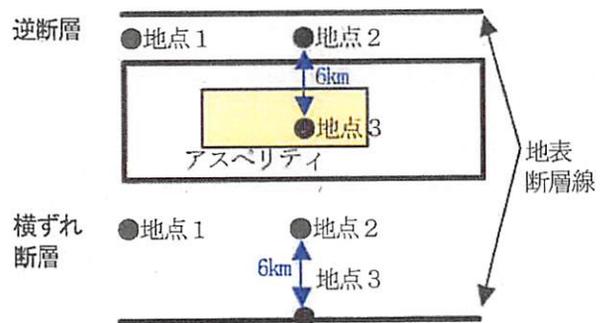


図-3 パイロットポイント(断層は地表に投影した図を示す)

こととし、アスペリティの応力降下量はアスペリティの面積は一定とみなして、短周期レベルによってバラツキを生じるものとして取扱うこととした。短周期レベルのバラツキは表-3¹⁶⁾の地震に対して、図-1のように標準偏差(0.254)を求めた。

一方、破壊伝播速度(V_r)に関して、S波速度(V_s)との比 V_r/V_s は、山田ら¹⁹⁾に示すように、その標準偏差を V_r/V_s のバラツキを表す値とした。表-4に各震源パラメータのバラツキ評価結果の一覧を示す。

(4) サンプリング方法

まず、アスペリティの位置と破壊開始点であるが、前節に示すように震源断層内に一様な確率で存在するものと考えたこととした。これには、一様乱数を用いてランダムサンプリングを行うのではなく、アスペリティの位置の考え得るケースを可能な限り均等にサンプルと考えるものとする。

今回の対象断層の震源モデルでは 13×9 分割の離散化したモデル化がなされている。アスペリティを 1 個と考えると、アスペリティの大きさは 6×4 分割分となり、図-2に示した位置を基本ケースとし、黄色で示したアスペリティを走向方向に 8、傾斜方向に 5 通り移動させて、40 通りのサンプルが可能となる。

次に、アスペリティの強度(平均すべり量の比、短周期レベル)および破壊伝播速度については、そのバラツキが平均値と標準偏差によって表され正規分布に従うと仮定されており、山田ら¹⁴⁾に従って LHS(Latin Hypercube Sampling)²⁰⁾による 100 個のサンプリングが合理的であると判断した。

3. 強震動予測結果のバラツキ評価

強震動予測結果のバラツキ評価の検討を行った。ここでは、地震調査研究推進本部地震調査委員会から強震動評価が公開されている森本・富樫断層帯をモデルとした仮想の断層(逆断層、横ずれ断層)を対象に、2章に示したように震源パラメータのバラツキを与え、地震調査委員会の詳細法^{12), 21)}のうち短周期帯域(～1.0s)の統計的グリーン関数法を用いて $V_s=3000\text{m/s}$ の地震基盤における強震動予測を行い、それぞれの結果のバラツキの評価を行った。

表-5 基本震源パラメータ¹²⁾

パラメータ	記号	逆断層	横ずれ断層	単位
断層総面積	S	468	468	km ²
地震モーメント	MD	1.218E+19	1.218E+19	Nm
地震規模	Mw	6.66	6.66	
短周期レベル	A	1.220E+19	1.220E+19	Nm/s ²
走向	str	NO.0° E	NO.0° E	
傾斜角	dip	45° E	90° E	
平均滑り量	D	80.54	80.54	cm
滑り方向	Rake	90.0°	0.0°	
断層上端深さ	dep	3	3	km
断層面の長さ	L	26	26	km
断層面の幅	W	18	18	km
断層面積	S	468	468	km ²
地震モーメント	MDa	4.747E+18	4.747E+18	Nm
面積	Sa	91.18	91.18	km ²
平均滑り量	Da	161.08	161.08	cm
静的応力降下量	$\Delta\sigma a$	15.05	15.05	MPa
短周期レベル	A	1.220E+19	1.220E+19	Nm/s ²
地震モーメント	MDb	7.436E+18	7.436E+18	Nm
面積	Sb	376.82	376.82	km ²
平均滑り量	Db	61.05	61.05	cm
実効応力	$\Sigma\sigma b$	3.025	3.025	MPa
アスペリティ位置		中央		
アスペリティ深さ		上端		
破壊開始点の深さ		アスペリティ下端中央	km	
破壊様式		同心円上		
破壊伝播速度		2.4 ($\beta=3.46$ の69.4%)	km/s	
Fmax		6	Hz	
震源時間関数		中村・宮武(2000)による		

(1) 想定断層の基本震源パラメータ

地震調査委員会¹²⁾に倣って、想定断層(逆断層・横ずれ断層)の基本震源パラメータの設定を行った。基本震源パラメータの一覧を表-5に示す。なお、ここでは逆断層・横ずれ断層に対する予測結果の比較を容易にするため、両者の断層面積(幅)を等しく設定した。

(2) 特定サイトにおける強震動予測結果のバラツキ評価

通常、バラツキを有するデータの整理は、ヒストグラムを作成し、そのヒストグラムに例えば正規分布などの適当な分布形状を近似的にあてはめ、その分布形状を規定する値(正規分布の場合は平均値と標準偏差)によって行われる。選定したサイト(特定サイト)における強震動予測結果のバラツキ評価についても、強震動予測結果のヒストグラムを求め、それを近似する分布形状をあてはめ、その分布の特性値によって整理することを基本と考える。

しかしながら、強震動予測結果は時刻歴波形として

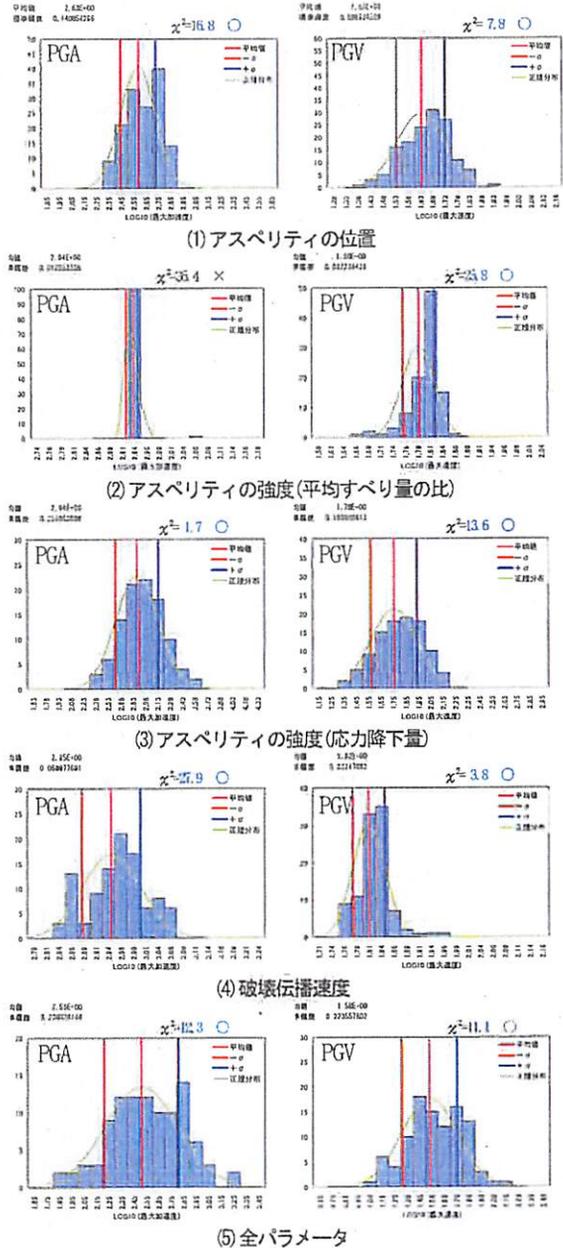


図-4 強震動予測結果のヒストグラム(逆断層)

得られており、ヒストグラムを作成する指標は、時刻歴波形を含め、PGA, PGV, 加速度応答スペクトル, フーリエスペクトルなどさまざまな指標が考えられる。ここでは、①時刻歴波形の代表値として一般に用いられており、②周波数別の特徴を表現することができ、③物理的意味の明確さ、という観点から、PGA, PGVを、ヒストグラムを作成する指標として選定した。

想定断層に対して、図-3に示したパイロットポイントのうち地点2を対象地点として、ヒストグラムの作成および正規分布による近似を試みた結果を図-4, 図-5に示す。図-4, 図-5の各ヒストグラムの右上には χ^2 の値を併記した。各ヒストグラムの χ^2 値が、データ区間(自由度)19, 有意水準5%の χ^2 の基準値30.1を下回れば(青字および○印), サンプルング(ヒストグラ

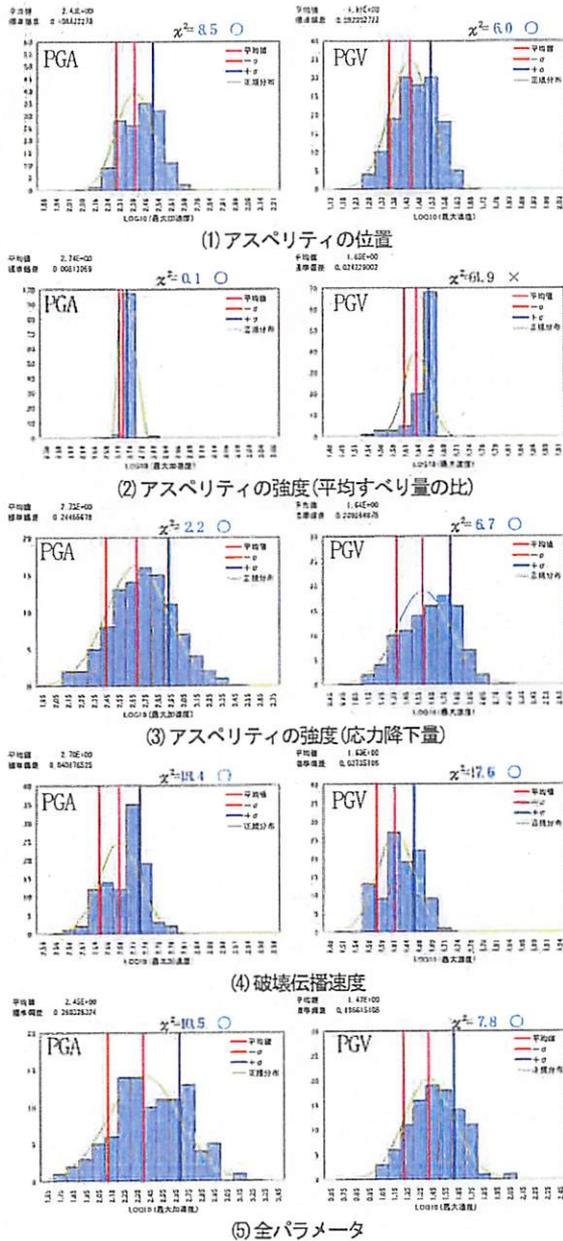


図5 強震動予測結果のヒストグラム(横ずれ断層)

ムが正規分布に一致するという帰無仮説が棄却されず、すなわち両者が一致していると判断できる。

逆断層はアスペリティの強度(すべり量の比)のPGA、横ずれ断層はアスペリティの強度(すべり量の比)のPGVにおいて、 χ^2 の値が基準値を上回っているが、それ以外は χ^2 検定(5%水準)を用いて正規分布で近似できると判断できることがわかる。

(3) 面的な強震動予測結果のバラツキ評価

対象地点が面的に分布している場合は、強震動予測結果のバラツキを地点ごとに詳細に評価するだけでなく、そのバラツキの空間分布の傾向を視覚的に捉えることが重要であると考えられる。そこで、対象領域内におけるPGA、PGV、加速度応答スペクトル(0.2, 0.5,

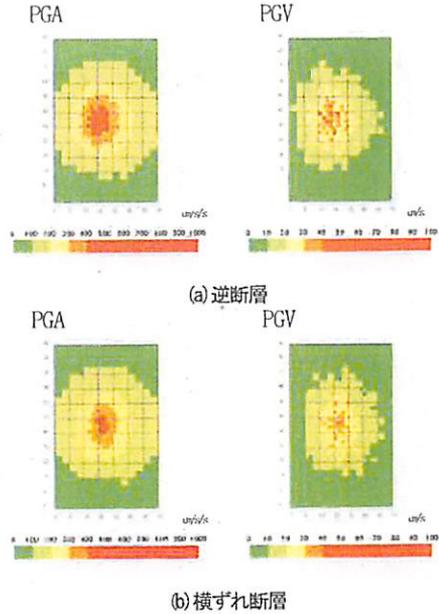


図-6 PGA, PGV の平均値の空間分布

1.0s)の対数標準偏差の空間分布図によって、評価することとする。また、バラツキの空間分布およびある閾値以上の面積に対してヒストグラムを作成し、さらにその平均値と標準偏差を求めることができる。これは、強震動予測対象エリア内を包括したバラツキの評価を定量的に行う際に用いることができる。

まず、逆断層、横ずれ断層に対して、強震動予測を行った結果のPGA、PGVの平均値の空間分布を図-6に示す。ここでは全パラメータを変化させた場合の平均値を表示した。次に、(1)アスペリティの位置と破壊開始点、(2)アスペリティの強度(すべり量の比)、(3)アスペリティの強度(応力降下量)、(4)破壊伝播速度、(5)全パラメータを変化させた場合について、地震動評価指標のバラツキの対数標準偏差(常用対数)の空間分布図を作成した(図-7、図-8)。図-9、図-10に空間分布から得られたPGA、PGVのヒストグラムを示す。図-11、図-12に空間分布から得られたPGA、PGVがそれぞれ150gal、15kineを超える面積のヒストグラムを示す。

逆断層、横ずれ断層に対する空間分布図からは、以下の点を読み取ることができる。

- ・逆断層と横ずれ断層のPGA、PGVの平均値の空間分布および対数標準偏差の分布は大局的にみるとよく似ていることがわかる。
- ・対数標準偏差の大きさは、アスペリティ強度(応力降下量)が最も大きく、アスペリティの位置と破壊開始点、破壊伝播速度と続いている。
- ・ただし、アスペリティ強度(応力降下量)の対数標準偏差の分布はサイトの位置によらず一定になっている。
- ・したがって、全パラメータの対数標準偏差の分布

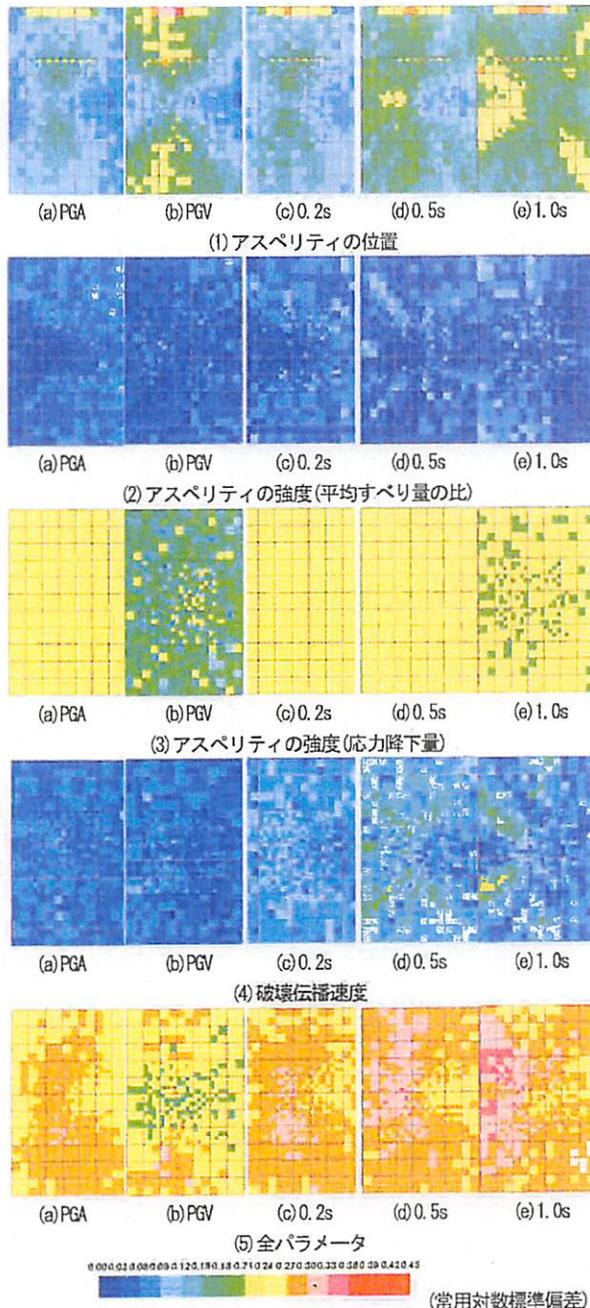


図-7 バラツキの対数標準偏差の空間分布(逆断層)

において、値はアスペリティ強度(応力降下量)とアスペリティの位置と破壊開始点に依存するが、分布形状はアスペリティの位置と破壊開始点が支配的である。

- ・全パラメータの対数標準偏差は最も値が大きい0.5sと1.0sの応答スペクトルで0.33~0.36の値となっている。

バラツキの空間分布に対するヒストグラムからは、次の点を読み取ることができる。

- ・PGAのバラツキは逆断層、横ずれ断層(全パラメータ)とも、0.26~0.31の範囲で分布しており、平均値はそれぞれ0.278, 0.276である。

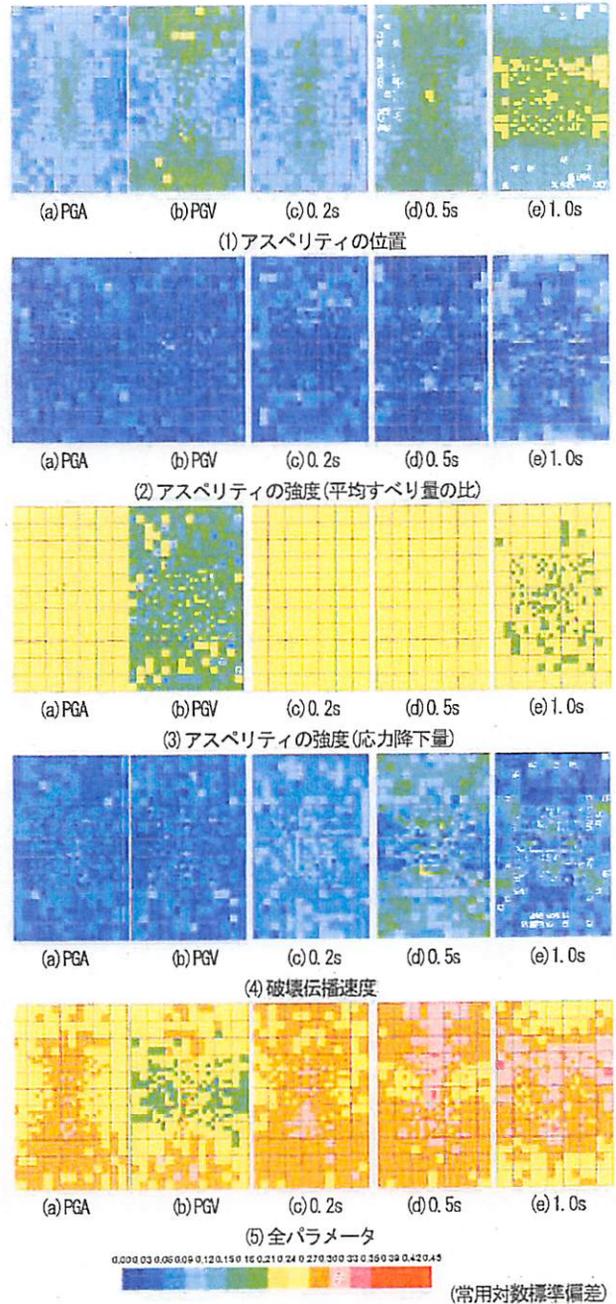
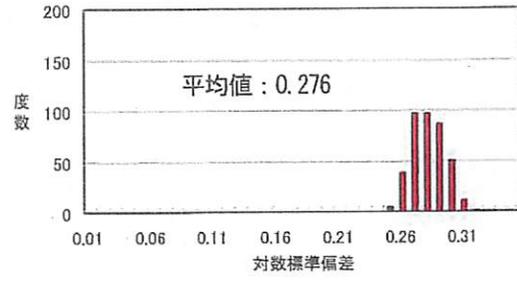
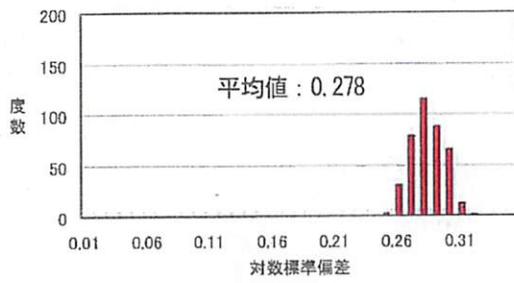


図-8 バラツキの対数標準偏差の空間分布(横ずれ断層)

- ・PGVのバラツキは逆断層、横ずれ断層(全パラメータ)とも、0.16~0.31の範囲で分布し、平均値はそれぞれ0.230, 0.224となっている。

PGA, PGVがそれぞれ150gal, 15kineを超える面積のヒストグラムからは、次の点を読み取ることができる。

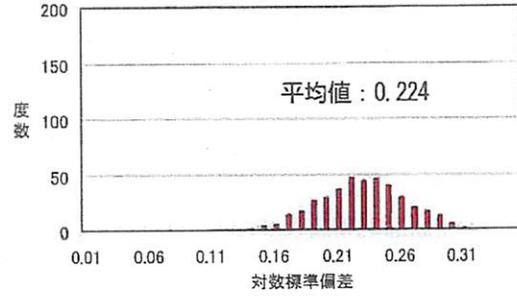
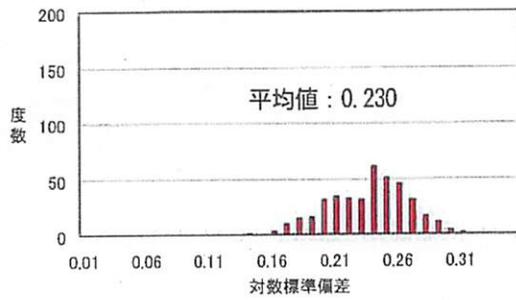
- ・PGAが150galを超える面積のバラツキは大きく、逆断層(全パラメータ)が平均値2.68(479km²)に対して標準偏差が0.80, 横ずれ断層(全パラメータ)が平均値2.47(295km²)に対して標準偏差が0.97となる。
- ・PGVが15kineを超える面積のバラツキは逆断層(全パラメータ)が平均値2.91(813km²)に対して標準偏



逆断層(全パラメータ)

横ずれ断層(全パラメータ)

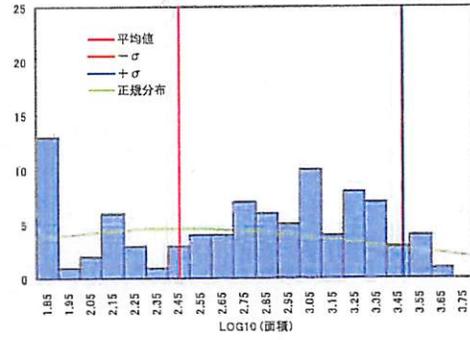
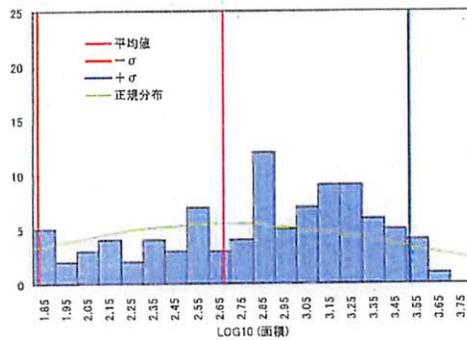
図-9 空間分布から得られたPGAのヒストグラム



逆断層(全パラメータ)

横ずれ断層(全パラメータ)

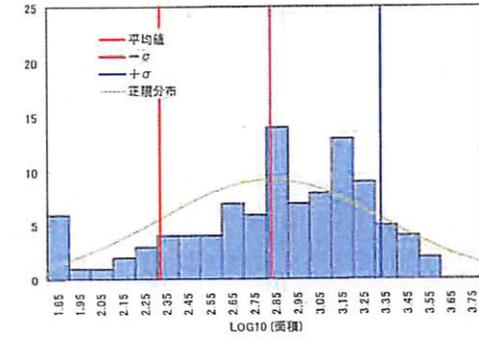
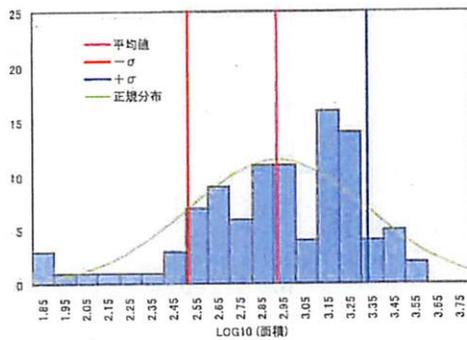
図-10 空間分布から得られたPGVのヒストグラム



(a) 逆断層

(b) 横ずれ断層

図-11 空間分布から得られたPGA \geq 150galとなる面積のヒストグラム



(a) 逆断層

(b) 横ずれ断層

図-12 空間分布から得られたPGV \geq 15kineとなる面積のヒストグラム

差が 0.39, 横ずれ断層(全パラメータ)が平均値 2.82(661km²)に対して標準偏差が 0.48 となる。

4. おわりに

レシピに基づいて強震動予測を行う場合、予測結果が震源パラメータのバラツキによってどの程度のバラツキを有するのかを評価する手法について検討を行った。強震動予測において、重要となる震源パラメータ、伝播経路特性、サイト特性のうち、ここでは震源パラメータのバラツキによる影響について検討を行った。その結果を以下にまとめる。

①パラメータ設定における偶発的バラツキの評価を対象とする場合、「バラツキ」を考慮するパラメータは、

- アスペリティの位置と破壊開始点
- アスペリティの強度(平均すべり量の比)
- アスペリティの強度(応力降下量)
- 破壊伝播速度

とした。

②特定サイトにおける強震動予測結果に対して、PGA, PGV に対するヒストグラムを求め、それを近似する分布形状(正規分布)をあてはめ、その分布の特性値によってバラツキ評価を行うことができることを示した。アスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

③面的な強震動予測結果に対して、地震動評価指標の対数標準偏差の空間分布図を作成すること、及びその空間分布のヒストグラムを作成することによってバラツキ評価を行った。特定サイトにおける検討と同様にアスペリティの強度(応力降下量)によるバラツキが大きな値となることがわかったが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

④空間分布に対するヒストグラムからバラツキの平均値は 0.278~0.276(PGA), 0.230~0.224(PGV)となった。アスペリティの強度(応力降下量)によってバラツキが大きな値となっているが、逆断層、横ずれ断層の結果において大きな差異は見られなかった。

⑤空間分布から PGA \geq 150gal, PGV \geq 15kine となる面積の分布を求めた。その結果、PGA, PGV ともに非常にバラツキが大きい結果となった。

今回、空間分布について、空間分布に対するヒストグラム、空間分布から PGA \geq 150gal, PGV \geq 15kine となる面積の分布といった定量的な評価を試みた。今後は

各パラメータごとの整理、閾値の検討などをさらに進めていく予定である。また、今回は統計的グリーン関数法による短周期帯域のみの検討にとどめたが、差分法(理論計算)による長周期領域についても同様の検討を行っていく予定である。

さらに、本検討は、地震基盤相当におけるハザードカーブ作成の可能性を示唆できたと考えられる。しかしながら、レシピに基づく強震動予測を用いて確率論的評価を行うためには、認識論的不確定性と位置付けた巨視的パラメータやアスペリティの数、面積について、「ロジックツリー」等として取り扱うことを検討しなければならない。また、従来の距離減衰式のバラツキと比較を行うためには、伝播経路特性、サイト特性のバラツキも適切に評価することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：地盤震動一現象と理論一，2004。
- 2) 長尾毅・山田雅行・野津厚：フーリエ振幅と群遅延時間に着目した確率論的地震ハザード解析，土木学会論文集，No. 801/I-73，pp. 141-158，2005。
- 3) 中央防災会議，
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 4) 高知県津波防災アセスメント調査事業，
http://www.pref.kochi.jp/%7Eshoubou/kochi_index/2nd_map/index.html
- 5) 佐藤智美，巽蒼樹：全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性，日本建築学会構造系論文集，第 556 号，pp. 15-24，2002。
- 6) 岩田知孝，入倉孝次郎：観測された地震波から、震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震 2，Vol. 39，No. 4，pp. 579-593，1986。
- 7) Wald, D.J. and Somerville, P.G. : Variable-Slip Rupture Model of the Great 1923 Kanto, Japan, Earthquake: Geodetic and Body-Waveform Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 85, pp. 159-177, 1995。
- 8) 入倉孝次郎，三宅弘恵：予測のための震源のモデル化，月刊地球号外，No. 37，pp. 62-77，2002。
- 9) 付録 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)，
http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/05jul_chuokozosen/furoku.pdf
- 10) 大塚久哲，Somerville, P.G.，佐藤俊明：断層パ

- ラメータの予測誤差を考慮した広帯域地震動の評価, 土木学会論文集, No. 584/I-42, pp. 185-200, 1998.
- 11) Lawrence Livermore National Laboratory : Guidance for Performing Probabilistic Seismic Hazard Analysis for a Nuclear Plant Site: Example Application to the Southeastern United States, NUREG/CR-6607, UCRL-ID-133494, 2002.
 - 12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 森本・富樫断層帯の地震を想定した強震動評価について, http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/03mar_morimoto/index.htm, 2003.
 - 13) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 : 森本・富樫断層帯の評価, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/01dec_morimoto/index.htm, 2001.
 - 14) 山田雅行, 先名重樹, 藤原広行 : 強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討～震源パラメータのバラツキについて～, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第1号, pp. 43-60, 2007.
 - 15) 石井透, 佐藤俊明, Paul G. Somerville : 強震動評価のための不均質断層モデルの主破壊領域の抽出, 日本建築学会構造系論文集, 第527号, pp. 61-70, 2000.
 - 16) 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透 : 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, pp. 51-62, 2001.
 - 17) 宮腰研, A. Petukhin : 内陸地震の震源インバージョン結果に基づいた破壊伝播速度の不均質性に関する検討, 地球惑星科学関連学会2005年合同大会, CD-ROM, 2005.
 - 18) Mai, P. M., P. Spudich and J. Boatwright : Hypocenter Locations in Finite-Source Rupture Models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 95, pp. 965-980, 2005.
 - 19) 菊地正幸, 山中佳子 : 『既往大地震の破壊過程=アスペリティの同定』, サイスマ, 5(7), 6-7, 2001.
 - 20) Mckay, R. L., W. J. Conover, R. J. Beckman : A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, *Technometrics*, Vol. 21, pp. 239-245, 1979.
 - 21) 先名重樹, 藤原広行, 河合伸一, 青井真, 功刀卓, 石井透, 早川謙, 森川信之, 本多亮, 小林京子, 大井昌弘, 八十島裕, 神野達夫, 奥村直子 : 森本・富樫断層帯の地震を想定した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255号, 2004.

(2007.4.6受付)

STATISTICAL ANALYSIS OF PREDICTED GROUND MOTIONS ON THE BASIS OF A RECIPE FOR STRONG-MOTION PREDICTION ～FOR DIP-SLIP FAULT and STRIKE SLIP FAULT～

Masayuki YAMADA, Shigeki SENNA and Hiroyuki FUJIWARA

We study variations of predicted ground motions on the basis of a recipe for strong-motion prediction and propose a technique for evaluation of variation in the predicted ground motions. In this article, we consider only aleatory variabilities in source parameters among all possible variabilities, such as, those in the source parameters, the propagation characteristics and the site characteristics. We estimate the variation of predicted ground motions in PGA, PGV and response spectrum at a specific site and calculate average and standard deviation of normal distribution, and also we evaluate the special variation in the area by using the space distribution maps of standard deviation.