

鹿児島県薩摩半島地域の四万十帯堆積岩類に関する 中性子放射化分析

鈴木 達郎*

(2002年10月15日 受理)

Instrumental Neutron Activation Analysis for Sedimentary Rocks from the Shimanto Terrane of Satsuma Peninsula, Kagoshima Prefecture, South Kyushu, Japan

Tatsuo SUZUKI

Instrumental neutron activation analysis was carried out for eight sandstones and four shales from the sedimentary rocks of the Shimanto terrane of Satsuma Peninsula, Kagoshima Prefecture, southern Kyushu, Japan. Fission-track dating of zircons was also tentatively applied to granitic cobbles derived from the basement rocks to the sedimentary rocks. These data are useful to clear not only the characterization of the sedimentary rocks but also the sedimentary history in the Shimanto terrane of this area.

1. 緒言

南九州は地質学的には西南日本外帯に属し、鹿児島県はそのなかでもほとんどが四万十帯に含まれる。四万十帯は白亜系とみられる四万十帯北帯と古第三系とみられる四万十帯南帯に分けられている（例えば、宇都ほか，1997）。薩摩半島や北薩地方の基盤をなすものはほぼ四万十帯北帯に属する堆積岩類であり、それを新第三紀以降の火山岩類が覆っている。とくに第四紀のいわゆるシラスなど大規模火砕流に厚く覆われている。薩摩半島地域の四万十帯については、近接地域に橋本（1962a・1962b）や米田・岩松（1987）はあるが、この地域には金属鉱業事業団（1983）による調査・研究があるだけで従来その地質構造のみならず堆積岩類の詳細についての研究は不十分であった。その地質構造についても宮崎県・大分県で近年詳しく調べられている（寺岡・奥村，1992；など）が、この地域は鹿児島湾形成のもとになっていると思われる鹿児島地溝などの特殊な問題があるにもかかわらず良好な露頭が不足するために地層の追跡が不十分で、未だ十分に明らか

*鹿児島大学教育学部 Faculty of Education, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

になっているとはいい難い。この地域においては堆積岩類の詳細な性質を検討することがそのような問題解決にも有効であると考えられる。そのとき機器中性子放射化分析 (INAA) によれば、多数の試料について多元素同時分析が可能であるので、堆積岩類の特徴の把握が容易にできると期待できる。またフィッション・トラック年代測定によれば、砕屑性のジルコン・アパタイトを含めてその起源を議論するデータが容易に得られるだけでなく、その地域の熱史についてのデータも得られると期待できる。これらの観点から南九州地域の基盤をなす古期岩類、とくに四万十帯における堆積岩類の検討を行ってきている。現在まだ進行中の研究であるが、ここでは今までに得られた結果を報告する。

なお本稿は鈴木 (2002b) の一部を加筆・改訂したものである。

2. 分析試料

南九州に広く分布する四万十帯から、鹿児島県下の阿久根市、日置郡吹上町、日置郡金峰町、川辺郡川辺町、鹿児島市、川辺郡知覧町、揖宿郡喜入町、川辺郡笠沙町から頁岩・砂岩を採取した。砂岩試料はとくに厚層の砂岩層を選んでいる。今回 INAA による分析値を報告するのは、砂岩 8 点、頁岩 4 点の合計 12 点である (Table 1, Fig. 1)。

この地域の四万十帯を構成する堆積岩類の地質時代は、通産省資源エネルギー庁 (1981)・松本ほか (1973) から中生代白亜紀と考えられている。

3. 中性子放射化分析

中性子放射化分析法による元素定量のための試料作成は以下のようにおこなった。採取したそれぞれ数kg以上の原岩試料をまず数cm大にして、さらにジョークラッシュャーで粉碎し数mm大にする。これを縮分器で縮分して数100g程度にする。さらに縮分して数g程度にしたものをメノウ製ボールミルで微粉末とする。この粉末試料を110℃ 1晩乾燥し、ポリエチレン製の薄手の袋に100mgから200mg程度を秤量して照射試料とする。目的試料20個から30個に USGS (アメリカ合衆国地質調査所) の標準岩石試料 G-2・AGV-1 および GSJ (通産省工業技術院地質調査所, 現 産業技術

Table 1. 分析試料

Sp. No.	岩石名	採取地
S85	細粒砂岩	阿久根市大川表川内
H71	頁岩	日置郡吹上町北平
S87	中粒砂岩	日置郡吹上町北平
H68	頁岩	日置郡金峰町和田
H63	頁岩	日置郡金峰町和田
S88	細粒砂岩	日置郡金峰町厚佐野
S82	中粒砂岩	日置郡金峰町池辺門前
H77	頁岩	日置郡金峰町金峰山
S83	中粒砂岩	日置郡金峰町白川
S89	中粒砂岩	日置郡金峰町新山
S90	中粒砂岩	揖宿郡喜入町樋高
S86	細粒砂岩	川辺郡笠沙町高崎
Eg-Zr	花崗岩礫	日置郡東市来町江口浜
Kz-Zr	花崗岩礫	川辺郡笠沙町高崎

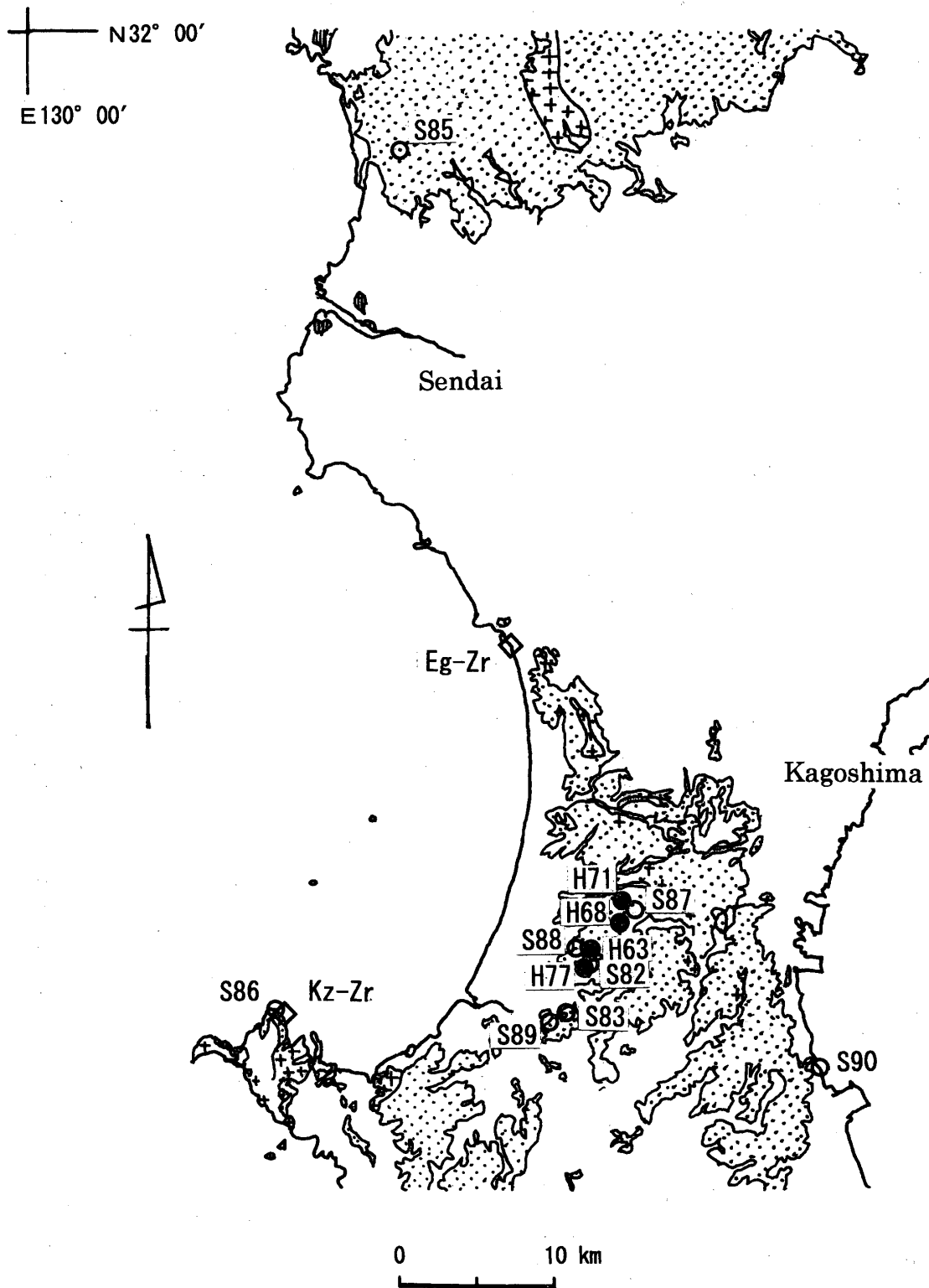


Fig. 1 四万十帯堆積岩類の分布と試料採取地点

地質分布は、主として宇都ほか(1997)によった。縦線部は秩父・三宝帯、斑点部は四万十帯、十字印は新第三紀花崗岩類である。また、白丸：砂岩、黒丸：頁岩、菱形：花崗岩礫、の採取地点を示す。

Table 2. 四万十帯砂岩・頁岩のINAAによる元素組成

Element or Constituent	Nuclide	S85	H71	S87	H68	H63	S88	S82
Na ₂ O (%)	Na-24	4.94 ±0.017	4.22 ±0.027	4.29 ±0.018	3.34 ±0.021	1.54 ±0.012	2.59 ±0.013	4.64 ±0.015
Sc (ppm)	Sc-46	7.96 ±0.031	14.99 ±0.051	5.78 ±0.025	12.86 ±0.044	14.17 ±0.047	14.75 ±0.048	6.87 ±0.027
Cr (ppm)	Cr-51	43.66 ±4.07	66.21 ±6.19	35.66 ±3.34	64.93 ±6.01	61.19 ±5.68	77.43 ±7.14	40.46 ±3.77
Fe ₂ O ₃ (%)	Fe-59	3.29 ±0.027	5.21 ±0.039	2.37 ±0.022	5.14 ±0.036	5.34 ±0.037	5.9 ±0.040	3.07 ±0.025
Co (ppm)	Co-60	7.31 ±0.145	14.31 ±0.247	5.56 ±0.126	12.36 ±0.202	13.44 ±0.214	15.16 ±0.231	6.47 ±0.132
Rb (ppm)	Rb-86	71.62 ±21.25	171.47 ±47.72	73.80 ±21.40	113.81 ±31.90	187.62 ±52.04	137.23 ±38.37	35.07 ±8.89
Sr (ppm)	Sr-85	552.30 ±45.56	302.43 ±55.47	327.17 ±32.84	245.45 ±38.95	- -	225.67 ±36.33	343.91 ±34.84
Zr (ppm)	Zr-95	95.11 ±20.83	129.46 ±27.29	84.20 ±14.83	142.88 ±25.00	- -	153.85 ±27.12	116.46 ±18.23
Cs (ppm)	Cs-134	1.36 ±0.203	27.15 ±3.21	1.10 ±0.162	14.78 ±1.75	14.01 ±1.66	9.21 ±1.10	1.28 ±0.183
Ba (ppm)	Ba-131	599.16 ±50.48	455.52 ±69.94	507.84 ±46.26	311.51 ±41.40	326.06 ±62.20	354.80 ±63.51	210.41 ±25.77
La (ppm)	La-140	25.84 ±0.302	36.93 ±0.448	27.14 ±0.324	36.27 ±0.420	33.45 ±0.382	32.61 ±0.364	26.54 ±0.299
Ce (ppm)	Ce-141	45.89 ±0.681	62.97 ±0.978	39.47 ±0.570	53.94 ±0.737	70.96 ±0.949	58.39 ±0.827	60.88 ±0.830
Sm (ppm)	Sm-153	4.12 ±0.025	6.55 ±0.028	3.68 ±0.024	6.24 ±0.036	5.30 ±0.032	6.28 ±0.035	3.88 ±0.023
Eu (ppm)	Eu-152	0.978 ±0.021	1.27 ±0.032	0.881 ±0.020	1.11 ±0.023	0.890 ±0.022	1.30 ±0.028	0.942 ±0.021
Tb (ppm)	Tb-160	0.463 ±0.091	0.656 ±0.133	0.355 ±0.077	0.748 ±0.135	0.640 ±0.129	0.824 ±0.146	0.414 ±0.087
Yb (ppm)	Yb-175	1.58 ±0.130	2.67 ±0.209	1.19 ±0.103	2.48 ±0.191	2.35 ±0.181	2.56 ±0.196	1.27 ±0.109
Lu (ppm)	Lu-177	0.259 ±0.027	0.420 ±0.042	0.205 ±0.022	0.405 ±0.040	0.381 ±0.038	0.435 ±0.043	0.211 ±0.023
Hf (ppm)	Hf-181	3.66 ±0.11	4.40 ±0.153	3.13 ±0.096	4.89 ±0.142	3.96 ±0.128	4.50 ±0.137	3.76 ±0.108
Ta (ppm)	Ta-182	0.483 ±0.067	0.962 ±0.119	0.636 ±0.074	0.913 ±0.106	1.07 ±0.119	0.911 ±0.106	0.568 ±0.073
Th (ppm)	Pa-233	7.50 ±0.38	13.97 ±0.678	8.43 ±0.421	12.87 ±0.622	14.06 ±0.677	12.45 ±0.605	8.14 ±0.411
U (ppm)	Np-239	1.75 ±0.311	2.62 ±0.463	1.70 ±0.303	2.64 ±0.454	2.84 ±0.476	2.69 ±0.458	1.51 ±0.278

Standard = AGV1

Element or Constituent	Nuclide	H77	S83	S89	S90	S86	MAG	SGR
Na ₂ O (%)	Na-24	2.33 ±0.022	3.89 ±0.014	4.06 ±0.018	4.86 ±0.024	4.39 ±0.018	3.84 ±0.012	3.43 ±0.013
Sc (ppm)	Sc-46	14.22 ±0.049	6.35 ±0.026	6.20 ±0.025	10.12 ±0.039	9.34 ±0.037	17.00 ±0.048	4.81 ±0.019
Cr (ppm)	Cr-51	64.32 ±5.98	37.36 ±3.49	34.73 ±3.25	28.95 ±2.86	45.45 ±4.30	107.59 ±9.83	31.47 ±2.92
Fe ₂ O ₃ (%)	Fe-59	5.35 ±0.039	2.70 ±0.023	2.48 ±0.022	3.15 ±0.029	3.79 ±0.032	6.79 ±0.038	2.68 ±0.020
Co (ppm)	Co-60	12.69 ±0.222	5.95 ±0.126	6.22 ±0.125	3.44 ±0.120	9.47 ±0.187	21.11 ±0.265	11.33 ±0.161
Rb (ppm)	Rb-86	132.68 ±37.03	69.12 ±0.68	78.06 ±22.33	55.03 ±16.48	60.13 ±18.42	143.85 ±41.27	90.57 ±26.95
Sr (ppm)	Sr-85	269.67 ±27.00	358.30 ±33.88	354.76 ±32.79	204.22 ±36.84	367.01 ±44.18	- -	340.36 ±28.26
Zr (ppm)	Zr-95	- -	114.09 ±20.21	83.77 ±21.82	- -	114.57 ±21.95	117.75 ±29.70	108.97 ±16.26
Cs (ppm)	Cs-134	8.71 ±1.04	1.25 ±0.181	1.62 ±0.217	1.40 ±0.219	2.19 ±0.303	9.13 ±1.08	5.34 ±0.636
Ba (ppm)	Ba-131	- -	779.99 ±54.75	489.89 ±44.70	534.21 ±70.57	472.57 ±62.12	450.81 ±49.48	256.72 ±30.94
La (ppm)	La-140	35.69 ±0.441	31.94 ±0.348	23.90 ±0.29	16.14 ±0.253	25.40 ±0.316	40.79 ±0.418	20.65 ±0.266
Ce (ppm)	Ce-141	68.81 ±0.994	52.26 ±0.752	49.81 ±0.710	35.21 ±0.739	39.73 ±0.666	84.91 ±0.961	43.14 ±0.587
Sm (ppm)	Sm-153	6.14 ±0.038	4.51 ±0.026	1.91 ±0.103	3.00 ±0.023	4.25 ±0.027	7.24 ±0.038	1.77 ±0.085
Eu (ppm)	Eu-152	1.17 ±0.027	1.05 ±0.020	0.850 ±0.017	0.745 ±0.021	1.01 ±0.025	1.42 ±0.024	0.496 ±0.013
Tb (ppm)	Tb-160	0.746 ±0.140	0.542 ±0.102	0.366 ±0.077	0.389 ±0.099	0.639 ±0.092	1.04 ±0.154	0.317 ±0.063
Yb (ppm)	Yb-175	2.40 ±0.189	1.41 ±0.118	1.01 ±0.089	1.34 ±0.115	1.61 ±0.135	2.51 ±0.208	0.968 ±0.100
Lu (ppm)	Lu-177	0.410 ±0.042	0.226 ±0.025	0.187 ±0.02	0.246 ±0.027	0.281 ±0.030	0.381 ±0.041	0.295 ±0.029
Hf (ppm)	Hf-181	3.97 ±0.133	3.54 ±0.103	3.18 ±0.095	2.78 ±0.114	4.28 ±0.136	3.51 ±0.101	1.23 ±0.053
Ta (ppm)	Ta-182	1.03 ±0.117	0.538 ±0.068	0.514 ±0.065	0.433 ±0.055	0.477 ±0.082	1.19 ±0.114	0.412 ±0.051
Th (ppm)	Pa-233	13.25 ±0.644	7.73 ±0.392	7.56 ±0.375	5.61 ±0.296	7.72 ±0.393	11.83 ±0.602	5.35 ±0.306
U (ppm)	Np-239	2.87 ±0.498	1.46 ±0.27	1.40 ±0.258	1.26 ±0.257	1.87 ±0.24	2.65 ±0.485	5.30 ±0.853

Standard = AGV1

総合研究所)の標準岩石試料JR-1・JB1aを加えて順序をチェックして照射用キャプセルに詰める。これを日本原子力研究所東海研究所の研究用原子炉JRR-3M・JRR-4の中性子フルエンスに合わせて時間を調節して目的に適した照射施設で中性子照射をおこなう。今回はJRR-4のTパイプ350kW出力時で90分, 100kW出力時で5時間, またJRR-3M PN2では15分間の照射をおこなった。JRR-4のTパイプでは水中で照射するため防水に注意が必要であるが, 3号炉気送管でインナーとして使用されるバイアルに試料を詰めその口を接着して封じることで目的を達しえた。照射後3日ないし1週間程度冷却後, 中寿命核種定量のため, また2週間ないし1ヶ月後に長寿命核種の定量のための測定をおこなった。ガンマ線スペクトル測定では中寿命核種に関しては, 東京大学原子力研究総合センター東海分室(大学開放研究室)の実験室で, 他の核種に関しては鹿児島大学共同利用RI実験室において実施した。

ガンマ線スペクトロメトリーは, フロッピーディスクに保存したスペクトルデータを用いて, まずネットカウント計算(GSPAN:鈴木, 2001b), ついで放射能計算(ACTCLQ80:鈴木, 未公表), 元素定量計算(CONTDET7:鈴木, 未公表)の計算プログラムを使用しておこなった。定量計算ではSiO₂成分として試料の岩質の比較的近いUSGS(アメリカ合衆国地質調査所)のAGV1のデータ(Potts et al., 1992)を標準値としGSJ(旧工業技術院地質調査所, 現 産業技術総合研究所)のJR1・JB1aを位置補正のためのワーキングスタンダードとして使用している。

得られた分析結果をTable 2に示す。USGS(アメリカ合衆国地質調査所)の標準岩石試料の堆積岩試料であるMAG・SGRについての分析結果も併せて示したが, 現在知られるデータ(Potts et al., 1992)と良く一致している。Table 2の試料の配列順序はTable 1に従って, ほぼ北から南の順である。これらのデータからは, 砂岩・頁岩の相違はあるが, 大略似たような元素組成であり, この地域全体の堆積岩類を特徴づけるためにはまだ充分とはいえない。しかしその見通しを得るための基礎となるものである。詳細に見るとき砂岩のなかでも区分できる可能性はあると見られるからである。

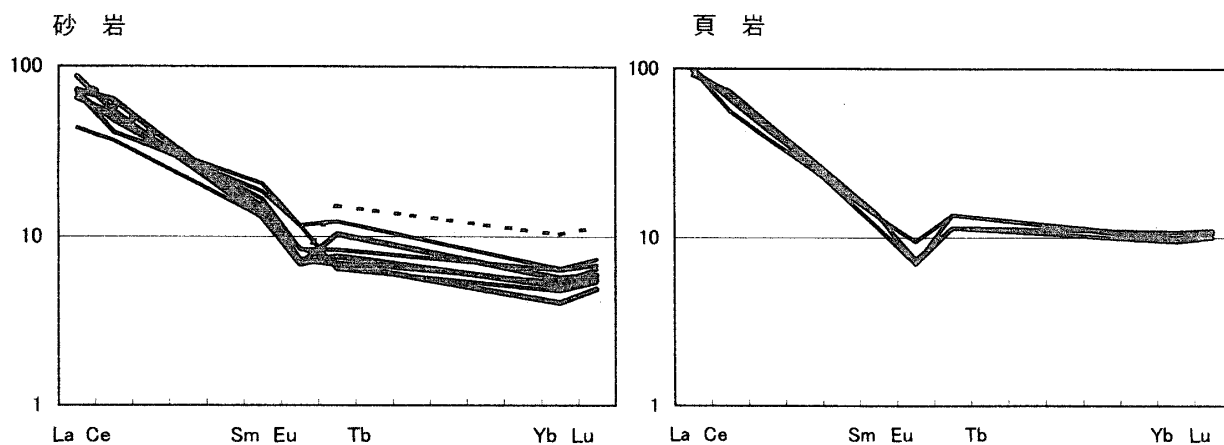


Fig. 2 四万十帯砂岩・頁岩のINAAによるランタノイド組成パターン

ランタノイドの Masuda-Coryell プロットを砂岩と頁岩とにわけて Fig. 2 に示した。この頁岩のデータでは、Eu の負の異常が明らかであるが、砂岩ではその程度が少ないかほとんど見られないものもある。砂岩のなかで頁岩のようなパターンを示すものは S88 細粒砂岩であり、成因的に頁岩に近いのであろう。砂岩のなかでも Eu の負の異常の程度の差があるのは淘汰作用を受けた程度を反映している可能性もあり、そのようなことが明らかになればこの地域の四万十帯堆積岩類の堆積プロセスを考察するうえで重要な資料となると思われる。

また四万十帯中の鹿児島湾から 29,000 年前に噴出した本邦有数の大規模火砕流堆積物である入戸火砕流堆積物の INAA による元素組成（鈴木，2002a）とほぼ似たものであることは極めて示唆にとみ、今後の重要な研究課題である。さらに広域に試料を収集し、この地域の地質の帯状構造と微量元素組成に関連があるのかどうかなどを含めて詳細に検討する必要があると思われる。

4. フィッション・トラック年代測定

鹿児島県日置郡東市来町江口浜、川辺郡笠沙町高崎に分布する四万十帯相当層から見出した花崗岩質岩礫からジルコン・スフェイン・アパタイトを抽出してフィッション・トラック年代の測定を試みた。中性子照射は JRR-3M PN1 で 20 秒間おこなった。また外部ディテクターとして使用した白雲母は 46% HF 23℃ 12 分間、ジルコンは NaOH・KOH・(LiOH・H₂O) の共融液（Zaun and Wagner, 1985）200℃ 6～8 時間でエッチングして、適正なトラックを検出しえた。なお年代測定値の算出にあたっては、中性子モニターガラスとして CN1 を、年代標準試料としてフィッシュ・キャニオン・タフのジルコン（FC3）を使用したゼータ法によった。

今回の測定では、江口浜の試料では、7.3Ma が、笠沙町高崎の試料からは 70.1Ma の年代値が得られた。その詳細は B0 値による較正法（Suzuki, 2000）との相互検討のうえ別に報告する。笠沙町高崎のジルコン試料では測定困難なグレインもあるが計測できないトラック密度ではない。江口浜の試料では良好なトラックが検出でき、両者ともほぼ信頼できる結果であるといえる。従ってその地質学的解釈が必要である。これらの試料はともに白亜紀の堆積岩に含まれる礫であるから、その初生的年代値は白亜紀以前の数値が期待される。従って笠沙町高崎の試料はその堆積時に削剥レベルに達していたほぼ同年代の花崗岩質岩がもたらされたと説明できるが、江口浜の試料では熱的イベントにより若返ったと考えざるをえない。実際、江口浜周辺の四万十帯相当層には 14Ma の花崗岩質岩の貫入が見られるほか、一部にはそれ以降の活動と見られる石英脈などもある。薩摩半島における金鉱床生成に関わる鉱化作用の時期のひとつが 7Ma にあることを併せて考えるときこの測定結果は極めて興味深い。その解釈の是非はこの地域を含む広域での砂岩中の碎屑性ジルコンの年代測定によって明らかになるとと思われるので、現在その測定を準備中である。

5. まとめ

南九州とくに鹿児島県薩摩半島地域の四万十帯の堆積岩類から砂岩・頁岩を採取してその放射化

分析による元素組成分析を試み、12点の分析値を検討し、この地域の堆積岩類の特徴を明らかにした。また一部に見られる花崗岩礫について予察的に試みたフィッション・トラック年代測定についてもふれた。

これらの調査・研究をさらに広域に広げて南九州四万十帯の地質学的特徴、とくに中生代白亜紀以降の堆積史を明らかにしていきたい。

6. 謝辞

一部の試料採取については、鹿児島大学教育学部地学教室（当時）の富田 裕・山口幸作・税所篤司の諸氏の助力があった。また試料の中性子照射とそのガンマ線測定については、東京大学原子力研究総合センター東海分室（大学開放研究室）・鹿児島大学共同利用RI実験室にお世話になった。これら関係各位に深甚の謝意を表す。

7. 引用文献

- 橋本 勇 (1962a): 鹿児島県北薩地方の時代未詳層群の層序と構造. 九大教養部地学研報. No. 8, p. 47-62.
- 橋本 勇 (1962b): 鹿児島県野間池付近の中生界の層序と構造. 九大教養部地学研報. No. 8, p. 63-70.
- 金属鉱業事業団 (1983): 昭和57年度広域調査報告書「南薩・地域」. 110p.
- 松本達郎・大塚裕之・大木公彦 (1973): 鹿児島県下の四万十帯から産出した白亜紀化石. 地質雑, Vol. 79, p. 703-704.
- Potts, P.J., Tindle, A.G. and Webb, P.C. (1992): *Geochemical reference material compositions*. Whittles Publishing. 313pp.
- Suzuki, T. (2000): B_0 value of uranium doped glasses: a proposal for the standardization of fission track ages. *On Track*, Vol.10, No.2, p.9-10.
- 鈴木達郎 (2001): GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラム. 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編), Vol.52, p.33-44.
- 鈴木達郎 (2002a): 中性子放射化分析による入戸火砕流堆積物の微量元素組成. 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編), Vol.53, p.29-44.
- 鈴木達郎 (2002b): 南九州四万十帯に関するINAAとFT年代測定. 平成14年度原研炉利用共同研究成果報告書. 東京大学原子力研究総合センター. 印刷中
- 寺岡易司・奥村公男 (1992): 四万十帯北帯の構造区分と白亜紀砂岩組成. 地質学論集, No.38, p.261-270.
- 宇都浩三・阪口圭一・寺岡易司・奥村公男 (1997): 20万分の1地質図「鹿児島」. 通産省地質調査所.
- Zaun, P.E. and Wagner, G. (1985): Fission-track stability in zircons under geological conditions. *Nucl. Tracks*, Vol.10, No.3, p.303-307.
- 米田茂夫・岩松 暉 (1987): 鹿児島県北薩地方の四万十帯層群の層序と地質構造. 地質雑, Vol. 93, p. 881-895.