

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00054

研究課題名（和文）統計モデルと物理モデルの融合による新たな地震活動標準モデルと地震予測システム

研究課題名（英文）A new standard seismicity model with the mixture of statistical and physical models to contribute towards the earthquake forecasting system

研究代表者

岩田 貴樹（Iwata, Takaki）

県立広島大学・私立大学の部局等（庄原キャンパス）・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）：将来の確率論的地震活動予測システムの開発に寄与すべく、現在、標準的とされている地震活動モデルを改善し、新たな地震活動モデルの提案を目指した。地震活動の時間変動に関しては、統計（経験）モデルと物理モデルを混合することにより、群発地震活動に対し、従来よりよい性能を示すモデルを構築することが出来た。また、時空間変動に関しては、既存の物理モデルに適切な柔軟性を与えることにより、より現実的なモデリングを達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の大きな成果の1つは、従来の標準的地震活動モデルに比べて、よい適合性を示す地震活動モデルを提案出来たことである。これは、地震活動予測の将来展開に対する寄与が大きく、地震災害軽減へと繋がる社会的意義がある。また、予測困難な地震活動の中でも群発地震活動は特に複雑な発生パターンを示すものであり、これに対してモデル改善をなし得たことは、地震発生の背景にある複雑な物理機構の解明へと貢献し得る異議もある。

研究成果の概要（英文）：To contribute towards the development of a probabilistic earthquake forecasting system in the future, this research project aimed to improve the seismicity model, which is currently considered as a standard one, and propose a new standard model. To model the temporal pattern of earthquake occurrence, a mixture model of a statistical (or empirical) model and a physical one has been constructed. This model exhibits better performance than the current standard model, in particular for swarm-type earthquake sequences. In the modeling of the spatiotemporal pattern of earthquake occurrence, appropriate flexibility was provided to a pre-existing physical model. Consequently, more realistic modeling has been achieved.

研究分野：統計科学および地震学

キーワード：点過程解析 地震 時空間モデル 地震活動度 ベイズ統計 b値 応力

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大地震発生後、続発する余震の単位時間あたりの発生率(点過程における強度関数)がベキ乗則に従って減衰することは半世紀以上前から経験的に知られている。これを余震活動だけでなく、一般の地震活動に適合できるように拡張した点過程モデルが1980年代後半に開発されたEpidemic-Type Aftershock Sequence (ETAS)モデル[Ogata, 1988, J. Amer. Stat. Assoc.]である。このモデルは、当初、地震活動の時間変動のみに対応したものであったが、1990年代後半には時空間版へと拡張された[Ogata, 1998, Ann. Inst. Stat. Math.]。幅広い地震活動に対する総合的な適合性でETASモデルを上回る地震活動モデルは今のところなく、それゆえETASモデルは地震活動の時間/時空間パターンを表す最も標準的なモデルとして幅広い研究で使われている。

しかし、ETASモデルが実際の地震活動全てに対して、良好な適合性を常に示しているわけではない。特に群発地震活動に対しては、しばしばETASモデルが十分に適合しないケースが見受けられる。また、ETASモデルは純粋に統計的(経験的)なものであり、地震発生の背景に存在するであろう近くの物理状態に関する情報を一切考慮していない。

これに対し、「摩擦構成則」と呼ばれる物理則と具体的な物理量である地殻内の応力変動値から、地震活動を表すモデル(以下、摩擦構成則モデル)が90年代半ばに呈示されている[Dieterich, 1994, J. Geophys. Res.]。その物理的な意味が分かりやすいこともあって、これも多くの研究で用いられている。しかし、余震活動の時間減衰の多様性に対応しきれないという大きな欠点があり、種々の改善が試みられてはいるものの、地震活動モデルとしての総合的な性能はETASモデルに合わない。また、摩擦構成則モデルについては、地震活動の時間変動のみに対応したものが用いられており、時空間変動への拡張はまだ試みられていない状態にあった。

### 2. 研究の目的

こういった背景を踏まえ、摩擦構成則モデルをベースに、その時空間版への拡張など種々の改善を試みる。モデルは実際の地震データへ適用すると共に、ETASモデルとの比較や混合を行うことで、構築したモデルや既存モデルの長所や問題点を詳らかにする。こういった作業を介し、現在徐々に行われつつある確率論的短期地震予測およびそれに基づく予測システムの将来的展開に寄与し得る知見を積み重ねることを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 摩擦構成則モデルとETASモデルとの混合による地震活動の時間変動モデル

将来の時空間地震活動モデルの構築に向けた試みとして、摩擦構成則モデルとETASモデルを適当な割合で混合することにより、地震活動モデルの改善を行う。具体的には摩擦構成則モデルおよびETASモデルによる強度関数をそれぞれ $\lambda_D(t|\theta_D)$ 、 $\lambda_E(t|\theta_E)$ として、全体の強度関数を $\lambda(t|\theta_D, \theta_E, k, \mu) = \mu + k\lambda_D(t|\theta_D) + (1-k)\lambda_E(t|\theta_E)$ としたモデルを実際の地震活動に当てはめる。摩擦構成則モデルおよびETASモデルそれぞれに含まれるパラメータ $\theta_D$ および $\theta_E$ 、両モデルの混合比 $k$ 、“background seismicity”と呼ばれる定常的な地震活動度 $\mu$ は最尤法で推定する。さらに、 $k=1$ に固定して「摩擦構成則モデルのみ」とした場合および $k=0$ に固定して「ETASモデルのみ」とした場合についても同様の推定を行い、赤池情報量規準(AIC)を用いたモデル比較により、両モデルを混合することにより、どちらか単一の場合に比べて地震活動の適合性が有意に改善されたかどうかについて調べる。さらに、混合比 $k$ について時間変動を許すなどして、さらなるモデル改善についても試みる。

#### (2) 摩擦構成則モデルの時空間への拡張

やはり、将来の時空間地震活動モデルの構築に向け、従来、地震活動の時間変動のみに対応していた摩擦構成則モデルを時空間変動にも拡張出来るよう拡張を行う。この際、ある地震の発生がその周囲に(時)空間的にどのような地震活動度の変化をもたらすのかを定式化することが重要となる。摩擦構成則モデルにおいては応力変動値(CFS)という物理量により、ある地震がもたらすその後の地震活動度の変化を表す構造になっている。それゆえ、CFSの空間パターンを何らかの形で定式化することにより、摩擦構成則モデルの時空間への拡張(時空間点過程モデルの強度関数の構築)が実現可能である。CFSの空間パターンについては、考え得るいくつかのケースを試し、最尤法に基づくパラメータ推定及びモデル比較により最もよいものを選ぶ。

### 4. 研究成果

(1) 「研究の方法」の(1)に記載した内容に関しては、そこに示した通り、摩擦構成則モデルとETASモデルを混合したモデル(以下、混合モデル)を複数の地震系列へと適用し、摩擦構成則モデルおよびETASモデルそれぞれを単独

	摩擦構成則	ETAS	混合
2004年新潟県中越地震	-375.5	-446.7	-437.2
1995年兵庫県南部地震	-50.9	-80.0	-77.1
2000年伊豆諸島群発地震	1114.0	1099.5	1093.7
1965年松代群発地震	-41366.9	-41539.4	-41665.1

表1: 大地震(2004年新潟県中越地震および1995年兵庫県南部地震)後の余震系列と群発地震(2000年伊豆諸島および1965年松代群発地震)に対する各モデルのAIC。AIC最小(最もよい)となったものを赤字で示してある。

で適用した場合との比較を行った。なお、混合モデルにおけるモデルの混合比 $k$ は時間変化がないものとしている。比較の結果を表1に示す。表にあるのは AIC の値であり、値が小さいほど適合度がよいモデルである。また、値そのものには意味はなく、モデル間の値の差に意味がある。そして差が1~2程度以上であれば、その差は有意である。

大地震後(2004年新潟県中越地震および1995年兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災))の余震系列に対しては ETAS モデルが最もよいモデルであった。これに対し、群発地震系列(2000年伊豆諸島および1965年松代群発地震)に対しては、混合モデルが最もよいものとなった。「研究開始当初の背景」に述べた通り、ETAS モデルの群発地震に対する適合性は不十分である。摩擦構成則モデルと混合することでこの弱点が補われたということになる。

解析したデータと点過程モデルとの合い具合を見るには「残差解析」がしばしば用いられる。ETAS および混合モデルを2000年伊豆諸島群発地震へ適用した場合の残差解析の結果を図1に示す。折れ線上のグラフ(上図)が残差(Residual)の時間変化の様子である。横軸は「変換時間」(Transformed time)と呼ばれるもので、モデルから期待される地震発生率に応じて実時間を伸び縮みさせ、もし解析した発生時系列とモデルが完全に合致していたら、変換時間軸において地震発生率が一定(即ち定常 Poisson 過程)になるようにしたものである。そして、残差が正であれば、実際の地震活動がモデルから期待されるものより高く(より活動的)、負であればより低いことを意味する。

ETAS モデルを適用した場合(図1(a))は、残差は大きく正負の値を行き来している。これに対し、混合モデル(図1(b))に関しては、やはり正負の値の間を行き来はしているものの、その振幅は小さくなっており、残差の面からも、ETAS モデルに摩擦構成則モデルを混合することでモデル改善が成し遂げられていることが見て取れる。

改善の要因を詳らかにするために ETAS および摩擦構成則モデルそれぞれから得られた強度関数の値がどうなっているかについて調べた。その例を図2の中図に示す。実際の地震活動が高かった時間帯(横軸の“36”の付近)においては、摩擦構成則モデルによる強度関数の値の方が、ETAS モデルのそれよりも押し並べて大きい(上図に両者の比が示してあり、1.0(横点線)を越えると摩擦構成則の強度関数の値の方が大きい)。こういった様相は2000年伊豆諸島群発地震だけでなく1965年松代群発地震においても見られた。

ETAS モデルと摩擦構成則モデルは両者共に、ある地震の発生の影響により、強度関数の値を上げ、その後、強度関数が減衰するようになっている。また、どの位強度関数の値を上昇させるかはその地震のマグニチュード( $M$ )に基づく(あるスケーリング則に従い、 $M$ が大きいと強度関数の上昇も大きい)点も共通である。しかし、モデルの数理的構造として、ETAS モデルは各々の地震発生による強度関数への影響が「和」の形(加法的)であるのに対し、摩擦構成則モデルは「積」の形(乗算的)であるという違いがある。本震後の余震系列の場合、本震を始めとしてしばしば  $M$  の大きな地震(余震)が起き、この影響により ETAS モデルは実際の地震活動に合うような高い値の強度関数を作り出すことが出来る。これに対し、群発地震系列においては  $M$  の大きな地震はそう起きないにも関わらず地震活動度が高くなることがしばしば起きる。こういう状況下においては、 $M$  の大きな地震がないために ETAS モデルでは十分に高い値を取る強度関数を作り出すことが困難である。一方、摩擦構成則モデルにおいては、 $M$  が小さいゆえに1つ1つの地震発生が強度関数に与える影響が小さくとも、それらが短時間内に集中して発生すると、

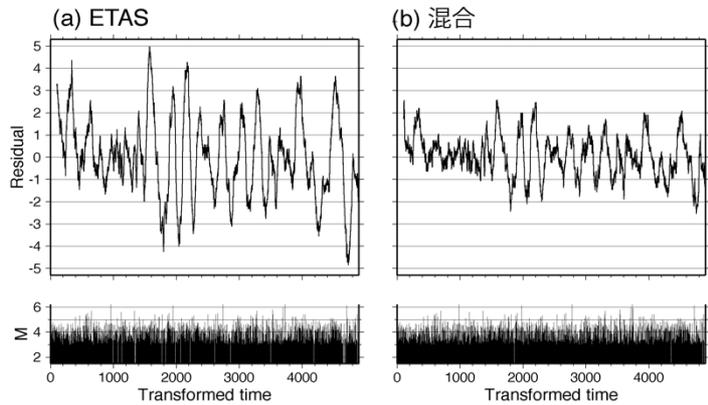


図1: 2000年伊豆諸島群発地震へ(a)ETASおよび(b)混合モデルを適用した場合に対する残差解析の結果(上図)。合わせて変換時間(transformed time)における地震発生の様子(縦線1本が地震1つに相当し、線の高さは地震のマグニチュードに対応する)を示す。

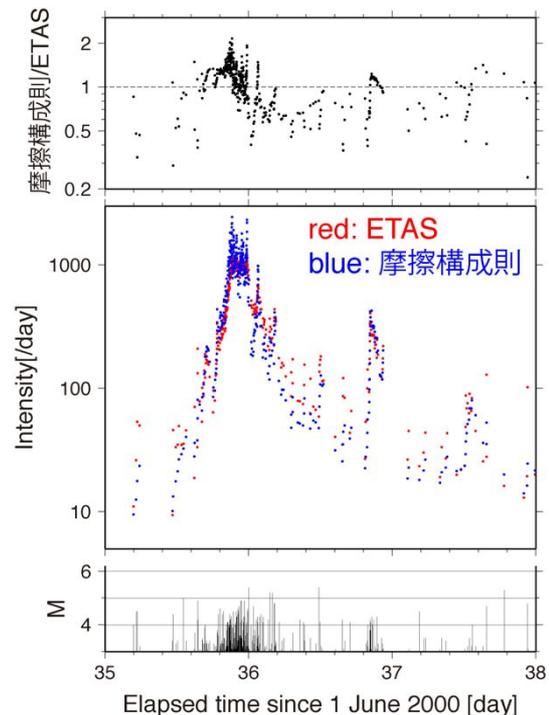


図2: 2000年伊豆諸島群発地震へ対しETAS および摩擦構成則モデルを適用して得られた強度関数の値の例(2000年7月6日前後の、地震活動度が高かった時期を抽出)。地震発生時刻における強度関数の値(中図)と両者の比(上図)。下図は地震発生の様子(図1の下図と同様)。

その影響は乗算的であるから強度関数の値は指数関数的に上昇し十分に高いものとなり得る。但し、摩擦構成則モデルには不必要なまでに強度関数の値が高くなり過ぎるなどの問題があり、これ単独では ETAS モデルを上回るようなパフォーマンスを示すことが出来ない。両モデルを混合することで、ETAS モデルの弱点を摩擦構成則モデルが適切に補うこととなり、よりよい適合性を示すようになったと考えられる。即ち、地震活動の時間変動をモデル化する上においては、加法的なモデルだけでなく、乗算的なモデルも考慮することの重要性が示唆された。

これらの考察からは、群発地震系列の地震活動度が高いときは摩擦構成則モデルが支配的で、そうでないときは ETAS モデルが支配的になるよう、モデル混合比  $k$  を時間変動させたモデルがより高い適合性を示す可能性が考えられる。そこで、Iwata[2013, Geophys. J. Int.]で  $M$  の確率分布を表すパラメータの時間変動を求めたのと同様、各地震の発生時刻を節点とするような線型スプラインで  $k$  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  $k$  の値をベイズ推定することを試みた。結果としては、 $k$  の値の時間変動を過度に滑らかにすることで「 $k$  の値の時間変動なし」とするものが推定されることとなった。

この結果は、モデル混合比に本当に時間変動がないということではなく、ジャンプ的にモデル間を移行していることが考えられる。 $k$  の時間変動が「滑らか」であるようなモデルでは、急激なモデル間に移行を表現し切れない。こういったケースに対しては隠れマルコフモデル(HMM)の活用が考えられ、これに関する検討を行った。非常に初歩的な解析として、地震発生時系列を適当な時間幅で分割することでデータを離散化し、各時間幅における地震個数に HMM を適用することを行った。しかし、時間幅によって結果が安定しないなどの問題があり、点過程データに対する HMM の厳密な適用である continuous-time HMM を用いることの必要性が分かった。しかし、地震活動(や ETAS および摩擦構成則モデル)が属する自己励起過程(Hawkes 過程)に対する continuous-time HMM の適用は近年になってようやく本格的な研究が進められ始めた段階にある。こういった状況と時間的制約から、本研究課題で深入りすることは避けだが、HMM の混合モデルへの適用は今後の重要課題と言える。

(2) 「研究の方法」の(2)に記した内容に関しては、やはりそこに記したように CFS の空間パターン(空間カーネル)を定式化することで摩擦構成則モデルの時空間への拡張を行った。

本研究課題申請と前後して同様の発想を持つ研究があったが(Cattania et al. [2015, JGR])この研究においては、弾性論に基づき、CFS が空間的にベキ減衰するものとし、そのベキ指数は固定されたものである。また、ベキ減衰は等方的なものが仮定されている。加えて、CFS の値は、これも地球物理学の観点に基づき、あるスケーリング則により地震の  $M$  と関連づけられているが、スケーリング則に含まれるパラメータも完全に固定されたものである。

これに対し、CFS の空間減衰については指数的な減衰など幾つかのケースを考えると共に、そこに含まれるパラメータはデータから推定するようにした。また、空間的な減衰は非等方的な場合についても起こりえるものとした。そして、CFS と  $M$  とのスケーリング則におけるパラメータも固定せずにはやはりデータに合うよう推定することとした。

こうして、より柔軟なモデルを考えることで、時空間摩擦構成則モデルの改善を試みた。その改善の一例として、1995 年兵庫県南部地震の余震データを扱った例を図 3 に示す。実際に推定された結果は時空間に対する強度関数であるが、これを時間に関して積分し、モデルから期待される空間に対する強度関数(密度)に直してある。図 3(a)に示す通り、実際の余震活動の空間分布は断層に沿った帯状のものである。これに対し、Cattania et al. [2015]により提案された空間カーネル(図 3(b))を用いた結果は、高い強度関数を持つ領域が点状に分布するという不自然なものになっている。これは、空間カーネルが等方的であることを始めとしてモデルに柔軟性がなく、実際の余震活動を上手く反映できないためである。これに対し、本研究課題で提案した空間カーネルを用いた結果(図 3(c))では、完全とは言えないが、図 3(a)に示した実際の空間分布と大分と整合的であり、モデルがかなり改善されていることが見て取れる。これは、2000 年伊豆諸島群発地震など、1995 年兵庫県南部地震の余震以外を解析した場合においても同様である。さらに AIC に基づくモデル比較においても、どのデータに対しても数百程度 AIC の値が小さくなり、このことから改善が統計的に有意であることが分かる。

一方、(時空間) ETAS モデルとの比較においては、ETAS モデルの AIC の方が、(本研究課題の空間カーネルを用いた)摩擦構成則モデルのそれよりも更に数百、あるいはデータによっては数千程度小さく、ETAS モデルの方が摩擦構成則モデルよりも圧倒的によいことが分かる。

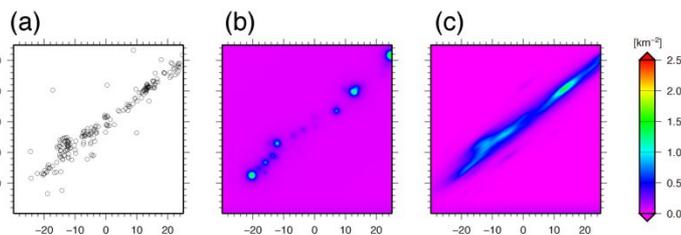


図3: 時空間摩擦構成則モデルを1995年兵庫県南部地震の余震データへと適用することで得られた地震活動度(強度関数)の空間分布。(a)実際の余震の空間分布、(b) Cattania et al. [2015]によって提案された空間カーネルを用いた場合、(c)本研究課題で提案する空間カーネルを用いた場合。

図4にETASモデルおよび摩擦構成則モデルから得られた強度関数の時間変動の例を示す。やはり、1995年兵庫県南部地震の余震データを扱った場合である。図3の場合と同様、実際に推定された時空間に対する強度関数を、今度は空間に関して積分することで、両モデルから期待される強度変数の時間変動を求めてある。そして、比較し易くするためにそれを本震発生時からの累積個数の時間変化に変換してある。

摩擦構成則モデルに基づくもの(図中の赤線)よりETASモデル(緑線)の方が、実際の余震活動(青線)に近く、このことからETASモデルの方が摩擦構成則モデルより優れていることが分かる。しかし、ETASモデルも実際の余震活動にフィットしているわけではない点に注意する必要がある。

同様の傾向は、他の地震データを解析した場合においても見られ、時空間モデリングにおいては、ETASモデルについても改善の必要があることを示唆している。

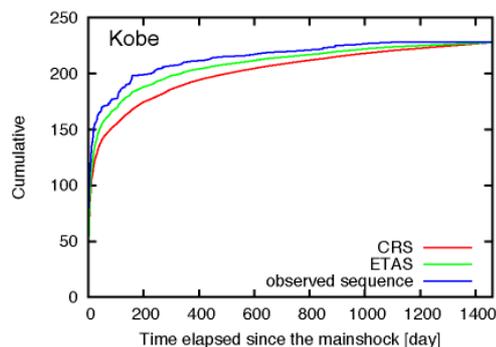


図4: 1995年兵庫県南部地震に対して得られた、時空間摩擦構成則モデル(CRS、赤線)および時空間ETASモデル(緑線)に基づく、地震(余震)活動の時間変動。青線は実際のものを示す。比較し易くするため、本震発生時からの累積個数の時間変化に直してある。

### (3) 2018年北海道胆振東部地震の余震活動における**b**値の深さ依存

地震の**M**の頻度(確率)分布を特徴付けるパラメータである**b**値は、応力状態と関連があるとされている。この**b**値の情報を摩擦構成則モデルにおける応力変動と関連づけて組み込むような将来的展開が考えられる。

この**b**値と応力状態の関連性を実証する例として、2018年北海道胆振東部地震の余震活動における**b**値の深さ依存について調べた。手法としてはIwata[2013, Geophys. J. Int.]で開発した**M**の確率分布を表すパラメータ(この中に**b**値も含まれている)の時間変動を求めたものと同様である。ただし、時間変動に換え、深さ変動を求めることとした。推定は(1)でも触れた通り、深さ変動に平滑化を課し、ベイズ的な方法で行う。

推定結果を図5に示す。深さ20~35kmに掛けて、深くなるにつれ**b**値が小さくなっていることが見て取れる。この**b**値の深さ依存に関する同様の傾向は他の地域でも指摘されているものであるが(例えばSpada et al. [2013, GRL])、それらは主に深さ20km程度までである。これは、通常の(大)地震(とその余震活動)は、その程度の深さまでで起きるものであるが、北海道胆振東部地震は例外的にやや深いところで発生しており、条件が整えば、このような深さでも浅いところと同様に**b**値の深さ依存が存在することを示している。また、35kmより深いところでは**b**値の上昇が見られる。これは深さと共に地下の温度が上昇し、この深さでは塑性変形を起こすような状態へと移行しており、応力を保持出来なくなっている可能性を示唆している。

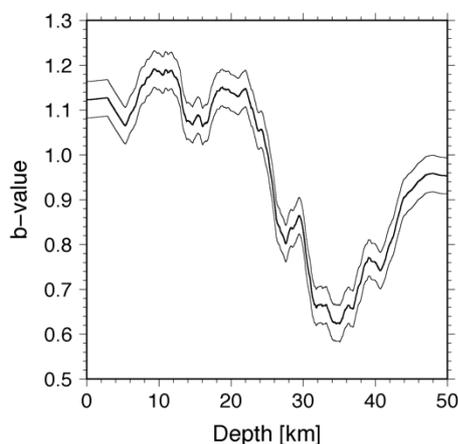


図5: 2018年北海道胆振東部地震の余震データから推定された、深さに対する**b**値の変動。太線がベイズ推定による結果(事後分布平均)、細線がその推定誤差をそれぞれ表す。

### (4) Gutenberg-Richter 則における**a**値の推定およびその誤差

地震の**M**の頻度分布は「Gutenberg-Richter 則」と呼ばれる経験則に従うことが知られている。これは(3)で触れた**b**値の他に**a**値と呼ばれるパラメータを含むものである。**a**値は地震の個数(地震活動度)に関連するパラメータであり、将来的に**b**値を地震活動度モデルに組み込む場合、**a**値の推定も重要となる。

**a**値の推定値をどう与えるかは直観的に明らかであるが、それを支える理論を明示した文献は(少なくとも研究代表者およびその周辺の知る限りでは)存在せず、またその推定誤差をどう与えるかについても詳らかにしたものはない。そこで、この点についてまとめたものを学術誌へと投稿し、現在改訂中である。

### (5) *P*波初動に基づく応力場推定と地震メカニズム解の推定誤差手法の開発

(3)で触れた通り、摩擦構成則モデルを扱う上で地下の応力状態を知ることが(将来的に)重要である。この一助として、*P*波初動に基づく応力場推定および地震メカニズム解の推定が有用である。これに関連して、主に2000年鳥取県西部地震の余震域、さらにはより広域の山陰地方全体の応力場推定を試みた。さらに応力場推定に合わせて得た地震メカニズム解の推定誤差を求める手法の開発も行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yukutake, Y., T. Iwata, and Y. Iio	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Estimation of the heterogeneity of stress fields using misfit angles in focal mechanisms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tectonophysics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） -	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岩田貴樹, 吉田圭祐, 深畑幸俊	4. 巻 128
2. 論文標題 地震学的データを用いた応力インバージョン	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 797-811
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5026/jgeography.128.797	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Iwata, T.	4. 巻 123
2. 論文標題 A Bayesian Approach to Estimating a Spatial Stress Pattern From P Wave First Motions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 4841-4858
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017JB015359	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 岩田貴樹
2. 発表標題 余震活動の時空間モデリングにおける空間カーネルの改良
3. 学会等名 第2回固体地球データ同化に関する研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩田貴樹
2. 発表標題 摩擦構成則に基づく余震活動の時空間モデル
3. 学会等名 CSEP-Japan研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田貴樹, 飯尾能久
2. 発表標題 山陰地方の空間応力パターン推定：高解像度解析に向けた予備的解析
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwata, T., and Y. Iio
2. 発表標題 An Application of Bayesian estimation of spatial stress pattern to San-in region, Japan
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Statistical Seismology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iwata, T.
2. 発表標題 Mixture of a rate- and state-dependent seismicity and the ETAS models and its application to earthquake swarms
3. 学会等名 The 10th International Workshop on Statistical Seismology (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ハート デイヴィッド (Harte David)	GNS Science (New Zealand)・Senior Scientist	
連携研究者	尾形 良彦 (Ogata Yosihiko) (70000213)	統計数理研究所・リスク解析戦略研究センター・名誉教授 (62603)	
連携研究者	遠田 晋次 (Toda Shinji) (80313047)	東北大学・災害科学国際研究所・教授 (11301)	