

北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値

山元孝広^{1,*}・伊藤順一¹・中川光弘²・長谷川健^{2,4}・岸本博志^{2,3}

Takahiro Yamamoto¹, Jun-ichi Itho¹, Mitsuhiro Nakagawa², Takeshi Hasegawa² and Hiroshi Kishimoto (2010) ¹⁴C ages for the ejecta from Kutcharo and Mashu calderas, eastern Hokkaido, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 61 (5/6), p. 161-170, 4 figs, 3 tables.

Abstract: Eruption ages of the ejecta from Kutcharo and Mashu calderas were systematically determined by ¹⁴C dating. 16 charred samples were newly obtained from the Mashu and Nakashumbetsu Tephra Formations around the calderas and dated by AMS and β -counting methods. Examined units are Ma-d, Ma-e, Ma-f, Ma-j, Ma-k, Ma-l and MI-a in the Mashu ejecta and 6 Nakashumbetsu tephra layers including Kutcharo Pumice Flow Deposit I (KpI), which is the youngest caldera-forming product from Kutcharo caldera. Results of the ¹⁴C dating range from 3,660 \pm 40 yBP to 36,080 \pm 1,300 yBP, and are consistent with the tephrostratigraphy. Calendar age for KpI was newly calculated at almost 40 ka and this age shows there was about 70,000 years recurrence interval between KpI and KpIV caldera-forming eruptions. Mashu caldera has appeared on the eastern part of Kutcharo caldera immediately after the KpI eruption, and calendar age for its main caldera-forming eruption were determined at ca. BC 5,600.

Keywords: Kutcharo caldera, Mashu caldera, ¹⁴C age, tephrostratigraphy

要 旨

北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラの噴火年代を, ¹⁴C年代測定により系統的に明らかにした。今回, 両カルデラ周辺に分布する摩周テフラ層及び中春別テフラ層から新たに16の炭化物試料を採取し, これらをAMS・ β 線計測法により測定している。測年対象とした噴火ユニットは, 摩周カルデラ噴出物中のMa-d, Ma-e, Ma-f, Ma-j, Ma-k, Ma-l及びMI-aと, 屈斜路軽石流I (KpI)を含む中春別テフラ群の6層である。KpIは屈斜路カルデラで発生した最も新しいカルデラ形成噴火の堆積物であり, その正確な年代決定が期待されていた。¹⁴C年代測定結果は $\delta^{13}\text{C}$ 補正值で3,660 \pm 40yBPから, 36,080 \pm 1,300yBPにまでわたるが, いずれも外来テフラも含めたテフラ層序との矛盾はない。KpI噴火の暦年代については, ほぼ40kaと算出され, KpIVを噴出した屈斜路カルデラ最大の噴火から約7万の再来間隔で巨大噴火が繰り返されたことになる。摩周カルデラは, KpI噴火直後から屈斜路カルデラの東壁上に形成されたもので, 成層火山体形成後の約7.6

千年前 (Cal BC5600年頃) に主カルデラ形成噴火を起こしたことが明らかになった。

1. はじめに

屈斜路・摩周カルデラは, 千島弧南部, 阿寒-知床火山列の南西部を構成する第四紀のカルデラ火山群である (第1図)。屈斜路カルデラは, 約34万年前から古梅溶結凝灰岩・屈斜路軽石流VIII~I (KpVIII~I)の大規模火砕流を噴出し, 現在のカルデラ地形 (26 \times 20 km) を形成した (勝井・佐藤, 1963)。その後, カルデラの東部には新たに摩周カルデラが出現し (勝井, 1955; 岸本ほか, 2009), 両カルデラとも活火山として活動が継続している。カルデラ形成噴火は発生頻度が低い防災の観点からあまり検討されることはないものの, 地層処分のような超長期の将来予測には無視できない現象である。屈斜路・摩周カルデラは, 最近約10万年に繰り返すカルデラ形成噴火が起きた地域であり, カルデラ形成噴火発生プロセスを理解するためには最適の対象であろう。そのためには, まずカル

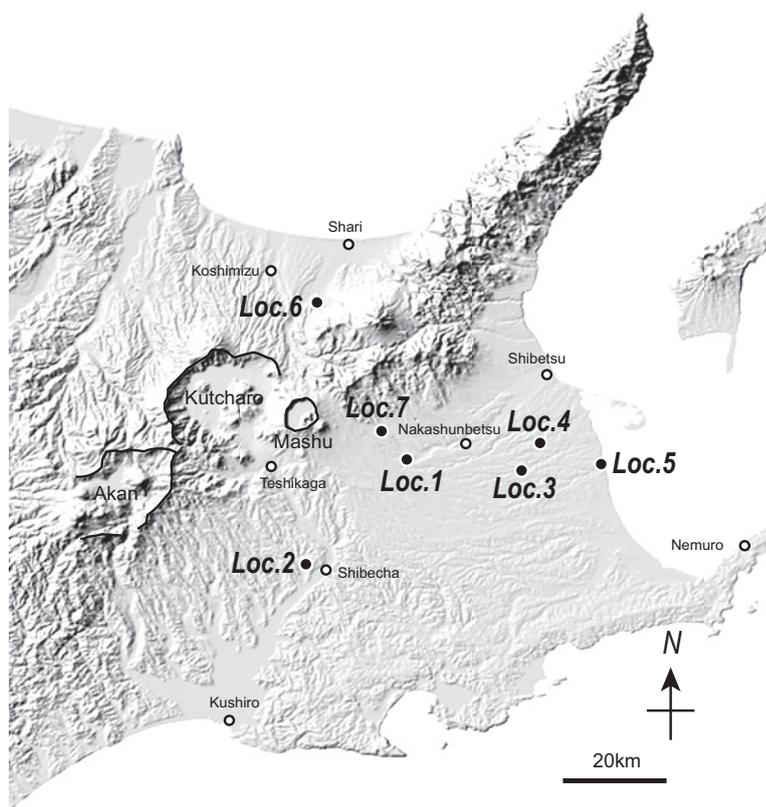
¹地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation, GSI)

²北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門 (Hokkaido University, Graduate School of Science, Department of Natural History Sciences)

³現所属: アジア航測株式会社防災地質部 (Asia Air Survey Company, Department of Disaster Prevention)

⁴現所属: 茨城大学理学部 (Ibaraki University, College of Science)

* Corresponding autor: T. YAMAMOTO, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: t-yamamoto@aist.go.jp



第1図 屈斜路・摩周カルデラ周辺の地形陰影図と露頭位置. Loc. 1 = 計根別 (43°29'59.2" N; 144°47'29.0"E); Loc. 2 = 標茶 (43°18'7.0"N, 144°32'57.0"E); Loc. 3 = 中春別 (43°28'36.4"N, 145°3'39.7"E); Loc. 4 = 菊水 (43°31'44.7"N, 145°6'20.2"E); Loc. 5 = 床丹 (43°29'21.8"N, 145°15'8.3"E); Loc. 6 = 江南 (43°47'26.4"N, 144°34'42.9"E); Loc. 7 = 養老牛 (43°33'8.7" N, 144°43'54.2"E).

Fig. 1 Topographic image around Kutcharo and Mashu calderas and location of outcrops. Loc. 1 = Kenebetsu (43°29'59.2"N; 144°47'29.0"E); Loc. 2 = Chibecha (43°18'7.0"N, 144°32'57.0"E); Loc. 3 = Nakashumbetsu (43°28'36.4"N, 145°3'39.7"E); Loc. 4 = Kikusui (43°31'44.7"N, 145°6'20.2"E); Loc. 5 = Tokotan (43°29'21.8"N, 145°15'8.3"E); Loc. 6 = Konan (43°47'26.4"N, 144°34'42.9"E); Loc. 7 = Yoroushi (43°33'8.7"N, 144°43'54.2"E).

デラ形成噴火の時系列を正確に押さえておく必要がある。

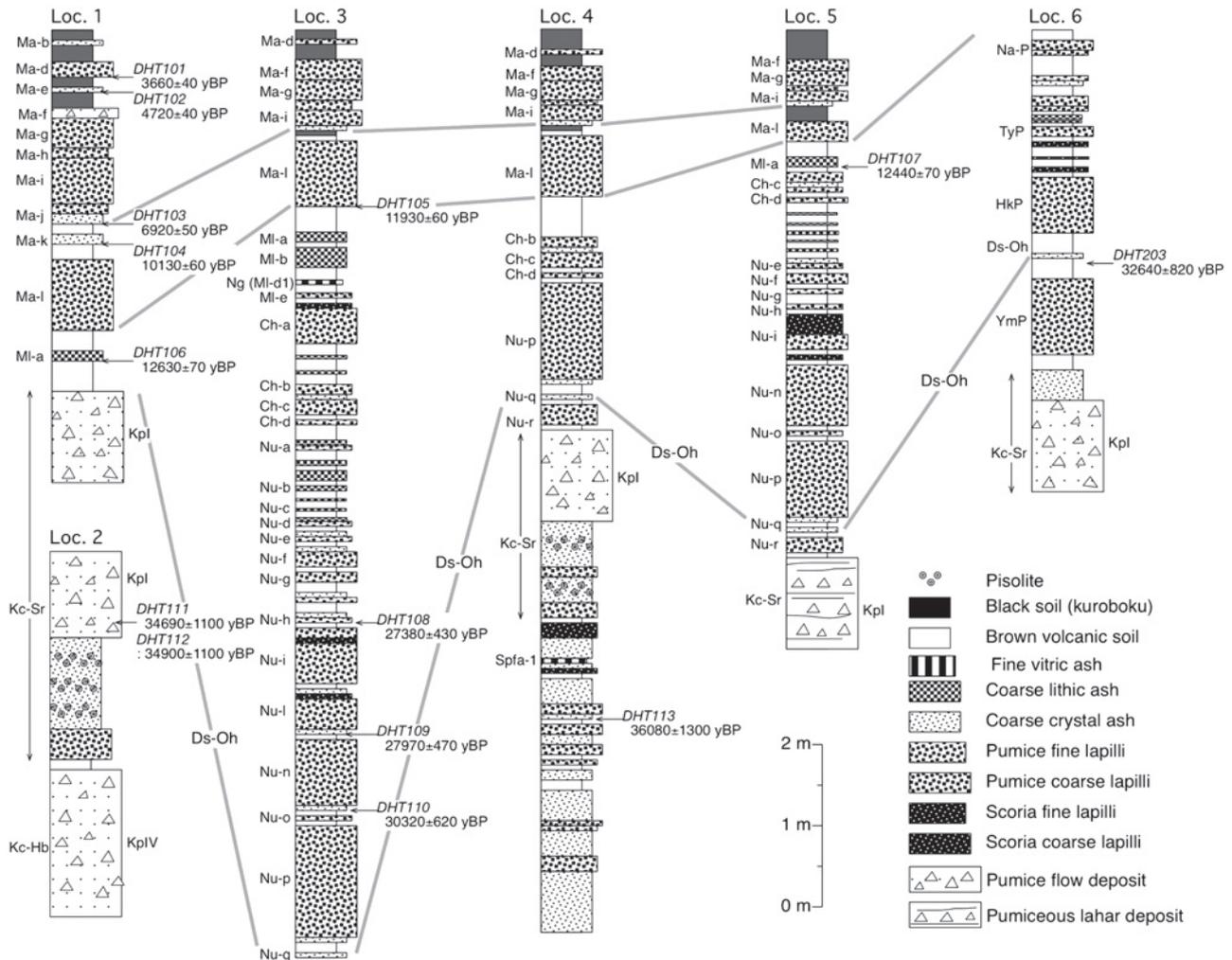
本研究では、屈斜路・摩周カルデラ噴出物の年代を¹⁴C年代測定で正確に編年することを目的とし、両カルデラの周辺で噴出物層序の調査と試料採取を行った。両カルデラ起源の噴出物は、南東域の根釧原野地域では下位から中春別テフラ層・茶内テフラ層・摩周テフラ層としてその層序が明らかにされている(宮田ほか, 1988a)。また、両カルデラ北方の斜里平野地域に分布するものについては佐藤(1968)や隅田(1988)が層序の概略を明らかにしている。本研究では、基本的にこれらの層序を踏襲した上で、両地域から合計16試料を採取し、その年代を測定した。個々の噴出物の岩石学的特徴については、岸本ほか(2009)及び長谷川ほか(2009)に別途、記載してあるので、参照されたい。本報告の一部は、日本地球惑星科学連合2007年大会で発表している(伊藤ほか, 2007)。

2. 層序の概略

根釧原野・斜里平野の両地域では、大規模火砕流堆積物である屈斜路軽石流IV(KpIV)が広く分布しており、その上位には多くの降下火砕物、数枚の火砕流堆積物を挟んだ風成層が堆積している。KpIVは海洋酸

素同位体ステージ5eの海成段丘を覆い、かつ直上に洞爺テフラ(Toya)が重なることから、その噴出年代は約11万年前(110ka)、またマグマ総噴出量は150km³以上とされている(奥村, 1991; 町田・新井, 2003)。両地域でKpIVの上位にある降下火砕物のほとんどは、その粒度と分布から屈斜路・摩周カルデラ起源とみられ、しかも両カルデラ噴出物間では系統な全岩化学組成の違いが認められる(長谷川ほか, 2009)。ただし、両噴出物とも斑晶に斜方輝石・単斜輝石を含む灰色～白色の軽石が卓越しており、野外において肉眼で区別することは難しい。宮田ほか(1988a)は根釧原野に分布するKpIVの上位にある降下火砕物群を、下位から下部中春別テフラ層(NI群)、上部中春別テフラ層(Nu群)、茶内テフラ層(Ch群)、下部摩周テフラ層(MI群)、上部摩周テフラ層(Ma群)に再定義し、その詳細を明らかにしている。勝井・佐藤(1963)の屈斜路軽石流堆積物II/III(KpII/III)・屈斜路軽石流堆積物I(KpI)は彼らの下部中春別テフラ層に、摩周カルデラ形成期の噴出物は上部摩周テフラ層中にそれぞれ含まれている。また、隅田(1988)は、斜里地域で止別軽石(Ymb)・東カヤ野軽石(HkP)・豊住軽石(TyP)などの層序を明らかにしている。本研究で確認した降下火砕物の層序は、基本的に宮田ほか(1988a)や隅田(1988)と矛盾しておらず、彼らのテフラ名をそのまま使用した

屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値 (山元ほか)



第2図 摩周テフラ層・茶内テフラ層・中春別テフラ層の露頭柱状図。Ch-a～d = 茶内テフラ群；Ds-Oh = 大雪御鉢平テフラ；HkP = 東カヤ野軽石；Kc-Hb = クッチャロ羽幌テフラ；Kc-Sr = クッチャロ庶路テフラ；Ma-b～l = 上部摩周テフラ群；Mi-a～e = 下部摩周テフラ群；Na-P = 中斜里軽石；Ng = 濁川テフラ；Nu-a～r = 上部中春別テフラ群；Spfa-1 = 支笏第1テフラ；TyP = 豊住軽石；YmP = 止別軽石。露頭位置は第1図を参照。

Fig. 2 Tephrostratigraphic sections through the Mashu, Chanai and Nakashumbetsu Tephra Formations. Ch-a to -d = Chanai tephra series; Ds-Oh = Daisetsu-Ohachidaira tephra; HkP = Higashikayano pumice; Kc-Hb = Kutcharo-Haboro tephra; Kc-Sr = Kutcharo-Shiyoro tephra; Ma-b to -l = Upper Mashu tephra series; Mi-a to -e = Lower Mashu tephra series; Na-P = Nakashari pumice; Ng = Nigorikawa tephra; Nu-a to -r = Upper Nakashumbetsu tephra series; Spfa-1 = Shikotsu 1 tephra; TyP = Toyozumi pumice; YmP = Yanbetsu pumice. See Fig. 1 for location.

(第2図)。また、一部のテフラについては、構成物のモード組成と火山ガラス・主要鉱物の屈折率を測定しており、その結果は第1表にまとめている。

斜里・根釧両地域の降下火砕物の中には斑晶に角閃石を含む降下火山灰が複数認められるが、これらは屈斜路・摩周カルデラよりも遠方から飛来したものである。その中でも大雪御鉢平降下軽石 (Ds-Oh; 勝井ほか, 1979; 目次, 1983) は良く追跡でき、根釧原野地域と斜里平野地域とを結ぶ重要な鍵層となっている。斜里地域におけるDs-Ohの存在は、隅田 (1996) によって記載され下位のYmPと上位のHkPの間に位置するとされている。今回の調査でもこの層序関係が再確認

され、Ds-OhはYmPとHkPの間に層厚6cmの降下堆積物として分布する (Loc. 6)。下部3cmは軽石細粒火山礫混じりのガラス質火山灰、上部3cmはガラス質の中粒火山灰から構成されている。Ds-Ohの分布は根釧原野 (本報告のLoc. 4と同じ露頭) でも確認されており (和田ほか, 2007)、上部中春別テフラ層中のNu-q (宮田ほか, 1988a) がこれに相当する (長谷川ほか, 2009)。このほか、野付郡別海町中春別 (Loc. 3) では下部摩周テフラ層中のMi-bとMi-eの間に厚さ約5cmで軽石型ガラス質の細粒火山灰降下堆積物が確認できる (Mi-d1; 宮田ほか, 1988a)。重鉱物には斜方輝石・単斜輝石以外に少量の角閃石が含まれ (第1表)、構成

第1表 摩周テフラ層・茶内テフラ層・中春別テフラ層中の火砕堆積物の特徴. Ch-a = 茶内テフラ; Ng = 濁川テフラ; Nu-a & -d = 上部中春別テフラ群; Spfa1 = 支笏第1テフラ. Ap = 燐灰石; Bt = 黒雲母; Cpx = 単斜輝石; Hb = 普通角閃石; Min = 鈹物; Opq = 不透明鈹物; Opx = 斜方輝石; tr = 微量.

Table 1. Characteristics of pyroclastic deposits within the Mashu, Chanai and Nakashumbetsu Tephra Formations. Ch-a = Chanai tephra Ch-a; Ng = Nigorikawa tephra; Nu-a & -d = Upper Nakashumbetsu tephra series; Spfa-1 = Shikotsu 1 tephra. Ap = apatite; Bt = biotite; Cpx = clinopyroxene; Hb = hornblende; Min = minerals; Opq = opaque minerals; Opx = orthopyroxene; tr = trace.

Unit	Loc.	Modal composition										Refractive Index											
		Particle component (%)				Heavy Mineral component (%)						Glass		Opx		Hb							
		Light Glass	Heavy Min.	Others	Opx	Cpx	Hb	Opq	Others			(mode)	count no.	(mode)	count no.	(mode)	count no.						
Ng	3	63.5	17.0	1.5	18.0	45.0	24.0	3.0	28.0	-	1.4904	~ 1.4978	-	4	1.700	1.717	1.711	47	1.669	~ 1.678	1.673	29	
											1.5002	~ 1.5067	1.503	51	1.720	~ 1.725	-	2	1.681	~ 1.690	1.682	22	
											1.5142	~ 1.5187	-	2									
Ng	3	48.0	20.0	5.0	27.0	37.0	20.0	4.5	37.5	Bt(1.0)	1.4957	~ 1.4971	-	4	1.705	~ 1.715	1.714	56	1.670	~ 1.681	1.672	58	
											1.4993	~ 1.5092	1.503	79	1.724	~ 1.726	-	5	1.692	~ 1.693	-	2	
											1.5100	~ 1.5131	-	11									
											1.5155	~ 1.5231	-	7									
											1.5026	~ 1.5130	1.505	51									
Ch-a	3	55.0	15.5	3.0	26.5	27.5	22.5	0.5	48.0	Ap(1.5)	1.4962	~ 1.5002	1.496	3	1.703	~ 1.709	1.706	54	1.666	~ 1.669	-	4	
											1.5020	~ 1.5089	1.506	53	1.711	~ 1.714	-	7	1.672	~ 1.680	1.674	24	
											1.5103	~ 1.5127	1.512	7	1.688	~ 1.689	-	2					
Nu-a	3	85.5	7.0	2.5	5.0	31.6	19.3	0.6	45.0	Ap(3.5)	1.4998	~ 1.5009	-	2	1.702	~ 1.711	1.706	58	1.665	~ 1.674	1.669	25	
											1.5050	~ 1.5122	1.509	2	1.713	~ 1.715	-	4	1.685	~ 1.692	-	7	
Nu-d	3	79.0	11.0	4.5	5.5	23.5	19.5	1.0	54.5	Ap(1.5)	1.5008	~ 1.5028	-	7	1.703	~ 1.713	1.708	60	1.670	~ 1.679	1.677	33	
											1.5043	~ 1.5073	1.506	29	1.682	~ 1.687	-	9					
											1.5077	~ 1.5115	1.510	36									
Spfa-1	4	82.0	5.5	1.5	11.0	53.9	29.4	1.0	13.7	Ap(2.0)	1.5001	~ 1.5052	1.503	60	1.705	~ 1.718	1.716	40	1.669	~ 1.677	1.674	22	
											1.5085	~ 1.5085	-	1	1.726	~ 1.733	1.727	15	1.683	~ 1.693	1.686	23	
											1.5118	~ 1.5128	-	2									

物の屈折率から北海道渡島半島の濁川カルデラ起源である濁川テフラ (Ng; 町田・新井, 2003; 青木・大串, 2006) に対比される。また, 野付郡別海町中春別の北東方約7kmの地点 (Loc. 4) のKpI直下の下部中春別テフラ層中には薄いピンク色をしたガラス質火山灰のレンズを挟んだ不明瞭に成層する灰色火山灰が挟まれている (第2図)。このガラス質火山灰は, 1) 火山ガラスの屈折率が1.503前後であること, 2) 重鈹物として少量の斜方輝石のほか, 角閃石を含むこと (第1表), 3) KpIの直ぐ下位にあることから, 宮田ほか (1988a) も指摘するように, 支笏第1テフラ (Spfa-1; 町田・新井, 2003) に対比されよう。

3. ¹⁴C年代測定試料の記載

DHT101

標津郡中標津町計根別 (Loc. 1) において, 層厚約10cmで逆級化の顕著な摩周火砕堆積物 d (Ma-d; 勝井, 1962; 岸本ほか, 2009) の軽石火山礫降下堆積物の基底部に含まれる炭化物を採取した。Ma-dは, 摩周火山中央火口丘 (カムイヌプリ) 形成期 (Katsui et al., 1975) の噴出物の一つである。炭化物試料は, 乾燥後, 不純物を手選別で取り除き, 0.12gを測年試料とした。

DHT102

標津郡中標津町計根別 (Loc. 1) において, 層厚約

4cmで結晶片の多い粗粒火山灰降下堆積物からなる摩周火砕堆積物 e (Ma-e; 勝井, 1962; 岸本ほか, 2009) の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Ma-eは, 摩周火山中央火口丘形成期 (Katsui et al., 1975) の噴出物の一つである。土壌試料は, 乾燥後, 含まれる炭化物を手選別で取り出し, 0.3gを測年試料とした。

DHT103

標津郡中標津町計根別 (Loc. 1) において, 層厚約10cmで粒径や色調の異なる5層に成層した青灰色細粒~中粒火山灰降下堆積物からなる摩周火砕堆積物 j (Ma-j; 勝井, 1962; 岸本ほか, 2009) の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Ma-jの上位には摩周火砕堆積物 i・h・g (Ma-i・Ma-h・Ma-g; 勝井, 1962; 岸本ほか, 2009) の明瞭な軽石火山礫降下堆積物が土壌を挟まず重なっており, 根釧原野においてよく目立つ鍵層となっている (第2図)。これらは主カルデラ形成期噴火の産物である (岸本ほか, 2009)。土壌試料は, 乾燥後, 含まれる炭化物を手選別で取り出し, 0.10gを測年試料とした。分析はAMS法で実施された。

DHT104

標津郡中標津町計根別 (Loc. 1) において, 層厚約7cmの灰色中粒火山灰降下堆積物からなる摩周火砕堆積物 k (Ma-k; 勝井, 1962; 岸本ほか, 2009) の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Ma-kは, 摩周火山カ

ルデラ形成期（Katsui et al., 1975）の噴出物の一つである。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.04gを測年試料とした。

DHT105

野付郡別海町中春別（Loc. 3）において、層厚約90cmの軽石火山礫降下堆積物からなる摩周火砕堆積物 I（Ma-I；勝井，1962；岸本ほか，2009）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Ma-Iは摩周テフラ層の中位にある厚い軽石層であり、根釧原野において良い鍵層となっている（第2図）。また、Ma-Iは摩周火山カルデラ形成期（Katsui et al., 1975）の最初の噴出物である。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.13gを測年試料とした。

DHT106

標津郡中標津町計根別（Loc. 1）において、層厚約10cmの石質岩片を主体とする暗灰色粗粒火山灰降下堆積物からなる下部摩周テフラ層中の MI-a（宮田ほか，1988a）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。MI-aは、間に厚さ20cmの褐色火山灰土を挟んで Ma-Iの直下に位置する降下堆積物で、摩周火山成層火山形成期（Katsui et al., 1975）の最後の噴出物である。ある。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.16gを測年試料とした。

DHT107

野付郡別海町^{とこたん}床丹（Loc. 5）において、層厚約8cmの石質岩片を主体とする暗灰色中粒火山灰降下堆積物からなる下部摩周テフラ層中の MI-a（宮田ほか，1988a）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。MI-aは、間に厚さ16cmの褐色火山灰土を挟んで鍵層 Ma-Iの直下に位置する降下堆積物で、摩周火山成層火山形成期（Katsui et al., 1975）の最後の噴出物である。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.06gを測年試料とした。

DHT108

野付郡別海町中春別（Loc. 3）において、層厚約7cmの降下堆積物からなる上部中春別テフラ層中の Nu-h（宮田ほか，1988a）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Nu-hは層厚3cmで黄色軽石細粒火山礫からなる下部と、層厚4cmで暗灰色粗粒火山灰からなる上部で構成される。Nu-hは摩周火山初期の爆発的噴火の産物である（長谷川ほか，2009）。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.02gを測年試料とした。

DHT109

野付郡別海町中春別（Loc. 3）において、層厚約46cmの降下堆積物からなる上部中春別テフラ層中の Nu-I（宮田ほか，1988a）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Nu-Iは4ユニットからなり、下位から層厚3cmで軽石細粒火山礫まりじの灰色中粒火山灰、層厚33cmで逆-正級化した淘汰の良い明灰色軽石粗粒火山礫（最大粒径5.8cm）、層厚5cmで緻密な暗灰色細粒火山礫、層厚5cmで結晶片に富んだ灰色粗粒火山灰で構成される。Nu-Iは摩周火山初期の爆発的噴火の産物である（長谷川ほか，2009）。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.12gを測年試料とした。

DHT110

野付郡別海町中春別（Loc. 3）において、層厚約83cmの降下堆積物からなる上部中春別テフラ層中の Nu-n（宮田ほか，1988a）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Nu-Iは、層厚3cmで灰色中粒火山灰からなる下部と、層厚80cmで淘汰の良い明灰色軽石粗粒火山礫（最大粒径3.3cm）からなる上部で構成される。Nu-nは摩周火山初期の爆発的噴火の産物である（長谷川ほか，2009）。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.13gを測年試料とした。

DHT111・DHT112

川上郡^{しべちや}標茶町標茶の西方約4kmの地点（Loc. 2）において、屈斜路軽石流堆積物 I（Kp I；勝井・佐藤，1963）基底部の炭化した樹幹を採取した。露頭では上面が風化した Kp IVを、間に褐色火山灰土を挟んで直接に Kp Iに先行する火山豆石に富んだガラス質の降下堆積物が覆い、更に上位で塊状の軽石凝灰角礫岩からなる Kp I本体が被覆している。町田・新井（2003）は先行する降下堆積物と KpI本体を合わせ全体をクッチャロ^{しよろ}路テフラ（Kc-Sr）と呼んでいる。Kc-Srのマグマ総噴出量は100km³程度で、屈斜路カルデラの最後のカルデラ形成噴火の産物である。炭化樹幹は火砕流本体の基底部に横倒しになってまばらに含まれ、露頭からは繋がっていない別の2本の炭化樹幹を採取した。2本の炭化樹幹試料は、乾燥後、樹幹の表面部分をそれぞれ0.80g分剥がし、測年試料とした。

DHT113

野付郡別海町中春別の北東方約7kmの地点（Loc. 4）において、下部中春別テフラ層（NI；宮田ほか，1988a）中の未命名降下堆積物直下の炭化物を含む土壌を採取した。Kc-Srよりも下位の降下火砕物の層序は、露出が極めて限られるため、ほとんど確立していないのが現状である。本未命名降下堆積物の層厚は53cmで、

下位から層厚6cmの結晶片に富んだ暗灰色粗粒火山灰、層厚13cmで結晶片に富む基質を持った灰色軽石粗粒火山礫（最大径2.5cm）、層厚34cmで軽石細粒火山礫をまばらに含んだ淘汰の悪い粗粒火山灰の3ユニットから構成される。本降下堆積物の上位には、薄い褐色土壌を挟んで、層厚5cmのスコリア細粒火山礫降下堆積物があり、更にその上位には薄いピンク色をしたガラス質火山灰のレンズを挟んだ不明瞭に成層する灰色火山灰が重なっている（第2図）。このガラス質火山灰は、既に述べたようにSpfa-1に対比される。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.20gを測年試料とした。

DHT201・DHT202

標津郡中標津町北養老牛（Loc. 7）において、摩周軽石流堆積物f（Ma-f；勝井，1958）中の炭化した樹幹を採取した。露頭ではMa-fは下限不明で約9mの層厚を持ち、炭化樹幹は露頭の最下部に多く含まれている。Ma-fはMa-j・Ma-i・Ma-h・Ma-gの一連の降下火砕物に続いて噴出した火砕流の産物であり、全体が主カルデラ形成噴出物とされ、そのマグマ総噴出量は20km³程度である（岸本ほか，2009）。露頭からは繋がっていない別の2本の炭化樹幹を採取した。2本の炭化樹幹試料は、乾燥後、樹幹の表面部分（年輪数年分）をそれぞれ20g分割し、測年試料とした。

DHT203

斜里郡清里町江南（Loc. 6）において、大雪御鉢平降下軽石（Ds-Oh；勝井ほか，1979；目次，1983）の直下の炭化物を含む土壌を採取した。Ds-Ohの下部3cmは軽石細粒火山礫混じりのガラス質火山灰、上部3cmはガラス質の中粒火山灰からなる。斑晶には斜方輝石・単斜輝石以外に角閃石が含まれている。土壌試料は、乾燥後、含まれる炭化物を手選別で取り出し、0.20gを測年試料とした。

4. ¹⁴C年代測定結果

分析は、BETA ANALYTIC社に依頼した。炭化物は全て酸／アルカリ／酸洗浄の前処理が施されている。DHT201とDHT202についてはβ線計測法、これ以外の試料についてはAMS法で分析されている。年代値はRCYBP（AD 1950を0年とする）表記され、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正が行われている。暦年校正にはStuiver et al. (1998)のデータベースが用いられた。暦年代の算出にはTalma and Vogel (1993)の手法が用いられた。

補正年代値としてDHT101の3,660±40yBPから、DHT113の36,080±1,300 yBPまでの年代値が得られた（第2表）。同じユニットから採取されたDHT201と

DHT202は誤差範囲を超えて約200年の補正年代値の開きがあるものの、暦年代の2σ範囲では重複部分があり（第3図）、大きな矛盾ではない。また、DHT111とDHT112については、誤差の範囲で補正年代値が一致している。他の試料についても得られた補正年代値は全て層序関係と矛盾することはなく、測年結果に特に異常なものは指摘できない。

5. 考察

摩周テフラ層の年代

本テフラ層からは、これまでに以下の摩周カルデラ噴出物の¹⁴C年代値が報告されている。いずれの値も $\delta^{13}\text{C}$ 補正は行われていない。

Ma-b：直下の腐植土から900±100yBP（GaK-3139；庄司・増井，1974）。

Ma-c：直下の腐植土から1,700±100yBP（GaK-3140；庄司・増井，1974）。

Ma-e：上下の腐植土からそれぞれ3,100±30yBPと4,150±40yBP（宮田ほか，1988a）。

Ma-f：炭化樹幹から6,460±130yBP（GaK-247；勝井，1958），7,190±230yBP（GaK-248；勝井，1958）。

Ma-k：直下の腐植土層から8,420±180yBP（Gak-2592；佐々木ほか，1971）。

Ma-l：層中の炭化木片から10,920±210yBP（GaK-4210；Katsui et al., 1975）、直下の土壌中の炭化物から13,170±210yBP（宮田ほか，1988a）。

これに対し今回の測年では、Ma-dから3,360±40yBP（DHT101）、Ma-eから4,720±40yBP（DHT102）、Ma-fから6,510±70yBP（DHT201）と6,730±60yBP（DHT202）、Ma-jから6,920±50yBP（DHT103）、Ma-kから10,130±60yBP（DHT104）、Ma-lから12,630±70yBP（DHT105）の補正年代値を得ている。腐植土の¹⁴C年代値については $\delta^{13}\text{C}$ 補正による年代値の変動が大きい傾向があるため、今回の補正年代値と腐植土に対する未補正の既報値との単純な比較は出来ないものの、両者には大きな隔たりがあるわけではない。一方、Ma-fとMa-l中の炭化木片の既報値は、誤差の範囲で今回の補正年代値と重なっており、各堆積物の噴火年代を示すものと考えても良いであろう。

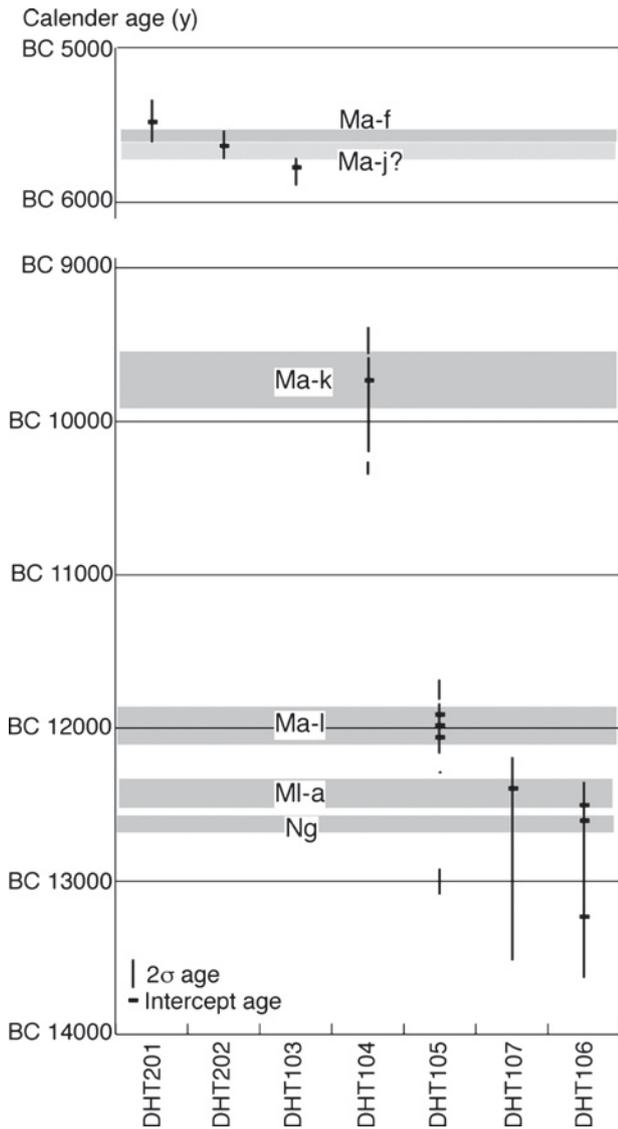
暦年代に換算するとMa-dについてはCal BC2,000頃、Ma-eについてはCal BC3,500頃となる。Ma-fについては、前述の通りDHT201とDHT202の暦年代の2σの重複から、Cal BC5,600頃に噴火したものと判断できる（第3図）。一方、Ma-j直下のDHT103の年代については、若干の考察が必要である。岸本ほか（2009）はMa-jからMa-fまでを主カルデラ形成期と呼び、一連の噴火の産物とした。DHT103の暦代値Cal BC5,780

屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値 (山元ほか)

第 2 表 屈斜路・摩周カルデラ周辺に分布する火砕堆積物の放射年代測定結果. AMS = 加速器質量分析法; Rad = β 線計測法; a = 堆積物中の炭化物; b = 堆積物下の土壌中の炭化物; [] = Beta 番号.

Table 2. Results of radiocarbon dating for the pyroclastic deposits around Kutcharo and Mashu calderas. AMS = accelerator mass spectrometry method; Rad = radiometric method (β -counting); a = charred material within the deposit; b = charred material in the underlying soil; [] = Beta number.

Unit	Sample	Loc	Method	Material	^{14}C age (y BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (permil)	Calibrated ^{14}C age (y BP)	Calendar age		Intercept age
Ma-d	DHT101 [220724]	1	AMS	a	3670 \pm 40	-25.9	3660 \pm 40	2 σ (95%)	BC2140-1920	BC2030
								1 σ (68%)	BC2120-2090 BC2050-1960	
Ma-e	DHT102 [220725]	1	AMS	b	4720 \pm 40	-24.7	4720 \pm 40	2 σ (95%)	BC3640-3480 BC3470-3370	BC3520
								1 σ (68%)	BC3620-3580 BC3530-3500 BC3440-3380	
Ma-f	DHT201 [220737]	7	Rad	a	6520 \pm 70	-25.8	6510 \pm 70	2 σ (95%)	BC5610-5330	BC5480
								1 σ (68%)	BC5510-5450 BC5410-5390	
Ma-f	DHT202 [220738]	7	Rad	a	6770 \pm 60	-27.7	6730 \pm 60	2 σ (95%)	BC5720-5530	BC5640
								1 σ (68%)	BC5680-5620	
Ma-j	DHT103 [220726]	1	AMS	b	6940 \pm 50	-26.1	6920 \pm 50	2 σ (95%)	BC5890-5710	BC5780
								1 σ (68%)	BC5840-5730	
Ma-k	DHT104 [220727]	1	AMS	b	10130 \pm 60	-25.1	10130 \pm 60	2 σ (95%)	BC10350-10260 BC10200-9580 BC9570-9390	BC9740
								1 σ (68%)	BC10150-10070 BC10020-9860 BC9820-9620	
Ma-l	DHT105 [220728]	3	AMS	b	11930 \pm 70	-25.3	11930 \pm 70	2 σ (95%)	BC13080-12910 BC12300-12280 BC12170-11840 BC11820-11680	BC12080 BC11990 BC11900
								1 σ (68%)	BC12140-11860 BC11780-11710	
Ml-a	DHT107 [220730]	5	AMS	b	12490 \pm 70	-28.1	12440 \pm 70	2 σ (95%)	BC13520-12190	BC12400
								1 σ (68%)	BC13480-12220	
Ml-a	DHT106 [220729]	1	AMS	b	12630 \pm 70	-25.3	12630 \pm 70	2 σ (95%)	BC13630-12350	BC13320
								1 σ (68%)	BC13590-12390	BC12610 BC12540
Nu-h	DHT108 [220731]	3	AMS	b	27390 \pm 430	-25.5	27380 \pm 430	-	-	
Nu-l	DHT109 [220732]	3	AMS	b	27990 \pm 470	-26.0	27970 \pm 470	-	-	
Nu-n	DHT110 [220733]	3	AMS	b	30330 \pm 620	-25.5	30320 \pm 620	-	-	
Ds-Oh	DHT203 [220739]	6	AMS	b	32640 \pm 820	-25.2	32640 \pm 820	-	-	
Kc-Sr	DHT111 [220734]	2	AMS	a	34690 \pm 1100	-25.1	34690 \pm 1100	-	-	
Kc-Sr	DHT112 [220735]	2	AMS	a	34890 \pm 1100	-24.4	34900 \pm 1100	-	-	
Nl	DHT113 [220736]	4	AMS	b	36110 \pm 1300	-26.7	36080 \pm 1300	-	-	



第3図 摩周カルデラ噴出物の暦年分布. 年代値の詳細は第2表を参照.

Fig. 3 Distribution of the calendar ages for the ejecta from Mashu caldera. See Table 2 for the details of ages.

は DHT201 と DHT202 よりも有意に古く、 2σ で見ても 100 年以上の開きがある。可能性としては以下の 2 つが考えられよう。1) DHT103 の年代値は直下の土壌中の炭化物から得られたもので、Ma-j の噴火年代を直接示すものではなく、その下限値を示している。2) Ma-j 自体は良く成層しており、複数回の噴火イベントの産物であるとは確実であり (岸本ほか, 2009), Ma-f の破局噴火のかなり以前から小規模な噴火が起きていた。どちらかを判断するためには、別の試料を用いて更に年代測定を追加する必要がある。

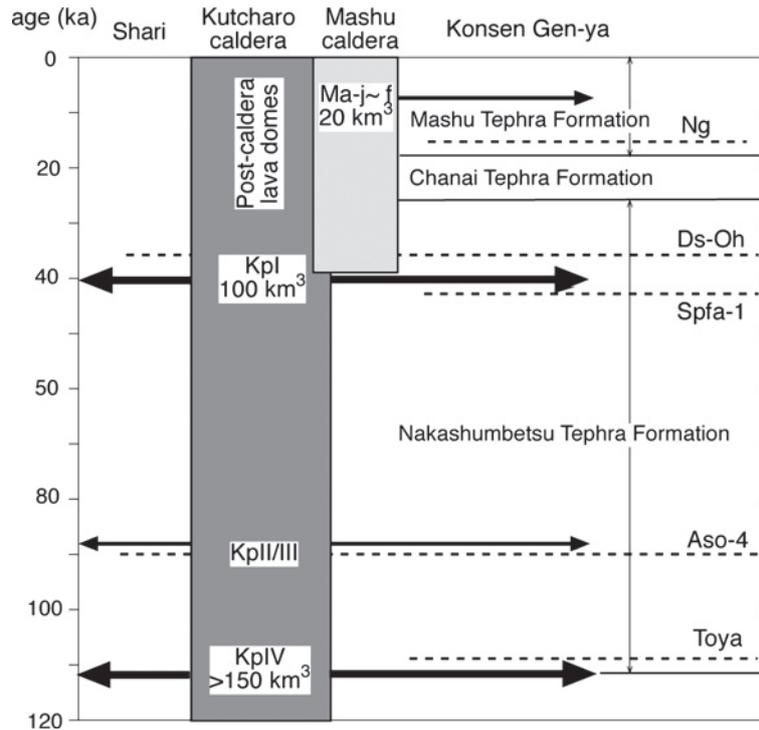
Ma-l と MI-a の暦年代については、その 2σ が広い範囲に及んでおり、個々の測定値のみからでは単純に噴

火年代を絞り込むことができない (第3図)。しかしながら、既に述べたように MI-a の直ぐ下位には広域テフラである Ng が位置している。Ng の噴出年代については、下北半島沖海底コアでの海成層との層序関係から、ほぼ 14.6ka 頃に噴出したことが明らかになっている (青木・大串, 2006)。したがって、DHT105・106・107 の Ng の噴火年代よりも古くなる 2σ 暦年代は無視することが可能となり、Ma-l と MI-a の噴火年代としては、Cal BC12,000 頃と Cal BC12,400 頃がふさわしい。

中春別テフラ層の年代

本テフラ層中には、屈斜路カルデラ起源の KpII/III・KpI の火砕流堆積物が存在する。KpII/III については、その直下に広域テフラである Aso-4 があることから、噴出年代はほぼ 9 万年前として特に問題はない (第4図; 奥村, 1991)。一方、Kp I については、網走市音根内おんねないに分布する本堆積物中の炭化木片から $32,200 \pm 3,000 - 2,000$ yBP (GaK-866) の ^{14}C 年代が報告されていた (Kigoshi, 1967)。しかしながら、この年代値は β 線計測法の測定限界に近く、その信頼性をより測定限界が古い AMS 法で確認する必要があった。今回 KpI から AMS 法で得られたほぼ 35,000 yBP の補正年代値は、従来値よりも若干古く、町田・新井 (2003) の予測に近いものである。しかも、今回の測定値は、直上の試料から 27,000~33,000 yBP、直下の試料から 36,000 yBP の補正年代値が得られ、その確度は非常に高いものとなっている。しかしながら、この年代域の ^{14}C 年代値から暦年代への較正データは極めて乏しいのが現状で、国際的に合意された較正曲線は確定していない (例えば中村, 2001)。それでも、最近の Fairbanks et al. (2005) の暦年校正プログラムを使うと、KpI の実年代は 40ka までさかのぼることになる (第3表)。なお、上部中春別テフラ層の Nu-g・Nu-h 間の炭質物から、宮田ほか (1988b) は $22,200 \pm 3,000$ yBP の AMS ^{14}C 年代を報告しているが、これも今回実施した Nu-h 直下の補正年代値 (DHT108) と矛盾するものではない。

今回の分析では、屈斜路・摩周カルデラ噴出物以外にも、大雪火山の御鉢平カルデラ形成噴火の Ds-Oh (勝井ほか, 1979; 目次, 1983)、支笏カルデラ形成噴火の Spfa-1 (町田・新井, 2003) についても新たに年代を与えることが出来た。Ds-Oh は約 3 万年前とされていたが、AMS 法による補正年代値は約 33,000 yBP と若干古く、暦年代は 38ka まで更にさかのぼることが確実である (第3表)。Spfa-1 直下層からも、町田・新井 (2003) の指摘の通り従来の β 線計測法による年代 (3.1~3.2 万年前) よりも有意に古い補正年代値が得られ、その暦年代は 41ka までさかのぼることが確実であろう。



第 4 図 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の層序関係。黒矢印は火砕流堆積物、破線は外来テフラを示す。

Fig. 4 Stratigraphic relationship between the ejecta of Kutcharo and Mashu calderas. Black arrows and dotted lines show pyroclastic flow deposits and foreign tephra layers.

第 3 表 中春別テフラ層から得られた放射性炭素年代に対する暦年代。年代較正は、Fairbanks et al. (2005) の較正プログラムを使用した。

Table 3. Calendar ages for the radiocarbon ages from the Nakashumbetsu Tephra Formation. The ages were converted by the calibration program by Fairbanks et al. (2005) on their web page (<http://www.radiocarbon.ldeo.columbia.edu/research/radiocarbon.htm>).

Sample	Unit	Calibrated ¹⁴ C age (yBP)	Calendar ages (yBP)	Calibration version
DHT108	Nu-h	27380±430	32709±550	Fairbanks0107
DHT109	Nu-l	27970±470	33332±482	Fairbanks0107
DHT110	Nu-n	30320±620	35708±519	Fairbanks0107
DHT203	Ds-Oh	32640±820	38028±836	Fairbanks0107
DHT111	Kc-Sr	34690±1100	40027±1059	Fairbanks0107
DHT112	Kc-Sr	34900±1100	40226±1051	Fairbanks0107
DHT113	Nl below Spfa-1	36080±1300	41331±1183	Fairbanks0107

6. まとめ

本研究では、北海道東部の屈斜路・摩周カルデラ噴出物の年代を ¹⁴C 年代測定で明らかにした。屈斜路カルデラでは、約 34 万年前から 8 噴火サイクルで 9 回の大規模な火砕流噴火を起こしているが、KpI を噴出した最後のカルデラ形成噴火は約 4 万年前 (¹⁴C 年代値で 35,000yBP) であることが明らかになった。したがって、KpIV を噴出した屈斜路カルデラ最大の噴火から

約 7 万年の再来間隔でマグマ総噴出量が 100km³ を越えるような巨大噴火が繰り返されたことになる。摩周カルデラは、屈斜路カルデラの東壁上に形成されたもので、成層火山体形成後の約 7.6 千年前 (Cal BC5,600 頃) に主カルデラ形成噴火を起こしたことを明らかにした。摩周カルデラを形成した噴火のマグマ総噴出量は 20km³ 程度と屈斜路カルデラ形成噴火よりも規模が小さいものの、破局噴火に至るまでに非常に数多くの火砕物が摩周カルデラから放出されている。カルデラ

形成噴火に至るマグマの岩石学的研究については別途実施しており、稿を改めて明らかにする予定である。

引用文献

- 青木かおり・大串健一 (2006) 下北半島沖海底コア MD01-2409 中に介在する濁川テフラ. 第四紀研究, **45**, 257-260.
- Fairbanks, R.G., Mortlock, R.A., Chiu, T.-C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W., Bloom, A.L., Grootes, P.M. and Nadeau, M.-J. (2005) Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C dates on pristine corals. *Quaternary Sci. Rev.*, **24**, 1781-1796.
- 勝井義雄 (1955) 摩周火山の地質と岩石. 地質雑, **61**, 481-495.
- 勝井義雄 (1958) 阿寒, 屈斜路火山群. 地球科学, no.39, 19-30.
- 勝井義雄 (1962) 5 万分の 1 地質図幅「屈斜路湖」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- 勝井義雄・佐藤博之 (1963) 5 万分の 1 地質図幅「藻琴山」および同説明書. 北海道開発庁, 42p.
- 勝井義雄・横山 泉・伊藤太一 (1979) 旭岳一火山地質・活動の現況および防災対策. 北海道における火山に関する研究報告書, 第 7 編, 北海道防災会議, 42p.
- Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K. (1975) Formation and magmatic evolution of Mashu volcano, East Hokkaido, Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, **16**, 533-552.
- Kigoshi, K. (1967) Gakushuin Natural Radiocarbon Measurements VI. *Radiocarbon*, **9**, 43-62.
- 岸本博志・長谷川健・中川光弘・和田恵治 (2009) 最近約 1 万 4 千年間の摩周火山のテフラ層序と噴火様式. 火山, **54**, 15-36.
- 長谷川健・岸本博志・中川光弘・伊藤順一・山元孝広 (2009) 北海道東部, 根釧原野および斜里平野における約 3 万 5 千~1 万 2 千年前のテフラ層序と後屈斜路カルデラ火山の噴火史. 地質雑, **115**, 369-390.
- 伊藤順一・山元孝広・中川光弘・長谷川健・岸本博志 (2007) 北海道東部, 屈斜路・摩周カルデラ噴出物の放射炭素年代値, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集, V157-P030.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東大出版会, 336p.
- 目次英哉 (1987) 御鉢平カルデラの火山活動史. 層雲峡博物館研究報告, no.7, 1-8.
- 宮田雄一郎・山口昇一・矢崎清貫 (1988a) 計根別地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 77p.
- 宮田雄一郎・曾根敏雄・中村俊夫 (1988b) 加速器質量分析計による根釧原野後期更新世テフラ層の ^{14}C 年代: 日本の第四紀層の ^{14}C 年代 (169). 地球科学, **42**, 303-305.
- 中村俊夫 (2001) 放射性炭素年代とその高精度化. 第四紀研究, **40**, 445-459.
- 奥村晃史 (1991) 北海道地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, **30**, 379-390.
- 佐々木龍男・松井公平・富岡悦郎・佐々木清一・矢沢正士・山田 忍・矢野義治・北川芳男 (1971) 北海道における腐植質火山灰の編年に関する研究. 第四紀研究, **10**, 117-123.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., et al. (1998) INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, **40**, 1041-1083.
- 佐藤博之 (1968) 東北海道斜里地域における洪積世後期の火山灰と段丘. 地調月報, **19**, 115-126.
- 隅田まり (1988) 斜里地域におけるテフラ層序. 知床博物館研究報告, no.9, 19-31.
- 隅田まり (1996) 清里~斜里地域に分布する後期更新世テフラ層. 第四紀露頭集-日本のテフラ, 105-105.
- 庄司貞雄・増井純一 (1974) 北海道川上郡標茶町のカムイヌプリ岳火山灰土壌の ^{14}C 年代, 日本の第四紀層の ^{14}C 年代 (97). 地球科学, **28**, p.182-182.
- Talma, A.S. and Vogel, J.C. (1993) A simplified approach to calibrating ^{14}C dates. *Radiocarbon*, **35**, 317-322.
- 和田恵治・石崎直人・佐藤鋭一 (2007) 根釧原野, 別海町中春別露頭で同定された大雪山・御鉢平カルデラ起源の広域火山灰. 北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, no.41, 55-65.

(受付: 2009 年 7 月 1 日; 受理: 2009 年 11 月 4 日)