九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

低希釈率ガラスビードを用いた主成分・微量・軽希土類元素の定量

中野, 伸彦
九州大学大学院比較社会文化学府地球自然環境講座

角縁, 進
佐賀大学文化教育学部地学教室

小山内, 康人
九州大学大学院比較社会文化学府地域資料情報講座

米村, 和紘
九州大学大学院比較社会文化学府地球自然環境講座

他

https://doi.org/10.15017/13992

出版情報：比較社会文化. 15, pp.1-15, 2009-03-25. 九州大学大学院比較社会文化学府
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

『比較社会文化』第15巻（2009）1～15頁
Bulletin of the Graduate School of Social and Cultural Studies, Kyushu University
vol.15 (2009), pp.1～15

論 文

低希釈率ガラスビードを用いた主成分・微量・軽希土類元素の定量

X-ray fluorescence analysis of major, trace and light rare earth elements using low dilution glass bead

中野伸彦[1)]・角縁　進[3)]・小山内康人[2)]・米村和紘[1)]・桑原義博[1)]
Nobuhiko NAKANO, Susumu KAKUBUCHI, Yasuhito OSANAI,
Kazuhiro YONEMURA and Yoshihiro KUWAHARA

2008年10月30日受付，2008年12月25日受理

Abstract

This report provides analytical techniques for major, trace and light rare earth elements by X-ray fluorescence spectrometry at Department of Environmental Change, Faculty of Social and Cultural Studies, Kyushu University. 30 elements (SiO_2, TiO_2, Al_2O_3, total Fe_2O_3, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5, S, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Pb and Th) were measured using low dilution glass bead (sample:flux ratio of 1:2). Synthetic samples (17 samples for major elements and 25 samples for trace elements) prepared from pure chemical reagents as well as standard samples provided by Geological Society of Japan (GSJ) (20 samples) were used to define individual calibration lines of each element. Analytical results of the GSJ standard samples are in good agreement with their recommended values. The calibration lines were made from wide compositional ranges, and therefore we obtained acceptable values from various natural rocks involving carbonate, ultramafic and lateritic samples.

Keywords: X-ray fluorescence (XRF), low dilution glass bead, synthetic standard, calibration line.

1．はじめに

現在，岩石，特に珪酸塩岩の化学分析の手段としては，螢光X線分析装置（以下XRF）を用いた分析方法が確立されている．従来，XRF分析において主成分元素は，試料重量1に対し融剤重量10（以下，試料：融剤の重量比をx：yと記す）の割合によるガラスビード法が用いられ（例えば，服部，1971；大森・大森，1976），微量元素は粉末ペレットが分析試料として用いられてきた（例えば，後藤・巽，1991）．しかしながら，粉末ペレットによる分析は，粒度に伴うX線強度の相違が指摘されており（後藤・金谷，1985），加えて同一試料の主成分と微量元素を異なる分析試料から得ることとなり，誤差が大きくなる可能性が高い．近年，これらの問題を解決するために，1：5（例えば，中田，1985；Kimura and Yamada, 1996；Mori and Mashima, 2005）や1：2（例えば，角縁ほか，1997；山田ほか，1997；後藤ほか，2002）の低希釈率ガラスビードを用いる分析手法が確立された．これらは，同一のガラスビードを用いて，主成分および微量元素の定量が可能であり，粒度の影響や鉱物効果を取り除くことができるため，正確な定量値を得ることが可能である（後藤ほか，2002）．さらに，粉末ペレットを用いる分析と比較して，試料が著しく少量でも分析可能である．

本報告では，1：2のガラスビード法を用いて，主成

1）九州大学大学院比較社会文化学府地球自然環境講座
2）九州大学大学院比較社会文化学府地域資料情報講座
3）佐賀大学文化教育学部地学教室

Table 1. Calculated chemical compositions of the synthetic standard samples for major elements.

	08-01	08-02	08-03	08-04	08-05	08-06	08-07	08-08	08-09	08-10	08-11	08-12	08-13	08-14	08-15	08-16	08-17
(wt%)																	
SiO_2	21.85	5.95	59.26	38.05	34.62	22.68	53.57	80.86	100.00	15.66	89.29	8.12	8.70	17.65	13.00	44.50	54.00
TiO_2	0.15	1.13	0.00	0.32	7.69	1.13	2.38	4.49	0.00	0.65	1.79	9.75	2.61	0.88	0.00	3.50	6.00
Al_2O_3	60.93	45.20	11.11	0.00	19.23	11.34	4.17	4.49	0.00	0.00	0.15	32.49	8.70	0.59	0.00	0.00	0.00
Fe_2O_3	0.08	2.82	22.22	0.63	0.00	34.01	8.93	0.45	0.00	6.53	1.48	40.62	2.61	11.76	0.00	28.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	5.00
MgO	15.23	5.65	0.37	1.27	11.54	1.13	23.81	0.00	0.00	32.65	2.98	4.06	2.61	4.12	28.00	0.00	0.00
CaO	0.08	2.82	5.19	50.73	0.69	17.01	1.19	0.45	0.00	27.99	0.89	0.00	69.57	41.18	58.00	22.00	35.00
Na_2O	0.00	19.77	0.37	1.27	15.38	0.23	2.98	4.49	0.00	9.33	0.79	3.25	2.61	0.88	0.00	0.00	0.00
K_2O	1.38	13.82	1.11	7.61	7.85	11.34	2.38	4.49	0.00	5.33	1.89	1.62	2.61	20.59	0.00	0.00	0.00
P_2O_5	0.30	2.82	0.37	0.13	3.00	1.13	0.60	0.27	0.00	1.87	0.75	0.08	0.00	2.35	0.00	0.00	0.00

Table 2. Calculated chemical compositions of the synthetic standard samples for trace elements.

	T01	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14
(ppm)													
V	5550									2776	28		
Co		5550								1111			
Ni			5550										1111
Cu													
Zn				5550									56
Ga													
Rb					5550						1111		
Sr						5550					2776		
Y							5550					2776	56
Zr								5550				1111	
Nb													
Ba									5550			111	
Pb										56			28
La											56		
Ce										111			
Nd													
Sm													

Table 2. Continued

	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26
(ppm)												
V		1111	56		111					555		
Co	2776		28	56				111		555		
Ni		56	111			2776		28		555		
Cu		56			1111		28	111		555		
Zn			111		2776			1111	28	555		
Ga			111			56		1111	28	555		
Rb		111	28	2776				56		555		1111
Sr		111	1111					56	28	555		
Y		1111	111						28		555	
Zr			56			28		111	2776		555	2776
Nb			111	1111				28	56		555	1111
Ba	56		28				2776	1111			555	
Pb		1111	111								555	
La	1111		111							28	555	
Ce			56			1111				28	555	111
Nd	56		111						1111	28	555	111
Sm		111					1111	56		28	555	

Table 3. Instrumental operating conditions of XRF spectrometer.

Element	Line	Analyzing crystal	Collimator (μm)	Detector	Tube filter	X-ray tube (kV)	X-ray tube (mA)	Angle(°2θ) Peak	Angle(°2θ) BG 1	Angle(°2θ) BG 2	PHD Low	PHD High	Counting time(sec) Peak	Counting time(sec) BG 1	Counting time(sec) BG 2
SiO_2	Si Kα	PE 002	700	F-PC	None	30	100	109.13	105.53	112.95	24	78	40	20	20
TiO_2	Ti Kα	PE 002	300	F-PC	None	30	100	144.92	143.60	147.71	22	78	40	20	20
AL_2O_3	Al Kα	LiF 200	300	F-PC	None	40	75	86.15	85.20	86.98	29	71	40	20	20
Fe_2O_3	Fe Kα	LiF 200	150	F-PC	None	60	50	57.51	56.71	58.35	35	68	40	20	20
MnO	Mn Kα	LiF 200	300	F-PC	None	60	50	62.96	62.07	63.88	35	66	40	20	20
MgO	Mg Kα	PXI	700	F-PC	None	30	100	22.75	20.45	24.91	22	80	60	30	30
CaO	Ca Kα	LiF 200	150	F-PC	None	30	100	113.10	112.03	114.92	31	70	40	20	20
Na_2O	Na Kα	PXI	700	F-PC	None	30	100	27.51	25.74	29.97	20	79	80	40	40
K_2O	K Kα	LiF 200	300	F-PC	None	30	100	136.69	134.05	139.43	30	70	40	20	20
P_2O_5	P Kα	Ge 111	700	F-PC	None	30	100	141.11	139.65	143.76	32	71	40	20	20
S	S Kα	Ge 111	300	F-PC	None	30	100	110.76	109.45	112.32	36	62	200	100	100
V	V Kα	LiF 200	150	F-PC	None	40	75	76.94	75.98	78.17	35	66	80	40	40
Cr	Cr Kα	LiF 200	150	F-PC	None	40	75	69.35	68.59	70.11	33	69	80	40	40
Co	Co Kα	LiF 220	300	F-PC	None	60	50	77.84	77.16	78.56	39	65	120	60	60
Ni	Ni Kα	LiF 200	300	F-PC	None	60	50	48.64	47.86	49.42	39	60	100	50	50
Cu	Cu Kα	LiF 200	300	F-PC	Al(200μm)	60	50	44.96	44.34	45.60	40	59	400	200	200
Zn	Zn Kα	LiF 200	300	SC	Al(200μm)	60	50	41.74	41.17	42.26	30	66	400	200	200
Ga	Ga Kα	LiF 200	300	SC	Al(200μm)	60	50	38.84	38.25	39.51	35	63	400	200	200
Rb	Rb Kα	LiF 220	300	SC	None	60	50	37.87	37.30	38.49	23	70	100	50	50
Sr	Sr Kα	LiF 220	150	SC	None	60	50	35.73	35.17	36.31	28	67	80	40	40
Y	Y Kα	LiF 220	300	SC	None	60	50	33.77	33.33	34.25	23	70	80	40	40
Zr	Zr Kα	LiF 220	150	SC	None	60	50	31.97	31.47	32.58	24	73	40	20	20
Nb	Nb Kα	LiF 220	150	SC	None	60	50	30.30	29.74	30.82	28	69	100	50	50
Ba	Ba Lα	LiF 200	150	F-PC	None	40	75	87.17	86.84	87.99	36	63	300	150	150
Pb	Pb $L\beta_1$	LiF 200	150	SC	None	60	50	28.17	27.94	28.40	30	68	400	200	200
La	La Lα	LiF 200	300	F-PC	None	40	75	82.90	82.22	83.79	8	26	800	400	400
Ce	Ce $L\beta_1$	LiF 200	300	F-PC	None	40	75	71.60	71.03	73.03	13	28	800	400	400
Nd	Nd Lα	LiF 200	300	F-PC	None	40	75	72.13	71.00	73.00	13	27	800	400	400
Sm	Sm Lα	LiF 200	300	F-PC	None	40	75	66.23	65.73	66.86	15	26	900	450	450
Th	Th Lα	LiF 200	150	SC	None	60	50	27.38	27.08	27.73	23	68	300	150	150

分，微量および軽希土類元素を含めた30元素について，広範囲の組成に適応可能な検量線を確立した．ここでは，その分析手法を記述するとともに，特殊な化学組成を持つ天然の岩石に適用した結果を併せて報告する．

2．試料準備

2．1．標準試料

検量線の作成には，旧地質調査所（GSJ）の標準試料（20試料）に加えて合成標準試料（42試料）を使用した．主成分元素の合成標準試料（17試料）は，CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5を除き，各酸化物の試薬を用いて作成した．前述の元素には$CaCO_3$，Na_2CO_3，K_2CO_3および$K_4P_2O_7$試薬を使用した（Table 1）．17元素（V, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Pb）の微量および軽希土類元素の合成標準試料（25試料）の作成には，各種金属標準溶液（1,000ppm）を用いた（Table 2）．なお，使用したGSJ標準試料の化学組成については，Table 7中の各試料の推奨値を参照されたい．

2．2．合成標準試料およびビード作成

主成分元素用の合成標準試料の作成に用いた粉末試薬は，あらかじめ750°Cで2時間加熱したものを使用した．秤量誤差を軽減するため，各試料につき20g以上作成し，メノウ製のモルターグラインダー(Retsch MR-100により，2時間以上撹拌したものを主成分元素用の合成標準試料とした．なお，作成標準試料のK_2CO_3秤量値は，次式のようにK_2OおよびP_2O_5含有量から求められる．

$$W_{K2CO3} = 20\ (((K_2O\ (M_{K2CO3} / M_{K2O})) - (P_2O_5\ (M_{K4P2O7} / (2M_{K2O})))/100)$$

W_{K2CO3}：K_2CO_3の秤量値

K_2O：合成標準試料のK_2O含有量（wt%）

P_2O_5：合成標準試料のP_2O_5含有量（wt%）

M_{K2CO3}：K_2CO_3の分子量

M_{K4P2O7}：$K_4P_2O_7$の分子量

M_{K2O}：K_2Oの分子量

微量元素用の合成標準試料は，SiO_2試薬6に対して，Al_2O_3試薬4を混合したものに金属標準溶液を加えた．SiO_2，Al_2O_3，金属標準溶液の混合比およびそれらから求められる微量元素含有量の計算は，山田ほか(1997)に従った．金属標準溶液は，先に秤量した$SiO_2+Al_2O_3$合成試料および融剤を加えた白金るつぼに，直接ホールピペットもしくはマイクロピペットを用いて滴下した．金属標準溶液は，最大10ml滴下するため，その後白金るつぼを5時間

以上105°Cで加熱し，完全に乾燥させた．GSJ標準試料については，110°Cで12時間以上乾燥させた後，750°Cで2時間加熱し，それぞれの減量値をH_2O^-およびH_2O^+とした．

ガラスビードの作成には，融剤（Johnson-Matthey社Spectro Flux100B）3.6000g，試料1.8000gを秤量し，メノウ乳鉢を用いて撹拌後，東京科学社製ビードサンプラー（NT-2120）で溶融した．主成分元素用の合成標準試料は，炭酸塩成分を含みビード作成時にCO_2が放出して試料が減少することから，試料秤量値を次式によって計算した．

$W_P - W_{CO2} = 1.8000$

W_P：ビード作成時の試料の秤量値

W_{CO2}：合成標準試料の炭酸塩成分中に含まれる全CO_2重量

加熱条件は，初段加熱：800°C・2分，本加熱：1200°C・2分，揺動加熱：1200°C・5.5分である．CO_2含有量の高い合成標準試料に対しては，800°Cでおおよそ溶融させた後（約6分），本加熱・揺動加熱を行った．剝離剤(LiI)は，揺動加熱開始直後に微量加えた．剝離しない場合は，さらにLiIを微量加え，1200°Cで再溶融後，同温で2分間揺動加熱を行った．金属標準溶液を加えて乾燥後の合成標準試料のビード作成時には，加熱による試料の膨張が認められた．試料の蓋への付着を防止するため，初段加熱を500°Cで5分間行い，徐々に温度を上げ800°Cでおおよそ溶融させた後，通常の試料と同様に本加熱および揺動加熱を行った．

3．測　定

3．1．測定条件

元素の測定には，九州大学大学院比較社会文化研究院環境変動部門のパナリティカル社製PW2400型XRFを使用した．主成分，微量および軽希土類元素の測定条件をTable 3にしめす．印加電圧および印加電流は測定元素により変更し，その範囲はそれぞれ30kV，100mAから60kV，50mAである．

3．2．検量線の作成

主成分および軽希土類元素を含めた微量元素の検量線は，それぞれ37および45の標準試料から作成した．理論マトリックス補正係数の算出はde Jongh（1973）に従った（Table 4）．重なり補正（Table 5）を合わせた検量線は，次式で表される．

$$W_i = (D_i + E_i I_i)(1 + \Sigma \alpha_{ij} W_j) \Sigma L_{ij} W_j$$

W_i：i元素含有率

W_j：j元素含有率

D_i：検量線切片

E_i：検量線傾き

I_i：i元素X線強度

α_{ij}：i元素に対するj元素のマトリックス補正係数

L_{ij}：i元素に対するj元素の重なり補正係数

検量線の計算には，SuperQソフトウェアを使用した．各元素の検量線をFig. 1に，その詳細をTable 6にしめす．本報告では，いくつかの元素において数点の検量線から外れる分析値が得られた．この原因として，広範囲の組成を持つ標準試料に対する理論マトリックス補正係数の不明瞭さ，すなわち代表する1点の組成で求めた理論マトリックス補正係数では，それと大きく異なる分析値の誤差が大きくなる可能性がある．また，合成標準試料秤量時の吸着水による誤差も1つの原因かもしれない．いずれにしても，主成分元素の数元素においてわずかな測定値にのみ認められたため，それらを除いて検量線を作成した．微量元素に関しては，非常に高濃度の含有量を持つ標準試料を使用したため，低濃度試料では検出が困難な重なり補正係数（Table 5）を得ることができた．従って，様々な組成に対応できる検量線が得られたと考えられる．

4．結　果

4．1．GSJ標準試料の測定

得られた検量線を用いてGSJ標準試料を測定した．測定値および推奨値をTable 7にしめす．主成分元素に関しては，H_2Oも含め推奨値と調和的な値が得られた．ほとんどの微量および軽希土類元素に関しても同様に推奨値に類似した良好な値をしめした．一方で，SおよびCuに関して，値がばらつくこともあり，3 ppm程度以下のSmの定量値も使用する際には注意が必要であろう．今回のGSJ標準試料の測定結果は，上述の3元素を除いたすべての元素に対して，良好な検量線が作成されていることをしめす．また，同3元素に関しても著しく推奨値から外れることはない．

4．2．天然の岩石への適応

今回作成した検量線の特徴として，広範囲な組成を持つ合成標準試料を用いた点があげられる．例えばSiO_2は5～100wt%，Al_2O_3は，0～61wt%，CaOは0～70wt%等があげられる．微量および軽希土類元素に関しても最大5500ppmの合成標準試料を使用した．これらは，GSJ標準試料の様な一般的な火成岩，堆積岩はもとより，特殊な岩石の化学組成の定量に対しても有用である．

本報告では，様々な天然の岩石10試料（かんらん石マーブル・石灰珪質片麻岩・かんらん岩・含クロムスピネル変成はんれい岩・エクロジャイト・アルカリ玄武岩・コンダライト質片麻岩・変成ラテライト・含大隅石珪岩・石英閃

Table 4. Matrix correction coefficients.

Element*i*	α_{iSiO2}	α_{iTiO2}	α_{iAl2O3}	α_{iFe2O3}	α_{iMnO}	α_{iMgO}	α_{iCaO}	α_{iNa2O}	α_{iK2O}	α_{iP2O5}	α_{iS}	α_{iV}	α_{iCr}	α_{iCo}	α_{iNi}
SiO_2	0.6708	0.8801	1.5874	1.3293	1.2407	1.4955	0.7600	1.3299	0.6727	0.6653	0.7005	1.0628	1.2686	1.7649	2.0357
TiO_2	2.0753	2.0861	1.9264	1.2253	1.1575	1.7446	7.0496	1.5431	6.8612	2.2770	5.2249	2.7507	1.4651	1.6155	2.1076
Al_2O_3	0.5770	0.8883	0.5496	1.3108	1.2308	1.4886	0.7496	1.3357	0.6641	0.6143	0.5770	1.0733	1.2778	1.7377	1.9619
Fe_2O_3	2.1955	7.5988	1.9945	3.6400	3.5265	1.8046	7.5630	1.5681	7.3438	2.4244	5.6169	14.0646	15.8642	4.3805	1.3017
MnO	2.1673	7.4471	1.9861	2.8546	3.4910	1.7955	7.4376	1.5617	7.2252	2.3891	5.5215	13.7514	3.8920	0.9377	1.4820
MgO	0.5385	0.8656	0.4802	1.2725	1.1985	0.4473	0.7647	1.3437	0.6786	0.5739	0.4807	1.0577	1.2331	1.6871	1.8845
CaO	2.0044	1.0732	1.8400	1.4054	1.3019	1.7025	1.8419	1.5089	6.5852	2.1911	5.0000	1.2909	1.4343	1.9018	2.3292
Na_2O	0.5102	0.8428	0.4529	1.2331	1.1653	0.3946	0.7559	0.3064	0.6728	0.5755	0.5042	1.0437	1.1872	1.6347	1.8047
K_2O	1.9672	1.0167	1.7940	1.4292	1.3238	1.6803	1.0448	1.4763	1.7344	2.1462	4.8830	1.2402	1.4148	1.9315	2.3225
P_2O_5	1.8068	0.8852	1.5945	1.3610	1.2658	1.5056	0.7667	1.3283	0.6810	0.7930	0.8648	1.0742	1.2790	1.8038	2.0831
S	1.8466	0.9126	1.6436	1.4117	1.3125	1.5565	0.7975	1.3661	0.7150	2.0018	1.3542	1.1254	1.3353	1.8820	2.1795
V	2.1090	2.1818	1.9657	1.2181	1.2016	1.7640	7.1880	1.5502	6.9915	2.3177	5.3316	3.5876	3.2781	1.5699	2.0621
Cr	2.1403	7.3045	1.9787	1.1650	2.8159	1.7815	7.3208	1.5574	7.1162	2.3561	5.4335	3.7645	4.2794	1.4570	1.9688
Co	2.2195	7.7374	1.9990	3.7339	13.7985	1.8063	7.6742	1.5712	7.4467	2.4548	5.7003	14.3497	16.1014	5.6142	4.9012
Ni	2.2442	7.8809	2.0061	14.2798	14.0688	1.8113	7.7927	1.5768	7.5568	2.4868	5.7878	14.6430	16.3489	5.8152	6.3538
Cu	2.2612	7.9936	2.0073	14.4452	14:2776	1.8104	7.8789	1.5768	7.6365	2.5079	5.8453	14.8624	16.5350	22.9541	5.6015
Zn	2.2613	8.1183	2.0107	14.6317	14.5156	1.8120	7.9790	1.5783	7.7284	2.5161	5.9174	15.1164	16.7462	23.2223	25.1209
Ga	2.2654	8.2470	2.0171	14.8249	14.7560	1.8142	8.0816	1.5830	7.8239	2.5263	5.9902	15.3713	16.9638	23.5005	25.4658
Rb	2.1865	8.5688	1.9611	15.2116	15.2814	1.7550	8.2753	1.5351	7.9835	2.4699	5.8842	15.4663	17.3862	23.9537	26.2100
Sr	2.1646	8.5680	1.9434	15.1859	15.2367	1.7379	8.2578	1.5213	7.9615	2.4490	5.8269	15.3696	17.3530	23.8877	26.1760
Y	2.1423	8.5582	1.9248	15.1475	15.1802	1.7208	8.2336	1.5071	7.9334	2.4275	5.7679	15.2644	17.3048	23.8028	26.1192
Zr	2.0861	8.3246	1.8739	14.7627	14.7767	1.6714	8.0131	1.4629	7.7084	2.3601	5.5788	14.8099	16.8554	23.1671	25.4563
Nb	2.0327	8.0931	1.8256	14.3819	14.3798	1.6246	7.7970	1.4216	7.4834	2.2967	5.3966	14.3654	16.4117	22.5412	24.8004
Ba	2.0723	1.9672	1.9214	1.1675	1.1989	1.7427	7.0374	1.5426	6.8501	2.2733	5.2157	2.8466	1.6791	1.5218	2.0258
Pb	2.1984	8.5244	1.9700	15.1635	15.2512	1.7653	8.2519	1.5433	7.9652	2.4788	5.9146	15.4888	17.3340	23.9024	26.1146
La	2.0870	2.0031	1.9390	1.1511	1.2269	1.7513	7.0980	1.5456	6.9070	2.2910	5.2624	3.2410	3.0716	1.4859	1.9950
Ce	2.1318	7.2598	1.9763	1.2818	2.8156	1.7767	7.2840	1.5561	7.0810	2.3459	5.4040	3.4741	3.9513	1.3777	1.8938
Nd	2.1287	7.2468	1.9753	1.3366	2.7954	1.7750	7.2728	1.5550	7.0706	2.3418	5.3961	3.3945	3.8619	1.5250	1.8388
Sm	2.1528	7.3720	1.9821	2.8733	3.3170	1.7876	7.3762	1.5597	7.1681	2.3713	5.4750	13.5963	3.6872	1.4435	1.7763
Th	2.1882	8.5173	1.9613	15.1390	15.2185	1.7567	8.2369	1.5371	7.9478	2.4686	5.8830	15.4308	17.3042	23.8521	26.0782

Table 4. Continued.

	α_{iCu}	α_{iZn}	α_{iGa}	α_{iRb}	α_{iSr}	α_{iY}	α_{iZr}	α_{iNb}	α_{iBa}	α_{iPb}	α_{iLa}	α_{iCe}	α_{iNd}	α_{iSm}	α_{iTh}
SiO_2	2.2109	2.3906	2.5860	1.1495	1.2214	1.2779	1.3715	1.3994	2.4273	1.8493	2.4858	2.6675	2.9652	3.2700	1.9009
TiO_2	2.2672	2.6175	2.8513	5.5823	6.1266	6.7486	7.3734	8.1083	5.7110	11.7679	5.5554	5.5879	5.2700	5.3765	13.0038
Al_2O_3	2.1289	2.3344	2.4934	0.8958	0.9705	1.0643	1.1422	1.1833	2.2883	1.5954	2.3845	2.5650	2.5482	2.7546	1.7086
Fe_2O_3	1.2618	1.5237	1.7091	4.6602	5.2722	5.9807	6.7190	7.5484	21.2204	12.7373	22.6394	20.6084	17.8820	9.4073	16.7916
MnO	1.5104	1.8063	2.0091	4.8956	5.4903	6.1764	6.8850	7.6882	18.0742	12.4771	19.1587	15.4322	8.3109	8.4200	16.3560
MgO	2.0430	2.2770	2.0583	0.7467	0.8129	0.8941	0.9578	1.0077	1.8921	1.3349	1.9372	1.7201	1.8169	2.0876	1.3895
CaO	2.5032	2.8284	3.0380	5.5625	6.0637	6.6382	7.2218	7.9069	3.9620	10.4064	4.0394	4.1694	4.4602	4.7361	10.3368
Na_2O	1.6611	0.9733	0.3562	0.6347	0.6948	0.8129	0.8699	0.9286	1.3609	1.1226	1.4011	1.5888	1.5194	0.5117	1.1578
K_2O	2.4984	2.8090	3.0008	5.4274	5.9070	6.4594	7.0301	7.6938	3.5851	8.8724	3.6635	3.8216	4.1410	4.4500	4.2751
P_2O_5	2.2663	2.4295	2.6563	4.0504	4.3985	1.6319	1.7608	1.6766	2.5697	2.1470	2.5949	2.7783	3.0864	3.3995	2.0886
S	2.3601	2.5651	2.7717	4.9398	5.3587	5.0544	5.4903	2.2022	2.7451	2.6082	2.7904	2.9813	3.3098	3.6404	2.3025
V	2.2044	2.5591	2.7934	5.6463	6.2155	6.8633	7.5042	8.2613	6.6228	12.2065	6.8511	6.7164	6.4681	5.8649	14.7392
Cr	2.0939	2.4570	2.6970	5.6423	6.2329	6.9047	7.5657	8.3466	13.8501	12.6112	7.5663	7.7473	7.7593	7.1754	16.3479
Co	1.0017	1.2044	1.3518	4.3312	4.9650	5.7013	6.4780	7.3381	21.7253	12.9326	23.1529	24.5535	23.6697	20.5030	17.1548
Ni	5.3203	0.2410	0.3638	3.4422	4.1029	4.8736	5.7226	6.6238	22.2143	12.7338	23.6572	25.1265	27.9956	27.1383	17.1544
Cu	6.0817	5.5923	-1.3708	0.2590	0.8653	1.6449	2.6754	3.6554	22.4641	11.2041	23.9460	25.4998	28.4632	31.1228	15.4607
Zn	6.3867	7.1671	6.0424	-0.1103	0.4862	1.2734	2.3341	3.3342	22.9196	11.4801	24.4100	26.0271	29.0462	31.7860	15.8224
Ga	27.3024	7.4854	7.8730	-0.6074	-0.0192	0.7799	1.8777	2.9074	23.3813	11.7951	24.8806	26.5653	29.6401	32.4614	16.1224
Rb	28.8220	31.4912	33.1352	15.0181	12.1390	12.4316	-2.2062	-1.0763	24.7663	52.2889	26.2668	28.2621	31.5429	34.7191	25.8890
Sr	28.7473	31.4313	33.0646	15.2938	16.5542	13.5983	13.5641	-2.3145	24.7784	52.7838	26.2816	28.3247	31.6357	34.8628	29.2177
Y	28.6500	31.3455	32.9672	15.6928	16.9809	18.4861	14.7969	15.2583	24.7563	53.0596	26.2636	28.3511	31.6906	34.9637	34.6839
Zr	27.8890	30.5328	32.1054	49.8529	17.1175	18.6307	19.5025	16.2472	24.1139	65.3191	25.5951	27.6813	30.9807	34.2313	35.3160
Nb	27.1393	29.7315	31.2564	48.6259	52.4520	18.8951	19.7745	21.2603	23.4671	72.7220	24.9249	27.0063	30.2653	33.4904	62.7371
Ba	2.1782	2.5223	2.7578	5.4981	6.0425	6.6651	7.2932	8.0266	5.8835	11.6770	5.8972	5.7318	5.8260	5.4112	12.7870
Pb	28.7560	31.3957	33.0428	13.9843	11.5536	11.7411	-1.1643	-0.9067	24.4956	26.4368	26.0084	27.9636	31.2322	34.3695	24.9685
La	2.1424	2.4914	2.7291	5.5161	6.0707	6.7041	7.3399	8.0836	6.1370	11.8620	6.3742	6.3122	6.1752	5.6861	13.3942
Ce	2.0080	2.3574	2.5947	5.5159	6.1016	6.7698	7.4329	8.2108	13.5567	12.4117	7.1651	7.4368	7.7531	7.1274	16.0956
Nd	1.9528	2.3024	2.5432	5.4777	6.0634	6.7314	7.3976	8.1751	6.6450	12.3504	7.0512	7.3224	7.7077	7.4595	16.0273
Sm	1.6843	2.0244	2.2696	5.3322	5.9438	6.6388	7.3337	8.1384	17.9725	12.5698	14.5939	7.3889	8.0798	8.4792	16.4195
Th	28.6972	31.3432	32.9833	13.5249	14.6476	12.4973	12.6420	-0.8546	24.2734	26.1688	25.8226	27.8254	31.1604	34.3593	31.0064

長岩）の測定結果をしめす（Table 8）．かんらん石マーブルおよび石灰珪質片麻岩のみCO_2を含む揮発性成分を除去する目的で980°C，2.5時間の条件で強熱した．その他の試料は，標準試料と同様の条件でビードを作成した．

主成分元素の合計は，すべての岩石に対してほぼ100 wt％に近い値が得られた．これらの結果は，SiO_2＝15.6～79.6wt％，TiO_2＝0.1～7.2wt％，Al_2O_3＝1.7～38.6wt％，Fe_2O_3＝0.4～29.1wt％，MgO＝0.6～49.3wt％，CaO＝0.1～28.1wt％，K_2O＝0.0～13.3wt％等，広い組成範囲の岩石に対して，作成した検量線を用いることにより分析可能であることをしめす．加えて，980°Cで恒量することで，CO_2を含むほぼすべての揮発性成分を取り除くことができたといえる．微量元素の測定結果に関しては，詳細な検討を行うことができないが，顕微鏡観察と鉱物化学組成から推定される全岩化学組成と調和的であるようにみえる．例えば，硫化鉱物を含む岩石はSの含有量が高く，クロムスピネルを含む変成はんれい岩はCr含有量が著しく高い．高いBa含有量をしめすマーブルは，バライトを含み方解石にも少量のBaが含まれる．一般にBaを少量含むカリ長石が主要構成鉱物である石英閃長岩も同様にBaの含有量が高い．さらに，変成ラテライトの微量元素組成は，一般的な堆積岩と比較して，風化に対して溶脱する元素（例えば，Rb, Sr, Ba, Pb）の含有量が低く，溶脱しにくい元素（例えば，Y, Zr, Nb, 希土類元素）は高い．

以上のことから，本報告で作成した検量線を用いることにより，特殊な化学組成を有する天然の岩石の定量値を，XRFによって分析が可能となったといえる．今後，これらの岩石を比較的前処理が簡単なXRFにより迅速・多量に分析することで新たな研究の進展が期待できる．

謝辞

高知大学・石塚英男教授および曽山祐貴氏には，未公表データの一部を本報告に掲載することを快諾いただいた．九州大学・狩野彰宏教授には建設的な査読を頂き，本稿は著しく改善された．以上の方々に深く感謝申し上げます．なお，本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究A（代表：小山内康人）および若手研究B（代表：中野伸彦）を使用した．

文献

de Jongh, W. K. (1973) X-ray fluorescence analysis applying theoretical matrix correction-Stainless steel. X-Ray Spectrometry, 2, 151-158.

後藤　篤・巽　好幸（1991）蛍光X線分析装置による岩石試料の定量分析（I）．理学電機ジャーナル，22，28-44．

後藤昌子・堀江太一郎・大場　司・藤巻宏和（2002）珪酸塩岩から炭酸塩岩までの広範囲の組成における主成分元素および微量元素のXRF低希釈率ガラスビード分析．岩石鉱物科学，31，162-173．

後藤隼次・金谷　弘（1985）粉末法による岩石及び鉱物中の諸成分のけい光X線分析　第2報－主成分元素の定量法－．地質調査所月報，36，453-461．

服部　仁（1971）蛍光X線分析法による岩石中の珪酸塩定量用のガラス円板試料調整法．地質調査所月報，22，103-118．

角縁　進・永尾隆志・山田康治郎・河野久征・白木敬一（1997）低希釈率ガラス円盤を用いた岩石中の希土類元素の定量．山口大学機器分析センター報告書5，16-25．

Kimura, J. and Yamada, Y. (1996) Evaluation of major and trace element XRF analyses using a flux to sample ratio of two to one glass beads. Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology, 91 62-72.

Mori, Y. and Mashima, H. (2005) X-ray fluorescence of major and trace elements in silicate rocks using 1：5 dilution glass beads. Bulletin of the Kitakyushu Museum of Natural History, Series A, 3 1-12.

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，14，117-127．

大森貞子・大森江い（1976）岩石および鉱物中の主成分のけい光X線分析法－第1報　ガラス円盤作成について－．地質調査所月報，2，195-211．

山田康治郎・河野久征・白木敬一・永尾隆志・角縁　進・大場　司・川手新一・村田　守（1997）Rh/Wデュアル X線管を用いた低希釈率ガラスビード法による岩石中の主成分，微量成分および希土類の分析．X線分析の進歩，29，47-70．

Table 5. Line overlap correction coefficients.

Element*ti*	L_{iTiO2}	L_{iAl2O3}	L_{iFe2O3}	L_{iMnO}	L_{iMgO}	L_{iNa2O}	L_{iV}	L_{iCr}	L_{iCo}	L_{iNi}	L_{iCu}	L_{iRb}
TiO_2												
Fe_2O_3				-0.02787								
MnO								-0.02253				
MgO		-0.02832				-0.00599						
Na_2O		0.00247			-0.00125							
V	0.01225											
Cr							0.05412					
Co			0.00006									
Ni									0.36391			
Cu										-0.00005		
Zn										0.00374	0.00565	
Rb												
Sr												0.00217
Y												0.19953
Zr												-0.06526
Nb												
Ba	-0.00944											
Pb												0.00054
Ce												
Nd												
Sm												
Th												0.00055

Table 5. Continued.

Element	L_{iSr}	L_{iY}	L_{iZr}	L_{iNb}	L_{iBa}	L_{iLa}	L_{iCe}	L_{iNd}	L_{iSm}	L_{iPb}	L_{iTh}
TiO_2					-0.06445						
Fe_2O_3									4.47962		
MnO											
MgO											
Na_2O											
V											
Cr											
Co											
Ni											
Cu											
Zn											
Rb											-0.06026
Sr		-0.00053									
Y	-0.00667		0.00004								
Zr	0.07104	-0.00788		0.04039							0.57988
Nb	-0.00194	0.02008	-0.00157								
Ba											
Pb											-0.00453
Ce					-0.00962	-0.02081		0.04544			
Nd					-0.00783		0.00845				
Sm							0.01108	-0.00473			
Th										-0.01369	

Table 6. Results of calibration lines.

Element	Intercept D_i	Slope E_i	Accuracy	LLD
	(wt %)	(wt%/cps)	(wt%)	(wt%)
SiO_2	-0.41221	0.14614	0.285	0.0040
TiO_2	-0.00434	0.02029	0.047	0.0065
Al_2O_3	-0.00873	0.30326	0.129	0.0003
Fe_2O_3	-0.00946	0.01238	0.070	0.0003
MnO	-0.00523	0.00622	0.027	0.0001
MgO	0.03675	0.10214	0.162	0.0024
CaO	-0.00938	0.06319	0.343	0.0010
Na_2O	0.01545	0.27235	0.059	0.0024
K_2O	-0.00020	0.02504	0.078	0.0003
P_2O_5	-0.00171	0.04638	0.015	0.0004
	(ppm)	(ppm/cps)	(ppm)	(ppm)
S	-25.18754	1268.89419	10.94	2.2
V	2.22330	210.58503	6.24	1.3
Cr	-9.30504	135.65401	5.62	1.0
Co	-1.62971	103.95990	2.97	0.8
Ni	-23.17260	24.75800	7.15	0.4
Cu	-22.17993	48.59405	4.89	0.2
Zn	-8.37274	15.65396	4.76	0.1
Ga	6.66784	12.41935	6.06	0.1
Rb	2.18750	6.68398	8.98	0.2
Sr	-5.08295	12.07141	11.62	0.3
Y	2.66344	4.94105	4.75	0.2
Zr	-0.15705	9.36967	14.82	0.4
Nb	2.03655	8.59782	1.32	0.2
Ba	2.08295	1143.76090	18.50	4.1
Pb	0.25594	22.45352	1.60	0.3
La	1.18990	306.75759	2.29	0.9
Ce	1.91790	351.42977	3.17	1.4
Nd	1.25704	193.45730	1.83	0.7
Sm	2.22617	173.87021	1.10	0.7
Th	-6.11054	15.77230	1.06	0.3

$$\text{Accuracy} = \sqrt{\frac{1}{n-k}\Sigma(C_{chem} - C_{calc})^2}$$

where n is number of samples, k is number of correction coefficients, C_{chem} is original concentrations, C_{calc} is calculated concentrations.

LLD shows lower limit of detectable concentration

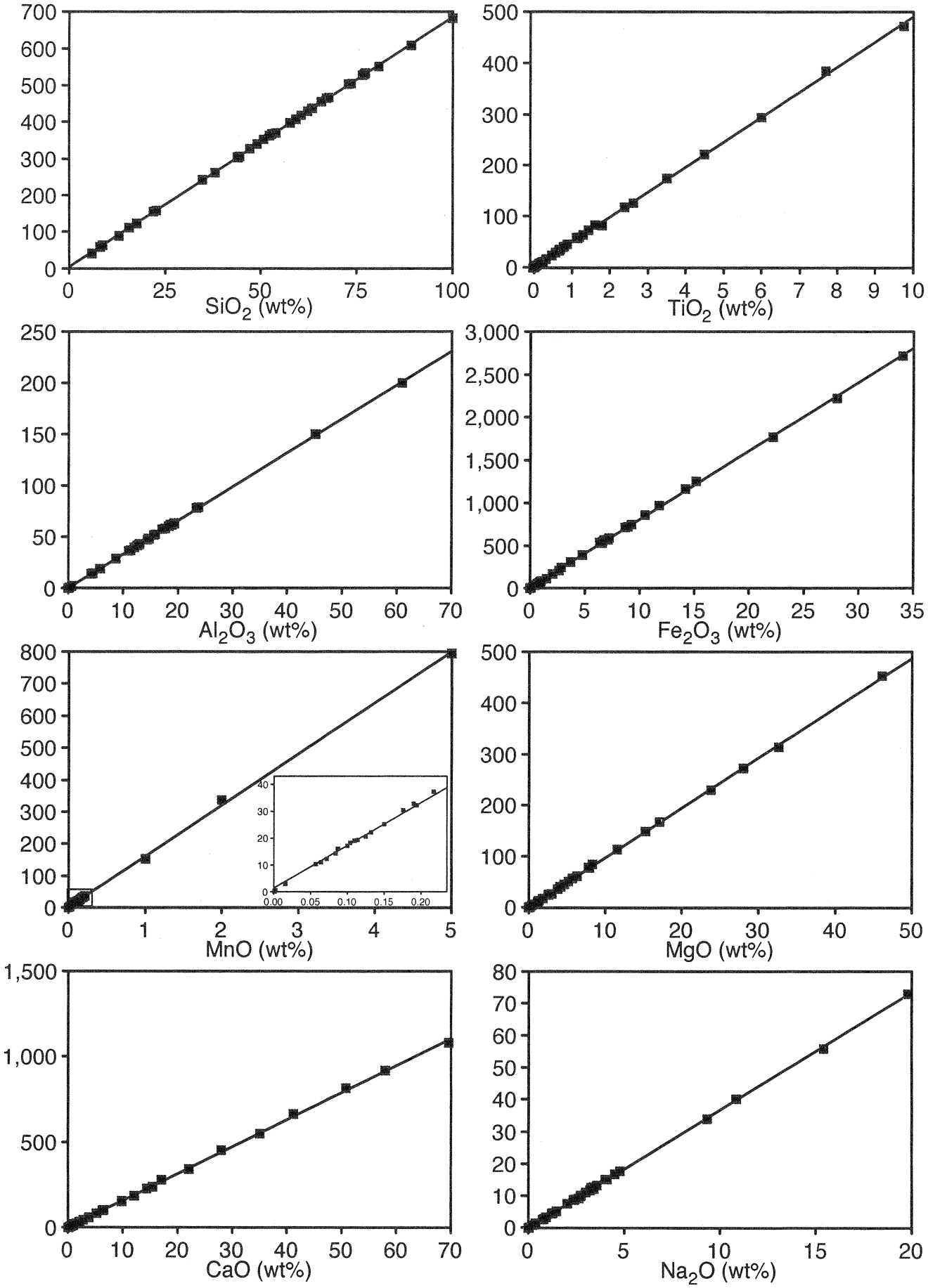

Fig. 1. Calibration line of the analyzed elements. Y-axes of all diagrams show X-ray intensity (kcps).

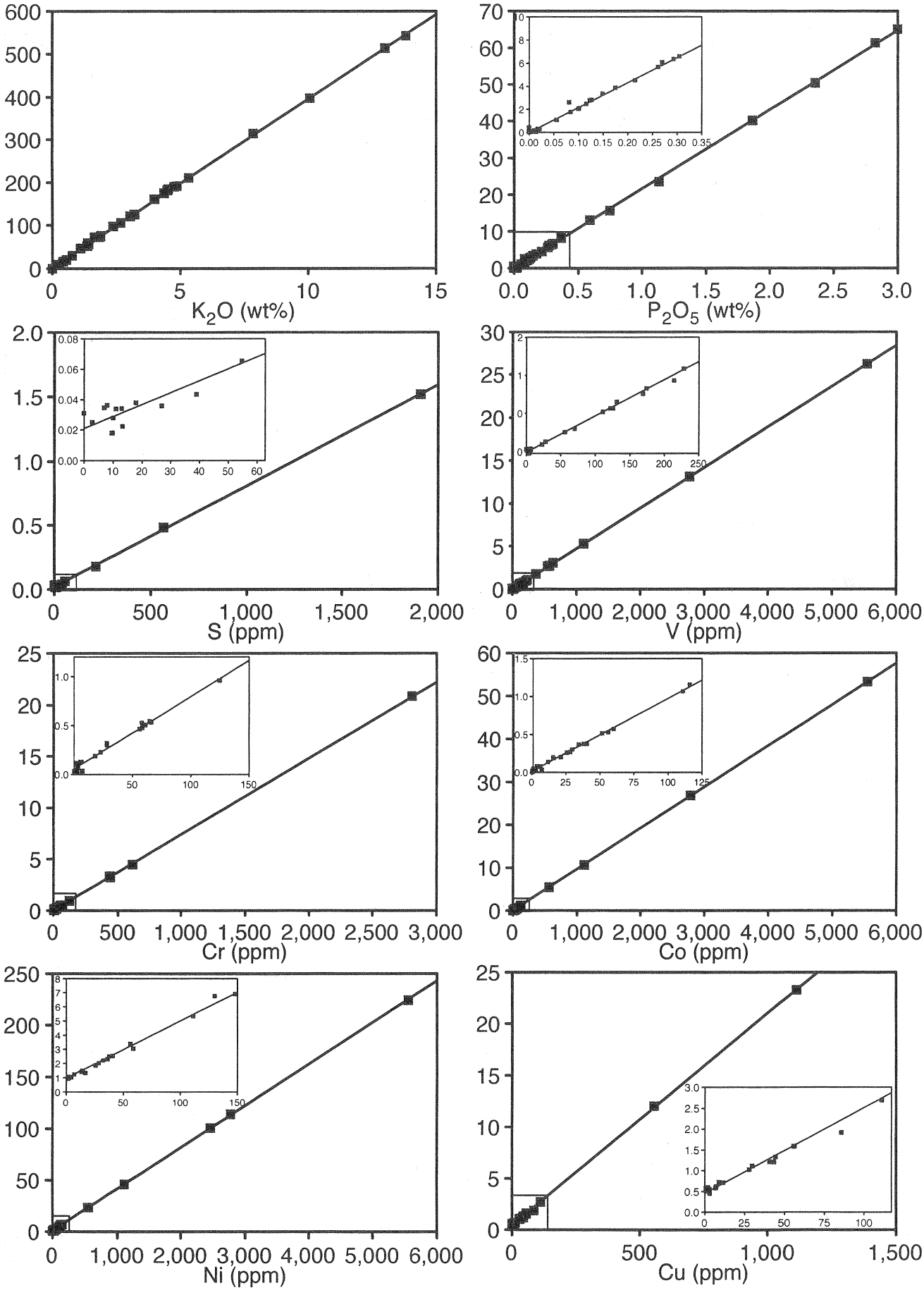

Fig. 1. Calibration line of the analyzed elements. Y-axes of all diagrams show X-ray intensity (kcps).

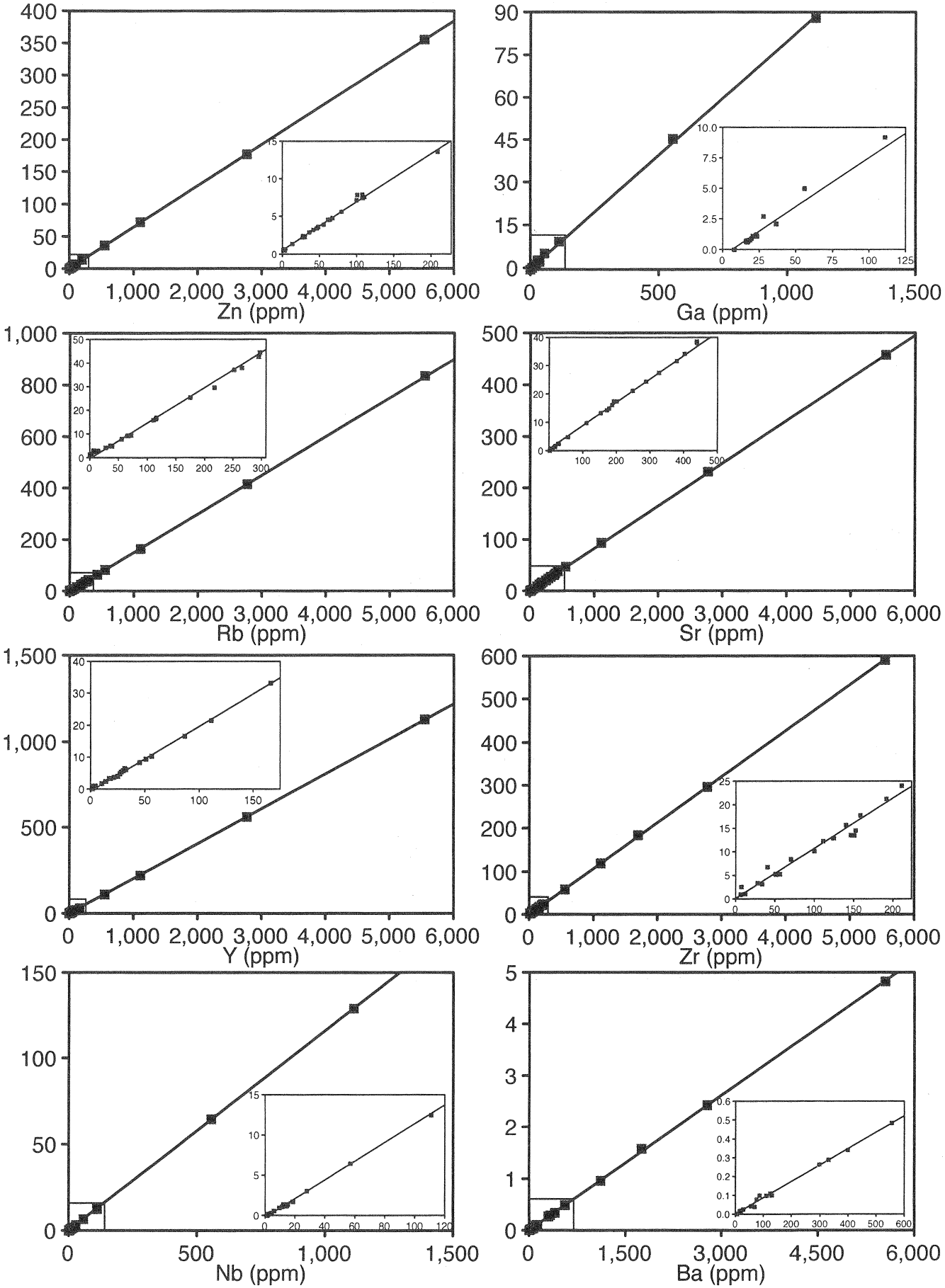

Fig. 1. Calibration line of the analyzed elements. Y-axes of all diagrams show X-ray intensity (kcps).

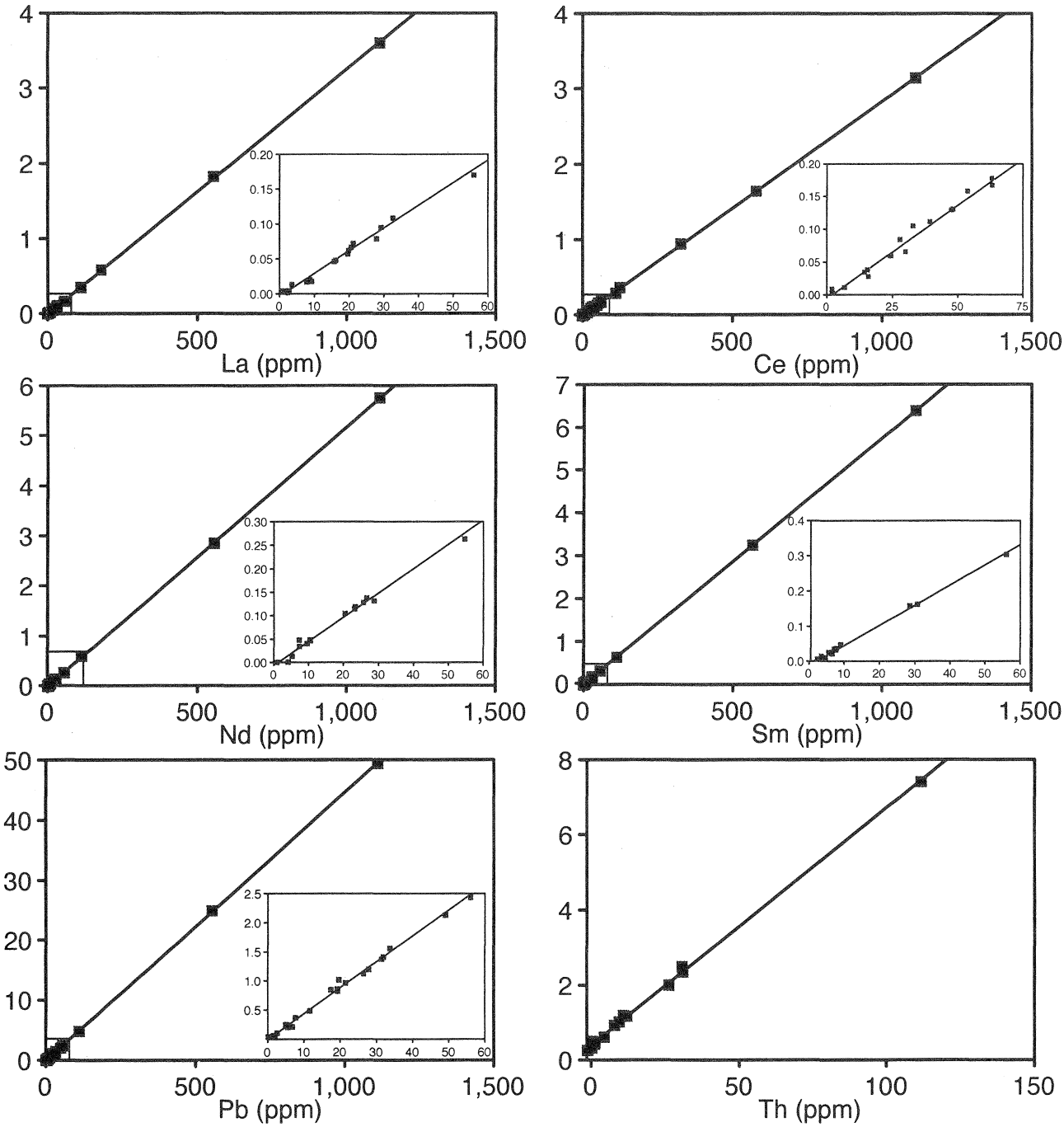

Fig. 1. Calibration line of the analyzed elements. Y-axes of all diagrams show X-ray intensity (kcps).

Table 7. Analytical results of the GSJ geochemical reference samples.

	JR-1	Rev.	JR-2	Rev.	JR-3	Rev.	JG-1a	Rev.	JG-2	Rev.	JG-3	Rev.	JA-2	Rev.	JA-3	Rev.	JB-1b	Rev.	JB-2	Rev.
(wt%)																				
SiO_2	75.16	75.45	75.38	75.69	72.40	72.76	72.35	72.30	77.18	76.83	67.16	67.29	56.60	56.42	62.22	62.27	51.35	51.11	53.11	53.25
TiO_2	0.10	0.11	0.06	0.07	0.21	0.21	0.24	0.25	0.04	0.04	0.48	0.48	0.69	0.66	0.70	0.70	1.27	1.26	1.20	1.19
Al_2O_3	12.78	12.83	12.60	12.72	11.85	11.90	14.12	14.30	12.48	12.47	15.49	15.48	15.57	15.41	15.71	15.56	14.26	14.38	14.62	14.64
Fe_2O_3	0.89	0.89	0.75	0.77	4.70	4.72	2.00	2.00	0.96	0.97	3.73	3.69	6.44	6.21	6.70	6.60	9.00	9.02	14.35	14.25
MnO	0.10	0.10	0.11	0.11	0.08	0.08	0.06	0.06	0.01	0.02	0.07	0.07	0.11	0.11	0.11	0.10	0.15	0.15	0.23	0.22
MgO	0.11	0.12	0.03	0.04	0.03	0.05	0.68	0.69	0.02	0.04	1.79	1.79	7.93	7.60	3.72	3.72	8.39	8.14	4.64	4.62
CaO	0.69	0.67	0.50	0.50	0.08	0.09	2.13	2.13	0.68	0.70	3.72	3.69	6.35	6.29	6.26	6.24	9.43	9.60	9.73	9.82
Na_2O	4.01	4.02	4.02	3.99	4.76	4.69	3.41	3.39	3.58	3.54	4.05	3.96	3.07	3.11	3.19	3.19	2.60	2.63	2.02	2.04
K_2O	4.48	4.41	4.52	4.45	4.32	4.29	4.00	3.96	4.74	4.71	2.63	2.64	1.78	1.81	1.41	1.41	1.27	1.32	0.42	0.42
P_2O_5	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02	0.08	0.08	0.00	0.00	0.13	0.12	0.15	0.15	0.11	0.12	0.26	0.26	0.09	0.10
H_2O^+	1.35	1.16	1.54	1.19	0.65	0.72	0.53	0.59	0.26	0.33	0.54	0.67	0.92	1.12	0.18	0.20	1.50	1.53	0.00	0.25
H_2O^-	0.24	0.20	0.31	0.22	0.33	0.24	0.13	0.12	0.07	0.12	0.14	0.17	1.27	1.25	0.14	0.11	1.03	1.06	0.13	0.13
total	99.92	99.98	99.83	99.76	99.43	99.77	99.74	99.87	100.03	99.77	99.93	100.05	100.89	100.13	100.45	100.22	100.52	100.45	100.54	100.93
(ppm)																				
S	8.3	13.3	6.0	9.6	43.1	39.0	22.2	11.0	25.3	7.0	75.4	54.7	22.1	8.0	210.5	214.0	12.5	10.0	30.6	17.9
V	7.5	7.0	2.2	3.0	nd	4.2	19.3	22.7	1.5	3.8	66.2	70.1	123.5	126.0	163.7	169.0	198.9	214.0	575.6	575.0
Cr	3.2	2.8	2.7	3.1	nd	3.5	18.8	17.6	5.5	6.4	20.9	22.4	446.8	436.0	64.9	66.2	432.0	439.0	29.9	28.1
Co	0.9	0.8	1.2	0.5	3.5	1.0	6.2	5.9	3.0	3.6	10.6	11.7	30.7	29.5	18.8	21.1	40.3	40.3	39.4	38.0
Ni	1.0	1.7	1.6	2.0	1.6	1.6	5.7	6.9	1.2	4.4	13.2	14.3	144.3	130.0	31.8	32.2	149.4	148.0	10.5	16.6
Cu	4.5	2.7	5.9	1.4	nd	2.9	6.8	1.7	6.5	0.5	7.5	6.8	33.0	29.7	37.2	43.4	54.8	55.5	163.2	225.0
Zn	26.5	30.6	26.0	27.8	201.5	209.0	36.2	36.5	12.2	13.6	44.0	46.5	62.7	64.7	65.9	67.7	78.2	80.0	108.6	108.0
Ga	14.5	16.1	14.7	17.9	32.0	36.6	14.0	16.5	15.2	18.6	13.1	17.1	15.1	16.9	14.5	16.3	13.4		14.8	17.0
Rb	235.3	257.0	302.5	303.0	452.5	453.0	170.9	178.0	290.9	301.0	63.9	67.3	64.0	72.9	33.8	36.7	31.0	39.1	17.1	7.4
Sr	23.9	29.1	3.4	8.1	3.3	10.4	184.0	187.0	11.9	17.9	372.6	379.0	249.3	248.0	286.8	287.0	451.0	439.0	175.2	178.0
Y	43.6	45.1	48.5	51.1	163.9	166.0	32.3	32.1	83.6	86.5	18.9	17.3	19.5	18.3	21.5	21.2	24.0		22.0	24.9
Zr	79.8	99.9	71.7	96.3	1515.6	1494.0	121.1	118.0	75.4	97.6	149.1	144.0	113.9	116.0	115.8	118.0	117.5		50.6	51.2
Nb	13.5	15.2	15.6	18.7	546.0	510.0	10.2	11.4	11.4	14.7	7.4	5.9	9.4	9.5	3.7	3.4	28.1		0.9	1.6
Ba	45.7	50.3	32.1	39.5	63.1	65.8	459.2	470.0	58.4	81.0	462.7	466.0	319.0	321.0	325.7	323.0	518.7		234.8	222.0
Pb	18.4	19.3	21.6	21.5	33.6	32.8	26.0	26.4	31.1	31.5	11.1	11.7	19.5	19.2	7.8	7.7	6.3	6.8	5.1	5.4
La	21.3	19.7	12.8	16.3	178.3	179.0	23.8	21.3	20.6	19.9	20.1	20.6	15.7	15.8	7.3	9.3	38.8		1.7	2.4
Ce	50.9	47.2	37.8	38.8	328.3	327.0	50.7	45.0	50.4	48.3	43.5	40.3	29.7	32.7	22.3	22.8	69.1		8.8	6.8
Nd	22.8	23.3	19.2	20.4	110.9	107.0	18.1	20.4	26.8	26.4	16.7	17.2	15.6	13.9	13.1	12.3	25.3		5.7	6.6
Sm	6.0	6.0	5.5	5.6	21.1	21.3	4.5	4.5	9.5	7.8	4.7	3.4	1.4	3.1	1.5	3.1	5.2		0.7	2.3
Th	25.2	26.7	30.3	31.4	110.3	112.0	13.2	12.8	33.3	31.6	9.2	8.3	3.3	5.0	2.2	3.3	8.6		Nd	0.4

Rev. indicates recommended values. nd indicates non detection.

Table 7. *Continued.*

	JB-3	Rev.	JGb-1	Rev.	JGb-2	Rev.	JP-1	Rev.	JH-1	Rev.	JSy-1	Rev.	JSl-1	Rev.	JSl-2	Rev.	JF-1	Rev.	JF-2	Rev.
(wt%)																				
SiO_2	51.09	50.96	43.26	43.66	46.76	46.47	42.87	42.38	48.45	48.18	60.55	60.02	59.77	59.47	59.46	59.45	67.17	66.69	65.75	65.30
TiO_2	1.47	1.44	1.64	1.60	0.58	0.56	nd	0.01	0.68	0.67	nd	0.00	0.75	0.73	0.77	0.75	0.00	0.01	0.01	0.01
Al_2O_3	17.33	17.20	17.44	17.49	23.53	23.48	0.68	0.66	5.65	5.66	23.58	23.17	17.61	17.60	17.85	18.17	18.28	18.08	18.81	18.52
Fe_2O_3	11.95	11.82	15.21	15.06	6.85	6.69	8.52	8.37	10.39	10.27	0.08	0.08	6.84	6.76	6.57	6.65	0.08	0.08	0.05	0.06
MnO	0.18	0.18	0.19	0.19	0.13	0.13	0.12	0.12	0.19	0.19	nd	0.00	0.06	0.06	0.09	0.08	nd	0.00	0.00	0.00
MgO	5.19	5.19	7.81	7.85	6.23	6.18	44.98	44.60	16.87	16.73	0.04	0.02	2.40	2.41	2.33	2.39	nd	0.01	0.00	0.00
CaO	9.64	9.79	11.61	11.90	14.00	14.10	0.54	0.55	14.78	15.02	0.25	0.25	1.47	1.48	2.09	1.89	0.93	0.93	0.09	0.09
Na_2O	2.74	2.73	1.19	1.20	0.89	0.92	0.02	0.02	0.70	0.71	10.87	10.74	2.21	2.18	1.33	1.34	3.29	3.37	2.40	2.39
K_2O	0.77	0.78	0.22	0.24	0.05	0.06	nd	0.00	0.51	0.53	4.77	4.82	2.88	2.85	2.93	3.01	9.92	9.99	12.87	12.94
P_2O_5	0.29	0.29	0.05	0.06	0.01	0.02	nd	0.00	0.09	0.10	nd	0.01	0.19	0.20	0.17	0.16	0.01	0.01	0.00	0.00
H_2O^+	0.00	0.18	1.00	1.28	1.00	1.46	2.32	2.39	1.23	1.82	0.43		4.72	3.92	5.60	4.16	0.25	0.23	0.30	0.24
H_2O^-	0.09	0.07	0.14	0.13	0.16	0.14	0.62	0.44	0.22	0.18	0.05		0.67	0.65	0.41	0.36	0.11	0.13	0.16	0.18
total	100.75	100.63	99.77	100.66	100.18	100.21	100.68	99.54	99.77	100.06	100.61	99.12	99.56	98.32	99.60	98.41	100.04	99.52	100.44	99.73
(ppm)																				
S	1.9	9.9	1888.8	1910.0	720.6	599.0	26.8	26.9	586.5	567.0	29.6	13.0	1289.9	1467.0	451.8	579.0	21.4	5.0	16.3	2.8
V	376.5	372.0	643.6	635.0	172.0	174.0	27.1	27.6	231.4	228.0	nd	2.1	136.1	131.0	118.4	122.0	7.4	5.4	nd	4.9
Cr	55.1	58.1	59.5	57.8	115.5	125.0	2827.8	2807.0	594.7	616.0	7.2	2.0	56.1	60.9	63.0	64.7	6.2	5.5	3.9	2.5
Co	35.9	34.3	61.6	60.1	26.4	25.8	120.7	116.0	50.3	51.5	nd	0.2	14.9	15.5	14.6	15.7	nd	0.1	1.2	0.7
Ni	35.8	36.2	22.0	25.4	12.7	13.6	2484.2	2460.0	50.8	58.2	0.8	1.1	39.9	37.6	40.5	40.6	1.8	1.4	2.4	1.4
Cu	156.6	194.0	69.8	85.7	12.2	11.4	6.1	6.7	12.0	8.6	4.4	1.3	36.9	40.8	42.3	44.5	3.5	0.8	2.9	0.8
Zn	102.5	100.0	107.1	109.0	46.9	48.5	41.8	41.8	61.7	61.8	nd	3.2	113.6	108.0	111.4	101.0	1.7	4.4	nd	1.4
Ga	16.9	19.8	15.4	17.9	13.9	15.9	nd	0.7	5.2	7.9	19.9	23.5	19.7	20.7	20.6	22.8	14.4	17.4	15.0	17.9
Rb	19.4	15.1	23.7	6.9	10.3	2.9	8.2	0.8	19.7	14.4	63.8	66.3	110.3	117.0	113.8	118.0	253.7	266.0	196.4	218.0
Sr	408.1	403.0	324.8	327.0	453.1	438.0	nd	3.3	154.2	153.0	14.8	19.3	204.0	193.0	253.5	230.0	163.0	172.0	201.7	200.0
Y	24.1	26.9	11.1	10.4	6.7	4.5	2.3	1.5	14.4	13.7	5.7	2.6	31.8	30.0	34.0	31.3	7.2	2.8	4.3	2.7
Zr	96.2	97.8	29.0	32.8	9.8	11.6	9.3	5.9	46.2	48.3	77.4	70.2	178.1	174.0	202.3	191.0	61.4	38.6	24.2	6.7
Nb	3.2	2.5	4.7	3.3	2.4	1.9	0.9	1.5	4.8	4.2	0.7	0.5	9.8	9.5	14.1	12.3	0.7	0.7	1.2	0.7
Ba	256.9	245.0	71.3	64.3	41.2	36.5	11.8	19.5	121.1	106.0	12.8	15.7	328.0	305.0	317.1	302.0	1801.6	1750.0	310.2	298.0
Pb	5.0	5.6	1.6	1.9	0.8	1.5	0.6	0.1	1.6	2.6	5.8	4.9	19.3	17.4	22.5	19.7	33.9	33.4	47.7	48.7
La	8.2	8.8	3.1	3.6	2.9	1.5	2.2	0.1	6.2	7.9	4.0	1.2	31.9	29.3	35.3	32.7	2.0	2.8	4.9	0.6
Ce	20.3	21.5	4.6	8.2	6.0	3.0	nd	0.2	13.1	17.6	4.7	2.6	62.5	60.6	73.9	69.6	6.1	4.2	0.1	0.8
Nd	15.9	15.6	5.0	5.5	1.2	1.8	1.0	0.1	10.5	11.6	1.3	1.2	29.0	28.8	34.0	32.0	1.6	1.5	nd	0.3
Sm	2.7	4.3	nd	1.5	nd	0.5	0.4	0.0	1.8	3.1	1.7	0.3	4.3	6.0	8.2	6.0	nd	0.4	2.1	0.1
Th	0.5	1.3	1.1	0.5	nd	0.2	nd	0.2	2.1	1.4	nd	0.2	10.6	10.0	12.4	11.5	0.8	1.2	nd	0.3

Rev.indicates recommended values. nd indicates non detection.

Table 8. Application tonatural rocks.

	Impure marble	Calc-silicate gneiss	Perido-tite	Meta. Gabbro	Eclogite	Alkali basalt	Khondali-tic gneiss	Meta laterite	Impure quartzite	Qtz syanite
(wt%)										
SiO_2	15.59	51.95	37.50	44.98	48.28	48.23	48.17	23.34	79.63	63.02
TiO_2	0.19	0.12	0.08	1.06	2.33	1.88	1.12	7.22	0.07	0.60
Al_2O_3	3.90	4.42	1.67	10.06	13.99	15.67	25.87	38.56	11.57	17.66
Fe_2O_3	1.36	2.88	2.63	14.21	13.86	10.03	10.30	29.10	2.21	0.40
MnO	0.04	0.09	0.07	0.19	0.23	.0.19	0.11	0.09	0.01	0.00
MgO	20.18	15.33	49.27	18.20	6.50	6.48	2.94	0.67	4.17	0.60
CaO	28.13	23.09	2.95	7.28	10.63	7.43	1.52	0.41	0.10	2.02
Na_2O	0.21	0.70	nd	1.63	2.61	3.74	2.08	0.00	0.19	1.57
K_2O	0.79	0.17	0.02	0.47	0.75	2.60	5.19	0.01	1.71	13.25
P_2O_5	nd	0.11	0.00	0.17	0.30	0.60	0.08	0.35	0.01	0.14
LOI	28.77	0.96	7.16	0.92	0.21	3.42	2.57	nd	0.47	0.86
total	99.16	99.82	101.35	99.16	99.69	100.27	99.95	99.74	100.14	100.12
(ppm)										
S	309.0	15.0	281.7	869.6	1782.3	1628.2	159.2	29.3	nd	505.6
V	43.1	52.3	11.0	146.3	301.0	156.6	195.6	588.5	2.3	16.1
Cr	24.7	49.3	40.9	1170.3	398.0	265.2	163.1	286.5	5.4	52.7
Co	21.3	56.9	69.1	179.0	181.8	37.8	68.5	221.9	6.1	112.3
Ni	14.2	17.4	14.8	398.7	131.9	99.9	31.0	127.4	0.7	16.5
Cu	11.4	4.9	8.1	57.2	48.9	41.2	12.9	49.4	nd	2.3
Zn	83.3	65.4	24.4	97.3	122.4	78.3	85.9	185.0	39.0	6.4
Ga	1.9	5.8	nd	8.8	18.1	11.3	35.8	41.6	25.6	18.4
Rb	36.9	12.3	5.6	15.7	30.9	71.6	146.6	7.2	76.1	433.4
Sr	295.7	101.2	14.5	286.1	98.1	745.1	134.8	33.3	10.2	965.9
Y	19.7	8.9	4.3	14.1	40.0	31.4	69.9	41.7	78.0	51.5
Zr	69.3	291.5	8.4	84.8	175.2	245.6	250.0	367.9	339.2	175.1
Nb	4.0	4.7	1.6	11.7	12.0	70.7	17.9	55.1	nd	28.7
Ba	2956.7	89.8	93.9	98.9	133.4	1047.9	1378.4	17.0	352.2	4406.0
Pb	19.6	6.3	2.5	9.7	37.5	48.7	68.3	46.4	3.2	106.6
La	34.9	8.5	3.1	20.3	13.9	90.7	140.0	113.1	6.3	235.2
Ce	20.1	9.2	2.1	11.8	29.8	40.7	69.8	64.6	4.7	108.3
Nd	1.8	2.3	2.5	1.0	20.7	4.7	13.1	10.1	1.1	15.1
Sm	15.5	8.3	3.3	4.8	3.7	5.8	29.6	2.1	1.1	27.6
Th	7.4	2.4	nd	2.6	0.7	8.3	19.4	7.3	nd	19.4

nd indicates non detection.