

白頭山苦小牧 (B-Tm) テフラの精密年代決定の意義 Significance of Precise Age Determination of the Baitoushan-Tomakomai Tephra

奥野 充^{1*}
Mitsuru Okuno^{1*}

¹ 福岡大学理学部地球圏科学科

¹Department of Earth System Science, Fukuoka University, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan.

*Corresponding author. E-mail: okuno@fukuoka-u.ac.jp

Abstract

The eruption age of Baitoushan-Tomakomai tephra has been determined by various methods such as varve chronology and ¹⁴C wiggle-matching. Recently, the ¹⁴C spike matching revealed the eruptive year as late AD 946. The discovery of AD 774–775 ¹⁴C spike (M12 peak) provides new technique to obtain precise date and reveal regional ¹⁴C offset more clearly. This fact implies that ¹⁴C wiggle-matching should be based on shape of the calibration curve (not the ¹⁴C value difference), and ¹⁴C spike is an effective tool to expand the coverage of dendrochronology.

Keywords: B-Tm; ¹⁴C wiggle matching; dendrochronology; varve chronology

1. はじめに

白頭山 (中国では長白山) は中国と北朝鮮の国境に位置し, 10 世紀には白頭山-苦小牧テフラ B-Tm (VEI=7) を噴出した (Horn and Schmincke, 2000; 町田ほか, 1981; Machida et al., 1990). これまでこの噴火の正確な年代がわからなかったため, 年輪年代学 dendrochronology, 年縞編年学 varve chronology や ¹⁴C ウィグルマッピング ¹⁴C wiggle-matching など, 様々な手法で年代が検討されてきた (奥野ほか, 2004, 2010; Sun et al., 2014b). 最近, AD 774–775 の ¹⁴C スパイク (Miyake et al., 2012) を利用した年代決定法 (Wacker et al., 2014) から, B-Tm の年代が AD 946 の冬であることが確定した (Hakozaki et al., 2018; Oppenheimer et al., 2017). 本稿では, その概要を紹介して, 年代学的な意義を予察的に議論する.

2. これまでの研究

まず年縞編年では, 十和田 a (To-a) の年代を AD 915 (町田ほか, 1981)として計測して, 小川原湖で AD 937 から 938 (福澤ほか, 1998), ニノ目瀧と三ノ目瀧で AD 929 (上手ほか, 2010) が得られた. さらに水月湖 SG06 コアでも SG06-0226 火山灰に対比され, そのモデル年代は cal AD 880~956 (2σ) が得られている (McLean et al., 2016). 埋没樹幹を用いた ¹⁴C ウィグルマッピングも数多く検討され (Nakamura et al., 2007; 坂本, 2013; Yatsuzuka et al., 2010; Yin et al., 2012; Xu et al., 2013), これらの確率分布は概ね cal AD 930~960 の範囲に入る. また, 酸素同位体比年輪年代学 oxygen isotope dendrochronology (中塚, 2015) は ¹⁴C スパイク年代と一致する (木村ほか, 2017). グリーンランド氷床コアでは, NS1-2011 年代で AD 947 ± 1 が得られている (Sigl et al., 2015; Sun et al., 2014a). この他にも, 年輪年代学 (町田・光谷, 1994; 光谷, 2001), 考古学 (丸山, 2015) や文献史学 (早川・小山, 1998) など多くの研究がある.

3. ^{14}C スパイク年代のインパクト

^{14}C スパイク年代によって、B-Tm の年代が AD 946 の冬に確定したことは、1 年単位の年代決定に樹木年輪と ^{14}C 年代の組み合わせが極めて有効であることを示す。AD 774–775 ^{14}C スパイク (M12 ピーク) は全球的に同時に認められるが、各地での ^{14}C 濃度差も認められる (Güttler et al., 2015; Jull et al., 2014; Park et al., 2017; Usoskin et al., 2013). この ^{14}C スパイクを基準とした各地での比較 (オフセット) は、 ^{14}C ウィグルマッチングが ^{14}C 年代-暦年較正曲線との ^{14}C 濃度差ではなく、較正曲線の形にもとづくべきことを強く示す。日本列島を含む東アジアでも、北半球の大気データセット IntCAL98 (Stuiver et al., 1998), IntCal04 (Reimer et al., 2004), IntCal09 (Reimer et al., 2009) からのオフセットがこれまでも指摘されている (Imamura et al., 2007; Nakamura et al., 2013; Sakamoto et al., 2003, 2017). なお、 ^{14}C スパイクは、660 BC や AD 994 でも報告されており (Miyake et al., 2013; Park et al., 2017), より広い年代域で 1 年単位の年代決定が進むことが期待される。

一方、年縞編年学では年縞係数に誤差があり、水月湖でもモデル年代として cal AD 880~956 (2 σ) とされ、これまでの ^{14}C ウィグルマッチング程度の精度である。IntCal13 に採用された水月湖の ^{14}C データセット (Bronk Ramsey et al., 2012; Staff et al., 2011, 2013) は、13.9 cal ka BP までの北米やヨーロッパの樹木年輪との間に ^{14}C 年代オフセットを指摘していない。

4. 結論

^{14}C スパイク年代は、B-Tm の年代を AD 946 の冬と決定した (Hakozaki et al., 2018; Oppenheimer et al., 2017). ^{14}C スパイクは各地での ^{14}C 濃度差を示しており (Güttler et al., 2015; Jull et al., 2014; Park et al., 2017; Usoskin et al., 2013), ^{14}C ウィグルマッチングの方法を再考する必要がある。現状では、樹木年輪と同等の精度をもった年代測定法はなく、 ^{14}C 年代の高精度な暦年較正には、 ^{14}C スパイクや酸素同位体比年輪年代を活用して、樹木年輪の ^{14}C 年代の適用範囲を拡大させる必要がある。今後、鬼界アカホヤ (K-Ah) や始良 Tn (AT) も 1 年単位で決定することを期待したい。

謝辞

B-Tm に関する年代研究では、中村俊夫、木村勝彦、八塚慎也、宮本 毅、山田和芳、箱崎真隆、三宅英沙の各氏をはじめとした多くの方々にお世話になった。記して謝意を表します。

引用文献

- Bronk Ramsey, C., Staff, R.A., Bryant, C.L., Brock, F., Kitagawa, H., Van Der Plicht, J., Scholaut, G., Marshall, M.H., Brauer, A., Lamb, H.F., Payne, R.L., Tarasov, P.E., Haraguchi, T., Gotanda, K., Yonenobu, H., Yokoyama, Y., Tada, R., Nakagawa, T. (2012) A complete terrestrial radiocarbon record for 11.2 to 52.8 kyr BP. *Science*, 338, 370–374.
- 福澤仁之・塚本すみ子・塚本 斉・池田まゆみ・岡村 真・松岡裕美 (1998) 年縞堆積物を用いた白頭山-苦小牧火山灰 (B-Tm) の降灰年代の推定. *汽水域研究*, 5, 55–62.
- Güttler, D., Adolphi, F., Beer, J., Bleicher, N., Boswijk, G., Hogg, A., Palmer, J., Vockenhuber, C., Wacker, L., Wunder, J. (2015) Rapid increase in cosmogenic ^{14}C in AD 775 measured in New Zealand kauri trees indicates short-lived increase in ^{14}C production spanning both hemispheres. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 411, 290–297.
- Hakozaki, M., Miyake, F., Nakamura, T., Kimura, K., Masuda, K., Okuno, M. (2018) Verification of the annual dating of the 10th century Baitoushan Volcano eruption based on AD 774–775 carbon-14 spike. *Radiocarbon*, 60, 261–268.
- 早川由紀夫・小山真人 (1998) 日本海をはさんで 10 世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日

- 一十和田湖と白頭山一. 火山, 43, 403–407.
- Horn, S., Schmincke, H.-U. (2000) Volatile emission during the eruption of Baitoushan Volcano (China/North Korea) ca. 969 AD. *Bull. Volcanol.*, 61, 537–555.
- Imamura, M., Ozaki, H., Mitsutani, T., Niu, E., Itoh, S. (2007) Radiocarbon wiggle-matching of Japanese historical materials with a possible systematic age offset. *Radiocarbon*, 49, 331–337.
- Jull, A.J.T., Panyushkina, I.P., Lange, T.E., Kukarskih, V.V., Myglan, V.S., Clark, K.J., Salzer, M.W., Burr, G.S., Leavitt, S.W. (2014) Excursions in the ^{14}C record at AD 774–775 in tree rings from Russia and America. *Geophys. Res. Lett.*, 41, DOI: 10.1002/2014GL059874.
- 上手真基・山田和芳・齋藤めぐみ・奥野 充・安田喜憲 (2010) 男鹿半島, 二ノ目潟・三ノ目潟湖底堆積物の年縞構造と白頭山-苫小牧火山灰 (B-Tm) の降灰年代. *地質雑*, 116, 349–359.
- 木村勝彦・箱崎真隆・佐野雅規・對馬あかね・李 貞・中塚 武・中村俊夫・奥野 充 (2017) 酸素同位体比年輪年代法による白頭山 10 世紀噴火の年代測定. 日本第四紀学会講演要旨集 47, 30.
- 町田 洋・光谷拓実 (1994) 中国・北朝鮮国境における長白山の噴火年代に関する樹木年輪年代学的研究 (中間報告). *地学雑*, 103, 424–425.
- 町田 洋・新井房夫・森脇 広 (1981) 日本海を渡ってきたテフラ. *科学* 51, 562–569.
- Machida, H., Moriwaki, H., Da-Chang, Z., 1990, The recent major eruption of Changbai Volcano and its environmental effects. *Geogra. Rep. Tokyo Metro. Univ.*, 25, 1–20.
- 丸山浩治 (2015) 考古学的手法を用いた火山災害研究—10世紀の巨大噴火と東北地方北部における人間活動—. *考古学研究*, 62 (2), 43–55.
- McLean, D., Albert, P.G., Nakagawa, T., Staff, R.A., Suzuki, T., Smith, V.C., 2016, Identification of the Changbaishan ‘Millennium’ (B-Tm) eruption deposit in the Lake Suigetsu (SG06) sedimentary archive, Japan: Synchronisation of hemispheric-wide palaeoclimate archives. *Quat. Sci. Rev.*, 150, 301–307.
- 光谷拓実 (2001) 年輪年代法と文化財. 日本の美術 No. 421. 至文堂. 98p.
- Miyake, F., Nagaya, K., Masuda, K., Nakamura, T. (2012) A signature of cosmic-ray increase in AD 774–775 from tree rings in Japan. *Nature*, 486, 240–242.
- Miyake, F., Masuda, K., Nakamura, T., 2013, Another rapid event in the carbon-14 content of tree rings. *Nat. Commun.*, 4, 1748. DOI: 10.1038/ncomms2783.
- Nakamura, T., Okuno, M., Kimura, K., Mitsutani, T., Moriwaki, H., Ishizuka, Y., Kim, K.H., Jing, B.L., Oda, H., Minami, M., Tanaka, H. (2007) Application of ^{14}C wiggle-matching to support dendrochronological analysis in Japan. *Tree-ring Res.*, 63, 37–46.
- Nakamura, T., Masuda, K., Miyake, F., Nagaya, K., Yoshimitsu, T. (2013) Radiocarbon ages of annual rings from Japanese wood: Evident age offset based on IntCal09. *Radiocarbon*, 55, 763–770.
- 中塚 武 (2015) 酸素同位体比年輪年代法がもたらす新しい考古学研究の可能性. *考古学研究*, 62 (2), 17–30.
- 奥野 充・木村勝彦・中村俊夫・石塚友希夫・森脇 広・金 奎漢 (2004) 白頭山苫小牧 (B-Tm) テフラの年代学的研究. *東北大学東北アジア研究センター叢書*, 16, 5–14.
- 奥野 充・八塚植也・中村俊夫・木村勝彦・山田和芳・齋藤めぐみ・谷口宏充 (2010) 白頭山の 10 世紀噴火についての最近の年代研究 (レビュー). *東北大学東北アジア研究センター叢書*, 41, 103–111.
- Oppenheimer, C., Wacker, L., Xu, J., Galván, J.D., Stoffel, M., Guillet, S., Corona, C., Sigl, M., Cosmo, N.D., Hajdas, I., Pan, B., Breuker, R., Schneider, L., Esper, J., Fei, J., Hammond, J.O.S., Büntgen, U. (2017) Multi-proxy dating the “Millennium Eruption” of Changbaishan to late 946 CE. *Quat. Sci. Rev.*, 158, 164–171.

- Park, J., Southon, J., Fahrni, S., Creasman, P.P., Mewaldt, R. (2017) Relationship between solar activity and $\Delta^{14}\text{C}$ peaks in AD 775, AD 994, and 660 BC. *Radiocarbon*, 59, 1147–1156.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffmann, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M., van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869–1887.
- 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, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 1111–1150.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Culter, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46, 1029–1058.
- 坂本 稔 (2013) 日本産樹木年輪の炭素 14 年代測定. 月刊地球号外, 63, 114–120.
- Sakamoto, M., Imamura, M., van der Plicht, J., Mitsutani, T., Sahara, M. (2003) Radiocarbon calibration for Japanese wood samples. *Radiocarbon*, 45, 81–89.
- Sakamoto, M., Hakozaki, M., Nakao, N., Nakatsuka, T. (2017) Fine structure and reproducibility of radiocarbon ages of middle to early modern Japanese tree rings. *Radiocarbon*, 59, 1907–1917.
- Sigl, M., Winstrup, M., McConnell, J.R., Welten, K.C., Plunkett, G., Ludlow, F., Büntgen, U., Caffee, M., Chellman, N., Dahl-Jensen, D., Fischer, H., Kipfstuhl, S., Kostick, C., Maselli, O.J., Mekhaldi, F., Mulvaney, R., Muscheler, R., Pasteris, D.R., Pilcher, J.R., Salzer, M., Schüpbach, S., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., Woodruff, T.E. (2015) Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years. *Nature*, 523, 543–549.
- Sun, C., Plunkett, G., Liu, J., Zhao, H., Sigl, M., McConnell, J.R., Pilcher, J.R., Vinther, B., Steffensen, J.P., Hall, V. (2014a) Ash from Changbaishan Millennium eruption recorded in Greenland ice: Implications for determining the eruptions timing and impact. *Geophys. Res. Lett.* 41, 694–701.
- Sun, C., You, H., Liu, J., Li, X., Gao, J. and Chen, S. (2014b) Distribution, geochemistry and age of the Millennium eruptives of Changbaishan volcano, Northeast China – A review. *Front. Earth Sci.*, 8, 216–230.
- Staff, R.A., Bronk Ramsey, C., Bryant, C.L., Brock, F., Payne, R.L., Scholaut, G., Marshall, M.H., Brauer, A., Lamb, H.F., Tarasov, P., Yokoyama, Y., Haraguchi, T., Gotanda, K., Yonenobuk, H., Nakagawa, T. and Suigetsu 2006 project members (2011) New ^{14}C determinations from Lake Suigetsu, Japan: 12,000 to 0 cal BP. *Radiocarbon*, 53, 511–528.
- Staff, R.A., Scholaut, G., Bronk Ramsey, C., Brock, F., Bryant, C.L., Kitagawa, H., van der Plicht, J., Marshall, M.H., Brauer, A., Lamb, H.F., Payne, R.L., Tarasov, P.E., Haraguchi, T., Gotanda, K., Yonenobu, H., Yokoyama, Y., Nakagawa, T., Suigetsu 2006 Project Members (2013) Integration of the old and new Lake Suigetsu (Japan) terrestrial radiocarbon calibration data sets. *Radiocarbon*, 55, 2049–2058.

- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J., Spurk, M. (1998) INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000–0 cal BP. *Radiocarbon*, 40,1041–1083.
- Usoskin, I.G., Kromer, B., Ludlow, F., Beer, J., Friedrich, M., Kovaltsov, G.A., Solanki, S.K., Wacker, L. (2013) The AD775 cosmic event revisited: The Sun is to blame. *Astron. Astrophys.*, 552, L3. DOI:10.1051/0004-6361/201321080.
- Wacker, L., Gütler, D., Goll, J., Hurni, J.P., Synal, H.-A., Walth, N. (2014) Radiocarbon dating to a single year by means of rapid atmospheric C-14 changes. *Radiocarbon*, 56, 573–579.
- Xu, J., Pan, B., Liu, T., Hajdas, I., Zhao, B., Yu, H., Liu, R., Zhao, P. (2013) Climatic impact of the Millennium eruption of Changbaishan volcano in China: new insights from high-precision radiocarbon wiggle-match dating. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 1–6.
- Yatsuzuka, S., Okuno, M., Nakamura, T., Kimura, K., Setoma, Y., Miyamoto, T., Kim, K-H., Moriwaki, H., Nagase, T., Jin, X., Jin, B-L., Takahashi, T., Taniguchi, H. (2010) ¹⁴C wiggle-matching of the B-Tm tephra, Baitoushan volcano, China/North Korea. *Radiocarbon*, 52, 933–940.
- Yin, J., Jull, A.J.T., Burr, G.S., Zheng, Y. (2012) A wiggle-match age for the Millennium eruption of Tianchi Volcano at Changbaishan, Northeastern China. *Quat. Sci. Rev.*, 47, 150–159.

日本語要旨

白頭山-苦小牧テフラ B-Tm の噴火年代は、年縞編年学や¹⁴C ウィグルマッピングなど、これまでも様々な方法で検討されてきた。最近、¹⁴C スパイクマッピングによって、噴火年代が AD 946 の冬であることが確定した。この AD 774–775 ¹⁴C スパイク (M12 ピーク)の発見は、精密年代決定のための新たな方法をもたらすと共に、地域ごとの¹⁴C オフセットをより明瞭に示す。この事実は、¹⁴C ウィグルマッピングが (¹⁴C 濃度差ではなく) 較正曲線の形にもとづくべきこと、¹⁴C スパイクが酸素同位体比年輪年代と共に樹木年輪の¹⁴C 年代の適用範囲を拡大するために有用であることを示唆する。