

Mon. Oct 24, 2022

Award lecture | Regular session : S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

1:30 PM - 3:18 PM JST | 4:30 AM - 6:18 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

1:30 PM - 1:33 PM JST | 4:30 AM - 4:33 AM UTC

[S20] President speech

1:33 PM - 1:48 PM JST | 4:33 AM - 4:48 AM UTC

[S20] Award ceremony

1:48 PM - 2:08 PM JST | 4:48 AM - 5:08 AM UTC

[S20-01] [Invited] *Development of Strong Motion Prediction and its Utilization**Kojiro IRIKURA¹ (1. Aichi Institute of Technology, Disaster Prevention Research Center)

2:08 PM - 2:28 PM JST | 5:08 AM - 5:28 AM UTC

[S20-02] [Invited] Multi-discipline Subduction Earthquake Science

*Suguru YABE¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

2:28 PM - 2:48 PM JST | 5:28 AM - 5:48 AM UTC

[S20-03] [Invited] Elucidation of Earthquake Rupture Process and Advancement of Ground Motion Model via Data-driven Approach

*Hisahiko KUBO¹ (1. NIED)

3:08 PM - 3:13 PM JST | 6:08 AM - 6:13 AM UTC

[S20] LOC president speech

3:13 PM - 3:18 PM JST | 6:13 AM - 6:18 AM UTC

[S20] Next LOC president speech

Award lecture | Regular session : S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

📅 Mon. Oct 24, 2022 1:30 PM - 3:18 PM JST | Mon. Oct 24, 2022 4:30 AM - 6:18 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

1:30 PM - 1:33 PM JST | 4:30 AM - 4:33 AM UTC

[S20] President speech

1:33 PM - 1:48 PM JST | 4:33 AM - 4:48 AM UTC

[S20] Award ceremony

1:48 PM - 2:08 PM JST | 4:48 AM - 5:08 AM UTC

[S20-01] [Invited] *Development of Strong Motion Prediction and its Utilization*

*Kojiro IRIKURA¹ (1. Aichi Institute of Technology, Disaster Prevention Research Center)

2:08 PM - 2:28 PM JST | 5:08 AM - 5:28 AM UTC

[S20-02] [Invited] Multi-discipline Subduction Earthquake Science

*Suguru YABE¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

2:28 PM - 2:48 PM JST | 5:28 AM - 5:48 AM UTC

[S20-03] [Invited] Elucidation of Earthquake Rupture Process and Advancement of Ground Motion Model via Data-driven Approach

*Hisahiko KUBO¹ (1. NIED)

3:08 PM - 3:13 PM JST | 6:08 AM - 6:13 AM UTC

[S20] LOC president speech

3:13 PM - 3:18 PM JST | 6:13 AM - 6:18 AM UTC

[S20] Next LOC president speech

Award lecture | Regular session | S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

Mon. Oct 24, 2022 1:30 PM - 3:18 PM ROOM A (1st floor (Kaderu Hall))

1:30 PM - 1:33 PM

[S20] President speech

Award lecture | Regular session | S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

Mon. Oct 24, 2022 1:30 PM - 3:18 PM ROOM A (1st floor (Kaderu Hall))

1:33 PM - 1:48 PM

[S20] Award ceremony

[Invited] *Development of Strong Motion Prediction and its Utilization*

*Kojiro IRIKURA¹

1. Aichi Institute of Technology, Disaster Prevention Research Center

強震動の予測は、大地震時の災害を軽減するために必要不可欠な研究であり、日本の地震学にとっても最重要課題の1つとして長い歴史をもっている。強震動の計器観測は、日本では1950年代に工学の研究者によるSMAC-A型強震計(高橋, 1953)の開発に始まり、観測記録の統計的な解析により経験的手法で強震動予測式(例えば、金井, 1967)が構築され、構造物の耐震性向上に役立てられてきた。一方、地震学的には強震動研究は「地震とは何か」の研究と結び付けて発展してきた。「地震は断層運動である」という考えは、1891年の濃尾地震以来、地質学者によるフィールド研究で提唱されたが、地震波観測と矛盾があるとして、日米の研究者間で大論争となっていた。断層現象と地震波生成の観測事実が一致することが物理学の理論として確立したのはDe Hoopによる断層(Dislocation)と地震波のための表現定理(1958)で、日本でも同様の考えが丸山卓男(1963)により定式化された。断層運動が地震の原因であることが地震学や地質学で広く認められるようになるのに70年の年月を要したことになる(三雲, 1992)。大地震の強震動を断層運動に結びつける定量的評価の研究は1960年代の後半から1970年代にかけてAki、Brune、Kanamoriをはじめとする多くの地震学者によりなされ、運動学的モデルによる地震動のシミュレーションによる断層パラメーターの評価や観測記録の統計的な解析による地震動のスケーリング則の構築などの重要な成果が得られた(例えば、Aki, 1967; Brune, 1970; Kanamori and Anderson, 1975)。しかしながら、断層や強震動に関して、地質学者によるフィールド研究、工学者による経験的研究、地震学者による物理学的研究は独立になされ、それらの分野横断的研究は殆どなされなかった。例えば、地震学では、数秒から数十秒の長周期地震動を対象とした地震動研究が行われたが、木造家屋や中低層のコンクリートや鉄骨のビルディングなどの建築構造物や橋梁、トンネル、土構造物などの土木構造物の耐震に重要な数秒から数分の1秒の短周期地震動に研究は殆ど行われてこなかった。その理由は、このような短周期地震動のデータは定量的な解析が可能な形で観測がなされてなかったこと、にある。強震動研究が飛躍的に前進したのは、1978年にUNESCOと国際地震工学会により強震動観測に関する国際的なワークショップが開かれ、地震災害軽減のために高密度強震動観測網の必要性が提言され、観測網が国際的に整備されてきたことにある(Iwan, 1978)。米国では1980年代からUSGSが中心となって活断層の集中するカリフォルニアを中心に高密度強震観測網が構築され、日本ではやや遅れて1995年の阪神淡路大震災を受けて強震動観測網が全国に配置され、つづいて台湾、中国、イタリアなどの地震国で強震動観測網が作られた。2000年代になると、高密度強震観測網の整備により、日本国内でも大地震の震源近傍で強震動記録が得られるようになり、地震時の断層運動のすべり分布の詳細が強震動記録を用いた逆問題の解析結果として次第に明らかになってきた。これらの断層運動の研究成果に基づいて、内陸地殻内地震の断層すべり分布の特性化の考えがまとめられた(Somerville et al., 1999; 入倉・三宅, 2001; Irikura and Miyake, 2011)。強震動記録を用いたインバージョンによるすべり分布から、一定の規範を設定して断層震源の総面積、アスぺリティ(強震動生成域)と背景領域の推定を行い、①断層面積と地震モーメントの関係、および②アスぺリティ面積と地震モーメントの関係、という2つの重要なスケーリング則が明らかにされた。これらの2つの断層震源パラメータに関するスケーリング則に基づいて、1995年兵庫県南部地震など最近の内陸地殻内地震の断層震源のモデルの構築および強震動評価がなされ、シミュレーションと観測記録の比較により、モデル化の有効性が検証された(例えば、Kamae and Irikura, 1998; Miyakoshi et al., 2000; Miyake et al., 2003)。我々は、上記の断層震源のスケーリング則や強震動評価手法に加えて、活断層に関する地質学的フィールド研究や工学的な強震動データ解析・処理の技術と結び付けて、大地震時の強震動予測手法(強震動予測レシピ)の開発を行ってきた(図1参照)。この「レシピ」は同一の情報が得られれば誰がやっても同じ答えが得られる強震動予測の標準的な方法論を目指している。現状ではいまだ開発途上であり、地震関連データの蓄積と動力学的断層破壊過程に関する理論および実験的研究の発展により、修正を加え、改訂されていくことを前提としている。今後、地形・地質学、地震学・地震工学、情報科学など分野横断的な視点で研究を発展させていくことが必要と考える。謝辞：私の日本地震学会賞の受賞は、日本における強震動観測網の構築、強震動データの収集、強震動生成の理

論および解析、強震動による災害の軽減などの研究の発展に係ってこられた方々のご協力とご支援によるものです。受賞対象となった本研究は、私が京都大学防災研究所在籍中に、私の研究室の卒業生を含めた多くの共同研究者の協力により行ったものであり、本研究に係った関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

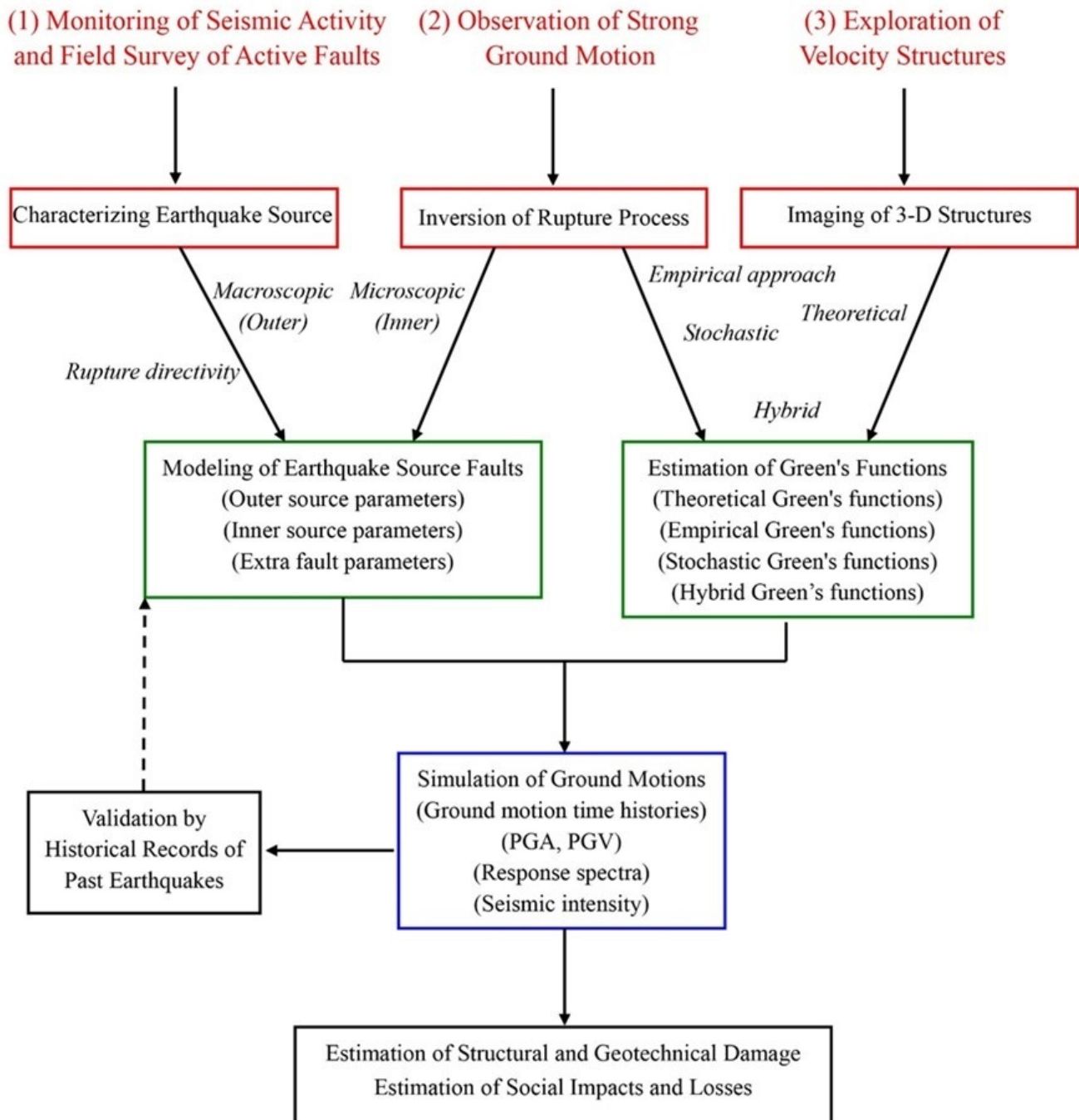


Figure 1. Framework of predicting strong ground motions for earthquake scenarios

[Invited]Multi-discipline Subduction Earthquake Science

*Suguru YABE¹

1. Geological Survey of Japan, AIST

沈み込み帯では大小様々な普通の地震やスロー地震など多様な断層滑り現象が発生している。これらの現象の複雑な発生メカニズムの理解は、学術的に興味深い研究対象であると同時に、社会防災上も重要な研究対象である。地震研究における困難の一つは、震源全体の直接観察が難しい点である。そのため、地震動や地殻変動などの地球物理学的観測、数値モデルで地震発生を再現するシミュレーション研究、陸上に露出する過去の地震断層（陸上アナログ）の地質学的観察、限定的ながらも現世の地震断層を直接観察しようとする科学掘削など、様々なアプローチを組み合わせることで震源物理や地震発生環境の解明が試みられている。著者は学生時代から現職に至るまで、東京大学大学院理学系研究科、海洋研究開発機構（JAMSTEC）、産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)の3機関において、それぞれの機関の特色に合わせたアプローチで研究を行ってきた。本講演では、著者のこれまで・現在の研究活動について紹介する。

・東京大学大学院理学系研究科（大学院生）

東大では、深部スロー地震、特に低周波微動を研究対象として地震学的な研究に取り組んだ。国内外の沈み込み帯の大量の地震観測データを用いて、複数の沈み込み帯における微動サイズの空間分布を系統的に明らかにし、スロー地震の多様性を明らかにした(Yabe et al., 2014, JGR)。また、震源決定や地震波エネルギー推定などの地震波解析だけでなく、沈み込み帯の温度構造計算(Yabe et al., 2014, EPS)や、潮汐応力との比較によるカタログ解析(Yabe et al., 2015, JGR)など、地震学の中でも多角的なアプローチを用いてスロー地震の震源物理や地震発生環境の解明を目指した。また、数値モデルを用いた断層破壊計算にも取り組んだ。スロー地震で提案されていた細かな空間スケールの摩擦不均質というアイデアを通常地震発生断層に取り入れることで、多様な前駆的地震現象(Yabe & Ide, 2018, PEPS)や本震縁辺部での余震生成(Yabe & Ide, 2018, GRL)などを説明できることを示した。

・JAMSTEC（ポスドク）

JAMSTECでは、DONETなどの海域地震観測データを用いたスロー地震解析に取り組んだ。様々な環境（温度・圧力など）のスロー地震を統一的な解析手法・指標を用いて比較することで、スロー地震に共通の性質と発生環境に左右される特徴を抽出することを目指した。その結果、スロー地震のScaled Energyが発生環境に依存しないスロー地震共通の性質であることを明らかにした他、南海トラフでは低周波微動サイズの空間分布が巨大地震の固着域を挟んで対称的になっていることを見出すなど、スロー地震が発生環境に系統的に左右されている様子も明らかにした(Yabe et al., 2019, JGR; Yabe et al., 2021, Tectonophysics)。また、地球深部探査船「ちきゅう」への乗船機会を契機に、それまで地球物理学の範囲で閉じていた自身の研究領域が地質学を含む広い領域に拡張された。岩石試料のCT画像解析や物性測定データ解析により、現世のスロー地震断層の変形挙動(Kimura et al., 2022, G-cubed)や付加体形成に伴う岩石圧密過程(Yabe et al., 2022, JGR)について検討を進めた。

・GSJ（現職）

GSJは西南日本において歪観測網を展開している。歪は地殻変動から地震動に至るまでの広帯域観測データとして有効である。地殻変動データとしてはGNSSよりも小さな地殻変動に感度があり、スロー地震の広帯域な振る舞いを詳細に明らかにできるのではないかと考えている。また地震動データとしては、モーメントテンソルの推定精度向上に資するのではと期待している。また、地質調査のナショナルセンターであるGSJの一員として、スロー地震の陸上アナログ研究にも取り組み始めている。四万十帯のスロー地震陸上アナログにおいて、スロー地震震源域やその周囲のプレート境界周辺における変形や流体の関与を系統的に明らかにしていきたいと考えている。他に、地質データを統計的なモデルを用いてクラスタリングすることで、定量的な地質図

作成を目指した研究も進めている(Yabe et al., 2022, EPS). 沈み込み帯地震学とは別に, GSJ在籍中に始まったコロナ禍を契機として, 地震計を用いた人間活動モニタリング研究にも着手した. コロナ禍開始当初の人間活動低下に伴ってMeSO-netで生じた地震計ノイズ低下(Yabe et al., 2020, EPS)を明らかにした他, サッカースタジアムでサポーターがジャンプすることにより励起された振動を用いて都市環境下の地下構造を推定できる可能性を示している(Yabe et al., 2022, EPS) .

[Invited]Elucidation of Earthquake Rupture Process and Advancement of Ground Motion Model via Data-driven Approach

*Hisahiko KUBO¹

1. NIED

本発表では、発表者がこれまでに取り組んできた、①大地震の震源過程の解明に関する研究、②強震動の成因と予測に関するデータ駆動型研究に関して紹介する。それぞれの研究とも観測データを出発点としており、発表においては観測データに触れることの楽しさに関しても言及したい。

① 大地震の震源過程の解明に関する研究

地震の際に取得される地震波形や地殻変動などの観測データから、現実的な地下速度構造モデルに基づくGreen関数とベイズ統計学に基づく逆解析手法によって、地震時の静的もしくは動的な断層すべり分布を推定する震源過程解析は、大地震の性質を理解する上で基礎的かつ重要な情報を提供してきた。発表者はこれまでに2011年東北地方太平洋沖地震や2011年茨城県沖地震、2016年熊本地震等など数多くの大地震に関して地震波形記録等に基づく解析を行い、それらの断層破壊過程と地震波放射の詳細を明らかにしてきた（例えばKubo & Kakehi 2013; Kubo & Nishikawa 2020; Kubo et al. 2013, 2016b, 2016c, 2017, 2020a, 2020c）。さらには震源過程解析で得られた断層破壊モデルを用いて、沈み込む海山や隣り合う他のプレートが断層破壊に与える影響を論じた研究（Kubo et al. 2013; Kubo & Nishikawa 2020）や、岩手県沖・茨城県沖のプレート境界大地震における本震時の断層破壊領域および前震・余震の発生域とスロー地震活動域との空間的な関係を調べた研究（Kubo & Nishikawa 2020）、プレート境界大地震である2011年茨城県沖地震において放射された地震波の周期特性と断層深さの依存関係の詳細を調べた研究（Kubo et al. 2020c）など、プレート境界の震源物理に関する重要な知見を得てきた。加えて情報学的な知見に基づく新たな解析手法の開発にも挑戦しており、Kubo et al. (2016a)では地震波形を用いた震源過程解析へのフルベジアンアプローチの導入を図っている。またKubo et al. (2022)では、未知パラメータとその最適な次元を同時に推定するトランスディメンショナルインバージョンが断層すべり分布推定において有用であることを示すとともに、得られる震源像およびその不確定性に関する情報が解析手法に依存して大きく異なりえることを示した。

② 強震動の成因と予測に関するデータ駆動型研究

地震による揺れ（地震動）は、地震時の断層破壊運動による影響を表す震源特性・断層から放射された地震波が地下を伝播していくことによる影響を表す地震波伝播特性・地表付近の浅い地盤構造が入射した地震動を増幅・複雑化させる影響を表すサイト特性の組み合わせによって表現できる。そのため観測された地震動を理解するにはこれら三つの特性をそれぞれ調べる必要がある。また得られた知見に基づいて三つの特性を適切に仮定することで、地震動の予測につなげることができる。①の震源過程解析は一つ目の震源特性の理解に向けた試みの一つと言える。加えて、未解明なことが多い海域地震観測網の地震動増幅特性や強震時の非線形地盤応答の詳細（Kubo et al. 2018, 2019）や、小笠原諸島周辺の深発地震による地震動分布を緻密に調べた上で、日本列島全体に適用可能な地震動予測式の提案（久保ほか2017）、リアルタイム震度時系列の簡易的な予測手法の提案（久保・功刀2022）などの研究を発表者は行ってきた。

さらには近年発展著しい機械学習を地震ピックデータと組み合わせ、地震研究および強震動研究のパラダイムシフトに向けたデータ駆動型研究も進めている。Kubo et al. (2020b)では地震動指標の予測問題に取り組み、強い揺れの記録が少ないという地震動データセットに対して機械学習を行うと、防災上重要な強震動が過小評価される予測バイアスが生じることを明らかにした。この問題への解決策として、物理モデルに基づく従来の予測式による予測と観測の残差を学習した機械学習モデルを作成し、それと従来の予測式を組み合わせたハイブリッド予測アプローチを提案して、単一の手法に比べて優れた予測性能が得られることを示した。また更なる応用としてのSite specificな地震動モデルの構築や、教師なし機械学習の適用によるモーメントテンソル解カタログのデータ構造の可視化、地震学分野のブラックボックス最適化問題へのベイズ最適化の適用など

を現在進行形で行っている。

謝辞：気象庁や国土地理院、防災科学技術研究所をはじめとする国内外の研究機関による観測データを用いました。観測網の構築・維持・管理に関わる皆様に記して感謝致します。

Award lecture | Regular session | S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

Mon. Oct 24, 2022 1:30 PM - 3:18 PM ROOM A (1st floor (Kaderu Hall))

3:08 PM - 3:13 PM

[S20] LOC president speech

Award lecture | Regular session | S20. Commemorative lectures from SSJ award recipients

[S20] PM-1

chairperson: Takuto Maeda, Takuya Nishimura (Kyoto University)

Mon. Oct 24, 2022 1:30 PM - 3:18 PM ROOM A (1st floor (Kaderu Hall))

3:13 PM - 3:18 PM

[S20] Next LOC president speech