

断層の動的破壊パラメータの空間不均質分布の推定 ～2016年鳥取県中部地震を例にして～

Estimation of the dynamic rupture parameters for the 2016 Tottoriken-chubu earthquake

佐藤圭介

Keisuke Sato

吉岡祥一

Shoichi Yoshioka

青地秀雄

Hideo Aochi

概要：現実的な断層破壊モデリングを行うには、断層面に働く応力状態を推定することが必要不可欠である。本研究では、小林他(2016)による観測波形に基づくインバージョンによるすべり分布を参考に断層の動的破壊シミュレーションを行うことで、2016年鳥取県中部地震の断層の動的破壊パラメータの空間不均質分布を試行錯誤的に推定した。まず、動的破壊パラメータを断層面上で均質に与えてシミュレーションを行った。このとき、最大すべり量は4.36 mとなり、小林他(2016)の最大すべり量1.33 mより大きくなった。また小林他(2016)によって得られた最終すべり量分布をみると、空間的にすべり量に大きな違いがあることが分かった。これらのことから、断層の動的破壊パラメータについて空間的な不均質を導入する必要があることが分かった。動的破壊パラメータのなかでも初期応力と臨界すべり弱化解距離について、その空間的な不均質分布を試行錯誤的に推定した。まず、初期応力分布を推定するために、小林他(2016)によって得られた最終すべり量分布をもとに、断層面を断層面上中央部のすべり量の大きい領域とそれ以外の2つの領域に分割した。残留応力はいずれも0MPa、破壊強度は20MPa、臨界すべり弱化解距離の値を0.25 mと2つの領域で固定し、これらの領域の初期応力の値を推定した。この目的のため、ここでは、すべり量の小さな領域の初期応力を2MPaとし、すべり量の大きな領域での初期応力を5～15MPaの範囲で変化させ、シミュレーション結果の最大すべり量が小林他(2016)で得られたものに最も近いときの値を採用した。その結果、すべり量の大きい領域の初期応力の値は10.6MPaと求まり、すべり量の大きな領域での初期応力は、すべり量の小さな領域のそれよりも大きくなった。次に、臨界すべり弱化解距離の値の空間分布を推定した。初期応力は上で求めた分布とした。この目的のため、すべり量の小さい領域の臨界すべり弱化解距離の値を0.25 mとし、すべり量の大きい領域を断層の深さ方向に4つ(うち1つは破壊開始点を含むよう)に分割し、それぞれの領域の臨界すべり弱化解距離を0.15～0.30 mの範囲で変化させ、シミュレーション結果の最大すべり量が小林他(2016)で得られたものに最も近いときの値を採用した。その結果、破壊が進むにつれ臨界すべり弱化解距離の値が空間的に大きくなるような傾向がみられた。

1. はじめに

断層の動的破壊シミュレーションでは、初期応力などの動的破壊パラメータを与えて計算を行う。動的破壊パラメータの空間分布によって、計算によって得られる最終すべり量分布は異なる。したがって、地震現象の動的破壊シミュレーションを行うには、動的破壊パラメータの空間分布を推定する必要がある。しかし、動的破壊パラメータの空間分布を直接観測することは容易ではない。そのため、観測波形やそれを用いたインバージョンによって得られるすべり量分布などを用いて、動的破壊パラメータの空間分布を推定することが行われている（例えば、Miyatake(1992)）。

断層の動的破壊計算では、初期応力や臨界すべり弱化解距離などの動的破壊パラメータ値の設定によっては、破壊が起きないこともある。Madariaga and Olsen(2000)は、動的破壊現象を支配する無次元パラメータ κ を提唱した。 κ は初期応力、破壊強度、臨界すべり弱化解距離、断層の長さ、剛性率、初期クラックの半径によって規定される。また、 κ が大きいほど破壊が起きやすく、特に κ が 1.0 に近いかそれ以上の場合は **super shear** が起きることを示した。

そこで本研究では、小林他(2016)によるインバージョンによって得られた最終すべり量分布をもとに、2016年鳥取県中部地震の断層の動的破壊パラメータの空間不均質分布を推定した。2016年鳥取県中部地震は、2016年10月21日14時07分に鳥取県中部の深さ11kmで発生したマグニチュード6.6の地震である。鳥取県倉吉市などで最大震度6弱の激しい揺れが観測された。発震機構は西北西-東南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型で、地殻内の浅い地震であった。

本稿では、はじめに小林他(2016)によって得られた2016年鳥取県中部地震の最終すべり量分布を示したうえで、断層の動的破壊パラメータが均質な場合のモデルと、推定した不均質な場合のモデルを用意し、それらの計算結果を示す。

2. 手法

2.1 断層の動的破壊計算

断層の動的破壊計算には、境界積分方程式法（Boundary Integral Equation Method : BIEM, Fukuyama and Madariaga (1995, 1998), Aochi et al.(2000)）を用いた。断層の動的破壊計算の手法としては、差分法や有限要素法などが知られているが、境界積分方程式法は非平面断層を取り扱うことができる。一方、成層構造のような地下の密度や速度構造の不均質を扱うことができない、計算に畳み込み積分を含むためタイムステップを追うごとに計算が重くなるといった弱点がある。

2.2 物性値の設定

鳥取県中部地震の断層破壊シミュレーションを行うにあたって、当該地域の地下の物性値をシミュレーションに導入した。しかし2.1で述べたように、境界積分方程式法では地下の不均質構造を扱うことはできない。そのため地下構造を1層構造としながらも、全国1次地下構造モデル（暫定版）（地震調査研究推進本部, 2012）を参考に、当該地域の物性値を盛り込んだ。

3.1で述べるように、断層は深さ0.5km~18.5kmに存在するとしたため、全国1次地下構造モデル（暫定版）の、東経137.85度、北緯35.38333度の地点での深さ7.3kmのLayer15の値を採用した。Layer15では、P波・S波速度、密度について、 $v_p = 5.8$ km/s, $v_s = 3.4$ km/s, $\rho = 2.7$ g/cm³ となっており、これらの値から剛性率、 $\mu = 31.2$ GPa を求め、これを使用した。

2.3 断層の動的破壊パラメータ

断層面上の各点で、どのような応力の状態になったら破壊が起きるかは摩擦構成則によって支配される。本研究では、摩擦構成則 (frictional constitutive law) として、すべり弱法則 (slip weakening law) を用いた。すべり弱法則における応力とすべり量の関係を図 1 に示す。すべり弱法則で使用するパラメータは、初期応力 (initial stress), 破壊強度 (peak stress), 残留応力 (residual stress), 臨界すべり弱法則距離 (critical slip weakening distance) の 4 つであり、これが本研究における断層の動的破壊パラメータである。

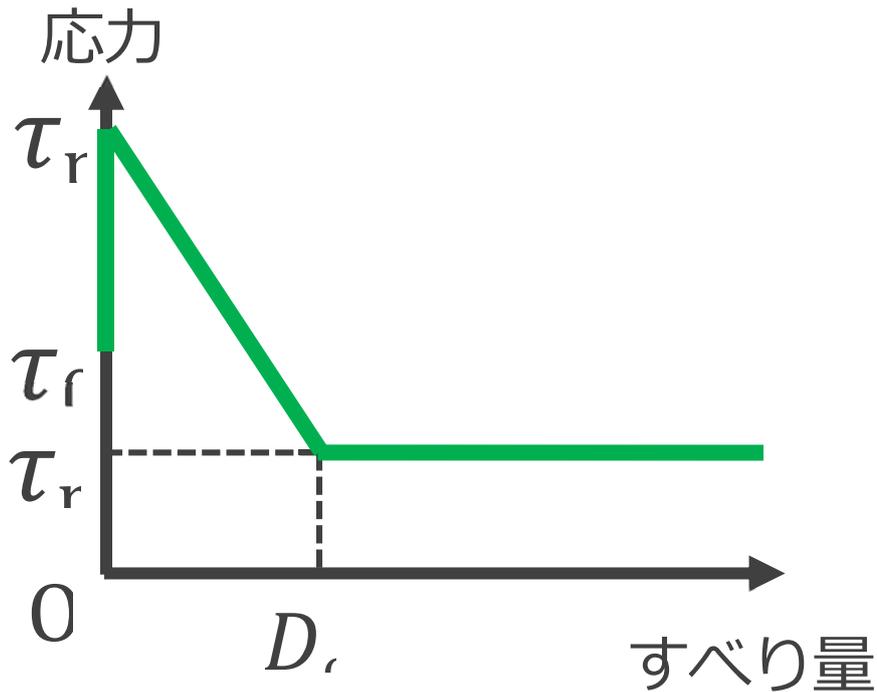


図 1 すべり弱法則における応力とすべり量の関係

τ_p は破壊強度で、どれだけの応力に耐えられるかを表す。 τ_0 は初期応力で、破壊前にかかっている応力を表す。 τ_r は残留応力で、破壊後に残る応力を表す。 D_c は臨界すべり弱法則距離で、応力降下し終わるまでにすべる量を表す。

3. モデル

3.1 動的破壊パラメータが均質なモデル

まず、断層面上で動的破壊パラメータの値が均質なモデル (モデル 1~5) を作成した。鉛直な矩形断層を仮定し、上端の深さ 0.5 km, 断層のサイズ 19.5 km (along strike) \times 18 km (down dip), 左横ずれ断層運動とした。ここで断層のサイズは、小林他(2016)によるすべり分布のインバージョンにおける設定と同一とした。また破壊開始点は震源の位置とし、半径 1.0 km の初期クラックから破壊が広がるようなモデルとした。モデル 1~5 に関して、時空間の解像度や計算ステップ数などの計算パラメータは共通とした。これらの値を表 1 に示した。モデル 1~5 の動的破壊パラメータの値を表 2 に示す。

表1 モデル1~5の計算パラメータとその値

| パラメータ | 値 |
|-----------|------------------------|
| 断層面の大きさ | 19.5 km × 18 km |
| 破壊開始点 | (x, y) = (9.75, 11.75) |
| 空間の解像度 | 0.25 km |
| 計算総ステップ数 | 279 |
| 時間の解像度 | 0.02118 s |
| 初期クラックの半径 | 1.0 km |

表2 モデル1~5の動的破壊パラメータ値

| | モデル1 | モデル2 | モデル3 | モデル4 | モデル5 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 初期応力 | 10 MPa | 9 MPa | 11 MPa | 10 MPa | 10 MPa |
| 破壊強度 | 20 MPa |
| 残留応力 | 0 MPa |
| 臨界すべり弱化解距離 | 0.25 m | 0.25 m | 0.25 m | 0.20 m | 0.30 m |

モデル1では、初期クラックの半径が1.0 kmの場合に破壊が起こるように動的破壊パラメータの値を設定した。モデル2,3では、初期応力の最終すべり量分布に対するパラメータ依存性を検証するため、モデル1で10 MPaとした初期応力を9 MPa (モデル2)、11 MPa (モデル3) とした。

モデル4,5では、臨界すべり弱化解距離の最終すべり量分布に対するパラメータ依存性を検証するため、モデル1で0.25 mとした初期応力を0.20 m (モデル4)、0.30 m (モデル5) とした。

3.2 動的破壊パラメータが不均質なモデル

動的破壊パラメータの値が不均質なモデルは、以下の手順で作成した。本研究では初期応力と臨界すべり弱化解距離について、空間的な不均質性を推定した。

すべり量の大きさは、領域の応力降下量とその面積に依存する(Kanamori and Anderson, 1975)。ここでは応力降下量は初期応力と残留応力の差として定義する。本研究では残留応力の値は0 MPaとしたので、応力降下量の値は初期応力の値に等しい。この性質をもとに初期応力場を推定した (以下(a)(b))。

初期応力の推定のため、小林他(2016)によるインヴァージョンによって得られた最終すべり量分布 (図2(a)) と比べる。震源位置はHi-net自動処理震源位置と同じにする。震源直上付近の断層面の中央部にすべり量の大きな領域がみられ、最大すべり量は1.33 mであった。また1秒ごとのすべり量分布を図2(b)に示す。これを見ると、破壊開始から1秒までの間に大きなすべりが生じており、このときの最大すべり量は1.27 mであった。

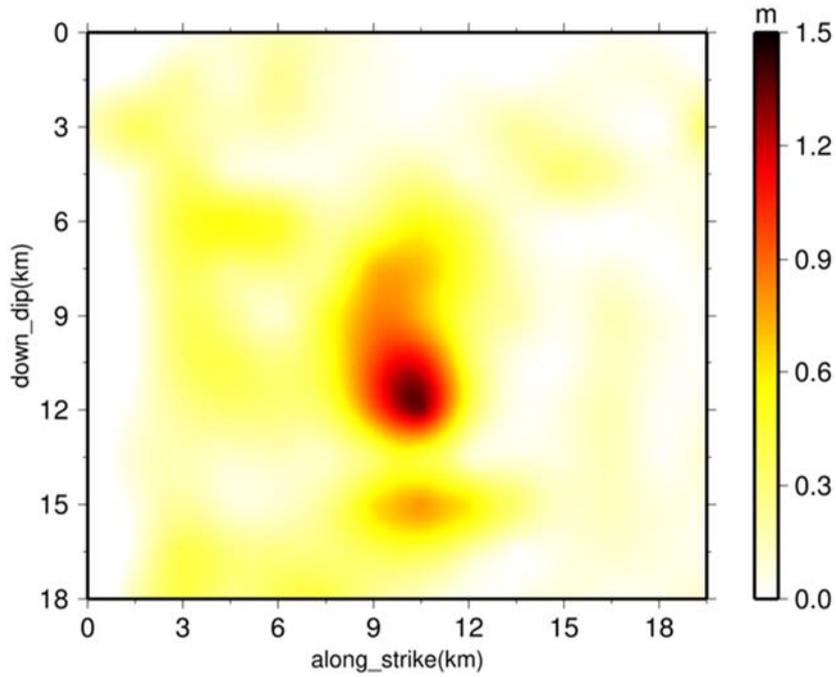


図 2(a) 観測波形に基づくインバージョンによって得られた最終すべり量分布 (小林他(2016)).

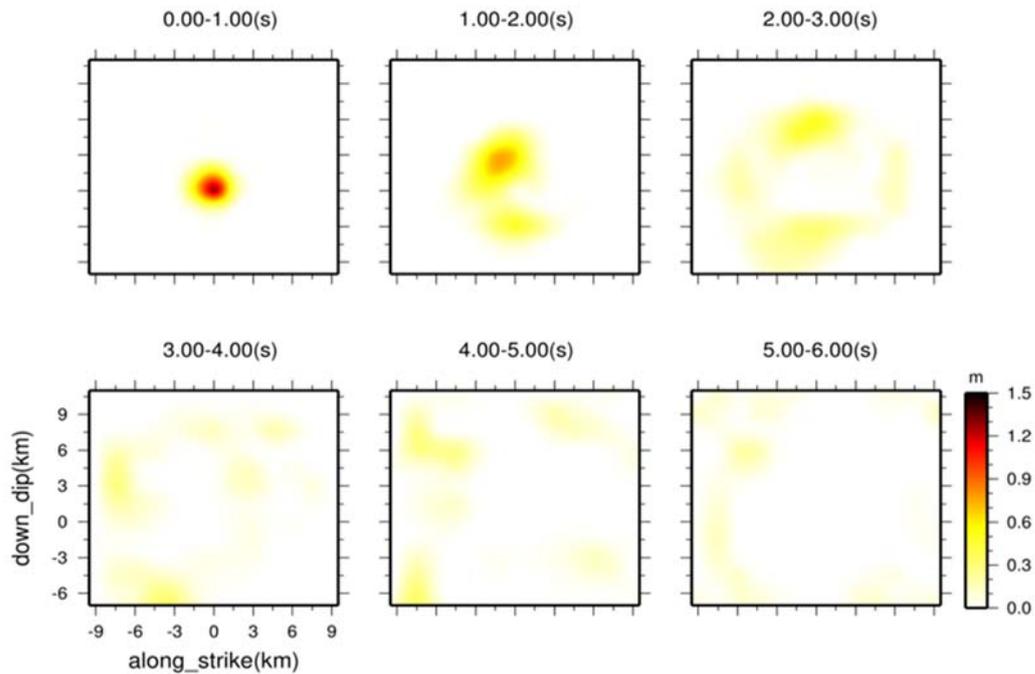


図 2(b) 観測波形に基づくインバージョンによって得られた 1 秒ごとのすべり量分布 (小林他(2016)).

この最終すべり量分布をもとに、図 3 のように断層面をすべり量が多い領域とその周囲のすべり量の小さい領域の 2 つに分けた。今回すべり量の大きい領域の大きさは、6.5 km (along strike) \times 4 km (down dip) とした。なおこの領域には破壊開始点を含んでいる。

initial stress [MPa]

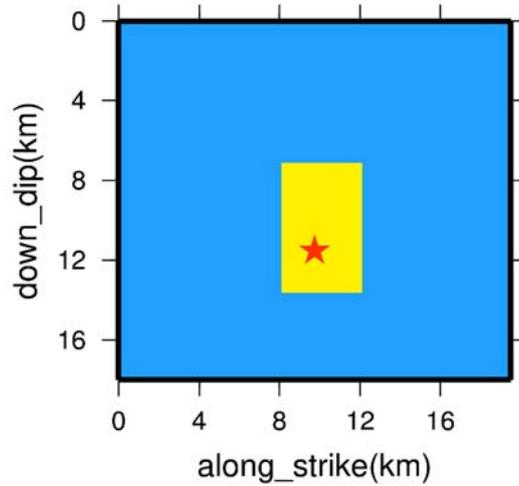


図3 初期応力の推定のために小林他(2016)の最終すべり量の大きさによって2つの領域に分割した断層面.

すべり量の大きい領域 (黄色) とすべり量の小さい領域 (青色) の2つに分割した.

critical slip weakening distance [m]

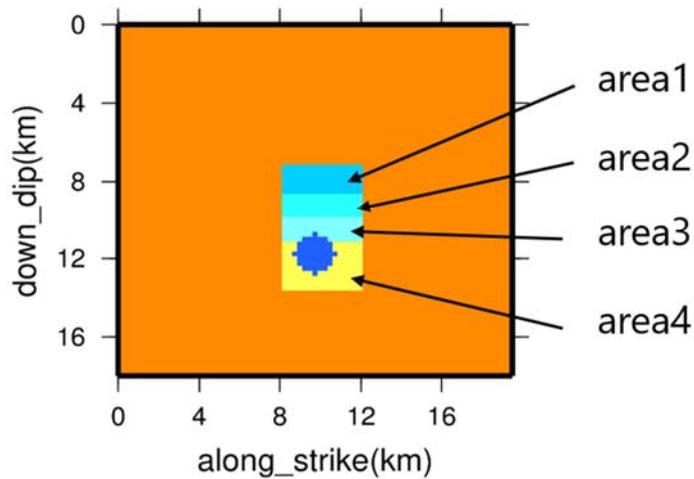


図4 臨界すべり弱化解距離の推定のために4つに分割したすべり量の大きい領域. 地表に近い順に area1 (濃水色), area2 (水色), area3 (薄水色), area4 (薄黄色) の4つに分割した. なお, これらの周囲の領域 (橙色) はすべり量の小さい領域.

初期応力の推定のため, それ以外の動的破壊パラメータの値を断層面全域で固定し, 残留応力を 0MPa, 破壊強度を 20 MPa, 臨界すべり弱化解距離を 0.25 m とした. すべり量の小さい領域の初期応力を 2MPa とし, すべり量の大きい領域での初期応力の値を 5~15 MPa の範囲で 0.5 MPa ずつ変化させて計算し, 最終的に初期応力の値を小数点以下一桁まで推定した (表 3). シミュレーション結果の最大すべり量が小林他(2016)のそれに最も近いときの値を初期応力として採用した.

表3 すべり量の大きい領域で初期応力の値をとそのときの最大すべり量の値。

5 MPa~15 MPa の間で 0.5 MPa ずつ変化させて計算した。

| 初期応力[MPa] | 最大すべり量[m] |
|-----------|-----------|
| 5.0 | 0.244 |
| 5.5 | 0.268 |
| 6.0 | 0.292 |
| 6.5 | 0.317 |
| 7.0 | 0.341 |
| 7.5 | 0.366 |
| 8.0 | 0.390 |
| 8.5 | 0.414 |
| 9.0 | 0.440 |
| 9.5 | 0.467 |
| 11.0 | 1.403 |
| 11.5 | 1.502 |
| 12.0 | 1.600 |
| 12.5 | 1.700 |
| 13.0 | 1.794 |
| 13.5 | 1.882 |
| 14.0 | 1.974 |
| 14.5 | 2.068 |
| 15.0 | 2.157 |

さらに、臨界すべり弱化解距離の推定のため、図5のようにすべり量の大きい領域を断層の深さ方向に4つ（うち1つは破壊開始点を含むよう）に分割した。それぞれの大きさは、4つの領域のうち3つは4 km (along strike) × 0.25 km (down dip)、残り1つの領域は4 km (along strike) × 2.75 km (down dip) とした。破壊開始点を含む領域は、初期クラックが領域内に収まるように大きくとった。

臨界すべり弱化解距離の推定のため、それ以外の動的破壊パラメータの値を断層面全域で固定した。初期応力分布は上記で求めた値、残留応力はいずれも0 MPa、破壊強度は20 MPa とした。またすべり量の小さい領域の臨界すべり弱化解距離を0.25 m とした。4つに分割したすべり量の大きい領域において、それぞれの領域の臨界すべり弱化解距離の値を0.15 ~ 0.30 m の範囲で0.025 m ずつ変化させて計算した。シミュレーション結果の最大すべり量が小林他(2016)のそれに最も近いときの値を臨界すべり弱化解距離として採用した。

表4 すべり量の大きい領域で初期応力の値をとそのときの最大すべり量の値. 表3を踏まえ, 10 MPa~11 MPa の間で
0.1 MPa ずつ変化させて計算した.

| 初期応力[MPa] | 最大すべり量[m] |
|-----------|-----------|
| 10.0 | 1.1965 |
| 10.1 | 1.2178 |
| 10.2 | 1.2414 |
| 10.3 | 1.2617 |
| 10.4 | 1.2838 |
| 10.5 | 1.3033 |
| 10.6 | 1.3237 |
| 10.7 | 1.3458 |
| 10.8 | 1.3651 |
| 10.9 | 1.3846 |
| 11.0 | 1.4034 |

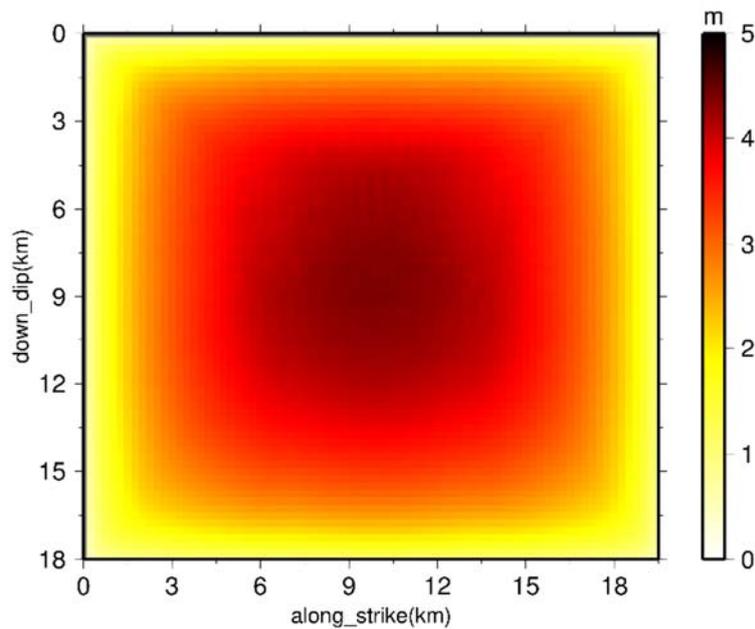


図5 モデル1の最終すべり量分布.

4. 結果

4.1 動的破壊パラメータが均質な場合の最終すべり量分布

モデル1の最終すべり量分布を図5に示す。断層面全体ですべりが生じ、最大すべり量は4.36 mであった。

モデル2の最終すべり量分布を図6(a)に示す。初期応力は9 MPaとしたが、この場合破壊が広がらなかった。一方、初期応力が11 MPaの場合は、断層面全体ですべりが生じ、最大すべり量は5.01 mであった(図6(b))。

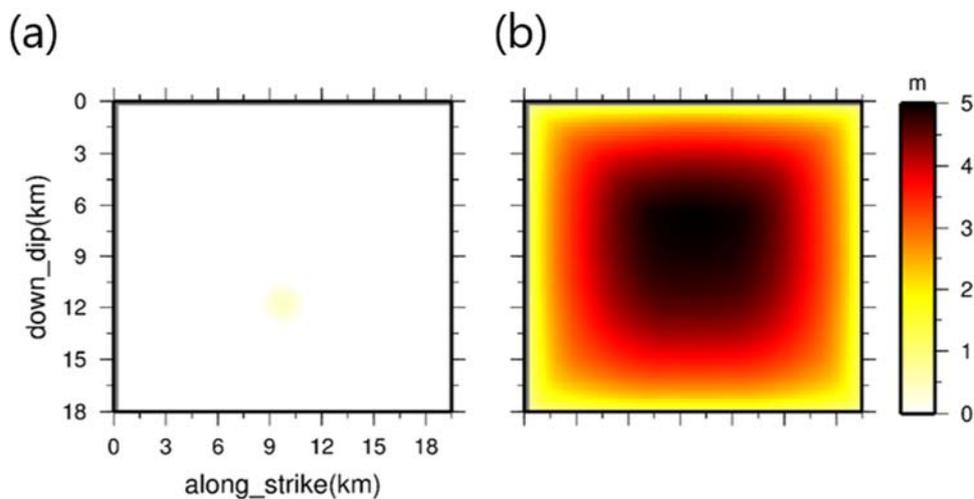


図6 最終すべり量分布. (a) モデル2. (b) モデル3.

モデル4の最終すべり量分布を図7(a)に示す。臨界すべり弱化解距離は0.20 mとしたが、この場合は断層面全体ですべりが生じ、最大すべり量は4.51 mであった。一方、臨界すべり弱化解距離が0.30 mの場合は破壊が広がらなかった(図7(b))。

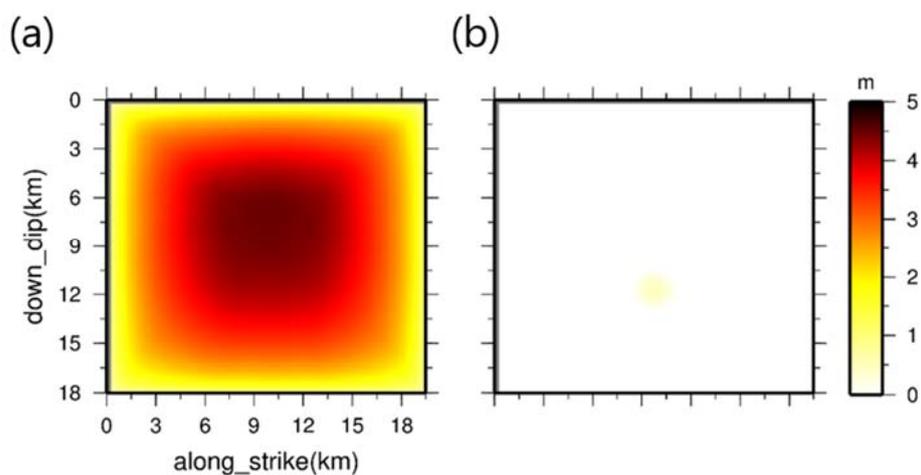


図7 最終すべり量分布. (a) モデル4. (b) モデル5.

4.2 動的破壊パラメータが不均質な場合の最終すべり量分布

すべり量の大きい領域で初期応力の値を 5~15 MPa で変えて計算した結果を表 3 に示す。最初に 0.5 MPa ずつ変化させて計算した。その結果を踏まえ、10.0~11.0 MPa では、0.1 MPa ずつ変化させて計算した (表 5)。この結果、すべり量の大きい領域での初期応力の値は、10.6 MPa と求めた。したがって、初期応力の空間分布は図 8 のように求められた。

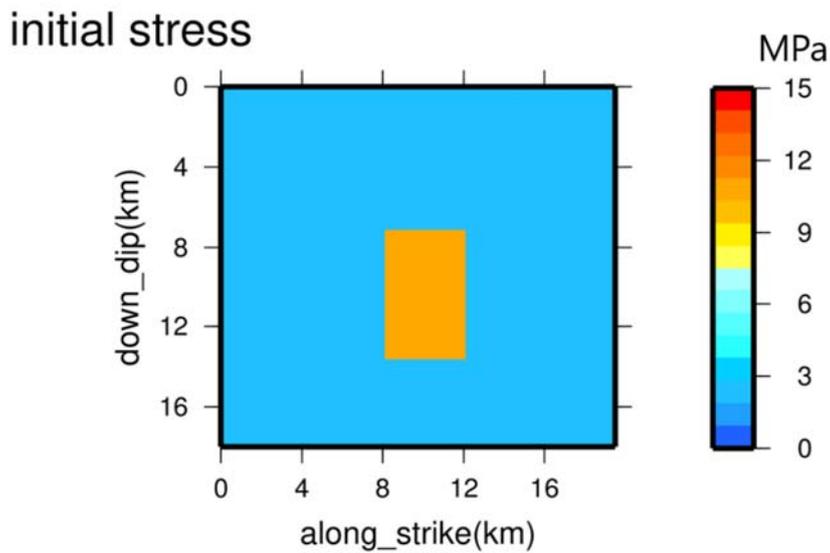


図 8 推定された初期応力の空間分布.

4 つに分割したすべり量の大きい領域のそれぞれの領域で、0.15~0.30 m で変えて計算した結果を表 5 に示す。この結果、臨界すべり弱化距離の空間分布は、破壊開始点を含む領域から地表に向かって、0.25 m, 0.20 m, 0.25 m, 0.30 m と求めた (図 9)。

初期応力と臨界すべり弱化距離について空間的な不均質性を導入した結果、最大すべり量は 1.33 m となった。

表 5 すべり量の大きい領域で臨界すべり弱化距離の値を変化させて得られた最大すべり量. area1~area4 は, 分割したすべり量の大きい領域の番号. area4 が破壊開始点を含む領域で, area1 が地表側. 図 4 参照. 計算結果のうち, 最大すべり量が小林他(2016)のそれに最も近いときの値と, 次に近いときの値を大小 5 つずつ記した.

| 臨界すべり弱化距離[m] | | | | 最大すべり量[m] |
|--------------|-------|-------|-------|-----------|
| area1 | area2 | area3 | area4 | |
| 275 | 225 | 225 | 250 | 1.330095 |
| 275 | 225 | 225 | 225 | 1.330079 |
| 175 | 225 | 275 | 200 | 1.330037 |
| 275 | 300 | 200 | 175 | 1.330035 |
| 300 | 275 | 175 | 200 | 1.330032 |
| 300 | 250 | 200 | 250 | 1.329995 |
| 300 | 300 | 150 | 250 | 1.329999 |
| 175 | 150 | 300 | 200 | 1.329987 |
| 225 | 225 | 250 | 250 | 1.329957 |
| 200 | 275 | 250 | 150 | 1.329947 |
| 225 | 300 | 225 | 175 | 1.329943 |

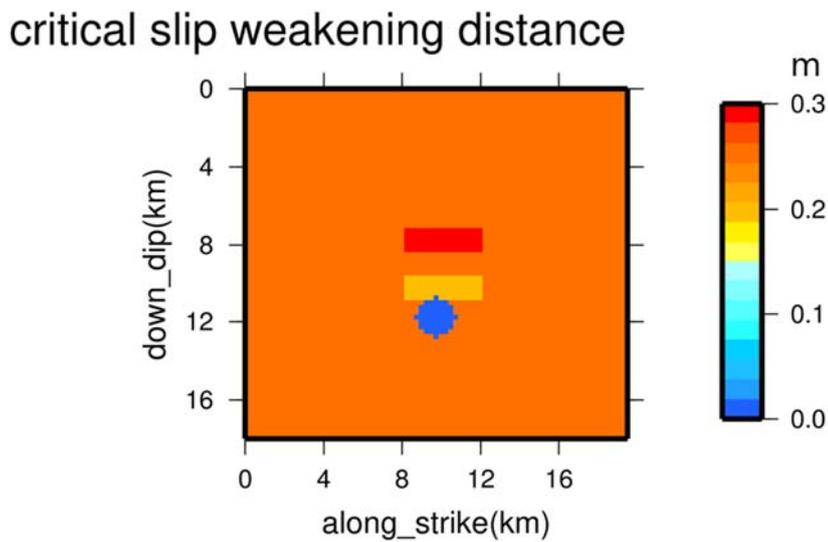


図 9 推定された臨界すべり弱化距離の空間分布

図 10 に、断層面上で動的破壊パラメータが均質な場合 (図 10(a),(c),(e)) と不均質な場合 (図 10(b),(d),(f)) の、せん断応力、すべり速度、すべり量の時間発展を示す。これを見ると、動的破壊パラメータが不均質な場合は、主な破壊が破壊開始から 3 秒までの間にほぼ終わっていることがわかる。

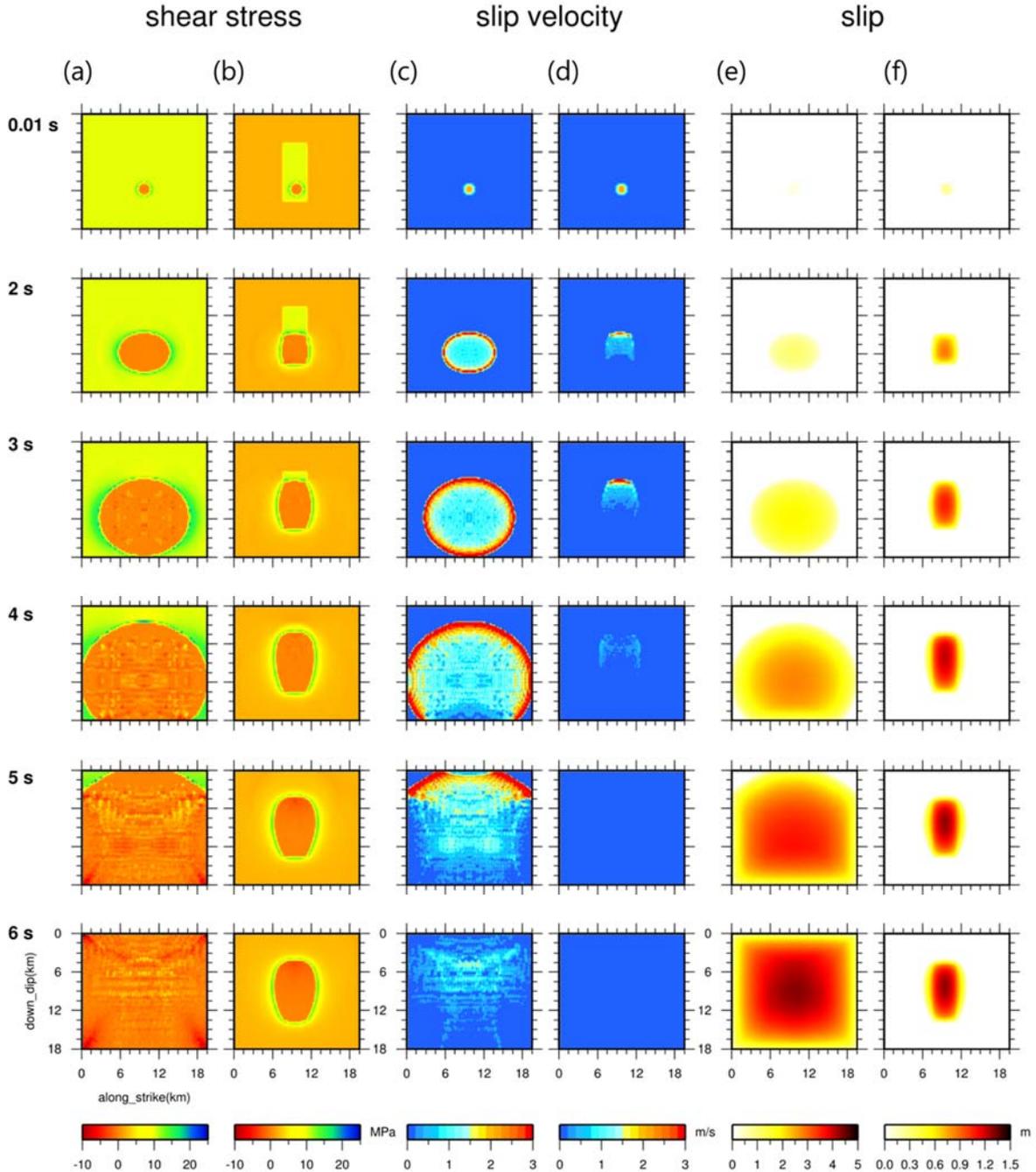


図 10 (a)動的破壊パラメータが均質な場合のせん断応力の時間的変化. (b) 動的破壊パラメータが不均質な場合のせん断応力の時間的変化. (c) 動的破壊パラメータが均質な場合のすべり速度の時間的変化. (d) 動的破壊パラメータが不均質な場合のすべり速度の時間的変化. (e) 動的破壊パラメータが均質な場合のすべり量の時間的変化. (f) 動的破壊パラメータが不均質な場合のすべり量の時間的変化.

5. 議論

動的破壊パラメータを断層面上で均質に与えた場合の最終すべり量分布と、小林他(2016)によって得られた最終すべり量分布を比較すると、以下のようなことがわかる。

動的破壊パラメータが均質な場合は断層面全域ですべりが生じているが、小林他(2016)ではすべり量が空間的に異なっている。動的破壊パラメータが均質な場合の最大すべり量は4.36 mと、小林他(2016) (1.33 m) よりも大きい、ということがわかった。すなわち、断層面上で動的破壊パラメータが均質な場合には、小林他(2016)によるすべり量の空間的な不均質性を再現することは不可能である。したがって、小林他(2016)による最終すべり分布を再現するためには、動的破壊パラメータを空間的に変化させる必要がある。

また、初期応力と臨界すべり弱化解距離については、初期応力の値を大きくするとすべり量が大きくなり、小さくするとすべり量は小さくなり、小さくしていくとある値を境に破壊が起こらなくなる。臨界すべり弱化解距離を小さくするとすべり量が大きくなり、大きくするとすべり量は小さくなる。大きくしていくとある値を境に破壊が起こらなくなる、ということがわかった。初期応力と臨界すべり弱化解距離について空間的な不均質性を導入した結果、均質な場合に比べて最大すべり量は小林他(2016)の結果に近くなった。

本研究により、すべり量の大きい領域での初期応力は、すべり量の小さい領域のそれよりも大きいようなモデルが望ましいことが分かった。また臨界すべり弱化解距離は、破壊が進んでいくにつれ値が空間的に大きくなるような傾向がみられた。

なお、本研究では、初期応力と臨界すべり弱化解距離を推定する際に、計算する値の範囲は恣意的に決めたが、これをより客観的に行えば、推定された動的破壊パラメータの空間不均質分布の客観性も増すものと思われる。また本研究では、1つのパラメータについてその空間不均質分布を推定する際はその他のパラメータの値は固定した。しかしこれを固定せず、空間不均質分布を推定するパラメータについて同時に値を変えながら計算すれば、より客観性の高い空間不均質分布が得られるものと思われる。ただ計算する破壊シミュレーションの回数が増えれば増えるほど、総計算時間は多くなる。これについては、MPIによる並列化や、差分法などほかの計算手法への転換も検討する必要がある。

本研究では、インバージョン結果については最終すべり量分布を使用して動的破壊パラメータの空間不均質分布の推定を行った。推定の精度を向上させるためには、インバージョンによって得られたすべり量の時間的发展も参考に必要がある。特に臨界すべり弱化解距離は破壊伝播速度に大きく影響するパラメータであるから、その推定には大きく役立つものと思われる。今後は、インバージョン結果を時間的にも説明できるような動的破壊パラメータの空間不均質分布を推定することも課題である。

6. まとめ

本研究では、小林他(2016)によって得られた最終すべり量分布をもとに、2016年鳥取県中部地震の断層の動的破壊パラメータの空間不均質分布を推定した。その際、小林他(2016)によって得られた最終すべり量分布におけるすべり量の大きさの違いに着目した。すべり量は領域の応力降下量とその面積に依存する、という性質を利用して初期応力の推定を行った。小林他(2016)ですべり量の大きい領域とその周囲のすべり量の小さい領域に分け、すべり量の小さい領域の初期応力は固定したうえで、すべり量の大きい領域の初期応力を試行錯誤的に推定した。そのうち、推定された初期応力分布を用いて、すべり量の大きい領域をさらに分割して臨界すべり弱化解距離の推定を行った。小林他(2016)による1秒ごとのすべり量分布では、破壊がすべり量の大きい領域を破壊開始点から地表に向かって進んでいくように見える。これに着目し、すべり量の大きい領域を4つに分割し、各領域の臨界すべり弱化解距離の値を試行錯誤的に推定した。

初期応力の推定の結果、すべり量の大きい領域での初期応力は、すべり量の小さい領域のそれよりも大きくなった。また臨界すべり弱化解距離は、破壊が進んでいくにつれ値が空間的に大きくなるようなモデルが望ましいことが分かった。

参考文献

- Aochi, H., E. Fukuyama, and M. Matsu'ura, 2000, Spontaneous rupture propagation on a non-planar fault in 3D elastic medium, *Pure Appl. Geophys.*, 157, 2003-2027.
- Fukuyama, E., and R. Madariaga, 1995, Integral equation of method for plane crack with arbitrary shape in 3D elastic medium, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 614-628.
- Fukuyama, E., and R. Madariaga, 1998, Rupture dynamics of a planar fault in a 3D elastic medium: Rate- and slip-weakening friction, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88, 1-17.
- 地震調査研究推進本部 (2012), 全国1次地下構造モデル (暫定版), http://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki_dat/.
- Kanamori, H., D. A. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65, 1073-1085.
- 小林広明・瀧内一樹・三宅弘恵, 2016, 強震波形インバージョンによる2016年鳥取県中部の地震の震源過程 (暫定版), <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/2016tottori/index.html>.
- Madariaga, R. and K. B. Olsen, 2000, Criticality of rupture dynamics in 3-D, *Pure and Applied Geophysics.*, 157, 1981-2001.
- Miyatake, T., 1992, Reconstruction of dynamic rupture process of an earthquake with constraints of kinematic parameters, *Geophysical Research Letters*, 19, 349-352.

Estimation of the dynamic rupture parameters for the 2016 Tottoriken–chubu earthquake

Keisuke Sato

Shoichi Yoshioka

Hideo Aochi

Abstract

In this study, we performed dynamic rupture simulations for the 2016 Tottoriken–chubu earthquake (M6.6). We used a boundary integral equation method, and supposed slip–weakening law as a frictional constitutive law. We assumed a vertical rectangular fault plane whose depth of the upper edge is 0.5 km; the fault size is 19.5 km (strike)–18 km (dip). We attempted to obtain spatial distributions of initial stress and critical slip weakening distance (called D_c hereafter), which can fit better the slip distribution obtained from inversion analysis performed by Kobayashi et al. (2016). The inverted final slip distribution has an area whose slip amount is very large just above the hypocenter, reaching 1.33 m. We divided the fault plane into two areas; one is the area with a large slip amount (hereafter called asperity), and the other is the surrounding one with a small slip amount. We fixed the residual stress, peak stress, and D_c values in both areas. We attempted to obtain an initial stress value so as to minimize the residual between the simulated and maximum slip amount by Kobayashi et al. (2016) by a try-and-error method. As a result, we obtained 10.6 MPa as the optimal initial stress value on the asperity, and found that an initial stress value on the asperity was larger than that of the surrounding. Next, we attempted to estimate spatial distribution of D_c values. For this purpose, we assumed the value to be 0.25 m in the surrounding, and divided the asperity into four areas in the depth direction (the deepest one included the rupture initiation point). We estimated D_c values by the same method that used to estimate initial stress value. As a result, we found there is a trend that the D_c value becomes larger toward the direction of the ground surface.

©2017 Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, All rights reserved.