

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19810008  
 研究課題名（和文） 極大地震動を伴う地震の震源断層での広帯域強震動生成過程の解明  
 研究課題名（英文） Broadband Strong Motion Generation Process from Source Fault of Large Earthquake with Extreme Ground Motions  
 研究代表者  
 浅野 公之（ASANO KIMIYUKI）  
 京都大学・防災研究所・助教  
 研究者番号：80452324

## 研究成果の概要：

大地震の際にしばしば観測される極大地震動（極めて大きな地震動）の成因を震源の破壊過程との関係から解明するため、強震波形記録等を用いたインバージョン解析により、時空間的な震源破壊過程を詳細に調べた。近年発生し、極大地震動をもたらした被害地震の震源断層面のすべり分布が精度よく推定されたとともに、内陸地殻内地震の広帯域強震動生成を支配するアスペリティの応力降下量の深さ依存性を見出し、強震動予測に活かすための経験式を提案した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,350,000	0	1,350,000
2008年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	405,000	3,105,000

研究分野：強震動地震学

科研費の分科・細目：自然災害科学

キーワード：地震、極大地震動、震源破壊過程、アスペリティ、応力降下量

## 1. 研究開始当初の背景

我が国は地震の活動期に入りつつあり、毎年のように被害地震が国内で発生している。1995年兵庫県南部地震以降の全国的な強震・震度観測網の整備により、多くの震源近傍強震記録が蓄積されてきている。2004年新潟県中越地震や2007年能登半島地震のように、地表での最大加速度は1000 gal以上、または最大速度が100 cm/s以上という極めて大きな地震動（極大地震動）が観測されることも珍しくなくなった。最大値のみが地震動被

害と直結するわけではないが、このような端的な指標は社会からの注目度も大きい。地震動被害を考える上で、そのような極大地震動をもたらす震源での詳細な破壊過程と強震動生成の間の物理的關係を解明し、どのような条件で極大地震動が発生するかを示すことは重要な研究課題である。特に、短周期を含む地震動レベルとその周期特性に寄与する物理パラメータである、震源でのすべり速度や応力降下量を高精度に推定し、強震動予測につなげることが不可欠といえる。

震源破壊過程に関しては、遠地波形や強震波形の長周期成分を用いた解析が国内外でこれまでも行われてきており、時空間的に不均質な断層すべり過程が推定されるようになってきた。また、そのように得られた震源モデルをコンパイルし、内陸地殻内地震のすべり分布の平均像としての統計的特徴を抽出する研究(例えば、Somerville *et al.*, 1999; Mai and Beroza, 2000)も行われつつある。しかし、それらは断層の背景領域やアスペリティのサイズや平均すべり量についての性質を整理しているものであり、強震動生成に関わる応力降下量やすべり速度に関する知見はまだ十分ではない。

強震動予測のための震源モデルの高度化を目指す上で、破壊開始点とアスペリティの空間的な位置関係、アスペリティ内外での破壊速度の違い、アスペリティの応力降下量や最大すべり速度の地震発生環境依存性などが、強震動予測結果の不確定性の要因になっており、強震動予測高度化のためには、これらを解決するための研究が必要な状況にあった。

## 2. 研究の目的

大地震時に震源域周辺地域でしばしば観測される極めて大きな地震動(極大地震動)の生成要因を震源の側から解明することを主たる目的とする。高精度なグリーン関数を用いた運動学的震源インバージョン解析や研究代表者が開発している広帯域強震記録を用いた新しい震源インバージョン解析手法を用い、極大地震動を発生させた地震の詳細な震源破壊過程を調べる。特に、極大地震動の生成に関係する物理パラメータであるすべり量及び最大すべり速度、応力降下量などの時空間分布を高精度に推定し、強震動生成域としてのアスペリティ(すべりやすべり速度、応力降下量の相対的に大きな領域)でのこれらのパラメータの特徴を調べる。

本研究では、高密度の強震記録が得られる日本国内の内陸地殻内地震を主たる研究対象とする。しばしば大加速度記録が観測されるスラブ内地震も研究対象とする。長周期地震波と短周期地震波の生成過程の類似性や差異の特徴を見出す。複数の地震に対するインバージョン解析結果を比較整理することにより、極大地震動生成に寄与するアスペリティの応力降下量や最大すべり速度等の震源特性を解明する。

## 3. 研究の方法

(1) 主として強震記録を用い、運動学的な波

形インバージョン解析によって、震源断層面上でのすべりの時空間分布を推定する。詳細なすべり分布を強震波形から推定するためには、震源からサイトまでの伝播経路特性を表現する Green 関数の高精度化が不可欠である。本研究では、Green 関数の信頼性を高めるため、解析に使用するそれぞれの強震観測点に対し、観測された小地震(余震)の記録を用い、波形モデリングによる最適化によって 1 次元速度構造モデルを推定する(Asano and Iwata, 2009)。2007 年能登半島地震については、国土地理院の GPS 観測網によって得られた地震時変位データも併用し、解析周波数帯域の広帯域化を図る。

(2) (1)の研究で得られた詳細なすべり分布から、震源断層面上での地震時の静的応力変化を求める。得られた不均質な応力変化分布から、すべり特性化によって定義されているアスペリティと非アスペリティ領域(背景領域)での平均応力降下量を求め、その特徴を分析する。

(3) 研究代表者の開発している広帯域震源インバージョン解析手法(約 0.2 ~ 10 Hz)を実際の地震に適用し、すべり量と最大すべり速度の空間分布を求め、特にアスペリティの最大すべり速度を精度よく拘束する。実地震への適用を通じ、手法の有効性や解決すべき点を明らかにする。

(4) 実際に観測された極大地震動記録について、震源特性とサイト特性(地盤特性)の影響を切り分けるため、観測地点周辺の地盤構造モデルを調査し、S 波速度の遅い堆積層による地震動増幅特性を求める。

## 4. 研究成果

(1) 2007 年~2008 年の間に、2007 年能登半島地震、2008 年岩手・宮城内陸地震といった極大地震動を伴う M7 級の被害地震が相次いで発生したため、これらの地震の詳細な解析を最優先に研究を進めた。その結果、2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2008 年岩手・宮城内陸地震の 3 つの内陸地殻内地震の詳細な震源破壊過程を強震波形記録及び GPS 記録を用いた波形インバージョン解析により解明した。研究代表者らの提案した手続きに基づいて、グリーン関数を計算するための適切な次元地下構造モデルを観測余震記録の波形モデリングに基づいて観測点毎に構築し、詳細なすべり過程を得ることに成功した。

2007 年能登半島地震については、強震波形記録のみを使用して解析した場合と、強震波

形記録と GPS 変位記録を併用して解析した場合の得られるすべり分布の違いを比較したが、両者に顕著な違いは見られなかった。このことは、本研究で用いた観測点毎のグリーン関数が適切であることを示しており、既往の研究と比べ、本手法の優れている点である。2007 年能登半島地震のすべりの大きな領域（アスペリティ）は、断層の下端付近に位置する破壊開始点付近から浅い側に向かって広がっており、震源域周辺の地震動は主としてこのアスペリティによって支配されている。このアスペリティを含む断層領域は改訂活断層の F14 断層に対応している。地表付近のすべりは顕著ではなく、2007 年能登半島地震では明瞭な地表地震断層や海底断層変位が観察されなかったことと調和的である。

2008 年岩手・宮城内陸地震については、大きなすべりが震源近傍と震源より南西側の浅い領域の 2 カ所に推定された。特に後者のアスペリティがサイズ、すべり量ともに大きい。これらのすべりが震源近傍の地震動生成に寄与していることがわかった。浅いアスペリティの存在が推定された領域は、一関市から栗原市荒砥沢にかけて地表地震断層が現れた領域と空間的に対応しており、出現した地表地震断層がこのアスペリティの破壊に伴って生じたものと考えられる。

2004 年新潟県中越地震に関する成果は国際学術誌に掲載され、その他の地震についても国内外の学会等で成果を公表した。

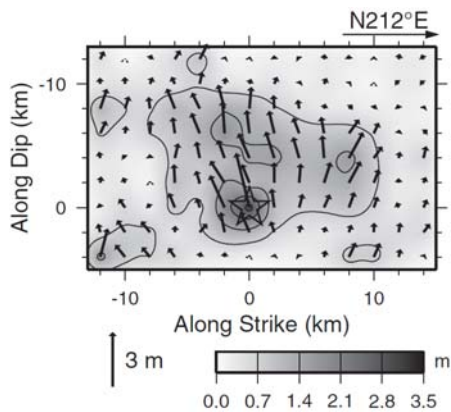


図 1: 2004 年新潟県中越地震の最終すべり量分布

(2) 広帯域強震動生成に寄与する震源のキーパラメータの一つであるアスペリティの平均応力降下量を断層面上の不均質すべりに伴う応力変化分布から求めた。ここでは、本研究等で詳細なすべり分布が得られた 5 つの内陸地殻内地震を解析した。これら 5 つの地震の特性化震源モデルのアスペリティの平均応力降下量は 6 ~ 23 MPa、背景領域の応力降下量は 1 ~ 3 MPa と求められた。アスペリティのみでなく、背景領域の応力降下量も精度よく推定できたことが本研究の重要性の一つ

である。

以上の結果に既往の研究成果も加えたデータセットをコンパイルし、個々のアスペリティの平均応力降下量 ( $\Delta\sigma_a$ ) とアスペリティの深さ ( $h$ ) の関係を調べた。アスペリティの平均応力降下量は深いアスペリティほど大きくなる傾向を持つことが明らかになった。このアスペリティの平均応力降下量の深さ依存性を強震動予測に取り入れるため、本研究で得られた解析結果にもとづく経験的な関係式を提案した。得られた経験式は以下の通りである。

$$\Delta\sigma_a [\text{MPa}] = 0.90h [\text{km}] + 5.4$$

また、この経験式を用いて、アスペリティの深さのみが異なる複数の仮想的な震源モデルを作成し、強震動シミュレーションを行って空間的な地震動分布を比較した結果、同じ地震規模の地震であってもアスペリティが深くに位置する地震が、より大きな地震動を生成することが示された。これらの成果を国際会議で発表したとともに、国際学術雑誌に投稿した。

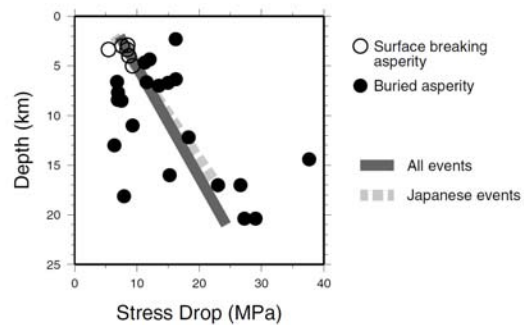


図 2: アスペリティの平均応力降下量と深さの関係

(3) 開発を続けている広帯域強震記録を用いる非線形震源インバージョン手法を実際の地震（ここでは 2003 年宮城県沖の地震を例とした）に適用し、手法の有効性と解決すべき点を調査した。すべり量や最大すべり速度の空間分布に比べ、破壊時刻の空間分布を精度よく拘束することが難しいことが解決すべき点として挙げられた。そこで、破壊時刻分布を安定的に推定するためのモデルパラメータ設定方法について検討を行った。成果を国際会議で発表した。

(4) 2007 年能登半島地震で 100 cm/s を超える水平地動速度が観測された石川県穴水町において、極大地震動に及ぼす震源特性と浅部地盤特性の寄与を分離するため、強震観測点の位置する穴水町市街地において高密度の微動観測（観測点間隔が約 100 m）を実施し、観測された地震動の卓越周期であった周期 1 秒付近の地震動の増幅に大きく寄与している S 波速度の遅い層 (70 - 250 m/s) の詳細な空

間分布を求めた。この成果は学術雑誌に投稿中である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Asano, K., and T. Iwata, Source Rupture Process of the 2004 Chuetsu, Mid Niigata Prefecture, Japan, Earthquake Inferred from Waveform Inversion with Dense Strong-Motion Data, Bulletin of the Seismological Society of America, 99 巻、123-140、2009、査読有
- ② 岩田知孝・浅野公之・栗山雅之・岩城麻子、2007 年能登半島地震の震源モデルと強震動、京都大学防災研究所年報、51 巻、121-127、2008、査読無
- ③ Asano, K., and T. Iwata, Source modeling of recent large inland crustal earthquakes in Japan and source characterization for strong motion prediction, Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, paper no. 03-01-0025、2008、査読無
- ④ 岩田知孝・浅野公之、震源過程からみた特徴、2007 年能登半島地震の解明を目指して、第 35 回地盤震動シンポジウム論文集、7-12、2007、査読無

[学会発表] (計7件)

- ① 浅野公之・岩田知孝、強震波形による 2008 年岩手・宮城内陸地震の震源破壊過程、京都大学防災研究所平成 20 年度研究発表講演会、2009 年 2 月 25 日、京都テルサ
- ② Asano, K., and T. Iwata, Kinematic source rupture process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, a Mw6.9 thrust earthquake in northeast Japan, using strong motion data, アメリカ地球物理学連合 2008 年秋季大会、2008 年 12 月 16 日、アメリカ合衆国サンフランシスコ市モスコーンセンター
- ③ Asano, K., and T. Iwata, Source Rupture Process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake by Strong Motion Data, 第 7 回アジア地震学連合総会、2008 年 11 月 25 日、つくば国際会議場
- ④ 浅野公之・岩田知孝、強震記録と GPS 変位記録から推定した 2007 年能登半島地震の震源過程、京都大学防災研究所平成 19 年度研究発表講演会、2008 年 2 月 29 日、京都テルサ
- ⑤ Asano, K., and T. Iwata, Source Rupture

Process of the 2007 Noto Hanto Earthquake, Japan, Obtained from Strong Ground Motion and GPS Data, アメリカ地球物理学連合 2007 年秋季大会、2007 年 12 月 14 日、アメリカ合衆国サンフランシスコ市モスコーンセンター

- ⑥ 浅野公之・岩田知孝、強震波形と GPS 変位記録から推定した 2007 年能登半島地震の震源過程、日本地震学会 2007 年秋季大会、2007 年 10 月 24 日、仙台国際センター
- ⑦ Asano, K., and T. Iwata, Broadband Source Inversion for Estimating Heterogeneous Slip and Slip-velocity Distributions Using Empirical Green's Function and Crack Source Model, Workshop on Numerical Modeling of Earthquake Source Dynamics, 2007 年 9 月 3 日、スロバキア共和国シモレニツァ会議場

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

浅野 公之 (ASANO KIMIYUKI)  
京都大学・防災研究所・助教  
研究者番号：80452324

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし