

十和田湖西方に分布するジュラ紀付加体の碎屑性ジルコン U-Pb 年代

内野隆之^{1,*}

Takayuki Uchino (2018) Detrital zircon U-Pb age of the Jurassic accretionary complex in the western area of Lake Towada located between Akita and Aomori prefectures, Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 69 (1), p. 37-46, 5 figs, 2 tables, 1 appendix.

Abstract: Jurassic accretionary complexes are broadly distributed in the North Kitakami Belt in the Kitakami Massif, Northeast Japan. Meanwhile, the accretionary complexes rarely occur in the western area of the N-S-trending Ou Mountain Range because they are broadly covered and intruded by the Cenozoic erathem. Therefore, the accretionary complexes in the western area provide insufficient geoinformation: their geologic age and correlation to the accretionary complexes in the Kitakami Massif.

In this study, the U-Pb ages of detrital zircon from sandstone were examined to understand the geologic age of the accretionary complexes, which are sparsely distributed in the western area of Lake Towada within the Ou Mountain Range. Consequently, 174.6 ± 0.7 Ma was obtained as a weighted mean age of the youngest age component of grain-age distribution (i.e., youngest cluster). Therefore, it has been confirmed that the sandstone was deposited after Middle Jurassic.

A pattern of the relative probability of the detrital zircon ages shows the distribution of intensive peaks for the Permian-Jurassic period of the Phanerozoic and minor peaks for Paleoproterozoic. This pattern is considerably similar to that obtained for the Middle Jurassic-Lower Cretaceous shallow-marine deposits in the South Kitakami Belt. The geologic age of the Mesozoic accretionary complexes in the Tohoku area shows a younging trend from the Late Triassic to earliest Cretaceous toward the Pacific Ocean according to previous studies. Based on this younging trend, the accretionary complex in the western area of Lake Towada probably correlates to the Middle Jurassic accretionary complex.

Keywords: U-Pb age, detrital zircon, Middle Jurassic, accretionary complex, Towada, Northeast Japan

要 旨

東北地方の北上山地北半部には北部北上帯に属するジュラ紀の付加体が広く分布する。一方、奥羽山脈の西側では新生代火山岩類の被覆・貫入のため付加体は僅かにしか露出しておらず、年代や対比といった地質情報は十分ではない。

今回、奥羽山脈に位置する十和田湖の西方に僅かに分布する付加体の年代を明らかにするため、砂岩に含まれる碎屑性ジルコンのU-Pb年代を測定した。その結果、 174.6 ± 0.7 Maの最若粒子集団の加重平均年代が得られ、砂岩は中期ジュラ紀以降に堆積したことが明らかになった。

碎屑性ジルコンの年代分布パターンは、顕生代のペルム〜ジュラ紀に大きなピーク群、古原生代の後半に小さいピーク群をもつという特徴を示し、これは既存研究で報告された南部北上帯の中部ジュラ系〜下部白亜系浅海

層の碎屑性ジルコン年代のものと良く一致する。

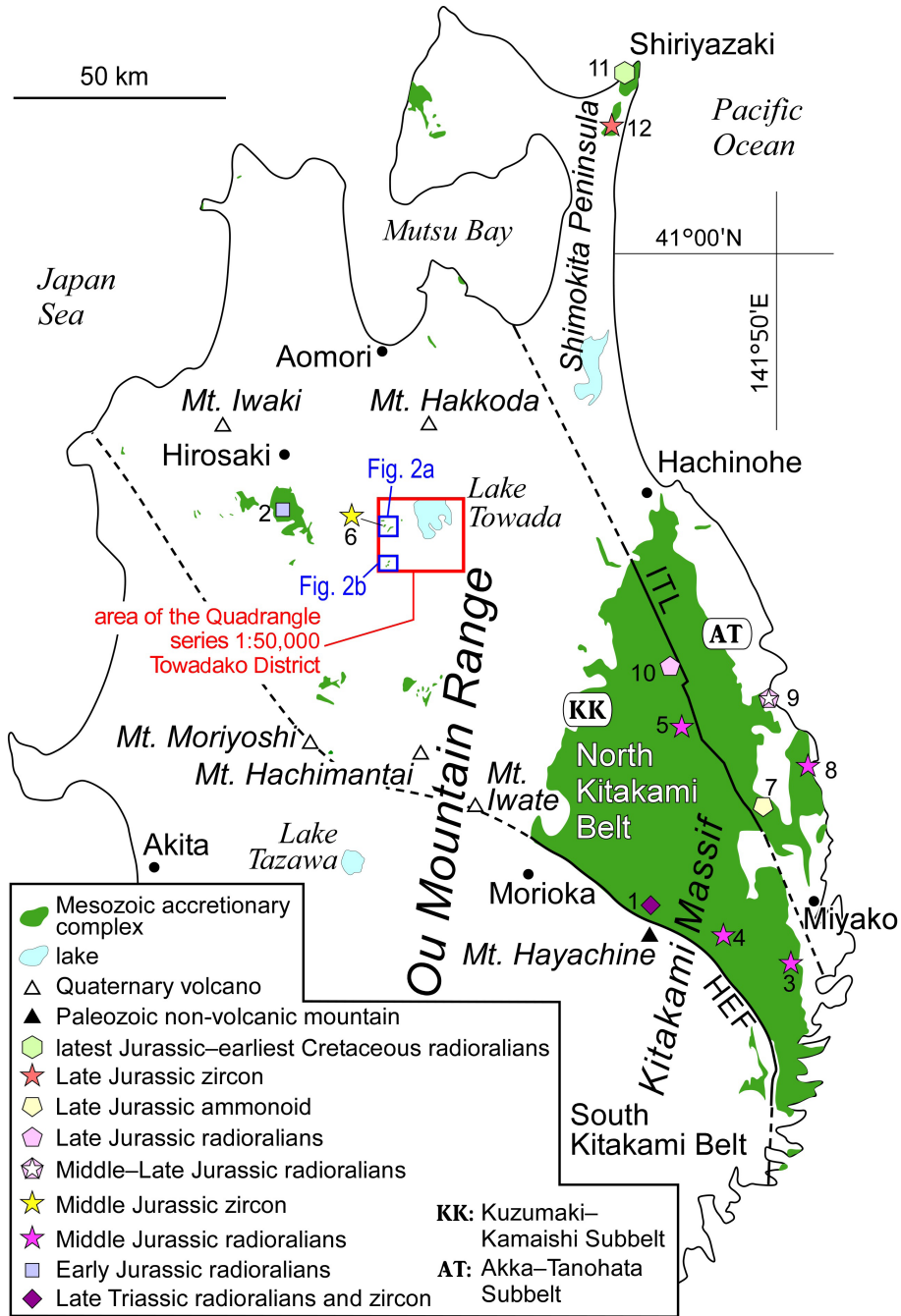
東北地方の中生代付加体は、内陸から太平洋側にかけ、後期三畳紀から最前期白亜紀まで大局的に若くなる年代極性を示している。十和田湖西方の付加体は、その年代極性を参考にすれば、中期ジュラ紀の付加体に対比される可能性が高い。

1. はじめに

東北日本の北上山地北半部には、先古第三紀基盤岩として中期ジュラ紀〜最前期白亜紀の付加体が広く分布しており、それらは地体区分上、北部北上帯に属している(永広ほか, 2005)。そして北部北上帯は岩泉構造線を境に、南西側の葛巻-釜石亜帯と北東側の安家-田野畑亜帯に区分されている(永広ほか, 2005; 第1図)。東北日本における先古第三紀基盤岩としての付加体は、北上山地以外では、新生代火山岩類の被覆や貫入によって分布が限られ、下北半島の北東端(青森県下北郡東通村)や西

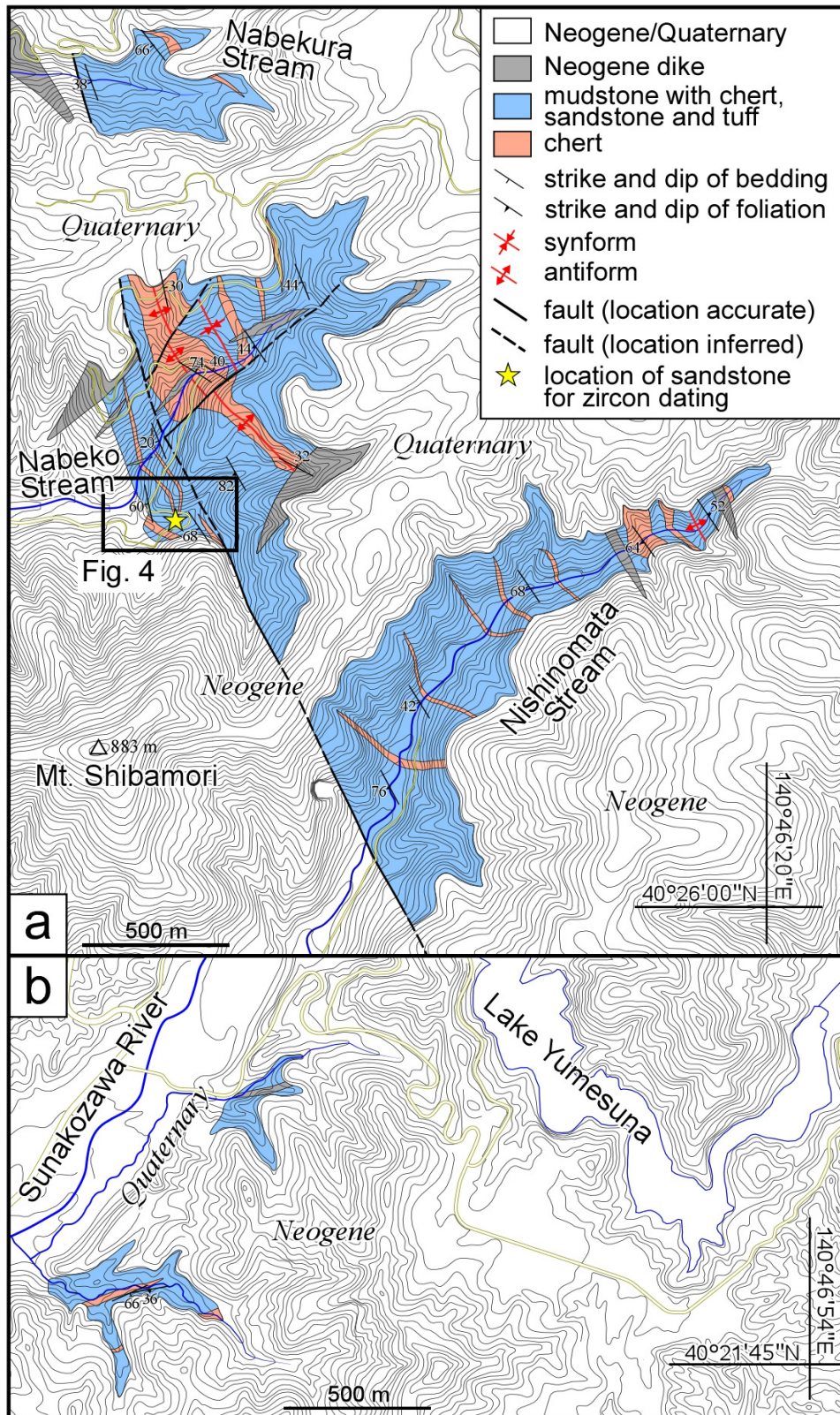
¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

*Corresponding author: T. Uchino, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan, Email: t-uchino@aist.go.jp



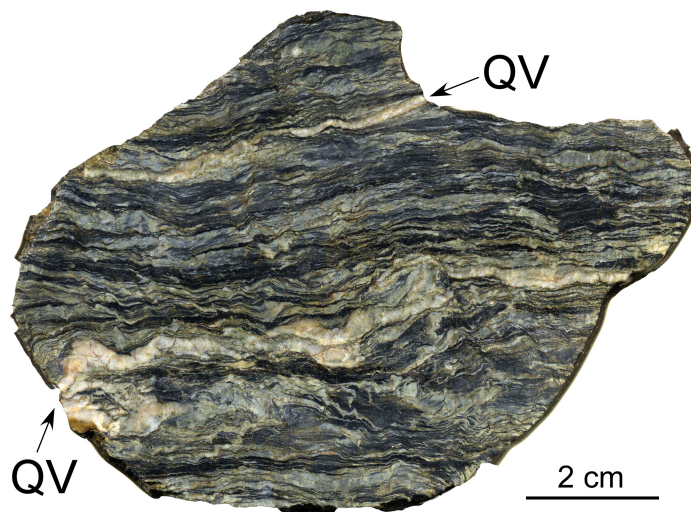
第1図 東北地方の中生代付加体の分布を示す地質概略図。付加体の分布(緑色域)は産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)の20万分の1日本シームレス地質図V2を参照した。図中には陸源性砕屑岩からの化石及びジルコン年代報告地点を番号付き記号で示した。1:川村ほか(2013), 内野(2017); 2:植田ほか(2009); 3:吉原ほか(2002), Suzuki and Ogane (2004); 4: Suzuki *et al.* (2007); 5:鈴木ほか(2007), 永広ほか(2008); 6:本研究; 7: Suzuki *et al.* (2007); 8:松岡・大路(1990); 9:箕浦・対馬(1984); 10:中江・鎌田(2003); 11:松岡(1987); 12:内野(印刷中)。HEF:早池峰東縁断層; ITL:岩泉構造線。破線は推定断層を示す。

Fig. 1 Geological index map showing the distribution of the Mesozoic accretionary complexes in the Tohoku area. The distribution of the accretionary complexes (green area) was referred from the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 of the Geological Survey of Japan, AIST ed. (2017). Symbols with the numbers indicate the locations where the fossil and zircon ages from terrigenous rocks were recognized. 1: Kawamura *et al.* (2013), Uchino (2017); 2: Ueda *et al.* (2009); 3: Yoshihara *et al.* (2002), Suzuki and Ogane (2004); 4: Suzuki *et al.* (2007); 5: Suzuki *et al.* (2007), Ehiro *et al.* (2008); 6: this study; 7: Suzuki *et al.* (2007); 8: Matsuoka and Oji (1990); 9: Minoura and Tsushima (1984); 10: Nakae and Kamada (2003); 11: Matsuoka (1987); 12: Uchino (in press). HEF: Hayachine Eastern Marginal Fault; ITL: Iwaizumi Tectonic Line. The broken line shows an inferred fault.



第2図 十和田湖西方に分布する付加体の地質図. (a) 柴森地域, (b) 砂子沢地域. 基図は国土地理院の基盤地図情報(10 mメッシュ数値標高モデルデータ)を使用.

Fig. 2 Geological map of an accretionary complex in the westward direction of Lake Towada: (a) Shibamori area and (b) Sunakozawa area. Base map was referred from digital elevation model (DEM) data (10 m mesh) of the Geospatial Information Authority of Japan.



第3図 準片岩の研磨標本. QV: 石英脈.
Fig. 3 Polished sample of semi-schist. QV: quartz vein.

端(同佐井村)のほか、火山フロントに相当する奥羽山脈以西の弘前南方、十和田湖西方、八幡平北方、森吉山北方などに点在するのみである(第1図)。特に、奥羽山脈以西の付加体については、分布が極めて限られることに加え、変形や変成のため同定可能な化石の抽出が難しく、地質年代については不明な部分が多い。

近年、植田ほか(2009)は弘前南方に分布する付加体の泥岩から前期ジュラ紀の放散虫化石を見出した。これは、北上山地(北部北上帯)においてそれまで認識されていた最も古い中期ジュラ紀前半の付加体(吉原ほか, 2002; Suzuki and Ogane, 2004)よりも更に古い付加体が奥羽山脈以西に存在していることを示したものである。

地質調査総合センターでは、5万分の1地質図幅「十和田湖」を作製しており、奥羽山脈以西に位置する本図幅地域の西部、すわなち十和田湖西方では極めて僅かに付加体が分布する(第1図)。この付加体からは、これまで化石を含め、いかなる年代も報告されておらず、また、周辺の付加体との対比も行われていない。

本論では、この付加体の分布を詳細に示すとともに、付加体の地質年代を明らかにする目的で測定した砂岩中の碎屑性ジルコンU-Pb年代を報告する。また、得られた年代について若干の考察を行う。

2. 十和田湖西方の付加体

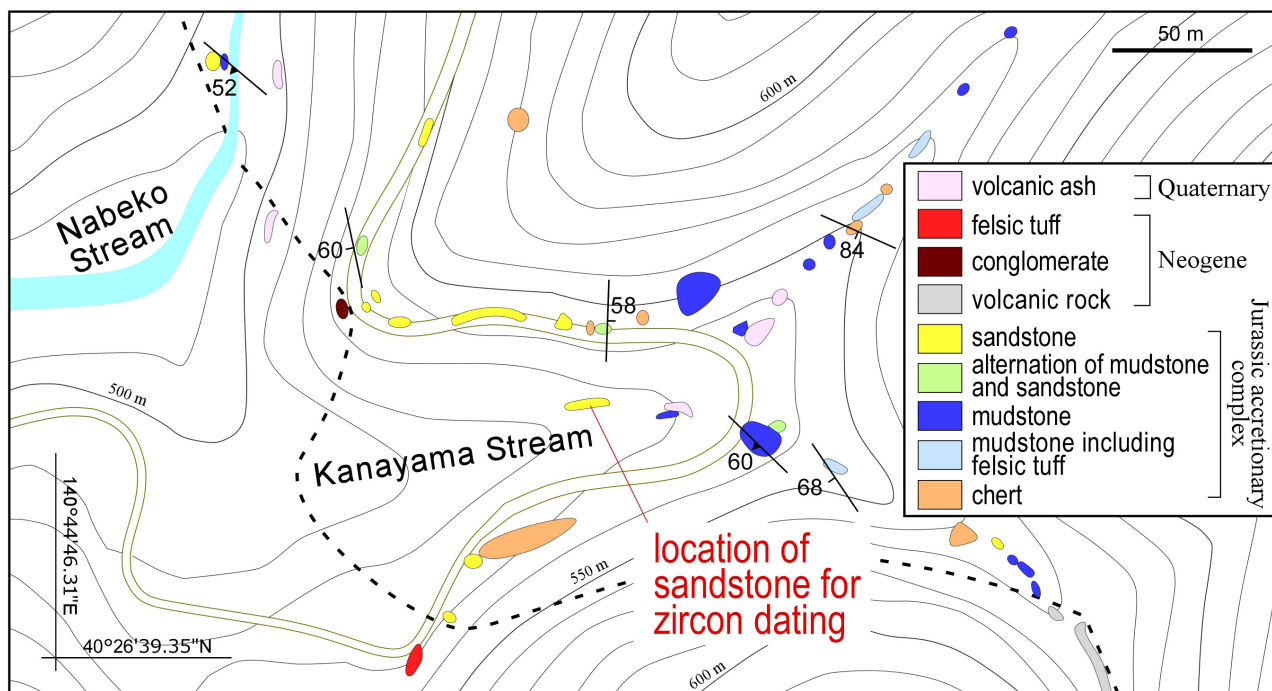
十和田湖西方の付加体は、図幅地域では西端部(柴森地域)と南西端部(砂子沢地域)の主に2地域に分布する(第1図)。柴森地域では更に、鍋倉沢・鍋子沢・西ノ又沢の共に上流域に、それぞれ約0.5 km, 1.4 km, 1.8 kmの最大分布幅を示す範囲で分布する。砂子沢地域でも、砂子沢集落南東の下流域及び中流域に、それぞれ約500

m及び250 mの最大分布幅を示す範囲で分布する。どの分布域においても、付加体は下流側で新第三系と高角度の断層あるいは不整合で接し、上流側で新第三系あるいは第四系によって被覆される。また、しばしば、幅数m~約200 mの新第三紀火山岩によって貫かれている。十和田湖西方の付加体の地質図を第2図に示す。

本付加体は、泥岩を主体とし、少量のチャート・砂岩・珪長質凝灰岩を伴う。泥質基質中にチャートや砂岩の岩塊を含むような混在岩は極めて少ない。泥岩は、一般的に層面劈開が発達した千枚岩であり、また層厚数mmの砂岩あるいは珪長質凝灰岩の薄層と細互層し、それらはしばしば準片岩となっている(第3図)。標本あるいは薄片規模で、ちりめんじわ褶曲が頻繁に認められる。泥岩中には、層理面・劈開面に平行にあるいは斜交して、石英脈が発達する。泥岩と互層する珪長質凝灰岩は層厚数cmに及ぶこともあり、しばしば墨流し的な構造を示す。また、珪長質凝灰岩は極まれに数cmの単層厚で成層構造をなす場合もある。

チャートは全般的に灰色を呈する層状チャートであり、淡緑色を呈する場合もある。チャートの層厚は基本的に50 m未満であるが、鍋子沢の分布域では約270 mに及ぶ。鏡下では、セリサイトが、長径0.4 mm以下で微晶質石英中に発達したり、それらが集合し幅0.5 mm程度で細脈状に発達したりすることが確認される。

砂岩は、本地域全体では僅かにしか産しないが、その中でも分布域西部の鍋子沢では比較的多く産する(第4図)。砂岩は、泥岩と細互層する場合は細粒であることが多く、塊状に産する場合は中~粗粒であることが多い。一般に長石質で灰色を呈するが、鍋子沢のものはしばしば淡緑色を呈する。



第4図 鍋子沢沿いのジルコン年代測定を行った砂岩採取地点周辺のルートマップ。破線は地質境界を示す。基図は国土地理院の基盤地図情報(10mメッシュ数値標高モデルデータ)を使用。

Fig. 4 Route map around the location of sandstone for the zircon-dating along the Nabeko Stream. The broken line indicates a geologic boundary. Base map was referred from digital elevation model (DEM) data (10 m mesh) of the Geospatial Information Authority of Japan.

柴森地域の付加体は、全体として北北西-南南東走向で中-高角度の西傾斜を示す。鍋子沢の分布域では厚いチャートを中心に1対のアンチフォーム・シンフォームが認められ、西ノ又沢の分布域では最上流部にアンチフォームが認められる。一方、砂子沢地域では東北東-西南西走向で中角度の南傾斜を示し、柴森地域の地質構造とは異なる。

3. 碎屑性ジルコンの U-Pb 年代測定

3.1 試料の採取地点と記載

年代を測定した試料は、鍋子沢の支流である金山沢の下流部右岸に露出する砂岩である。試料採取地点(40° 26' 42.37" N, 140° 44' 54.35" E; 第4図)は鍋子沢の付加体分布域西端に当たり、柴森地域に分布する付加体全体の構造的最上位に位置する。本砂岩は、淡緑色を呈し、淘汰の悪い粗粒な長石質ワッケである。碎屑粒子として主に石英や斜長石のほか、碎屑岩や玄武岩などの岩片が含まれる。斜長石は一般にソーシユライト化している。基質には細粒な方解石が発達し、しばしば石英や斜長石粒子に生じた割れ目を充填している。

3.2 測定手法

U-Pb分析に用いた機器は東京大学大学院理学研究科

地殻化学実験施設のマルチコレクター型結合誘導プラズマ質量分析(MC-ICP-MS)装置であり、固体試料導入のためのフェムト秒レーザーシステムを搭載している(Yokoyama *et al.*, 2011; Hattori *et al.*, 2017)。測定前にジルコン表面の鉛汚染を避けるためにワンショット・クリーニングを施した。レーザー照射に際しては、包有物や割れ目を避けてジルコン粒子の中心部を狙った。また、ガルバノ光学系システム(Yokoyama *et al.*, 2011)を利用し、レーザースポット4点を同時分析することでサンプリング量を増やし、測定精度向上に努めた。レーザー照射及びICP-MSの測定条件を第1表に示す。

年代測定結果の正確性を評価するために、33.0 Maを示すOD-3(岩野ほか, 2012; Iwano *et al.*, 2013; Lukács *et al.*, 2015)、337.1 Maを示すPlešovice(Sláma *et al.*, 2008)及び610.0 Maを示すGJ-1(Jackson *et al.*, 2004)の2次標準試料も分析した。ICP-MS装置で測定したOD-3、Plešovice及びGJ-1の加重平均年代はそれぞれ32.8 ± 0.3 Ma、330.8 ± 2.4 Ma、604.3 ± 4.5 Ma(いずれも誤差2σ)であり、2次標準試料の文献値から2%以内の誤差範囲に収まっている(付表1)。

3.3 年代測定結果

測定したジルコン粒子数は60個である。各試料におけ

第1表 試料を測定したレーザーアブレーションマルチコレクター型結合誘導プラズマ質量分析装置の条件.

Table 1 Instrumentation using a laser ablation-multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry for the analysis.

Laser ablation	
Model	IFRIT (Cyber Laser Inc., Tokyo Japan)
Laser type	Type-C Ti:S femtosecond laser
Pulse duration	230 fs
Wave length	260 nm (THG)
Energy density	2~3 J cm ⁻²
Laser power	30%
Spot size	15 μm
Repetition rate	10 Hz
Duration of laser ablation	20 s
Sampling mode	4-spot×50-cycle ablation per grain with Galvanometric optics
Carrier gas (He)	0.90 L min ⁻¹
ICP-MS	
Model	Nu Instruments Nu Plasma II (Nu Instruments, Wrexham, U.K.)
ICP-MS type	Multi-collector
Forward power	1300 W
Detector	Three full size secondary electron multipliers (IC0, IC3 and IC4), three Daly collectors (D1, D2 and D5), and one Faraday cup (H8) were used.
Carrier gas (Ar)	0.70 L min ⁻¹
ThO ⁺ /Th (oxide ratio)	<1%
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	Integration of total ion counts per laser ablation. Signals obtained from 15 seconds were integrated for age calculations several seconds after laser ablation started.
Monitor isotopes	²⁰² Hg, ²⁰⁴ Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Integration time per peak	15 s
Gas blank	15 s
Standards	
Primary standard	Nancy 91500 ^{*1}
Secondary standard	OD-3 ^{*2,3,4} , Plešovice ^{*5} , GJ-1 ^{*6}

*1: Wiedenbeck *et al.* (1995); *2: Iwano *et al.* (2012); *3: Iwano *et al.* (2013); *4: Lukács *et al.* (2015); *5: Sláma *et al.* (2008); *6: Jackson *et al.* (2004).

るジルコンの同位体比, ²³⁸U-²⁰⁶Pb年代及び²³⁵U-²⁰⁷Pb年代を第2表に示す. 年代の議論には, ²³⁵U-²⁰⁷Pb年代よりも誤差の小さい²³⁸U-²⁰⁶Pb年代を採用した. また, ²³⁸U-²⁰⁶Pb年代及び²³⁵U-²⁰⁷Pb年代が2σの誤差範囲で重複する場合をコンコールドとみなした. このコンコールド年代を示すジルコン粒子(60個中58個)のコンコールド図及び²³⁸U-²⁰⁶Pb年代分布図(ヒストグラムと相対確率分布曲線)を第5図に示す. これらの図は, マイクロソフト社の表計算ソフトExcel用のアドインモジュールであるIsoplot/Ex 4.15 (Ludwig, 2008)を用いて作成した.

年代測定したジルコン粒子のうち2割強の14個は先カンブリア時代のもので, 2600 Ma付近と2400-2300 Ma付近の年代を持つ粒子, 2000-1700 Maにピークを持つ粒子群が認められる. それ以外は290-170 Ma(ペルム紀~ジュ

ラ紀)の間に集中し, 270-260 Ma付近と180-170 Ma付近により大きなピークが認められる. 9個のジルコンが180-170 Ma付近の最若ピークを構成し, その粒子群の加重平均年代は174.6 ± 0.7 Ma (誤差2σ)である(第5図). なお, 最若粒子の年代は171.0 ± 2.6 Ma (誤差2σ)である.

4. 砂岩の碎屑性ジルコン年代とその意義

今回, 十和田湖西方に分布する付加体中の砂岩から得られた碎屑性ジルコン年代は, 十和田湖西方の付加体から初めての年代報告となった. 砂岩のジルコン最若粒子集団の加重平均年代は174.6 Maであり, 前期ジュラ紀と中期ジュラ紀の境界付近を示す. 最若粒子集団の加重平均年代値は, 砂岩堆積年代の下限の制約につながり(例えば, Brown and Gehrels, 2007), 十和田湖西方の付加体には中期ジュラ紀以降に堆積した砂岩が存在することが判明した.

本砂岩が示す碎屑性ジルコンの年代分布パターンを概観すると, 290-170 Maに大きなピーク群, 2000-1700 Maにより小さなピーク群をもつ. この顕生代のペルム~ジュラ紀に大きなピーク群をもち, 古原生代の後半に小さいピーク群をもつという特徴は, 南部北上帯に分布する中部ジュラ系~下部白亜系浅海層の碎屑性ジルコン年代のパターン(Okawa *et al.*, 2013)と良く一致する. これは, 北上山地の基盤岩の後背地の年代が, 少なくとも中期ジュラ紀以降は陸棚浅海層を主体とする南部北上帯と付加体を主体とする北部北上帯において大きな差異がないことを示唆するものである.

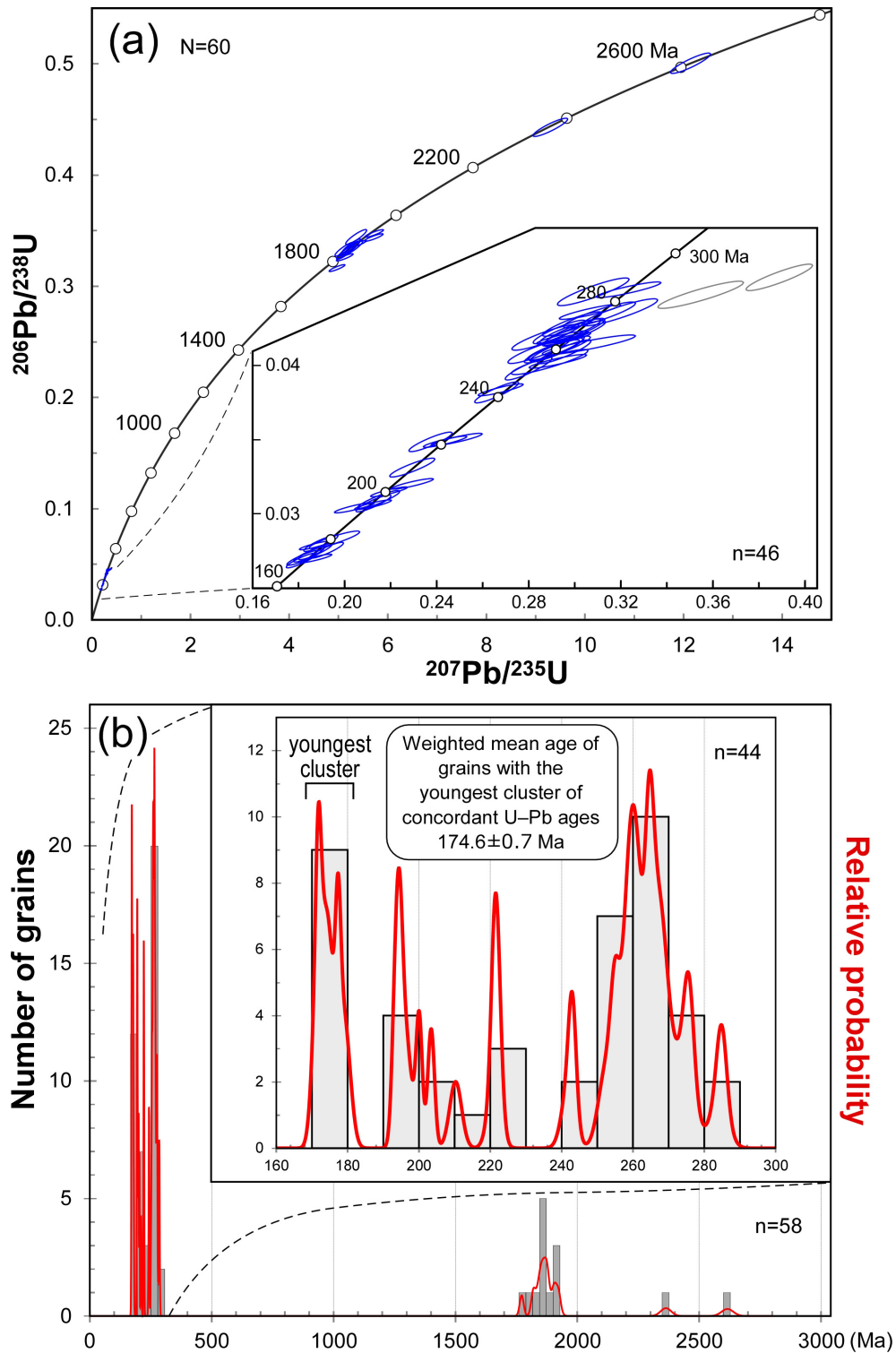
永広ほか(2008)によると, 奥羽山脈の東側に分布する北部北上帯の付加体の地質構造は, 概ね北西-南東走向を示し, 陸源性碎屑岩の化石年代に注目すると内陸側(南西部)から太平洋側(北東部)にかけ, 中期ジュラ紀前半から最前期白亜紀へと大局的に若くなる傾向が示されている. 近年, 植田ほか(2009)によって, 奥羽山脈西側の弘前南方でも付加体の泥岩から前期ジュラ紀の放散虫化石が報告され(第1図の地点2), 東北地方の中生代付加体では最も古い前期ジュラ紀の付加体により内陸側の構造的上位に位置していることが示された. 更に内野(2017)によると, 北部北上帯南縁部(岩手県宮古市西部の門馬^{かどま})に分布する付加体中の凝灰質泥岩から後期三疊紀のジルコンが報告され, 周囲の珪長質凝灰岩から得られた後期三疊紀放散虫化石(川村ほか, 2013)とも合わせ, 構造的に上位に位置する付加体の年代は後期三疊紀である可能性が示された(第1図の地点1). すなわち, 東北地方に分布する中生代付加体は, 内陸から太平洋側にかけて後期三疊紀~最前期白亜紀という大局的な年代極性を示す可能性がある. そして, 今回の十和田湖西方に分布する174.6 Maの年代を示すジルコンを含む付加体は(第1図の地点6), その年代極性を参考にすれば, 中期ジュラ紀の付加体に対比される可能性が高い.

十和田湖西方に分布するジュラ紀付加体の碎屑性ジルコン U-Pb 年代 (内野)

第2表 碎屑性ジルコンにおけるレーザーアブレーションマルチコレクター型結合誘導プラズマ質量分析装置によるU-Pb同位体データ。*は最若年代集団に採用されたデータを示す。

Table 2 U-Pb isotopic data for the detrital zircon determined using a laser ablation-multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. Asterisks indicate the data adopted as the youngest cluster.

Grain no.	Isotopic ratios				Age (Ma)						Th/U	Remarks
	²⁰⁷ Pb		²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb		²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb			
	²⁰⁶ Pb	Error 2σ	²³⁸ U	Error 2σ	²³⁵ U	Error 2σ	²³⁸ U	Error 2σ	²³⁵ U	Error 2σ		
1	0.1129 ± 0.0025	0.3442 ± 0.0055	5.3592 ± 0.1738	1907.0 ± 35.2	1878.4 ± 162.7	1.1676						
2	0.0506 ± 0.0012	0.0276 ± 0.0004	0.1923 ± 0.0059	175.3 ± 2.8	178.6 ± 6.0	0.5035	*					
3	0.0515 ± 0.0013	0.0411 ± 0.0007	0.2920 ± 0.0094	259.8 ± 4.2	260.1 ± 9.5	0.3694						
4	0.0496 ± 0.0017	0.0420 ± 0.0007	0.2872 ± 0.0119	265.0 ± 4.6	256.4 ± 12.0	0.9374						
5	0.0496 ± 0.0017	0.0450 ± 0.0008	0.3080 ± 0.0127	284.0 ± 4.9	272.6 ± 12.8	0.5474						
6	0.1137 ± 0.0024	0.3341 ± 0.0053	5.2382 ± 0.1543	1858.2 ± 33.8	1858.9 ± 145.7	0.3564						
7	0.0494 ± 0.0012	0.0275 ± 0.0004	0.1873 ± 0.0060	174.7 ± 2.8	174.3 ± 6.0	0.8078	*					
8	0.0523 ± 0.0013	0.0410 ± 0.0007	0.2954 ± 0.0094	258.9 ± 4.2	262.8 ± 9.5	0.6451						
9	0.0613 ± 0.0014	0.0460 ± 0.0007	0.3888 ± 0.0118	290.1 ± 4.7	333.5 ± 11.9	0.5565	discordant					
10	0.0514 ± 0.0014	0.0412 ± 0.0007	0.2921 ± 0.0099	260.3 ± 4.3	260.2 ± 10.0	0.4889						
11	0.1130 ± 0.0024	0.3306 ± 0.0052	5.1511 ± 0.1539	1841.2 ± 33.5	1844.6 ± 145.3	1.0842						
12	0.0509 ± 0.0011	0.0399 ± 0.0006	0.2799 ± 0.0083	251.9 ± 4.1	250.6 ± 8.4	0.5773						
13	0.1135 ± 0.0024	0.3336 ± 0.0053	5.2221 ± 0.1582	1856.0 ± 33.9	1856.2 ± 149.1	0.7291						
14	0.0502 ± 0.0016	0.0410 ± 0.0007	0.2844 ± 0.0110	259.3 ± 4.4	254.1 ± 11.1	0.6487						
15	0.0513 ± 0.0014	0.0424 ± 0.0007	0.3003 ± 0.0104	267.7 ± 4.5	266.6 ± 10.5	0.4651						
16	0.0491 ± 0.0012	0.0280 ± 0.0004	0.1897 ± 0.0061	178.3 ± 2.9	176.4 ± 6.1	0.4298	*					
17	0.0514 ± 0.0016	0.0422 ± 0.0007	0.2997 ± 0.0112	266.7 ± 4.5	266.1 ± 11.3	0.7045						
18	0.0502 ± 0.0014	0.0310 ± 0.0005	0.2148 ± 0.0075	196.7 ± 3.3	197.5 ± 7.6	0.7042						
19	0.1136 ± 0.0024	0.3359 ± 0.0053	5.2621 ± 0.1568	1867.0 ± 34.0	1862.7 ± 147.9	0.7751						
20	0.0531 ± 0.0019	0.0437 ± 0.0007	0.3195 ± 0.0134	275.5 ± 4.8	281.5 ± 13.6	0.5080						
21	0.1156 ± 0.0026	0.3379 ± 0.0027	5.3897 ± 0.1447	1876.6 ± 17.5	1883.2 ± 137.2	0.1731						
22	0.0535 ± 0.0026	0.0415 ± 0.0005	0.3061 ± 0.0165	261.8 ± 3.5	271.2 ± 16.6	0.4260						
23	0.0514 ± 0.0017	0.0351 ± 0.0003	0.2487 ± 0.0090	222.1 ± 2.2	225.5 ± 9.1	1.1409						
24	0.0504 ± 0.0013	0.0315 ± 0.0003	0.2193 ± 0.0065	200.1 ± 1.7	201.3 ± 6.6	0.4840						
25	0.0505 ± 0.0013	0.0384 ± 0.0003	0.2678 ± 0.0080	243.0 ± 2.1	240.9 ± 8.1	0.5080						
26	0.0503 ± 0.0014	0.0270 ± 0.0002	0.1873 ± 0.0059	171.8 ± 1.5	174.3 ± 5.9	0.4376	*					
27	0.1141 ± 0.0025	0.3260 ± 0.0026	5.1280 ± 0.1385	1818.9 ± 16.9	1840.8 ± 131.7	0.1761						
28	0.0519 ± 0.0016	0.0452 ± 0.0004	0.3234 ± 0.0115	284.9 ± 2.8	284.5 ± 11.6	0.5585						
29	0.0509 ± 0.0014	0.0420 ± 0.0004	0.2946 ± 0.0091	264.9 ± 2.4	262.2 ± 9.2	0.7386						
30	0.0502 ± 0.0014	0.0306 ± 0.0003	0.2124 ± 0.0065	194.6 ± 1.7	195.5 ± 6.6	0.5174						
31	0.0486 ± 0.0015	0.0304 ± 0.0003	0.2042 ± 0.0071	193.4 ± 1.8	188.7 ± 7.1	0.6327						
32	0.1195 ± 0.0027	0.3475 ± 0.0028	5.7262 ± 0.1531	1922.5 ± 17.9	1935.3 ± 144.7	0.2062						
33	0.0519 ± 0.0015	0.0321 ± 0.0003	0.2295 ± 0.0074	203.4 ± 1.9	209.8 ± 7.5	0.6472						
34	0.0509 ± 0.0016	0.0437 ± 0.0004	0.3066 ± 0.0109	275.7 ± 2.7	271.5 ± 11.0	0.4221						
35	0.0486 ± 0.0012	0.0279 ± 0.0002	0.1870 ± 0.0054	177.3 ± 1.5	174.1 ± 5.5	0.5220	*					
36	0.0526 ± 0.0016	0.0403 ± 0.0004	0.2926 ± 0.0102	255.0 ± 2.5	260.6 ± 10.3	0.7909						
37	0.0514 ± 0.0012	0.0419 ± 0.0003	0.2968 ± 0.0083	264.4 ± 2.2	263.9 ± 8.4	0.7017						
38	0.1206 ± 0.0027	0.3438 ± 0.0028	5.7165 ± 0.1539	1904.8 ± 17.8	1933.9 ± 145.3	0.0495						
39	0.1140 ± 0.0025	0.3163 ± 0.0025	4.9715 ± 0.1311	1771.7 ± 16.3	1814.5 ± 125.1	0.1157						
40	0.0506 ± 0.0014	0.0349 ± 0.0003	0.2437 ± 0.0077	221.2 ± 2.0	221.4 ± 7.8	0.7556						
41	0.0502 ± 0.0021	0.0283 ± 0.0005	0.1956 ± 0.0089	179.8 ± 3.1	181.4 ± 9.0	0.5987	*					
42	0.0502 ± 0.0013	0.0423 ± 0.0007	0.2933 ± 0.0093	267.3 ± 4.2	261.1 ± 9.4	0.5148						
43	0.0488 ± 0.0014	0.0271 ± 0.0004	0.1824 ± 0.0061	172.2 ± 2.7	170.1 ± 6.1	0.5586	*					
44	0.0490 ± 0.0012	0.0273 ± 0.0004	0.1845 ± 0.0055	173.5 ± 2.7	172.0 ± 5.6	0.3814	*					
45	0.0501 ± 0.0012	0.0307 ± 0.0005	0.2126 ± 0.0062	195.2 ± 3.0	195.7 ± 6.3	0.6540						
46	0.0515 ± 0.0017	0.0412 ± 0.0007	0.2931 ± 0.0112	260.5 ± 4.3	261.0 ± 11.3	0.7674						
47	0.0489 ± 0.0012	0.0269 ± 0.0004	0.1813 ± 0.0054	171.0 ± 2.6	169.1 ± 5.4	0.2223	*					
48	0.1114 ± 0.0025	0.3333 ± 0.0050	5.1201 ± 0.1555	1854.3 ± 32.4	1839.5 ± 146.8	0.9911						
49	0.1759 ± 0.0038	0.5005 ± 0.0075	12.1408 ± 0.3313	2616.0 ± 48.0	2615.3 ± 290.5	0.4988						
50	0.1522 ± 0.0034	0.4429 ± 0.0067	9.2982 ± 0.2872	2363.5 ± 43.0	2367.8 ± 256.4	0.3786						
51	0.0502 ± 0.0015	0.0332 ± 0.0005	0.2294 ± 0.0080	210.3 ± 3.4	209.7 ± 8.1	0.6236						
52	0.0510 ± 0.0016	0.0424 ± 0.0007	0.2981 ± 0.0108	267.6 ± 4.3	264.9 ± 11.0	0.2942						
53	0.0513 ± 0.0015	0.0410 ± 0.0006	0.2901 ± 0.0098	259.1 ± 4.1	258.6 ± 9.9	0.5386						
54	0.0493 ± 0.0014	0.0349 ± 0.0005	0.2373 ± 0.0077	221.1 ± 3.5	216.2 ± 7.7	0.5776						
55	0.0505 ± 0.0015	0.0429 ± 0.0007	0.2988 ± 0.0105	270.6 ± 4.3	265.5 ± 10.6	0.5223						
56	0.0520 ± 0.0022	0.0403 ± 0.0007	0.2891 ± 0.0136	254.7 ± 4.5	257.8 ± 13.7	0.6704						
57	0.1150 ± 0.0025	0.3350 ± 0.0050	5.3148 ± 0.1476	1862.5 ± 32.3	1871.2 ± 139.8	0.4228						
58	0.0574 ± 0.0021	0.0448 ± 0.0008	0.3547 ± 0.0152	282.8 ± 4.8	308.3 ± 15.3	0.5304	discordant					
59	0.0504 ± 0.0012	0.0382 ± 0.0006	0.2660 ± 0.0078	241.9 ± 3.7	239.5 ± 7.9	0.0659						
60	0.0518 ± 0.0018	0.0435 ± 0.0007	0.3107 ± 0.0128	274.4 ± 4.6	274.8 ± 12.9	0.4127						



第5図 砂岩中から抽出された碎屑性ジルコン粒子の分析データ。(a)コンコーディア図；(b)コンコ-
 ーダントデータのヒストグラム及び相対確率分布曲線。灰色円はディスコ-
 ーダントデータ。

Fig. 5 Analytical data of the detrital zircon grains from the sandstone: (a) concordia diagram and (b) probability
 density plot and histogram for the concordant data. A gray circle indicates discordant data.

謝辞：株式会社京都フィッシュン・トラックの檀原 徹氏及び岩野英樹氏にはジルコンのU-Pb年代を測定いただいたほか、手法の記述について意見をいただいた。地質図作製においては、地質調査総合センター地質情報研究部門の工藤 崇博士が取得した新生界と中生界の露頭データも参考にさせていただいた。地質情報基盤センター地質標本館室地質試料調製グループの諸氏には薄片を作製いただいた。査読者の原 英俊博士及び編集担当の高橋 浩博士(共に地質情報研究部門)には、原稿改善に当たり有益なご意見をいただいた。記して感謝の意を表する。

文 献

- Brown, E. H. and Gehrels, G. E. (2007) Detrital zircon constraints on terrane ages and affinities and timing of orogenic events in the San Juan Islands and North Cascades, Washington. *Can. Jour. Earth Sci.*, **44**, 1375–1396.
- 永広昌之・川村信人・川村寿郎(2005) II. 1.1 東北地方, 中古生界, 概説および構造帯区分. 日本の地質増補版編集委員会編, 日本の地質増補版, 共立出版, 東京, 49–50.
- 永広昌之・山北 聡・高橋 聡・鈴木紀毅(2008) 安家一久慈地域の北部北上帯ジュラ紀付加体. 地質雑補遺, **114**, 121–139.
- Hattori, K., Sakata, S., Tanaka, M., Orihashi, Y. and Hirata, T. (2017) U–Pb age determination for zircons using laser ablation-ICP-mass spectrometry equipped with six multiple-ion counting detectors. *Jour. Anal. At. Spectrom.*, **32**, 88–95.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継(2012) 同一ジルコン結晶を用いたフィッシュン・トラックとU-Pbダブル年代測定法の評価ー島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いてー. 地質雑, **118**, 365–375.
- 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) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U–Pb dating standard. *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.
- 川村寿郎・内野隆之・川村信人(2013) 早池峰山地域の地質, 第8章 北部北上帯ジュラ系. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 62–67.
- Ludwig, K. R. (2008) Isoplot 3.70: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Spec. Publ.*, **4**, 77p.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišik, M., Buret, Y., von Quadt, A., Dunkl, I., Fodor, L., Sliwinski J., Soós, I. and Szepesi, J. (2015) Zircon geochronology and geochemistry to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern central Europe. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **170**, 1–26.
- 松岡 篤(1987) 青森県尻屋層群の放散虫年代. 化石, **42**, 7–13.
- 松岡 篤・大路樹生(1990) 北部北上山地田老帯横木沢層からのジュラ紀中世放散虫化石の産出. 地質雑, **96**, 239–241.
- 箕浦幸治・対馬 博(1984) 北部北上山地東縁部小本地域の地質. 弘前大学理科報告. **31**, 93–107.
- 中江 訓・鎌田耕太郎(2003) 北部北上帯「陸中関」地域から産出した後期ジュラ紀放散虫化石. 地質雑, **109**, 722–725.
- Okawa, H., Shimojo, M., Orihashi, Y., Yamamoto, K., Hirata, T., Sano, S., Ishizaki, Y., Kouchi, Y., Yanai, S. and Otoh, S. (2013) Detrital zircon geochronology of the Silurian–Lower Cretaceous continuous succession of the South Kitakami Belt, Northeast Japan. *Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus.*, **12**, 35–78.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017) 20万分の1日本シームレス地質図V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2full/> (2017/07/01 参照)
- Sláma, J., Košler, J., Condon, J. D., 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.
- Suzuki, N. and Ogane, K. (2004) Paleogeographic affinities of radiolarian faunas in late Aalenian time (Middle Jurassic) recorded in the Jurassic accretionary complex of Japan. *Jour. Asian Earth Sci.*, **23**, 343–357.
- Suzuki, N., Ehiro, M., Yoshihara, K., Kimura, Y., Kawashima, G., Yoshimoto, H. and Nogi, T. (2007) Geology of the Kuzumaki-Kamaishi Subbelt of the North Kitakami Belt (a Jurassic accretionary complex), Northeast Japan: Case study of the Kawai–Yamada area, eastern Iwate Prefecture. *Bull. Tohoku Univ. Mus.*, no. 6, 103–174.
- 鈴木紀毅・山北 聡・高橋 聡・永広昌之(2007) 北部北上帯(葛巻-釜石帯)の大鳥層中の炭酸マンガノ

- ジュールから産出した中期ジュラ紀放射虫化石. 地質雑, **113**, 274-277.
- 内野隆之(2017) 北部北上帯門馬コンプレックスの凝灰質泥岩から得られた後期三畳紀のジルコンU-Pb年代. 地質雑, **123**, 977-982.
- 内野隆之(印刷中) 下北半島北東部大森地域に分布するジュラ紀付加体砂岩中の碎屑性ジルコンU-Pb年代. 地調研報.
- 植田勇人・盛 美和子・佐藤和泉(2009) 青森県弘前市南方の付加体泥岩から産出した前期ジュラ紀放射虫化石. 地質雑, **115**, 610-613.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newslett.*, **19**, 1-23.
- Yokoyama, T. D., Suzuki, T., Kon, Y. and Hirata, T. (2011) Determinations of rare earth element abundance and U-Pb age of zircons using multispot laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chem.*, **83**, 8892-8899.
- 吉原 賢・鈴木紀毅・永広昌之(2002) 北部北上山地, 葛巻-釜石帯のマンガンノジュールから中期ジュラ紀放射虫の発見とその意義. 地質雑, **108**, 536-539.
- (受付: 2017年8月3日; 受理: 2017年12月14日)

付表1 レーザーアブレーションマルチコレクター型結合誘導プラズマ質量分析装置による2次標準試料のU-Pb同位体データ.
Table A1 U-Pb isotopic data from secondary zircon standards using a laser ablation-multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry.

Sample name	Isotopic ratios				Age (Ma)					
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	Error 2 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Error 2 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	Error 2 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	Error 2 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	Error 2 σ
OD-3 (33.0±0.1 Ma): Iwano <i>et al.</i> (2012); Iwano <i>et al.</i> (2013); Lukács <i>et al.</i> (2015)										
OD3 7-1	0.0446 ± 0.0020		0.00504 ± 0.00007		0.0310 ± 0.0015		32.4 ± 0.5		31.0 ± 1.6	
OD3 7-2	0.0458 ± 0.0019		0.00514 ± 0.00007		0.0325 ± 0.0016		33.1 ± 0.5		32.4 ± 1.6	
OD3 7-3	0.0481 ± 0.0020		0.00512 ± 0.00007		0.0339 ± 0.0016		32.9 ± 0.5		33.9 ± 1.6	
OD3 7-4	0.0485 ± 0.0019		0.00511 ± 0.00007		0.0342 ± 0.0016		32.9 ± 0.5		34.1 ± 1.6	
							32.8 ± 0.3		(weighted mean)	
Plešovice (337.1±0.4 Ma): Sláma <i>et al.</i> (2008)										
PSV 6-1	0.0531 ± 0.0012		0.05226 ± 0.00090		0.3826 ± 0.0122		328.4 ± 5.8		329.0 ± 12.4	
PSV 6-2	0.0532 ± 0.0012		0.05239 ± 0.00090		0.3843 ± 0.0123		329.2 ± 5.8		330.2 ± 12.4	
PSV 8-1	0.0518 ± 0.0014		0.05310 ± 0.00065		0.3791 ± 0.0136		333.5 ± 4.2		326.4 ± 13.8	
PSV 8-2	0.0529 ± 0.0015		0.05258 ± 0.00065		0.3838 ± 0.0139		330.3 ± 4.2		329.9 ± 14.1	
							330.8 ± 2.4		(weighted mean)	
GJ-1 (610.0±0.9 Ma): Jackson <i>et al.</i> (2004)										
GJ1 6-1	0.0599 ± 0.0013		0.09767 ± 0.00167		0.8071 ± 0.0254		600.7 ± 10.8		600.8 ± 25.4	
GJ1 6-2	0.0599 ± 0.0013		0.09900 ± 0.00170		0.8177 ± 0.0257		608.6 ± 10.9		606.7 ± 25.8	
GJ1 8-1	0.0590 ± 0.0016		0.09789 ± 0.00121		0.7967 ± 0.0291		602.0 ± 7.8		595.0 ± 29.1	
GJ1 8-2	0.0595 ± 0.0017		0.09864 ± 0.00122		0.8099 ± 0.0295		606.4 ± 7.9		602.4 ± 29.5	
							604.3 ± 4.5		(weighted mean)	