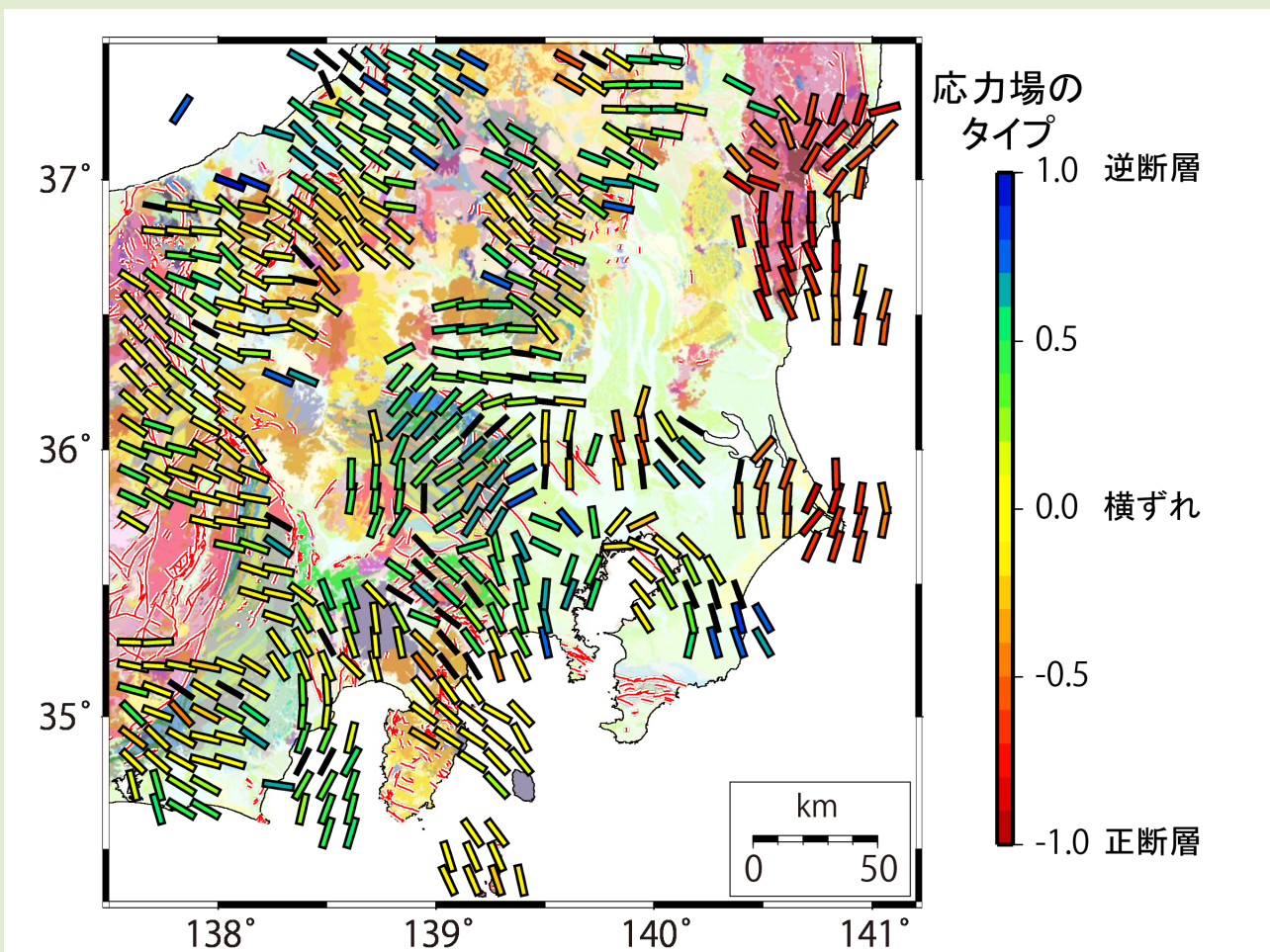


# 地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 70 No. 3 2019



論文

関東地域の地殻内応力マップの作成

今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里 ..... 273

概報

関東山地に分布する北部秩父帯付加コンプレックス柏木ユニットのジルコン U-Pb 年代

富永紘平・原 英俊・常盤哲也 ..... 299

---

表紙の図

関東地域の地殻内応力マップ

地震データの分析から、関東地域の 10 km メッシュの地殻内応力マップを求めた。色付きのシンボルは最大水平圧縮応力方位を示す。シンボルの色は応力場のタイプを表しており、タイプが決められなかった場合は黒で表示している。過去約 14 年間にわたる小地震データを分析したことで、先行研究よりも応力場の空間分解能を格段に高くすることができ、複雑な応力場の実態が明らかになった。詳細は本号の今西ほか (2019) を参照。赤線は活断層 (活断層研究会, 1991) を示す。基図は 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html> 2019 年 4 月 15 日参照)。

(図・文：今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里)

Cover Figure

Crustal stress map in the Kanto region

The 10 km-mesh map of the crustal stress in the Kanto region was constructed based on the analysis of seismic data. The direction of the maximum horizontal compressive stress is shown by bars, which are color-coded by the type of stress field. Black bars indicate that their stress type could not be determined. By analyzing small earthquakes in the past 14 years, the spatial resolution of the stress fields has been significantly improved compared to previous studies, revealing a complex stress pattern in the region. For details, see Imanishi *et al.* (2019) in this issue. Red lines are active faults (Research Group for Active Faults of Japan (1991)). The base map is the Seamless Digital Geological Map V2 of Japan (1:200,000) (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html> April 15, 2019).

(Text and figure by Kazutoshi Imanishi, Takahiko Uchide, Makiko Ohtani, Reiken Matsushita and Misato Nakai)

## 関東地域の地殻内応力マップの作成

今西和俊<sup>1,\*</sup>・内出崇彦<sup>1</sup>・大谷真紀子<sup>1</sup>・松下レイケン<sup>1</sup>・中井未里<sup>1</sup>

Kazutoshi Imanishi, Takahiko Uchide, Makiko Ohtani, Reiken Matsushita and Misato Nakai (2019) Construction of the Crustal Stress Map in the Kanto Region, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 70 (3), p.273–298, 15 figs, 2 tables, 3 appendices.

**Abstract:** We constructed a crustal stress map of the Kanto region, central Japan, from earthquake focal mechanism solutions. In order to increase the spatial resolution of the stress map, we included more data than the routine catalog by determining focal mechanisms of small earthquakes down to magnitude 1.5 in approximately the past 14 years. We obtained 1142 well-constrained solutions using P-wave polarity data as well as body wave amplitudes, which successfully filled the gap in the stress fields left by previous studies. We merged our focal mechanism catalog with the Japan Meteorological Agency earthquake catalog and that of our previous studies, which have become a source of information on the stress map. For each earthquake, we estimated the direction of the maximum horizontal compressive stress ( $S_{Hmax}$ ) based on plunge angle of the P-, B-, and T-axes. The type of stress field was also determined using rake angles, which provide a single scalar value on a continuous scale varying from  $-1$  (normal faulting) to  $0$  (strike-slip faulting) to  $+1$  (reverse faulting). We then computed the mean  $S_{Hmax}$  and type of stress field on a mesh interval of 10 km, which we refer to as a stress map. Compared with previous stress maps in the present study area, our map succeeds in reducing the blank area of stress information and provides higher spatial resolution in stress fields. The stress map reveals a complex stress pattern, which includes sudden changes in the  $S_{Hmax}$  direction, clockwise  $S_{Hmax}$  rotation from the Izu Peninsula to its north area, the existence of multiple tectonic stress provinces in the spatial scale of a few 10 km, and normal-faulting stress fields prevailing in the coastal region of the Pacific Ocean. These features are important for understanding local tectonics and evaluating future earthquake risk in this area.

**Keywords:** stress map, Kanto region, small earthquake, focal mechanism

### 要 旨

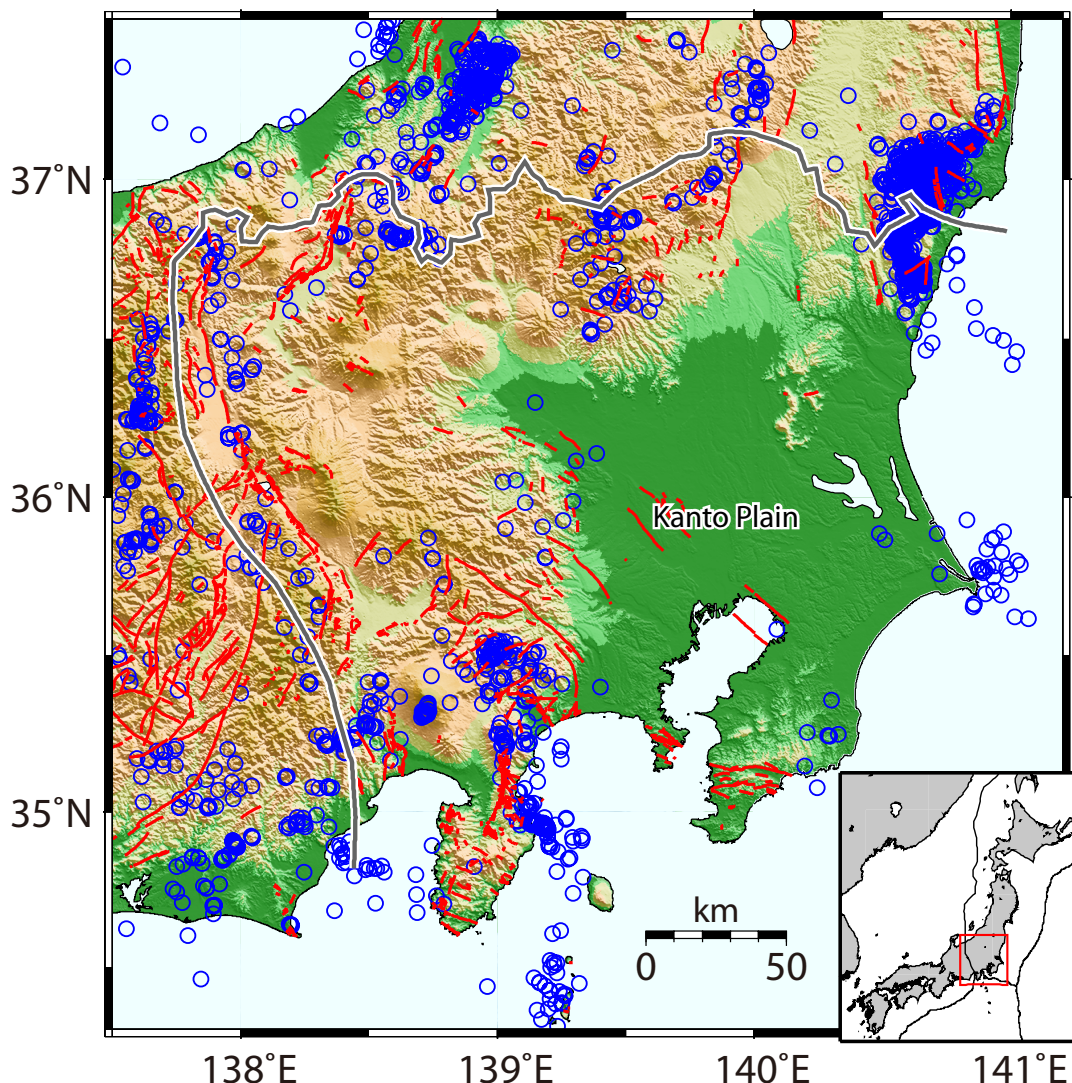
関東地域の地殻応力マップを作成するため、過去14年間にわたるマグニチュード1.5以上の地震の発震機構解を決定した。気象庁一元化カタログや我々の先行研究の結果もコンパイルし、10 kmメッシュの応力マップとして纏めた。小さな地震まで解析して発震機構解データを増やしたことで、先行研究よりも応力場の空白域が減少し、さらに応力場の空間分解能を格段に高くすることができた。得られた応力マップは非常に複雑な様相を示しており、最大水平圧縮応力方位( $S_{Hmax}$ )が急変する場所があること、伊豆半島から北部に向けて $S_{Hmax}$ が時計回りに回転すること、数十kmスケールの複数の応力区が確認できること、太平洋沿岸域は正断層場が卓越するなどの特徴が明らかになった。これらの特徴は、この地域のテクトニクスの理解や将来の地震リスクを評価する上で重要な情報である。

### 1. はじめに

地下の応力状態を把握することは、地質学や地震学のみならず、土木工学、資源・エネルギー分野においても非常に重要である。地震学分野においては、応力は地震の駆動力そのものであり、将来発生する地震の最大規模や発生様式の評価、さらには一定期間内の発生確率の精度を高めていくための基礎情報である。日本列島の応力場は松田ほか(1978)が第四紀火山の構造や活断層の運動センスから応力軌跡図として提示したのを皮切りに、地震の発震機構解が蓄積されるにつれて徐々に精緻化され、応力マップとしてまとめられてきた(Townend and Zoback, 2006; Terakawa and Matsu'ura, 2010; Yukutake *et al.*, 2015)。しかし、これらの応力マップでも地震活動が低調な地域では正確な応力情報が得られておらず、実際に周囲の応力場から予想されない地震の発生も報告されている(例えば、Imanishi *et al.*, 2012)。周辺の応力情報

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

\* Corresponding author: K. Imanishi, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan, E-mail: imani@ni.aist.go.jp



第1図 本研究の調査地域。青丸は1997年10月から2016年10月までの気象庁一元化カタログに含まれる深さ25 km以浅の地震のうち、発震機構解が決まっている地震を示す。灰色の線は地震調査研究推進本部 地震調査委員会(2015)による関東地域の地域評価の評価対象地域を示す。赤線は活断層研究会(1991)による活断層線を示す。地形データは岸本(1999)により編集された海陸統合メッシュデータを使用。

Fig. 1 Target area of the present study. Blue circles show earthquakes shallower than 25 km, the focal mechanism solutions of which are listed in the Japan Meteorological Agency (JMA) catalog (October 1997–October 2016). The gray line represents the region of long-term evaluation of active faults in the Kanto region by the Headquarters for Earthquake Research Promotion Investigation Committee (2015). Red lines show active faults based on the Research Group for Active Faults of Japan (1991). Topography is based on Kishimoto (1999).

を安易に内挿して応力場の空白域を埋めてはいけない場合があることを物語っており、応力場の空白域を可能な限り無くしていくとともに空間分解能を上げていくことが必要である。そのためにはできるだけ小さな地震まで解析に加えることが有効であり(例えば、Matsushita and Imanishi, 2015)、またそれでも不十分な場所については応力を反映した地形地質等の多様なデータも活用していく必要がある。

このような背景のもと、産業技術総合研究所地質調査

総合センターは、微小地震解析による応力場推定を中心に高い空間分解能を持つ地殻応力マップの整備を行うことにした。日本列島全域をカバーすることを目指しているが、まずは関東地域の地殻内(主に25 km以浅)をケーススタディとして試作を進めることにした。実際の調査地域は関東地域の活断層の長期評価(地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 2015)の対象領域(第1図の灰色の線の内側)に合わせており、長野県、山梨県及び静岡県のうち糸魚川-静岡構造線周辺域も含まれている。関東



地域の地殻内応力場を詳しく調べた研究として、塚原・池田（1983, 1991）や鈴木（1989, 1992）による先駆的な研究があるが、これらの研究が発表されて以降、基盤的地震観測網が整備されたことで観測データが大幅に蓄積されており、関東地域の応力場をさらに詳細かつ定量的に検討していく環境が整ったといえる。

本研究では、まず初めに基盤的地震観測網のデータを用いてマグニチュード1.5以上の地震を解析し、独自に発震機構解のカタログを作成する。さらに気象庁一元化カタログや既存研究のデータもコンパイルし、関東地域の10 kmメッシュの応力マップを作成する。得られたマップを先行研究や他の応力情報と比較し、応力場の特徴に関しては地質学的・地球物理学的視点から考察する。

## 2. データ

第1図の青丸は1997年10月から2016年10月までの気象庁一元化カタログに含まれる深さ25 km以浅の地震のうち、発震機構解が決まっている地震を示す。本研究の対象領域の多くの場所で、気象庁一元化カタログによる発震機構解が決まっていないことがわかる。これは、この地域の地震活動が低調であることに加え、地震の規模がそもそも小さいため、一般的なP波初動を用いる方法では一意に解が決められないためである。そこで本研究では、気象庁一元化カタログによる推定結果が不足している地域を中心に、波形の振幅情報も加えて独自に発震機構解を推定することにした。

解析対象とした地震の分布を第2図の黒丸で示す。また、解析データの期間とマグニチュードを第1表に示す。本研究は陸側プレート（北米プレート）の地殻内の地震を対象とするため、震源の深さは主に25 km以浅であるが、震源分布が深さ方向に繋がっている場合は無理に切ることはせず、解析対象に含めることにした。その結果、東京湾周辺では深さ30 km前後の地震も含まれている。Ishida（1992）や弘瀬ほか（2008）のフィリピン海プレートモデルによると、東京湾周辺のフィリピン海プレート境界面の深度は30 kmを超えているが、中央防災会議の首都直下地震モデル検討会（首都直下地震モデル検討会, 2013）では10 kmほど浅くなるプレートモデルが提案されており、解析対象の地震の中にはフィリピン海プレートに関連した地震も一部含まれている可能性がある。解析に使用した観測点は第2図の四角で示しており、国立研究開発法人 防災科学技術研究所 高感度地震観測網（NIED Hi-net）、気象庁（JMA）、東京大学地震研究所（ERI）、京都大学防災研究所（DPRI）が管理する定常地震観測網が含まれる。それぞれの観測点には主に固有周波数1 Hzまたは2 Hzの高感度地震計が設置されており、100 Hzサンプリングの連続記録が収録されている。このうち、Hi-netの観測点にはボアホール型の地震計が設置

されている（Okada *et al.*, 2004）。震源決定及び発震機構解の推定精度を上げるため、気象庁が読み取り対象としていない観測点も含め、読み取りが可能な観測点全てのP波及びS波の到達時刻とP波初動極性を手動で検出した。

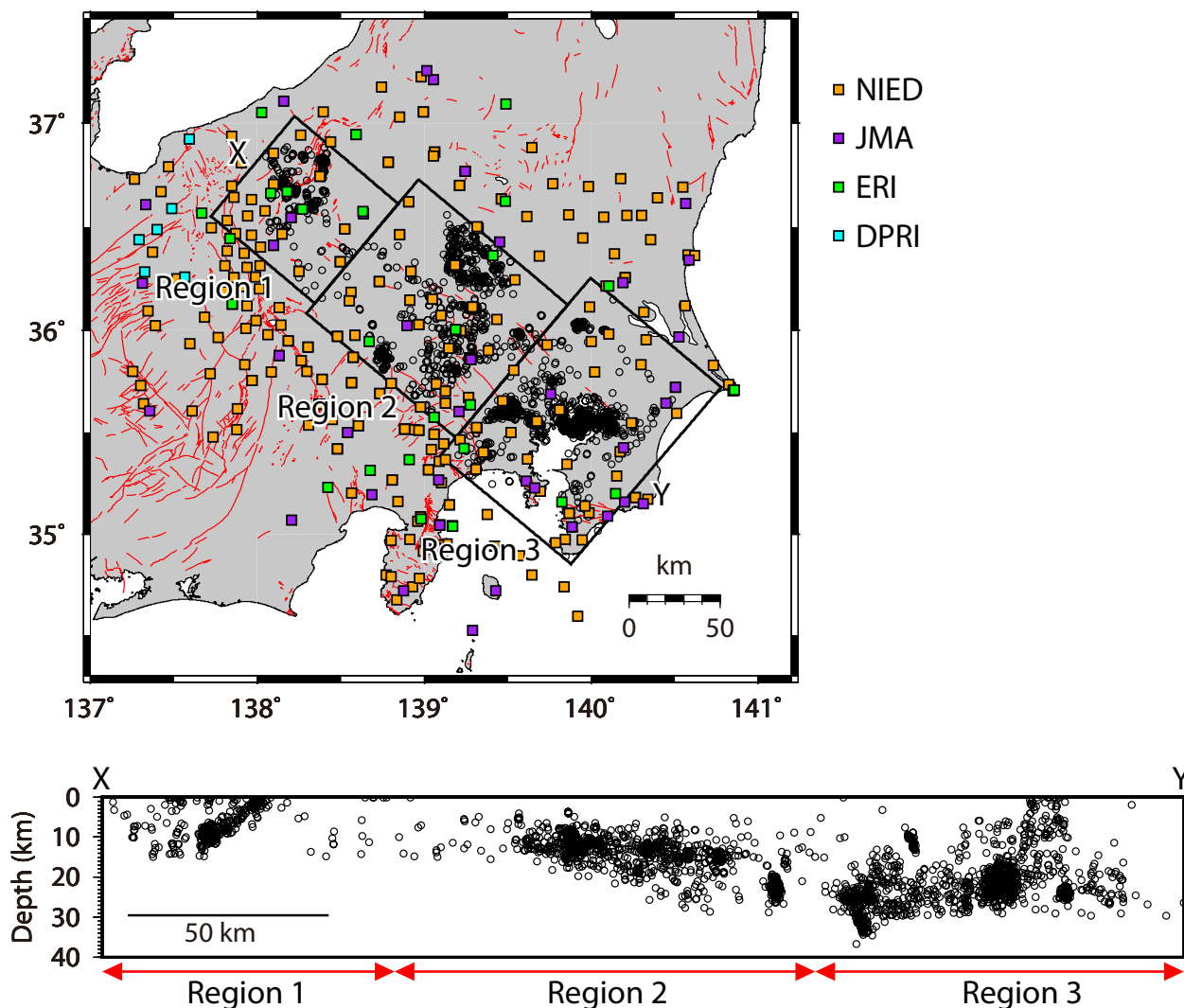
## 3. 震源決定

発震機構解の推定に先立ち、震源決定を行った。速度構造は色々試した結果、今西ほか（2013）が霞ヶ浦南端直下の活動の震源決定に使ったものと同じ構造を採用した（第3図）。まず初めにHirata and Matsu'ura（1987）によるhypomhを用いて震源決定するとともに、観測点毎に走時残差の平均値を計算して観測点補正値を求めた。次にこの観測点補正値を導入し、再度震源決定を行うという操作を複数回繰り返した。本研究では走時残差の二乗平均平方根（RMS）値の変化が見られなくなった3回目の結果を最終の震源とした。最終的な走時残差のRMSは、P波は0.23秒から0.15秒へ、S波は0.57秒から0.27秒へ減少した。Hirata and Matsu'ura（1987）の方法による最尤推定量の漸近的な分散共分散行列から見積もられる推定誤差は平均して水平方向に373 m、鉛直方向に676 mである。震源決定結果を第4図のオレンジの丸で示す。全般的な分布は気象庁一元化カタログの震源（黒丸）と大きく変化しないが、より密集してクラスター化する分布が得られた。

## 4. 発震機構解の推定

本研究ではP波初動の押し引きデータに加えてP波とS波の振幅値も同時に使うことで、より多くの地震の発震機構解を推定することを試みた。本研究で扱う推定法はこれまでも多くの微小地震に適用されており、その有効性が示されている（例えば、Imanishi *et al.*, 2011；今西ほか, 2013；Matsushita and Imanishi, 2015）。実際の解析においてはP波初動の押し引きデータが10個以上ある地震に対して上記手法を適用した。解の品質はVariance Reduction（観測振幅値と理論振幅値の2乗残差を観測振幅値の2乗で正規化した量を100%から減じた量）とP波初動極性の一致度により判断した。本研究では、Variance Reductionが50%以上、P波初動極性の一致度が80%以上の場合を高品質の解と定義し、合計で1142イベントが高品質と判断された。

高品質の発震機構解の空間分布を第5図に示す。発震機構解のタイプを視覚的に判断しやすくするためにFlohlich（1992）の三角ダイアグラムを使い、逆断層成分、正断層成分、横ずれ成分のそれぞれの比率に応じてビーチボールに色を付けている。Flohlich（1992）に従い断層タイプを定義すると、逆断層型が411イベント、横ずれ型が213イベント、正断層型が70イベントとなった。いずれのタイプにも属さなかった地震は448イベントで、



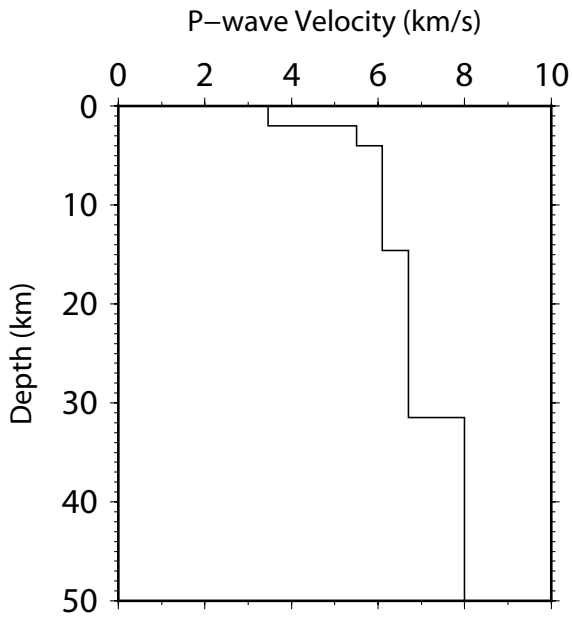
第2図 解析対象の地震(黒丸)および観測点分布(四角). オレンジ:防災科学技術研究所(NIED), 紫:気象庁(JMA), 緑:東京大学地震研究所(ERI), 水色:京都大学防災研究所(DPRI). 震源は気象庁一元化カタログによる. 断面図を下に示す. 各領域(Region)の震源情報は第1表を参照.

Fig. 2 Distributions of target earthquakes (black circles) and seismic stations (squares) used for the hypocenter and focal mechanism determination: orange squares; National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, purple squares; Japan Meteorological Agency (JMA), green squares; Earthquake Research Institute, University of Tokyo (ERI), and light blue squares; Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (DPRI). Hypocenters are based on the JMA catalog. A vertical cross section of the earthquake distribution along profile X-Y is shown below. Refer to Table 1 for source information of each region.

第1表 本研究で解析した地震の詳細

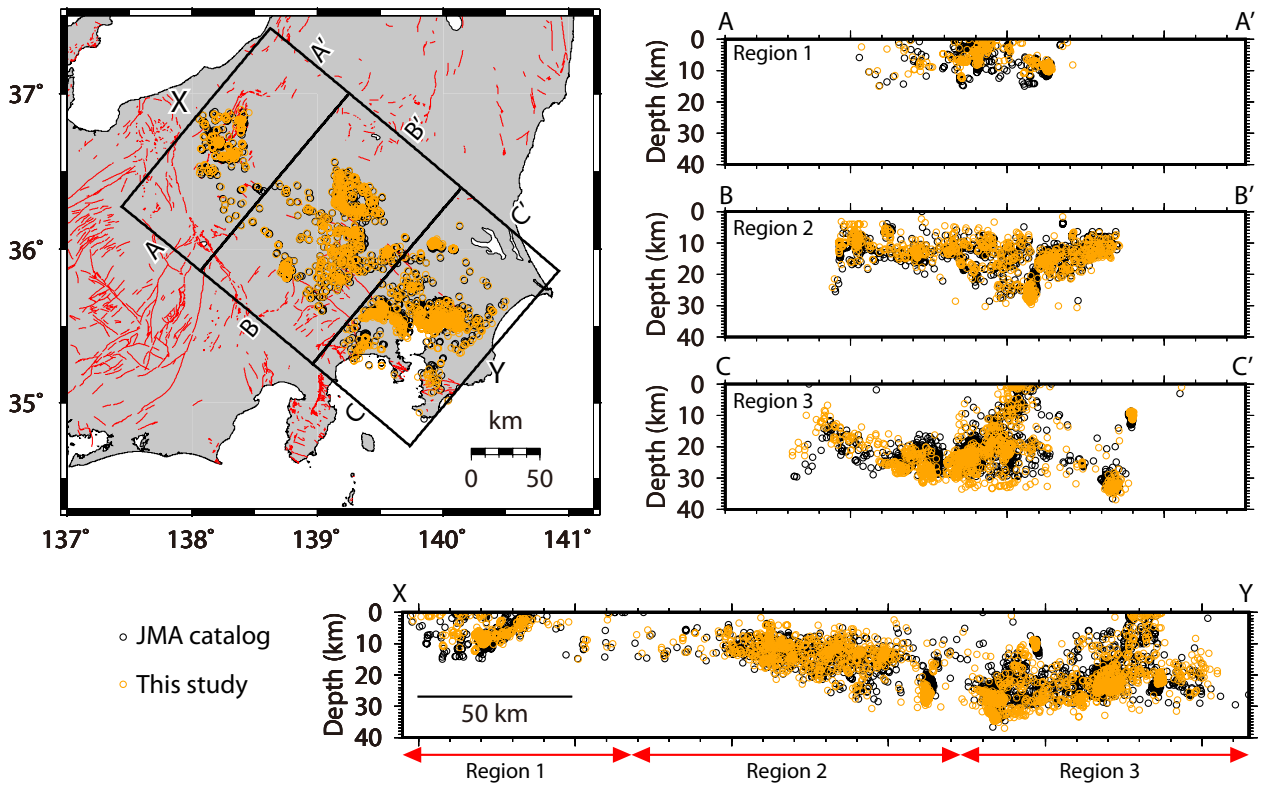
Table 1 Details of the earthquakes analyzed in the present study

Region	Period	Number	Magnitude
1	April 7, 2004 – February 2, 2016	368	1.5 – 5.2
2	June 12, 2002 – April 2, 2013	1175	1.5 – 4.1
3	June 11, 2002 – August 23, 2014	1129	1.5 – 4.3



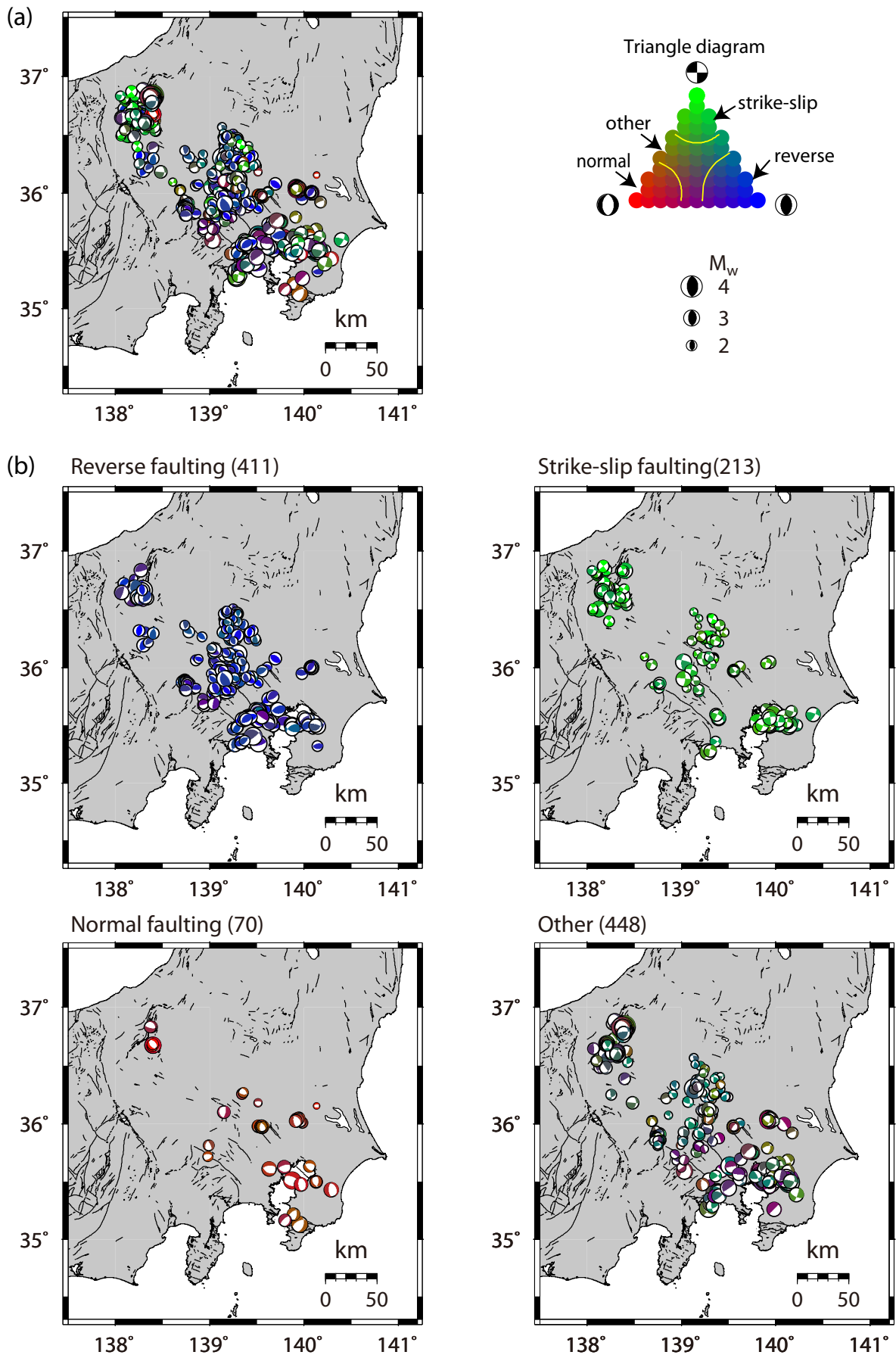
第3図 震源と発震機構解の決定に用いたP波速度構造モデル. S波速度はP波速度の $1/\sqrt{3}$ と仮定した.

Fig.3 P-wave velocity structure model used for the determination of hypocenters and focal mechanisms. The S-wave velocity is assumed by scaling the P-wave velocity by a factor of  $1/\sqrt{3}$ .

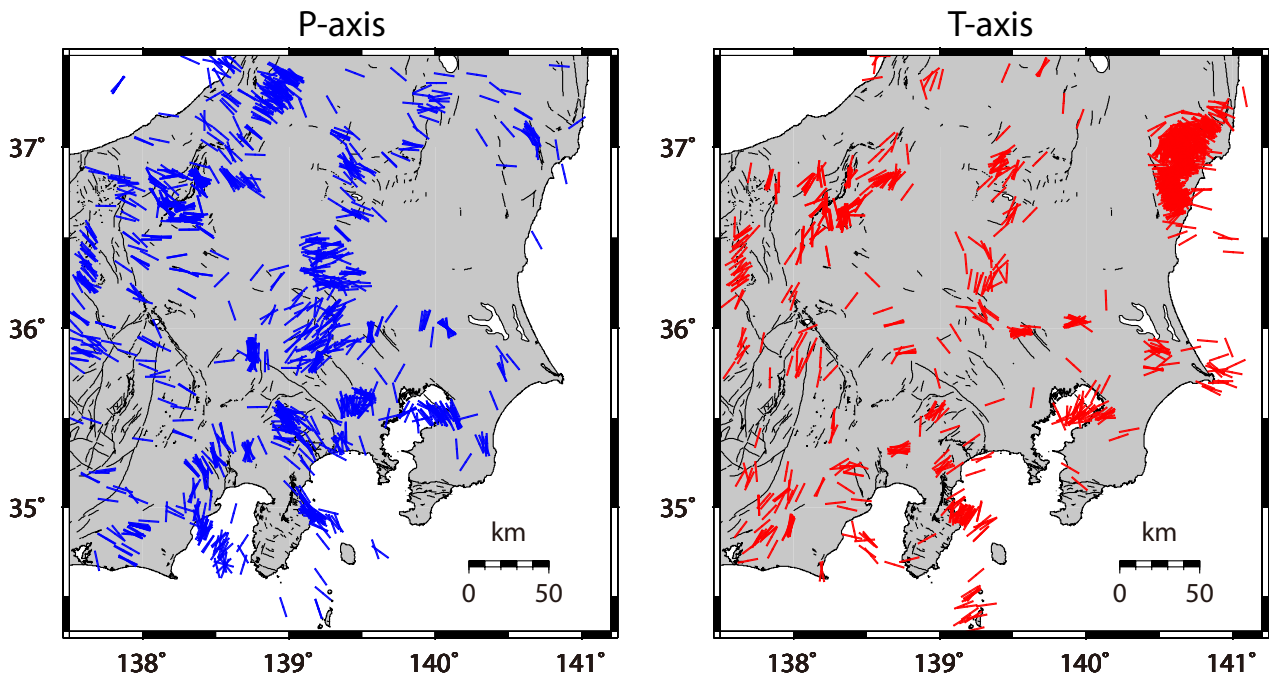


第4図 震源決定結果(オレンジの丸). 黒丸は気象庁一元化カタログによる震源.

Fig. 4 Hypocenter distributions determined in the present study (orange circles). Black circles indicate hypocenters of the JMA catalog.







第6図 P軸およびT軸の空間分布. プランジ角が15°以下の地震のみ示す.  
 Fig. 6 P- and T-axis distributions of focal mechanism solutions, the plunge angles of which are less than 15°.

(← p.278)

第5図 (a) 本研究で推定された発震機構解の空間分布(等積投影の下半球投影). 逆断層成分, 横ずれ成分, 正断層成分それぞれの強さの比率に応じてビーチボールを色分けしている. Flohlich (1992) の三角ダイアグラムをカラー表示したものを右上に示す. (b) それぞれの断層タイプの空間分布. 括弧内の数字はそれぞれの断層タイプに属する地震の個数を示す.

Fig. 5 (a) Spatial distribution of focal mechanism solutions determined in the present study (lower hemisphere of an equal-area projection), where different colors are used to differentiate reverse- (blue), strike-slip- (green), and normal- (red) faulting mechanisms. A triangle diagram (Flohlich, 1992) with a color scale is presented in the upper right. (b) Distributions of focal mechanisms for each faulting mechanism. The number within each set of parentheses indicates the number of events for that faulting mechanism.

その多くは逆断層と横ずれの中間的な性質を示す地震であるが, 正断層成分を多く含む地震も見られる. このような多様な地震が発生しているのは, この地域の特徴と言える. 第5図に表示されている地震のうち, 気象庁一元化カタログに含まれている地震が31イベント存在する. 両者の比較を付図1に示す. 防災科学技術研究所の Full Range Seismograph Network of Japan (F-net) 解 (<http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>, 2018年8月10日確認) も決定されている場合は, 比較のため示している. いずれも同様の解が推定されていることがわかる. 本研究では, 気象庁一元化カタログにも含まれている地震については, 独自に推定した結果を採用することにする.

第6図にP軸とT軸の方位分布を示す. ここでは水平面内に近い軸を持つ解のみを比較するため, プランジ角が15度以下のもののみを表示している. また, 本研究で推定した解の他に, 深さ25 km以浅の気象庁一元化カタログの2251イベント(第1図の黒丸)及びImanishi *et al.* (2012)による福島県浜通り周辺の26イベント, 今西ほか(2013)による霞ヶ浦南端直下の36イベントの解も併せて表示している. P軸, T軸ともに様々な方位を持ち, この地域の応力場が単にプレートの沈み込みによる影響のみでは説明できないことを示唆している.

第2表 Zoback (1992)による発震機構解のP軸, B軸, T軸のプランジ角(pl)に基づくS<sub>Hmax</sub>方位の定義  
Table 2 Definition of S<sub>Hmax</sub> based on the plunge angle (pl) of the P-, B-, and T-axes (Zoback, 1992).

Plunge of Axes			Regime*	S <sub>Hmax</sub> Azimuth
P	B	T		
pl ≥ 52°		pl ≤ 35°	NF	azimuth of B- axis
40° ≤ pl < 52°		pl ≤ 20°	NS	azimuth of T-axis + 90°
pl ≤ 40°	pl ≥ 45°	pl ≤ 20°	SS	azimuth of T-axis + 90°
pl ≤ 20°	pl ≥ 45°	pl < 40°	SS	azimuth of P-axis
pl ≤ 20°		40° ≤ pl < 52°	TS	azimuth of P-axis
pl ≤ 35°		pl ≥ 52°	TF	azimuth of P-axis

\*NF: normal faulting, NS: predominately normal with strike-slip component, SS: strike-slip faulting, TS: predominantly thrust with strike-slip component, TF: thrust faulting.

### 5. 地殻応力マップの作成

地殻応力マップを作成する上で、水平面方向に作用する最大圧縮応力方位に着目する。これはS<sub>Hmax</sub>と呼ばれており、World Stress Map (<http://www.world-stress-map.org/>, 2018年8月10日確認)を始めとして、応力マップの描画において基本となるパラメータである。S<sub>Hmax</sub>はZoback (1992)に従い、発震機構解のP軸, B軸, T軸のプランジ角をもとに決定する(第2表)。また、方位情報に加えて応力場のタイプについてもマップに表示する。前述のFlohlich (1992)の三角ダイアグラムを使うことも可能であるが、ここではより単純な方法として発震機構解のすべり角に基づく方法(Shearer *et al.*, 2006)を使用する。発震機構解の2つの節面のすべり角をλ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub>とする時、Fortranのアルゴリズムは以下の通りである。

```

if(abs(λ1)>90) λ1=(180-abs(λ1))*(λ1/abs(λ1))
if(abs(λ2)>90) λ2=(180-abs(λ2))*(λ2/abs(λ2))
if(abs(λ1)<abs(λ2)) then
λ=λ1
else
λ=λ2
end if
fptype =λ/90
    
```

fptype (応力場のタイプ)は-1から1の間の値を取り、正断層場の時に-1、横ずれ場の時に0、逆断層場の時に1になる。これをカラースケールで表示させることで応力場のタイプを視覚的に判断しやすくなる。このようにして個々の地震のS<sub>Hmax</sub>とfptypeを求め、地図上にプロットしたものが第7図である。S<sub>Hmax</sub>方位、応力場のタイプともに非常に多様であるが、地域性を持っている様子も

うかがえる。

次に第7図の応力情報をもとに、等間隔メッシュの応力マップを作成する。本研究ではデータ数を考慮し、10 kmメッシュ毎に応力場を推定することにする。深さ方向の応力場の変化はそれほど顕著でないことから、空間方向にのみメッシュを設定する。作成手順は以下の通りである。

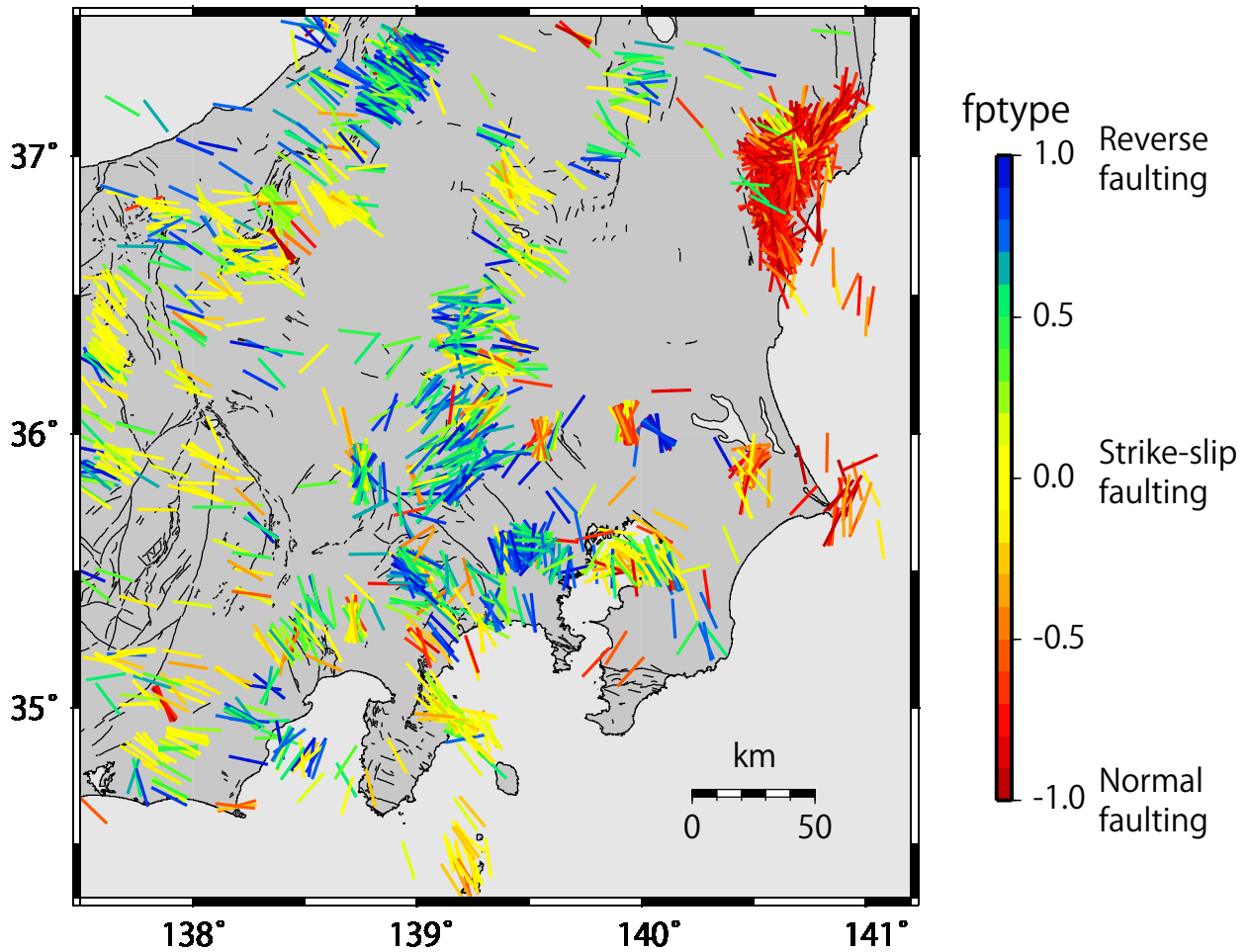
(1)メッシュを中心とした半径15 km以内の位置にある地震を抽出する。

(2) (1)で抽出された地震の個数が5イベント以上の場合、S<sub>Hmax</sub>及びfptypeの平均値を算出する。この際、メッシュの中心位置からの距離に応じたウェイト(w)を与え、重み付き平均を計算する。ウェイトの与え方は色々あるが、本研究では歪み場の推定の際に良く使われる以下の式(例えば、Allmendinger *et al.*, 2007)に従うこととする。

$$w = \exp\left(\frac{-x^2}{2a^2}\right) \quad (1)$$

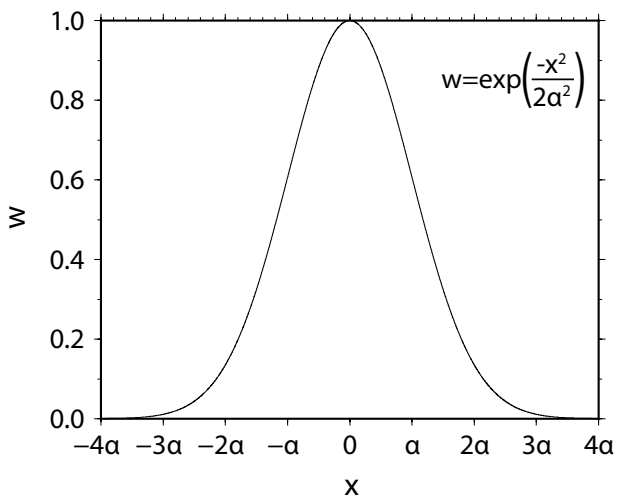
ここで、xはメッシュとデータの水平距離である。aは定数で、x=1aの時、w=0.61となり、x=2aの時、w=0.14となる。wの関数形を第8図に示す。本研究ではa=5 kmと設定した。

以上のようにして推定した10 kmメッシュの応力マップを第9a図に示す。ただし、S<sub>Hmax</sub>方位についてはその標準偏差が45°以下、応力場のタイプについてはfptypeの標準偏差が0.3以下のメッシュのみ表示している。第9b図にはS<sub>Hmax</sub>とfptypeの標準偏差を示す。また、各メッシュの応力場推定に使用した地震の深さの平均値((1)式を用いた重み付き平均)を第10図に示す。関東平野の一部で平均値30 km前後に達するメッシュがあるが、概ね20 km以浅である。第9a図に示すように10 kmメッシュの



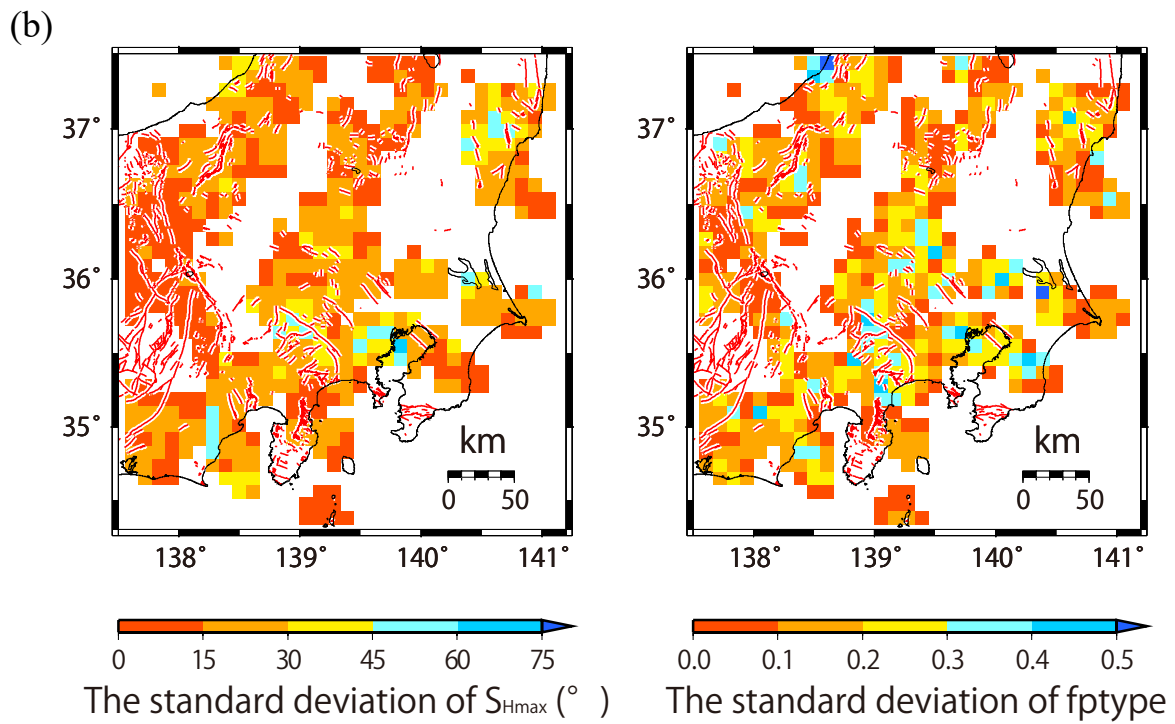
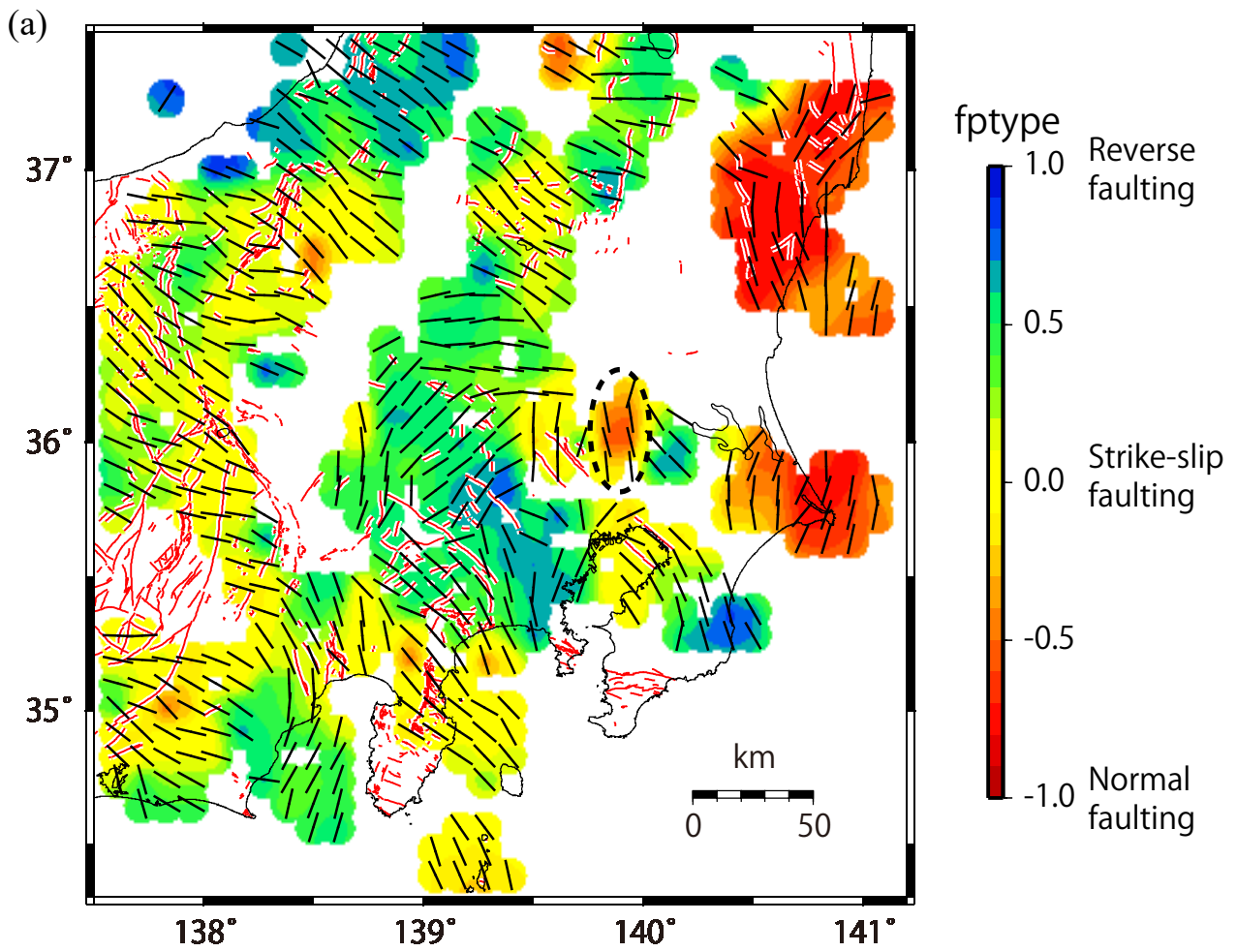
第7図 発震機構解から推定された $S_{Hmax}$ 方位と応力場のタイプ.  $S_{Hmax}$ 方位はZoback (1992), 応力場のタイプはShearer *et al.* (2006)の定義に従う. 応力場のタイプはカラー表示している. 本研究で推定した発震機構解に加えて, 気象庁一元化カタログ, Imanishi *et al.* (2012), 今西ほか(2013)のデータもコンパイルしている.

Fig. 7  $S_{Hmax}$  direction and type of stress field. The  $S_{Hmax}$  direction is based on the definition of Zoback (1992). The type of stress field is determined by Shearer *et al.* (2006) and is represented by color. Focal mechanisms listed in the JMA catalog and Imanishi *et al.* (2012, 2013) are also compiled.

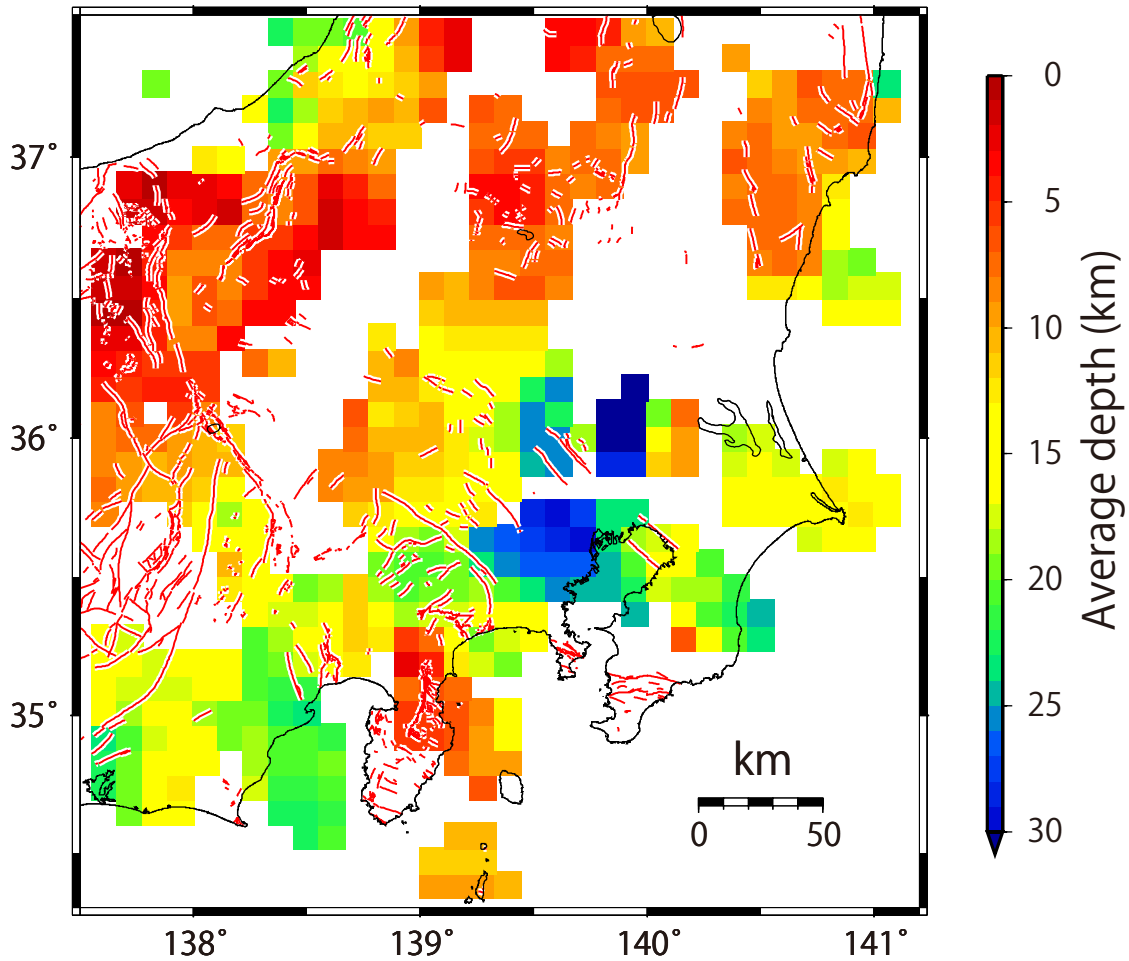


第8図 各メッシュの応力場を推定する際に使用するウェイト関数. 式を右上に示す. メッシュから離れるに従い, ウェイトが小さくなる.

Fig. 8 Weight function used to compute the stress field at each mesh. The equation is shown in the upper right. The weight of the data depends on the distance from the mesh point.







第10図 各メッシュの応力場を計算する際に使用した地震の平均深さ。

Fig. 10 Average depth of earthquakes used to compute the stress field of each mesh.

(← p.282)

第9図 (a) 本研究で推定した関東地域の応力マップ。  $S_{Hmax}$  方位を直線で、応力場のタイプを背景のカラーで示す。点線の楕円内のメッシュはフィリピン海プレート境界からの排水により誘発された地震(Nakajima and Uchida, 2018)を含む。(b)  $S_{Hmax}$ および $f_{type}$ の標準偏差。

Fig. 9 (a) Stress map in and around the Kanto region determined in the present study. The  $S_{Hmax}$  orientation is indicated by a straight line, and the type of stress field is shown by the background color. The meshes within a dotted ellipse contain earthquakes induced by fluid injection due to drainage from the Philippine Sea plate (Nakajima and Uchida, 2018). (b) Standard deviation of  $S_{Hmax}$  and  $f_{type}$ .

マップにすることにより、この地域の応力場の特徴がより明瞭に見えるようになる。代表的な特徴として、全体としては複雑であるが数十kmスケールでは類似した応力場の特徴を示すこと、 $S_{Hmax}$ 方位が90度近く急変する場所があること、伊豆半島から関東山地、栃木県に向けて $S_{Hmax}$ 方位が時計回りに回転すること、太平洋沿岸域は正断層場が卓越すること、などが挙げられる。太平洋沿岸域が正断層場を示す特徴以外は塚原・池田(1983, 1991)や鈴木(1989, 1992)でも指摘されていたが、データ数が増えたことで、その特徴がより確実になったと言える。第9a図の点線の楕円で囲ったメッシュ内の地震は第4図のC-C'断面の右下のクラスター(深さ30 km以深)に対応しており、フィリピン海プレート境界から排出された水の上昇に伴う誘発地震活動と推定されている(Nakajima and Uchida, 2018)。特殊な活動であるが、流体圧の上昇に起因する誘発地震であれば応力場の推定にあまり影響しないと考えられるため、本稿ではマップに残すことにする。

今回設定した10 kmよりも細かいメッシュサイズを取れば、さらに細かな空間スケールの応力場を推定することができる。しかし、メッシュサイズを細かくするにつれてメッシュ毎の発震機構解データが少なくなるため、推定精度が悪くなる、あるいは推定自体できなくなるという問題が生じる。より詳細な空間スケールの応力マップを得るためには、さらにデータを蓄積する必要がある。我々は本研究の調査地域内の山梨県北東部で臨時観測を行い、多数の発震機構解データを推定しているが(今西ほか, 2016)、これをデータとして用い、同じ方法で応力場を推定した結果を付図2に示す。この際、データ数を考慮してメッシュ間隔を5 kmとし、(1)式のaを2.5 km、平均化するときの空間範囲はメッシュの中心から半径7.5 km以内とした。第9a図と比較すると大局的なパターンは似ているが、逆断層成分を多く含む領域が増えたり、東西方向の $S_{Hmax}$ を持つ領域が見えてきたりと、応力場の詳細を把握できるようになったことがわかる。

参考までに、1997年10月から2016年10月までの気象庁一元化カタログをデータとし、同じ手法を用いて推定した日本列島の応力マップを付図3に示す。データ数を考慮してメッシュ間隔を20 kmとし、(1)式のaを10 km、平均化するときの範囲をメッシュの中心から半径30 km以内とした。メッシュ間隔が広いため空間分解能は落ちるが、日本列島の応力場を概観する上では意味のあるマップである。

## 6. 議論

### 6.1 応力テンソルインバージョン法との比較

発震機構解から応力場を推定する際には、応力テンソルインバージョン法(例えば、Gephart and Forsyth, 1984; Michael, 1984)がしばしば使用される。応力テンソルインバージョン法により推定されるパラメータは、最大主応力 $\sigma_1$ 、中間主応力 $\sigma_2$ 、最小主応力 $\sigma_3$ の方位、そして、応力比  $\theta = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$  の4つである。一方、本研究では推定対象を $S_{Hmax}$ と応力場のタイプの2つに限定し、発震機構解から簡便に応力場を求めるアプローチを採用した(以下、簡便法と呼ぶ)。ここでは応力テンソルインバージョン法と簡便法の結果が調和的であるかどうかについて検討する。

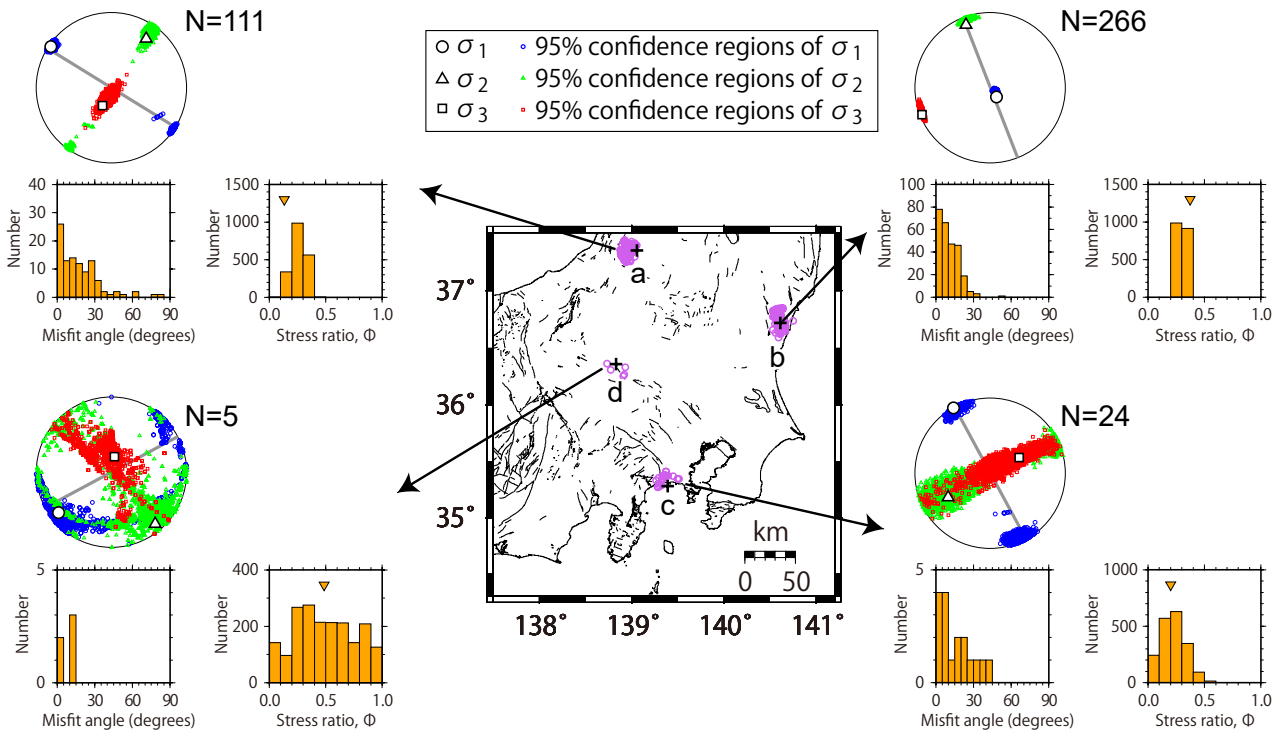
第9図を作成した時のメッシュの中から代表的なメッシュを4つ選び、それぞれのメッシュに含まれる発震機構解を使って応力テンソルインバージョンを適用した。推定方法はImanishi *et al.* (2011)の手順に従い、Michael (1984, 1987)の手法を適用した。推定結果を第11図に示す。メッシュaは $\sigma_3$ がほぼ鉛直、 $\sigma_1$ がほぼ水平で北西-南東方向を示す逆断層場である。簡便法の結果をみると、 $S_{Hmax}$ 方位(第11図のステレオネット内の灰色の直線)は $\sigma_1$ 方位の最適解とほぼ一致している。さらにfptypeは0.64であり、逆断層場であることとも調和的である。

メッシュbは $\sigma_1$ がほぼ鉛直、 $\sigma_2$ がほぼ水平で北北西-南南東方向を示す正断層場である。正断層場の場合、 $\sigma_2$ 方位が $S_{Hmax}$ に対応することになるが、簡便法による $S_{Hmax}$ 方位は $\sigma_2$ 方位の最適解とほぼ一致していることが確認できる。正断層場であることに関してもfptypeが-0.76と求められており、調和的な結果が得られている。メッシュcは $\sigma_1$ がほぼ水平で北北西-南南東方向に推定されており、やはり簡便法による $S_{Hmax}$ 方位は $\sigma_1$ 方位の最適解とほぼ一致している。応力場に関しては $\sigma_2$ と $\sigma_3$ の95%信頼区間が重なり合っており、逆断層場と横ずれ場が共存する場と解釈できる。簡便法によるfptypeは0.33と求められており、調和的な結果である。以上の3つのメッシュは発震機構解の個数が20を超えており、十分な精度で推定結果が得られている。一方、メッシュdは発震機構解の個数が5つの場合であり、95%信頼区間を見てわかるように、応力テンソルインバージョン結果は非常に不安定となる。応力比に至っては95%信頼区間の頻度分布にピークが見られず、0.5より大きいかわ小さいかの判断もできない。通常、このような場合の応力テンソルインバージョン結果は使われることはないが、 $\sigma_1$ 方位は概ね水平で北東-南西方向を示しているということはいえそうである。また、メッシュcと同様に $\sigma_2$ と $\sigma_3$ の95%信頼区間は重なり合っており、逆断層場と横ずれ場が共存する場と解釈できる。簡便法の結果をみると、 $S_{Hmax}$ 方位は $\sigma_1$ 方位の95%信頼区間の間に収まっており、応力場についてもfptypeが0.45であるため、基本的には整合的な結果と言える。

以上のように、簡便法による推定結果は応力テンソルインバージョン結果と矛盾しないことがわかる。ただし、応力テンソルインバージョン法は推定パラメータ数が簡便法より多くなるため、より多くの発震機構解がデータとして必要になる。通常は安定した推定結果を得るために、20個以上の発震機構解が使われることが多い(例えば、Townend and Zoback, 2006)。本研究では多くの発震機構解を推定することができたが、それでも発震機構解の個数が20を上回るメッシュは全体の約半数に過ぎず、応力テンソルインバージョン法で第9図のような高分解能の応力マップを作成することは困難である。 $S_{Hmax}$ 方位と応力場のタイプに着目する場合は、本研究のようなアプローチ(簡便法)を使うことが有効であろう。

### 6.2 応力場の時間変化

本研究で扱った発震機構解は1997年10月から2016年10月まで含まれており、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.0)の前後のデータを一緒にして解析している。しかし、東北地方太平洋沖地震を境に日本列島の応力場が変化したという報告もあり(例えば、Yoshida *et al.*, 2012)、全期間のデータをまとめて使用することの妥当性について検討する必要がある。そこで、東北地方太平洋沖地震



第11図 代表的な4つのメッシュ (a～d) における応力テンソルインバージョン結果. 十字はメッシュの位置を示し, その周辺の紫の丸は発震機構解の位置を示す. 各メッシュの結果を矢印の先に示す. (上) 最大主応力軸の最適解と95%信頼区間 (等積投影の下半球投影). 横の数字は発震機構解の個数を示す. 灰色の直線は本研究 (簡便法) による  $S_{Hmax}$  方位. (左下) 最適解に対するミスフィット角のヒストグラム. ここでミスフィット角は最適解から計算されるせん断応力方向と発震機構解のすべり方向の間の角度である. (右下) 95%信頼区間に含まれる応力比  $\phi$  のヒストグラム. 逆三角は最適解の応力比.

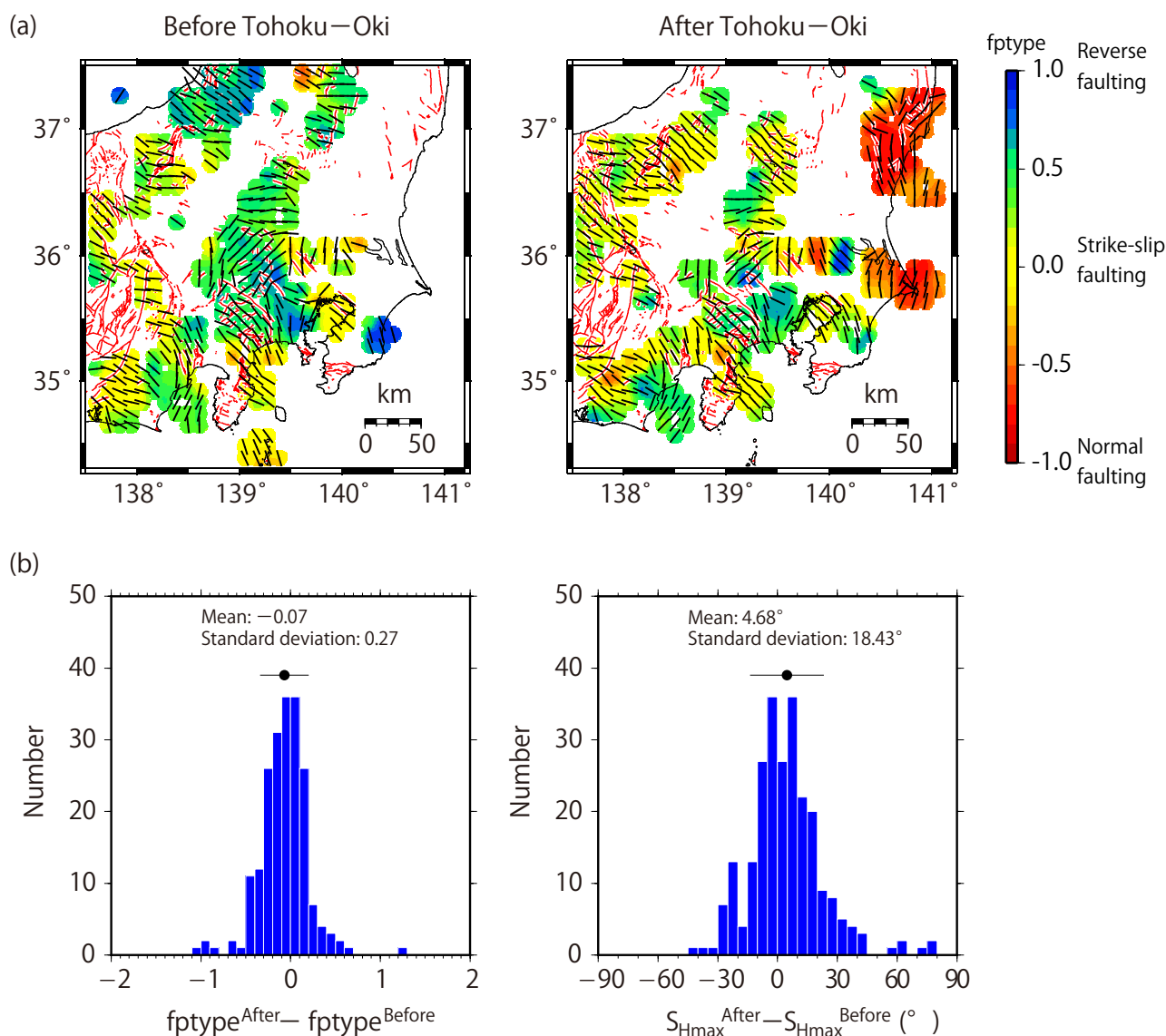
Fig. 11 Result of stress tensor inversion at four representative meshes (a through d). Crosses and purple circles represent the position of the mesh and the epicenters of focal mechanism solutions, respectively. The result of each mesh is shown at the tip of the arrow. (Upper panel) Principal stress axes with their 95% confidence regions are plotted on lower hemisphere stereonets. The number next to the stereonets indicates the number of events used for the inversion. The gray line corresponds to the  $S_{Hmax}$  direction determined in the present study. (Bottom-left panel) Misfit angle for the data with respect to the best stress tensor. Here, the misfit angle represents the angle between the tangential traction predicted by the best solution and the observed slip direction on each plane determined from the focal mechanism. (Bottom-right panel) Frequency of the stress ratio  $\phi$ , which belongs to the 95% confidence region. The inverted triangle represents the stress ratio of the best solution.

の発生前と発生後それぞれのデータセットを作り, 同じ手順で応力マップを作成した (第12a図). 両方で応力場が推定されているメッシュを比較すると, 概ね調和的な応力場であることが伺える. 実際に  $f_{type}$  と  $S_{Hmax}$  方位の差を取ってみると, 系統的な差は見られない (第12b図). その差が大きいメッシュも詳しく見てみると, データ数が少なく推定精度が悪い場合を除き, 地震の発生場所がメッシュ内で異なっていることがわかった. つまり第12図で見られる差は応力場の時間変化が要因ではない, 地殻内に作用している標準的な差応力は摩擦係数が Byerlee 則 ( $\mu=0.6-1.0$ ) (Byerlee, 1978), 間隙水圧が静水圧であり, 最もすべりやすい方向にある断層面 (optimally oriented faults) 上でのクーロン摩擦滑りを引き起こす応力で良く近似できるとされている (例えば, Townend, 2006). こ

の場合, 深さ 10 km の差応力は正断層場で 100 MPa を超え, 横ずれ場で 150 MPa を超え, 逆断層場では 300 MPa を超える. 東北地方太平洋沖地震による本研究地域の応力変化は概ね 1 MPa 以下であることを考えると (今西ほか, 2013), そもそも応力場の劇的な時間変化を引き起こすことは無理であろう. 各メッシュの応力場の精度を高めるためにはできるだけデータが多いことが望ましいため, 本研究では東北地方太平洋沖地震の前後のデータを全て含めた結果 (第9a図) を最終的なマップとする.

### 6.3 他の応力情報を示すデータとの比較

本研究で得られた応力マップを他の応力情報を示唆するデータと比較する (第13図). 第13a図は原位置応力測定による  $S_{Hmax}$  と応力場のタイプを示す. データ (東日本



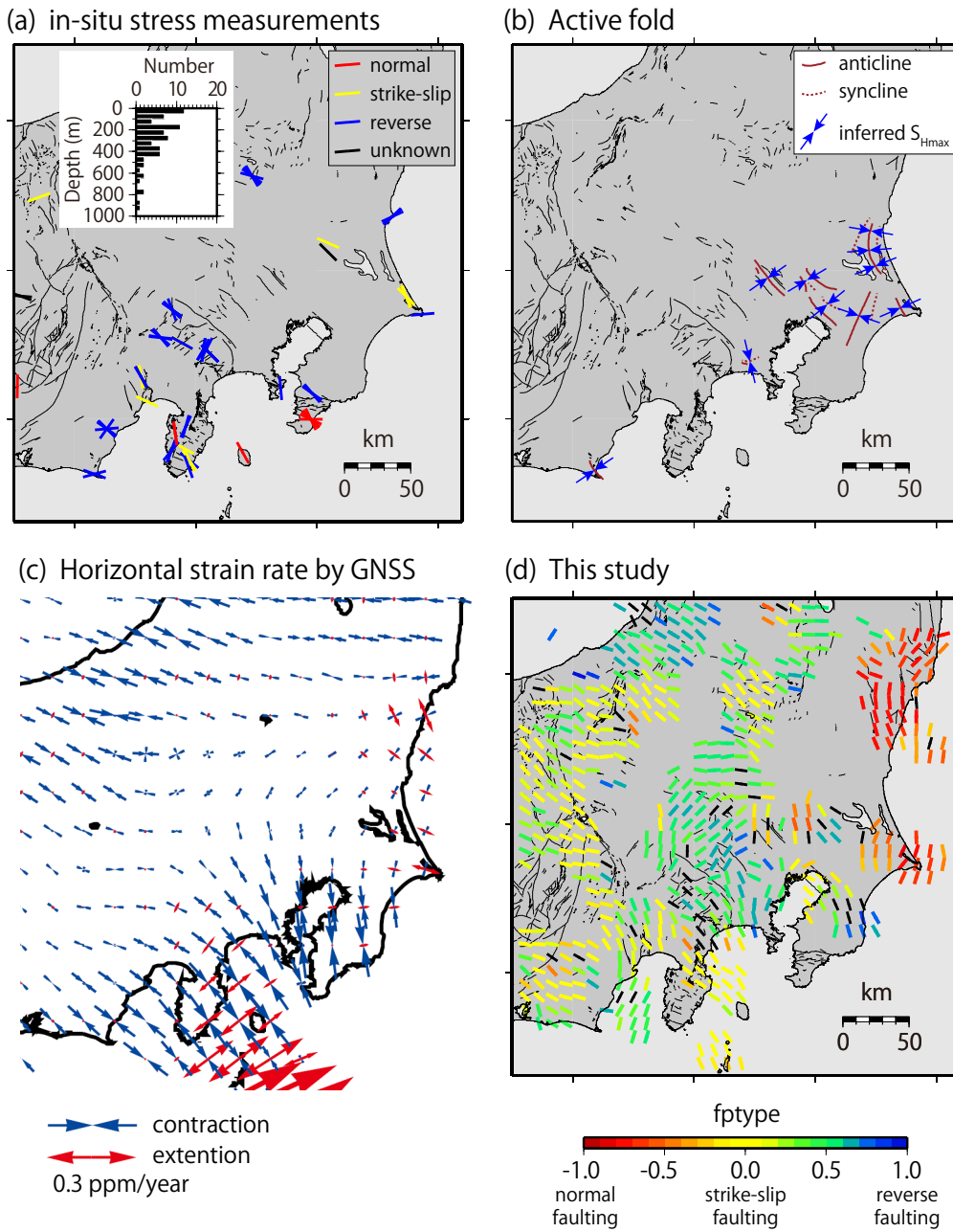
第12図 (a) 2011年東北地方太平洋沖地震の発生前(左)および発生後(右)のデータを使って推定した応力マップ。(b) 同じメッシュのfptypeの差(左)および $S_{Hmax}$ 方位の差(右)の頻度分布。

Fig. 12 Stress map determined using data before (left) and after (right) the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. (b) Histogram of differences in fptype (left) and  $S_{Hmax}$  orientation (right) of the same mesh.

地殻応力測定グループ, 1984; 小出ほか, 1986; Tanaka, 1986; 池田・塚原, 1987; Tsukahara and Ikeda, 1987; 塚原・池田, 1988; 池田・塚原, 1990; Tsukahara *et al.*, 1996; 鈴木ほか, 1997; 地質調査所, 1998; 小村ほか, 2003)は産業技術総合研究所地質調査総合センターの地殻応力場データベース (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>, 2018年8月10日確認)に含まれているものである。測定深度が一番深いもので栃木県日光市足尾町における900 mのデータがあるが(Tsukahara *et al.*, 1996), 第13a図のヒストグラムに示されるように, ほとんどは数百m以浅の測定値である。本研究の応力マップ(第13d図)と重なっている領域のデータを比較すると, 両者の対応関係は必ずしも良くない。

い。この結果は地表近くの応力情報は地震が発生する深度の応力を必ずしも反映していないことを示唆しており, 原位置応力測定結果を地殻応力マップに加える際には注意が必要である。第13b図の青矢印は, 活褶曲(杉山ほか, 1997)から推定される $S_{Hmax}$ 方位を示す。本研究の応力マップと重なっている領域が少なく, 対応関係ははっきりしない。しかし, 地震が発生する深度までそれ相当の力が作用していないと, 第13b図に記載されているスケールの褶曲構造を作り出すことは困難であろう。活褶曲から推定される応力方位は地震データが不十分な領域の応力情報を埋める上で重要であることから, 今後, 他地域での事例を積み重ねて再検討していく必要がある。第13c





第13図 本研究の応力マップと他の応力情報を示唆するデータとの比較。(a) 原位置応力測定結果(地殻応力場データベース, <https://gbank.gsj.jp/crstress/>)。鉛直応力が記載されていないデータの場合、密度を $2,600 \text{ kg/m}^3$ と仮定して測定深度の被り圧を計算し、水平方向の応力値との大小関係から応力場のタイプを推定した。左上に測定深度のヒストグラムを示す。(b) 活褶曲(杉山ほか, 1997)から推定した $S_{Hmax}$ 方位。(c) GNSSにより推定された水平歪み速度(国土地理院, 2011)。基準期間は1999年1月1日～1999年1月15日、比較期間は2000年1月1日～2000年1月15日。(d) 本研究。第9図と異なり、応力場のタイプに依存して $S_{Hmax}$ 方位を示す直線に色を付けている。fptypeの標準偏差が0.3を超えており、応力場のタイプが決められないメッシュの $S_{Hmax}$ 方位は黒の直線で示す。

Fig. 13 Stress map determined in the present study and other stress indicators. (a) In-situ stress measurements. The data is from the Crustal Stress Database (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>). For data for which vertical stress is not described, the overburden pressure at the measurement depth was calculated assuming a density of  $2,600 \text{ kg/m}^3$ , and the type of stress field was inferred from the magnitude relationship with two horizontal stress values. A histogram of the measurement depth is shown in the top left. (b)  $S_{Hmax}$  orientation inferred from active folds (Sugiyama *et al.*, 1997). (c) Horizontal strain rate derived from continuous GNSS measurements (Geospatial Information Authority of Japan, 2011). The reference period is from January 1 to January 15, 1999. The analyzed period is from January 1 to January 15, 2000. (d) Stress map determined in the present study. Unlike Fig. 9, the line of  $S_{Hmax}$  orientation is colored depending on the type of faulting. Black lines show the  $S_{Hmax}$  orientation of the mesh at which the standard deviation of fptype exceeds 0.3.

図はGNSSにより推定された水平歪み速度を示す(国土地理院, 2011)。地震や余効変動の影響の少ない時期を選んで作成した図であることから、この図は定常時の水平歪み速度と見なせる。歪み速度の短縮方位と $S_{Hmax}$ 方位を比較すると、細かい違いはあるものの、伊豆半島から関東山地、栃木県に向けて時計回りに回転する特徴も含め、全体的な傾向はよく似ている。また、太平洋沿岸域において伸張歪みが卓越する特徴も応力マップと調和的である。応力マップで示される応力と地殻変動データから推定される歪み速度は異なる時間スケールの現象を反映しているため必ずしも一致する必要は無いが(Wang, 2000; Townend and Zoback, 2006)、本調査地域に限っては広い範囲で類似性を示しており、応力マップの空白域の応力場を推定する上で重要な情報になり得ると考えられる。

#### 6.4 先行研究の応力マップとの比較

第14図は本研究で得られた応力マップと先行研究による応力マップ(Townend and Zoback, 2006; Terakawa and Matsu'ura, 2010; Yukutake *et al.*, 2015)を比較したものである。研究毎に応力場の色使いが異なるのでわかりにくいだが、一部地域を除き、大局的な特徴は調和的である。また、一見して明らかなように、応力場の空間分解能は本研究が一番高い。これは、小さな地震の解析を行ったことで発震機構解のデータが増えたことに起因する。しかし、空間分解能は上がっても依然としてデータの少ない領域は応力情報の空白域になっている。一方、Terakawa and Matsu'ura (2010)の応力マップ(第14b 図)ではそのような空白域が見られないが、これは応力場が空間的に滑らかに変化するという拘束条件を与えて応力場を推定しているためであり、データが存在しない場所の応力場も計算上は推定されているからである。しかし、本研究の結果からも示されるように、応力場が急激に空間変化する場合もあり、この条件が常に成り立つわけではない。一例を挙げると、Terakawa and Matsu'ura (2010)ではデータが全くない茨城県北部から福島県浜通り地域にかけての応力場を東西圧縮の逆断層場と推定しているが、その地域は局所的に正断層場であることが明らかになっており(Imanishi *et al.*, 2012)、現実と矛盾する結果となっている。このように、単純に周辺の応力情報を内挿して空白域を埋めてはいけない場合があることに注意する必要がある。

#### 6.5 応力マップの地質学的・地球物理学的解釈

最後に本研究で得られた応力マップの主要な特徴を3つ取り上げ、その地質学的・地球物理学的解釈を試みる。

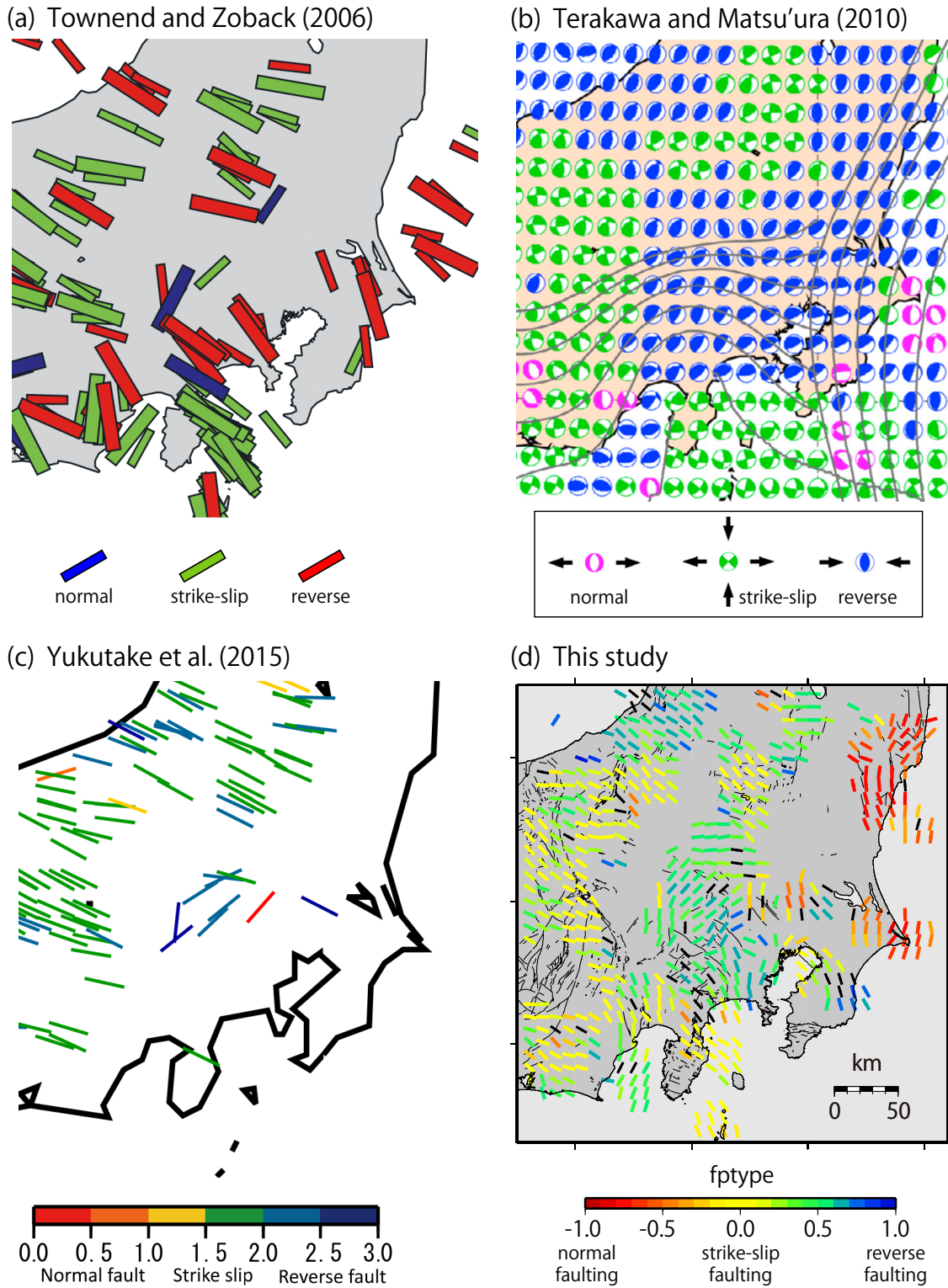
##### 6.5.1 大小さまざまな複数の応力区

ほぼ同じ応力状態に支配されている地域は応力区

(Zoback and Zoback, 1980)と呼ばれる。鈴木(1989)は当時の限られたデータから関東地域が13個の応力区に区分されることを示唆していたが、本研究では応力マップの空間分解能が上がったことで、さらに多くの応力区に区分可能である。実際に応力区を定義するには地質構造や地下構造、地震活動の特徴なども含めて慎重に検討していく必要があり、本論文の目的を超えるので、ここでは数十kmスケールの大小様々な形状の応力区(ブロック)から構成されているという言葉に留めておく。このようなブロック状の構造の多くは、日本海拡大時の伸張場のもとで基盤岩類が分断されて形成されたことに起因すると考えられる。また鈴木(1989)は応力区(ブロック)の境界には地質構造線や活断層が分布する場合があることを指摘している。第15図の点線は代表的な地質構造線を示しており(貝塚ほか, 2000; 日本地質学会, 2008)、特に下仁田構造線(中央構造線の一部)や藤野木-愛川構造線、糸魚川-静岡構造線の南部など、応力方位の急変場所と良く対応している。このような地質境界には断層破砕帯が存在しており、その岩石物性は周囲と異なっているため、外部から加わった応力がそこを境に連続的に作用せず、応力方位が回転したと予想される(例えば、Zang and Stephansson, 2010)。地質構造線や活断層が必ずしも応力区境界になっていない事例もあるが、これは断層破砕帯と周囲の岩石物性の差が小さいためかもしれない。一方、地質構造線や活断層と認定されていない場所にも応力区境界の候補が多数認識できるが、これらの場所には伏在断層や地殻構造の顕著な不均一が存在しているのかもしれない。いずれにせよ、地殻が大小様々な形状のブロックから構成されており、それらがせめぎあっている様子がイメージされる。応力区境界での地震リスクは重要な研究課題であり、そのためにはブロック間の相対運動の検出が不可欠である。一般的なGNSSの観測点密度では容易ではないが、InSARを用いた解析を併用することにより微小な相対運動が検出できる可能性も残されており(例えば、Takada, 2018)、今後の研究の進展が期待される。

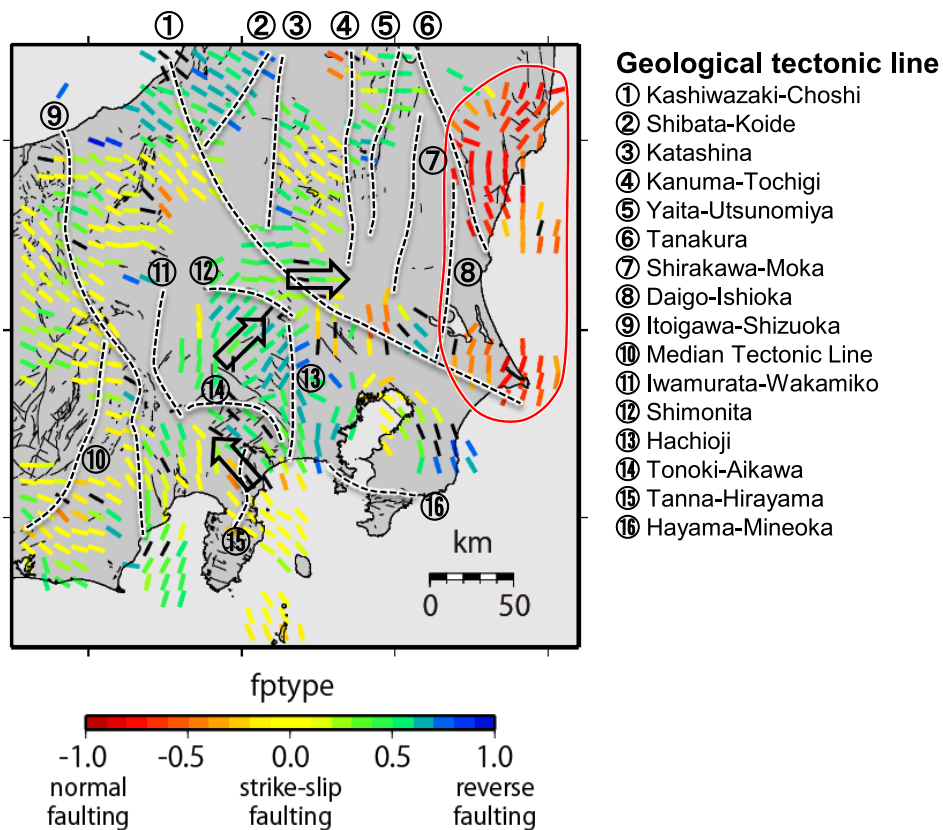
##### 6.5.2 伊豆半島から関東山地、栃木県に向けての $S_{Hmax}$ 方位の回転

第15図の矢印で示すように伊豆半島から関東山地、栃木県に向けて $S_{Hmax}$ 方位が時計回りに回転する特徴が見られる。6.3節で述べたように水平歪み速度の短縮方位も同じ傾向を示す。この特徴については伊豆半島の本州弧への衝突を考慮した数値計算により概ね説明できることがわかっており、計算された応力蓄積レートは伊豆半島の付け根付近でフィリピン解プレートの収束方向を向いており、そこから離れるに従って放射状に広がっていく(松浦, 1998; Hashimoto and Matsu'ura, 2006; 長・桑原, 2011)。プレートの固着により蓄積される陸域のテクト



第14図 本研究の応力マップと先行研究の応力マップの比較. (a) Townsend and Zoback (2006). (b) Terakawa and Matsu'ura (2010). (c) Yukutake *et al.* (2015). (d) 本研究.

Fig. 14 Stress map determined in the present study and those of previous studies. (a) Townsend and Zoback (2006), (b) Terakawa and Matsu'ura (2010), (c) Yukutake *et al.* (2015), and (d) the present study.



第15図 関東地域の応力場の特徴。点線は主な地質構造線(例えば, 日本地質学会, 2008; 貝塚ほか, 2000), 矢印は $S_{Hmax}$ の時計回りの回転, 赤線で囲みは正断層場が卓越する領域を示す。

Fig. 15 Features of the stress field of the Kanto region. Dotted lines show principal geological tectonic lines (e.g. Geological Society of Japan, 2008; Kaizuka *et al.*, 2000), and arrows show the clockwise rotation of  $S_{Hmax}$ . The area bounded by the red line is the area in which the normal faulting stress field dominates.

ニック応力は基本的にはプレート境界地震が発生すると解放されるため, 長期的には応力場への寄与は小さいと考えられる。それに対して伊豆半島の衝突はおよそ100万年前からずっと継続しており, この地域の現在の応力場を支配する主要因になっていると考えられる。

### 6. 5. 3 太平洋沿岸域における正断層場

3つ目の特徴は第15図の赤線で囲まれた太平洋沿岸域における正断層場の存在である。圧縮テクトニクス場においてこれだけ広い範囲で正断層場が見られるのは興味深い。太平洋沿岸域で正断層場が卓越する要因についてはいくつか考えられる。Umeda *et al.* (2015)は茨城県北部でMT探査を実施し, 活発な地震活動の直下(20 km以深)に低比抵抗体が存在することを明らかにした。そこには流体が多く存在していると推定されるが, その結果, 周囲より密度が低くなる。そのような低密度域が地殻深部に存在すると, 浮力によりその地塊が上昇しようとし, 地表付近に局在化した正断層場が形成されることになる(Levandowski *et al.* (2017)のFig. 3cを参照)。また,

Imanishi *et al.* (2011)は陸側から太平洋プレートに向かって東傾斜した分岐断層が正断層場の形成に寄与するモデルを提案している。この分岐断層が正断層すべりを起こすことで, 分岐断層上端付近に応力集中が生じ, 局在化した正断層場が形成されることになる。しかし, 第15図の赤線で囲った広い範囲にわたって地殻深部に流体が多く分布しているとは考えにくく, また分岐断層が大規模に分布しているとも考えにくい。以上は, どちらかという局所的に正断層場を作り出すメカニズムと考えられる。より広域的に正断層場を作り出すメカニズムとしてプレートの沈み込みに伴う地殻上部の曲げ応力が考えられる。Fukahata and Matsu'ura (2016)によると, この曲げ応力はプレート境界の形状に強く依存し, プレートの曲率半径が小さくなるほど(沈み込み角度が急になるほど)大きくなる。現状ではプレートの曲率半径の違いを議論できるほどの精度で形状が求まっていないため観測結果との比較はできないが, 広い範囲に正断層場を作り出せるモデルとして今後検討していく価値がある。



## 7. 結論

本研究では独自に求めた発震機構解カタログに加えて、気象庁一元化カタログや既存研究のデータをコンパイルし、合計3455イベントの発震機構解から関東地域の10 kmメッシュの応力マップを作成した。小さな地震まで解析して発震機構解データを増やしたことで、先行研究よりも応力場の空白域が少なくなり、応力場の空間分解能も格段に高くなった。その結果、関東地域の応力場は非常に複雑であるが数十kmスケールの複数の応力場に区分できること、伊豆半島から関東山地、栃木県に向けて $S_{Hmax}$ 方位が時計回りに回転する特徴が見られること、 $S_{Hmax}$ 方位が90度近く急変する場所があること、太平洋沿岸域は正断層場が卓越することが明らかになった。最後の特徴以外は先行研究でも示唆されていたが、高い分解能を持ったマップができたことにより、その特徴がより明確になった。これらの応力場の特徴は定性的ではあるものの、地質学的、地球物理学的な解釈がある程度可能である。この地域のテクトニクスを理解及び将来の地震リスクを評価するために、今後は地形や3次元密度不均質構造に起因する応力計算を行い、絶対応力も含めた応力場の定量的な解釈に繋げていくことが重要である(例えば、Bird, 2017; Levandowski *et al.*, 2017; Luttrell and Smith-Konter, 2017)。

**謝辞：**本研究では気象庁カタログを使用し、波形解析においては防災科学技術研究所 Hi-net, 気象庁, 東京大学地震研究所, 京都大学防災研究所のデータを利用しました。発震機構解の推定では東京大学の井出 哲教授のプログラムを参考にさせていただきました。図はGeneric Mapping Tools (Wessel and Smith, 1998)で作成しました。査読においては産業技術総合研究所地質調査総合センターの雷 興林博士, 編集担当の大谷 竜博士及び編集委員会から有益な意見を頂き、本稿の改善に大きく役立ちました。なお、本研究は産業技術総合研究所地質分野重点推進予算「関東地域における地震テクトニックマップの試作」(平成25年度～27年度)及び戦略的課題推進費「日本列島の応力マップ整備の加速化と不均一造構造場の成因の解明」(平成30年度)の補助を受けて実施しました。ここに記して感謝いたします。

## 文献

Allmendinger, R.W, Reilinger, R. and Loveless, J. (2007) Strain and rotation rate from GPS in Tibet, Anatolia, and the Altiplano. *Tectonics*, **26**, 1–18.

Bird, P. (2017) Stress field models from Maxwell stress functions: southern California. *Geophys. J. Int.*, **210**, 951–963.

Byerlee, J. (1978) Friction of rocks, *PAGEOPH*, **116**, 615–626.

地質調査所 (1998) 長野県王滝地域における地殻応力測定結果. 地震予知連絡会会報, **60**, 485–489.

長 郁夫・桑原保人 (2011) 日本列島の応力蓄積過程をモデル化するための予備的解析. 活断層・古地震研究報告, no.11, 331–350.

Flohlich, C. (1992) Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanism. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **75**, 193–198.

Fukahata, Y. and Matsu'ura, M. (2016) Deformation of island-arc lithosphere due to steady plate subduction, *Geophys. J. Int.*, **204**, 825–840.

Gephart J.W. and Forsyth D.W. (1984) An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando Earthquake sequence. *J. Geophys. Res.*, **89**, 9305–9320.

Hashimoto, C. and Matsu'ura, M. (2006) 3-D simulation of tectonic loading at convergent plate boundary zones: Internal stress fields in northeast Japan. *PAGEOPH*, **163**, 1803–1817.

東日本地殻応力測定グループ (1984) 東日本における地殻応力測定の試み(1). 地震予知連絡会会報, **32**, 396–402.

Hirata, N. and Matsu'ura, M. (1987) Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **47**, 50–61.

弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川 昭(2008) Double-Difference Tomography法による関東地方の3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. 地震 **2**, **60**, 123–138.

池田隆司・塚原弘昭 (1987) 山梨県芦川村・都留市における水圧破壊法による地殻応力測定 —鉛直方向の応力状態及び広域応力場—. 地震 **2**, **40**, 519–531.

池田隆司・塚原弘昭 (1990) 花崗岩体中での水圧破壊地殻応力測定. 岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 309–314.

Imanishi, K., Kuwahara, Y., Takeda, T., Mizuno, T., Ito, H., Ito, K., Wada, H. and Haryu, Y. (2011) Depth-dependent stress field in and around the Atotsugawa fault, central Japan, deduced from microearthquake focal mechanisms: Evidence for localized aseismic deformation in the downward extension of the fault. *J. Geophys. Res.*, **116**, B01305, 1–12.

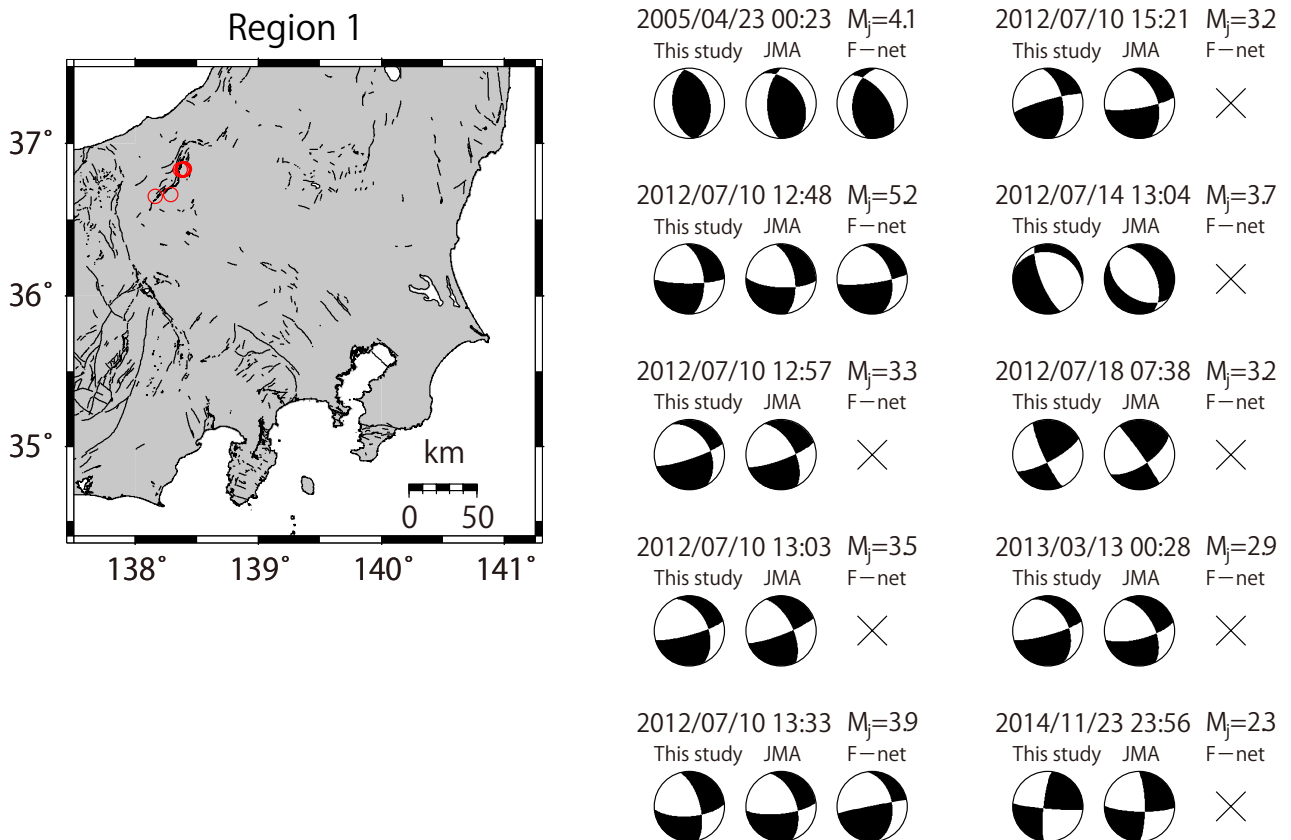
Imanishi, K., Ando, R. and Kuwahara, Y. (2012) Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *Geophys.*

- Res. Lett.*, **39**, L09306, 1–7.
- 今西和俊・武田直人・桑原保人 (2013) 2011年東北地方太平洋沖地震の発生後に活発化した霞ヶ浦南端直下の正断層型地震活動. *地震*, **66**, 47–66.
- 今西和俊・内出崇彦・松下レイケン (2016) 臨時地震観測による山梨県北東部の微小地震の発震機構解と応力場. 活断層・古地震研究報告, no.16, 53–77.
- Ishida, M. (1992) Geometry and relative motion of the Philippine Sea Plate and Pacific Plate beneath the Kanto-Tokai District, Japan. *J. Geophys. Res.*, **97**, 489–513.
- 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2015) 関東地域の活断層の長期評価(第一版), [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/15apr\\_chi\\_kanto/ka\\_honbun.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/15apr_chi_kanto/ka_honbun.pdf) (2018年8月10日確認)
- 活断層研究会(1991) 新編「日本の活断層—分布と資料—」. 東京大学出版会, 437p.
- 貝塚爽平・遠藤邦彦・鈴木毅彦・小池一之・山崎晴雄 (2000) 日本の地形4 関東・伊豆小笠原. 東京大学出版会, 東京, 349p.
- 岸本清行 (1999) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集(GSJ Open-File Report), no.353.
- 小出 仁・西松裕一・小泉昇三・星野一男・金川 忠・中山芳樹・井上 朗・山本清彦・菊池慎二 (1986) 関東・東海地域における地殻応力測定と測定法の比較. 第18回岩盤力学シンポジウム講演論文集, 261–264.
- 国土地理院 (2011) 日本全国の地殻変動, 地震予知連絡会会報. **86**, 8–21.
- Levandowski, W., Zellman, M. and Briggs, R. (2017) Gravitational body forces focus North American intraplate earthquakes. *Nat. Com.*, **8**, 14314, 1–9. doi:10.1038/ncomms14314.
- Luttrell, K. and Smith-Konter, B. (2017) Limits on crustal differential stress in southern California from topography and earthquake focal mechanisms. *Geophys. J. Int.*, **211**, 472–482.
- 松田時彦・中村一明・杉村 新(1978) 第3章 活断層とネオテクトニクス—地殻変動の累積—. 笠原慶一・杉村 新編, 岩波講座 地球科学10 変動する地球 I—現在および第四紀—, 岩波書店, 東京, 89–157.
- Matsushita, R. and Imanishi, K. (2015) Stress fields in and around metropolitan Osaka, Japan, deduced from microearthquake focal mechanisms. *Tectonophysics*, **642**, 46–57.
- 松浦充宏 (1998) 地震発生過程のモデリングと予測. *地震*, **50**, 213–227.
- Michael, A. J. (1984) Determination of stress from slip data: faults and folds. *J. Geophys. Res.*, **89**, 11517–11526.
- Michael, A. J. (1987) Use of focal mechanisms to determine stress: A control study. *J. Geophys. Res.*, **92**, 357–368.
- Nakajima, J. and Uchida, N. (2018) Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip. *Nat. Geosci.*, **11**, 351–356.
- 日本地質学会 (2008) 日本地方地質誌3 関東地方, 朝倉書店, 東京, 570p.
- Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H. and Yamamoto, A. (2004) Recent progress of seismic observation networks in Japan—K-NET and KiK-net-. *Earth Planets Space*, **56**, xv–xxviii.
- 小村健太郎・池田隆司・松田達生・水落幸広 (2003) 活断層ドリリングによる断層構造の研究—牛伏寺断層近傍の地殻応力, 岩盤, 比抵抗構造—. 地球惑星科学関連学会2003年合同大会予稿集, S076-003.
- Shearer, P. M., Prieto, G. A. and Hauksson, E. (2006) Comprehensive analysis of earthquake source spectra in southern California. *J. Geophys. Res.*, **111**, B06303.
- 杉山雄一・佐竹健治・駒澤正夫・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄・石田瑞穂・広島俊男・長谷川 功・村田泰章 (1997) 50万分の1活構造図「東京」(第2版). 活構造図8, 地質調査所.
- 鈴木宏芳 (1989) 関東・中部地域の地殻内地震の発震機構と地殻応力場. 国立防災科学技術センター研究報告, no.43, 1–86.
- 鈴木宏芳 (1992) 地殻内地震の発震機構解から推定される関東平野の地殻応力の特徴. *地震*, **45**, 33–43.
- 鈴木宏芳・池田隆司・小村健太郎 (1997) ブレークアウトから推定される関東地域の応力方位分布. 日本地震学会講演予稿集, no.2, 105.
- 首都直下地震モデル検討会 (2013) 首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書, [http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/pdf/dansoumodel\\_01.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/pdf/dansoumodel_01.pdf) (2018年8月10日確認)
- Takada, Y. (2018) Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, central Japan, detected by InSAR and GNSS. *Earth Planets Space*, **70:32**, 1–12.
- Tanaka, Y. (1986) State of crustal stress inferred from in situ stress measurements. *J. Phys. Earth*, **34**, S57–S70.
- Terakawa, T. and Matsu'ura, M. (2010) The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events. *Tectonics*, **29**, TC6008, 1–14.
- Townend, J. and Zoback, M. D. (2006) Stress, strain, and mountain building in central Japan. *J. Geophys. Res.*, **111**, B03411, 1–11.
- Townend, J. (2006) What do faults feel? Observational

- constraints on the stresses acting on seismogenic faults. in Earthquakes: Radiated Energy and the Physics of Earthquake Faulting, *Geophys. Monogr. Ser.*, **170**, edited by R. Abercrombie *et al.*, AGU, Washington, D. C., 313–327.
- 塚原弘昭・池田隆司(1983) 関東・東海地域の地殻応力. 地震2, **36**, 571–586.
- Tsukahara, H. and Ikeda, R. (1987) Hydraulic fracturing stress measurements and in-situ stress field in the Kanto-Tokai area, Japan. *Tectonophysics*, **135**, 329–345.
- 塚原弘昭・池田隆司(1988) 水圧破壊法による地殻応力測定—栃木県栗野町での測定—. 日本地震学会講演予稿集, no.2, 96.
- 塚原弘昭・池田隆司(1991) 本州中央部の地殻応力方位分布—応力区とその成因—. 地質雑, **97**, 461–474.
- Tsukahara, H., Ikeda, R. and Omura, K. (1996) In-situ stress measurement in an earthquake focal area. *Tectonophysics*, **262**, 281–290.
- Umeda, K., Asamori, K., Makuuchi, A., Kobori K. and Hama, Y. (2015) Triggering of earthquake swarms following the 2011 Tohoku megathrust earthquake. *J. Geophys. Res.*, **120**, 2279–2291.
- Wang, K. (2000) Stress-strain 'paradox', plate coupling, and forearc seismicity at the Cascadia and Nankai subduction zones. *Tectonophysics*, **319**, 321–338.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, **79**, 579.
- Yoshida, K., Hasegawa, A., Okada, T., Iinuma, T., Ito, Y. and Asano, Y. (2012) Stress before and after the 2011 great Tohoku-oki earthquake and induced earthquakes in inland areas of eastern Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L03302, 1–6.
- Yukutake, Y., Takeda, T. and Yoshida, A. (2015) The applicability of frictional reactivation theory to active faults in Japan based on slip tendency analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **411**, 188–198.
- Zang, A. and Stephansson, O. (2010) Stress field of the Earth's crust, Springer, 322p.
- Zoback, M. L. (1992) First-and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *J. Geophys. Res.*, **97**, 11,703–11,728.
- Zoback, M. L. and Zoback, M. (1980) State of stress in the conterminous United States. *J. Geophys. Res.*, **85**, 6113–6156.

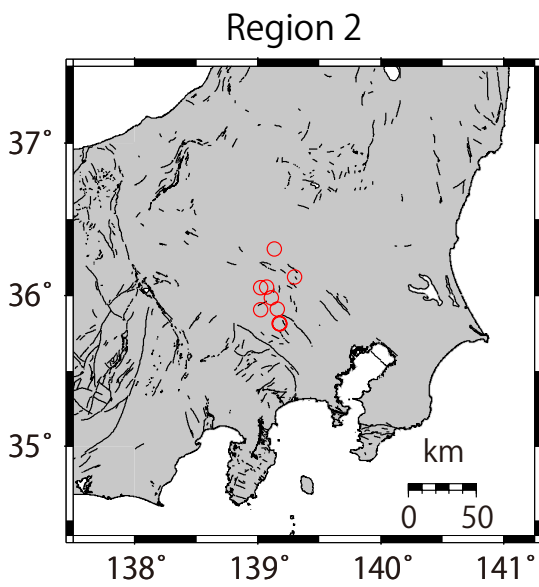
( 受付 : 2018年8月30日 ; 受理 : 2019年3月1日 )  
 ( 早期公開 : 2019年4月26日 )

付録  
Appendices



付図1 本研究により推定された発震機構解(左)と気象庁一元化カタログ(中), 防災科学技術研究所F-net解(右)の比較. 第2図の3つの領域ごとに分けて示す.

Fig. A1 Focal mechanism solutions determined in the present study (left), earthquake catalog of Japan Meteorological Agency (middle), and F-net moment tensor solution catalog by the National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (right) shown separately for each of the three regions in Fig. 2.



2003/03/17 22:14  $M_j=3.7$

This study JMA F-net



2007/06/28 18:26  $M_j=4.1$

This study JMA F-net



2004/03/07 03:41  $M_j=3.4$

This study JMA F-net



2007/10/29 18:13  $M_j=3.2$

This study JMA F-net



2006/04/07 20:48  $M_j=3.2$

This study JMA F-net



2010/04/30 19:33  $M_j=4.1$

This study JMA F-net



2007/05/06 05:33  $M_j=2.9$

This study JMA F-net



2011/05/04 16:13  $M_j=3.2$

This study JMA F-net



2007/05/09 08:52  $M_j=3.8$

This study JMA F-net



2013/01/16 05:49  $M_j=3.3$

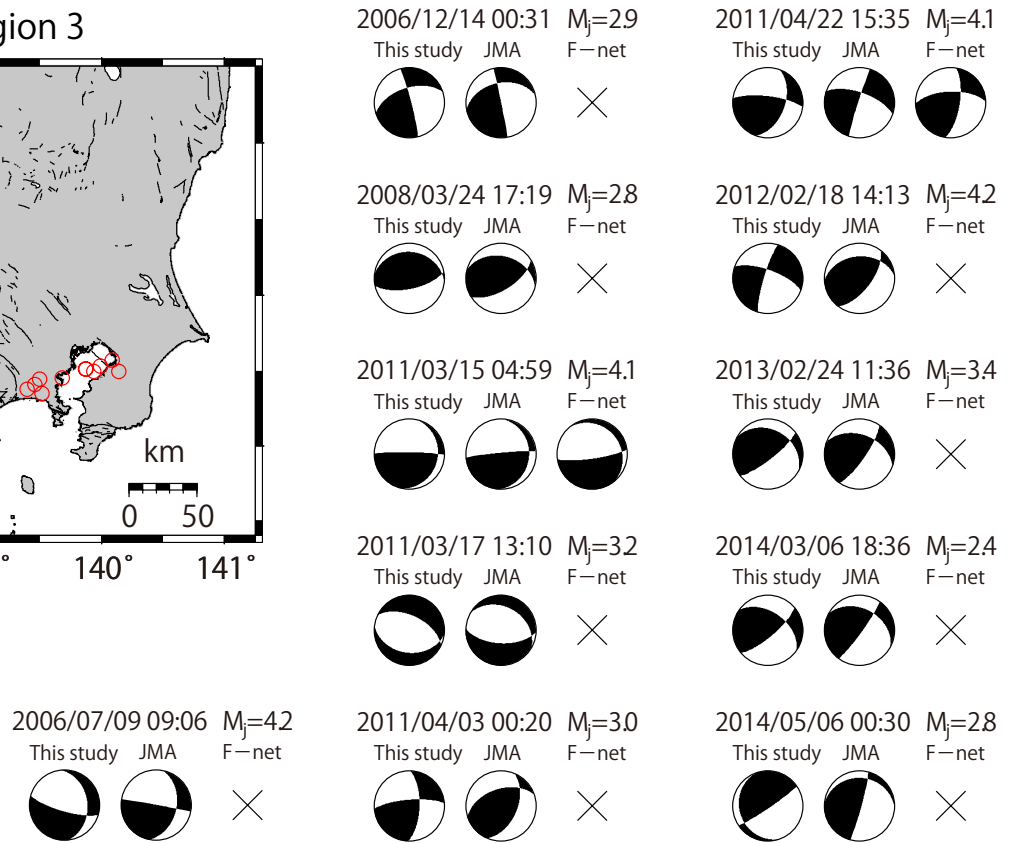
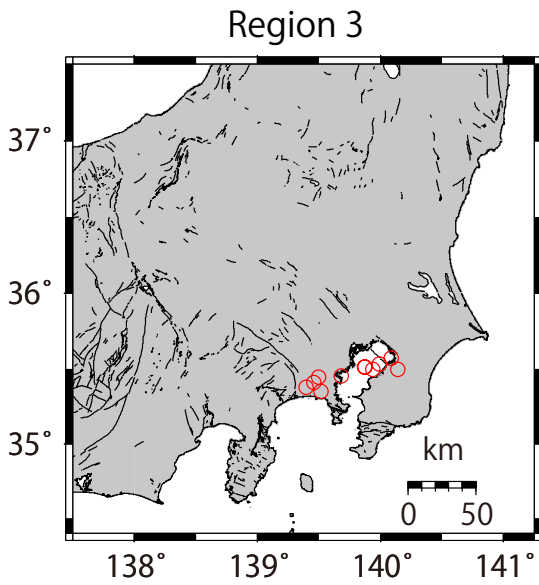
This study JMA F-net



付図1 続き.

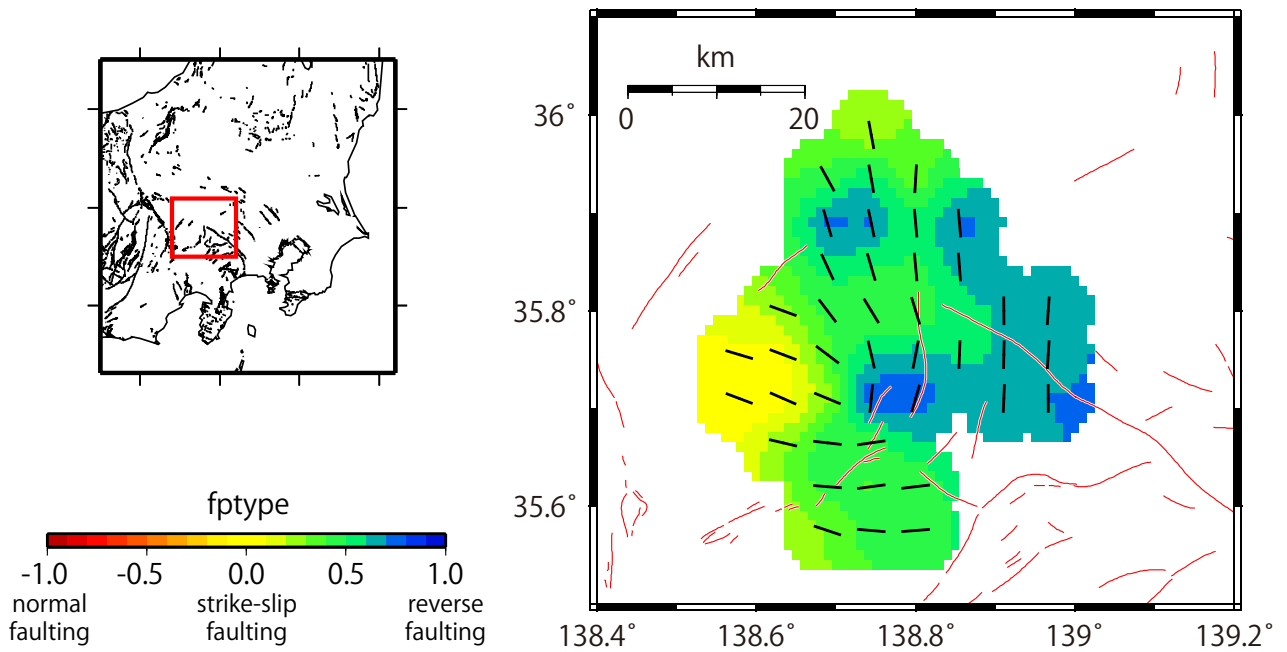
Fig. A1 Continued.





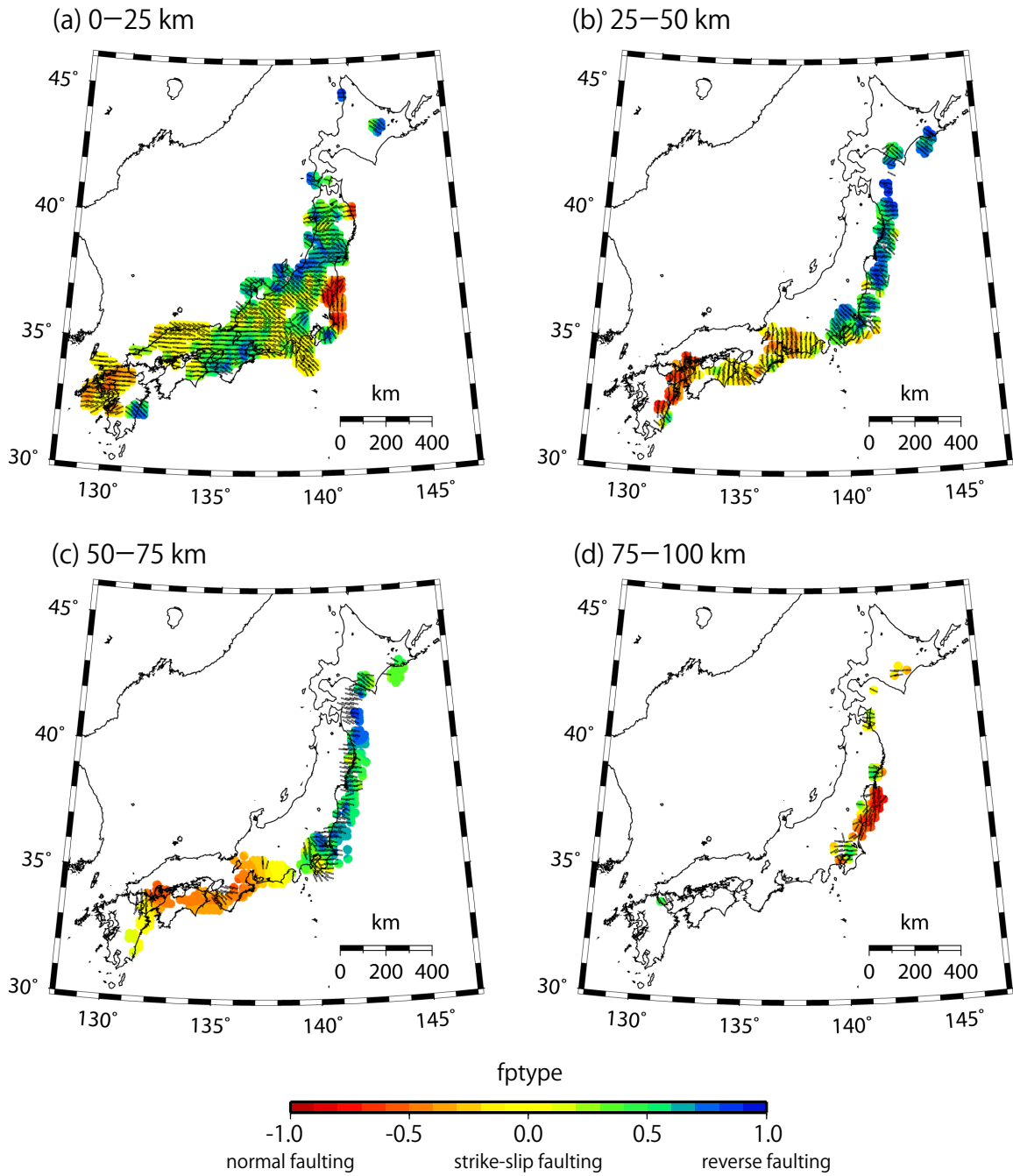
付図1 続き.

Fig. A1 Continued.



付図2 今西ほか (2016) による発震機構解をデータとして推定した山梨県北東部における応力マップ。

Fig. A2 Stress map of northeastern Yamanashi Prefecture using focal mechanism solutions by Imanishi *et al.* (2016).



付図3 気象庁一元化カタログをもとに推定した日本列島の応力マップ。それぞれ(a) 0-25 km, (b) 25-50 km, (c) 50-75 km, (d) 75-100 kmの深さのものを示す。

Fig. A3 Stress maps of the Japanese islands based on the earthquake catalog of Japan Meteorological Agency at depths of (a) 0-25 km, (b) 25-50 km, (c) 50-75 km, and (d) 75-100 km.

## 関東山地に分布する北部秩父帯付加コンプレックス柏木ユニットのジルコン U-Pb 年代

富永紘平<sup>1,\*</sup>・原 英俊<sup>2</sup>・常盤哲也<sup>3</sup>

Kohei Tominaga, Hidetoshi Hara and Tetsuya Tokiwa (2019) Zircon U-Pb ages of the Kashiwagi Unit of the accretionary complex in the Northern Chichibu Belt, Kanto Mountains, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 70 (3), p.299–314, 7 figs, 3 appendices.

**Abstract:** The Kashiwagi Unit is the youngest unit in the Northern Chichibu accretionary complex. In this study, we measured zircon U-Pb ages from sandstone and felsic tuffaceous phyllite in the Kashiwagi Unit to determine their depositional ages. As a result, we obtained depositional age of  $128.2 \pm 1.4$  Ma and  $126.7 \pm 2.0$  Ma from two sandstone samples and  $134.2 \pm 1.5$  Ma from a felsic tuffaceous phyllite sample. The depositional age of this unit was previously estimated by radiolarian fossils from shale and siliceous shale, presenting a wide range from the Middle Jurassic to Early Cretaceous. The zircon U-Pb ages from the sandstones are assigned as the Early Cretaceous, presenting younger than the radiolarian age. Detrital zircon U-Pb ages of sandstone suggest that the uppermost age of the ocean plate stratigraphy of the Kashiwagi Unit is younger than the Barremian age.

**Keywords:** Northern Chichibu accretionary complex, Kashiwagi Unit, zircon U-Pb age, ocean plate stratigraphy, Kanto Mountains

### 要 旨

柏木ユニットは北部秩父帯付加コンプレックスの中で最も若いユニットである。本研究では、関東山地における柏木ユニットの砂岩及び珪長質な凝灰質千枚岩のジルコンU-Pb年代測定を行い、それらの堆積年代を決定した。その結果、砂岩2試料から  $128.2 \pm 1.4$  Maと  $126.7 \pm 2.0$  Maの年代が、凝灰質千枚岩から  $134.2 \pm 1.5$  Maの年代がそれぞれ得られた。従来、中期ジュラ紀から前期白亜紀までの幅広い年代が頁岩や珪質頁岩中の放射虫化石から報告されていた。しかし、砂岩から得られた年代は、柏木ユニットの頁岩及び珪質頁岩から報告されていた放射虫化石年代より若い、前期白亜紀のバレミアン期以降となることが明らかになった。

### 1. はじめに

北部秩父帯付加コンプレックスの構造的最下位は柏木ユニットが占めており、このユニットは北部秩父帯で最も若い構造層序单元である(松岡ほか, 1998)。これまで、

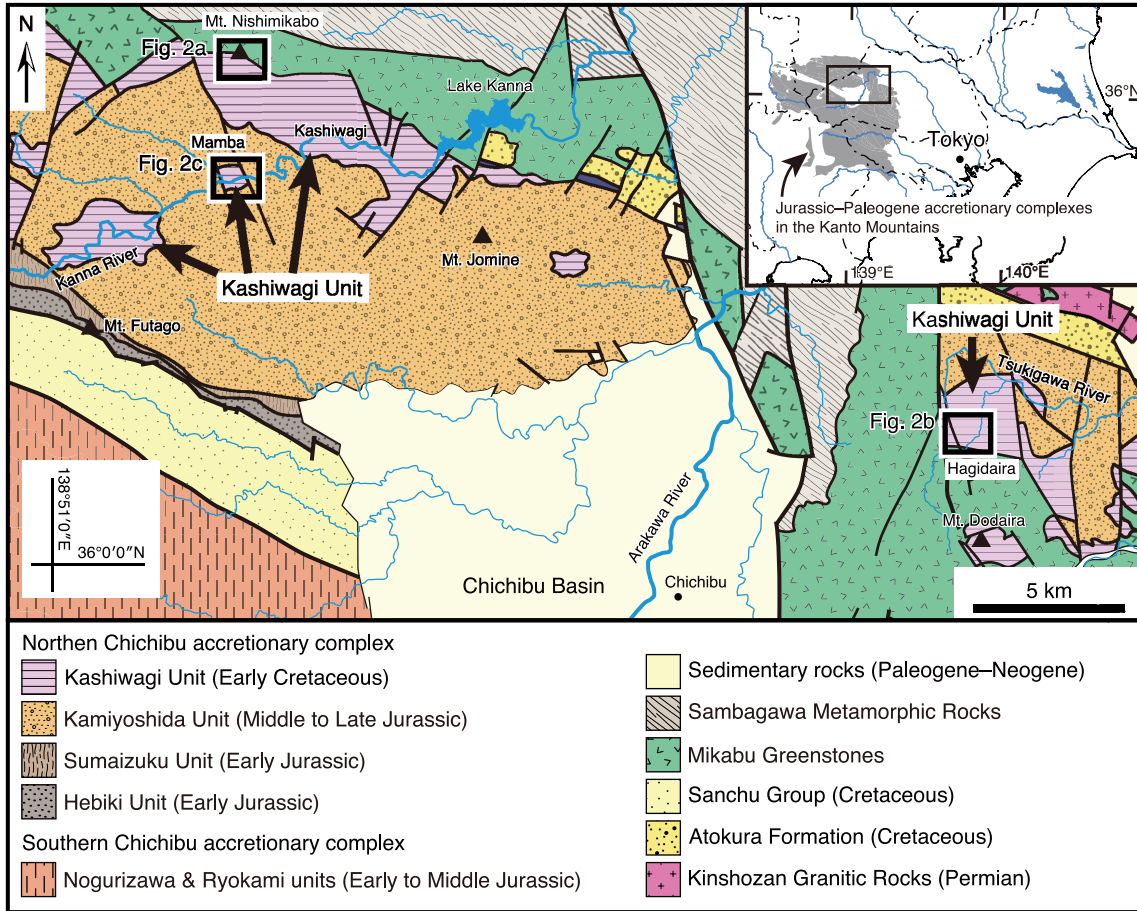
柏木ユニットの碎屑岩の年代は頁岩及び珪質頁岩中の放射虫化石によって推定されており、その年代は中期ジュラ紀から前期白亜紀と幅広いものであった(例えば、指田, 1992; 松岡, 1996, 2007, 2009, 2013; Sekine *et al.*, 2001)。近年、碎屑性ジルコンU-Pb年代測定が盛んに行われるようになり、砂岩の堆積年代の制約に使用されてきた(例えば、Aoki *et al.*, 2007; Tsutsumi *et al.*, 2009; Hara *et al.*, 2017)。付加コンプレックス中の砂岩は海洋プレート層序の最上位を構成しており(Matsuda and Isozaki, 1991; Wakita and Metcalfe, 2005)、その年代が決定できれば付加される直前の年代を制約することが可能である。しかし、これまで柏木ユニットの砂岩のジルコン年代は、Endo and Wallis (2017)による四国中央部以外に報告されてこなかった。本研究では、模式地である関東山地の柏木ユニットに含まれる砂岩及び珪長質凝灰岩を採取し、その堆積年代を求めるためジルコンU-Pb年代を測定した。そして、その結果と従来頁岩や珪質頁岩から報告されていた放射虫化石年代と比較して、柏木ユニットの海洋プレート層序の上限について検討した。

<sup>1</sup> 筑波大学生命環境科学研究科地球進化科学専攻 (Doctoral Program in Earth Evolution Sciences, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba 305-0821, Japan), 元産業技術研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門リサーチアシスタント (Former affiliation: Research Assistant, AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 産業技術研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>3</sup> 信州大学学術研究院理学系 (Faculty of Science, Shinshu University, 3-1-1, Asahi, Matsumoto 390-8621, Japan)

\* Corresponding author: K. Tominaga, E-mail: tominaga\_k@geol.tsukuba.ac.jp



第1図 関東山地の地質図. 久田ほか(2016)より作成.

Fig. 1 Geological map of the Kanto Mountains. Revised from Hisada *et al.* (2016).

## 2. 柏木ユニットの地質概説

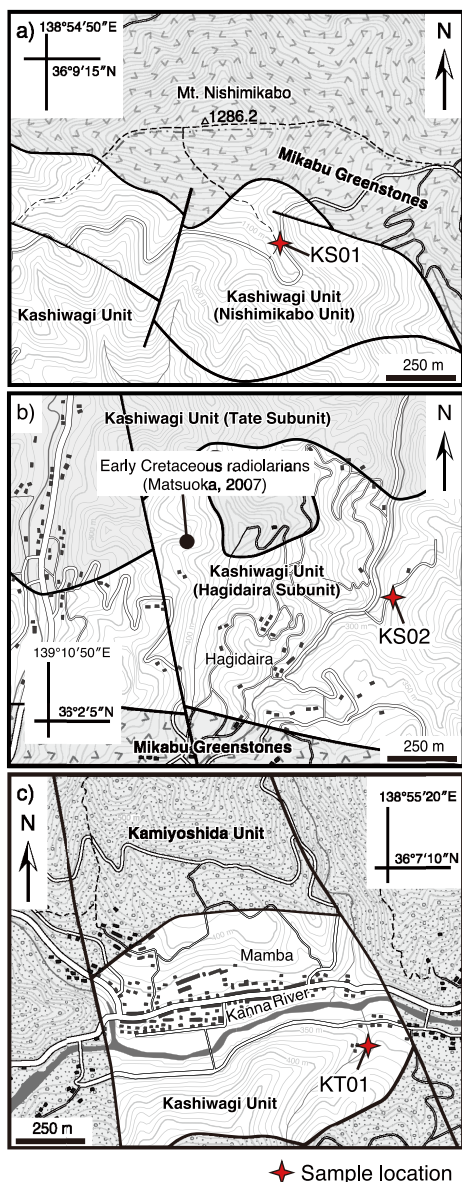
関東山地の北部秩父帯付加コンプレックスは、蛇木、住居附、上吉田、柏木ユニットの4つのユニットに区分されている(第1図; 松岡ほか, 1998; 久田ほか, 2016). 柏木ユニットは、主に珪質凝灰岩、チャート、頁岩、玄武岩、石灰岩と極めて稀な砂岩から構成されている。本ユニットは北部秩父帯付加コンプレックスの構造的最低位を占め、全体的に低角な構造をなしている。その構造的低位では御荷鉾緑色岩類と断層で接しており、上位は北部秩父帯の上吉田ユニットと低角の断層で接している(関東山地団体研究グループ, 1994)。柏木ユニットは関東山地北西部の万場地域の神流町柏木を模式地とし(藤本, 1935)、関東山地東部ではチャート・珪質岩ユニット(牧本・竹内, 1992)、橋立層群(久田, 1984)、黒山層(指田, 1992)などと対比されている(第1図; 松岡ほか, 1998)。なお、本ユニットのチャートからはペルム紀から後期ジュラ紀までの放散虫化石・コノドント化石が報告されており(例えば、小池ほか, 1980; 滝沢, 1979; Hisada *et*

*al.*, 1986)、頁岩及び珪質頁岩からは後期ジュラ紀から前期白亜紀の放散虫化石が報告されている(例えば、松岡, 1996, 2007, 2009, 2013; Sekine *et al.*, 2001)。柏木ユニットからは、緑れん石、アクチノ閃石、アルカリ輝石、アルカリ角閃石、緑泥石、パンペリー石などの変成鉱物が確認されており、パンペリー石-アクチノ閃石相の三波川変成作用が認められている(Hirajima and Banno, 1989; 牧本・竹内, 1992)。変成作用の影響を強く受けている頁岩や凝灰岩は、片理が発達し黒色泥質千枚岩、凝灰質千枚岩となっている。柏木ユニットは北部秩父帯付加コンプレックスの中では変成度の高いユニットで、化石の産出は稀であり、その保存状態も良くない。そのため碎屑岩の堆積年代が詳細に求められていなかった。

## 3. 採取試料

本研究では、西御荷鉾山地域、萩平地域、万場地域の3地域にて、柏木ユニットの砂岩及び凝灰質千枚岩を計3試料採取した(第1図)。西御荷鉾山地域では西御荷鉾





第2図 サンプル採取地点の位置図。基図は国土地理院の基盤地図情報(10 mメッシュファイル)を使用。a: 西御荷鉾山地域, b: 萩平地域, c: 万場地域。各ユニットの分布は関東山地団体研究グループ(1994, 2002), 松岡(2013)をもとに作成。

Fig. 2 The locality map of the samples. Base map was based on digital elevation model data (10 m mesh) of the Geospatial Information Authority of Japan. a: Mt. Nishimikabo area, b: Hagidaira area, c: Mamba area. The distribution of each unit is based on the Kanto Mountains Research Group (1994, 2002), and Matsuoka (2013).

山頂南方の林道沿いにて、砂岩(試料KS01)を採取した(第2図a)。この地域の柏木ユニットは、関東山地団体研究グループ(1994, 2002)により主に黒色頁岩と灰白色砂岩からなる西御荷鉾ユニットが柏木ユニットから分離され定義された。しかし本研究では、西御荷鉾ユニットを

松岡ほか(1998)に基づき柏木ユニットの泥質部の多い部分として扱う。本試料は、淘汰の悪い中粒の長石質ワッケであり(第3図a)、モード組成は、石英43.7%、長石17.0%、火山岩片10.7%、堆積岩片0.7%、変成岩片0.3%、基質26.3%である。

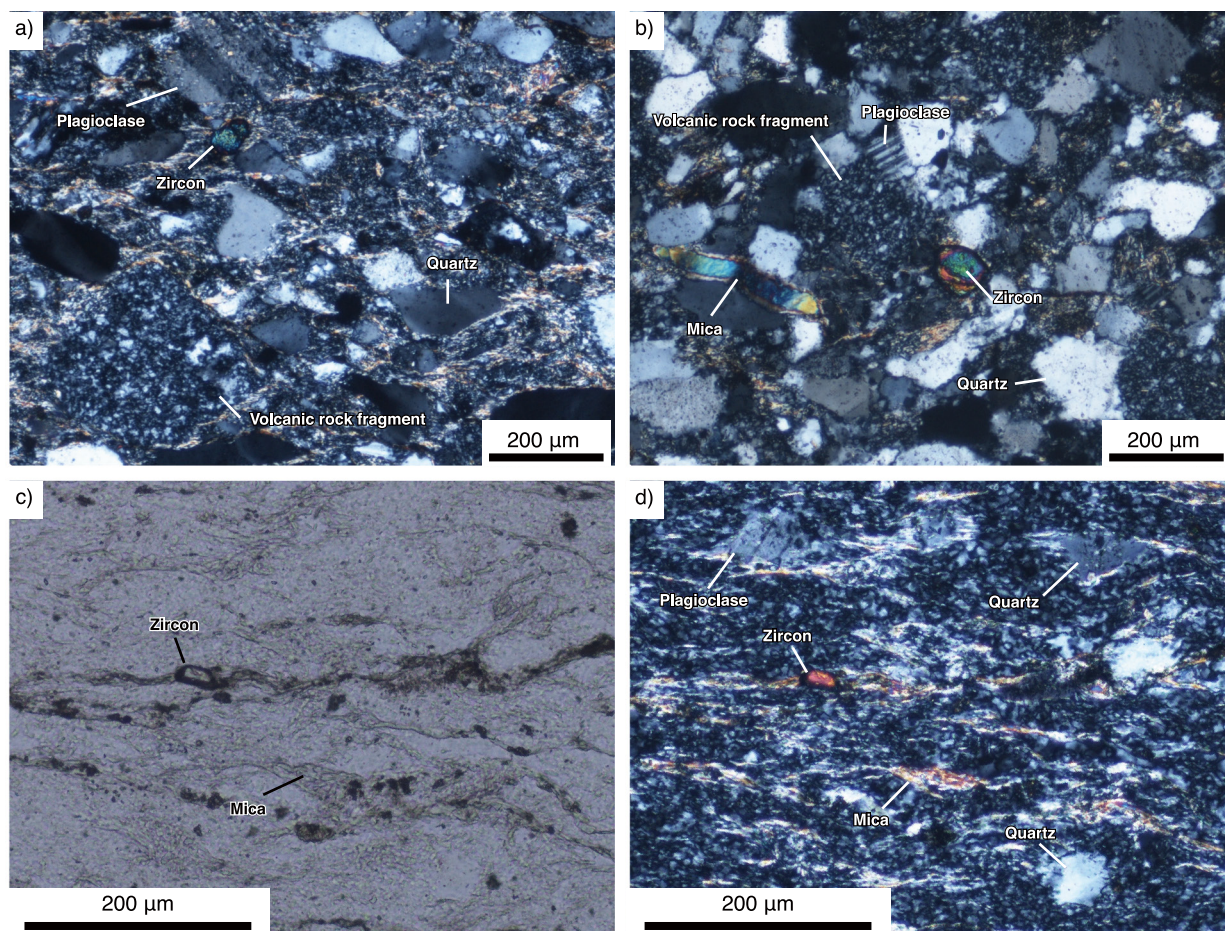
萩平地域では、萩平集落東方の林道沿いにて砂岩(試料KS02)を採取した(第2図b)。本地域の柏木ユニットは、チャート及び珪質凝灰岩からなる館サブユニットと、砂岩、チャート、玄武岩の岩塊を含む泥質混在岩からなる萩平サブユニットに細分されている(松岡, 2013)。本試料は萩平サブユニットの砂岩であり、その近傍の珪質頁岩からはUAZ (unitary association zone) 14 ~ 18に相当する放射虫化石が産出している(松岡, 2007)。なお、松岡(2007)ではUAZ14 ~ 18の年代を前期白亜紀のバラングニアン期からパレミアン期としているが、Baumgartner *et al.* (1995)に基づくと正しくはペリアシアン期からバラングニアン期である。本研究では、松岡(2007)によって報告された放射虫化石に対し、ペリアシアン期からバラングニアン期の年代を採用する。本試料は淘汰がやや悪い長石質アレナイトであり(第3図b)、そのモード組成は、石英59.0%、長石24.7%、火山岩片10.0%、堆積岩片1.3%、基質4.7%である。

万場地域では神流川支流の沢の河床に露出する凝灰質千枚岩(試料KT01)を採取した(第2図c)。この地点は柏木ユニットの構造的上位に相当し、柏木ユニットの黒色泥質千枚岩が上吉田ユニットの下位にフェンスター状に分布している(関東山地団体研究グループ, 1994)。採取した試料は、片理が強く発達した黒色泥質千枚岩中に挟まれる厚さ10 cmの凝灰質千枚岩で、変形を受けてややブーディン化している(第4図)。鏡下では、隠微晶質の基質中に100 μm程度の半自形の石英、長石粒子が含まれるのが観察され、軽石や火山岩の破片などは観察できない(第3図c, d)。またこの凝灰質千枚岩は、XRD分析によって、石英、長石、イライトなどの粘土鉱物からなり、苦鉄質鉱物から変質して生じた緑泥石などを含んでいないことを確認した。以上より、本試料は細粒緻密の珪質凝灰岩を起源とすると考えられる。ジルコン粒子は30 ~ 100 μmで、短柱状の自形結晶として観察される。

#### 4. 分析手法

岩石試料はジョークラッシャー及びスタンプミルにて粉碎し、ふるいにかけて#65 (212 μm)以下の粒子からなる試料を200 ~ 300 g準備した。その試料を椀がけによりジルコンを含む重鉱物を分離して、その後磁力を用いて磁性鉱物等を取り除いた。さらに重液を使用しジルコン粒子を抽出した。ジルコン粒子は、テフロンシートに埋め込み、ダイヤモンド研磨を行い、産業技術総合研究所のカソードルミネッセンス(CL)装置(Gatan Mini





第3図 砂岩KS01 (a), 砂岩KS02 (b), 凝灰質千枚岩KT01 (c, d)の薄片写真。(a, b, d)直交ポーラー, (c)平行ポーラー。

Fig. 3 Photomicrograph of sandstones KS01 (a) and KS02 (b), and tuffaceous phyllite KT01 (c, d). (a, b, d) cross polarized light, (c) parallel polarized light.



第4図 凝灰質千枚岩(KT01)の露頭写真。

Fig. 4 Photograph of outcrop of tuffaceous phyllite (KT01).

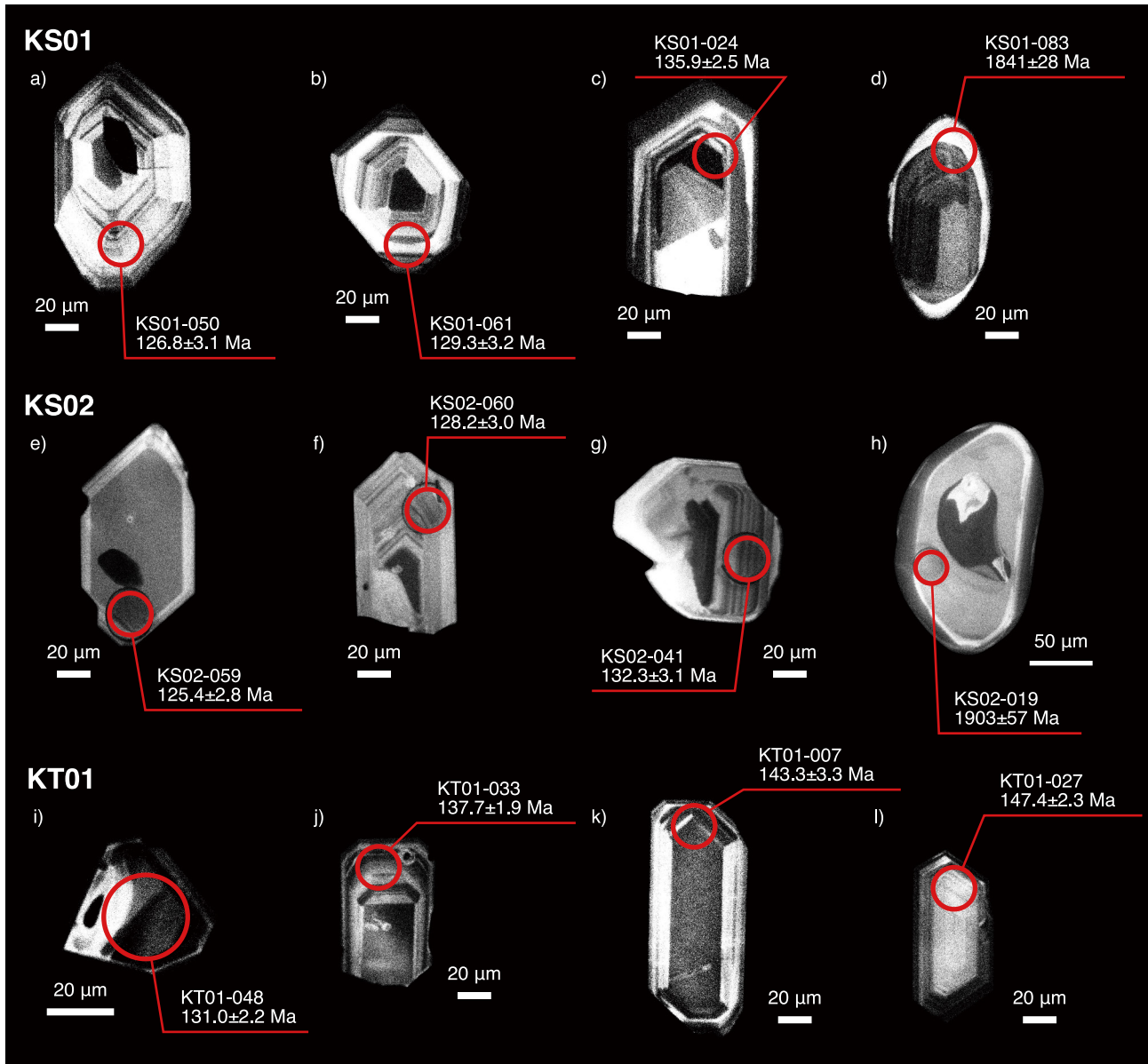
CL)を搭載した走査型電子顕微鏡(JEOL JSM-6610LV)で観察を行い, 反射電子像とCL像を撮影した(第5図)。

砂岩試料KS01及び凝灰質千枚岩試料KT01の年代測定は名古屋大学大学院環境学研究科のICP-MS (Agilent

7700x)及びレーザーシステム(ESI Nd-YAG,  $\lambda = 312 \text{ nm}$ )を用いて行った。分析条件及びデータの解析は高地ほか(2015)及び竹内ほか(2015)にしたがった。分析ではレーザー密度を  $11.7 \text{ J/cm}^2$ , 周波数を  $10 \text{ Hz}$ , 積分時間を  $10 \text{ 秒}$ , クレーター径を  $25 \text{ }\mu\text{m}$ とした。同位体分別の補正には, 一次スタンダードとして91500ジルコン ( $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代が  $1062.4 \pm 0.4 \text{ Ma}$ ; Wiedenbeck *et al.*, 2004)で規格化した標準ガラスNIST SRM610 (Horn and von Blanckenburg, 2007)を用いた。年代測定結果を評価するために, 2次スタンダードとして91500ジルコンを同時に測定した。その結果  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代の変動幅は  $1024 \sim 1087 \text{ Ma}$ であり, 文献値(Wiedenbeck *et al.*, 2004)から4%以内のずれに収まった。

砂岩試料KS02の分析は, 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設のICP-MS (サーモフィッシャーサイエンティフィック社製 iCAP-TQ ICP-MS)及びレーザーシステム(Photon Machines Analyte Ecite,  $\lambda = 193 \text{ nm}$ )を用いて行った。分析条件は, レーザー密度を  $3.0 \text{ J/cm}^2$ , 周波数を  $5 \text{ Hz}$ , 照射時間を  $20 \text{ 秒}$ , クレーター径を  $25 \text{ }\mu\text{m}$





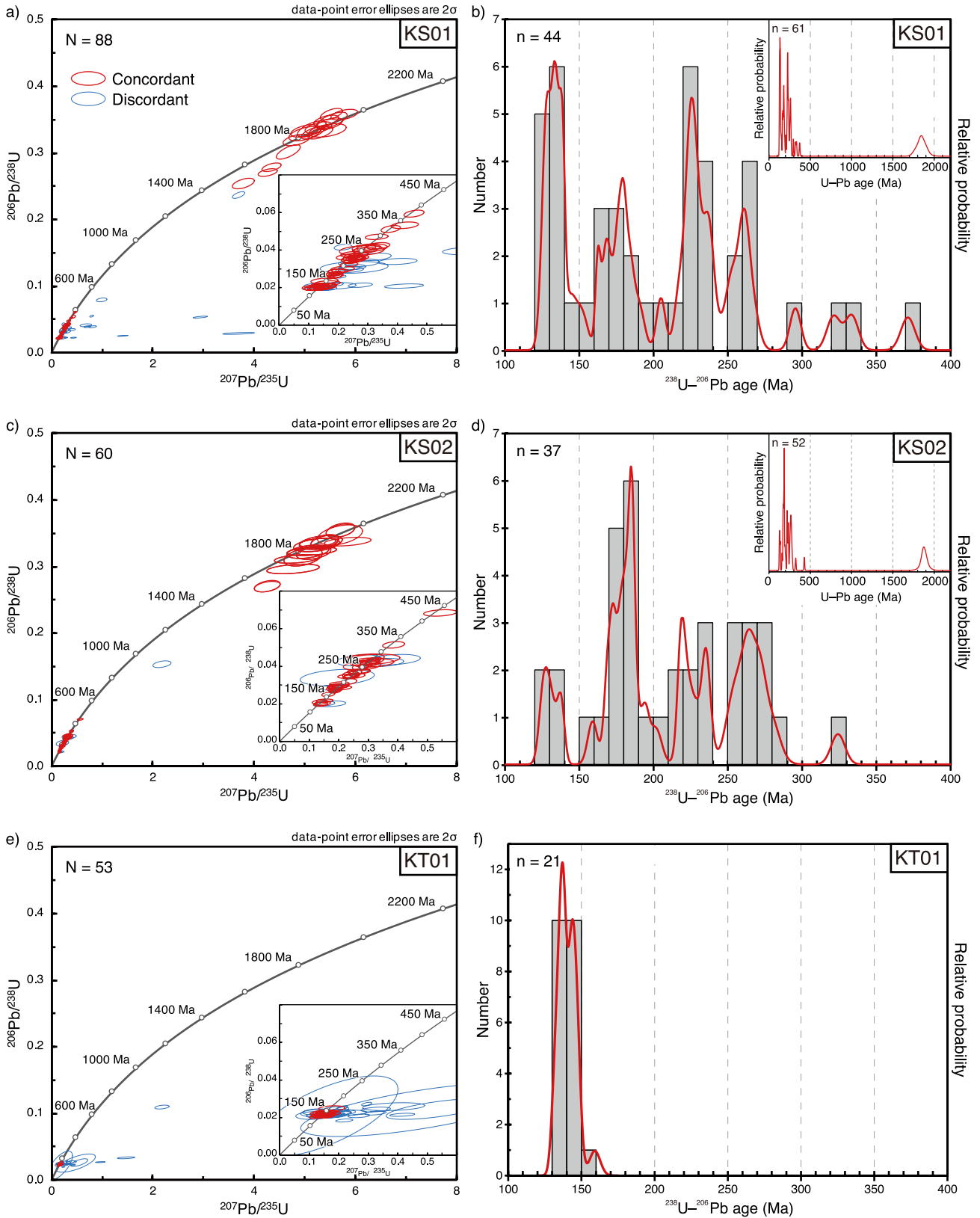
第5図 ジルコン粒子のカソードルミネッセンス像。(a~d) 西御荷鉾山地域の砂岩(KS01)。(e~h) 萩平地域の砂岩(KS02)。(i~l) 万場地域の珪長質凝灰岩(KT01)。

Fig. 5 Cathodoluminescence images of selected zircon grains. (a~d) Sandstone in the Mt. Nishimikabo area (KS01). (e~h) Sandstone in the Hagidaira area (KS02). (i~l) Tuff in the Mamba area (KT01).

とした。一次スタンダードとしては、91500ジルコン (Wiedenbeck *et al.*, 1995) を用いた。年代測定結果を評価するために、2次スタンダードとして610 MaのGJ-1 (Jackson *et al.*, 2004), 337 MaのPlešovice (Sláma *et al.*, 2008), 及び33 MaのOD-3 (Iwano *et al.*, 2013) の分析を行った。その結果 $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代の変動幅はそれぞれ598 ~ 614 Ma, 332 ~ 348 Ma, 31 ~ 32 Maであり、いずれも文献値から8%以内のずれに収まった。

本報告では、データの解析にコンコールドなデータのみを用いた。コンコールドなデータの判別には、

$100 \times (^{238}\text{U}\text{-}^{206}\text{Pb年代}) / (^{235}\text{U}\text{-}^{207}\text{Pb年代})$  の値が90 ~ 110の範囲に収まるデータを採用した。古いジルコン粒子では $^{207}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代の不確かさが $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代の不確かさを下回るため(例えば, Spencer *et al.*, 2016),  $^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代が1000 Maを超えるものは, $^{207}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}$ 年代値を採用した。データの解析にはIsoplot/Ex 4.15 (Ludwig, 2012) を用いて、コンコルディア図, 相対確率分布図, 及びヒストグラムを作成した(第6図)。年代測定結果を付表A1 ~ A3に示す。本報告ではジルコン年代における最も若いクラスターの年代について, Dickinson and Gehrels (2009)



第6図 柏木ユニットのジルコン粒子のコンコーディア図(a, c, e), 相対確率分布曲線(赤線)及びヒストグラム(b, d, f). (a, b) 西御荷錡山地域の砂岩(KS01). (c, d) 萩平地域の砂岩(KS02). (e, f) 万場地域の凝灰質千枚岩(KT01).

Fig. 6 Concordia diagrams (a, c, e) and probability density plots (red lines) and histograms (b, d, f) of zircons from sandstones KS01 (a, b) and KS02 (c, d), and tufaceous phyllite KT01 (e, f).

のYC1 $\sigma$ を採用した。YC1 $\sigma$ は、年代誤差 $\pm 1\sigma$ の範囲で重複する2粒子以上で構成されたクラスターのうち、最も若いクラスターの年代の加重平均値である。なお、各粒子の年代測定データおよびYC1 $\sigma$ における誤差は全て1 $\sigma$ 値を採用した。

## 5. ジルコン U-Pb 年代

### 5.1 西御荷鉾山地域の砂岩(試料KS01)

分析した90粒子中、そのうち61粒子よりコンコーダントな年代が得られた(第6図a)。そのうち72%は125～380 Maの年代を示し、1700～2000 Maの古いジルコン粒子も28%含む(第6図b)。相対確率分布が示す最も若いクラスターは126～139 Maに存在し、それ以外に167～191 Ma, 217～239 Ma, 251～267 Maにクラスターが存在する。また、本試料に含まれる最も若いジルコン粒子の年代は、126.8 $\pm$ 3.1 Maである。YC1 $\sigma$ は5粒子から構成され、その加重平均値は128.2 $\pm$ 1.4 Maである。加重平均値からの実際のデータのばらつきを表すMSWD (Mean square of weighted deviations) は、0.15となった。380 Maより若いジルコン粒子は、CL像でオシラトリー累帯構造を示す自形の粒子が多く、火成活動起源の可能性が高い (Corfu *et al.*, 2003) ことを示している(第5図a～c)。一方、1700 Ma以前の古い年代を示す粒子には、摩耗しオシラトリー累帯構造を示さないこともある(第5図d)。

### 5.2 萩平地域の砂岩(試料KS02)

分析した60粒子中、52粒子がコンコーダントな年代を示した(第6図c)。そのうち73%が125～430 Maの年代を示し、1800 Maより古いジルコン粒子も27%含む(第6図d)。相対確率分布が示す最も若いクラスターは125～138 Maであり、その他に168～187 Ma, 218～237 Ma, 252～281 Maにクラスターが存在する。最も若いジルコン粒子の年代は125.4 $\pm$ 2.8 Maである。YC1 $\sigma$ を構成するジルコン粒子は2粒子からなり、その加重平均年代は126.7 $\pm$ 2.0 Ma (MSWD = 0.45) である。330 Ma以降の若い粒子の多くがオシラトリー累帯構造を持つが(第5図e～g)、1800 Ma以前の粒子はオシラトリー累帯構造を示さない場合が多い(第5図h)。

### 5.3 万場地域の凝灰質千枚岩(試料KT01)

分析した60粒子中21粒子からコンコーダントな年代が得られ、その全てが約130～160 Maの年代範囲に収まる(第6図e, f)。全粒子の加重平均年代は139.8 $\pm$ 1.3 Maであり、MSWDは5.0となった。本試料に含まれる最も若いジルコン粒子年代は131.0 $\pm$ 2.2 Maであり、YC1 $\sigma$ は3粒子の加重平均値で134.2 $\pm$ 1.5 Ma (MSWD = 0.112) が得られた。なお、本試料にてYC1 $\sigma$ を計算した理由は第6章で後述する。これらのジルコン粒子はオシラトリー累帯構造がよく観察できる(第5図i～l)。

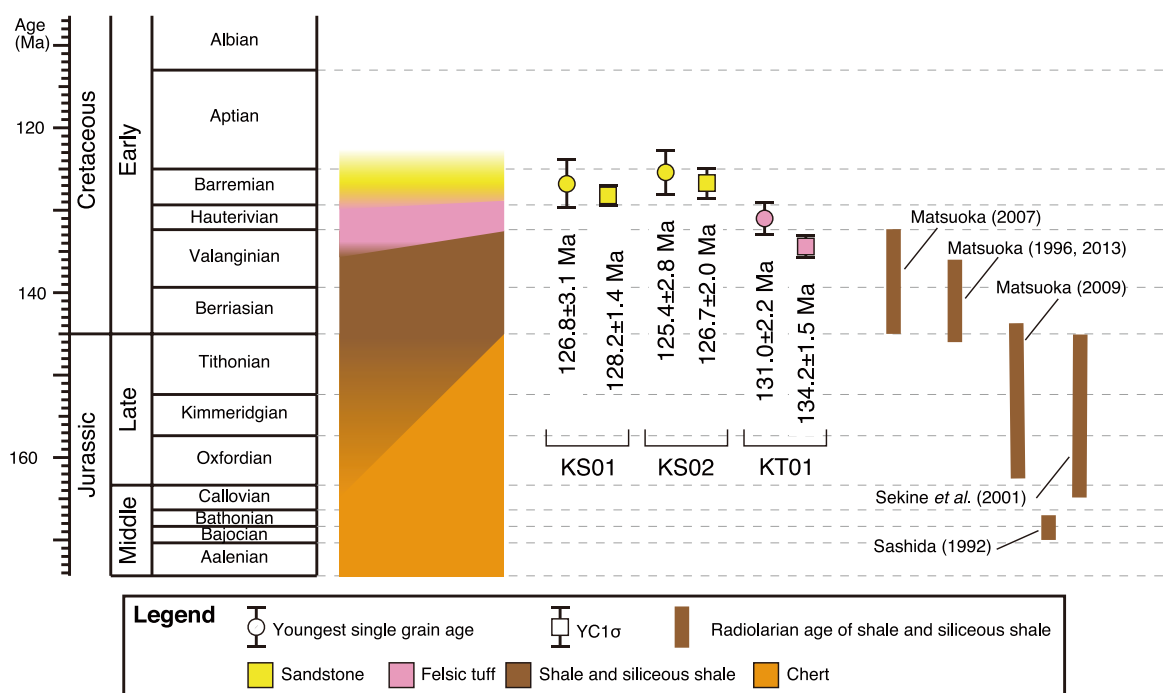
## 6. ジルコン U-Pb 年代の意義

本研究で得られた砂岩2試料(試料KS01, KS02)の碎屑性ジルコンU-Pb年代頻度分布は、ともに125～140 Ma, 170～190 Ma, 220～240 Ma, 250～280 Ma, 及び1700～2000 Maのクラスターが認められ、非常によく似た構成を示す(第6図b, d)。試料KS01及びKS02の最も若いジルコン粒子の年代はそれぞれ126.8 $\pm$ 3.1 Ma, 125.4 $\pm$ 2.8 Maであり、前期白亜紀のパレミアン期に相当する。また、試料KS01及びKS02のYC1 $\sigma$ はそれぞれ128.2 $\pm$ 1.4 Ma, 126.7 $\pm$ 2.0 Maであり最も若いジルコン粒子年代と同様にパレミアン期に相当する。このことから、本地域の柏木ユニットの砂岩の堆積年代はパレミアン期以降であると考えられる。なお、柏木ユニットの泥岩における最も若い放散虫化石が示す年代の範囲はペリアシアン期からバラングニアン期である。すなわち砂岩の堆積年代は頁岩から産する放散虫化石の上限年代より若い年代を示す(第7図)。

凝灰質千枚岩試料(試料KT01)は、全ての粒子が130～160 Maの年代範囲に収まる(第6図f)。本試料の最も若いジルコン粒子の年代は前期白亜紀のオーテリビアン期に、YC1 $\sigma$ はバラングニアン期後期に相当する(第7図)。全粒子の加重平均値は139.8 $\pm$ 1.3 Ma (ペリアシアン期～バラングニアン期) である。凝灰質千枚岩のジルコン年代は約30 m.y.の広い年代幅が認められ、MSWDも5.0とやや大きい値を示す。付加コンプレックス中の珪長質凝灰岩の中には密度流として再堆積したものが存在することが知られている(木村ほか, 1996; 坂本ほか, 2012)。そこで、本報告では凝灰質千枚岩が再堆積した粒子を含む可能性を踏まえ、その年代解釈としてもYC1 $\sigma$ を採用した。よって、本試料の堆積年代はYC1 $\sigma$ の年代であるバラングニアン期後期であると考えられる。

以上のデータをもとに柏木ユニットの海洋プレート層序について再検討を行う(第7図)。柏木ユニットのチャートにはペルム紀の放散虫及びゴノドント化石が含まれており(小池ほか, 1980; 指田, 1992)、海洋プレート層序の下限はペルム紀以前まで遡る。またチャートからは、後期ジュラ紀の放散虫化石も報告されており (Hisada *et al.*, 1986)、後期ジュラ紀までチャートの堆積が継続していたことを示している。頁岩からは関東山地東部にて中期ジュラ紀の放散虫化石が産出しているが(指田, 1992)、万場地域では中期～後期ジュラ紀の放散虫化石が (Sekine *et al.*, 2001)、萩平地域では後期ジュラ紀～前期白亜紀の放散虫化石が(松岡, 1996, 2007, 2009, 2013) 報告されている。本研究により、凝灰質千枚岩からバラングニアン期後期に相当する年代が得られた。そのため、柏木ユニットには少なくともバラングニアン期後期に噴出した火山灰が含まれている。さらに、砂岩の堆積年代として、パレミアン期に相当する128.2 $\pm$ 1.4





第7図 柏木ユニットのジルコンU-Pb年代データと放散虫年代のまとめ。

Fig. 7 Summary of the zircon U-Pb ages and radiolarian ages in the Kashiwagi Unit.

Ma,  $126.7 \pm 2.0$  Maが得られた。四国中央部の北部秩父帯の柏木ユニット(Aユニット)の砂岩からは  $131.2 \pm 3.8$  Maという最も若いクラスターの加重平均年代が得られている(Endo and Wallis, 2017)。本研究の結果は、Endo and Wallis (2017)の結果よりやや若い誤差の範囲内で一致する。これまで本地域の柏木ユニットの碎屑岩の年代は頁岩あるいは珪質頁岩の放散虫化石で制約されおり、その上限は前期白亜紀のバラングニアン期であった。一方、砂岩は海洋プレート層序の最上位を構成しており、その年代で付加直前の年代を制約することが可能である。以上を踏まえると、本研究によって柏木ユニットにおける付加作用は、バレミアン期以降であることが明らかになった。

**謝辞：**ジルコンU-Pb年代測定では、名古屋大学大学院環境学研究科の山本鋼志教授にご指導いただき、同研究科の志村侑亮氏にご協力いただいた。また、株式会社京都フィッシュン・トラックの檀原 徹氏、岩野英樹氏には、ジルコンのマウント・研磨及び試料KS02の測定をしていただいた。査読者の宮崎一博博士、担当編集者の内野隆之博士(共に地質情報研究部門)には、有益なコメントをいただき本稿は大きく改善された。以上の方々に厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部はJSPS科研費16K06686を用いて行った。

## 文献

- Aoki, K., Iizuka, T., Hirata, T., Maruyama, S. and Terabayashi, M. (2007) Tectonic boundary between the Sanbagawa belt and the Shimanto belt in central Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soci. Japan*, **113**, 171–183.
- Baumgartner, P. O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Dumitrica-Jud, R., Dumitrica, P., Pillecuit, A., Urquhart, E., Matsuoka, A., Daneliran, T., Bartolini, A., Carter, E. S., De Wever, P., Kito, N., Marcucci, M. and Steiger, T. (1995) Radiolarian catalogue and systematics of Middle Jurassic to Early Cretaceous Tethyan genera and species. In Baumgartner P. O., O'Dogherty, L., Grican, S., Urquhart, E., Pillecuit, A. and Wever, P. D. eds. *Middle Jurassic to Lower Cretaceous radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology. Memories de Geologie (Lausanne)*, **23**, 37–685.
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O. and Kinny, P. (2003) Atlas of Zircon Textures. *Rev. Mineral. Geochem.*, **53**, 469–500.
- Dickinson, W. R. and Gehrels, G. E. (2009) Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **288**, 115–125.
- Endo, S. and Wallis, S. R. (2017) Structural architecture and

- low-grade metamorphism of the Mikabu-Northern Chichibu accretionary wedge, SW Japan. *J. Metamorph. Geol.*, **35**, 695–716.
- 藤本治義 (1935) 関東山地北部の地質学的研究 (其の1), 地質雑, **42**, 137–151.
- Hara, H., Nakamura, Y., Hara, K., Kurihara, T., Mori, H., Iwano, H., Danhara, T., Sakata, S., and Hirata, T. (2017) Detrital zircon multi-chronology, provenance, and low-grade metamorphism of the Cretaceous Shimanto accretionary complex, eastern Shikoku, Southwest Japan: Tectonic evolution in response to igneous activity within a subduction zone. *Island Arc*, **26**, e12218.
- Hirajima, T. and Banno, S. (1989) Records of high pressure metamorphism in the so-called "sperfacial nappe" in the Chichibu belt, Japan. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **3**, 661–664.
- 久田健一郎 (1984) 関東山地南部芦ヶ久保一鴨沢地域の中・古生層. 地質雑, **90**, 139–156.
- Hisada, K., Kishida, Y. and Sashida, K. (1986) Upper Jurassic Chert of the Hashidate Group in the Kanto Mountains, Central Japan. *Mem. Osaka Kyoiku Univ. Ser. III*, **35**, 89–94.
- 久田健一郎・富永紘平・関根一昭・松岡喜久次・加藤潔 (2016) 関東山地秩父帯北帯の地質. 地質雑, **122**, 325–342.
- Horn, I. and von Blanckenburg, F. (2007) Investigation on elemental and isotopic fractionation during 196 nm femtosecond laser ablation multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, **62**, 410–422.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) Inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004) The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chem. Geol.*, **211**, 47–69.
- 関東山地団体研究グループ (1994) 関東山地, 神流川流域の秩父累帯北帯. 地球科学, **48**, 83–101.
- 関東山地団体研究グループ (2002) 関東山地, ミカブ緑色岩類に累重する碎屑岩層—西御荷鉾層の起源と堆積環境—. 地球科学, **56**, 333–346.
- 木村克己・別所孝範・坂本隆彦・公文富士夫・鈴木博之 (1996) 紀伊半島四万十累層群の上部白亜系竜神累層に挟まれる酸性凝灰岩のフィッシュン・トラック年代とその意義. 地質雑, **102**, 116–124.
- 高地吉一・折橋裕二・小原北士・藤本辰弥・春田泰宏・山本綱志 (2015) 213 nm Nd: YAGレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計を用いたジルコンのU-Pb年代測定: Pb/U分別補正にNIST SRM 610を用いるための分析条件最適化. 地球化学, **49**, 19–35.
- 小池敏夫・池崎文也・岡村 晋・高島清行 (1980) 関東山地各地の層序ならびに地質構造. 日本列島北部における地向斜および構造体区分の再検討 (総研A報告書), 77–86.
- Ludwig, K. R. (2012) User's manual for Isoplot 3.75: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication No.5, 75p.
- 牧本 博・竹内圭史 (1992) 寄居地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991) Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: From remote ocean to subduction zone. *Tectonics*, **10**, 475–499.
- 松岡 篤・山北 聡・榊原正幸・久田健一郎 (1998) 付加地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. 地質雑, **104**, 634–653.
- 松岡喜久次 (1996) 埼玉県比企郡小川町, 秩父累帯北帯から産出したジュラ紀新世の放散虫化石. 地球科学, **50**, 251–255.
- 松岡喜久次 (2007) 関東山地北東部, 秩父帯北帯から産出した白亜紀古世の放散虫化石. 地球科学, **61**, 421–424.
- 松岡喜久次 (2009) 埼玉県小川町, 秩父帯北帯のチャート・珪質岩ユニットから産出したジュラ紀新世放散虫化石. 埼玉自然の博研報, **3**, 49–54.
- 松岡喜久次 (2013) 関東山地北東部, 秩父帯北帯の柏木ユニット: 岩相, 地質年代および海洋プレート層序. 地球科学, **67**, 101–112.
- 坂本隆彦・別所孝範・山本俊哉 (2012) 紀伊半島四万十帯龍神付加コンプレックスに含まれる珪長質凝灰岩の堆積過程. 地団研専報, no. 59, 175–183.
- 指田勝男 (1992) 関東山地東縁部の秩父帯北・中帯. 地学雑, **101**, 573–593.
- Sekine, K., Iijima, H. and Saito, Y. (2001) Jurassic radiolarians from the low-grade metamorphic zone of the northern part of the Chichibu Belt in the Kanto Mountains, Central Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Ser. C*, **27**, 101–108.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N. and Whitehouse, M. J. (2008) Plešovice zircon — A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.*, **249**, 1–35.
- Spencer, C. J., Kirkland, C. L. and Taylor, R. J. M. (2016) Strategies towards statistically robust interpretations of

- in situ U-Pb zircon geochronology. *Geosci. Front.*, **7**, 581–589.
- 竹内 誠・大川真弘・川原健太郎・富田 覚・横田秀晴・常盤哲也・古川竜太(2015) ジルコンU-Pb年代からみた富山県北東部白亜系陸成層の再定義. *地質雑*, **121**, 1–17.
- 滝沢 茂 (1979) 関東山地北部の秩父帯の層序. 鹿沼茂三郎教授退官記念論文集「コノドントならびにナマコの骨片化石生層序」, 89–102.
- Tsutsumi, Y., Miyashita, A., Terada, K. and Hidaka, H. (2009) SHRIMP U-Pb dating of detrital zircons from the Sanbagawa Belt, Kanto Mountains, Japan: Need to revise the framework of the belt. *Jour. Mineral. Petrol. Sci.*, **104**, 12–24.
- Wakita, K. and Metcalfe, I. (2005) Ocean Plate Stratigraphy in East and Southeast Asia. *Jour. Asian Earth Sci.*, **24**, 679–702.
- Wiedenbeck, M., Allé P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., Von, Q. A., Roddick, J. and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1–23.
- Wiedenbeck, M., Hanchar, J. M., Peck, W. H., Sylvester, P., Valley, J., Whitehouse, M., Kronz, A., Morishita, Y., Nasdala, L., Fiebig, J., Franchi, I., Girard, J., Greenwood, R. C., Hinton, R., Kita, N., Mason, P. R. D., Norman, M., Ogasawara, M., Piccoli, P. M., Rhede, D., Satoh, H., Schulz-Dobrick, B., Skår, O., Spicuzza, M., Terada, K., Tindle, A., Togashi, S., Vennemann, T., Xie, Q. and Zheng, Y. (2004) Further characterisation of the 91500 zircon crystal. *Geostand. Geoanalyt. Res.*, **28**, 9–39.
- ( 受付 : 2018年9月18日 ; 受理 : 2018年12月26日 )  
( 早期公開 : 2019年4月26日 )

北部秩父帯付加コンプレックス柏木ユニットのジルコン U-Pb 年代 (富永ほか)

付録

Appendices

付表A1 LA-ICP-MSで測定した西御荷鉾山地域の砂岩(試料KS01)のU-Pb同位体データ。データの解析には太字で示した年代値を用いた。\*はYC1σ (Dickinson and Gehrels, 2009)に採用されたデータを示す。誤差は1σの値を採用した。

Table A1 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data for sandstone (KS01) in the Mt. Nishimikabo area. Age data used for the analysis are indicated by boldface. The asterisks indicate the data adopted for YC1σ (Dickinson and Gehrels, 2009). All errors are quoted as 1σ.

Sample No.	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>235</sup> U- <sup>207</sup> Pb age (Ma)	<sup>238</sup> U- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb- <sup>206</sup> Pb age (Ma)	Th/U	Remarks
KS01-001	4.8334 ± 0.1099	0.3200 ± 0.0036	0.1095 ± 0.0022	1790.7 ± 40.7	1789.8 ± 20.4	<b>1792 ± 35</b>	0.59	
KS01-002	<i>0.7827 ± 0.0142</i>	<i>0.0544 ± 0.0006</i>	<i>0.1044 ± 0.0016</i>	<i>587.0 ± 10.6</i>	<b>341.4 ± 3.5</b>	<i>1704 ± 26</i>	0.22	Discordant
KS01-003	5.0086 ± 0.1176	0.3337 ± 0.0039	0.1088 ± 0.0022	1820.7 ± 42.8	1856.5 ± 21.5	<b>1781 ± 36</b>	0.85	
KS01-004	0.1969 ± 0.0057	0.0283 ± 0.0003	0.0505 ± 0.0014	182.5 ± 5.3	<b>179.8 ± 2.0</b>	218 ± 6	0.16	
KS01-005	0.4233 ± 0.0183	0.0531 ± 0.0007	0.0578 ± 0.0024	358.4 ± 15.5	<b>333.7 ± 4.5</b>	522 ± 22	0.24	
KS01-006	0.2894 ± 0.0166	0.0399 ± 0.0006	0.0526 ± 0.0029	258.1 ± 14.8	<b>252.4 ± 3.9</b>	310 ± 17	0.65	
KS01-007	0.1965 ± 0.0080	0.0278 ± 0.0004	0.0513 ± 0.0020	182.2 ± 7.5	<b>176.7 ± 2.2</b>	255 ± 10	0.36	
KS01-008	0.3028 ± 0.0165	0.0413 ± 0.0006	0.0532 ± 0.0028	268.6 ± 14.7	<b>260.7 ± 3.9</b>	339 ± 18	0.72	
KS01-009	0.1657 ± 0.0176	0.0226 ± 0.0005	0.0531 ± 0.0055	155.7 ± 16.5	<b>144.2 ± 3.5</b>	335 ± 35	0.81	
KS01-010	0.2541 ± 0.0112	0.0356 ± 0.0005	0.0517 ± 0.0022	229.9 ± 10.1	<b>225.6 ± 3.2</b>	275 ± 11	0.84	
KS01-011	5.1535 ± 0.0907	0.3309 ± 0.0039	0.1130 ± 0.0015	1844.9 ± 32.5	1842.7 ± 21.9	<b>1848 ± 24</b>	0.27	
KS01-012	0.4534 ± 0.0138	0.0593 ± 0.0008	0.0554 ± 0.0015	379.6 ± 11.5	<b>371.6 ± 4.7</b>	430 ± 12	0.35	
KS01-013	<i>0.2176 ± 0.0123</i>	<i>0.0416 ± 0.0006</i>	<i>0.0380 ± 0.0021</i>	<i>199.9 ± 11.3</i>	<b>262.4 ± 4.0</b>	No data	0.59	Discordant
KS01-014	0.1524 ± 0.0181	0.0213 ± 0.0006	0.0518 ± 0.0060	144.0 ± 17.1	<b>136.1 ± 3.6</b>	277 ± 32	0.88	
KS01-015	0.3070 ± 0.0082	0.0414 ± 0.0005	0.0538 ± 0.0013	271.9 ± 7.3	<b>261.3 ± 3.2</b>	365 ± 9	0.48	
KS01-016	<i>0.1245 ± 0.0154</i>	<i>0.0212 ± 0.0005</i>	<i>0.0426 ± 0.0051</i>	<i>119.1 ± 14.7</i>	<b>135.2 ± 3.4</b>	No data	1.06	Discordant
KS01-017	0.3124 ± 0.0336	0.0451 ± 0.0011	0.0503 ± 0.0053	276.1 ± 29.7	<b>284.3 ± 7.0</b>	207 ± 22	0.36	Rejected data
KS01-018	0.2157 ± 0.0160	0.0300 ± 0.0006	0.0522 ± 0.0037	198.4 ± 14.7	<b>190.4 ± 3.7</b>	295 ± 21	0.57	
KS01-019	0.2506 ± 0.0067	0.0355 ± 0.0005	0.0511 ± 0.0012	227.1 ± 6.0	<b>225.2 ± 3.0</b>	247 ± 6	0.69	
KS01-020	4.9978 ± 0.1308	0.3289 ± 0.0046	0.1102 ± 0.0024	1818.9 ± 47.6	1833.0 ± 25.7	<b>1803 ± 40</b>	0.74	
KS01-021	0.3761 ± 0.0132	0.0511 ± 0.0007	0.0533 ± 0.0017	324.2 ± 11.4	<b>321.5 ± 4.6</b>	344 ± 11	0.20	
KS01-022	0.3344 ± 0.0161	0.0423 ± 0.0007	0.0574 ± 0.0026	292.9 ± 14.1	<b>266.8 ± 4.3</b>	507 ± 23	0.48	
KS01-023	<i>0.6944 ± 0.0276</i>	<i>0.0377 ± 0.0006</i>	<i>0.1337 ± 0.0048</i>	<i>535.4 ± 21.3</i>	<b>238.3 ± 4.1</b>	<i>2148 ± 77</i>	0.58	Discordant
KS01-024	0.1450 ± 0.0095	0.0213 ± 0.0004	0.0494 ± 0.0031	137.5 ± 9.0	<b>135.9 ± 2.5</b>	167 ± 11	0.38	
KS01-025	0.2531 ± 0.0169	0.0351 ± 0.0007	0.0523 ± 0.0033	229.1 ± 15.3	<b>222.5 ± 4.2</b>	229 ± 19	0.27	
KS01-026	0.2689 ± 0.0098	0.0353 ± 0.0005	0.0552 ± 0.0018	241.8 ± 8.8	<b>223.8 ± 3.2</b>	421 ± 14	0.15	
KS01-027	0.2451 ± 0.0106	0.0343 ± 0.0005	0.0519 ± 0.0021	222.6 ± 9.6	<b>217.2 ± 3.3</b>	281 ± 11	0.44	
KS01-028	0.1417 ± 0.0057	0.0209 ± 0.0003	0.0492 ± 0.0018	134.5 ± 5.4	<b>133.2 ± 1.8</b>	158 ± 6	0.77	
KS01-029	0.2542 ± 0.0151	0.0359 ± 0.0006	0.0514 ± 0.0029	230.0 ± 13.7	<b>227.3 ± 3.8</b>	258 ± 15	0.41	
KS01-030	0.1918 ± 0.0110	0.0267 ± 0.0004	0.0522 ± 0.0029	178.2 ± 10.2	<b>169.7 ± 2.8</b>	293 ± 16	0.47	
KS01-031	3.7830 ± 0.0891	0.2541 ± 0.0032	0.1080 ± 0.0022	1589.1 ± 37.4	1459.7 ± 18.4	<b>1766 ± 35</b>	0.96	
KS01-032	<i>0.2549 ± 0.0463</i>	<i>0.0309 ± 0.0013</i>	<i>0.0598 ± 0.0106</i>	<i>230.5 ± 41.8</i>	<b>196.1 ± 8.2</b>	<i>599 ± 106</i>	0.50	Discordant
KS01-033	<i>2.9364 ± 0.0578</i>	<i>0.0518 ± 0.0007</i>	<i>0.4108 ± 0.0061</i>	<i>1391.3 ± 27.4</i>	<b>325.8 ± 4.2</b>	<i>3950 ± 59</i>	0.45	Discordant
KS01-034	5.3026 ± 0.1012	0.3302 ± 0.0039	0.1165 ± 0.0017	1869.2 ± 35.7	1839.4 ± 21.9	<b>1903 ± 28</b>	0.09	
KS01-035	0.1877 ± 0.0111	0.0274 ± 0.0005	0.0496 ± 0.0028	174.7 ± 10.4	<b>174.5 ± 2.9</b>	177 ± 10	0.35	
KS01-036	0.2753 ± 0.0094	0.0376 ± 0.0005	0.0531 ± 0.0017	246.9 ± 8.4	<b>237.8 ± 3.1</b>	335 ± 11	0.43	
KS01-037	<i>0.1637 ± 0.0135</i>	<i>0.0199 ± 0.0004</i>	<i>0.0597 ± 0.0048</i>	<i>153.9 ± 12.7</i>	<b>126.8 ± 2.6</b>	<i>595 ± 47</i>	0.95	Discordant
KS01-038	0.1378 ± 0.0161	0.0202 ± 0.0005	0.0496 ± 0.0057	131.1 ± 15.4	<b>128.7 ± 3.1</b>	175 ± 20	1.04	*
KS01-039	<i>0.2391 ± 0.0188</i>	<i>0.0298 ± 0.0006</i>	<i>0.0583 ± 0.0044</i>	<i>217.7 ± 17.2</i>	<b>189.1 ± 3.7</b>	<i>540 ± 41</i>	0.61	Discordant
KS01-040	<i>0.1895 ± 0.0294</i>	<i>0.0211 ± 0.0007</i>	<i>0.0650 ± 0.0098</i>	<i>176.2 ± 27.3</i>	<b>134.8 ± 4.6</b>	<i>775 ± 117</i>	1.09	Discordant
KS01-041	<i>3.6860 ± 0.1258</i>	<i>0.0275 ± 0.0005</i>	<i>0.9725 ± 0.0270</i>	<i>1568.3 ± 53.5</i>	<b>174.8 ± 3.5</b>	<i>4597 ± 127</i>	0.62	Discordant
KS01-042	5.4936 ± 0.1063	0.3442 ± 0.0035	0.1157 ± 0.0019	1899.5 ± 36.8	1907.1 ± 19.3	<b>1892 ± 31</b>	0.34	
KS01-043	<i>0.2373 ± 0.0145</i>	<i>0.0305 ± 0.0005</i>	<i>0.0563 ± 0.0033</i>	<i>216.2 ± 13.2</i>	<b>194.0 ± 3.1</b>	<i>466 ± 28</i>	0.72	Discordant
KS01-044	<i>0.9823 ± 0.0417</i>	<i>0.0786 ± 0.0011</i>	<i>0.0907 ± 0.0036</i>	<i>694.8 ± 29.5</i>	<b>487.6 ± 7.0</b>	<i>1440 ± 57</i>	0.37	Discordant
KS01-045	5.2739 ± 0.1056	0.3385 ± 0.0035	0.1130 ± 0.0019	1864.6 ± 37.4	1879.6 ± 19.2	<b>1849 ± 32</b>	0.41	

付表A1 続き.  
Table A1 Continued.

Sample No.	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}-^{207}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	Th/U	Remarks
KS01-046	0.1622 ± 0.0141	0.0212 ± 0.0004	0.0554 ± 0.0047	152.6 ± 13.3	135.4 ± 2.8	431 ± 36	0.90	Discordant
KS01-047	0.1273 ± 0.0187	0.0203 ± 0.0006	0.0455 ± 0.0065	121.7 ± 17.9	129.6 ± 3.9	No data	0.69	*
KS01-048	4.3369 ± 0.0762	0.2778 ± 0.0026	0.1132 ± 0.0017	1700.3 ± 29.9	1580.4 ± 15.0	1852 ± 27	0.34	
KS01-049	3.6953 ± 0.0512	0.2365 ± 0.0021	0.1133 ± 0.0012	1570.3 ± 21.8	1368.4 ± 12.1	1854 ± 20	0.63	Discordant
KS01-050	0.1222 ± 0.0143	0.0199 ± 0.0005	0.0446 ± 0.0051	117.1 ± 13.7	126.8 ± 3.1	No data	0.97	*
KS01-051	5.5253 ± 0.0891	0.3587 ± 0.0033	0.1117 ± 0.0015	1904.5 ± 30.7	1975.9 ± 18.2	1828 ± 24	0.29	
KS01-052	0.2716 ± 0.0132	0.0362 ± 0.0005	0.0545 ± 0.0025	243.9 ± 11.9	229.0 ± 3.1	391 ± 18	0.48	
KS01-053	0.2004 ± 0.0138	0.0289 ± 0.0005	0.0503 ± 0.0034	185.5 ± 12.8	183.7 ± 3.1	209 ± 14	0.39	
KS01-054	5.4273 ± 0.1009	0.3483 ± 0.0034	0.1130 ± 0.0018	1889.1 ± 35.1	1926.3 ± 18.6	1849 ± 29	0.21	
KS01-055	0.4211 ± 0.0267	0.0211 ± 0.0005	0.1446 ± 0.0085	356.8 ± 22.6	134.7 ± 3.2	2283 ± 134	0.99	Discordant
KS01-056	0.7979 ± 0.0310	0.0383 ± 0.0006	0.1511 ± 0.0053	595.6 ± 23.1	242.2 ± 4.1	2359 ± 83	0.48	Discordant
KS01-057	0.1472 ± 0.0111	0.0200 ± 0.0004	0.0535 ± 0.0039	139.4 ± 10.6	127.4 ± 2.6	351 ± 26	0.69	*
KS01-058	0.1917 ± 0.0088	0.0263 ± 0.0004	0.0529 ± 0.0023	178.1 ± 8.2	167.3 ± 2.5	324 ± 14	0.14	
KS01-059	0.2711 ± 0.0278	0.0334 ± 0.0009	0.0589 ± 0.0058	243.6 ± 25.0	211.7 ± 5.5	563 ± 56	0.74	Discordant
KS01-060	0.3061 ± 0.0236	0.0412 ± 0.0008	0.0539 ± 0.0040	271.2 ± 20.9	260.1 ± 5.3	369 ± 27	0.67	
KS01-061	0.1393 ± 0.0144	0.0203 ± 0.0005	0.0499 ± 0.0050	132.4 ± 13.7	129.3 ± 3.2	189 ± 19	1.07	*
KS01-062	0.1557 ± 0.0183	0.0238 ± 0.0006	0.0475 ± 0.0054	146.9 ± 17.3	151.5 ± 4.1	74 ± 8	0.64	
KS01-063	0.2523 ± 0.0123	0.0371 ± 0.0006	0.0493 ± 0.0023	228.4 ± 11.1	235.1 ± 3.6	161 ± 7	0.17	
KS01-064	0.2801 ± 0.0304	0.0398 ± 0.0010	0.0510 ± 0.0054	250.7 ± 27.2	251.6 ± 6.3	243 ± 26	0.48	
KS01-065	0.2513 ± 0.0168	0.0310 ± 0.0006	0.0587 ± 0.0038	227.7 ± 15.2	197.1 ± 3.5	557 ± 36	0.77	Discordant
KS01-066	0.1533 ± 0.0118	0.0197 ± 0.0004	0.0565 ± 0.0042	144.8 ± 11.2	125.6 ± 2.5	474 ± 35	0.77	Discordant
KS01-067	0.1555 ± 0.0164	0.0209 ± 0.0005	0.0540 ± 0.0055	146.7 ± 15.4	133.1 ± 3.3	373 ± 38	1.17	
KS01-068	0.2368 ± 0.0121	0.0323 ± 0.0005	0.0531 ± 0.0026	215.8 ± 11.0	205.1 ± 3.0	335 ± 16	0.69	
KS01-069	0.1167 ± 0.0102	0.0198 ± 0.0004	0.0427 ± 0.0036	112.1 ± 9.8	126.6 ± 2.5	No data	0.60	Discordant
KS01-070	0.1897 ± 0.0117	0.0219 ± 0.0004	0.0628 ± 0.0037	176.3 ± 10.8	139.7 ± 2.4	702 ± 41	1.07	Discordant
KS01-071	0.2076 ± 0.0083	0.0260 ± 0.0003	0.0580 ± 0.0022	191.6 ± 7.6	165.3 ± 2.1	529 ± 20	0.44	Discordant
KS01-072	5.4482 ± 0.1514	0.3336 ± 0.0041	0.1185 ± 0.0030	1892.4 ± 52.6	1855.6 ± 22.9	1934 ± 48	0.86	
KS01-073	0.3992 ± 0.0264	0.0340 ± 0.0006	0.0853 ± 0.0054	341.0 ± 22.5	215.3 ± 4.1	1322 ± 84	0.94	Discordant
KS01-074	0.2414 ± 0.0191	0.0365 ± 0.0007	0.0480 ± 0.0037	219.6 ± 17.4	230.8 ± 4.1	102 ± 8	0.68	
KS01-075	0.1558 ± 0.0062	0.0218 ± 0.0002	0.0519 ± 0.0020	147.0 ± 5.9	138.9 ± 1.6	280 ± 11	0.46	
KS01-076	0.6617 ± 0.0463	0.0398 ± 0.0009	0.1205 ± 0.0080	515.7 ± 36.1	251.7 ± 5.7	1964 ± 130	0.92	Discordant
KS01-077	0.3302 ± 0.0155	0.0469 ± 0.0006	0.0510 ± 0.0023	289.7 ± 13.6	295.7 ± 3.7	242 ± 11	0.24	
KS01-078	5.7830 ± 0.1090	0.3579 ± 0.0032	0.1172 ± 0.0019	1943.8 ± 36.6	1972.3 ± 17.9	1914 ± 32	0.20	
KS01-079	0.1723 ± 0.0064	0.0255 ± 0.0003	0.0489 ± 0.0017	161.4 ± 6.0	162.6 ± 1.7	144 ± 5	0.76	
KS01-080	4.2689 ± 0.0752	0.2714 ± 0.0024	0.1141 ± 0.0017	1687.3 ± 29.7	1547.9 ± 13.6	1866 ± 29	0.03	
KS01-081	0.2557 ± 0.0188	0.0377 ± 0.0006	0.0491 ± 0.0035	231.2 ± 17.0	238.8 ± 4.1	154 ± 11	0.47	
KS01-082	0.1952 ± 0.0122	0.0287 ± 0.0005	0.0493 ± 0.0029	181.0 ± 11.3	182.6 ± 3.4	162 ± 10	0.60	
KS01-083	4.6810 ± 0.0980	0.3018 ± 0.0043	0.1125 ± 0.0017	1763.8 ± 36.9	1700.0 ± 24.5	1841 ± 28	0.17	
KS01-084	0.3227 ± 0.0226	0.0365 ± 0.0008	0.0641 ± 0.0043	284.0 ± 19.9	231.1 ± 4.9	746 ± 50	0.34	Discordant
KS01-085	1.3924 ± 0.0438	0.0243 ± 0.0005	0.4152 ± 0.0106	885.7 ± 27.9	154.9 ± 2.9	3966 ± 101	0.51	Discordant
KS01-086	0.1365 ± 0.0063	0.0215 ± 0.0004	0.0460 ± 0.0020	129.9 ± 6.0	137.1 ± 2.3	No data	0.52	
KS01-087	5.1332 ± 0.1152	0.3365 ± 0.0049	0.1106 ± 0.0019	1841.5 ± 41.3	1869.8 ± 27.3	1810 ± 31	0.27	
KS01-088	5.5391 ± 0.1214	0.3491 ± 0.0051	0.1151 ± 0.0019	1906.6 ± 41.8	1930.3 ± 28.1	1882 ± 31	0.18	
KS01-089	0.2431 ± 0.0118	0.0338 ± 0.0006	0.0522 ± 0.0024	221.0 ± 10.7	214.0 ± 3.7	296 ± 13	0.63	Rejected data
KS01-090	0.2747 ± 0.0164	0.0216 ± 0.0005	0.0924 ± 0.0052	246.5 ± 14.7	137.5 ± 2.9	1476 ± 82	0.91	Discordant



北部秩父帯付加コンプレックス柏木ユニットのジルコン U-Pb 年代 (富永ほか)

付表A2 LA-ICP-MSで測定した萩平地域の砂岩(試料KS02)のU-Pb同位体データ. データの解析には太字で示した年代値を用いた. \*はYC1 $\sigma$  (Dickinson and Gehrels, 2009)に採用されたデータを示す. 誤差は1 $\sigma$ の値を採用した.

Table A2 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data for sandstone (KS02) in the Hagidaira area. Age data used for the analysis are indicated by boldface. The asterisks indicate the data adopted for YC1 $\sigma$  (Dickinson and Gehrels, 2009). All errors are quoted as 1 $\sigma$ .

Sample No.	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}-^{207}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	Th/U	Remarks
KS02-001	0.2328 $\pm$ 0.0148	0.0347 $\pm$ 0.0005	0.0487 $\pm$ 0.0029	212.5 $\pm$ 14.8	<b>219.6 <math>\pm</math> 3.1</b>	133 $\pm$ 139	0.61	
KS02-002	0.2764 $\pm$ 0.0119	0.0372 $\pm$ 0.0004	0.0539 $\pm$ 0.0023	247.8 $\pm$ 11.9	<b>235.2 <math>\pm</math> 2.5</b>	368 $\pm$ 94	0.14	
KS02-003	0.1901 $\pm$ 0.0084	0.0272 $\pm$ 0.0003	0.0507 $\pm$ 0.0022	176.7 $\pm$ 8.5	<b>173.0 <math>\pm</math> 1.9</b>	225 $\pm$ 102	0.42	
KS02-004	<i>0.1644 <math>\pm</math> 0.0134</i>	<i>0.0286 <math>\pm</math> 0.0005</i>	<i>0.0416 <math>\pm</math> 0.0032</i>	<i>154.6 <math>\pm</math> 13.4</i>	<b>182.0 <math>\pm</math> 3.0</b>	<i>-248 <math>\pm</math> 194</i>	<i>0.91</i>	<i>Discordant</i>
KS02-005	5.2451 $\pm$ 0.1469	0.3365 $\pm$ 0.0026	0.1130 $\pm$ 0.0033	1860.0 $\pm$ 130.8	1870.0 $\pm$ 17.0	<b>1848 <math>\pm</math> 53</b>	0.05	
KS02-006	4.8396 $\pm$ 0.1812	0.3115 $\pm$ 0.0027	0.1127 $\pm$ 0.0034	1791.8 $\pm$ 157.0	1747.9 $\pm$ 17.3	<b>1843 <math>\pm</math> 55</b>	0.44	
KS02-007	0.2677 $\pm$ 0.0160	0.0374 $\pm$ 0.0005	0.0519 $\pm$ 0.0029	240.8 $\pm$ 16.0	<b>236.8 <math>\pm</math> 3.2</b>	280 $\pm$ 127	0.41	
KS02-008	0.5442 $\pm$ 0.0229	0.0687 $\pm$ 0.0007	0.0574 $\pm$ 0.0022	441.2 $\pm$ 22.7	<b>428.5 <math>\pm</math> 4.4</b>	507 $\pm$ 85	0.07	
KS02-009	5.8475 $\pm$ 0.1887	0.3379 $\pm$ 0.0028	0.1255 $\pm$ 0.0037	1953.5 $\pm$ 162.5	1876.4 $\pm$ 17.8	<b>2036 <math>\pm</math> 52</b>	0.05	
KS02-010	5.1371 $\pm$ 0.1993	0.3234 $\pm$ 0.0028	0.1151 $\pm$ 0.0035	1842.3 $\pm$ 170.3	1806.5 $\pm$ 18.2	<b>1882 <math>\pm</math> 55</b>	0.36	
KS02-011	<i>0.1723 <math>\pm</math> 0.0214</i>	<i>0.0203 <math>\pm</math> 0.0006</i>	<i>0.0616 <math>\pm</math> 0.0071</i>	<i>161.4 <math>\pm</math> 21.2</i>	<b>129.5 <math>\pm</math> 3.7</b>	<i>659 <math>\pm</math> 248</i>	<i>0.89</i>	<i>Discordant</i>
KS02-012	0.1968 $\pm$ 0.0069	0.0292 $\pm$ 0.0003	0.0489 $\pm$ 0.0018	182.4 $\pm$ 7.0	<b>185.3 <math>\pm</math> 1.7</b>	144 $\pm$ 86	0.20	
KS02-013	0.2080 $\pm$ 0.0095	0.0293 $\pm$ 0.0003	0.0515 $\pm$ 0.0023	191.8 $\pm$ 9.6	<b>185.9 <math>\pm</math> 2.1</b>	265 $\pm$ 103	0.45	
KS02-014	0.2038 $\pm$ 0.0164	0.0285 $\pm$ 0.0005	0.0518 $\pm$ 0.0039	188.3 $\pm$ 16.3	<b>181.1 <math>\pm</math> 3.2</b>	279 $\pm$ 171	0.45	
KS02-015	0.2857 $\pm$ 0.0191	0.0418 $\pm$ 0.0006	0.0496 $\pm$ 0.0030	255.1 $\pm$ 19.0	<b>264.0 <math>\pm</math> 3.8</b>	174 $\pm$ 141	0.39	
KS02-016	0.2015 $\pm$ 0.0132	0.0306 $\pm$ 0.0004	0.0478 $\pm$ 0.0030	186.4 $\pm$ 13.3	<b>194.2 <math>\pm</math> 2.8</b>	87 $\pm$ 147	0.52	
KS02-017	0.1521 $\pm$ 0.0116	0.0216 $\pm$ 0.0004	0.0511 $\pm$ 0.0037	143.8 $\pm$ 11.7	<b>137.7 <math>\pm</math> 2.3</b>	244 $\pm$ 168	0.67	
KS02-018	0.2880 $\pm$ 0.0269	0.0444 $\pm$ 0.0008	0.0470 $\pm$ 0.0039	257.0 $\pm$ 26.6	<b>280.3 <math>\pm</math> 5.3</b>	48 $\pm$ 197	0.36	
KS02-019	4.7681 $\pm$ 0.2101	0.2968 $\pm$ 0.0028	0.1165 $\pm$ 0.0037	1779.3 $\pm$ 178.1	1675.3 $\pm$ 17.7	<b>1903 <math>\pm</math> 57</b>	0.57	
KS02-020	0.2387 $\pm$ 0.0099	0.0345 $\pm$ 0.0003	0.0502 $\pm$ 0.0021	217.3 $\pm$ 10.0	<b>218.5 <math>\pm</math> 2.2</b>	203 $\pm$ 95	0.33	
KS02-021	0.3155 $\pm$ 0.0376	0.0437 $\pm$ 0.0011	0.0523 $\pm$ 0.0053	278.4 $\pm$ 36.8	<b>276.0 <math>\pm</math> 7.3</b>	298 $\pm$ 231	0.47	
KS02-022	0.1980 $\pm$ 0.0148	0.0294 $\pm$ 0.0006	0.0489 $\pm$ 0.0033	183.4 $\pm$ 14.9	<b>186.5 <math>\pm</math> 3.6</b>	143 $\pm$ 159	0.57	
KS02-023	5.3190 $\pm$ 0.1727	0.3369 $\pm$ 0.0043	0.1145 $\pm$ 0.0017	1871.9 $\pm$ 150.6	1871.8 $\pm$ 27.4	<b>1871 <math>\pm</math> 26</b>	0.48	
KS02-024	5.1782 $\pm$ 0.1408	0.3214 $\pm$ 0.0040	0.1168 $\pm$ 0.0015	1849.0 $\pm$ 126.0	1796.6 $\pm$ 25.7	<b>1908 <math>\pm</math> 24</b>	0.17	
KS02-025	0.1836 $\pm$ 0.0056	0.0277 $\pm$ 0.0004	0.0480 $\pm$ 0.0013	171.1 $\pm$ 5.6	<b>176.4 <math>\pm</math> 2.4</b>	98 $\pm$ 65	0.43	
KS02-026	0.2531 $\pm$ 0.0144	0.0350 $\pm$ 0.0006	0.0524 $\pm$ 0.0026	229.1 $\pm$ 14.4	<b>221.8 <math>\pm</math> 3.7</b>	305 $\pm$ 114	0.59	
KS02-027	5.7061 $\pm$ 0.1144	0.3547 $\pm$ 0.0043	0.1167 $\pm$ 0.0013	1932.3 $\pm$ 104.6	1956.8 $\pm$ 27.7	<b>1906 <math>\pm</math> 20</b>	0.29	
KS02-028	5.3990 $\pm$ 0.1134	0.3379 $\pm$ 0.0041	0.1158 $\pm$ 0.0013	1884.7 $\pm$ 103.8	1876.5 $\pm$ 26.5	<b>1893 <math>\pm</math> 21</b>	0.29	
KS02-029	5.0670 $\pm$ 0.1693	0.3229 $\pm$ 0.0041	0.1138 $\pm$ 0.0017	1830.6 $\pm$ 148.1	1803.8 $\pm$ 26.4	<b>1861 <math>\pm</math> 27</b>	0.37	
KS02-030	5.2332 $\pm$ 0.1830	0.3329 $\pm$ 0.0043	0.1140 $\pm$ 0.0017	1858.0 $\pm$ 158.3	1852.3 $\pm$ 27.4	<b>1864 <math>\pm</math> 28</b>	0.64	

付表A2 続き.  
Table A2 Continued.

Sample No.	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}-^{207}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	Th/U	Remarks
KS02-031	0.3175 ± 0.0282	0.0419 ± 0.0009	0.0550 ± 0.0042	280.0 ± 27.9	<b>264.4 ± 5.7</b>	411 ± 169	0.52	
KS02-032	2.1755 ± 0.0733	0.1523 ± 0.0020	0.1036 ± 0.0020	1173.3 ± 69.4	<b>914.0 ± 12.9</b>	1689 ± 35	0.18	Discordant
KS02-033	0.2938 ± 0.0187	0.0428 ± 0.0007	0.0498 ± 0.0027	261.5 ± 18.7	<b>270.0 ± 4.7</b>	185 ± 128	0.78	
KS02-034	0.3417 ± 0.0311	0.0420 ± 0.0009	0.0590 ± 0.0045	298.5 ± 30.7	<b>265.2 ± 5.9</b>	567 ± 167	0.69	Discordant
KS02-035	0.1827 ± 0.0063	0.0268 ± 0.0004	0.0494 ± 0.0015	170.4 ± 6.3	<b>170.5 ± 2.4</b>	168 ± 73	0.20	
KS02-036	0.3855 ± 0.0153	0.0516 ± 0.0007	0.0541 ± 0.0018	331.1 ± 15.3	<b>324.5 ± 4.7</b>	377 ± 74	0.27	
KS02-037	0.3208 ± 0.0128	0.0432 ± 0.0006	0.0539 ± 0.0018	282.5 ± 12.8	<b>272.5 ± 3.9</b>	365 ± 76	0.50	
KS02-038	4.2582 ± 0.1033	0.2705 ± 0.0033	0.1141 ± 0.0015	1685.3 ± 95.3	1543.2 ± 21.5	<b>1866 ± 23</b>	0.15	
KS02-039	0.1564 ± 0.0130	0.0204 ± 0.0004	0.0555 ± 0.0043	147.6 ± 13.0	<b>130.3 ± 2.8</b>	434 ± 171	1.16	Discordant
KS02-040	0.1869 ± 0.0076	0.0265 ± 0.0004	0.0511 ± 0.0019	173.9 ± 7.7	<b>168.7 ± 2.5</b>	245 ± 85	0.19	
KS02-041	0.1376 ± 0.0109	0.0207 ± 0.0005	0.0481 ± 0.0035	130.9 ± 10.9	<b>132.3 ± 3.1</b>	106 ± 174	1.24	
KS02-042	0.2682 ± 0.0303	0.0432 ± 0.0012	0.0451 ± 0.0044	241.3 ± 29.8	<b>272.4 ± 7.5</b>	-53 ± 238	0.46	Discordant
KS02-043	0.2721 ± 0.0107	0.0399 ± 0.0008	0.0494 ± 0.0017	244.3 ± 10.7	<b>252.2 ± 4.8</b>	169 ± 81	0.27	
KS02-044	0.2394 ± 0.0112	0.0356 ± 0.0007	0.0487 ± 0.0020	217.9 ± 11.2	<b>225.7 ± 4.5</b>	133 ± 98	0.49	
KS02-045	4.9713 ± 0.1571	0.3151 ± 0.0057	0.1144 ± 0.0027	1814.5 ± 138.7	1765.5 ± 36.6	<b>1870 ± 43</b>	0.13	
KS02-046	0.1932 ± 0.0084	0.0282 ± 0.0005	0.0496 ± 0.0019	179.4 ± 8.4	<b>179.5 ± 3.5</b>	177 ± 92	0.53	
KS02-047	0.1644 ± 0.0090	0.0250 ± 0.0005	0.0477 ± 0.0024	154.6 ± 9.0	<b>159.0 ± 3.3</b>	86 ± 119	0.31	
KS02-048	0.1958 ± 0.0504	0.0341 ± 0.0017	0.0416 ± 0.0096	181.6 ± 48.7	<b>216.1 ± 11.1</b>	-249 ± 585	0.58	Discordant
KS02-049	0.1888 ± 0.0102	0.0289 ± 0.0006	0.0474 ± 0.0023	175.6 ± 10.2	<b>183.6 ± 3.8</b>	69 ± 116	0.16	
KS02-050	0.1845 ± 0.0108	0.0282 ± 0.0006	0.0474 ± 0.0025	172.0 ± 10.8	<b>179.5 ± 3.8</b>	68 ± 126	0.60	
KS02-051	0.2895 ± 0.0096	0.0408 ± 0.0007	0.0515 ± 0.0015	258.2 ± 9.7	<b>257.5 ± 4.8</b>	264 ± 68	0.33	
KS02-052	0.3832 ± 0.0364	0.0436 ± 0.0011	0.0638 ± 0.0050	329.4 ± 35.6	<b>274.9 ± 7.3</b>	734 ± 167	0.30	Discordant
KS02-053	0.3138 ± 0.0096	0.0418 ± 0.0008	0.0544 ± 0.0015	277.1 ± 9.6	<b>264.2 ± 4.9</b>	387 ± 61	0.04	
KS02-054	5.7017 ± 0.1815	0.3480 ± 0.0063	0.1188 ± 0.0028	1931.6 ± 157.3	1925.2 ± 40.3	<b>1938 ± 43</b>	0.06	
KS02-055	0.2355 ± 0.0103	0.0318 ± 0.0006	0.0537 ± 0.0021	214.7 ± 10.3	<b>201.7 ± 4.0</b>	360 ± 88	0.73	
KS02-056	0.2572 ± 0.0090	0.0364 ± 0.0007	0.0513 ± 0.0016	232.4 ± 9.0	<b>230.3 ± 4.3</b>	252 ± 72	0.31	
KS02-057	0.1986 ± 0.0082	0.0290 ± 0.0006	0.0497 ± 0.0019	184.0 ± 8.2	<b>184.1 ± 3.6</b>	181 ± 87	0.18	
KS02-058	0.2790 ± 0.0259	0.0404 ± 0.0010	0.0500 ± 0.0040	249.9 ± 25.6	<b>255.6 ± 6.5</b>	195 ± 187	0.78	
KS02-059	0.1386 ± 0.0095	0.0196 ± 0.0004	0.0512 ± 0.0033	131.8 ± 9.6	<b>125.4 ± 2.8</b>	248 ± 147	0.71	*
KS02-060	0.1444 ± 0.0109	0.0201 ± 0.0005	0.0522 ± 0.0037	137.0 ± 11.0	<b>128.2 ± 3.0</b>	292 ± 160	0.56	*

北部秩父帯付加コンプレックス柏木ユニットのジルコン U-Pb 年代 (富永ほか)

付表A3 LA-ICP-MSで測定した万場地域の凝灰質千枚岩(試料KT01)のU-Pb同位体データ。データの解析には太字で示した年代値を用いた。\*はYC1σ (Dickinson and Gehrels, 2009)に採用されたデータを示す。誤差は1σの値を採用した。

Table A3 LA-ICP-MS U-Pb isotopic data for tuffaceous phyllite (KT01) in the Mamba area. Age data used for the analysis are indicated by boldface. The asterisks indicate the data adopted for YC1σ (Dickinson and Gehrels, 2009). All errors are quoted as 1σ.

Sample No.	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}-^{207}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{207}\text{Pb}-^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	Th/U	Remarks
KT01-001	0.1637 ± 0.0165	0.0211 ± 0.0005	0.0562 ± 0.0055	154.0 ± 15.6	<b>134.8 ± 3.2</b>	461 ± 45	0.57	Discordant
KT01-002	0.1508 ± 0.0146	0.0230 ± 0.0005	0.0476 ± 0.0045	142.6 ± 13.8	<b>146.4 ± 3.2</b>	81 ± 8	0.55	
KT01-003	0.1582 ± 0.0141	0.0222 ± 0.0005	0.0518 ± 0.0045	149.1 ± 13.3	<b>141.3 ± 3.0</b>	275 ± 24	0.98	
KT01-004	0.1929 ± 0.0260	0.0230 ± 0.0007	0.0609 ± 0.0080	179.1 ± 24.2	<b>146.4 ± 4.4</b>	637 ± 84	1.43	Discordant
KT01-005	0.3838 ± 0.0423	0.0260 ± 0.0008	0.1070 ± 0.0113	329.8 ± 36.3	<b>165.5 ± 5.3</b>	1750 ± 184	1.45	Discordant
KT01-006	0.4125 ± 0.0171	0.0217 ± 0.0004	0.1380 ± 0.0052	350.7 ± 14.5	<b>138.3 ± 2.3</b>	2202 ± 84	0.62	Discordant
KT01-007	0.1440 ± 0.0153	0.0225 ± 0.0005	0.0465 ± 0.0048	136.6 ± 14.5	<b>143.3 ± 3.3</b>	22 ± 2	0.53	
KT01-008	0.1775 ± 0.0179	0.0250 ± 0.0006	0.0515 ± 0.0051	165.9 ± 16.7	<b>159.2 ± 3.7</b>	264 ± 26	0.97	
KT01-009	0.1871 ± 0.0109	0.0212 ± 0.0004	0.0640 ± 0.0035	174.1 ± 10.1	<b>135.3 ± 2.7</b>	741 ± 41	0.65	Discordant
KT01-010	0.1574 ± 0.0106	0.0227 ± 0.0005	0.0504 ± 0.0032	148.4 ± 10.0	<b>144.5 ± 2.9</b>	212 ± 14	1.48	
KT01-011	0.1643 ± 0.0111	0.0228 ± 0.0005	0.0523 ± 0.0034	154.5 ± 10.5	<b>145.4 ± 3.0</b>	297 ± 19	2.29	
KT01-012	0.2131 ± 0.0072	0.0254 ± 0.0004	0.0609 ± 0.0018	196.1 ± 6.6	<b>161.5 ± 2.6</b>	636 ± 19	0.84	Discordant
KT01-013	0.3248 ± 0.0200	0.0245 ± 0.0005	0.0963 ± 0.0055	285.6 ± 17.6	<b>155.9 ± 3.5</b>	1553 ± 89	0.78	Discordant
KT01-014	0.3237 ± 0.0143	0.0225 ± 0.0004	0.1042 ± 0.0042	284.7 ± 12.6	<b>143.7 ± 2.7</b>	1701 ± 68	0.92	Discordant
KT01-015	0.2192 ± 0.0114	0.0187 ± 0.0004	0.0851 ± 0.0041	201.3 ± 10.5	<b>119.3 ± 2.3</b>	1318 ± 64	1.44	Discordant
KT01-016	0.1551 ± 0.0127	0.0211 ± 0.0005	0.0532 ± 0.0042	146.4 ± 12.0	<b>134.9 ± 3.1</b>	338 ± 27	0.55	*
KT01-017	0.1414 ± 0.0183	0.0209 ± 0.0016	0.0492 ± 0.0052	134.3 ± 17.3	<b>133.2 ± 9.9</b>	156 ± 16	1.89	Rejected data
KT01-018	0.4701 ± 0.1619	0.0244 ± 0.0058	0.1399 ± 0.0350	391.3 ± 134.8	<b>155.2 ± 36.8</b>	2227 ± 557	0.46	Discordant
KT01-019	0.1446 ± 0.0208	0.0233 ± 0.0019	0.0451 ± 0.0053	137.1 ± 19.7	<b>148.3 ± 12.3</b>	No data	1.16	Rejected data
KT01-020	0.1430 ± 0.0190	0.0210 ± 0.0016	0.0494 ± 0.0053	135.7 ± 18.0	<b>134.0 ± 10.4</b>	166 ± 18	0.68	Rejected data
KT01-021	0.1452 ± 0.0283	0.0209 ± 0.0025	0.0504 ± 0.0077	137.6 ± 26.8	<b>133.3 ± 16.0</b>	213 ± 33	0.75	Rejected data
KT01-022	0.1580 ± 0.0981	0.0209 ± 0.0087	0.0549 ± 0.0253	148.9 ± 92.4	<b>133.1 ± 55.4</b>	410 ± 189	0.69	Discordant
KT01-023	0.5333 ± 0.0714	0.0247 ± 0.0022	0.1564 ± 0.0156	434.0 ± 58.1	<b>157.5 ± 14.1</b>	2417 ± 241	1.16	Discordant
KT01-024	0.2937 ± 0.0071	0.0274 ± 0.0004	0.0776 ± 0.0015	261.5 ± 6.3	<b>174.5 ± 2.4</b>	1138 ± 22	1.85	Discordant
KT01-025	0.1177 ± 0.0247	0.0214 ± 0.0008	0.0399 ± 0.0082	113.0 ± 23.7	<b>136.4 ± 5.3</b>	No data	1.28	Discordant
KT01-026	0.1766 ± 0.0141	0.0214 ± 0.0004	0.0599 ± 0.0047	165.1 ± 13.2	<b>136.3 ± 2.6</b>	602 ± 47	1.00	Discordant
KT01-027	0.1711 ± 0.0110	0.0231 ± 0.0004	0.0536 ± 0.0033	160.4 ± 10.3	<b>147.4 ± 2.3</b>	357 ± 22	2.03	
KT01-028	0.1593 ± 0.0117	0.0213 ± 0.0004	0.0543 ± 0.0039	150.1 ± 11.0	<b>135.7 ± 2.4</b>	384 ± 27	1.39	
KT01-029	0.1484 ± 0.0143	0.0212 ± 0.0005	0.0509 ± 0.0048	140.5 ± 13.6	<b>134.9 ± 2.9</b>	237 ± 22	0.97	*
KT01-030	2.1760 ± 0.0605	0.1086 ± 0.0012	0.1453 ± 0.0037	1173.3 ± 32.6	<b>664.7 ± 7.2</b>	2292 ± 59	0.58	Discordant
KT01-031	0.1269 ± 0.0136	0.0214 ± 0.0005	0.0430 ± 0.0045	121.3 ± 13.0	<b>136.6 ± 3.0</b>	No data	1.39	Discordant
KT01-032	0.2360 ± 0.0234	0.0227 ± 0.0006	0.0754 ± 0.0072	215.1 ± 21.4	<b>144.8 ± 3.8</b>	1079 ± 103	1.11	Discordant

付表A3 続き.  
Table A3 Continued.

Sample No.	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{235}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	$^{207}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}$ age (Ma)	Th/U	Remarks
KT01-033	0.1551 ± 0.0080	0.0216 ± 0.0003	0.0521 ± 0.0026	146.4 ± 7.6	<b>137.7 ± 1.9</b>	290 ± 14	0.60	
KT01-034	0.1571 ± 0.0132	0.0229 ± 0.0004	0.0498 ± 0.0041	148.2 ± 12.5	<b>145.8 ± 2.8</b>	187 ± 15	0.77	
KT01-035	0.1383 ± 0.0256	0.0222 ± 0.0008	0.0453 ± 0.0082	131.6 ± 24.3	<b>141.3 ± 5.1</b>	No data	1.43	Rejected data
KT01-036	0.2110 ± 0.0122	0.0224 ± 0.0004	0.0682 ± 0.0038	194.4 ± 11.3	<b>143.0 ± 2.3</b>	875 ± 49	1.10	Discordant
KT01-037	0.1854 ± 0.0108	0.0217 ± 0.0003	0.0619 ± 0.0035	172.7 ± 10.1	<b>138.4 ± 2.2</b>	673 ± 38	0.74	Discordant
KT01-038	0.2023 ± 0.0165	0.0228 ± 0.0005	0.0643 ± 0.0051	187.1 ± 15.3	<b>145.3 ± 3.0</b>	754 ± 60	0.91	Discordant
KT01-039	0.1928 ± 0.0172	0.0247 ± 0.0005	0.0567 ± 0.0049	179.0 ± 16.0	<b>157.0 ± 3.3</b>	481 ± 42	0.66	Discordant
KT01-040	0.1512 ± 0.0388	0.0234 ± 0.0011	0.0469 ± 0.0118	143.0 ± 36.7	<b>149.0 ± 7.2</b>	44 ± 11	0.77	Rejected data
KT01-041	0.1475 ± 0.0093	0.0225 ± 0.0003	0.0475 ± 0.0029	139.7 ± 8.8	<b>143.6 ± 2.2</b>	75 ± 5	1.87	
KT01-042	0.1279 ± 0.0192	0.0232 ± 0.0007	0.0399 ± 0.0059	122.2 ± 18.3	<b>148.1 ± 4.3</b>	No data	0.87	Discordant
KT01-043	0.1866 ± 0.0134	0.0221 ± 0.0004	0.0611 ± 0.0043	173.7 ± 12.5	<b>141.1 ± 2.6</b>	644 ± 45	1.42	Discordant
KT01-044	0.1541 ± 0.0130	0.0215 ± 0.0004	0.0520 ± 0.0043	145.5 ± 12.3	<b>136.9 ± 2.7</b>	288 ± 24	0.88	
KT01-045	0.1470 ± 0.0110	0.0214 ± 0.0004	0.0497 ± 0.0036	139.3 ± 10.4	<b>136.8 ± 2.4</b>	183 ± 13	1.12	
KT01-046	1.4672 ± 0.0692	0.0318 ± 0.0007	0.3347 ± 0.0140	916.9 ± 43.2	<b>201.8 ± 4.4</b>	3639 ± 152	2.14	Discordant
KT01-047	0.1452 ± 0.0086	0.0215 ± 0.0003	0.0489 ± 0.0028	137.7 ± 8.2	<b>137.3 ± 2.0</b>	145 ± 8	0.96	
KT01-048	0.1252 ± 0.0091	0.0205 ± 0.0003	0.0442 ± 0.0031	119.8 ± 8.7	<b>131.0 ± 2.2</b>	No data	0.95	
KT01-049	0.1731 ± 0.0114	0.0220 ± 0.0004	0.0572 ± 0.0037	162.1 ± 10.7	<b>140.1 ± 2.4</b>	498 ± 32	1.01	Discordant
KT01-050	0.1339 ± 0.0244	0.0227 ± 0.0008	0.0429 ± 0.0077	127.6 ± 23.3	<b>144.4 ± 5.1</b>	No data	0.68	Discordant
KT01-051	0.1639 ± 0.0109	0.0209 ± 0.0004	0.0568 ± 0.0036	154.1 ± 10.2	<b>133.6 ± 2.2</b>	483 ± 31	0.79	Discordant
KT01-052	0.1636 ± 0.0118	0.0211 ± 0.0004	0.0562 ± 0.0039	153.8 ± 11.1	<b>134.7 ± 2.4</b>	460 ± 32	0.57	Discordant
KT01-053	0.9502 ± 0.0356	0.0256 ± 0.0004	0.2692 ± 0.0091	678.2 ± 25.4	<b>163.0 ± 2.7</b>	3302 ± 111	0.88	Discordant
KT01-054	0.1641 ± 0.0087	0.0213 ± 0.0003	0.0558 ± 0.0029	154.3 ± 8.2	<b>136.1 ± 1.9</b>	444 ± 23	0.94	Discordant
KT01-055	0.1712 ± 0.0102	0.0211 ± 0.0003	0.0588 ± 0.0034	160.4 ± 9.5	<b>134.7 ± 2.1</b>	560 ± 32	1.38	Discordant
KT01-056	0.1818 ± 0.0180	0.0213 ± 0.0005	0.0618 ± 0.0059	169.6 ± 16.8	<b>136.0 ± 3.3</b>	669 ± 64	1.21	Discordant
KT01-057	0.1472 ± 0.0097	0.0209 ± 0.0003	0.0510 ± 0.0033	139.4 ± 9.2	<b>133.5 ± 2.2</b>	242 ± 15	0.94	*
KT01-058	0.2678 ± 0.0146	0.0211 ± 0.0004	0.0922 ± 0.0048	240.9 ± 13.1	<b>134.4 ± 2.3</b>	1472 ± 76	1.26	Discordant
KT01-059	13.9385 ± 1.2675	0.1317 ± 0.0068	0.7675 ± 0.0576	2745.4 ± 249.7	<b>797.7 ± 40.9</b>	4597 ± 345	4.30	Discordant
KT01-060	0.1610 ± 0.0073	0.0208 ± 0.0003	0.0563 ± 0.0024	151.6 ± 6.9	<b>132.4 ± 1.8</b>	464 ± 20	0.88	Discordant
KT01-061	0.1418 ± 0.0116	0.0203 ± 0.0004	0.0506 ± 0.0040	134.6 ± 11.0	<b>129.7 ± 2.5</b>	223 ± 18	0.59	Rejected data
KT01-062	0.1475 ± 0.0157	0.0214 ± 0.0005	0.0499 ± 0.0052	139.7 ± 14.9	<b>136.7 ± 3.2</b>	191 ± 20	0.86	
KT01-063	0.1494 ± 0.0122	0.0222 ± 0.0004	0.0488 ± 0.0039	141.3 ± 11.5	<b>141.6 ± 2.7</b>	138 ± 11	1.23	
KT01-064	0.1641 ± 0.0172	0.0223 ± 0.0005	0.0534 ± 0.0054	154.3 ± 16.2	<b>142.2 ± 3.4</b>	346 ± 35	0.85	

## 地質調査総合センター研究資料集

- |     |  |                                   |
|-----|--|-----------------------------------|
| 667 | 世界の震源域の分布 – G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 1/7 – | 石川 有三                             |
| 668 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備工事（三重県熊野市地区）報告書          | 北川 有一・高橋 誠・小泉 尚嗣・木口 努・水落 幸広・長谷 和則 |
| 669 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設設備工事（和歌山県田辺市地区）報告書         | 板場 智史・高橋 誠・小泉 尚嗣・木口 努・千葉 明彦・長谷 和則 |
| 670 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設設備工事（三重県紀北町地区）報告書          | 重松 紀生・小泉 尚嗣・木口 努・水落 幸広・長谷 和則      |
| 671 | 房総半島東部における上総層群下部の地質調査・鍵層柱状図及びルートマップ                | 中嶋 輝允・宇都宮 正志                      |
| 672 | 断層微細構造調査用坑井掘削工事および付帯観測（平林）報告書                      | 木口 努（編）                           |
| 673 | 地殻応力測定用坑井掘削および付帯観測、設備工事 その1（宝塚）報告書                 | 木口 努（編）                           |
| 674 | 地殻応力測定用坑井掘削および付帯観測、設備工事 その2（育波）報告書                 | 木口 努（編）                           |
| 675 | 活断層モニタリング施設整備工事（跡津川断層跡津川・宮川地区）報告書                  | 木口 努（編）                           |
| 676 | 活断層モニタリング施設整備工事（阿寺断層王滝地区）報告書                       | 木口 努（編）                           |
| 677 | 地震予知地下水観測施設及び設備工事 報告書                              | 木口 努（編）                           |
| 678 | 静岡県浜岡町水位ラドン観測井工事 報告書                               | 木口 努（編）                           |
| 679 | 津波分布域 – G-EVER アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムデータ 2/7 –     | 松本 弾                              |
| 680 | 始良・鬼界・阿多・屈斜路・十和田・摩周・池田火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移           | 西野 佑紀・宝田 晋治・下司 信夫                 |

地質調査総合センターの最新出版物

---

5 万分の 1 地質図幅	網走・吾妻山・糸魚川・身延
20 万分の 1 地質図幅	大分 (第 2 版)・松山 (第 2 版)・高知 (第 2 版)
200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版) No. 11 日本の火山 (第 3 版)
特殊地質図	No. 12 富士火山地質図 (第 2 版) No. 33 日本周辺海域鉱物資源分布図 (第 2 版) No. 41 栃木県シームレス地質図
海洋地質図	No. 90 沖縄島南部周辺海域海洋地質図 (1:20 万)
火山地質図	No. 20 八丈島火山地質図 (1:2.5 万)
水文環境図	No. 9 富士山
空中磁気図	No. 46 養老断層地域高分解能空中磁気異常図 No. 47 富士火山地域高分解能空中磁気異常図
重力図	No. 33 金沢地域重力図 (ブーゲー異常) S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
海外地球科学図	アジア鉱物資源図 (1:500 万) 東アジア地域地震火山災害情報図 (1:1000 万)
海陸シームレス地質図	S-6 海陸シームレス地質情報集「房総半島東部沿岸域」
燃料資源図	FR-3 燃料資源地質図「関東地方」
土壌評価図	E-7 表層土壌評価基本図「高知県地域」
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版 G-17 九州地質ガイド V-3 口永良部島火山地質データベース G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版 G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
その他	日本の熱水系アトラス 海と陸の地球化学図 関東の地球化学図

---



地質調査研究報告編集委員会

委員長 鈴木 淳  
副委員長 佐々木 宗建  
委員 石塚 治  
松本 弾  
宮越 昭暢  
高木 哲一  
川辺 能成  
大谷 竜  
長森 英明  
内野 隆之  
工藤 崇也  
板木 拓也  
森尻 理恵  
加瀬 治

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター  
地質情報基盤センター 出版室  
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Atsushi Suzuki  
Deputy Chief Editor: Munetake Sasaki  
Editors: Osamu Ishizuka  
Dan Matsumoto  
Akinobu Miyakoshi  
Tetsuichi Takagi  
Yoshishige Kawabe  
Ryu Ohtani  
Hideaki Nagamori  
Takayuki Uchino  
Takashi Kudo  
Takuya Itaki  
Rie Morijiri  
Osamu Kase

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geoinformation Service Center Publication Office  
<https://www.gsj.jp/en/>

---

地質調査研究報告 第70巻 第3号  
令和元年6月28日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
地質調査総合センター

〒305-8567  
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

---

Bulletin of the Geological Survey of Japan  
Vol. 70 No. 3 Issue June 28, 2019

**Geological Survey of Japan, AIST**

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,  
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN  
OF THE  
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 70 No. 3 2019

CONTENTS

- Construction of Crustal Stress Map in Kanto Region, central Japan  
Kazutoshi Imanishi, Takahiko Uchide, Makiko Ohtani, Reiken Matsushita and Misato Nakai ..... 273
- Zircon U-Pb ages of the Kashiwagi Unit of the accretionary complex in the Northern Chichibu Belt,  
Kanto Mountains, central Japan  
Kohei Tominaga, Hidetoshi Hara and Tetsuya Tokiwa ..... 299