

K-Ar 年代に基づく吾妻火山の形成史

松本哲一^{1,*}・中野 俊¹・古川竜太¹・山元孝広¹

Akikazu Matsumoto, Shun Nakano, Ryuta Furukawa and Takahiro Yamamoto (2018) History of Azuma Volcano based on K-Ar age determinations. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 69 (3), p.153-163, 3 figs, 2 tables.

Abstract: Azuma Volcano, located in Yamagata and Fukushima prefectures, is a large composite Quaternary volcano group. K-Ar ages by the isotope dilution method were determined for 38 lava samples. The volcano consists mainly of lava flows which have mostly similar petrographic characteristics. According to the determined age data, the volcanic edifice was divided into 12 units including Holocene Jododaira Volcano. The volcanic activity of Azuma Volcano began at ca. 1200 ka from the east and migrated to the west, and at ca. 700 ka, reversely migrated to the east. The latest activity is occurring at Jododaira Volcano. There is no long dormancy during the activity of Azuma Volcano from ca. 1200 ka to the present.

Keywords: Quaternary volcano, Azumayama, Azuma Volcano, K-Ar age, isotope dilution method

要 旨

山形・福島県境に位置する第四紀の大型複成火山である吾妻火山について、同位体希釈法による38溶岩試料のK-Ar年代測定を行い、火山活動の時間的空間的変遷を明らかにした。吾妻火山は安山岩の溶岩流が主体の火山であり、一部の火山体を除き、岩石学的にはほとんど区別できない。年代測定に基づき、完新世に形成された浄土平火山を含め、12の火山に区分した。最も古い活動は1200 ka頃に東側で開始し、徐々に西方へ移動し、700 ka頃に西端で活動、その後、再び東側に時間をおって活動中心が移動している。従来は、吾妻火山の活動は300 ka以降、完新世の活動までの長い休止期が存在するとされていたが、その期間にも活動は継続しており、現在まで長い休止期を挟まずにほぼ継続的に活動が続いていることが明らかになった。

1. はじめに

吾妻火山(あるいは吾妻火山群)は山形県と福島県にまたがり、福島盆地の西側に東西約22 km, 南北約13 kmの範囲に分布する大型の第四紀複成火山群である。この火山群には、ほぼ西から東へ主に標高1,800~2,000 m超の西大巔、西吾妻山(最高峰:標高2,035m)、中大巔、東大巔、中吾妻山、東吾妻山、一切経山、高山など

の底径1~数km, 比高200~500 mの緩斜面を持つ安山岩質の火山錐が重なり合っていてきている(藤縄・鴨志田, 1999)。このうち、現在も活動的であるのは、山体東部にある吾妻小富士火砕丘や五色沼や大穴などの火口群を形成した約7 ka以降の浄土平火山(山元, 2005)の活動である。浄土平火山についての活動史や岩石学についての研究は山元(2005)以外にもいくつかある(例えば、鴨志田, 1991; 岩瀬, 1995; 岩瀬・守屋, 1997; 尾崎・藤縄, 2013)が、いずれも詳細な公表には至っていない。また、1893年に発生した浄土平南方の燕沢火口列における水蒸気噴火の調査時には、地質調査所職員2名が殉職する事故が起こり(例えば、佐藤, 1985)。20世紀には4回の水蒸気噴火が、また、2008年からは噴気活動が活発化するなど、極めて活動的な火山である(気象庁編, 2013)。この浄土平火山の噴火史についてはすでに山元(2005)が詳細に報告しており、本報告では扱わない。

またこれらの火山体を形成する火山噴出物とは別に、東麓部から福島盆地南部に分布が確認されている吾妻福島テフラ(約140 ka)及び吾妻佐久間テフラ(約130 ka)が、吾妻火山起源のプリニー式噴火による降下テフラ層とされている(Yamamoto, 2005; 山元, 2012)。しかし、これらの給源が吾妻火山のどこであるかは明確にはなっていない。

吾妻火山全域に関する研究例は極めて少ない。岩石学的にはKawano *et al.* (1961)やTakahashi *et al.* (2013)が、

¹ 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: A. Matsumoto, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan. E-mail: aki.matsumoto@aist.go.jp

ほぼ全域を扱った地質学的研究としては、新エネルギー・産業技術総合開発機構(1991) (以下、NEDO (1991)) 及び安斎(1996)がある。NEDO (1991)は多数の放射年代測定(K-Ar及びフィッシュン・トラック法)や古地磁気測定を実施し、吾妻火山全体を16ユニットに分け、さらに古期、中期、新期火山に大別した。この地熱資源調査により、ようやくほぼ吾妻火山の全貌が明らかになった。そのほか、鴨志田(1991)による一切経山を頂点とした東に開いた爆裂カルデラ地形の想定(280～100 ka)、藤縄・鴨志田(1999)ではこのカルデラ形成は約150 kaと推定し、それ以前の活動は300 kaには終了していると考えた。なお、このカルデラが上述した2枚のプリニー式降下火砕物の有力な給源候補とも考えられている(山元, 2012)。吾妻火山に関する研究史の詳細については古川ほか(印刷中)に記載されている。

著者らのうち3名(中野・古川・山元)は、5万分の1地質図幅「吾妻山」(古川ほか, 印刷中)作成のための地表踏査を実施した。しかし、地形的特徴による山体の新旧関係の判断が困難であることが多く、また、一切経山の東壁を除き溶岩・火砕岩の累重などの顕著な成層構造は見られない。露頭単位では層厚10 m以上の厚い溶岩からなる単一のユニットのみであることが多く、噴出物の直接の被覆関係が確認できない場合がほとんどであった。また、岩質はごく一部を除き安山岩質でいずれも斑状組織が発達し、斜方輝石単斜輝石安山岩にかんらん石あるいは石英斑晶が含まれることがあるが全体として変化に乏しく、地形的に同一火山錐であっても斑晶組み合わせは均一ではなく、岩質のみで区分可能な山体はごく一部にとどまる。また、安斎(1996)も指摘しているが、多くの山体は火砕物に乏しく、溶岩流を主体とした火山錐である。これらの多くの火山錐は、露頭に乏しいならかな地表面を持ち、そこに深く切り込む溪谷沿いのみに厚い溶岩が露出することを特徴としている。完新世に形成された浄土平火山を除くと、不明瞭ながらも溶岩流に特徴的な表面地形あるいは火口らしき頂部の凹地形が認められるのは、高山、東吾妻山及び中吾妻山火山のみである。確認できた火砕流堆積物は、火山体北西部の強溶結した大平火砕流堆積物(新称)(西大巔・西吾妻火山)、火山体北東部の蟹ヶ沢に露出する溶結した火砕流堆積物(高倉山火山)、及び、山体中心部に形成された谷地平湖成堆積物(古川ほか, 印刷中)の最下部に露出する非溶結の火砕流堆積物のみである。

今回の地質図作成を目的とした野外調査のみでは噴出物の上下関係の把握が困難であったことから、完新世に形成された浄土平火山より古い火山体の噴出物について新たにK-Ar年代測定を行い、その結果を基に火山体区分を試み、吾妻火山全体の活動史を検討する。

2. 年代測定試料及び測定方法

吾妻火山から採取した38個のK-Ar年代測定試料は、いずれも溶岩試料である。それらの採取地点を第1図に、SiO₂含有量や斑晶組み合わせ等を第1表に示した。試料はいずれも斜長石と輝石を主とした斑状組織が発達している。まれに、かんらん石の一部がイデイングサイト化していることがある程度で、いずれも新鮮である。

K-Ar年代測定用試料の調製は以下の手順で行った。溶岩試料を軟鉄製乳鉢で粉碎後、ふるいで0.25～0.50 mm径(32～60 mesh size)に揃え、その粒子中からアイソダイナミック・セパレーターで斑晶鉱物を可能な限り除去した石基濃集フラクション(濃集度99%以上)を年代測定に供した。

K-Ar年代測定におけるアルゴン同位体の測定は、VG Isotopes社製1200C型希ガス質量分析計を用いて、³⁸Ar濃縮スパイクによる同位体希釈法で行った。アルゴン同位体測定の手順及び年代誤差の算出方法は、宇都ほか(1995)及びMatsumoto and Kobayashi (1995)に従った。カリウムの定量は、アサヒ理化学製作所製FP-33D型炎光光度計を用い、内部標準試料としてリチウムを添加する炎光光度法(松本, 1989)で行った。K-Ar年代の計算に用いた定数は、 $\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10}/y$ 、 $\lambda_{\alpha}=0.581 \times 10^{-10}/y$ 、 $^{40}K/K=0.01167 \text{ atom \%}$ である(Steiger and Jäger, 1977)。

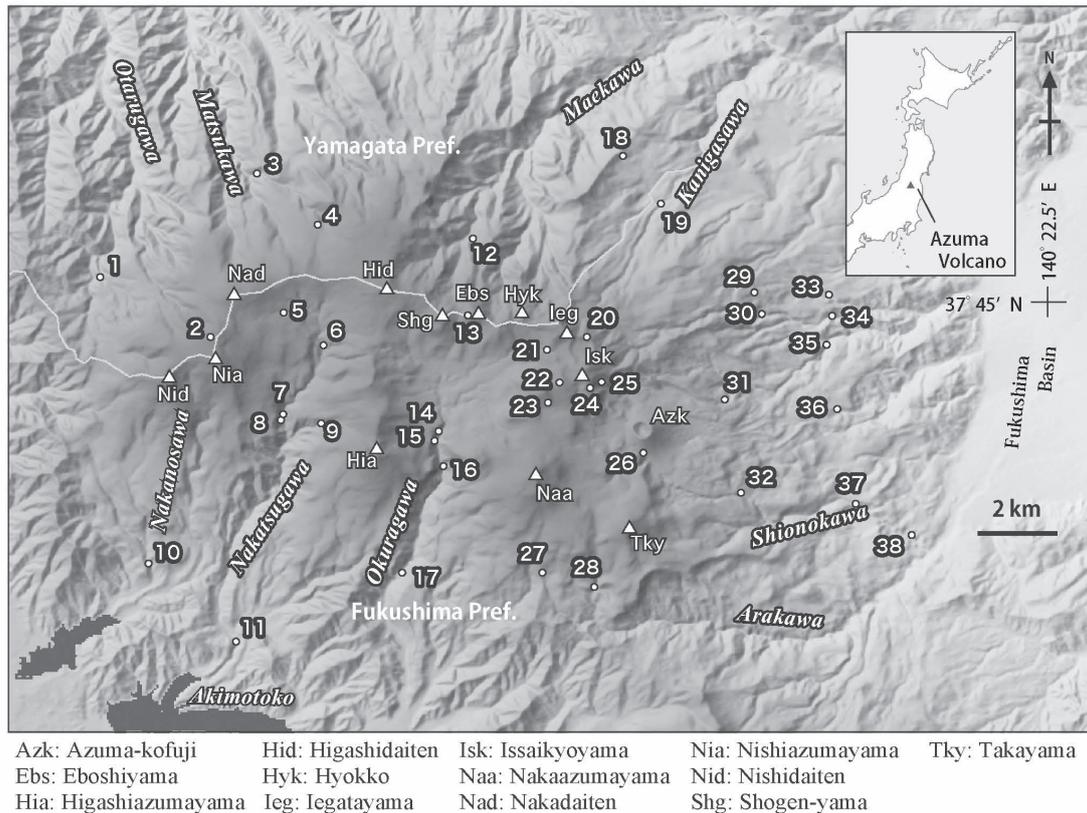
3. 測定結果とその評価

今回のK-Ar年代測定の結果を第2表に示した。全38試料のうち10試料については、2回の繰り返し測定を行っており、それらの重み付き平均値を表中に示し、以下の議論の際に用いた。今回得られたK-Ar年代のうち、最も古い測定値は1180±30 ka (No. 37)、最も若い測定値は39±5 ka (No. 26)であった。この結果は、吾妻火山の活動期が前期更新世後半(カラブリアン期)から後期更新世までの長期にわたることを示している。

なお、これらのうち7試料については、NEDO (1991)がすでに報告しているK-Ar年代(測定：岡山理科大学)とほぼ同一地点から採取した試料である。各試料の年代値(括弧内がNEDO報告値)を古い順に列挙すると、413±6 ka (410±30 ka)、341±17 ka (510±30 ka)、326±7 ka (480±60 ka)、281±7 ka (460±300 ka)、267±11 ka (360±20 ka)、198±7 ka (240±30 ka)、188±8 ka (280±30 ka)であり、今回の測定値は多くの地点でNEDO報告値とは大きく異なる若い値を示す傾向が見られた。

すでに述べたように、踏査ルート上にて層位関係の明白な地点は極めて少ない。測定試料のうち、No. 3とNo. 4、No. 7とNo. 8、No. 14とNo. 15、No. 24とNo. 25のみが直接の上下関係が確実な試料である。

山体北西部のNo. 3とNo. 4では直接の重なりは確認



第1図 K-Ar年代測定試料の採取地点
 詳細な位置情報(緯度経度)は第1表に示す。白丸印は試料採取地点、数字は第1表の試料番号。地図の作製には国土地理院の50 m DEMデータを使用した。

Fig. 1 Localities of rock samples for K-Ar dating collected from Azuma Volcano.
 White circles with numbers are sampling localities and their numbers in Table 1. Accurate sites of localities are listed in the table. 50 m DEM data by Geospatial Information Authority of Japan are used for this map.

できていないが、大平火砕流堆積物の直上と直下の溶岩であり、上下関係は明らかである。火砕流直下の溶岩からは 636 ± 22 ka (No. 3), 直上の溶岩からは 663 ± 9 ka (No. 4)の値が得られ、誤差を考慮すると上位と下位の溶岩層との間に有意な時間間隙はなく、大平火砕流とその上下の溶岩の噴出年代は約650 kaと推定される。

山体南西部のNo. 7とNo. 8(中津川流域)については、2枚の溶岩が重なる同一露頭から採取しており、下位(No. 8)から 660 ± 40 ka, 上位(No. 7)から 643 ± 11 kaの値が得られた。これらも誤差の範囲で一致しており、露頭では両者間に侵食間隙が認められず、クリンカーのみを介在して累重していたことと矛盾しない。

山体中央部のNo. 14とNo. 15(大倉川流域)については、渓谷沿いにはほぼ連続する露頭からの試料であり、下位(No. 14)から 320 ± 20 ka, 上位(No. 15)から 281 ± 7 kaの値が得られた。これらは測定誤差を考慮すると、層位関係とは矛盾しない。露頭ではこの2試料はやや離れた地点で採取しているが、クリンカーのみを介在して両者の

間にさらに1枚の溶岩が挟まることが確認されている。

一切経山東のNo. 24とNo. 25については、下位(No. 25)から 472 ± 16 ka, 上位(No. 24)から 259 ± 14 kaの値が得られた。これらには統計的に十分有意な差が認められるが、層位関係とは矛盾しない。両者はやや離れた地点で採取しているが、間に多数の成層したアグルチネート及び降下火砕物のほか二次堆積物が挟在しており、明確な傾斜不整合面は確認できていないが両者のK-Ar年代に大きな差異があることと矛盾しない。両者は時間間隙を挟んだ別個の活動期を持つ火山体に属すると考えるべきかもしれない。

4. K-Ar年代に基づく火山体区分

以下、今回得られたK-Ar年代に基づき、吾妻火山の新たな岩体区分を行った(第2図)。各火山あるいは堆積物の名称は新称あるいは改称・再定義である。各火山の詳細は古川ほか(印刷中)を参照されたい。

第1表 吾妻火山から採取したK-Ar年代測定試料
緯度経度のほか、採取試料(いずれも溶岩)の全岩SiO₂含有量、斑晶組み合わせ及び石基組織の特徴を合わせて示す。
GSJ R番号は地質標本館登録番号。採取位置概略は第1図に示した。

Table 1 List of lava samples for K-Ar dating collected from Azuma Volcano.
Latitudes/longitudes of samples dated are listed with their bulk SiO₂ contents, phenocryst assemblages and groundmass textures.
GSJ R Nos. are registered numbers at the Geological Museum, GSJ.

No.	GSJ R No.	Lat. (N)	Long. (E)	SiO ₂ (wt%)	Phenocryst						Groundmass texture
					Pl	Ol	Opx	Cpx	Qz	Opq	
1	R109280	37.75571	140.10951	59.6	◎	○	○	○		△	intersertal
2	R109316	37.74300	140.14006	56.8	◎	◎	○	○		△	intersertal
3	R109278	37.77993	140.15370	60.5	◎		○	○		△	intergranular
4	R109282	37.76850	140.17001	59.5	◎	○	○	○		△	intergranular
5	R109288	37.74834	140.16157	60.5	◎	◎	○	○	△	△	hyaloophitic
6	R109287	37.74139	140.17122	60.3	◎	△	○	○	△	△	intergranular
7	R109290	37.72470	140.16070	59.4	◎	△	○	○		△	intersertal
8	R109289	37.72437	140.16033	59.2	◎		○	○		△	intersertal
9	R109322	37.72331	140.17141	62.0	◎	(△)	○	○		△	hyaloophitic
10	R109315	37.69122	140.12268	61.9	◎		○	○	○	△	intersertal, Qz-patch
11	R109317	37.67427	140.14770	58.6	◎		○	○		△	intergranular
12	R109328	37.76458	140.21293	58.7	◎	○	○	○		△	intersertal
13	R109327	37.74796	140.21294	59.0	◎	◎	○	○		△	intersertal
14	R109320	37.72207	140.20381	60.1	◎		○	○		△	intergranular
15	R109321	37.71935	140.20221	63.9	◎		○	○		△	hyalopilitic, Qz-patch
16	R109318	37.71379	140.20507	63.6	◎		○	○		△	hyalopilitic, Qz-patch
17	R109329	37.68889	140.19441	60.7	◎	△	○	○		△	intersertal
18	R109276	37.78399	140.25473	58.5	◎	△	○	○		△	intergranular
19	R109275	37.77317	140.26666	59.4	◎		○	○		△	intergranular
20	R109293	37.74299	140.24473	56.3	◎	(△)	○	○		△	intergranular
21	R109296	37.73961	140.23391	58.8	◎	△	○	○		△	intergranular
22	R109303	37.73253	140.23730	58.3	◎		○	○		△	intergranular
23	R109324	37.72857	140.23495	52.0	◎	◎	○	○	△	△	intergranular
24	R109301	37.73082	140.24694	57.0	◎	◎	○	○		△	hyalopilitic
25	R109299	37.73131	140.25020	57.3	◎		○	○		△	hyalopilitic
26	R109334	37.71690	140.26050	58.6	◎	○	○	○		△	hyalopilitic
27	R109332	37.69046	140.23201	61.7	◎		○	○	△	△	intersertal
28	R109333	37.68678	140.24810	61.5	◎		○	○	△	△	hyalopilitic
29	R109308	37.75329	140.29153	60.6	◎	○	○	○	△	△	intergranular, Qz-patch
30	R109294	37.74725	140.29475	63.9	◎		○	○		△	hyaloophitic
31	R109295	37.72807	140.28436	61.7	◎		○	○		△	hyaloophitic, Qz-patch
32	R109304	37.70687	140.28818	59.9	◎		○	○		△	intersertal
33	R109307	37.75205	140.31298	58.4	◎		○	○		△	intergranular
34	R109306	37.74738	140.31352	58.1	◎	△	○	○		△	intergranular
35	R109305	37.74087	140.31273	62.6	◎		○	○		△	hyalopilitic, Qz-patch
36	R109309	37.72607	140.31571	59.8	◎	○	○	○	△	△	intergranular, Qz-patch
37	R109274	37.70478	140.31998	59.4	◎	△	○	○		△	intergranular
38	R109273	37.69673	140.33700	60.3	◎	△	○	○		△	intergranular

Pl: plagioclase, Ol: olivine, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Qz: quartz, Opq: opaque minerals

◎: very common, ○: common, △: rare

第2表 吾妻火山のK-Ar年代測定結果
Table 2 Results of K-Ar age determinations of volcanic rocks for Azuma Volcano.

No.	GJSJ R No.	Sample No. (original)	Sample wt. (g)	K ₂ O (%)	Total ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁹ STP ml/g)	Rad. ⁴⁰ Ar (%)	Non rad. ⁴⁰ Ar (%)	Age (ka)	No.	GJSJ R No.	Sample No. (original)	Sample wt. (g)	K ₂ O (%)	Total ⁴⁰ Ar (10 ⁻⁹ STP ml/g)	Rad. ⁴⁰ Ar (%)	Non rad. ⁴⁰ Ar (%)	Age (ka)
1	R109280	SRB218	0.35650	1.689	73.0	29.0	60.3	535±20	19	R109275	ITY705	0.35776	1.727	1010	45.0	95.6	800±100
2	R109316	AZM370	0.36964	1.415	179	18.0	89.9	390±20	20	R109293	AZM111	0.38402	1.522	43.5	10.9	75.0	221± 5
3	R109278	TGD153	0.49800	1.787	209	36.7	82.4	640±20	21	R109296	AZM263	0.35811	1.453	62.3	15.9	74.5	341±17
4	R109282	TGD235	0.49901 0.48250	1.589	101 129	34.2 33.7	66.2 73.9	667±12 657±14 Mean 663± 9	22	R109303	AZM406	0.43492	1.290	72.9	19.3	73.5	460±20
5	R109288	AZM462	0.37275	1.935	75.5	35.6	52.8	571±10	23	R109324	AZM401	0.35307	0.9425	93.9	8.1	91.4	270±50
6	R109287	AZM459	0.35325	1.789	85.4	20.3	76.2	354±13	24	R109301	TCY323	0.45610	1.647	81.8	13.8	83.2	259±14
7	R109290	AZM540-2	0.46574 0.43875	1.667	135 171	35.2 33.7	73.9 80.3	654±14 627±17 Mean 643±11	25	R109299	TCY321	0.47840	1.238	88.4	18.8	78.7	472±16
8	R109289	AZM540-1	0.48458 (Lower unit of No.7) 0.43261	1.554	612 502	29.9 34.6	95.1 93.1	600±70 700±60 Mean 660±40	26	R109334	TCY736-1	0.35345 0.41485	1.619 1.619	65.1 58.0	2.4 1.7	96.3 97.0	46± 7 33± 6 Mean 39± 5
9	R109322	AZM503	0.37480	2.410	128	26.6	79.2	342± 9	27	R109332	AZM633	0.36084	2.325	80.2	10.7	86.7	143± 9
10	R109315	AZM264	0.47094 0.48550	2.103	84.1 88.2	27.6 28.4	67.2 67.8	406±10 418± 8 Mean 413± 6	28	R109333	TCY637	0.35527 0.35265	2.413 2.413	266 200	4.1 5.3	98.5 97.3	53±20 68±15 Mean 63±12
11	R109317	AZM150	0.39995	1.458	54.7	12.6	77.0	267±11	29	R109308	ITY630	0.35350	1.952	74.7	20.4	72.6	326± 7
12	R109328	TGD422-2	0.40052 0.39166	1.825	51.9 59.7	7.9 8.1	84.8 86.5	135± 5 137± 6 Mean 136± 4	30	R109294	TCY132	0.35127	2.193	125	31.1	75.1	440±11
13	R109327	AZM466	0.40239	2.059	65.8	12.4	81.1	188± 8	31	R109295	TCY137	0.35445 0.41542	2.361 2.361	63.6 54.0	11.4 14.1	82.1 73.9	150±15 186± 5 Mean 182± 5
14	R109320	AZM245	0.35477	1.860	72.9	19.1	73.8	320±20	32	R109304	TCY610	0.35444	1.806	106	12.4	88.3	214±10
15	R109321	AZM247	0.35609	2.769	50.3	25.0	50.2	281± 7	33	R109307	TCY629	0.40817 0.40378	1.649 1.649	70.1 86.3	9.3 11.3	86.6 86.9	176±11 212± 9 Mean 198± 7
16	R109318	AZM240	0.49235	2.478	72.7	19.9	72.7	249± 9	34	R109306	TCY624	0.34920	1.446	142	23.5	83.4	504±16
17	R109329	AZM236	0.35659 0.40934	1.933	43.6 42.8	7.4 8.2	83.0 80.9	119± 7 131± 8 Mean 124± 5	35	R109305	TCY621	0.34952	2.286	113	33.5	70.3	454±10
18	R109276	ITY718	0.34891	1.485	110	36.2	67.1	756±18	36	R109309	TCY635	0.35571	1.945	76.8	16.1	79.1	257±17
									37	R109274	TCY555	0.35839	1.213	127	46.1	63.7	1180±30
									38	R109273	TCY550	0.37496	1.616	131	54.0	58.8	1040±30

The decay constants used in the present study are $\lambda_{\beta}=4.962 \times 10^{-10}/y$, $\lambda_{\epsilon}=0.581 \times 10^{-10}/y$ and $^{40}K/K=0.01167$ atom % (Steiger and Jäger, 1977). Errors are at the 1 σ uncertainty level.

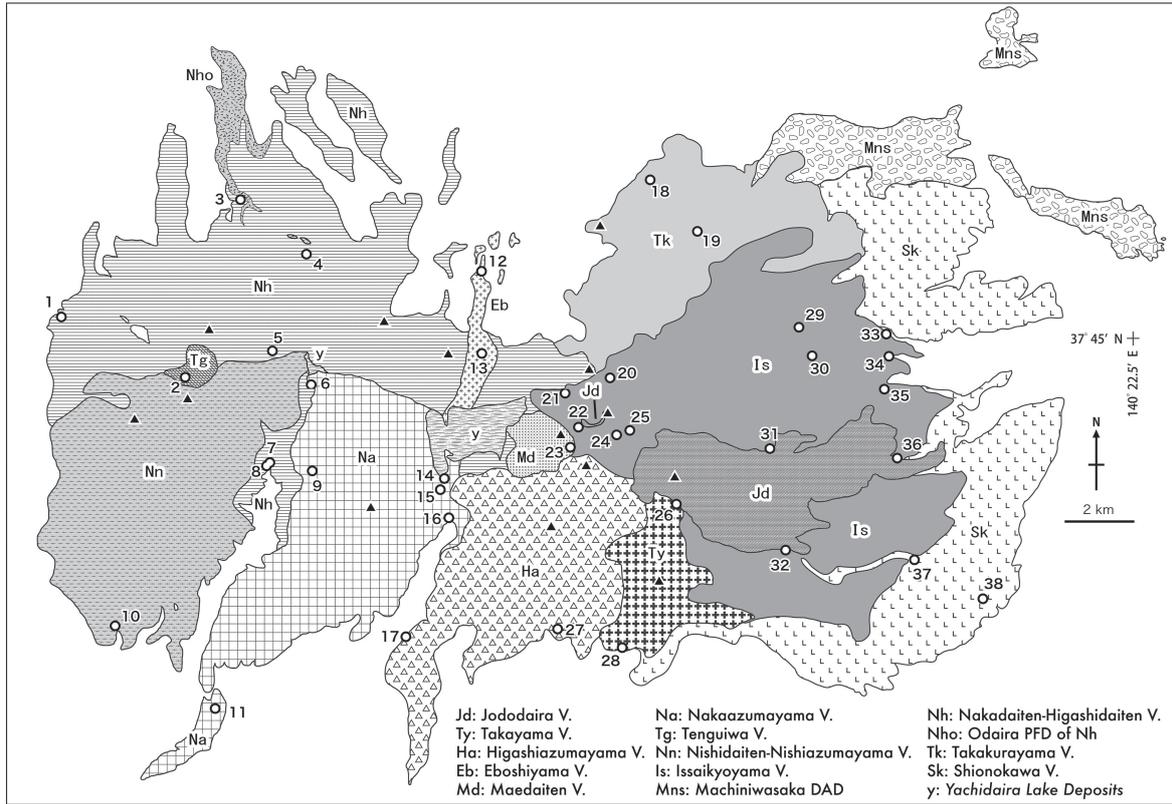
4. 1 塩ノ川火山(Sk) : 新称

福島盆地に面する東麓に広く分布し、吾妻火山の最下位を構成する。NEDO (1991)の基底火山岩類の一部(NEDO (1991)の区分で古期、以下同様)に相当する。上位を町庭坂岩屑なだれ堆積物、高倉山火山、一切経山火山、浄土平火山及び高山火山の噴出物に覆われる。末端部は崩落崖や地すべり地形の発達が著しい。

塩ノ川では柱状節理あるいは板状節理の発達した溶岩が露出するが、そのほかの地域では緩斜面が多く極めて露出に乏しく、正確な分布は把握できていない。

今回の測定では、1180 ± 30 ka (No. 37) 及び 1040 ± 30 ka (No. 38) の値が得られ、約1200 ~ 1000 kaの活動期である。NEDO (1991)では1270 ± 90 ka, 1180 ± 50 ka, 1090 ± 80 ka及び1020 ± 40 kaが報告されており、ほぼ

同時代を示しており、今回の結果と矛盾しない。なお、NEDO (1991)の測定のうち、吾妻小富士北東から1550 ± 650 kaの誤差が大きい年代も報告されているが、今回の測定ではそのやや下流から440 ± 11 ka (No. 30)の値が得られており(後述する一切経山火山に属する)、その付近には塩ノ川火山が谷底にわずかに露出している可能性は否定できない。北東部の緩斜面からはNEDO (1991)によって910 ± 410 ka, 430 ± 20 kaが報告されているが、誤差が大きい、あるいは、明らかに若い年代である。この若い年代値は、試料採取地点から考えると、本火山体を覆うと推定される町庭坂岩屑なだれ堆積物に含まれる岩塊を測定した可能性が高い。



第2図 K-Ar年代測定に基づく吾妻火山の地質図

▲は主なピークの位置(第1図参照)。番号は第1図と共通。V:火山噴出物, PFD:火砕流堆積物, DAD:岩屑なだれ堆積物。

Fig. 2 Geological map of Azuma Volcano based on K-Ar age data.

Black triangles are main peaks and white circles with numbers are the same with Fig. 1. V: volcanic products, PFD: pyroclastic flow deposit, DAD: debris avalanche deposit.

4.2 高倉山火山(Tk)

一切経山の北方付近から東方に分布する。本火山は、NEDO (1991) の高倉山安山岩あるいは、基底火山岩類(古期)及び前一切経溶岩(古期)の一部に相当する。表層を岩屑が覆うことがしばしば確認されるが、その一部は町庭坂岩屑なだれ堆積物に相当すると判断する(第2図では省略)。

高倉山の南斜面には溶岩・火砕岩の成層構造が見られる。高倉山北東や蟹ヶ沢では最大層厚30 m以上の溶岩及び火山角礫岩であるが、一部を除き強変質していることが多い。蟹ヶ沢の標高700~750 m付近では新第三紀層を覆って層厚25 mの強溶結ないし中程度に溶結した火砕流堆積物が露出し、径10 cm以下のスコリア片に富むが、高倉山火山の噴出物に含める。

今回の測定では、800±100 ka (No. 19) 及び756±18 ka (No. 18) の値が得られ、誤差を考慮すると活動期は900~700 kaである。NEDO (1991) では670±30 ka, 630±30 ka, 600±30 ka, 570±40 kaの値が報告されており、今回得られたK-Ar年代はNEDO (1991) の報告値よりも若干古い傾向がある。

4.3 中大巔・東大巔火山(Nh): 新称

吾妻火山北西部を広く占める。NEDO (1991) の西吾妻溶岩(古期)の一部、東大巔溶岩、昭元山溶岩、家形山溶岩(以上、中期)及び兵子溶岩(新期)を含む。本火山を構成する火山噴出物は、高倉山の噴出物を覆い、烏帽子山火山、天狗岩火山、西大巔・西吾妻山火山及び中吾妻山火山の各火山噴出物に覆われる。火口地形はまったく残されていないがほとんどが溶岩流からなると推定される緩傾斜の表面地形が広がり、火山錐の地形からは、中大巔、東大巔、家形山などの山頂付近、合わせて5ヶ所以上に東西方向に並んだ噴出中心が存在したと推定される。噴出物は、この東西の稜線の南側に深く切れ込む中津川及び大倉川の源頭部にも分布することから、この火山体は東西稜線の複数の火口から南北斜面に大量の噴出物をもたらしたことになる。中大巔の北方には強溶結した大平火砕流堆積物(新称)が挟在する。

上述したとおり、本噴出物の噴出源は東西方向に並ぶいくつかの地形的高所付近と見なせるが、いずれもアグルチネートなどの火口近傍相と判断できるような産状を示す岩相はほとんど見当たらない。噴出物が観察できる

地点は少ないがいずれも層厚のある溶岩流であることが多い。中津川中流域ではクリンカーを挟んで2枚の溶岩が露出するが、このように複数枚の溶岩が1露頭で確認できることは極めてまれである。

大平火砕流堆積物は中大巔北方のみに分布し、最大層厚100 m以上の強溶結部からなり、弱溶結部はわずかである。一部で溶岩流を覆い、さらにその上流では溶岩に覆われる。分布と溶結の程度から、おそらく谷埋めの火砕流と推定される。

今回の測定では、663 ± 9 ka (No. 4), 660 ± 40 ka (No. 8), 643 ± 11 ka (No. 7), 640 ± 20 ka (No. 3), 571 ± 10 ka (No. 5) 及び 535 ± 20 ka (No. 1) が得られ、誤差を考慮すると活動期は700 ~ 500 kaであることを示す。NEDO (1991) では1040 ± 160 ka, 580 ± 30 ka, 560 ± 40 ka (転石?), 580 ± 20 ka, 540 ± 50 ka 及び 540 ± 40 ka の値が報告されており、1040 ± 160 ka (東大巔北) を除けば矛盾のない年代が得られている。測定結果について前述したように、大平火砕流の噴出年代は約650 kaである。

4.4 町庭坂岩屑なだれ堆積物(Mns)：新称

福島盆地まで流下した山体崩壊に伴う堆積物である。最下流部の約3 kmに渡る範囲のみに流れ山地形が認められるが、表層には数m大の巨岩が認められることがあるのみで堆積物そのものを観察できる自然露頭は確認できていない。この山体崩壊の発生源は家形山付近と推定されるが、明瞭な崩落崖は存在しない。高倉山火山の上位を覆う。下位の塩ノ川火山が構成する緩斜面表層を覆う岩屑は、本堆積物の一部と推定される。地質概略図(第2図)では、これらの薄い部分は省略してある。高倉山火山の上位に位置づけ、700 ka以降にこの岩屑なだれ堆積物をもたらした山体崩壊があったと推定する。中大巔・東大巔火山の噴出物との層位関係は不明であり、年代の上限は制約できない。

4.5 一切経山火山(Is)

一切経山付近からその東側に広く分布している。NEDO (1991) の高山溶岩(中期) 及び一切経溶岩(新期)の一部、東大巔溶岩、昭元山溶岩、家形山溶岩(以上、中期)を含む。塩ノ川火山及び高倉山火山の噴出物を覆い、前大巔火山、高山火山及び浄土平火山の噴出物に覆われる。

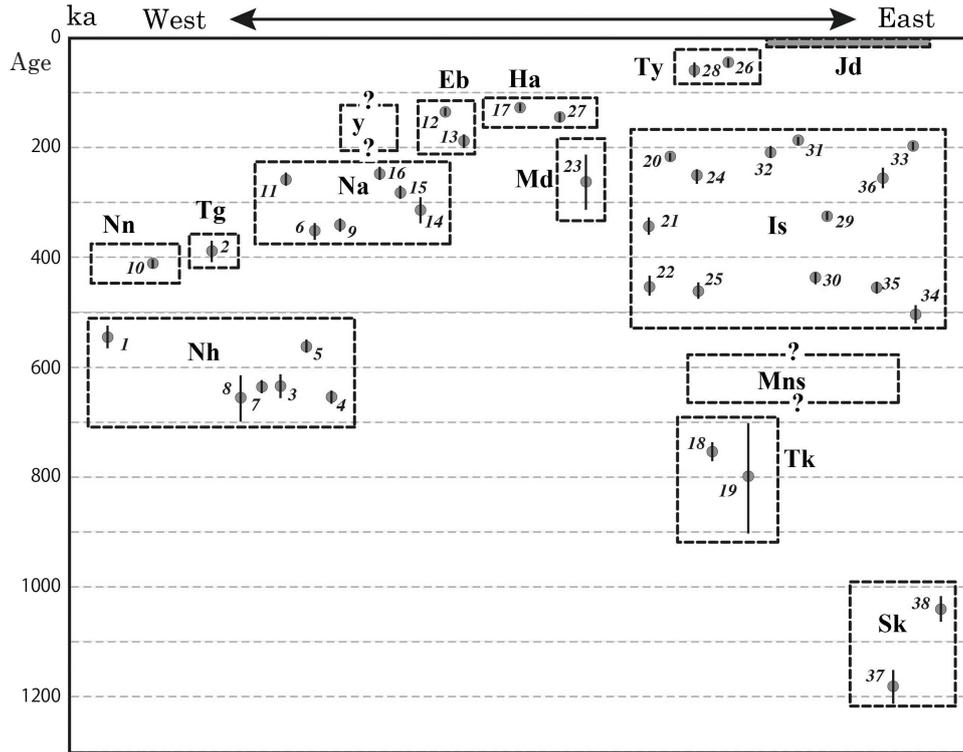
一切経山火山の活動の中心は一切経山付近であるが、一切経山北東約3 km地点にも火口近傍と思われる火砕物が分布しており、活動中心が複数存在した可能性も否定できない。一切経山の山頂東側の急崖には溶岩・溶結火砕岩と未固結火砕物の成層構造が顕著に発達している。一切経山と吾妻小富士に挟まれる平坦面(浄土平)から北にかけてを中心に白色化した強変質帯が見られる。それ以外の本火山の噴出物の分布域で確認できるのはほとんどが溶岩露頭である。

一切経山山頂付近の地表試料からは、472 ± 16 ka (No. 25), 460 ± 20 ka (No. 22), 341 ± 17 ka (No. 21), 259 ± 14 ka (No. 24) 及び 221 ± 5 ka (No. 20) の値を得た。一切経山頂東崖において新旧2つの活動期に分けられる可能性を3章「測定結果とその評価」にて前述したが、範囲を広げると中間的な値も得られた。また、中腹から山麓部では504 ± 16 ka (No. 34), 454 ± 10 ka (No. 35), 440 ± 11 ka (No. 30), 326 ± 7 ka (No. 29), 257 ± 17 ka (No. 36), 214 ± 10 ka (No. 32), 198 ± 7 ka (No. 33) 及び 182 ± 5 ka (No. 31) の値が得られ、山頂部付近における年代範囲とほぼ同様の結果となった。これらを1つの火山と見なすと誤差を考慮すると約520 ~ 170 kaの広い活動期を示す。特に、400 kaよりも古い測定値と300 kaよりも若い測定値が多いことから、山麓部での若い溶岩(概ね300 kaよりも若い)は古い山体(概ね400 kaよりも古い)を覆って流下したあるいは谷沿いに流下したはずであるが、現在の地形からはそれを読みとることができない。地形的には明瞭ではないが、一切経山の山頂付近以外にも活動中心の可能性のある地点は一切経山北東約3 km地点であり、酸化が著しい最大径1 mのパン皮状やリボン状の火山弾が多数散在する。ここを活動中心の1つとみなした場合にもこれらの年代差を説明するような地形的な区分を判断することができない。そこで、ここでは、上記のK-Ar年代を得た全域を一括して一切経山火山と定義する。なお、浄土平では100 m長のボーリング掘削調査が行われ(火山噴火予知連絡会コア解析グループ, 2011)、一切経山の低位に層厚1 m強の土石流堆積物と変質火山灰を挟在して“古期火山噴出物”(深度80 m付近以下)が記載されている。しかし、掘削地点の位置・標高から判断すると、この境界が概ね400 kaと300 kaの境界である可能性は極めて低く、地表下の“古期火山噴出物”が何に相当するかは現時点では判断できない。地表踏査から新旧の地層境界が露出する可能性がある地点は、一切経山の東崖以外には確認できなかった。

NEDO (1991) では、山頂付近からは830 ± 230 ka, 510 ± 30 ka 及び 280 ± 20 ka という値が、中腹から山麓では480 ± 60 ka, 480 ± 60 ka, 410 ± 30 ka, 370 ± 120 ka, 290 ± 30 ka, 290 ± 20 ka, 240 ± 50 ka 及び 240 ± 30 ka という値が報告されている。山頂付近のNEDO試料(510 ± 30 ka) は今回の試料(No. 21; 341 ± 17 ka) とほぼ同一地点、山腹の2つのNEDO試料(480 ± 60 kaと240 ± 30 ka) は今回の2試料(No. 29; 326 ± 7 kaとNo. 33; 198 ± 7 ka) とほぼ同一地点であり、NEDO (1991) の報告値の方が系統的に古い傾向を示すが、全体として矛盾はなく、やはり活動期間が長いことを示す。

4.6 西大巔・西吾妻山火山(Nn)：新称

吾妻山南西部、中津川の西側を占める山体を構成し、NEDO (1991) の西吾妻溶岩(古期)の一部に相当する。中



第3図 吾妻火山の活動の時空変遷

記号は第2図と、番号は第2表と同じ。縦軸が時間軸、横軸が東西方向のおおよその空間的広がりを示す。K-Ar年代の誤差(1σ)を縦線で表示。

Fig. 3 Temporal and special change of volcanic activity of Azuma Volcano.

Abbreviations are the same with Fig. 2 and Numbers are the same with Table 2. The vertical axis shows temporal change and horizontal axis shows spacial distribution from west to east. K-Ar ages are given with error bars at the 1σ uncertainty level.

大巔・東大巔火山の噴出物を覆う。西大巔の山頂部分は強溶結したアグルチネートから構成され、西大巔及び西吾妻山の2ヶ所の山頂部付近に噴出中心があったと推定される。全体になだらかな山容を示し、溶岩流に特徴的な地形は見られない。西大巔山頂の南東側には白色化した変質帯が広がっている。

今回の測定では、 413 ± 6 ka (No. 10) が得られ、420 ~ 400 kaの活動期であることを示す。NEDO (1991) では 1560 ± 280 ka, 460 ± 30 ka, 410 ± 30 kaの値が得られていた。このうちもっとも若い 410 ± 30 kaは今回の測定試料No. 10と同一露頭であり、ほぼ同様なK-Ar年代が得られていた。

4.7 天狗岩火山(Tg)：新称

本火山の噴出物は、天狗岩付近にのみ分布する。NEDO (1991)の西吾妻溶岩(古期)の一部に相当する。中大巔・東大巔火山を覆う。天狗岩付近の表層は巨大な岩塊の累重となっているが、5 m 厚以上の溶岩露頭が確認できる。

今回の測定では、 394 ± 22 ka (No. 2)の値が得られ、誤差を考慮すると420 ~ 370 kaの噴出であることを示す。先に述べた西大巔・西吾妻火山と活動期に近いが、岩質の明瞭な違い、また地形的に区分が可能なることから、これを独立の火山錐とした。

4.8 中吾妻山火山(Na)

吾妻火山南部の中津川と大倉川の2つの溪谷に挟まれた地帯に分布する火山体である。本火山の噴出物は、NEDO (1991)の中吾妻溶岩(古期)にほぼ相当する。火口地形はほとんど開析されている。大倉川では20ないし40 m層厚の複数枚の溶岩流が累重する。

今回の測定では、 354 ± 13 ka (No. 6), 342 ± 9 ka (No. 9), 320 ± 20 ka (No. 14), 281 ± 7 ka (No. 15), 267 ± 11 ka (No. 11)及び 249 ± 9 ka (No. 16)の値が得られ、誤差を考慮すると370 ~ 240 kaの活動期であることを示す。NEDO (1991)では 460 ± 300 ka, 360 ± 20 ka, 280 ± 30 kaが得られていた。このうちNEDO報告値の 460 ± 300 kaは今回の試料No. 15 (281 ± 7 ka)と、NEDO報告値

の 360 ± 20 kaは今回のNo. 11 (267 ± 11 ka) とほぼ同一露頭である。

4. 9 前大巔火山(Md)

吾妻火山東部、一切経山の西に位置する前大巔を構成する火山体で、本火山の噴出物はNEDO (1991)の前大巔溶岩(新期)にほぼ一致する。吾妻火山の中で唯一、玄武岩質火山の活動であり、この点で一切経山火山と区別できる。前大巔の山頂付近は強溶結した火砕岩が存在する。南西側には溶岩流として流下している。

今回の測定では 270 ± 50 ka (No. 23) が得られ、誤差が大きい $320 \sim 220$ kaの噴出であることを示す。隣接する一切経山火山の長い活動期に挟まれることになるが、地形的に接している400 kaより古い一切経山火山の噴出物(No. 22)を覆うことと整合的である。

4. 10 烏帽子山火山(Eb)：新称

烏帽子山を噴出中心とした小規模な火山体を構成し、北側及び南側に溶岩を流出している。NEDO (1991)の昭元山溶岩(中期)の一部に相当する。本火山の噴出物は中大巔・東大巔火山を覆う。谷地平湖成堆積物(古川ほか、印刷中)との被覆関係は確認できない。

今回の測定では、 188 ± 8 ka (No. 13) 及び 136 ± 4 ka (No. 12) が得られ、誤差を考慮すると $200 \sim 130$ kaの比較的若い活動であることを示す。NEDO (1991)では 280 ± 30 kaの値が得られている。このNEDO試料は今回の試料No. 13とほぼ同地点であるが、有意に古いK-Ar年代を示している。

4. 11 東吾妻山火山(Ha)

吾妻火山中南部に位置する。本火山の噴出物は、NEDO (1991)の東吾妻溶岩(古期)にほぼ一致する。大倉川上流で中吾妻山火山噴出物を覆う。東吾妻山の山頂部にはやや開析された火口跡らしき地形が存在するほか、その北西側にも不明瞭な火口らしき地形がある。東吾妻山の南西斜面では階段状に急崖(溶岩末端崖)を繰り返す複数の溶岩ロープからなる溶岩地形が認められ、比較的新しい時代であることを示唆する。

今回の測定では、 143 ± 9 ka (No. 27) 及び 124 ± 5 ka (No. 17)の値が得られ、 $150 \sim 120$ kaの若い活動期であることを示す。NEDO (1991)では 460 ± 140 kaが得られていた。

4. 12 高山火山(Ty)

本火山は高山に噴出中心を持つ火山体を構成する。NEDO (1991)の高山溶岩(中期)の一部(西約1/3)に相当する。塩ノ川火山及び一切経山火山を覆い、浄土平火山に覆われる。東吾妻山火山との被覆関係は不明確である。高山の山頂部には不明瞭な火口地形が認められる。

今回の測定では、 63 ± 12 ka (No. 28) 及び 39 ± 5 ka (No.

26) が得られ、 $75 \sim 30$ kaのごく若い活動期であることを示すが、東吾妻山火山の活動期と同様に、この時期はこれまで火山活動がない(NEDO, 1991; 藤縄・鴨志田, 1999)とされてきた後期更新世である。なお、NEDO (1991)では誤差の大きい 390 ± 230 kaの値が得られていた。

5. 火山活動の時間変遷

新たなK-Ar年代測定結果に基づき、吾妻火山噴出物を塩ノ川、高倉山、中大巔・東大巔、西大巔・西吾妻山、天狗岩、一切経山、前大巔、中吾妻山、烏帽子山、東吾妻山、高山及び浄土平の12火山に区分した。縦方向に時間軸、横方向に空間的位置を取り、これらを時間空間的に示した図が第3図である。この図には町庭坂岩屑なだれ堆積物と谷地平湖成堆積物も示してあるが、これらの堆積時期は未確定である。なお、谷地平湖成堆積物の最下部に火砕流堆積物が存在するが(古川ほか、印刷中)、給源は不明である。

最も古いK-Ar年代を示す山体はおおよそ $1200 \sim 1000$ kaの塩ノ川火山で吾妻火山の最下部を構成する。福島盆地に面した山麓部だけに分布する。火山体としての地形はまったく示さず、活動中心を推定することは不可能である。吾妻火山より南方に位置する安達太良火山の山麓には西鴉川安山岩(NEDO, 1991; 阪口, 1995)が分布しているが、 1510 ± 340 kaのK-Ar年代が報告されている(NEDO, 1991)。これは年代的にも塩ノ川火山に近く、両者は一体の火山岩として扱うのが妥当と思われるが、NEDO (1991)が別の地層名で扱っていることから(本論の塩ノ川火山の一部を“吾妻火山群基底火山岩類”と呼称)、ここでは両者は別の岩体としておく。

次に古い山体は後期更新世末期の $900 \sim 740$ kaの高倉山火山で、活動の中心はやや西に移動している。中期更新世になると、西側の中大巔・東大巔火山の活動が始まる($700 \sim 510$ ka)。山体の規模が大きく、約650 kaの大平火砕流を挟むものそれ以上の細分は不可能である。その後、西大巔・西吾妻山火山、天狗岩火山と続き($420 \sim 370$ ka)、中期更新世中頃にはさらにやや東に移って中吾妻山の活動となる($370 \sim 240$ ka)、さらに時代が新しくなると東に移動し、中期更新世末期から後期更新世にかけては烏帽子山火山、東吾妻山火山、高山火山と続いた($200 \sim 30$ ka)。この間に、一切経山火山の活動が $520 \sim 170$ kaの30万年間以上にわたって継続し、玄武岩質の前大巔火山も一切経山火山の活動中に形成された。最新の活動はさらに東に移動し、6.7 ka以降に活動した浄土平火山であり、現在も活動中である。上述したように、一切経山の実態は解明されていないが、全体として東から活動が始まり西に移動し、再び東に移動してきたという火山活動の時間空間的変遷が明らかになった。

これまで藤縄・鴨志田(1999)などにより指摘されていた、完新世の浄土平火山以前の30万年間の活動休止期は否定され、長い休止期を挟まずに活動中心を移動しながら吾妻火山は成長してきたといえる。

6. まとめ

吾妻火山噴出物を塩ノ川、高倉山、中大巔・東大巔、西大巔・西吾妻山、天狗岩、一切経山、前大巔、中吾妻山、烏帽子山、東吾妻山、高山及び浄土平の12火山に区分した。最も古いK-Ar年代を示す火山は東端に分布する1200～1000 kaの塩ノ川火山、そして北東の900～740 kaの高倉山火山で、その後、活動の中心は西に移動し、700～510 kaの中大巔・東大巔火山、420～370 kaの西大巔・西吾妻山火山、天狗岩火山と続き、その後は東に移動し、370～240 kaの中吾妻山、200～30 kaの烏帽子山火山、東吾妻山火山、高山火山と続いた、この間に、東部では一切経山火山の活動が520～170 kaの30万年間以上の間にわたって継続し、玄武岩質の前大巔火山もその活動中に形成された。最新の活動はさらに東に移動し、6.7 ka以降に活動した浄土平火山であり、現在も活動中である。このように、新たなK-Ar年代測定結果に基づいた火山体区分により、吾妻火山を構成する火山体の時間的空間的変遷が明らかになった。

謝辞：今回のK-Ar年代測定試料の調製及びアルゴン同位体測定では、大平洋金属株式会社(旧所属：地質情報研究部門)の太田 靖さんにお世話になった。岩石試料の薄片は地質標本館の野神貴嗣さん(当時)、大和田朗さん、佐藤卓見さん、福田和幸さんに作成いただいた。本原稿は、編集委員の田中明子さん及び査読者の星住英夫さんの指摘により改善されました。以上の方々に感謝します。

文 献

安斎昌幸(1996) 吾妻火山群の地質. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集1996, 449-449.

藤縄明彦・鴨志田毅(1999) 吾妻火山. 雄大な爆裂カルデラと中央火口丘を歩く. フィールドガイド日本の火山4 東北の火山, 築地書館, 89-104.

古川竜太・中野 俊・高橋 浩・山元孝広(印刷中) 吾妻山地域の地質. 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, 74p.

岩瀬寛之(1995) 福島県吾妻火山の完新世に於ける噴火とその地形. 金沢大学文学部地理学報告, no.7, 79-79.

岩瀬寛之・守屋以智雄(1997) 吾妻火山最近6000年間の噴火史と噴火の長期予測. 日本地理学会発表要旨集, no.52, 202-20.

鴨志田毅(1991) 東吾妻火山の爆裂カルデラ, 吾妻小富士のテフラ層序による形成年代の推定. 地球惑星科学関連学会日本火山学会固有セッション講演予稿集1991, no.1, 15-15.

Kawano, Y., Yagi, K. and Aoki, K. (1961) Petrography and petrochemistry of the volcanic rocks of Quaternary volcanoes of Northeastern Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. ser. III*, 7, 1-46.

火山噴火予知連絡会コア解析グループ(2011) 気象庁火山観測点ボーリングコアの解析 ～成果報告書～, 吾妻山のボーリングコア. 気象庁, 151-158.

気象庁編(2013) 活火山総覧I, 34. 吾妻山. 北海道・東北編. 479-504.

松本哲一(1989) K-Ar年代測定におけるカリウム定量法の改良. 地調月報, 40, 65-70.

Matsumoto, A. and Kobayashi, T. (1995) K-Ar age determination of late Quaternary volcanic rocks using the "mass fractionation correction procedure": application to the Younger Ontake Volcano, central Japan. *Chem. Geol.*, 125, 123-135.

尾崎 守・藤縄明彦(2013) 吾妻火山, 後カルデラ活動期の地質と岩石 —特に吾妻小富士由来の溶岩流について—. 日本地球惑星科学連合大会要旨2013, SVC53-P12.

佐藤博之(1985) 明治26年吾妻山殉難記 百年史の一こま(4). 地質ニュース, no.374, p.18-24.

阪口圭一(1995) 二本松地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 79p.

新エネルギー・産業技術総合開発機構(1991) 磐梯地域火山地質図及び地熱地質編図, 説明書, 80p.

Steiger, R. H. and Jäger, E. (1977) Subcommission on Geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.

Takahashi, T., Hirahara, Y., Miyazaki, T., Senda, R., Chang, Q., Kimura, J-I. and Tatsumi, Y. (2013) Primary magmas at the volcanic front of the NE Japan Arc: Coeval eruption of crustal Low-K tholeiitic and mantle-derived medium-K calc-alkaline basalts at Azuma Volcano. *Jour. Petrol.*, 54, 103-148.

宇都浩三・R. M. コンレー・平田岳史・内海 茂(1995) 地質調査所における同位体希釈法K-Ar年代測定システムの精度向上 —質量分析計自動計測制御及びピペット方式スパイク導入法の適用—. 地調月報, 36, 239-249.

Yamamoto, T. (2005) The rate of fluvial incision during the Late Quaternary period in the Abukuma Mountains, northeast Japan, deduced from tephrochronology. *Island Arc*, 14, 199-212.

K-Ar年代に基づく吾妻火山の形成史（松本ほか）

山元孝広(2005) 福島県, 吾妻火山の最近7千年間の噴
火史: 吾妻-浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給
系. 地質雑, **111**, 94-111.

年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報
告, **63**, 35-91.

山元孝広(2012) 福島-栃木地域における過去約30万

(受 付 : 2017年10月11日 ; 受 理 : 2018年7月13日)

