

Tue. Oct 31, 2023

Room B | Special session : S23. 100 years after the Great Kanto earthquake: development of earthquake research in the Kanto region

9:30 AM - 10:40 AM JST | 12:30 AM - 1:40 AM UTC | Room B F201

[S23] AM-1

chairperson:Yusuke Tomozawa(Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation), Takumi Hayashida(IISEE, Building Research Institute)

9:30 AM - 9:50 AM JST | 12:30 AM - 12:50 AM UTC

[S23-01] [Invited]Probability of M8 class earthquake along the Sagami Trough, central Japan

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

9:50 AM - 10:05 AM JST | 12:50 AM - 1:05 AM UTC

[S23-02] Future Probability of Occurrence of the Next M~8 Kanto Earthquake for Various Combination of Past Events

*Kenji SATAKE¹, Katsuhiko ISHIBASHI² (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. Kobe University)

10:05 AM - 10:25 AM JST | 1:05 AM - 1:25 AM UTC

[S23-03] [Invited]Crustal Structures and Seismo-tectonics of the Izu Collision Zone

*Ryou HONDA¹, Yuki ABE¹, Ryosuke DOKE¹ (1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefectural Government)

10:25 AM - 10:40 AM JST | 1:25 AM - 1:40 AM UTC

[S23-04] Importance of the 1923 coseismic uplift of Hatsushima Island in western Sagami Bay for seismotectonics of the Kanto earthquake

*Katsuhiko ISHIBASHI¹ (1. none)

Room B | Special session : S23. 100 years after the Great Kanto earthquake: development of earthquake research in the Kanto region

11:00 AM - 12:15 PM JST | 2:00 AM - 3:15 AM UTC | Room B F201

[S23] AM-2

chairperson: Satoko Murotani (National Museum of Nature and Science), Mikiya Yamashita (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S23-05] Changes in seismic activity before the 1923 Kanto earthquake inferred from the macro-seismic observation and other data

*Nobuo HAMADA¹, Kenshiro Tsumura¹ (1. non)

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

[S23-06] Structural Characteristics of Uppermost Frontal Thrust along the Sagami Trough

*Mikiya YAMASHITA¹, Ayanori Misawa¹, Takafumi Kasaya², Masataka Kinoshita³, Seiichi Miura² (1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. JAMSTEC, 3. ERI, University of Tokyo)

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

[S23-07] Geometry of the top of Philippine Sea plate beneath the Kanto region, Japan: revealed by seismic profiling

*Hiroshi SATO^{1,2}, Susumu Abe³, Takaya Iwasaki^{4,1}, Makoto Matsubara⁵, Eiji Kurashimo¹, Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Yoshitaka Nakayama⁶, Naoshi Hirata¹ (1. Univ. of Tokyo, 2. Shizuoka Univ., 3. JGI. Inc., 4. Association for the Development of Earthquake Prediction, 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Japan Organization for Metals and Energy Security)

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

[S23-08] Strong ground motion in the South-East part of Ibaraki Prefecture during the earthquakes in the North-East part of Chiba Prefecture, Japan

*Tomiichi UETAKE¹, Kazuhito HIKIMA¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings)

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

[S23-09] How to convey and inherit the 1923 Great Kanto Earthquake - Utilization of digital contents

*Satoko MUROTANI¹ (1. National Museum of Nature and Science)

Room B Regular session : S04. Tectonics

1:30 PM - 2:30 PM JST | 4:30 AM - 5:30 AM UTC | Room B F201

[S04] PM-1

chairperson:Dapeng Zhao(Tohoku University)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S04-01] 2D subduction models in the presence of a high-density rigid continental block: a case study for the slab geometry beneath the Kii Peninsula.

*Erika Moreno¹, Vlad Manea², Marina Manea², Nobuaki Suenaga³, Shoichi Yoshioka¹ (1. Kobe University, 2. CGEO, Universidad Nacional Autónoma de México, 3. Kyoto University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S04-02] Seismological evidence of a shear zone inside the Philippine Sea plate slab in Suruga Bay.

*Yannis PANAYOTOPOULOS¹, Hisatoshi Baba², Takahito Nishimiya³ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Tokai University, 3. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency)

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

[S04-03] P and S wave tomography beneath Japan from joint inversion of local and teleseismic data recorded by S-net and Hi-net

*Motoya Suzuki¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

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

[S04-04] Subduction hydrothermal regime and seismotectonic variation along Kermadec-Tonga megathrusts

*Ye Zhu¹, Yingfeng Ji¹ (1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences)

Room B | Special session : S23. 100 years after the Great Kanto earthquake: development of earthquake research in the Kanto region

📅 Tue. Oct 31, 2023 9:30 AM - 10:40 AM JST | Tue. Oct 31, 2023 12:30 AM - 1:40 AM UTC | 🏢 Room B F201

[S23] AM-1

chairperson:Yusuke Tomozawa(Kajima Technical Research Institute, Kajima Corporation), Takumi Hayashida(ISEE, Building Research Institute)

9:30 AM - 9:50 AM JST | 12:30 AM - 12:50 AM UTC

[S23-01] [Invited]Probability of M8 class earthquake along the Sagami Trough, central Japan

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

9:50 AM - 10:05 AM JST | 12:50 AM - 1:05 AM UTC

[S23-02] Future Probability of Occurrence of the Next M~8 Kanto Earthquake for Various Combination of Past Events

*Kenji SATAKE¹, Katsuhiko ISHIBASHI² (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. Kobe University)

10:05 AM - 10:25 AM JST | 1:05 AM - 1:25 AM UTC

[S23-03] [Invited]Crustal Structures and Seismo-tectonics of the Izu Collision Zone

*Ryou HONDA¹, Yuki ABE¹, Ryosuke DOKE¹ (1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefectural Government)

10:25 AM - 10:40 AM JST | 1:25 AM - 1:40 AM UTC

[S23-04] Importance of the 1923 coseismic uplift of Hatsushima Island in western Sagami Bay for seismotectonics of the Kanto earthquake

*Katsuhiko ISHIBASHI¹ (1. none)

[Invited]Probability of M8 class earthquake along the Sagami Trough, central Japan

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

大正関東地震(1923年M7.9)は相模トラフで沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界付近で発生した地震で、これまでに繰り返し発生している。政府地震調査推進本部地震調査委員会は「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)」を公表し(地震調査委員会, 2014), 大正関東地震の再来など相模トラフ沿いに発生するM8クラス(M7.9~M8.6)プレート境界地震の発生確率を推定している。ここでは、地震調査委員会(2014)に基づき、関東M8クラス地震の発生確率について検討する。

地震調査委員会(2014)において、1)地形・地質データ(浜堤列、海岸段丘、津波堆積物)により約3000年間に9回確認されたM8クラス地震の発生年代、2)更新過程Brownian Passage Time (BPT) 分布モデル、3)Parsons (2008) に倣った発生年の不確定性処理、により発生確率が算出されている。Parsonsの方法はOgata(1999)の多重積分を用いた尤度式の定義と基本的には同じで、尤度の実現値として9回の発生年代に合致する時系列を生起している。この方法とは異なり、東北地方太平洋沖を震源とする超巨大地震に関する報告書(地震調査委員会, 2019)では、発生年が不確定な地震については各発生年代で乱数により発生年を決定し、多数の時系列を生起させている(無作為抽出時系列)。ここに挙げた2通りの方法による時系列は別物で、Parsonsによる時系列では各年代における発生年の分布は事前に与える発生年の確からしさ分布(本稿では一様分布としている)とかけ離れることが多い。これに対し、無作為抽出時系列では発生年の確からしさ分布を反映させた発生年の頻度となる。

地震調査委員会(2014)と地震調査委員会(2019)における手法の違いを詳しく調べると、Ogata(1999)の尤度式により決定されたBPT分布モデルの地震間隔不規則性を表すパラメータ(以後、ばらつき)が、無作為抽出時系列のばらつきの分布(中央値や平均値)に比べ小さく偏ることがわかる。これは、各時系列において規格化されていない尤度を他の時系列の尤度と合算(積分)していることに起因する。この問題を回避する方法として、想定される地震間隔を全て同時に用いるBPT分布パラメータの推定法(尤度幾何平均推定法)が提案され、東北地方太平洋沖地震時系列や関東M8クラス地震時系列に適用された。尤度幾何平均推定法に基づく発生確率の推移は、無作為抽出時系列による確率の平均値や中央値と概ね一致している。

地震調査委員会(2014)記載のデータに基づき、①9回の地震のうち発生年代の特定されていない地震(1回)について、発生年代を直接には使わない、②歴史地震による地震間隔も用いる、を考慮して4通りの時系列について尤度幾何平均推定法によりBPT分布パラメータの平均間隔とばらつきを求めた。各時系列に含まれる地震は、時系列A: 9回の発生年代、時系列B: 8回の発生年代(9回発生)、時系列C: 時系列Bに永仁(正応)地震(1293年)、元禄関東地震(1703年)、大正関東地震(1923年)を追加、時系列D: 時系列Bに永仁地震、明応地震(1495年)、元禄関東地震、大正関東地震を追加、である。図1に各時系列による条件付き30年確率の推移を示す。これによると、大正地震発生から100年経過時点での確率値は0.5~1.8%である。時系列Aでは連続する地震の発生年代が接している時期があり、そこでは極めて短い地震間隔も想定されるため、短い経過年数における発生確率が他の時系列より高くなっている。

なお、過去に発生した相模トラフ沿いのM8クラスの地震の中で、南房総地域に海岸段丘面を形成する規模の大きな地震について発生確率は次の通りである。最新の地震は1703年元禄関東地震で、それより古い地震は、B.C.5200年、B.C.3000年、B.C.1000年に発生したとされる。これらの活動間隔から平均間隔2300年とばらつき0.15を得る。今後30年間に地震が発生する確率はほぼ0%となる(地震調査委員会, 2014)。また、ポアソン過程を仮定すると、大正関東地震の場合には平均間隔320~363年から今後30年間に地震が発生する確率は8~9%となり、規模の大きな地震の場合では平均間隔2300年から確率は1%となる。

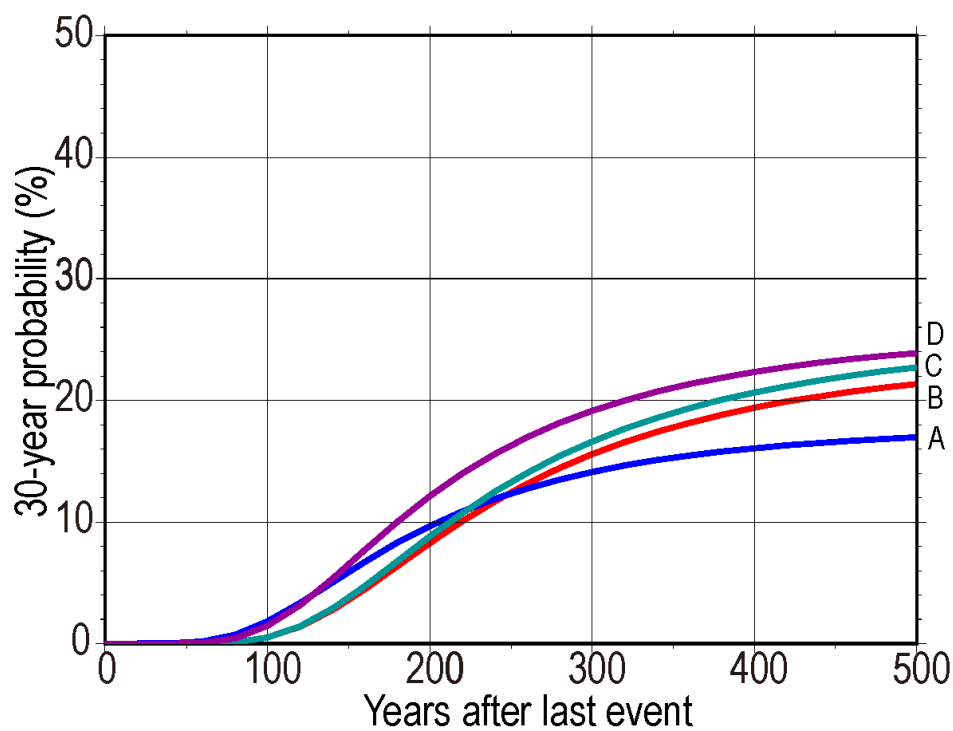


図1 条件付き30年確率推移の比較.

時系列 A : 9 回の古地震発生年代を基に、尤度幾何平均によるパラメータ推定.

時系列 B : 8 回の古地震発生年代に基づく.

時系列 C : 時系列 B に永仁地震 (正応地震, 1293 年), 元禄関東地震 (1703 年), 大正関東地震 (1923 年) を追加.

時系列 D : 時系列 B に永仁地震, 明応地震 (1495 年), 元禄関東地震, 大正関東地震を追加

Future Probability of Occurrence of the Next M₈ Kanto Earthquake for Various Combination of Past Events

*Kenji SATAKE¹, Katsuhiko ISHIBASHI²

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2. Kobe University

1923年大正関東地震の前の関東地震として、1703年元禄関東地震が古くから知られており、房総半島南部での隆起量や東岸での津波高さが大正関東地震よりも大きかったことから、それぞれ「大正型」「元禄型」関東地震とされてきた。2004年に地震調査委員会から発表された「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価」においては、大正型、元禄型関東地震の発生間隔はそれぞれ200~400年、2300年程度とされ、2002年から30年間の発生確率はそれぞれ0~0.8%、ほぼ0%とされた。

2014年に改訂された「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）」では、大正型、元禄型を一括してM8クラスとして扱い、1293年の地震も加えた3地震から平均発生間隔は315年、30年発生確率は0~2%とした。また、岩井低地などに発達する浜堤列（宍倉・他、2001、地震；2005、活断層・古地震研究報告）のうち、見落としが少ないと考えられる3000年間（2400~5400CalBP）の9回のイベントから、30年発生確率をほぼ0~5%と推定した。

Ishibashi (2020, SRL)は古代~中世の史料に基づき、過去の関東地震の候補について検討した。818年（弘仁九年）の関東諸国の地震ならびに1257年（正嘉元年）の鎌倉の地震については、被害分布や余震の数などから、M8級の関東地震ではなく、小規模・局地的な地震であるとした。そして、878年（元慶二年）、1293年（正応六年、永仁元年）、1433年（永享五年）、1495年（明応七年）の地震が関東地震の候補であり、最後の二つのうちでは1495年よりも1433年の方が関東地震の可能性が高いとした（表1）。

ここでは、Ishibashi(2020)が候補とした4地震及び1703年（元禄地震）、1923年（大正地震）から、関東地震とみなす地震の組み合わせを変えて、今後30年間の発生確率及びその時間変化を計算した（表2）。地震調査委員会（2014）と同様に3地震（正応、元禄、大正）を選んだ場合、これらに明応あるいは永享を加えた4地震、さらに元慶を加えた二通りの5地震、6地震すべてを使った場合について、30年確率（BPTとポアソン）の時間変化を図に示す。Ishibashi(2020)も指摘しているように、正応、明応、元禄、大正の4地震の平均発生間隔は 210 ± 7 年となり、 α が最も小さい（最も規則的である）。この場合、今後30年間の発生確率は、前回地震から160年（西暦2083年頃）まではほとんど0%あるが、その後急に増加し、西暦2127年（前回地震から204年）頃にはほぼ100%となる。一方で、これらのすべての6地震を考慮した場合、発生間隔は 209 ± 117 年とばらつきが大きく、最短は62年（1433~1495年）である。そのため今後30年間の発生確率は地震後すぐに増加し、現時点（地震発生後100年）ですでに19%と、ポアソン過程（13%）よりも高い値を示す。他の場合（3地震、組み合わせを変えた4地震、5地震）はこれらの中間的な値となる。

歴史上のどの地震が関東地震であるか、特に15世紀（明応または永享）の地震の特定によって、今後の発生確率は大きく変化する。

30 年以内の発生確率

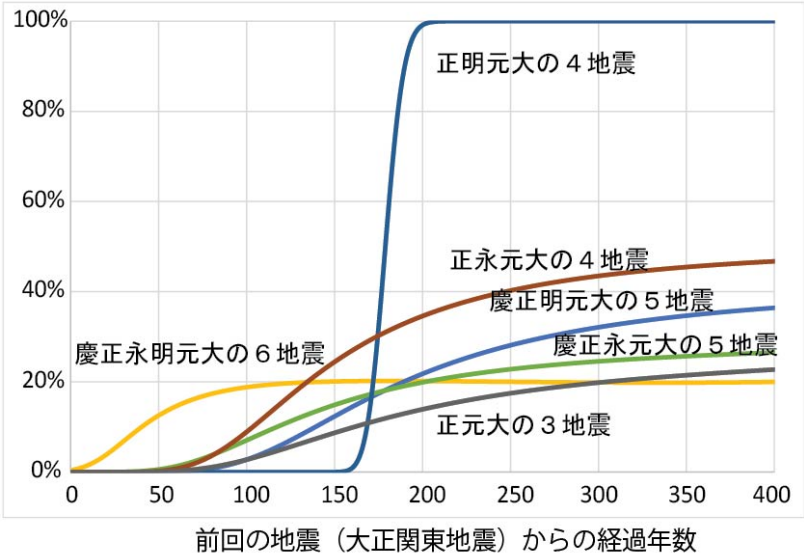


図 表 1 の 6 地震から選んだ地震についての今後 30 年間の発生確率（BPT）の時間変化

表 1 過去の関東地震の候補（Ishibashi, 2020）

元号	元慶	正応	永享	明応	元禄	大正
西暦	878	1293	1433	1495	1703	1923
間隔		415	140	62	208	220
M	7.4	7-7.5	≥ 7	--	7.9-8.2	7.9

間隔は左列からの発生間隔（年）

表 2 過去の地震の組み合わせと、平均発生間隔、今後 30 年間の発生確率

採用する地震	μ	α	BPT	ポアソン
正元大	315 年	0.45	2.8 %	9 %
正明元大	210 年	0.04	0.0 %	13 %
正永元大	210 年	0.34	8.9 %	13 %
慶正明元大	261 年	0.35	2.8 %	11 %
慶正永元大	216 年	0.46	7.1 %	11 %
慶正永明元大	209 年	0.76	19 %	13 %

μ は平均発生間隔, α は aperiodicity（ばらつきパラメーター）, BPT, ポアソンは今後 30 年間の発生確率

[Invited]Crustal Structures and Seismo-tectonics of the Izu Collision Zone

*Ryou HONDA¹, Yuki ABE¹, Ryosuke DOKE¹

1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefectural Government

はじめに

伊豆半島北縁部から相模湾にかけての領域は、伊豆半島以南の伊豆弧と本州側の本州弧の島弧地殻同士が衝突している場であるとともに、伊豆弧前弧側の海洋プレートが、本州弧の島弧地殻の下に沈み込む場となっている。この地域で発生する地震のうち、もっとも規模が大きくかつ大きな災害を引き起こすと考えられるのは、元禄や大正関東地震に代表されるプレート境界型の地震であろう。しかし歴史的にはプレート境界型の地震だけでなく、神奈川県西部から山梨県、静岡県に大きな被害をもたらした小田原地震のような直下型地震も発生する領域である。この地震は近年発生が懸念される首都直下地震の候補の一つでもあり、防災的な観点からもその地震像の解明が期待されている。伊豆半島北縁部から相模湾にかけての地震像を理解する上では、衝突と沈み込みの違いがどのように解消されるのか、という点が問題であり1970年代から多くの研究者によって議論されてきた。またその基礎となる地下構造やプレート運動についても、基盤観測網の充実とともに多くの研究成果が発表されている。本講演では主に2000年代以降に地震学的・測地学的手法によって明らかにされてきた地下構造や地殻変動などについて整理し、伊豆衝突帯、特に伊豆半島北縁部から相模湾におけるテクトニクスモデルについて考察する。フィリピン海プレートの構造 近年のプレートの構造に関わる研究の大きな進展の一つとして、非地震性スラブの構造が明らかとなってきたことがあげられる。プレート境界で発生する地震の分布からおよその形状が見える駿河湾以西と相模湾以東と比べ、伊豆半島から北西方向に延びる地震の空白領域のプレート構造についてはさまざまな仮説が考えられてきた。90年代までは、スラブそのものが存在しないとする考え方が多い（例えば石橋,1988; Ishida, 1992; 山岡・他, 1994, Mazzotti et al., 1999）が、近年では地震波速度構造の解析・レーザ関数解析などから沈み込む非地震性スラブの存在が明らかとなってきた（例えば、Nakajima et al. 2009; Kinoshita et al. 2015; Abe et al, 2023）。また人工地震探査の結果からも、沈み込む下部地殻の存在が示されている（Arai et al, 2009, 2014）。スラブが非地震性になる理由としては、含水鉱物が存在しないためであると考えられている。一方、地質・地形的には衝突によって伊豆島弧の上部・中部地殻が付加していることも明らかであり、衝突する上・中部地殻と沈み込む下部地殻の間に変位を起こす何らかの構造が必要となる。GNSSの観測データから、伊豆半島の直下においても同様の構造の存在が示唆されている。石橋・井潤 (2004) は伊豆半島における西向きGNSS 変位ベクトルを衝突による影響と考え、ユーラシアプレートに対するPHS の本来の運動方向に、衝突の効果としての南南東方向の速度欠損ベクトルを与え伊豆半島の西進の説明を試みた。Seno (2005) は石橋・井潤 (2004) の速度欠損ベクトルを説明するモデルとして、伊豆半島の西側2/3の部分の深さ15-20 kmに、付け根付近から半島南端よりさらに20 km 南まで延びる水平なデタッチメントの存在を仮定した。このモデルでは、デタッチメントが3 cm/yr の速度ですべて、伊豆の西進を説明できるとした。

相模湾西部における地殻構造と地震の関係

上部・中部地殻の厚さは、島弧の主要部分（伊豆半島の直下）では20km程度の厚さがあるのに対して、相模湾側ではせいぜい数キロ程度と考えられ、相模湾の西部付近で厚さが急激に変化する。そのため、中部・下部地殻の境界が伊豆半島から東に行くほど浅くなり、沈み込む下部地殻と衝突する伊豆半島下の上部・中部地殻の間で東西方向に運動のずれが生じることになる。この運動のずれはGNSSデータでは左横ずれのひずみ集中帯（Doke et al, 2020）として観測されている。このひずみを解消するメカニズムとして、ひずみ集中帯の中に高角な左横ずれ断層が（複数）存在し地震をおこす、あるいはその一部を塑性変形によって解消する、といったことが考えられる。このせん断帯を含む相模湾西部は小田原地震の震源域とされ、西相模湾断裂と呼ばれる断層帯が存在するとされてきた（石橋,1988）。石橋のモデルでは70数年一度、M7クラスの地震が発生するとされているが、これは一つの断層に東西の運動のずれによるひずみをすべて押し付けていることに相当するだろう。講演ではこのひずみを解消するメカニズムについて、いくつかの候補をあげて議論する。

Importance of the 1923 coseismic uplift of Hatsushima Island in western Sagami Bay for seismotectonics of the Kanto earthquake

*Katsuhiko ISHIBASHI¹

1. none

●1923年関東地震の際、相模湾（正式には相模灘）西部の初島（熱海市；周囲約4km）は、島全体が約1.8m隆起した（池田, 1925）。その北方約11kmにある相模湾西岸の真鶴岬も東端が約3m隆起し、約2km西方の付け根も隆起して岬全体が西に傾動した。伊豆半島東岸の熱海・網代・伊東なども若干隆起した（例えば、田中館, 1926）。しかし、1923年関東地震の震源断層モデルのほとんどは、初島・真鶴の地震隆起を考慮しておらず、この顕著な事実を説明できていない。最近のNakadai *et al.* (2023) のモデルでも初島の隆起量は数cmであり、彼らは初島付近の高角断層がslow slipかaseismic slipを起こしたのではないかと述べている。だが初島では、地盤がよいのに全43戸中全潰16戸（全潰率37%）であった（池田, 1925）。

●関東巨大地震は、フィリピン海プレート最北端部の南部フォッサマグナ（SFM；甲府盆地より南、三浦・房総南部～駿河湾北西岸）のプレート収束運動の劇的な表れにほかならない。したがって、1923年地震の震源断層モデルも、SFMの変動史を考慮しなければ真実に迫れない。その象徴的現象の一つが初島の隆起であり、本発表でその重要性をレビュー的に強調したい。

●初島の1923年地震時隆起が、この地域のネオテクトニクス（即ち、関東地震の地震テクトニクス）にとって第一義的に重要であることが、変動地形調査によって示唆される。杉原（1980）によれば、島の南東部の最高所の狭い平坦面（I面, 47～50m a.s.l.）は約8万年前に形成された小原台面に対比され、その下の高度25～40m a.s.l.の広い平坦面（II面）は、約6万年前に形成された三崎面に対比される。また、石橋・他（1982）が掘削調査なども併用して明らかにしたところによれば、3段の完新世海成段丘（IIIa～IIIc）が発達しており、最高位のIIIa面は貝化石の¹⁴C年代が $6,730 \pm 190$ yrsBPで、海成層上限高度は+10mであった。これらにもとづく平均隆起速度は、最近8万年間で $0.7 \sim 0.8$ m/1,000年、最近6万年間で $0.75 \sim 0.9$ m/1,000年、最近6千年間で 1.2 m/1,000年となり、最近約10万年間、やや速度を増す傾向で隆起を続けているといえる。これは三浦半島南部に匹敵するものである。もう一つ注目すべきは、田中館（1926）の現地聴き取り調査結果をIshibashi (1985) がまとめたところによれば、真鶴岬付近～伊東付近の伊豆半島東岸が1923年以前の数10年間、年間1cm前後の速さで沈降していたことである。また、初島東方沖には相模トラフ最北部の西縁を画する比高1,000mの顕著な急崖が南北に走っている。そして、初島は全体的に北西に傾動している。

●石橋（1988a, b）は、貝塚（1984）の示唆を考慮し、SFMのプレート収束史を考察して、それまでの「西相模湾断層」説（Ishibashi, 1985）を改め、「西相模湾断裂」の考えを提唱した。これは、過去数百万年以上にわたるプレート収束において、浮揚性沈み込みと多重衝突をくり返した火山性伊豆内弧と、関東地方の下に沈み込んでいく非火山性伊豆外弧の間に必然的に鉗状のプレート内断裂が生じ、それが現在も初島沖～箱根東麓直下で活動的で、1923年にプレート境界主断層面と一緒にずれ動いたというものである。Ishibashi (2004) はその考えにもとづく1923年関東地震の静的断層モデルをフォワードモデルで示したが、田淵・他（2007）は真鶴・初島を含む上下・水平変動データを用いたインバージョンをおこない、初島の地殻変動をよく説明する静的断層モデルを得ている。このモデルを批判的に発展させることが重要であろう。

文献：池田徹郎, 1925, 震災豫防調査會報告, 100号乙, 97-112; Ishibashi, K., 1985, *Earthq. Predict. Res.*, **3**, 319-344; 石橋克彦, 1988a, b, 科学, **58**, 537-547, 771-780; Ishibashi, K., 2004, *Earth Planets Space*, **56**, 843-858; 石橋克彦・太田陽子・松田時彦, 1982, 地震ii, **35**, 195-212; 貝塚爽平, 1984, 第四紀研究, **23**, 55-70; Nakadai, Y., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, and T. Nakagaki, 2023, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **XX**, 1-11; 杉原重夫, 1980, 明治大学人文科学研究所紀要, **19**, 1-25; 田淵裕司・石橋克彦・吉岡祥一, 2007, 月刊地球, 号外57, 154-164; 田中館秀三, 1926, 地学雑誌, **38**, 374-390.

Room B | Special session : S23. 100 years after the Great Kanto earthquake: development of earthquake research in the Kanto region

🗓 Tue. Oct 31, 2023 11:00 AM - 12:15 PM JST | Tue. Oct 31, 2023 2:00 AM - 3:15 AM UTC | 🏢 Room B F201

[S23] AM-2

chairperson: Satoko Murotani (National Museum of Nature and Science), Mikiya Yamashita (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S23-05] Changes in seismic activity before the 1923 Kanto earthquake inferred from the macro-seismic observation and other data

*Nobuo HAMADA¹, Kenshiro Tsumura¹ (1. non)

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

[S23-06] Structural Characteristics of Uppermost Frontal Thrust along the Sagami Trough

*Mikiya YAMASHITA¹, Ayanori Misawa¹, Takafumi Kasaya², Masataka Kinoshita³, Seiichi Miura² (1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. JAMSTEC, 3. ERI, University of Tokyo)

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

[S23-07] Geometry of the top of Philippine Sea plate beneath the Kanto region, Japan: revealed by seismic profiling

*Hiroshi SATO^{1,2}, Susumu Abe³, Takaya Iwasaki^{4,1}, Makoto Matsubara⁵, Eiji Kurashimo¹, Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Yoshitaka Nakayama⁶, Naoshi Hirata¹ (1. Univ. of Tokyo, 2. Shizuoka Univ., 3. JGI. Inc., 4. Association for the Development of Earthquake Prediction, 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Japan Organization for Metals and Energy Security)

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

[S23-08] Strong ground motion in the South-East part of Ibaraki Prefecture during the earthquakes in the North-East part of Chiba Prefecture, Japan

*Tomiichi UETAKE¹, Kazuhito HIKIMA¹ (1. Tokyo Electric Power Company Holdings)

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

[S23-09] How to convey and inherit the 1923 Great Kanto Earthquake - Utilization of digital contents

*Satoko MUROTANI¹ (1. National Museum of Nature and Science)

Changes in seismic activity before the 1923 Kanto earthquake inferred from the macro-seismic observation and other data

*Nobuo HAMADA¹, Kenshiro Tsumura¹

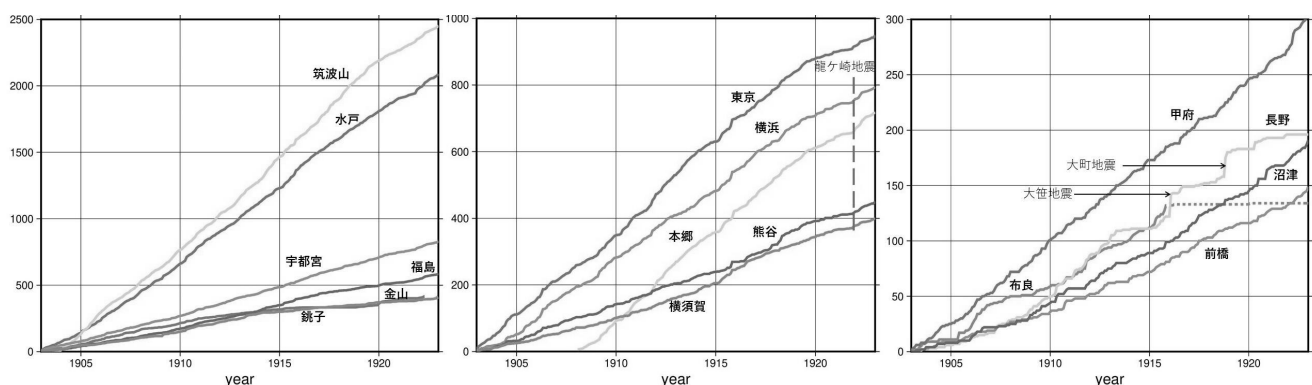
1. non

1923年の関東地震発生の前の震源域周辺の地震活動がどのようなものであったか、当時の乏しい観測資料から推し量ることは困難で断定的な結論を得ることは出来ないと考えられるが、残された資料を用いて検討を行った結果を報告する。

今日残されている資料に1919年以降は気象庁地震月報による地震カタログ、それ以前は宇津（1982）による地震カタログがあるが、地震計による観測網の変遷により地震検知能力の変化が大きく、収録されている地震の数も少なく、震源の精度も限界があり、扱い、解釈が難しい。これに対し震度の観測は明治時代後半には、測候所ばかりでなく郡役所など自治体でも観測、報告が行われるようになり、その結果は官報などに掲載されるようになるなど定常的な観測が行われるようになっていた。震度の観測は地震計による観測と異なり地震検知能力の点では一定、均質と考えられる。勿論有感地震には広い範囲の地震活動が含まれるので、特定の地域の地震活動を正確に反映するとは限らない。また観測が行われていても資料としての保存状態は観測点によって異なり、資料の欠落が認められる観測点もある。これらの状況を踏まえながら、石垣(2007)によれば観測と報告が定常的に行われるようになった、1903年以降の各観測点の月毎の有感地震回数の累積変化を調べた結果の一例を図に示す。もし地震活動に変化がなければ累積地震回数は単調に直線で増加するが、活動が活発になれば変化は上向きになり沈静化すると下に向く。

図によれば東京、横浜、本郷などの観測点では1920年頃から積算回数が頭打ち、有感地震の観測数が減っていることが分かる。熊谷、横須賀は1915年くらいから回数が増加した後同様に有感地震数が頭打ちになっている。いずれの観測点でも1921年龍ヶ崎地震による地震回数の増加が認められるが、全体の傾向は変わらない。その他の観測点、水戸や筑波山などの北関東の観測点ではわずかに似たような傾向が読み取れるが、甲府、沼津、長野あるいは前橋といった周辺の観測点では、同様の傾向は認められないかはっきりしない。これらのことから関東地震との関係はともかく、関東中部の地震活動おそらくフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界付近の地震活動の一時的な沈静化があったものと推定される。

参考文献 1) 宇津（1982）震研彙報，57,, 401-463.、2) 石垣(2007)，験震時報，70，29-49.



Structural Characteristics of Uppermost Frontal Thrust along the Sagami Trough

*Mikiya YAMASHITA¹, Ayanori Misawa¹, Takafumi Kasaya², Masataka Kinoshita³, Seiichi Miura²

1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. JAMSTEC, 3. ERI, University of Tokyo

伊豆半島と三浦半島に囲まれ関東南部に位置する相模湾は、中央部の相模トラフがフィリピン海プレートの収束帯とされ、その運動に関連した活断層が東側を中心に発達し、西側では伊豆小笠原弧の火山フロントに沿った火山活動が活発な、複雑な場所である。1923年関東地震の震源域は相模湾を含む領域であり、沿岸域では津波も報告されているが、津波の波源域においてどの構造が大きな海底変動を起こした跡なのかは報告されていない。想定される津波の最大波高を予測するためには想定震源域の上限である、先端部は海底付近に達して海底面を変形させている前縁断層の同定が必要であり、今後のトラフ軸周辺の挙動を知る上では前縁断層からトラフ側まで含めた海底近傍の構造評価が重要である。海洋研究開発機構ではこれまで稠密な測線に沿った反射法地震探査を相模湾周辺で実施してきたが、前縁断層の活動による海底面近傍における堆積層の変形については明らかになっていない。そこで本研究では新たに赤色立体地形図法を詳細な海底地形データに適用し、相模トラフから三重会合点周辺までの地形的特徴を抽出するとともに、既存の反射法地震探査データを用いて相模トラフに沿った断層先端部構造の特徴を明らかにする。

Geometry of the top of Philippine Sea plate beneath the Kanto region, Japan: revealed by seismic profiling

*Hiroshi SATO^{1,2}, Susumu Abe³, Takaya Iwasaki^{4,1}, Makoto Matsubara⁵, Eiji Kurashimo¹, Tatsuya Ishiyama¹, Naoko Kato¹, Yoshitaka Nakayama⁶, Naoshi Hirata¹

1. Univ. of Tokyo, 2. Shizuoka Univ., 3. JGI. Inc., 4. Association for the Development of Earthquake Prediction, 5. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 6. Japan Organization for Metals and Energy Security

はじめに: 関東地域では、1923年関東地震をはじめとする大規模なプレート境界地震が繰り返し発生してきた。2001年以降、大規模大震災軽減化プロジェクトや、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト、神縄・国府津-松田断層帯の重点的調査観測プロジェクト等の中で、制御震源による大規模な地殻構造調査や自然地震の稠密アレイ観測が実施され、フィリピン海プレート(PHS)上面の形状が明らかになってきた。ここではPHS上面の形状とそれらの構造を生み出したテクトニックな要因、さらに1923年関東地震への影響について述べる。

フィリピン海プレートの上面形状: 通常プレート境界面は固着しており、地震活動のみでプレート境界を推定することは難しい。このため、深部反射法地震探査や稠密自然地震観測によるレーシーバー関数解析などの解析方法を取り入れて、9測線においてPHSプレート上面のイメージングにつとめた。多数の測線においてフィリピン海プレート上面からの反射面が捉えられ、従来の推定よりもかなり浅い深度に位置することが明らかになった[1, 2, 3] (Fig. 1)。

伊豆衝突帯における地殻構造の特徴: 伊豆衝突帯北部、関東山地から甲府盆地に至る地域では、NW-SE, NS, ENE-WSW方向の互いに交差する測線で構造探査を行い、PHS上面はNNW-SSE方向のリッジ状の形状をなすことが明らかになった。東翼は緩傾斜であるが、西翼では傾斜を増大させ、甲府盆地の曽根丘陵下では、PHSからの反射面群が深さ40 kmまで追跡される[2]。このリッジ状のPHSの変形は、湾曲した形状の沈み込み境界への下降運動によるスラブの変形[4]と調和的である。背斜軸跡の方向は、古いフィリピン海プレートの運動方向[5]とほぼ一致することから、15 Ma以降継続したPHSの浮揚性沈み込みと一連のプロセスで形成されたと推定される。この東翼緩傾斜のリッジ状の形状は、1923年関東地震のすべり分布も規制している。新しいプレート境界形状に基づく1923年関東地震時の地殻変動や地震波形を用いて求められた地震時のすべり量分布は[1]、すべり領域の西縁がリッジ状形状の東翼部と一致することを示している。甲府盆地で確認されたPHS上面は、浮揚性沈み込みにより地殻上部が剥ぎ取られた本州側に付加した伊豆-小笠原弧の中部地殻に相当する。沈み込んでいるスラブ内の地震活動は、反射面群によって示唆される深部延長では消失しており、非地震性のスラブとなっている。伊豆衝突帯の北西部では、沈み込みに沿った地震活動の欠損により、スラブの存在そのものが不明確であったが、反射法地震探査によってその存在が明らかになった。甲府盆地地下でのPHS上面深度は南アルプス下で推定されるものより有意に深く、とくに西方への連続性については更なる研究が必要である。

三浦・房総半島下の地殻構造の特徴: 関東平野の堆積盆地は、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う葉山-嶺岡隆起帯の背後に形成され、最大層厚は川崎沖の東京湾で6 kmに及んでいる。葉山-嶺岡隆起帯下のP波速度構造は、関東平野下の先新第三系の岩石に比べて低下し、付加体としての形成プロセスを反映してP波速度4~5 km/s程度の厚い一様な速度構造を示す。三浦半島下の関東地震のアスペリティ領域では、プレート境界面周辺でのP波速度は6 km/s程度まで上昇している。

関東地域南部のテクトニクス: 15 Ma以降、伊豆衝突帯ではPHSの北北西進に伴い浮揚性沈み込みが進行し、伊豆-小笠原弧の地殻上部が付加した。この間、国府津-松田断層などプレート境界に平行する分岐断層が形成された。1 Ma以降、PHSの西北西方向への運動方向の変化によって[6]、伊豆衝突帯西側での上盤プレート地殻の短縮量の増大や駿河トラフにおけるPHSスラブの傾斜角の増加、三浦・房総半島における分岐断層の右横ずれ運動が生じた。1923年関東地震は、こうした伊豆衝突帯東方の低角度の沈み込み境界の横ずれ運動によって発生した。

文献 [1]Sato, H. et al., Science, 309 (5737), 462-464, 2005. [2]佐藤比呂志, 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書, 15-24, 2012. [3] Arai et al., G-cubed, 15, 1977-1990, doi:10.1002/2014GC005321, 2014. [4] Niitsuma, N., The Island Arc, 8, 441-458, 1999. [4] Ide, S. Nature, 466, 356-359, 2010. [5] Hashima, A. et al., Tectonophys., 679, 1-14, doi: 10.1016/j.tecto.2016.04.005, 2016.

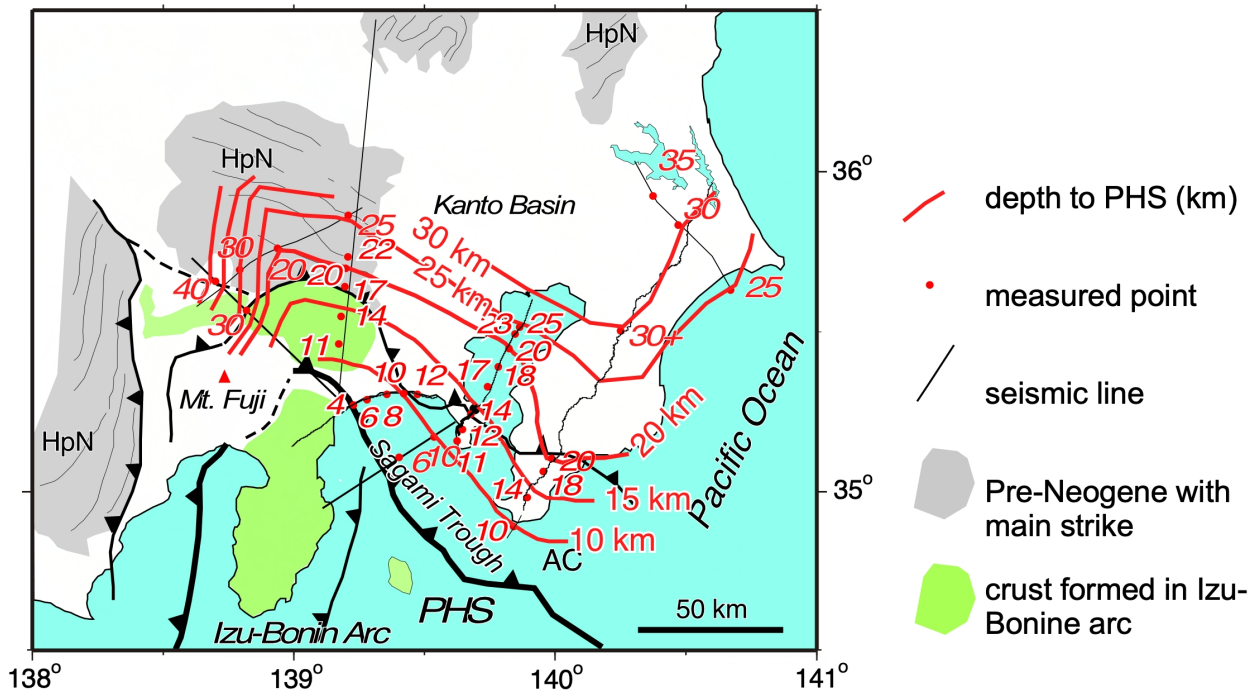


Figure 1. Depth to the top of Philippine Sea plate in the Kanto region.

Strong ground motion in the South-East part of Ibaraki Prefecture during the earthquakes in the North-East part of Chiba Prefecture, Japan

*Tomiichi UETAKE¹, Kazuhito HIKIMA¹

1. Tokyo Electric Power Company Holdings

1. はじめに

2023年5月26日に千葉県東方沖でMj6.2のプレート境界型の地震が発生した。この地震では震央の北から北東側で震度5弱を観測している。震央の北側、約30kmに位置する鹿島火力発電所で得られた広帯域速度計記録にはS波初動より4秒ほど遅れて震幅の大きなパルス状の波群が確認された。この波群で最大速度（EW成分：17.9 cm/s）・最大加速度（EW成分：218 cm/s²）を記録していることから、この特異な波群について分析を行うこととした。また、今回の震源周辺では繰り返しMj6クラスの地震が発生していることから、過去に得られた記録との比較も行った。

2. 観測波形の特徴

千葉・茨城両県内の強震記録(加速度記録)を収集し、0.1~20 Hzのバンドパスフィルター波形を掛けて積分して速度波形を作成した。その結果、震央の北東側にあたる千葉県銚子市から茨城県鹿島市にかけての地域で速度振幅が大きく、特にEW成分が大きくなっていることが明らかとなった。震央の北東側の波形の特徴として周期の長い片揺れのS波初動とパルス状の後続波が認められ、パルス状の後続波で最大速度値を記録している。パルス状の後続波の見かけ速度はS波初動部より若干遅い。なお、震央から西側の観測点では明瞭なパルス波は確認出来なかった。

3. 過去の地震記録との比較

2011年以降、2023年5月26日の震央付近ではMj5.5以上の地震が8地震発生している。海域には今回の地震を含む4地震、陸域に4地震である。8地震の震源深さは43~50kmで、メカニズム解は低角逆断層型で類似している。鹿島火力発電所における8地震のEW成分波形を図に示す。波形は海陸の地震4地震に類似性が見られ、波形途中にS波初動部より短周期のパルス波が顕著である。パルス波とS波初動との時間差もほぼ一定であり、2011年4月21日（Mj6.0）と2023年5月26日（Mj6.2）の波形を重ねると波形の山谷が一致する。周辺のK-NET、KiK-netの波形でも同様な結果である。パルス波は構造的な要因で生成している波と推定される。一方、陸域の4地震では相互の類似性は見られるものの、海域側のような顕著なパルス波は見られない。10km程度の震源位置の違いで地震波の伝播性状が異なり波形の特徴が大きく変化している。この地域は陸のプレート、フィリピン海プレート、太平洋プレートの三層構造となっており、地震波の複雑な挙動が予想される。プレート形状がモデル化されているJISVM [Koketsu et al.(2012)] から、2023年5月26日の震央付近の地下構造を抽出した1次元構造とF-netのメカニズム解を用いて鹿島火力の波形を計算してみた。計算には、Reflectivity法[Koketsu(1985)]を用いた。計算された波形は、S波初動が大きく陸域側で発生した地震の波形と類似性が見られたが、パルス波の再現は出来なかった。地下構造モデルの高度化と三次元的な波動伝播性状の検討が必要と考えられる。

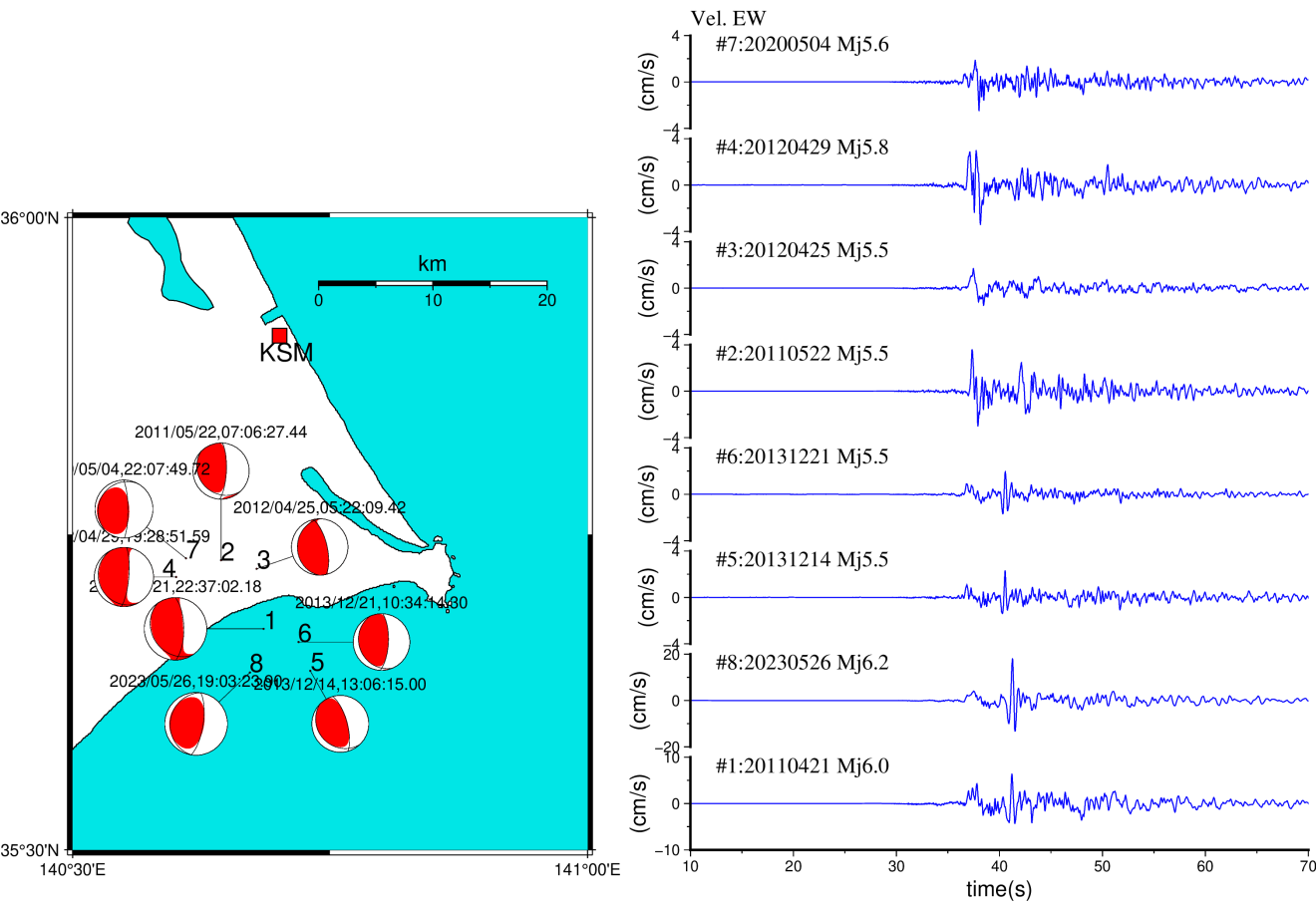
4. まとめ

2023年5月23日千葉県東方沖の地震（Mj6.2）の際に、鹿島火力の観測波形に認められた顕著な後続パルス波について検討を行った。この後続パルス波は、震央の北東側の限られた地域で観測され強震動特性に影響を与えていた。同じ震源域で発生した規模の異なる地震でも同様なパルス波が観測されており、地下構造によって生成された波群であると推定された。強震動予測の精度向上のためには、プレート構造を含めた同地域の地下構造モデルの高度化を図る必要がある。

謝辞

鹿島火力の速度計記録に加え、気象庁の震度計、防災科研のK-NET、KiK-net、MeSO-netの加速度データを使用いたしました。気象庁による震源データ、防災科研F-netのメカニズム解データを使用しました。作図には

GMT6 [Wessel et al. (2019)] を用いました。記して感謝いたします。



How to convey and inherit the 1923 Great Kanto Earthquake - Utilization of digital contents

*Satoko MUROTANI¹

1. National Museum of Nature and Science

1923年9月1日に発生した地震（大正関東地震）によって関東地方に甚大な被害を及ぼした関東大震災から、今年は100年という節目の年となった。国立科学博物館（東京・上野公園、以下科博）では、2023年9月1日から11月26日までの約3か月間、関東大震災100年企画展「震災からのあゆみ ―未来へつなげる科学技術―」を開催することとした。本展示では、企画展示室、地球館オープンスペース、日本館中央ホール（※10月11日から）の3か所を会場とし、大正関東地震とその被害、関東大震災からの復興、この100年間の地震防災・減災研究、今私たちが災害に備えること、過去から未来への災害の継承について紹介する。この100年の間に私たちがどう自然を理解して自然災害から生活を守るために科学技術を発展させ、地震学および関連分野や防災・減災の研究の進歩を身近な生活に活かしてきたか、また、関東大震災を始めとする災害を人々の記憶に残るような展示方法を検討し、災害を我が事として考えるきっかけとなるような展示を目指した。

しかしながら、関東大震災に関する資料や調査・研究成果は膨大で、本展示では一部しか紹介できない。本展のテーマは「未来へつなげる科学技術」であり、実際に展示できない部分を、デジタルツインを活用するなどデジタルやオンラインのコンテンツも作成し、展示を充実することとした。科博は、東京帝国大学地震学教室や科博職員が撮影した関東大震災の被害写真を、多く所蔵している。それらの写真を地図上で現在の場所と重ねることで、実際に大災害が関東地方で起きたこと、100年前と現在の違いからこの間にどう街が変わっていったのかを、考えるきっかけになる。しかし当時の写真はモノクロで、震災を知らない私たちから見れば、遠い昔の出来事で他人事に思えてしまう。今回、人工知能（AI）や当時の資料をもとに人の手によって補正をしたカラー写真を展示する。モノクロ写真では、なかなか伝わらない火災の状況や人々の表情などがより鮮明となり、身近な出来事に感じるができる。その他にも最新の科学技術を使って、これまでにない見せ方で歴史資料を紹介する展示もあり（中央ホールにて10月11日より展示）、歴史的資料が長く残って来たからこそ、今実現できる展示となった。

本発表では、実際の展示の様子や、デジタルコンテンツについて紹介する。

本展示は、360度VR撮影を行い、企画展終了後も当館ホームページ上でVR展示を見ることができる。VR展示では、実際に展示することができなかった情報を追加していくことを検討している。展示を見に来られない遠方の方だけでなく、一度見た方や、今後の学習活動などに活用してもらえることを期待する。

最後に、本展示には、多くの皆様のご協力をいただきました。ここに記して、感謝申し上げます。

Room B | Regular session : S04. Tectonics**📅 Tue. Oct 31, 2023 1:30 PM - 2:30 PM JST | Tue. Oct 31, 2023 4:30 AM - 5:30 AM UTC | 🏠 Room B F201****[S04] PM-1**

chairperson:Dapeng Zhao(Tohoku University)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S04-01] 2D subduction models in the presence of a high-density rigid continental block: a case study for the slab geometry beneath the Kii Peninsula.

*Erika Moreno¹, Vlad Manea², Marina Manea², Nobuaki Suenaga³, Shoichi Yoshioka¹ (1. Kobe University, 2. CGEO, Universidad Nacional Autónoma de México, 3. Kyoto University)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S04-02] Seismological evidence of a shear zone inside the Philippine Sea plate slab in Suruga Bay.

*Yannis PANAYOTOPOULOS¹, Hisatoshi Baba², Takahito Nishimiya³ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Tokai University, 3. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency)

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

[S04-03] P and S wave tomography beneath Japan from joint inversion of local and teleseismic data recorded by S-net and Hi-net

*Motoya Suzuki¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

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

[S04-04] Subduction hydrothermal regime and seismotectonic variation along Kermadec-Tonga megathrusts

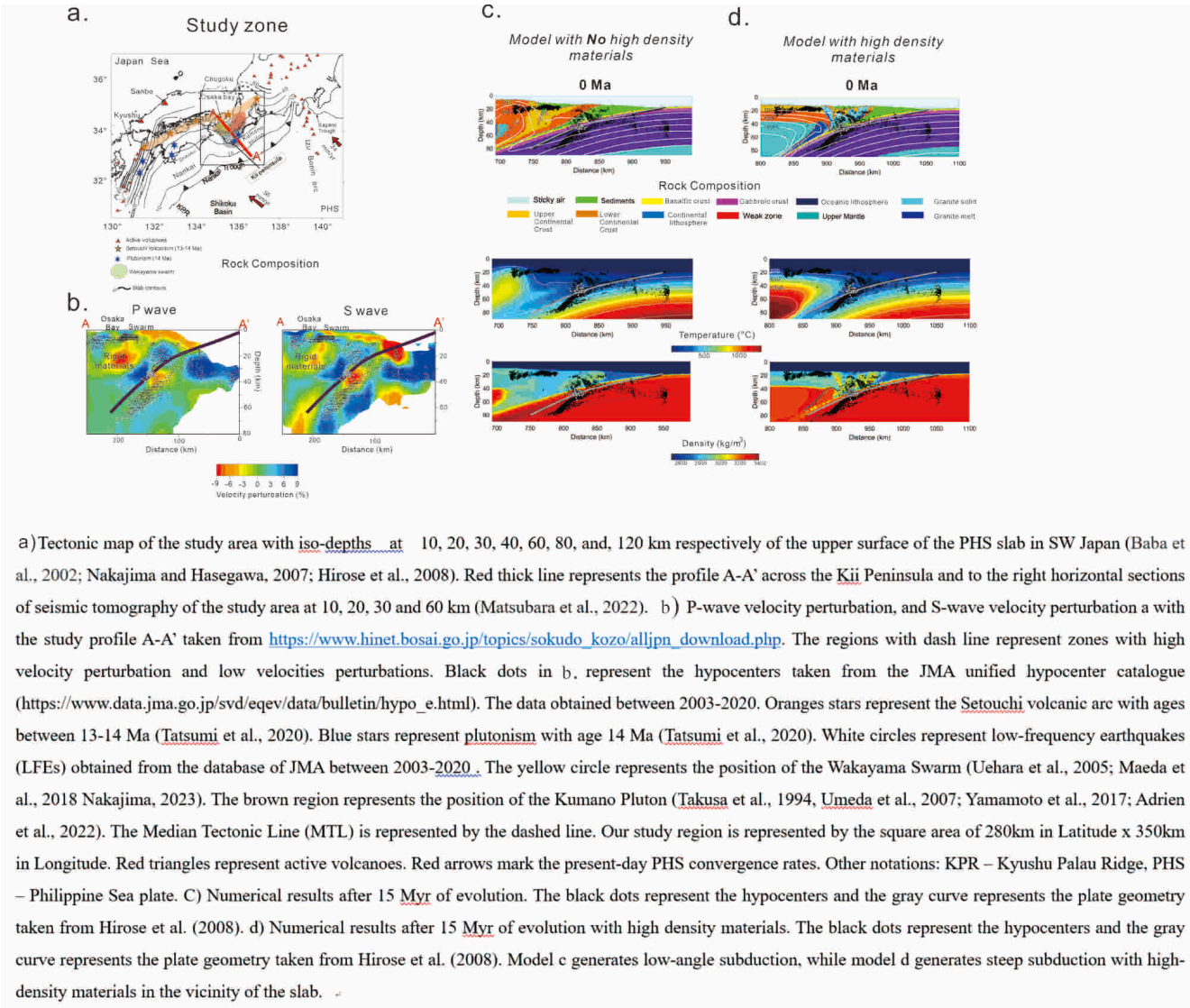
*Ye Zhu¹, Yingfeng Ji¹ (1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences)

2D subduction models in the presence of a high-density rigid continental block: a case study for the slab geometry beneath the Kii Peninsula.

*Erika Moreno¹, Vlad Manea², Marina Manea², Nobuaki Suenaga³, Shoichi Yoshioka¹

1. Kobe University, 2. CGEO, Universidad Nacional Autónoma de México, 3. Kyoto University

Subduction along the Nankai Trough is characterized by great diversity in terms of slab geometry. For example, the Philippine Sea (PHS) plate exhibits shallow subduction beneath Shikoku and Chugoku regions, meanwhile the subduction beneath the Kii Peninsula occurs with a higher dip angle. However, considering a continuous and relatively uniform subduction process along the Nankai Trough since 15 Ma, the expected PHS slab between Shikoku and the Kii Peninsula would show little variation. However, seismic tomography and seismicity studies reveal two styles of subduction between both regions. The Kii Peninsula is characterized by the presence of the Kumano Pluton near the Nankai Trough. Seismic tomography studies reveal high seismic velocity zones adjacent to the slab beneath the Kii Peninsula, and a low seismic velocity zone beneath seismic swarm area in Wakayama. These high-velocity zones near the slab are currently associated with acidic rocks that consists of the Kumano Pluton. It is proposed that these blocks are characterized by rigid, impermeable, high-density materials that act as a barrier to rising the PHS slab fluids. Several hypotheses suggest that these rigid blocks induce a high dip angle subduction beneath the Kii Peninsula. In this study we employ 2D high-resolution visco-elasto-plastic numerical models of spontaneous subduction in order to better understand how the presence of a rigid and high-density tectonic block influences on the subduction dynamics of the PHS plate. We focus on a 2D profile passing through the Kii Peninsula. Our numerical models evolve over a period of 15 Myr, and the PHS plate initiates subduction beneath the Kii Peninsula at a high convergence rate of 7.69 cm/yr. In the vicinity of the Nankai Trough and between the upper and lower continental crust, high-density (HD) (rock density of $\rho = 3200 \text{ kg/m}^3$) rigid materials (rocks cohesion of $c = 1 \times 10^6 \text{ MPa}$) are imposed. Results of our numerical models are evaluated in terms of the current PHS slab geometry beneath the Kii Peninsula and the location of the rigid materials which were estimated using seismic tomography studies. Our numerical modelling found that the presence of the HD rigid block plays a fundamental role in the evolution of subduction dip angle. Without the presence of the HD rigid block, the subduction is characterized by shallow dip angle as observed beneath Shikoku and Chugoku regions. On the other hand, including the HD block adjacent to the Nankai Trough, the final result became slab geometry with a higher dip angle as observed beneath the Kii Peninsula.



a) Tectonic map of the study area with iso-depths at 10, 20, 30, 40, 60, 80, and, 120 km respectively of the upper surface of the PHS slab in SW Japan (Baba et al., 2002; Nakajima and Hasegawa, 2007; Hirose et al., 2008). Red thick line represents the profile A-A' across the Kii Peninsula and to the right horizontal sections of seismic tomography of the study area at 10, 20, 30 and 60 km (Matsubara et al., 2022). b) P-wave velocity perturbation, and S-wave velocity perturbation with the study profile A-A' taken from https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/alljpn_download.php. The regions with dash line represent zones with high velocity perturbation and low velocities perturbations. Black dots in b, represent the hypocenters taken from the JMA unified hypocenter catalogue (https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo_e.html). The data obtained between 2003-2020. Oranges stars represent the Setouchi volcanic arc with ages between 13-14 Ma (Tatsumi et al., 2020). Blue stars represent plutonism with age 14 Ma (Tatsumi et al., 2020). White circles represent low-frequency earthquakes (LFEs) obtained from the database of JMA between 2003-2020. The yellow circle represents the position of the Wakayama Swarm (Uehara et al., 2005; Maeda et al., 2018 Nakajima, 2023). The brown region represents the position of the Kumano Pluton (Takusa et al., 1994, Umeda et al., 2007; Yamamoto et al., 2017; Adrien et al., 2022). The Median Tectonic Line (MTL) is represented by the dashed line. Our study region is represented by the square area of 280km in Latitude x 350km in Longitude. Red triangles represent active volcanoes. Red arrows mark the present-day PHS convergence rates. Other notations: KPR – Kyushu Palau Ridge, PHS – Philippine Sea plate. c) Numerical results after 15 Myr of evolution. The black dots represent the hypocenters and the gray curve represents the plate geometry taken from Hirose et al. (2008). d) Numerical results after 15 Myr of evolution with high density materials. The black dots represent the hypocenters and the gray curve represents the plate geometry taken from Hirose et al. (2008). Model c generates low-angle subduction, while model d generates steep subduction with high-density materials in the vicinity of the slab.

Seismological evidence of a shear zone inside the Philippine Sea plate slab in Suruga Bay.

*Yannis PANAYOTOPOULOS¹, Hisatoshi Baba², Takahito Nishimiya³

1. Association for the Development of Earthquake Prediction, 2. Tokai University, 3. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Suruga Bay lies along the Tokai segment of the Nankai-trough, which last ruptured in the 1854 M8.4 Ansei-Tokai Earthquake, making it a potential locus for the next major earthquake on the Nankai-trough. Moderate size earthquakes have occurred in the Suruga Trough axial region (M6.5 in 2009 and M6.2 in 2011) that resulted in a prominent excitation of seismicity. Unfortunately, our ability to accurately locate these events is hampered by a sparse routine seismic observation network around the bay. In order to improve location accuracy, a total of 2 sets of 7 OBSs were deployed inside Suruga Bay, 6 from the spring of 2017, and an additional OBS from spring 2019. By combining the data from our OBS stations with that of existing land-based stations surrounding Suruga Bay, we were able to accurately relocate the observed seismic activity inside the Philippine Sea plate (PHS). We observed and analyzed a total of 755 events reported in the JMA unified catalogue that occurred within a 25 km radius of the OBS stations. We combined our data with that of routine network stations in a 50 km radius around the Bay and manually picked the P- and S- wave arrivals. We improved the location accuracy of hypocenter determinations by using a pseudo-3D location scheme that assigned a different 1D velocity structure to each station depending on the geological characteristics of the area upon which it sits, and additionally by solving iteratively to estimate station corrections from the calculated average RMS station delays. The relocated hypocenters appear to occur inside a narrow 2-5 km continuous zone that starts on the east side of the bay at approximately 10 km depth and deepens towards the west at an angle of 20°~25°. Analysis of the focal mechanisms of the observed events shows that the P-axis inside Suruga Bay is almost exclusively oriented in a northerly direction, in contrast to the northwest subduction direction of the PHS, which suggests that the stress field in the area is not favorably oriented for thrust faulting on the Tokai segment. We propose the existence a shear zone subparallel to the subduction direction of the PHS with a trend approximately 35° counterclockwise from north. The net movement of Izu peninsula observed in the GNSS data (e.g., Sagiya, 1999; Nishimura et al., 2007) can be explained by the presence of a zone on which strain partitioning occurs between its northern and southern parts. This shear deformation zone acts as a region of strain release and explains the apparent difference in the angle of movement of the Izu peninsula and the angle of convergence of the PHS (Panayotopoulos et al., 2023). This zone could have important implications in the case of a future Tokai earthquake because it could function as a buffer that would impede the fault rupture process.

- Nishimura, T., Sagiya, T., and Stein, R.S., 2007. Crustal block kinematics and seismic potential of the northernmost Philippine Sea plate and Izu microplate, central Japan, inferred from GPS and leveling data: *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, v. 112, no. B5. doi:10.1029/2005JB004102
- Panayotopoulos, Y., Baba, H., Nishimiya, T., 2023. Ocean Bottom Seismometers in Suruga Bay reveal a shear zone inside the Philippine Sea plate slab: *Tectonophysics*, v. 861, 229902, doi:10.1016/j.tecto.2023.229902
- Sagiya, T., 1999. Interplate coupling in the Tokai district, central Japan, deduced from continuous GPS data: *Geophysical Research Letters*, v. 26, p. 2315–2318. doi:10.1029/1999GL900511

P and S wave tomography beneath Japan from joint inversion of local and teleseismic data recorded by S-net and Hi-net

*Motoya Suzuki¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

沈み込み帯におけるプレート境界型地震の発生は、プレート境界面の構造不均質にコントロールされると考えられている。しかし、海域の地震観測網の不足からスラブ下の構造不均質の影響について議論した研究例は少ない。近年、Subslab hot mantle upwelling (SHMU) がプレートの形状やプレート境界型地震の発生に影響を及ぼす可能性が指摘されており (例えば、Fan & Zhao, 2021; Zhao & Hua, 2021; Toyokuni et al., 2022)、海域下の深部構造の更なる制約が重要視されている。日本では、2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) を契機として、防災科学技術研究所により海底地震観測網S-net (Seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along Japan Trench) が太平洋沖に設置されており、前弧域の浅部・深部構造モデルの改善が見込める。既に、S-netにおける近地地震の到着時刻データを用いた走時トモグラフィーが行われつつある (例えば、Hua et al., 2020; Yu & Zhao, 2020; Zhao et al., 2022)。一方、S-netにおける大量の遠地地震データを用いた地震波トモグラフィーはまだ行われていない。

本研究では、2017年1月-2022年10月に発生した遠地地震 ($M > 6.5$) のうち48個について、Hi-net (High sensitivity seismograph network Japan) 及び S-netの記録を同時解析することで、P波で38,800個、S波で30,561個の相対走時残差を新たに得た。さらに、近地・遠地地震データを併せて用いる同時インバージョンを行い、日本列島下の深さ700 kmまでの3次元P波・S波速度構造モデルを得た。その結果、沈み込む太平洋プレートを反映する厚さ約90 kmの高速度異常や、マントルウェッジ中の上昇流を反映し、背弧域の深さ約200 kmから活火山直下へ続く低速度異常が明瞭にイメージングされた。こうした特徴的な構造は、従来の陸域地震観測網のみを用いた地震波トモグラフィー (例えば、Zhao et al., 2012; Liu & Zhao, 2016) の結果と共通している。また、東北地方北部や関東地方の地下には、太平洋プレート下に深さ約100 kmから700kmまで連続した低速度異常が存在し、東北地方北部ではM8クラスの大地震の分布と対応している。スラブ下の低速度異常はSHMUを反映し、その浮力がプレート境界型地震の発生に影響を及ぼした可能性がある。

参考文献

- Fan, J., Zhao, D., 2021. Subslab heterogeneity and giant megathrust earthquakes. *Nat. Geosci.* 14, 349–353.
- Hua, Y., Zhao, D., Toyokuni, G., Xu, Y., 2020. Tomography of the source zone of the great 2011 Tohoku earthquake. *Nat Commun* 11:1163.
- Liu, X., Zhao, D., 2016. P and S wave tomography of Japan subduction zone from joint inversions of local and teleseismic travel times and surface-wave data. *Phys. Earth Planet. Inter.* 252, 1–22.
- Toyokuni, G., Zhao, D., Kurata, K., 2022. Whole-mantle tomography of Southeast Asia: New insight into plumes and slabs. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 127 e2022JB024298.
- Yu, Z., Zhao, D., 2020. Seismic evidence for water transportation in the forearc off Northern Japan. *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 125 e2019JB018600.
- Zhao, D., Yanada, T., Hasegawa, A., Umino, N., Wei, W., 2012. Imaging the subducting slabs and mantle upwelling under the Japan Islands. *Geophys. J. Int.* 190, 816–828.
- Zhao, D., Hua, Y., 2021. Anisotropic tomography of the Cascadia subduction zone. *Phys. Earth Planet. Inter.* 318, 106767.
- Zhao, D., Katayama, Y., Toyokuni, G., 2022. The Moho, slab and tomography of the East Japan forearc derived from seafloor S-net data. *Tectonophysics* 837, 229452.

Subduction hydrothermal regime and seismotectonic variation along Kermadec-Tonga megathrusts

*Ye Zhu¹, Yingfeng Ji¹

1. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences

1. Introduction

The calamitous phreatomagmatic eruption of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai (HTHH) volcano in January 2022 has been reported to have had a volcanic explosivity index (VEI) of 5-6 and a column height of 20 km and to have caused powerful tsunamis across the Pacific Ocean, suggesting that destructive arc magmatism evolved from an active and large subduction complex below Kermadec-Tonga. Along the heterogeneous and tightly coupled subvolcanic megathrusts, the hydrothermal structure and slab petrological metamorphism are considered essential to the deep arc volcanism and catalysis of focused interplate earthquakes. The mechanism of fast-slow earthquakes is still uncertain due to the heterogeneity of megathrusts, evidenced by the transition between the depleted arc lavas in northern Kermadec (and Tonga) and the mildly depleted southern Kermadec arc lavas and the slab geometries.

2. Model and method

With the focus on the Kermadec-Tonga megathrust and its changes in hydrothermal state along the strike and with subduction, we constructed a 3D thermomechanical kinematic model on the basis of the finite difference method (FDM) and the code Stag 3D. The dimensions of our model were 800 × 1800 × 400 km (length × width × depth, Fig. 1), which was designed to simulate subduction of the Pacific Plate northwestward over 20 Myr. We applied an anelastic approximation and the equations of conservation of mass, momentum, and energy. The plate geometry adopted Slab 2 within the modeled domain to ensure full subduction and steady thermal conditions. Observations of surface heat flow and Curie depth estimation were utilized to constrain the model thermal results along eight trench-perpendicular profiles.

3. Results and Discussion

Through modeling, we obtained the evolution of the subduction thermal regime at each time step and the final steady thermal state as well as the induced mantle viscous flow field. We predominantly focused on the steady thermal state of the subducted plate, which is largely influenced by the slab geometry and heterogenic intraslab structure. The results suggest that the subduction of the Pacific Plate beneath the Kermadec-Tonga microplate results in a cold thermal transition from 300 °C to > 900 °C between the mantle edge and subvolcanic interface, which changes greatly from Tonga to Kermadec along strike due to slab geometry heterogeneity. The distribution of seismicity is associated with the dehydration of subducted water-bearing minerals, which promotes the occurrence of both fast and slow subduction earthquakes. In addition, the ultramafic layer is much thicker than the MORB layer, suggesting that intraslab harzburgitization could be the dominant dehydration-derived fluid source for mantle melting. Therefore, slab metamorphism released large amounts of fluids, especially those from intraslab harzburgitization, which are key to influencing mantle melting and arc volcanism in Kermadec-Tonga.

Fig. 1 Model setting and boundary conditions. Arrows indicate the subduction velocity. The intraslab seismic events from 2000 through 2010 are plotted by spheres, with the color indicating magnitude. Red cones indicate volcanoes.

