

Sat. Oct 16, 2021

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

9:00 AM - 10:30 AM JST | 12:00 AM - 1:30 AM UTC | ROOM A ROOM A

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

9:00 AM - 9:01 AM JST | 12:00 AM - 12:01 AM UTC

[3A01-03-1add] Award ceremony

9:01 AM - 9:04 AM JST | 12:01 AM - 12:04 AM UTC

[3A01-03-2add] President speech

9:04 AM - 9:19 AM JST | 12:04 AM - 12:19 AM UTC

[3A01-03-3add] Award ceremony

9:19 AM - 9:39 AM JST | 12:19 AM - 12:39 AM UTC

[S20-01] [Invited] Seismic Source Physics from Multiple Perspectives

○ Naofumi ASO¹ (1. Tokyo Institute of Technology)

9:39 AM - 9:59 AM JST | 12:39 AM - 12:59 AM UTC

[S20-02] [Invited] Earthquake cycle simulations toward an understanding of earthquake nucleation mechanisms and forecasting

○ Makiko OHTANI¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

9:59 AM - 10:19 AM JST | 12:59 AM - 1:19 AM UTC

[S20-03] [Invited] Study of broadband variations inside the earth based on multi-station continuous seismic and geodetic observations

○ Ryota TAKAGI¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

10:19 AM - 10:20 AM JST | 1:19 AM - 1:20 AM UTC

[3A01-03-7add] Award ceremony

10:20 AM - 10:30 AM JST | 1:20 AM - 1:30 AM UTC

[3A01-03-8add] Discussion

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

📅 Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM JST | Sat. Oct 16, 2021 12:00 AM - 1:30 AM UTC | 🏠 ROOM A

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

9:00 AM - 9:01 AM JST | 12:00 AM - 12:01 AM UTC

[3A01-03-1add] Award ceremony

9:01 AM - 9:04 AM JST | 12:01 AM - 12:04 AM UTC

[3A01-03-2add] President speech

9:04 AM - 9:19 AM JST | 12:04 AM - 12:19 AM UTC

[3A01-03-3add] Award ceremony

9:19 AM - 9:39 AM JST | 12:19 AM - 12:39 AM UTC

[S20-01] [Invited] Seismic Source Physics from Multiple Perspectives

○ Naofumi ASO¹ (1. Tokyo Institute of Technology)

9:39 AM - 9:59 AM JST | 12:39 AM - 12:59 AM UTC

[S20-02] [Invited] Earthquake cycle simulations toward an understanding of earthquake nucleation mechanisms and forecasting

○ Makiko OHTANI¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

9:59 AM - 10:19 AM JST | 12:59 AM - 1:19 AM UTC

[S20-03] [Invited] Study of broadband variations inside the earth based on multi-station continuous seismic and geodetic observations

○ Ryota TAKAGI¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

10:19 AM - 10:20 AM JST | 1:19 AM - 1:20 AM UTC

[3A01-03-7add] Award ceremony

10:20 AM - 10:30 AM JST | 1:20 AM - 1:30 AM UTC

[3A01-03-8add] Discussion

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

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM ROOM A (ROOM A)

9:00 AM - 9:01 AM

[3A01-03-1add] Award ceremony

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

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM ROOM A (ROOM A)

9:01 AM - 9:04 AM

[3A01-03-2add] President speech

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

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM ROOM A (ROOM A)

9:04 AM - 9:19 AM

[3A01-03-3add] Award ceremony

[Invited] Seismic Source Physics from Multiple Perspectives

*Naofumi ASO¹

1. Tokyo Institute of Technology

地震現象は、断層すべりという一見単純な現象として知られているが、実際には複雑で多様な現象である。そうした中にも普遍性を見出し、物理的な理解を目指すのが震源物理学である。私はこれまで、データ解析・シミュレーション・物理モデリング・臨時観測といった多様なアプローチにより、狭義の地震現象を主たる研究対象としながらも、広義の地震波動源の物理的理解に取り組んできた。

火山型深部低周波地震は、地殻下部での唯一の地震波動生成現象であり、その物理メカニズムの解明は、地殻深部からの流体供給過程等の理解に必要不可欠である。私は、このような特殊な地震を対象として、震源メカニズムや地震活動という観点から普遍的な特徴を探り [Aso et al., 2013; Aso and Ide, 2014]、そうした特殊な地震の発生を駆動する物理モデルとして、マグマの冷却による熱応力の影響を提唱した [Aso and Tsai, 2014]。

また、断層破壊力学分野において、確率論的な考え方の導入を進めた。地震発生に関わる物理量や物理法則をすべて厳密に決定することは不可能で、決定論的議論には限界がある。こうした不確定性を確率論的な擾乱として考慮することで、より現実的な地震のモデル化手法を提案した [Aso et al., 2019]。シンプルなモデルながらも、クラック的・パルス的な通常地震のほか、スロー地震の細かな特徴まで再現することができ、断層破壊力学の常識を一変させる可能性を秘める。

多様な対象やアプローチを取り扱う中で、意識しつつけていることは、従来の固定観念にとらわれない多角的な視点である。例えば、アクティブなマグマティズムに起因する地震現象ではなく、マグマが冷える過程で地震が発生する可能性を提唱したり、決定論的な運動方程式が用いられ続けてきた断層破壊力学において、確率論的な運動方程式を導入したりするなど、従来の固定観念にとらわれずに、新たな方向性を切り開こうとしてきた。

今回の発表では、上記の研究内容を初めての方にもわかりやすく紹介したい。また、これまでの研究生活を取り巻いてきたエピソードに加え、私の考える研究像や研究者像についてもお話することで、特に学生をはじめとした若手の研究者にとって、研究の方向性や研究への取り組み方について考えるきっかけとなれば幸いである。

[Invited] Earthquake cycle simulations toward an understanding of earthquake nucleation mechanisms and forecasting

*Makiko OHTANI¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

断層面上では、様々なサイズの地震やゆっくりすべり(SSE)を含む多様な時空間スケールのすべり現象が密に分布し、これらのすべり現象の相互作用を通して巨大地震がどのような発生過程を辿るかを調べることは、地震発生予測に繋がる可能性がある。実験できない地震の発生機構を調べるには、数値計算が強力な研究手段である。著者は、巨大地震発生領域近傍の様々な断層すべり活動から巨大地震の発生を予測することを目指して、地震の繰り返しを計算機上で模擬する地震発生サイクルシミュレーション(Earthquake Cycle Simulation; ECS)を行ってきた。本講演では、著者がこれまで行ってきた、ECS計算手法の高度化、地震発生機構の解明とそれに基づく地震発生予測に関する取り組みを紹介する。

1. 計算手法の高度化

異なるすべり現象の相互作用を考慮したECS計算の実施には、計算の大規模化が問題であり、現実的な計算コストの新手法開発が必要であった。著者は応用数理分野で提案された密行列圧縮手法であるH行列法(Hackbush, 1999)を導入することにより、ECSの計算時間・メモリ量を離散小断層数 N に対して $O(N^2)$ から $O(N) \sim (M \log N)$ へと大幅に削減することに成功した(Ohtani et al., 2011)。

また、この大規模ECSに地表面形状を導入する新たな手法の構築を行った。全無限媒質を仮定し、地表面の位置に地表境界条件を満たす仮想的な断層を配置することで、任意の地表面形状下でのすべり応答関数を数値的に求める(Ohtani and Hirahara, 2015)。本手法は上記H行列の適用を妨げず、沈み込み帯の現実的な幾何形状を考慮した大規模ECSが実施可能である。

2. 地震発生機構の解明と地震発生予測

著者はこれまでECSモデルの構築を通して、特に巨大地震とその近傍で発生する長期的SSEとの関係を明らかにし、巨大地震発生予測に繋がる知見が得られないか調べる研究を行ってきた。2011年東北地方太平洋沖地震(M9)に関する研究では、SSEを含む断層すべりの時系列を定性的に説明するモデルを構築し、本震発生に至る過程を調べた(Ohtani et al., 2014)。SSEは地震のサイクル後半に発生するが、M9地震の発生タイミングは震源域内大すべり域の固着状態が最終状態に近いかどうか強く支配され、SSE発生が巨大地震の前兆現象とは言えない結果となった。本研究はH行列を適用したECSによって初めて実施可能となったものである。

また1946年昭和南海地震で観測された可能性のある顕著な前駆的すべりについて、カットオフ速度以上のすべりで摩擦強化する摩擦則を用いて深部SSEと巨大地震が自発的に発生するECSモデルを構築した。このモデルでは、カットオフ速度の脆性延性遷移域での深さ変化が原因となり深部SSEが巨大化し、巨大地震の発生に至る前駆すべりとなった(Ohtani et al., 2019a)。ここでも、深部巨大SSEは必ずしも直後の地震を誘発するとは限らない結果となったが、網羅的な事例計算に基づき算出した巨大SSE後の地震発生確率は、SSE直後3日間は警報レベルに高いがそれ以後定常载荷レベルに戻ることがわかった。この数字を直接現実当てはめることはできないが、本研究は地震の物理モデルに依拠した地震発生警報の発出・解除の仕方の一つの方方向性を示すものではないかと考えている。

SSEの周期性に注目した研究では、同期現象と呼ばれる非線形物理現象が現れることが見出された(Ohtani et al., 2019b)。近傍の周期的に発生するSSEによって周期的に変化する応力载荷レート下で発生する大地震のタイミングを一自由度モデルで調べたところ、地震の発生間隔が応力载荷のリズムに支配され、地震周期がSSE周期の丁度整数倍に同期する現象(同期現象)が観察された。一定応力载荷レート下では地震発生間隔は摩擦強度に比例するが、周期的応力载荷下では少しの摩擦強度の変化よりも、载荷のリズムが優先される。このような現象が現実でも起きている可能性がある。

[Invited] Study of broadband variations inside the earth based on multi-station continuous seismic and geodetic observations

*Ryota TAKAGI¹

1. Graduate School of Science, Tohoku University

はじめに

近年の高密度地震・地殻変動観測網における連続観測データは、新たな解析手法の開発や発展を促し、また新現象の発見につながるなど、地震学の発展の基礎となっている。筆者は、地球内部構造の時空間変化やプレート境界における非地震性すべりなどの地球内部における変動現象の解明のため、多点連続観測データに基づく解析手法の開発や高度化、およびそれらを大量の実データへ適用した研究を行ってきた。講演では、これまでの研究で得られた知見に加えて研究の背景や経緯についても紹介したい。

地震波干渉法の高度化と地球内部構造の時空間変化に関する研究

地震波干渉法は、多点連続観測データを有効利用し地球内部構造の時空間変化を明らかにするための有力なツールである。地震波干渉法の利点は地球内部構造の時間変化の検出である。筆者らは、地震波干渉法を用いて2008年岩手・宮城内陸地震と2011年東北地方太平洋沖地震による地震波速度低下を検出するとともに、地震波速度変化の空間分布や強震動と相関から速度低下の原因として強震動の寄与が大きいことを示した (Takagi & Okada 2012; Takagi et al. 2012)。地震波干渉法のもう一つの利点は構造解析周波数の広帯域化であるが、短周期地震計を用いた稠密観測では観測記録に含まれるコヒーレントな機器ノイズが解析上の問題となる。筆者らは、ノイズの精査と理論的な考察に基づき機器ノイズの効果的な除去手法の開発し、地震波干渉法の適用範囲を拡大させることに成功した (Takagi et al. 2015; 2021)。さらに、筆者らによる波動理論に基づく実体波と表面波の分離手法の開発 (Takagi et al. 2014) や脈動の指向性推定手法の開発 (Takagi et al. 2018) も、地震波干渉法をさらに発展させ、今後の地球内部構造の時空間変化のさらなる理解につながると期待される。

スロースリップイベント活動様式に関する研究

スロー地震は、地震・地殻変動の多点連続観測による最大の発見の一つである。筆者らは、地殻変動データの観察から、スロー地震の中でも数ヶ月から数年程度と最も時間スケールの長い長期的スロースリップイベント（長期的SSE）が四国中部の微動発生域と固着域の間の領域において繰り返し発生すること示した (Takagi et al. 2016)。また、長期的SSEを系統的に検出する新たな手法を開発し、南海トラフにおける詳細な長期的SSE活動様式を明らかにした (Takagi et al. 2019)。これまで一部の領域でのみ検出されていた長期的SSEが普遍的な現象であることを示すとともに、長期的SSEと固着分布の空間相関性および長期的SSEの大規模移動現象を発見した。これらは巨大地震と長期的SSEとの関連性を示唆する結果である。また、長期的SSEの活動は、隣接領域で発生する深部低周波微動や繰り返し地震活動の時間変化を理解する上でも重要である (Takagi et al. 2016; Uchida et al. 2020)。

おわりに

多点観測ではシグナルの空間的相関性を用いることで普通では見えない微小なシグナルを捉えることが可能になる。また、観測研究の最先端では必然的にノイズとの戦いになることも多いため、大量の観測データを上手く、有効に、効率的に使う手法が必要である。S-net等の海域における新たな観測網やDASに代表される新技術を用いた観測、超多点稠密観測等の発展が進む中で、観測データのもつ情報を可能な限り引き出し、地球内部の様々な変動現象の解明に貢献できるような研究を今後も行なっていきたいと考えている。

謝辞

防災科学技術研究所、国土地理院、気象庁、東北大学の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

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM ROOM A (ROOM A)

10:19 AM - 10:20 AM

[3A01-03-7add] Award ceremony

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

AM-1

chairperson: Ryosuke Ando (University of Tokyo)

Sat. Oct 16, 2021 9:00 AM - 10:30 AM ROOM A (ROOM A)

10:20 AM - 10:30 AM

[3A01-03-8add] Discussion