

3. 4. 2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

広帯域強震動生成に関係するすべり分布や応力降下量、破壊様式といった震源断層のパラメータの把握とその地域性・深さ依存性についての分析を行う。そのため、既往のプレート境界地震、スラブ内地震を中心とした震源断層モデルの収集及び広帯域地震波を用いた震源過程の解析結果の分析を行い、首都直下で発生する地震に対する震源断層モデルの高度化を目的とする。

(b) 平成 19 年度業務目的

国内外で発生したスラブ内地震の地震波等を用いて推定された震源モデルを収集し、地震規模に対する断層破壊領域や平均すべり量、さらにはアスペリティ面積等の不均質震源特性を調べる。プレート境界地震に対して、強震記録が多く得られているイベントに対して、広帯域地震波を用いた震源過程の解析を行い、強震動予測のための震源断層モデル構築に必要な震源特性を抽出する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	岩田知孝	
国立大学法人京都大学防災研究所	助教	浅野公之	

(2) 平成 19 年度の成果

(a) 業務の要約

国内外で発生したスラブ内地震の地震波等を用いて推定された震源モデルを収集し、地震規模に対する断層破壊領域や平均すべり量、さらにはアスペリティ面積等の不均質震源特性を分析した。その結果を既往のプレート境界地震や内陸地殻内地震の経験式と比較して、スラブ内地震の不均質震源特性の平均像を見出した。

プレート境界地震では、強震記録が多く得られた 2005 年宮城沖地震の広帯域地震波による強震動生成領域の推定を行った。この分析結果に、既往の強震動生成領域サイズの地震規模依存性を調べ、内陸地殻内地震のそれより、同規模の地震に対して面積が狭い可能性を示した。これらの特徴を踏まえて強震動予測のためのプレート境界地震の震源断層モデルのプロトタイプを提案した。

(b) 業務の成果

1) スラブ内地震の震源モデル収集と震源特性の分析に関する研究

a) はじめに

首都圏直下の海洋プレート（スラブ）内で発生するスラブ内地震の強震動予測のための

震源断層モデル化手法の高度化を目的とし、今年度は既往のスラブ内地震の震源インバージョン結果を収集し、震源断層モデル構築に必要な震源特性を抽出した。

日本列島は沈み込み帯に位置しており、日本列島直下で沈み込む海洋プレート（スラブ）内部で発生するスラブ内地震による地震被害が繰り返されてきた（例えば、1993年釧路沖地震、2001年芸予地震、2003年宮城県沖の地震）。首都圏においては、近年では1987年千葉県東方沖地震のほかは、被害を及ぼすようなスラブ内大地震は発生していないが、歴史的には首都圏直下のフィリピン海スラブ、太平洋スラブの内部で被害地震が繰り返し発生してきている。スラブ内地震は、内陸地殻内地震やプレート境界地震に比べ、震源が相対的に深いものの、2003年宮城県沖の地震で1000 gal以上の大加速度が広範囲に観測されており、構造物被害に関わるやや短周期の地震波を特に強く励起する性質をもっていることが、これまでの強震記録の分析に基づいて指摘されている。そのようなスラブ内地震の強震動予測高度化を目的として、スラブ内地震特有の震源特性に関わる地震学的知見を過去の地震の記録に基づいて整理し、震源断層のモデル化手法を構築する。

これまで経験的グリーン関数法を用いた広帯域強震動シミュレーションによって、最近の国内で起きた中規模～大規模スラブ内地震の震源モデルが推定されており、スラブ内地震の強震動生成領域（震源断層面内で応力降下量が大きく強震動を特に放射する領域）は同規模の内陸地殻内地震のそれと比べ、面積が小さく、高い応力降下量を持ち、深い地震ほど応力降下量がより大きいことが明らかにされた（Asano et al., 2003¹⁾、浅野・他, 2004²⁾、Morikawa and Sasatani, 2004³⁾）。しかしながら、スラブ内地震は余震分布から破壊領域を直接的に推定することが困難であることが多いため、強震動予測に必要な破壊領域全体の大きさ等に関する知見は十分ではないことも指摘されている（笹谷・他, 2006⁴⁾）。

内陸地殻内地震や海溝型プレート境界地震に対してはSomerville et al. (1999)⁵⁾、Mai and Beroza (2000)⁶⁾や室谷・他 (2005)⁷⁾などによって、地震波形を用いた運動学的震源インバージョンの結果が既にコンパイルされている。これらにより、破壊領域面積や平均すべり量、アスペリティ総面積などが地震モーメントに比例することが示され、それらの経験式が提案されている。

b) スラブ内地震震源モデルの収集

スラブ内地震の震源特性の平均像を抽出するため、内陸地殻内地震に対して行われた既往の研究（Somerville et al., 1999）と同様な手順でスラブ内地震の不均質震源断層モデルの特性化を行う。そのため、波形インバージョン法によって解析された国内外で起きたスラブ内地震の不均質震源断層モデルの収集を開始した。ここでは、沈み込むスラブ内部で発生する地震のうち、深さ約100 km程度までの地震を収集対象とした。今年度は7地震の8つの震源モデルを収集し、分析することができた。ただし、収集したものの、古い地震で断層面の分割数が粗く、うまく特性化できない震源モデルは今年度の分析対象から除いた。収集した地震のリストを表1に、震央とメカニズム解を図1の地図に示す。断層タイプは正断層タイプが6地震、逆断層タイプが1地震である。地震モーメントは 9.4×10^{18} ～ 4.6×10^{20} Nm (Mw 6.6～7.7) である。

まず、既にモデル化が進んでいる内陸地殻内地震や海溝型プレート境界地震との比較と議論を行うため、これらの地震種別の震源モデルの解析で用いられているSomerville et al.

(1999)の規範に従って、すべり量分布のトリミングにより破壊領域を定義するとともに、すべりの大きな矩形領域をアスペリティとして抽出し、各震源モデルの破壊領域面積(S)、アスペリティ総面積(Sa)、平均すべり量などを求めた。図2に収集した震源断層モデルの最終すべり量分布と特性化の例として1999年メキシコOaxaca地震の事例を提示する。震源モデルはHernandez et al. (2001)によるもの⁸⁾である。このすべり分布に対し、Somerville et al. (1999)の規範に従い、すべり量が断層全体の平均すべり量の0.3倍未満となる行または列をトリミングして得られたのが、破線で囲まれた領域である。この領域を破壊領域と定義した。すべり量が平均すべり量の1.5倍以上の小断層を包含する矩形領域をアスペリティ領域として抽出した(実線で囲まれた領域)。この震源モデルの場合は、2つのアスペリティが抽出されている。

2001年芸予地震(M_J 6.7、深さ46 km)では、強震記録を用いた震源インバージョン結果として、Takehi (2004)⁹⁾と関口・岩田(2002)¹⁰⁾によるモデルが論文で公表されている。Takehi (2004)はK-NET, KiK-net, F-netの計14強震観測点に対して0.1-0.5 Hzの速度波形を用い、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法によって震源過程を推定している。関口・岩田(2002)はK-NET, KiK-net, F-netの計14強震観測点に対して0.05-0.5 Hzの速度波形を用い、マルチタイムウィンドウ線形波形インバージョン法によって震源過程を推定している。これらの震源モデルの最終すべり量分布を特性化した結果、Takehi (2004)のモデルの破壊領域は540 km²であり、すべりの大きいアスペリティは2カ所で抽出された。このアスペリティ総面積は81 km²となり、Sa/S比は15%であった。これらは、地震モーメントが同じ内陸地殻内地震に対するSomerville et al. (1999)の経験式から予測される面積のそれぞれ74%と49%である。関口・岩田(2002)のモデルの場合は、破壊領域は630 km²、アスペリティ総面積は135 km²となり、それぞれ経験式の58%と56%である。2つのモデルは必ずしも同じではなく、すべり分布に差異がみられるが、抽出されたアスペリティ面積は同規模の地殻内地震の約5割であることが共通していえる。

2003年宮城県沖の地震(M_J7.1、深さ72 km)に対しては、青井・他(2005)のモデル¹¹⁾を収集した。青井・他(2005)では、震央距離130 km以内のKiK-netの16観測点を対象に、0.05-1 Hzの速度波形をターゲットとして震源インバージョンが実施された。すべり分布を特性化した結果、破壊領域は784 km²、アスペリティ総面積は108 km²であり、同規模の内陸地殻内地震に対するSomerville et al. (1999)の経験式から予測される面積のそれぞれ48%と30%である。2001年芸予地震の場合よりもさらに小さいといえる。これは、2003年宮城県沖の地震の震源が2001年芸予地震よりも深いためと考えられる。

その他の国内外のスラブ内地震も含め、現時点で整理されたデータの範囲内で、震源パラメータの地震規模依存性に関する整理を行った。図3に破壊領域面積と地震モーメントの関係、図4にアスペリティ総面積と地震モーメントの関係を示す。比較のため、内陸地殻内地震に対して得られているSomerville et al. (1999)の経験式と海溝型プレート境界地震に対して得られている室谷・他(2005)による経験式を示している。海溝型プレート境界地震は地震規模が同じ内陸地殻内地震よりも破壊領域、アスペリティ総面積ともに面積が大きい傾向にあるのに対し、今年度収集したスラブ内地震の震源断層モデルは、破壊領域、アスペリティ総面積ともに同規模の内陸地殻内地震よりも面積が小さい。破壊領域

全体については、同規模の内陸地殻内地震での断層面積の $67\% \pm 20\%$ 、アスペリティについては、同規模の内陸地殻内地震でのアスペリティ総面積の $46\% \pm 24\%$ の値となった。

図 5 に断層全体の面積とアスペリティ面積の関係を示す。破壊領域に占めるアスペリティ面積の割合は $9\sim 21\%$ の範囲の値をとっており、内陸地殻内地震の平均値 (22%) と同程度かやや小さい程度である。

図 6 に平均すべり量と地震モーメントの関係を示す。平均すべり量に関しては、内陸地殻内地震より相対的に小さく、海溝型プレート境界地震よりは大きい傾向にある。

以上の結果から、スラブ内地震では、破壊領域、アスペリティともに同規模の内陸地殻内地震に比べ小さめの値をとる傾向にある。言い換えれば、アスペリティ領域のみでなく、破壊領域全体においても、内陸地殻内地震に比べ、より狭い領域で集中してモーメントが解放されていることになる。

これらのことは、剛性率の違いによって説明できると考えている。即ち、同じ地震規模になるためには、内陸地殻内地震を基準に考えた場合、プレート境界地震は、剛性率は内陸地殻内地震のそれと同等もしくはやや大きい程度であるので、破壊した断層面積が大きい、その分平均すべり量が小さくなる。一方、スラブ内地震は、断層面積が狭く、平均すべり量も小さいのだが、剛性率が地殻内地震のそれより高いことで、同じ地震規模となっていると考えられる。現在収集されているデータベースの地震では、スラブ内地震の断層面積とアスペリティ面積の比率は、内陸地殻内地震のそれとほぼ同等であると結論づけられる。スラブ内地震のアスペリティ領域と強震動生成領域の関係については、強震動シミュレーションを通して次年度以降に確認していく。

2) プレート境界地震の強震動生成領域

a) はじめに

強震動生成に関する震源モデルの構築のためには、実際に起きたイベントに対する広帯域強震動のモデリングに基づく震源モデルの推定と、その結果から特徴を見出して震源の特性化を行う必要がある。広帯域強震動のモデリングを行うためには、震源からサイトにいたるグリーン関数の評価が重要となる。このグリーン関数の評価が適切でなければ、誤った震源モデルを提案してしまうことになる。

強震記録を使った波形インバージョンによっては、 1 Hz 程度より低周波数側の周波数帯域においては、適切なグリーン関数を与えられるようになってきた。詳細な地下構造が与えられる場合は、3次元速度構造モデルを与えて解析を行うことや、余震記録等の震源時間関数が比較的単純と考えられるイベントの波形を対象として1次元速度構造モデルを観測点ごとに与えて震源インバージョンを行うことがなされ、信頼性がおける震源モデルの推定が行われている。それに対して 1 Hz 以上の高周波数帯域では、決定論的な地下構造の取り扱いを行うほどの先見的な情報が十分でないため、理論的なグリーン関数を与えることが困難である。この問題を解決する手段として、震源域で生じた小地震記録を経験的グリーン関数として用いる方法がある。これによって、小地震記録の SN 比が良好な周波数帯域においては、広帯域地震動シミュレーションを行うことができる。

内陸地殻内地震においては、強震記録等を用いた震源インバージョンにより被害地震の震源モデルが推定されてきた。Somerville et al. (1999) は、断層面上の不均質なすべり

分布から、すべりの大きな領域（アスペリティ）をある規範で抽出し、そのアスペリティサイズが地震規模依存性を持っていることを示した。Miyake et al. (2003)¹²⁾は、それとは独立にいくつかのイベントに対して経験的グリーン関数法を用いて震源からの広帯域強震動生成領域を推定し、その面積及び位置が震源インバージョン結果のアスペリティ領域に対応することを示した。このような概ね 1 Hz 以下の周波数帯域における震源インバージョン結果のアスペリティと広帯域強震動シミュレーションによる強震動生成領域との対応は、1994 年アメリカ・ノースリッジ地震（Kamae and Irikura, 1998）¹³⁾、1995 年兵庫県南部地震（Kamae and Irikura, 1998）¹⁴⁾、2000 年鳥取県西部地震（池田・他, 2002）¹⁵⁾でも指摘されている。これらの研究成果に基づいた内陸地殻内地震の広帯域強震動予測のための震源モデル（特性化震源モデル）の構築方法が提案されている（例えば入倉・三宅, 2001¹⁶⁾、入倉・他, 2003¹⁷⁾）。

本節はプレート境界地震に対して同様の分析を行い、特性化震源モデルを構築するための結果を得ることを目的としている。今年度はプレート境界地震の波形インバージョン結果の情報収集と、日本付近で最近生じたプレート境界地震の強震動生成領域を、広帯域強震動シミュレーションによって得ることを目的とする。以下では強震動生成領域の推定に関して、2005 年宮城県沖地震の例を提示するとともに、収集情報、及びプレート境界地震のための特性化震源モデルについてプロトタイプを検討する。

b) 2005 年宮城県沖地震の強震動生成領域

2005 年 8 月 16 日に宮城県沖を震源として $M_J7.2$ のプレート境界地震が発生し、最大震度 6 強を観測する東北地方太平洋側を中心として強い揺れが生じた。この地震の広帯域強震動放射特性を調べるため、Irikura (1986) の経験的グリーン関数法¹⁸⁾に基づき、強震動生成領域（SMGA, Miyake et al., 2003）からなる震源モデルの推定を行った。

宮城県北部から岩手県の観測点での波形の S 波部には 5~7 秒の時間差をおいて 2 つの明瞭なパルス波が見られる。本地震の震源モデルはこれら 2 つの波群を説明する 2 つの SMGA（以降 SMGA1, SMGA2 と呼ぶ）により構成されると仮定する。また P 波部分の立ち上がり数秒間の波は小振幅で、その後には 2 つの大きいフェイズが見られるため、SMGA1 は破壊開始点から離れたところに存在すると考えられる。S 波の立ち上がりは 2 つ目の大きい P 波や P コード波にまぎれて、読み取ることが難しいため、P 波の立ち上がりは 1 つ目のパルス波の時間差を読み取り、気象庁による震源位置と発震時に対する SMGA1 の破壊開始点位置と時刻を推定した。SMGA1 は Harvard CMT 解に基づく走向 195 度、傾斜角 18 度の断層面上に存在すると仮定し、K-NET 及び KiK-net の 83 観測点での記録を用いて、Takenaka et al. (2006)¹⁹⁾に準ずるグリッドサーチにより解析を行った。これより SMGA1 の破壊は震源から傾斜方向に 14.9 km 離れた点より、4.2 秒後に開始したと推定される。読み取り誤差の影響を調べるために、各観測点での時間差をランダムに ± 0.2 秒変化させたデータセットを 2000 個つくり、推定精度を調べた。傾斜方向の位置と破壊遅れ時間に多少のトレードオフが見られたが、推定位置の標準偏差は 1.1 km 程度で時刻については 0.1 秒程度であった。

経験的グリーン関数には 2005 年 9 月 6 日の $M_J4.1$ の余震記録によるものを用いた。SMGA が 1 つの場合、小地震記録の足し合わせ個数 N^3 と小地震に対する応力降下量比 C

は本震と余震の波形記録の振幅スペクトル比における低周波数側 2 つのフラットレベルより決定できる。本研究では 2 つの SMGA からなるモデルを取り扱うので、それぞれの SMGA の C と N が等しい場合、SMGA1 の C が SMGA2 の 1.5 倍、2 倍となる場合とその逆の場合の計 5 つの場合を仮定した。K-NET の 8 観測点における S 波水平 2 成分 20 秒間の 0.2-10Hz の加速度エンベロープと 0.2-1Hz の速度波形をターゲットとして、遺伝的アルゴリズムにより 2 つの SMGA の面積、ライズタイム、破壊伝播方向と SMGA2 の位置と破壊時刻を推定した。SMGA 中での破壊伝播速度 (V_r) については S 波速度の 60% から 90% に相当する 2.7、3.15、3.6、4.05 km/s の 4 通りを考え、1 回の探索の間では固定した。

破壊速度 $V_r = 3.15$ km/s で、SMGA1、SMGA2 それぞれの大きさが 9.6 km×9.6 km、7.2 km×7.2 km で応力降下量が 17.6 MPa、34.1 MPa というものが最適解となった。図 7 に波形のフィッティングの様子を示す。主たる 2 つのパルスや加速度エンベロープ形状が再現されていることが示されている。SMGA1 の位置は呉・瀬瀬 (2005)²⁰⁾ が推定したすべり分布に見られる大きいアスペリティ領域と対応している (ただしその広がりはやや小さい)。一方 SMGA2 はすべり分布で陸側に見られるやや小さなアスペリティ内もしくはその近傍にあることが示されている。図 8 にすべりモデルとの比較を示す。したがって本地震の広帯域強震動の特徴は、主としてすべりの大きい領域内に存在する強震動生成領域で説明できることがわかった。

c) アスペリティサイズと強震動生成領域の地震規模依存性

室谷・他 (2005) では、プレート境界地震の不均質すべりモデルを収集し、内陸地殻内地震の場合と同じ規範 (Somerville et al., 1999) としてアスペリティ領域を求め、その地震規模依存性を調べた。図 9 にアスペリティサイズの地震規模依存性を示している。内陸地殻内地震の場合の経験式 Somerville et al. (1999) が参考に示されており、アスペリティサイズの地震規模依存性はプレート境界地震、内陸地殻内地震でほとんど差がないことがわかる。

一方 Suzuki and Iwata (2005)²¹⁾ では前項で説明したような方法によって、日本近傍の太平洋プレートで起きた 9 個のプレート境界地震の強震動生成領域を推定した。図 10 には強震動生成領域サイズの地震規模依存性をプロットした。ここには同様の手法による 1994 年三陸はるか沖地震 (宮原・笹谷, 2004)²²⁾、2003 年十勝沖地震 (Kamae and Kawabe, 2004)²³⁾ の結果もプロットした。図には比較のために Somerville et al. (1999) の内陸地殻内地震の地震規模—アスペリティサイズの関係式も示している。強震動生成領域サイズは明らかにこの経験式からはずれており、ある地震規模の強震動生成領域サイズは、アスペリティサイズより小さいことがわかる。

これらアスペリティサイズや強震動生成領域と地震規模依存性の特徴、及び Suzuki and Iwata (2005) や本報告で行った 2005 年宮城沖地震の例から考えられるプレート境界地震の特性化震源モデル像としては図 11 のようなものが考えられる。比較のために、内陸地殻内地震のそれを掲載している。このモデルは模式的なものであり、それぞれの具体的なパラメータに関して考えられているわけではないので、それらのパラメータ設定に寄与する分析を今後行っていく必要がある。

(c) 結論ならびに今後の課題

スラブ内地震の震源モデル収集と震源特性の分析に関しては、7地震の8つのモデルが収集され、内陸地殻内地震や海溝型プレート境界地震に対する既往の研究と同様な手続きにより、断層面積、アスペリティ総面積、平均すべり量の震源パラメータが抽出された。その結果、断層面積、アスペリティ総面積ともに同規模の内陸地殻内地震及び海溝型プレート境界地震に比べ小さめの値をとる傾向にあることが明らかになった。つまり、アスペリティ領域のみでなく、破壊領域全体においても、内陸地殻内地震に比べ、より狭い領域で集中してモーメントが解放されていることが考えられる。これにより、スラブ内地震の不均質震源パラメータの地震規模依存性について調べるという平成19年度当初の年度目標は達成されている。しかし、収集分析された地震数は必ずしも多くはなく、このデータセットを充実させるため、次年度もデータ収集を継続していく必要がある。今後、スラブ内地震のアスペリティ内外における応力降下量などの応力パラメータの特徴を調べるため、すべり分布データから断層面上での応力変化の分布など求めていくというアプローチが考えられる。

プレート境界地震について、2005年8月に起きた宮城沖地震の強震動生成領域を高精度に推定する解析について報告を行った。このイベントは主として2つの強震動生成領域から構成され、それら強震動生成領域は波形インバージョンによって求められたすべりの大きい部分にはほぼ位置していることがわかった。精度の高いと考えられるすべり分布結果から推定されるアスペリティサイズの地震規模依存性と、広帯域地震動シミュレーションによってえられる強震動生成領域サイズのそれを得、強震動生成領域はアスペリティ領域内にあるが、前者の面積は後者より小さい可能性を示した。これに基づくプレート境界地震の模式的な特性化震源モデルを提案した。これらのモデルの妥当性については、震源モデルの事例を増やすとともに、特性化震源モデルによる強震動評価と観測地震動との比較が必要であり、次年度以降の課題とする。

(d) 引用文献

- 1) Asano, K., T. Iwata, and K. Irikura: Source characteristics of shallow intraslab earthquakes derived from strong-motion simulations, *Earth Planets Space*, Vol.55, pp.e5-e8, 2003.
- 2) 浅野公之, 岩田知孝, 入倉孝次郎: 2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション, *地震第2輯*, Vol.57, pp.171-185, 2004.
- 3) Morikawa, N. and T. Sasatani: Source Models of Two Large Intraslab Earthquakes from Broadband Strong Ground Motions, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.94, pp.803-817, 2004.
- 4) 笹谷努, 森川信之, 前田宜浩: スラブ内地震の震源特性, *北海道大学地球物理学研究報告*, Vol.69, pp.123-134, 2006.
- 5) Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada: Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, *Seism. Res. Lett.*, Vol.70, pp.59-80, 1999.

- 6) Mai, P.M. and G.C. Beroza: Source Scaling Properties from Finite-Fault-Rupture Models, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.90, pp.604-615, 2000.
- 7) 室谷智子, 三宅弘恵, 瀬瀬一起: 海溝型地震の不均質断層パラメータのスケーリング則, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, S052-006, 2005.
- 8) Hernandez, B., N.M. Shapiro, S.K. Singh, J.F. Pacheco, F. Cotton, M. Campillo, A. Iglesias, V. Cruz, J.M. Gómez, and L. Alcántara: Rupture History of September 30, 1999 Intraplate Earthquake of Oaxaca, Mexico ($M_w=7.5$) from Inversion of Strong-Motion Data, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.28, pp.363-366, 2001.
- 9) Kakehi, Y.: Analysis of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake using high-density strong ground motion data: Detailed rupture process of a slab earthquake in a medium with a large velocity contrast, *J. Geophys. Res.*, Vol.109, B08306, doi:10.1029/2004JB002980, 2004.
- 10) 関口春子, 岩田知孝: 2001年芸予地震の破壊過程と強震動, 月刊地球号外 No.38「西日本の地震活動」, pp.239-246, 2002.
- 11) 青井真, 関口春子, 功刀卓, 森川信之, 本多亮, 藤原広行: 近地強震波形記録を用いた波形インバージョンによる2003年宮城県沖地震の震源破壊過程, 月刊地球, Vol.27, pp.29-34, 2005.
- 12) Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura: Source Characterization for Broadband Ground-Motion Simulation: Kinematic Heterogeneous Source Model and Strong Motion Generation Area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.93, pp.2531-2545, 2003.
- 13) 釜江克宏, 入倉孝次郎: 1994年ノースリッジ地震 ($M_w = 6.7$) の震源モデル, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.643-648, 1998.
- 14) Kamae, K. and K. Irikura: Source Model of the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake and Simulation of Near-Source Ground Motion, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.88, pp.400-412, 1998.
- 15) 池田隆明, 釜江克宏, 三輪滋, 入倉孝次郎: 経験的グリーン関数法を用いた2000年鳥取県西部地震の震源のモデル化と強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, Vol.561, pp.37-45, 2002.
- 16) 入倉孝次郎, 三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol.110, pp.849-875, 2001.
- 17) 入倉孝次郎, 三宅弘恵, 岩田知孝, 釜江克宏, 川辺秀憲, L.A. Dalguer: 将来の大地震による強震動を予測するためのレシピ, 京都大学防災研究所年報, Vol.46B, pp.105-120, 2003.
- 18) Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, *Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp.*, pp.151-156, 1986.
- 19) Takenaka, H., T. Nakamura, Y. Yamamoto, G. Toyokuni, and H. Kawase: Precise location of the fault plane and the onset of the main rupture of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, Vol.58, pp.75-80, 2006.
- 20) 呉長江, 瀬瀬一起: 強震波形記録による2005年・1978年宮城県沖地震の震源過程, 日本地震学会秋季大会予稿集, PM20, 2005.

- 21) Suzuki, W. and T. Iwata: Source Characteristics of Interplate Earthquakes in Northeast Japan Inferred from the Analysis of Broadband Strong-Motion Records, *Eos Trans. AGU*, Vol.86, No.52, Fall Meet. Suppl., Abstract S43A-1040, 2005.
- 22) 宮原昌一, 笹谷努: 経験的グリーン関数を用いた1994年三陸はるか沖地震の震源過程の推定, 北海道大学地球物理学研究報告, Vol.67, pp.197-212, 2004.
- 23) Kamae, K. and H. Kawabe: Source model composed of asperities for the 2003 Tokachi-oki, Japan, earthquake ($M_{JMA} = 8.0$) estimated by the empirical Green's function method, *Earth Planets Space*, Vol.56, pp.323-327, 2004.
- 24) Ichinose, G.A., H.K. Thio, and P.G. Somerville: Rupture process and near-source shaking of the 1965 Seattle-Tacoma and 2001 Nisqually, intraslab earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.31, L10604, doi:10.1029/GL019668, 2004.
- 25) Vallée, M., M. Bouchon, and S.Y. Schwartz: The 13 January 2001 El Salvador earthquake: A multidata analysis, *J. Geophys. Res.*, Vol.108, No.B4, 2203, doi:10.1029/2002JB001922, 2003.
- 26) Ichinose, G.A., H.K. Thio, and P.G. Somerville: Moment Tensor and Rupture Model for the 1949 Olympia, Washington, Earthquake and Scaling Relations for Cascadia and Global Intraslab Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.96, pp.1029-1037, 2006.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
Broadband Source Inversion for Estimating Heterogeneous Slip and Slip-velocity Distributions Using Empirical Green's Function and Crack Source Model (ポスター)	Asano, K. and T. Iwata	Workshop on Numerical Modeling of Earthquake Source Dynamics	平成19年9月	国外

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文	発表者氏名	発表場所	発表時期	国内・外の別
Source model of the 2005 Miyagi-Oki,	Suzuki, W. and	<i>Earth, Planets and Space</i> , Vol.59,	平成19年11月	国外

Japan, earthquake estimated from broadband strong motions	T. Iwata	pp.1155-1171.		
---	----------	---------------	--	--

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 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、国内外で発生したプレート境界地震及びスラブ内地震の地震波等を用いて推定された震源モデルの収集を継続し、地震規模に対する断層面積、アスペリティ面積、平均すべり量などのスケーリングの特性を調べる。同一の地震に対して、複数の研究者から震源モデルが公表されている地震については、できるだけ多くのモデルを収集し、特性化された震源パラメータのばらつきを調べる。また、断層面上のすべり分布、それから求められる応力降下量分布の不均質特性を調べる。特に、アスペリティ内外における応力降下量などの応力パラメータの特徴を調べることを目的とし、すべり分布データから断層面上での応力変化の分布など求める。得られた応力パラメータとスラブ内地震の強震動生成との関係を議論する。強震記録が多く得られているスラブ内地震等に対して、強震記録観測点のサイト特性を評価した上で広帯域地震波を用いた震源過程の解析を行い、強震動予測のための震源断層モデル構築に必要な震源特性の抽出を継続する。そのために、近年発生し、良好な強震記録が豊富に得られているスラブ内地震(2001年芸予地震、2003年宮城県沖の地震)を対象として、記録が得られている強震観測点で常時微動観測を実施し、微動記録を分析することによりサイト特性を評価する。それを踏まえ、広帯域強震動地震波を用いた震源逆解析を行い、アスペリティ内外でのすべり速度等、広帯域強震動生成に関わる震源パラメータの抽出を平成 20 年度及びそれ以降以降に実施する。

表 1 収集したスラブ内地震の震源モデルのリスト

地震名	震源深さ (km)	M_0 (Nm)	M_w	出典
2003/5/26 宮城県沖の地震	72	6.2×10^{19}	7.1	青井・他 (2005) ¹¹⁾
2001/3/24 芸予地震	46	1.9×10^{19}	6.8	Kakehi (2004) ⁹⁾
		3.4×10^{19}	7.0	関口・岩田 (2002) ¹⁰⁾
2001/2/28 Nisqually 地震	56	1.7×10^{19}	6.8	Ichinose et al. (2004) ²⁴⁾
2001/1/13 El Salvador 地震	54	4.6×10^{20}	7.7	Vallée et al. (2003) ²⁵⁾
1999/9/30 Oaxaca 地震	40	1.8×10^{20}	7.4	Hernandez et al. (2001) ⁸⁾
1965/4/29 Seattle-Tacoma 地震	60	9.4×10^{18}	6.6	Ichinose et al. (2004) ²⁴⁾
1949/4/13 Olympia 地震	60	1.9×10^{19}	6.8	Ichinose et al. (2006) ²⁶⁾

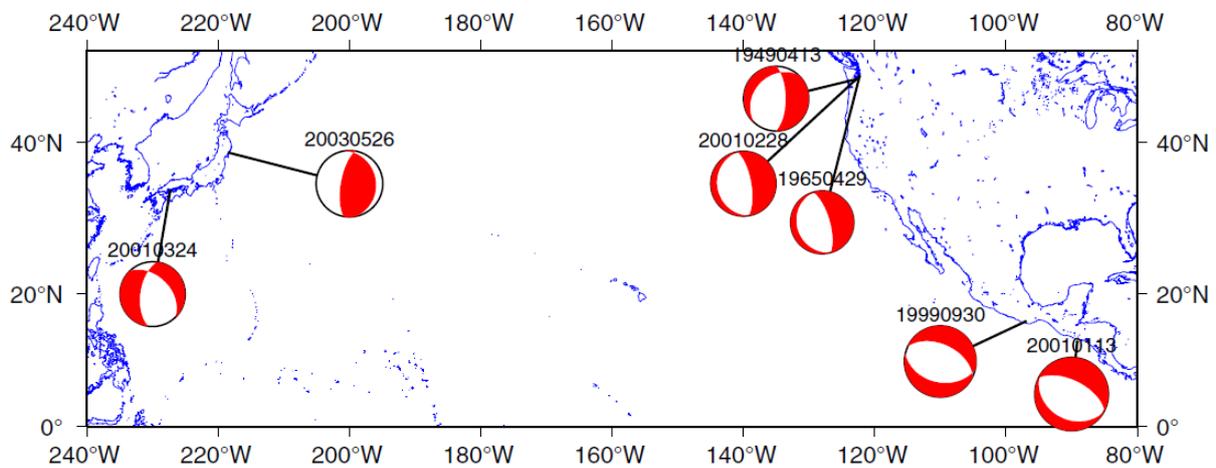


図 1. 収集した地震の震央とメカニズム解 (下半球投影)。

1999 Oaxaca (Hernandez et al., 2001)

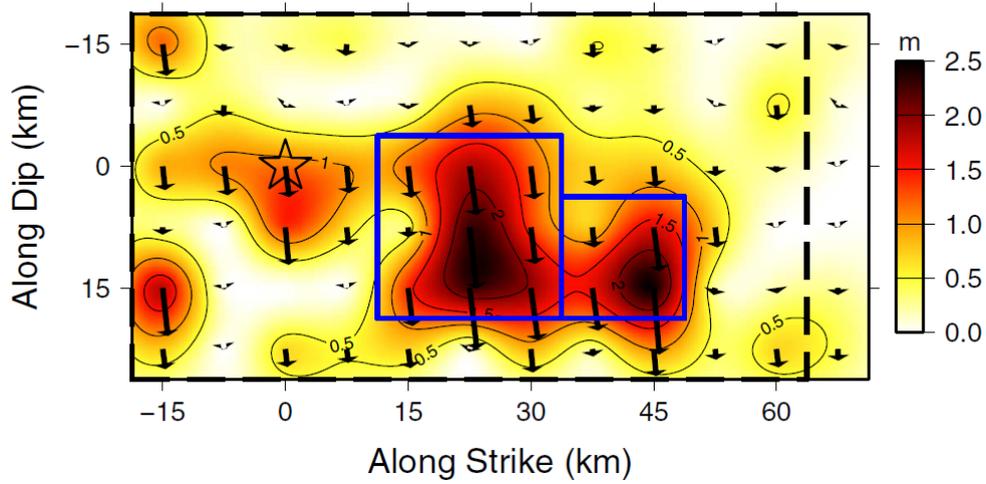


図 2. 1999 年 Oaxaca 地震のすべり分布 (Hernandez et al., 2001) とアスペリテイ領域。

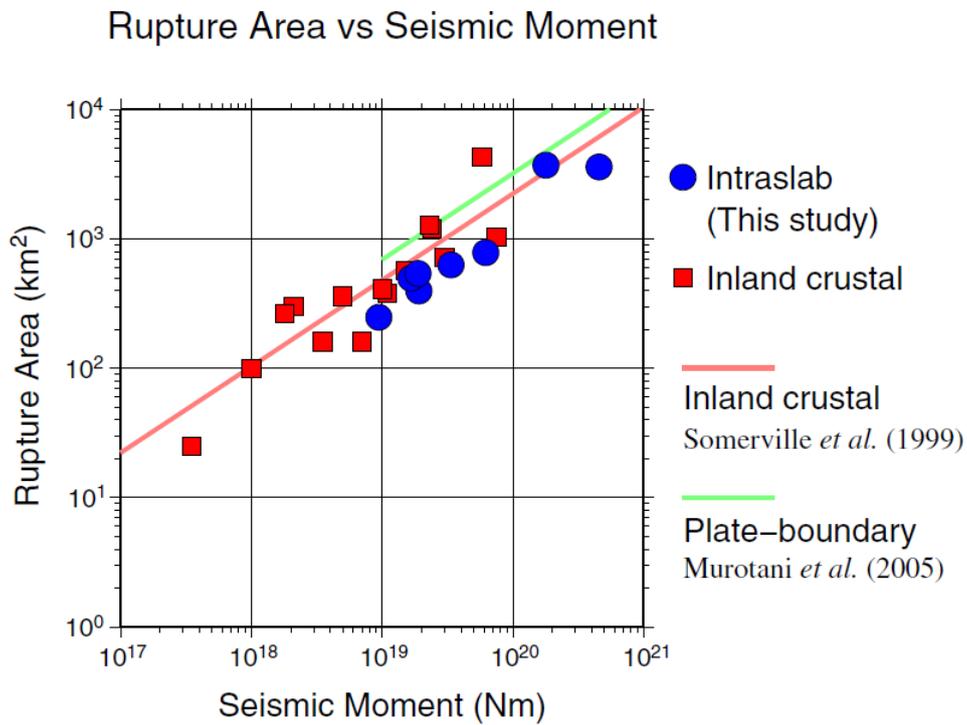


図 3. 破壊領域と地震モーメントの関係。

Combined Area of Asperities vs Seismic Moment

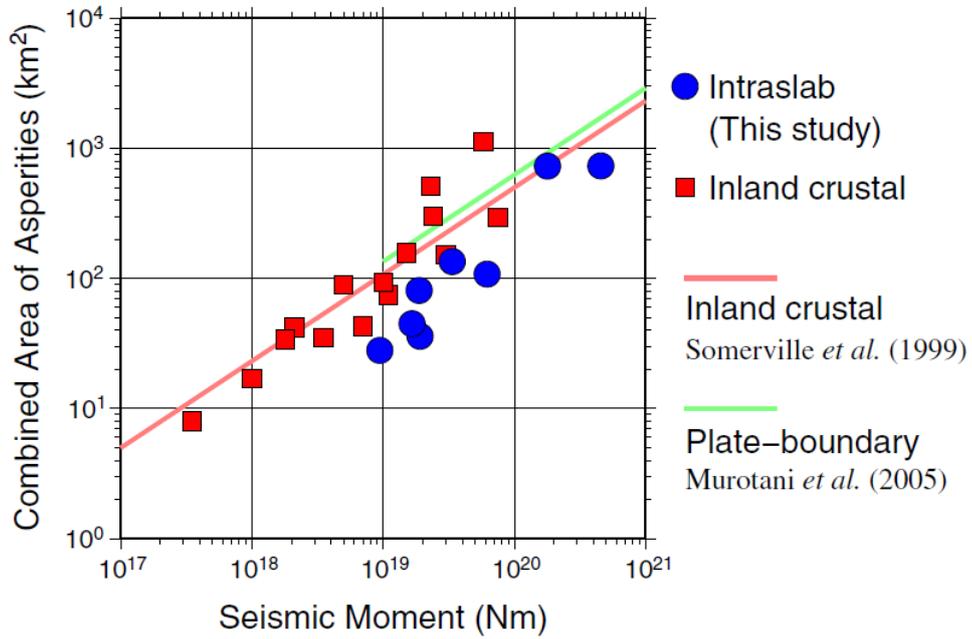


図 4. アスペリティ総面積と地震モーメントの関係。

Combined Area of Asperities vs Rupture Area

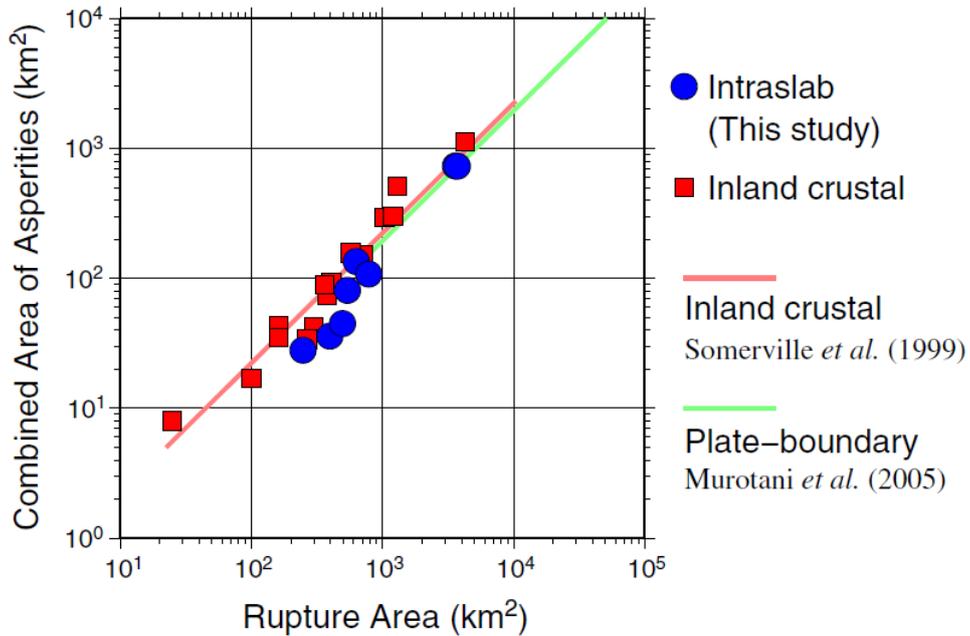


図 5. 破壊領域とアスペリティ総面積の関係。

Average Slip vs Seismic Moment

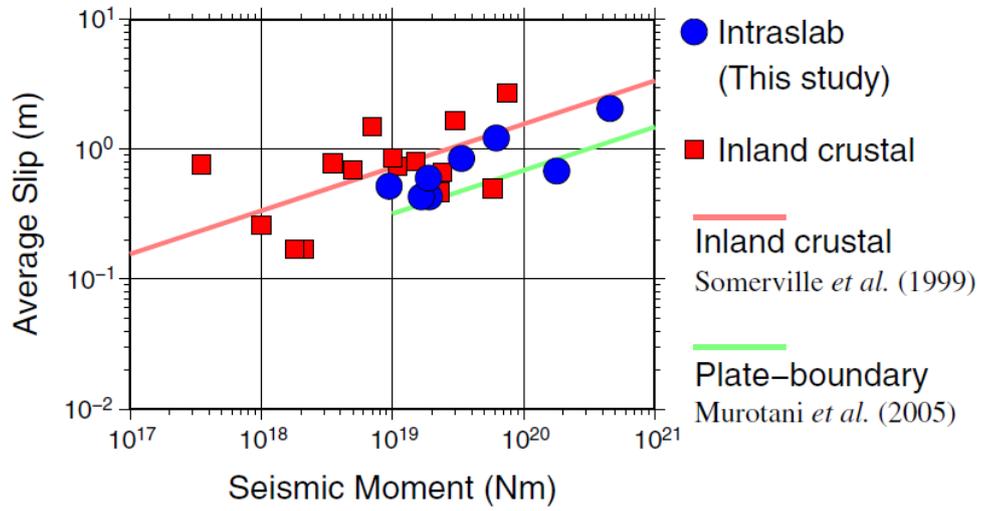


図 6. 平均すべり量と地震モーメントの関係。

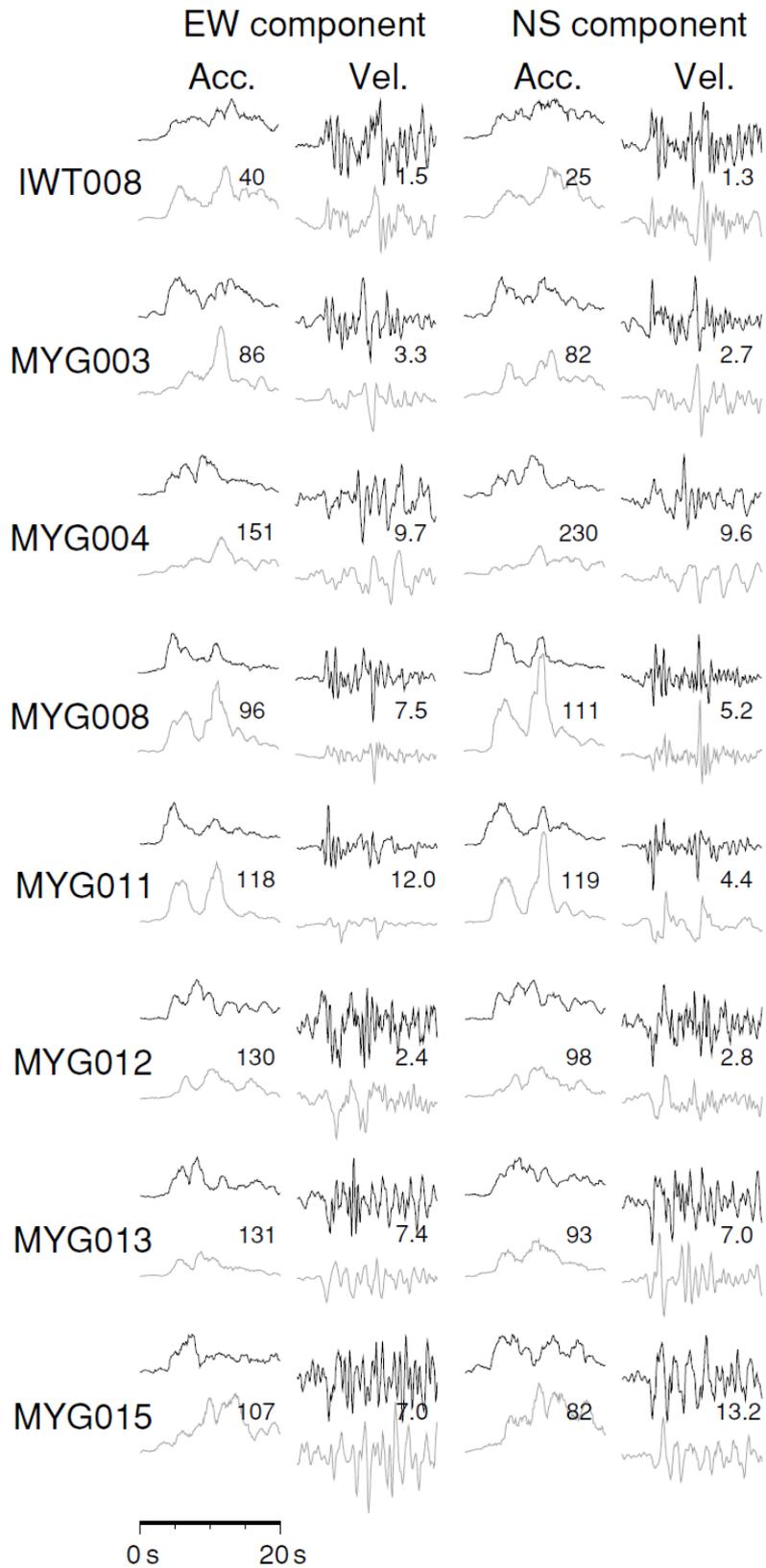


図 7. 2005 年宮城県沖地震の観測波形と合成波形の比較。観測点は図 8。

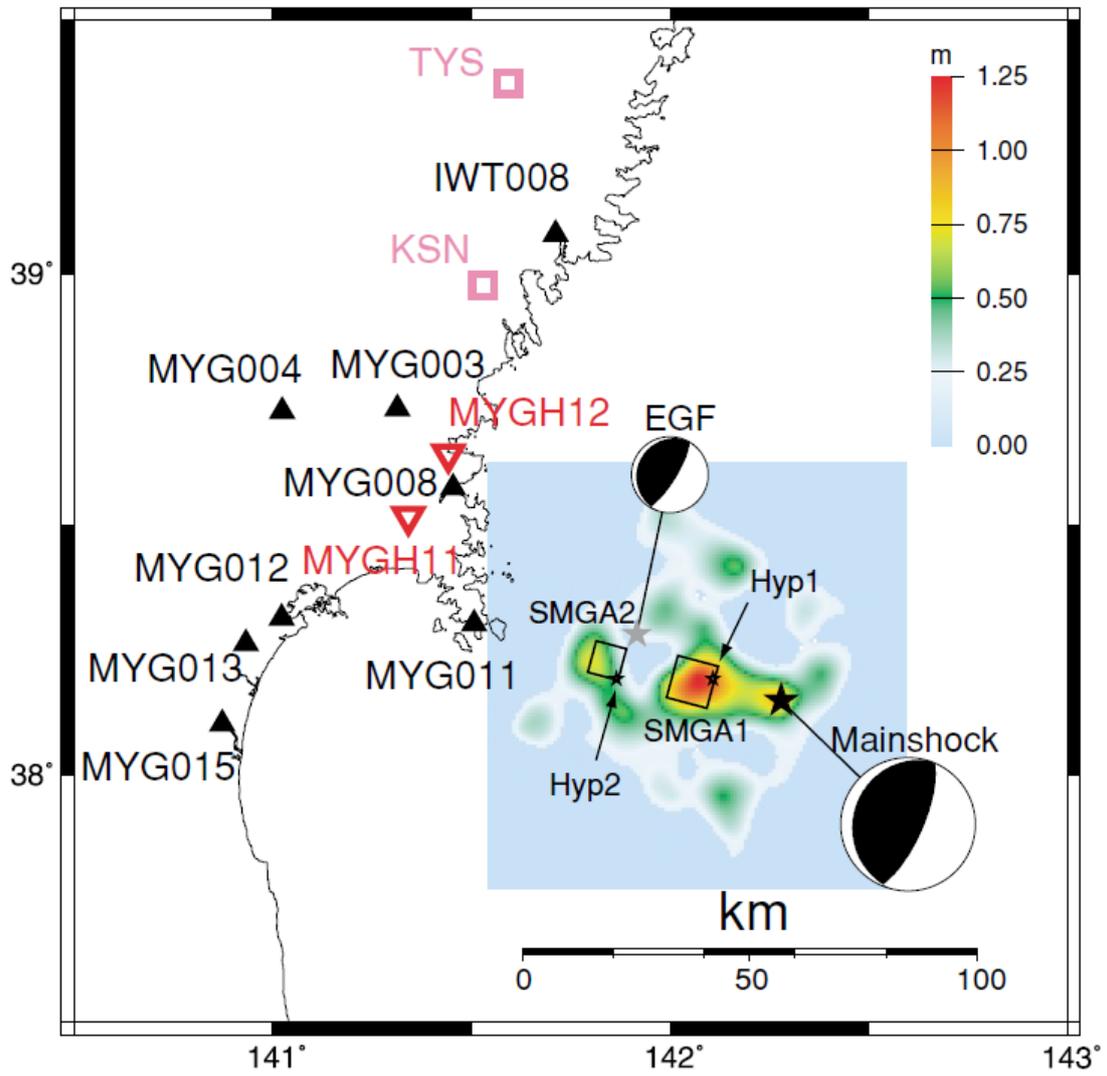


図 8. 2005 年宮城県沖地震の強震動生成領域と呉・瀨瀬 (2005) によるすべり分布²⁰⁾の比較。

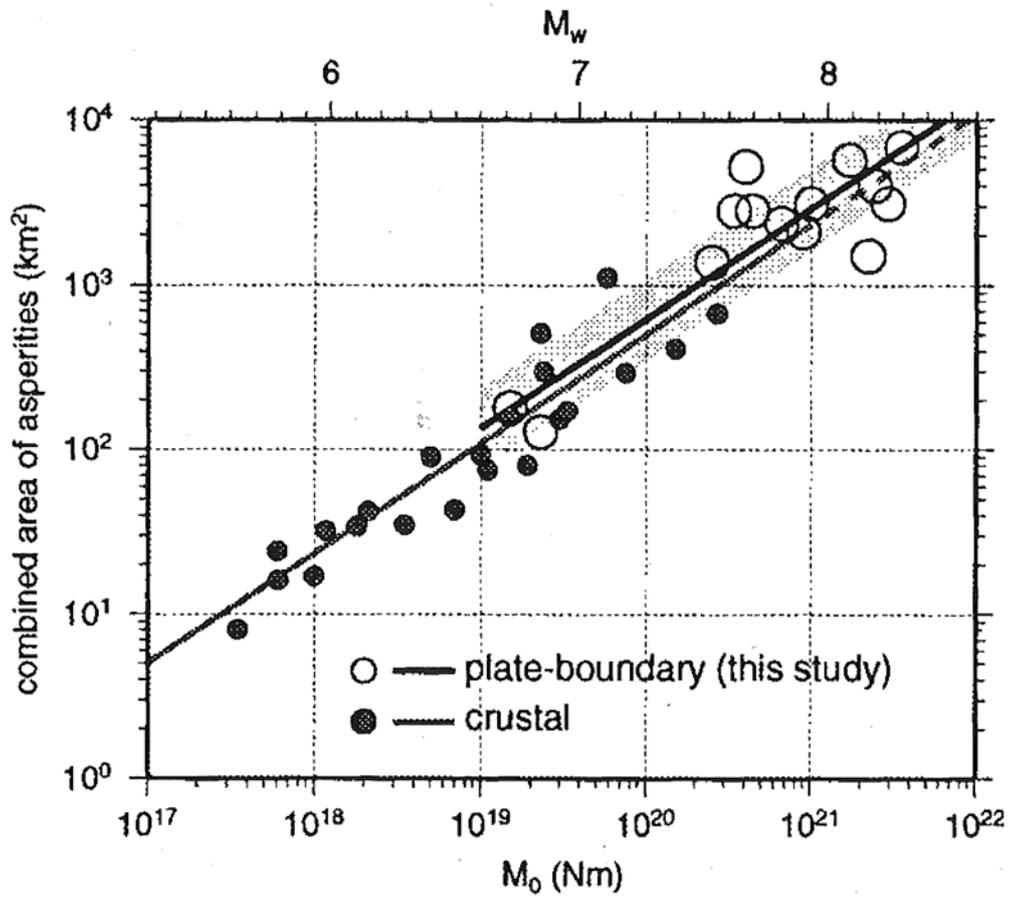


図 9. プレート境界地震のアスペリティと地震モーメントの関係（室谷・他, 2005）⁷⁾。

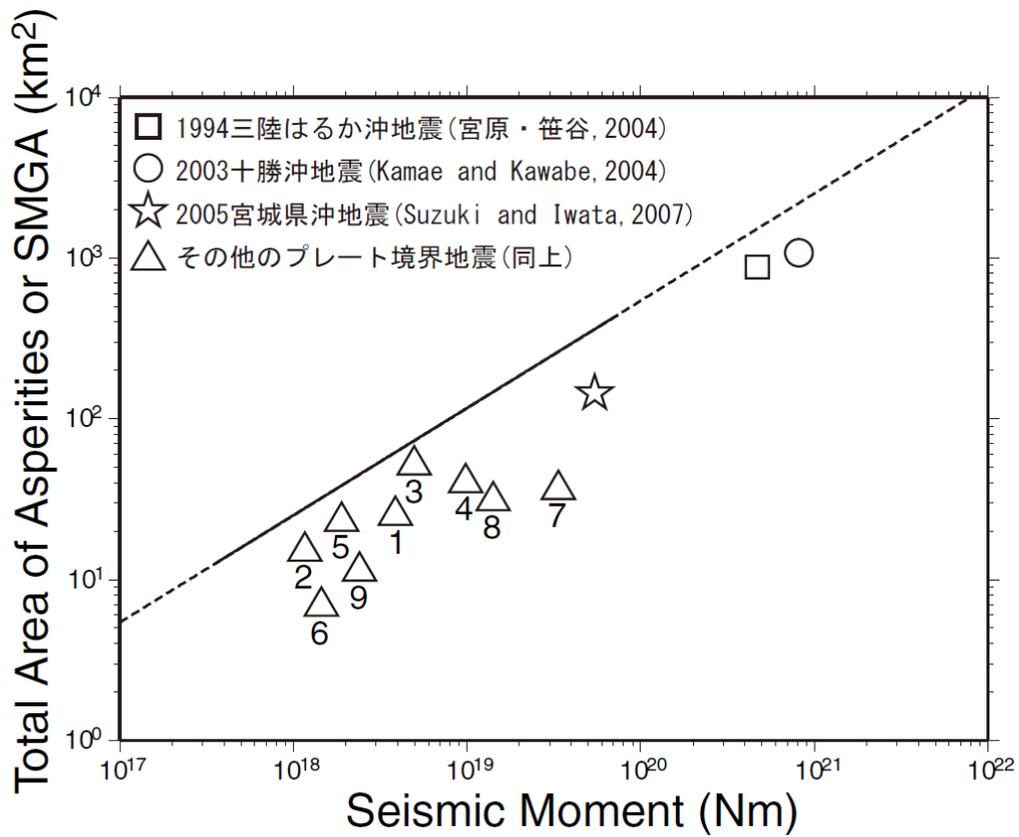
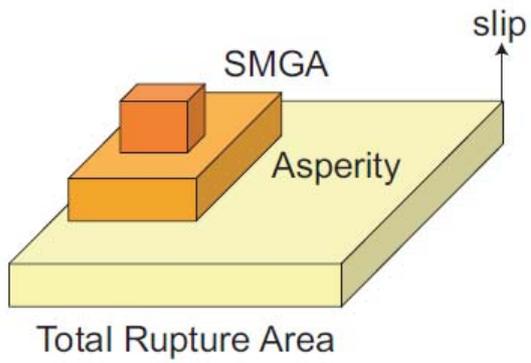


図 10. 強震動生成領域の面積と地震モーメントの関係。

Subduction-Zone Interplate Earthquake



Inland Crustal Earthquake

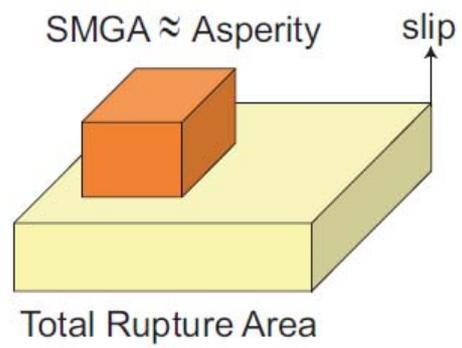


図 11. プレート境界地震（左）と内陸地殻内地震（右）の特性化震源モデルの模式図。