

## 新たに得られた伊豆大島火山新期大島層群噴火堆積物の放射性炭素年代

川辺禎久<sup>1,\*</sup>

Yoshihisa Kawanabe (2012) New <sup>14</sup>C ages of the Younger Oshima Group, Izu-Oshima volcano, Izu-Ogasawara arc, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 63 (11/12), p. 283-289, 3 figs, 2 tables.

**Abstract:** New accelerator mass spectrometry (AMS) <sup>14</sup>C ages from some tephra units of the Younger Oshima Group of Izu-Oshima Volcano were obtained. Age of the caldera forming S<sub>2</sub> period are 1780±50 yBP and consistent with recent AMS data obtained by other research. The age of S<sub>2</sub> period should be revised to be in around 3<sup>rd</sup> century, about 200 to 300 years older than the previously accepted age from early 1980's. N<sub>4</sub> period also shows about 200 to 100 years older than the previous estimated age. The ages of the other periods, N<sub>1</sub>, Y<sub>6</sub>, Y<sub>5</sub>, Y<sub>4</sub> and Y<sub>2</sub>, are consistent with the previously estimated ages by historical records. Since the age of S<sub>2</sub> and N<sub>4</sub> periods became older, magma discharge rate during S to N period obtained from the tephra volume was smaller than the old estimate, but still two times higher than the magma discharge rate of Y period.

**Keywords:** Izu-Oshima volcano, radiocarbon age, eruption, volcano, caldera, tephra, chronology, eruption rate

### 要 旨

伊豆大島火山新期大島層群のいくつかの部層について、加速器質量分析法による <sup>14</sup>C 年代測定を行った。山頂カルデラを形成したと形成したと考えられている S<sub>2</sub> 期年代は 1780±50 yBP の年代値を示し、これまで考えられていたより 200 年から 300 年古い年代値を示した。N<sub>4</sub> 期も同様に 200 年から 100 年ほど古い値を示す。それより新しい N<sub>1</sub> 期, Y<sub>6</sub> 期, Y<sub>5</sub> 期, Y<sub>4</sub> 期, Y<sub>2</sub> 期は、これまでの推定年代、歴史噴火記録と整合的な値が得られた。S<sub>2</sub> 期, N<sub>4</sub> 期の年代がより古くなったために、S 期から N 期にかけてのテフラ噴出量から見たマグマ噴出率は、これまでの推定より小さくなった。それでも Y 期噴出率の約 2 倍の噴出率である。

### 1. はじめに

伊豆大島火山は相模湾に位置する主に玄武岩質マグマを噴出する成層火山であり、多くの歴史噴火記録が残されている。1990 年の小噴火以降、表面的には静穏な状態を保っているが、2012 年現在も山体の膨張傾向が続いており、将来の噴火準備過程にあると考えられている。将来の噴火の時期、様式、規模、推移などを推定するために、活火山の噴火史や中長期的マグマ噴出率を明らかにすることが重要である。伊豆大島火山の噴火史は、最

新カルデラ形成期以降の新期大島層群 (Nakamura, 1964) について比較的良好に分かっている。Nakamura (1964) は噴出物の特徴、不整合の発達などから、新期大島層群を下位から差木地層 (S), 野増層 (N), 湯場層 (Y) に区分し、更にそれぞれを噴火静穏期を示す土壌層の発達により複数の噴火堆積物、例えば差木地層は下位から S<sub>2</sub>, S<sub>1</sub> 部層などに細分している (Nakamura, 1964; 一色, 1984)。その一方、噴出率を見積もるために必要な噴火年代は主に 1970 年代以前に測定された新期大島層群前半の S<sub>2</sub> 部層と N<sub>3</sub> 部層の放射性炭素年代値 (一色ほか, 1981) と、歴史噴火記録と噴出物との対比 (Nakamura, 1964; 一色, 1984 など) に基づいており、歴史噴火記録が充実している江戸時代より古い、おおよそ 16 世紀以前の噴火について、必ずしも十分な噴火年代データが得られているわけではない。また最近、噴火年代に関して、これまでの解釈とは活動年代が異なる可能性が指摘されている。そのため新期大島層群の噴火年代について年代値を多くの噴火事件について得る必要がある。

本報告では、新期大島層群のいくつかの噴火年代について新たな放射性炭素年代測定結果を報告するとともに若干の考察を行う。なお本報告では、個々の噴火堆積物そのものを示すときは ○○ 部層、それぞれの噴火事件、噴火活動年代を示すときは差木地層を S 期など、○○ 期と呼ぶこととする。本研究の一部には部門重点研究「伊豆大島火山の噴火シナリオの高度化」を使用した。

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

\* Corresponding author: Y. KAWANABE, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, E-mail: y-kawanabe@aist.go.jp

第1表 伊豆大島火山新期大島層群の過去の研究による年代値  
Table. 1 Age of the Younger Oshima Group reported by previous studies.

estimation methods	historical records human relic	stratigraphy		<sup>14</sup> C age		
		article	unit			
	Nakamura, 1964 Isshiki, 1984	Koyama and Hayakawa, 1996	Tsukui <i>et.al.</i> , 2006	Isshiki, 1984	Uesugi <i>et.al.</i> , 1994	Yamamoto, 2006
Y <sub>1</sub>	AD1777					
Y <sub>2</sub>	AD1684					
Y <sub>3</sub>	AD1552	AD1596				
Y <sub>4</sub>	AD1421?	AD1446				
Y <sub>5</sub>	AD1338?	AD1320				
Y <sub>6</sub>	13th cent.?	AD1183				
N <sub>1</sub>	AD1112?	AD1057	9th cent.?			
N <sub>2</sub>	10th~11th cent.?	AD869				
N <sub>3</sub>	AD856?	AD838(N3.0)	AD838	1130±80 yBP		
N <sub>4</sub>	8th cent.?	AD625(N4.8)				
S <sub>1</sub>	7th cent.?	AD600(S1.0)				
S <sub>2</sub>	AD684?	AD550		1330±90 yBP 1350±100 yBP 1500±160 yBP 1460±85 yBP	1719±90 yBP	1720±40 yBP 1730±60 yBP

2. 過去の新期大島層群噴火年代研究

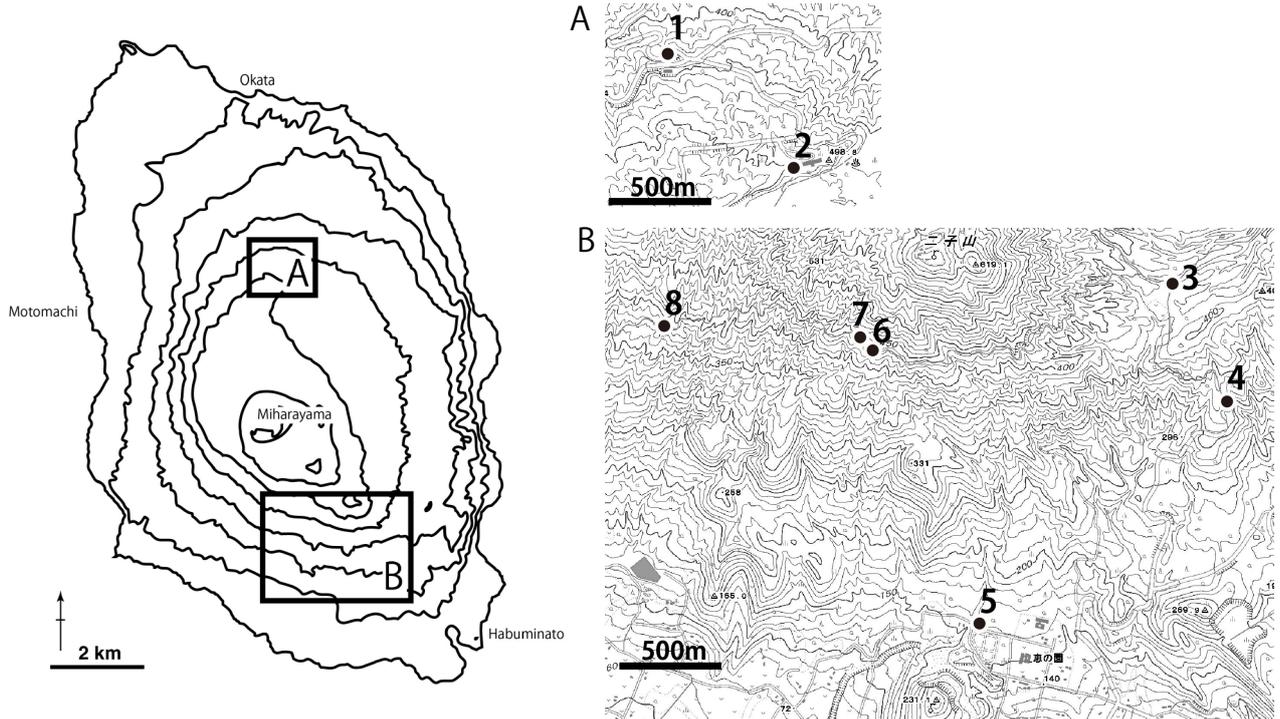
Nakamura (1964) は現在の伊豆大島山頂カルデラ地形を作ったと考えた噴火 (S<sub>2</sub> 期) 以降 1777-78 年噴火 (Y<sub>1</sub> 期) まで 12 回の噴火を認識し、これらの噴火による一連の堆積物を新期大島層群と命名し、歴史噴火記録や遺跡出土品などから各噴火年代の推定を行った。一色ほか (1981) は、S<sub>2</sub> 期以前の噴火活動も含めたいくつかの部層から得られた放射性炭素年代値と文献記録などとの対比から、おおよそ 150 年から 200 年程度の間隔で、大規模噴火 (噴出量数億トン以上) を繰り返していると考え、5 万分の 1 地質図幅 (一色, 1984) にまとめた。川辺 (1998) も基本的に同じ考えを採用している。小山・早川 (1996) は Nakamura (1964) を踏襲しながらも、噴火間の風成堆積物の存在から新期大島層群中に大小計 24 回の噴火事件を読み取り、既存の年代値を用いた風成堆積物堆積速度の仮定から各噴火年代の推定を行っている。津久井ほか (2006) は N<sub>1</sub> 部層最上部土壌に含まれる流紋岩質軽石火山灰を 886 年新島向山噴火の流紋岩質軽石火山灰に対比し、N<sub>1</sub> 期が 9 世紀中頃の噴火と考えた。その結果、N<sub>3</sub> 期から N<sub>1</sub> 期までの活動が 9 世紀に集中して起こったと考え、伊豆大島火山のマグマ噴出率がカルデラ形成後 N 期まで非常に高かったとした。第 1 表にこれらの研究結果をまとめて示す。第 1 表にみるように、新期大島層群各噴火期の放射性炭素年代が測定されているの

は S<sub>2</sub> 期、N<sub>3</sub> 期だけであり、それ以外の噴火期については行われていなかった。

3. 試料及び測定方法

今回測定した試料は、S<sub>2</sub>、N<sub>4</sub>、N<sub>1</sub>、Y<sub>6</sub>、Y<sub>5</sub>、Y<sub>4</sub>、Y<sub>2</sub> 各部層堆積物に覆われる、直下の腐植を含む埋没土壌試料である。噴火堆積物直下の腐植を含む埋没土壌の放射性炭素年代値は、直上の噴火堆積物の噴火年代とおおよそ調和的であることが知られているが、条件によってはその値の信頼性に問題があることがある (奥野, 1997)。そのため、Y<sub>4</sub> 期 (4 試料)、Y<sub>6</sub> 期 (2 試料)、N<sub>1</sub> 期 (3 試料) は、それぞれ異なる露頭で採取した複数の直下土壌試料について年代測定を行った。N<sub>4</sub> 期は、N<sub>4</sub> 部層内の噴火休止期を示すと考えられる土壌試料 (小山・早川 (1996) の N4.0 火山灰層直下にあたる) も測定した。試料採取場所を第 1 図に、それぞれの採取地点の柱状図を第 2 図に示す。

試料を採集した露頭は No.5 地点を除き道路脇、駐車場脇などの露頭である。No.5 地点は深さ約 2 m のピットを掘り、出現した露頭から採取した。いずれの試料も上下を覆う降下火砕物の厚さが 10 cm 以上あるところの土壌を数 cm 以上削りとったあと、土壌最上部厚さ 1~2 cm を植物根などができるだけ混入しないよう注意して採取し、アルミホイルで封入した。放射性炭素年代測



第1図  $^{14}\text{C}$  年代測定試料採取地点位置図。

国土地理院発行2.5万分の1地形図「大島北部」及び「大島南部」を使用。

Fig. 1 Sampling locality map.

定は株式会社地球科学研究所に依頼し、Beta Analytic 社により加速器質量分析 (AMS) 法で行った。  $^{14}\text{C}$  半減期は 5568 年を使用し、  $^{13}\text{C}$  による同位体補正を行った。得られた年代値は、Calib6.1 (Stuiver and Reimer, 1993) を使用し、Intcal09 (Reimer *et al.*, 2009) に基づいて暦年較正を行った。測定結果等は第2表に示す。

#### 4. 測定結果と考察

##### 4.1 $\text{S}_2$ 期

$\text{S}_2$  部層は、下位から降下スコリア、降下火山灰、弾道落下火山岩塊を伴う降下火山灰、山頂部での水蒸気爆発に伴う火砕流からなる (山元, 2006)。今回測定した最下位降下スコリア直下土壌試料は、 $1780 \pm 50$  yBP の年代値を示し、暦年補正を行うと、 $2\sigma$  の範囲でおおよそ 2 世紀から 4 世紀の年代値になる。これらの値は上杉ほか (1994) 及び山元 (2006) による炭化木片による  $\text{S}_2$  期年代値 (第1表) と矛盾がない値である。Nakamura (1964) では  $\beta$  線測定法による約 1300 ~ 1500 年前という年代値を採用し、AD684 年噴火記録に対比していたが、今回の結果は山元 (2006) が述べたように、 $\text{S}_2$  期がこれまでの推定より数百年程度古いことを示す。また中村も  $\text{S}_2$  期の年代として、Nakamura (1960) では土器様式などから「3 世紀頃?」としており、むしろそれに整合的である。これらのことから  $\text{S}_2$  期噴火事件はこれまでの推定より 200

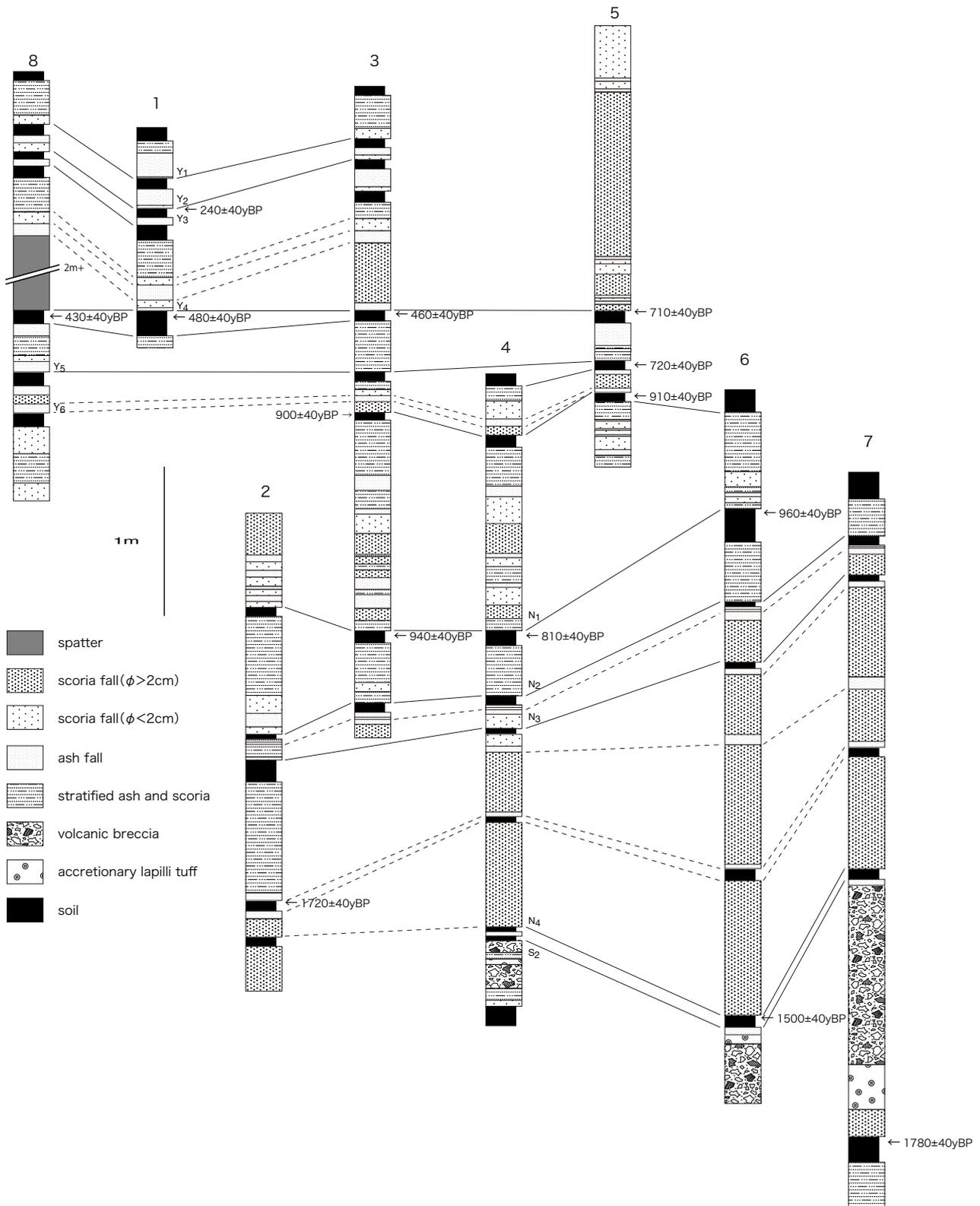
~ 400 年ほど古い約 1700 年前、3 世紀頃と考えた方がよいだろう。

##### 4.2 $\text{N}_4$ 期

$\text{N}_4$  部層堆積物は数 ~ 10 cm 程度の土壌を挟む複数の降下スコリア層とそれらを覆う降下火山灰層からなる。今回測定した 2 試料は、 $\text{N}_4$  部層直下土壌が  $1500 \pm 40$  yBP、 $\text{N}_4$  部層内土壌が  $1720 \pm 40$  yBP を示し、層序とは逆転した値が得られた。逆転の理由はよくわからない。ただし、暦年補正を行うと  $\text{N}_4$  期はいずれの試料の年代値でもこれまでの推定 (8 世紀?, 第1表) より 100 ~ 300 年ほど古い年代を示している。

##### 4.3 $\text{N}_1$ 期

$\text{N}_1$  部層堆積物は、厚さ数 cm から 10 cm 以下程度の降下スコリア、降下火山灰、火山豆石層の互層を主体とし、降下火砕物の量として新期大島層群中最大の噴出量を持つ。これまでは噴火年代は 11 ~ 12 世紀頃とされ、AD1112 年噴火に対比されてきた (第1表)。しかし前述のように津久井ほか (2006) は、 $\text{N}_1$  期は 9 世紀中頃の噴火ではないかと考えた。今回測定した  $\text{N}_1$  部層直下土壌 3 試料の年代値は、 $940 \pm 40$  yBP、 $810 \pm 40$  yBP 及び  $960 \pm 40$  yBP であった。測定値のうち、1 試料は後述する上位の  $\text{Y}_6$  期年代値より新しい年代値を示したが、2 試料は近い値を示した。暦年較正後の年代は、2 試料が 11 世紀から



第2図 各試料採取露頭柱状図  
 各柱状図の番号は第1図の試料採取地点番号と同じ。  
 Fig. 2 Columnar sections of the sampling outcrop.  
 Numbers are same as Fig. 1.

第2表 本報告で新たに得られた新期大島層群各部層直下土壌の年代値  
試料採取地点番号は第1図に示す。

Table. 2 New  $^{14}\text{C}$  age of the Younger Oshima Group.  
Locality numbers are same as Fig. 1.

Unit	Sample number	Locality number	Locality Latitude and Longitude	Lab. number	$\delta^{13}\text{C}$ (%)	Conventional $^{14}\text{C}$ age (yBP)	Calibrated $^{14}\text{C}$ age (AD) (2 $\sigma$ range)
Y <sub>2</sub>	11022702C2	1	N34 45.48 E139 23.64	Beta-295254	-24.1	240±40	1520-1592(15.2%), 1619-1685(42.8%), 1732-1807(33.3%), 1928-1952(8.6%)
	11022702C1	1	N34 45.48 E139 23.64	Beta-295253	-24.3	480±40	1327-1342(2.5%), 1394-1475(97.5%)
Y <sub>4</sub>	07012004Y4	8	N34 42.55 E139 23.97	Beta-227218	-25.1	430±40	1414-1522(88.3%), 1574-1584(1.1%), 1590-1624(10.6%)
	09013102Y4	3	N34 42.68 E139 25.62	Beta-275276	-24.0	460±40	1401-1497(97.8%), 1509-1510(0.2%), 1602-1615(2.0%)
	10012001Y4	5	N34 41.76 E139 24.98	Beta-274283	-21.5	710±40	1224-1313(81.6%), 1357-1388(18.4%)
Y <sub>5</sub>	10012001Y5	5	N34 41.76 E139 24.98	Beta-274277	-17.1	720±40	1221-1308(88.4%), 1362-1386(11.6%)
Y <sub>6</sub>	09013102Y6	3	N34 42.68 E139 25.62	Beta-257273	-23.7	900±40	1034-1214
	10012001Y6	5	N34 41.76 E139 24.98	Beta-274284	-23.5	910±40	1032-1210
N <sub>1</sub>	09013102N1	3	N34 42.68 E139 25.62	Beta-257274	-23.9	940±40	1019-1185
	07012101N1	4	N34 42.34 E139 25.78	Beta-227219	-26.0	810±40	1160-1277
N <sub>4</sub>	06030503N1	6	N34 42.49 E139 24.64	Beta-219878	-25.3	960±40	996-1006(1.2%), 1012-1166(98.8%)
	07012205N4	2	N34 45.20 E139 24.05	Beta-227220	-24.3	1720±40	237-412
S <sub>2</sub>	06030503N4	6	N34 42.49 E139 24.64	Beta-219879	-24.3	1500±40	434-492(15.5%), 508-519(1.9%), 528-643(82.5%)
	06030504S2	7	N34 42.49 E139 24.63	Beta-219877	-25.4	1780±50	128-384

12世紀半ば, 1試料が12世紀半ばから13世紀となった(第2表)。これはNakamura (1964), 一色 (1984) などの推定と大きく矛盾しない年代であり, N1期は少なくとも9世紀とはみなせないといえる。ただ津久井ほか (2008) が指摘するように, N<sub>1</sub>部層最上部土壌に流紋岩質軽石火山灰が含まれることも事実であり, この軽石火山灰の起源について今後考察する必要がある。

#### 4-4. Y<sub>6</sub>期

Y<sub>6</sub>部層堆積物は, 降下火山灰層を挟んで2層に分かれる山頂火口起源と考えられる降下スコリア層と, 更にその上に降下火山灰層が重なっている降下火砕物層である。2層ある降下スコリア層のうち, 下位のは伊豆大島東部にのみ分布し, 南部から西部ではN<sub>1</sub>部層最上部土壌を降下火山灰層が直接覆う。下位のN<sub>1</sub>部層との間には, 多くの場所で不整合が発達している。今回測定した2試料は, 900±40 yBP, 910±40 yBPといずれも近い値を示し, 11世紀から13世紀初めの暦年代を示した。これらの値はこれまでの推定年代(13世紀, 第1表)と整合的である。

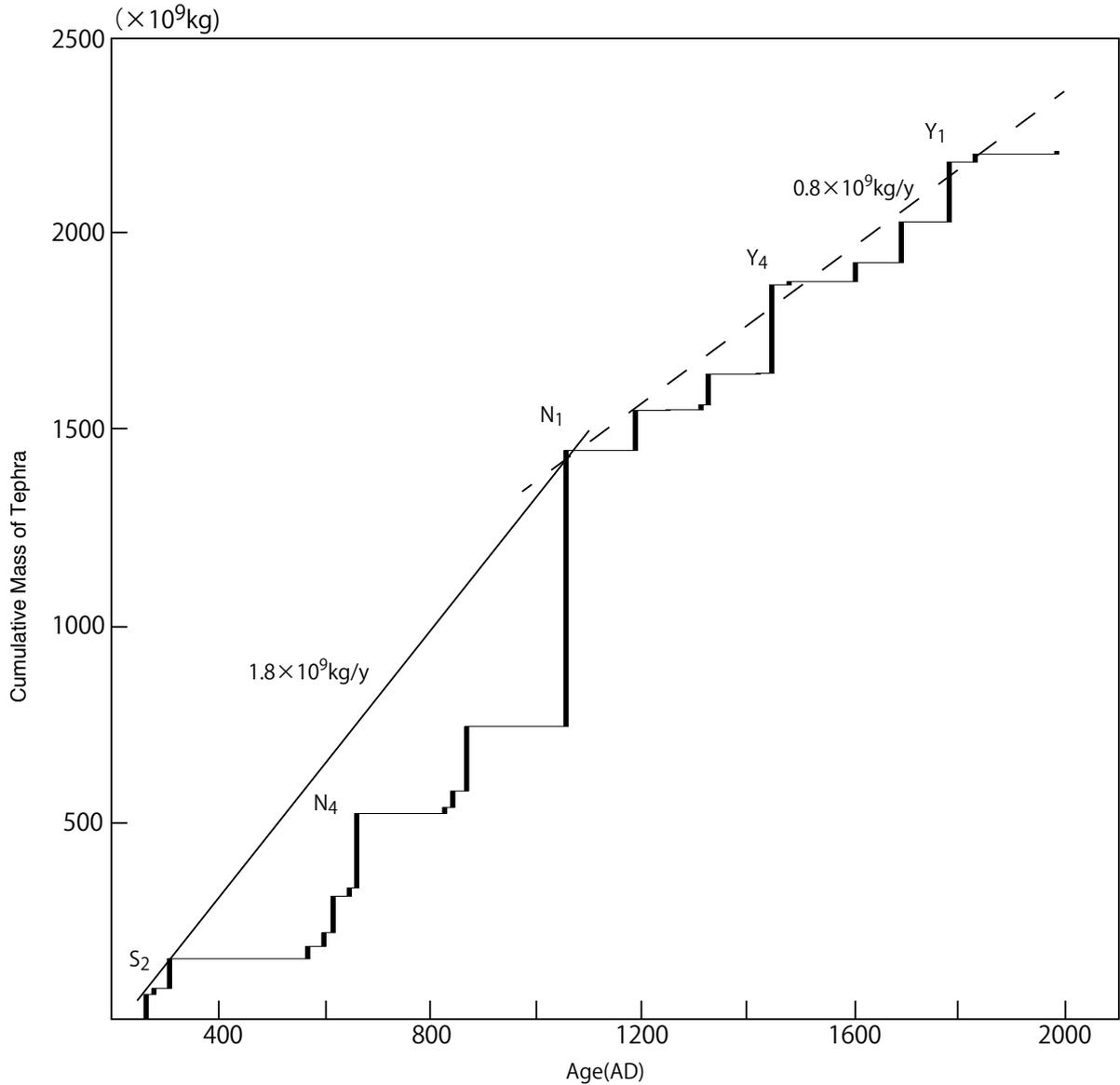
#### 4-5. Y<sub>5</sub>期

Y<sub>5</sub>部層堆積物は, 山頂部並びに元町の東側山腹の割

れ目火口から噴出した降下スコリア, 降下火山灰層で, 数cm程度の厚さの層理からなる火山灰・スコリア互層が発達している。島南部差木地地区で採取されたY<sub>5</sub>部層直下土壌試料は, 720±40 yBPの値で, 暦年代として13世紀から14世紀の年代を示した。この値もこれまでに推定されていたY<sub>5</sub>期年代(AD1338年?, 第1表)とほぼ同じかやや古い年代で, 整合的である。

#### 4-6. Y<sub>4</sub>期

Y<sub>4</sub>部層堆積物は, 島内南部の割れ目火口から噴出したスコリア, スパターが直接Y<sub>5</sub>部層最上部土壌を覆い, 降下火山灰層をはさんで再び降下スコリア層, 赤~紫~灰色など色調の異なる降下火山灰互層からなる。上位の降下スコリア層と降下火山灰層はその分布から山頂火口からの噴出物である。下位の降下火砕物の大部分は割れ目火口起源と考えられるが, 山頂火口からの噴出物が入っているかはよくわからない。今回測定したY<sub>4</sub>部層直下土壌4試料の年代値は, 480±40 yBP, 430±40 yBP, 460±40 yBP, 710±40 yBPであった。1試料はY<sub>5</sub>期とほぼ変わらない値になったが, 残る3試料はほぼ同じ年代を示し, 暦年代は15世紀から16世紀初めとなった。1試料が古い値を示したことでやや注意を要するが, 残る3試料の暦年代はこれまでの推定(AD1421年?, 第1表)



第3図 テフラ噴出量階段ダイアグラム

小山・早川(1997)のテフラ噴出量を基に、S<sub>2</sub>期を3世紀後半(AD270年)、N<sub>4</sub>期開始を6世紀後半(AD560年)、他の噴火期年代を同じとして噴出率を再計算した。

Fig.3 Tephra-discharge step diagram with new S<sub>2</sub> and N<sub>4</sub> age.

Erupted tephra volume are from Koyama and Hayakawa (1997) Numbers are same as Fig. 1.

と整合的である。

#### 4-7. Y<sub>2</sub>期

Y<sub>2</sub>部層堆積物は、粗粒降下火山灰層とその上位に細粒降下火山灰層互層が堆積している。島の南東部では基底部に降下スコリア層が見られる。北西部で採取したY<sub>2</sub>部層粗粒降下火山灰層直下土壌試料の年代値は240±40 yBPで、暦年較正後の年代値はばらつくが、17世紀から18世紀頃の可能性が高く、この値はY<sub>2</sub>期とされる歴史噴火記録(AD1684年、第1表)と整合的である。

これらのことより、S<sub>2</sub>期、N<sub>4</sub>期については、これま

での年代観より数百年程度古くなる年代値が得られた。その一方、N<sub>1</sub>期以降Y<sub>4</sub>期までは、複数の測定を行った結果、おおよそこれまでの推定とほぼ同じ年代と見なし、よい年代値が得られた。

#### 5. 新期大島層群のマグマ噴出率

Nakamura (1964) は、伊豆大島火山の溶岩及び降下火砕物、火砕流などの噴出物体積を元にしたエネルギー放出率を求め、新期大島層群のエネルギー放出率をほぼ一定とした(Nakamura (1964) の Fig.23)。小山・早川(1996)

は風成堆積物堆積速度から求めた噴火年代推定値をもとに新期大島層群のテフラ体積によるマグマ噴出率を求め、S<sub>2.0</sub> ~ N<sub>1.0</sub> 間の平均マグマ噴出率 2.9×10<sup>9</sup> kg/y, N<sub>1.0</sub> 噴出後から現在までが 0.8×10<sup>9</sup> kg/y とし、S 期 N 期は Y 期より 3.6 倍程度マグマ噴出率が高いとした。津久井ほか (2006) は、N<sub>3</sub> 期から N<sub>1</sub> 期が 9 世紀に集中して起こったとして、N 期のマグマ噴出率は更に高いと考えた。

今回の年代測定結果は、S<sub>2</sub> 期、N<sub>4</sub> 期がこれまでより 100 ~ 300 年ほど古くなり、N<sub>1</sub> 期以降はこれまでの推定とほぼ同じ年代値を示すことから、S 期、N 期のテフラ体積から見たマグマ噴出率は小山・早川 (1996) の推定値より低くなる。S<sub>2</sub> 期を AD270 年、N<sub>4</sub> 期を AD570 年として、小山・早川 (1996) のテフラ噴出量を使うとこの間のマグマ噴出率は、1.8×10<sup>9</sup> kg/y となった (第 3 図)。それでも今回の年代測定結果からは Y 期の約 2 倍の噴出率となり、カルデラ形成直後は噴出率が高い傾向は変わらないと言える。ただし、実際のマグマ噴出率を議論するには、溶岩流の体積を無視することはできない。そのためにはカルデラ構造を解明し、地表に露出しないカルデラ埋積溶岩の体積を考察する必要がある。そのために伊豆大島山頂カルデラ東部においてボーリング調査を行ったが、その結果については別報で報告する。

## 6. まとめ

- ・新期大島層群各噴火期土壌について AMS 法による放射性炭素年代測定を行った。
- ・S<sub>2</sub> 期、N<sub>4</sub> 期についてはこれまでより S<sub>2</sub> 期で 200 ~ 300 年、N<sub>4</sub> 期で 100 ~ 200 年ほど古い年代値が得られた。他の報告と合わせて考えると、S<sub>2</sub> 期は 3 世紀頃起きたと考えられる。
- ・N<sub>1</sub> 期、Y<sub>6</sub> 期、Y<sub>5</sub> 期、Y<sub>4</sub> 期については、一部年代値の矛盾もあるが、ほぼこれまでの推定と同じような年代値が得られた。
- ・テフラから見た S 期、N 期マグマ噴出率は、これまでの推定噴出率より低くなるが、それでも Y 期より約 2 倍高い。

謝辞：現地調査にあたっては、大島町役場、白木建設株式会社にお世話になった。査読者の山元孝広氏、編集担当の中野俊氏にいただいたコメントは本稿の改善に大変役立った。ここに記して感謝する。

## 文 献

- 一色直記 (1984) 大島地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 133 p.
- 一色直記・中村一明・田沢堅太郎 (1981) 大島火山大噴火の平均反復周期：<sup>14</sup>C 測年による成果。火山, **26**, 235-238.
- 川辺禎久 (1998) 伊豆大島火山地質図。火山地質図 10, 地質調査所, 8 p.
- 小山真人・早川由紀夫 (1996) 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史。地学雑誌, **105**, 133-162.
- Nakamura, K. (1960) Stratigraphic studies of the pyroclastics of the Oshima Volcano, Izu, deposited during the last fifteen centuries. I. Cyclic activity of "main craters" and the absolute chronology of the pyroclastic sediments. *Sci. Pap. Coll. General Educ., Univ. Tokyo*, **10**, 125-145.
- Nakamura, K. (1964) Volcano-stratigraphic study of Oshima Volcano, Izu. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **42**, 649-728.
- 奥野 充 (1997) 埋没土壌の <sup>14</sup>C 年代から知るテフラの噴火年代 -- 有効性と問題点 --。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, **8**, 45-50.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0 to 10,000 years cal. BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111-1150.
- Stuiver, M., and Reimer, P.J. (1993) Extended <sup>14</sup>C data base and revised CALIB 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215-230.
- 津久井雅志・斎藤公一滝・林幸一郎 (2006) 伊豆諸島における 9 世紀の活発な噴火活動について - テフラと歴史史料による層序の改訂 -. 火山, **51**, 327-338.
- 上杉 陽・新川和範・木越邦彦 (1994) 伊豆大島火山千波崎の地層切断面露頭群のテフラ - 標準柱状図 -. 第四紀研究, **33**, 165-187.
- 山元孝広 (2006) 伊豆大島火山, カルデラ形成期の火砕物密度流堆積物：差木地層 S2 部層の層序・岩相・年代の再検討。火山, **51**, 257-271.

(受付：2012 年 8 月 31 日；受理：2012 年 12 月 27 日)