

# フィリピン共和国, ルソン島の火山活動に関する 熱ルミネッセンス法と放射性炭素法による年代学的研究

奥野 充<sup>\*1</sup>, Ma. Hanah T. Mirabueno<sup>\*2,\*3</sup>, 中村俊夫<sup>\*4</sup>, 高島 勲<sup>\*5</sup>, Sandra G. Catane<sup>\*6</sup>, Eddie L. Listanco<sup>\*6</sup>, Ma. Carmencita B. Arpa<sup>\*3</sup>, Ma. Antonia Bornas<sup>\*3</sup>, Raymond Patrick R. Maximo<sup>\*3</sup>, Eduardo P. Laguerta<sup>\*7</sup>, Perla J. Delos Reyes<sup>\*3</sup>, 守安 誠<sup>\*1</sup>, 鎌田浩毅<sup>\*8</sup>, 和田恵治<sup>\*9</sup>, 長岡信治<sup>\*10</sup>, 守屋以智雄<sup>\*11</sup>, Renato Solidum<sup>\*3</sup>, Christopher G. Newhall<sup>\*12</sup>, 小林哲夫<sup>\*2</sup>

\*1 福岡大学理学部地球圏科学教室, 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

\*2 鹿児島大学理学部地球環境科学教室, 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35

\*3 Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS), C.P. Garcia Avenue, University of the Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines

\*4 名古屋大学年代測定総合研究センター, 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

\*5 秋田大学工学資源学部附属環境資源学研究センター, 〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1

\*6 National Institute of Geological Science, University of the Philippines, Daliman, Quezon City, Philippines

\*7 Mayon Volcano-Ligñon Hill Observatory, Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS), Ligñon Hill, Legazpi City, Philippines

\*8 京都大学大学院人間・環境学研究科相関環境学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田二本松

\*9 北海道教育大学旭川校地学教室, 〒070-8621 旭川市北門町 9

\*10 長崎大学教育学部地理学教室, 〒852-8521 長崎市文教町 1-14

\*11 金城大学社会福祉学部, 〒924-8511 白山市笠間町 1200

\*12 Formerly U.S. Geological Survey, United States of America

## 1. はじめに

フィリピン諸島の火山活動は、沈み込み帯と関連しており、西側にはマニラ海溝、東側にフィリピン海溝、南西にネグロス海溝、南にコタバト海溝がある。テクトニクスは非常に複雑であり、火山の分布も 10 の火山列が識別される (Fig. 1 ; Catane *et al.*, 2003 など)。しかし、タール火山のように、現在の海溝との関係が明らかでなく、非常に複雑な活断層系の中に存在するものもある。フィリピン国内には 400 以上の火山があり、そのうち 22 個は活火山 (active volcano) で、潜在的活火山 (potentially active volcano) も 27 個が認識されている (PHIVOLCS, 2002)。20 世紀だけでも、およそ 2800 人の人命が火山噴火によって失われている (Catane *et al.*, 2005)。1200 万人が生活するマニラ首都圏 (Metro Manila) は、中央ルソン帯 (Central Luzon Belt) と呼ばれる火山列の中央部に位置しており、同火山列には 1991 年に噴火したピナツボ火山をはじめ、タールカルデラなど活動的火山が多く存在している。しかし、これらの噴火史については、放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代などの放射年代に乏しいなど、不明な点が残されている。また、潜在的活火山の多くは、地形等からは新しい火山と推定されるが、具体的な噴火の証拠がないために、活

火山から外れているだけである。マニラ首都圏周辺には、ラグナカルデラなど潜在的活火山がたくさん分布している。22 個の活火山のうち 21 火山が歴史時代の噴火記録で活火山と認定されており、 $^{14}\text{C}$  年代測定によって活火山となったのは Leonard 火山のみである。すなわち、新たな  $^{14}\text{C}$  年代が得られるなど、噴火史研究が進展すれば、新たに活火山として認定される火山が相当数あると予想される。

筆者らは、このような状況を踏まえて、ピナツボ火山、ラグナカルデラ、タールカルデラなどのマニラ首都圏に近接する火山および東フィリピン火山弧 (East Philippine Volcanic Arc) 北部に位置するマヨン火山やイロシンカルデラの最近 10 万年間の噴火史を高精度に編年する研究を進めつつある。本稿では、この研究の概要を紹介する。

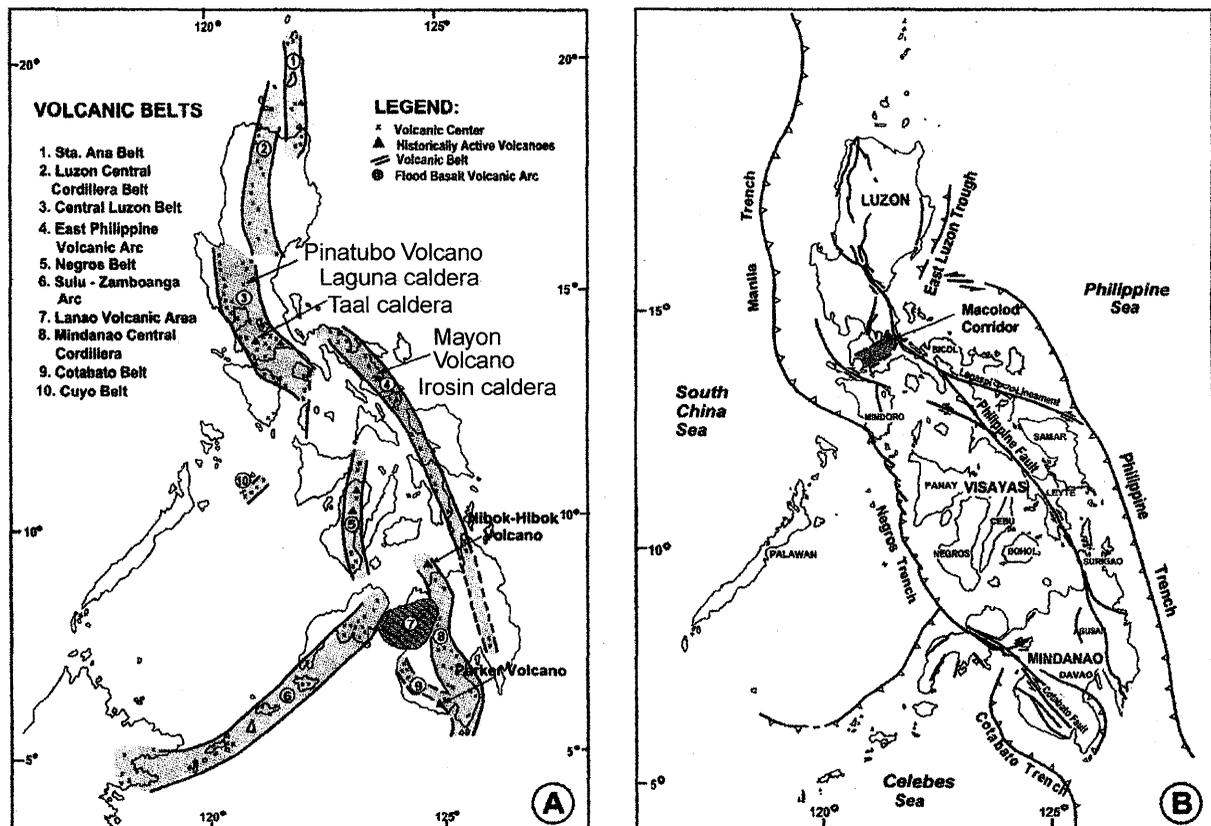


Fig. 1 Index and locality maps (modified from Catane *et al.*, 2003, 2005). (A) Volcanic arcs of the Philippines. (B) Tectonic map of the Philippines.

## 2. 研究方法の概観

火山活動度の評価は、カルデラ火山における大規模火砕流噴火の頻度などを考慮すると、少なくとも最近 10 万年間はカバーする必要がある。火山活動度を評価するうえで、正確な年代決定はきわめて重要であるが、この年代域を 1 つの年代測定法でカバーすることは難しい。本研究では、火山地形学や火山層序学を基礎として、高精度化・正確度の向上が進んでいる  $^{14}\text{C}$  年代測定法と  $\beta$  線量の補正など信頼度の向上が図られている熱

ルミネッセンス (TL) 年代測定法を系統的に組み合わせることによって、最近約 10 万年間の火山活動史を高精度に編年することをめざしている。

$^{14}\text{C}$  法は、最近約 4 万年間を対象とする年代測定法で最も信頼できる測定法の 1 つであり、この年代域のテフラの年代決定に盛んに用いられてきた。最近でも、暦年への較正法が確立されるなど高精度化・正確度の向上が著しい (例えば、中村, 2001)。ただし、 $^{14}\text{C}$  法は、炭素を含む試料が対象であることから、テフラ中または上下の炭化木片・土壌有機物が用いられることが多い。一方、溶岩の流出年代については、 $^{14}\text{C}$  法に適した試料を得ることが困難なため、そのほとんどが  $^{14}\text{C}$  年代は測定されていない。その場合、層位関係を用いて間接的にその年代を推定することになる。

TL 法は、数千年前から 150 万年までの年代範囲をカバーする測定法であり、火山岩や変質岩にも適用されている (高島, 1995)。測定機器も安価で自作することができ、測定操作も比較的容易である。しかし、誤差要因がかなり多いために、必ずしも信頼性は高いものではない。しかし最近では、石英斑晶を対象とした  $\beta$  線量精密補正年代が火砕流堆積物や溶岩について報告されるようになってきており、信頼性が高まっている (島雄ほか, 1999; 山縣ほか, 2003; 高島ほか, 2006)。最近約 4 万年間の噴出物では、 $^{14}\text{C}$  年代を比較対照として、TL 年代の信頼性を検討できる。

### 3. 研究の現状と今後の展望

#### 3-1 イロシンカルデラ

イロシンカルデラの周辺には、カルデラ形成時に噴出したイロシン火砕流堆積物が広く分布している (Delfin *et al.*, 1993; McDermott *et al.*, 2005)。Mirabueno *et al.* (submitted) は、この火砕流堆積物から炭化木片を採取し、 $35,930 \pm 250$  BP (NUTA2-10795) の  $^{14}\text{C}$  年代を得た。この  $^{14}\text{C}$  年代は、Fairbanks *et al.* (2005) のデータセットを用いて  $41,329 \pm 169$  cal BP の暦年に較正される。すなわち、大規模火砕流台地は 41 kyr cal BP に形成されたと考えられる。後カルデラ丘である Bulusan 火山は、最も活動的な火山のひとつであり、最近では 2006 年 3 月から 2007 年 1 月にかけても噴火している。この Bulusan 火山を含めた後カルデラの火山活動がいつ開始したかは、カルデラと後カルデラ火山活動との成因にも関係することから、たいへん興味深い問題であろう。カルデラ底を埋積した堆積物を詳しく検討する必要がある。

#### 3-2 マヨン火山

マヨン火山では 1616 年から噴火記録があり (Ramos-Villarta *et al.*, 1985)、最近でも 2004 年から 2006 年にかけて噴火している。これまでの研究では、山体の成長率が一定であると仮定して、24,000 年前 (Punongbayan, 1985) や >25,000 年前 (Ramos-Villarta *et al.*, 1985) から噴火活動を開始したと推定されていた。しかし、これらの研究は、いずれも初期の噴出物の年代を直接得たものではなかった。Mirabueno *et al.* (2006) は、新たにマヨン火山周辺のテフラ層序を記載し、挟在する土壌試料の  $^{14}\text{C}$  年代を測定した (Fig. 2)。得られた年代値は、歴史時代に相当するものも含めて、層序とほぼ矛盾していない。この中で最も古い年代値は、 $16,710 \pm 70$  BP (NUTA2-10801) であり、Reimer *et al.* (2004) の

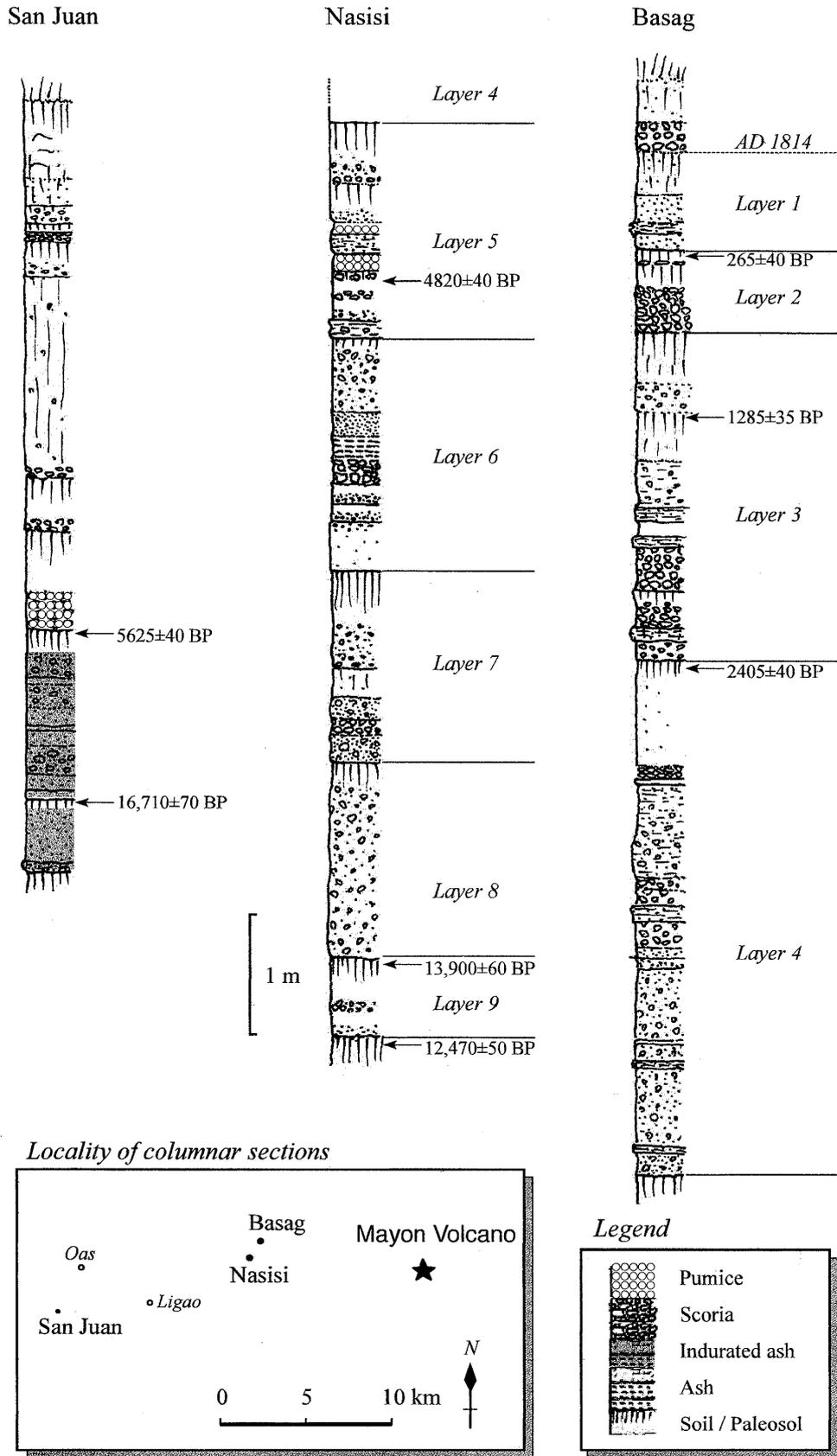


Fig. 2 Columnar sections of tephra layers from Mayon Volcano (after Mirabueno *et al.*, 2006).

データセットを用いて暦年代に較正すると 20 kyr cal BP が得られる。地点間での対比にまだ検討の余地が残されているが、これらのテフラ層序は、20 kyr cal BP 以降、マヨン火山で爆発的噴火が繰り返されていることを示している。

### 3-3 ラグナカルデラ

ラグナカルデラの新期カルデラ形成時の活動は、5000 BP, 27,000-29,000 BP, > 42,000 BP に区分されている (Catane and Arpa, 1999)。このカルデラから噴出した火砕流堆積物の一部は、マニラ首都圏にまで到達していることから、噴火年代を特定することは、防災上も重要であるが、筆者らの予察的調査および  $^{14}\text{C}$  年代測定では、> 44,680 BP (NUTA2-11189) など測定限界を超えるもののみ確認している。

### 3-4 タールカルデラ

タールカルデラでは、新期カルデラ形成時のタールスコリア流堆積物について  $5380 \pm 70$  BP および  $5670 \pm 80$  BP の  $^{14}\text{C}$  年代が報告されている (Listanco, 1994)。しかし、その他のテフラについては、放射年代が得られておらず、噴火年代は明らかでない。今後、ラグナカルデラ起源のテフラとあわせて、両者の層位関係を詳しく検討する必要がある。また、ラグナカルデラの南方に接する San Pablo 単成火山群の噴火史もあわせて解明し、ラグナカルデラからタールカルデラにかけての南タガログ火山地域における時空関係を解明すべきであろう。

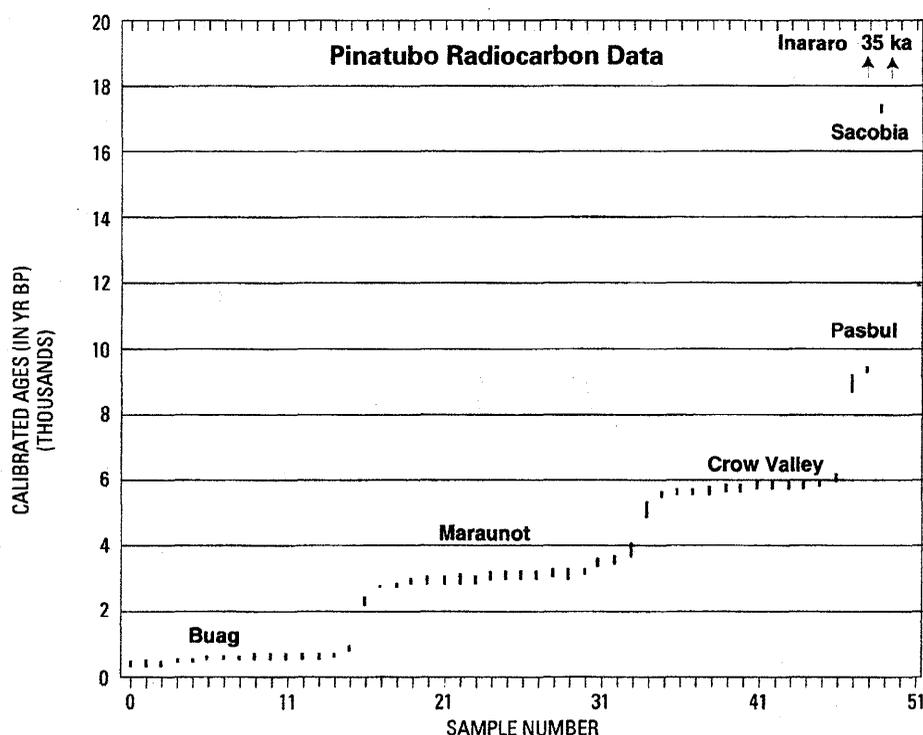


Fig.3 Radiocarbon ages for Pinatubo Volcano, arranged in chronologic order (after Newhall et al., 1996).

### 3-5 ピナツボ火山

ピナツボ火山でも、1991-1992年に大噴火がおこり、山頂部に直径2.5 kmのカルデラが形成されている (Newhall and Punongbayan, 1996). ピナツボ火山については、これまでに報告されている<sup>14</sup>C年代値から、>35,000 BP, 17,000 BP, 9000 BP, 6000-5000 BP, 3900-2300 BP, 500 BPに噴火があったと考えられている (Fig.3; Newhall *et al.*, 1996). 今後、<sup>14</sup>C年代測定と山麓に分布する火砕流堆積物やラハールの層序を再検討するとともに、山頂部のカルデラ壁に露出している溶岩など、山体を主に構成する溶岩についてもTL年代を測定して、爆発的噴火だけでなく溶岩の流出も含めた成長史を明らかにできるであろう. ピナツボ火山とイロシンカルデラの噴出物には、石英斑晶が含まれるのでTL年代と<sup>14</sup>C年代を組み合わせて検証を進める予定である.

謝辞：本稿は、第19回（2006年度）名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム（2007年1月17日）での講演内容をまとめたものである。その際、前田保夫客員教授（兵庫県立大学）には、有益なコメントをいただいた。また、筆頭著者の奥野は、小川英文教授（東京外国語大学）、堤 浩之助教授（京都大学）に、フィリピンにおける調査・研究をはじめの契機を与えていただいた。この研究の一部に、（独）日本学術振興会の科学研究費補助金（課題番号：15403002, 17500712）を使用した。記して謝意を表す。

### 引用文献

- Catane, S.G. and Arpa, M.C. (1999) *Large-scale eruptions of Laguna Caldera: contribution to the accretion and other geomorphic development of Metro Manila and adjacent provinces*. PHIVOLCS-GGRDD internal report, 30p.
- Catane, S.G., Listanco, E., Corpuz, E.G., Lagmay, A.M.A., Bornus, M.A.V., Cabria, H.B. and Panol, A.P. (2003) Active volcanoes in the Philippines – Mayon, Pinatubo and Taal. IUGG2003 Field Trip Guidebook, A5, *The Volcanol. Soc. Japan*, 133-198.
- Catane, S.G., Taniguchi, H., Goto, A., Givero, A.P. and Mandanas A.A. (2005) *Explosive volcanism in the Philippines*. Center for Northeast Asian Studies, Tohoku Univ., Sendai, CNEAS monograph series No. 18, 146p.
- Delfin, F.G., Panem, C.C. and Defant, M.J. (1993) Eruptive history and petrochemistry of the Bulusan volcanic complex: implications for the hydrothermal system and volcanic hazards of Mt. Bulusan, Philippines. *Geothermics*, **22**, 417-434.
- Fairbanks, R.G., Mortlock, R.A., Chiu, T.-C., Cao, L., Kaplan, A., Guilderson, T.P., Fairbanks, T.W. and Bloom, A.L. (2005) Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U and <sup>14</sup>C dates on pristine corals. *Quaternary Science Reviews*, **24**, 1781-1796.
- McDermott, F., Delfin, F.G., Defant, M.J., Turner, S. and Maury, R. (2005) The petrogenesis of volcanics from Mt. Bulusan and Mt. Mayon in the Bicol arc, the Philippines. *Contribution to Mineralogy Petrology*, **150**, 652-670.
- 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.

- Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS) (2002) *Volcanoes of the Philippines*. Department of Science and Technology (DOST), 41p.
- Punongbayan, R. (1985) An approach for estimating ages of active volcanoes. *Phil. Jour. Volcanol.*, **2** (1-2), 191-205.
- Ramos-Villarta, S., Corpuz, E. and Newhall, C. (1985) Eruptive history of Mayon Volcano, Philippines. *Phil. Jour. Volcanol.*, **2** (1-2), 1-35.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G., Cutler, 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, F.G., Manning, S., Ramsey, C. Bronk, Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029-1058.
- Listanco, E.L. (1994) *Space-time patterns in the geologic and magmatic evolution of calderas: A case study at Taal Volcano, Philippines*. D.Sc. Dissertation, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 184p.
- Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Nakamura, T., Newhall C.G. and Kobayashi, T. (2006) AMS radiocarbon dating of paleosols intercalated with tephra layers from Mayon Volcano, Southeastern Luzon, Philippines: a preliminary report. *Fukuoka University Science Reports*, **36** (2), 23-28.
- Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Nakamura, T., Laguerta, E.P., Newhall C.G. and Kobayashi, T. (submitted) AMS Radiocarbon dating of charcoal fragment from the Irosin Ignimbrite, Sorsogon Province, Southeastern Luzon, Philippines. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*.
- Newhall, C.G. and Punongbayan, R.S. eds. (1996) *Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. PHIVOLCS, Quezon City and University of Washington Press, Seattle, 1126p.
- Newhall, C.G., Daag, A.S., Delfin, F.G. Jr., Hoblitt, R.P., McGeehin, J., Pallister, J.S., Regalado, M.T.M., Rubin, M., Tubianosa, B.S., Tamayo, R.A. Jr. and Unbal 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*. PHIVOLCS, Quezon City and University of Washington Press, Seattle, 165-196.
- 島雄 隆・高島 勲・渡辺公一郎・井沢英二 (1999) 火山岩類の熱ルミネッセンス年代測定の精度検証—雲仙火山火砕流堆積物のβ線量精密補正年代—. *岩鉱*, **94**, 109-119.
- 高島 勲 (1995) 熱ルミネッセンス年代測定—特に石英による火山岩類の測定精度について—. *第四紀研究*, **34**, 209-220.
- 高島 勲・村上英樹・ホン ディク グエン・エディ ステプタ・毛利陽司・柴田能辰 (2006) 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. *岩石鉱物科学*, **35**, 70-77.
- 山縣武彦・高島 勲・渡辺公一郎・井沢英二 (2004) 熱ルミネッセンス法による新期雲仙火山溶岩ドームの年代測定—妙見岳火山以降2万5千年の噴火活動史—. *火山*, **49**, 73-81.

## Chronological Research on Volcanic Activities in Luzon Island in the Philippines by Thermoluminescence and Radiocarbon Methods

Mitsuru Okuno<sup>\*1</sup>, Ma. Hanah T. Mirabueno<sup>\*2,\*3</sup>, Toshio Nakamura<sup>\*4</sup>, Isao Takashima<sup>\*5</sup>, Sandra G. Catane<sup>\*6</sup>, Eddie L. Listanco<sup>\*6</sup>, Ma. Carmencita B. Arpa<sup>\*3</sup>, Ma. Antonia Bornas<sup>\*3</sup>, Raymond Patrick R. Maximo<sup>\*3</sup>, Eduardo P. Laguerta<sup>\*7</sup>, Perla J. Delos Reyes<sup>\*3</sup>, Makoto Moriyasu<sup>\*1</sup>, Hiroki Kamata<sup>\*8</sup>, Keiji Wada<sup>\*9</sup>, Shinji Nagaoka<sup>\*10</sup>, Ichio Moriya<sup>\*11</sup>, Renato Solidum<sup>\*3</sup>, Christopher G. Newhall<sup>\*12</sup> and Tetsuo Kobayashi<sup>\*2</sup>

\*1 Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

\*2 Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

\*3 Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS), C.P. Garcia Avenue, University of the Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines

\*4 Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

\*5 Center for Geo-Environmental Science, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 1-1 Tegata gakuen-machi, Akita 010-8502, Japan

\*6 National Institute of Geological Science, University of the Philippines, Daliman, Quezon City, Philippines

\*7 Mayon Volcano-Ligñon Hill Observatory, Philippine Institute of Volcanology and Seismology (PHIVOLCS), Ligñon Hill, Legazpi City, Philippines

\*8 Department of Interdisciplinary Environment, Graduate School of Human and Environmental Sciences, Kyoto University, Yoshida-nihonmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

\*9 Department of Earth Science, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education, 9 Hokumon-cho, Asahikawa 070-8621, Japan

\*10 Department of Geography, Faculty of Education, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

\*11 Kinjo University, 1200 Kasama-cho, Hakusan 924-8511, Japan

\*12 Formerly U.S. Geological Survey, United States of America

### **Abstract**

This paper describes the cooperative project which will consist of chronological research of the volcanic activities in the Luzon Island in the Philippines by thermoluminescence (TL) and radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) methods. Preliminary chronological studies on Irosin caldera and Mayon Volcano revealed that the Irosin caldera was formed at 41 kyr cal BP and that Mayon Volcano started its eruptive activity at 20 kyr cal BP. We also conducted preliminary investigations at Pinatubo Volcano, Laguna and Taal calderas. Although many  $^{14}\text{C}$  dates were already reported from the Pinatubo Volcano, we plan to apply not only  $^{14}\text{C}$  dating but also TL dating methods to the rocks of this volcano. TL dating is applicable especially to volcanic rocks in Pinatubo Volcano and Irosin caldera, because they include quartz phenocrysts. Our goal is to establish the tephrochronological framework of a wide spectrum of deposits: from widespread tephra deposits of large caldera volcanoes to the monogenetic volcanoes in the Luzon Island.

**Key words:** thermoluminescence (TL) dating, radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) dating, Irosin caldera, Mayon Volcano, Pinatubo Volcano, Laguna caldera, Taal caldera

## 学会誌など

1. 長谷義隆・平城兼寿・中原功一朗・岩内明子・松島義章・奥野 充・中村俊夫 (2006) 堆積物, 花粉・珪藻化石解析および  $^{14}\text{C}$  年代に基づく熊本平野および有明海南東海域の後期更新世～完新世環境変遷. 地質学論集, no. 59, 141-155.
2. 萬年一剛・小林 淳・奥野 充・笠間友博・山下浩之・袴田和夫・中村俊夫 (2006) 箱根火山の噴火史—最近の知見に基づく再検討. 月刊地球, **28**, 355-362.
3. 小林 淳・萬年一剛・奥野 充・中村俊夫・袴田和夫 (2006) 箱根火山大涌谷テフラ群—最新マグマ噴火後の水蒸気爆発堆積物. 火山, **51**, 245-256.
4. Narama, C. and Okuno, M. (2006) Record of Glacier variations during the last glacial in the Turkestan range of the Pamir-Alay. *Annals of Glaciology*, **43**, 397-404.
5. Mirabueno, M.H.T., Okuno, M., Nakamura, T., Newhall C.G. and Kobayashi, T. (2006) AMS radiocarbon dating of paleosols intercalated with tephra layers from Mayon Volcano, Southeastern Luzon, Philippines: a preliminary report. *Fukuoka University Science Reports*, **36** (2), 23-28.
6. Moriwaki, H., Chikamori, M., Okuno, M. and Nakamura, T. (2006) Holocene changes in sea level and coastal environments on Rarotonga, Cook Islands, South Pacific Ocean. *The Holocene*, **16**, 839-848.
7. 筒井正明・奥野 充・小林哲夫 (印刷中) 霧島・御鉢火山の噴火史. 火山, **52**.