レーザーアブレーション ICP-MS による西オーストラリア, ノースポール地域の太古代酸性貫入岩・火山岩類 のジルコン U-Pb 年代

椛 太 郎* 雄** 亚 田 岳 史*** 島 行 徳* 西村祐二郎**** 丸. ш 茂 波 和 雄**** 君

U-Pb Zircon Ages by Laser Ablation ICP-MS Technique from the Archean Felsic Intrusive and Volcanics in the North Pole Area, Western Australia

Taro KABASHIMA * , Yukio ISOZAKI ** , Takafumi HIRATA *** , Shigenori MARUYAMA *** , Kazuo KIMINAMI **** and Yujiro NISHIMURA ****

Abstract

Zircon U-Pb ages were re-measured for Archean felsic intrusive and volcanic rocks of the greenstone belt in the North Pole area, Pilbara craton, Western Australia by using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS). A concordant age for a single zircon grain from the North Pole adamellite is measured to be 3404 ± 60 Ma, much younger than previously reported zircon U-Pb discordant age 3459 ± 19 Ma from the same unit. Together with the oldest ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb TIMS age 3418.3 ± 0.13 Ma previously reported, the present result suggests that adamellite intruded into the surrounding basaltic greenstones at *ca*. 3420 Ma.

We measured 16 zircon grains in total from 4 rhyolitic tuffs intercalated in the greenstones of the area, and most of them range within 3482-3576 Ma. The youngest age, *i.e.* 3482 Ma, is consistent with the previously reported concordant TIMS age, 3458 Ma, from the same unit. This suggests that rhyolitic volcanism occurred probably around 3460 Ma. A single zircon grain from rhyolite (lava) with an exceptionally older 207 Pb/ 206 Pb age, 3609 ± 31 Ma, may have been reworked from older units.

The present results indicate that the North Pole adamellite intruded into the basaltic greenstones at about 3420 Ma, while rhyolite erupted much earlier at 3458 Ma together with basalt. This newly recognized age gap of *ca.* 40 m.y. is consistent with the field observations on

^{*} 金属鉱業事業団調査事業部

^{**} 東京大学総合文化研究科宇宙地球科学教室

^{***} 東京工業大学理学部地球惑星科学教室

^{****} 山口大学理学部化学・地球科学教室

^{*} Mineral Resource Survey Department, Metal Mining Agency of Japan

^{**} Department of Earth Science and Astronomy, University of Tokyo

^{***} Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

^{****} Department of Chemistry and Earth Sciences, Yamaguchi University

the intrusion of adamellite into basaltic greenstones, and with the interbedded association of rhyolite and basalt. Thus the previous model for a syngenetic and synchronous relationship between adamellite and rhyolite in the North Pole area is clearly rejected.

Key words: Archean, adamellite, rhyolite, zircon, U-Pb age, ICP-MS **キーワード**: 太古代, アダメロ岩, 流紋岩, ジルコン, U-Pb 年代, ICP-MS

I.はじめに

世界各地には 35 個の太古代 (40 ~ 25 億年前) 地塊が点在する (Condie, 1989; Windley, 1995)。 その中で,西オーストラリア北西部に位置するピ ルバラ (Pilbara)地塊の花崗岩 緑色岩帯には, 例外的に極めて低度の変成作用しか被っていない 緑色岩類および堆積岩類が産する (Hickman, 1980, 1983)。これまでの研究ではピルバラ地塊に 産する緑色岩・堆積岩類は,花崗岩類の上位にみ かけ上,累重することから,大陸性地殻の上に直 接噴出・堆積したものとみなされてきた (例えば, Barley *et al.*, 1979; Hickman, 1981, 1983; DiMarco and Lowe, 1989; Nijman *et al.*, 1998; Van Kranendonk, 1999 等)。

筆者の一人である丸山を中心とする東京工業大 学の研究グループは, 1980年代に日本で発展し た付加体地質学の視点から,1990年以来,ピルバ ラ地塊の太古代花崗岩 緑色岩帯の野外調査を 行ってきた。その結果,世界最古化石産地である ノースポール (North Pole) 地域を含むいくつか の調査地域の太古代花崗岩 緑色岩帯の一部が, 顕生代の付加体と同様の特徴を有することを解明 しつつある (Maruyama et al., 1991; Isozaki et al., 1991; Kimura et al., 1991; 磯 ほか, 1995; Ohta et al., 1996;太田・丸山, 1996; Isozaki et al., 1997)。しかし,顕生代付加体の場合とは異な リ,太古代の地層からは年代決定に有効な化石が 産しないので,個々の構成岩ごとの正確な年代決 定の困難さが太古代花崗岩 緑色岩帯の地史解明 の上での大きな障害となっている。

太古代の地質体を年代測定する場合,ジルコンの U-Pb 年代測定法が広く用いられているが,従

来その分析法としては表面電離型質量分析法 (Thermal Ion Mass Spectrometry: 以下 TIMS と略記)が一般的であった。ただし, TIMS によ る年代測定には,ジルコン結晶をすべて酸で溶解 するため結晶中の微小な包有物の影響や酸分解等 の化学処理の際に鉛の汚染を受けやすいこと,ま た化学処理に非常に多くの時間を要するという難 点があった。このような問題を克服し,微小試料 の局所分析を目的として高分解能二次イオン 質量分析計(Sensitive High Resolution Ion MicroProbe: SHRIMPと略記)が開発され,最 古の鉱物 (Froude et al., 1983; Compston and Pidgeon, 1986) や最古の岩石 (Bowring et al., 1989)の発見などの目覚しい成果をあげた。しか し,SHRIMPを用いた年代測定は分析装置が高価 なうえ,計測の補正を行うための均質なジルコン の標準試料が必要となる等の問題があり,一般的 な分析法として普及するにはいたっていない。ち なみに,この方法では標準試料の測定を TIMS に 依存するため,原理的にその測定精度が TIMS の それを超えることはない。

このような状況の中,最近開発されたレーザー アブレーション 誘導結合プラズマ質量分析法 (Laser Ablation microprobe Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: LA-ICP-MS と略記)は,上記の諸問題を早晩解決するジルコ ンU-Pb年代測定法として期待されている(Feng *et al.*, 1993; Hirata and Nesbitt, 1995 等)。こ の測定法の利点は,1)ICP-MS そのものが今日多 くの研究機関に普及したこと,2)イオン化方式に 大気圧アルゴンプラズマを使用するために測定サ ンプルを真空中に保つ必要がないため,試料の導 入・交換が容易であること,3)1スポットあたり の分析に要する時間が数分と短いこと,さらに, 4)均質な人造ガラスを標準試料として用いること が可能なこと等である。

そこで,本研究ではLA-ICP-MSを用いて,西 オーストラリア,ノースポールに分布する酸性岩 類から抽出したジルコンによるU-Pb年代測定を 試みた。また,本研究において測定した年代値の 確度を検討するため,すでにSHRIMP年代が測 定されている南極産ジルコン(2430 Ma: Menot *et al.*, 1993; J.J. Peucat と C.M. Fanningの私 信)を実際の試料の測定時に,同時に測定した。 さらに,同じノースポール地域からの既報の TIMS年代(Thorpe *et al.*, 1992)との比較を行っ た。その結果,これまでに報告された結果とは異 なる年代値が得られた。本稿では,新たに得られ たLA-ICP-MSによるジルコンのU-Pb年代につ いて報告し,その地質学的意義を特に酸性火成活 動の順序に関して考察する。

II. 地質概要

西オーストラリアにはピルバラ地塊およびイル ガルン(Yilgarn)地塊と呼ばれる2つの独立した 太古代地塊が産する(図1)。ピルバラ地塊は,お よそ東西 600 km × 南北 400 km の広がりをもち, 主に太古代および原生代初期の地質体から構成さ れる。本地塊は,構成岩石の特徴に基づき,北半 部の花崗岩 緑色岩帯 (granite-greenstone belt) と南半部のハマスレー盆地(Hamersley basin) に大きく二分される (Geological Survey of Western Australia, 1990)。花崗岩 緑色岩帯は, 約35~28億年前の花崗岩類と約35~30億年前 (太古代中期)の玄武岩質火山岩起源の緑色岩類お よび堆積岩類から構成され,それらはすべて約28 ~ 24 億年前(太古代後期~原生代初期)のマウン トブルース (Mt. Bruce) 累層群に不整合に覆わ れる(図1: Hickman, 1980)。太古代緑色岩類お よび堆積岩類はピルバラ"累層群"と総称され, みかけ上の全積算層厚は30kmに達する (Hickman, 1990)。その中の火山岩類および堆積 岩類に含まれるジルコンからは, 35.2~29.9億 年前という広い範囲の U-Pb 年代が報告されてい

る (Pidgeon, 1978, 1984; Trendall *et al.*, 1990; Thorpe *et al.*, 1992; McNaughton *et al.*, 1993; Buick *et al.*, 1995)。 ピルバラ地塊の花崗岩 緑色 岩帯について詳しく調査した Hickman (1990) は,構成岩石の組合せに基づき,みかけ上の下位 から順に,ワラウーナ(Warrawoona)" 層群", ゴージクリーク(Gorge Creek)" 層群",ドゥグ レイ(De Grey)"層群" およびフィムクリーク (Whim Creek)"層群" という順次整合に累重す る 4 つの地質体がピルバラ"累層群"を構成する とみなした。

本研究において対象としたノースポール地域は, ピルバラ地塊の北東部に位置する(図1)。同地域 には, ピルバラ"累層群"のみかけ最下部をなす ワラウーナ "層群"が広く分布する (図2)。それ は主に玄武岩質緑色岩からなり, 少量の堆積岩や 酸性火山岩を伴う。ワラウーナ"層群"の緑色岩 中にはアダメロ岩が貫入し,接触変成作用を与え ている (Buick and Dunlop, 1990)。本地域はア ダメロ岩の貫入岩体を中心としたドーム状構造 (ノースポール・ドーム)を呈する(図1)。筆者 らは,図2に示す範囲において1/5,000のスケー ルの詳細な野外調査を行い,従来ワラウーナ"層 群"と一括された緑色岩類・堆積岩類が,実際に は層理に平行な多数の逆断層で繰り返された海洋 性岩石・地層,すなわち過去の付加体であること を指摘した (Maruyama et al., 1991; 磯 ほか, 1995; Isozaki et al., 1997; 椛島・寺林, 1998)。 このように,従来ワラウーナ"層群"という一連 整合の層序学的単元とみなされてきた地質体は, 実際には薄い地層が構造的に複数回繰り返して上 下に累重したデュープレックス構造をもつことが 判明した。その詳細については別報を準備中であ り,本稿では触れない。

本地域に分布する緑色岩類は,構成する岩石の 違いによって5つのユニット(みかけ下位から順 に,ユニットI,II,III,IV およびVと呼ぶ)に 区分される。いずれのユニットも,主に玄武岩質 緑色岩からなり,少量の層状チャートを伴う。ユ ニットIVには,特徴的な酸性火山岩類・堆積岩 類が含まれる。



図 1 西オーストラリア,ピルバラ地塊花崗岩 緑色岩帯の地質区概略図(Hickman, 1980 を-部改編).

Fig. 1 Geologic index map of the granite-greenstone belt of Pilbara craton, Western Australia (modified from Hickman, 1980).

各ユニット同士は, いずれも層理面にほぼ平行 な断層で境される。またユニットIおよびIIの内 部は, 複数のサブユニットが繰り返し累重する デュープレックス構造によって特徴づけられる。 各々のサブユニットは, 一対の玄武岩質緑色岩 (層厚~2km)とその上位に整合に重なる層状 チャート(0~70m)からなる。

これらのサブユニットがもつ初生的な層序は, 顕生代の付加体を特徴づける海洋プレート層序 (Matsuda and Isozaki, 1991)に類似する。すな わち,緑色岩とチャートは海洋地殻最上部の中央 海嶺玄武岩とそれを覆う遠洋堆積物に各々対応す る。このようにノースポール地域のユニットIお よびIIは,顕生代の付加体と類似した海洋プレー ト層序およびデュープレックス構造をもつことか ら,中央海嶺で形成された海洋地殻の断片が二次 的に活動的大陸縁に付加したものと考えられる (磯 ほか, 1995; Isozaki *et al.*, 1997; 椛島・寺 林, 1998)。

一方,ユニット III, IV および V は,100 m 程 度の厚いコマチアイト~玄武岩質緑色岩と0.2~ 5 m 程度の薄い層状チャートの互層からなる。層 状チャートの側方連続性は悪く,層厚変化が激し い。また層状チャートにはスランプ構造が発達す る。

ユニット III, IV および V においては, コマチ アイト~玄武岩質緑色岩と層状チャートとが何度 も繰り返して互層し,粗粒な陸源砕屑物を全く挟 まない。これらのことから,ユニット III, IV お よび V は,上述のユニット I および II とは異なり, 中央海嶺起源の海洋地殻よりもむしろ,間欠的に 火山活動が起きたプレート内火成活動の産物に比





Fig. 2 Geological sketch map of the North Pole area and sample localities.

較される。すなわち,海洋地殻上に形成された海 山あるいは海台の断片が付加されたものと推定さ れる。

なお,ユニット IV の緑色岩の上位には,厚さ最 大600 m の酸性火山岩類(デイサイト~流紋岩 質)が,さらに最上位には厚さ約30 m の層状 チャートが整合に累重する。酸性火山岩類は一部 で玄武岩質緑色岩や層状チャートと互層するが, 東に向かってその層厚を減じる。またその岩相は 西部では溶岩が卓越するのに対し,東部では凝灰 岩質である。コマチアイト~玄武岩質溶岩との密 接な関係から,これらの酸性火山岩類も同様にプ レート内火成活動の産物とみなされる。

アダメロ岩は東西4km×南北3kmの岩株状岩 体としてユニットIの緑色岩類の中に貫入してい る。アダメロ岩に接するユニットIの緑色岩はホル ンフェルス化している。

Thorpe *et al.* (1992)は,本地域から採取した アダメロ岩および酸性火山岩中のジルコンの TIMS による U-Pb 年代を初めて測定した。その 結果,ドーム中央部のアダメロ岩から3459 ± 18 Ma,またユニット IVの流紋岩質溶岩から3458 ± 1.9 Ma および3723.8 ± 0.9 Ma という太古代 前期の年代を報告した。Thorpe *et al.*(1992)は, アダメロ岩と流紋岩質溶岩の年代がほぼ一致する ことを強調し,両者を共通の火成活動の産物とみ なした。

III. 測定試料

本研究で年代測定した岩石試料6個の採取位置 を図2に示す。6個の岩石試料から分離した28粒 のジルコン結晶について年代測定を行った。以下 にサンプルの簡単な記載を記す。

アダメロ岩:96NP-208のアダメロ岩は,比較 的新鮮な岩石が露出する同岩岩体の西端で採取さ れた(図2)。オリゴクレース,カリ長石,石英, および黒雲母からなる等粒状組織をもつ。150gの 岩石試料から分離した長径150~200 µmの自形 ジルコン4粒(~)を測定した。それらは顕 著な累帯構造をもち,大部分がメタミクト化して いる。4粒のジルコン結晶について8個所(コア: 6個所, リム:2個所)の測定を行った。

流紋岩質溶岩:95NS-281の流紋岩質溶岩は, ユニット IV 上部の Thorpe *et al*(1992)がTIMS 年代を測定した試料の近傍のほぼ同層準の岩石で ある(図2)。石英および長石斑晶を含む斑状組織 をもつが,石基および長石斑晶は粘土化している。 150gの岩石試料から分離した長径100~150 µm の自形ジルコン8粒(~))を測定試料とした。 ジルコンには累帯構造が発達したものが多い。8 粒のジルコン結晶のコアについて 10 個所の測定 を行った。

珪長質凝灰岩:97NP III 3-1 の珪長質凝灰岩は, ユニット III に属するコマチアイト質緑色岩と互 層する厚さ約2mの層状チャートの最下部厚さ 10 cm の部分から採取された(図2)。凝灰岩は細 粒,砂質である。250gの岩石試料から分離した 長径80~130 μmの自形ジルコン5粒(~~) を測定した。ジルコンには累帯構造を顕著にもつ ものともたない均質なものとがあり,前者は異質 包有物を多く含む。5粒のジルコン結晶のコア7個 所について測定を行った。

96NS-430,96NS-500,および96NS-515の珪 長質凝灰岩は, ユニット IV から採取された(図 2)。いずれも細粒凝灰岩からなる。96NS-430は 厚さ約12mの層状チャート層下部に伴う凝灰岩 層から採取した。96NS-515は,連続した露頭に おいて 96NS-500 の約 30 m 上位から採取した。 96NS-430は, 270gの岩石試料から分離した長 径 100 ~ 250 µm の自形ジルコン 6 粒 (~) について,コア9個所の測定を行った。粒子以 外は累帯構造が顕著に発達する。96NS-500は, 400gの岩石試料から分離した長径60~120 µm のジルコン3粒について測定した。累帯構造が発 達した自形のもの2粒(,)と累帯構造をも たない均質な円磨されたジルコン1粒(),それ ぞれ1個所の測定を行った。96NS-515は,350g の岩石試料から分離した長径70~110 µmの自形 ジルコン2粒を測定試料とした。累帯構造が発達 した自形ジルコン1粒()のコア2個所と均質 な自形のジルコン1粒()のコア1個所の測定 を行った。

IV. 測定手法

LA-ICP-MS 法は, レーザービームを測定試料 表面に照射してエアロゾル化し,それを誘導結合 プラズマ (Inductively Coupled Plasma, ICP) 内に導入し,イオン化・質量分析する手法である (Gray, 1985)。このイオン化方式では大気圧アル ゴンプラズマを使用するため,サンプルを真空中 に置く必要がなく, 試料の導入・交換が容易であ る。また1試料あたりに要する分析時間が数分と 短く,迅速な測定が可能である。Feng et al. (1993)は,ビーム径を30~60 µm に絞ってジ ルコン単粒子の U-Pb 年代を測定した。²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 比については 0.5~6%の精度が得られたが, Pb/U比は再現性の低いデータしか得られなかっ た。Hirata and Nesbitt (1995)は,真空系およ びレーザーシステムの改良により, さらに小領域 (ビーム径10~15 µm)における誤差3%のPb/U 比測定を可能にした。

本研究では, Hirata and Nesbitt (1995)の方 法に従い,東京工業大学理学部地球惑星科学教室 (平田研究室)に設置された質量分析計 Fisons/ VG Elemental Analysis 社製 ICP-MS Plasma および同社製 4 倍高調波 Nd-YAG Laser Quad (266 nm) レーザーシステムを用いてジルコンの U-Pb年代を測定した。表1に測定時の分析パラ メーターを示す。測定に際しては,NIST610 ガラ ス標準試料(5スポット),未知試料(5~8スポッ ト), 既知試料(南極産ジルコン PMA7:2~3ス ポット), NIST610(5スポット), ガスブランク の順で行い,これで1回の測定サイクルとした。 1回の測定サイクルに要する時間は30~40分で ある。本研究の測定結果の確度をチェックするた めに,測定サイクルごとに南極産ジルコン (PMA7)を分析した。ただし内標準試料として質 量分別補正等には用いていない。

今回の測定では年代確度を確認するための標準 試料として,南極産ジルコン(PMA7:2430 Ma, 長径200~300 µmの累帯構造をもつ自形ジルコ ン10個)を測定した。異質包有物およびメタミク ト化した部分を避け,計41点の測定を行った。 その結果を表2および図3に示す。多くのプロットが集中するため,図3では分析誤差を省略しているが,誤差(2)は²⁰⁶Pb/²³⁸U比で4~ 15%,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比で1.8~4.0%であった。 SHRIMPによる測定値とLA-ICP-MSによる測定 値を比較すると,後者の誤差が大きく,ややばら つくものの基本的に両者はよく一致する。従って, 誤差範囲(2500 Maにおける²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比の誤差 2%は33 m.y.程度に相当する)でLA-ICP-MS による年代値は,ほぼSHRIMP年代と同等とみな される。

V. 測定結果

本研究で扱ったノースポール産ジルコン28粒 の年代測定結果を表3および図4~8に示す。図 4~8は、縦軸に²⁰⁶Pb/²³⁸U比を、横軸に²⁰⁷Pb/²³⁵U 比をプロットしたコンコーディア図 (Wetherill, 1956) である。測定試料の U-Pb 系が, 鉱物晶出 時以降に完全な閉鎖系にあった場合,²⁰⁶Pb/²³⁸U年 代および²⁰⁷Pb/²³⁵U年代は一致し,測定値はコン コーディア(Concordia:理論的な年代一致曲線) 上にプロットされる。また , ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代は原 点とプロットとを結ぶ直線の傾きで表される。本 稿では「²⁰⁶Pb/²³⁸U年代]/「²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代]× 100 で表される数値をコンコーダンス(%)と呼 ぶ。例えばそれが100%であれば鉛が失われてお らず,測定点は理論曲線であるコンコーディア上 にプロットされ,正確な放射性年代が示されると 判断される。一方,同一試料の複数の測定点がコ ンコーディアから外れる場合でもそれらが図の上 で直線的に並ぶ場合,この線はディスコーディア (discordia: 年代不一致線)と呼ばれる。ディス コーディアが得られる場合は,鉱物が形成後に鉛 を失うイベントを経験したことが推定される。一 般に,コンコーディアとディスコーディアが交叉 する点のうち、古い方がジルコンの晶出年代、若 い方が鉛を失ったイベントの年代を示すと考えら れている。

測定値がコンコーディアを示さず,またきれい なディスコーディアも得られない場合は,その試 料が鉛を失ったイベントが複数回もしくは連続的

Тиме		unentución una param	sters used in this study.							
1) ICP Ion Source										
Power : 27.12 M	MHz, 1.35 kW Forwa	rd, < 2 W Reflection								
Argon Gas Flow Rate										
Cool. : 13 L/min. Au	Cool. : 13 L/min. Aux. : 1.0 L/min. Carrier. : 1.1 L/min.									
Mixing Gas : N_2 (0.4	1 mL/min.)									
8										
2) Vacuum Interface										
Load Coil - Aperture	Spacing : 5-8 mm									
Anerture Size	· 1.0 mm (Samn)	ing Cone) 0.7 mm (S	kimmer Cone)							
Expansion	$\frac{1}{1} + 10^{-1} \text{ Torr} (\text{ with Fetra Potary Dymp})$									
Analyser	$1.1.7 \times 10^{-6}$ Torr									
maryser	. 0.0 × 10 1011									
3) Lens Biases										
Extraction - 250V	Collector -	20V I 1 · 8 0V	L2 · - 30V L3 · 30V							
	P/R : 2	DV D/A = 120	V							
L4 50V	1/D . 2.	0V D/A 120								
1) Mass Spectrometer										
Scanning Mode	· Peak Jump Mod	a (3 Points Par Paak	M = 0.069 amu							
Monitored Isotono and	I PI Dwoll Time	e (510mts1ei1eak	, wi - 0.003 and)							
²⁰⁴ Db (²⁰⁴ Ua) ²⁰⁶ Dl	115 Dwen Time	maaa								
²⁰² Ug ²³⁸ U	, ID . IO	maaa								
пg, U Ouad Sattlad Time	. 10 mass	Insec	ma 1 20 maaa							
Quau-Settleu IIIIe	: 10 msec	Integration In	Dulas Counting							
Detector Time		tron Ion Detection	: Pulse Counting							
Multiplier H1	: - 3.0 KV	Dead Time	: 20 hsec (10% Height)							
5) Lasar										
J J Laser Boom	· UV (266 pm F	oguoney Quadrupulad	Nd VAC							
Modo	: O Switchod Pule	equency Quadrupuled								
Dulce Dunction	. Q-Switched I us	se								
Puise Duration	: 5-10 fisec									
Custor Size	: 0 FIZ									
Crater Size	: 12-15 µm									
Preablation Time	: 5 second									
	a									
6) Standardisation and	Correction									
a) Correction of PD/U	Mass Fractionation									
Pb/U fractionation	n was corrected by t	he correction factor of	btained for the Pb/U abundance ratio for							
NIST610 glass sta	indard. Normalised V	/alue : ²⁰⁰ Pb/ ²³⁸ U = 0.224	19 (Calculated using isotopic composition							
of Pb reported by	Walder <i>et al.</i> (1993))								
b) Common-Pb Corre	ection									
Correction factors	for common-Pb cont	amination were estim	ated by signal intensity of ²⁰⁴ Pb using							
following constant	s (Stacey and Kram	iers, 1975).								
206 Pb/ 204 Pb = 18.0			${}^{207}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb} = 15.5$							
c) Estimation of $^{\scriptscriptstyle 235}\text{U}$										
$^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137.88$ (Tatsumoto et al., 19	73 ; Stacey and Krame	ers, 1975 ; Stealer and Jaeger, 1977)							
d) Decay Constants										
235 U = 9.8485 × 10	¹⁰ Yr ¹	²³⁸ U = 1.55	$125 \times 10^{-10} \mathrm{Yr}^{1}$							

表 1 LA-ICP-MS によるジルコン測定時の各パラメーター.

Table 1 LA-ICP-MS instrumentation and parameters used in this study.

表 2 SHRIMP および LA-ICP-MS (本研究)による南極産ジルコン PMA7 の U-Pb 年代. SHRIMP による測定値は, Menot *et al.* (1993); J.J.Peucat と C.M.Fanning の私信による.

 Table 2
 U-Pb isotopic data on sample PMA7 (East Antarctica) obtained by the SHRIMP method and by LA-ICP-MS (this study). The SHRIMP data are reproduced from Menot *et al.* (1993) and J. J. Peucat and C. M. Fanning, (pers comm). Concordance (%) means ²⁰⁶Pb-²³⁸U age / ²⁰⁷Pb-²⁰⁶Pb age.

SHRIMP DATA 1.1 0.467 0.0125 0.755 0.288 0.1581 0.0012 2381 53 2410 24 2435 13 98 2.1 0.4642 0.0121 0.391 0.287 0.1570 0.0011 2484 55 24137 27 2447 14 99 3.1 0.4442 0.0121 0.439 0.287 0.1580 0.0011 2414 52 2375 26 2435 11 95 5.2 0.439 0.0110 0.330 0.266 0.1580 0.009 2325 52 2440 9 96 weighted mean 0.4550 0.005 2.157 0.0145 0.0040 2375 22 2401 10 2428 4 98 PTn-131 0.4252 0.654 1.627 0.1637 0.0047 2493 368 2493 158 2494 48 100 PTn-14.1 0.4720 0.654 <th< th=""><th>Spot</th><th>²⁰⁶Pb/²³⁸U</th><th>±(2</th><th>) ²⁰⁷Pb/²³⁵U</th><th>±(2</th><th>) ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb</th><th>±(2</th><th>) Age(Ma) 206Pb/238U</th><th>±(2</th><th>Age(Ma)) 207Pb/235U</th><th>±(2</th><th>) Age(Ma) 207Pb/206Pb</th><th>±(2</th><th>) concordance %</th></th<>	Spot	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±(2) ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±(2) ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±(2) Age(Ma) 206Pb/238U	±(2	Age(Ma)) 207Pb/235U	±(2) Age(Ma) 207Pb/206Pb	±(2) concordance %
1.10.4470.10200.7500.2810.1520.0102350.352402524024414952.10.4410.1010.300.2800.1500.0012445524724245130174.10.4540.0120.1330.2750.1500.0012362227524245130175.20.4530.0121.0300.3800.1500.00023522210252441095.20.4500.0121.0300.3800.1500.00023525240134410970.310.4570.0570.580.5870.684241316241148253509597.320.4540.0501.5911.6920.6942433882481582444810197.420.4570.6661.6841.6920.692243388248158248161141149252509597.430.4570.6661.6511.6920.667247186248188248161141148246141148246141149252509597.440.4530.6671.6511.6510.667248188248184141148148141148148141148	SHRIMP DATA													
2.10.4540.01250.01250.0280.1570.0102565.20.272.421.40.94.10.4540.0149.4390.2750.1580.0112.512.52.52.62.431.10.515.10.4300.0109.3730.2600.1580.0002.483.42.432.44906.10.4300.0109.3730.2600.1580.0002.882.482.432.44906.10.4300.0100.0102.022.011.02.22.449090.130.4300.0110.030.022.02.01.02	1.1	0.4467	0.0120	9.735	0.281	0.1581	0.001	2 2381	53	2410	26	2435	13	98
3.10.44120.0129.880.2870.1780.00142455.42362762.6924916975.10.4500.0119.0130.0000.2015.22.752.82.4810995.20.4530.0120.0300.380.0002.352.2131.02.282.4410995.20.4530.0120.3930.1580.0002.352.213102.282.4410995.20.4530.0230.3530.1040.0002.352.101102.2849707.30.4520.0350.0430.0472.1310.82.3741.482.0325096707.40.4520.0431.0510.0450.0472.082.481.682.4944.69707.40.4520.4630.6510.0472.082.481.682.4944.81.699707.40.4520.4620.4630.4630.4640.4633.682.4901.582.4944.84.99707.40.4520.4620.4630.4630.4630.4633.682.4801.582.4944.81.61.6707.40.4520.4630.4630.4630.4650.4633.641.62.3414.91.61.61.61.61.61.61.61.61.6 <t< td=""><td>2.1</td><td>0.4564</td><td>0.0125</td><td>10.021</td><td>0.298</td><td>0.1592</td><td>0.001</td><td>3 2424</td><td>55</td><td>2437</td><td>27</td><td>2447</td><td>14</td><td>99</td></t<>	2.1	0.4564	0.0125	10.021	0.298	0.1592	0.001	3 2424	55	2437	27	2447	14	99
4.10.45420.01249.130.2670.1630.0012.1415.22.3792.62.4391.31.035.10.4300.0129.3030.2600.1580.0002.285.42.4383.42.4401096.10.4380.0179.3030.2070.1830.0002.285.22.3112.52.40996.10.4380.0170.3030.1010.0002.285.22.3112.411.432.509970.320.4520.6840.3011.280.1630.0042.433.182.4141.432.509977.340.4520.6841.2010.1630.0042.433.182.4311.434.8410177.430.4750.6861.2010.1630.0042.4313.882.4301.582.4444.810177.440.4750.4660.1031.2010.1040.1042.813.882.4301.582.4444.810177.450.4750.4760.461	3.1	0.4412	0.0121	9.589	0.287	0.1576	0.001	4 2356	54	2396	27	2429	16	97
5.10.4300.0119.0300.2300.2300.2305.22.3752.62.4353.19.955.20.4570.0121.0300.2300.1580.0002.355.22.3102.52.4009welphed matrix0.4580.0000.3350.0002.355.22.4101.02.428498PT-14.20.4580.0000.0142.0002.3762.22.1011.02.1284980.4520.03480.1510.0042.133.162.4111.482.4525.0960.4720.0361.5010.0142.1030.1682.4082.4182.4182.4182.4182.4184.142.1525.0960.4720.0360.5500.730.1630.0072.2011.582.418 <td>4.1</td> <td>0.4542</td> <td>0.0124</td> <td>9.413</td> <td>0.275</td> <td>0.1503</td> <td>0.001</td> <td>1 2414</td> <td>55</td> <td>2379</td> <td>26</td> <td>2349</td> <td>13</td> <td>103</td>	4.1	0.4542	0.0124	9.413	0.275	0.1503	0.001	1 2414	55	2379	26	2349	13	103
5.20.4730.0120.0390.2390.1580.0092.4285.42.4384.41.4461.0996.10.43400.0100.5030.2000.1570.0002.2355.22.3911.552.4601.6990.41510.01000.01000.1010.01042.1012.1011.022.102.102.102.102.102.102.102.101.101.101 </td <td>5.1</td> <td>0.4301</td> <td>0.0116</td> <td>9.373</td> <td>0.266</td> <td>0.1581</td> <td>0.001</td> <td>0 2306</td> <td>52</td> <td>2375</td> <td>26</td> <td>2435</td> <td>11</td> <td>95</td>	5.1	0.4301	0.0116	9.373	0.266	0.1581	0.001	0 2306	52	2375	26	2435	11	95
6.10.4340.01179.3380.2070.15850.00023355223125240996weighed mem0.4550.0050.4550.0100.1570.004276222101102428498LP-LCW D/L-LD/L-L0.4520.0680.4680.1620.010213162227414824535096P7n-3.10.4520.0681.6200.1620.00424133162461158246448101P7n-14.20.4720.0861.6301.6300.01424053682480158246448101P7n-4.30.4520.0460.3500.730.1620.0042481882477324175896P7n-4.40.4500.4470.4410.530.7370.1500.005234188247732446896P7n-4.40.4450.4410.530.7780.1630.005236178236422107496P7n-1.40.4190.3380.2780.7870.1630.006220152236742486396P7n-1.40.4190.3390.7790.1630.006220152236136243164149P7n-1.40.4190.550.770.1630.006220152236136243<	5.2	0.4573	0.0123	10.030	0.380	0.1591	0.000	9 2428	54	2438	34	2446	10	99
weighted mean 0.4456 0.0050 9.635 0.110 0.1574 0.004 2376 22 2401 10 2422 4 98 LP-ICP-MS DATA P7n 3.1 0.4525 0.0684 9.360 1.628 0.1597 0.0048 2284 302 2374 148 2453 50 93 P7n 3.1 0.4525 0.0684 1.628 0.1597 0.0047 2493 368 2484 149 252 50 96 P7n-14.1 0.4722 0.0686 10.661 1.062 0.0047 2493 368 2480 158 2446 48 101 P7n-4.3 0.4572 0.0477 10.380 0.0829 0.035 2324 183 2425 74 2510 57 95 P7n-6.6 0.4451 0.0416 9.651 0.799 0.1572 0.0068 2307 79 2360 42 2410 72 96 P7n-11.4 0.4499 0.036	6.1	0.4364	0.0117	9.536	0.267	0.1585	0.000	9 2335	52	2391	25	2440	9	96
LP-ICP-MS DX-FPTn-3.10.42520.0680.07030.2011.7300.16570.00482241316241114925025096PTn-14.10.47220.8661.6511.9620.016370.00472413316246114925025096PTn-14.20.47200.8661.5011.9620.016370.004724953882493158248448101PTn-14.20.47200.47210.300.8290.1520.00472495388249317424175896PTn-14.20.43000.401710.1800.8290.1520.0058232818023747424175896PTn-54.0.44700.4110.1800.7330.15720.0058230171223604224107296PTn-154.0.44900.3369.0790.15720.0068220115223467424756789PTn-1140.41900.3389.0790.1620.006220115223467424756789PTn-1140.41900.3389.0790.6680.006220115223467424766894PTn-1140.41900.3399.7780.16300.0062201152238913624166794PTn-21.60.4299.110.5600.006 <td< td=""><td>weighted mean</td><td>n 0.4456</td><td>0.0050</td><td>9.635</td><td>0.110</td><td>0.1574</td><td>0.000</td><td>4 2376</td><td>22</td><td>2401</td><td>10</td><td>2428</td><td>4</td><td>98</td></td<>	weighted mean	n 0.4456	0.0050	9.635	0.110	0.1574	0.000	4 2376	22	2401	10	2428	4	98
Prn-3.10.4520.0640.8630.16870.00482.2843.022.3741.482.4535.09.6Prn-3.20.45410.07200.02801.0500.0472.4933.882.4931.582.4944.81.00Prn-14.10.47220.86610.6511.9340.16120.00472.4933.882.4931.582.4444.81.01Prn-14.10.4720.4760.4700.4700.4700.4700.4721.6802.4747.32.4135.89.9Prt-7.40.43500.4069.3590.7730.15600.00542.3281.802.4747.32.4135.89.8Prt-6.40.44100.4169.5010.7990.1570.00552.3741.832.4027.32.4167.89.9Prn-11.40.41100.3399.2530.7780.16190.00662.0211.532.3637.42.4806.78.9Prn-11.40.41190.3399.2530.7780.16320.00672.2201.532.3637.42.4806.78.9Prn-11.40.41190.3399.2530.7780.16320.00672.2201.532.3637.42.4806.78.9Prn-11.40.41390.3399.2530.7780.16400.00672.201.532.3637.42.496.78.9Prn-12.10.412	LP-ICP-MS DA	ATA												
Prn-32.0.45410.47220.03010.2911.7900.18450.00472413316246114925025096Prn-14.20.47220.08610.50110.6370.004724933682480158249448101Prn-74.20.47270.4720.4727 <td>P7n-3.1</td> <td>0.4252</td> <td>0.0684</td> <td>9.360</td> <td>1.628</td> <td>0.1597</td> <td>0.004</td> <td>8 2284</td> <td>302</td> <td>2374</td> <td>148</td> <td>2453</td> <td>50</td> <td>93</td>	P7n-3.1	0.4252	0.0684	9.360	1.628	0.1597	0.004	8 2284	302	2374	148	2453	50	93
Prn-1.1.10.47220.68650.6541.9620.16370.004724933682480158248048100Prn-14.20.47520.042710.0300.8290.1520.005242718624387424475899Pr1-7.30.45720.040710.300.8290.1520.0054232818023747324135896P7t-6.50.44700.04169.6510.7990.15720.0055237418324027324265998P7n-15.40.42950.01759.2000.15720.0055237418324027324606798P7n-16.40.40690.0339.0790.1520.0067220115323467424756789P7n-11.40.41120.03399.2530.7780.16320.0067220115323467424756789P7n-21.10.41210.0399.2540.7780.16320.00672202153234616424726693P7n-21.40.42180.06169.2781.6900.0062220223623613624526693P7n-21.40.42180.06169.780.1670.076210223613624108794P7n-21.40.4220.1530.5620.1580.07723611132349	P7n-3.2	0.4541	0.0730	10.291	1.790	0.1645	0.004	9 2413	316	2461	149	2502	50	96
P7n-14.20.47280.086610.5011.9340.16120.00724953882480158246848101P7t-7.30.45720.042710.030.8290.15920.0056242718624387424135899P7t-6.50.4700.41710.180.8410.16530.0058232418324027425105795P7t-6.60.44510.44510.7990.1570.0055237418324027324265998P7n-11.40.4090.0330.5200.1570.0068230115223647424706789P7n-11.40.4090.0330.5230.7780.1620.0067220215223637424966693P7n-11.40.41120.03939.2531.4090.15430.00622206232213523946693P7n-21.40.41280.04049.2781.4090.0560.0052066230213624108195P7n-21.60.45730.02729.7100.6710.15400.00722306128238916324616794P7n-21.60.4530.5259.5680.07723011442335524088896P7n-21.60.4339.510.5620.1560.007223111492363552408 <td>P7n-14.1</td> <td>0.4722</td> <td>0.0865</td> <td>10.654</td> <td>1.962</td> <td>0.1637</td> <td>0.004</td> <td>7 2493</td> <td>368</td> <td>2493</td> <td>158</td> <td>2494</td> <td>48</td> <td>100</td>	P7n-14.1	0.4722	0.0865	10.654	1.962	0.1637	0.004	7 2493	368	2493	158	2494	48	100
P71-7.30.45720.042710.3030.8290.15920.0050242718624387424475899P71-7.40.43500.04099.3590.7730.15600.0054232818023747324135896P71-6.60.44700.04169.6510.7990.15720.0055237418324027324265998P71-5.40.4290.01530.7780.1570.006823037923647424756789P7n-1.40.41090.0339.790.7620.16190.0066220115323467424896789P7n-1.10.41120.03399.2530.7780.16220.00672202153236374248966934P7n-2.10.41280.0669.2781.0660.0052306272238313624616794P7n-2.10.4320.0259.2110.1540.00523061142396124106794P7n-2.10.4320.0339.1050.6250.00623061142396124106794P7n-2.10.4330.3259.2100.5610.007242811924086224218194P7n-2.10.4330.3349.0500.5620.1560.0072266113234961	P7n-14.2	0.4726	0.0866	10.501	1.934	0.1612	0.004	7 2495	368	2480	158	2468	48	101
P7P.7.4.0.43500.04069.3590.7730.16600.0054232818023747324135896P71-6.50.44710.04171.01860.4110.1630.0058238218324227324265998P71-6.60.44510.04169.610.790.7520.0058237418324027324265998P7n-15.40.4950.01759.2200.330.7620.06820115223667424806789P7n-11.60.41120.03399.230.7730.7620.066222612266232213523946694P7n-12.10.42180.0649.2781.4690.15650.006222692682366136241282102P7n-21.60.4570.02729.7100.6710.1580.0077230111423596124128194P7n-21.70.4300.02559.2110.1580.0077230111423596124228194P7n-21.70.4280.0339.1070.6200.1580.00723011142395524218396P7n-21.70.4390.0339.1070.5620.1580.007231114823495524288496P7n-21.70.4390.0339.1070.5620.15	P7t-7.3	0.4572	0.0427	10.036	0.829	0.1592	0.005	6 2427	186	2438	74	2447	58	99
P71-6.5 0.4470 0.0417 10.188 0.841 0.1653 0.0058 2382 183 2452 74 2510 57 95 P71-6.6 0.4451 0.0416 9.651 0.799 0.1657 0.0055 2374 183 2402 73 2426 59 98 P7n-15.4 0.4059 0.0336 9.079 0.62 0.1619 0.0066 2201 152 2366 74 2475 67 89 P7n-11.4 0.412 0.0339 9.253 0.778 0.1622 0.0067 2202 153 2366 136 2452 66 93 P7n-21.4 0.4218 0.0604 9.278 1.469 0.156 0.0062 2282 268 2366 136 2461 67 94 97 P7n-21.4 0.421 0.0251 9.11 0.617 1.0150 0.0262 2311 144 2359 61 2410 81 95 P7n-31.1 0.422 0.333 9.107 0.516 0.0083 2311 149	P7t-7.4	0.4350	0.0406	9.359	0.773	0.1560	0.005	4 2328	180	2374	73	2413	58	96
P71-6.60.44510.04169.6510.7990.15720.0055237418324027324265998P7n-15.40.46950.01759.2200.4330.15570.006823017923604224107296P7n-11.40.40690.03369.2530.7780.16320.0067222015323637424796789P7n-11.60.41120.03939.2530.7780.16320.00672220153236613624526693P7n-11.60.41280.0649.2781.4690.15660.00652306272238913624106794P7n-21.60.45730.02759.7100.6710.15680.0077226111323496124108195P7n-31.10.42890.0339.1070.5620.15680.0077226111323496124108196P7n-21.50.42890.0339.1070.5620.15640.0072231123495523008896P7n-22.20.43970.3319.5050.5840.15670.0083231114823435524218791P7n-12.40.4180.90418.592.9980.5110.5680.077236114823495523088896P7n-21.50.4890.3339.107<	P7t-6.5	0.4470	0.0417	10.186	0.841	0.1653	0.005	8 2382	183	2452	74	2510	57	95
Prn-15.4 0.4295 0.0175 9.220 0.433 0.1557 0.0068 2303 79 2360 42 2410 72 96 Prn-11.4 0.4060 0.033 9.073 0.762 0.1613 0.0060 2201 152 2346 74 2489 67 89 Prn-11.6 0.4112 0.0539 9.233 0.778 0.1643 0.0062 2242 266 2322 135 2394 66 931 Prn-21.4 0.4128 0.0061 9.514 1.508 0.0065 2056 272 2386 136 2452 66 932 Prn-21.6 0.457 0.0251 9.165 0.0051 2105 114 2359 61 2410 81 957 Prn-21.6 0.428 0.033 9.107 0.562 0.1564 0.0071 2361 148 2349 55 2408 88 96 Prn-21.6 0.4289 0.331 9.10	P7t-6.6	0.4451	0.0416	9.651	0.799	0.1572	0.005	5 2374	183	2402	73	2426	59	98
P7n-11.4 0.4069 0.0336 9.079 0.762 0.1619 0.0066 2201 152 2346 74 2475 67 89 P7n-21.1 0.4112 0.0339 9.253 0.778 0.1632 0.0067 2220 153 2363 74 2489 67 89 P7n-11.6 0.4158 0.0604 9.278 1.469 0.1560 0.0067 2262 266 136 2452 66 93 P7n-21.4 0.4302 0.0616 9.514 1.508 0.1605 0.0065 2366 272 2389 136 2461 67 94 P7n-21.6 0.4259 9.211 0.635 0.0077 2301 114 2359 61 2422 81 94 P7n-21.5 0.428 0.033 9.107 0.562 0.1564 0.007 2266 113 2349 61 2422 81 94 P7n-21.5 0.428 0.033 9.107 0.552 0.1564 0.0082 2311 149 2332 54 2312	P7n-15.4	0.4295	0.0175	9.220	0.433	0.1557	0.006	8 2303	79	2360	42	2410	72	96
Prn-11.1 0.4112 0.0339 9.253 0.778 0.1632 0.0067 2220 153 2363 74 2489 67 89 Prn-11.6 0.4159 0.0564 8.844 1.400 0.1543 0.0062 2242 266 2322 135 2394 66 94 Prn-21.4 0.4302 0.0616 9.514 1.508 0.0062 2269 268 2361 136 2452 66 93 Prn-21.6 0.457 0.0616 9.51 0.651 0.1560 0.0077 2301 114 2359 61 2410 81 95 Prn-31.1 0.4289 0.0251 9.10 0.652 0.1560 0.0077 2301 148 2349 65 2390 88 96 Prn-21.5 0.4289 0.033 9.107 0.562 0.1560 0.0082 2311 148 2349 55 2421 87 97 Prn-21.5 0.4389 0.050 9.219 0.551 2194 151 2334 194 2437	P7n-11.4	0.4069	0.0336	9.079	0.762	0.1619	0.006	6 2201	152	2346	74	2475	67	89
P7n-11.6 0.4159 0.0595 8.844 1.400 0.1543 0.0062 2242 266 2322 135 2394 66 94 P7n-21.4 0.4218 0.0616 9.578 1.469 0.1596 0.0064 2269 268 2366 136 2452 66 93 P7n-22.1 0.4302 0.0616 9.514 1.508 0.0076 2242 119 2389 136 2461 67 94 P7n-21.6 0.4573 0.0272 9.710 0.671 0.514 0.0076 248 119 2406 62 2391 82 102 P7n-31.1 0.4289 0.0255 9.211 0.634 0.1558 0.0077 2301 114 2359 61 2410 81 95 P7n-31.2 0.4212 0.033 9.107 0.556 0.082 2301 148 2349 55 2498 88 96 P7n-31.7 0.4118 0.0333 9.107 0.556 0.0083 2311 149 2433 194 2437	P7n-21.1	0.4112	0.0339	9.253	0.778	0.1632	0.006	7 2220	153	2363	74	2489	67	89
$\begin{array}{llllllllllllllllllllllllllllllllllll$	P7n-11.6	0.4159	0.0595	8.844	1.400	0.1543	0.006	2 2242	266	2322	135	2394	66	94
P7n-22.1 0.4302 0.0616 9.514 1.508 0.1665 0.0065 2306 272 2389 136 2461 67 94 P7n-21.6 0.4573 0.0272 9.710 0.671 0.1540 0.0076 2428 119 2408 62 2391 82 102 P7n-31.1 0.4289 0.0255 9.211 0.6625 0.1568 0.0077 2301 114 2359 61 2402 81 94 P7n-31.2 0.4212 0.0331 9.107 0.562 0.1564 0.0082 2301 148 2349 65 2300 88 96 P7n-22.2 0.4397 0.0341 9.505 0.584 0.1567 0.0083 2311 149 2363 55 2408 88 96 P7n-32.1 0.4108 0.0941 8.55 2.098 0.1582 0.0051 2219 416 2334 194 2437 54 91 P7n-32.2 0.4336 0.529 9.220 0.1556 0.0046 2290 231 2360<	P7n-21.4	0.4218	0.0604	9.278	1.469	0.1596	0.006	4 2269	268	2366	136	2452	66	93
P7n-21.6 0.4573 0.0272 9.710 0.671 0.1543 0.0076 2428 119 2408 62 2301 82 102 P7n-31.1 0.4289 0.0255 9.211 0.634 0.1558 0.0077 2301 114 2359 61 2410 81 95 P7n-31.2 0.4212 0.0255 9.211 0.622 0.1568 0.0077 2266 113 2349 61 2422 81 94 P7n-21.5 0.4289 0.0333 9.107 0.562 0.1540 0.0082 2301 148 2349 55 2300 88 96 P7n-22.2 0.4397 0.0341 9.550 0.584 0.1550 0.0083 2311 149 2303 55 2408 88 96 P7n-32.1 0.4108 0.0914 8.959 2.098 0.1550 0.0046 2302 2350 89 2392 54 97 P7n-31.4 0.4206 0.0529 9.220 0.1556 0.0047 2259 228 2333 89 <td>P7n-22 1</td> <td>0 4302</td> <td>0.0616</td> <td>9 514</td> <td>1 508</td> <td>0 1605</td> <td>0.006</td> <td>5 2306</td> <td>272</td> <td>2389</td> <td>136</td> <td>2461</td> <td>67</td> <td>94</td>	P7n-22 1	0 4302	0.0616	9 514	1 508	0 1605	0.006	5 2306	272	2389	136	2461	67	94
Prn-31.1 0.4289 0.0255 9.11 0.634 0.1535 0.007 2301 114 2359 61 2410 81 95 Prn-31.2 0.4212 0.0255 9.105 0.625 0.1568 0.0077 2266 113 2349 61 2422 81 94 Prn-21.5 0.4289 0.0333 9.107 0.562 0.1560 0.0082 2301 148 2349 55 2390 88 96 Prn-22.2 0.4397 0.0341 9.505 0.584 0.1567 0.0083 2311 149 2363 55 2408 88 96 P7n-17. 0.4311 0.0329 9.249 0.5150 0.0046 2290 231 2350 89 2402 50 95 P7n-32.2 0.4336 0.0529 9.220 0.938 0.1541 0.0050 2322 234 2360 89 2392 54 97 P7n-31.5 0.3990 0.0507 8.561 0.007 2214 234 2293 109 2409	P7n-21.6	0.4573	0.0272	9 710	0.671	0 1540	0.007	6 2428	119	2408	62	2391	82	102
Prn-B11.2 0.1205 0.1205 0.1205 0.1105 0.1005 0.210 111 2.320 6.1 2.422 81 94 P7n-12.2 0.4397 0.0341 9.505 0.584 0.1567 0.0083 2.311 149 2.363 55 2.408 88 96 P7n-31.4 0.4266 0.0529 9.120 0.922 0.1550 0.0046 2.290 2.31 2.300 89 2.392 54 97 P7n-31.5 0.3990 0.0507 8.561 1.079 0.1566 0.0076 2144 230 2.292 109 2409 61 90 90 P7n-31.5 0.3990 0.0507 8.564 1.081 0.1516 0.0057 2.164 <td>P7n-31 1</td> <td>0 4289</td> <td>0.0255</td> <td>9 211</td> <td>0.634</td> <td>0 1558</td> <td>0.007</td> <td>7 2301</td> <td>114</td> <td>2359</td> <td>61</td> <td>2410</td> <td>81</td> <td>95</td>	P7n-31 1	0 4289	0.0255	9 211	0.634	0 1558	0.007	7 2301	114	2359	61	2410	81	95
Prn-11.5 0.1112	P7n-31 2	0.4212	0.0251	9 105	0.625	0 1568	0.007	7 2266	113	2349	61	2422	81	94
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-21 5	0.4289	0.0201	9 107	0.562	0.1540	0.008	2 2301	148	2349	55	2390	88	96
Prn-lin 0.10011 0.0011	P7n-22.2	0.4397	0.0341	9 505	0.584	0 1567	0.008	3 2349	151	2388	55	2421	87	97
Prn. 11.1 O.1011 O.1014 O.1014 O.1014 O.1004 O.1512 O.1014 O.1004 D.1514 O.1004 D.1514 O.1014 O.1014 O.0015 D.211 O.101 O.1014 O.0015 D.114 O.1014 O.1014 O.0015 D.211 O.1014 D.2334 D.94 D.437 S.4 D.91 P7n.31.4 0.4266 0.0529 9.220 0.938 0.1541 0.0050 2322 234 2360 89 2392 54 97 P7n.32.3 0.4197 0.0512 8.561 1.079 0.1556 0.0057 214 230 2292 109 2409 61 90 P7n-32.3 0.4098 0.0521 8.564 1.081 0.1516 0.0076 2219 2305 72 2419 80 90 P7n-32.4 0.4036 0.0368 8.683 0.707 0.1566 0.0075 2335 175 2356 72 2419 80 90 P7n-32.4 0.4386 0.051 9.451 1.251 0.1581 0.0041 <td>P7n-11 7</td> <td>0.4311</td> <td>0.0335</td> <td>9 249</td> <td>0.571</td> <td>0.1556</td> <td>0.008</td> <td>3 2311</td> <td>149</td> <td>2363</td> <td>55</td> <td>2408</td> <td>88</td> <td>96</td>	P7n-11 7	0.4311	0.0335	9 249	0.571	0.1556	0.008	3 2311	149	2363	55	2408	88	96
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-32 1	0.4108	0.0000	8 959	2 008	0.1582	0.005	1 2210	416	2334	10/	2437	54	91
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-31 4	0.4266	0.0520	9 120	0.022	0.1550	0.004	6 2200	231	2350	80	2402	50	95
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-32 2	0.4336	0.0529	9 220	0.022	0 1541	0.001	0 2322	234	2360	89	2392	54	97
P7n-31.5 0.1017 0.1	P7n-22 3	0.4197	0.0512	8 951	0.000	0.1546	0.004	7 2259	228	2333	89	2398	51	94
P7n-31.5 0.5356 0.5361 0.5361 0.5361 0.6351 0.1636 0.6057 2114 236 2125 103 21453 01 30 $P7n-32.3$ 0.4098 0.0521 8.564 1.081 0.1516 0.0057 2214 234 2293 109 2364 62 94 $P7n-31.6$ 0.4021 0.0365 8.683 0.707 0.1566 0.0076 2179 165 2305 72 2419 80 90 $P7n-32.4$ 0.4366 0.0396 9.182 0.753 0.1525 0.0075 2335 175 2356 72 2374 82 98 $P7n-11.8$ 0.4338 0.0561 9.451 1.251 0.1581 0.0041 2323 248 2383 115 2445 43 94 $P7n-22.4$ 0.4285 0.0554 9.396 1.243 0.1591 0.0041 2299 245 2377 115 2446 43 94 $P7n-11.9$ 0.4816 0.0467 10.358 1.014 0.1560 0.0043 2534 200 2467 87 2413 47 105 $P7n-31.7$ 0.4440 0.0431 9.711 0.952 0.1587 0.0045 2368 190 2408 86 2441 47 97 $P7n-31.8$ 0.4590 0.0444 10.133 0.994 0.1602 0.0047 2435 176 2447 87 2437 51	P7n-31 5	0.3000	0.0507	8 561	1 079	0.1556	0.001	7 2164	230	2202	100	2409	61	90
Prn 50.50.10050.00170.10170.	P7n-32 3	0.4098	0.0521	8 564	1 081	0.1516	0.005	7 2214	234	2292	100	2364	62	94
P7n-31.6 0.4021 0.0036 0.0037 0.0036 0.0037 0.0036 0.0037 0.0036 0.0037 0.0036 0.0	P7n-31.6	0.4021	0.0365	8 683	0 707	0.1566	0.007	6 2179	165	2305	72	2/10	80	90
Prn0.10000.10000.10000.10000.10000.10000.10000.10000.10000.000120001101200011012011012001102P7n-11.80.43380.05619.4511.2510.15810.00412323248238311524354394P7n-22.40.42850.05549.3961.2430.15810.00412299245237711524464394P7n-11.90.48160.046710.3581.0140.15600.00432534200246787241347105P7n-21.70.44400.04319.7110.9520.15870.0045236819024088624414797P7n-31.70.46950.045510.3461.0100.15990.00432481197246687245445101P7n-31.80.45900.040410.1330.9940.16020.0047243517624478724375197P7n-31.90.45930.03349.8820.7920.15770.00432436146243371243145100P7n-31.100.45440.04059.8220.8330.15880.00452415177241875242148100P7n-31.110.46070.04119.9990.8450.15740.004424331792435752428 <td>P7n-32 4</td> <td>0.4366</td> <td>0.0305</td> <td>9 182</td> <td>0.753</td> <td>0.1500</td> <td>0.007</td> <td>5 2335</td> <td>175</td> <td>2356</td> <td>72</td> <td>2374</td> <td>82</td> <td>98</td>	P7n-32 4	0.4366	0.0305	9 182	0.753	0.1500	0.007	5 2335	175	2356	72	2374	82	98
P7n-11.6 0.4305 0.0301 0.1401 0.1501 0.0041 2525 246 2305 113 2435 435 336 $P7n-22.4$ 0.4285 0.0554 9.396 1.243 0.1591 0.0041 2299 245 2377 115 2446 43 94 $P7n-11.9$ 0.4816 0.0467 10.358 1.014 0.1560 0.0043 2534 200 2467 87 2413 47 105 $P7n-21.7$ 0.4440 0.0431 9.711 0.952 0.1587 0.0045 2368 190 2408 86 2441 47 97 $P7n-31.7$ 0.4695 0.0455 10.346 1.010 0.1599 0.0043 2481 197 2466 87 2454 45 101 $P7n-31.8$ 0.4590 0.0404 10.133 0.994 0.1602 0.0047 2435 176 2447 87 2437 51 97 $P7n-31.9$ 0.4593 0.0334 9.982 0.792 0.1577 0.0043 2436 146 2433 71 2431 45 100 $P7n-32.5$ 0.4488 0.0327 9.570 0.760 0.1547 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 $P7n-31.10$ 0.4544 0.0405 9.822 0.833 0.1588 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 <	P7n-11.8	0.4338	0.0561	9.451	1 251	0.1581	0.004	1 2323	2/8	2383	115	2435	43	95
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-22 4	0.4285	0.0554	0.306	1 2/3	0.1591	0.001	1 2200	245	2377	115	2446	13	94
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n-11.9	0.4205	0.0334	10 358	1.014	0.1560	0.004	3 2534	200	2467	87	2413	43	105
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	P7n 21 7	0.4010	0.0407	0 711	0.052	0.1587	0.004	5 2268	100	2407	86	2415	47	07
P7n-31.7 0.4033 0.0403 10.133 0.1043 0.1033 0.0043 2401 137 2400 67 2434 43 101 P7n-31.8 0.4590 0.0404 10.133 0.994 0.1602 0.0047 2435 176 2447 87 2457 48 99 P7n-11.10 0.4450 0.0392 9.707 0.957 0.1583 0.0048 2373 173 2407 87 2437 51 97 P7n-31.9 0.4593 0.0334 9.982 0.792 0.1577 0.0043 2436 146 2433 71 2431 45 100 P7n-32.5 0.4488 0.0327 9.570 0.760 0.1547 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 P7n-31.10 0.4544 0.0405 9.822 0.833 0.1568 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1571 0.0042 2356	P7n-31 7	0.4440	0.0451	10 3/6	1 010	0.1500	0.004	3 2481	190	2408	87	2441	47	101
P7n-51.5 0.4350 0.044 10.133 0.534 0.1002 0.0047 2435 170 2447 67 2437 48 39 P7n-11.10 0.4450 0.0392 9.707 0.957 0.1583 0.0048 2373 173 2407 87 2437 51 97 P7n-31.9 0.4593 0.0334 9.982 0.792 0.1577 0.0043 2436 146 2433 71 2431 45 100 P7n-32.5 0.4488 0.0327 9.570 0.760 0.1547 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 P7n-31.10 0.4544 0.0405 9.822 0.833 0.1568 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1574 0.0044 2443 179 2435 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0393 9.549 0.921 0.1571 0.0045 2356 <t< td=""><td>D7n 21 9</td><td>0.4500</td><td>0.0403</td><td>10.122</td><td>0.004</td><td>0.1505</td><td>0.004</td><td>7 2425</td><td>176</td><td>2400</td><td>97</td><td>2457</td><td>49</td><td>00</td></t<>	D7n 21 9	0.4500	0.0403	10.122	0.004	0.1505	0.004	7 2425	176	2400	97	2457	49	00
P7n-11.10 0.4430 0.032 5.107 0.537 0.1363 0.0046 2373 173 2407 67 2437 51 57 P7n-31.9 0.4593 0.0334 9.982 0.792 0.1577 0.0043 2436 146 2433 71 2431 45 100 P7n-32.5 0.4488 0.0327 9.570 0.760 0.1547 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 P7n-31.10 0.4544 0.0405 9.822 0.833 0.1568 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1574 0.0044 2443 179 2435 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0393 9.549 0.921 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97 P7n-32.5 0.4488 0.9305 9.496 0.911 0.1571 0.0045 2356 <td< td=""><td>P7n 11 10</td><td>0.4350</td><td>0.0404</td><td>0 707</td><td>0.057</td><td>0.1582</td><td>0.004</td><td>9 9272</td><td>172</td><td>2447</td><td>97</td><td>2437</td><td>51</td><td>93</td></td<>	P7n 11 10	0.4350	0.0404	0 707	0.057	0.1582	0.004	9 9272	172	2447	97	2437	51	93
Prinestic 0.4333 0.0334 9.592 0.792 0.1377 0.0043 2430 140 2433 71 2431 45 100 P7n-32.5 0.4488 0.0327 9.570 0.760 0.1547 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 P7n-31.10 0.4544 0.0405 9.822 0.833 0.1568 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1574 0.0044 2443 179 2435 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0393 9.549 0.9211 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97 P7n 23.5 0.4428 0.9305 9.446 0.911 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97	P7n 21.0	0.4430	0.0082	0.000	0.937	0.1303	0.004	0 60/0	140	£407 9499	01 71	6401 9491	31 4E	J/
r/11-52.5 0.4400 0.0327 9.570 0.700 0.1347 0.0042 2390 144 2394 70 2399 45 100 P7n-31.10 0.4544 0.0045 9.822 0.833 0.1568 0.0045 2415 177 2418 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1574 0.0045 2433 179 2435 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0393 9.549 0.921 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97 P7n 23.5 0.4428 0.9215 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97	r /11-31.9	0.4393	0.0334	9.982	0.792	0.15//	0.004	J 2430	140	2433	71	2431	40	100
P7n-31.10 0.4047 0.0405 5.62 0.633 0.1306 0.0043 2415 177 2416 75 2421 48 100 P7n-31.11 0.4607 0.0411 9.999 0.845 0.1574 0.0044 2443 179 2435 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0395 9.549 0.921 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97 72n 22.5 0.4428 0.9215 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97	F / II-32.3	0.4488	0.0327	9.370	0.700	0.154/	0.004	2 2390 5 9415	144	2394	70	2399	40 40	100
r_{11} 0.4007 0.0411 9.999 0.843 0.1574 0.0044 2443 179 2433 75 2428 47 101 P7n-32.6 0.4411 0.0393 9.549 0.9211 0.1571 0.0045 2356 173 2392 85 2424 48 97 $72n$ 243 0.0426 0.921 0.1571 0.0045 2329 174 2392 45 2024 48 97	r /11-31.10	0.4344	0.0405	9.822	0.833	0.1508	0.004	J 2413	170	2418 2425	75	2421	48	100
r/II-52.0 0.44411 0.0393 9.349 0.921 0.13/1 0.0045 2330 1/3 2392 83 2424 48 9/	Г/П-31.11 D7n 22.0	0.4007	0.0411	9.999	0.845	0.1574	0.004	4 2443 E 9950	179	2433	/3	2428	47	101
	P7n-92.5	0.4411	0.0393	9.349 0.496	0.921	0.1571	0.004	5 9969	174	2380	00 95	2309	40	97 00

表 3 ノース7	ペール地域のジルコン	U-Pb 年代 .
----------	------------	-----------

Table 3 U-Pb isotopic data for zircons from the North Pole area.

Spot	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±(2)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±(2)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±(2)	Age(Ma) 206Pb/238U	±(2) Age(Ma) 207Pb/235U	±(2) Age(Ma) 207Pb/206Pb	±(2) concordance %
OCNID 202. Adamallita													
50141 -2	0 3266	0 0394	12 5985	1 4571	0 2798	0.0142	1822	189	2650	103	3362	77	54
	0.3036	0.0367	11.0393	1.2754	0.2637	0.0133	1709	179	2526	102	3269	77	52
а	0.6823	0.0977	27.0313	4.2752	0.2875	0.0113	3353	364	3385	144	3404	60	99
h	0.6401	0.0916	24 5656	3 8836	0.2785	0.0109	3190	350	3291	144	3355	60	95
c	0.6401	0.0916	24.5656	3.8836	0.2785	0.0109	3190	350	3291	144	3355	60	95
а	0.3901	0.0476	14.7117	1.4928	0.2734	0.0085	2124	217	2797	92	3326	48	64
b	0.5603	0.0683	21.1521	2.1382	0.2737	0.0082	2868	276	3146	94	3327	46	86
c	0.4650	0.0567	18.4946	1.8681	0.2883	0.0086	2462	245	3016	93	3409	45	72
95NS-2	81: Rhvolite	e (Unit IV	V)										
	0.4185	0.0985	16.760	3.918	0.2905	0.0064	2254	433	2921	202	3420	34	66
	0.2873	0.0676	8.916	2.082	0.2251	0.0043	1628	330	2329	194	3018	30	54
а	0.5064	0.1192	20.617	4.817	0.2953	0.0061	2641	491	3121	204	3446	32	77
b	0.4736	0.1115	18.525	4.328	0.2838	0.0059	2499	470	3017	203	3384	32	74
	0.2131	0.0502	5.418	1.265	0.1844	0.0035	1245	261	1888	183	2693	31	46
а	0.5712	0.1345	25.854	6.040	0.3283	0.0066	2913	529	3341	206	3609	31	81
b	0.5524	0.1300	23.970	5.599	0.3147	0.0062	2835	519	3267	205	3544	30	80
	0.6313	0.0839	25.444	3.516	0.2924	0.0086	3155	323	3325	127	3431	45	92
	0.1118	0.0148	2.813	0.388	0.1826	0.0051	683	86	1359	98	2676	45	26
	0.4590	0.0610	17.198	2.373	0.2719	0.0077	2435	264	2946	124	3317	44	73
97NPII	I 3-1. Folsic	tuff (Un	it III)										
571111	0.6129	0.0259	24 318	1 4 1 9	0 2878	0.0125	3082	103	3281	55	3406	66	90
а	0.6253	0.0200	26 230	1.506	0.2070	0.0128	3131	103	3355	55	3492	64	90
h	0.6052	0.0253	25 266	1 446	0.3029	0.0120	3051	101	3319	54	3485	63	88
5	0.5931	0.0248	24 459	1 401	0 2992	0.0125	3002	100	3287	54	3466	64	87
а	0.5824	0.0243	23 875	1 355	0 2974	0.0123	2958	98	3263	54	3457	62	86
h	0.5754	0.0210	24 480	1 385	0.3086	0.0126	2930	97	3288	54	3514	62	83
Б	0.6185	0.0258	26.218	1.492	0.3075	0.0120	3104	102	3355	54	3508	63	88
96INS-4	30: Feisic ti	III (Unit	10 500	1.010	0.0001	0.0079	9510	100	2017	00	0074	49	74
	0.4760	0.0462	18.509	1.810	0.2821	0.0078	2010	154	3017	90	3374	43	74
	0.3024	0.0329	14.044	2.017	0.2930	0.0145	1994	104	2792	70	3434	10	58
a b	0.0700	0.0038	29.024	2.917	0.3170	0.0095	2604	240	3474	92	3338	45	94
D	0.7450	0.0728	19 952	1 564	0.3213	0.0032	2562	100	3034	32 77	3363	77	76
	0.4000	0.0445	10.000	1.304	0.2000	0.0142	2303	190	3034	01	2400	11	70
a b	0.0209	0.0011	20.333	2.377	0.3038	0.0085	2706	201	2408	91	3490	42	90
D	0.7709	0.0754	7 886	2.909	0.2032	0.0079	1500	190	3498 2218	92	2862	43	56
a h	0.2797	0.0302	3 316	0.439	0.2045	0.0031	968	115	1485	98	2328	40	42
	0.1021	0.0210	5.510	0.435	0.1404	0.0030	500	115	1405	50	2320	45	12
96NS-5	00: Felsic tu	uff (Unit	IV)										
	0.6326	0.0260	26.367	1.251	0.3023	0.0133	3160	102	3360	45	3482	67	91
	0.5898	0.0243	23.253	1.116	0.2860	0.0128	2989	98	3238	46	3396	68	88
	0.7353	0.0310	30.284	1.530	0.2987	0.0142	3553	114	3496	48	3464	72	103
96NS-5	15: Felsic tu	uff (Unit	IV)										
а	0.5990	0.0528	23.636	2.327	0.2863	0.0087	3026	210	3253	92	3398	46	89
b	0.6332	0.0559	25.766	2.535	0.2952	0.0089	3162	217	3338	92	3445	46	92
	0.6131	0.0542	26.225	2.595	0.3104	0.0099	3082	213	3355	92	3523	48	88



図 3 SHRIMP および LA-ICPMS による PMA7 (南極産ジルコン)のコンコーディア図.

Fig. 3 Concordia plot of zircon U-Pb data for the PMA7 sample (East Antarctica) by SHRIMP and LP-ICP-MS. に起きたと考えられる。このような場合,一般に その試料中で最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代をみかけの 最低年代として用いることが多い。本研究の測定 結果もこのケースが多いため,その場合は同様に 最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代を重視して議論する。

1)96NP-208 (アダメロ岩:図4)

測定した4粒8個所の中で,粒子の測定点 aはコンコーダンス99%であり,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代 3404 ± 60 Maを示す。この年代値は,同一試料 産のジルコン(粒子)の中で最も古い3409 ± 45 Maという²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代[測定点 c(コン コーダンス72%)]とほぼ一致する。測定点 c は,測定点 aのプロットから原点への直線 (²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比)上にプロットされ,鉛を失ったの がごく最近であったとみなされる。従って,本ア ダメロ岩中のジルコン晶出年代は3404 ± 60 Ma と判断される。



図 4 ノースポールアダメロ岩 (96NP-208)のコンコーディア図.

Fig. 4 Concordia plot of zircon U-Pb data for North Pole Adamellite (96NP-208).



図 5 ユニット IV 流紋岩 (95NS-281)のコンコーディア図. Fig. 5 Concordia plot of zircon U-Pb data for Unit IV rhyolite (95NS-281).

2) 95NS-281 (ユニット IV, 流紋岩:図5)

本研究によって測定したジルコンはいずれもコ ンコーディアから外れ,プロットは広くばらつく。 最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代値は粒子 の測定点 a (コンコーダンス81%)から得られた3609 ± 31 Maである。この粒子 は,明らかに二次的に鉛 を失ったと考えられるので,結晶として晶出した のは少なくとも36億年前ないしそれ以前とみな される。

3) 97NP III 3-1 (ユニット III, 珪長質凝灰 岩:図6)

各測定点のコンコーダンスは 83 ~ 90%と低い ことから,今回測定した5粒のジルコンはいずれ も形成後に二次的に鉛を失った可能性が高い。そ の中で最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代値 3514 ± 62 Ma が測定点 b(コンコーダンス 83%)から得られ た。おそらくこのジルコン粒子も同様に鉛を失っ ており、最初にマグマから晶出したのは35億年前 以前と考えられる。

4)96NS-430 (ユニット IV, 珪長質凝灰岩: 図7)

測定したジルコンのうち唯一累帯構造をもたな い均質なジルコン (測定点 b)が,コンコー ダンス101%を示し,その²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代は3576 ±44 Maである。他の5つの粒子の値は,累帯構 造をもつジルコンのコアから得られたものだが, いずれもコンコーディア上にプロットされず,さ らに上述の測定点 bよりも若い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代 を示す。従って,珪長質凝灰岩をもたらした火成 活動の年代を3576 ±44 Maとみなすのが妥当で あると考えられる。

5)96NS-500 (ユニット IV, 珪長質凝灰岩: 図 8)

測定したジルコンの中で均質なジルコン が



図 6 ユニット III 珪長質凝灰岩 (97NP III 3-1) のコンコーディア図.

Fig. 6 Concordia plot of zircon U-Pb data for Unit III felsic tuff (97NP III 3-1) コンコーダンス 103% を示し,²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 3464 ± 72 Ma をもつ。一方,粒子 は最も古 い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 3482 ± 67 Ma (コンコーダン ス 91%)を示す。この凝灰岩をもたらした火成活 動は 3482 Ma 以前であるとみなされる。

6)96NS-515 (ユニット IV, 珪長質凝灰岩:図8)

測定点のいずれもがコンコーディアにプロット されない。均質なジルコン が最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 3523 ± 48 Ma (コンコーダンス 88%)を示 す。この凝灰岩をもたらした火成活動は 3523 Ma 以前であるとみなされる。



図 7 ユニット IV 珪長質凝灰岩(96NS-430)のコンコーディア図.



図 8 ユニット IV 珪長質凝灰岩(96NS-500,515)のコンコーディ ア図.

Fig. 8 Concordia plot of zircon U-Pb data for Unit IV felsic tuff (96NS-500, 515).

VI.考察

以上のジルコン U-Pb 年代測定の結果に基づき, それらのノースポール地域における地質学的意義 について議論する。

1)アダメロ岩の年代

今回の LA-IC-PMS による測定値のうち,測定 点 aの²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 3404 ± 60 Ma は,誤差 が大きいもののコンコーディア上にプロットされ る(図4)。また,測定点 cからは,上の値に近 似し,かつ本試料のジルコンで最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 3409 ± 45 Ma が測定された。これら 2 つの 測定値の中間値は, Thorpe *et al.*(1992)による ディスコーディア年代 3459 ± 18 Ma とは約 50 m.y. という有意な差をもつ。

図 4 には Thorpe *et al.* (1992) による TIMS 年代もあわせてプロットした。Thorpe *et al.* (1992) は7つの異なる粒子の測定値からディス コーディアを推定し,ジルコンの晶出年代を 3459 ± 18 Ma とし, 一方で二次的に鉛を失ったイベン トが774 Ma に起きたと解釈した。しかし Thorpe et al.(1992)が主張する774 Ma ころに起きた地 質学的イベントそのものの証拠は,本地域周辺に おける野外調査ではまだ示されておらず,必ずし もその説明は自明ではない。

一方, Thorpe *et al.* (1992)によるアダメロ岩 から得られた年代の中で最も古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代 3418.3 ± 0.13 Maは,本研究による²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年 代値に極めて近い。ただし,本研究によ る²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代の測定誤差は,30~77 m.y.程 度と見積もられるため,誤差範囲内で,かつて Thorpe *et al.* (1992)が報告したみかけのディス コーディア年代と一致する。より精度の高い TIMS が示す²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代の中で最も古い値が 3418.3 ± 0.13 Maであることを考慮すると,本試 料のジルコンの多くは約3420 Maにマグマから 晶出したと考えられる。以上のことから,現時点 ではアダメロ岩の形成年代を3418 Ma あるいは それ以前と考えるのが妥当と判断される。

ノースポールドームの中央部に産するアダメロ 岩は,従来,基盤の大陸性地殻の再溶融による火 成活動の産物とみなされてきた。また,その年代 は周囲の緑色岩とほぼ同じか,あるいはそれより もやや若い3459 ± 18 Ma(太古代前期)とされ てきた。しかし本研究の結果は,従来推定された 年代よりも約40 m.y.若い年代を示唆している。

2)酸性火山岩類の年代

流紋岩質溶岩 95NS-281 の測定値は,いずれも コンコーディアから外れる(図5)。しかし,粒子

以外の測定値はすべて Thorpe *et al.*(1992)が 推定した同岩石形成年代 3458 Ma に近い年代を 示し,よく一致した結果が得られた。

図 5 には Thorpe *et al.* (1992) による TIMS 年代もあわせてプロットした。Thorpe *et al.* (1992) は 5 個のジルコンのうち 4 個の測定値が 3450 Ma付近のコンコーディアに集中するため *A* 個中最もコンコーダンスの高い 1 個の²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代値3458 ± 1.9 Maを流紋岩の噴出年代とした。 以上のことから,流紋岩質溶岩の噴出年代は3458 Ma ころとみなしてよいと判断される。

一方で,彼らはコンコーディアから外れ,3億 年近く古い年代(²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代3723.8±0.9 Ma)を示すジルコンを同時に記載した。しかし, これについては上述のものと年代差が大きいため, 捕獲された外来結晶とみなした。

本研究で測定したジルコンの中で最も古 い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb年代は、測定点 aの3609 ± 31 Ma である。また同一粒子中の測定点 bの値も古く, これら2点だけが,3458 Maより古い²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代を示す(表3)。この粒子 も同様に外来結晶 である可能性が高い。

ユニット IV の珪長質凝灰岩(3 試料)から得ら れた年代値は3482 ~ 3576 Ma を示し, Thorpe et al.(1992)が報告した2つの年代値の間にばら つく。コンコーディアから外れる測定値が多いた め,明解な議論は困難であるが,二次的な鉛の喪 失が不均質に起きたこと,あるいは長期間にわた り間欠的な火成活動が起こった可能性が考えられ る。 また, ユニット III の珪長質凝灰岩(1 試料)か ら得られた年代値は3508 ± 63 Maを示し,ユニッ ト IV の珪長質凝灰岩の年代と重複する。本ユ ニットの珪長質凝灰岩と上述のそれとが, 共通の 火成活動に由来した可能性がある。

3) アダメロ岩と酸性火山岩類の地質学的関係

上述のように,今回の測定によってアダメロ岩 の貫入年代は約3420 Ma,一方で酸性火山岩類の 噴出年代は約3460 Ma およびそれ以前とみなさ れ,前者は後者よりも少なくとも約40 m.y.若いこ とが判明した。すなわち,従来同時期とみなされ てきたアダメロ岩と酸性火山岩類の形成年代が明 瞭に異なる可能性が示された。

従って,酸性火山岩類とアダメロ岩は全く別の 火成活動の産物であり,Thorpe *et al.*(1992)が 考えたように,アダメロ岩と酸性火山岩類とを 各々同成マグマの貫入相と噴出相に対応するとみ なすことは難しいと考えられる。

本研究で明らかになったアダメロ岩と酸性火山 岩類との間の年代的前後関係は,近年明らかにな りつつあるノースポール地域の地質学的観察結果 と整合的である。前述のように,ユニット IV の酸 性火山岩類が海洋地殻物質と密接して産すること から,これらは過去の海溝での付加体形成以前に 海洋地殻上で噴出した岩石と考えられる。これに 対して,アダメロ岩は付加体構成岩としての緑色 岩中に貫入しており,明らかに海溝での付加以後 の産物である。従って,アダメロ岩はその起源か らみても,海洋性の酸性火山岩類より必然的に若 くなくてはならないからである。

VII.まとめ

西オーストラリア,ノースポール産の太古代酸 性貫入岩・火山岩類のジルコンの U-Pb 年代を LA-ICP-MSを用いて測定した結果,以下の新知見 を得た。

1.アダメロ岩は 3404 ± 60 Ma というコンコー ディア年代をもつ。TIMS による²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年代 を考慮すると,同岩体の年代は約 3420 Ma と考え られる。

2. 珪長質凝灰岩から得られた年代値は 3482~

3576 Ma とばらつくが , いずれも 3480 Ma より も古い。

3. 流紋岩質溶岩の測定値はいずれもコンコー ディアを示さないが, ほとんどの測定値は Thorpe *et al.* (1992)が報告した TIMS によるコ ンコーディア年代 3458 Ma に近い年代を示す。 同溶岩の噴出年代は約 3460 Ma ないしそれ以前 と推定される。

4.アダメロ岩の貫入年代は酸性火山岩類の噴出 年代よりも少なくとも約40m.y.若い。従来,両 岩体は同時期に形成されたとみなされてきたが, 全く別の火成活動の産物であると考えられる。

謝辞

ノースポール地域での野外調査・試料採取において, 寺林 優,北島宏輝,上野雄一郎,角田地文,恒松知樹, 鈴木良剛,小宮 剛,太田 宏,加藤泰浩諸氏の助力を 得た。年代測定に関して稲垣賢一氏に,ジルコン分離に 関して(株)京都フィッショントラックの壇原 徹, 岩野英樹,吉岡 哲諸氏に様々な協力,助言を頂いた。 また,本研究で分析した南極産ジルコン(PMA7)はフ ランス Rennes 大学 J.J. Peucat 博士にいただいた。以 上の方々に深く感謝する。なお本研究を遂行するにあ たっては文部省科学研究費補助金(国際学術研究,研究 代表者,磯 行雄:課題番号 08041102)を使用した。

文 献

- Barley, M.E., Dunlop, J.S.R., Glover, J.E. and Groves, D.I. (1979) Sedimentary evidence for an Archaean shallow-water volcanic-sedimentary facies, Eastern Pilbara Block, Western Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **43**, 74 84.
- Bowring, S.A., Williams, I.S. and Compston, W. (1989) 3.96 Ga gneisses from the Slave province, Northwest Territories, Canada. *Geology*, 17, 971 975.
- Buick, R. and Dunlop, J.S.R. (1990). Evaporitic sediments of Early Archean age from the Warrawoona Group, North Pole, Western Australia. *Sedimentology*, **37**, 247 277.
- Buick, R., Thornett, J.R., McNaughton, N.J., Smith, J.B., Barley, M.E. and Savage, M. (1995) Record of emergent continental crust -3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia. *Nature*, **375**, 574 577.
- Condie, K.C. (1989) Plate Tectonics and Crustal Evolution, 3rd ed. Pargamon.
- Compston, W. and Pidgeon, R.T. (1986). Jack Hills,

evidence of more very old zircons in Western Australia. *Nature*, **321**, 766 769.

- DiMarco, M.J. and Lowe, D.R. (1989) Stratigraphy and sedimentology of an early Archean felsic volcanic sequence, Eastern Pilbara block, Western Australia, with special reference to the Duffer Formation and implications for crustal evolution. *Precambrian Res.*, **44**, 147 169.
- Feng, R., Machado, N. and Ludden, J. (1993) Lead geochronology of zircon by LaserProbe-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LP-ICPMS) Geochim. Cosmochim. Acta, 57, 3479 3486.
- Froude, D.O., Ireland, T.R., Kinny, P.D., Williams, I.S., Compston, W., Williams, I.R. and Myers, J.S. (1983). Ion microscope identification of 4,100-4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **304**, 616 618.
- Fryer, B.J., Jackson, S.E. and Longerich, H.P. (1993) The application of laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ (U)-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, **109**, 1 8.
- Gray, A.L. (1985) Solid sample introduction by Laser Ablation for Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Analyst*, **110**, 551 556.
- Geological Survey of Western Australia (1990). Geology and Mineral Resources of Western Australia. Western Australia Geological Survey, Memoir 3.
- Hickman, A.H. (1980). Lithological Map and Stratigraphic Interpretation of the Pilbara Block, 1:1,000,000 Scale. Western Australia Geological Survey.
- Hickman, A.H. (1981). Crustal evolution of the Pilbara block, Western Australia. *Spec. Publs. Geol. Soc. Aust.*, 7, 57 70.
- Hickman, A.H. (1983). Geology of the Pilbara Block and its Environs. Geol. Surv. West. Aust. Bull., no.127.
- Hickman, A.H. (1990). *Pilbara and Hamersley Basin.* Exc. Guidebook, 3rd Int. Archean Symp.
- Hickman, A.H. and Lipple, S.L. (1978) Marble Bar, W. A. West. Australia Geol. Survey 1: 250,000 Geol. Series Explan. Notes.
- Hirata, T. and Nesbitt, R.W. (1995) U-Pb isotope geochronology of zircon: Evaluation of the laser probe-inductively coupled plasma mass spectrometry technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 2491 2500.
- Isozaki, Y., Maruyama, S. and Kimura, G. (1991): Middle Archean (3.3 Ga) Cleaverville accretionary complex in northwestern Pilbara block, Western Australia. EOS, 72, 542.
- 磯 行雄・寺林 優・椛島太郎・角田地文・恒松知樹・ 鈴木良剛・小宮 剛・丸山茂徳・加藤泰浩(1995) "35億年前最古ストロマトライト"の正体 西オース

トラリア,ピルバラ産,太古代中央海嶺の熱水性堆積物.月刊地球,17,476481.

- Isozaki, Y., Kabashima, T., Ueno, Y., Kitajima, K., Maruyama, S., Kato, Y. and Terabayashi, M. (1997) Early Archean mid-oceanic ridge rocks and early life in the Pilbara Craton, W. Australia. EOS, 78, 399.
- 椛島太郎・寺林 優(1998)35億年前の付加体の実証. 科学,68,751754.
- Kimura, G., Maruyama, S. and Isozaki, Y. (1991) Early Archean accretionary complex in the eastern Pilbara craton, Western Australia Detailed field occurrence in the Marble Bar area . *EOS*, **72**, 542.
- Maruyama, S., Isozaki, Y. and Kimura, G. (1991). Is the Mid-Archean barite formation from the Pilbara craton, Australia under the deep-sea environment? *EOS*, **72**, 532.
- Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991): Well-documented travel history of Mesozoic pelagic chert in Japan: From remote ocean to subduction zone. *Tectonics*, **10**, 475–499.
- McNaughton, N.J., Green, M.D., Compston, W. and Williams, I.S. (1988). Are anorthositic rocks basement to the Pilbara Craton? *Geol. Soc. Aust. Conv.*, **21**, 272–273.
- McNaughton, N.J., Compston, W. and Barley, M.E. (1993) Constraints on the age of the Warrawoona Group, eastern Pilbara Block, Western Australia. *Precambrian Res.*, **60**, 69 98.
- Menot, R.P., Peucat, J.J., Monnier, O. and Fanning, C.M. (1993): Archaean and Early Proterozoic terrains in Terre Adelie (66.5S-141.25E). East Antarctica. *The Tectonics of East Antarctica*; *International Symposium Oct. 1993, 13 14* (*abstr.*)
- Nijman, W., de Bruijne, K. (C.) H. and Valkering, M.E. (1998): Growth fault control of Early Archaean cherts, barite mounds and chert-barite veins, North Pole Dome, Eastern Pilbara, Western Australia. *Precambrian Res.*, **88**, 25 52.
- 太田 宏·丸山茂徳 (1996) 初期地球のテクトニクスと マントルの進化.日本惑星科学会誌,5,133 143.
- Ohta, H., Maruyama, S., Takahashi, E., Watanabe, Y. and Kato, Y. (1996) Field occurrence, geochemistry and petrogenesis of the Archean Mid-Oceanic Ridge Basalts (AMORBs) of the Cleaverville area, Pilbara Craton, Western Australia. *Lithos*, **37**, 199 221.

- Pidgeon, R.T. (1978) 3450-m.y.-old volcanics in the Archaean layered greenstone succession of the Pilbara Block, Western Australia. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37, 421 428.
- Pidgeon, R.T. (1984) Geochronological constraints on early volcanic evolution of the Pilbara Block, Western Australia. J. Geol. Soc. Australia, 31, 237 242.
- Stacey, J.S. and Kramers, J.D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a twostage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, 207 221.
- Steiger, R.H. and Jager, E. (1977) Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in Geo- and Cosmo- chronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359–362.
- Tatsumoto M., Knight R.J. and Allegre C.J. (1973). Time differences in the formation of meteorites as determined from the ratio of lead-207 to lead-206. *Science*, **180**, 1279–1283.
- Trendall, A.F., Compston, W., Williams, I.S., Armstrong, R.A., Arndt, N.T., McNaughton, N.J., Nelson, D.R., Barley, M.E., Beukes, N.J., De Laeter, J.R., Retief, E.A., Welke, H.J. and Thorne, A.M. (1990) Precise zircon U-Pb chronological comparison of the volcano-sedimentary sequences of the Kaapvaal and Pilbara Cratons between about 3.1 and 2.4 Ga. In Glover, J.E. and Ho, S.E. eds.: Third International Archean Symposium, Perth, 1990, Extended Abstracts Volume. Geoconferences (W.A.) Inc.
- Thorpe, R.I., Hickman, A.H., Davis, D.W., Mortensen, J.K. and Trendall, A.F. (1992) U-Pb zircon geochronology of Archean felsic units in the Marble Bar region, Pilbara Craton, Western Australia. *Precambrian Res.*, 56, 169 189.
- Van Kranendonk, M. (1999). North Shaw, W.A. Sheet 2755: Western Australia Geological Survey, 1: 100,000 Geological Series.
- Walder, A.J., Abell, I.D., Platzner, I. and Freedman P.A. (1993) Lead isotope ratio measurements of NIST 610 glass by laser ablation inductively coupled mass spectrometry. *Spectrochim. Acta*, **48B**, 397 402.
- Wetherill, G.W. (1956) Discordant uranium-lead ages. Trans. Amer. Geophys. Union, 37, 320 326.
- Windley, B.F. (1995). *The Evolving Continents, 3rd ed.* Wiley.

(2002年7月12日受付,2002年9月3日受理)