琉球大学学術リポジトリ

# 卓上型エネルギー分散蛍光X線分析装置(ED-XRF)による1:5希釈ガラスビードを用いた岩石試料の定量分析



| メタデータ | 言語: |
| --- | --- |
| | 出版者: 琉球大学教育学部 |
| | 公開日: 2012-12-28 |
| | キーワード (Ja): |
| | キーワード (En): |
| | 作成者: 宮城, 直樹, 馬場, 壮太郎, 松田, 伸也, Miyagi, Naoki, Baba, Sotaro, Matsuda, Shinya |
| | メールアドレス: |
| | 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/20.500.12000/25619 |

# 卓上型エネルギー分散蛍光X線分析装置（ED-XRF）による 1:5希釈ガラスビードを用いた岩石試料の定量分析

宮城直樹*†　馬場壮太郎**　松田伸也***

Quantitative analyses of rock samples using a 1:5 dilution glass bead by portable energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer.

Naoki Miyagi*†, Sotaro Baba**, Shinya Matsuda***

## 1．はじめに

蛍光X線分析装置（X-ray fluorescence spectrometry：XRF）は，岩石試料の主要成分元素および微量成分元素の分析に広く用いられている．XRFには波長分散型（WD--XRF）とエネルギー分散型（ED-XRF）の2種類があり，岩石試料の精密分析にはWD-XRFが，半定量分析にはED-XRFが用いられている．琉球大学教育学部理科教育講座では，理科の授業で標準的に用いられる観察教材の元素組成の分析を行い，実体観察とは異なる情報を得るとともに，授業の中でわかりやすく生徒に伝えられるようなデータの見せ方や教材について検討することを目的として，持ち運びの可能な卓上型エネルギー分散蛍光X線分析装置（PANalytical社製MiniPal4R-PW4025/45B）を導入した。本報告では卓上型蛍光X線分析装置を用いて岩石試料の主要成分元素・微量成分元素の定量分析を行い，その精度を知ることを目的とした．今回は岩石粉末と融剤との混合物を溶融し作製したガラスビード（岩石粉末：$Li_2B_4O_7$＝1：5）を用いた岩石の主要成分元素，微量成分元素（V, Cr, Ni, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb）の定量分析の結果を報告する．

## 2．ガラスビードの作製方法，検量線試料

XRF分析に用いたガラスビードの作製は，琉球大学理学部に設置されている東京科学株式会社製のガラスビードサンプラー装置（TK-4200型）を利用して行った．岩石粉末を溶融する溶剤（$Li_2B_4O_7$：Merck社製，Spectromelt A10）は使用前に恒温槽で250℃に保ち，一晩かけて水抜きを行った．

岩石粉末を1g（±0.0005），$Li_2B_4O_7$を5g（±0.0010），電子天秤上で正確に秤量し，これらを白金るつぼ（Pt 95%，Au 5%）に移してスパチュラでよく混ぜ合わせた．そのあと剥離剤として10wt%ヨウ化リチウム水溶液を3滴（約0.1ml）加えた．白金るつぼ蓋をかぶせ，るつぼを装置にセットし，まずは800℃で120秒間停止加熱，次に1200℃で160秒間停止加熱，そして1200℃で180秒間の揺動加熱を行い，メルトを生成した．その後，ファン付きの空冷ユニットへるつぼを移し，急冷させてガラスビードを作製した．アルミナ板上でるつぼをひっくり返し，ガラスビードを取り出した．分析面の反対側の面にサンプル番号を記したラベルをはり，分析までの期間はデシケータへ保存した．

検量線は，旧通産省工業技術院地質調査所（現産業技術総合研究所）から提供・委託販売されている標準岩石試料JA-1，JA-2，JB-3，JG-2，JGb-1の５つを用いて作成した．標準岩石試料の推奨値は，インターネット上の地質調査所のホー

*　琉球大学大学院教育学研究科理科教育専修
**　琉球大学教育学部生涯教育課程自然環境科学教育コース
***琉球大学教育学部学校教員養成課程理科教育専修
†　現所属：琉球大学教育学部附属小学校

ムページ(http//riodbo2.ibase.asist.go.jp/geostand/igneous.html)から引用した．検量線用のガラスビードは，吸着水を取り除いた標準試料で作製したので，主要成分元素の推奨値は，吸着水がないものとし，FeOを$Fe_2O_3$*として再計算した．

## 3．測定条件，補正方法

使用した卓上型XRFは，琉球大学教育学部に設置されているPANalytical社製のMiniPal4R-PW4025/45Bである．X線管球はRh管球であり，加速電圧と電流の条件は目的元素ごとに異なった値を用いた．Table 1に各元素の測定条件を示す．なお，本装置にはサンプルホルダーを12個セットできるサンプル・ターレットが付いている．

検量線計算に際して，主要成分元素については，Al，Fe，NaにSi，Alの重なり補正を行った．それ以外の主要成分元素は未補正での検量線の正確度が良いことから重なり補正は行っていない．微量成分元素のマトリックス補正については，Nb，Ni，Rb，Sr，ZrにSi，Alの重なり補正（RbはSiのみ）をかけた．さらにBa，Co，Cr，Nb，V，Y，Zrの各元素には，それぞれTi，Fe，V，Y，Ti，Rb，Srの重なり補正を行った．これらの補正計算は，装置に標準で付属するソフトウェア（MiniPal analytical software）を利用した．

Table 2に検量線の正確度（基準値からのずれ）と相関係数を示す．検量線の作成は，標準の回帰計算法を採用した．今回の実験に利用したED - XRFの正確度とWD - EDXを利用した新城・宮本（2007）や川野（2010）で得られた正確度と比較すると主要成分元素ではMgOが1桁以上，微量成分元素ではBaが2桁以上，SrやVで1桁以上の高い値であった．今回検量線作成に用いた標準試料数が５試料であるのに対して，彼らは14試料，25試料を用いていることがその理由と考えられる．また，$Na_2O$，Baの相関係数は負の値となり，X線強度の減衰や強度が小さいことがその理由と思われる．

Table 1. Instrumental setting of XRF

| Element | Line | Counting time(s) | kV | mA | Filter |
|---|---|---|---|---|---|
| (major) | | | | | |
| Si | Kα | 180 | 15 | 7 | kapton |
| Ti | Kα | 300 | 12 | 743 | Al_thin |
| Al | Kα | 180 | 15 | 41 | kapton |
| Fe | Kα | 240 | 20 | 325 | Al |
| Mn | Kα | 240 | 20 | 325 | Al |
| Mg | Kα | 180 | 15 | 41 | kapton |
| Ca | Kα | 300 | 12 | 743 | Al_thin |
| Na | Kα | 180 | 15 | 41 | kapton |
| K | Kα | 300 | 12 | 743 | Al_thin |
| P | Kα | 180 | 15 | 41 | kapton |
| (trace) | | | | | |
| Ba | L | 300 | 12 | 743 | Al_thin |
| Co | Kα | 240 | 20 | 325 | Al |
| Cr | Kα | 240 | 20 | 325 | Al |
| Nb | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |
| Ni | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |
| Rb | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |
| Sr | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |
| V | Kα | 300 | 12 | 743 | Al_thin |
| Y | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |
| Zr | Kα | 300 | 30 | 300 | Ag |

Table 2. Accuracies of calibration lines

| Major element | accuracy | correlation | Trace element | accuracy | correlation |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$(Wt%) | 7.19 | 0.999 | Ba(ppm) | 119 | -0.274 |
| $TiO_2$ | 0.03 | 0.999 | Co | 7 | 0.947 |
| $Al_2O_3$ | 0.37 | 0.981 | Cr | 7 | 0.999 |
| $Fe_2O_3$* | 0.15 | 1.000 | Nb | 0 | 1.000 |
| MnO | 0.01 | 0.997 | Ni | 2 | 0.999 |
| MgO | 3.34 | 0.980 | Rb | 4 | 0.999 |
| CaO | 0.05 | 1.000 | Sr | 12 | 0.997 |
| $Na_2O$ | 0.42 | -0.822 | V | 23 | 0.996 |
| $K_2O$ | 0.01 | 1.000 | Y | 1 | 0.999 |
| $P_2O_5$ | 0.11 | 0.922 | Zr | 0 | 1.000 |

Accuracy = $\sqrt{\Sigma\ (Cm\text{-}Cr)^2 / (n\text{-}1)}$

where Cm, mesured value ; Cr, recommend value ; n, number of samples.

*total iron calculated as $Fe_2O_3$

## 4．分析の正確度結果および考察

検量線作成に用いた標準試料を未知試料とみなし，計3回の繰り返し測定を行った結果をTable 3に示す．相関係数が悪い$Na_2O$，Baについては議論すべきではないが，ここでは同等に取り扱うこととした．主要成分元素の標準偏差σ（wt%）は$SiO_2$ ≦ 2.40，$TiO_2$ ≦ 0.02，$Al_2O_3$ ≦ 0.53，$Fe_2O_3$ ≦ 1.16，MnO ≦ 0.002，MgO ≦ 0.67，CaO ≦ 0.05，$Na_2O$ ≦ 0.68，$K_2O$ ≦ 0.01であった．$P_2O_5$については測定値が得られなかったので議論しない．σで示される精密度は$SiO_2$，$Al_2O_3$，$Fe_2O_3$*，MgO，$Na_2O$は0.1を超える．これらについては標準偏差が大きく，良好な精密度が得られているとは言いがたい．　微量成分元素の標準偏差σ（ppm）は変化に富み，　Ba: 0.1～10，Co: 2.0～2.9，Cr: 3～5，Nb: 0.5～3.3，Ni:5.1～10，Rb: 0.2～2，Sr :0～8，V:2.7～18.8，Y:1.4～4.2，Zr:2.6～5であった．特にBa, Ni, Vの値が極めて高く，再現性は良好ではない．相対標準偏差（RSD：平均値に対する標準偏差の%）は，花崗岩を除き，MgO，$Na_2O$以外の主要成分元素で6%以下，微量成分元素ではBa，Rb，Sr，Zrは10%以下であった．

本研究で得られたデータ（3回測定の平均値）と推奨値との相対誤差（Diff. %）が±５%以内の元素は$SiO_2$，$Al_2O_3$，CaO，$K_2O$であり比較的良好な値が得られている．また，$Fe_2O_3$*，MnOについては低濃度の花崗岩を除くと±５%以内の値が得られている．微量成分元素については，相対誤差が大きい．しかし，JA-2(andesite)のように全元素について比較的良好な値（±0.5～6.0%）を示すものもある（ただしBa，Rbを除く）．これは対象とした岩石試料（JA-2）がある程度の元素濃度を有しているためであろう．また，一部の試料(JG-2:granite)を除きZr，Srも±６%の範囲であり，比較的良好な値が得られている．花崗岩は超塩基性～中性岩に比べてSi，K，Rb以外の元素含有量が著しく低いため定量分析に必要とされる正確度や精密度が得られなかったと考えられる．

ED-XRFはWD-XRFと比較して一桁以上の精度の差があることが知られている（中井ほか，2005）．$Na_2O$やMgOについてはヘリウムガス雰囲気中の分析でも十分な正確度や精密度を得ることが困難であった．これはX線強度の減衰に起因する可能性が高い．これらの元素については濃度にもよるが，今回の手法を用いた場合は半定量値として見なすべきであろう．

本研究で使用したED-XRFはRh管球からビームがガラスビードに照射される際にガラスビードが非回転のホルダーを使用したことや，溶融した試料が不均一な分散をするために精密度が低くなった可能性が考えられる．そこで，１）ガラスビードを回転させてた状態での測定，２）ガラスビードを再溶融し，より均一なガラスビード試料を用いた測定により精密度の改善が可能かもしれない．また，３）微量成分元素については1：2などの低

Table 3. Result of reproducibility tests for major and trace elements of standard rock samples.

| JB-3(basalt) | mess.1 | mess.2 | mess.3 | Average | Stdev.(σ) | RSD(%) | R.V. | Diff.(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 49.96 | 50.16 | 48.90 | 49.67 | 0.68 | 1.4 | 50.96 | -2.5 |
| $TiO_2$ | 1.42 | 1.41 | 1.44 | 1.43 | 0.02 | 1.1 | 1.44 | -1.0 |
| $Al_2O_3$ | 16.92 | 17.12 | 17.24 | 17.09 | 0.16 | 0.9 | 17.20 | -0.6 |
| $Fe_2O_3$* | 11.65 | 11.09 | 11.50 | 11.41 | 0.29 | 2.6 | 11.82 | -3.5 |
| MnO | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.00 | 0.3 | 0.18 | -0.4 |
| MgO | 5.13 | 4.89 | 5.25 | 5.09 | 0.18 | 3.6 | 5.19 | -1.9 |
| CaO | 9.83 | 9.81 | 9.91 | 9.85 | 0.05 | 0.6 | 9.79 | 0.6 |
| $Na_2O$ | 0.96 | 1.99 | 0.72 | 1.22 | 0.68 | 55.3 | 2.73 | -55.2 |
| $K_2O$ | 0.77 | 0.78 | 0.79 | 0.78 | 0.01 | 1.4 | 0.78 | -0.2 |
| Total | 96.82 | 97.42 | 95.92 | 96.72 | | | 100.09 | |
| Ba(ppm) | 177 | 185 | 193 | 185 | 8 | 4.5 | 245 | -24.5 |
| Co | 27.5 | 30.5 | 26.3 | 28.1 | 2.2 | 7.7 | 34.3 | -18.0 |
| Cr | 51 | 54 | 45 | 50 | 5 | 10.0 | 58 | -13.7 |
| Nb | 0.26 | 3.63 | 2.69 | 2.19 | 2 | 79.4 | 2.47 | -11.3 |
| Ni | 33.2 | 44.1 | 42.8 | 40.1 | 6 | 14.9 | 36.2 | 10.7 |
| Rb | 15.8 | 15.8 | 16.1 | 15.9 | 0.2 | 1.0 | 15.1 | 5.2 |
| Sr | 405 | 404 | 405 | 404 | 0 | 0.1 | 403 | 0.4 |
| V | 410 | 403 | 412 | 408 | 5 | 1.2 | 372 | 9.7 |
| Y | 27.3 | 22.4 | 22.7 | 24.1 | 2.7 | 11.4 | 26.9 | -10.3 |
| Zr | 101 | 101 | 109 | 104 | 5 | 4.4 | 98 | 5.9 |

| JGb-1(gabbro) | mess.1 | mess.2 | mess.3 | Average | Stdev.(σ) | RSD(%) | R.V. | Diff.(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 43.13 | 44.29 | 44.18 | 43.87 | 0.64 | 1.5 | 43.66 | 0.5 |
| $TiO_2$ | 1.56 | 1.58 | 1.58 | 1.58 | 0.01 | 0.7 | 1.60 | -1.5 |
| $Al_2O_3$ | 17.23 | 18.05 | 18.22 | 17.83 | 0.53 | 3.0 | 17.49 | 2.0 |
| $Fe_2O_3$* | 15.03 | 15.67 | 13.36 | 14.68 | 1.19 | 8.1 | 15.06 | -2.5 |
| MnO | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.00 | 0.0 | 0.19 | -4.8 |
| MgO | 5.87 | 6.93 | 7.12 | 6.64 | 0.67 | 10.1 | 7.85 | -15.4 |
| CaO | 11.93 | 11.98 | 11.95 | 11.95 | 0.03 | 0.2 | 11.90 | 0.4 |
| $Na_2O$ | 1.15 | 1.23 | 1.37 | 1.25 | 0.11 | 9.0 | 1.20 | 3.9 |
| $K_2O$ | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.00 | 0.9 | 0.24 | -4.4 |
| Total | 96.29 | 100.13 | 98.19 | 98.21 | | | 99.19 | |
| Ba(ppm) | 169 | 169 | 169 | 169 | 0.1 | 0.1 | 64 | 163.0 |
| Co | 59 | 56 | 56 | 57 | 2 | 2.6 | 60 | -4.6 |
| Cr | 69 | 62 | 62 | 64 | 4 | 5.6 | 58 | 11.6 |
| Nb | 9.1 | 5.4 | 5.4 | 6.6 | 2.2 | 32.8 | 3.3 | 98.4 |
| Ni | 24.6 | 15.7 | 15.7 | 18.7 | 5.1 | 27.4 | 25.4 | -26.5 |
| Rb | 10.5 | 12.0 | 12.0 | 11.5 | 0.8 | 7.2 | 6.9 | 67.2 |
| Sr | 316 | 328 | 328 | 324 | 7 | 2.0 | 327 | -1.0 |
| V | 622 | 611 | 611 | 615 | 6 | 1.0 | 635 | -3.2 |
| Y | 9.4 | 12.2 | 12.2 | 11.3 | 1.7 | 14.7 | 10.4 | 8.3 |
| Zr | 35.0 | 30.5 | 30.5 | 32.0 | 2.6 | 8.2 | 32.8 | -2.5 |

meas.,mesurement; Stdev.,standerd devitation; RSD,relative standard deviation; R.V.,recommended value; Diff.,difference relative to R.V.(=[(measured average value/R.V.)-1]x100).

Table 3. (continued)

| JA-1(andesite) | mess.1 | mess.2 | mess.3 | Average | Stdev.(σ) | RSD(%) | R.V. | Diff.(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 65.55 | 65.27 | 65.12 | 65.31 | 0.22 | 0.3 | 63.97 | 2.1 |
| $TiO_2$ | 0.88 | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.00 | 0.1 | 0.85 | 4.0 |
| $Al_2O_3$ | 15.29 | 15.21 | 15.28 | 15.26 | 0.04 | 0.3 | 15.22 | 0.3 |
| $Fe_2O_3$* | 7.81 | 7.45 | 7.01 | 7.42 | 0.40 | 5.4 | 7.07 | 5.0 |
| MnO | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.00 | 1.3 | 0.16 | 2.8 |
| MgO | 1.21 | 1.38 | 1.34 | 1.31 | 0.09 | 6.9 | 1.57 | -16.6 |
| CaO | 5.61 | 5.60 | 5.60 | 5.60 | 0.01 | 0.1 | 5.70 | -1.7 |
| $Na_2O$ | 3.63 | 2.89 | 3.42 | 3.31 | 0.38 | 11.5 | 3.84 | -13.7 |
| $K_2O$ | 0.79 | 0.80 | 0.78 | 0.79 | 0.01 | 0.9 | 0.77 | 2.3 |
| Total | 100.93 | 99.64 | 99.58 | 100.05 | | | 99.15 | |
| Ba(ppm) | 203 | 197 | 198 | 199 | 3 | 1.4 | 311 | -35.9 |
| Co | 20.5 | 20.8 | 25.7 | 22.4 | 2.9 | 13.1 | 12.3 | 81.8 |
| Cr | 7.9 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 4.5 | 173.2 | 7.8 | -66.5 |
| Nb | 4.6 | 4.7 | 5.5 | 4.9 | 0.5 | 10.6 | 1.9 | 167.2 |
| Ni | 0.0 | 5.4 | 11.4 | 5.6 | 5.7 | 101.7 | 3.5 | 60.8 |
| Rb | 17.7 | 14.4 | 14.2 | 15.4 | 2.0 | 12.7 | 12.3 | 25.4 |
| Sr | 262 | 267 | 267 | 265 | 2 | 0.9 | 263 | 0.9 |
| V | 118 | 122 | 126 | 122 | 4 | 3.1 | 105 | 16.3 |
| Y | 28.6 | 26.9 | 31.7 | 29.1 | 2.4 | 8.4 | 30.6 | -4.9 |
| Zr | 89 | 85 | 91 | 89 | 3 | 3.4 | 88 | 0.5 |

| JA-2(andesite) | mess.1 | mess.2 | mess.3 | Average | Stdev.(σ) | RSD(%) | R.V. | Diff.(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 55.86 | 59.59 | 60.33 | 58.59 | 2.40 | 4.1 | 56.42 | 3.8 |
| $TiO_2$ | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.00 | 0.3 | 0.66 | 5.6 |
| $Al_2O_3$ | 15.82 | 15.04 | 15.24 | 15.37 | 0.40 | 2.6 | 15.41 | -0.3 |
| $Fe_2O_3$* | 7.18 | 5.94 | 6.24 | 6.45 | 0.64 | 10.0 | 6.21 | 3.9 |
| MnO | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.00 | 0.9 | 0.11 | 4.6 |
| MgO | 8.55 | 7.90 | 7.67 | 8.04 | 0.46 | 5.7 | 7.60 | 5.8 |
| CaO | 6.32 | 6.26 | 6.31 | 6.30 | 0.03 | 0.5 | 6.29 | 0.1 |
| $Na_2O$ | 3.07 | 3.14 | 2.73 | 2.98 | 0.22 | 7.2 | 3.11 | -4.2 |
| $K_2O$ | 1.82 | 1.81 | 1.84 | 1.82 | 0.01 | 0.7 | 1.81 | 0.6 |
| Total | 99.42 | 100.49 | 101.16 | 100.36 | | | 97.62 | |
| Ba(ppm) | 253 | 255 | 249 | 252 | 3 | 1.2 | 321 | -21.4 |
| Co | 31.8 | 28.4 | 31.8 | 30.7 | 2.0 | 6.4 | 29.5 | 4.0 |
| Cr | 451 | 448 | 444 | 448 | 3 | 0.7 | 436 | 2.7 |
| Nb | 9.9 | 9.5 | 7.7 | 9.0 | 1.2 | 12.9 | 9.5 | -4.9 |
| Ni | 115 | 135 | 130 | 127 | 10 | 8.3 | 130 | -2.6 |
| Rb | 63 | 67 | 64 | 64 | 2 | 3.4 | 73 | -11.8 |
| Sr | 256 | 272 | 261 | 263 | 8 | 3.0 | 248 | 6.0 |
| V | 121 | 120 | 115 | 119 | 3 | 2.3 | 126 | -5.9 |
| Y | 19.5 | 17.5 | 16.7 | 17.9 | 1.4 | 8.1 | 18.3 | -2.3 |
| Zr | 111 | 121 | 115 | 115 | 5 | 4.3 | 116 | -0.5 |

Table 3.(continued)

| JG-2(granite) | mess.1 | mess.2 | mess.3 | Average | Stdev.(σ) | RSD(%) | R.V. | Diff.(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 77.12 | 76.83 | 76.73 | 76.89 | 0.21 | 0.3 | 76.83 | 0.1 |
| $TiO_2$ | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 14.7 | 0.04 | -30.3 |
| $Al_2O_3$ | 12.65 | 12.54 | 12.30 | 12.50 | 0.18 | 1.4 | 12.47 | 0.2 |
| $Fe_2O_3$* | 1.12 | 0.63 | 0.00 | 0.58 | 0.56 | 96.4 | 0.97 | -40.2 |
| MnO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 4.3 | 0.02 | -16.7 |
| MgO | 0.01 | 0.08 | 0.14 | 0.08 | 0.07 | 82.6 | 0.04 | 112.6 |
| CaO | 0.71 | 0.74 | 0.72 | 0.72 | 0.01 | 2.1 | 0.70 | 2.7 |
| $Na_2O$ | 4.59 | 4.85 | 4.63 | 4.69 | 0.14 | 3.0 | 3.54 | 32.4 |
| $K_2O$ | 4.69 | 4.70 | 4.71 | 4.70 | 0.01 | 0.2 | 4.71 | -0.2 |
| Total | 100.93 | 100.40 | 99.26 | 100.20 | | | 99.32 | |
| Ba(ppm) | 229 | 216 | 237 | 228 | 10 | 4.6 | 81 | 180.9 |
| Co | 0.0 | 0.4 | 1.6 | 0.7 | 0.8 | 121.5 | 3.6 | -81.7 |
| Cr | 10.4 | 18.5 | 13.6 | 14.2 | 4.1 | 28.6 | 6.4 | 122.3 |
| Nb | 15.7 | 19.6 | 13.0 | 16.1 | 3.3 | 20.6 | 14.7 | 9.4 |
| Ni | 0.0 | 9.5 | 18.1 | 9.2 | 9.0 | 98.2 | 4.4 | 111.4 |
| Rb | 303 | 302 | 299 | 302 | 2 | 0.7 | 301 | 0.2 |
| Sr | 8.8 | 16.3 | 4.4 | 9.8 | 6.0 | 61.3 | 17.9 | -45.1 |
| V | 0.0 | 37.6 | 16.1 | 17.9 | 18.8 | 105.4 | 3.8 | 373.2 |
| Y | 85 | 93 | 92 | 90 | 4 | 4.6 | 87 | 4.0 |
| Zr | 97 | 102 | 103 | 101 | 4 | 3.5 | 98 | 3.3 |

希釈率ガラスビードやプレスパウダーを利用した測定，4）検量線作成に用いる標準試料を増し，異なる濃度ごとに検量線を再設定した測定などについても検討する必要がある．今後，分析手法を再検討し，定量的な議論に耐えうる分析値を得る手法の確立が望まれる．

## 謝辞

教育学部理科教育専修の伊藤彰英教授には建設的なご指摘・ご助言を頂き，本稿は改善された．ガラスビードサンプラーの利用に際しては，理学部物質地球科学科の新城竜一教授に利用の許可を頂いた．以上の方々に感謝申し上げます．本報告には日本学術振興会科学研究基盤研究（B）「沖縄の亜熱帯環境を生かした自然科学教育の実践的研究」（課題番号：2030026 研究代表者：松田伸也）の研究経費の一部を使用した．

## 引用文献

川野良信（2010）：蛍光X線による珪酸塩岩石および堆積物の定量化学分析，地球環境研究，Vol.12，85-97.

中井泉[編集]（2005）：蛍光X線分析の実際．朝倉書店（2005）

新城竜一・宮本正雪（2007）：蛍光X線分析装置（XRF）による1：5希釈ガラスビードを用いた全岩主成分，微量成分元素の定量分析．琉球大学紀要第84号，5-13.