

白頭山火山の 10 世紀における巨大噴火の高精度 AMS¹⁴C 年代測定

石塚友希夫*、中村俊夫（名古屋大学年代測定総合研究センター）、奥野充（福岡大学理学部）、
木村勝彦（福島大学教育学部）、金奎漢（韓国梨花女子大学校科学教育学部）、
金伯祿（中国第六地質調査所）、森脇広（鹿児島大学法文学部）、

1. はじめに

白頭山は中国と北朝鮮の国境に位置する火山である(図 1)。10 世紀頃に起きたと言われる白頭山の巨大噴火の火山灰は日本の東北以北にまで到達している。この広域テフラは B-Tm と呼ばれ、考古遺跡の年代を推測する上で重要なカギ層である。しかし、この噴火の正確な年代をしめす文書は残っていない。そこで、白頭山の火山噴火についての正確な年代情報を与えるため、本研究では、火砕流、泥流などによって炭化・枯死した樹木を試料とし、火山噴火の高精度・高正確度の年代決定を行うことを試みた。



図 1. 白頭山の位置

2. ¹⁴C 年代から暦年代への年代較正

加速器質量分析計(AMS)などで測定された ¹⁴C 年代は較正曲線(INTCAL98)を用いて暦年代に変換される(Stuiver et al. 1998)。これは大気中 ¹⁴C 濃度の経年変動のため、¹⁴C 年代と暦年代が 1 対 1 対応しないためである。較正曲線の変動はその凸凹した形状から wiggle と呼ばれる。この wiggle のため、¹⁴C 年代の年代較正を行った時、得られる暦年代が複数候補であったり、その誤差が ¹⁴C 年代のものとは非常に大きくなったりする場合がある。しかし、1 試料内で年代間隔の分かった複数の試料を得ることが可能な場合（樹木、珊瑚など）、逆にこの wiggle を利用することによる高精度・高正確度の年代較正が可能である。これは wiggle matching 法とよばれ、¹⁴C 年代とその試料の生育期間の ¹⁴C 濃度変動の両者を年代較正に利用したものといえる。

火山噴火時には、周辺に生育していた樹木がその火砕流によって炭化・枯死される。この炭化

した樹木は、その火砕流層などにそのまま埋没していることがある。この樹木試料の最外年輪の年代は、火山噴火の年代を示すことになる。また、樹木試料の場合、wiggle matching による年代較正が可能のため、正確な噴火年代を得ることができると考えられる。そこで、本研究では wiggle matching を用いることを前提に、白頭山周辺地域で次の3つの条件を満たすような試料の採取を行った。

1. 樹皮が保持されていること
2. 年輪数が100年以上であること
3. 年輪幅が1年輪ずつ切り出せる程度に広いこと

1.の条件は、樹皮によって、樹木が枯死した年代（噴火年代）に形成された最外年輪が明確に決まるためである。2.と3.の条件は、樹木試料の生育した期間の ^{14}C 濃度（ ^{14}C 年代）の変動を長期間、1年分解能で得ることにより、wiggle matching による年代較正を行うためである。

3. 試料

白頭山周辺での現地調査、試料採取を2001年に行った。火砕流層・泥流層から6点の樹木試料を採取した(表1)。樹木試料は、1点を除き、いずれも炭化していた。実験室での詳細な観察の結果、このうち2点の炭化樹木は樹皮を保持していることが確認できた。これらの試料について、木村勝彦助教授（福島大学）に年輪幅解析をお願いし、偽年輪や消失年輪による年輪のカウントミスを排した。また、樹皮付き樹木試料のうち、より年輪数が多い試料 Sample3(樹皮付き、年輪数102年)を ^{14}C 年代決定用試料とした。

Sample3の年輪幅を図2に示す。

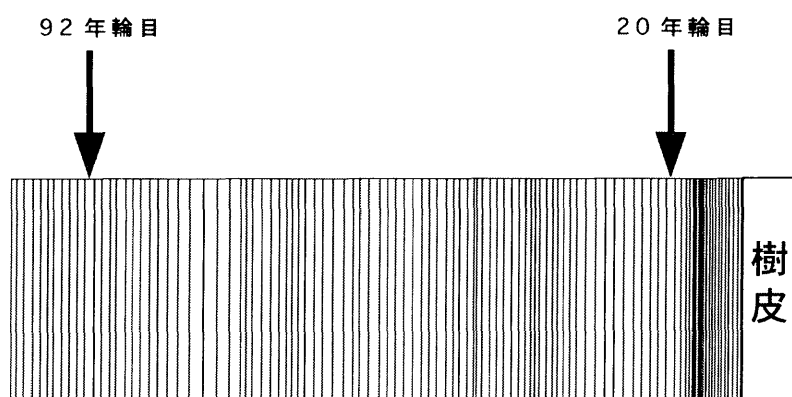



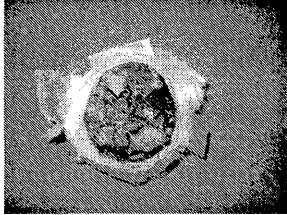
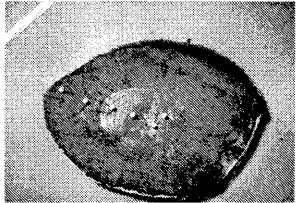
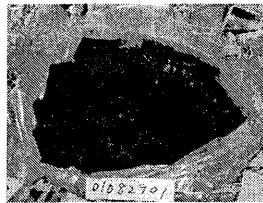

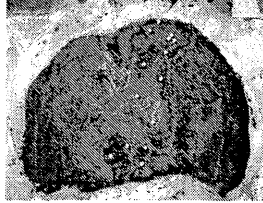
図2. ^{14}C 年代測定試料 Sample3 の年輪幅

最外年輪から20年輪目までの年輪幅は特に狭かったため (<1mm)、2年輪を1試料とし切りだした。また、21年輪目から92年輪目までは1年輪ずつ切り出すことができた。93年輪目から102

年輪目までは、残存状態が極めて悪いため、試料として用いなかった。このうちほぼ 3 年ごとの試料を選択し、 ^{14}C 年代測定用の試料とした。

分割した試料は蒸留水中での超音波により、表面に付着した不純物を除去した。その後、60-80℃で 1.2N HCl 水溶液、1.2N NaOH 水溶液による交互洗浄を行った。最後に蒸留水での洗浄を行い、これを乾燥した。この化学処理後の各試料から約 7mg を分取し、約 700mg の酸化銅と真空封入した。これを 900℃で約 4 時間加熱し、試料を CO_2 とした(Nakamura, 1998)。これを真空ラインにおいて精製したものを、水素と鉄により還元することによりグラファイトとして試料を得た(Kitagawa, 1993)。このグラファイトをターゲットとして、計 35 点を加速器質量分析計(AMS)による ^{14}C 年代測定を行った。

表 1. 2001 年に採取した樹木試料

<p style="text-align: center;">Sample 1</p>  <p style="text-align: center;">年輪数 230 樹皮なし 樹幹の一部、割れが激しい</p>	<p style="text-align: center;">Sample 4</p>  <p style="text-align: center;">年輪幅が極めて狭い 樹皮なし 樹幹、割れが激しい</p>
<p style="text-align: center;">Sample 2</p>  <p style="text-align: center;">年輪数 58 樹皮あり 樹幹</p>	<p style="text-align: center;">Sample 5</p>  <p style="text-align: center;">未炭化 樹皮なし</p>
<p style="text-align: center;">Sample 3</p>  <p style="text-align: center;">年輪数 102 樹皮あり 樹幹 ^{14}C 年代測定試料</p>	<p style="text-align: center;">Sample 6</p>  <p style="text-align: center;">年輪数 180 樹皮なし 樹幹の一部 割れが激しい</p>

4. 結果

得られた ^{14}C 年代を表 2、図 3 に示した。この変動は、樹木が生育していた期間の 92 年間の大気中 ^{14}C 濃度変動を反映してみかけの ^{14}C 年代変動を示している。この ^{14}C 年代変動は年輪 20-30 番目の間に谷底を持ち、非常に特徴的な変動を示した。また、変動中の ^{14}C 年代は 1069-1264BP の範囲にあった。この ^{14}C 年代に対応する較正曲線を図 4 に示す。較正曲線中にも、905-915cal AD に谷底を持つような変動が見られる。樹木試料の ^{14}C 年代変動と較正曲線中の ^{14}C 年代変動が一致するところが、試料の暦年代と推定される。この谷底を一致させると試料の最外年輪の較正年代は 935cal AD になり、変動と ^{14}C 年代が非常によく一致しているように見える (図 5)。

また、最外年輪の較正年代をある年に固定した時の各試料の ^{14}C 年代と較正曲線との一致の程度を SS とし、次の式で定義した。

$$SS(\text{最外年輪の較正年代}) = \sum \{(\text{Sample } ^{14}\text{C age}) - (\text{INTCAL98})\}^2$$

この SS の値が最小となるところで、較正曲線と試料の ^{14}C 年代変動がよく一致し較正年代が得られることになる。この結果を図 6 に示す。936cal AD で SS は最小になり、 χ^2 分布により 1σ (68.2%) の誤差を見積もって (Pearson, 1986)、最外年輪の較正年代 936_{-6}^{+8} cal AD という結果を得た。

5. 得られた年代の考察

表 3 に本研究を含めた白頭山の噴火年代研究の結果をまとめた。まず、今回 35 点の樹木年輪試料から wiggle matching を用いて得られた最外年輪の年代は、最外年輪の ^{14}C 年代 1195 ± 33 BP を暦年較正して得られた年代と比べ、精度の高い年代である。また、Fukusawa et al. (1998) による湖底堆積物を試料として得られている B-Tm 火山灰の年代と良く一致している。グリーンランドアイスコア中の SO_4 濃度による火山噴火年代の研究 (Zielinsky et al. 1994) では、白頭山のものであるとはされていないが、AD 936, 938, 939 に火山噴火があったことが示唆されている。これらと結果と非常によく一致していることから、本研究で得られた年代 936_{-6}^{+8} cal AD は白頭山の噴火年代である可能性が非常に高い。

6. おわりに

本研究では、炭化樹木を試料として wiggle matching を年代較正に用いることにより、火山噴火の年代を高精度で決定でき、AD 936_{-6}^{+8} という年代を得た。さらなる高精度・高正確度化を目指す際に検討すべき点として、1) 倒木試料の問題、2) 較正曲線の分解能の問題があると考えている。1) については、噴火以前からすでに倒木の状態であった試料を年代決定してしまう可能性についてである。これについては、年輪幅の解析を行い、その生育年代・枯死年代の同一性を確認することにより回避することが可能である。2) については、AD 1500 以前の較正曲線は decadal data であるので、より高精度の年代較正・決定を目指すならば、その区間の較正曲線を 1 年単位で決める必要性もある。しかしながら、現段階においても wiggle matching による年代決定は有効であり、今後この手法による火山噴火等の年代決定が広く行われると考えられる。

表.2 ^{14}C 年代測定の結果

最外年輪からの年輪数	^{14}C age (BP)	最外年輪からの年輪数	^{14}C age (BP)
1,2	1195 ± 33	51	1137 ± 32
3,4	1117 ± 30	54	1119 ± 31
7,8	1202 ± 28	57	1151 ± 32
11,12	1163 ± 33	60	1264 ± 28
15,16	1086 ± 31	61	1209 ± 34
17,18	1152 ± 32	63	1245 ± 28
21	1127 ± 33	66	1205 ± 28
24	1069 ± 30	69	1209 ± 28
27	1093 ± 32	71	1225 ± 33
30	1075 ± 31	72	1226 ± 28
31	1139 ± 33	75	1224 ± 27
33	1153 ± 28	78	1256 ± 28
36	1115 ± 31	81	1205 ± 32
39	1143 ± 32	84	1196 ± 31
41	1156 ± 33	87	1184 ± 31
42	1113 ± 32	90	1157 ± 31
45	1105 ± 31	91	1257 ± 32
48	1167 ± 29		

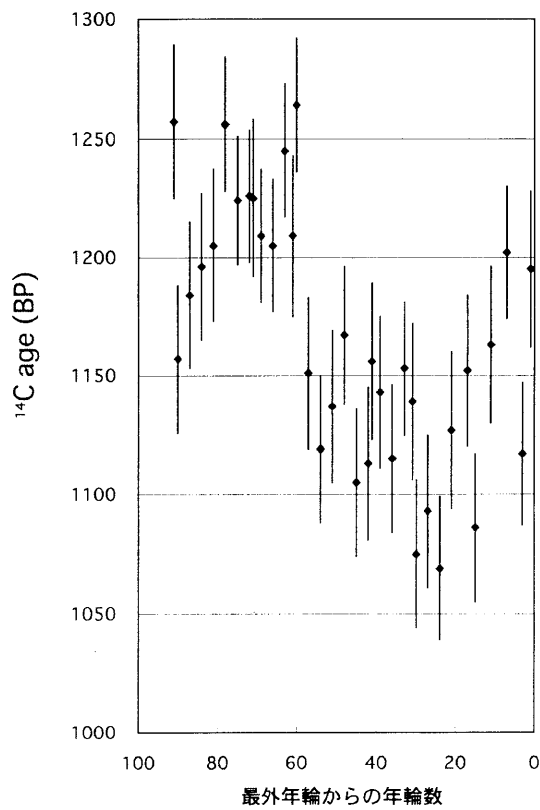


図 3. ^{14}C 年代測定の結果

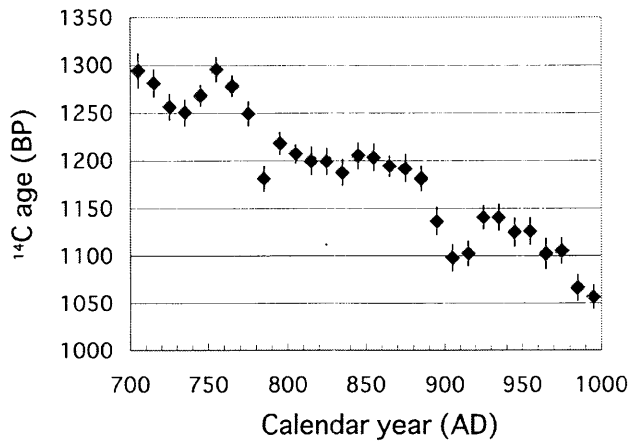


図 4. 較正曲線 INTCAL 98

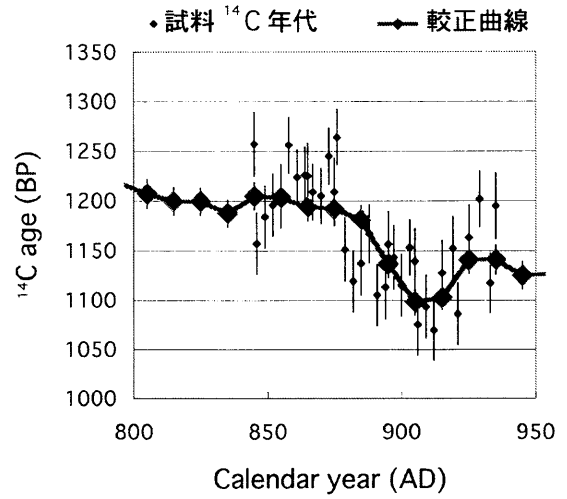


図 5. 谷底を合わせたときの
試料の ^{14}C 年代変動と較正曲線

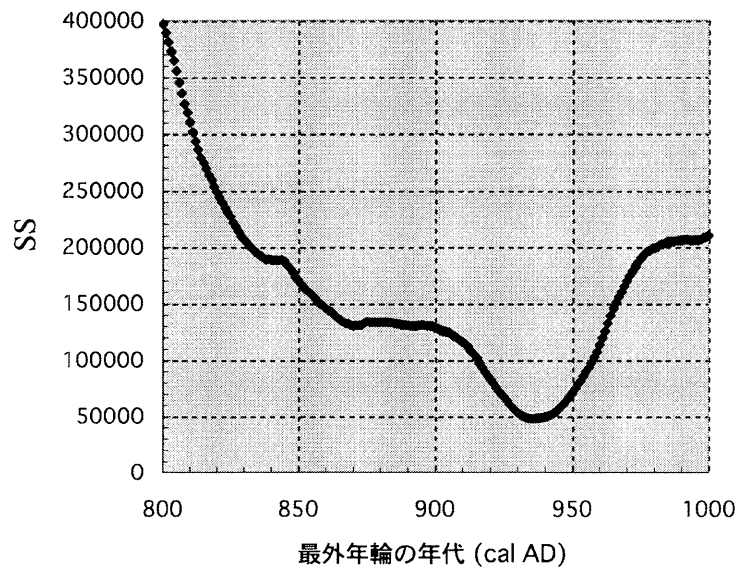


図 6. SS

較正曲線の ^{14}C 年代の値には 10 年ごとのものを 1 年ごとに内挿したものを用いた。

表 3. 白頭山の火山噴火年代比較

年代	分析手段・方法	研究者
AD 930(936)944	白頭山周辺での埋没炭化樹木のwigggle matching	本研究
AD 720()750, 770()900, 920()960	白頭山周辺での埋没炭化樹木の最外年輪のみ	本研究
AD 937の春からAD 938の冬	縞状湖底堆積物のB-Tmテフラ	Fukusawa et al (1998)
AD 936, 938, 939	グリーンランドアイスコア中のSO ₄ 濃度	Zielinsky et al (1994)

謝辞

名古屋大学年代総合研究測定センターの、浅田梨詠さん、池田晃子さん、太田友子さん、吉岡茂雄さんには化学実験の御支援・御指導をいただいた。名古屋大学年代総合研究測定センターの丹生越子博士には、特に ^{14}C 測定の際お世話になった。最後に、名古屋大学年代総合研究測定センターの小田寛貴博士には、実験から解析にわたり多くの御指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, F. G., V. D. Pliht, J., and Spurk, M., INTCAL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP: Radiocarbon, v 40, p 1041-1083. (1998)

Nakamura, T, An investigation of high-precision and high-accuracy ^{14}C dating using accelerator mass spectrometry: Quaternary Research, v34, p 171-183. (1998)

Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E., A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurement: Radiocarbon, v35, p 295-300. (1993)

Pearson, G W, Precise calendrical dating of known growth-period samples using a "curve fitting" technique: Radiocarbon, v 28, no. 2A, p 292-299. (1986)

Fukusawa H, Tsukamoto S, Tsukamoto S, Ikeda M, Okamura M, Matsuoka Y, Falling age of Baegdusan-Tomakomai tephra (B-Tm) estimated by using non-gracial verves: LAGUNA. v 5, p 55-62. (1998)

Zielinski, G A. Mayewski, P A. Meeker, L D. Whitlow, S. Twickler, M S, Morrison, M. Meese, D A. Gow, A J. Alley, R B., Record of volcanism since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland ice core and implications for the volcano-climate system: Science, v 264, p948-952. (1994)

Highly precise AMS radiocarbon dating of woods buried by the 10th century eruption of Baitoushan volcano

Ishizuka Y.*¹⁾, Nakamura T.¹⁾, Okuno M.²⁾, Kimura K.³⁾, Kim K.⁴⁾, Kim H.⁵⁾, Moriwaki H.⁶⁾

1) Nagoya University Center for Chronological Research, Nagoya/Japan

2) Faculty of Science, Fukuoka University, Fukuoka/Japan

3) Faculty of Education, Fukushima University, Fukushima/Japan

4) Faculty of Education, Ewha Womans University, Seoul/Korea

5) Qiaoguang Science and Technology Research Institute, Sichuan Province/China

6) Faculty of law, Economics and Humanities, Kagoshima University, Kagoshima/Japan

Abstract

The eruption age can be determined by radiocarbon dating of wood samples that had been blighted by the volcanic eruption. The wood samples were collected from the sediment layers of the pyroclastic flow or mudflow deposits that were produced by the 10th century eruption of Baitoushan in China. The ash is referred to as the B-Tm (Baitoushan-Tomakomai) tephra, which is often found at the archaeological excavation sites in northern Japan. However, the precise age of the eruption has not been determined yet. A sample with 102 annual rings and barks was divided year by year. 35 annual rings out of the divided ones were selected for ^{14}C dating. This amounts to a selection of annual rings of almost every 3 years. The ^{14}C ages were obtained by using AMS. The ^{14}C ages were calibrated to calendar year by wiggle matching. The calibrated age of the outermost annual ring was 936^{+8}_{-6} cal AD. The eruption age obtained in this study is consistent with the results by other researches.