

ジルコン結晶形とU-Pb年代 安間 了*

Crystal Morphology and U-Pb age of Zircon Ryo Anma*

* 筑波大学生命環境系, Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba.

はじめに

ジルコンを用いたU-Pb年代測定法は、大陸地殻構成岩や碎屑性堆積物のみならず、近年では海洋地殻構成岩の年代測定にも適用され、おおくの新知見をもたらしつつある。年代測定の高精度化に伴い、最近では花崗岩の貫入機構にも制約を与え始めている。たとえば、Glaznerほか (2004) は、Tuolumne岩体のジルコンU-Pb年代から、1,000万年におよぶ長期間にわたって活動したマグマが貫入して正累帯構造を持つ長径40 kmに及ぶ岩体を形成したことをあきらかにした。また、貫入レベルに定置したマグマ溜まりは100万年程度で冷却してしまうことを数値実験で明らかにし、ダイアピル貫入のような定置モデルは否定されると考えた。この数値実験は、ジルコンU-Pb法を用いてマグマ溜まりの熱史を明らかにするためには、10万年程度の誤差範囲で年代を求める必要があることを示している。

海洋底から掘削された斑禰岩からジルコンU-Pb年代を測定した例がインド洋 (Schwartz et al., 2005) と大西洋 (Grimes et al., 2008; Lissenberg et al., 2009) から報告され、低速拡大軸では100年以上にわたって活動的であったマグマ溜まりから海洋地殻が生成する描像が明らかになりつつある。一方、片側拡大速度が10 cm/yを越すような高速拡大軸では、生成されつつある海洋地殻は100万年のあいだに100 kmも移動してしまうので、その下に長期間にわたって活動的なマグマ溜まりがあるとは考えにくい。それにもかかわらず、測定されたU-Pb年代は100年以上の年代幅を持ち、それらの加重平均を取ってジルコンU-Pb年代としているのが現状である。

このように、現在の研究の動向は、10万年以下の誤差範囲で、マグマ溜まりの熱史 (冷却史) を求めることを要求しているが、現状ではこのような精度で測定を行うのは難しい。ジルコンは本質的に累帯組織をもち、一粒子の中でもコア年代と

リム年代に違いがあることは一般に認められる。したがって、CA-TIMSによるU-Pb年代は累帯したジルコンの平均年代を高精度で求めている可能性もある。また、SHRIMPやLA-ICPMSはスポット年代を得ることができるが、精度や確度において劣り、十分な議論できないといった手法上の問題がある。さらに、一試料の中でもさまざまな色や結晶形、内部組織をもつジルコンが混在することはよく知られており、このような多様なジルコンから得られた年代を解釈する規範に乏しいことも、U-Pb年代の議論を精緻化するのを妨げている。ここでは、ジルコンの結晶形に着目して、U-Pb年代論の高精度化への可能性を模索する。

花崗岩のジルコン結晶形

花崗岩試料から分離したジルコンは完全自形をもつが、その結晶形は多様である。Pupin (1980) は、M-type花崗岩では低い錐面指数を持つジルコン結晶は、冷却と共に柱面を[100]型から[110]型に移行すること、パーアルミナスな花崗岩では高い錐面指数を持つやや[110]型ジルコンから、低い錐面指数を持つ完全[110]型ジルコンに移行していくことを提案し、これをTypology Evolution Trend (T.E.T)とした。また柱面指数は温度と相関があることを提案した。

安間ほか (1989) は、南九州に分布する中新世花崗岩類からジルコン結晶を分離し、長石温度計が高い値を示すI-typeの大崩山花崗岩や紫尾山花崗岩では[100]型が卓越するのに対して、低い温度を示すS-typeの屋久島花崗岩や南大隅花崗岩では[110]型が卓越すること、これらの中に分布する市房山岩体や尾鈴山岩体では中間型の結晶形を持つことを示した。したがって、高温で晶出したと考えられる[100]型のジルコンは、低温で晶出する[110]型ジルコンよりも古い年代を示すことが期待される。

屋久島花崗岩から分離したジルコンの結晶形は[110]型が卓越するが、その形状は多様であり、粒

径はlog normalな分布を示す。ここで、結晶の大きさは、晶出する時間に関係すると期待されるので、粒径ごとに区間を分け、それぞれの粒径で結晶形を記載したところ、小さな結晶は縦横比が大きな成長形を示し、大きな結晶は縦横比が小さな平衡形を持つという、有意な差が見られた(図1)。大きな結晶は[100]面の成長をしめして柱面指数(林, 1990)は大きく、小さな結晶は柱面指数が小さく、完全[110]型の結晶形を持つ傾向が見られた。

結晶形とU-Pb年代

屋久島花崗岩体の7試料から分離したジルコンについてオーストラリア国立大学(ANU)設置のSHRIMP IIを用いてU-Pb年代を測定した(図2; 表1)。測定数が少ないため、一岩体のデータをまとめて、全体的な傾向を議論する。屋久島花崗岩のジルコンには、白亜紀年代を示すリサイクル・コアをもつものが多いが、もっとも古いものは16.5億年の年代を示す。リムは中新世のコンコーディア年代をもち、それらの加重平均は 14.88 ± 0.32 Maである(図3)が、16.2 Maから13.5 Maの年代を示すものまでほぼ連続的にジルコンの晶出があったようである。もっとも若い年代を示すジルコンは、岩体周縁部と岩体中央部で採取されたYMG10試料(13.5 ± 0.1 Ma)とYYG01試料(13.7 ± 0.2 Ma)から得られた。岩体中央部と周辺部に若い年代を示すジルコンが分布することから、やや複雑な貫入冷却史が期待される。花崗岩貫入史が単純ではなさそうなおうえ、年代測定数が一試料につき10スポット以下であったことから、ジルコン結晶形とU-Pb年代の関係についてまとめた考察をするのは困難であるが、測定した範囲内では、縦横比が大きく伸張したジルコン(図3の挿図に中抜きで示したデータ)は、複数の試料にまたがってまとまりのよい、やや古い中新世コンコーディア年代をもつことが明らかになった。したがって、マグマ溜まりの中である早い時期に、成長形を示すジルコンが急激に晶出した可能性が示唆される。[100]面を発達させたジルコンが古い年代をもつ傾向は見られなかった。

まとめ

Pupin (1980)が提唱したTypology Evolution Trendは有効な概念である。粒径ごとに結晶形を比較したとき、柱面指数や錐面指数よりも、伸張

指数に統計的に有意な差が見られた。小さい結晶は伸張指数が大きく、成長形を示す。成長形を示すジルコンはやや古めのU-Pb年代にまとまり、マグマ溜まりの中でジルコンが急激に成長した時期があったことを示唆する。結晶形を記載しながらU-Pb年代を測定していくことで、花崗岩の貫入冷却史や活動継続期間を精度よく見積もることができる可能性が示唆された。

引用文献

- 安間 了・松田高明・Armstrong, R. (2003) 屋久島花崗岩のフィッシュトラックおよびウラン鉛年代. 科学研究費補助金(課題番号12308004)研究成果報告書, 165-178.
- 安間 了・林 正雄・大四雅弘(1989) 琉球弧における新生代酸性火成岩類のジルコン形状分布. 三鉱学会講演要旨集, 新潟, 163.
- Glazner A. F., Bartley J. M., Coleman, D. S., Gray, W., Taylor, R. Z. (2004) Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? *GSA Today*, 14, doi:10.1130/1052-5173(2004)014<0004:APAO MO>2.0.CO;2
- Grimes, C. B., John, B. E., Cheadle, M. J., Wooden, J. L. (2008) Protracted construction of gabbroic crust at a slow spreading ridge: Constraints from 206Pb/238U zircon ages from Atlantis Massif and IODP Hole U1309D (30_N, MAR). *Geochem. Geophys. Geosyst.* 9, Q08012, doi:10.1029/2008GC002063.
- 林 正雄(1990) ジルコンの結晶形態と地球科学への応用. *地質学雑誌* 96, 117-123.
- Lissenberg, C.J., Rioux, M., Shimizu, N., Bowring, S. A., Mevel, C. (2009) Zircon dating of oceanic crustal accretion. *Science* 323, 1048-1050.
- Pupin, J. P. (1980) Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.* 73, 207-220.
- Schwartz, J., John, B. E., Cheadle, M. J., Miranda, E., Grimes, C. B., Wooden, J., Dick, H. J. B. (2005) Inherited zircon and the magmatic construction of oceanic crust. *Science* 310, 654-657.

Table 1. Summary of SHRIMP U-Pb zircon data for all samples from the Yakushima granite

Grain.Spot	(2) % ²⁰⁶ Pb ₂	ppm U	ppm Th	²³² Th / ²³⁸ U	ppm ²⁰⁶ Pb*	(1) ²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U Age	(2) ²⁰⁶ Pb / ²³⁸ U Age	(1) ²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb Age	% Dis- cord- ant	Total ²³⁸ U / ²⁰⁶ Pb ±%	Total ²⁰⁷ Pb / ²⁰⁶ Pb ±%	(1) ²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb* ±%	(1) ²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U ±%	(1) ²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U ±%	err corr
YMG05															
YMG05-1.1	1.35	675	194	0.30	169	1,648 ±33	1,629 36	1,822 14	10	3.431 2.2	0.112 0.75	0.1114 0.77	4.47 2.4	0.2913 2.2	.946
YMG19															
YMG19-1.1	0.67	151	123	0.84	2.1	102.5 ±1.4	103.1 1.3	-130 ±330	179	61.62 1.2	0.053 4.6	0.0437 13	0.096 13	0.01603 1.4	.103
YMG19-1.2	0.63	1497	240	0.17	3.08	15.43 ±0.14	15.33 0.14	255 ± 89	94	417.3 0.9	0.051 3.9	0.0513 3.9	0.017 4	0.0024 0.9	.227
YMG19-1.3	0.55	1179	109	0.10	2.4	15.3 0.2	15.1 0.2	520 221	97	425.05 1.3	.0506 7.5	0.0578 10.1	0.02 10.2	0.0024 1.4	.136
YMG19-1.4	1.95	872	81	0.10	1.8	15.3 0.3	15.5 0.3	-862 937	102	407.31 1.8	.0618 5.1	0.0329 33.3	0.01 32.7	0.0024 2.1	.064
YMG11															
YMG11-2.1	-0.18	682	80	0.12	1.3	13.6 0.3	14.3 0.2	-	-	451.27 1.5	.0449 6.2	-	-	0.0021 1.9	-
YMG11-2.2	4.19	227	71	0.32	0.5	14.5 1.3	15.8 0.4	-	-	389.26 2.2	.0794 10.1	-	-	0.0023 7.9	-
YMG11-2.3	2.03	570	93	0.17	1.1	14.9 0.2	14.6 0.3	686 200	98	432.06 1.6	.0624 9.4	0.0624 9.4	0.02 9.5	0.0023 1.6	.164
YMG11-3.1	0.73	1537	122	0.08	3.2	15.0 0.2	15.4 0.2	-	-	415.81 1.1	.0521 3.6	-	-	0.0023 1.3	-
YMG11-3.2	3.03	228	50	0.23	0.5	15.0 0.8	15.7 0.6	-	-	398.79 4.0	.0703 11.3	-	-	0.0023 4.9	-
YMG11-4.1	6.66	534	68	0.13	37.0	500.0 11.2	467.9 10.7	1807 32	72	12.40 2.3	.1104 1.8	0.1104 1.8	1.23 2.9	0.0807 2.3	.796
YMG11-4.2	0.21	383	49	0.13	0.8	15.1 0.4	15.9 0.3	-	-	402.98 1.8	.0480 9.6	-	-	0.0023 2.2	-
YMG11-5.1	0.23	2248	102	0.05	4.7	15.6 0.2	15.6 0.2	201 79	92	412.82 1.3	.0482 3.1	0.0501 3.4	0.02 3.7	0.0024 1.3	.360
YMG16															
YMG16-1.1	1.68	289	83	0.30	0.6	15.7 0.3	15.5 0.3	591 167	97	408.91 2.0	.0596 7.7	0.0596 7.7	0.02 8.0	0.0024 2.0	.255
YMG16-1.2	0.37	2436	183	0.08	4.9	15.2 0.2	15.2 0.2	-23 130	165	423.22 1.3	.0493 3.0	0.0456 5.4	0.01 5.5	0.0024 1.3	.236
YMG16-2.1	-0.04	4526	705	0.16	9.5	15.7 0.1	15.8 0.1	-150 104	110	408.33 0.9	.0460 2.1	0.0433 4.2	0.01 4.3	0.0024 0.9	.209
YMG16-3.1	0.06	417	97	0.24	24.3	422.2 14.6	422.3 14.8	406 39	-4	14.76 3.6	.0557 1.6	0.0548 1.7	0.51 4.0	0.0677 3.6	.900
YMG16-3.2	0.83	2845	309	0.11	5.5	14.4 0.1	14.3 0.1	22 133	36	445.35 1.0	.0529 3.3	0.0464 5.6	0.01 5.6	0.0022 1.0	.178
YMG16-4.1	10.70	800	69	0.09	1.7	14.7 0.6	14.0 0.2	1018 777	99	409.59 1.4	.1309 3.6	0.0730 38.9	0.02 38.5	0.0023 3.5	.090
YMG10															
YMG10-1.1	-0.05	484	123	0.26	1.0	15.5 0.5	16.2 0.4	-	-	398.60 2.2	.0459 6.7	-	-	0.0024 3.2	-
YMG10-1.2	0.50	553	71	0.13	1.1	14.6 0.3	14.8 0.2	-1091 793	101	431.89 1.6	.0502 6.0	0.0305 26.6	0.01 26.3	0.0023 1.8	.068
YMG10-2.1	0.53	1143	76	0.07	2.1	13.9 0.2	13.9 0.2	-84 205	117	460.97 1.3	.0505 4.5	0.0444 8.4	0.01 8.5	0.0022 1.3	.153
YMG10-2.2	-0.21	2153	141	0.07	3.9	13.5 0.2	13.5 0.1	214 192	94	478.79 1.0	.0447 3.4	0.0505 8.3	0.01 8.4	0.0021 1.1	.136
YMG10-3.1	4.05	368	67	0.19	62.2	1154.2 17.4	1112.9 17.7	1790 15	36	5.09 1.6	.1108 0.7	0.1094 0.8	2.96 1.9	0.1961 1.6	.889
YMG10-3.2	28.47	380	66	0.18	1.0	13.1 1.4	13.7 0.5	-	-	335.24 1.7	.2713 6.9	-	-	-	-
YMG10-4.1	10.09	346	77	0.23	81.1	1554.6 56.2	1414.2 55.5	2611 7	40	3.67 4.1	.1757 0.4	0.1755 0.4	6.60 4.1	0.2727 4.1	.995
YMG10-5.1	0.00	273	235	0.89	3.4	93.6 1.4	94.2 1.4	-234 216	140	67.95 1.5	.0479 3.5	0.0418 8.6	0.08 8.7	0.0146 1.5	.172
YMG10-6.1	1.32	286	39	0.14	0.6	13.2 0.7	14.8 0.3	-	-	430.25 2.1	.0567 7.8	-0.0648 66.7	-0.02 67.1	0.0020 4.6	.068
YYG01															
YYG01-1.1	0.01	1344	869	0.67	20.4	113.0 1.1	113.0 1.1	118 36	4	56.53 1.0	.0484 1.5	0.0484 1.5	0.12 1.8	0.0177 1.0	.547
YYG01-1.2	1.18	849	356	0.43	11.9	103.5 1.0	103.2 0.9	177 171	41	61.26 0.9	.0574 2.4	0.0496 7.4	0.11 7.4	0.0162 1.0	.132
YYG01-2.1	0.19	382	341	0.92	5.2	100.3 1.1	100.6 1.1	-61 118	264	63.46 1.1	.0496 3.3	0.0449 4.8	0.10 5.0	0.0157 1.1	.227
YYG01-3.1	-0.08	1091	719	0.68	8.5	58.4 0.8	58.4 0.8	26 127	-127	109.96 1.3	.0465 5.3	0.0465 5.3	0.06 5.5	0.0091 1.3	.241
YYG01-4.1	9.49	4568	803	0.18	10.9	16.3 0.4	16.1 0.2	428 646	96	361.40 1.2	.1213 4.2	0.0554 29.0	0.02 29.1	.0025 2.3	.079
YYG01-5.2	2.22	746	228	0.32	1.4	14.0 0.2	13.7 0.2	737 137	98	459.60 1.6	.0639 6.5	0.0639 6.5	0.02 6.7	.0022 1.6	.236
YYG01-5.3	0.36	403	113	0.29	0.8	15.2 0.3	15.1 0.3	157 178	90	424.72 1.9	.0492 7.6	0.0492 7.6	0.02 7.9	.0024 1.9	.244
YYG01-5.4	0.29	1087	379	0.36	2.2	15.0 0.2	15.0 0.2	128 105	88	428.51 1.4	.0486 4.5	0.0486 4.5	0.02 4.7	.0023 1.4	.289
YYG01-6.1	0.08	1124	736	0.68	9.5	62.9 0.8	62.9 0.8	94 83	33	101.97 1.3	.0479 3.5	0.0479 3.5	0.06 3.7	.0098 1.3	.347
YMG08															
YMG08-1.1	0.21	557	488	0.91	7.96	106.2 ±1.1	106.2 1.1	69 ± 65	-54	60.06 1.1	0.05 2.2	0.0474 2.8	0.1085 2.9	0.0166 1.1	.363
YMG08-1.2	0.32	756	62	0.08	1.54	14.92 ±0.23	15.2 0.2	-1.432 ±690	101	421.4 1.4	0.049 7.6	0.0273 22	0.0088 21	0.00232 1.5	.072

Errors are 1-sigma; Pb_c and Pb* indicate the common and radiogenic portions, respectively.

Error in Standard calibration was 0.48% (not included in above errors but required when comparing data from different mounts).

(1) Common Pb corrected using measured ²⁰⁴Pb.

(2) Common Pb corrected by assuming ²⁰⁶Pb/²³⁸U-²⁰⁷Pb/²³⁵U age-concordance

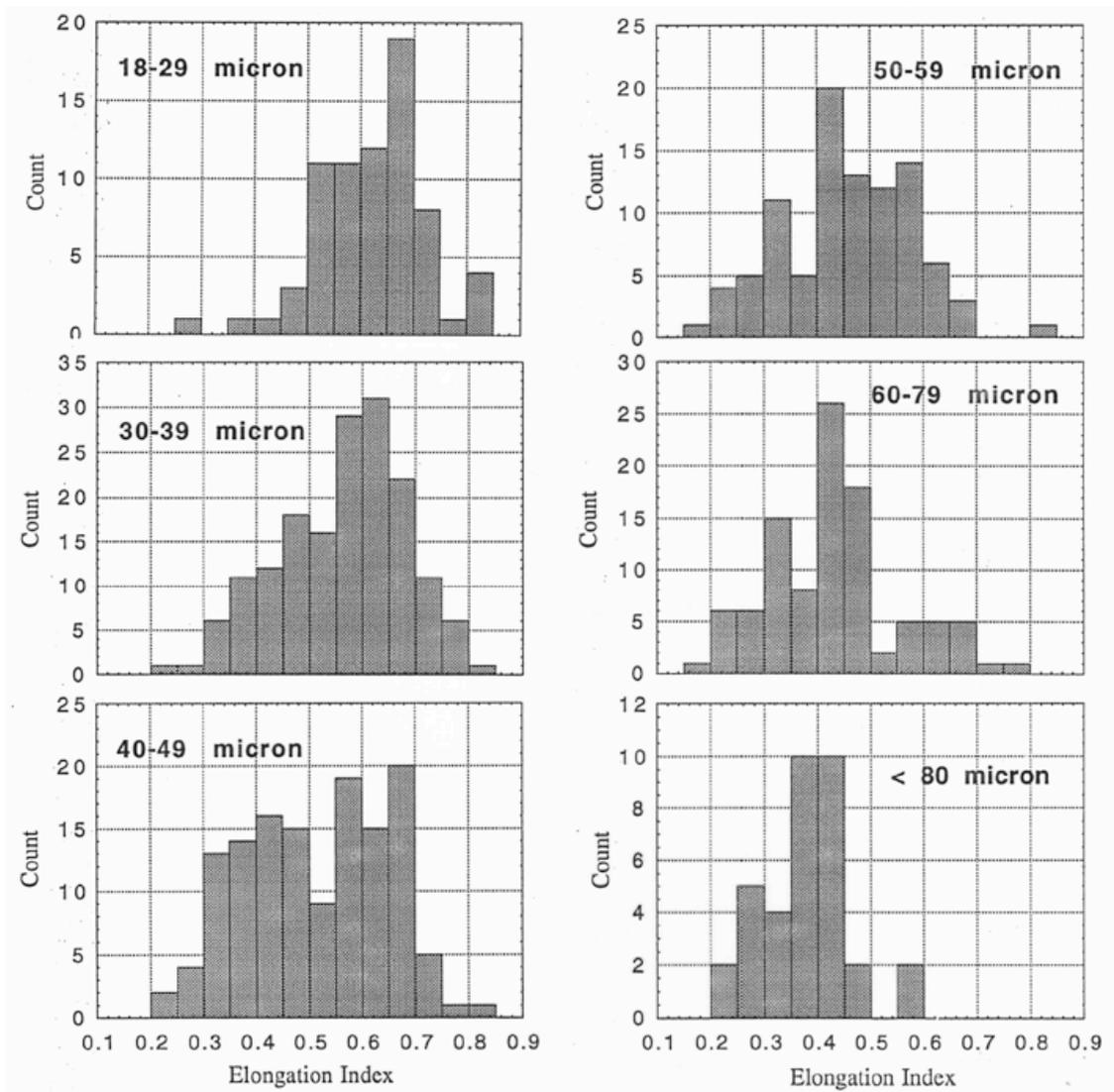


図1. 屋久島花崗岩にふくまれるジルコン結晶の伸張係数 (林, 1990) の結晶粒径 (幅) ごとの頻度分布. 粒径の小さなジルコンには伸張したものが多い.

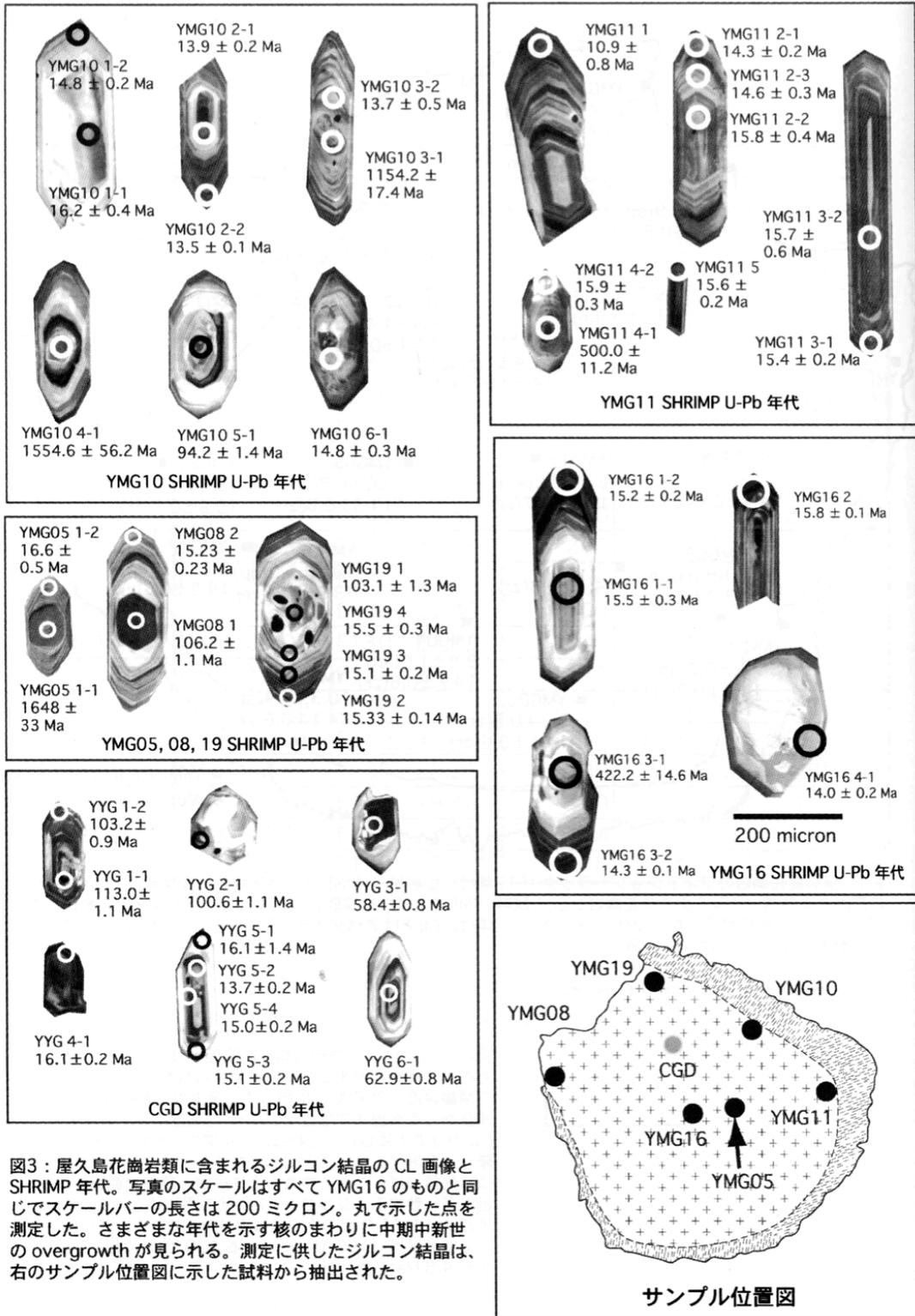


図2. 屋久島花崗岩のジルコンとU-Pb年代 (安間ほか, 2003より転載) .

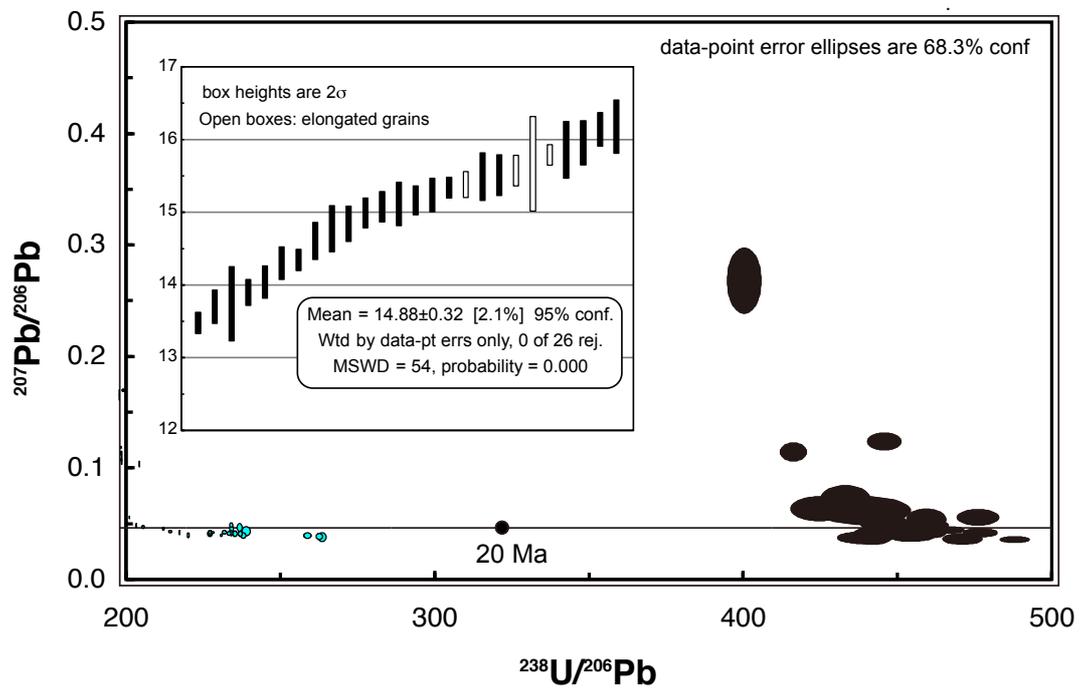


図3. 屋久島花崗岩のジルコンU-Pb年代のTera-Wasserburgプロット. 挿図は中新世のコンコーディア年代を示す粒子を抽出して加重平均を求めたもの.