

### 3.5. 仙台圏における高精度強震動予測に関する研究

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務題目

仙台圏における高精度強震動予測の実現

##### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	額瀨一 起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学大学院 情報学環／地震研究所	教授	古村孝	furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所	助教	志	hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp
国立大学法人東京大学地震研究所	特任研究員	三宅弘恵 木村武志	tkimura@eri.u-tokyo.ac.jp

##### (c) 業務の目的

強震動の評価を高精度化するためには、震源における断層破壊過程等のモデル、地震波の伝播特性などを規定する震源と対象地域との間の広域的な地下構造のモデル、対象地域の表層地盤による増幅率地図が、それぞれ高い精度で構築されることが必要である。震源のモデル化に関してはパイロット的重点調査観測および本研究サブテーマ1、2から確度の高い情報が得られるだけでなく、本サブテーマでも過去の地震のインバージョン解析を行うなど情報の高度化に努める。また、仙台平野における地下構造探査の実施や、過去の探査結果のコンパイルなどを通して地震動予測のための広域の地下構造モデルの高精度化が可能と期待される。このほか高精度の地盤増幅率地図を作製することにより、仙台圏における強震動評価の高精度化を行う。

##### (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成17年度：

2) 平成18年度：

3) 平成19年度：

断層破壊過程のモデル構築のために、歴史地震記象などを調査し、過去の宮城県沖地震の強震記録を収集する。収集したデータを用いて震源過程等の解析を行うとともに、断層破壊の動的シミュレーションのために、プログラム開発に着手した。また、地下構造モデルの構築のために必要な、中小地震の地震動波形記録を得るために、仙台圏の強震動総合ネットワークの整備に着手した。同時に、宮城県中北部で過去に行われた地下構造探査結

果をコンパイルし、整備した強震動ネットワークにより得られた中小地震記録などを用いて地下構造モデルのチューニングを行った。

これらの結果、1978年・2005年の宮城県沖地震について、近地の強震記録の比較および波形インバージョンによる破壊過程の推定から、1978年の地震では北側の1つの大きなアスペリティ(すべりの大きな領域)と南側の2つのアスペリティが破壊したのに対し、2005年の地震では、南側の2つのアスペリティしか破壊しなかったことを示した。

また、2005年の地震について動力的震源モデルを構築し、破損エネルギーは2つのアスペリティでそれぞれ0.5 MJ/m<sup>2</sup>、0.3 MJ/m<sup>2</sup>であることが分かった。

#### 4) 平成20年度：

平成19年度に得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデルをもとに、動的震源モデルについても検討した。また、これに必要な断層破壊の動的シミュレーションのためのプログラムの高度化を行った。また、平成19年度に構築した宮城県域の地下構造モデルをもとに、更に中小地震の地震動の波形記録等を用いてモデルの高度化を行った。得られた震源・地下構造モデルをもとに、地震動の数値シミュレーションを行い宮城県中北部域の強震動評価に着手した。

#### 5) 平成21年度：

平成20年度までに構築した過去の宮城県沖地震の震源モデルと、宮城県沖地震の震源域から仙台圏に至る地下構造モデルを用いて、宮城県沖地震による仙台圏での強震動予測を行う。

震源モデルについては、過去の宮城県沖地震の震源モデルをもとに、強震動予測に適切なモデルを構築する。また、宮城県沖地震の震源の動力的モデルの構築を行うために、数値シミュレーションコードの並列化を行う。地下構造モデルについては本サブテーマ⑤で平成20年度までに構築したモデルに、サブテーマ①によって構築された海域の構造モデルを統合する。以上の震源・構造モデルを用いることにより、地震被害に直結する周期帯域を含む広帯域での強震動予測を行う。得られた成果については、米国地球物理連合総会などの国際学会で発表するなどして世界の学界に広く広報し、世界的な研究水準の中での位置付けをはかる。また、成果をまとめる上で必要なサブテーマに関連する最新の情報を収集する。

#### (e) 平成20年度業務目的

平成19年度に引き続き、高精度な強震動評価を行うために必要な、震源での断層破壊過程モデル・震源域から対象領域にかけての地下構造モデルについて、更に高い精度での構築を目指すとともに、得られたモデルをもとに実際に強震動の評価を行うことを目的として、下記の方法により業務を行う。

○ 震源での断層破壊過程モデルの高度化では、平成19年度に得られた過去の宮城県沖地震の運動学的震源モデルをもとに、動的震源モデルについても検討する。また、これに必要な断層破壊の動的シミュレーションのためのプログラムの高度化を図る。

- 地下構造モデルの高度化では、平成19年度に構築したモデルをもとに、更に中小地震の地震動の波形記録等を用いて高度化を図る。
- 得られた震源・地下構造モデルをもとに、地震動の数値シミュレーションを行い、宮城県中北部域の強震動評価に着手するとともに、各モデルの問題点を明確にし、必要であれば修正を検討する。

## (2) 平成 20 年度の成果

### (a) 業務の要約

まず宮城県沖地震の震源域の速度構造のうち沈み込む太平洋プレート形状について、既存のモデルの比較を行った。特に強震動評価に大きな影響を持つと予想される震源断層付近でのプレートの深さが、5-10 km 程度の範囲でばらついていた。また、1978 年宮城県沖地震について、運動学的震源モデルをもとに動力的震源モデルを構築し、昨年度構築した 2005 年の地震のモデルと比較した。2 つの地震は同じプレート境界で発生した地震であるが、応力降下量はほぼ同程度にも関わらず、破壊エネルギーについてはより規模の大きい 1978 年の地震の方が 2-5 倍大きな値を持つことを示した。また、繰り返し破壊したアスペリティについてのみ注目した場合でも、同様の結果が得られた。より複雑な断層面上における動的破壊シミュレーションを目指して、有限要素法によるコードの改良を行った。宮城県域の速度構造モデルについては、宮城県震度計データ、中規模地震の波形記録、重力データを用いるなどして、平成 19 年度に構築したモデルの高度化を行った。

### (b) 業務の実施方法

まず、宮城県沖地震などの海溝型プレート間地震による強震動の予測計算を行う際に重要な、沈み込む太平洋プレートのモデルについて比較を行った。平成 19 年度に推定した 1978 年・2005 年の地震の運動学的震源モデルと、サブテーマ①によって得られているモデル (Yamamoto et al., 2006<sup>1</sup>) (以下、モデル YMM)、馬場・他 (2006)<sup>2</sup>) のモデル (以下、モデル BAB)、Zhao and Hasegawa (1993)<sup>3</sup>) のモデル (以下、モデル ZHA) を比較した。特に、宮城県沖地震の震源域における深さの違いについて検討した。

1978 年と 2005 年の宮城県沖地震について、動力的な観点で両者の関係を検討するため、1978 年宮城県沖地震について動力的震源モデルを構築した。動力的震源モデルの構築は、平成 19 年度に 2005 年の宮城県沖地震について行った方法と同様の方法を用いて行った。Wu et al. (2008)<sup>4</sup>) によって得られた 1978 年宮城県沖地震の運動学的震源モデルをもとに、フォワードモデリングにより構築した。断層面上の破壊の構成則はすべり弱化則 (Ida, 1972<sup>5</sup>) ; Andrews, 1976<sup>6</sup>) を仮定し (図 1)、強度超過、すべり弱化距離  $D_c$  および応力降下量を、運動学的震源モデルのすべり量分布や破壊伝播速度を再現するように与えた。応力降下量分布は運動学的震源モデルのすべり量分布から半無限均質媒質を仮定し、Okada (1992)<sup>7</sup>) の手法を用いて計算した (図 2)。すべり弱化距離、強度超過に関しては、まずすべり弱化距離  $D_c$  と応力降下量に対する強度超過の比 ( $S$ ) を断層面上で一定と仮定し、モデル化を行った。 $D_c=0.4$  m、 $S=0.2$  のとき、おおむね運動学的震源モデルのすべり量、断層面南部の破壊伝播速度を再現できたが、A 領域 (図 2c) で運動学的震源モデルの破壊伝播速度を大きく超え、S 波速度を超えるような破壊の進展が得られた。そこで A 領

域のみ、 $D_c=0.8$  m、 $S=1.0$  を与えることによって、この領域の破壊伝播速度を抑え、運動学的震源モデルの速度を再現するようなモデルを得た（図 3、4）。破壊の動的シミュレーションはスタッガードグリッドを用いた空間4次・時間2次精度の有限差分法(FDM, Virieux and Madariaga, 1982<sup>8)</sup>)を用いて行い、グリッドサイズおよび時間ステップ幅は0.2m、0.01秒とした。得られた1978年宮城県沖地震の動学的震源モデルと、平成19年度に構築した2005年宮城県沖地震の動学的震源モデルの比較を行った。特に比較的安定して推定可能な応力降下量と破壊エネルギー $G_c$ について比較を行った(Guatteri and Spudich, 2000<sup>9)</sup>)。また、宮城県沖地震のような海溝型プレート間地震特有の、3次元的に不均質な媒質中における非平面断層上での破壊の動学的シミュレーションを目指して、平成19年度に引き続き有限要素法による動的シミュレーションコードの改良を行った。地表を含む横ずれ・縦ずれ断層運動への対応や、ボクセル形状のメッシュ(Koketsu et al., 2004<sup>10)</sup>)だけでなく、任意形状メッシュを用いたコード化を行い非平面断層へ適用可能にした。

強震動予測を高精度に行うために、平成19年度に作成した宮城県中北部域の地下構造モデルの改良を行った。まず、平成19年度に用いた気象庁震度計・防災科学技術研究所のK-NET・KiK-netのデータに加えて、宮城県設置の震度計で得られた強震記録を用いて、R/Vスペクトル比のピーク周期のフォワードモデリングを行い、観測点近傍の速度構造モデルの1次元的なチューニングを行った。解析ではS波初動を読み取り、初動から20秒以降のデータについてラディアル成分と上下動成分のフーリエスペクトルを計算した。得られたフーリエスペクトルに幅0.05HzのParzen windowを施し、それらの比をとることにより観測R/Vスペクトル比を得た。チューニングは、堆積層の各層厚の比率は保持したまま堆積層全体の厚さを増減させることで行った。このR/Vスペクトル比のフォワードモデリングにより得られた1次元速度構造を補間することによって3次元速度構造モデル(0.5次モデル)を得た。しかし、このモデルでは、特に表面波の振幅が過大あるいは過小評価の地点が見られるなどいくつか問題点があった。そこでこの0.5次モデルについて、以下の3つの方法を用いてさらに改良を行い、1次モデルを得た。1) 1999年11月15日に宮城県沖で発生したMw 5.6の中規模地震の観測走時を用いて、上部地殻第2層以深の構造モデルの物性値を補正。2) 1) で用いた中規模地震の観測波形のうち特に表面波の振幅に注目した層厚のチューニング。3) 重力異常データのフォワードモデリングにより、観測点間の構造の修正。1) については、3次元レイトレーシングによって得られた理論走時と、K-NET・KiK-net 観測点のP波S波初動を読み取って得られる観測走時を比較し、両者の見かけ速度の比率を、0.5次モデルの上部地殻第1・2層および下部地殻のP波S波速度に掛けることにより補正した。2) については、3次元有限差分法を用いた地震波動場の数値シミュレーションを行い、得られた計算波形と観測波形が合うようにチューニングを行った。特に表面波の振幅に注目し、振幅が過大評価の場合には表層の層厚を厚くし、地震基盤深度を浅くした。過小評価の場合には、逆の操作を行った。こうすることにより、理論R/Vスペクトル比のピーク周波数をなるべく変えずに、R/Vスペクトル比のチューニング結果を反映したまま観測波形のモデリングを行った。3) については、ブーゲー異常データ(地質調査総合センター、2004<sup>11)</sup>)の形状を参考に、特に強震観測点間のモデルの修正を行った。

### (c) 業務の成果

1978年・2005年の地震の運動学的震源モデルの小断層位置と、3つの太平洋プレート構造モデル（YMM、BAB、ZHA）を図5に示す。1978年・2005年の宮城県沖地震震源域において沈み込む太平洋プレート上面位置を比較すると、モデルYMMはモデルBABに比べて5-10km深い位置にあり、モデルZHAに比べて5km程度浅くなっている。また、Wu et al. (2008)<sup>4)</sup>の震源モデル位置は、モデルBABとおおむね一致している。

構築した1978年宮城県沖地震の動力学的震源モデルについて、各パラメータの分布を図2、3に示している。また比較のために、2005年の地震についても同じものを示す。1978年宮城県沖地震の動力学的震源モデルについて述べると、最大すべり速度の分布は、ほぼストレスドロップの大きな領域と一致している。またそれに加えて、ストレスドロップの大きなA領域の破壊停止端付近でも大きな値が見られる。破壊伝播速度についてはモデル構築の際、運動学的震源モデルと同様の速度で、ほぼ一定となるようにモデル化を行っているが、破壊開始点からdown-dip方向にあるストレスドロップの値が小さく、負になっている領域付近では遅くなっている。また、部分的にSとD<sub>c</sub>の値を大きくしたA領域ではほぼ周辺と同様の伝播速度になっているが、その周辺領域では速くなり、回り込むように破壊が伝播している。ライズタイムは、全体的に破壊開始点周辺で大きく、震源距離とともに小さくなっており、典型的なクラックタイプの分布を示している。詳細にみると、B領域（図2c）・A領域の破壊停止端付近で小さくなっている。次にストレスドロップと破壊エネルギーに関して、2005年・1978年の震源モデルを比較する（図6a）。断層面全体については、2つの地震で平均値・最大値ともに同様の値を示している。一方で、破壊エネルギーに関しては、規模の大きな1978年の地震は2005年の地震の2~5倍の値を示している。つまり、同じ沈み込み帯のプレート境界で発生した地震であっても、破壊エネルギーは2つの地震で違う値を持つ。この原因としては、1) 1978年の破壊、あるいは1978年以降の変動により震源域の破壊エネルギーが変化した、2) そもそも本解析で得られた破壊エネルギーは物性値では無く、破壊過程そのものに依存する、という2点が考えられる。多数の内陸地震の震源モデルから、破壊エネルギーが地震モーメントに依存するという結果が得られており（Tinti et al, 2005<sup>12)</sup>；Mai et al, 2006<sup>13)</sup>）、同じ断層面上で発生したとみなせる2つの地震について行った本解析の結果は、これらの結果と矛盾しない。さらに、Wu et al (2008)<sup>4)</sup>によって1978年と2005年の2回の地震で繰り返し破壊したとされるアスペリティ（領域B、C（図2c、d））についても、ストレスドロップと破壊エネルギーの比較を行った（図6b）。断層面全体の場合と同様に、ストレスドロップは2つの地震でそれほど大きな違いが見られなかったが、破壊エネルギーに関しては、1978年の方が2倍以上大きな値を示している。つまり繰り返し発生したプレート間地震について、断層面全体だけでなく、より細かいスケールである繰り返し破壊したアスペリティにおいても、2つの地震で異なる破壊エネルギーが見積もられた。得られた破壊エネルギーを、内陸地震について得られている既往の解析結果と比較した（図7）。より地震モーメントの大きな1978年の地震の方が2005年の地震よりも大きな破壊エネルギーを持つという点では、既往の結果と矛盾しない。しかし、その絶対値は同規模の内陸地震と比較して1/10-1/50程度であり、非常に小さな値となっている。また、平成19年度に開発に着手した有限要素法を用いた断層面上の動的破壊シミュレーションコードについても、1) 宮城県沖地震などの地表

の影響を含めた逆断層運動を扱えるように改良、2) 宮城県沖地震のように複雑な形状をした震源断層面を扱えるように、ボクセル要素だけでなく、任意形状の要素を用いることができるように改良、を行った。図8はボクセル有限要素と任意形状要素の動的断層破壊シミュレーションの結果を比較したものであり、両者でほぼ同じ解が得られている。

次に速度構造のモデル化について述べる。図9にR/Vスペクトル比解析に用いた観測点の分布を、図10に今年度新たに取り入れた宮城県震度計の観測R/Vスペクトル比を示す。宮城県の震度計データを用いることにより観測点密度が増したため、より詳細なモデル化が可能になった。また、宮城県北部域ではおおむね周期3秒以上のピーク周期を示すなど、大まかな特徴は昨年度扱った防災科学技術研究所・気象庁の観測点の結果と整合する。次に、中規模地震の観測走時を用いた上部地殻第2層・下部地殻・マントルのP波・S波速度のチューニング結果について述べる。チューニング前後の理論走時と観測走時の比較を図11に示す。P波およびS波の観測走時の見かけ速度はそれぞれ7.19 km/sおよび4.22 km/sであり、修正前の理論見かけ速度はそれぞれ7.52 km/s、4.37 km/sであった。P波およびS波の観測と理論見かけ速度の比はそれぞれ0.96、0.97であり、理論走時の方がやや速い。この比を上記3層の地震は速度にそれぞれかけることにより補正を行った結果、理論見かけ速度はそれぞれ7.30 km/s、4.27 km/sとなり、観測見かけ速度との比はP波、S波ともに0.99となった。さらに、中規模地震の観測地震波形と重力データを用いたチューニングによって得られたモデル(1次モデル)を図12に示す。また、図13には中規模地震の観測波形と、0次、0.5次、1次モデルを用いた差分法による計算波形の比較を示す。MYG016では、0.5次モデルでの後続位相の振幅が小さいが、1次モデルへのチューニングを行った結果、後続位相の振幅が大きくなり、より観測データを説明できるようになっている。また、MYG006については、0.5次モデルによって周期3秒まではおおむね観測データを説明できている。0.5次モデルに比べて1次モデルの方がより観測データを説明できているが、これは重力データを用いた修正により、結果が改善されていると考えられる。周期2秒までの結果では、やや過小評価である。全体としては、周期3秒以上ではおおむね観測波形を説明できるモデルを構築することができた。

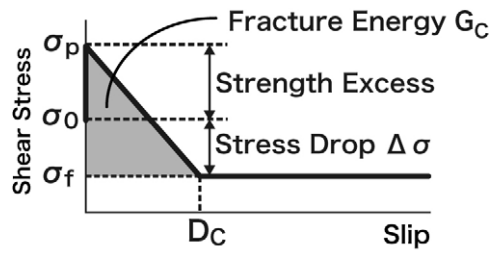


図1 すべり弱化モデルにおけるすべり量とせん断応力の関係。

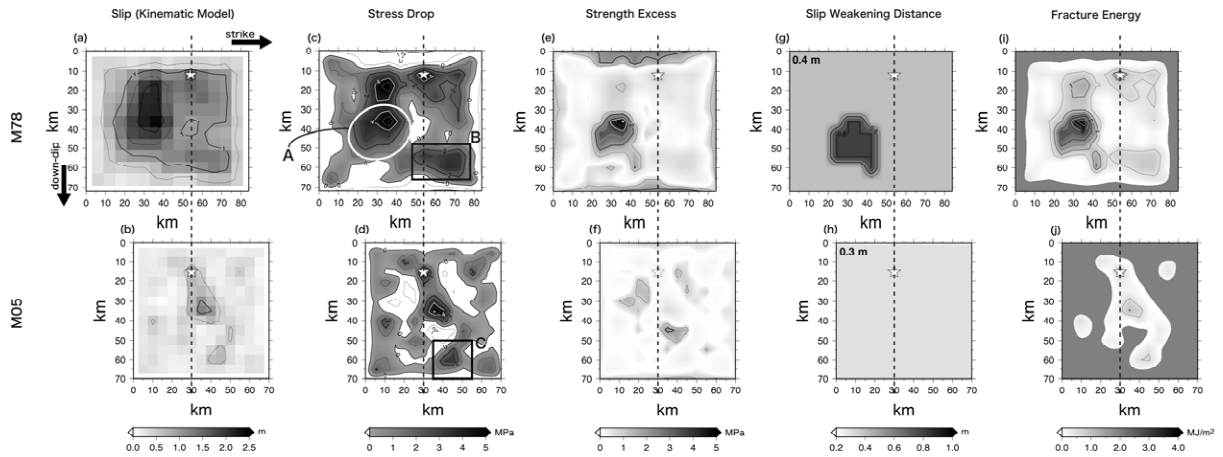


図2 1978年（上）と2005年（下）の動学的震源モデルにおける震源パラメータ分布。星印は破壊開始点を示す。破壊エネルギー分布（i, j）に関しては、すべり量が  $D_c$  以下の領域をマスクしてある。

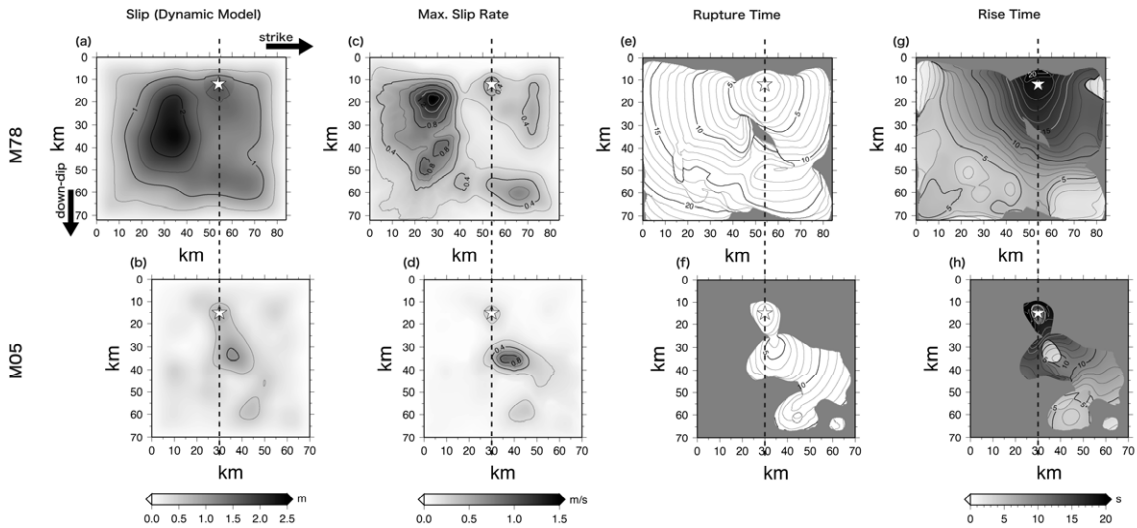


図3 1978年(上)と2005年(下)の動的破壊シミュレーションによって得られた震源パラメータ分布。星印は破壊開始点を示す。破壊時刻(e, f)・ライズタイム(g, h)の分布については、すべり速度が0.1 m/s以下の領域はマスクしている。

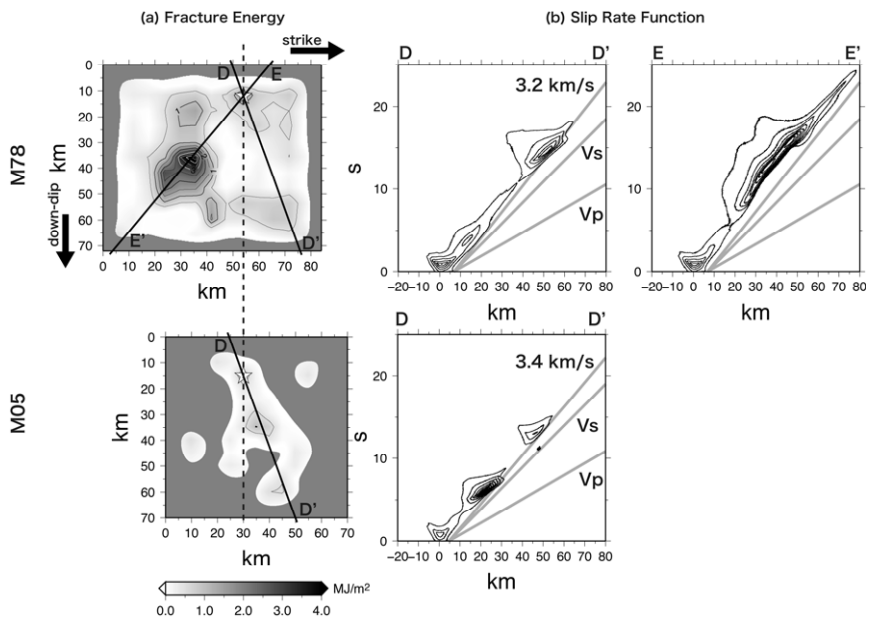


図4 1978年(上)と2005年(下)の動力的震源モデルにおける(a)破壊エネルギーの分布と(b)各直線上におけるすべり速度時間関数。灰線はP波・S波速度、Wu et al. (2008)<sup>4)</sup>による破壊伝播速度を示す。



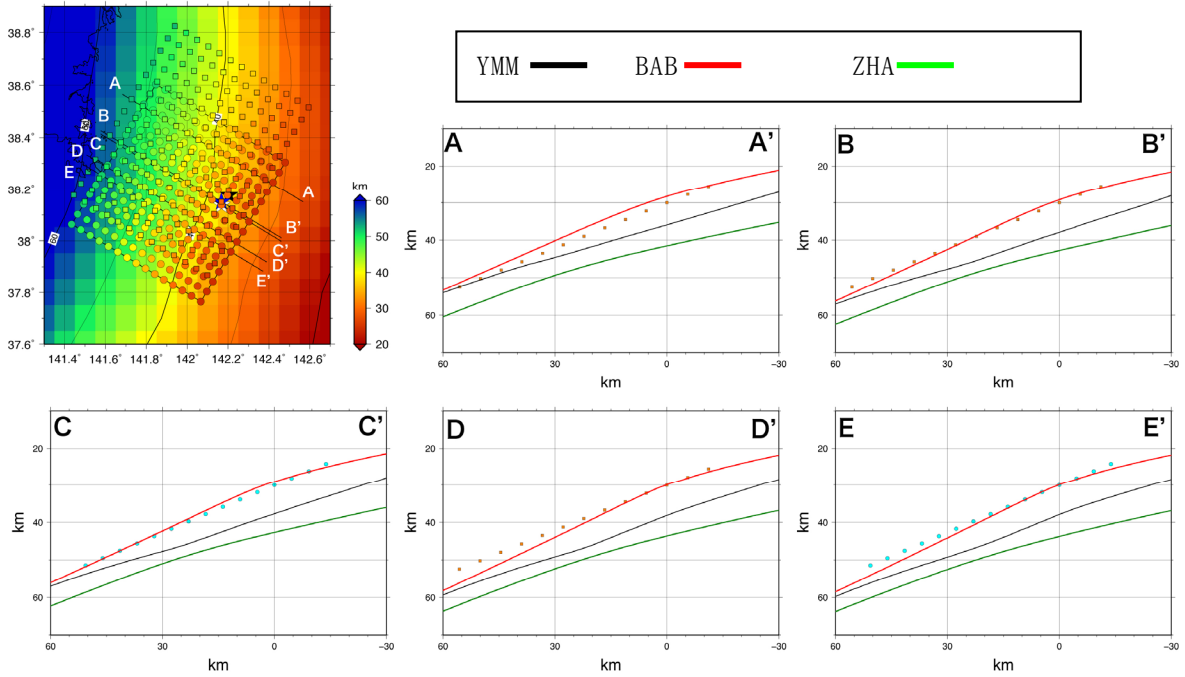


図 5 (a) 東北大学の速度構造モデルにおける太平洋プレート上面の深さ分布と、Wu et al. (2008)による 1978 年 (■)、2005 年 (●) 宮城県沖地震の小断層位置。小断層位置の色はその深さを示す。(b-f) (a) で示した測線 AA' - EE' に沿った各モデルのプレート上面の断面図と小断層位置。

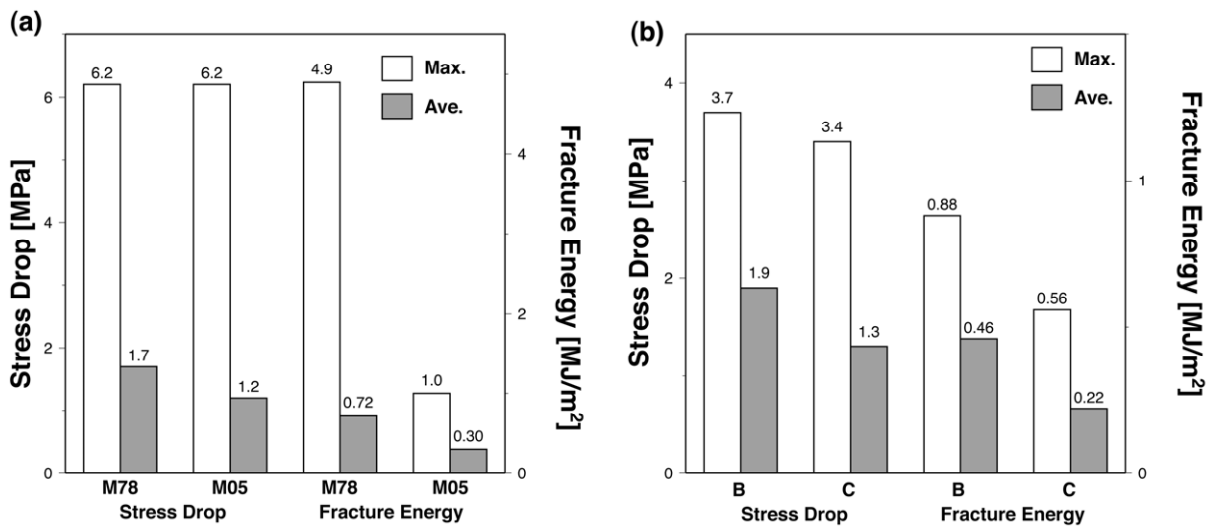


図 6 (a) 1978 年と 2005 年の動力的震源モデルにおけるストレスドロップと破壊エネルギーの最大値・平均値の比較。(b) 繰り返し破壊したアスペリティ領域 (図 2 における B 領域と C 領域) でのストレスドロップと破壊エネルギーの比較。

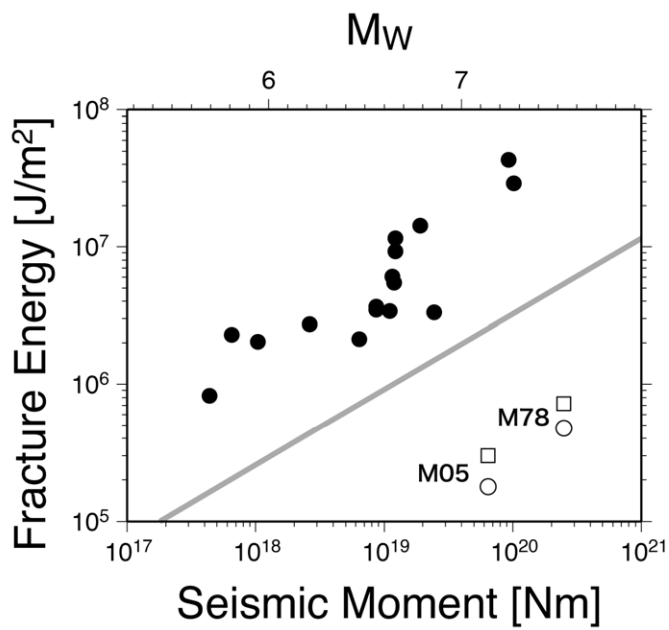


図 7 地震モーメントと平均破壊エネルギーの関係。白抜きは本研究で得られた結果で、丸印はすべり量が DC より大きな領域についての値、四角は Mai et al. (2006)<sup>13)</sup>と同様に計算した値。灰線は Mai et al. (2006)<sup>13)</sup>による回帰直線。黒丸は Tinti et al. (2005)<sup>12)</sup>による値。

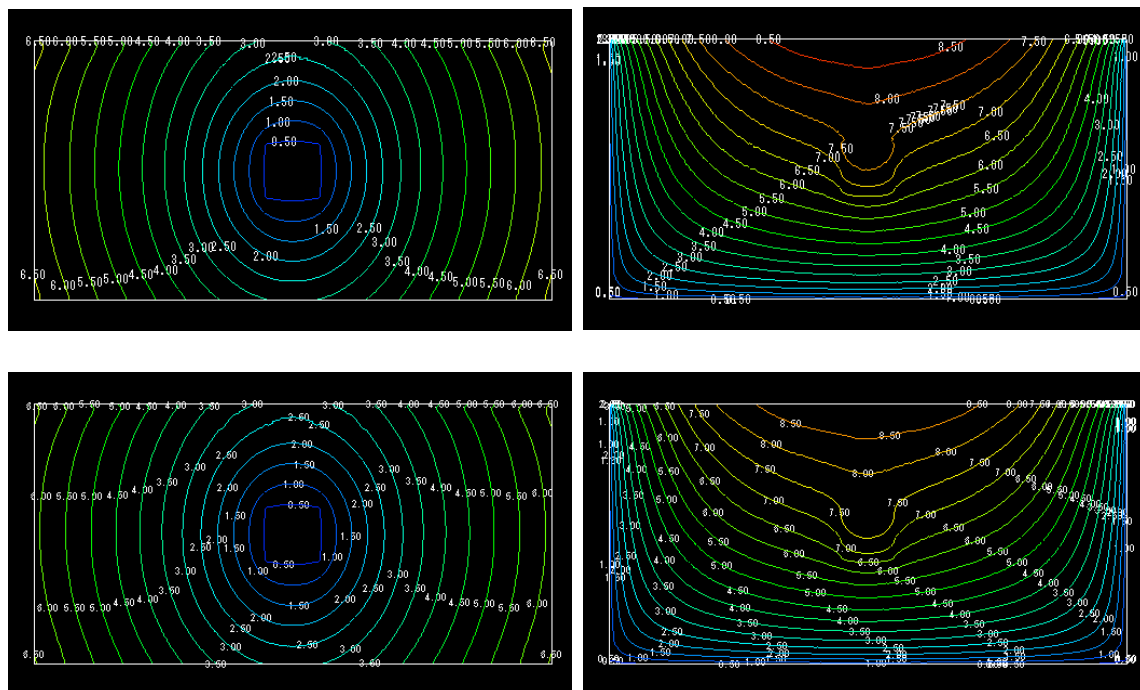


図 8 地表を切る鉛直縦ずれ断層に対する任意形状要素（上）とボクセル要素（下）の場合の動的破壊シミュレーションの結果。左は破壊時刻（秒）、右はすべり量（m）の分布を示す。

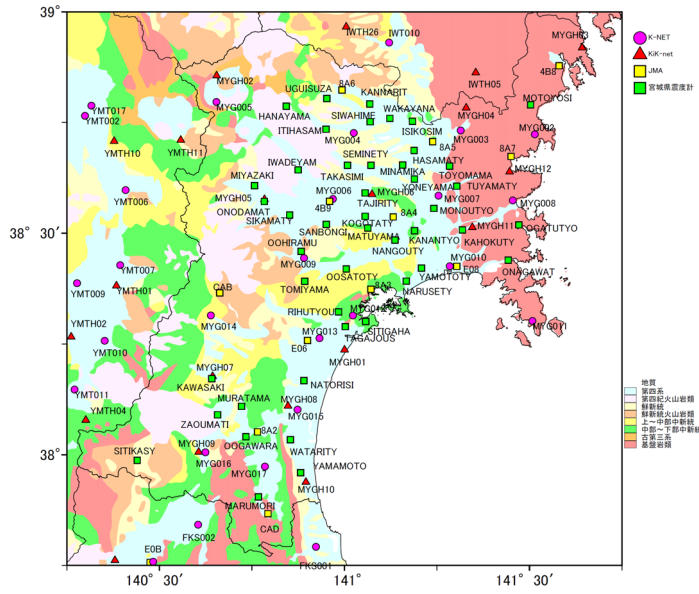


図 9 R/V スペクトル比解析に用いた観測点。

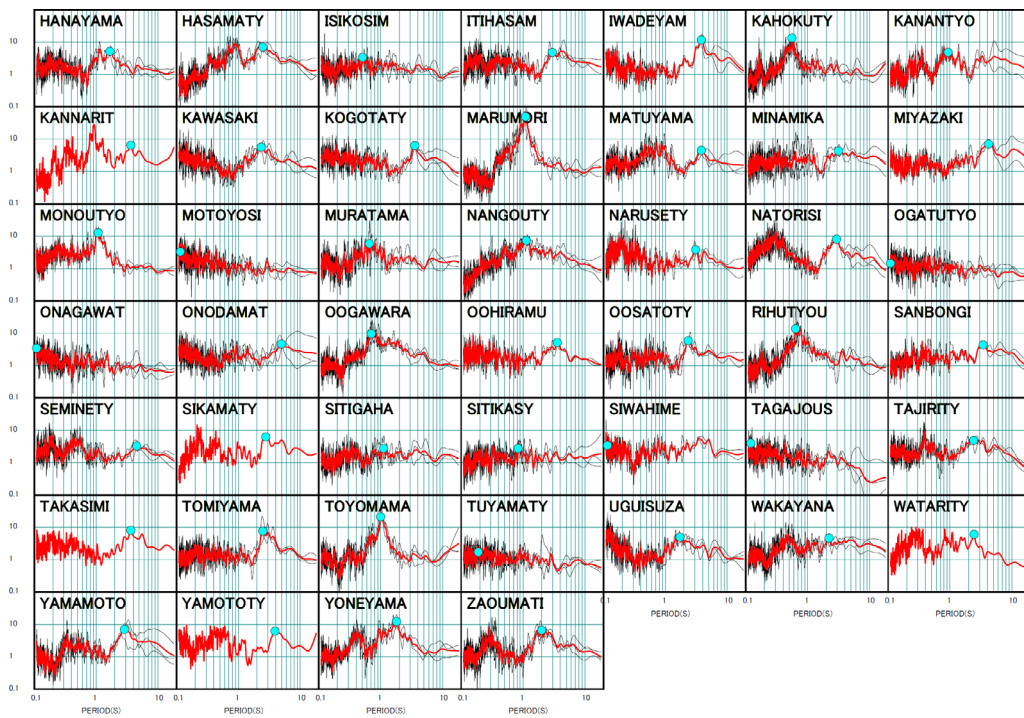


図 10 宮城県震度計における観測 R/V スペクトル比。黒線は各地震によるもの、赤線はその平均値。青丸は読み取ったピーク周期。

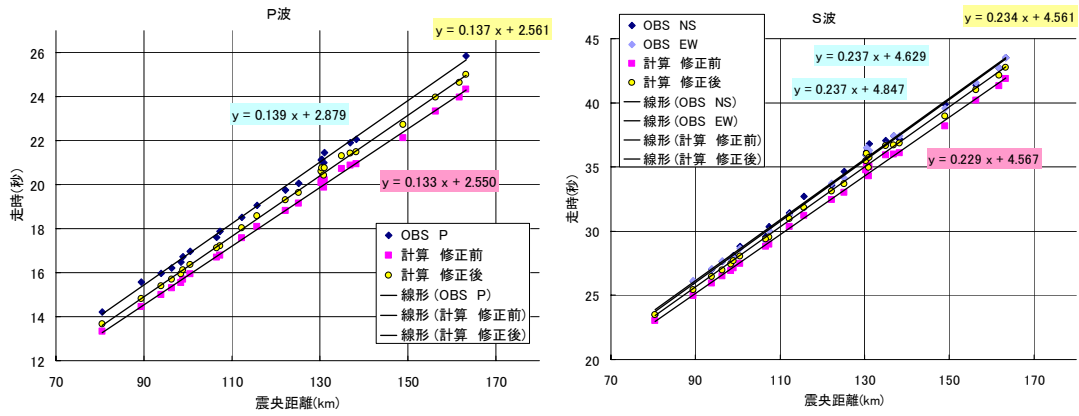


図 11 観測走時と計算走時の比較

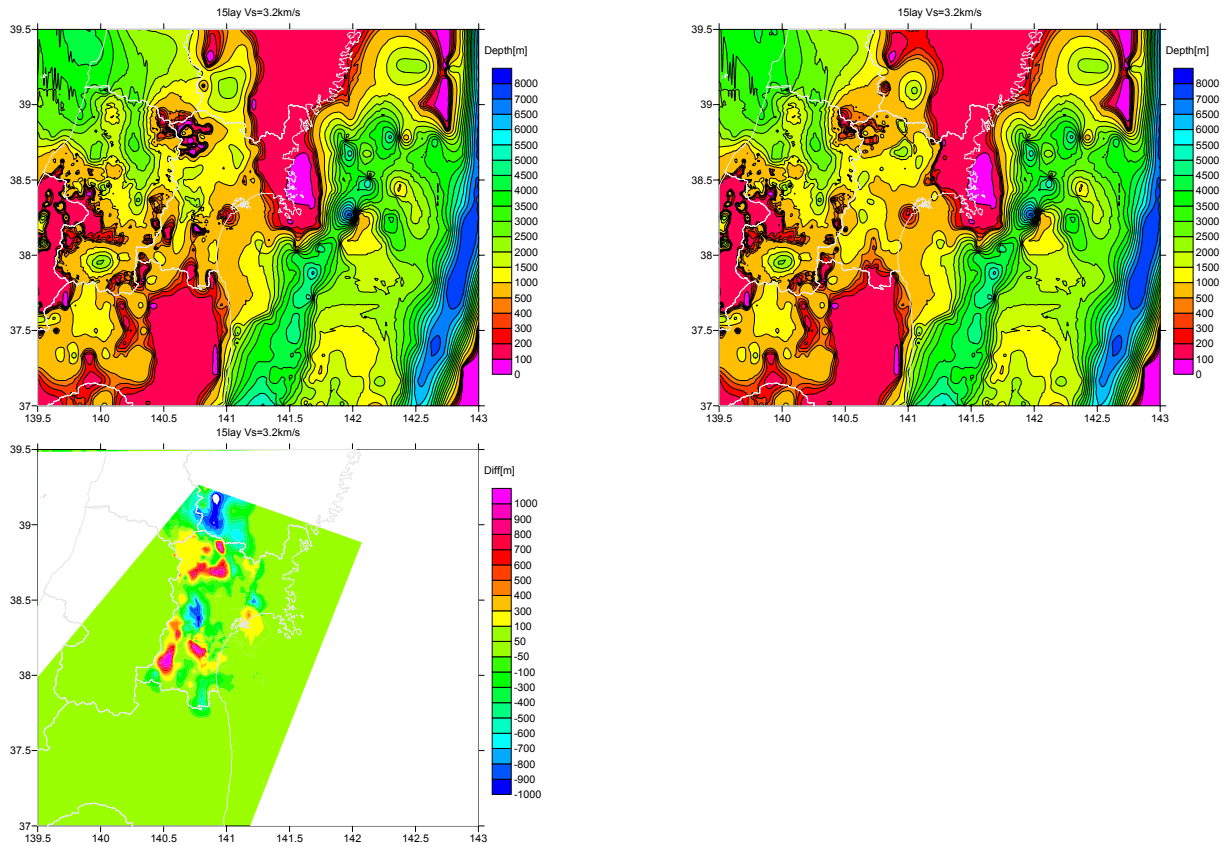


図 12 (左上) 0.5 次モデル、(右上) 1 次モデルにおける Vs3.2 km/s 層上面の深さ分布。(下) 0.5 次モデルと 1 次モデルの差。寒色が浅く、暖色が深く修正された地域を示す。

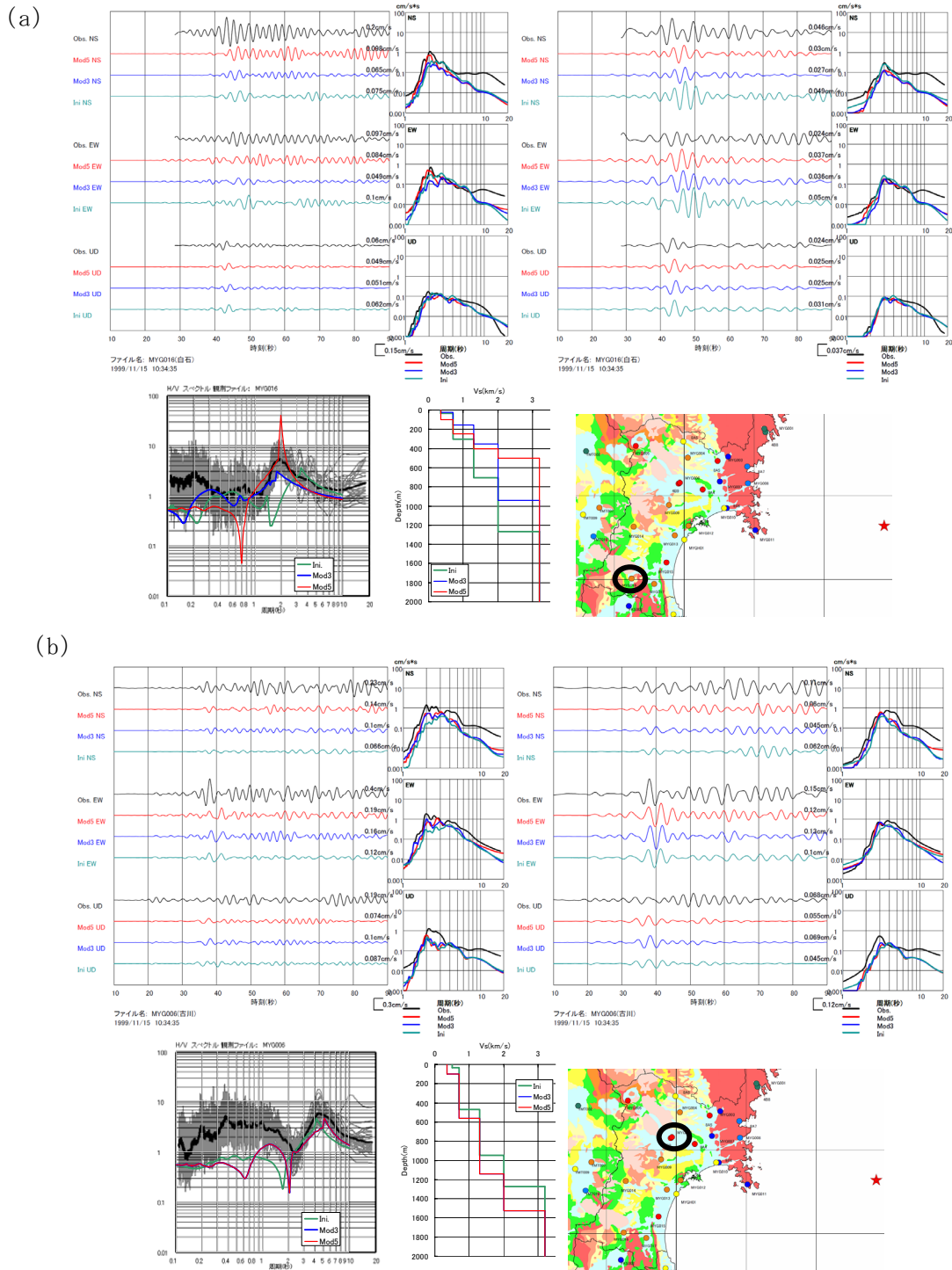


図 13 (a) MYG016 と (b) MYG006 における 0 次 (Ini)、0.5 次 (Mod3)、1 次 (Mod5) モデルによる中規模地震の計算波形と観測波形とそれぞれのスペクトルの比較。(左上) 周期 2 秒ハイカットの結果。(右上) 周期 3 秒ハイカットの結果。(左下) 観測・理論 R/V スペクトル比の比較と観測点直下の浅部速度構造モデルの比較。(右下) 観測点分布と中規模地震の震央位置 (星印)。

(d) 結論ならびに今後の課題

本年度は強震動評価の高精度化に向けて、以下の研究・開発を行った。まず、宮城県沖

地震震源域における太平洋プレートの構造モデルについて、3つの既往のモデルを比較した。3つのプレートモデルは特に宮城県沖地震震源域において深さに差異がみられ、5–10 km 程度のずれが見られる。昨年度本サブテーマで推定した1978年と2005年の宮城県沖地震の震源モデルの位置は、最も浅い馬場・他(2006)<sup>2)</sup>のモデルとほぼ一致していた。また、1978年宮城県沖地震について、昨年度推定した運動学的震源モデルをもとに動力的震源モデルを構築した。動力的モデルは、運動学的モデルのすべり量と破壊伝播速度を再現するように構築した。得られた1978年の動力的震源モデルと、昨年度構築した2005年の動力的震源モデルを比較した。ストレスドロップについては、2つの地震でほぼ同程度の値を示したが、破壊エネルギーに関しては地震モーメントの大きかった1978年の地震の方が2–5倍大きな値を示した。また、2つの地震で繰り返し破壊したアスペリティのみに注目した場合でも、同様の特徴が見られた。有限要素法を用いた動力的破壊のシミュレーションコードに関しては、地表の影響も考慮した逆断層運動のシミュレーションが可能になり、さらに非平面断層に対応可能な任意形状要素への拡張を行った。強震動予測に必要な、宮城県域の速度構造モデルに関しては、昨年度構築したモデルの高精度化を行った。まず、新たに宮城県の震度計データについてR/Vスペクトル比のフォワードモデリングによる1次元構造の推定を行うことにより、より高密度に精度のよい1次元構造モデルを得ることができた。さらにそれらを補間して0.5次モデルを得た後、中規模地震の観測走時・観測波形、および重力データを用いることにより、高精度化を行い、1次モデルを構築した。用いた中規模地震の観測波形の再現状況から、おおむね周期3秒以上の周期帯について適用可能であることを確認した。

高精度な強震動予測に向けて今後の課題としては、震源域周辺の速度構造モデル、特にプレート境界面位置についてさらに検討を進める必要がある。また、本年度構築した2つの宮城県沖地震の動力的震源モデルでは、既往の内陸地震について得られているモデルと特に破壊エネルギーの値について、大きな違いがみられている。この原因を明らかにすることは、宮城県沖地震の様な海溝型プレート間地震による強震動評価を行う上で、震源モデル構築の際に重要な情報をもたらすだろう。有限要素を用いた動力的破壊シミュレーションコードについては、宮城県沖地震などの自然地震についての数値シミュレーションが現実的な時間・計算機環境で実現可能になるよう、コードの並列化などを行う必要がある。本年度までに構築した速度構造モデルについては、中規模地震による地震波形の数値シミュレーションによりおおむね周期3秒以上の周期帯については適用可能であることを確認した。宮城県沖地震による強震動評価を行う際には、この点に十分注意するとともに、より広帯域での予測に向けた研究が必要である。

#### (e) 引用文献

- 1) Yamamoto, Y., Hino, Y., Nishino, M., Yamada, T., Kanazawa, T., Hashimoto, T. and Aoki, G.: Three-dimensional seismic velocity structure around the focal area of the 1978 Miyagi-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 33, doi:10.1029/2005GL025619, 2006.
- 2) 馬場俊孝, 伊藤亜紀, 金田義行, 早川俊彦, 古村孝志: 制御地震探査結果から構築した日本周辺海域化の3次元地震波速度構造モデル, 日本地球惑星科学連合2006年大会, 2006.

- 3) Zhao, D. and Hasegawa, A. : P Wave Tomographic Imaging of the Crust and Upper Mantle Beneath the Japan Islands, J. Geophys. Res., Vol. 98, No. B3, pp.4333-4353, 1993.
- 4) Wu, C., Koketsu, K. and Miyake, H. : Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes, J. Geophys. Res., Vol. 113, doi:10.1029/2007JB005189, 2008.
- 5) Ida, Y. : Cohesive force across the tip of a longitudinal-shear crack and Griffith's specific surface energy, J. Geophys. Res., Vol. 77, pp3796-3805, 1972.
- 6) Andrews, D. J. : Rupture velocity of plane strain shear cracks, J. Geophys. Res., Vol. 81, pp.5679-5687, 1976.
- 7) Okada, Y. : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 82, pp1018-1040, 1992.
- 8) Virieux, J. and Madariaga, R. : Dynamic faulting studied by a finite difference method, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 72, pp.345-369, 1982.
- 9) Guatteri, M and Spudich, P. : What Can Strong-Motion Data Tell Us about Slip-Weakening Fault-Friction Laws?, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 90, pp.98-116, 2000.
- 10) Koketsu, K., Fujiwara, H. and Ikegami, Y. : Finite-element simulation of seismic ground motion with a voxel mesh, Pure Appl. Geophys., Vol. 161, No. 11-12, pp.2463-2478, 2004.
- 11) 地質調査総合センター：日本重力 CD-ROM 第2版, 2004.
- 12) Tinti, E., Spudich, P. and Cocco, M. : Earthquake fracture energy inferred from kinematic rupture models on extended faults, J. Geophys. Res., Vol. 110, doi:10.1029/2005JB003644, 2005.
- 13) Mai, P. M., Somerville, P., Pitarka, A., Dalguer, L., Song, S. G., Beroza, G., Miyake, H. and Irikura, K. : On scaling of fracture energy and stress drop in dynamic rupture models: Consequences for near-source ground motions, Earthquakes: Radiated Energy and the Physics of Faulting, AGU Geophysical Monograph Series, Vol. 170, pp.283-294, 2006.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Kimura, T., K. Koketsu, H. Miyake, C. Wu and T. Miyatake	Dynamic Source Modeling of the 2005 Miyagi-oki Earthquake	6th ACES Workshop	平成 20 年 5 月 11-16 日
木村武志・瀬 瀬一起・三宅 弘恵・呉長 江・宮武隆	2005 年宮城県沖地震 (M7.2) の運動学的・動的震源パラメ ータ	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 日

Wu, C., K. Koketsu and H. Miyake	Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes	J. Geophys. Res. 113, doi:10.1029/2007JB005189	平成 20 年 8 月 23 日
木村武志・瀨 瀨一起・三宅 弘恵・呉長 江・宮武隆	1978 年・2005 年宮城県沖地震 の動力学的破壊過程と震源パ ラメータ	日本地震工学会大会 2008	平成 20 年 11 月 3-5 日
Kimura, T., K. Koketsu, H. Miyake, C. Wu and T. Miyatake	Comparison of Dynamic Source Models between the 1978 and 2005 Miyagi-oki Earthquakes	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 15-19 日
Wu, C., K. Koketsu and H. Miyake	Correction to “ Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes”	J. Geophys. Res. 114, doi:10.1029/2009JB006419	平成 21 年度 4 月 11 日
木村武志・瀨 瀨一起・宮武 隆	内陸地震と海溝型地震の破壊 エネルギー	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 16-21 日
三宅弘恵・加 瀬祐子・青井 真・瀨瀨一 起・木村武 志・河路薫・ 池上泰史・秋 山伸一	FEM および FDM による断層破 壊の動力学的シミュレーショ ンの精度検証	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 16-21 日

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし



### 3) 仕様・標準等の策定

なし

#### (3) 平成 21 年度業務計画案

平成 20 年度までに得られた過去の宮城県沖地震の震源モデルと、宮城県沖地震の震源域から仙台圏に至る地下構造モデルをベースに、宮城県沖地震による強震動予測を行う。

震源モデルについては、これまでに推定した過去の宮城県沖地震の震源モデルをもとに、強震動予測に適切な震源モデルの構築を行う。必要であれば複数のモデルを構築し、考察を行う。また、非平面断層や 3 次元不均質媒質などの、より現実的な震源モデル構築に必要な有限要素法を用いた破壊シミュレーションコードの実用化に向け、コードの並列化などの開発を行う。地下構造モデルについては、平成 20 年度に検討したサブテーマ①などで得られている海域の太平洋プレートの構造モデルと本サブテーマ⑤で構築してきたものを統合し、問題があれば改良を行う。以上の震源・構造モデルを用いることによって、地震被害に直結するような周期帯を含む、広帯域での強震動予測を行う。