

3.3 仙台圏における高精度強震動予測の実現

(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 | 瀧澤 一起 | koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp |
| | 准教授 | 古村 孝志 | furumura@eri.u-tokyo.ac.jp |
| | 助教 | 三宅 弘恵 | hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp |
| | 産学官連携研究員 | 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。

4) 平成20年度：

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。

5) 平成21年度：

仙台平野で地下構造探査を実施して、その結果を基に地下構造の最終モデルを構築する。表層増幅率地図・震源モデル・地下構造モデルに基づき仙台圏などの高精度な強震動評価を実施する。

(e) 平成19年度業務目的

強震動の評価を高精度化するために必要な、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を、それぞれ高い精度で構築し、これらを用いて仙台圏の強震動を予測することを目的として下記の業務を行う。

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する。

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する。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う。

(2) 平成 19 年度の成果

(a) 業務の要約

強震動評価を高精度に行うためには、高精度な震源モデル・速度構造モデルが必要である。本年度はこれらのモデルの高精度化を目的とした研究・開発を行った。震源モデルに関しては、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を行い、両者の関係について検討した。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。2005 年の地震について動学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^2 、 0.3 MJ/m^2 であった。また、より現実的な動学的震源モデルの構築に向けてのコード開発にも着手した。速度構造モデルについては、既往の研究から初期モデルを構築し、さらに H/V スペクトル比によるモデルのチューニングを行った。さらに、強震動研究の促進のために、宮城県内の強震動総合ネットワークの整備にも着手した。

(b) 業務の実施方法

1978 年と 2005 年の宮城県沖地震について両者の関係を検討するため、2 つの地震で得られた近地の地震波形を詳細に比較した。1978 年の宮城県沖地震に関しては気象庁の 50-52 型強震計（図 1）、2005 年の宮城県沖地震については近傍の K-NET 観測点の記録を用いた。また、より詳細に 2 つの地震の関係を明らかにするため、波形インバージョンによる運動学的震源モデルの推定も行った。1978 年の地震については近地の観測点（気象庁 50-52 型強震計 8 点、SMAC 型加速度計 6 点）を、2005 年の地震については近地の KiK-net 観測点 12 点（地中）と IRIS の遠地観測点 33 点を用いて解析を行った。近地の観測点配置を図 1 に示す。Green 関数の計算は Kennett and Kerry (1979)²⁾ の反射・透過係数行列法を用いて行い、速度構造モデルは Iwasaki et al. (2001)³⁾ や Nakajima et al. (2002)⁴⁾ を参考に仮定した。断層モデルは表 1 に示したものを仮定した。インバージョン解析は Wu and Takeo (2004)⁵⁾ の手法を用いて行った。

さらに、動学的な観点で 2 つの地震の破壊過程を比較することを目的とし、上記の震源インバージョン解析によって得られた運動学的震源モデルをもとに、フォワードモデリ

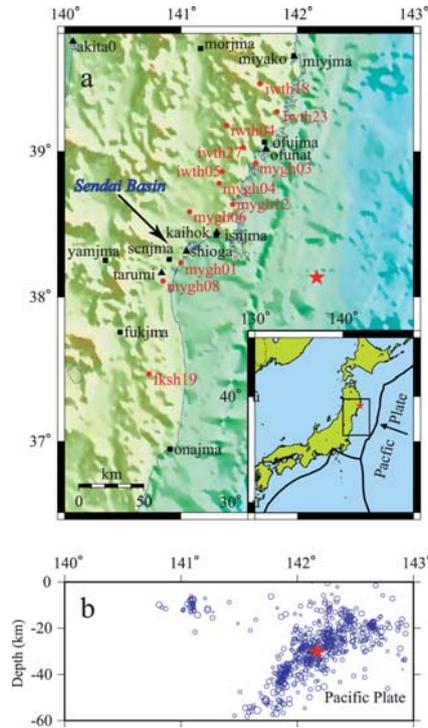


図1 (上) 波形インバージョンによる運動学的震源モデルの推定に用いた近地観測点の分布。赤丸は2005年宮城県沖地震の解析に用いたKiK-net観測点を示す。黒三角と黒四角は1978年宮城県沖地震の解析に用いた気象庁の観測点とSMACによる観測点をそれぞれ示す。(下) 2002年10月31日から2003年3月25日までの震源分布の断面図。赤い星印はそれぞれ2005年宮城県沖地震の震央(上)・震源(下)を示す。(Wu et al. (in press)¹⁾より引用)

ングによって2005年宮城県沖地震の動学的震源モデルを構築した。断層面上の破壊の構成則はすべり弱化解(Ida, 1972⁶⁾; Andrews, 1976⁷⁾)を仮定し(図2)、Strength Excess、すべり弱化解距離 D_c および応力降下量を、運動学的震源モデルの最終すべり量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最終すべり量分布から半無限均質媒質を仮定し、Okada (1992)⁸⁾の手法を用いて計算した。すべり弱化解距離 D_c は0.3mで一定とした。Strength Excess は応力降下量の0.1、0.2、0.3倍を仮定し、0.1倍を与えたときにほぼ運動学的震源モデルの破壊伝播速度を再現できた。破壊の動的シミュ

表1 波形インバージョンで仮定した震源断層モデル (Wu et al. (in press)¹⁾より引用)

| Earthq. | Hypocenter Location | | | Strike (deg.) | Dip (deg.) | Rake (deg.) | Dimension length by width |
|---------|---------------------|-----------|-------|------------------|---------------|----------------|------------------------------|
| | Latitude | Longitude | Depth | | | | |
| 1978 | 38.150 | 142.167 | 30 km | 211 | 22 | 90±45 | 78 km×72 km |
| 2005 | 38.137 | 142.167 | 30 km | 211 | 23 | 90±45 | 70 km×70 km |

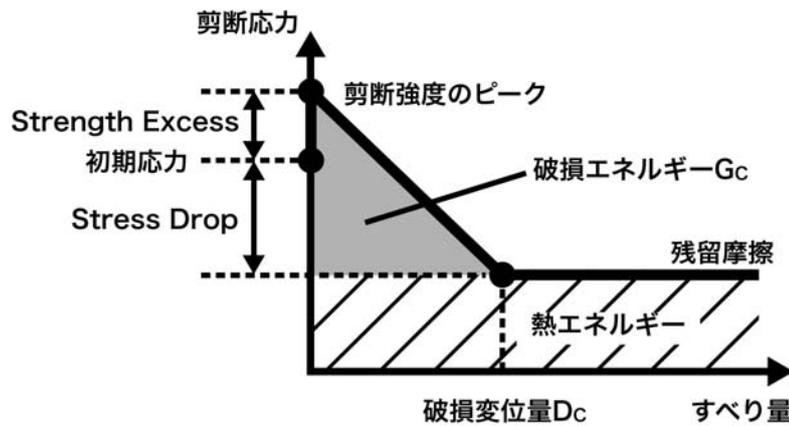


図2 すべり弱化モデルにおけるすべり量とせん断応力の関係。

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, 1982⁹⁾) で行い、グリッドサイズおよび時間ステップ幅は 0.1 m、0.005 秒とした。また、上記 FDM による計算は無限均質媒質中における平面断層を仮定して行ったが、宮城県沖地震のような海溝型のプレート境界地震では、より現実的な 3 次元的に不均質な媒質中での非平面断層上でのモデル構築が望ましい。このため、有限要素法 (FEM) を用いた動的シミュレーションコードの開発にも着手した。

宮城県中北部域の地下構造モデルの構築では、宮城県 (2004)¹⁰⁾ の宮城県地震被害想定調査に用いられたモデルをもとに構築した。ただし、仙台市周辺については、より詳細な宮

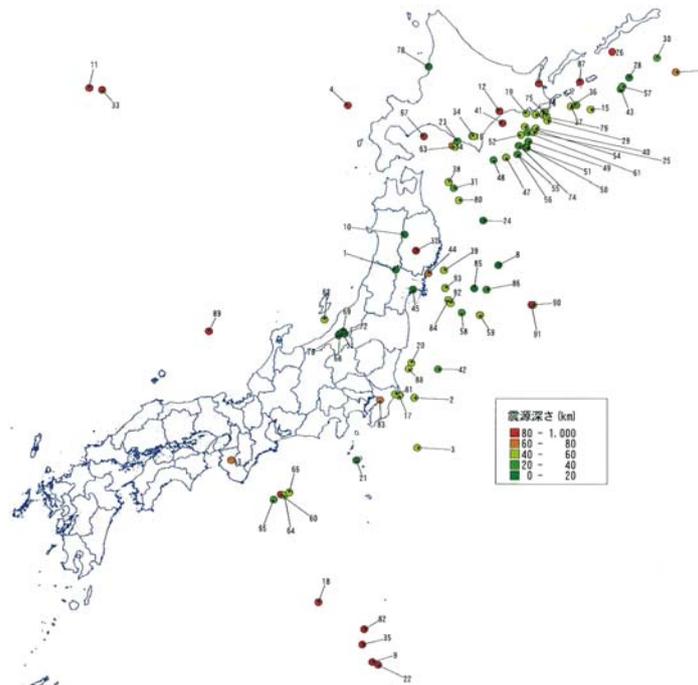


図3 H/V スペクトル比の解析に用いた地震の震央分布。

表 2 速度構造モデルの検証に用いた地震の震源パラメータ

| 震源時 | 経度 (°) | 緯度 (°) | 深さ (km) | 走向 (°) | 傾斜 (°) | すべり 角 (°) | M_0 (Nm) | ライズ タイム (秒) |
|-------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------------|-------------------|
| 03/07/26 16:56 | 141.1883 | 38.5 | 5 (F-net) 12 (気象庁) | 296 | 52 | 81 | 9.45×10^{16} | 1 |

城県 (2005)¹¹⁾による堆積平野地下構造調査によるモデルを適用した。また、地震基盤以深については田中・他 (2006)¹²⁾のものを用いた。これらのモデルをもとに初期モデルを構築した。さらに、防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET や KiK-net、気象庁の観測点で得られた観測記録による H/V スペクトル比の卓越周期を再現するように、各観測点の地下構造モデルをチューニングした。図 3 に示す 93 の地震による S 波初動 20 秒以降の後続波について、ラディアル成分と上下動成分のフーリエスペクトルを求め、地震ごとにスペクトル比を計算した。得られたスペクトル比の平均を観測 H/V スペクトル比とした。これに対し、地下構造モデルからレイリー波の理論 H/V スペクトル比を計算し、各観測点の観測 H/V スペクトル比の卓越周期が一致するように、モデルのチューニングを行った。レイリー波の理論 H/V スペクトル比の計算は、4 次モードまでの高次モードを考慮して行った。また、修正後のモデルの妥当性を検討するため、中規模地震 (M_{JMA} 5.5、表 2) による地震動を、3 次元有限差分法を用いて計算し、観測波形・初期モデルによる計算波形との比較を行った。震源深さについては、気象庁と防災科学技術研究所の F-net によるものの 2 通りについて計算した。グリッドサイズは 105 m とし、計算可能周期は 1.5 秒以上である。比較は 1.5-10 秒のバンドパスフィルターをかけ、速度波形で比較した。

宮城県設置の震度計ネットワークおよび東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センターに設置されている地震波形データ収集装置 (以下、データ収集サーバ) からなる強震記録収集ネットワークの整備に着手した。データ収集サーバにあるデータについて従来の WIN 形式によるダウンロードだけでなく、強震動研究に有用な SAC 形式への変換・ダウンロード機能を追加した。

(c) 業務の成果

まず、1978 年宮城県沖地震では震源域の北側の大きなアスペリティと南側の 2 つのアスペリティが破壊したのに対し、2005 年の地震の際には南側の 2 つのアスペリティのみが破壊したことを、両者の地震波形の比較および波形インバージョンによる震源過程の推定から示した。図 4 は 1978 年の宮城県沖地震に関しては気象庁の 50-52 型強震計 (図 1)、2005 年の宮城県沖地震については近傍の K-NET 観測点の記録をそれぞれ重ねてプロットしたものである。なお、1978 年の波形に関しては振幅を 0.6 倍してある。南側の 5 点 (onajma、fksjma、yamjma、senjma、isnjma) での波形、特に最初の 10-20 秒の部分が非常によく似ていることが分かる。相関係数はこれらの点で全て 0.7 以上の高い値を示し、fksjma では

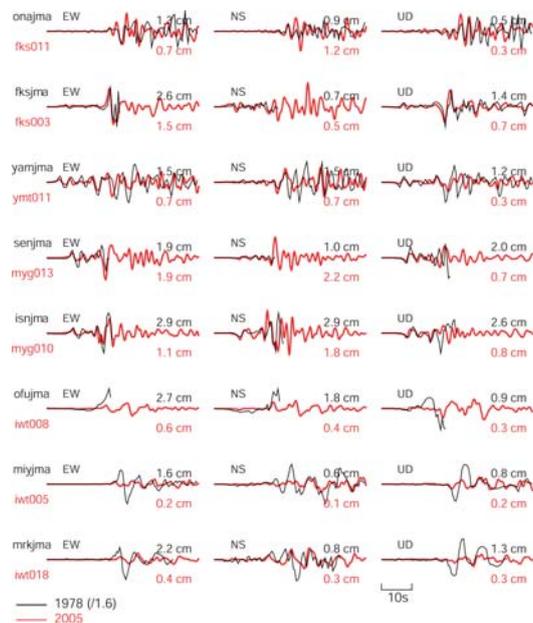


図4 1978年、2005年宮城県沖地震による近地の強震観測点での波形の比較。黒線は気象庁50-52型強震計による1978年の地震の変位波形。赤線は近傍のK-NET観測点による2005年の地震の変位波形（50-52型強震計の計器特性を加え、変位波形に変換）。ただし、2つの地震の地震モーメントは異なるため、1978年の波形については振幅を0.6倍している。数字は最大振幅。（Wu et al. (in press)¹⁾より引用）

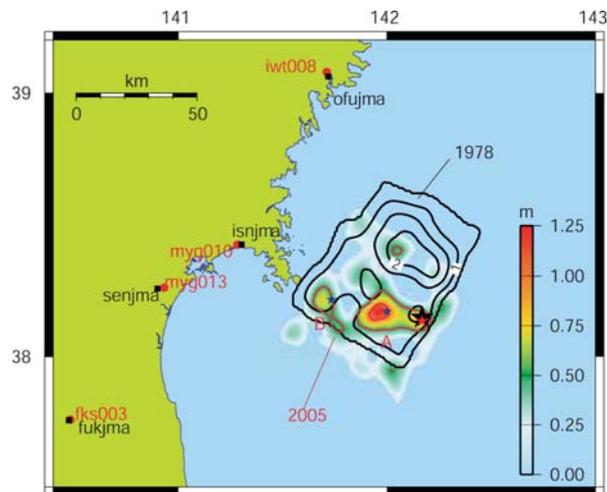


図5 1978年（黒コンター線）と2005年（カラーコンター）宮城県沖地震のすべり量分布を地表に投影したもの。黒星印と赤星印はそれぞれ1978年、2005年の震央を示す。図4で示されている波形の観測点位置も示す（黒四角が1978年の時のもの、赤四角が2005年の時のもの）。青星印は観測波形に見られるパルスから推定した2005年の2つのアスペリティ（A、B）の位置を示す。（Wu et al. (in press)¹⁾より引用）

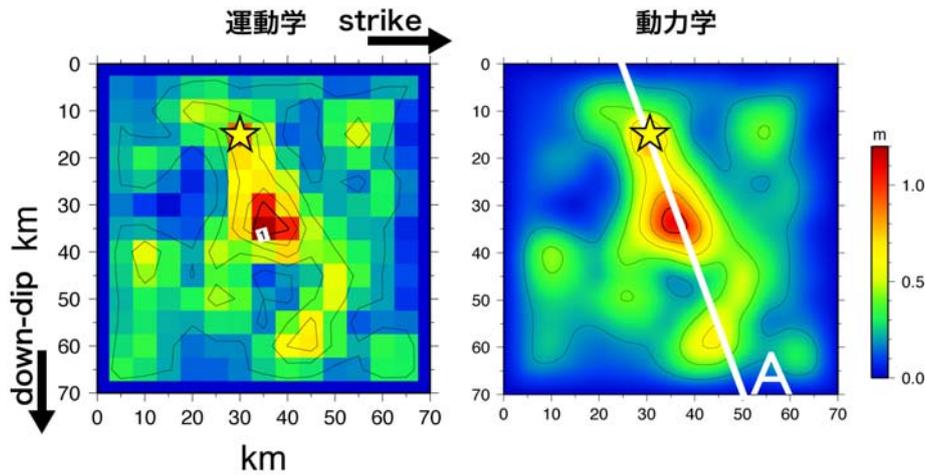


図6 運動学的震源モデル（左）と動力学的震源モデル（右）のすべり量分布の比較。コンター間隔は0.2 m。星印は破壊開始点を示す。右図の白線（直線A）は、図8示されているすべり速度時間関数の時空間分布の位置を示す。

0.9にもなった。一方で、北側の3点（mrkjma、miyjma、ofujma）では、それほど良い相関は見られなかった。また、2つの地震の最大振幅比については、北側に比べ南側の方が小さい。上記の南側5点15成分の振幅比が 1.97 ± 0.96 なのに対して、北側3点9成分は 4.72 ± 1.62 である。さらに、波形インバージョンの結果のすべり量分布を図5に示す。すべり量分布を見て分かるように、1978年の地震では破壊開始点から北側に大きな1つのアスペリティと南側に2つアスペリティが見られる。これに対し2005年の地震では、1978年の破壊開始点とほぼ同じ位置から破壊を開始し、1978年の南側の2つのアスペリティと同様の位置・大きさのアスペリティが破壊した（図5のA、B領域）が、1978年の北側のアスペリティに相当する領域は破壊していないことが分かる。また、南側の2つのアスペリティのすべり量は1978年に比べて2005年の方が小さく、この領域でのモーメント解放量の比は丁度60%に当たる。これらの特徴は上述した2つの地震の近地の強震記録で見られた、1) 南側の観測点の波形の最初の部分の相関がよいこと、2) その振幅比がおおよそ0.6であること、3) 北側の観測点では南側ほど波形の相関がよくないこと、という特徴と一致する。1978年の地震の南側の領域と2005年の地震のすべり量分布の相関係数は0.84であり、2つのモデルがよい相関を示していることが分かる。得られた1978年の震源モデルはYamanaka and Kikuchi (2004)¹³⁾などの既往の研究とは矛盾しない。また、2005年宮城県沖地震の震源モデルはOkada et al. (2005)¹⁴⁾や柳沼・他 (2007)¹⁵⁾などでも推定されている。Okada et al. (2005)¹⁴⁾は遠地実体波のみを用いたインバージョン解析により、1つのアスペリティをもつ震源モデルを推定している。本研究では、近地の強震記録をそのままインバージョン解析に用いるだけでなく、1978年の地震時の波形と比較をすることによって、

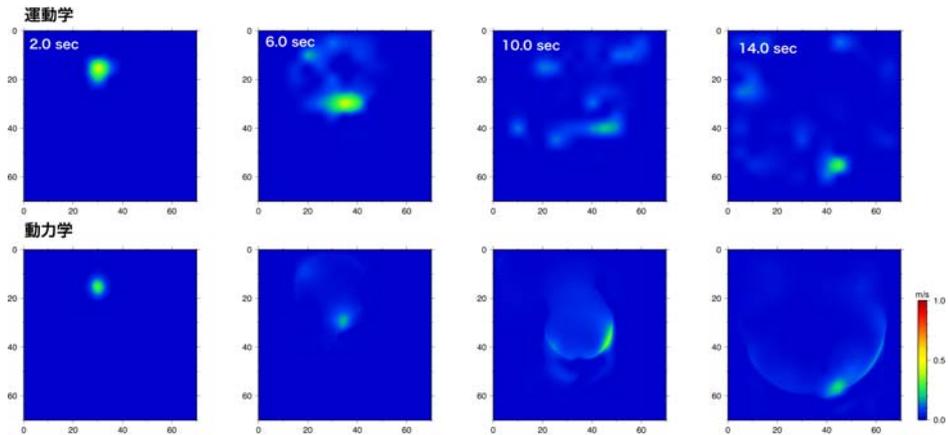


図7 (上) 運動学的・(下) 動力的震源モデルのすべり速度のスナップショット。

2005年の地震の際には2つのアスペリティが破壊したことを示した。

上記の波形インバージョンによって推定された運動学的震源モデルをもとにして、2005年の宮城県沖地震の動力的震源モデルをフォワードモデリングにより構築した。図6、7に運動学的震源モデルと動力的震源モデルの最終すべり量分布と破壊のスナップショットを示す。運動学的震源モデルの破壊過程をよく再現していることが分かる。図8は図6の直線Aに沿ったすべり速度時間関数の時空間分布を示す。破壊は、運動学的震源モデルの推定の際に仮定した第1タイムウィンドウの展開速度とほぼ同じ速度で進展している。図9は断層面上の破損エネルギー G_c の分布を示す。運動学的震源モデルで示されている2つのアスペリティ領域(図5)での G_c の値は、A領域で最大 0.5 MJ/m^2 、B領域で 0.3 MJ/m^2 程度で

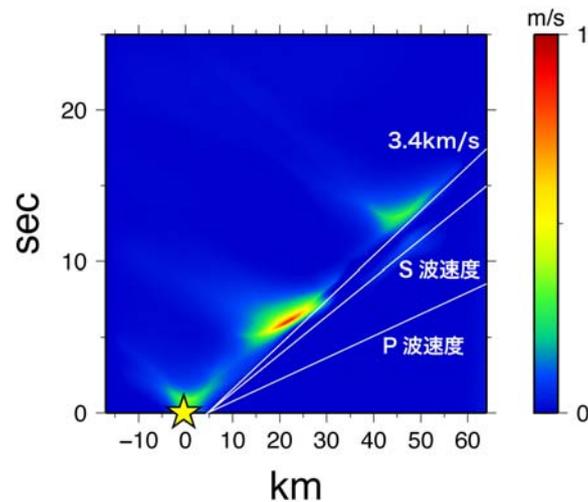


図8 図6の直線Aにおけるすべり速度時間関数の時空間分布。星印は破壊開始位置、白線はそれぞれP波速度、S波速度、 3.4 km/s (運動学的震源モデルにおける第1タイムウィンドウの展開速度)を示す。

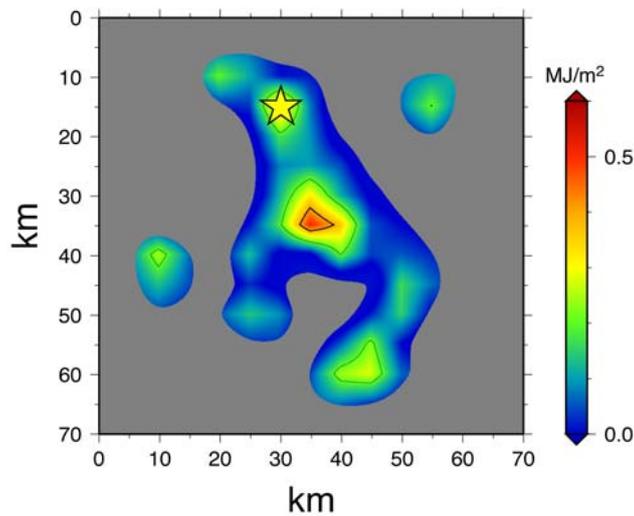


図9 2005年宮城県沖地震の動学的震源モデルにおける破損エネルギー G_c の分布。コンタ一間隔は 0.2 MJ/m^2 。星印は破壊開始点を示す。すべり量が D_c (0.3 m) を超えなかった領域はマスクしてある。

ある。この値は、既往の研究で得られている値 (10^5 - 10^7 J/m^2) と同程度である (Tinti et al., 2005¹⁶⁾; Mai et al., 2006¹⁷⁾)。また、3次元 FEM を用いた断層破壊の動的シミュレーションのためのプログラム開発も開始した。図10は開発中のプログラムのフローチャートである。

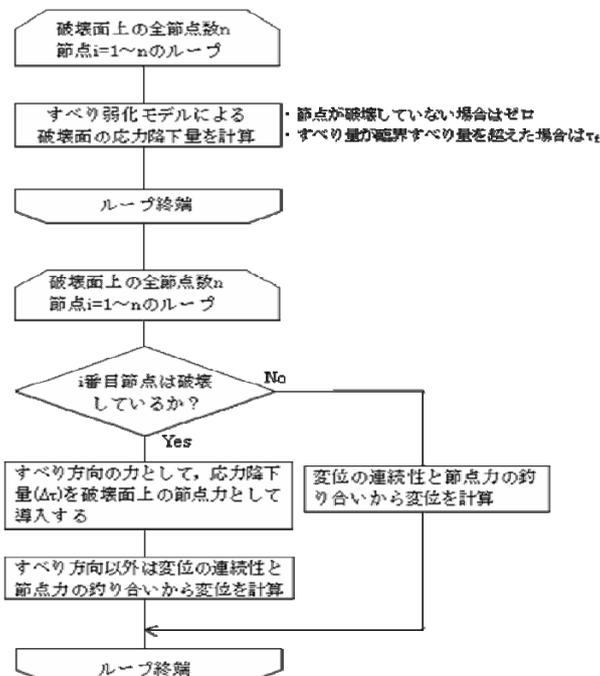


図10 有限要素法による動的破壊シミュレーションのフローチャート。

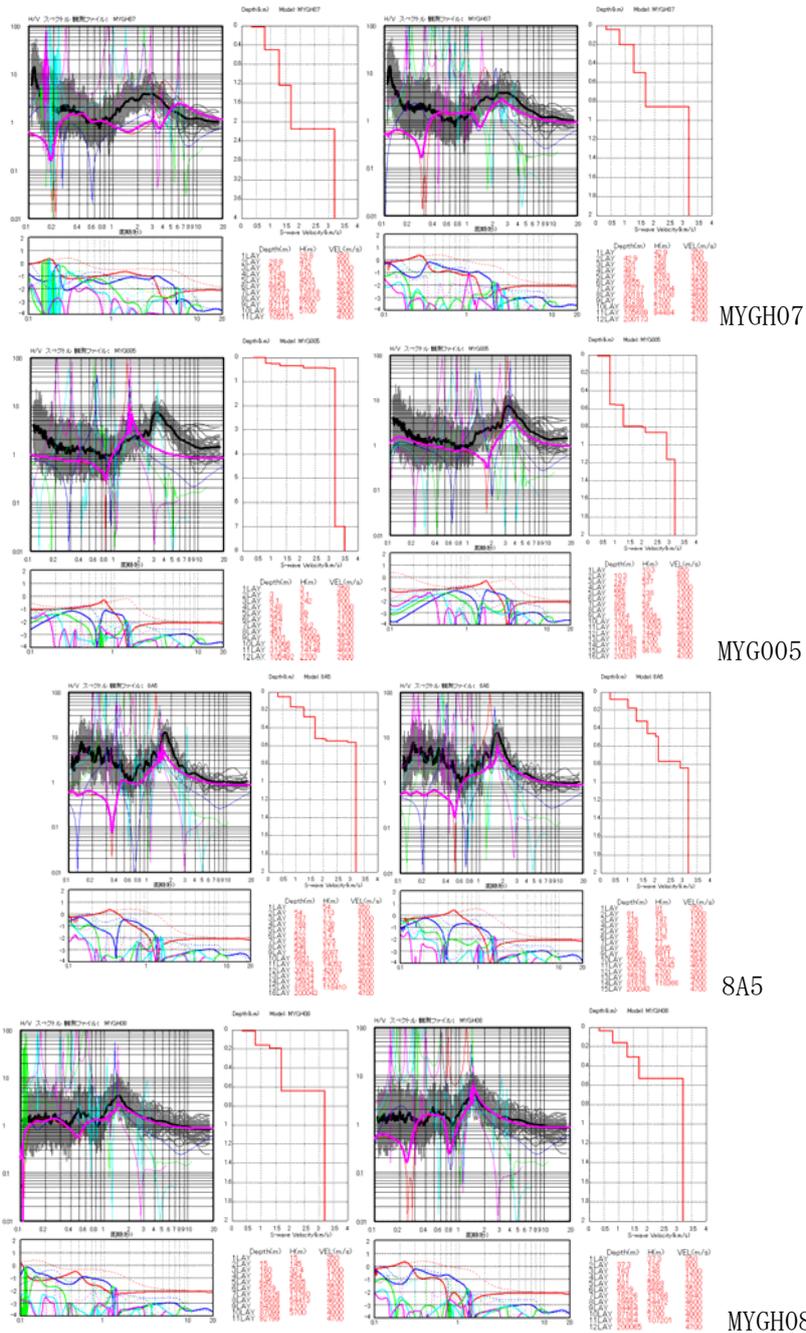


図 11 各観測点での (左) チューニング前、(右) チューニング後の H/V スペクトル比。灰線が各地震の H/V スペクトル比、黒太線がその平均値 (観測 H/V スペクトル比)、桃色太線が理論 H/V スペクトル比を示す。ただし、理論 H/V スペクトル比については、以下のものを足し合わせたもの。赤：基本モード、青：1次モード、緑：2次モード、水色：3次モード、桃色：4次モード。スペクトル比の右横の図が仮定した S 波速度構造モデル。下の図は、レイリー波 (実線) とラブ波 (点線) のメディアムレスポンス。線の色は H/V スペクトル比と同じ。

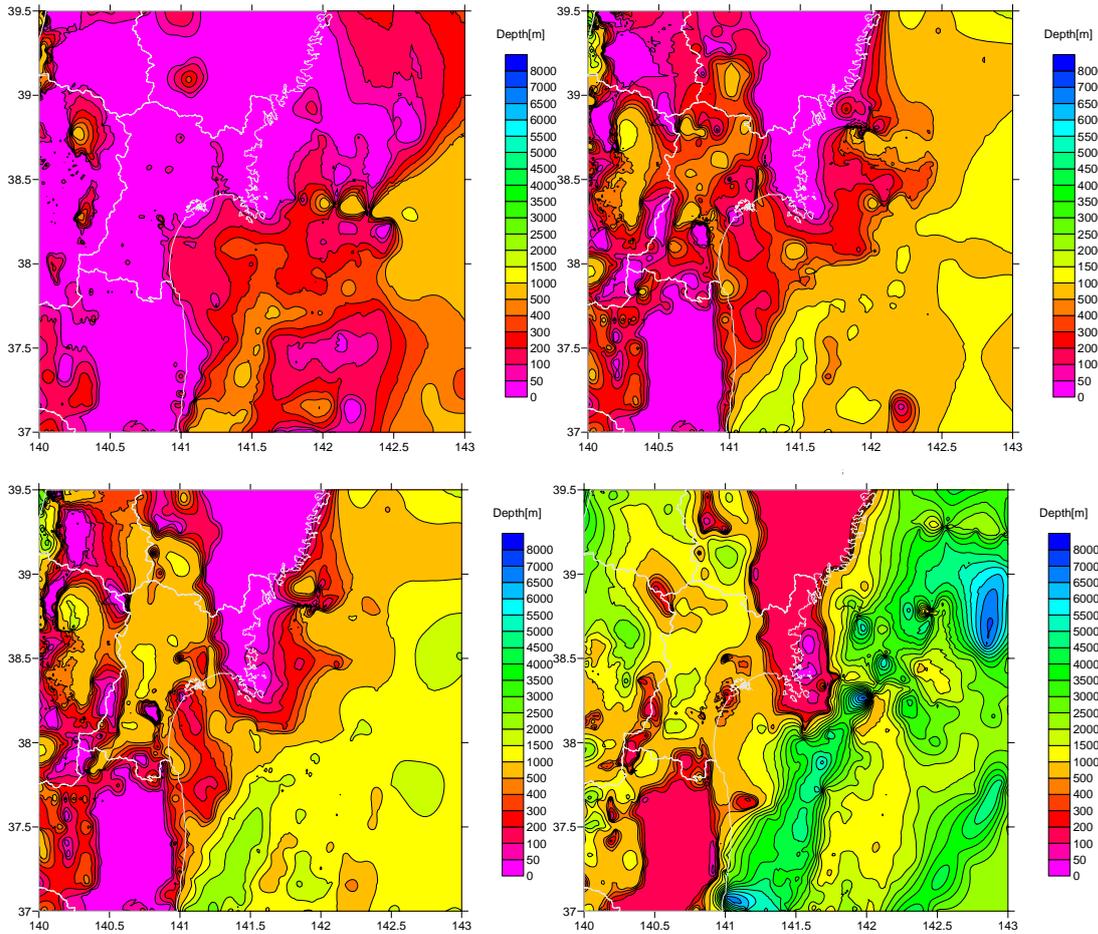


図 12 チューニング後の速度構造モデルにおける (左上) $V_s=0.8$ km/s、(右上) $V_s=1.3$ km/s、(左下) $V_s=1.7$ km/s、(右下) $V_s=3.2$ km/s の各層の上面深度分布。

速度構造モデルの高精度化に向けて、観測 H/V スペクトル比を用いて初期速度構造モデルのチューニングを行った。図 11 は各観測点での、初期モデルおよびチューニング後のモデルでの理論 H/V スペクトル比と観測 H/V スペクトル比の比較の例を示す。チューニングは試行錯誤的に行っているが、基本的には各層厚を一律増減させて、卓越周期を合わせている。MYGH07 や MYG005 では、H/V スペクトル比の卓越周期はチューニングによって大幅に改善されていることが分かる。また、8A5 や MYGH08 では初期モデルでも比較的良好に卓越周期は再現できているが、チューニングによってわずかに改善されている。各観測点のチューニング後の 1 次元速度構造モデルを用いて、H/V スペクトル比による修正後の速度構造モデルを作成した。図 12 はチューニング後の速度構造モデルにおける、深部地盤構造の各層の上面深さ分布を示す。チューニング後の速度構造モデルを検証するために、中規模地震による観測波形と修正前後のモデルを用いたシミュレーション波形の比較を行った。図 13 に図 11 で示した観測点での観測波形、初期モデルを用いた場合の計算波形、H/V スペクトル比による修正後のモデルを用いた計算波形の比較を示す。また、それぞれの速度スペクト

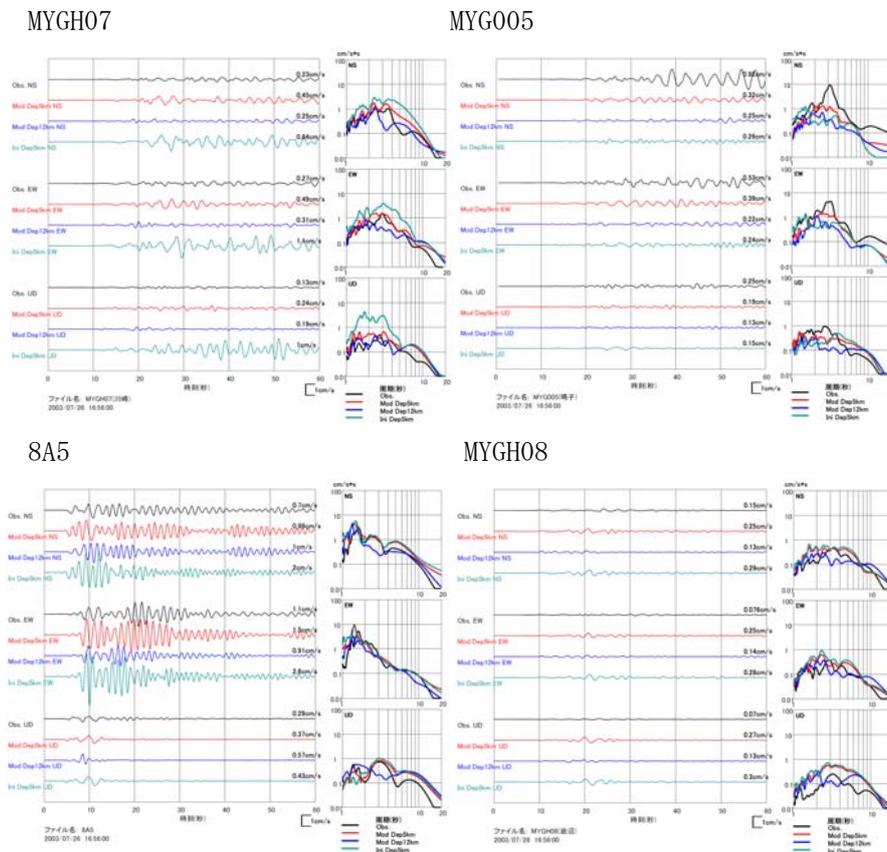


図 13 各観測点での左図は観測波形（黒）、チューニング前の構造モデルを用いた震源深さ 5 km の計算波形（緑）、チューニング後の構造モデルを用いた震源深さ 5 km の計算波形（赤）、深さ 12 km の計算波形（青）の比較。数字は最大振幅。右図は速度スペクトルの比較。

ルも示している。H/V スペクトル比の卓越周期が大幅に改善された MYGH07 では、計算波形も大きく改善されていることが分かる。チューニング前後で H/V スペクトル比の卓越周期がそれほど変わらない 8A5 や MYGH08 では、修正前後でそれほど変化は見られない。一方 MYG005 では、H/V スペクトル比の卓越周期が大きく改善されたにもかかわらず、修正前後でそれほど波形に変化は見られなかった。

東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センターに設置されている波形収集サーバに、強震動研究を円滑かつ迅速に進めるために、よく用いられているデータフォーマットである SAC 形式へのデータ変換ソフトを導入した。図 14 は、従来の WIN 形式と変換後の SAC 形式での地震波形の比較であり、問題なく変換されていることが確認された。

(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、震源モデル・速度構造モデルの高精度化に向けた研究・開発を行った。震源モデルに関しては、強震動評価に必要な震源モデルの構築に向け、1978 年・2005 年宮城県沖地震の運動学的震源モデルの推定、および両者の関係

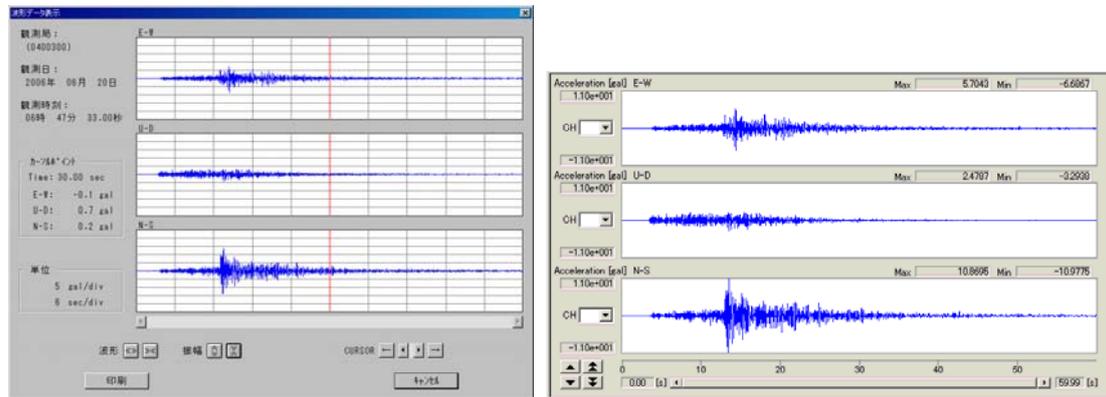


図 14 サンプル波形の（左）WIN 形式と（右）SAC 形式に変換したものの比較。

の検討を行った。1978 年の地震の際には、北側の 1 つの大きなアスペリティと南側の 2 つのアスペリティが破壊した。一方、2005 年の地震の際には、1978 年と同様の破壊開始点から破壊し始めたが、南側の 2 つのアスペリティしか破壊しなかった。これは、近地の強震観測点の波形の比較によっても示された。これらの成果のうち特に次の 2 点は、強震動評価に向けた将来の宮城県沖地震の震源モデル構築に向けて、重要な情報となることが期待される。1) 宮城県沖地震の震源域での詳細なアスペリティ分布を得たこと、2) 2005 年の地震の際には、1978 年の地震における南側の 2 つのアスペリティが繰り返し破壊したのに対し、北側のアスペリティが破壊しなかったことを波形インバージョンおよび近地の地震波形を比較することによって示したこと。また 2005 年の地震については、運動学的震源モデルをもとに、動力的震源モデルの構築を行った。より現実的な動力的震源モデルの構築に向けて、有限要素法を用いたシミュレーションコードも開発中である。速度構造モデルについては、既往の研究等から初期モデルを構築し、さらに H/V スペクトル比を用いたチューニングを行った。また、中規模地震の地震動をシミュレーションすることにより、チューニングの効果についても検討を行った。宮城県内の強震動総合ネットワークの整備にも取り掛かった。

震源モデルの構築についての今後の課題としては、1978 年の地震についても動力的震源モデルの構築を行い、2005 年の地震との関係を動力的な視点から検討する必要がある。また、より現実的な不均質媒質・非平面断層による動力的震源モデルの構築、およびそれらの断層破壊への影響の検討が必要である。速度構造モデルについては、H/V スペクトル比の卓越周期が大幅に改善されたにも関わらず、シミュレーション結果の地震波形がそれほど再現できていない観測点がいくつか存在する（例えば図 13 の MYG005）。これらの要因としては、以下の 2 点のモデル化が不十分であることが考えられる。1) 震源から観測点までの 2 次元的な不均質構造の影響、2) 観測点周辺の盆地構造などの 3 次元的な不均質構造の影響。今後はこれらの点について改善していく必要がある。また、本年度は比較的浅い震源の地震を用いて検討を行ったが、より深い場所で発生した地震の観測記録なども使

ってさらに検討を行う必要がある。また良質な観測記録を得るために、宮城県内の強震動総合ネットワークの整備もさらに進める必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 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.*, in press.
- 2) Kennett, L. N. and Kerry, N. J. : Seismic waves in a stratified half space, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, Vol. 57, pp.557-583, 1979.
- 3) Iwasaki, T., et al. : Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 28, No. 12, pp.2329-2332, 2001.
- 4) Nakajima J., Matsuzawa, T. and A. Hasegawa: Moho depth variation in the central part of northern Japan estimated from reflected and converted waves, *Phys. Earth. Plan. Inter.*, Vol. 130, pp31-47, 2002.
- 5) Wu, C. and Takeo, M. : An intermediate deep earthquake rupturing on a dip-bending fault: Waveform analysis of the 2003 Miyagi-ken Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, doi:10.1029/2004GL021228, 2004.
- 6) 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.
- 7) Andrews, D. J. : Rupture velocity of plane strain shear cracks, *J. Geophys. Res.*, Vol. 81, pp.5679-5687, 1976.
- 8) Okada, Y. : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 82, pp1018-1040, 1992.
- 9) Virieux, J. and Madariaga, R. : Dynamic faulting studied by a finite difference method, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 72, pp.345-369, 1982.
- 10) 宮城県 : 宮城県地震被害想定調査に関する報告書 (2004年3月), 宮城県防災会議地震対策等専門部会, 2004.
- 11) 宮城県 : 平成16年度 仙台平野南部地域地下構造調査 成果報告書, 2005.
- 12) 田中康久, 三宅弘恵, 額瀨一起, 古村孝志, 早川俊彦, 馬場俊孝, 鈴木晴彦, 増田徹 : 首都圏化の速度構造の大大特統合モデル (2) : 海溝型地震のためのモデル拡張とチューニング, 日本地球惑星科学連合2006年大会, 2006.
- 13) Yamanaka, Y. and Kikuchi, M. : Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, *J. Geophys. Res.*, 109, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.
- 14) Okada, T., Yaginuma, T., Umino, N., Kono, T., Matsuzawa, T., Kita, S. and Hasegawa,

A.: The 2005 M7.2 MIYAGI-OKI earthquake, NE Japan: Possible rerupturing of one of asperities that caused the previous M7.4 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 32, doi:10.1029/2005GL024613, 2005.

15) 柳沼直, 岡田知己, 長谷川昭, 加藤研一, 武村雅之, 八木勇治: 近地・遠地地震波形インバージョンによる 2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) の地震時すべり量分布 -1978 年宮城県沖地震 (M7.4) との関係一, *地震 第2輯*, Vol. 60, pp43-53, 2007.

13) 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.

14) 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 |
|---|--|-------------------------|----------------------|
| 木村武志・ 瀨瀨一起・ 三宅弘恵・ 呉長江・宮 武隆 | 1978・2005 年宮城県沖地震の動的震源モデル | 日本地震学会 2007 年秋季大会 | 平成 19 年 10 月 24-26 日 |
| Kimura, T., K. Koketsu, H. Miyake, C. Wu, and T. Miyatake | Dynamic Source Modeling of the Miyagi-oki Earthquakes | AGU 2007 Fall Meeting | 平成 19 年 12 月 10-14 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 | <i>J. Geophys. Res.</i> | 印刷中 |

(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 20 年度業務計画案

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モデル、地下構造モデルの高精度化を行う。震源モデルについては、平成 19 年度に構築した 2005 年宮城県沖地震の動力的震源モデルに加えて、1978 年の地震についてもモデルの構築を有限差分法によるフォワードモデリングで行う。そして、両者の破壊過程や動力的パラメータの違いについて検討する。また、より現実的な設定での動力的震源モデルの構築に向けて、有限要素法を用いた動的シミュレーションコードの高度化を進める。地下構造モデルの高精度化については、平成 19 年度に構築したモデルをもとに、さらに中小地震の観測記録などを用いてチューニングを進めていく。例えば、観測記録を再現するように深部地盤構造の 2 次元あるいは 3 次元的な不均質を逆解析・フォワードモデリングで補正していく。また、宮城県沖地震の震源域から地震基盤までの比較的深い領域での構造モデルについても、サブテーマ 1 などで得られている最新の結果を参考にしながら検討を進めていく。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。