

Wed. Oct 26, 2022

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

9:30 AM - 11:00 AM JST | 12:30 AM - 2:00 AM UTC | ROOM B 4th floor (Large Conference Room)

[S15] AM-1

chairperson: Toshihiro Shimoyama (Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency), Kotoyo Tsuchida (Hanshin Consultants Co., Ltd.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S15-06] Is it feasible to derive high-frequency EGTDs? part (1)Mitsuhiro Toya¹, Sayumi Yoshida², *Kotoyo Tsuchida¹, Masanori Horike¹ (1. Hanshin Consultants Co., Ltd., 2. N/A)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S15-07] Is it feasible to derive high-frequency EGTDs? part(2)*Masanori HORIKE¹, Sayumi YOSHIDA², Mitsuhiro TOYA¹, Kotoyo TSUCHIDA¹ (1. Hanshin consultants., LTD., 2. N/A)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S15-08] Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping*Anirban Chakraborty¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada² (1. Hosei University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S15-09] Variation of long-period strong ground motions at Hitachi-Naka port depending on the epicenter regions*Tomiichi UETAKE¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S15-10] Study on prediction of long-period ground motion*Toshihiro SHIMOYAMA¹ (1. MRI, JMA)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S15-11] Real-time forecast of long-period ground motions using Green's function based on seismic interferometry*Teppei Enari¹, Takashi Furumura¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster**11:15 AM - 12:30 PM JST | 2:15 AM - 3:30 AM UTC | ROOM B 4th floor (Large Conference Room)****[S15] AM-2**

chairperson: Asako Iwaki (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience), Yusuke Tomozawa (Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S15-12] Evaluation of scaling relations for subduction earthquake using source inversion models

*Fumiaki Nagashima¹, Hiroshi Kawase¹, Eri Ito¹, Jikai Sun¹ (1. Disaster Prevention Research Institute)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S15-13] Estimation of Strong Ground Motion Attenuation Characteristics of Earthquakes Occurring off the Pacific Coast of Tohoku

*Yusuke Tomozawa¹, Tomoki Hikita¹ (1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S15-14] An attenuation model of strong motions considering transmission coefficient of direct S-waves in the layered structure : Application to inland earthquakes in Chugoku region

*Tomonori IKEURA¹ (1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S15-15] Correlation between strong motion intensities based on the unified strong motion database by NIED

*Hongjun Si^{1,2}, Asako Iwaki³, Nobuyuki Morikawa³, Hiroyuki Fujiwara³ (1. Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, 2. Seismological Research Institute Inc., 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S15-16] Comparison of Ground-Motion Models based on the Strong Motion Database

*Asako IWAKI¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹, Tomohisa Okazaki², Hisahiko Kubo¹, Hongjun Si³, Atsuko Oana⁴, Toru Ishii⁴, Yusuke Tomozawa⁵, Tomoki Hikita⁵ (1. National Research Institute for Disaster Resilience, 2. RIKEN Center for Advanced Intelligence Project, 3. Seismo Research, 4. Osaka Research Institute, 5. Kajima Technical Research Institute)

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

2:00 PM - 3:15 PM JST | 5:00 AM - 6:15 AM UTC | ROOM B 4th floor (Large Conference Room)

[S15] PM-1

chairperson: Kazuhito Hikima (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.), Wataru Suzuki (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S15-17] Automatic Hypocenter Determination with the IPFx method for the 2018 Hualien earthquake sequence

*Masumi YAMADA¹, Dayi Chen² (1. Kyoto University, 2. Central Weather Bureau, Taiwan)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S15-18] Rupture processes of the 2021 and 2022 Fukushima-oki earthquakes: Reactivation of the faults in the subducting slab originally formed in the outer-rise region

*Hiroaki KOBAYASHI¹, Tetsushi Watanabe¹, Kazuki Koketsu² (1. Kobori Research Complex, 2. Graduate School of Media and Governance, Keio University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S15-19] Comparative study of strong motion distributions of the two *M*₇-class Off Fukushima earthquakes in 2021 and 2022*Wataru Suzuki¹, Hisahiko Kubo¹, Takeshi Kimura¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[S15-20] Source Processes of the Off Fukushima Intra-slab Earthquakes in March 2022 and February 2021 - Analysis using 3D subsurface structure -

*Kazuhiro HIKIMA¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc., TEPCO Research Institute)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[S15-21] Ground motion in the Tokyo metropolitan area for the 2021 Northwestern Chiba earthquake

*Hiroe MIYAKE¹, Miki UEHARA¹ (1. ERI, Univ. Tokyo)

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

3:30 PM - 4:30 PM JST | 6:30 AM - 7:30 AM UTC | ROOM B 4th floor (Large Conference Room)

[S15] PM-2

chairperson: Yosuke Nagasaka (Port and Airport Research Institute), Fumino Suzuki (Kobori Research Complex INC.)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S15-22] Preliminary analysis of residual data between strong-motion records and calculations by a ground motion model

*Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Asako IWAKI¹, Takahiro MAEDA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S15-23] Strong ground motion simulation of the great 1923 Kanto earthquake in the Tokyo metropolitan area: Remodeling of source parameters and estimation of detailed seismic intensity distribution

*Fumino SUZUKI¹, Tetsushi WATANABE¹, Kenichi KATO¹, Katsuhisa KANDA¹ (1. KOBORI RESEARCH COMPLEX INC.)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S15-24] Strong Motion Simulation of 2016 Kumamoto Earthquake Mainshock Using Dynamic Rupture Modeling

*JIKAI SUN¹, HIROSHI KAWASE¹, ARBEN PITARKA², FUMIAKI NAGASHIMA¹, ERI ITO¹ (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Lawrence Livermore National Laboratory)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S15-25] Reevaluation of strong ground motions during the 2016 Kumamoto earthquake sequence utilizing regional spectral inversion analysis

*Yosuke NAGASAKA¹ (1. Port and Airport Research Institute)

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

📅 Wed. Oct 26, 2022 9:30 AM - 11:00 AM JST | Wed. Oct 26, 2022 12:30 AM - 2:00 AM UTC | 🏢 ROOM B
4th floor (Large Conference Room)

[S15] AM-1

chairperson: Toshihiro Shimoyama (Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency),
Kotoyo Tsuchida (Hanshin Consultants Co., Ltd.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S15-06] Is it feasible to derive high-frequency EGTDS? part (1)

Mitsuhiro Toya¹, Sayumi Yoshida², *Kotoyo Tsuchida¹, Masanori Horike¹ (1. Hanshin Consultants Co., Ltd., 2. N/A)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S15-07] Is it feasible to derive high-frequency EGTDS? part(2)

*Masanori HORIKE¹, Sayumi YOSHIDA², Mitsuhiro TOYA¹, Kotoyo TSUCHIDA¹ (1. Hanshin consultants., LTD., 2. N/A)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S15-08] Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping

*Anirban Chakraborty¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada² (1. Hosei University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S15-09] Variation of long-period strong ground motions at Hitachi-Naka port depending on the epicenter regions

*Tomiichi UETAKE¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S15-10] Study on prediction of long-period ground motion

*Toshihiro SHIMOYAMA¹ (1. MRI, JMA)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S15-11] Real-time forecast of long-period ground motions using Green's function based on seismic interferometry

*Teppei Enari¹, Takashi Furumura¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

Is it feasible to derive high-frequency EGTDs? part (1)

*Mitsuhiro Toya¹, Sayumi Yoshida², Kotoyo Tsuchida¹, Masanori Horike¹

1. Hanshin Consultants Co., Ltd., 2. N/A

1. 初めに

点震源とみなせる震源から放射された地震動はモーメントテンソルとグリーン関数の空間微分のコンボリューションにより得られる。この二項を分離することは、震源と伝播経路のどちらの研究においても重要である。分離には、どちらかの項が既知でなければならないが、従来はグリーン関数を数値的な方法や経験的な方法で求めてきた。しかし、これらの方法には欠点がある。

数値的な方法として、周波数一波数積分法、差分法、有限要素法が提案されている。これらの手法は固有の長所と短所を有しているが、高周波数地震動の計算には短波長の不均質地下構造が必要となるため実用的な意味で計算できないという共通の困難も抱えている。

もう一つの方法は、観測波形をグリーン関数とみなす経験的グリーン関数法である。この手法では、高周波数までの利用可能性はあるが、発震機構や震源時間関数が異なる場合それらの補正を正確に行うのは難しい。

Plicka & Zahradnik (1998)は、上述した数値計算法や経験的グリーン関数法の欠点を克服する方法を提案した。具体的には、点震源と仮定できる領域内の複数の余震から放射された地震動波形からグリーン関数の空間微分を抽出する方法である。この手法では地下構造は必要なく、またグリーン関数の空間微分値 (EGTD) は点震源の条件を満たす高周波数成分まで含むことができる。EGTDが得られると、任意の発震機構とモーメントレート関数を持つ地震の地震動計算が可能となる。これにより、減衰や散乱等の伝播経路の性質を正確に評価できる。また、震源の性質の解明にも利用できる。例えば、震源インバージョンに用いると、高周波数地震動の発震域を特定できる。さらに、このインバージョン結果を用いれば、断層の摩擦則のパラメータ、特に Dc (critical distance) を精度よく推定できる可能性もある。

このようにEGTDが推定できれば伝播経路や震源研究の有力なツールとなると期待できるが、実用化に向けた研究は不足している。実用化には、以下の3課題を解決する必要がある。(1) 震源位置、断層パラメータ、モーメントレート関数の正確な決定、(2) どの程度の範囲内にある余震群からどのくらいの高周波数までのEGTDが推定可能か、(3) 使用する震源時間関数の選択、である。ここでは課題(1)について述べ、課題(2)、(3)については、その(2)で述べる。

2. EGTD推定に必要な震源パラメータの決定

EGTDの推定には様々な震源に関するパラメータが必要となる。ここでは、これらの推定について述べる。まず、使用した波形データについて述べる。我々は熊本地震余震の臨時観測を2016年5月6日から6月27日まで行った。この臨時観測のデータと気象庁一元化カタログに掲載されているこの期間に発生した M_j 2程度以上の地震を対象として、Hi-netや気象庁などの定常観測点での波形データを統合したものをを用いて震源パラメータを決定した。密な観測点を用いるため高精度の震源位置と震源パラメータの決定が期待できる。

震源決定では、まずWIN システムを用いて得た波形データからP 波およびS波到達時刻、P 波の初動極性の読み取りを行った。次に読み取ったP 波・S 波走時から、WIN システムに含まれている震源決定プログラム hypomhを用いて震源決定を行い、最後にdouble-difference(DD)法を用いて震源再決定を行った。

震源決定で読み取った地震のうち、P 波の初動極性が10点以上ある地震を対象として断層パラメータ (走行、傾斜、滑り角) を推定した。断層パラメータの推定は、Hardbeck and Sheare (2002)によるプログラム HASH1.2 を用いている。最終的に解が収束し、ある程度精度の良い結果となった640個の余震の断層パラメータを得た。推定された断層パラメータのタイプ分けを行うと、正断層横ずれタイプが多いことが分かった。また、推定した断層パラメータの信頼度を3段階で表示した。

決定した震源位置を用いて、EGTD推定に使用する直径1kmと2kmの範囲内に6余震以上ある余震群を探した。その結果、直径1kmの範囲内では2グループあり、以後これらをA1グループ、A2グループと呼ぶ。直径2kmの範囲内でも3グループあり、それぞれB1グループ、B2グループ、B3グループと呼ぶ。モーメントレート

関数を決める。具体的には、関数そのものではなく地震モーメント M_0 とコーナー周波数 F_c である。5グループ39余震を対象として、観測記録のスペクトルのインバージョンを用いて、余震の放射震源スペクトルを求めた。この際、地表と岩盤の観測点のスペクトル比を付加条件とした。放射震源スペクトルが ω^{-2} 則に従うと仮定して、フィッティングにより M_0 と F_c を求めた。

3. 最適な震源パラメータ

前節で述べた震源に関するパラメータの推定法は様々な仮定に基づいており真の値ではない。そこで、この研究では遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて得られる震源パラメータの最適値によるEGTD推定を行う。具体的には、地震モーメント、震源時間関数の時間パラメータ、断層の走行、傾斜、滑り角の5パラメータの最適値を求めた。

Is it feasible to derive high-frequency EGTDs? part(2)

*Masanori HORIKE¹, Sayumi YOSHIDA², Mitsuhiro TOYA¹, Kotoyo TSUCHIDA¹

1. Hanshin consultants., LTD., 2. N/A

1. 初めに

その(1)で述べたように、高周波数EGTDの推定が可能となると、伝播経路の性質の推定研究や震高周波数震源インバージョンやその結果として動的モデルの研究にも大きく寄与する。したがって、地震動から安定的に高周波数EGTDを取り出す方法を確立することは重要である。このためには、以下の課題を解決する必要がある。(1)どの程度の範囲内にある余震群からどのくらいの高周波数までのEGTDが推定可能か、(2)使用する震源時間関数の関数形の選択、(3)震源位置、断層パラメータ、震源時間関数のパラメータの決定の3課題である。課題(3)についてはその(1)で述べたので、ここでは課題(1)、(2)について述べる。EGTD推定に使用するデータは、熊本地震のMj1.5~3.5の余震で、熊本県とその周辺に設置されたHi-net観測点(震源距離10km~50km)において5月6日から6月27日までに記録されたものである。

震源位置からEGTD推定のために5余震グループを作成した。2グループは直径1kmの範囲に余震が分布し、それぞれA1, A2グループと呼ぶ。残りの3グループは直径2kmの範囲に分布しB1, B2, B3とそれぞれ呼ぶ。異なる範囲の余震グループを作成した理由は、余震の分布範囲の影響を調べるためである。

2. 解析

課題(1)のために、各グループ内のすべての余震とすべての観測点の記録を用いて余震グループとすべての観測点間の3成分のEGTDを推定した。さらに、それらのEGTDを用いて観測記録の再現を試みた。高周波数限界を調べるために3つのローパスフィルタを準備した。具体的には高周波数限界として、4Hz, 8Hz, 16Hzとした。EGTDを用いた計算波形の観測記録の再現性の評価には両者の相互相関係数を用いた。この相関係数を用いて高周波数の限界と余震群の範囲について検討する。EGTDの推定では、GAを用いて最適な断層パラメータと震源時間関数に対するEGTDを求めた。世代数は1000、染色体数は500とした。検索範囲はその(1)での値を基準として適切な範囲に設定した。なお、この処理を再現解析と呼ぶ。

課題(2)のために二つのステップからなる解析を行った。まずグループ内の1余震を除いた残りの余震からEGTDを推定した。次に、仮定した震源時間関数と推定したEGTDを用いて除外した余震の予測波形を計算し、観測波形の再現の程度を相互相関係数で評価した。なお、両ステップでGAを用いている。この解析を予測解析と呼ぶ。

予測解析を震源時間関数としてステップ関数と双曲線正接関数(tanh)の和である時間関数(SSF関数)と二等辺三角形の時間関数(TAF関数)を用いて行った。どちらがよりよく観測記録を予測できるかを比較し、この手法により適切な震源時間関数の選択が可能かどうかを調べた。

3. 結果

まず、A1グループのSSF関数を仮定した再現解析の結果について述べる。このグループでは、きわめて高い類似度を示した。全余震の全観測点で3成分波形の相関係数は16Hzでほぼ0.8以上、8Hzで0.9以上、4Hzで0.95以上となった。A2グループでは、7余震のうち1余震の相関係数がどの観測点でも低いためA1グループほどの再現性はないが、それでも4Hzでは相関係数は0.8以上となった。なお、相関係数の低い1余震を除くとA1グループと同程度の再現性を示した。

余震の分布範囲が2kmのB1, B2, B3グループでは、相関係数は低く4Hzでも0.8以下となる場合がかなりあった。この結果は余震分布範囲が大きいほど、点震源の仮定が成り立たないためEGTDの精度が悪くなることと対応している。

震源時間関数の影響を調べるためTAF関数を用いて再現解析を行った。結果は、SSF関数とほぼ同じ程度の観測記録の再現性を示した。これは、異なる震源時間関数を用いても観測記録をかなりよく再現できる高周波数EGTDが推定できることを意味すると同時に、真の高周波数EGTDを得るためには真の震源時間関数を用いる必要があることも意味する。実際二つの震源時間関数から得たEGTD波形を比較すると明らかに異なっていた。以上の再現に関する検討は、真の震源時間関数を用いれば高周波数EGTDが推定できることも示唆してい

る。したがって、次の課題は真の震源時間関数を見つける手法はあるのか、さらにその方法はどのようなものかである。異なる震源時間関数でも同程度の再現性が得られる理由は、震源時間関数とEGTDの合積（あるいは、周波数領域の掛け算）が同じものとなっているためと考えられる。

先述した予測解析により震源時間関数の優劣を決められるかを検討する。二つの震源時間関数（SSF&TAF）を仮定して、予測解析を行った。予測精度は相互相関関数で評価した。どちらの震源時間関数を用いてもほぼ同程度の予測となった。この結果は、提案した予測解析で震源時間関数の優劣を決定することは難しいことを意味する。

この研究では、震源時間関数が求めれば半径1km程度の範囲内にある余震を用いて高周波数（10Hz程度）の高精度EGTDが求まる可能性を示した。また、真のあるいはそれに近い震源時間関数を用いなければ、正確なEGTDは求まらないことも示した。さらに、予測解析による既存の震源時間関数の優劣の決定の可能性を調べたが、難しいことが分かった。

Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping

*Anirban Chakraborty¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada²

1. Hosei University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Proxy-parameters like engineering geology, Vs30 (the time-averaged shear wave velocity (Vs) to a depth of 30 m), etc. are frequently used for preparing site amplification maps. However, these proxy-based maps do not always reflect the in-situ conditions. During the 2018 Mw 5.6 Northern Osaka earthquake in Japan, damage distribution in Ibaraki and Takatsuki cities of Osaka significantly deviated from the site amplification estimations of proxy-based Japan seismic hazard information system (J-SHIS) map. One possible explanation for the deviation is the difference between proxy-based and in-situ site amplification values. The other reasons could be strong ground motion, source effect, age of buildings, etc. In this study the role of site amplification in the damage distribution is investigated with the evaluations from available in-situ data. A Bayesian updating scheme is proposed for updating the proxy-based J-SHIS map with soil borehole data. The proposed scheme is based on uncertainty projected mapping (UPM), where spatial resolution corresponds to the denseness or sparseness of the available data. The study area is in Ibaraki and Takatsuki cities of Osaka, located close to the epicentre of the earthquake, where dense borehole data from Kansai Geo-informatics Network are available. In-situ site amplification at the borehole locations is evaluated using equivalent linear ground response analysis with non-linear soil modelling. The updated map or the posterior in Bayesian inference is generated with proxy-based J-SHIS values as priors, and evaluated in-situ site amplifications as likelihoods. The updated map with borehole data shows increased spatial granularity of low and high amplification regions. Several regions with relatively low amplification appeared in the previously high-amplification zone of proxy-based J-SHIS map. The appearance of relatively high amplification regions in previously low-amplification zones of proxy-based J-SHIS map might explain a couple of earthquake damage locations. However, the majority of damage locations cannot be explained by the updated map. It may be concluded that site factor alone is not sufficient, and factors like the source effect, age of buildings etc. should be considered for understanding the near-source damage distribution.

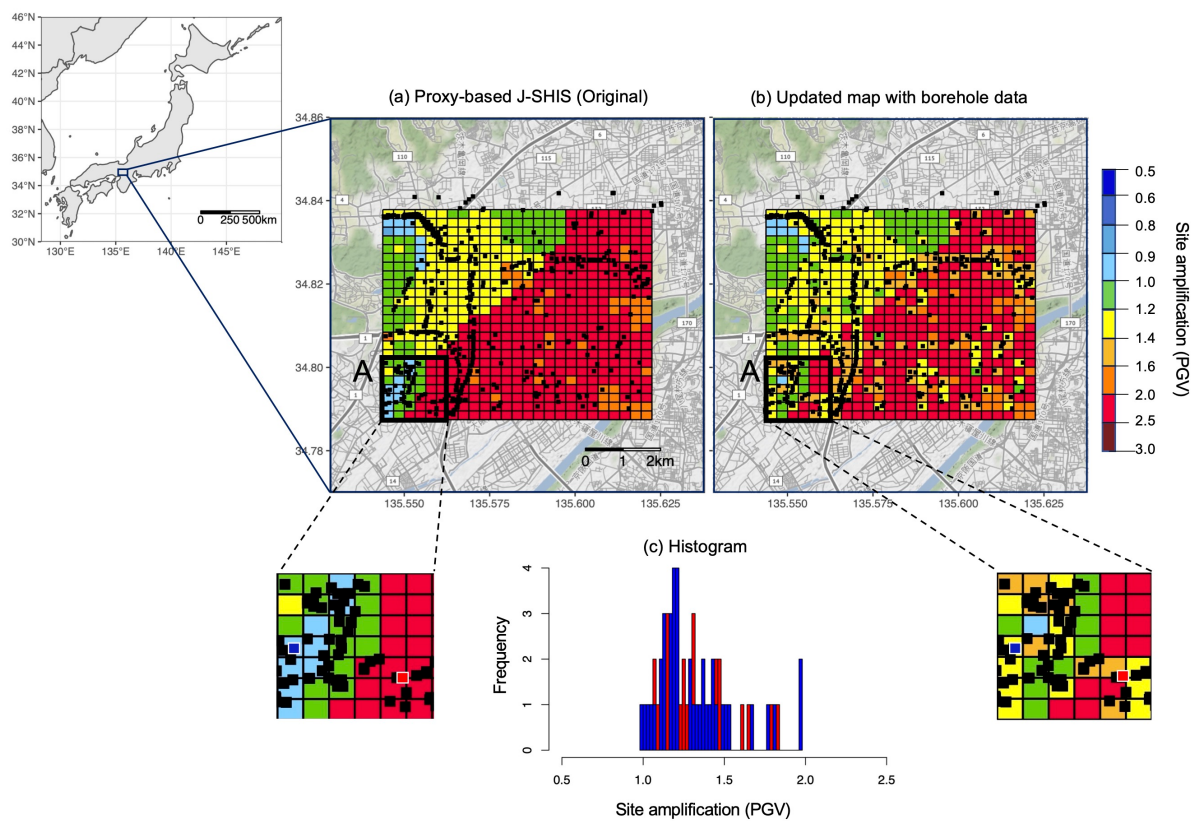


Figure 1. Comparison of site amplification in Osaka, Japan shown by (a) Proxy-based J-SHIS map and (b) Updated map with soil borehole data. (c) Histogram plot confirms the statistical significance of updated (higher spatial granularity) map resolutions in zone A

Variation of long-period strong ground motions at Hitachi-Naka port depending on the epicenter regions

*Tomiichi UETAKE¹

1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

やや長周期帯域（周期数秒から十数秒）の地震動は、観測点直下の地下構造に加え周辺地域の地下構造の影響を受けるため、観測点から見て特定の方角の地震により特徴的な波群が確認されることがある。植竹(2017)は、2016年12月28日茨城県北部の地震(M6.3)により常陸那珂火力地点（HTN）で観測された周期2秒の後続波群について、周辺地域の観測記録を分析し、この波群が地下構造モデル〔例えば、地震調査研究推進本部（2021）〕が茨城県北部（HTNの西側）に示唆する地震基盤の窪地で発生した可能性を示した。また、植竹(2018)は、HTNから100 km圏で発生したM6～7クラスの地震に対し速度応答スペクトルの分析を行い、茨城県北部・福島県東部・栃木県北部で発生した地震では、上下動に周期2秒の後続波が認められるが、千葉県東方沖から福島県沖の海域で発生した地震ではそれが認められないことを報告した。今回は、より広域で発生したM6～8クラスの地震について、水平動を含めてスペクトル特性の変化を調べ、地震基盤の浅いKiK-net〔NIED(2019)〕のひたちなか観測点（IBRH18）に対する相対的な増幅特性を調べた。なお、HTNとIBRH18は約8 km離れているが、今回検討対象とした地震では、両地点の入射波は同等と見なした。

今回の検討のきっかけは、2022年1月22日の日向灘の地震（M6.6）である。この地震によるHTNの記録は、震央距離が短い東京湾岸の観測点より大きな速度振幅を示し、周期3～4秒の震動が卓越していた。あらためて過去の記録を検討すると、西日本で発生した2016年熊本地震（M7.3）、2016年鳥取県中部（M6.6）の記録でも周期3～4秒の卓越が確認された。2013年栃木県北部の地震（M6.3）では、水平動の周期3～4秒のピークとともに上下動に周期2秒のピークが確認できる。茨城県北部・福島県東部の浅い地震では、上下動の周期2秒に顕著なピークが認められる。一方、千葉県東方沖から宮城県沖で発生した地震では顕著なピークは認められなかった。さらに、2015年5月30日の小笠原諸島西方沖の深発地震(M8.1、深さ682km)の応答スペクトルでも顕著なピークは認められなかった。このように応答スペクトルの特徴には震源地域の依存性が認められる。

HTNにおいて水平動の3～4秒にピークの見られた2013年栃木県北部の地震（M6.3）、上下動の2秒にピークの見られた2016年茨城県北部の地震（M6.3）、顕著なピークの見られなかった2011年7月31日福島県沖の地震（M6.5）、2015年小笠原諸島西方沖の地震(M8.1)について、HTNとIBRH18の速度波形、スペクトル特性の比較を行った。両地点の速度波形を比較すると、いずれの地震でも両地点での主要動は類似しているが、HTNのやや長周期帯域に顕著なピークが見られる栃木県北部や茨城県北部の地震では、HTNの記録には遅れて出現するやや長周期の後続波群が認められる。また、いずれの地震でもIBRH18のスペクトル特性には、やや長周期帯域に顕著なピークは認められないことから、HTNにおけるピークの生成は震源に起因するものではないと考えられる。HTNとIBRH18のフーリエスペクトル比を図に示す。解析区間は、主要動を含む160秒間で後続波群も含んでいる。スペクトル比には、それぞれの観測点直下の構造の違いの影響も含まれているが、栃木県北部と茨城県北部の地震で振幅の大きな周期帯には、表面波と推定される後続波群が重要な役割を果たしていると考えられる。HTNの西側で発生した地震に対し、HTNとIBRH18の後続波の違いが顕著になる。

HTNは茨城県北部域の地震基盤の窪みと海側の地震基盤の深まりがつながるチャンネル上に位置しており、西側の窪みで成長した表面波はHTN付近を通過して東に向かう。こういった構造の影響が、HTNにおけるやや長周期帯域での地震動特性の震源地域依存性に影響していると考えられる。

文献：

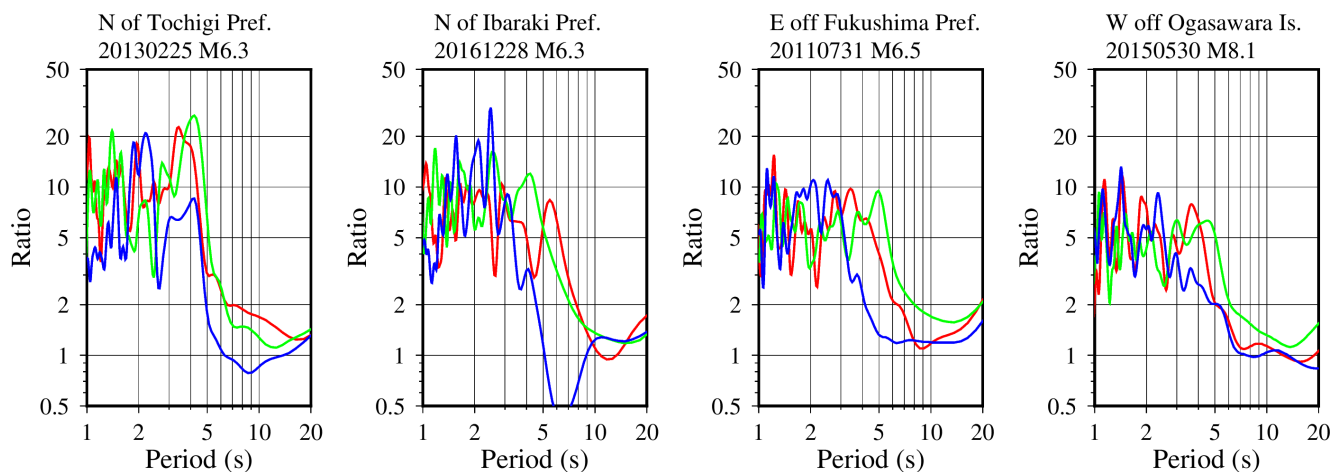
地震調査研究推進本部（2021）、関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル（2021年版）。

NIED (2019), NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0004.

植竹(2017), 2016年12月28日茨城県北部の地震により常陸那珂港で観測された顕著な後続波群, 日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集, 165-166.

植竹(2018), 常陸那珂港で観測される周期2秒の顕著な後続波群, 日本地震学会2018年秋季大会講演予稿集, S15-06.

Fourier Spectral Ratio of HTN to IBRH18 (Red:NS, Green:EW, Blue:UD)



Study on prediction of long-period ground motion

*Toshihiro SHIMOYAMA¹

1. MRI,JMA

気象庁の緊急地震速報は、地震による揺れの広がり（地震動）が続いている途中で、その後の揺れ（地震動）を予測して発表する。揺れの予測は、その時点で得られている地震動のデータから、1. 震源の位置・発震時刻・マグニチュードを即時に推定し、それら推定情報を元に予測する手法と、2. 震源の位置などは求めずに揺れ（地震動）を波動伝播としてとらえ波動伝播理論に基づき予測する手法、これら二つの手法を組み合わせで行っている。波動伝播理論に基づき予測する手法は、計算機資源をあまりかけずシステムに組み込みやすくした手法であるPLUM法を導入している（PLUM法は2018年3月から導入）。

2022年度後半には、緊急地震速報に、長周期地震動の予測に基づいた基準が追加される。これまでの震度を対象とした予測（短周期地震動の予測）に加え、長周期地震動階級の予測によっても発表するものである。この予測に用いている手法は、1. 震源の位置・発震時刻・マグニチュードから、長周期地震動を予測する手法であり、2. 波動伝播理論による長周期地震動の予測手法は導入されていない。

そのため、本発表では、長周期地震動の予測についても「2. 波動伝播理論による予測」を行うための一つの方法として、短周期の地震動予測に用いているPLUM法のような手法を適用できるかを検討する。検討は、過去に長周期地震動階級4を観測した地震（例：2022年3月16日23時36分の福島県沖の地震（M7.4、最大の長周期地震動階級4、最大震度6強）など）を対象として、

1. 長周期地震動の観測状況の整理、分析
 2. 絶対速度応答時刻歴の分析
 3. 適用範囲の検討（近傍観測点の比較）
- により行う。

Real-time forecast of long-period ground motions using Green's function based on seismic interferometry

*Teppei Enari¹, Takashi Furumura¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

1. はじめに

地震波干渉法から求めたグリーン関数を用いて、震源域近傍の強震観測データを入力値として遠地の平野で生成する長周期地震動を即時に予測する手法を検討した。

既往研究では、震源域近傍の基準観測点と予測地点の間のグリーン関数（伝達関数、応答関数）は、自然地震の波形データ（Nagashima et al., 2008; 倉橋ほか, 2014）あるいは地震波伝播シミュレーション（吉本・武村, 2018）から求められてきた。これに対し本研究では、基準観測点と予測地点の微動の相互相関を求める地震波干渉法により、2地点間のグリーン関数を作成した。地震波干渉法によるグリーン関数の導出は、近年Viens et al. (2017) やDenolle et al. (2018) らにより有効性が示されており、解析データを長期間スタックすることで自然地震を用いた場合よりも長周期側のS/N比の向上が期待される。さらに、自然地震の観測記録がない場所でもグリーン関数を算出できる点や、シミュレーションで見られる速度構造モデルの不正確性の影響を受けない点もメリットである。なお、地震波干渉法によるグリーン関数の絶対振幅は震源一観測点間の地下構造と非弾性減衰（Q）により規定されることが知られており（地元・山中, 2012）、本研究ではDenolle et al. (2018) に倣い、微動のグリーン関数と自然地震のグリーン関数の振幅を比較することで、振幅補正係数を得た。

2. データと手法

解析には防災科学技術研究所のHi-netのデータを用いた。基準観測点はN.AKWH（愛川）観測点とし、観測点間距離400 km以内、方位角210度から260度（南海トラフ地震の想定震源域の方向）に位置する88点のHi-net観測点（Fig. 1a）を予測対象地点として相互相関を計算した。Viens et al. (2017) の手順を参考とし、50 %のオーバーラップの下で長さ60分に分割した微動データに対して、4 Hzのダウンサンプリング、トレンド除去、コサインテーパ適用を行った上で、FFTを用いて各予測地点の波形記録から基準観測点の波形記録をdeconvolutionした。これを2022年5月1日～30日までスタックして、基準観測点一各予測地点間のグリーン関数を求めた。

次に、得られたグリーン関数の振幅補正係数を求めるため、茨城県南部を震源とするM 5.6の地震についてdeconvolutionにより基準観測点一各予測地点間のグリーン関数を計算し、最大振幅を調べた。地震波干渉法による微動のグリーン関数との振幅比は、基準観測点と各観測点の平均的な速度構造や減衰構造を反映するものであり、距離依存性があると考えられる。しかし、本研究で対象とする長周期地震動ではQの影響は小さいと考え、全予測地点における最大振幅比の平均値（64.9）を振幅補正係数として用いた。

3. 結果

地震波干渉法により得られた基準観測点（N.AKWH）から各予測地点への地震波伝播のグリーン関数（EW成分）をFig. 1bに示す。図では、得られたグリーン関数に周期2-10 sのバンドパスフィルターをかけ最大値で規格化したものを、N.AKWHからの距離順に200 kmまで並べている。縦軸はN.AKWHから各観測点の距離、横軸はLag timeである。グリーン関数のシグナルは、 $t > 0$ のcausal partにおいて明瞭に表れており、微動が主に基準観測点の東側から到来したことを意味している。

得られた微動のグリーン関数を、各予測地点と基準観測点の並びの延長線上近傍で起きた茨城県南部の地震（M 5.6、深さ47 km）の基準観測点での観測波形に対してconvolutionし、振幅補正係数をかけることで、各地点における長周期地震動波形を予測した。Fig. 2に結果の例として、基準観測点N.AKWHでの入力波形、11 km及び138 km離れた予測地点N.KIYH（清川）とN.KG3H（掛川3）とのグリーン関数、及び2つの予測地点における予測波形・速度応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を示す。また、比較のために実際の観測波形と速度応答ス

ペクトルを赤線で重ねて示す。

予測波形と観測波形は良い一致を示し、波形の最大振幅比はN.KIYHで1.0、N.KG3Hで0.9となり、振幅補正係数を含めて適切に予測できていることが確認できた。周期2-10 sにおける速度応答スペクトルの計算／観測比は、N.KIYHで1.26、N.KG3Hで0.85となり、この他の地点においても6割で0.4～2.5の範囲であった。一方、波形の山谷を含めた一致は難しく、N.KG3Hの予測波形はP波の立ち上がり時刻が観測波形よりも早くなったほか、2地点とも予測波形のSコーダ波の振幅は観測波形よりも大きくなり、観測波形と予測波形の相関係数は、N.KIYHで0.36、N.KG3Hで0.18のやや小さい値となった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、長周期地震動の即時予測に向けて、地震波干渉法により得られたグリーン関数を用いた地震動予測の実現性を確認した。グリーン関数の高精度化に向けて、微動データのスタック期間の影響や、振幅補正係数の震源や伝播経路の依存性など、より詳細な検討が必要である。また、今回は関東地方の地震を対象に西南日本の地点の地震動の予測を行ったが、大きな被害が予想される南海トラフや日本海溝沿いの巨大地震への応用に向け、これらの想定震源域で発生した地震を用いた予測手法の検証が必要である。

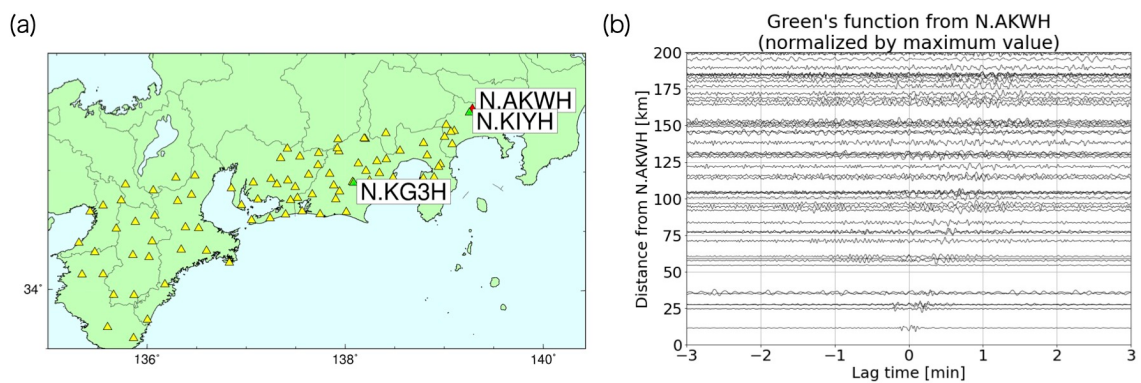


Figure 1. (a) Distribution of Hi-net stations used in this study. (b) Record section of Green's functions based on seismic interferometry.

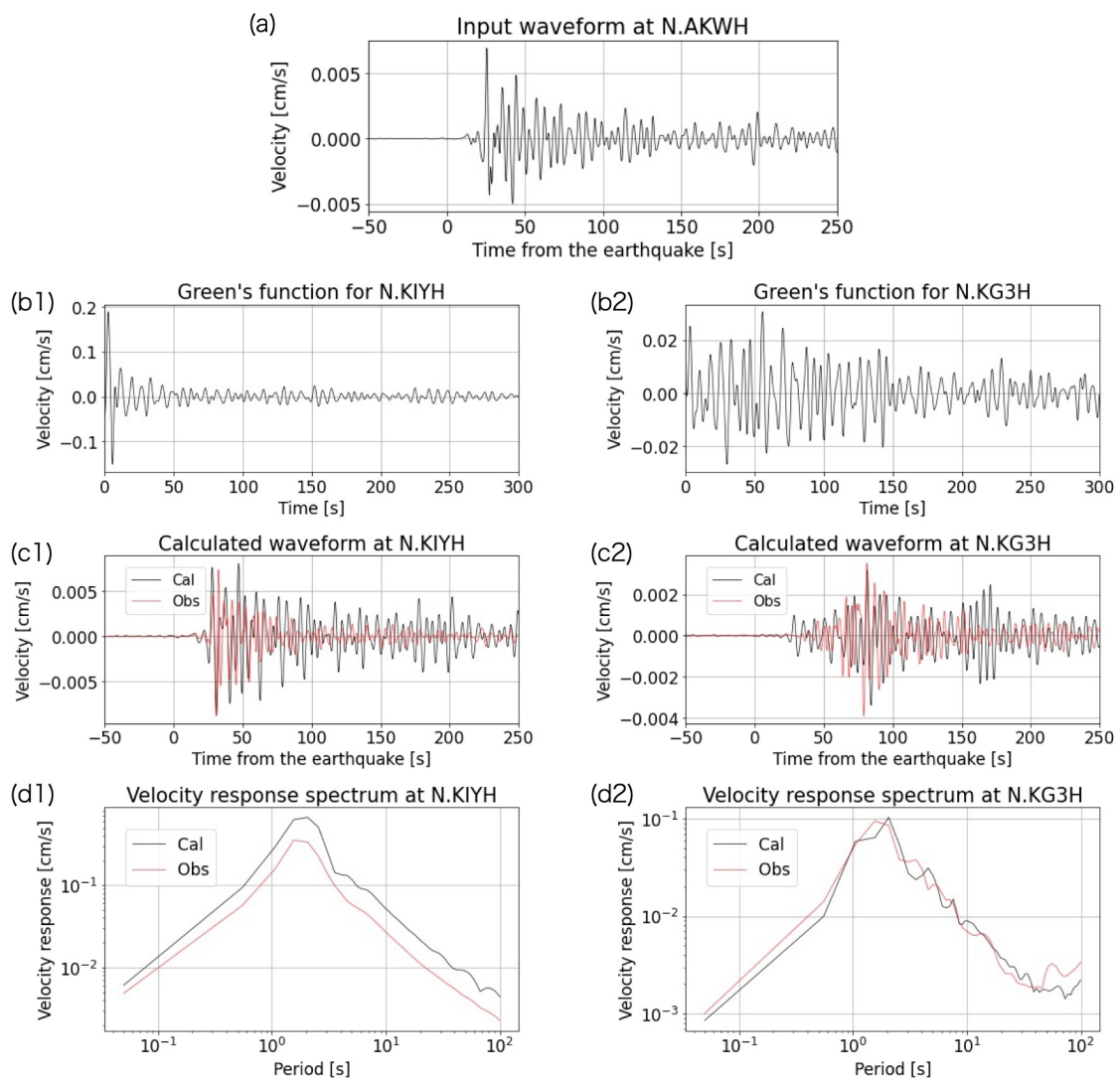


Figure 2. (1) Input waveform at N.AKWH. (b1) Green's function, (c1) calculated waveform and (d1) velocity response spectrum at N.KIYH. Red lines in (c1), (d1) are observed data. (b2-d2) Same figures for N.KG3H.

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

📅 Wed. Oct 26, 2022 11:15 AM - 12:30 PM JST | Wed. Oct 26, 2022 2:15 AM - 3:30 AM UTC | 🏢 ROOM B
4th floor (Large Conference Room)

[S15] AM-2

chairperson: Asako Iwaki (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience), Yusuke Tomozawa (Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S15-12] Evaluation of scaling relations for subduction earthquake using source inversion models

*Fumiaki Nagashima¹, Hiroshi Kawase¹, Eri Ito¹, Jikai Sun¹ (1. Disaster Prevention Research Institute)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S15-13] Estimation of Strong Ground Motion Attenuation Characteristics of Earthquakes Occurring off the Pacific Coast of Tohoku

*Yusuke Tomozawa¹, Tomoki Hikita¹ (1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S15-14] An attenuation model of strong motions considering transmission coefficient of direct S-waves in the layered structure : Application to inland earthquakes in Chugoku region

*Tomonori IKEURA¹ (1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S15-15] Correlation between strong motion intensities based on the unified strong motion database by NIED

*Hongjun Si^{1,2}, Asako Iwaki³, Nobuyuki Morikawa³, Hiroyuki Fujiwara³ (1. Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, 2. Seismological Research Institute Inc., 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S15-16] Comparison of Ground-Motion Models based on the Strong Motion Database

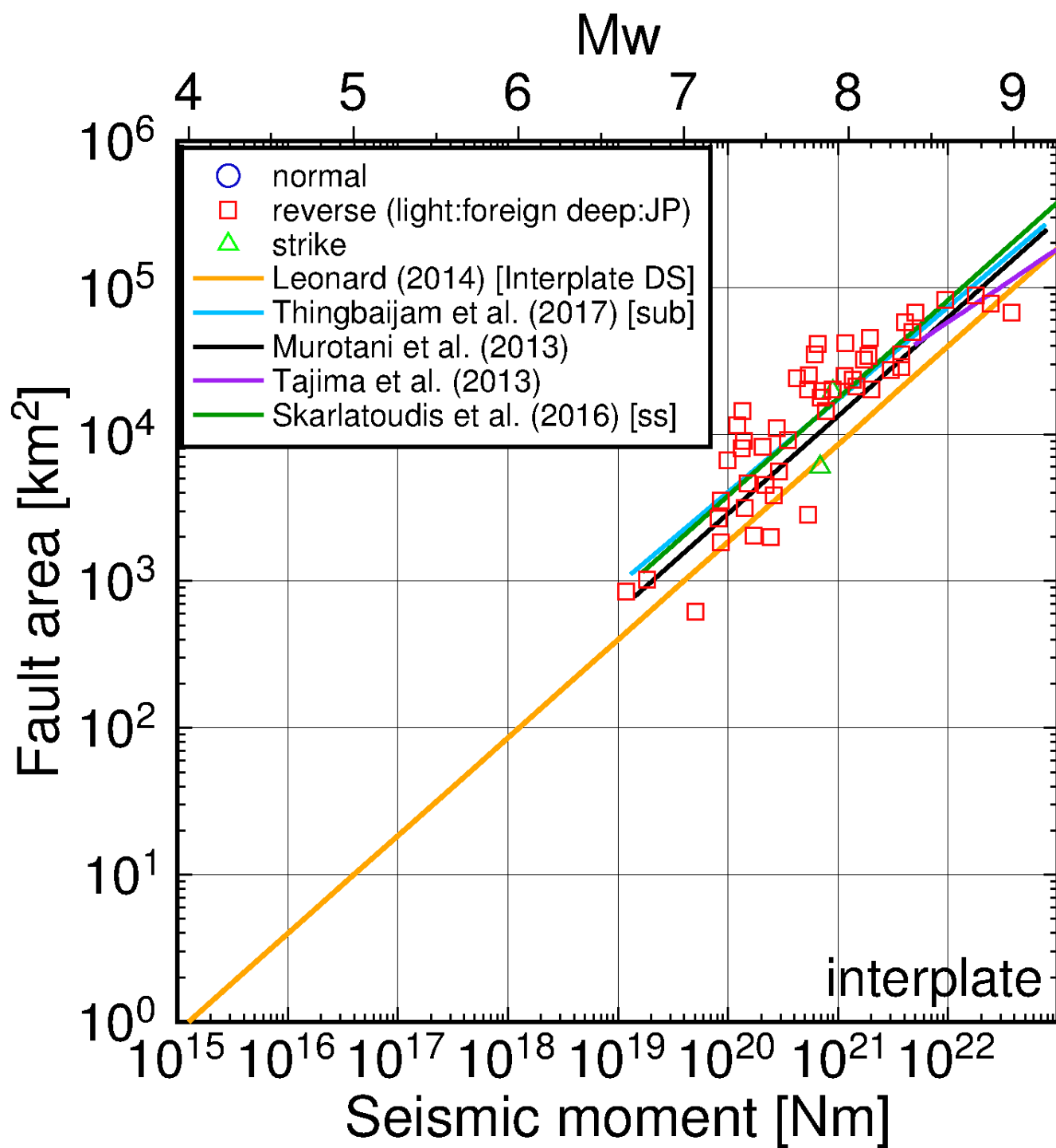
*Asako IWAKI¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹, Tomohisa Okazaki², Hisahiko Kubo¹, Hongjun Si³, Atsuko Oana⁴, Toru Ishii⁴, Yusuke Tomozawa⁵, Tomoki Hikita⁵ (1. National Research Institute for Disaster Resilience, 2. RIKEN Center for Advanced Intelligence Project, 3. Seismo Research, 4. Osaka Research Institute, 5. Kajima Technical Research Institute)

Evaluation of scaling relations for subduction earthquake using source inversion models

*Fumiaki Nagashima¹, Hiroshi Kawase¹, Eri Ito¹, Jikai Sun¹

1. Disaster Prevention Research Institute

地震モーメントと震源断層のサイズおよび滑り量の関係、いわゆるスケーリング則は、将来の地震発生とそれによる強震動を予測する上で極めて重要な関係式であり、物理的考察を背景にして、そのできるだけ正確な相互関係を把握することは定量的強震動予測のための重要な第一歩である。我々は震源インバージョン結果を用いて海溝型地震のスケーリングを評価し、既往のスケーリング則の妥当性を検討した。Martin Mai博士らによる震源断層モデルデータベースSRCMOD(Mai and Thingbaijam, 2014)で公開されている震源インバージョン結果の中から、各インバージョン結果の参考文献やUSGSのWebサイト上の情報を参考に地図上での位置も確認しつつ海溝型地震を選択した。地震タイプ(Interplate・Intraplate)についても同様に参考文献等から判別して本研究のデータセットを構築した。収集した震源インバージョン結果にSomerville et al. (1999)のクライテリアでトリミングを施し、地震モーメント M_0 についてはトリミング前後で平均剛性率を保存してトリミング後に再計算した。トリミングしたモデルからSomerville et al. (1999)のクライテリアでアスペリティを抽出し、アスペリティ面積とアスペリティ内の平均すべり量を求めた。メカニズムについては一般的な平均すべり角を用いて分類し、同一地震に複数モデルがある場合には各パラメータの幾何平均を求めた。データセットは海外49地震94モデル、国内15地震50モデルを含み、多くの地震がInterplateの逆断層型地震であった。各地震の震源深さについてはIntraplate地震のいくつかで深さ100kmを超えているが、多くの地震が深さ50kmより浅い場所に分布した。 M_0 に対する断層長さ L ・断層幅 W ・断層面積 S ・平均すべり量 D ・アスペリティ面積 S_a ・アスペリティ平均すべり量 D_a について既往のスケーリング則と比較した。 M_0 - L では、Interplate地震ではLeonard (2014)やThingbaijam et al. (2017)のスケーリング則と本研究のデータセットの対応は良い。Intraplate地震やOuter rise地震の地震数は少ないが、Interplate地震よりIntraplate地震の断層長さは小さめとなった。 M_0 - W では、Interplate地震では $10^{20} < M_0 < 10^{21}$ Nmでデータのばらつきが大きく、その区間の中で大きい値に対してはSkarlatoudis et al. (2016)やThingbaijam et al.が整合的であった。Interplate地震よりIntraplate地震の断層幅は小さかった。 $W=200$ kmでの頭打ちについては、該当する地震規模の地震数は少ないながらも確認された。 M_0 - S では、図に示すようにInterplate地震では $10^{20} < M_0 < 10^{21}$ Nmで M_0 - W と同様にばらつきが大きく、 10^{21} Nm周りでデータセットよりスケーリング則の方が小さい。 $M_w > 8.4$ では、地震数が少なく評価が難しいものの、データセットの分布の傾きが $M_w < 8.4$ よりも小さくなっているように見える。断層面積についてもIntraplate地震はInterplate地震より小さい。Intraplate地震ではIwata and Asano (2011)と整合的であった。 M_0 - D では、既往のスケーリング則はデータセットと比べてやや過大評価となった。Intraplate地震の平均すべり量はInterplate地震よりも大きく、Intraplate地震では既往のスケーリング則はデータセットより小さめとなった。抽出したアスペリティの S_a/S や D_a/D は0.24倍から0.28倍、1.95倍から2.3倍となり、Murotani et al. (2013)のPlate-boundaryの $S_a/S=0.2$ や $D_a/D=2.2$ と対応した値となった。 M_0 - S_a や M_0 - D_a ではIwata and Asanoの M_0 - S_a や M_0 - D_a 、既往の M_0 - S スケーリング則の0.22倍や M_0 - D スケーリング則の2.2倍と比較を行った。 M_0 - S や M_0 - D の場合の分布傾向と同様に、 M_0 - S_a のInterplate地震の $10^{20} < M_0 < 10^{21}$ Nmでばらつきが大きく、 $M_w > 8.4$ での傾きが小さくなり、Intraplate地震の S_a はInterplate地震よりも小さく、Iwata and Asanoと整合的である。 M_0 - D_a はInterplate地震ではスケーリング則の方が大きめであり、Intraplate地震のデータはInterplate地震よりも大きく、データセットと比べIwata and Asanoは小さめとなった。



Estimation of Strong Ground Motion Attenuation Characteristics of Earthquakes Occurring off the Pacific Coast of Tohoku

*Yusuke Tomozawa¹, Tomoki Hikita¹

1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation

1. はじめに

近年の強震観測記録の増加に伴い、地震動予測式の回帰係数に空間変動を考慮した研究が行われている (例えば, Landwehr et al., 2016; 引田・他, 2020)。高精度な地震動予測モデルを構築するためには、空間変動の要因となる震源励起特性の地域性や伝播経路特性の不均質性を詳細に評価することが重要となる。本検討では、これらのうち伝播経路特性に着目し、東北地方太平洋沖で発生する地震の空間変動の基礎的情報となる海洋プレートを含む三次元不均質減衰構造 (不均質Q値構造) をブロックインバージョン解析により推定した。

2. データセット

東北地方太平洋沖で発生した地震のうちK-NET, KiK-net, S-netで観測された以下の条件に適合する記録を収集した。対象期間は、観測開始から2022年3月31日まで、 M_w 4.5以上7.0未満。震源距離範囲は、内陸地殻内地震では100 km以下、プレート間地震とプレート内地震では、200 km以下。地盤の非線形化の影響を避けるため、K-NETとS-netは100 cm/s^2 以下の記録を用い、KiK-netは地中記録を用いた。S-netの観測記録は、Takagi et al. (2019) の姿勢角情報を基に回転補正を行った。地震による揺れの途中で加速度波形にオフセット変化を生じさせるような強震動を受けた観測点では、姿勢角に変化が生じたと判断して、それ以後に発生した地震の記録は用いないこととした。対象地震と観測点の分布を図1に示す。

3. 解析結果

解析手法は、友澤ほか (2021) と同様である。伝播経路特性は、深さ方向を大陸地殻、マントル、太平洋プレートの3層でモデル化し、各層の水平方向の不均質性を考慮してモデル化した。震源と観測点を結ぶ断面で2次元レイトレースを行って、各層の伝播距離を評価した。地震本部 (2012) を参照して各層の境界は第17層のマントル、第21層の海洋性地殻第2層 (太平洋プレート) の上面深度を用いた。S波速度はそれぞれ3.4 km/s, 4.5 km/s, 4.6 km/sとした。推定した不均質減衰構造を図2に示す。大陸地殻の不均質減衰構造は、東北地方北部の火山帯周辺でlow-Qの領域が推定された。本検討のデータセットには、東北地方で発生した内陸地殻内地震を多く含んでいないため、宮城県以南の活火山周辺の減衰構造の不均質性の推定はできていないと考えられる。マントルの不均質減衰構造は、主に活火山直下で相対的にlow-Qの領域が広がっている。太平洋プレートでは、深さが深い領域ほど相対的にhigh-Qとなる傾向が得られた。推定した不均質減衰構造を用いて、宮城県沖で発生する深さ40 kmのプレート間地震を想定し、地震基盤面上での地震動振幅の面的評価を行った結果を図4に示す。火山フロントを通過すると地震動が減衰し、振幅が同心円所に広がらない異常震域が再現されている。今後は、推定した不均質減衰構造を考慮に入れた地震動予測モデルの構築を検討する。

謝辞

防災科学技術研究所K-NET, KiK-net, S-net, F-netを活用させていただきました。記して感謝します。

参考文献

Landwehr et al. (2016), BSSA, Vol. 106, No. 6. Takagi et al. (2019), SRL, Vol. 90, No. 6. 地震調査研究推進本部 (2012), 長周期地震動予測地図2012年試作版. 友澤・他 (2021), SSJ秋季大会, S15P-01. 引田・他 (2020), 日本地震工学会論文集, 第20 巻, 第2 号.

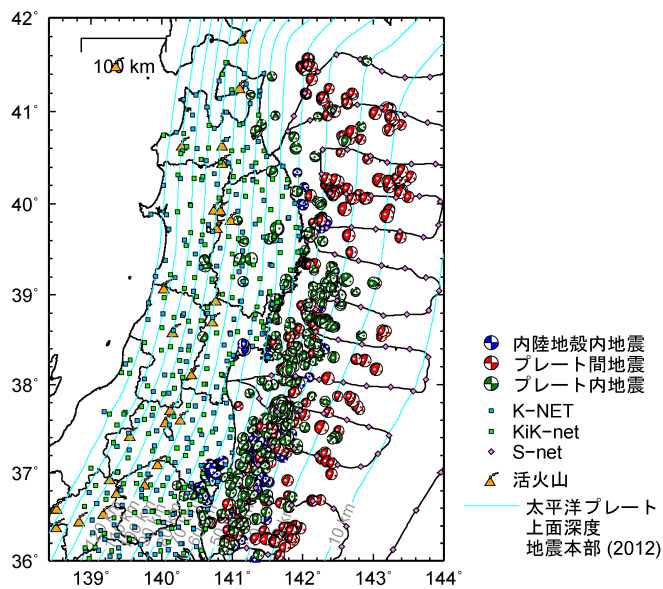


図 1 解析に用いたデータセット

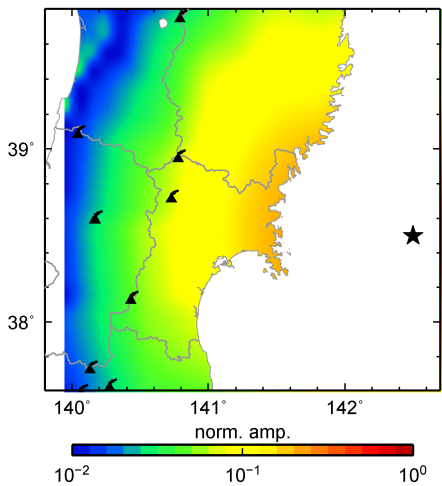


図 3 基盤面上の 10 Hz の距離減衰特性の面的分布（プレート間地震）

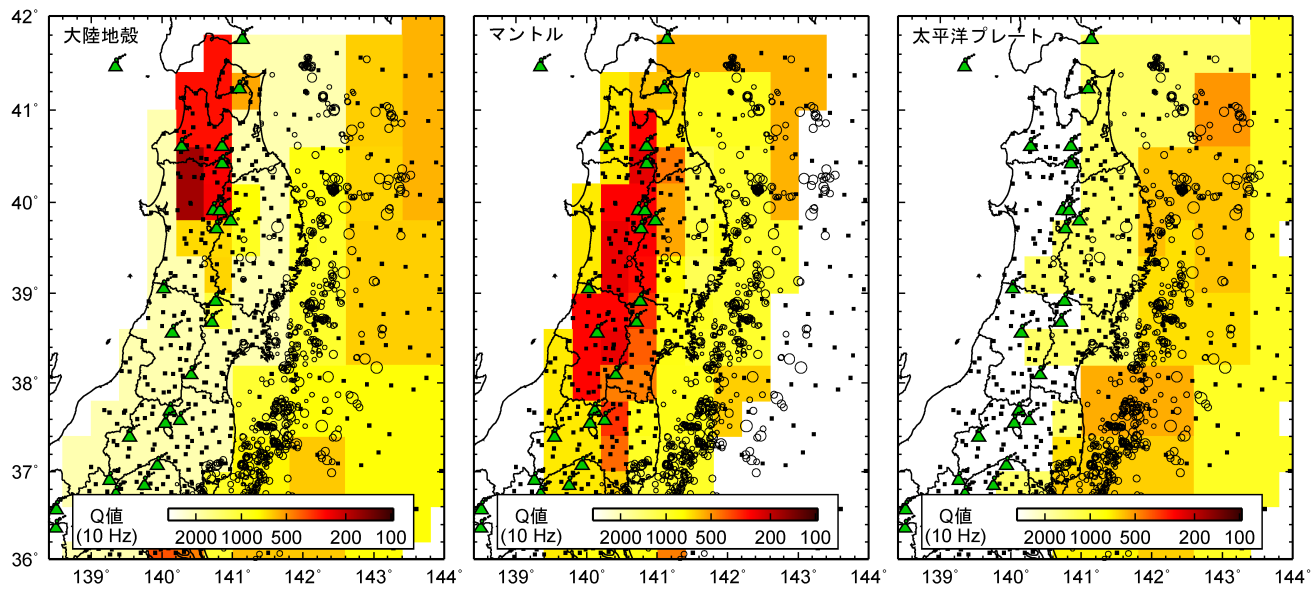


図 2 推定した不均質減衰構造（カラーは 10 Hz の Q 値）

An attenuation model of strong motions considering transmission coefficient of direct S-waves in the layered structure : Application to inland earthquakes in Chugoku region

*Tomonori IKEURA¹

1. Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation

■はじめに

内陸地震の震源近傍地震動の予測は工学的に重要な課題の一つである。震源近傍では震源からの直達S波(DS)が最大の入射成分であるが、DSは成層構造内の透過率(CTR)の影響で震央距離(Δ)とともに急減するため、遠方では地殻内部で反射・屈折を経た間接的なS波群(IS)が支配的となる¹⁾。そこで本研究では、DSとISの距離減衰モデルをそれぞれ設定し、両者の和によって地震動全体の距離減衰特性を表すモデル化を試みている。既往研究^{1), 2)}では近畿地方、福島県浜通・茨城県北部において適用性を検討し、震源近傍地震動の再現性の観点で有効性を確認した。今回は中国地方に適用した結果を報告する。

■距離減衰特性のモデルと解析法

本研究ではS波部分の観測地震動(OBS)を観測地点の相対サイトファクター(RSF)で除して得られる基盤地震動(BRM)を扱う³⁾。震源距離 r における周波数 f のBRMの振幅を $A_{\text{BRM}}(f)$ とし、これをDSの振幅 $A_{\text{DS}}(f)$ とISの振幅 $A_{\text{IS}}(f)$ を用いて次式で表す。

$$A_{\text{BRM}}^2(f) = A_{\text{DS}}^2(f) + A_{\text{IS}}^2(f) \cdots (1).$$

また、 $A_{\text{DS}}(f)$ と $A_{\text{IS}}(f)$ はそれぞれ次のように表す。

$$A_{\text{DS}}(f) = S_{\text{DS}}(f) \times r^{-1} \text{CTR}(h, \Delta) \exp[-b_{\text{DS}}(f)r] \cdots (2), \quad A_{\text{IS}}(f) = S_{\text{IS}}(f) \times r^{-0.5} \exp[-b_{\text{IS}}(f)r] \cdots (3).$$

ただし、 $S_{\text{DS}}(f)$ と $S_{\text{IS}}(f)$ はDS、ISの地震項であり、両者の間に一定の倍率： $C_{\text{IS}}(f) = S_{\text{DS}}(f) / S_{\text{IS}}(f)$ を仮定する。また、 $\text{CTR}(h, \Delta)$ はJMA2001⁴⁾を仮定した場合のDSの透過率、 $b_{\text{DS}}(f)$ と $b_{\text{IS}}(f)$ はそれぞれDSとISのQ値効果による距離減衰係数である。

このモデルを観測データに当てはめる場合、未知数は地震毎の $S_{\text{DS}}(f)$ と全地震共通の $C_{\text{IS}}(f)$ 、 $b_{\text{DS}}(f)$ 、 $b_{\text{IS}}(f)$ であり、対数振幅のrms誤差を評価関数として非線形最適化手法を適用して求める。

なお、BRMの算出(OBS/RSF)は線形地盤応答が前提であるが、震源近傍の大振幅記録では地盤応答が非線形化する問題がある。今回は $\text{PGA} \geq 200 \text{ Gal}$ の地表記録を対象に、KiK-net地点では地表/地中(GL/DH)、K-NET地点では水平/上下(H/V)について、小振幅時の平均値に対する強震時の比 $R_{\text{NL}}(f)$ を求め、 $\text{OBS}(f)/R_{\text{NL}}(f)$ によって線形化補正を試みた。

■データ

今回は表1に示す $M \geq 5.0$ の10地震を対象とし、既検討²⁾と同様に $r \leq 90 \text{ km}$ の記録を扱った。震央と観測地点の分布を図1に示す。また、解析データの例として、7Hz帯域における線形化補正前後のBRM振幅の距離減衰分布を図2に示す。

■結果

2000/10/06鳥取県西部地震の7Hz帯域を例にして得られた距離減衰曲線とBRMとの対応関係を図3に示す。DSは震源近傍で卓越するが $r = 40 \text{ km}$ 付近で消失し、遠方ではISが主要な成分となる。

最適化による $C_{\text{IS}}(f)$ を他の地域の結果^{1), 2)}と合わせて図4に示す。 $C_{\text{IS}}(f)$ はいずれの地域でも概ね0.1前後の値である。また、各地震の $S_{\text{DS}}(f)$ を図5に示す。 $S_{\text{DS}}(f)$ の大小関係は概ね M_w に従っている。図6では2016/10/21鳥取県中部の地震($M 6.6$)の $S_{\text{DS}}(f)$ 、 $S_{\text{IS}}(f)$ を波形インバージョン⁵⁾による震源スペクトル $S(f)$ と比較した。 $S_{\text{DS}}(f) > S(f) > S_{\text{IS}}(f)$ の傾向は他地域^{1), 2)}と同様である。

図7はDSとISのQ値と従来の線形回帰($\ln A = c - \ln r - br$)によるQ値であり、それぞれ大振幅データに線形化補正をした場合(Corrected Data)、しなかった場合(Observed Data)の結果を示している。DSのQ値だけが線形化補正で大きく変わっている。

■誤差

全距離範囲ではモデルや線形化補正による誤差の違いは小さい(図8)。しかし、震源近傍($r \leq 20\text{km}$)では、従来法(LSQ)が高周波数側で過小評価になること(図9)、線形化補正が高周波領域のばらつき低減に効果があること(図10)が分かる。

■まとめ

本研究の距離減衰モデルの震源近傍における適用性を確認し、大振幅記録に対する線形化補正が高周波数領域の精度向上に関して有効であることを確認した。

■謝辞

防災科学技術研究所K-NET, KiK-net, F-netのデータを使用させていただきました。記して感謝します。

■参考文献

1)池浦(2021)地震学会年大会, 2)池浦(2022)JpGU, 3)池浦(2020)日本地震工学会論文集, 4)上野他(2002)験震時報, 5)気象庁(2017)国内の地震の解析結果

表1 解析地震の諸元

No.	Date Time	North Lat. (degN)	East Long. (degE)	Depth (km)	M_J
#01	1997/06/25_18:50	34.4415	131.6662	8.3	6.6
#02	1997/09/04_05:15	35.2620	133.3767	8.9	5.5
#03	2000/10/06_13:30	35.2742	133.3490	9.0	7.3
#04	2000/10/08_13:17	35.1393	133.1502	6.8	5.6
#05	2000/10/08_20:51	35.3688	133.3107	8.3	5.2
#06	2002/09/16_10:10	35.3700	133.7393	9.6	5.5
#07	2016/10/21_14:07	35.3805	133.8562	10.6	6.6
#08	2016/10/21_14:53	35.3613	133.8678	8.9	5.0
#09	2018/04/09_01:32	35.1847	132.5867	12.1	6.1
#10	2018/06/26_17:00	34.9315	132.8718	11.6	5.0

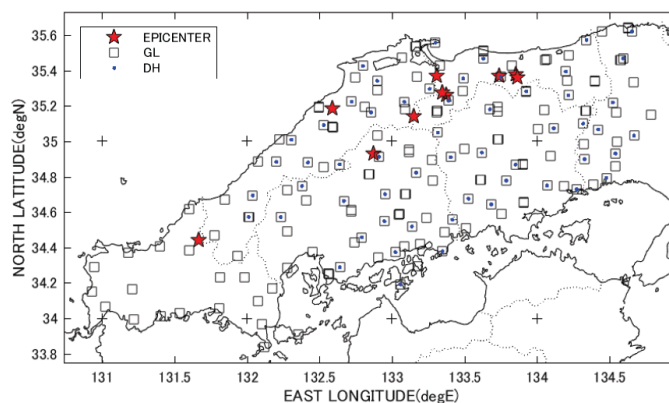


図1 震央と観測地点の分布

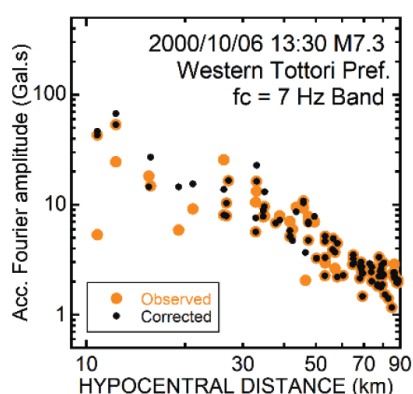


図2 BRM 振幅の距離減衰分布

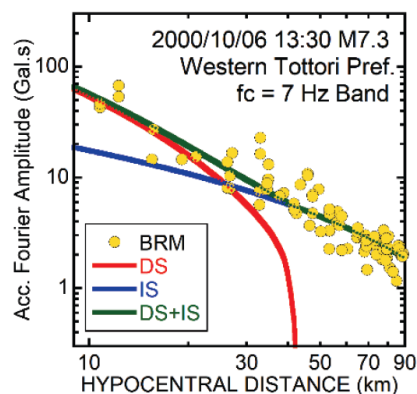


図3 BRMと距離減衰曲線

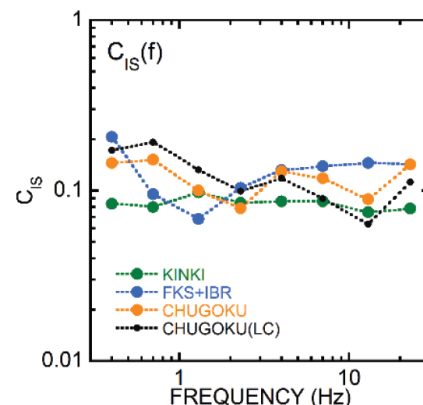
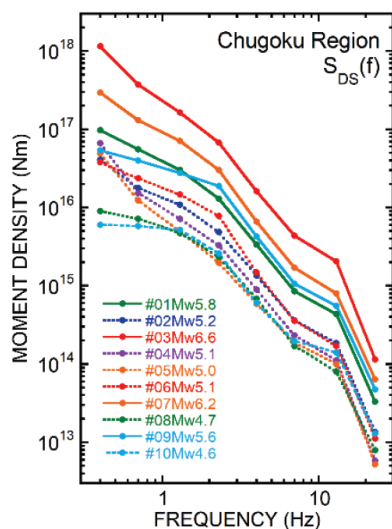
図4 $C_{IS}(f)$ 

図5 DSの震源スペクトル

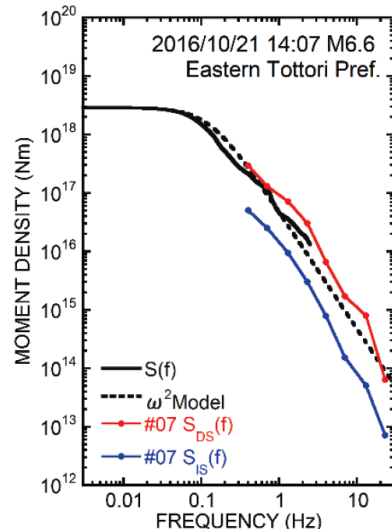


図6 #7地震の震源スペクトル

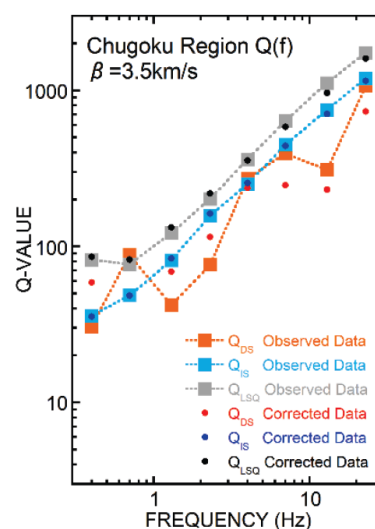


図7 Q値

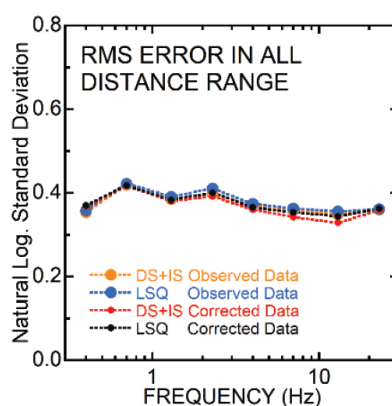


図8 全距離範囲誤差

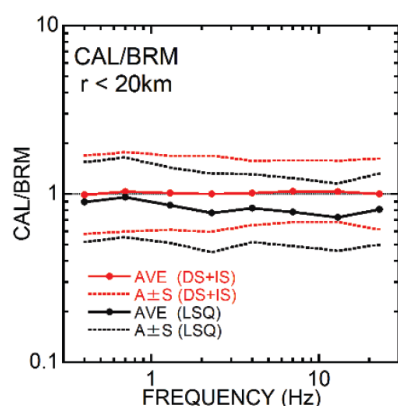


図9 震源近傍の計算/BRM

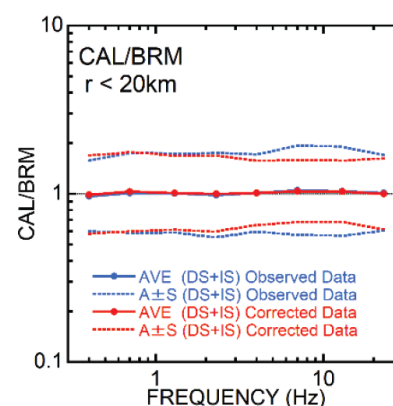


図10 線形化補正の効果

Correlation between strong motion intensities based on the unified strong motion database by NIED

*Hongjun Si^{1,2}, Asako Iwaki³, Nobuyuki Morikawa³, Hiroyuki Fujiwara³

1. Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, 2. Seismological Research Institute Inc., 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

簡易的な地震動予測方法として地震動モデル (Ground Motion Model; GMM) は広く用いられているが、GMMは過去に発生した地震による観測記録を用いて回帰分析等を行い、経験的に構築されるものである。通常、GMMは目的変数である地震動強さのパラメータ (最大加速度、最大速度、応答スペクトルなど) をマグニチュード、震源距離などの説明変数の関数として構築されている。これまでに世界中に多くのGMMが提案されているが、これらのGMMでは、目的変数となる地震動強さのパラメータの定義はさまざまであり、例えば同じ水平地震動の最大値でも水平2成分の最大値のうち、大きいほうの値なのか、その平均値なのかで異なる。そのため、GMMを用いた地震動評価を行う際に、地震動強さパラメータの補正が必要になる。これまでの研究では、福島(1993)によるレビュー論文では、Campbell (1985)を引用した形で地震動強さパラメータ間の関係を議論されているが、検討の詳細は明らかにされていないようである。そこで、本研究では、森川・他 (2022)による強震動データベースに収録されている豊富な観測記録を利用して、地震動強さパラメータ間の関係を調べたので、その結果を報告することとした。検討対象になるのは、下記のものとする。

(1) 地震動最大値のうち、水平2成分のうち大きいほうの値とその平均値の違い (2) 地震動最大値 (PGA、PGV) と応答スペクトルとの関係 (3) 計測震度とその他の地震動パラメータ (PGA、PGV、SI値等) の関係

本研究により、暫定的な検討結果として、以下のことが分かった。

(1) 地震動最大値のうち、水平2成分のうち大きいほうの値PGAmとその平均値PGAvの関係は、 $\ln PGAv = 0.995 \ln PGAm - 0.156$ で表すことができる。

(2) PGAは5%減衰0.02秒加速度応答スペクトルのRotD50にほぼ等しいことが分かり、PGVは5%減衰0.5秒～1秒加速度応答スペクトルのRotD50のうち、5%減衰0.6秒のRotD50との相関関係 (Pearson相関係数) が最も強いことは分かった。

(3) 計測震度とPGA、PGV、SI値の関係のうち、PGA、SI値との相関が高く、Pearson相関係数では、それぞれ0.60と0.54の値となった。今後、強震動データベースの詳細をさらに調べを行い、より詳細な解析を実施したいと考えている。

Comparison of Ground-Motion Models based on the Strong Motion Database

*Asako IWAKI¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹, Tomohisa Okazaki², Hisahiko Kubo¹, Hongjun Si³, Atsuko Oana⁴, Toru Ishii⁴, Yusuke Tomozawa⁵, Tomoki Hikita⁵

1. National Research Institute for Disaster Resilience, 2. RIKEN Center for Advanced Intelligence Project, 3. Seismo Research, 4. Osaki Research Institute, 5. Kajima Technical Research Institute

強震動観測記録に基づく経験的な地震動予測モデル（Ground Motion Model; GMM）は確率論的地震ハザード評価(Probabilistic Seismic Hazard Assessment; PSHA)の基盤となる。日本国内では豊富な強震記録に基づいて多くのGMMが作られ分析が進められてきたが、作成条件やデータセットの異なるGMM同士はデータ処理方法や地震動指標値が異なるため定量的比較が難しい場合があり、強震動予測やPSHAにおける認識論的不確定性を増加させる要因となっている。そこで、強震観測記録を統一的に扱うことのできる共通基盤としての強震動データベースとそれに基づく複数のGMMを構築する取り組みを進めている（森川・他, 2022）。本研究では、GMMのばらつきや認識論的不確定性の定量化を目指し、防災科研のK-NET, KiK-net観測記録による地震動指標値、防災科研J-SHISの地盤情報も含めた観測点情報、気象庁一元化処理震源及び防災科研F-netの震源情報からなる強震動データベース（森川・他, 2022）を用いて作られた複数のGMMについて、定量的な比較と特徴付けの方法を検討する。本検討で用いるGMMは以下の6つである。これらのGMMには、定式化を伴う回帰分析をベースにしたもの（モデルA, B, F）、定式化を伴わない機械学習によるもの（モデルC）、それらの組み合わせによるもの（モデルD, E）が含まれる。

モデルA：Morikawa and Fujiwara (2013; MF13式)に遠方補正を適用したモデル（森川・他2021）

モデルB：司・翠川(1999)をM8.3以上の大地震に対応させたモデル（司・瀬瀬・三宅2016）

モデルC：一部の入力変数（M・距離・VS30）に単調依存性を課したNeural networkによるモデル (Okazaki et al. 2021)

モデルD：MF13式とExtremely Randomized Treeの組み合わせによるモデル（Kubo et al. 2020）

モデルE：MF13式による出力も説明変数に加えた勾配ブースティング木のモデル（小穴・他, 2022）

モデルF：ブロックインバージョン解析による地殻の不均質Q値を反映させ伝播経路特性の不均質性を考慮したモデル（友澤・引田2022）

一般にGMMには地震動特性を長期間・広範囲で捉えた時の平均値の安定性を仮定して全観測点で得られた記録を使用したエルゴード的なGMMのほか、観測点固有のサイト特性を反映させたGMMや、豊富な観測記録を活用し震源位置や対象地点を特定することによりさらにばらつきを低減させたGMMも開発されている。特に、特定地点のPSHAの目的においては、観測点固有のサイト特性を反映したGMMの重要性は高い。上記6モデルのサイト特性の反映方法はさまざまであり、またモデルEとFはGMMの入力に観測点・震源位置の両方を指定するモデルとなっている。本検討では、このように作成方法や特徴の異なる複数のGMMについて特徴を比較するため、いくつかの指定した観測点において、いくつかのタイプの地震に対する地震動予測結果を比較する。その際、GMMへの入力変数として

(1)該当観測点の地盤情報を反映したパラメータ（VS30など）のみを用いる場合

(2)該当観測点固有の情報（位置情報等を含む）を用いる場合

のいずれかまたは両方について、各モデルの出力結果の比較を行い、それぞれの違いを考察するとともに、観測点固有のサイト特性の反映方法が予測結果に及ぼす影響を検討する。

謝辞：本研究はJSPS科研費(20H00292)の助成を受けたものである。

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

📅 Wed. Oct 26, 2022 2:00 PM - 3:15 PM JST | Wed. Oct 26, 2022 5:00 AM - 6:15 AM UTC | 🏢 ROOM B 4th floor (Large Conference Room)

[S15] PM-1

chairperson: Kazuhito Hikima (Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.), Wataru Suzuki (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S15-17] Automatic Hypocenter Determination with the IPFx method for the 2018 Hualien earthquake sequence

*Masumi YAMADA¹, Dayi Chen² (1. Kyoto University, 2. Central Weather Bureau, Taiwan)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S15-18] Rupture processes of the 2021 and 2022 Fukushima-oki earthquakes: Reactivation of the faults in the subducting slab originally formed in the outer-rise region

*Hiroaki KOBAYASHI¹, Tetsushi Watanabe¹, Kazuki Koketsu² (1. Kobori Research Complex, 2. Graduate School of Media and Governance, Keio University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S15-19] Comparative study of strong motion distributions of the two *M*7-class Off Fukushima earthquakes in 2021 and 2022

*Wataru Suzuki¹, Hisahiko Kubo¹, Takeshi Kimura¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[S15-20] Source Processes of the Off Fukushima Intra-slab Earthquakes in March 2022 and February 2021 - Analysis using 3D subsurface structure -

*Kazuhito HIKIMA¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. , TEPCO Research Institute)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[S15-21] Ground motion in the Tokyo metropolitan area for the 2021 Northwestern Chiba earthquake

*Hiroe MIYAKE¹, Miki UEHARA¹ (1. ERI, Univ. Tokyo)

Automatic Hypocenter Determination with the IPFx method for the 2018 Hualien earthquake sequence

*Masumi YAMADA¹, Dayi Chen²

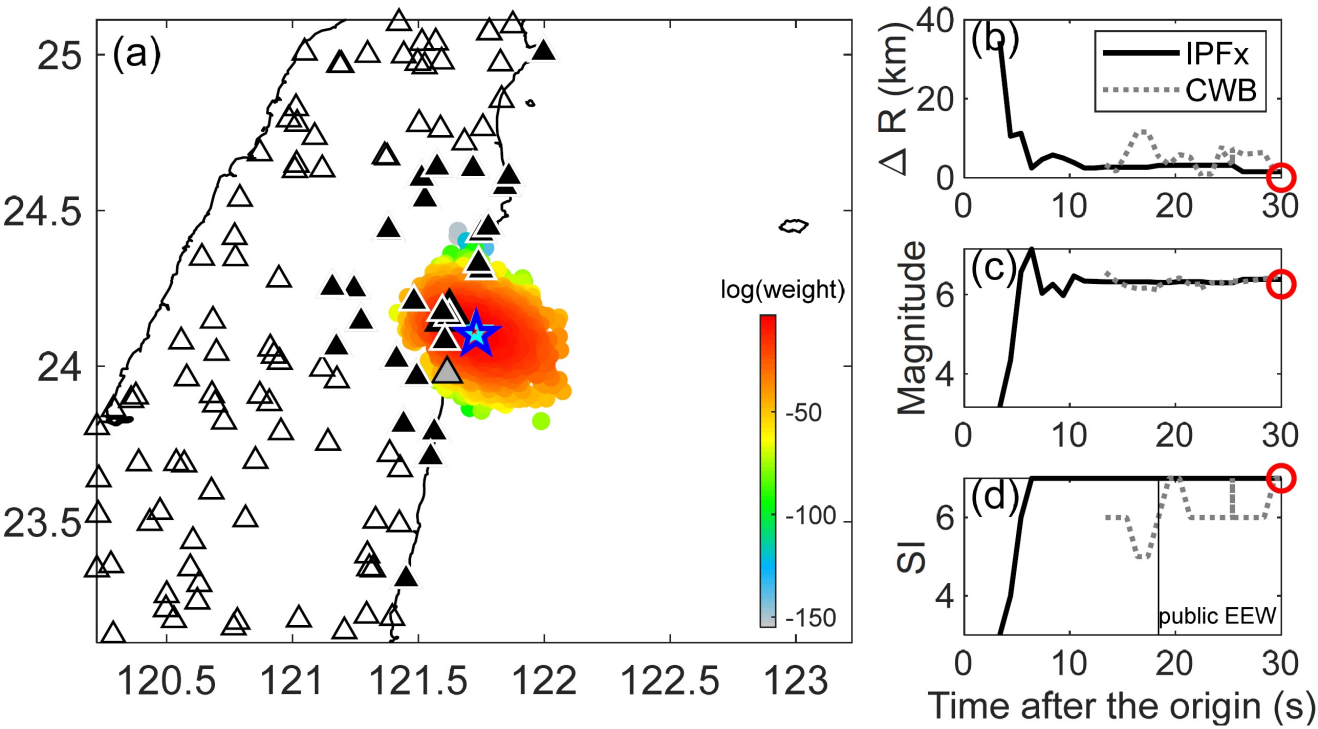
1. Kyoto University, 2. Central Weather Bureau, Taiwan

The extended integrated particle filter (IPFx) method is an automatic source determination algorithm designed for the Japanese earthquake early warning (EEW) system. The method improved earthquake source determination during active seismicity by incorporating the smart phase association scheme. We applied this method to the 2018 Hualien earthquake sequence and evaluated its performance by comparing it to the manual catalog.

We used 1-month continuous waveforms from February 2018 at 170 stations. Owing to the higher noise level, we improved the phase association algorithm to avoid noise contamination. The IPFx method detected the Hualien mainshock 9 s faster than the CWB EEW system and would have provided the warning 12 s earlier (Figure 1).

The detectability of the IPFx method was sufficient for use in EEW. Out of 127 earthquakes with a seismic intensity 4, 105 were successfully detected in one month, of which 103 had good accuracy with a location error of <30 km. Earthquakes in the manual catalog with magnitude 5 were mostly detected, while earthquakes with a magnitude between 2 and 5 were missed if they occurred immediately after large earthquakes. Except for the earthquakes with an interval <5 s, the detectability of the IPFx method agrees with the CWB manual catalog. The method was also applied to the 1-day continuous data on April 18, 2021, and detected 14 earthquakes with a magnitude ~2 that were not on the manual catalog.

Currently, the Central Weather Bureau in Taiwan uses the effective epicenter method to locate earthquakes for the EEW system. However, source determination for offshore events is difficult as most of the stations are on land. We expect the IPFx method to provide better location estimates for offshore earthquakes and during the period of active seismicity. It also provides an earlier warning as it sends the first message when three stations are triggered. This new method can potentially improve the speed and accuracy of the Taiwanese EEW system.



Rupture processes of the 2021 and 2022 Fukushima-oki earthquakes: Reactivation of the faults in the subducting slab originally formed in the outer-rise region

*Hiroaki KOBAYASHI¹, Tetsushi Watanabe¹, Kazuki Koketsu²

1. Kabori Research Complex, 2. Graduate School of Media and Governance, Keio University

2021年と2022年に福島県沖で発生した M_{JMA} 7.3と M_{JMA} 7.4の2つのスラブ内地震は、共に宮城県と福島県で最大震度6強が観測され、人的・住家被害が出た。余震分布などから、これら2地震はスラブ内で隣接する領域を破壊したと見られる。本研究では、これら2地震の断層構造と破壊過程を把握するため、強震・遠地・測地データを用いて震源過程解析を行った。

強震波形はK-NET, KiK-net, JMAのデータを用いた。解析には0.05-0.4 Hzのバンドパスフィルタをかけた速度波形を用いた。遠地波形はIRIS-DMCからデータを入手した。解析には0.01-0.4 Hzのバンドパスフィルタをかけた変位波形を用いた。測地データは、国土地理院のGEONETの日々の座標値 (F5解) を用いた。地震時の変位はGEONET岩崎 (950154) を固定し、地震前後7日間の平均値の差を取ることで求めた。

震源インバージョン手法はマルチタイムウィンドウ線形インバージョン法(Yoshida et al. 1996; Hikima and Koketsu, 2005)を用いた。観測点が震源から見て片側にしかないため、ジョイント時は強震・測地のデータセットの重みは遠地の半分に設定した。強震・測地・遠地のグリーン関数の計算には、それぞれKoketsu (1985), Kikuchi and Kanamori (1991), Zhu and Rivera (2002)の手法を用いた。グリーン関数の計算に用いた1次元地下構造モデルは、強震観測点および遠地の震源付近の構造については全国一次地下構造モデル(JIVSM, Koketsu et al., 2008; 2012)を基に構築した。その際、陸側のマントルまでと海洋性マントル (深さ43 km以深に一律に挿入) を考慮した。遠地観測点付近の構造はJ-Bモデルとし、測地観測点は強震観測点MYG011の速度構造モデルを共通して用いた。

断層モデルの構築にあたり、まずHypoDD法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)により、それぞれの余震を同時に再決定した。その後、それぞれ本震後24時間の震源分布および各機関のメカニズム解を参考に断層モデルを構築した。2021年については、震源付近に西北西傾斜の面 (strike 190°, dip 35°と60°), 震源より南西側に東南東傾斜の面 (strike 32°, dip 32°と52°) を仮定した。面はそれぞれ震源深さ付近で傾斜方向に折り曲げている。震源付近の低角の面は余震分布からは不明瞭であるが、JMAの初動解をもとに設定した。断層長さはそれぞれ10 kmと35 kmとし、幅は共通して20 kmとした。2022年については、東南東傾斜の面 (strike 15°, dip 40°と52°) を仮定し、こちらも2021年と同様に震源深さ付近で傾斜方向に折り曲げた。断層長さは50 km, 幅は25 kmとした。また、余震分布に整合させるために北半分については東側に数 km程度ずらしている。インバージョン解析では断層を5 km×5 kmの小断層に分割し、基底関数としては幅1秒の箱型関数を設定した。

解析の結果、2021年はまず西北西傾斜の面上で破壊が始まり、その後東南東傾斜の面が破壊した。破壊はup-dip方向および南南西方向に進んだ。また、東南東傾斜の面の中央付近に最大すべり量4.4 mが得られた。震源時間関数は破壊開始後9秒程度に最大となり、地震モーメントは 6.1×10^{19} Nm (M_w 7.1)と推定された。なお、第一タイムウィンドウの破壊開始時刻を決める V_r は2.9 km/s, 各小断層のウィンドウ数は6とした。2022年については、震源から主に北北東およびup-dip方向に破壊が伝播した。断層中央付近に最大すべり量4.9mが得られた。震源時間関数は破壊開始後6秒後と13秒後程度に2つのピークを持ち、主に断層中央と北部のすべりに対応するが、破壊開始後12s程度以降に震源付近が遅れて破壊しており、後者のピークはその寄与もあるとみられる。地震モーメントは 1.4×10^{21} Nm (M_w 7.4)と推定された。第一タイムウィンドウの破壊開始時刻を決める V_r は2.5 km/s, 各小断層のウィンドウ数は12とした。

近年の東北沖アウターライズ領域の調査によると、アウターライズ領域の断層のDip角は浅部で最大75°, 深部では45~60°程度である (e.g., Baba et al., 2020)。Iwasaki et al. (2015)のプレート境界モデルでは、今回2つの地震が発生した領域のプレートの傾斜は20°程度である。したがって、2021年と2022年の断層面のプ

レート境界面からの角度は余震分布からは不明瞭な2021年の破壊開始点付近の断層を除いて40~70°程度となり、アウターライズ領域の断層のDipと概ね整合的で、2011年の宮城県沖のスラブ内地震（Nakajima et al., 2011; Ohta et al. 2011）と同様に、スラブ内地震がアウターライズ領域で形成された断層の再活動であるという説（e.g., Silver et al., 1995; Jiao et al., 2000）を支持する。

Comparative study of strong motion distributions of the two $M7$ -class Off Fukushima earthquakes in 2021 and 2022

*Wataru Suzuki¹, Hisahiko Kubo¹, Takeshi Kimura¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2021年2月13日に福島県沖で M_w 7.1のスラブ内地震が発生し、2022年3月16日には再び福島県沖で M_w 7.3のスラブ内地震が発生した。本稿では前者をEQF2021、後者をEQF2022とする。気象庁一元化震源情報に基づく2つの地震の震央間の距離は約8 km、深さはともに約56 kmであり、破壊開始点は非常に近接していた。防災科研AQUA-CMTによるセントロイドの水平位置の距離は約23 km、セントロイド深さの差は3 kmと破壊開始点に比べるとやや離れている。防災科研K-NET及びKiK-netによる三成分合成最大加速度（以下、PGA3）の分布を比較すると、震源域西方から南西の方向に位置する福島県内ではEQF2021とEQF2022で大きく変わらず、観測点によってはEQF2021の方が大きいケースも見られた。震源域北方の宮城県から北海道にかけてはEQF2022の方が大幅に大きく、PGA3が2倍以上となる観測点が100点弱に及ぶ。福島県以南では最大加速度が2倍以上となる観測点は兵庫県の1点を除き存在せず、南方の観測点では北方の観測点に比べてEQF2022とEQF2021のPGA3の比は大きくない。スラブ内地震どうして M_w では0.2、地震モーメントでは2倍ほどEQF2022の方が大きいところ、PGA3の分布は単純に一律にEQF2022の方が大きい訳ではないことは興味深い。消防庁の被害状況集計によると、福島県と宮城県のEQF2021に対するEQF2022の住家被害棟数はそれぞれ約1.2倍と約1.5倍であり、EQF2022により特に宮城県が強い揺れに見舞われたことに対応していると考えられる。本研究ではこの近接して発生した2つの福島県沖の地震による強震動分布を比較分析して、その特徴及びその成因について検討を行った。

周期0.05秒から10秒までの加速度応答値（減衰5%）のEQF2021に対するEQF2022の比の分布を見ると、0.05～0.5秒ではPGA3と同様の特徴を示すが、0.6～1.0秒では福島県から関東地方内陸部さらに中部地方にかけてEQF2021の方が大きい観測点が増加する。さらに周期1.5秒以上では一転して東日本全体でEQF2022の方が大きく、この長周期帯域では地震モーメントの差が大きく影響していると考えられる。最大加速度の比較において地震モーメントの違いを補正した比較を行うため、まず観測された水平最大加速度とMorikawa & Fujiwara (2013) の地震動予測式による予測との比をとり、その比についてのEQF2021に対するEQF2022の比をとった。PGA3の比では震源域北方で一様にEQF2022が大きかったが、この分布では空間的に短波長に変化しており、EQF2022は宮城県中部から北部、そして岩手県の沿岸部にかけての揺れが特徴的に大きい様子が見られた。また振幅の大小の影響を抑えて分布形状そのものを分析するため、EQF2021からEQF2022の間に福島県沖で発生しK-NET及びKiK-netで100点以上の記録の得られた地震に対するEQF2021とEQF2022のPGA3の比をとり、比ができるだけ一定となる場合に分布が似ていると考えて比の対数標準偏差を最小とする地震を抽出した。EQF2021に対しては2021年2月15日21時26分に発生した M_w 5.3の地震（以下、EQ0215）、EQF2022に対しては2021年12月8日16:22に発生した M_w 4.7の地震（以下、EQ1208）が対数標準偏差を最小にした。EQ1208の震央位置とセントロイド位置はEQF2021の震源とセントロイド、EQF2022の震源位置に近接している一方、EQ0215の震源位置とセントロイド位置はそれらの領域より南～南西に20 km程度離れており、EQF2021に比べてEQF2022のPGA3分布が北方に延びていることに対応していると考えられる。

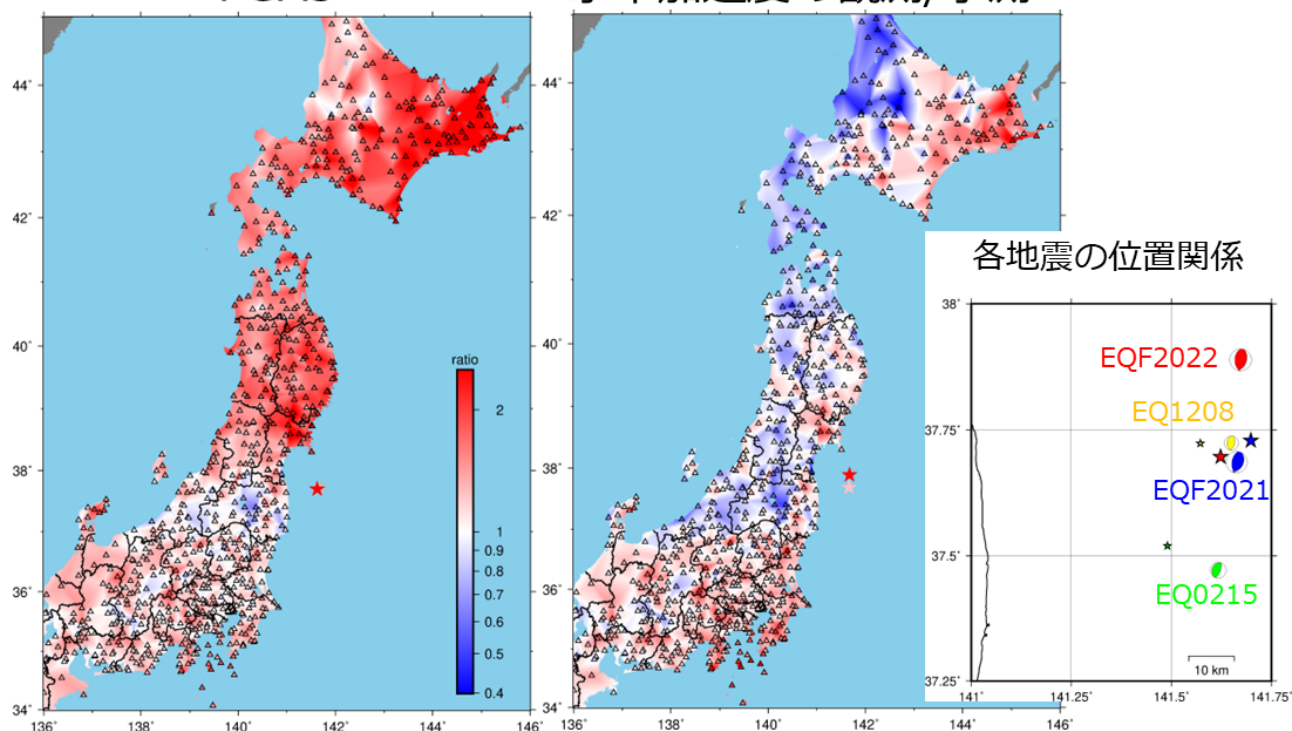
本研究では近傍で発生した地震どうしによる強震動分布の比を用いているため、パス及びサイト特性は相殺され震源特性に起因する地震動分布の差異を分析しているとみなせる。震源インバージョン解析ではEQF2021は破壊開始点から南西に、EQF2022は北に破壊が進展したと推定されており、本研究による結果と定性的には整合する。震源特性のうち、破壊伝播効果、強震動生成位置の違い、放射特性もしくはその他の効果のいずれがEQF2021とEQF2022の地震動分布の差異の主因であるかの検討は今後の課題である。

謝辞：気象庁による震源情報と消防庁による被害状況集計を利用しました。

EQF2021に対するEQF2022の比の分布

PGA3

水平加速度の観測/予測



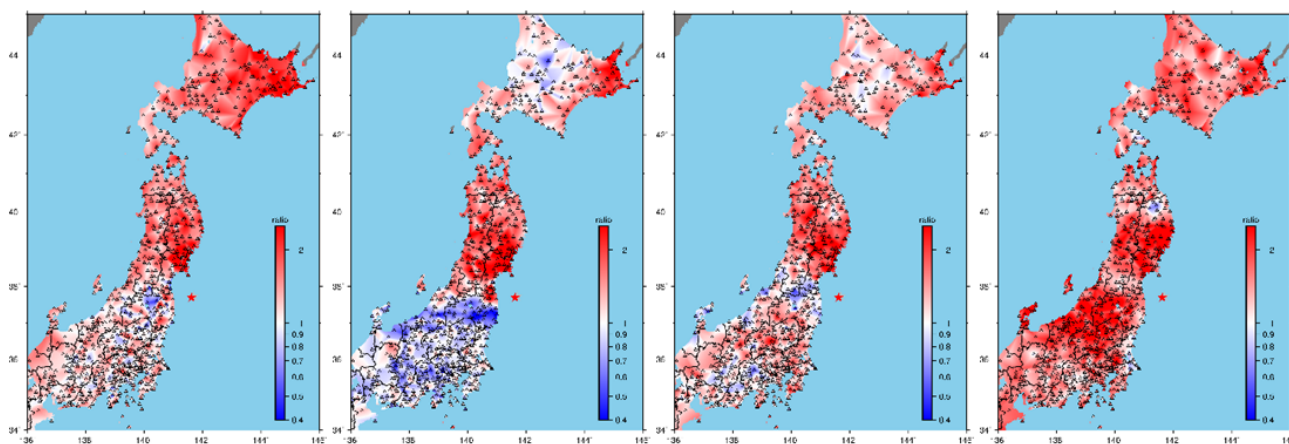
加速度応答値

0.5秒

0.9秒

1.5秒

4秒



Source Processes of the Off Fukushima Intra-slab Earthquakes in March 2022 and February 2021 - Analysis using 3D subsurface structure -

*Kazuhito HIKIMA¹

1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. , TEPCO Research Institute

【はじめに】

2022年3月16日に福島県沖でMj7.4の地震が発生した。この地震の震源の近傍では、昨年、2021年2月13日にもMj7.3の地震が発生しており、わずか1年余りでM7クラスの地震が発生したことになる。いずれの地震でも福島県・宮城県で最大震度6強が観測され多くの被害が発生した。これらの地震は西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型で、太平洋プレート内で発生した地震である（地震調査委員会,2021,2022）。

我々は、2021年の地震に対して、強震波形を使い太平洋プレートを含む3次元速度構造を考慮したGreen関数による震源インバージョン解析結果を実施した(引間, 2021)。本報告では、2022年3月の地震に対して同様の手順で震源解析を行った結果を示すとともに、2021年の地震も再解析し2つの地震の相違などについても議論する。スラブ内地震による強震動を考える上でも、震源過程の解析が必要である。

【震源再決定】

震源インバージョン解析に先立ち、本震・余震の地震の震源再決定を行った。2022年、2021年ともに本震発生後4週間以内に発生した地震について、防災科研のWebサイトで公開されている気象庁一元化処理による検測値を用いて、DD法(Waldhauser and Ellsworth, 2000)により震源決定を行った。(Fig.1)

再決定された余震分布はどちらも北北東－南南西方向に並びその範囲は40 km程度に及ぶ。2022年の震源は2021年の震源よりも若干北に位置する。一方で2022年の地震では余震は主に震源よりも北北東で発生しているのに対して、2021年の地震では震源の南南西で発生した余震が多い。すなわち、2022年の破壊は北北東方向に、2021年の破壊は南南西方向にユニラテラル的に進展したものと考えられる。

どちらの余震も東南東側に高角に傾き下がる面状に分布しているが、それらの並びはある程度の幅を有している。特に、2021年の地震ではより低角な平面状に並ぶ余震群も見られた。

【震源過程解析】

震源域が海域に位置するためやや遠い観測点も含まれるものの、震源から120 km程度以内のKiK-netの波形記録を震源インバージョン解析に使用した。また、福島県内にある東京電力の地震観測点での観測記録も解析に加えた。なお、浅部地盤による影響を軽減するために地中記録の使用を基本とした。加速度波形に0.03～0.6 Hz をフラットレベルとするバンドパスフィルタをかけて積分した速度波形を解析に用い、インバージョンはマルチタイムウィンドウ法(Yoshida et al., 1996; 引間, 2012)により行った。

解析の際の断層面は、再決定した余震のうち、本震後1日以内に発生した余震の分布やF-netによるメカニズム解を参考に、さらに予備的解析を行い観測波形と合成波形との残差も考慮して設定した。2022年の地震は余震分布からは局所的に異なる面が存在する可能性は考えられるものの、それらを特定することは難しいため、走向:30°、傾斜:40°の長さ44 km、幅30 kmの1枚の矩形断層を設定してすべり分布を求めることとした。2021年の地震は引間(2021)と同様に、主断層面は走向:37°、傾斜:45°の長さ40 km、幅24 kmの矩形断層とし、長さ14 km、幅12 kmの傾斜:20°の副断層面を付加した。なお、小断層サイズは2 km×2 km とした。

【3次元速度構造による波形計算】

Green関数は3次元速度構造モデル(JIVSM; Koketsu et al., 2012)を使い、3次元差分法により計算を行った。Green関数の計算は相反定理を用いて行った。格子点間隔は水平方向に200 mの等間隔、鉛直方向には50～200 mの不等間隔、時間刻みは0.005 sとした。

【解析結果】

2022年の地震では、震源付近と走向方向に12～24 km程度北北東に離れた付近に大きなすべりが求まった(Fig.2)。最大すべり量は約3.1 mである。2021年の地震では、震源から南西側に12～20 km程度離れたやや浅

部に大きなすべりが求まった。最大すべり量は2.8 m程度、副断層では約1.8 mである。地震モーメントは2022年の地震は 1.03×10^{20} Nm (M_w 7.3), 2021年の地震は全体で $M_0 = 5.45 \times 10^{19}$ Nm (M_w 7.1)と求まった。なお、これらは震源付近の3次元速度構造を考慮した値である。いずれも、JIVSMによる太平洋プレート海洋性マントル内に震源が存在し、主要な断層すべりは海洋性地殻第2層以深に止まっているように見える。2021年、2022年の一連の地震はスラブ内地震の複雑性を示しているが、今回の震源解析結果は断層モデルを考える上で参考となるものと考えられる。

謝辞：本検討ではKiK-netおよびF-netメカニズム解、JMA一元化データを使用させて頂きました。

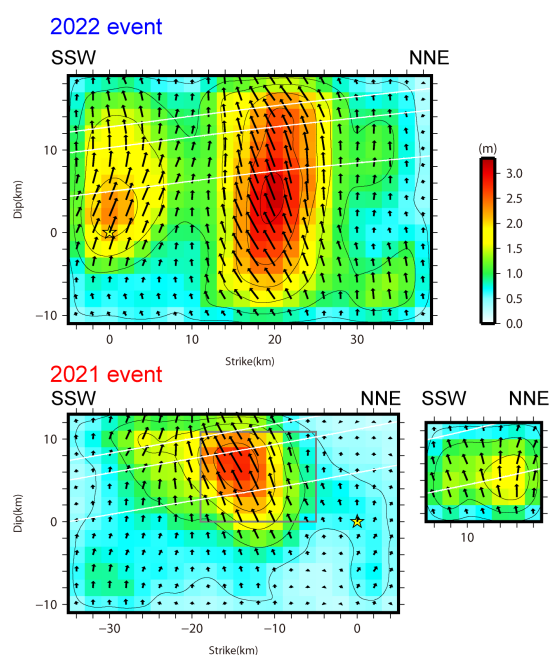
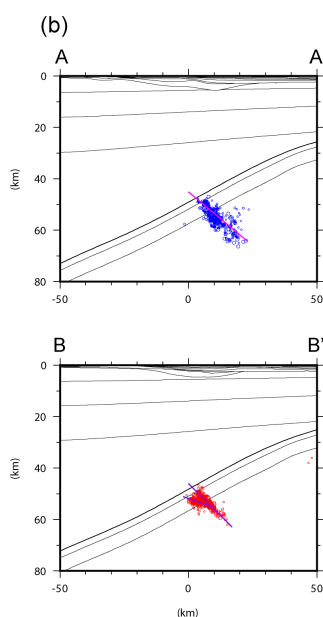
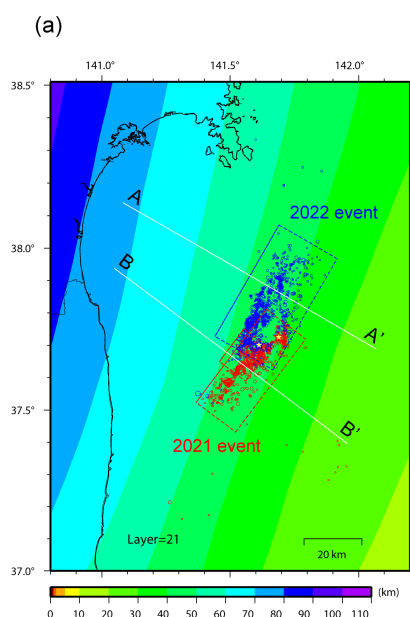


Fig. 1 (a) Aftershock distribution for the 2022 event (blue) and the 2021 event (red). The aftershocks occurred within 4 weeks after the mainshock are relocated using the DD method, respectively, and the events larger than $M_{2.5}$ are plotted. The fault positions are also depicted using the corresponding color. The color contour denotes the depth of upper boundary of the Pacific plate. (b) The cross sections at the white lines in Fig. (a). The boundary of subsurface structure model, the aftershock distribution, and the sections of the fault models are plotted.

Fig.2 Slip distributions on the faults for the 2022 and 2021 events. The arrows show the slip of the hanging wall. The white lines denote the boundary of the layers in the subducting plate of the JIVSM. The fault of the 2021 event consists of two planes, and the projected position of the subfault is shown as gray lines in the main fault. The yellow stars denote the hypocenters.

Ground motion in the Tokyo metropolitan area for the 2021 Northwestern Chiba earthquake

*Hiroe MIYAKE¹, Miki UEHARA¹

1. ERI, Univ. Tokyo

2021年10月7日に千葉県北西部の深さ75 kmで気象庁マグニチュード5.9 (Mw 5.9~6.0) の地震が発生した。この地震は、2005年7月23日に千葉県北西部の深さ73 kmで発生した気象庁マグニチュード6.0 (Mw 5.9~6.0) の地震の繰り返し地震と考えられ、それ以前の太平洋プレートの沈み込みに伴うM6クラスの地震との類似性(地震調査委員会, 2005, 2021; 鎌谷・勝間田, 2022)も指摘されている。

2021年と2005年の地震の地震動を比較すると、いずれの地震も最大震度は5強で、これらの高震度は自治体震度計により観測されている。2021年と2005年の地震の計測震度は、東京足立区伊興で5.1と5.0、埼玉川口市三ツ和(旧鳩ヶ谷市)で5.0と4.5、埼玉宮代町笠原で5.0と4.5であり、これらの3観測点においては、2021年の地震の計測震度の方が大きかった。

東京大学地震研究所の首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)では、自治体が運用する震度計等の観測波形データを、研究利用に限定して取得している。東京足立区伊興では、東西成分卓越する地震動が観測されており、計測震度の差は0.1であるが、周期1秒において2021年の東西成分の擬似速度応答は100 cm/sに達し、2005年の応答の約2倍となっている。また、観測点の移設等はないことを確認している。埼玉県2観測点についても、いずれも2021年の東西成分が大きく、高震度の原因となっている。

2021年と2005年の地震の観測記録については、鎌谷・勝間田(2022)は、東京大手町の気象庁震度計の東西成分を対象に相関係数0.93を求めているが、前述の高震度観測点の変位波形における相関係数はいずれもこの値よりも低く、2011年東北地方太平洋沖地震に起因する地盤特性の速度低下および時間変化等の影響が示唆される。本発表では、これらの地震の首都圏における強震動分布の特徴と空間相関係数の周期依存性について紹介する。

謝辞: 本研究ではK-NET・KiK-netの強震記録と、首都圏強震動総合ネットワーク(SK-net)を通して、東京都・東京消防庁・神奈川県・横浜市・埼玉県・千葉県・山梨県・群馬県・栃木県・茨城県・長野県・静岡県および東大地震研の強震計・震度計の観測波形データを利用しました。

Room B | Regular session : S15. Strong ground motion and earthquake disaster

📅 Wed. Oct 26, 2022 3:30 PM - 4:30 PM JST | Wed. Oct 26, 2022 6:30 AM - 7:30 AM UTC | 🏢 ROOM B 4th floor (Large Conference Room)

[S15] PM-2

chairperson:Yosuke Nagasaka(Port and Airport Research Institute), Fumino Suzuki(Kobori Research Complex INC.)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S15-22] Preliminary analysis of residual data between strong-motion records and calculations by a ground motion model

*Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Asako IWAKI¹, Takahiro MAEDA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S15-23] Strong ground motion simulation of the great 1923 Kanto earthquake in the Tokyo metropolitan area: Remodeling of source parameters and estimation of detailed seismic intensity distribution

*Fumino SUZUKI¹, Tetsushi WATANABE¹, Kenichi KATO¹, Katsuhisa KANDA¹ (1. KOBORI RESEARCH COMPLEX INC.)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S15-24] Strong Motion Simulation of 2016 Kumamoto Earthquake Mainshock Using Dynamic Rupture Modeling

*JIKAI SUN¹, HIROSHI KAWASE¹, ARBEN PITARKA², FUMIAKI NAGASHIMA¹, ERI ITO¹ (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Lawrence Livermore National Laboratory)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S15-25] Reevaluation of strong ground motions during the 2016 Kumamoto earthquake sequence utilizing regional spectral inversion analysis

*Yosuke NAGASAKA¹ (1. Port and Airport Research Institute)

Preliminary analysis of residual data between strong-motion records and calculations by a ground motion model

*Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹, Asako IWAKI¹, Takahiro MAEDA¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

我々はこれまで、様々な強震動予測モデルの構築、改良、検証を可能とする強震動データベースを試作（森川・他、2020；JpGU）するとともに、モデルの改良とばらつきの分析を目的としてMorikawa and Fujiwara (2013)の地震動予測モデル（以下、MF13）の予測値に対する振幅比から成る「残差データ」を作成してきた（森川・他、2020；地震学会秋季大会）。さらに、この「残差データ」をもとに、MF13の適用範囲をモーメントマグニチュード（Mw）5.5未満の地震、断層最短距離200km以遠に拡張する追加補正項を求めた（森川・他、2021；地震学会秋季大会）。

本検討では、2018年3月から2021年末までのK-NET、KiK-netデータを追加し、地震タイプ（地殻内地震、海溝型プレート間地震、海溝型プレート内地震）に関する信頼性を向上させた強震動データベース（森川・他、2022；JpGU）を用いてあらためてMF13の地震動予測モデルに対する残差のデータセットを作成する。残差のデータセットの作成において予測値を求める際には、地盤増幅および観測点から火山フロントまでの距離をパラメータとした異常震域に関する補正項は考慮しない一方で、フィリピン海プレートの海溝型プレート内地震に対する追加補正（森川・藤原、2015；JpGU）と上述の森川・他（2021）による追加補正を適用した。

このようにして作成した残差データについて、Morikawa et al. (2008)に基づき「地震間」と「地震内」の残差への分離を行い、その特徴について分析する。「地震間」の残差については地震ごとにMwと震源深さとの関係を調べたところ、震源が50km程度から200km程度にかけて深くなるほど残差が大きい（観測値が予測値より大きい）傾向が海溝型プレート内地震の最大加速度をはじめとした短周期成分において見られた。ただし、それ以外の震源深さや周期1秒程度以上、他の地震タイプでこの深さ依存性は見られない。一方、「地震内」の誤差について観測点ごとにMwと震源深さに加え断層最短距離との関係を調べたところ、断層最短距離に対して「残差」の依存性が見られる点が存在している。このことは、特定地点を対象とした、あるいは伝播経路の違いによる減衰の違いを考慮した地震動予測モデル構築の有効性を示している。以上より、海溝型プレート内地震に対して震源深さに関する補正項を求めることでエルゴード的なMF13モデルのさらなる改良が見込まれる。また、観測点ごとに見られる「残差」の距離依存性を取り込む非エルゴード的なモデルの構築などの予測値の中央値（あるいは平均値）に関する改良の方向性が示された。

今後は別の地震動予測モデルを用いた場合についての検討を行うとともに、「残差」の分布形状と地震規模、断層最短距離などとの関係についての分析を進める予定である。

謝辞：本研究の一部はJSPS科研費(20H00292)の助成を受けたものである。

Strong ground motion simulation of the great 1923 Kanto earthquake in the Tokyo metropolitan area: Remodeling of source parameters and estimation of detailed seismic intensity distribution

*Fumino SUZUKI¹, Tetsushi WATANABE¹, Kenichi KATO¹, Katsuhisa KANDA¹

1. KOBORI RESEARCH COMPLEX INC.

1. はじめに

首都圏に甚大な被害を及ぼした1923年関東地震に関して、著者らは震度データに基づく断層モデルの構築と統計的グリーン関数法による強震動シミュレーションを行ってきた。既報のSuzuki et al. (2020)では、多重クラックモデルにより断層モデルを構築していたこと、評価地点がK-NET、KiK-netの強震観測点に限られていたことが課題であった。そこで本報では、断層モデルを多重アスペリティモデルに基づき再構築した上で、K-NET、KiK-netの強震動シミュレーション結果による震度分布を面的補間し、詳細な震度分布を推定する。

2. 多重アスペリティモデルによる断層モデルの再構築

強震動予測のレシピにおいて、多重クラックモデルは応力降下量に関して動学的断層モデルと必ずしも整合的ではないことなどから、多重アスペリティモデルに基づくレシピの再構築が行われた（入倉ほか、2002）。本報でも、多重アスペリティモデルにより、神田・加藤(2019)の震度データに基づき推定された断層全体の地震モーメント M_0 と短周期レベルA、小断層ごとのエネルギー放出分布とそこから抽出されたSMGAの領域を与条件として、断層モデルを再構築する。具体的には、 M_0 、A、全SMGAの総面積の等価半径 r から、Boatwright (1988)および壇ほか(2001)の単一アスペリティモデルの理論的關係により断層全体面積の等価半径 R を算出し、Eshelby (1957)の円形クラックの關係から断層全体の静的応力降下量 $\Delta\sigma$ を算出した。 $\Delta\sigma$ と断層全体と全SMGAの面積比からMadariaga (1979)の關係式により全SMGAの平均応力降下量 $\Delta\sigma_a$ を算出した。単一アスペリティモデルは多重アスペリティモデルに拡張可能であるため、 i 番目のSMGAと背景領域の地震モーメント M_{0ai} 、 M_{0b} を全体の M_0 からエネルギー放出分布の割合に比例して分配した上で、各SMGAの応力降下量 $\Delta\sigma_{ai}$ は壇ほか(2002)に基づき $\Delta\sigma_{ai} \propto D_{ai}/S_{ai}^{0.5}$ (D_{ai} と S_{ai} はそれぞれ各SMGAのすべり量と面積)となるよう $\Delta\sigma_a$ を分配した。

3. クリギング法による詳細震度分布の推定

3. 1 推定手法

上記の断層モデルのSMGAを用いてSuzuki et al. (2020)と同様に強震観測点の波形を評価し計測震度を算出した。クリギング法によりこれらの震度を面的に補間する。震度を単純にクリギング法で補間すると、距離に近い強震観測点に近い震度になるが、距離が近くてもその地点の地下構造が異なれば震度は異なると考えられる。そのためここでは補間地点の地盤情報と震源距離を反映して補間する。具体的には、強震観測点の震度を地盤情報と震源距離で回帰し、回帰残差をクリギング法により補間した上で、補間地点の地盤情報と震源距離から求めた回帰式により震度を評価する。震源距離も用いる理由としては、クリギング法は空間相関を持つ分布の補間に適しており、震源距離の影響も除いた残差の方が除かない残差よりも空間相関が見られるためである。地盤情報は面的なデータが公表されているJ-SHIS V4の表層30m平均S波速度と、深部地盤の情報としてJ-SHIS V3.2のVs 1000 m/sの下面深度を用いた。震源距離には等価震源距離を用いた。

3. 2 推定結果

推定した詳細震度分布を図1に示す。神奈川南部や千葉南部で震度6強～7、東京東部で震度6弱～6強となる傾向や、埼玉東部まで震度6弱が広がっている傾向などは、諸井・武村(2002)による木造住宅全壊率に基づく広域な震度分布を概ね良好に再現している。さらに、地域ごとに詳細な震度分布を評価している諸井・武村

(2001)、武村・諸井(2001、2002)、高浜ほか(2001)、武村(2003)とも比較を行い、各地域内での詳細な震度の違いについても対応を確認した。また本報の結果によれば、1923年当時は陸地として存在しなかった地点として、羽田空港などの東京湾岸の埋め立て地は当時の東京市と同等の揺れが予想される。

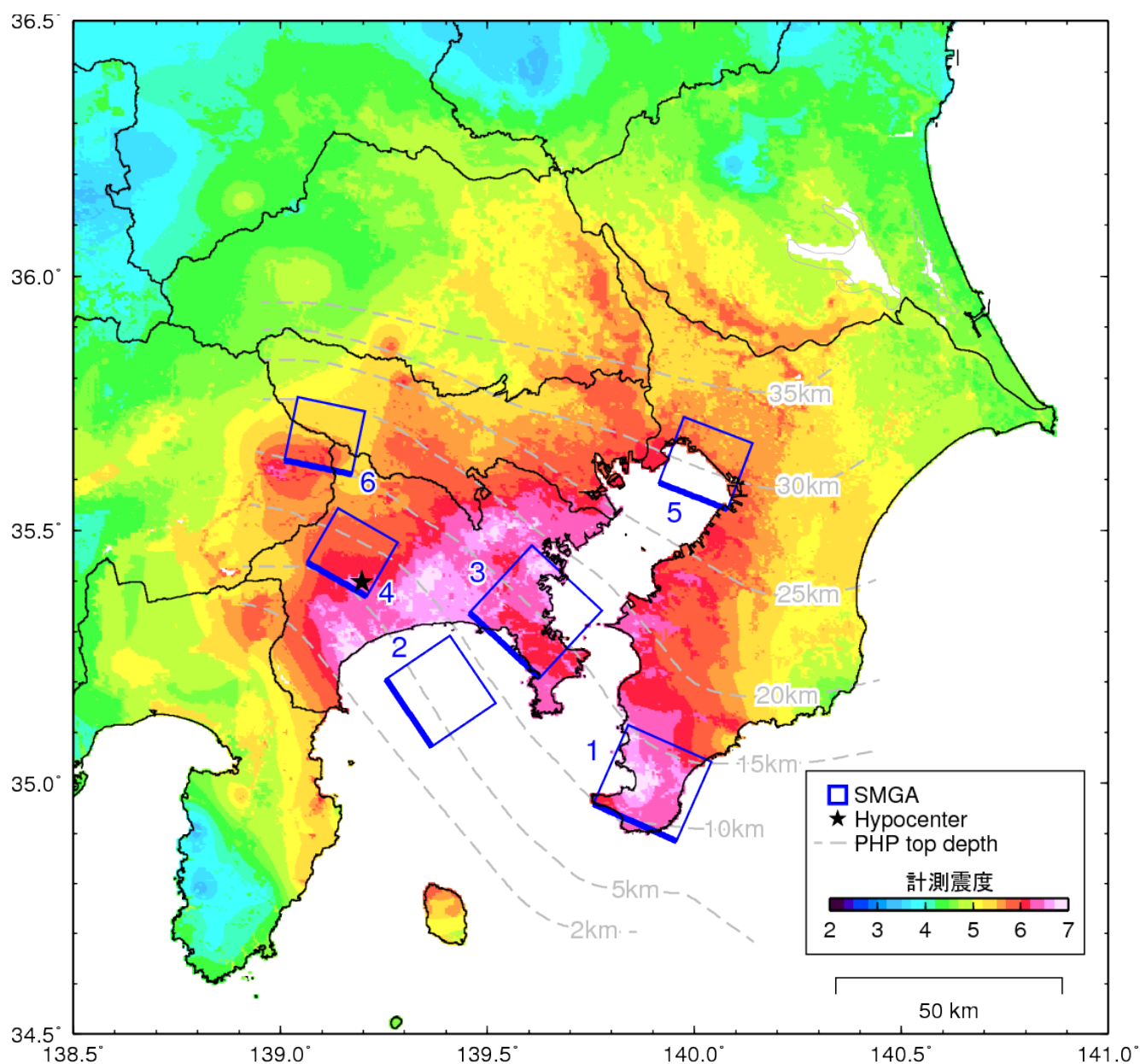


図1 クリギング法により推定した1923年関東地震の首都圏の詳細震度分布

Strong Motion Simulation of 2016 Kumamoto Earthquake Mainshock Using Dynamic Rupture Modeling

*JIKAI SUN¹, HIROSHI KAWASE¹, ARBEN PITARKA², FUMIAKI NAGASHIMA¹, ERI ITO¹

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Lawrence Livermore National Laboratory

Mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake (M_w 7.0) occurred on April 16, 2016 at 01:25 (JST) in the Kyushu Island (Yoshida et al., 2017), on the Futagawa and Hinagu fault system. The kinematic rupture modeling of the Kumamoto earthquake was applied in several studies (Yoshida et al., 2017; Asano and Iwata, 2021) to investigate the rupture process and simulate the strong ground motion for the mainshock. Near-fault ground motions generated by the earthquake were recorded with high accuracy by the NIED strong-motion network (K-NET and Kik-net), the Japan Meteorological Agency (JMA), and the local-government seismic-intensity network.

In this study, the dynamic rupture modeling (Pitarka et al., 2021) was applied to investigate the earthquake rupture process and to simulate the recorded near-fault ground motions. The dynamic rupture is modeled using a split-node method of Dalguer and Day (2007), implemented in the 3D staggered-grid finite-difference method of Pitarka (1999) and a linear slip-weakening friction law (e.g., Andrews, 1976). Following the research results of Yoshida et al. (2017) and Asano and Iwata (2021), we generated 500 and 1020 rupture models including three strong motion generation areas (SMGAs) with elevated stress drops, located on the Futagawa and Hinagu fault zones.

Locations of three SMGAs were randomly generated in the large slip distribution areas specified based on the kinematic inversion results by either Yoshida et al. (2017) or Asano and Iwata (2021). The 3D Japan integrated velocity structure model (JIVSM) (Koketsu et al., 2012) was used in modeling the elastic wave propagation. A simple linear regression method was applied to the eight end points of four fault segments, to define the location of a single, 45 km long rupture plane in this model. The top-left and bottom-right boundaries were determined by 13 km offset from the rupture plane, the bottom-left and top-right boundaries were offset 10 and 5 km from the outmost-edge foot points on the linear regression line. 26 strong-motion stations are located in the target area which observed the mainshock, 2 Kik-net sites, 4 K-net sites, 3 JMA sites, and 17 Kumamoto-ken local shindokei sites. Two kinds of goodness of fit (GOF) function were used to find the optimal simulation within 1520 scenarios; the authors' original GOF and the MO-GOF (Olsen and Mayhew, 2010) from Anderson's GOF (Anderson, 2004). After several preliminary investigations in comparing the estimation and observations, the authors' original GOF considers the misfit ratio of the peak ground velocity (PGV) and cross-correlation coefficient (CCC), while the MO-GOF was consist of ten factors of seismic wave and spectral characteristics. Moreover, the authors' defined GOF and GOF of PGV and acceleration response spectrum (SA) in MO-GOF were found to be efficient to search for the optimal simulation. We found that three SMGAs of the optimal simulation were located relatively close to the hypocenter and a large shallow SMGA was located on the Futagawa fault. Comparing the observed and estimated strong motions in 0.1-1.0 Hz, 16 of 26 sites displayed good wave fits, while the other 10 sites displayed not so good fits, which were mostly located in the distant area from the edge of the fault. The optimal scenario shows that a large peak slip rate appears in the deeper area (-15 km), which is as large as 7 m/s. However, the large slips are located at -8 km, in the shallow and large SMGA, which is as large as 4 m (Fig. 1). Analysis of the rake angle for the mainshock was found to be in 20-30 degrees, which was confirmed in the previous kinematic inversion reports.

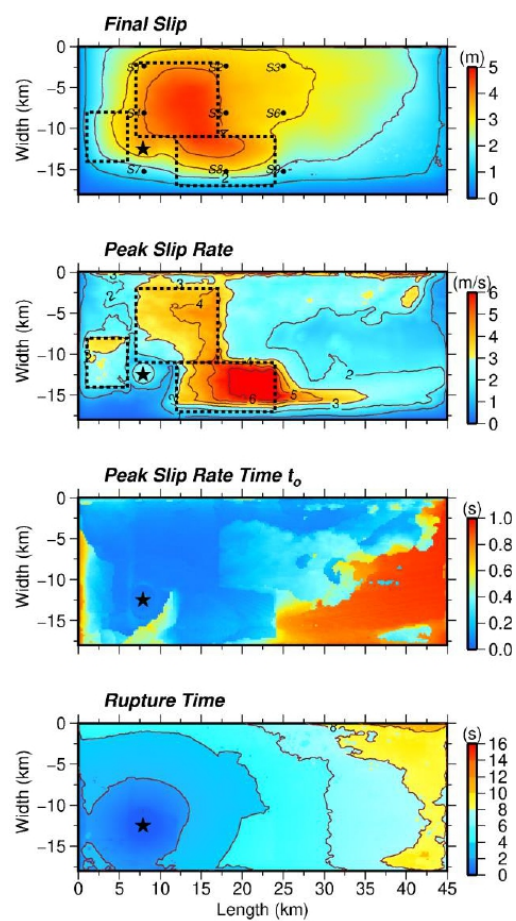


Fig. 1. Simulation of final slip, peak slip rate, peak slip rate time, and rupture time on the fault plane during the mainshock.

Reevaluation of strong ground motions during the 2016 Kumamoto earthquake sequence utilizing regional spectral inversion analysis

*Yosuke NAGASAKA¹

1. Port and Airport Research Institute

2021年に開催されたESG6において行われた強震動シミュレーションに関するブラインドプレディクションで筆者が行った検討について、事後検討を行った結果を報告する。対象地震は2016年4月16日3時3分熊本県の地震($M_j 5.9$)、2016年熊本地震の前震、本震の3つである。対象地点はJR熊本駅から約1.5km南の観測点(KUMA)である。対象地点における2016年熊本地震前後の中小地震記録が事前に配布されており、予測に使用できる。本検討では修正経験的グリーン関数法(野津・菅野, 2008)により対象地点とその周辺での強震動について検討した。この方法は、地震動の振幅スペクトルを震源、伝播経路、サイト増幅特性の3つを掛け合わせることで合成し、位相特性は中小地震記録をそのまま使うという方法である。震源スペクトルはオメガスクエアモデルを仮定し、規模の大きい地震に対しては矩形のアスペリティを用いる。伝播経路特性は幾何減衰とQ値を用いた非弾性減衰(Boore, 1983)を考慮する。サイト増幅特性は多数の地震記録を用いたスペクトルインバージョンによる経験的な増幅特性(たとえば野津・長尾, 2005)を用いる。KUMA近辺には気象庁の地震観測点があるが、本検討では用いていない。ブラインドプレディクション当初は、KUMAについてはK-NET観測点であるKMM006との同時観測記録の比による補正からサイト増幅特性を求めていた。しかし、KUMAとKMM006と約8km離れており、この2点が震源特性、伝播経路特性を共有しているとは限らない。また、周辺地点では野津・長尾(2005)による経験的サイト増幅特性を用いていたが、いくつかの地点は移設により特徴が変化していると考えられる。Q値は加藤(2001)による $104f^{0.63}$ を用いていた。この値は熊本で発生した地震を含めた解析の結果であるが、主な対象地域は鹿児島県北西部の地震の周辺であり、さらに1Hz以上が対象である。そこで、本検討ではまず熊本地震の震源域で発生した地震を対象とした地域的なスペクトルインバージョンによる伝播経路特性、サイト増幅特性の再評価を行った。スペクトルインバージョンは多くの記録を用いるため、よりバイアスのないサイト増幅特性の評価となることが期待できる。また、伝播経路特性のQ値もより熊本周辺に適したものになる。移設のない地点での野津・長尾(2005)によるサイト増幅特性を拘束条件として与え、Q値は未知数とした。強震動シミュレーションで用いることを考え、後続波を含めた波形を対象とした1段階の解析を行った。その結果、KUMAや移設地点では従来とは異なるサイト増幅特性が得られた。また、推定されたQ値は低周波数帯で通常用いられる a^p の形から外れたため、フィッティングしたQ値ではなくインバージョンにより得られたQ値をそのまま用いることとした。強震動シミュレーションにあたってはさらに各地震の震源パラメーターが必要だが、これらは周辺地点の観測記録に合うように設定した。事後検討であるためKUMAの記録も含めて設定している。4/16 3:03の地震については疑似点震源モデルを、前震と本震については矩形アスペリティを用いたモデルをそれぞれ用いた。これらを用いた強震動シミュレーションを行ったところ、特にフーリエスペクトルについて当初のモデルよりも全体的に観測との一致度が改善される結果が得られた。地域的なスペクトルインバージョンによるサイト増幅特性と伝播経路特性は地震前に評価できるため、今後の強震動予測にも活用できると考えられる。このような解析は以前より行われているが、ブラインドプレディクション当初は異なる解析により得られた伝播経路特性とサイト増幅特性を組み合わせていた。それぞれ少しずつ異なる条件での解析であったため、本検討では同一の解析で推定した伝播経路特性とサイト増幅特性を用いたことが良い結果を得られた要因であると考えられる。また、推定されたQ値をそのまま使うことも本検討では有効であった。