

フィリピン、ルソン島中央部のパイタン湖のコア試料の層序と古環境
Paleoenvironment and stratigraphy of cored sediments from Paitan Lake, Philippines

山崎圭二¹・鳥井真之²・中西利典³・エリクソン バリソ⁴・ダニコ リベラ⁴・
ロブジュネリエアア リム⁴・キャシー ポガイ⁴・アルトロ ダアグ⁴・中村俊夫⁵・
ホン ワン⁶・鹿島 薫⁷・檀原 徹⁸・藤木利之⁹・奥野 充^{3,10*}

Keiji Yamasaki^{1*}, Masayuki Torii², Toshimichi Nakanishi³, Ericson B. Bariso⁴, Danikko J. Rivera⁴,
Robjunelieaaa B. Lim⁴, Cathy Pogay⁴, Arturo Daag⁴, Toshio Nakamura⁵, Wan Hong⁶,
Kaoru Kashima⁷, Tohru Danhara⁸, Toshiyuki Fujiki⁹ and Mitsuru Okuno^{3,10*}

¹福岡大学大学院理学研究科・²熊本大学大学院自然科学研究科附属減災型社会システム実践研究
教育センター・³福岡大学産学官連携研究機関国際火山噴火史情報研究所・⁴フィリピン国立火山
地震研究所・⁵名古屋大学宇宙地球環境研究所・⁶韓国地質資源研究院・⁷九州大学大学院理学研究
院地球惑星科学部門・⁸(株) 京都フィッション・トラック・⁹岡山理科大学理学部基礎理学科・
¹⁰福岡大学理学部地球圏科学科

¹Graduate School of Science, Fukuoka University, Jonan, Fukuoka 814-0180, Japan.

²Implementation Research and Education System Center for Reduction Disaster Risk, Graduate School of
Science and Technology, Kumamoto University, Chuo, Kumamoto 860-8555, Japan.

³AIG Collaborative Research Institute for International Study on Eruptive History and Informatics, Fukuoka
University, Jonan, Fukuoka 814-0180, Japan.

⁴Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Diliman, Quezon City, 1101, Philippines.

⁵Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8601, Japan.

⁶Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350 Republic of Korea.

⁷Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University, Nishi, Fukuoka 819-0395, Japan.

⁸Kyoto Fission-Track Co. Ltd., Kita, Kyoto 603-8832, Japan.

⁹Department of Applied Science, Faculty of Science, Okayama University of Science, Kita, Okayama
700-0005, Japan.

¹⁰Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Jonan, Fukuoka 814-0180,
Japan.

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

Abstract

Paitan Lake located on the northern part of Luzon Central Plain, is a tuff ring in the Amorong monogenic volcanoes. The lake has 0.8 km²-surface area, 38.5 km²-drainage basin, and one outflow-river with a few meter of width in the northern side. In order to establish the tephrostratigraphy in Luzon Island, the Philippines, two sediment cores, PPL-1 (13 m in depth) and PPL-2 (28 m in depth), were obtained from this lake. These cores consisted of two units: an upper alternating bed of mud layers and peaty layers in a depth range from 0 to 6 m, and a lower dark mud bed from 6 to 28 m. Seven tephra layers were observed in

the cored sediments. Phenocryst assemblage implies that these are originated from Pinatubo volcano located *ca.* 90 km SW from this lake. To detect cryptotephra, initial magnetic susceptibility was measured at 2-cm interval. Soft X-ray photographs were taken to interpret deformation structures during the drilling process. Radiocarbon dates of seven plant fragments and twelve organic sediments were measured by the AMS facility of KIGAM, the Institute of Accelerator Analysis Ltd. and ISEE of Nagoya University, respectively. Inferred age for four tephra horizons is consistent with previous dates for Pinatubo eruptions. To discuss paleoenvironment changes of this lake, diatom analysis with 20-cm intervals is conducted. Attached diatoms indicating marsh or peat land have emerged in cored sediments of 0 to 3 m in depth with high CN ratio. From 3.2 to 28 m in depth, the freshwater planktonic diatoms become dominant species and indicate freshwater lake environment. *Aulacoseira granulata* is dominant in 3.2 to 6 m in depth, on the other hand, deeper part than 6.6 m, *Aulacoseira muzzanensis* is dominant. Both species may indicate changes of water depth of the lake. Furthermore, only around 25 m in depth, *Cyclotella radiosa* is dominant. At this horizon (*ca.* 20 cal kBP), organic carbon content and CN ratio also increase. This signal may indicate some event at Last Glacial Maximum (LGM).

Keywords: Paitan Lake; Luzon Island; Radiocarbon dating; Diatom analysis; Tephra

1. はじめに

パイタン湖は、フィリピン共和国ルソン島、ルソン中央平原北部に位置し、Amorong 単成火山群（守屋，2014）に属するタフリングである（Fig. 1）。現在のパイタン湖は、北側に人工的に作られた幅数 m の河川があるのみである。そのため、湖の形成から人間に改変されるまで閉鎖的な環境が持続され、その間に堆積物の流入および河川水流入に伴う擾乱や削り込みをほとんど受けず、環境変遷を良好に記録している（田代ほか，2012，2015；吉田ほか，2011）。そこで筆者らは、パイタン湖周辺の環境変遷、さらにはルソン島におけるテフラ層序を確立するために、パイタン湖の湖畔で深度 28 m のボーリング・コア試料を採取し、珪藻群集分析のほか、軟 X 線写真撮影、放射性炭素 (^{14}C) 年代測定、火山灰分析、初磁化率測定、炭素 (C)・窒素 (N) 含有量測定を行った。

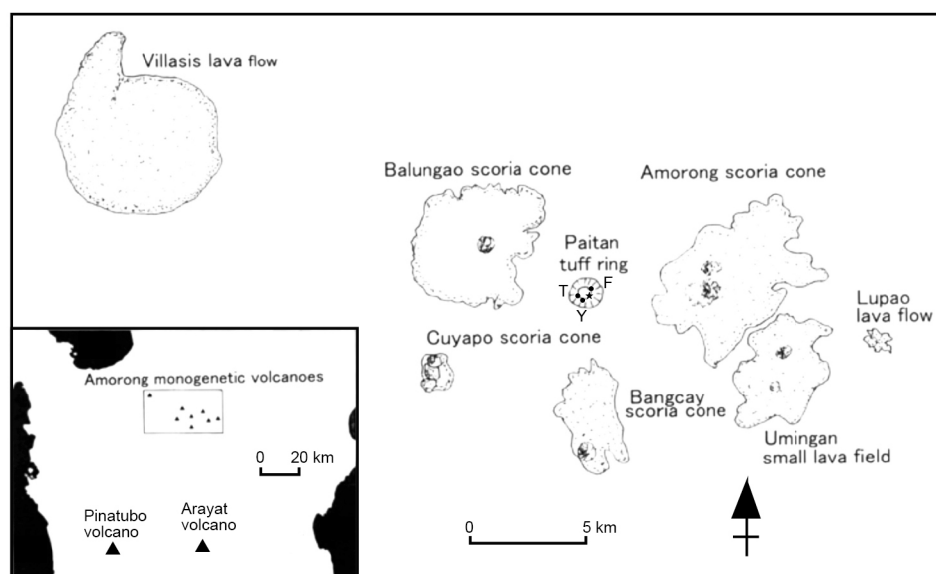


Fig. 1. Geomorphological map of the Amorong monogenetic volcanoes (modified from Moriya, 2014).

Closed star indicates location of the drilling site. Closed circles indicate previous drilling sites

(Y: Yoshida *et al.*, 2011; F: Fujiki *et al.*, 2013; T: Tashiro *et al.*, 2015).

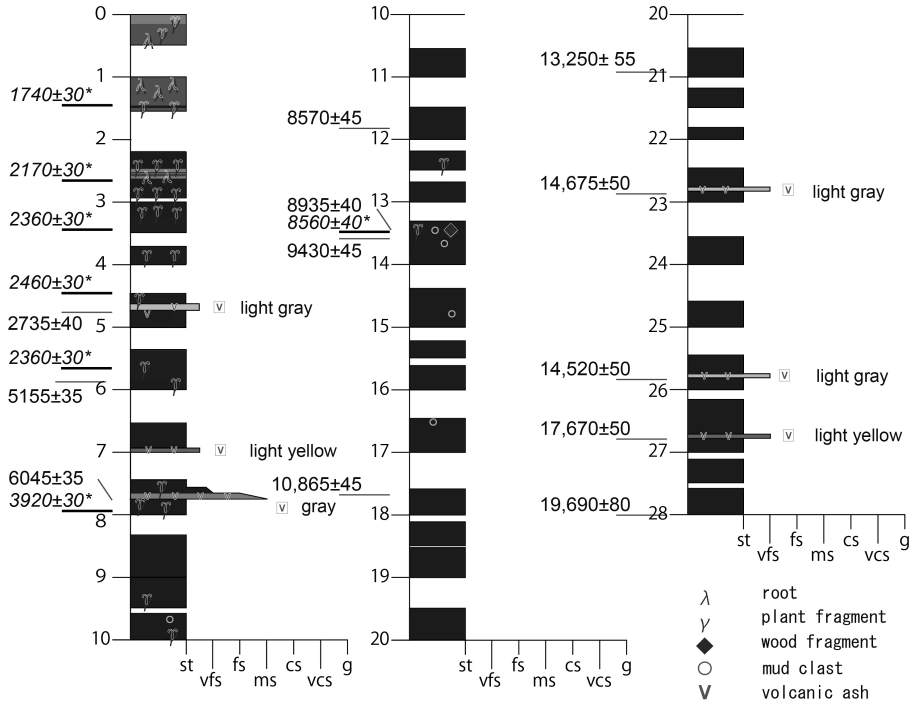


Fig. 2. Composite columnar section with radiocarbon dates from Paitan Lake.

* Dates from plant fragments (Nakanishi *et al.*, 2015). Sludge parts were excluded by soft X-ray photograph.

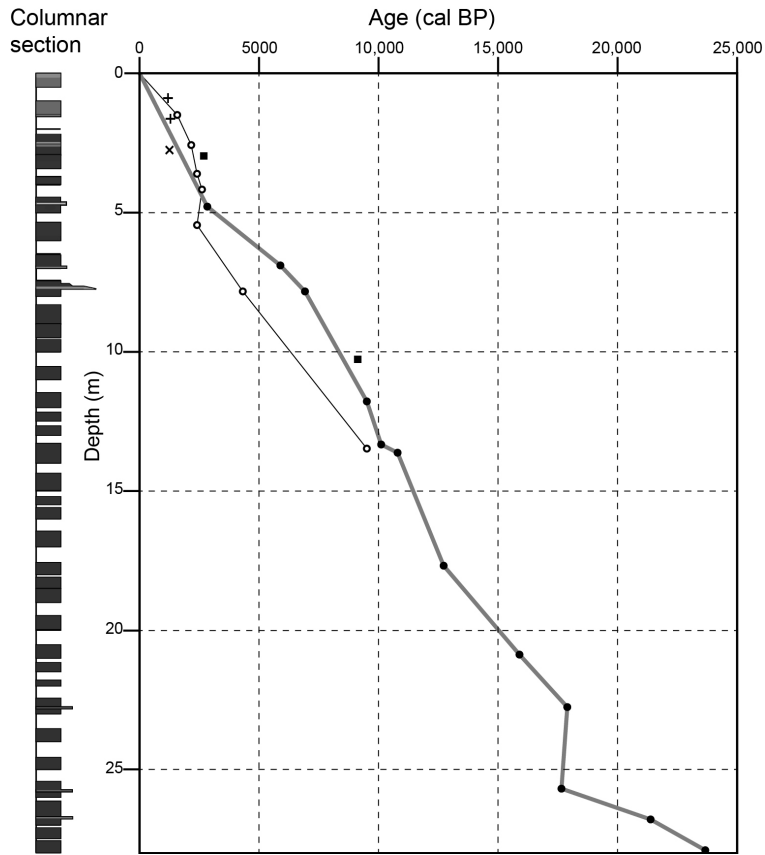


Fig. 3. Age-Depth diagram of cored sediments from Paitan Lake.

Previous data are also plotted. ●: organic sediments (this study), ○: plant fragments (Nakanishi *et al.*, 2015), +: plant fragments (Yoshida *et al.*, 2011), ×: plant fragments (Fujiki *et al.*, 2013), ■: organic sediments (Tashiro *et al.*, 2015).

2. パイタン湖のボーリング・コア試料と ^{14}C 年代測定

全長約 28 m のコア試料は、地表から深度 3 m までの泥層および泥炭層の互層と、深度 3~28 m の黒色泥層の 2 つに区分され、6 枚のテフラ層 (26.78~23.81 m, 25.78~25.83 m, 22.82~22.84 m, 7.45~7.57 m, 6.93~7.00 m, 4.27~4.34 m) が認められた (Fig. 2). テフラは、いずれもピナツボ火山の火砕流堆積物の鉱物組成 (Newhall *et al.*, 1996) と類似し、同火山起源と考えられる. 初磁化率はテフラ層準で高い値を示し、黒色泥層は下位の泥層・泥炭層に比べて僅かに低い. ^{14}C 年代は、Nakanishi *et al.* (2015) が韓国地質資源研究院で測定した植物片 7 点に加え、有機質堆積物 12 点を名古屋大学と (株) 加速器分析研究所の AMS を用いて測定した (Table 1, Figs. 2 and 3). 得られた ^{14}C 年代は、先行研究ともほぼ調和的であり、堆積速度は 0.8~2.4 m/kyr の範囲にある. 植物片 (Nakanishi *et al.*, 2015) の ^{14}C 年代と比較した 3 層準のうち 2 層準で近い値を示す (Fig. 3). ^{14}C 年代から推定されるテフラの噴出年代は、一部がピナツボ火山の噴火ステージ (Newhall *et al.*, 1996) と対応しており、上記の岩石記載学的特徴と整合的である.

Table 1. Results of AMS ^{14}C dating.

Depth (m)	Material	TOC (%)	TN (%)	CN ratio	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	^{14}C date (BP)	Lab code	Calibrated years range* (cal BP, 2 σ , probability %)	Reference
1.51	PF	-	-	-	-28.2	1740 \pm 30	KGM-OTg150724	1566 - 1713 (100%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
2.63	PF	-	-	-	-23.1	2170 \pm 30	KGM-OTg150725	2066 - 2082 (2.5%) 2106 - 2213 (46.6%) 2218 - 2309 (50.9%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
3.68	PF	-	-	-	-23.2	2360 \pm 30	KGM-OTg150726	2332 - 2468 (99.2%) 2478 - 2483 (0.8%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
4.35	PF	-	-	-	-25.6	2460 \pm 30	KGM-OTg150727	2365 - 2367 (0.3%) 2377 - 2621 (68.9%) 2627 - 2707 (30.8%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
4.72	OS	6.75	0.43	15.6	-24.1	2735 \pm 40	NUTA2-23787	2785 - 2892 (95.6%) 2904 - 2923 (4.4%)	This study
5.45	PF	-	-	-	-28.8	2360 \pm 30	KGM-OTg150728	2332 - 2468 (99.2%) 2478 - 2483 (0.8%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
6.96	OS	2.87	0.12	24.1	-25.7	5155 \pm 35	NUTA2-23786	5757 - 5822 (19.3%) 5882 - 5991 (80.7%)	This study
7.88	OS	2.88	0.12	20.8	-21.6	6045 \pm 35	NUTA2-23785	6791 - 6989 (100%)	This study
7.93	PF	-	-	-	-17.6	3920 \pm 30	KGM-OTg150730	4248 - 4278 (6.5%) 4280 - 4428 (93.5%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
11.82	OS	4.38	0.24	18.7	-23.1	8570 \pm 45	NUTA2-23784	9479 - 9607 (99.9%) 9619 - 9629 (0.1%)	This study
13.41	PF	-	-	-	-15.5	8560 \pm 40	KGM-OTg150731	9477 - 9560 (99.2%) 9574 - 9581 (0.8%)	Nakanishi <i>et al.</i> (2015)
13.42	OS	3.09	0.18	17.0	-19.4	8935 \pm 40	NUTA2-23783	9914 - 10,100 (64.4%) 10,108 - 10,200 (35.6%)	This study
13.66	OS	3.49	0.16	21.4	-20.3	9430 \pm 45	NUTA2-23781	10,525 - 10,527 (0.2%) 10,554 - 10,768 (99.8%)	This study
17.66	OS	1.91	0.17	11.3	-20.9	10,865 \pm 45	NUTA2-23780	12,691 - 12,813 (100%)	This study
20.90	OS	2.36	0.20	12.0	-21.6	13,250 \pm 60	NUTA2-23779	15,725 - 16,124 (100%)	This study
22.86	OS	4.14	0.28	14.6	-18.1	14,675 \pm 50	IAAA-150827	17,681 - 18,022 (100%)	This study
25.76	OS	3.16	0.23	13.9	-20.3	14,520 \pm 60	NUTA2-23778	17,503 - 17,908 (100%)	This study
26.84	OS	4.17	0.24	17.4	-21.5	17,670 \pm 50	IAAA-150828	21,107 - 21,617 (100%)	This study
28.00	OS	4.54	0.27	16.8	-21.6	19,690 \pm 80	NUTA2-23777	23,467 - 23,979 (100%)	This study

PF: plant fragment, OS: Organic sediment, * using *IntCal13* (Reimer *et al.*, 2013) and *Calib 7.1* (Stuiver and Reimer, 1993).

3. 珪藻群集分析と CN 測定

20 cm 間隔の珪藻群集分析を行い, 小杉 (1988) および安藤 (1990) にもとづいてパイタン湖における環境変遷を検討した (Fig. 4). 付着性珪藻が出現した 0~3 m は, 沼沢もしくは泥炭地と推定され, 淡水浮遊性珪藻へと優占種が変化した 3.2~28 m は, 淡水湖沼環境であったと推定される. 沼沢もしくは泥炭地では, 淡水湖沼環境下に比べ CN 比が高くなる傾向が見られた (Fig. 4). 淡水湖沼環境下において, 上部の 3.2~6 m では *Aulacoseira granulata* が, 下部の 6.6 m 以深では *Aulacoseira muzzanensis* が優占種となり, この 2 種の変化が水深変化を示す可能性がある. さらに深度 25 m でのみ *Cyclotella radiosa* が優占種となる. この深度では炭素および CN 比も増加しており, 最終氷期極相期 (LGM) にあたることから, 環境変遷におけるイベントが生じたことが示唆される.

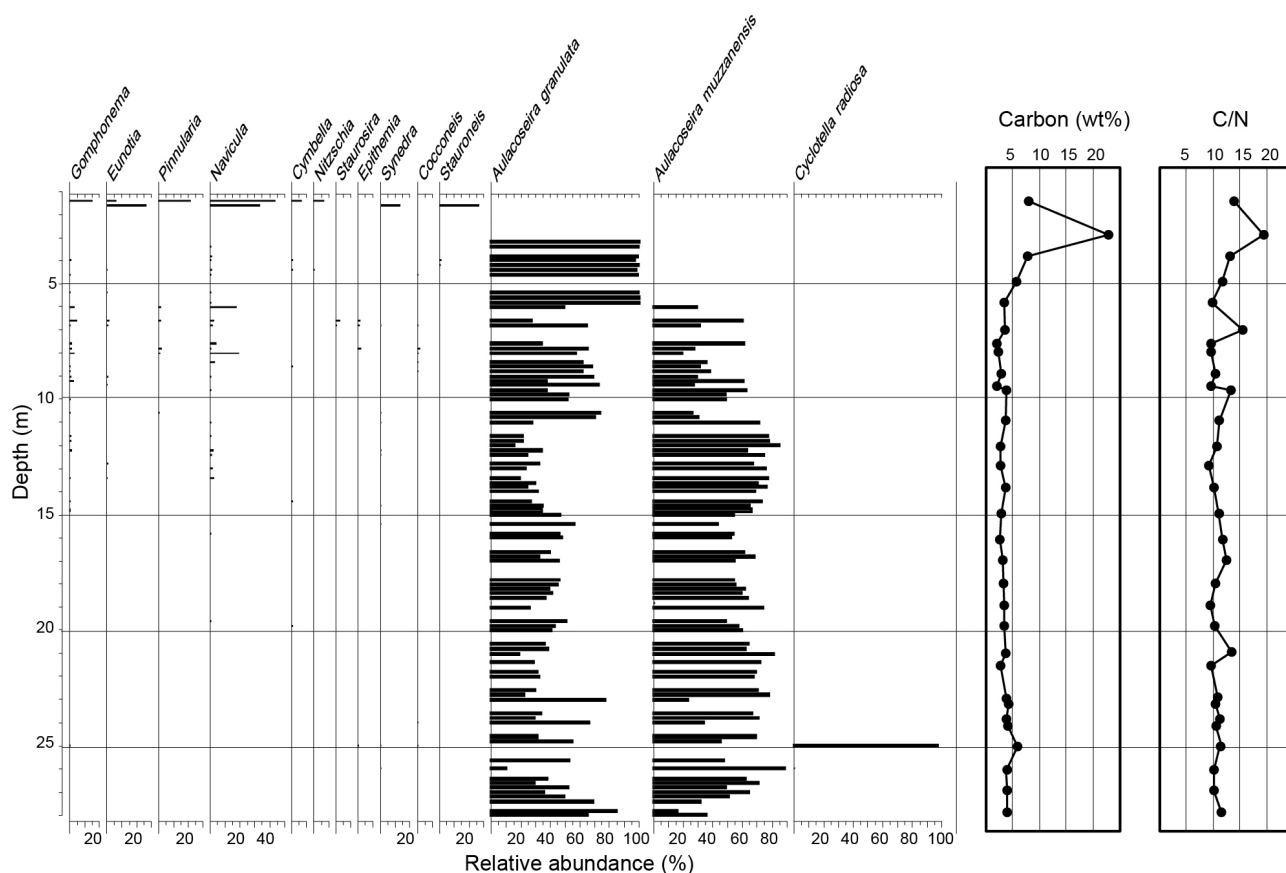


Fig. 4. Diagram showing diatom assemblage and carbon content and CN ratio of Paitan Lake.

謝辞 本稿は, 筆頭著者の山崎が福岡大学大学院理学研究科に提出した修士論文に加筆・修正したもので, 日本学術振興会の科学研究費 (基盤研究 (B), 24401006) を使用した. 謝意を表します.

引用文献

安藤一男 (1990) 淡水産珪藻による環境指標種群の設定と古環境復元への応用. 東北地理, **42**, 73–88.
 Fujiki, T., Aizawa, J., Imura, M., Torii, M., Nakamura, T., Rivera, D.J., Bariso, E., Daag, A., Kobayashi, T. and Okuno, M. (2013) Preliminary results of pollen analysis and its implications to paleoenvironment in

Paitan Lake, Nueva Ecija, Philippines. *Fukuoka University Science Reports*, **43**, 73–81.

小杉正人 (1988) 珪藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用. 第四紀研究, **27**, 1–20.

守屋以智雄 (2014) フィリピン諸島火山の地形発達と分類. 地学雑誌, **123**, 89–122.

Nakanishi, T., Torii, M., Yamasaki, K., Bariso, E., Rivera, D.J., Lim, R., Pogay, C., Daag, A., Hong, W. and Okuno, M. (2015) Tephrostratigraphy and radiocarbon ages of sediment from Paitan Lake at the northern part of Luzon Central Plain, Philippines. *Abstract, 22nd International Radiocarbon Conference (Dakar, Senegal)*.

Newhall, C.G., Daag, A.S., Delfin, Jr. F.G., Hoblitt, R.P., McGeehin, J., Pallister, J.S., Regalado, M.T.M., Rubin, M., Tubianosa, B.S., Tamayo, Jr. R.A. and Umbal, J.V. (1996) Eruptive History of Mount Pinatubo. In Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S. (eds), *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, Philippines Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Quezon City, and University of Washington Press, Seattle and London, 165–195.

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Haflidason, 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. and van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869–1887.

Stuiver, M., and Reimer, P.J. (1993) Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215–230.

田代 崇・渡邊眞紀子・Collado M.B. (2012) フィリピンルソン島中央平原パイタン湖における湖底堆積物の粒度変動と植生史に関する一考察. 地理誌叢, **53**, 1–8.

田代 崇・Collado M.B.・渡邊眞紀子・森島 濟 (2015) フィリピン・ルソン島中央平原パイタン湖における完新世の湖底堆積物の粒度変化と古植生. 第四紀研究, **54**, 87–95.

吉田真弥・高岡貞夫・森島 濟・Collado M.B. (2011) 植物珪酸体分析からみたルソン島中央平原パイタン湖における過去およそ 2500 年間の植生変遷. 地理学評論, **84**, 61–73.

日本語要旨

フィリピン、ルソン島のパイタン湖は Amorong 単成火山群のタフリングで、閉鎖的な環境が持続されてきた。筆者らは、湖畔で深度 28 m のコア試料を採取し、珪藻群集分析、軟 X 線写真撮影、 ^{14}C 年代測定、火山灰分析、初磁化率測定、炭素・窒素含有量測定を行った。植物片 7 点と有機質堆積物 12 点の ^{14}C 年代から、得られたコア試料は、最近約 24,000 年間に記録し、その堆積速度は 0.8–2.4 m/kyr である。6 枚のテフラ層が検出され、岩石記載学的特徴からピナツボ火山が起源である。珪藻群集では、深度 0–3 m で付着性珪藻が出現し、沼沢もしくは泥炭地と推定された。3 m 以深は淡水浮遊性珪藻へと優占種が変化し、淡水湖沼環境であったことを示す。さらに深度 6 m 付近で *Aulacoseira granulate* から *Aulacoseira muzzanensis* へ優占種が変化した。最終氷期極相期 (LGM) に当る深度 25 m でのみ *Cyclotella radiosa* が優占種となり、何らかのイベントを示すと考えられる。