

3.3.6 動的モデルパラメータの研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目：動的モデルパラメータの研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学大学院理学系研究科	講師	井出 哲	ide@eps.s.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	助教授	宮武 隆	miyatake@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	山下輝夫	tyama@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	呉 長江	wuchang@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	安藤亮輔	ando@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	安田拓美	tyasuda@eri.u-tokyo.ac.jp
工学院大学	教授	久田嘉章	hisada@cc.kogakuin.ac.jp
仏地質学研究所	研究員	青地秀雄	hideo.aochi@irsn.fr
スイス連邦工科大学	研究員	Martin Mai	martin.mai@sed.ethz.ch
独立行政法人産業技術総合研 究所	特別研究員	加瀬祐子	kasep@ni.aist.go.jp
独立行政法人防災科学技術研 究所	研究員	福山英一	fuku@bosai.go.jp
独立行政法人産業技術総合研 究所	研究員	吉見雅行	yoshimi.m@aist.go.jp

(c) 業務の目的

大都市直下に発生する地震による災害の軽減のために強震動シミュレーションの必要性が高まっている。断層近傍では震源モデルの影響が大きく、そのような場所での地震波を計算するためには震源のモデル化を可能な限りの知見を取り入れて行う必要がある。そこで震源での応力状態、破壊や摩擦すべりの物理を取り入れた震源過程、すなわち動力学的地震モデルの研究を進める。モデルの記述に必要な動的モデルパラメータを特定し、過去の実際の地震や今後予測される地震について推定することを通じて、強震動シミュレーションの断層モデル構築に役立てる。

本研究項目には3つの小分野がある。まず、基本的な動力学モデルを計算するために必要な震源物理の基礎研究、これを<動力学モデルの基礎研究>として区分する。それからその基礎研究から提案される各種動的パラメータの決定可能性を検討し現実の地震につい

て推定する研究、これを<動力学モデルとデータ解析>として区分する。さらに実際の強震動シミュレーションへの適用方法を検討する研究、<動力学モデルと強震動予測>である。グループのメンバーはそれぞれの分野で最新の知見を得るとともに互いの議論によって動的モデルパラメーターへの理解を深める。

(d) 5カ年の年次実施計画

1) 平成14年度：研究の開始。現時点での各小分野での問題点を認識し、これからの研究プランを作成した。そのために「動的断層モデルと強震動セミナー」を開催し集中して議論した。破壊のスケーリング、断層面の幾何学、破壊摩擦の構成則、動力学モデル作成、広帯域震源特性、擬似動力学シミュレーション、耐震設計との関連などについて研究が行われた。それらの研究は日本地震学会、アメリカ地球物理学学会総会などにおいて発表された。

2) 平成15年度：それぞれの分野で研究を進めた。メキシコから三雲健教授を招聘し動的モデルシミュレーションについて議論した。断層破砕帯のモデルや階層アスペリティモデルの研究、個別の地震の解析と臨界すべり変位量の推定、強震動予測の為の応力条件設定法、擬似動力学モデル、近地地震波の特徴などについて研究が行われた。それらの研究は日本地震学会、震源数値計算ワークショップ（スロバキア）、アメリカ地球物理学学会総会などにおいて発表された。

3) 平成16年度：それぞれの分野で研究を進めると共に、研究の中間まとめと今後の計画の再検討を行った。破砕帯モデルや階層アスペリティモデルの一般化、運動学的モデルの追加、運動学的モデルにおける不均質の特徴の抽出、それらの特徴を動力学モデルに導入する方法の開発などを行い、現実の地震に応用した。また一方で短周期生成やモデルの変動性の検討のために確率論的震源パラメーター分布に動力学モデルを使った強震動シミュレーションを行っているマーチン・マイ博士を招聘した。それらの研究は日本地震学会、大大特国際シンポジウム（東京）、ACESワークショップ（北京）、西太平洋地球物理学総会（ハワイ）、南カリフォルニア地震センター年次総会（パームデール）、米国地球物理連合秋季大会（サンフランシスコ）などにおいて発表された。

4) 平成17年度：それぞれの分野での研究の発展。基礎研究から得られた知見を観測データから裏付ける方法などについて考察する。またその知見の動力学シミュレーションにとっての重要性を検討する。

5) 平成18年度：研究のまとめ。基礎研究、データ解析の結果を踏まえ動力学シミュレーションを強震動予測にどのように生かすことができるか検討し、研究計画のまとめとする。

(e) 平成16年度業務目的

昨年度作成した年次計画案に従い、<動力学モデルの基礎理論>小分野では、破砕帯モデルや階層アスペリティモデルの一般化、<動力学モデルのデータ解析>小分野では、2004年十勝沖地震と2001年芸予地震の解析、<動力学モデルと強震動>小分野では運動学

的モデルにおける不均質の特徴の抽出、それらの特徴を動力学モデルに導入する方法の開発などを行う。そのための過去に推定された断層モデルの不均質性の研究を行っている Martin Mai 博士をスイスより招聘する。本年度は、以上のように各分野での研究を進めると共に、中間まとめと計画の再検討を行う。これらは国際シンポジウムに合わせて行う。

(2) 平成 16 年度の成果

(a) 業務の要約

業務の目的で記載した 3 つの小分野の内、＜動力学の基礎理論＞小分野では、室内実験に関係した微視的スケールから断層を無限に薄い面として近似できる巨視的スケールまでの断層破壊過程を、その中間スケールであるメゾスコピックスケールを介して、統一的な理解を試みた。また地震のエネルギーバランスとスケーリングの問題を進め、階層構造の問題の研究も開始した。＜動力学とデータ解析＞では、2003 年の十勝沖地震と 2001 年芸予地震の解析を中心に行った。十勝沖地震においては破壊が途中から急激に加速したことが明らかになった。芸予地震では動力学モデルを得た。＜動力学モデルと強震動＞小分野では運動学的モデルにおける不均質の特徴の抽出し、それらの特徴を動力学モデルに導入する方法の開発などを行った。

(b) 業務の成果

以下に本研究項目で実施している 3 つの小分野の成果について述べる。

＜動力学モデルの基礎研究＞

今年度は昨年作成した計画に沿って、破碎帯のモデル化、地震の階層性の研究、地震のエネルギーバランスとスケーリングの問題、断層の折れ曲がりの研究を行った。以下順に述べる。

断層破碎帯など断層構造を考慮したモデル化

積分核の漸近表現を用いることにより境界積分方程式法による動的亀裂の高速計算法を開発した¹⁾。この高速計算法を用いた数値実験を実行することにより、室内実験に関係した微視的スケールから断層を無限に薄い面として近似できる巨視的スケールまでの断層破壊過程を、その中間スケールであるメゾスコピックスケールを介して、統一的な理解を試みた²⁾。断層帯に典型的に現れる分岐や跳びなどは典型的なメゾスコピックスケールの破壊現象と見なせる。分岐断層は主断層の成長に比例して延びていくが、主断層がある一定の長さを越えると、分岐断層のあるものは不安定成長を開始し、この比例関係は破れることが、数値計算によりわかった。また、メゾスコピックスケールの破壊過程を考慮に入れて巨視的断層構成則を再構成した²⁾。これにより地震波形解析により推定されている不均質な断層パラメーターが統一的に扱う手がかりができた。

地震の階層性の研究

地震の階層性の研究はこれまでの単なる手法開発ではなくより現実に近い不均質性を導入

した計算機シミュレーションを実施した。不均質な場での統計的自己相似的な破壊伝播をモデル化することに成功した。また、その不均質の意味するところの考察も進めた。この結果は学会発表²⁾され論文も執筆完了し現在投稿中である。このような不均質性の議論には過去に推定された断層モデルの不均質性の研究が役に立つ。10月にスイスより Martin Mai 氏を招聘し、断層モデルの不均質性について議論を深めた。

地震のエネルギーのバランスとスケーリングの問題

本年度は前年度から引き続いて地震のエネルギーのバランスとスケーリングの問題、現実の地震の波形を用いた破壊過程の推定を手がけるとともに、動的破壊過程を理解する上で重要な破壊の階層性の問題の研究を開始した。地震のエネルギーについては小さい方の極限として特に南アフリカ金鉱山の地震を取り扱い、小さな地震の破壊過程も大地震同様に複雑であること⁴⁾や、地震のエネルギー放射効率が大地震と同程度であることを示した^{4,5)}。これらは強震動予測の観点からも重要な知見である。また昨年度主に研究した鳥取県西部地域においてやや大きめの地震について行った同様の研究も論文の修正を重ねて本年度出版することが出来た⁶⁾。エネルギーの断層面表現の問題について研究するために一月にメキシコ国立自治大学に三雲健教授を訪問し、今後の研究の方向について議論した。

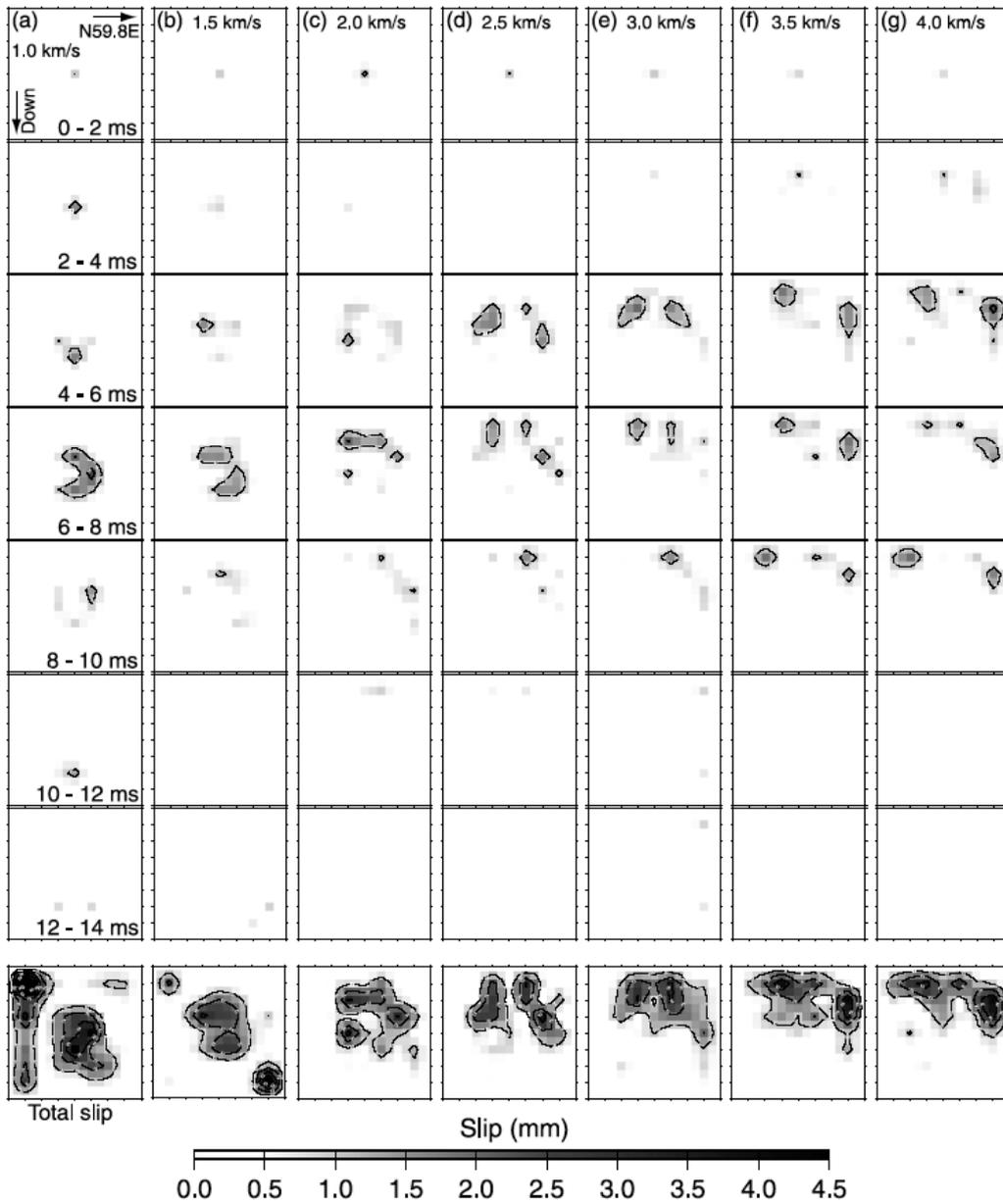


図1 南アフリカ金鉱山で発生したM1.1の地震の震源過程⁴⁾

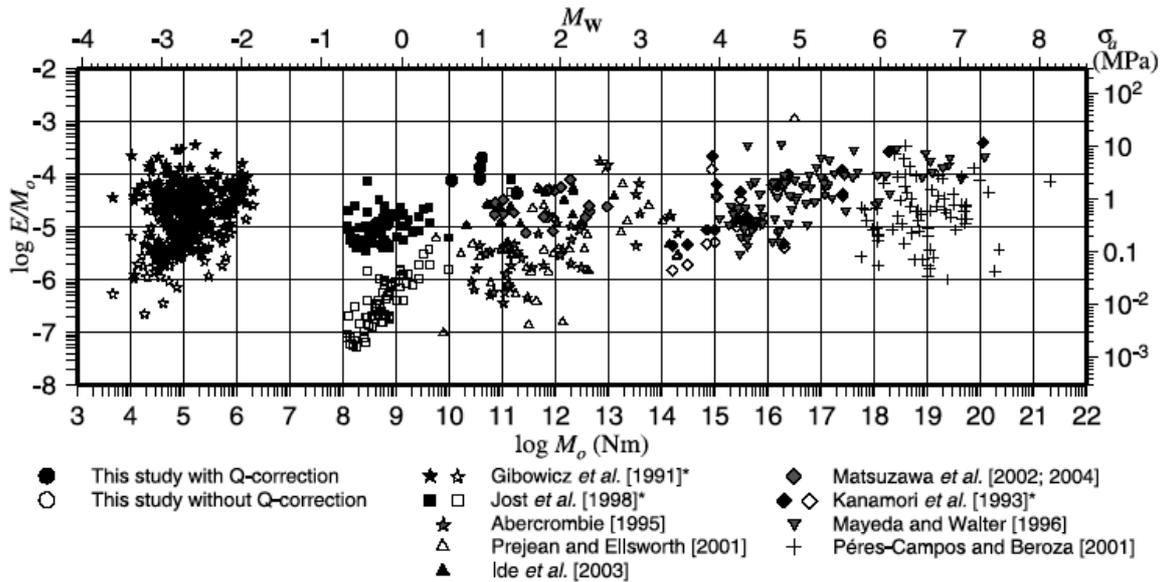


図2 鉦山の小さな地震の解析結果を追加した地震モーメントとエネルギーのスケーリング関係⁴⁾。

断層の折れ曲がりの影響

より複雑な形状の断層上での動的破壊過程を計算できるようにするための第一歩として折れ曲がりのある断層上での破壊過程を差分法で計算する手法を開発した。走向方向に折れ曲がりのある断層に沿ってとった座標系を、座標変換を用いて直交座標系へ投影することによって、差分法で問題を解けるようにした⁷⁾。折れ曲がりの角度や外部応力場を変えてシミュレーションを行った結果、折れ曲がり部分より先に破壊が伝播するかどうかは、折れ曲がりの角度によって決まる静的な応力場に支配されていること、また、折れ曲がり付近でのすべり量の分布は、すべりによって生じる動的な応力変化によって攪乱されることがわかった。折れ曲がりの角度が大きくなるにしたがって、断層面にはたらく剪断応力は小さく、法線応力は大きくなるため、破壊は進展しにくくなる。差応力値の観測結果を用いて仮定した応力場中にある断層では、折れ曲がりの角度が 10° 程度の場合、折れ曲がり部分より先の破壊速度が減速し、 20° 程度の折れ曲がりでは、破壊がほぼ停止するという計算結果が得られた⁸⁾。この結果は、現実の断層形状と地震の破壊過程との関係とよく一致している。

<動力学モデルとデータ解析>

2001年芸予地震

2001年芸予地震の震源過程を近地で記録された加速地震波形データと遠地で観測された広帯域地震波形データを同時に用いて波形インバージョン手法により断層運動の時空間分布を得た。これを元に、動力学モデルを構築した結果を論文として印刷した⁹⁾。芸予地震の応力降下量分布、ピーク応力の相対値、破壊エネルギー、昨年度招聘したメキシコ国立自治大学の三雲教授の提案した方法に基づいて決めた臨界滑り量分布が得られ論文として印刷された⁹⁾。

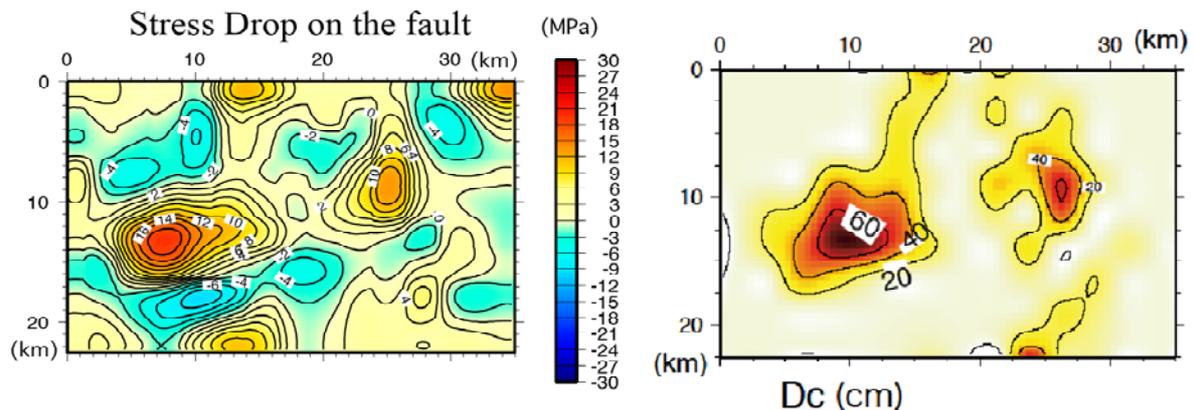


図3 推定された応力降下量と臨界滑り量分布

2003年十勝沖地震

地震のデータ解析は2003年の十勝沖地震の解析を行った。この地震においては破壊が途中から急激に加速したことが明らかになった。これは動的破壊過程をモデル化する上で非常に重要な要素であり、この内容は共著論文として出版された¹⁰⁾。

臨界滑り量の推定の研究

断層運動を制御する重要なパラメータの1つである臨界滑り量を推定する方法がいくつか提案されている。これには、モンテカルロシミュレーションに基づく試行錯誤を多数回繰り返すことで推定する研究もあるが、これでは計算効率が大変悪い。もう少し効率の良いものとして Ide and Takeo¹¹⁾によるものと平成15年度招聘した三雲による、より簡便なものがある¹²⁾。このうち三雲の方法の問題点などを模擬データによる数値シミュレーション手法で検討した¹³⁾。

<動力学モデルと強震動>

動力学モデルを強震動シミュレーションに使う方法として、直接法と近似法（擬似動力学モデルとも呼ぶ）の2つがある。どちらにしても想定活断層から生じる強震動を予測するためには、想定断層のパラメータ分布を推定する研究が必要である。一方で強震動の性質、特に断層近傍での強震動の性質の研究の継続も必要である。また本研究項目での研究は、実用的な方法に地震学的・震源物理学的に検討し、震源物理を基礎として強震動生成法を発展させることを目標にしている。本年度は、地震発生場とパラメータ推定の研究、近似法の応用研究、断層近傍強震動の性質（地下構造の影響の検討）の研究を行い、実用的強震動生成法に若干の改良を施した。

強震動シミュレーションのための想定断層の応力場と断層パラメータ推定の研究

強震動予測を目的とした動力学的破壊過程を求めるために断層面上の初期応力場を仮定する方法として、加瀬ほか¹⁴⁾や 関口ほか¹⁵⁾では、地表の断層トレースにおける平均変位速度分布を基にした断層面上のすべり量分布と、断層形状の2種類のデータに基づく方法についてそれぞれ報告した。すべり量分布を用いて初期応力場を仮定した場合、破壊の伝播は全体になめらかであるが、初期応力場の不均質に応じて、減速・停止する部分も見られ

た。一方、断層形状を用いて初期応力場を仮定した場合の破壊伝播は、よりなめらかで、破壊速度の変化はほとんど見られなかった。どちらの方法でも、動的破壊過程を計算した結果得られるすべり量分布はなめらかではあるが、応力降下量の分布を反映した不均質が見られた。

今年度は、先に述べた2通りの手法を用いて1995年兵庫県南部地震の破壊過程の再現を試みることによって、手法の妥当性を検証した。その結果、断層形状から推定される初期応力場では不十分であり、平均変位速度分布を用いて水平方向の不均質を導入する必要がある。また、傾斜角方向の応力場の不均質については、負の応力降下量を持つ領域の存在も視野に入れたパラメータスタディが必要であることが分かった¹⁶⁾。

擬似動力学モデル（動力学モデルに基づく断層運動の近似式の作成）の応用研究

動力学モデルを直接用いて強震動シミュレーションを行うことは、専門家以外には難しく、実用上解決しなければならない問題が多い。もっと簡便に動力学モデルの近似式を使う方法が提案されている^{17),18),19)}。しかし直接法より計算量は軽減されるものの近似式を決めるためのパラメータ分布推定法は十分に確立されるとは言えない。本研究項目では、これまでに高精度の近似式を提案し¹⁷⁾、それを一様な矩形断層の中にアスペリティが1〜3個並んでいるような単純な不均質断層について、同じ条件設定で解いた動力学モデルの数値解と、これまでに提案したパラメータ分布推定法を使って作成した近似滑り速度時間関数を比較して満足できる結果を得ていた¹⁸⁾。今年度は、現実のもっと複雑な断層運動としての現実の断層運動への最初の応用として、2001年芸予地震を取り扱った。この地震の動力学モデルはすでに構築されているので、これを滑り量分布だけから再現することを試みた。まず滑り量分布から断層面を2つのアスペリティの背景領域に分け、それぞれに、アスペリティサイズ、破壊開始点の位置などから中村・宮武¹⁷⁾、宮武他¹⁸⁾により提案されたパラメータ推定法を使い不均質な滑り速度の近似式を作成した。この擬似動力学モデルと Miyatake et al.⁹⁾で得ている動力学モデルの不均質な滑り速度時間関数を比較した結果、一致は満足すべきであった²¹⁾。

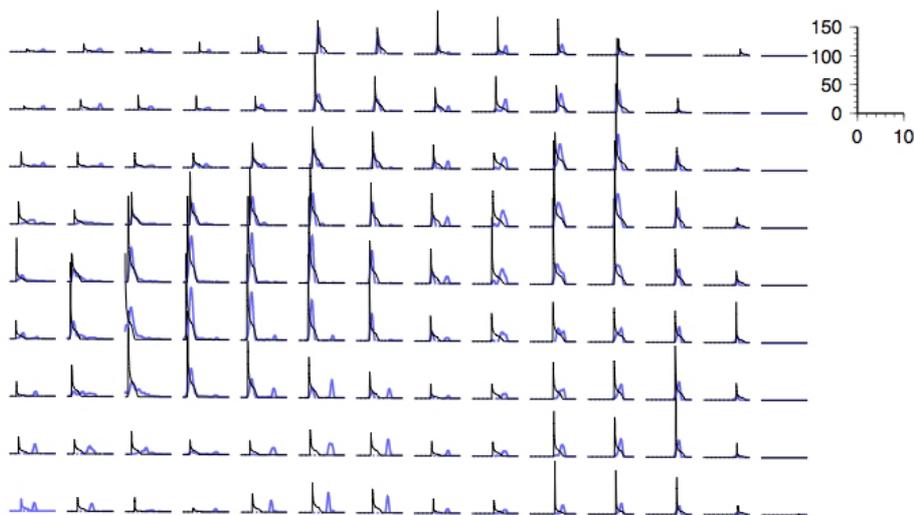


図4 擬似動力学モデルと動力学モデルによる滑り速度時間関数の比較
(青：動力学モデル、黒：擬似動力学モデル)

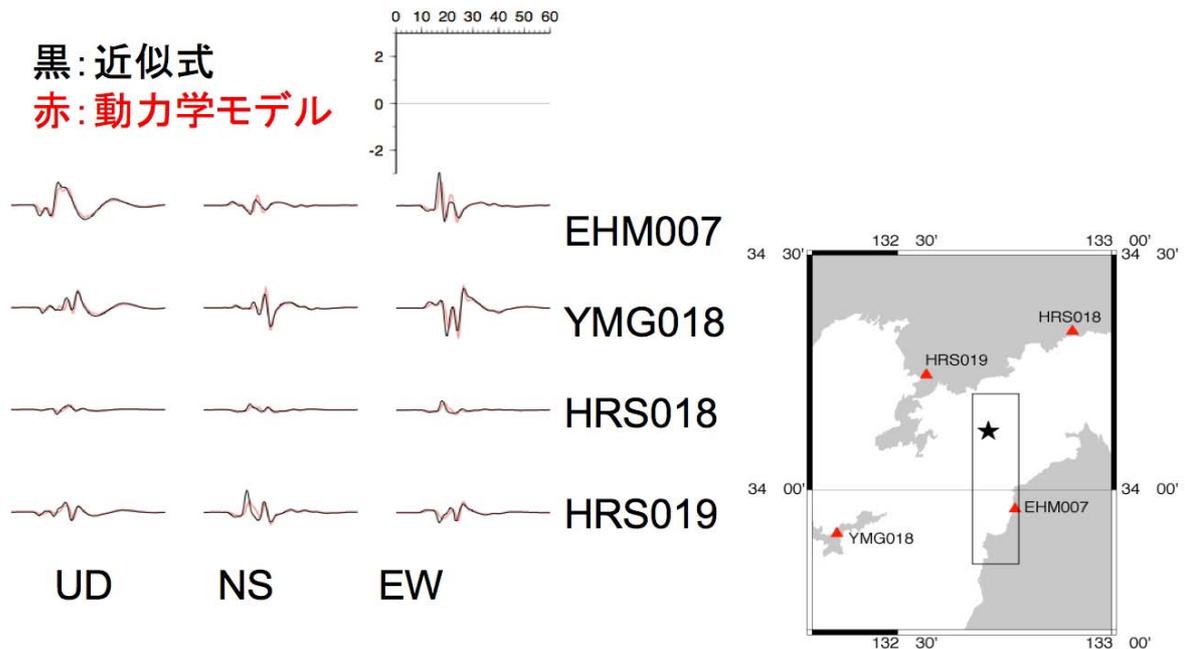


図5 擬似動力学モデルと動力学モデルによる地震波形比較

断層近傍強震動の性質の研究—堆積層の影響

成層地盤の理論グリーン関数を用い、震源近傍の特徴的な強震動特性である Directivity Pulse と Fling Step の物理的特性、特に堆積地盤の影響を調べた。その結果、Directivity Pulse はグリーン関数の動的項（実体波・表面波）から構成されるため距離減衰が小さく、堆積層の影響を大きく受けて振幅を増大させるのに対し、Fling Step はグリーン関数の静的項で構成されるため、距離減衰が大きく、堆積層の影響は Directivity Pulse に比べて小さいことが確認された²²⁾。

実用的短周期強震動生成法開発の研究

最も実用的な短周期強震動を生成する統計的グリーン関数法を、震源近傍かつ長周期帯域に適用可能とするため、Boore の ω^2 モデルに長周期で 0 位相、短周期でランダム位相（コーナー振動数：fr）とする手法を提案した。この震源モデルを小断層に用い、Irikura の方法²³⁾などで重ね合わせれば、合成波の振幅スペクトルは高振動数でランダムに、かつ低振動数ではコヒーレントに位相が重なる ω^2 モデルとなる。従って小断層の地震モーメントの総計は全体の地震モーメントとなり、かつに収束し、Directivity Pulse や Fling Step などのコヒーレントな理論的な波形を非常に高速に生成することも可能となることがわかった^{24),25)}。

(d) 結論ならびに今後の課題

項目(e)平成16年度業務目的に記述した。中間まとめと計画の再検討については、6月に行われた大大特国際シンポジウム期間中や10月に行われた日本地震学会秋季大会中に研究グループメンバーによるミーティングを行い議論し、一部はシンポジウム講演に反映された。

< 動力学モデルの基礎理論 >

平成16年度の目標である破砕帯モデルや階層アスペリティの一般化研究については、以下の通りであり今後とも研究を継続する。

安藤・山下^{1),2)}は実験室スケールと地震断層のスケール間のメゾスコピックスケールの構造を考慮することで統一的な理解ができることを示した。この研究でメゾスコピックスケールでの断層の飛びや断層屈曲は巨視的に見ると応力降下量を減少させ滑り弱化効果を生じさせることがわかった。またメゾスコピックスケールでの分岐構造も巨視的視点で見ると臨界滑り量を増加させることがわかった。これらの研究は動力学モデル構築の際にも大変重要な知見であり、このようなことを考慮して研究を進めて行くことが必要となる。このようなマルチスケールを取り扱う手法として、本年度に繰り込み手法を用いて自己相似的な破壊過程の計算に成功している²⁶⁾、これをさらに進めて破壊に及ぼすパラメータ同定をする必要がある。また多数回の破壊にも対応できるようにすることで地震活動との比較もできるようになり新たな進展が期待できる。これらは仏地質研究所の青地博士との共同研究であるが研究効率を上げるため青地博士を招聘する。

<動力学モデルとデータ解析>

本年度は、目標である2つの地震の震源過程の解析を行った。2004年十勝沖地震では破壊が途中から加速されるという興味深い現象が明らかになった。2001年芸予地震では動力学モデルの構築ができた。また推定した物理パラメータのうち臨界滑り量については、推定法の検討を行って、より深い考察を行うことができた。今後は分解能、検知限界を上げる推定法、ロバストな推定量を使った動力学モデル構築の検討が必要である。

<動力学モデルと強震動>

断層の不均質を抽出しその特徴を動力学モデルに導入することを平成16年度の目標にしていた。これは擬似動力学法を現実の地震へ応用する研究であり、今年度は、この最初の応用として2001年芸予地震を取り扱った。断層の不均質の特徴を、ごく単純に、複数のアスペリティとそれ以外に分けて昨年度作成したパラメータ推定法を使って良い一致を得た。また抽出法として提案されているSomervilleの方法²⁷⁾でも、この地震では、ほぼ同様のアスペリティ抽出ができた。今後ともこのような応用的研究を様々な地震の不均質に対して続けて、擬似動力学法でのパラメータ推定法の検証を行っていく。その際必要に応じてパラメータ推定法の改良を行う。過去に解析された断層運動の不均質分布データはこの研究の継続と発展に大いに役立つと期待される。このため断層不均質の統計的性質の研究と確率論的モデルを使った動力学モデルによる強震動予測研究を行っているMartin Mai博士をスイスから招聘し議論を行い、今後の研究方法の見通しを得た。一方で想定活断層からの強震動予測への応用のための基礎研究として、活断層形状の情報だけから応力場の推定を行い破壊のシミュレーションを行った。残念ながら形状情報だけでは不十分で、今後は平均変位速度などの情報も取り入れた水平方向不均質を導入する必要があることがわかった。地下構造の強震動の特徴に及ぼす影響についての研究も行い、断層近傍での強震動にとって重要である破壊のDirectivityの影響は堆積層の影響より十分大きいことがわかった。強震動では地震波の短周期成分も重要であり、これを動力学モデルで生成する研究を進める必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 安藤 亮輔・亀 伸樹・山下 輝夫, 動弾性境界積分方程式法による非平面断層解析の漸近表現を用いた高速解法, 地球惑星科学関連合同大会, 幕張メッセ, 2004年5月
- 2) 安藤亮輔・山下輝夫, 断層帯の微細幾何構造と破壊過程の動的相互作用(1): 巨視的断層構成則の微視的再構築, 日本地震学会秋季大会, 九州大学, 2004年10月
- 3) Ide, S., and H. Aochi, Multiscale dynamic rupture simulation on fractal patch model, Western Pacific Geophysical Meeting, Honolulu HI, USA, 2004/08/17.
- 4) Yamada, T., J. J. Mori, S. Ide, H. Kawakata, Y. Iio, and H. Ogasawara, Radiation efficiency and apparent stress of small earthquakes in a South African gold mine, *Journal of Geophysical Research*, 110, 10.1029/2004JB003221, 2005.
- 5) Ide, S., Scaling of fracture energy and earthquake dynamic rupture modeling, International Workshop: Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Tectonics in Urban Areas, Tokyo, 2004/06/21.
- 6) Ide, S., M. Matsubara, and K. Obara, Study of seismic energy scaling using high-sampling Hi-net data for the aftershocks of the 2000 Western Tottori, Japan, earthquake, Western Pacific Geophysical Meeting, Honolulu HI, USA, 2004/08/17.
- 7) Kase, Y., 3D Rupture Dynamics Code - FDM, conventional grid, and split-node, 3D Rupture Dynamics Code Validation Workshop, Palm Springs (USA), 2004.9
- 8) Kase, Y. and Steven M. Day, Spontaneous rupture processes on a bending fault, 2004 fall meeting of the American Geophysical Union, San Francisco (USA), 2004.12
- 9) Miyatake, T., Y. Yagi, and T. Yasuda, 2004, The dynamic rupture process of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake, *Geophysical Research Letters*, Vol.31, No.12, 10.1029/2004GL019721.
- 10) Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki, and S. Ide, Joint inversion of strong motion and geodetic data for the source process of the 2003 Tokachi-oki, Hokkaido, earthquake, *Earth Planets Space*, 56, 329-334, 2004.
- 11) Ide, S. and M. Takeo (1997), Determination of constitutive relations of fault slip based on seismic wave analysis, *J. Geophys. Res.* 102, 27,379-27,391.
- 12) Mikumo, T., K. B. Olsen, E. Fukuyama, and Y. Yagi (2003), Stress-break-down time and slip-weakening distance inferred from slip-velocity functions on earthquake faults, *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, 264-282.
- 13) Yasuda, T., Y. Yagi, T. Mikumo, and T. Miyatake, 2005, A comparison between D_c -values obtained from a dynamic rupture model and waveform inversion, submitted to *Geophys. Res. Letts.*
- 14) 加瀬祐子・関口春子・堀川晴央・石山達也・佐竹健治・杉山雄一 (2003) 活断層情報から推定した不均質応力場中の動的破壊過程のシミュレーション: 上町断層系・生駒断層系への応用. 活断層・古地震研究報告, No. 3, 261-272.
- 15) 関口春子・加瀬祐子・堀川晴央・石山達也・佐竹健治・杉山雄一 (2003) 活断層情報を用いた想定地震の不均質すべり・応力分布の推定. 活断層・古地震研究報告, No. 3, 273-284.
- 16) 加瀬祐子・杉山雄一・関口春子・堀川晴央・石山達也・佐竹健治, 2004, 活断層情報か

- ら推定した不均質応力場中の六甲・淡路断層系の動的破壊過程：1995年兵庫県南部地震との比較、活断層・古地震研究報告，No. 4, p. 163-175,
- 17) 中村洋光・宮武 隆、2000、地震、断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式、「地震」第53巻、第1号、1-9.中村・宮武
 - 18) 宮武隆・吉見雅行・寺坂美紀、2003、強震動シミュレーションのためのすべり速度時間関数の近似式（2）不均質な横ずれ断層への応用と改良式、地震,56,125-139.
 - 19) Guatteri, M., M. Mai, and G. Beroza, 2004, A pseudo-dynamic approximation to dynamic rupture models for strong ground motion prediction, Bull. Seism. Soc. Am. 94, 2051-2063.
 - 20) Guatteri, M., M. Mai, G. Beroza, and J. Boatwright, 2003, Strong ground motion prediction from stochastic-dynamic source models, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 301-313.
 - 21) 安田拓美・宮武隆、2004、強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式（3）2001年芸予地震への応用、P70、地震学会秋季大会（九州大学）、2004.10.9-11.
 - 22) Hisada, Y, and J. Bielak, Effects of Sedimentary Layers on Directivity Pulse and Fling Step, Proc. of the 13th World Conference on Earthq. Eng., No.1736,
 - 23)Irikura,K.,1986,Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., 151-156.
 - 24) 久田嘉章、統計的グリーン関数法の震源域及び長周期帯域への拡張、日本地震工学会大会、2004
 - 25)久田嘉章、統計的グリーン関数法の震源域及び長周期帯域への拡張、日本地震学会秋季大会、2004
 - 26) 井出哲・青地秀雄、フラクタルパッチモデルの動的破壊シミュレーション、日本地震学会秋季大会、A10、福岡、2004/10/09.
 - 27) Somerville, P. G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. J. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. T. Kagawa, et al., 1999, Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seism. Res. Lett. 70, 59-80.

(f) 成果の論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
Ando R, Tada T, Yamashita T,	Dynamic evolution of a fault system through interactions between fault segments	J. Geophys. Res., 109(B5), B05303, doi:10.1029/2003JB002665	2004 年
Hisada, Y, and J. Bielak	Effects of Sedimentary Layers on Directivity Pulse and Fling Step	Proc. of the 13th World Conference on Earthq. Eng., No.1736,	2004 年
Ide, S., M. Matsubara, and K. Obara	Exploitation of high-sampling Hi-net data to study seismic energy scaling: The aftershocks of the 2000 Western Tottori, Japan, earthquake	Earth Planets Space, 56, 859-871, 2004.	2004 年
加瀬祐子・杉山雄一・関口春子・堀川晴央・石山達也・佐竹健治	活断層情報から推定した不均質応力場中の六甲・淡路断層系の動的破壊過程：1995 年兵庫県南部地震との比較	活断層・古地震研究報告, No. 4, p. 163-175,	2004 年
Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki, and S. Ide	Joint inversion of strong motion and geodetic data for the source process of the 2003 Tokachi-oki, Hokkaido, earthquake	Earth Planets Space, 56, 329-334, 2004.	2004 年
Miyatake,T, Y.,Yagi, and T. Yasuda	The dynamic rupture process of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake,	Geophysical Research Letters, Vol.31, No.12, 10.1029/2004GL019721.	2004 年
Yamada,T.,J. J.Mori,S.Ide, H. Kawakata, Y. Iio, and H. Ogasawara	Radiation efficiency and apparent stress of small earthquakes in a South African gold mine	Journal of Geophysical Research, 110, 10.1029/2004JB003221, 2005.	2004 年
Yoshimi, Y., T. Miyatake and H. Higashihara	A method for determining asperity parameters producing specific maximum ground motion	Proc. of the 13th World Conference on Earthq. Eng., No.395	2004 年

口頭発表

著者	題名	発表先	発表年月日
安藤 亮輔・ 亀 伸樹・山 下 輝夫	動弾性境界積分方程式法による非平面断層解析の漸近表現を用いた高速解法,	地球惑星科学関連合同大会, 幕張メッセ	2004年5月
安藤亮輔・山 下輝夫	断層帯の微細幾何構造と破壊過程の動的相互作用 (1): 巨視的断層構成則の微視的再構築	日本地震学会秋季大会, 九州大学	2004年10月
久田嘉章	統計的グリーン関数法の震源域及び長周期帯域への拡張	日本地震工学会大会	2004年1月13日
久田嘉章	統計的グリーン関数法の震源域及び長周期帯域への拡張	日本地震学会秋季大会	2004年10月10日
井出哲・青地 秀雄	フラクタルパッチモデルの動的破壊シミュレーション	日本地震学会秋季大会, A10, 福岡	2004年10月09日
井出哲・小笠 原宏・飯尾能 久・山田卓司	南アフリカ金鉱山における半制御地震発生実験国際共同グループ, 南アフリカ金鉱山の地震波減衰速度構造と微小地震スケーリングへの影響, フラクタルパッチモデルの動的破壊シミュレーション	日本地震学会秋季大会, P024, 福岡	2004年10月09日
Ide,S.,M. Matsubara, and K. Obara	Study of seismic energy scaling using high-sampling Hi-net data for the aftershocks of the 2000 Western Tottori, Japan, earthquake	Western Pacific Geophysical Meeting, Honolulu HI, USA, 2004/08/17.	2004年8月17日
Ide, S., and H. Aochi	Multiscale dynamic rupture simulation on fractal patch model	Western Pacific Geophysical Meeting, Honolulu HI, USA	2004年8月17日
Ide, S.	Scaling of fracture energy and earthquake dynamic rupture modeling	International Workshop: Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Tectonics in Urban Areas, Tokyo,	2004年6月21日

Kase, Y	3D Rupture Dynamics Code - FDM, conventional grid, and split-node	3D Rupture Dynamics Code Validation Workshop, Palm Springs (USA),	2004年9月
Kase, Y and S. M. Day	Spontaneous rupture processes on a bending fault	AGU, fall meeting of the American Geophysical Union, San Francisco (USA)	2004年12月
Mai, M., J. Ripperger, P. Spudich, J. Boatwright, G. Beroza, and M. Guatteri	Merging dynamic rupture modeling and strong-motion prediction	International Workshop: Strong Ground Motion Prediction and Earthquake Tectonics in Urban Areas, Tokyo,	2004年6月21日
Mai, P. M.	SRCMOD - Database of finite-source rupture models	Annual Meeting of the Southern California Earthquake Center (SCEC), Palm Springs.	2004年9月
Mai, P. M. and K.B. Olsen	Broadband simulation of ground motion from large earthquakes in the Los Angeles Basin	Annual Meeting of the Southern California Earthquake Center (SCEC), Palm Springs.	2004年9月
Mai P.M., T. van Stiphout, and T. Iwata (2004).	Analysis of slip-velocity functions in source rupture models: implications for near-source strong-motion modeling	地震学会秋季大会, B06,福岡	2004年10月
Miyake, H., P.M. Mai, and G. C. Beroza (2004).	Pseudo-dynamic rupture characterization: insights from near-source ground motion simulations, and recent updates,	地震学会秋季大会, S08,福岡	2004年10月

Miyatake, T, and T.Kimura	3D dynamic rupture simulations using finite difference model --- an improvement of the fault boundary condition in 3D staggered grid FDM	ACES meeting, 北京.	2004年6月
Mikumo, T Fukuyama, E	Static Stress Field on a Branched Fault System: The 1891 Nobi, Japan, Earthquake (M8.0)	AGU, Fall Meeting, S41A-0948	2004年12 月
安田拓美・八 木勇治・三雲 健・宮武隆	動的モデル波形を用いた波形インバージョンによる Dc と Dc'の関係についての考察,	A016, 地震学会秋季大会 (九州大学)	2004年10 月
Yasuda, T., T. Miyatake, and Y. Yagi,2004,	Dynamic rupture simulation using the estimated slip-weakening distance distribution of the 2001 Geiyo, Japan, earthquake,	ACES meeting, 北京.	2004年6月
安田拓美・宮 武隆	強震動シミュレーションのためのすべり速度時間関数の近似式(3) 2001年芸予地震への応用	地震学会秋季大会(九州大学),P70	2004年10 月

(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17年度業務計画案

それぞれの分野での研究を進展させる。同時に動力学モデルの基礎研究から得られた知見を観測データから裏付ける方法などについて考察する。またその知見の動力学シミュレーションにとっての重要性を検討する。以下3つ小分野別に述べる。

<動力学モデルの基礎理論>

マルチスケールの不均質断層の破壊過程の研究については、平成15年度に開発した手法をさらに発展させて、破壊進展に影響を及ぼすパラメーターの同定を行うことを目標に行う。

また、これまでの研究からフラクタル次元や単位破壊面積長さあたりの破壊エネルギーは破壊進展に影響を及ぼすことが予想される。その影響を定量的に見積もり、現実の断層形態、地震活動との比較を行う。以上は1回の地震についての研究であった。それは、これまでの研究では、一回の動的破壊だけで計算を完了していたからである。このために系の状態を更新できるようなアルゴリズムの開発研究も行う。

断層面での発熱およびそれに伴う断層物質の溶融、または断層の微視的な凸凹構造が動的破壊に及ぼす影響についてケーススタディを行う。

下記〈動力学モデルとデータ解析〉での動力学モデル構築には用いている計算技法の高精度化の検討をする。そのための計算技術の開発も行う。

〈動力学モデルとデータ解析〉

地震の初期破壊過程に注目した高分解能の波形インバージョン法の開発を行い、現実のデータへ適用する。候補となる地震は2000年鳥取県西部地震、2003年十勝沖地震、2004年中越地震などである。動力学モデルの構築も試みる。

基礎研究から得られた知見を観測データから裏付ける方法について、動力学モデルパラメータの定性的な比較だけでなく、定量的比較が行えるかどうかモデルパラメータの分解能や精度の検討を行う。特に臨界滑り量や破壊エネルギー推定について行った平成16年度の研究を継続させて、さまざまな要因を検討し、分解能を上げることが可能かどうか、可能ならばその方法についての考察を行う。地震エネルギーの解析では南アフリカ金鉱山の微小地震活動についてこれまで行ってきた解析結果から微小地震の破壊様式とエネルギー放出量を比較する。

〈動力学モデルと強震動〉

昨年度に引き続き擬似動力学モデルを現実の地震に応用する研究を続ける。今年度は2004年新潟県中越地震に応用する。一方、地震波に含まれる短周期成分も動力学モデルから生成できるように、昨年度招聘したMai博士との議論により得た知見を元に動力的な短周期源のモデル構築の研究を開始する。その一方で、モデルパラメータや応力場の推定についての研究も継続させ、水平方向の不均質の推定可能性について検討を行う。