

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：32103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330053

研究課題名(和文)地震活動に基づく地中の物理パラメータの空間分布推定

研究課題名(英文) Spatial distributions of physical parameters in depth inferred from seismic activity data

研究代表者

岩田 貴樹 (Iwata, Takaki)

常磐大学・公私立大学の部局等・准教授

研究者番号：30418991

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：大地震発生時における変位の空間分布や「摩擦パラメータ」と呼ばれる物理パラメータの空間的な違いを求める統計的手法の開発と、その実データへの適用を行った。本研究の特徴の1つは、応力状態など、地中の情報を反映すると考えられるものの、十全には解析されていない地震活動をデータとする点である。実際の余震データに対する解析の結果、既存の研究結果と矛盾しない変位の空間分布を得ると共に、特にプレート境界を対象とした解析では、摩擦パラメータの、有意な深さ依存性を見出すことが出来た。

研究成果の概要(英文)：This project aimed to develop a statistical method to estimate the spatial distribution of slip of a large earthquake and to evaluate the spatial heterogeneity of frictional parameter. A uniqueness of the developed method is to use seismic activity data, which would contain physical information such as stress state in depth but has not been analyzed thoroughly. It was applied to the real aftershock sequences of several large events, in particular ones at a plate boundary. As a result of the analysis, inferred slip distributions are consistent with those estimated in previous studies. It is also revealed that the dependency of the frictional parameter upon depth is statistically significant.

研究分野：統計科学および地震学

キーワード：統計科学 地震 点過程解析 ベイズ統計 固体地球物理学 マルコフ連鎖モンテカルロ法 地震サイクル 摩擦パラメータ

## 1. 研究開始当初の背景

プレート境界では、大地震が繰り返し起きており、この繰り返しは「地震サイクル」と呼ばれる。あるサイクルでは単独で地震を起こした領域が、別のサイクルでは隣り合った領域を巻き込み、連動型と呼ばれる巨大地震へと成長するなど、サイクルごとに破壊の過程が異なるような複雑な発生様式があることが、近年の研究で分かってきた。研究開始時にはまだその発生から間がなかった 2011 年春の東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）は、その連動型地震の一例と考えられている。また、大地震を繰り返し起こしている紀伊半島沖および四国沖では、それぞれ単独で 1944 年と 1946 年にマグニチュード (M) 8 に近い被害地震が起きている。しかし、今世紀前半～半ば頃と予測されている次の地震サイクルでは、この 2 つの領域が同時に壊れる連動型地震となり、さらにはその北東側に隣接する駿河湾の領域や、南西側に位置する日向灘の領域をも破壊し、東日本大震災同様、M9 に達する超巨大地震となる可能性が指摘されている。

こういった地震サイクルの複雑さを説明する要因として考えられているのは、摩擦パラメータと呼ばれる物理パラメータの空間的な不均質である。実際、プレート境界地震の数値シミュレーションにおいては、このパラメータの空間不均質に依存して、あるサイクルでは単独領域で破壊が生じ、次のサイクルでは連動型地震が生じるような挙動が、ある程度まで再現されている。

しかし、数値シミュレーションにおいて、こういった摩擦パラメータの不均質、すなわち空間分布は、あくまで試行錯誤的に与えられており、その分布には具体的な根拠が乏しい。しかし、地中深くに計測機器を送り込み、摩擦パラメータの値を観測することは、現在の技術では、まず不可能である。他方、地殻変動データを用いたパラメータ推定も試みられつつあるが、研究開始段階では、空間一様と仮定した推定が行われている状況であり、空間的な差異を求めるには至っていない。

## 2. 研究の目的

以上のような背景を踏まえ、直接観測することが困難な地中の物理パラメータの空間分布を推定することが本研究課題の目的である。上にも記した通り、摩擦パラメータの推定が重要となるが、これには大地震（本震）発生時の変位（すべり）の空間分布を求めることが前提となるため、これも合わせて行うこととなる。

研究の特色の 1 つとして、日本では豊富に得られているにも関わらず、それが持つ情報を十分に活用し切れていない地震活動データを解析に用いることが挙げられる。これを扱うことで、多数パラメータを推定するための大規模ベイズモデルと、地震活動の定量的

表現に有効な統計手法である点過程モデルとを組み合わせることによる地中パラメータ推定の手法確立を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 地震（余震）活動から大地震（本震）発生時の変位の空間分布を求める手法の効率化

変位の空間分布推定には、「摩擦構成則」と呼ばれる物理モデルを基礎とすることで、応力変動と地震発生率の定量的関係を示す Dieterich モデル [Dieterich, J. Geophys. Res., 1994] を用いる。適当に与えた変位分布から、弾性理論に基づいて応力変動を計算し、そこから Dieterich モデルによって期待される地震の空間分布と、実際のそれとの合い具合を点過程の尤度で評価することで、変位の空間分布を最適化する。但し、その空間分布には滑らかに変動するような拘束条件を事前分布として課すことで、変位の事後分布を求めるベイズ推定を行う。

推定アルゴリズムとしては、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いる。しかし、この手法は、相当の計算コストを要するものであるため、これに関する軽減を試みることによって、効率的な滑りの空間分布に関する推定手法を開発し、実際の地震データへの適用を行う。

(2) 摩擦パラメータの不均質性の導入と、その推定

Dieterich モデルには「摩擦パラメータ」と呼ばれる、地震時の破壊（すべり）の様式に関わるパラメータが含まれている。このパラメータの値は、(1) の推定においては、解析領域内一定と仮定している。このモデルを拡張することで、摩擦パラメータに関する空間不均質を考慮出来るようにし、その上で、滑り分布を摩擦パラメータの同時推定を行う。また、尤度（周辺尤度）に基づくモデル比較により、摩擦パラメータの空間不均質が有意なものであるかどうかについても検討を行う。

(3) Dieterich モデルの改良

上記(1)(2)においては、余震の空間分布のみを情報とした推定を想定している。しかし、将来的には、余震時間情報も用いた解析を行うことが出来れば、データが本来持つ情報を十分に活用することとなり、求めたいパラメータの推定精度の向上や、さらにはその時間発展推定に寄与出来る。しかしながら、Dieterich モデルには、そもそも実際の地震（余震）活動の時間変化にあまりよく適合しないという問題点が指摘されている。それゆえ、この点を（ある程度）克服できるよう、Dieterich モデルそのものの改良に取り組む。

## 4. 研究成果

(1) 「研究の方法」に記した(1)について、

特に問題となったのは、「変位の空間分布の滑らかさ」という拘束の重みをどう求めるかであった。重みを変えることで、結果として得られる変位から計算される地震の  $M$  が変わることが経験的に分かっており、これに合うよう、推定すればよいことは既に見当が付いていた。

しかし、これまでは、重みを様々に変え、その中から、地震波など他の研究から得られた  $M$  に合う結果を選ぶことを行っていた。即ち、重みを一種のグリッドサーチ的な方法で決めていたため、多数回の MCMC による計算が必要となり、結果として、その計算コストが多大なものとなっていた。

そこで、 $M$  の情報も事前分布として与え、それに合うよう、拘束の重みを事後分布推定するよう工夫する、すなわち重みの推定もベイズ的に行うことで、計算コストの軽減を図った。 $M$  の平均は Global CMT カタログと呼ばれる全地球の大地震を網羅した地震カタログから取り、その誤差(標準偏差)を Kagan [2010, Tectonophysics] に基づいて与えることとした。

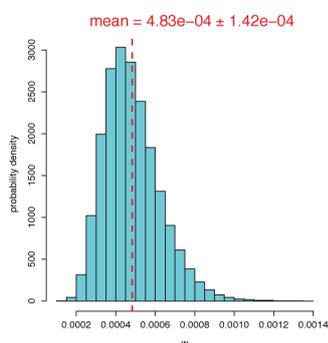


図1: 滑らかさの拘束の重み ( $w$ ) に対して、MCMCで得られた事後分布。その平均を赤点線で示す。

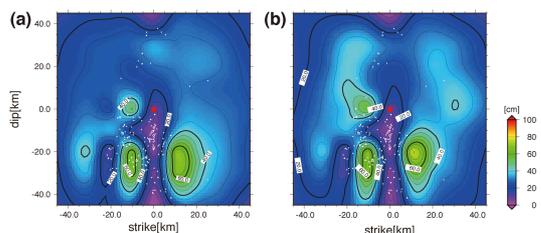


図2: 2005年宮城県沖地震に対して得られた変位の空間分布の事後分布平均。(a)滑らかさの重みをベイズ推定した場合、(b)グリッドサーチ的に与えた場合。赤星印は気象庁による本震震源の位置を、白丸は解析に用いた余震をそれぞれ表す。

例として、図 1 に 2005 年宮城県沖地震に対して得られた、滑らかさの拘束の重みの事後分布を示す。なお、グリッドサーチ的に与えた場合の重みは  $4.0 \times 10^{-4}$  であり、それと大きく変わらない結果となっている。また、比較として、拘束の重みをベイズ的に行った場合(図 2a)と、グリッドサーチ的に行った場合(図 2b)の変位分布推定の結果も示す。細かい差異はあるが、両者の全体的なパターンは似通っている。また、この変位分布は、地震波など他のデータによる推定結果と整

合的である。以上のことから、拘束の重みをベイズ的に推定しても、結果に与える影響は軽微であり、計算コストの削減が実現できたとと言える。

(2) そして、摩擦パラメータの空間不均質性を導入した推定を行った。まず、試行錯誤的な試験的な計算を行ったところ、摩擦パラメータと変位量との間に trade-off が見られ、変位と同様に、摩擦パラメータも解析対象領域全体で空間変動させると、計算が不安定なものとなることが分かった。これを踏まえて、推定をいくらか簡便化することとした。具体的には、摩擦パラメータが、深さに対して線型に依存すると仮定し、その線型式のパラメータを、変位分布や、「研究成果」(1)で扱った滑らかさの拘束の重みと共にベイズ推定することとした。

解析結果の例として、2005 年宮城県沖地震と 2003 年十勝沖地震に対して推定された摩擦パラメータの深さに対する変化の様子を図 3 に示す。両者とも、深さに伴い摩擦パラメータが増加している様子が見取れる。この傾向は、これまでの地震サイクルに関する研究から示唆される摩擦パラメータの空間パターンと矛盾はなく、地震サイクルシミュレーションを行う上での必要となる情報を、実データ解析からサポートする有意義な結果と捉えることが出来る。

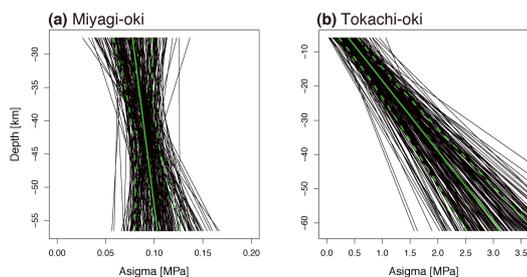


図3: 深さ依存を考慮したモデルにより得られた摩擦パラメータ ( $A\sigma$ ) の推定結果。(a)2005年宮城県沖地震、(b)2003年十勝沖地震に対するもの。緑の実線および点線がMCMCによって得られたサンプルから計算した摩擦パラメータの平均値と標準偏差を示す。黒細線はMCMCサンプルからランダムに抽出した200サンプルによる摩擦パラメータの深さに対する変化を示す。

但し、これも図 3 から見て取れる通り、摩擦パラメータの値そのものには、地震によりかなりの違いがあり、この点に対する今後の精査が必要である。

また、モデル比較の結果としては、摩擦パラメータの空間不均質を入れた方が、2~20程度、対数周辺尤度の値が大きかった(よくなった)。よって、上に記した摩擦パラメータの深さ依存は有意なものだと言える。

なお、変位の空間分布の大局的なパターンについては、摩擦パラメータの空間不均質を入れた場合とそうでない場合とで、大きな違いはなかった。その点からも、摩擦パラメータの空間不均質を考慮したモデルは妥当性があることが示唆される。

(3) また、「研究の方法」の(3)に記した通り、Dieterich モデルに基づく余震活動モデルの改良に取り組んだ。経験的に、余震活動は、本震発生からの経過時間のべき乗に従って減衰していくことが経験的に知られ、これは「大森・宇津公式」と呼ばれている。また、そのべき指数は「 $p$  値」と呼ばれ、概ね 0.9 ~ 1.5 程度にばらつくことも知られている。一方、本研究で用いている Dieterich モデルが生み出す余震減衰は、 $p$  値が 1 に固定されたものとなっている。即ち、現実の  $p$  値のばらつきに対応出来ず、余震活動の時間変化を説明出来ないという問題がある。

この問題に対し、余震による余震（二次余震）の影響を考慮出来るよう、モデルの拡張を試みた。この拡張のためには、余震 1 つ 1 つが周辺に与える応力変化を計算する必要があるが、その計算に必要な断層の幾何情報などを小さな地震に対してまで得ることは現実的に不可能である。そこで、応力の変化量が地震の  $M$  に依存するという、地球物理学的に尤もらしいスケール則を導入する。そして、このスケール則および摩擦構成則に含まれているパラメータを、実際の地震活動に合うよう、点過程の尤度に基づいて推定することとした。

実際の地震活動に適用した例として、2004 年新潟県中越地震の余震系列を解析した例を以下に示す。図 4(a)は従来の Dieterich モデルおよび本研究で改良したモデルの強度関数を示してある。また、参考のため、大森・宇津公式による強度関数も示してある。図中にも記した通り、この余震系列に対する  $p$  値は 1.35 であり、 $p=1$  の場合とは大いに異なる。そのため、従来モデルの強度関数は、大森・宇津公式によるそれとの大きな乖離が見られる。それに対し、改良モデルは、大森・宇津公式に追従しており、 $p=1$  の場合にも対応出来ていることが分かる。図 4(b)に示した累積余震数からもそれは顕著に見て取れる。即ち、従来モデルは実際の余震活動から完全に外れているのに対し、大森・宇津公式同様、改良モデルは適合しており、ここで行った改良が有効であることが分かる。また、赤池情報量規準（AIC）に基づくモデル比較でも、改良モデルの AIC の方が従来モデルのそれより約 180 小さく、改良の有意さが分かる。

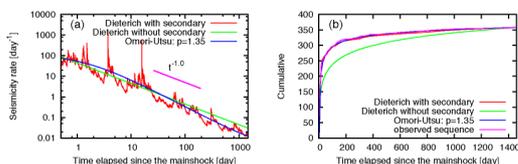


図4: 2004年新潟県中越地震の余震系列を解析した例。(a)従来のDieterichモデル(緑線)および改良したモデル(赤線)によって推定された強度関数。合わせて、べき乗で減衰するモデル(大森・宇津公式、青線)によるものも示す。(b)本震発生時からの累積の余震数。緑線、赤線、青線は(a)と同様で、紫線が実データによるものである。

この他、1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)の余震系列にも同じような解析を行ったところ、同様の結果を得ることとなり、改めて、この改良の有効性が確認出来た。

但し、この改良モデルを、ETASモデル [Ogata, J. Amer. Stat. Assoc., 1988]と呼ばれる、現時点で地震活動の標準モデルとされる統計モデルと比較したところ、AICの値にして、数十程度劣っているという結果になった。このことは、本研究の改良が、Dieterichモデルを基礎とする地震活動モデルの今後の展開に寄与するものではある一方で、さらなる改良が必要であることも示唆している。

(4) 本研究で行ったように、余震を始めとする地震活動を解析する際、扱う地震力タログの完全性が問題となる。 $M$ の小さな地震は、発する地震波の振幅が小さいため検知しにくい。このため、一般的に、ある $M$ より大きな地震は完全にカタログに記録されており、それ以下の地震は取りこぼしが生じていると考えられている。

この「地震が完全に記録されている $M$ の下限」(以下、 $M_c$ )の見極めが、地震活動解析においては重要となるが、しばしば見落とされがちなのが、様々な要因で地震検知能力に時間変化があり、 $M_c$ も時間と共に変わることである。これを考慮せず、地震検知能力あるいは $M_c$ を解析期間中一定と仮定してしまうことは、誤ったデータの取り扱いにつながり、解析結果にバイアスなど何らかの影響が生じる可能性がある。

こういったことを踏まえ、地震検知能力の時間変化、特に周期的なそれを見積もる手法を開発し、以下に示すような幾つかの事例に対する解析を行った。

地震計のノイズ源となる要因の1つであるヒトの社会活動は、昼に高く、夜は低い。このため、地震検知能力は、昼は悪く、夜は良くなるという日変化を示す。これを扱った解析では、Iwata [2008, Geophys. J. Int.]で開発した手法を発展させた。これは、Ogata & Katsura [1993, Geophys. J. Int.]による $M$ の確率分布モデルにおけるパラメータの1つである「地震が50%の確率で検知出来ている $M$ 」(以下、 $\mu$ )の時間変化を推定するものである。地震が起きた各時刻を節点とする線形スプラインで $\mu$ の時間変動を表現し、この時間変動が滑らかになるような制約を、事前分布として課しつつ各時刻における $\mu$ の値をベイズ推定する。実際の推定にはLaplace近似を用い、合わせて周辺尤度の値も得られるため、これを最大化するよう、滑らかさの重みも客観的に求める。さらにこれからベイズ型赤池情報量規準(ABIC)を計算することで、 $\mu$ の時間変化が有意であるかどうかについても判断する。

但し、ここで扱う日変化の解析では、解析期間の始端と終端とする0時と24時におい

ても、 $\mu$ が滑らかにつながる必要があるため、これに対応するよう事前分布を再構成し、対応する規格化定数も求め直すような改良が必要となった。ともあれ、2006~2010年の気象庁カタログを解析した例では、日本全体を地域分けした8144の領域(地点)のうち、約45%に相当する3753地点で、検知能力の有意な日変化を見出した。さらに、これに基づいて、 $M_c$ の空間マッピングを行い、日本全体を一括して解析するのであれば、先行研究[Nanjo et al., Bull. Seismol. Soc. Am., 2010]で求められた $M_c = 1.9$ に比べてかなり大きい2.5~3.0程度を $M_c$ とするべきであることを示した。

また、気象要因を原因とする地震検知能力の季節(年)変化に関する解析を行った。この解析では、数年以上にわたる長期間のデータを解析する必要がある。すると、地震計ネットワークの整備・再構築などに伴う、地震検知能力の長期的な変化(トレンド)の存在が無視出来ない。即ち、トレンドと季節変化が混在しており、正確な推定には、これらを分離することが必要となる。そこで、時系列解析で用いられる季節調整の考え方を、 $\mu$ の変化を、季節変化成分とトレンド成分にそれぞれ対応するスプラインの和で表すこととして、両者の同時推定を試みた。周辺尤度に基づいて滑らかさの重みを求めたり、さらにABICによって、季節/トレンド変化の有無を決めたりする点は、上述の解析例と同様である。

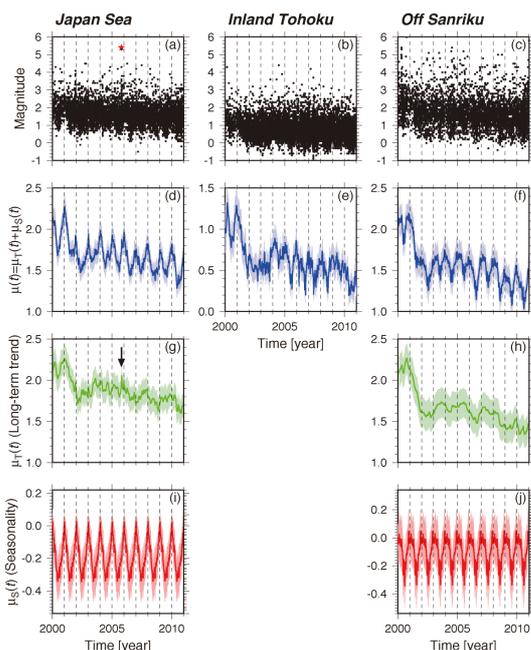


図5: 地震検知能力の季節変化と長期(トレンド)変化を同時推定した結果の例。気象庁カタログから、東北地方の地震データを解析したもの。左から順に、日本海、東北内陸、三陸沖の解析結果を示す。(a)~(c) 解析した地震のMの時間変化。(d)~(f) 推定された $\mu$ の時間変化(季節変化成分とトレンド成分の和)。(g)~(i)  $\mu$ のトレンド成分および (j)~(l) 季節変化。図中の縦の点線は各年の1月1日を表す。また、薄く塗られた部分は推定誤差を表す。なお、東北内陸については季節変化が有意でなかったため、 $\mu$ を季節およびトレンド成分に分解した例が示されていない。

ここでは、東北地方(海域を含む)に関する2000~2010年の気象庁カタログを解析し

た。その結果、日本海および三陸沖においては、地震検知能力の有意な季節変化が見られたのに対し、東北内陸には見られなかった。これは、この季節変化の原因が、冬季の季節風が海洋波浪を生じ、陸に押し寄せることによってノイズ源となるためと考えられる。即ち、海洋波浪の影響が大きい沿岸部の地震計のみ、地震検知能力の季節変化が生じ、内陸部の地震計はさしてその影響を受けないことが、海域と陸域の地震データにおける検知能力の季節変化の有無につながったと考えられる。また、分離して得られた地震検知能力の長期変化からは、2000~2001年頃にかけて、顕著な地震検知能力の向上が見取れる(図5の(e)(g)および(h))。これは、この時期に行われた高密度な地震観測網の展開に対応するものであり、こういった地震観測の実状をよく反映した結果と言える。

この他、南極・昭和基地の地震データに対する解析も行った。上述の東北地域のデータと同様に、このデータにも地震検知能力の季節変化が見られる。このデータに対しては、さらに踏み込み、その原因に対応すると考えられる気象要因の1つ(具体的には気温)を説明変数として、それによる影響と、それ以外の影響による影響を、やはりベイズ的な推定手法に基づき分離することで、地震検知能力の季節変化をモデル化する試みを行った。

なお、これら一連の地震検知能力の時間変化に関する解析・手法開発で得られた成果の一部は、「研究成果」の(3)に述べた、改良したDieterichモデルを余震活動に適用する際に使用している。

## 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)

Iwata, T., A variety of aftershock decays in the rate- and state-friction model due to the effect of secondary aftershocks: Implications derived from an analysis of real aftershock sequences, *Pure and Applied Geophysics*, 査読有, vol.173, 21-33, doi:10.1007/s00024-015-1151-5, 2016.

Iwata, T., and M. Kanao, A quantitative evaluation of the annual variation in teleseismic detection capability at Syowa Station, Antarctica, *Polar Science*, 査読有, vol. 9, 26-34, doi:10.1016/j.polar.2014.10.002, 2015.

Iwata, T., Decomposition of seasonality and long-term trend in seismological data: a Bayesian modelling of earthquake detection capability, *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, 査読有, vol. 56, 201-215, doi: 10.1111/anzs.12079, 2014.

Iwata, T., Estimation of completeness magnitude considering daily variation in earthquake detection capability, *Geophysical Journal International*, 査読有, vol. 194, 1909-1919, doi: 10.1093/gji/ggt208, 2013.

〔学会発表〕(計 14 件)

Iwata, T., Mixture of a seismicity model based on the rate-and-state friction and ETAS model, 2015 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU), 2015 年 12 月 18 日, サンフランシスコ(米国).

岩田貴樹, 摩擦構成則に基づく地震活動モデルの改良 ~ETAS モデルとの混合~, 日本地震学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 10 月 26 日, 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市).

Iwata, T., Evaluation of temporal variation in earthquake detectability with time-dependent smoothness constraint, Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) 12th Annual Meeting, 2015 年 8 月 7 日, シンガポール(シンガポール).

Iwata, T., Development of a Bayesian method to estimate a fault slip distribution of a large earthquake from the spatial aftershock distribution and rate- and state-friction law: inclusion of information on magnitude as a prior distribution, The 9th International Workshop on Statistical Seismology, 2015 年 6 月 15 日, ポツダム(ドイツ).

岩田貴樹, 摩擦構成則と余震活動を用いた本震のすべり分布推定: マグニチュードの情報を用いたベイズモデル, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市).

Iwata, T., Statistical models to describe the spatio-temporal patterns of earthquakes: Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) model and related models (招待講演), School/Workshop on Fluctuations, Slow Dynamics and Internal Time in Complex Critical Systems, 2015 年 3 月 24 日, 芸文館(岡山県・倉敷市).

Iwata, T., Estimation of completeness magnitude with a Bayesian modeling of daily and weekly variations in earthquake detectability, 2014 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU), 2014 年 12 月 19 日, サンフランシスコ(米国).

岩田貴樹, 気象庁カタログにおける地震検知能力の週周期変化と completeness magnitude, 日本地震学会 2014 年度秋季大会, 2014 年 11 月 9 日, 朱鷺メッセ(新潟県・新潟市).

岩田貴樹・金尾政紀, 南極・昭和基地における遠地地震の検知能力の年周変化, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 5 月 1 日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市).

Iwata, T., Synchronous  $b$ -value change and crustal deformation following the 2007 Noto Peninsula Earthquake, Japan, 2013 Fall Meeting of the American Geophysical Union (AGU), 2013 年 12 月 9 日, サンフランシスコ(米国).

岩田貴樹, 2007 年能登半島地震の余震活動における  $b$  値の時間変化, 日本地震学会 2013 年度秋季大会, 2013 年 10 月 9 日, 神奈川県民ホール(神奈川県・横浜市).

岩田貴樹, 地震検知能力の時間変化に関するベイズ推定, 2013 年度統計関連学会連合大会, 2013 年 9 月 11 日, 大阪大学豊中キャンパス(大阪府・豊中市).

岩田貴樹, 気象庁一元化震源における自信検知率の日・季節変化と completeness magnitude (招待講演), 2013 年 8 月 20 日, 気象庁(東京都・千代田区).

Iwata, T., A Bayesian approach to estimate the periodic change in earthquake detection capability and its applications to JMA catalogue (招待講演), The 8th International Workshop on Statistical Seismology, 2013 年 8 月 13 日, 北京(中国).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩田 貴樹 (IWATA, Takaki)

常磐大学・コミュニティ振興学部・准教授  
研究者番号: 30418991

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

尾形 良彦 (OGATA, Yosihiko)

統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター・名誉教授  
研究者番号: 7000213

遠田 晋次 (TODA, Shinji)

東北大学・災害科学国際研究所・教授  
研究者番号: 80313047