

# 全自動蛍光X線分析装置（理学/RIX3000）による 岩石中の主成分および微量元素組成の定量

永尾隆志\*・角縁 進\*\*・白木敬一\*\*\*

## 1. はじめに

岩石試料の定量分析において、蛍光X線分析法は簡便性や迅速性などの点から広く用いられる方法である。山口大学においても従来使用していた日本電子株式会社製の蛍光X線分析装置（JSX-60S7）に加え、新たに全自動蛍光X線分析装置（理学/RIX3000）が導入された。従来、蛍光X線分析法において、主成分分析用には融剤（四ホウ酸リチウム： $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）と岩石粉末試料を1:5～1:10の割合で混合・溶融して作成されたガラス円板を使用し、微量元素分析にはバインダーと岩石粉末試料とを1:1に混合し加圧成型されたペレットを使用していた<sup>1)</sup>。RIX3000を使用した岩石試料の主成分元素および微量元素の定量については本吉・白石<sup>2)</sup> および本吉ほか<sup>3)</sup> に報告がある。しかし主成分組成の分析と微量元素組成の分析に異なった試料を調製するのでは、迅速性・簡便性の点から難がある。また微量元素分析に際してはマトリックス効果による補正を必要とし、全自動蛍光X線分析装置（理学/RIX3000）を使用して迅速性を損なわずにオンラインコンピュータでマトリックス補正項や定量値を計算させるためには、主成分元素から微量元素までの分析を連続して行う必要がでてきた。

中田<sup>4)</sup> は1:5に希釈されたガラス円板を用いて9種の微量元素（Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, V, Ba）の、また市川ほか<sup>5)</sup> も同様の希釈率のガラス円板を使用した10種類の微量元素（Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Cr, V, Ba）の測定法について報告をおこなっている。今回の筆者らの検討でも通常の珪酸塩岩石中に微量元素として含まれ

るBa, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Rb, Sr, V, Y, Zn, Zrについては、1:5に希釈されたガラス円板でも分析精度および再現性について満足の行く結果が得られることが明らかとなった。したがって、主成分元素（Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P）と合わせて23元素が1:5に希釈された一枚のガラス円板で精度の良い定量が可能となった。

本報告では、本装置を用いた岩石試料中の主成分元素・微量元素の定量法と確立された測定条件について報告する。

## 2. 分析装置の概要と測定条件の設定

本装置の詳しい概要については白木ほか<sup>6)</sup> に詳しく述べられている。本装置の最大の特徴はRh, Wの2種類のターゲットを取り付けたX線管球が装着されている点である。このエンドウィンドー型X線管球はRh-X線管球の長所とW-X線管球の長所を兼ね備えており、遷移元素やBa-L $\alpha$  に対しては特にW-Lスペクトルで励起することができるために、Rh-X線管球で励起する場合に比べて励起効率の上昇に伴う感度の向上が認められる。RhおよびWの特性X線を一本の管球で発生させ、オンラインコンピュータの制御ソフトウェアで自動的に切り替えをおこなうため、操作上の煩雑さは全くない。管電圧・管電流は50kV-50mAで一定とし、測定元素に応じてターゲットをRhまたはWに切り替えて使用した。今回の測定条件を表1に示した。

ガラス円板では加圧ペレットに比べてその小さい質量吸収係数のために、短波長側元素のバックグラウンド強度が大きくなる。特にRb-K $\alpha$  よりも短波長に特性X線のピークを持つ元素では、バックグラウンドの連続X線強度が $2\theta$ に対して

\* 機器分析センター  
\*\* 佐賀大学文化教育学部  
\*\*\* 理学部

表 1. 各元素の測定条件

Element	Line	Angle (2θ)			Target	Filter	Crystal	Detector	Collimator	Counting time (S)	
		peak	BG1	BG2						peak	BG
Si	Kα	109.05	110.95	106.90	Rh	-	PET	PC	Coarse	60	30
Ti	Kα	86.20	87.90	84.55	Rh	-	LiF(200)	PC	Coarse	40	20
Al	Kα	144.75	147.00	140.70	Rh	-	PET	PC	Coarse	40	20
Fe	Kα	57.50	59.00	56.00	Rh	-	LiF(200)	SC	Coarse	20	10
Mn	Kα	62.96	63.88	62.00	Rh	-	LiF(200)	SC	Coarse	20	10
Mg	Kα	45.25	47.35	43.05	Rh	-	TAP	PC	Coarse	20	10
Ca	Kα	113.15	115.65	110.55	Rh	-	LiF(200)	PC	Coarse	40	20
Na	Kα	55.15	56.70	53.05	Rh	-	TAP	PC	Coarse	60	30
K	Kα	136.70	138.80	134.10	Rh	-	LiF(200)	PC	Coarse	40	20
P	Kα	141.05	143.30	138.15	Rh	-	Ge	PC	Coarse	40	20
Ba	Lα	87.12	86.60	87.80	W	-	LiF(200)	SC	Coarse	200	100
Co	Kα	77.90	77.42	78.42	W	-	LiF(220)	SC	Coarse	200	100
Cr	Kα	69.42	70.60	68.22	W	-	LiF(200)	PC	Fine	100	50
Cu	Kα	45.00	44.66	45.42	W	Fe	LiF(200)	SC	Coarse	200	100
Ga	Kα	38.90	38.64	39.34	Rh	Fe	LiF(200)	SC	Coarse	200	100
Nb	Kα	30.40	29.90	30.94	Rh	-	LiF(220)	SC	Fine	600	300
Ni	Kα	48.66	49.14	48.06	Rh	Fe	LiF(200)	SC	Coarse	400	200
Rb	Kα	38.00	38.48	36.80	Rh	-	LiF(220)	SC	Coarse	100	50
Sr	Kα	35.84	36.70	35.04	Rh	-	LiF(220)	SC	Coarse	100	50
V	Kα	76.90	75.90	78.00	W	-	LiF(200)	SC	Fine	200	100
Y	Kα	33.90	33.42	34.46	Rh	-	LiF(220)	SC	Coarse	100	50
Zn	Kα	41.78	42.22	40.98	W	-	LiF(200)	SC	Fine	200	100
Zr	Kα	32.06	31.58	32.88	Rh	-	LiF(220)	SC	Coarse	100	50

下に大きく凸になりながら減少しているため、単純にそれらの元素の Kα 線のバックグラウンドを、ピーク位置の前後の測定値を用いて直線的に内挿することでは、ピーク位置におけるバックグラウンド強度を正確に見積もることが困難であった(例えば小笠原<sup>7)</sup>)。そのため特性 X 線ピーク位置前後においてバックグラウンドを多数測定し、曲線近似をおこなってピーク位置におけるバックグラウンド強度を見積もるか、低角側もしくは高角側のどちらか 1 点のバックグラウンドで代表させることがおこなわれてきた。今回は Nb-Kα ~ Rb-Kα の測定については、LiF(200) よりも分解能の優れた LiF(220) を使用するこ

とでバックグラウンド測定で良好な結果を得ることができた。図 1 に JB-1a ガラス円板の LiF(200) と LiF(220) を用いた定性チャートを比較して示した。LiF(220) では LiF(200) に比

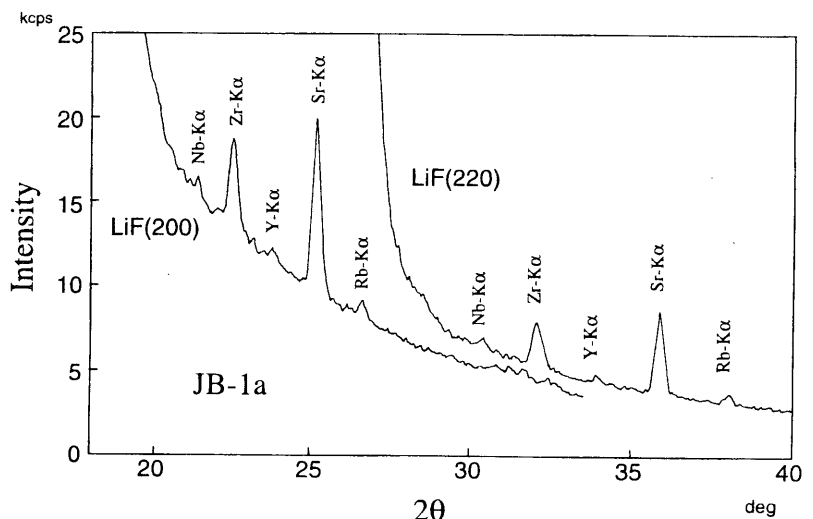


図 1. LiF(200) と LiF(220) を用いた JB-1a ガラス円板の定性チャート

べて各特性X線のピーク位置が高角側にシフトし、バックグラウンドの連続X線の強度が低い位置で測定することができる。またLiF (220) はLiF (200) に比べ反射強度は落ちるが分解能に優れているため、結果としてS/N比を高めることができる。ただし再現性を保つためには測定時間をやや多くとる必要がある。またCo-K $\alpha$  (1.7903Å) にはFe-K $\beta$  (1.7566Å) が近接したピークとして存在する。Feは岩石中では主成分元素であり、Coに比べてその含有量が非常に多い。Fe-K $\beta$ の影響を出来るだけ避けるために、Coの測定にも分解能の優れたLiF (220) を使用した。

Rh/Wデュアルアノード管球の欠点として、Rh管球で励起中にもわずかにW管球からのピークが認められる。特にNi-K $\alpha$ 線 (1.6592Å) の測定において、W管球から発生するW-LI線 (1.6782Å) が近接した妨害スペクトルとして存在する。同様にCu-K $\alpha$ 線およびGa-K $\alpha$ 線の分析においても、管球からの妨害スペクトルの除去のためにFeの一次X線フィルターを使用した。Feの一次X線フィルターを使用するとX線強度は減少するがS/N比は高くなる。

### 3. 試料調整法

蛍光X線分析法においてガラス円板を用いることの利点は、①主成分元素と微量元素で同一のガラス円板を使用するため、分析に用いる試料が少なくすむ、②主成分元素と微量元素が連続して測定できるため主成分元素組成を微量元素測定時のマトリックス補正計算の計算にそのまま使用できる、③鉍物効果・粒度効果が除去できる、である。ガラス円板の作成のための、試料と融剤の混合・熔融法は以下のとおりである。

融剤はメルク社製の無水四ホウ酸リチウム (ART5699) を使用し、使用前に電気炉で600°Cで4時間ほど加熱しデシケータ中に保存した。本装置の補正プログラムでは、試料中の水分等の揮散による強熱減量 (LOI)、Fe<sup>2+</sup>等の酸化による強熱増量 (GOI)、試料や融剤の秤量誤差 (希釈率の違い) による分析誤差についても、理論マトリックス補正係数算出によりこれらを補正することができる<sup>8) 9) 10)</sup> ため、あらかじめ岩石粉末試料

の吸着水・結晶水を除去する前処理は行っていない。

無水四ホウ酸リチウム4.5gと岩石粉末試料0.9gを正確に秤り取り、酸化剤として硝酸リチウム (LiNO<sub>3</sub>: 1級 和光純薬) 0.54g、剥離剤としてヨウ化リチウム (LiI: 1級 和光純薬) を微量加え、薬包紙上で軽く混合した後、白金のつぼ (蓋つき) に移し東京科学社製ビードサンプル装置 (NT-2100) で熔融しガラス円板を作成する。

ビードサンプル装置による熔融は、初段加熱: 800°Cで120秒、本加熱: 1200°Cで150秒、揺動加熱: 1200°Cで200秒で行った。初段加熱は試料中に含まれる水分による試料や融剤などの飛散を防ぐために重要で、粘土質な試料や炭酸塩を多く含んだ試料では800°Cで300秒おこなっている。試料によっては白金ルツボからうまく剥離しないものが存在するが、そのようなときはさらにヨウ化リチウムを微量加え1200°Cで90秒ほど熔融・揺動している・作成されたガラス円板はデシケータ中で保存する。

### 4. 検量線の作成およびマトリックス補正

検量線の作成には通産省工業技術院地質調査所で調製された標準岩石試料15試料 (JB-1a, JB-2, JB-3, JA-1, JA-2, JA-3, JG-1a, JG-2, JG-3, JR-1, JR-2, JGb-1, JP-1, JF-1, JF-2) を使用した。

蛍光X線分析に常につきまとう問題は、補正計算をいかに効率的におこなうかということである。ガラス円板を用いると鉍物効果・粒度効果は除去できるがマトリックス効果は残る。マトリックス効果は吸収効果と励起効果からなる。従来のマトリックス補正係数の算出には非線形多重回帰計算を行うことが多い。この場合、各元素間に相関関係が存在せず標準試料の各元素濃度が真の値であることが必要である。標準岩石試料をスタンダードとして検量線作成に用いた場合、天然の岩石には各成分間に何らかの相関関係が存在しているため、それによって計算された補正係数を用いた検量線では各標準試料はうまく直線上に乗るように見え、検量線の正確度 (ACC. = [(SW<sub>i</sub> - X<sub>i</sub>)<sup>2</sup> / {n - (m + 2)}]<sup>1/2</sup>; W<sub>i</sub>: 標準値, X<sub>i</sub>: X線分析

値, n : 試料個数, m : マトリックス補正項数) は見かけ上向上する。ただしこの検量線では多様な組成の試料を分析することは出来ない。

今回は幅広い組成幅の岩石に広く対応するために、マトリックス効果に対する補正係数としてファンダメンタルパラメータ法を用いた理論マトリックス補正を用いた。この蛍光X線強度の理論式を用いた数式補正については文献<sup>8) 9) 10) 11)</sup>に詳しく述べられているので、ここでは求められた理論マトリックス補正係数を表2に示すにとどめる。重なり補正については、求められた検量線の傾きおよび切片とともに表3に示してある。

## 5. 結 果

表4に地質調査所の岩石標準試料JB-1aを繰り返し測定をおこなった結果を示した。これらは実際の試料の分析に当たって、測定装置の状態や検量線の信頼度などをチェックするため、実際の試料に挟んで測定したものである。結果はいずれの元素においても推奨値とほぼ一致しており、また毎回の測定における変動も小さい。今回作成された検量線から求められる他の岩石標準試料の組成を表5に示す。

試料調製時間を除けば、1:5希釈ガラス円板を用いた23元素の分析時間は1試料につき103分である。本装置には50個の試料ホルダーが装填で

表2. 理論マトリックス補正係数

	Si-Kα	Ti-Kα	Al-Kα	Fe-Kα	Mn-Kα	Mg-Kα	Ca-Kα	Na-Kα	K-Kα	P-Kα	Ba-La	Co-Kα
SiO <sub>2</sub>	0.00265	0.00816	0.00227	0.00874	0.00862	0.00209	0.00776	0.00196	0.00753	0.00646	0.00814	0.00886
TiO <sub>2</sub>	0.00332	0.00801	0.00319	0.02891	0.02794	0.00312	0.00360	0.00305	0.00338	0.00336	0.00710	0.02994
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00582	0.00724	0.00215	0.00766	0.00757	0.00189	0.00695	0.00177	0.00679	0.00604	0.00722	0.00775
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00507	0.00414	0.00484	0.01501	0.01147	0.00465	0.00444	0.00445	0.00457	0.00520	0.00639	0.01805
MnO	0.00474	0.00397	0.00451	0.01434	0.01420	0.00434	0.00402	0.00416	0.00411	0.00483	0.00606	0.05077
MgO	0.00544	0.00673	0.00547	0.00704	0.00698	0.00173	0.00649	0.00153	0.00635	0.00566	0.00671	0.00710
CaO	0.00289	0.02557	0.00281	0.02923	0.02842	0.00276	0.00698	0.00271	0.00349	0.00294	0.02547	0.03010
Na <sub>2</sub> O	0.00505	0.00596	0.00494	0.00617	0.00613	0.00481	0.00580	0.00117	0.00570	0.00521	0.00595	0.00621
K <sub>2</sub> O	0.00252	0.02486	0.00250	0.02895	0.02806	0.00244	0.02234	0.00239	0.00617	0.00258	0.02474	0.02989
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00264	0.00876	0.00241	0.00952	0.00937	0.00223	0.00825	0.00211	0.00796	0.00310	0.00873	0.00969

	Cr-Kα	Cu-Kα	Ga-Kα	Nb-Kα	Ni-Kα	Rb-Kα	Sr-Kα	V-Kα	Y-Kα	Zn-Kα	Zr-Kα
SiO <sub>2</sub>	0.00850	0.00901	0.00899	0.00808	0.00887	0.00869	0.00855	0.00834	0.00840	0.00905	0.00824
TiO <sub>2</sub>	0.02698	0.03151	0.03230	0.03159	0.03036	0.03333	0.03302	0.00790	0.03262	0.03213	0.03213
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00748	0.00785	0.00783	0.00709	0.00775	0.00758	0.00747	0.00736	0.00735	0.00789	0.00722
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00823	0.05459	0.05693	0.05873	0.05193	0.06105	0.06077	0.00717	0.06027	0.05615	0.05957
MnO	0.01176	0.05357	0.05509	0.05470	0.05154	0.05739	0.05696	0.00696	0.05635	0.05469	0.05557
MgO	0.00691	0.00716	0.00711	0.00631	0.00709	0.00679	0.00667	0.00683	0.00656	0.00717	0.00643
CaO	0.02760	0.03138	0.03194	0.03050	0.03040	0.03239	0.03203	0.02662	0.03158	0.03188	0.03106
Na <sub>2</sub> O	0.00609	0.00624	0.00618	0.00548	0.00619	0.00588	0.00579	0.00603	0.00569	0.00624	0.00558
K <sub>2</sub> O	0.02715	0.03124	0.03179	0.02992	0.03021	0.03203	0.03161	0.02604	0.03111	0.03175	0.03053
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00920	0.00990	0.00991	0.00899	0.00971	0.00966	0.00951	0.00899	0.00935	0.00997	0.00917

表3. 検量線の傾きおよび切片

Element	Slope a	Intercept b	overlap element	overlap coefficient	Error (wt%)	Element	Slope a	Intercept b	overlap element	overlap coefficient	Error (ppm)
SiO <sub>2</sub>	0.5576	0.2628	-	-	0.20	Ba	2491.670	2.587	TiO <sub>2</sub> (wt%)	207.3	8.3
TiO <sub>2</sub>	0.0394	0.0024	-	-	0.01	Co	121.970	0.206	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	0.216	1.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5064	0.0387	-	-	0.08	Cr	101.686	-8.380	V (ppm)	-0.059	4.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0298	0.0039	-	-	0.04	Cu	655.233	-2.609	-	-	3.4
MnO	0.0430	0.0000	-	-	0.002	Ga	239.610	0.791	-	-	1.1
MgO	1.6133	0.0376	-	-	0.03	Nb	49.387	-0.695	-	-	0.7
CaO	0.0410	-0.0041	-	-	0.03	Ni	866.790	-1.916	-	-	3.7
Na <sub>2</sub> O	4.6611	-0.0122	-	-	0.03	Rb	41.432	-2.566	-	-	2.1
K <sub>2</sub> O	0.0380	-0.0086	-	-	0.04	Sr	35.118	2.522	-	-	6.2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1587	0.0025	-	-	0.009	V	1117.860	3.503	TiO <sub>2</sub> (wt%)	-49.36	4.4
						Y	33.921	1.569	Rb (ppm)	-0.178	0.8
						Zn	52.451	0.170	-	-	2.1
						Zr	28.693	2.304	Sr (ppm)	-0.108	4.7

表4. 岩石標準試料JB-1aを繰り返し測定した分析値

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average	r.v.
SiO <sub>2</sub>	52.44	52.49	52.43	52.75	52.38	52.35	52.33	52.49	52.41	52.45	52.41
TiO <sub>2</sub>	1.29	1.29	1.30	1.30	1.29	1.29	1.30	1.29	1.29	1.29	1.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.39	14.42	14.43	14.40	14.39	14.42	14.43	14.37	14.42	14.41	14.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.97	8.98	8.99	8.98	8.98	8.96	8.99	8.98	9.00	8.98	9.05
MnO	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
MgO	7.76	7.70	7.75	7.82	7.76	7.76	7.78	7.78	7.78	7.77	7.83
CaO	9.29	9.29	9.30	9.32	9.29	9.29	9.29	9.29	9.30	9.30	9.31
Na <sub>2</sub> O	2.71	2.74	2.75	2.71	2.74	2.70	2.74	2.72	2.74	2.73	2.73
K <sub>2</sub> O	1.40	1.40	1.40	1.41	1.40	1.40	1.40	1.4	1.40	1.40	1.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.28	0.28	0.26	0.26
Ba (ppm)	496	501	510	505	491	510	506	508	505	504	504
Co	37.0	37.3	38.4	39.8	37.9	38.8	39.2	37.0	37.5	38.1	38.6
Cr	389	391	394	392	393	393	393	388	388	391	392
Cu	57.1	56.7	60.5	62.2	60.6	54.3	57.5	58.7	56.3	58.2	56.7
Ga	18.4	17.8	18.9	17.6	17.1	16.8	17.8	18.5	17.9	17.9	17.9
Nb	25.4	25.8	26.0	26.2	25.0	26.3	26.4	23.4	23.9	25.4	26.9
Ni	137	138	143	142	144	141	137	139	140	140	139
Rb	40.0	40.3	37.9	36.3	38.0	36.4	40.2	39.5	36.9	38.4	39.2
Sr	450	449	446	444	449	449	448	451	451	448	442
V	208	204	194	205	203	199	199	203	207	202	205
Y	23.7	26.3	23.9	24.8	23.3	25.2	23.8	22.8	26.5	24.5	24.0
Zn	80.6	81.7	81.3	81.5	80.5	81.3	82.0	80.8	81.0	81.2	82.1
Zr	139	139	140	138	139	140	140	139	138	139	144

r.v. :Recommended values.

きるため、これにより多量の試料について主成分元素から微量元素まで連続して精度よく定量を行うことが可能となった。

謝辞：理学電機株式会社の山田康治郎、河野久征、福島大学の木村純一氏には、蛍光X線分析法について、また、東京科学株式会社の太田昌氏には、ガラスビードの作成法について教えていただいた。通産省工業技術院地質調査所の今井登氏には、岩石標準試料をご恵与いただいた。㈱リガク 北九州営業所長 岡田光一氏には、装置の保守・管理について教えていただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 角縁 進, 永尾隆志, 今岡照喜, 松本征夫, 白木敬一 (1989); 蛍光X線分析装置による岩石中の微量元素の定量. 山口大学教養部紀要 (自然科学篇), 23, 43-54.
- 2) 本吉洋一, 白石和行 (1995); 蛍光X線分析

装置による岩石の定量化学分析: (1) 主要元素. 南極資料, 39, 40-48.

- 3) 本吉洋一, 石塚英男, 白石和行 (1996); 蛍光X線分析装置による岩石の定量化学分析: (2) 微量元素. 南極資料, 40, 53-63.
- 4) 中田節也 (1985); ガラス円板を使った珪酸塩岩石中微量元素のけい光X線分析. 九州大学理学部研究報告 (地質), 14, 117-127.
- 5) 市川博之, 酒井利啓, 渡辺暉夫, 飯泉 滋 (1987); ガラス円板を使った珪酸塩岩石中の微量元素の蛍光X線分析装置 (Rh管球) による定量分析. 島根大学地質学研究報告, 6, 161-169.
- 6) 白木敬一, 大和田正明, 永尾隆志, 山田康治郎, 河野久征 (1996); 全自動蛍光X線分析装置 理学/RIX3000. 山口大学機器分析センター報告, 4, 7-19.
- 7) 小笠原正継 (1987); Rh管球を用いた蛍光X線分析による岩石中の微量元素の定量. 地調月報, 38, 57-68.

表 5. 岩石標準試料の分析値

	JA-1	r.v.	JA-2	r.v.	JA-3	r.v.	JB-2	r.v.	JB-3	r.v.	JF-1	r.v.	JF-2	r.v.
SiO <sub>2</sub>	64.19	63.97	56.24	56.42	62.24	62.27	53.27	53.25	51.10	50.96	66.80	66.69	65.02	65.30
TiO <sub>2</sub>	0.85	0.85	0.67	0.66	0.69	0.70	1.17	1.19	1.44	1.44	0.01	0.01	0.02	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.21	15.22	15.51	15.41	15.69	15.56	14.62	14.46	17.16	17.20	18.21	18.08	18.50	18.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.99	7.07	6.31	6.21	6.62	6.60	14.25	14.25	11.85	11.82	0.09	0.08	0.07	0.06
MnO	0.156	0.157	0.108	0.108	0.107	0.104	0.218	0.218	0.179	0.177	0.000	0.001	0.001	0.001
MgO	1.56	1.57	7.66	7.60	3.73	3.72	4.61	4.62	5.19	5.19	0.01	0.01	0.00	0.00
CaO	5.69	5.70	6.30	6.29	6.31	6.24	9.82	9.82	9.79	9.79	0.90	0.93	0.08	0.09
Na <sub>2</sub> O	3.83	3.84	3.08	3.11	3.18	3.19	2.06	2.04	2.73	2.73	3.28	3.37	2.43	2.39
K <sub>2</sub> O	0.76	0.77	1.77	1.81	1.41	1.41	0.40	0.42	0.76	0.78	9.92	9.99	12.93	12.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.156	0.165	0.150	0.146	0.109	0.116	0.094	0.101	0.283	0.294	0.013	0.010	0.007	0.003
Ba (ppm)	312	311	304	321	323	323	227	222	246	245	1755	1750	294	298
Co	9.5	12.3	29.9	29.5	20.4	21.1	37.0	38.0	36.6	34.3	0.9	0.1	1.2	0.7
Cr	9.7	7.8	422	436	65.7	66.2	27.7	28.1	60.3	58.1	6.1	5.5	4.1	2.5
Cu	47.1	43.0	28.9	29.7	40.3	43.4	222	225	200	194	2.8	0.8	2.3	0.8
Ga	18.1	16.7	15.5	16.9	15.4	16.3	15.1	17.0	21.0	19.8	18.0	17.4	17.8	17.9
Nb	2.6	1.9	9.5	9.5	3.7	3.4	0.9	1.6	2.9	2.5	1.1	0.7	1.6	0.7
Ni	1.0	3.5	139	130	30.1	32.2	11.0	16.6	37.6	36.2	0.5	1.4	1.2	1.4
Rb	14.4	12.3	70.6	72.9	35.7	36.7	6.0	7.4	14.0	15.1	265	266	218	218
Sr	264	263	245	248	287	287	182	178	411	403	165	172	196	200
V	103	105	123	126	168	169	568	575	383	372	6.1	5.4	9.0	4.9
Y	30.9	30.6	17.7	18.3	21.4	21.2	25.3	24.9	26.0	26.9	4.3	2.8	1.8	2.7
Zn	90.5	90.9	63.2	64.7	67.0	67.7	109	108	103	100	4.2	4.4	1.9	1.4
Zr	84.8	88.3	112	116	114	118	52.1	51.2	98.3	97.8	37.8	38.6	8.8	6.7

	JG-1a	r.v.	JG-2	r.v.	JG-3	r.v.	JGb-1	r.v.	JP-1	r.v.	JR-1	r.v.	JR-2	r.v.
SiO <sub>2</sub>	72.36	72.30	77.32	76.83	67.18	67.29	43.66	43.66	42.36	42.38	75.20	75.45	75.46	75.69
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.25	0.05	0.04	0.47	0.48	1.61	1.60	0.01	0.01	0.11	0.11	0.06	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.15	14.30	12.54	12.47	15.47	15.48	17.46	17.49	0.70	0.66	12.78	12.83	12.63	12.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.99	2.00	0.96	0.97	3.69	3.69	15.07	15.06	8.36	8.37	0.90	0.89	0.77	0.77
MnO	0.060	0.057	0.016	0.016	0.069	0.071	0.189	0.189	0.119	0.121	0.099	0.099	0.110	0.112
MgO	0.68	0.69	0.06	0.04	1.82	1.79	7.80	7.85	44.61	44.60	0.13	0.12	0.06	0.04
CaO	2.13	2.13	0.69	0.70	3.73	3.69	11.85	11.90	0.52	0.55	0.69	0.67	0.50	0.50
Na <sub>2</sub> O	3.39	3.39	3.57	3.54	4.00	3.96	1.22	1.20	0.01	0.02	4.02	4.02	4.01	3.99
K <sub>2</sub> O	4.01	3.96	4.76	4.71	2.63	2.64	0.22	0.24	0.00	0.00	4.45	4.41	4.50	4.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.081	0.083	0.008	0.002	0.125	0.122	0.054	0.056	0.006	0.002	0.019	0.021	0.010	0.012
Ba (ppm)	466	470	76.6	81.0	459	466	68.6	64.3	14.5	19.5	65.7	50.3	50.1	39.5
Co	5.4	5.9	5.2	3.6	10.8	11.7	61.5	60.1	115	116	0.8	0.8	0.2	0.5
Cr	18.4	17.6	7.1	6.4	23.3	22.4	59.5	57.8	2809	2807	3.5	2.8	5.6	3.1
Cu	1.3	1.7	2.2	0.5	7.2	6.8	77.8	85.7	6.7	6.7	1.5	2.7	1.9	1.4
Ga	17.1	16.5	17.5	18.6	16.6	17.1	18.4	17.9	1.7	0.7	15.3	16.1	17.9	17.9
Nb	11.7	11.4	14.3	14.7	5.4	5.9	2.5	3.3	1.0	1.5	16.5	15.2	17.9	18.7
Ni	8.7	6.9	5.6	4.4	15.2	14.3	20.8	25.4	2459	2460	5.4	1.7	3.7	2.0
Rb	182	178	300	301	71.3	67.3	6.6	6.9	0.1	0.8	255	257	304	303
Sr	182	187	18.4	17.9	364	379	332	327	2.5	3.3	30.3	29.1	11.0	8.1
V	22.2	22.7	5.3	3.8	65.1	70.1	638	635	27.4	27.6	8.1	7	4.0	3
Y	32.6	32.1	87.0	86.5	17.8	17.3	11.1	10.4	0.5	1.5	44.6	45.1	50.0	51.1
Zn	37.1	36.5	13.1	13.6	45.3	46.5	106	109	47.4	41.8	29.0	30.6	27.2	27.8
Zr	121	118	103	97.6	154	144	32.6	32.8	10.5	5.9	95.8	99.9	92.1	96.3

r.v.: Recommended or preferable values.

- 8) 片岡由行, 庄野静子, 河野久征 (1991); 蛍光X線分析法におけるガラスビードの強熱減量 (LOI), 強熱増量 (GOI), 希釈率補正—その1. X線分析の進歩, 23, 171-175.
- 9) 庄野静子, 山田興毅, 吉澤衛一, 河野久征, 村田 守 (1991); 蛍光X線分析法におけるガラスビードの強熱減量 (LOI), 強熱増量

- (GOI), 希釈率補正—その2. X線分析の進歩, 23, 177-187.
- 10) 山田康治郎, 河野久征, 村田 守 (1994); 低希釈率ガラスビード法による岩石の主成分と微量成分分析. X線分析の進歩, 26, 33-44.
- 11) 理学電機工業株式会社 (1982); 蛍光X線分析の手引き. 167p.