

第4章 実データを用いた OpenQuake によるハザード・リスクの計算例

4.1 はじめに

ここでは、いわゆる「震源断層を特定した地震動」および「確率論的地震動予測」の計算例を示す。

震源断層を特定した地震動の解析は、地震の発生確率を考慮しない特定の震源断層による地震が発生した場合の地震動強さを求めるものである。OpenQuake-engine では Scenario Case (Scenario-based Hazard) が該当する。一方、確率論的地震動予測の解析は、対象とする地点の将来発生すると予想される地震において、「地震動の強さ」、「対象とする期間」および「対象とする確率」の3つの関係性を評価する。OpenQuake-engine では Classical PSHA が該当する。

本章では、震源断層を特定した地震動の解析を説明し、続いて、確率論的地震動予測の計算方法を解説する。この章の構成を以下に示す。

「4.2 震源断層を特定した地震動」では、地震調査研究推進本部地震調査委員会によって公表された全国地震動予測地図 2016 年版⁴⁴⁾の情報を基に、立川断層帯を例として OpenQuake-engine による震源断層を特定した地震動の解析を実施する。

「4.3 確率論的地震ハザード解析その1」では、活断層型地震の例として、簡単化のために、関東地域において今後発生しうる地震が立川断層帯による地震のみであるとして、OpenQuake-engine による確率論的地震ハザードの計算を実行する。

「4.4 確率論的地震ハザード解析その2」では、海溝型地震の例として、関東地域において、今後発生しうる地震が相模トラフ沿いのプレート境界型地震のみであるとして、OpenQuake-engine による確率論的地震ハザードの計算を実行する。

「4.5 確率論的地震ハザード解析その3」では、「4.3 確率論的地震ハザード解析その1」、「4.4 確率論的地震ハザード解析その2」を組み合わせた解析事例を紹介する。

「4.6 震源断層を特定した地震動による建物被害解析」では、立川断層帯による地震動解析の結果から建物被害を解析する方法を紹介する。

「4.7 確率論的地震リスク解析」では、立川断層帯および相模トラフ沿いのプレート境界型地震による確率論的地震ハザード解析をもとに確率論的建物被害解析を実施する。

「4.8 計算時間」では、OpenQuake-engine を使用した解析での実行時間の一例と、計算時の注意点を記した。

4.2 震源断層を特定した地震動

4.2.1 必要な情報

震源断層を特定した地震動の解析を行うには、震源断層モデルと地震動強さを推定する式の情報が必要となる。ここでは、地震調査研究推進本部地震調査委員会によって公表された全国地震動予測地図 2016 年版⁴⁴⁾の情報を基に、OpenQuake-engine を使用して震源断層を特定した地震動の解析を実施する。注意が必要なのは、全国地震動予測地図における震源断層を特定した地震動の解析は、詳細法（ハイブリッド合成法）によって波形計算がなされて、かつ、距離減衰式を使用した簡便法により地震動強さの計算もなされ、さらに表層地盤の影響についても考慮されるのに対して、OpenQuake-engine では、距離減衰式に基づいた簡便法による地震動強さしか求められない。使用する地震動予測式によって、出力可能な地震動強さは異なるため、どの地震動予測式を使用して、どのような地震動強さを求めたかを自己で把握する必要がある。

ここでは、立川断層帯による地震動を計算する。既知の情報は表 4.2.1 のとおりである。確率論的地震動の解析ではないため、地震の発生確率過程や発生確率の情報は不要であるが、震源断層中心深さの情報が必要となる。解析に関して必要な情報を表 4.2.2 にまとめた。司・翠川 (1999)⁴⁵⁾を用いて地震動強さを計算するが、OpenQuake-engine で計算可能な司・翠川 (1999)の距離減衰式を使用した地震動指標は、S 波速度 600m/s の最大速度値を工学的基盤相当（S 波速度 400m/s 相当）に一律に増幅した地表最大速度（PGV）のみである。直接的に地表震度を計算することはできない。たとえば、AVS30 とレシピの方法（藤本・翠川 (2006)⁴⁶⁾、藤本・翠川 (2005)⁴⁷⁾および翠川ほか (1999)⁴⁸⁾などを用いて、地表震度を計算するには、工学的基盤相当の PGV から自分で変換する必要がある。

表 4.2.1 立川断層帯の情報（出典：全国地震動予測地図 2016 年版）

種類	データ
テクトニックタイプ	主要活断層帯
震源断層の原点	東経 139.453 度、北緯 35.669 度
断層の中心	139.3323,35.787435,10860
断層面地表トレースの情報	139.4502400, 35.6667500 139.1844000, 35.8836800
断層面情報	139.4530000, 35.6690000,2000.0000 139.1871600, 35.8859300,2000.0000 139.2116000, 35.9058700,19726.5396 139.4774400, 35.6889400,19726.5396
断層上端	2.0 km
断層長さ	34.0 km
断層幅	18.0 km
マグニチュード	Mw6.8
地震の発生確率過程	BPT
地震の発生確率	30 年発生確率: 1.35% 50 年発生確率: 2.24%

種類	データ
走向	315 度
傾斜角	80 度
すべり角	90 度

表 4.2.2 解析に関する情報

種類	データ
解析範囲	138.7, 36.3 138.7, 35.2 140.0, 35.2 140.0, 36.3
計算格子サイズ	500m*
断層分割格子サイズ	5.0 km
使用する距離減衰式	司・翠川 (1999)

4.2.2 必要なファイル

OpenQuake-engine 実行のためには、以下のように震源断層モデルと設定ファイルの 2 つが必要となる。

1. 震源断層モデルファイル (ファイル 4.2.1)
2. 設定ファイル (ファイル 4.2.3)

(1) 震源断層モデルファイル

はじめに、表 4.2.1 の情報を用いて震源断層モデルファイルを作成する。断層の 4 点の座標がわかっているので、single plane を用いて断層モデルを作成する。サンプルをファイル 4.2.1 に示した。ここで必要となる情報は、以下の 6 項目である。

1. 断層面の幾何形状の表現方法 (ファイル 4.2.1 の 3 行目~13 行目)
single plane を指定する。
2. マグニチュード (ファイル 4.2.1 の 4 行目)
司・翠川 (1999)を用いるので、Mw を指定する。
3. すべり角 (ファイル 4.2.1 の 5 行目)
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。
4. 震源位置 (ファイル 4.2.1 の 6 行目)
断層面の形状は別途記述するが、司・翠川 (1999)では、震源深さの情報が必要、震源深さはモデルの中心を指定する。
5. 走向、傾斜 (ファイル 4.2.1 の 7 行目)
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。
6. 断層面の座標と表現方法 (ファイル 4.2.1 の 7~12 行目)
断層面の 4 点の座標を指定 (planarSurface を指定) する。

* 現在 (2017 年 3 月)、250m メッシュでは計算できないバグが存在する。

上記の情報をもとに、震源モデルを作成する。震源モデルの設定方法は、「3.3.2 ハザード」(p.40~)で示したとおりである。断層面を4点の座標で表現するので、「3.3.2 (2) 1) ① Planar fault rupture」(p.44~)の情報を基に断層モデルを作成すればよい。

ファイル 4.2.1 震源断層を特定した地震動における震源断層モデルファイル (planar fault rupture の場合)

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>	XML 宣言
2 <nrml xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <singlePlaneRupture>	singlePlaneRupture : single plane
4 <magnitude>6.8</magnitude>	magnitude : マグニチュード
5 <rake>90</rake>	rake : すべり角
6 <hypocenter lat="35.787435" lon="139.3323" depth="10.86"/>	hypocenter : 震源位置 <i>lon</i> : 経度(°)、 <i>lat</i> : 緯度(°)、 <i>depth</i> : 深さ(km)
7 <planarSurface strike="315" dip="80">	planarSurface : 断層面 <i>strike</i> : 走向、 <i>dip</i> : 傾斜
8 <topLeft lon="139.45300" lat="35.66900" depth="2.0"/>	topLeft : 左上の座標
9 <topRight lon="139.18716" lat="35.88593" depth="2.0"/>	topRight : 右上の座標
10 <bottomLeft lon="139.47744" lat="35.68894" depth="19.72"/>	bottomLeft : 左下の座標
11 <bottomRight lon="139.21160" lat="35.90587" depth="19.72"/>	bottomRight : 右下の座標 <i>lon</i> : 経度(°)、 <i>lat</i> : 緯度(°)、 <i>depth</i> : 深さ(km)
12 </planarSurface>	planarSurface 終了タグ
13 </singlePlaneRupture>	singlePlaneRupture 終了タグ
14 </nrml>	nrml 終了タグ

上記では、single plane を用いて断層モデルを作成したが、断層の地表トレースの座標がわかっている場合には、simple fault を使ってもよい。simple fault の場合のサンプルファイルをファイル 4.2.2 に示した。この場合、必要となる情報は、以下の7項目である。

1. 断層面の幾何形状の表現方法 (ファイル 4.2.2 の 3 行目~18 行目)
simple fault を指定する。
2. マグニチュード (ファイル 4.2.2 の 4 行目)
司・翠川 (1999)を用いるので、Mw を指定する。
3. すべり角 (ファイル 4.2.2 の 5 行目)
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。
4. 震源位置 (ファイル 4.2.2 の 6 行目)
断層面の形状は別途記述するが、司・翠川 (1999)では、震源深さの情報が必要、震源深さはモデルの中心を指定する。
5. 断層面地表トレースの座標 (ファイル 4.2.1 の 8~13 行目)
地表トレースの座標を2点で指定する。
6. 傾斜 (ファイル 4.2.2 の 14 行目)
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。

- 地震発生上限、下限深さ（ファイル 4.2.2 の 15、16 行目）
断層面の上端、下端を指定する。

ファイル 4.2.2 震源断層を特定した地震動における震源断層モデルファイル
(simple fault rupture の場合)

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>	XML 宣言
2 <nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <simpleFaultRupture>	simpleFaultRupture : simple fault
4 <magnitude>6.8</magnitude>	magnitude : マグニチュード
5 <rake>90.0</rake>	rake : すべり角
6 <hypocenter lat="35.787435" lon="139.3323" depth="10.86"/>	hypocenter : 震源位置 <i>depth</i> : 深さ (km)、 <i>lat</i> : 緯度、 <i>lon</i> : 経度
7 <simpleFaultGeometry>	simpleFaultGeometry : simple fault
8 <gml:LineString>	gml:LineString : simple fault の線
9 <gml:posList>	gml:posList : 位置のリスト
10 139.4502400 35.6667500	始点の経度 緯度
11 139.1844000 35.8836800	終点の経度 緯度
12 </gml:posList>	<i>gml:posList</i> 終了タグ
13 </gml:LineString>	<i>gml:LineString</i> 終了タグ
14 <dip>80</dip>	dip : 傾斜角
15 <upperSeismoDepth>2.0</upperSeismoDepth>	upperSeismoDepth : 地震発生深さ上限(km)
16 <lowerSeismoDepth>19.72</lowerSeismoDepth>	lowerSeismoDepth : 地震発生深さ下限(km)
17 </simpleFaultGeometry>	<i>simpleFaultGeometry</i> 終了タグ
18 </simpleFaultRupture>	<i>simpleFaultRupture</i> 終了タグ
19 </nrml>	<i>nrml</i> 終了タグ

(2) 設定ファイル

次に設定ファイルを作成する。ファイル 4.2.3 にサンプルを示した。ここで必要な情報は以下の 5 点である。

- 計算モードほかの情報（ファイル 4.2.3 の 2、3 行目）
- 計算範囲、計算格子の情報（ファイル 4.2.3 の 6、7 行目）
- 震源断層モデルの情報（ファイル 4.2.3 の 10、11 行目）
- 観測点の情報（ファイル 4.2.3 の 14~17 行目）
- 計算する地震動とその指標および補正などの情報（ファイル 4.2.3 の 20~25 行目）

これらの情報を基に、設定ファイルを作成する。作成したファイル 4.2.3 を上から順に、セクションごとに解説する。

1) general セクション（計算モードほかの情報）

ここでは、この計算にかかわる一般的な情報を記述する。ここでは、以下の 2 つのパラメータを設定する。

- `description` (2行目)
この計算でどのような計算を実行するかを任意の文字列で記述する。
- `calculation_mode` (3行目)
Scenario Case の計算を行うので、`scenario` を選択する。

2) `sites` セクション (計算範囲、計算格子の情報)

解析領域に関する設定を記述する。解析領域を矩形で指定するので、以下の2つのパラメータが必要となる。

- `region_grid_spacing` (6行目)
解析領域内の計算格子サイズをメートル単位で指定、計算の格子サイズを小さくすればするほど、より計算時間がかかる。
- `region` (7行目)
解析領域を矩形で設定するため、「経度 緯度」の組み合わせで、4点 (カンマ区切りで) 記述する。

3) `erf` セクション (震源断層モデルの情報)

震源断層モデルの情報を記述する。ここで指定する必要があるのは震源断層モデルファイルと断層分割格子サイズの2つのパラメータである。

- `rupture_model_file` (10行目)
前節で作成した震源断層モデルファイル名を指定する。
- `rupture_mesh_spacing` (11行目)
震源距離を計算するために、断層面を分割するために `km` 単位で指定、細かければ細かいほど精度は高くなるが、計算の処理は重くなる。

4) `site_params` セクション (観測点の情報)

観測点の情報を記述する。ここでは、以下の4つのパラメータを記述しているが、OpenQuake-engine における司・翠川 (1999)の地震動予測式には、観測点の情報を必要としないため、実際には不要である。

- `reference_vs30_value` (14行目)
Vs30 の値 (m/s)を指定する。
- `reference_vs30_type` (15行目)
Vs30 の値が、観測値 (measured) か、推測値 (inferred) かどうかを指定する。
- `reference_depth_to_2pt5km_per_sec` (16行目)
Vs=2.5km/s となる深さ(km)を指定する。
- `reference_depth_to_1pt0km_per_sec` (17行目)
Vs=1.0km/s となる深さ(m)を指定する。

どの観測点でも同じ値を使用する場合には、各パラメータを上記のように一括して指定可能であるが、観測点ごとに異なる場合には、別途、nrml形式で観測点情報を指定することも可能である。

5) hazard_calculation セクション (計算する地震動とその指標および補正などの情報)

計算に使用する地震動予測式および地震動強さ、その他のパラメータなどを記述する。

- **random_seed** (20 行目)
統計処理のための乱数シード値を任意の整数で指定するが、今回の計算では統計処理をしない。
- **gsim** (21 行目)
計算に使用する地震動予測式を指定する。
- **intensity_measure_types:** (22 行目)
計算したい地震動指標を指定する。上で指定した **gsim** で計算可能な地震動指標のみ指定可能である。
- **truncation_level** (23 行目)
切断正規分布の有界レベルを実数で指定する。**OpenQuake-engine** では、地震動予測式に付属する標準偏差の値と乱数を使用して、空間補正を適用し、統計データとして処理する。**truncation_level** を設定すると、切断正規分布に従った乱数を使用し、**truncation_level = 0.0** とすると、乱数を使用しない平均値 (標準偏差 0) を使用した地震動強さの計算となる。標準正規分布に従う乱数を指定したければ、**truncation_level** 変数自体を設定しなければよい。
- **maximum_distance** (24 行目)
距離減衰式を用いて計算する最大距離を km で指定する。
- **number_of_ground_motion_fields** (25 行目)
地震動強さの計算回数を整数で指定する。**OpenQuake-engine** では、地震動予測式に付属する標準偏差の値と乱数を使用して、空間補正を適用し、統計データとして処理する。統計データと処理したい場合の計算回数を指定する。乱数を使用した補正をしないのであれば、計算回数は 1 回でよい。

ファイル 4.2.3 震源断層を特定した地震動における設定ファイル

	ファイル内容	説明
1	[general]	general セクション
2	description = Scenario Case Sample For Taichikawa Fault Zone	簡単な説明
3	calculation_mode = scenario	計算モードは Scenario-based Hazard
4		
5	[sites]	
6	region_grid_spacing = 0.5	計算格子サイズ (km)
7	region = 138.7 36.3, 138.7 35.2, 140.0 35.2, 140.0 36.3	計算範囲 (経度 緯度で 4 点)

ファイル内容	説明
8	
9 [erf]	
10 rupture_model_file = earthquake_rupture_model.xml	断層モデルファイル
11 rupture_mesh_spacing = 5	断層面の分割サイズ (km)
12	
13 [site_params]	
14 reference_vs30_value = 400	$V_{s30}(m/s)$
15 reference_vs30_type = inferred	V_{s30} のタイプ
16 reference_depth_to_2pt5km_per_sec = 5.0	$V_{s2.5km/s}$ となる深さ(km)
17 reference_depth_to_1pt0km_per_sec = 100.0	$V_{s1.0km/s}$ となる深さ(m)
18	
19 [hazard_calculation]	
20 random_seed = 113	統計処理のための乱数のシード値
21 gsim = SiMidorikawa1999Asc	地震動強さモデル
22 intensity_measure_types = PGV	地震動強さのタイプ
23 truncation_level = 0.0	偶然的ばらつきのための有界レベル
24 maximum_distance = 200.0	地震動を計算する最大距離 (km)
25 number_of_ground_motion_fields = 1	地震動を計算する回数

4.2.3 計算方法

計算方法は「3.4.1 WebUI による実行」(p.81~) および「3.4.2 コマンドラインによる計算実行方法」(p.90~) に示したとおりである。

4.2.4 出力

計算結果の出力方法と図化方法は、「3.6 各計算タイプにおけるハザード・リスクの計算方法」(p.105~) および「3.7 計算結果の図化方法」(p.169~) に示したとおりである。出力ファイルを QGIS で図化したものを図 4.2.1 に示した。司・翠川 (1999) の計算結果のみでは、地盤の情報を使わないため、断層面に沿った形で出力される。

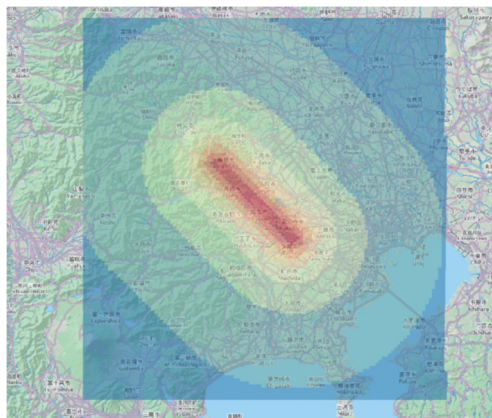


図 4.2.1 震源断層を特定した地震動の計算結果例

4.3 確率論的地震ハザード解析その1

4.3.1 必要な情報

次に、確率論的地震ハザード解析を行う。必要な情報は、以下の3点である。

1. 対象とする地点で将来発生すると予測されるすべての地震の情報
2. その地震の発生確率
3. 地震動強さを推定する式

ここでは、地震調査研究推進本部地震調査委員会によって公表された全国地震動予測地図 図 2016 年版をもとに、それぞれの情報が既知として、OpenQuake-engine を使用して確率論的地震ハザードの計算を実行する。全国地震動予測地図と同様に、ハザードカーブを計算するとして、Classical PSHA の計算を実施するが、参考のため、Event-based PSHA の計算も実施する。

簡単化のため、対象とする計算範囲を関東平野とし、将来発生する地震が立川断層帯のみとした場合について解説する。既知の情報は表 4.2.1 で示したものと同一ものを使用する。また、解析に関して必要な情報も表 4.2.2 と同一ものを使用する。

4.3.2 必要なファイル

OpenQuake-engine 実行のための震源モデルロジックツリーと地震動予測式ロジックツリーおよび設定ファイルが必要となる。震源モデルロジックツリー内で指定される震源モデルもまた必要となるため、以下のように、計4つのファイルが必要である。

1. 震源モデル (ファイル 4.3.1)
2. 震源モデルロジックツリーファイル (ファイル 4.3.2)
3. 地震動予測式ロジックツリーファイル (ファイル 4.3.3)
4. 設定ファイル (ファイル 4.3.4)

(1) 震源モデルファイル

震源モデルファイルは、震源モデルロジックツリーファイルに記述されるファイル数の分だけ用意しなければならない。ファイル 4.3.2 に示したとおり、ここでは一ファイルのみ使用する。震源断層を特定した地震動とは異なり、地震の発生確率を記述した震源モデルが必要となる。表 4.2.1 の情報を用いて震源モデルファイルを作成する。発生する地震は断層面全体を一度で破壊する仮定のもと計算を行うため、Fault sources without floating ruptures における Characteristic fault source という震源分類で、断層の4点の座標がわかっているのので、single plane で断層面をモデル化する。サンプルをファイル 4.3.1 に示した。改めて、ここで必要となる情報は、以下の5つの情報である。この情報は、震源断層ごとに必要となる。

1. 断層破壊分類とテクトニックタイプ (ファイル 4.3.1 の5行目)
characteristicFaultSource を用いて、構造は Active Shallow Crust (活断層) を指定する。

2. 地震の発生確率の情報（ファイル 4.3.1 の 6~8 行目）
Mw6.8 の地震のみを考慮するため、incrementalMFD を用いる。発生確率については、後述する設定ファイルで指定する対象期間に合わせる。
3. すべり角（ファイル 4.3.1 の 9 行目）
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。
4. 走向、傾斜（ファイル 4.3.1 の 11 行目）
司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。
5. 断層面の座標と表現方法（ファイル 4.2.1 の 10~17 行目）
断層面の 4 点の座標を指定。震源断層を特定した地震動予測の場合には、震源中心の座標を指定したが、確率論的地震動予測においては、断層面の座標から、断層中心が自動で計算される。

上記の情報を基に震源モデルを作成する。設定方法は、「3.3.2 ハザード」(p.40~)で示したとおりである。Fault sources without floating ruptures における Characteristic fault source という震源分類で、断層の 4 点の座標を用いて断層面を表現するので、「3.3.2 (2) 4) ① Characteristic fault」(p.55~) の情報を基に断層モデルを作成すればよい。

ファイル 4.3.1 確率論的地震ハザード解析その 1 における震源モデルファイル

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>	XML 宣言
2 <nxml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nxml/0.5">	nxml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <sourceModel name="Example Source Model containing a Characteristic Fault Source defined by a sequence of Planar Surfaces">	sourceModel <i>name</i> : 簡単な説明
4 <sourceGroup name="group 1" tectonicRegion="Active Shallow Crust">	sourceGroup : 震源グループ <i>tectonicRegion</i> : テクトニックタイプ
5 <characteristicFaultSource tectonicRegion="Active Shallow Crust" id="1" name="Taichikawa fault zone">	characteristicFaultSource : Characteristic faults <i>id</i> : ID、 <i>name</i> : 震源タイプ <i>tectonicRegion</i> : テクトニックタイプ
6 <incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="6.8">	incrementalMFD : マグニチュード別 度数分布 <i>binWidth</i> : 増分、 <i>minMag</i> : 最小 M
7 <occurRates>0.000448</occurRates>	occurRates : 発生確率
8 </incrementalMFD>	incrementalMFD 終了タグ
9 <rake>90.0</rake>	rake : すべり角(°)
10 <surface>	surface : 断層面
11 <planarSurface strike="315.0" dip="80.0">	planarSurface : 断層面 1 <i>strike</i> : 走向(°)、 <i>dip</i> : 傾斜(°)
12 <topLeft lon="139.453" lat="35.669" depth="2.0"/>	topLeft : 左上の座標
13 <topRight lon="139.18716" lat="35.88593" depth="2.0"/>	topRight : 右上の座標
14 <bottomLeft lon="139.47744" lat="35.68894" depth="19.7265396"/>	bottomLeft : 左下の座標
15 <bottomRight lon="139.2116" lat="35.90587" depth="19.7265396"/>	bottomRight : 右下の座標 <i>lon</i> : 経度(°)、 <i>lat</i> : 緯度(°)、 <i>depth</i> : 深さ(km)
16 </planarSurface>	planarSurface 終了タグ

	ファイル内容	説明
17	</surface>	surface 終了タグ
18	</characteristicFaultSource>	characteristicFaultSource 終了タグ
19	</sourceGroup>	sourceGroup 終了タグ
20	</sourceModel>	sourceModel 終了タグ
21	</nrml>	nrml 終了タグ

(2) 震源モデルロジックツリーファイル

震源モデルロジックツリーファイルは、震源モデルとその不確定性を記述する。今回は、1 つの震源モデルファイルを使用した計算なので、ロジックツリーは一つのみ、ブランチセットも一つのみである。サンプルファイルをファイル 4.3.2 に示した。7 行目で震源モデルファイルを指定して、8 行目で重みを 1 にすればよい。

ファイル 4.3.2 確率論的地震ハザード解析その 1 における震源モデルロジックツリーファイル

	ファイル内容	説明
1	<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>	XML 宣言
2	<nrml xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ xmlns: XML 名前空間
3	<logicTree logicTreeID="lt1">	logicTree: ロジックツリー logicTreeID: ID
4	<logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b1">	logicTreeBranchingLevel: ブランチ ングレベル branchingLevelID: ID
5	<logicTreeBranchSet uncertaintyType="sourceModel" branchSetID="bs1">	logicTreeBranchSet: ブランチセット branchSetID: ID、uncertaintyType: 不 確定性のタイプ
6	<logicTreeBranch branchID="b1">	logicTreeBranch: ブランチ branchID: ID
7	<uncertaintyModel>source_model.xml</uncertaintyModel>	uncertaintyModel: source_model.xml が不確定性のモデル
8	<uncertaintyWeight>1.0</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight: 不確定性の重み は 1.0
9	</logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
10	</logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
11	</logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
12	</logicTree>	logicTree 終了タグ
13	</nrml>	nrml 終了タグ

(3) 地震動予測式ロジックツリーファイル

地震動予測式ロジックツリーファイルは、計算に使用する地震動予測式とそれに対する重みを記述する。震源モデル中に含まれるテクトニックタイプ (ファイル 4.3.1 の 4 行目の tectonicRegion) に対応する地震動予測式を含まなければならない。今回は、司・翠川 (1999) を使用した内陸地殻内地震のみの計算なので、ロジックツリーは一つのみ、ブランチセットも一つのみである。7 行目で使用する地震動予測式 (SiMidorikawa1999ASC) を指定して、8 行目で重みを 1 にすればよい。その際、ロジックツリーブランチセットの属性として、

applyToTectonicRegionType 属性を用いて、テクトニックタイプを指定することを忘れてはならない。サンプルファイルをファイル 4.3.3 に示す。

設定ファイルの intensity_measure_types_and_levels で指定する地震動強さは、ここで指定する（テクトニックタイプにおける）地震動予測式中に含まれていなければならない。

ファイル 4.3.3 確率論的地震ハザード解析その 1 における地震動予測式ロジックツリーファイル

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>	XML 宣言
2 <nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <logicTree logicTreeID="lt1">	logicTree : ロジックツリー <i>logicTreeID</i> : ID
4 <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b1">	logicTreeBranchingLevel : ブランチングレベル <i>branchingLevelID</i> : ID
5 <logicTreeBranchSet uncertaintyType="gmpeModel" branchSetID="bs1" applyToTectonicRegionType="Active Shallow Crust">	logicTreeBranchSet : ブランチセット <i>branchSetID</i> : ID、 <i>uncertaintyType</i> : 不確定性のタイプは gmpeModel、 <i>applyToTectonicRegionType</i> : 適用する構造は Active Shallow Crust
6 <logicTreeBranch branchID="b1">	logicTreeBranch : ブランチ <i>branchID</i> : ID
7 <uncertaintyModel>SiMidorikawa1999Asc</uncertaintyModel>	uncertaintyModel : SiMidorikawa1999Asc が不確定性のモデル
8 <uncertaintyWeight>1.0</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight : 不確定性の重みは 1.0
9 </logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
10 </logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
11 </logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
12 </logicTree>	logicTree 終了タグ
13 </nrml>	nrml 終了タグ

(4) 設定ファイル

最後に設定ファイルを作成する。Classical PSHA による解析時のサンプルをファイル 4.3.4 に示した。ここで必要な情報は以下の点である。

1. 計算モードほかの情報（ファイル 4.3.4 の 2~4 行目）
2. 計算範囲、計算格子の情報（ファイル 4.2.3 の 6、7 行目）
3. 震源モデル、地震動予測式のロジックツリーの情報（ファイル 4.2.3 の 6、7 行目）
4. 断層モデルの分割に関する情報（ファイル 4.3.4 の 10 行目）
5. ハザード計算のための情報（ファイル 4.3.4 の 17~21 行目）
6. ハザード出力に関する情報（ファイル 4.3.4 の 24、25 行目）

震源断層を特定した地震動の場合と異なり、各ロジックツリーの情報や、計算する地震動強さとハザードカーブで計算する地震動強さのレベル、超過確率の対象期間などが必要となる。前節では、参考のために観測点の情報を記述したが、司・翠川 (1999)の地震動予

測式では、これらの値は参照されないため省略した。以上の情報を基に、設定ファイルを作成する。作成したファイル 4.3.4 を上から順に、セクションごとに解説する。

1) general セクション (計算モードほかの情報)

ここでは、この計算にかかわる一般的な情報を記述する。ここでは、以下の2つのパラメータを設定する。

- `description` (2行目)
この計算でどのような計算を実行するかを任意の文字列で記述する。
- `calculation_mode` (3行目)
Classical PSHA の計算を行うので、`classical` を選択する。

2) sites セクション (計算範囲、計算格子の情報)

解析領域に関する設定を記述する。解析領域を矩形で指定するので、以下の2つのパラメータが必要となる。

- `region_grid_spacing` (6行目)
解析領域内の計算格子サイズを `m` 単位で指定。計算の格子サイズを小さくすればするほど、より計算時間がかかる。
- `region` (7行目)
解析領域を矩形で設定するため、「経度 緯度」の組み合わせで、4点 (カンマ区切りで) 記述する。

3) logic_tree セクション (ロジックツリーの情報)

- `source_model_logic_tree_file` (10行目)
「4.3.2 (1) 震源モデルファイル」(p.193~) で作成した震源モデルロジックツリーファイルを指定する。
- `gsim_logic_tree_file` (11行目)
「4.3.2 (3) 地震動予測式ロジックツリーファイル」(p.195~) で作成した地震動予測式ロジックツリーファイルを指定する。

4) erf セクション (断層モデルの分割に関する情報)

断層モデルの分割に関する情報を記述する。断層モデル自体は、震源モデルロジックツリーに含まれるので、ここでは指定しない。

- `rupture_mesh_spacing` (14行目)
震源距離を計算するために、断層面を分割するために `km` 単位で指定。細かければ細かいほど、精度は高くなるが、計算の処理は重くなる。

5) calculation parameters セクション (計算のための情報)

計算する地震動強さその指標および補正、対象期間などの情報を記述する。

- `random_seed` (17 行目)
統計処理のための乱数シード値を任意の整数で指定。ただし、今回の計算では統計処理をしない。
- `intensity_measure_types_and_levels`: (18 行目)
計算したい地震動指標とハザードカーブ計算の際のその強さを指定する。上で指定した `gsim_logic_tree_file` 内で記述した地震動予測式で計算可能な地震動指標のみ指定可能である。
- `truncation_level` (19 行目)
切断正規分布の有界レベルを実数で指定する。全国地震動予測地図においては、有界レベルを 3 と設定しているのので、3.0 で計算を行う (藤原ほか (2013) ⁴⁴⁾ p.85)。
- `maximum_distance` (20 行目)
距離減衰式を用いて計算する最大距離を km で指定する。
- `investigation_time` (21 行目)
超過確率を計算する対象期間を年単位で指定する。

6) hazard outputs セクション (出力のための情報)

Classical PSHA による解析の場合には、ハザードカーブは標準で出力される。ハザードマップを出力したい場合は超過確率などの記述が必要となる。

- `hazard_maps` (24 行目)
ハザードマップを出力するかどうかを `true/false` で指定する。
- `poes` (25 行目)
ハザードマップを出力する場合の年超過確率を実数で指定する。

ファイル 4.3.4 確率論的地震ハザード解析その 1 における設定ファイル

(Classical PSHA の場合)

	ファイル内容	説明
1	<code>[general]</code>	<code>general</code> セクション
2	<code>description = Classical PSHA Sample For Taichikawa Fault Zone</code>	簡単な説明
3	<code>calculation_mode = classical</code>	計算モードは <code>classical</code>
4		
5	<code>[sites]</code>	
6	<code>region_grid_spacing = 0.5</code>	計算格子サイズ (km)
7	<code>region = 138.7 36.3, 138.7 35.2, 140.0 35.2, 140.0 36.3</code>	計算範囲 (経度 緯度で 4 点)
8		
9	<code>[logic_tree]</code>	
10	<code>source_model_logic_tree_file = source_model_logic_tree.xml</code>	震源モデルのロジックツリーファイル
11	<code>gsim_logic_tree_file = gmpe_logic_tree.xml</code>	地震動予測式のロジックツリーファイル

ファイル内容	説明
12 13 [erf] 14 rupture_mesh_spacing = 5 15	断層面の分割サイズ (km)
16 [hazard_calculation] 17 random_seed = 113 18 intensity_measure_types_and_levels = {"PGV": [2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300] } 19 truncation_level = 3.0	統計処理のための乱数のシード値 計算する地震動とそのレベル 地震動のばらつきのための有界レベル
20 maximum_distance = 200.0 21 investigation_time = 50 22	地震動を計算する最大距離 (km) 超過確率の対象期間(年)
23 [hazard_outputs] 24 hazard_maps = true 25 poes = 0.01, 0.02, 0.10	ハザードマップの出力 超過確率: 1%、2%、10%

Event-based PSHA の解析を実施したい場合は、3行目の calculation_mode を event_based に変更し、任意の行に event_based_params セクションを設けて ses_per_logic_tree_path 変数を設定する。Event-based PSHA の解析では、ハザードカーブはデフォルトで出力されないため、hazard_outputs セクションに hazard_curves_from_gmfs 変数を設定することになる。設定したファイルのサンプルをファイル 4.3.5 に示した。

ファイル 4.3.5 確率論的地震ハザード解析その1における設定ファイル (Event-based PSHA の場合)

ファイル内容	説明
1 [general] 2 description = Event based PSHA Sample For Taichikawa Fault Zone 3 calculation_mode = event_based 4	general セクション 簡単な説明 計算モードは event_based
5 [sites] 6 region_grid_spacing = 0.5 7 region = 138.7 36.3, 138.7 35.2, 140.0 35.2, 140.0 36.3 8	計算格子サイズ (km) 計算範囲 (経度 緯度で 4 点)
9 [logic_tree] 10 source_model_logic_tree_file = source_model_logic_tree.xml 11 gsim_logic_tree_file = gmpe_logic_tree.xml 12	震源モデルのロジックツリーファイル 地震動予測式のロジックツリーファイル
13 [erf] 14 rupture_mesh_spacing = 5 15	断層面の分割サイズ (km)
16 [hazard_calculation] 17 random_seed = 113 18 intensity_measure_types_and_levels = {"PGV": [2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300] }	統計処理のための乱数のシード値 計算する地震動とそのレベル

	ファイル内容	説明
19	truncation_level = 3.0	地震動のばらつきのための有界レベル
20	maximum_distance = 200.0	地震動を計算する最大距離 (km)
21	investigation_time = 50	超過確率の対象期間(年)
22		
23	[event_based_params]	
24	ses_per_logic_tree_path = 10000	統計イベントセット数
25		
26	[hazard_outputs]	
27	hazard_curves_from_gmfs = true	地震動場からハザードカーブを計算する
28	hazard_maps = true	ハザードマップの出力
29	poes = 0.01, 0.02, 0.10	超過確率: 1%、2%、10%

4.3.3 計算方法

計算方法は「3.4.1 WebUI による実行」(p.81~) および「3.4.2 コマンドラインによる計算実行方法」(p.90~) に示したとおりである。

4.3.4 出力

計算結果の出力方法と図化方法は、「3.6 各計算タイプにおけるハザード・リスクの計算方法」(p.105~) および「3.7 計算結果の図化方法」(p.169~) に示したとおりである。

この計算では、震源が1つかつ不確実性も特にならないことから、指定した発生確率と使用した地震動予測式に従った結果が出力される。計算される地震動にばらつきを与えているため、結果は図 4.3.1 のようになる。地震動にばらつきを与えない場合は、図 4.3.2 のように、ハザードカーブは一様な年超過確率の結果となる。また、Event-based PSHA の計算結果との比較図を図 4.3.3 に示した。

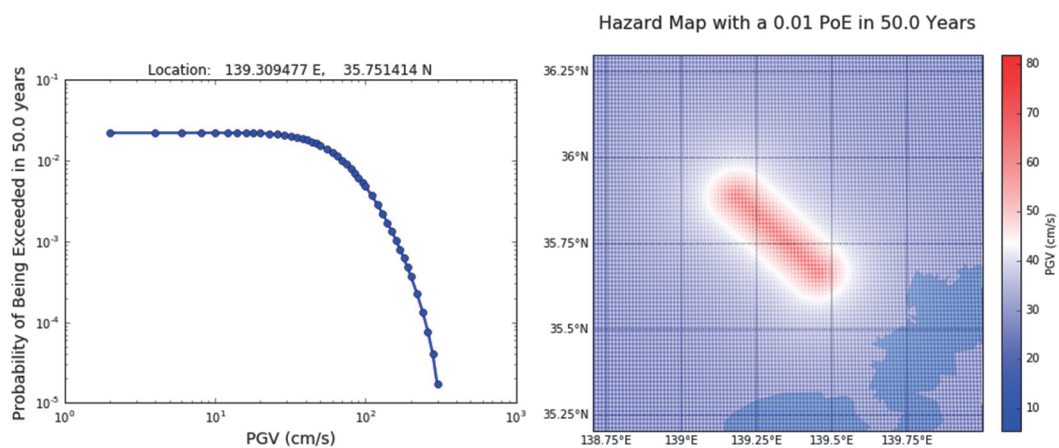


図 4.3.1 確率論的地震ハザード解析その1の計算結果の一例
(左) ハザードカーブ、(右) ハザードマップ

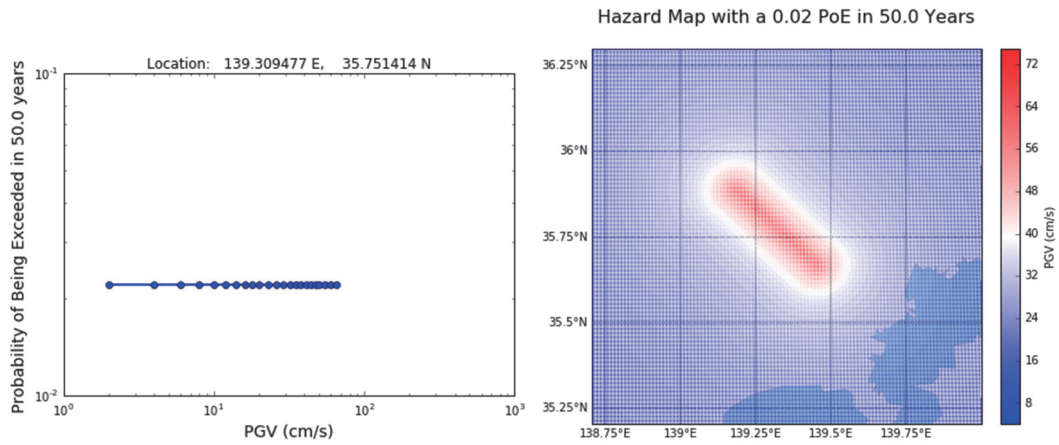


図 4.3.2 地震動にばらつきを与えない場合の計算結果の一例
(左) ハザードカーブ、(右) ハザードマップ

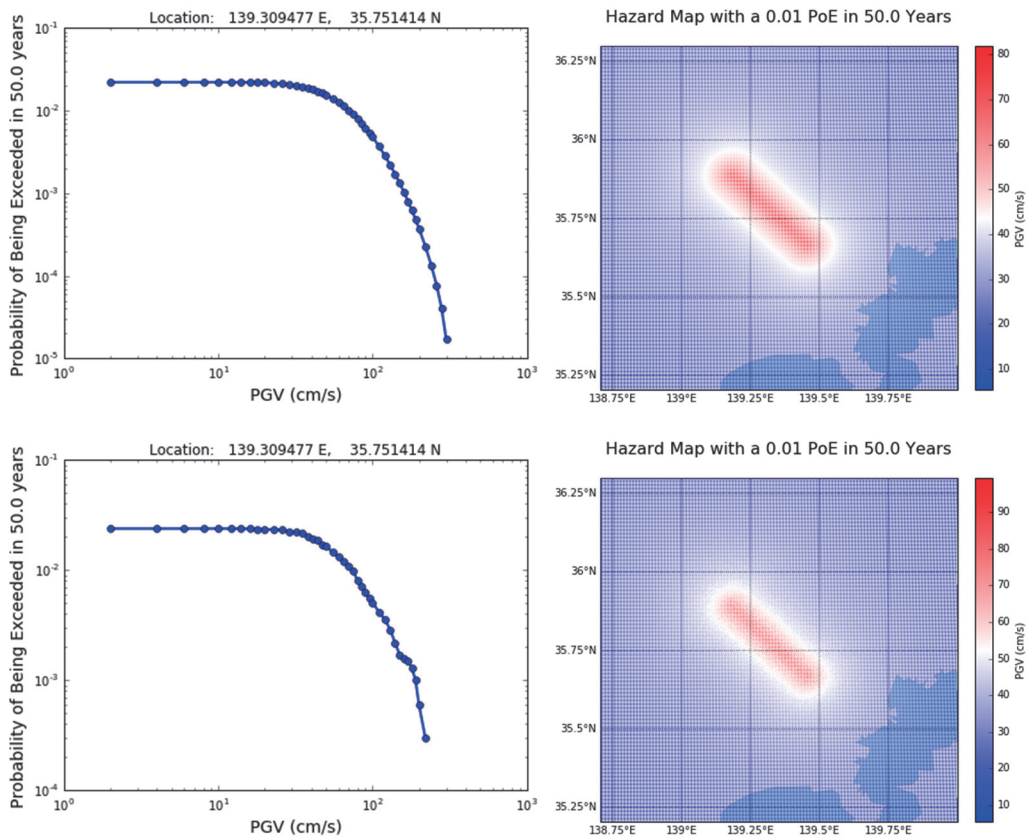


図 4.3.3 計算モードによる計算結果の比較
(上) Classical PSHA の計算結果、(下) Event-based PSHA の計算結果
(左) ハザードカーブ、(右) ハザードマップ

4.4 確率論的地震ハザード解析その2

4.4.1 必要な情報

前節では、主要活断層帯の地震を対象として、OpenQuake-engineを使用した確率論的地震ハザードの計算を実行した。今節においては、海溝型地震を対象とした確率論的地震動予測の計算方法を解説する。簡単化のため、対象とする地点を関東平野とし、将来発生する地震が相模トラフ沿いのM8クラスの地震のみとした場合について解説する。既知の情報は表4.4.1のとおりである。相模トラフ沿いのM8クラスの地震については、最新の知見により、発生領域と地震の規模が複数のパターンで表現され、それぞれ重みづけされている。発生パターンと地震の規模および重みづけの関係を表4.4.2に示した。解析に関する情報は、表4.2.2に示したものと同一ものを使用する。

表 4.4.1 相模トラフ沿いのM8クラス

種類	データ
テクトニックタイプ	海溝型
マグニチュード	Mw7.9-8.6
確率過程	BPT
地震の発生確率	30年発生確率: 0.7% 50年発生確率: 1.6%

表 4.4.2 発生パターンと重み

No.	発生パターン	マグニチュード	重み
1	領域 1	7.9(Mw)	0.37
2	領域 2	8.2(Mw)	0.06
3	領域 3	8.0(Mw)	0.30
4	領域 4	8.3(Mw)	0.05
5	領域 5	8.4(Mw)	0.03
6	領域 6	8.5(Mw)	0.01
7	領域 7	8.5(Mw)	0.01
8	領域 8	8.6(Mw)	0.02
9	領域 9	7.9(Mw)	0.11
10	領域 10	8.2(Mw)	0.04

4.4.2 必要なファイル

OpenQuake-engine 実行のための震源モデルロジックツリーと地震動予測式ロジックツリーおよび設定ファイルが必要となる。震源モデルロジックツリー内で指定される震源モデルもまた必要となるため、以下の計4つのファイルが必要である。

1. 震源モデル (ファイル 4.4.1)
2. 震源モデルロジックツリーファイル (ファイル 4.4.2)
3. 地震動予測式ロジックツリーファイル (ファイル 4.4.3)

4. 設定ファイル (ファイル 4.4.4)

(1) 震源モデルファイル

震源モデルファイルは、震源モデルロジックツリーファイルに記述されるファイル数の分だけ用意しなければならない。ここでは 10 領域分の震源において、重みを考慮するので、領域ごとのモデルとして、10 ファイル使用する。震源断層を特定した地震動とは異なり、地震の発生確率を記述した震源モデルが必要となる。相模トラフの情報を用いて震源モデルファイルを作成する。発生する地震は断層面全体を一度で破壊する仮定のもと計算を行うため、Fault sources without floating ruptures における Characteristic fault source という震源分類で、断層面を深さごとに座標を指定する complex fault で断層面をモデル化する。サンプルをファイル 4.4.1 に示した。改めて、ここで必要となる情報は、以下の 4 つの情報である。この情報は、震源断層ごとに必要となる。

1. 断層破壊分類とテクトニックタイプ (ファイル 4.4.1 の 5 行目)

characteristicFaultSource を用いて、構造は Subduction Interface (海溝型) を指定する。

2. 地震の発生確率の情報 (ファイル 4.4.1 の 6~8 行目)

Mw7.9 の地震のみを考慮するため、incrementalMFD を用いる。発生確率については、後述する設定ファイルで指定する対象期間に合わせる。

3. すべり角 (ファイル 4.4.1 の 9 行目)

司・翠川 (1999)では必要としないが、情報として記入する。

4. 断層面の座標と表現方法 (ファイル 4.4.1 の 10~44 行目)

断層面の深さごとのトレース座標を指定する。

上記の情報を基に震源モデルを作成する。設定方法は、「3.3.2 ハザード」(p.40~) で示したとおりである。Fault sources without floating ruptures における Characteristic fault source という震源分類で、深さごとに座標を指定する complex fault で断層面を表現するので、「3.3.2 (2) 4) ① Characteristic fault」(p.55~) の情報を基に断層モデルを作成すればよい。

ファイル 4.4.1 確率論的地震ハザード解析その 2 における一つ目の震源モデルファイル

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>	XML 宣言
2 <nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <sourceModel name="Sagami Trough">	sourceModel <i>name</i> : 簡単な説明
4 <sourceGroup name="Sagami Trough ASG01" tectonicRegion="Subduction Interface">	sourceGroup : 震源グループ <i>tectonicRegion</i> : テクトニックタイプ
5 <characteristicFaultSource id="1" name="Sagami Trough ASG01" tectonicRegion="Subduction Interface">	characteristicFaultSource : Characteristic faults <i>id</i> : ID、 <i>name</i> : 震源タイプ、 <i>tectonicRegion</i> : テクトニックタイプ

	ファイル内容	説明
6	<incrementalMFD binWidth="0.1" minMag="7.9">	incrementalMFD: マグニチュード別 度数分布
7	<occurRates>0.00032</occurRates>	<i>binWidth:</i> 増分、 <i>minMag:</i> 最小 M
8	</incrementalMFD>	occurRates: 発生確率
9	<rake>90</rake>	incrementalMFD 終了タグ
10	<surface>	rake: すべり角
11	<complexFaultGeometry>	surface: 断層面
12	<faultTopEdge>	complexFaultGeometry: Complex fault
13	<gml:LineString>	faultTopEdge: 断層面上端
14	<gml:posList>	gml:LineString: 線
15	139.985817 34.925344 12.0 139.822288 34.986544	gml:posList: 位置のリスト
16	12.0 139.778633 35.010425 12.0 139.717208 35.052000 12.0	上端の経度(°) 緯度(°) 深さ(km) 経
17	139.673937 35.076774 12.0 139.571450 35.136775 12.0	度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
18	139.527819 35.170911 12.0 139.438657 35.250000 12.0	緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
19	139.398569 35.287427 12.0 139.364267 35.319481 12.0	緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
20	139.270376 35.404874 12.0 139.221240 35.448000 12.0	緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
21	139.157083 35.481475 12.0 139.122442 35.492804 12.0	緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
22	138.949900 35.518627 12.0	緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度
23	</gml:posList>	gml:posList 終了タグ
24	</gml:LineString>	gml:LineString 終了タグ
25	</faultTopEdge>	faultTopEdge 終了タグ
26	<faultIntermediateEdge>	faultIntermediateEdge: 断層面中間
27	<gml:LineString>	gml:LineString: 線
28	<gml:posList>	gml:posList: 位置のリスト
29	139.985817 35.011716 14.0 139.902221 35.052000	中間の経度 緯度 深さ 経度 緯度
30	14.0 139.829221 35.085330 14.0 139.778633 35.109904 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
31	139.679903 35.172295 14.0 139.573415 35.250000 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
32	139.571450 35.251418 14.0 139.541848 35.276939 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
33	139.416333 35.396079 14.0 139.364267 35.445524 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
34	139.361511 35.448000 14.0 139.280261 35.501972 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
35	139.157083 35.554665 14.0 139.119249 35.567926 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
36	138.949900 35.604669 14.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
37	</gml:posList>	gml:posList 終了タグ
38	</gml:LineString>	gml:LineString 終了タグ
39	</faultIntermediateEdge>	faultIntermediateEdge 終了タグ
40	.	
41	.	
42	.	
43	<faultIntermediateEdge>	faultIntermediateEdge: 断層面中間
44	<gml:LineString>	gml:LineString: 線
45	<gml:posList>	gml:posList: 位置のリスト
46	140.193000 35.412669 24.0 140.085325 35.448000	中間の経度 緯度 深さ 経度 緯度
47	24.0 140.028152 35.464169 24.0 139.985817 35.476189 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
48	139.863695 35.516824 24.0 139.778633 35.547386 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
49	139.701349 35.576260 24.0 139.571450 35.636912 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
50	139.559195 35.646000 24.0 139.547478 35.654113 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
51	139.402670 35.748398 24.0 139.364267 35.766755 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
52	139.237493 35.797697 24.0 139.157083 35.815347 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
53	139.071388 35.844000 24.0	深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ
54	</gml:posList>	gml:posList 終了タグ
55	</gml:LineString>	gml:LineString 終了タグ
56	</faultIntermediateEdge>	faultIntermediateEdge 終了タグ
57	<faultBottomEdge>	faultBottomEdge: 断層面下端
58	<gml:LineString>	gml:LineString: 線
59	<gml:posList>	gml:posList: 位置のリスト

ファイル内容	説明
39 140.193000 35.538812 26.0 140.000240 35.581043 26.0 139.985817 35.584220 26.0 139.807836 35.624727 26.0 139.778633 35.632164 26.0 139.745778 35.646000 26.0 139.627902 35.704462 26.0 139.571450 35.732275 26.0 139.449196 35.788216 26.0 139.364267 35.823401 26.0 139.260890 35.844000 26.0	下端の経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深さ 経度 緯度 深 さ 経度 緯度 深さ……
40 </gml:posList>	gml:posList 終了タグ
41 </gml:LineString>	gml:LineString 終了タグ
42 </faultBottomEdge>	faultBottomEdge 終了タグ
43 </complexFaultGeometry>	complexFaultGeometry 終了タグ
44 </surface>	surface 終了タグ
45 </characteristicFaultSource>	characteristicFaultSource 終了タグ
46 </sourceGroup>	sourceGroup 終了タグ
47 </sourceModel>	sourceModel 終了タグ
48 </nrml>	nrml 終了タグ

(2) 震源モデルロジックツリーファイル

震源モデルロジックツリーファイルは、震源モデルとその不確定性を記述する。今回は、10 個の震源モデルファイルを使用した計算なので、ロジックツリーは 1 つのみであるが、ブランチセットも 10 個用意する。サンプルファイルをファイル 4.4.2 に示した。場合分けは、震源モデルのみなので、ブランチングレベルは 1 つでよい。ブランチセットの `uncertaintyType` を「4.4.2 (1) 震源モデルファイル」(p.203~) で作成した `source_model_01.xml`~`source_model_10.xml` とし、表 4.4.2 に従って、重みを指定する。

ファイル 4.4.2 確率論的地震ハザード解析その 2 における震源モデルロジックツリーファイル

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>	XML 宣言
2 <nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <logicTree logicTreeID="lt1">	logicTree : ロジックツリー logicTreeID : ID
4 <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b1">	logicTreeBranchingLevel : ブランチ ングレベル branchingLevelID : ID
5 <logicTreeBranchSet uncertaintyType="sourceModel" branchSetID="bs1">	logicTreeBranchSet : ブランチセット <i>branchSetID</i> : ID、 <i>uncertaintyType</i> : 不 確定性のタイプ
6 <logicTreeBranch branchID="b1">	logicTreeBranch : ブランチ <i>branchID</i> : ID
7 <uncertaintyModel>source_model_01.xml</uncertaintyModel>	uncertaintyModel : source_model.xml が不確定性のモデル
8 <uncertaintyWeight>0.37</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight : 重みは 0.37
9 </logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
10 <logicTreeBranch branchID="b2">	logicTreeBranch : ブランチ <i>branchID</i> : ID
11 <uncertaintyModel>source_model_02.xml</uncertaintyModel>	uncertaintyModel : source_model.xml が不確定性のモデル
12 <uncertaintyWeight>0.06</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight : 不確定性の重み は 0.06

	ファイル内容	説明
13	</logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
14	•	
15	•	
16	•	
17	<logicTreeBranch branchID="b9">	logicTreeBranch: ブランチ
18	<uncertaintyModel>source_model_09.xml</uncertaintyModel>	<i>branchID:</i> ID uncertaintyModel: source_model.xml が不確定性のモデル
19	<uncertaintyWeight>0.11</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight: 不確定性の重み は 0.11
20	</logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
21	<logicTreeBranch branchID="b10">	logicTreeBranch: ブランチ
22	<uncertaintyModel>source_model_10.xml</uncertaintyModel>	<i>branchID:</i> ID uncertaintyModel: source_model.xml が不確定性のモデル
23	<uncertaintyWeight>0.04</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight: 不確定性の重み は 0.04
24	</logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
25	</logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
26	</logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
27	</logicTree>	logicTree 終了タグ
28	</nrml>	nrml 終了タグ

(3) 地震動予測式ロジックツリーファイル

地震動予測式ロジックツリーファイルは、計算に使用する地震動予測式とそれに対する重みを記述する。震源モデル中に含まれるテクトニックタイプ（ファイル 4.4.1 の 4 行目の `tectonicRegion` 属性）に対応する地震動予測式を含まなければならない。今回は、司・翠川（1999）を使用したプレート境界型のみの計算なので、ロジックツリーは一つのみ、ブランチセットも一つのみである。7 行目で使用する地震動予測式（SiMidorikawa1999Sinter）を指定して、8 行目で重みを 1 にすればよい。その際、ロジックツリーブランチセットの属性として、`applyToTectonicRegionType` 属性を用いて、テクトニックタイプを指定することを忘れてはならない。サンプルファイルをファイル 4.4.3 に示す。

設定ファイルの `intensity_measure_types_and_levels` 変数で指定する地震動強さは、ここで指定する（テクトニックタイプにおける）地震動予測式中に含まれていなければならない。

ファイル 4.4.3 確率論的地震ハザード解析その 2 における地震動予測式ロジックツリーファイル

	ファイル内容	説明
1	<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>	XML 宣言
2	<nrml xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrml/0.5">	nrml 開始タグ <i>xmlns:</i> XML 名前空間
3	<logicTree logicTreeID="lt1">	logicTree: ロジックツリー <i>logicTreeID:</i> ID
4	<logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b11">	logicTreeBranchingLevel: ブランチングレベル <i>branchingLevelID:</i> ID

	ファイル内容	説明
5	<logicTreeBranchSet uncertaintyType="gmpeModel" branchSetID="bs1" applyToTectonicRegionType="Subduction Interface">	logicTreeBranchSet: ブランチセット <i>branchSetID:</i> ID、 <i>uncertaintyType:</i> 不 確定性のタイプは gmpeModel、 <i>applyToTectonicRegionType:</i> 適用する 構造は Subduction Interface
6	<logicTreeBranch branchID="b1">	logicTreeBranch: ブランチ <i>branchID:</i> ID
7	<uncertaintyModel>SiMidorikawa1999SInter</uncertaintyModel>	uncertaintyModel: SiMidorikawa1999SInter が不確定性の モデル
8	<uncertaintyWeight>1.0</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight: 不確定性の重みは 1.0
9	</logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
10	</logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
11	</logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
12	</logicTree>	logicTree 終了タグ
13	</nrm1>	nrm1 終了タグ

(4) 設定ファイル

最後に設定ファイルを作成する。ファイル 4.4.4 にサンプルを示した。ここで必要な情報は以下の点である。

1. 計算モードほかの情報（ファイル 4.4.4 の 1~3 行目）
2. 計算範囲、計算格子の情報（ファイル 4.4.4 の 5~7 行目）
3. 震源モデル、地震動予測式のロジックツリーの情報（ファイル 4.4.4 の 9~11 行目）
4. 断層モデルの分割に関する情報（ファイル 4.4.4 の 13~14 行目）
5. ハザード計算のための情報（ファイル 4.4.4 の 16~21 行目）
6. ハザード出力に関する情報（ファイル 4.4.4 の 24~26 行目）

前節からの変更点は、26 行目の `mean_hazard_curves` の設定のみであるため、それぞれのパラメータの説明は省略する。

今回の計算では、10 パターンの震源を重み付きで計算するように設定している。デフォルトでは、それぞれのハザードカーブの計算のみを実行するようになっているが、`mean_hazard_curves = true` とすると、10 パターンの重み付平均を計算する。

ファイル 4.4.4 確率論的地震ハザード解析その 2 における設定ファイル

	ファイル内容	説明
1	[general]	general セクション
2	description = Classical PSHA Sample For Sagami Trough	簡単な説明
3	calculation_mode = classical	計算モードは classical
4		
5	[sites]	
6	region_grid_spacing = 0.5	計算格子サイズ (km)
7	region = 138.7 36.3, 138.7 35.2, 140.0 35.2, 140.0 36.3	計算範囲 (経度 緯度で 4 点)
8		
9	[logic_tree]	
10	source_model_logic_tree_file = source_model_logic_tree.xml	震源モデルのロジックツリーファイル

	ファイル内容	説明
11	gsim_logic_tree_file = gmpe_logic_tree.xml	地震動予測式のロジックツリーファイル
12		
13	[erf]	
14	rupture_mesh_spacing = 5	断層面の分割サイズ (km)
15		
16	[hazard_calculation]	
17	random_seed = 113	統計処理のための乱数のシード値
18	intensity_measure_types_and_levels = {"PGV": [2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280, 300] }	計算する地震動とそのレベル
19	truncation_level = 3.0	地震動のばらつきのための有界レベル
20	maximum_distance = 200.0	地震動を計算する最大距離 (km)
21	investigation_time = 50	超過確率の対象期間(年)
22		
23	[hazard_outputs]	
24	hazard_maps = true	ハザードマップの出力
25	poes = 0.01, 0.02, 0.10	超過確率: 1%、2%、10%
26	mean_hazard_curves = true	平均のハザードカーブの作成

4.4.3 計算方法

計算方法は「3.4.1 WebUI による実行」(p.81~) および「3.4.2 コマンドラインによる計算実行方法」(p.90~) に示したとおりである。

4.4.4 出力

計算結果の出力方法と図化方法は、「3.6 各計算タイプにおけるハザード・リスクの計算方法」(p.105~) および「3.7 計算結果の図化方法」(p.169~) に示したとおりである。

この計算では、震源が 10 パターン計算するが、それ以外に不確定性は特に設定しないことから、指定した発生確率と使用した地震動予測式に従った結果が出力される。図 4.4.1 に平均のハザードカーブとハザードマップの計算結果を示した。10 パターンの計算ごとの結果も出力されており、それらを使用した計算結果を図 4.4.2 に示した。

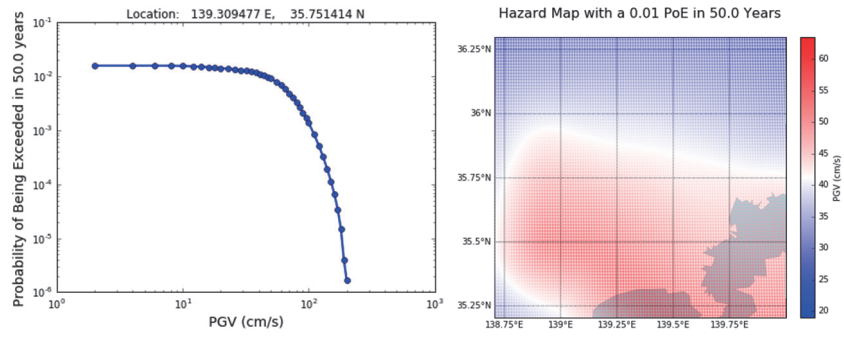
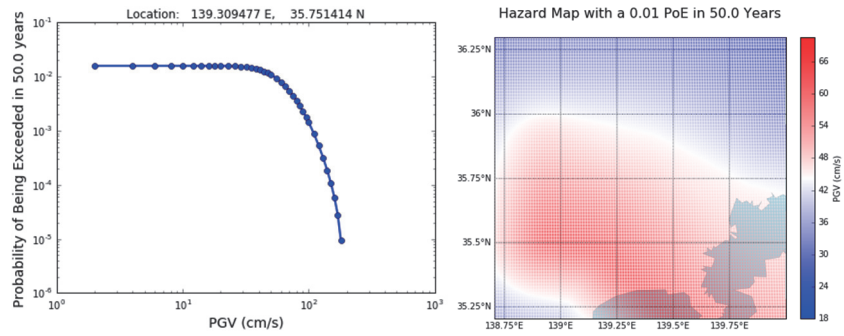
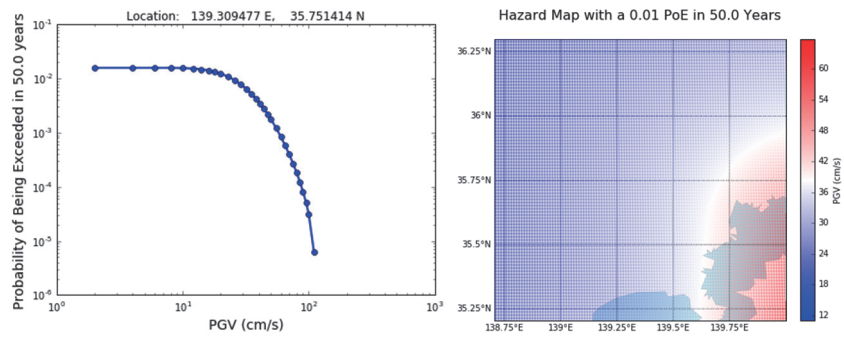


図 4.4.1 計算結果（10 領域の平均）
 (左) ハザードカーブ、(右) ハザードマップ

領域 1



領域 4



領域 8

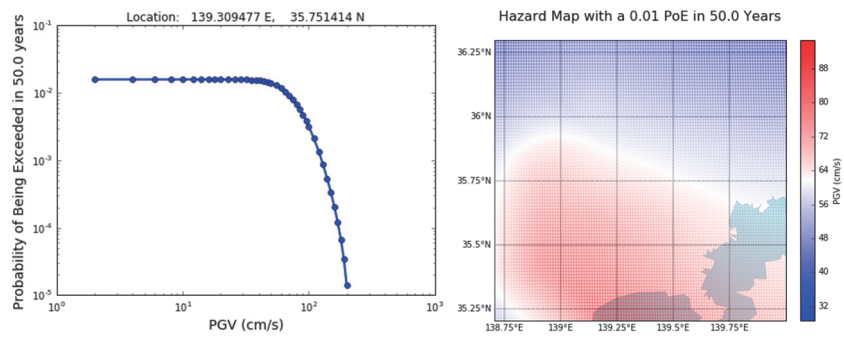


図 4.4.2 計算結果（領域 1、4、8）
 (左) ハザードカーブ、(右) ハザードマップ

4.5 確率論的地震ハザード解析その3

4.5.1 必要な情報

確率論的地震ハザード解析その1、その2では、単独のテクトニックタイプでの震源モデルを使用した解析であった。今節では、2つのテクトニックタイプ（活断層型、海溝型）の震源モデルを同時に使用した解析を実施する。本来の確率論的地震動解析では、将来発生すると予想されるすべての地震を対象として、地震動を計算しなければならない。そのため、震源モデルには、着目する地点に影響を与える様々な震源を含む必要がある。

ここでは複数の震源を利用する簡単なサンプルとして、確率論的地震ハザード解析その1、その2の震源モデルを統合したモデルでの計算方法を紹介する。

4.5.2 必要なファイル

以下の計4ファイルが必要である。

1. 震源モデル（ファイル4.3.1とファイル4.4.1）
2. 震源モデルロジックツリーファイル（ファイル4.4.2）
3. 地震動予測式ロジックツリーファイル（ファイル4.5.1）
4. 設定ファイル（ファイル4.4.4）

(1) 震源モデルファイル

震源モデルは、ファイル4.3.1とファイル4.4.1をそれぞれ統合して使用する。具体的には、ファイル4.4.1のsource_model_01.xml~source_model_10.xml中にファイル4.3.1の情報を加えて、計10ファイルを作成する。

(2) 震源モデルロジックツリーファイル

ファイル4.4.2と同じファイルを使用する。

(3) 地震動予測式ロジックツリーファイル

地震動予測式ロジックツリーファイルは、計算に使用する地震動予測式とそれに対する重みを記述する。震源モデル中に含まれるテクトニックタイプ（ファイル4.4.1の4行目のtectonicRegion属性）に対応する地震動予測式を含まなければならない。今回は、司・翠川（1999）を使用した活断層型およびプレート境界型の2タイプの計算なので、ロジックツリーは2つ、ブランチセットも2つである。7行目で活断層タイプの地震動予測式（SiMidorikawa1999ASC）を指定して、16行目でプレート境界型の地震動予測式（SiMidorikawa1999SInter）を指定する。ブランチングレベルが異なるため、各ブランチの重み（8行目、17行目）はそれぞれ1にすればよい。その際、ロジックツリーブランチセットの属性として、applyToTectonicRegionTypeを用いて、テクトニックタイプを指定することを忘れてはならない。サンプルファイルをファイル4.5.1に示す。

設定ファイルの `intensity_measure_types_and_levels` 変数で指定する地震動強さは、ここで指定する(テクトニックタイプにおける)地震動予測式中に含まれていなければならない。

ファイル 4.5.1 確率論的地震ハザード解析その 3 における地震動予測式ロジックツリーファイル

ファイル内容	説明
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>	XML 宣言
2 <nrm1 xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns="http://openquake.org/xmlns/nrm1/0.5">	nrm1 開始タグ <i>xmlns</i> : XML 名前空間
3 <logicTree logicTreeID="lt1">	logicTree : ロジックツリー <i>logicTreeID</i> : ID
4 <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b11">	logicTreeBranchingLevel : ブランチングレベル <i>branchingLevelID</i> : ID
5 <logicTreeBranchSet uncertaintyType="gmpeModel" branchSetID="bs1" applyToTectonicRegionType="Active Shallow Crust">	logicTreeBranchSet : ブランチセット <i>branchSetID</i> : ID、 <i>uncertaintyType</i> : 不確定性のタイプは gmpeModel、 <i>applyToTectonicRegionType</i> : 適用する構造は Active Shallow Crust
6 <logicTreeBranch branchID="b1">	logicTreeBranch : ブランチ <i>branchID</i> : ID
7 <uncertaintyModel>SiMidorikawa1999Asc</uncertaintyModel>	uncertaintyModel : SiMidorikawa1999Asc が不確定性のモデル
8 <uncertaintyWeight>1.0</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight : 不確定性の重みは 1.0
9 </logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
10 </logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
11 </logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
12 <logicTreeBranchingLevel branchingLevelID="b12">	logicTreeBranchingLevel : ブランチングレベル <i>branchingLevelID</i> : ID
13 <logicTreeBranchSet uncertaintyType="gmpeModel" branchSetID="bs21" applyToTectonicRegionType="Subduction Interface">	logicTreeBranchSet : ブランチセット <i>branchSetID</i> : ID、 <i>uncertaintyType</i> : 不確定性のタイプは gmpeModel、 <i>applyToTectonicRegionType</i> : 適用する構造は Subduction Interface
14 <logicTreeBranch branchID="b21">	logicTreeBranch : ブランチ <i>branchID</i> : ID
15 <uncertaintyModel>SiMidorikawa1999SInter</uncertaintyModel>	uncertaintyModel : SiMidorikawa1999SInter が不確定性のモデル
16 <uncertaintyWeight>1.0</uncertaintyWeight>	uncertaintyWeight : 不確定性の重みは 1.0
17 </logicTreeBranch>	logicTreeBranch 終了タグ
18 </logicTreeBranchSet>	logicTreeBranchSet 終了タグ
19 </logicTreeBranchingLevel>	logicTreeBranchingLevel 終了タグ
20 </logicTree>	logicTree 終了タグ
21 </nrm1>	nrm1 終了タグ

(4) 設定ファイル

ファイル 4.4.4 と同じファイルを使用する。

4.5.3 計算方法

計算方法は「3.4.1 WebUI による実行」(p.81~) および「3.4.2 コマンドラインによる計算実行方法」(p.90~) に示したとおりである。

4.5.4 出力

計算結果の出力方法と図化方法は、「3.6 各計算タイプにおけるハザード・リスクの計算方法」(p.105~) および「3.7 計算結果の図化方法」(p.169~) に示したとおりである。

今回の計算では前節と同様に、ハザードカーブとハザードマップが出力可能である。図 4.5.1 に平均のハザードカーブとハザードマップの計算結果を示した。10 パターンの計算ごとの結果も出力されており、それらを使用した計算結果を図 4.5.2 に示した。それぞれ単独の場合の結果と異なることがわかる。

それぞれのハザードマップを異なる年超過確率で示した図を図 4.5.3、図 4.5.4 に示した。相模トラフ沿いの M8 クラスの地震については発生確率があまり高くないため、50 年で 2% の結果は、ほぼ立川断層帯のみの結果となっていることがわかる。

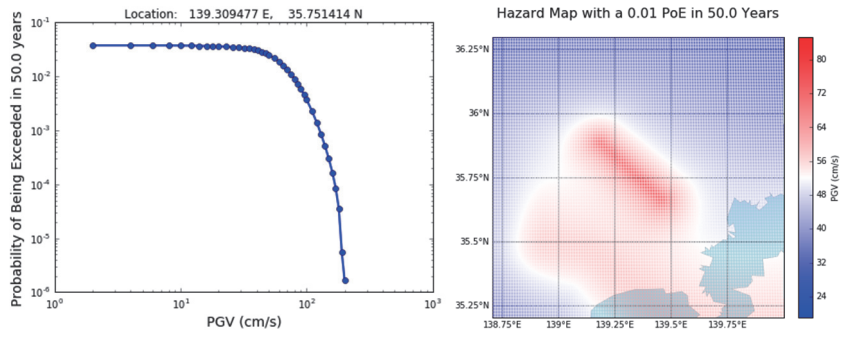
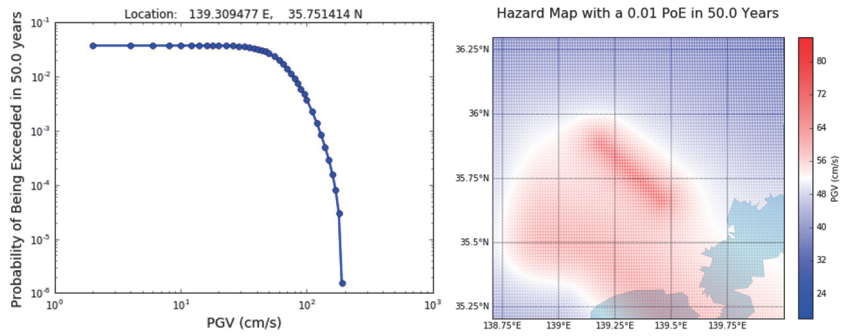
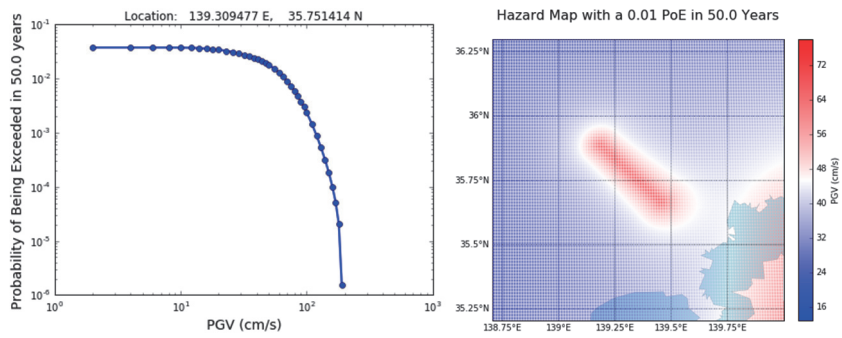


図 4.5.1 計算結果（10 領域の平均）
（左）ハザードカーブ、（右）ハザードマップ

領域 1



領域 4



領域 8

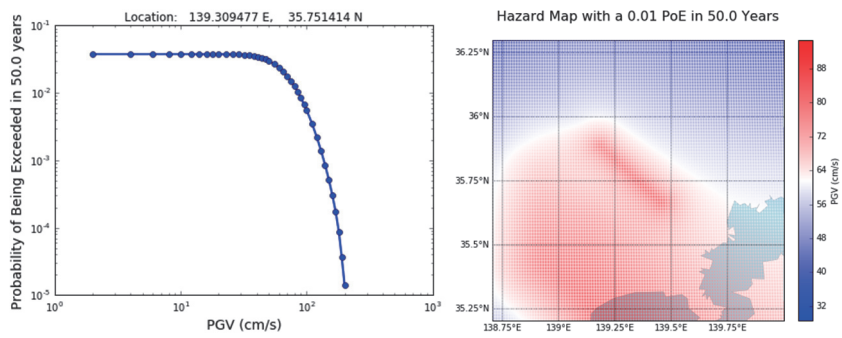


図 4.5.2 計算結果（立川断層帯と領域 1、4、8）
（左）ハザードカーブ、（右）ハザードマップ

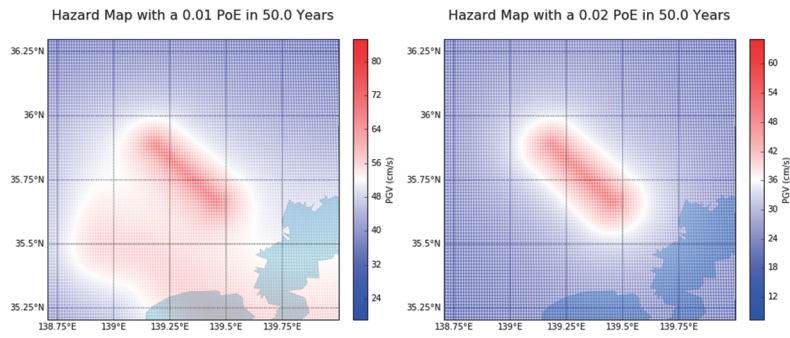
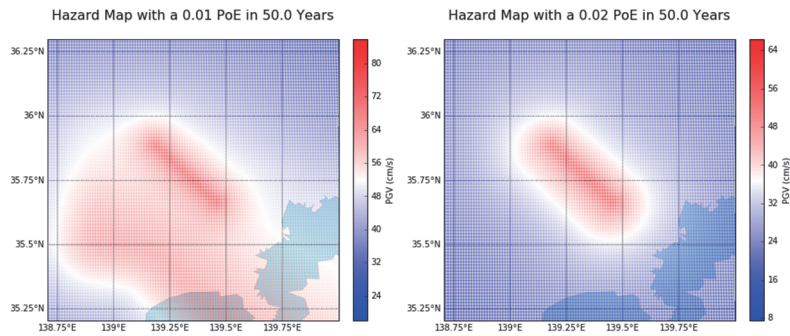


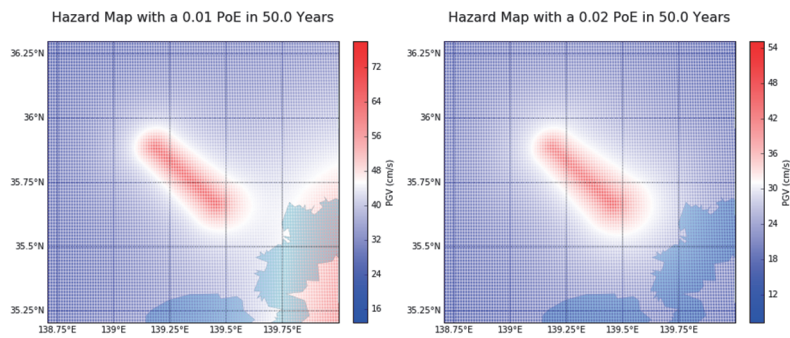
図 4.5.3 計算結果 (平均のハザードマップ)

左: 50年で1%、右:50年で2%

領域 1



領域 4



領域 8

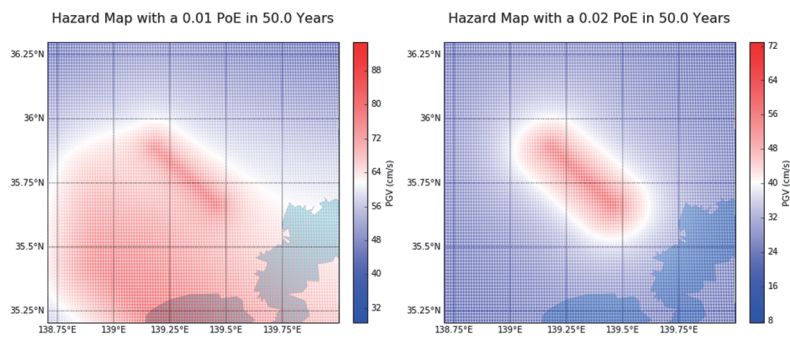


図 4.5.4 計算結果 (領域 1、4、8 におけるハザードマップ)

左: 50年で1%、右:50年で2%