那珂川上流,五ヶ山地域の金探鉱跡周辺に認められる早良花崗岩の変質

柚原 雅樹*・祐徳 信武**

(平成16年11月30日受理)

Alteration of the Sawara Granite around the gold prospects in the Gokayama area, upper reach of the Naka River

Masaki Yuhara* and Shinobu Yutoku**

(Received November 30, 2004)

Abstract

There are two remains of gold prospects in the Gokayama area, upper reach of the Naka River. Two adits were identified at the Ono gold prospects in the Ono area, Nakagawa Town, Fukuoka Prefecture, and one adit at the Ogawachi gold prospects in the Ogawachi area, Higashisefuri Village, Saga Prefecture. The fine-grained facies of the Sawara Granite, which is fine to medium-grained biotite granodiorite to granite, is exposed around the gold prospects. The alteration of granodiorite around these prospects is characterized by appearance of chlorite, illite and pyrite. These minerals are formed in two stages of geological events. Chlorite is formed in the first stage related to activity of the NW-SE fault. The most of illite, and pyrite are formed in next stage, which was hydrothermal process related formation of ore deposite. It is estimated that temperature condition of hydrothermal water was 230 - 280 by homogenization temperature of fluid inclusions in quartz. The change of chemical composition during hydrothermal process is characterized by decrease of Fe₂O₃*, MgO, CaO and Sr, and by increase of S. These changes are due to illitic alteration of chlorite and plagioclase, and appearance of pyrite.

Key words: gold prospects, hydrothermal activity, Sawara Granite, Gokayama area

*福岡大学理学部地球圈科学科, 〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, **8-19-1** Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka **814-0180**, Japan

**基礎地盤コンサルタンツ株式会社, 〒135-0016 東京都江東区東陽3-22-6

Kiso-jiban Consultants Co., Ltd., 3-22-6 Toyo, Koto-ku, Tokyo 135-0016, Japan

はじめに

福岡県那珂川上流の五ヶ山地域 (Fig.1) には, 福岡県筑紫郡那珂川町五ヶ山大野地区(那珂川町 教育委員会,1976)と佐賀県神埼郡東脊振村小川 内地区 (東脊振村小川内, 1985) に, 金山採掘跡 が残っている、それぞれ正式に名称が決まってい ないため、本報告では前者を大野探鉱跡、後者を 小川内探鉱跡と呼ぶ. 資源・素材学会(1989)は, 九州地域における金鉱床について沿革, 生産量, 地質および鉱床についてまとめているが, 両探鉱 跡についての記述はなく、周辺地域では、成清池 野鉱山(宗像郡玄海町)と河東鉱山(宗像市)が 記載されているのみである.この他,遠賀郡岡垣 町には、三吉野鉱山が知られている(上野ほか、 1990). 大野探鉱跡では終戦後まで (那珂川町教 育委員会、1976)、小川内探鉱跡では大正時代に 採掘が行われたとされる (東脊振村小川内, 1985)が、鉱業主が記録されているだけで、金の 採掘量など詳しいことは不明である. さらに、こ れらの金鉱床の地質学的特徴や成因についても全 く明らかにされていない. 成清池野鉱山, 河東鉱 山、三吉野鉱山は、いずれも関門層群中に胚胎し ており、白亜紀花崗岩類中に胚胎する五ヶ山地域 の探鉱跡とは、母岩が異なる.そのため、これら の鉱山とは異なる地質学的特徴を持つと考えられ る.我々は、五ヶ山ダム建設に伴う、五ヶ山ダム 関係文化財調査において、両探鉱跡周辺の地質に ついて調査する機会を得た.両探鉱跡は、ダム建 設により水没するため、その地質学的な情報を記 録する必要がある.今報告では、両探鉱跡の現状 と周辺の花崗岩の変質作用の特徴について報告す る.

地質概説

五ヶ山地域には、白亜紀花崗岩類が分布する (Fig.1;久保ほか、1993).白亜紀花崗岩類は糸 島花崗閃緑岩、深江花崗岩、早良花崗岩、佐賀花 崗岩に分類される(久保ほか、1993).那珂川上 流部には、北西 - 南東方向の長さ約8kmの断層 が分布し、糸島花崗閃緑岩と早良花崗岩の境界と なっているが、断層南側では両者の境界にずれを 生じさせている. 糸島花崗閃緑岩は,那珂川最上流部に分布する 粗~中粒の片状普通角閃石黒雲母トーナル岩~石 英閃緑岩で,花崗閃緑岩を伴う(唐木田ほか, 1994).本花崗閃緑岩について,116±17Maの Rb-Sr 全岩アイソクロン年代,93.4±0.5Maの Rb-Sr 全岩 - 鉱物アイソクロン年代が報告され ている(大和田ほか,1999).

深江花崗岩は、調査地域の西方に小規模に分布 する細~中粒の黒雲母石英閃緑岩~花崗岩である (唐木田,1985).本岩は、糸島花崗閃緑岩に密接 に伴った小岩体として産する(唐木田,1985). 本花崗岩について、86.7±2.2MaのRb-Sr全岩-鉱物アイソクロン年代が報告されている(大和田 ほか、1999).

早良花崗岩は、那珂川流域に広く分布する、本 花崗岩は糸島花崗閃緑岩に貫入し、粗粒岩相と細 粒岩相に分けられる (唐木田ほか、1994). 前者 は、岩体の主部を構成しており、後者は主に岩体 の周縁部に分布する.両者は、漸移的に移化した り、細粒岩相が岩脈として粗粒岩相を貫くことが ある (唐木田ほか, 1994). 本調査地域では, 細 粒岩相は糸島花崗閃緑岩との境界部に分布してお り、 粗粒岩相を貫く産状も認められる. 粗粒岩相 は、粗粒斑状黒雲母花崗岩~花崗閃緑岩で、一般 的に塊状であるが,弱い面構造が発達する場合も ある. 細粒岩相は, 細粒~中粒塊状黒雲母花崗岩 ~ 花崗閃緑岩である. 本花崗岩については, 114 ±11MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代,105.2 **±2.3**Ma の Rb-Sr 全岩-鉱物アイソクロン年代が 報告されている (大和田ほか, 1999).

佐賀花崗岩は、背振山山頂周辺に分布する細粒 塊状の両雲母花崗岩~黒雲母花崗岩で、糸島花崗 閃緑岩と早良花崗岩に貫入する(唐木田ほか、 1994).本花崗岩について、87.9±18.2MaのRb-Sr全岩アイソクロン年代、82.6±0.7MaのRb-Sr全岩-鉱物アイソクロン年代が報告されている (大和田ほか、1999).

大野・小川内探鉱跡の状況と周辺の地質

大野探鉱跡には坑口が2つ残っている.そのう ち、上流側の坑口(A)周辺には、鉱脈周辺の岩 石が露出している(Fig.2a, b). 坑口(A)は、 幅約1m、高さ約1mでほぼ東方向に10m以上の



Fig.1 Geological map of the around area of Nakagawa Town, and location of the Gokayama area and the gold prospects. The map is modified from 1/200,000 geological map "Fukuoka" (Kubo et al., 1993).
1: Quaternary system, 2: Saga Granite, 3: Sawara Granite, 4: Fukae Granite, 5: Itoshima Granodiorite, 6: fault, 7: gold prospects.

52



Fig.2 Photographs of the Ono gold prospects. a: whole view of adit (A) of Ono gold prospects, b: magnification of adit (A), c: inside of adit (A), d: stone wall.



Fig.3 Photographs of the Ono gold prospects. a: whole view of adit (B), b: inside of adit (B), c, d: stone wall near the adit (B).

奥行きがあるが、内部に水がたまっており、奥部 を観察することはできない (Fig.2c). さらに、 坑口の上流には、石垣が残っているが (Fig.2d)、 これは採掘時に整備されたものである. 坑口の下 流約20m には、ここから採掘されたと考えられ るズリが放置されている. また、坑口 (A)の南 方40m に位置する坑口 (B)は、林道のすぐ下側 にあり、周囲は土壌に覆われている (Fig.3a). 坑口 (B)の幅は約1.6m、高さは約0.3m以上で、 北北東方向に数 m は確認できるが、内部は多量 の土砂で埋まっている (Fig.3b). この坑口の下 方には、採掘時に整備された石垣が残っている (Figs.3c, d).

大野探鉱跡の上流側の坑口(A)周辺には,中 粒の黒雲母花崗閃緑岩が露出している(Fig.4). この岩石は,暗緑色を呈し(Fig.5d),後述のよ

うに変質が進んでいる.そのため、本報告では変 質花崗閃緑岩と呼ぶ.本岩は、幅7.5~9.0mの変 質帯を伴っており (Fig.4), 変質帯では白色化し ている (Figs.5a~c). そこで, これを白色変質 花崗閃緑岩と呼ぶ、白色変質花崗閃緑岩と変質花 崗閃緑岩は漸移関係にある.変質帯は、東西方向 に連続していると考えられ、坑口はその南端部に、 変質帯ののびの方向に掘られている (Fig.4). 通 常の金鉱床で見られるような珪化帯や石英脈は認 められない. それらの部分は採掘によって失われ たと考えられる.また、花崗閃緑岩中には断裂が 発達しており、南 - 北走向で高角なもの、西北西-東南東走向で高角なもの,北東 - 南西走向で傾斜 20 前後の低角なものに分けられる (Fig.6). こ れらの断裂は、2~5 cm 間隔で発達し、数 mm 以下のガウジを伴う場合と、開口している場合が



Fig.4 Geological map of the around the adit (A) of the Ono gold prospects. 1: talus deposit, 2: white-altered granodiorite, 3: altered granodiorite.

ある. これらの断裂の隔離量は,測定できなかった. また,開口した断裂に沿って,岩石が赤褐色化している場合もある (Figs.5a, b).

小川内探鉱跡では坑口が残っているが、周囲は 土壌に覆われており、岩石の露出は少ない(Figs. 7a, b).最近、樹木の伐採に伴って、周辺に新 たに岩石が露出したが、これらはカタクレーサイ トからなり(Figs.8a, c)、多くの場合、変質に より白色化している(Figs.8b, d).坑口は幅約 0.8m、高さ約1mで、西北西方向に奥行き30m 程度あったとされるが、現在は多量の土砂とゴミ で埋まっている(Fig.7d).この坑口と小さな沢 を挟んだ反対側の斜面にはズリが盛られている. 地形から判断するとズリの厚さは2~3mであ ると推定されるが、竹および杉林となっており、 土壌に覆われている(Fig.7c).さらに、坑口か ら東北東に150mほど離れた大野川のほとりには、 鉱石を粉砕した水車跡の石垣が残っているが、水 路は土壌に覆われ,最上部の石がわずかに出ているのみである (Fig.7e).

試 料

大野探鉱跡および小川内探鉱跡周辺の早良花崗 岩から試料採取を行った(Appendix 1). さらに, 最も岩石の露出が広い大野探鉱跡の坑口(A)周 辺では,試料採取密度を高くした(Appendix 2). 坑口(A)の下流のズリからは,本探鉱跡から採 掘されたと考えられる石英(Fig.9)も採取した. また,小川内探鉱跡の坑口周辺の早良花崗岩から も試料を採取した(Appendix 3).

採取試料の薄片作成にあたり、変質や変形のた めもろくなっている試料は、ストルアス社製エポ フィックス冷間埋込樹脂およびパールス・ペトロ・ プロダクツ社製ペトロポキシ154を用いて固化した.



Fig.5 Photographs of the Sawara Granite from the Ono gold prospects. a, b: rocks in the white-altered zone (GDS10and11), c: slabs of GDS10, d: slabs of GDS21.



Fig.6 Attitudes of fractures. Equal area and lower hemisphere projection.



Fig.7 Photographs of the Ogawachi gold prospects.a: whole view of gold prospects, b: magnification of adit, c: waste,d: inside of adit, e: stone wall.



Fig.8 Photographs of the Sawara Granite around the Ogawachi gold prospects. a: cataclasite around the adit, b: rock in the white-altered zone (GDS26), c: slabs of GDS26, d: slabs of GDS28.

岩石記載

探鉱跡周辺の早良花崗岩は, 唐木田ほか (1994)の細粒岩相にあたり,多くの場合変質が 進み暗緑色を呈する(Fig.5d).今回採取した試 料のうち,比較的新鮮な岩石は,細粒~中粒,塊 状~片状の黒雲母花崗閃緑岩で,鏡下ではシリイッ ト組織を示し(Fig.10a),主に斜長石,石英,カ リ長石,黒雲母からなり,副成分鉱物としてジル コン,モナズ石,燐灰石,不透明鉱物を伴う.斜 長石(最大5mm)は,自形~他形で,斜長石, 石英,黒雲母を包有する.累帯構造を示す斜長石 も認められる.斜長石の一部はイライト化してい る.斜長石とカリ長石の境界部にはミルメカイト が認められる場合がある.石英(最大2mm)は 他形で,斜長石,黒雲母,不透明鉱物を包有し, 波動消光を示す.石英の一部は動的再結晶し,不 規則な境界を示し波動消光の著しい細粒結晶となっ ている (Fig.10b).カリ長石(最大6mm)は, 半自形~他形で,斜長石,石英,黒雲母,不透明 鉱物を包有する.黒雲母(最大2.5mm)は,暗 褐色,自形~他形で,一部緑泥石化している.石 英の再結晶化が認められる領域の周辺では,黒雲 母がイライトと不透明鉱物の集合体に交代されて いる場合がある.斜長石,石英,カリ長石には, イライト脈を伴う断裂が認められる場合がある (Fig.10c).

変質花崗閃緑岩は細粒~中粒,塊状~斑状の黒 雲母花崗閃緑岩~花崗岩で,鏡下ではシリイット 組織を呈し (Fig.11a),主に斜長石,石英,カリ



Fig.9 Photograph of quartz.

長石、緑泥石からなり、副成分鉱物としてジルコ ン、モナズ石、燐灰石、黄鉄鉱、不透明鉱物を伴 う. 斜長石 (最大5mm)は、自形~他形で、累 帯構造を示し、斜長石、石英、緑泥石、不透明鉱 物を包有する. 斜長石の多くは, イライトが内部 に多量に生成している. さらに, 内部に変質によっ て生成したと考えられる方解石を含む斜長石も認 められる. 斜長石とカリ長石の境界部にはミルメ カイトが認められる場合がある.石英(最大2.5 mm)は他形で、他鉱物間を充填する。多くの場 合動的再結晶し、1mm以下になっている.いず れも,著しい波動消光を示す.カリ長石(最大5 mm)は、半自形~他形で、斜長石、石英、緑泥 石、燐灰石、不透明鉱物を包有する、緑泥石は黒 雲母を交代して生成したと考えられ、青緑色で、 細粒な不透明鉱物と集合体を形成している. その 集合体の外形はもとの黒雲母の外形に相当し, 1.2mm 以下である. 緑泥石の一部は、イライト

に交代されている. 黄鉄鉱は自形~半自形で, 1.5mm以下である. 斜長石,石英,カリ長石の 結晶内や複数の結晶にまたがるイライト脈を伴う 断裂が認められる.この断裂の頻度は,新鮮な岩 石よりも高い.

白色変質花崗閃緑岩 (Fig.11b) の原岩は周囲 に分布する細粒~中粒,塊状~斑状黒雲母花崗閃 緑岩であると考えられる.本岩では,斜長石の大 部分はイライト化している.緑泥石の大部分もイ ライトに交代されている.緑泥石を交代している イライトは,斜長石中のものよりも結晶度が高い. これに対して,カリ長石はほとんど変質していな い.石英は,動的再結晶しているものが多い.変 質花崗閃緑岩同様,斜長石,石英,カリ長石の結 晶内や複数の結晶にまたがるイライト脈を伴う断 裂が認められるが,断裂の頻度はさらに高い.

岩石の鉱物組成

採取した早良花崗岩39試料 (Appendixes 1~ 3) について,福岡大学理学部に設置されている X線回折装置 (理学電機製X線回折装置 Geigerflex)を用いて,構成鉱物の同定を行った.Cu 管球 (Niフィルター)を用い,印加電圧と電流 はそれぞれ30kV,10mA,走査速度は2 %min, スリットは1°-0.15mm - 1 である.走査 範囲は2 から40 とした.構成鉱物の同定結果を 各鉱物の石英指数 (林・山崎,1979) として Table 1に示す.石英指数とは,試料中の各鉱物 の最強ピーク強度の標準石英の最強ピーク強度に 対する百分率であり,試料の鉱物組成比を半定量 的に示している.

X線回折によって同定した早良花崗岩の構成 鉱物は、石英、長石、黒雲母、緑泥石、黄鉄鉱、 イライトであった (Table 1). このうち、石英、 長石、黒雲母は新鮮な岩石の主成分鉱物であるた め、明らかな変質鉱物は、イライト、緑泥石、黄 鉄鉱である.

Plane-polarized light

Crossed light



Crossed light





2 mm

Fig.10 Photomicrographs of the Sawara Granite from the Gokayama area. a: fresh granodiorite, b: recrystallization quartz, c: illite vein in plagioclase. Bt: biotite, Pl: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Qtz: quartz, Chl: chlorite, Ill: illite, Py: pyrite.

岩石の化学組成

X 線回折を行った試料のうち,37試料につい て,岩石試料に含まれる主成分および微量元素の 測定を行った.測定には福岡大学理学部に設置の 理学電機工業社製蛍光 X 線分析装置 ZSX100e を 使用し,試料調整および測定方法は,柚原・田口 (2003a,b),柚原ほか(2004)に従った.分析結 果を Table 2 および 3 に示す.

変質花崗閃緑岩の SiO₂含有量は66.3~74.3wt% で (Table 2),新鮮な花崗閃緑岩もこの範囲に入 る.また,白色変質花崗閃緑岩の SiO₂含有量は 65.5 ~ 75.3 wt % であり (Table 3), 変質花崗閃緑 岩の変化範囲に重複する. 岩石の化学組成の変化 を SiO₂-酸化物図 (Fig.12) でみると, 変質花崗 閃緑岩の TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃*, MgO, CaO, Na₂O は, SiO₂の増加とともに減少する. これに 対し, K₂O は SiO₂の増加とともに増加する. 白 色変質花崗閃緑岩では, TiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O は, 変質花崗閃緑岩の変化トレンドに重複す るが, K₂O のばらつきが大きい. Fe₂O₃*, MgO, CaO は, 変質花崗閃緑岩よりも低い傾向があり, Fe₂O₃*, CaO はばらつきも大きい. Na₂O は若干 高い傾向にある. 微量元素では (Fig.13), SiO₂

2 mm

Fig.11 Photomicrographs of the Sawara Granite from the Ono gold prospects. a: altered granodiorite, b: white-altered granodiorite. Bt: biotite, Pl: plagioclase, Kfs: K-feldspar, Qtz: quartz, Ill: illite, Py: pyrite.

Plane-polarized light

Crossed light

の増加とともに変質花崗閃緑岩の Ba, Rb は増 加し, Ga, Nb, Sr, V, Zn, Zr は減少する. Co, Pb はほぼ一定で, Cu, Y はばらつきが大 きく明瞭なトレンドを示さない. 白色変質花崗閃 緑岩の Ga, Rb, V は, 変質花崗閃緑岩の変化ト レンドと重複するが, Co, Pb, Zn はばらつきが 大きく明瞭なトレンドは示さない. S もばらつき 明瞭なトレンドを示さないが, 含有量が変質花崗 閃緑岩よるも高く最大9500pm に達する (Table 3). しかし, 小川内探鉱跡の坑口周辺の岩石は, S をほとんど含んでいない (Table 3). 他の元素 は変質花崗閃緑岩のトレンドとは異なり, SiO₂の 増加とともに, Sr は減少し, Ba, Cu, Nb, Y, Zr は一定である. さらに, Cu と Sr は変質花崗 閃緑岩よりも含有量が低い.

流体包有物の均質化温度

福岡大学理学部の加熱 - 冷却台 (USGS Gasflow 型)を用いて,石英 (B~D) 中に包有され る流体包有物 (Fig.14)の均質化温度を測定した.

石英に包有される流体包有物の多くは、液相と 気相が存在する二相流体包有物であり (Figs.14b, d, f),液相のみの一相流体包有物も認められる. これらの流体包有物は、石英の成長線に平行に配 列する場合 (Fig.14a) と、割れ目に沿って存在 する場合 (Figs.14a, e), 成長線に斜交して配列 する場合 (Fig.14c) がある. 成長線と平行に配 列するものは、初成流体包有物であると考えられ る. その他の流体包有物は、その配列が結晶の途 中で途絶えていることから、擬二次流体包有物で あると考えられる.今回測定を行った流体包有物 は、初成流体包有物と擬二次流体包有物である. 初成流体包有物は、鉱物が結晶成長しているとき に流体が捕獲されることで形成されるのもので. 擬二次流体包有物は、鉱物の結晶成長途中で生じ た鉱物中の割れ目の中に形成されるものである (Roedder, 1967). したがって、これらの流体包 有物は石英の成長途中で包有されたものであると 考えられる.

石英中の流体包有物の均質化温度は、石英B で161~259 、石英Cで224~306 、石英Dで 226~301 であった (Fig.15). Table 1Quartz index of minerals in the
Sawara Granite from the Goka-
yama area.

6	Outette	111:44	Chlasita	Desite	Distite	Felderer
Sample No.	Quartz	1.0	Chiorne	ryme 0.6	Diotite	reidspar
GDS01	27.0	1.0		1.0	1.0	20.0
GDS02	39.0 34.6			1.9	1.0	29.0
GDS03	24.0	05		0.0	1.0	24.0
GDS04	22.2	0.5	0.4			24.0
GDS05	24.7		1.7			17.2
GDS06	31.4		1.7	0.5		17.5
GDS07	21.0		4.4	0.5		14.0
GDS08	21.5		3.9			14.2
GDS09	20.7	0.5	4.1			20.9
GDS10	32.0	0.5				17.2
GDSTI	29.6	0.5	0.4			15.5
GDS12	26.8	0.7	0.4			24.3
GDS13	33.6				17	20.0
GDS14	25.4	0.5	0.6		1.7	1/./
GDS15	30.0	0.5	0.6			34.7
GDS16	27.5	0.5	4.5	1.0		28.4
GDS17	30.0	0.5	1.2			24.1
GDS18	34.0		1.2			18.7
GDS19	26.4	0.4	4.4			21.3
GDS20	21.5	0.5	3.2			34.0
GDS21	16.7		1.6	0.5		20.2
GDS22	26.3		1.2	0.4		28.7
GDS23	24.5					14.3
GDS24	27.5		0.6			17.7
GDS25	28.0				5.0	21.3
GDS26	17.8		0.5			11.0
GDS27	31.0					18.0
GDS28	10.0		0.5			23.0
GDS29	23.2		0.2			17.5
GDS30	31.1		1.0			18.2
GDS33	28.3				4.4	23.3
GDS34	29.3				0.9	19.0
GDS35	29.5		1.0		0.3	16.1
GDS36	29.4		0.5			26.1
GDS37	25.4					12.5
GDS38	27.4	0.2	0.3	0.3		24.5
GDS40	26.0	0.4	2.5			12.2
GDS60	32.4		0.8		1.9	26.2
GDS61a	26.6		1.6		1.3	18.2

考察

1. 探鉱跡周辺の変質作用

X 線回折により, 探鉱跡周辺の早良花崗岩の 変質は, 緑泥石, イライト, 黄鉄鉱の出現で特徴 づけられることがわかった.しかしながら, X 線回折の結果と鏡下観察の結果は必ずしも一致し ない. これは, 分析試料の不均質性や, X 線回 折に用いた試料の量が少なすぎたことなどによる と考えられる.そこで, X 線回折と鏡下観察の 結果を統合して, 大野探鉱跡坑口(A) 周辺の各 変質鉱物の分布を検討した (Figs.16~18).ただ し, これらの図には, 鉱物の出現の有無は示され

Sample No.	GDS21	GDS09	GDS17	GDS20	GDS25**	GDS40	GDS16	GDS19	GDS08
SiO_(wt%)	66.29	67.64	67.67	68.11	69.27	69.47	69.52	69.63	69.90
TiO,	0.57	0.55	0.69	0.56	0.32	0.39	0.47	0.47	0.41
ALO,	16.28	16.64	16.35	15.93	15.60	15.03	15.42	15.61	15.68
Fe.O.*	3.69	3.13	3.21	2.73	2.40	3.04	2.07	2.49	2.98
MnO	0.08	0.06	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
MaQ	1 11	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.60	0.74	1.01
MgO CaO	2.74	0.35	2 22	2.50	2.55	0.95	1.02	2.14	0.03
CaO N O	2.74	2.33	2.35	2.36	2.55	0.95	1.92	2.14	2.95
	4.44	4.50	4.25	4.50	3.99	5.50	3.65	3.92	3.97
K ₂ O	2.23	2.45	2.46	2.38	3.70	4.50	4.07	5.15	2.98
P_2O_5	0.16	0.16	0.18	0.16	0.09	0.11	0.12	0.14	0.10
L.O.I.	2.01	1.49	2.12	1.81	0.73	1.71	1.93	2.28	1.93
Total	99.60	99.70	100.29	99.43	99.25	99.63	99.84	100.63	99.95
Ba(ppm)	508	503	291	543	1064	818	563	573	507
Co	36	39	46	43	56	39	37	36	40
Cr.	6	6	6	7	5	9	5	6	11
Cu	34	5	7	38	13	-4	17	28	13
Cu C-	34	21	22	20	10	19	20	20	20
Ga	21	21	25	21	19	10	12	20	20
ND	16	13	23	17	10	10	13	9	3
Ni	5	6	6	4	6	5	6	6	/
Pb	16	16	16	18	18	18	20	15	13
Rb	67	69	81	66	98	140	113	93	100
S	36	4	251	132	63	n.d.	573	172	n.d.
Sr	436	412	339	385	396	364	343	366	361
Th	7	9	11	8	9	7	10	8	10
v	41	41	41	37	23	47	35	38	40
Y	15	10	20	21	11	8	17	10	8
Zn	90	92	89	78	63	55	51	63	84
7r	227	193	212	212	164	144	165	173	121
							100		
		175						1,0	
Sample No.	GDS07	GDS06	GDS61a	GD\$33**	GDS35	GDS60**	GDS34		
Sample No.	GDS07 70.10	GDS06	GDS61a 70.96	GDS33**	GDS35	GDS60**	GDS34 74.25	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%)	GDS07 70.10	GDS06 70.18	GDS61a 70.96	GDS33** 71.58	GDS35 71.87 0.26	GDS60** 72.00	GDS34 74.25	-	
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂	GDS07 70.10 0.48	GDS06 70.18 0.43	GDS61a 70.96 0.28	GDS33** 71.58 0.33	GDS35 71.87 0.26	GDS60** 72.00 0.26	GDS34 74.25 0.08	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃	GDS07 70.10 0.48 15.27	GDS06 70.18 0.43 15.45	GDS61a 70.96 0.28 15.13	GDS33** 71.58 0.33 15.01	GDS35 71.87 0.26 14.45	GDS60** 72.00 0.26 14.39	GDS34 74.25 0.08 13.87	-	··· · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ *	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al.O., Fe.O.* MnO MgO CaO Na.O	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO, Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O,	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07	CDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O P ₂ O ₄ L.O.I.	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O R ₂ O K ₂ O P ₂ O, L ₂ O,J. Total	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43		
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.J. Total Ba(con)	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43	-	
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO, Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) C	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51	_	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO, Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O Na ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O P ₂ O L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O R ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.J. Total Ba(ppm) Co Cr Cu	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 <4	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4 <4	_	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 <4 17	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4 <4 12	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 < 4 17 12	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 6 18 12	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17 11	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4 <4 <4 12 <5	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O R ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 <4	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18 12 6	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17 11 <4	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₄ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 15	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18 12 6 16	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 17	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 4 4 4 6 5 113	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18 12 6 16 121	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 18 89	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 6 14 19 10 4 5 87	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 817 119	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17 11 <4 17 93	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	_	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 <4 17 12 6 5 113 <3	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 6 18 12 6 16 121 76	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 18 89 35	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15 87 12	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 817 7 8 17 119 3	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17 11 <4 17 11 <4 17 93 18	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO, Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Ga Nb Ni Pb S Sr	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 17 12 6 15 113 <3	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 6 4 12 6 16 121 76 355	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 18 89 35 374	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15 87 12 338	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 804 38 7 4 17 7 8 17 119 3 337	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4 <4 25 7 22 83 4 283	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₄ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 15 113 <3	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18 12 6 16 121 76 355 9	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 35 374 9	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15 87 12 338 7	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 804 38 7 4 17 7 8 17 119 3 337 5	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th V	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 <4	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 18 12 6 16 121 76 355 9 30	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 4 20 18 9 4 4 89 35 374 9	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 6 14 19 10 4 15 87 12 338 7 21	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 804 38 7 4 17 7 8 17 119 3 337 5 29	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4 17 11 <4 17 93 18 336 6 17	GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.J. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th V V	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 17 12 6 15 113 <3	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 6 6 18 12 6 16 121 76 355 9 30 15	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 18 9 4 18 9 4 9 35 374 9 9 9	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15 87 12 338 7 21 9	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 804 38 7 4 17 7 8 17 119 3 337 5 29 16	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	
Sample No. SiO ₃ (wt%) TiO; Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Ga Nb Ni Pb S Sr Th V Y	GDS07 70.10 0.48 15.27 2.50 0.05 0.83 0.48 4.42 3.87 0.12 1.60 99.72 940 46 6 17 12 6 15 113 3333 6 32 12	GDS06 70.18 0.43 15.45 2.21 0.04 0.68 0.84 4.03 4.23 0.13 1.50 99.72 664 37 7 664 37 7 664 37 7 6 618 12 6 16 121 76 355 9 30 15 5	GDS61a 70.96 0.28 15.13 1.77 0.03 0.31 2.12 3.67 4.10 0.08 1.16 99.61 1179 54 4 20 18 9 4 18 9 4 9 4 9	GDS33** 71.58 0.33 15.01 1.98 0.04 0.48 2.32 3.93 2.86 0.09 0.72 99.34 601 68 6 14 19 10 4 15 87 12 338 7 21 9 57	GDS35 71.87 0.26 14.45 1.81 0.03 0.46 0.91 3.82 4.29 0.07 1.29 99.26 804 38 7 4 17 7 8 804 38 7 4 17 7 8 17 119 3 337 5 29 16 44	GDS60** 72.00 0.26 14.39 1.91 0.04 0.45 1.97 3.65 3.86 0.07 0.93 99.53 838 54 6 <4	GDS34 GDS34 74.25 0.08 13.87 0.72 0.01 0.26 1.38 2.77 5.59 0.00 0.50 99.43 1640 51 <4	-	

Table 2Whole-rock chemical compositions of fresh to altered granodiorite of the
Sawara Granite from the Gokayama area.

 $\label{eq:rescaled_$

Sample No.	GD\$28	GDS22	GDS14	GD\$26	GDS13	GD\$03	GDS18	GD\$23	GDS11	GD\$30	CDS15
Sample No.	60520	00522	70 7(70.02	51.02	71.44	71.46	00025	71.00	00000	00315
$SiO_2(wt\%)$	65.45	69.76	/0./6	/0.92	/1.55	/1.44	/1.46	/1.64	/1.80	/2.0/	72.14
TiO ₂	0.26	0.52	0.55	0.37	0.35	0.56	0.28	0.34	0.38	0.28	0.35
Al ₂ O ₁	19.46	16.78	16.45	14.72	14.79	15.67	14.71	14.79	15.31	14.00	14.65
Fe-O.*	1.68	0.96	0.99	2.45	2.01	0.85	1 73	1 46	0.85	1 99	1 36
MnO	0.01	0.01	0.01	0.07	0.00	0.00	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
MIIO	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.00	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
MgO	0.34	0.25	0.24	0.52	0.25	0.16	0.48	0.17	0.15	0.58	0.20
CaO	0.60	2.27	0.42	0.42	0.53	0.24	1.56	1.21	1.58	1.24	1.09
Na ₂ O	7.98	4.25	3.93	3.20	3.68	5.10	3.59	3.71	3.27	4.14	3.33
K-O	1.62	2.91	3.98	5.01	4.49	3.43	4.38	4.38	4.69	3.41	4.83
PO	0.02	0.14	0.14	0.07	0.09	0.03	0.07	0.09	0.10	0.08	0.09
1.01	1.80	1.50	1.06	1.06	2.29	1.75	1.10	1.70	1.24	1 79	1.77
L.O.I.	1.80	1.59	1.90	1.90	2.20	1.75	1.19	1.79	1.54	1.20	1.77
Total	99.22	99.44	99.43	99.66	99.89	99.23	99.49	99.63	99.52	99.11	99.85
Ba(ppm)	417	691	547	876	590	532	702	969	856	701	838
Co	14	46	35	22	35	60	42	35	/1	40	13
0	14	40	55	-	55	-	72	55	T 1	40	4.5
Cr	0	0	0	5	8	/	4	6	6	5	4
Cu	4	12	79	11	<4	13	4	6	4	15	4
Ga	24	22	22	19	18	19	17	18	19	16	18
Nb	7	13	13	11	10	14	9	10	12	8	12
Ni	10	7	8	6	5	6	5	7	6	5	4
Dh	10	16	22	14	19	13	21	19	21	15	23
PD	<i>c</i> ,	10	124	17	10	15	117	10	122	110	120
Rb	58	92	134	177	137	126	117	117	123	110	128
S	<3	2837	5273	<3	1470	4756	397	1036	1744	5	1249
Sr	255	398	267	226	295	249	324	310	293	316	303
Th	5	6	8	9	5	10	6	6	8	6	6
V	23	30	40	24	28	31	19	25	28	25	26
v	6	11	0	14	12	11	12	12	11	20	13
т —	6	11	9	14	15	11	12	15	11	0	15
Zn	53	38	41	87	37	26	45	48	36	62	40
Zr	131	184	213	212	147	239	118	151	158	138	133
											-
Sample No.	GDS05	GDS10	GDS38	GDS29	GDS37	GDS24	GDS12	GDS01	GDS02	GDS04	-
Sample No.	GDS05 72.27	GDS10 72.36	GDS38 72.87	GDS29 72.91	GDS37 73.08	GDS24 73.60	GDS12 73.85	GDS01 73.86	GDS02 74.46	GDS04 75.27	-
Sample No. SiO ₂ (wt%)	GDS05 72.27 0.34	GDS10 72.36 0.29	GDS38 72.87 0.38	GDS29 72.91 0.33	GDS37 73.08 0.28	GDS24 73.60 0.27	GDS12 73.85 0.29	GDS01 73.86 0.40	GDS02 74.46 0.27	GDS04 75.27 0.33	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂	GDS05 72.27 0.34	GDS10 72.36 0.29	GDS38 72.87 0.38	GDS29 72.91 0.33	GDS37 73.08 0.28	GDS24 73.60 0.27	GDS12 73.85 0.29	GDS01 73.86 0.40	GDS02 74.46 0.27 13.40	GDS04 75.27 0.33	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃	GDS05 72.27 0.34 14.62	GDS10 72.36 0.29 14.76	GDS38 72.87 0.38 15.05	GDS29 72.91 0.33 14.38	GDS37 73.08 0.28 15.04	GDS24 73.60 0.27 14.61	GDS12 73.85 0.29 14.10	GDS01 73.86 0.40 14.10	GDS02 74.46 0.27 13.40	GDS04 75.27 0.33 13.98	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ *	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44	-
Sample No. SiO_(wt%) TiO_ Al_O_ Fe_O_* MnO	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO; Al ₂ O, Fe ₂ O ₃ * MnO MgO	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO; Al ₂ O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O, Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na O	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₃ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O Na ₂ O	GD\$05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.12	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.09	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.80	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.90	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO; Al ₂ O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.6	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14	-
$\label{eq:states} \begin{array}{l} \hline Sample No.\\ \hline SiO_s(wt\%)\\ TiO_s\\ Al.O,\\ Fe.O,*\\ MnO\\ MgO\\ CaO\\ Na_2O\\ K_2O\\ P_2O, \end{array}$	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O, Fe ₂ O ₄ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I.	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO; Al ₂ O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 9.57	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₃ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total Ba(ppm)	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 21	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₄ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₆ L.O.I. Total Ba(ppm) Co	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO, Al,O, Fe,O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe.O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 4 4 4 4	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO; Al,Q, Fe,Q,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O K ₂ O K ₂ O F ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 4 4 8	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 4 42 6 4 18	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 4 4 17	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4 6 15	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 4 12	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₄ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₃ L ₂ O ₁ . Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 <4 24 24 24	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4 6 82 45 <4 6 15 9	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe.O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb	GD\$05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 44 44 44 18 10	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 6 5 19 10	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4 6 15 9	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 4 8 10 6	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 42 6 418 9 5	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 682 45 682 45 6 15 9 9	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6	-
Sample No. SiO ₄ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 4 4 4 18 10 6 19	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9 5 18	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 7 17	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9 10	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5 34	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 11	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 19	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 4 4 4 4 4 4 18 10 6 19 106	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9 5 18 132	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 7 17 145	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 83	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 4 <4 17 7 5 34	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 13 15 11 11 11	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 19 126	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₃ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 <4 8 10 6 19 106 495	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9 5 18 132 3826	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 7 17 145 5395	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9 10 83 n.d.	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 45 6 15 9 17 133 3913	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 7 13 15 11 7 11 119 8170	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 4 12 9 7 7 19 126 9505	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO; Al ₂ O, Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 44 <4 18 10 6 19 106 495 308	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9 5 18 132 3826 292	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 17 145 5395 287	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9 10 83 n.d. 201	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 4 4 7 7 5 34 147 7 5 34 147 143 269	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251 326	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 13 15 11 7 11 119 8170 92	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 4 12 9 7 19 126 9505 169	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 6 13 92 46 122	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe ₂ O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 44 <4 18 10 6 19 106 495 308 6	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4 18 9 5 18 132 3826 292 6	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 17 145 5395 287 7	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9 9.72 510 25 6 5 19 10 83 n.d. 201 7	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 4 <4 17 7 5 34 147 143 269 4	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251 326 5	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4 682 45 <4 6 15 9 9 17 133 3913 248 7	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 13 15 11 7 11 119 8170 92 6	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 19 126 9505 169 6	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46 13 92 46 122 5	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe.O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th 	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 <4 8 10 6 19 106 495 308 6	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 17 145 5395 287 7 26	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 9 10 83 n.d. 201 7 25	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5 34 4 <4 17 7 5 34 147 143 269 4	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251 326 5	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 13 15 11 7 11 119 8170 92 6 6	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 7 19 126 9505 169 6	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46 122 5 17	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ * MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O ₅ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th V	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 <4 4 4 4 4 4 4 4 18 10 6 19 106 6 19 106 6 26	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 5395 287 7 29	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 5 19 10 9 7 10 83 n.d. 201 7 23	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5 34 147 143 269 4 24	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251 326 5 19	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 4 6 15 9 17 133 3913 248 7 19	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 7 13 15 11 7 11 119 8170 92 6 28	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 4 12 9 7 19 126 9505 169 6 16	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46 122 5 17	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₃ Al ₂ O ₃ MnO MgO CaO Na ₂ O K ₃ O P ₂ O ₃ L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th V Y	GDS05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 44 <4 18 10 6 19 106 495 308 6 26 12	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 17 145 5395 287 7 29 8	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 19 10 83 n.d. 201 7 23 11	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 4 <4 17 7 5 34 147 143 269 4 24 6	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.28 4.02 4.61 0.05 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 1.3 15 11 7 13 15 11 7 11 119 8170 92 6 28 12	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 7 19 126 9505 169 6 16 11	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46 122 5 17 13	-
Sample No. SiO ₂ (wt%) TiO ₂ Al.O, Fe.O,* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O P ₂ O, L.O.I. Total Ba(ppm) Co Cr Cu Ga Nb Ni Pb Rb S Sr Th V Y Zn	GD\$05 72.27 0.34 14.62 1.15 0.03 0.15 1.33 3.59 4.13 0.09 1.41 99.11 692 44 44 <4 44 18 10 6 99 106 495 308 6 26 12 42	GDS10 72.36 0.29 14.76 1.02 0.06 0.16 0.99 3.28 5.08 0.07 1.44 99.51 778 42 6 <4	GDS38 72.87 0.38 15.05 0.92 0.01 0.17 0.47 3.78 4.42 0.04 1.46 99.57 509 48 9 10 19 9 7 17 145 5395 287 7 29 8 21	GDS29 72.91 0.33 14.38 2.15 0.02 0.48 0.59 4.94 2.16 0.07 1.69 99.72 510 25 6 5 5 19 10 9 9.72 510 25 6 5 19 10 83 n.d. 201 7 23 11 79	GDS37 73.08 0.28 15.04 0.62 0.01 0.16 0.39 3.05 5.45 0.06 1.33 99.47 1079 33 4 <4 17 7 5 34 4 <4 17 7 5 34 147 143 269 4 24 6 8	GDS24 73.60 0.27 14.61 0.46 0.01 0.09 1.00 3.80 4.42 0.06 1.17 99.49 782 41 5 <4 17 8 6 19 116 1251 326 5 19 10 29	GDS12 73.85 0.29 14.10 0.65 0.01 0.12 0.28 4.02 4.61 0.055 1.28 99.26 682 45 <4	GDS01 73.86 0.40 14.10 1.21 0.01 0.15 0.13 4.21 3.89 0.07 1.72 99.75 598 31 7 13 15 11 13 15 11 11 119 8170 92 6 28 12 25	GDS02 74.46 0.27 13.40 1.37 0.01 0.14 0.08 3.65 4.89 0.01 1.30 99.58 749 42 5 4 12 9 7 7 9 9.58 749 42 5 4 12 9 7 19 126 9505 169 6 16 11 7	GDS04 75.27 0.33 13.98 0.44 0.00 0.11 0.11 5.03 3.14 0.04 1.17 99.62 398 82 4 10 15 9 6 13 92 46 122 5 17 13 12	-

 Table 3
 Whole-rock chemical compositions of white-altered granodiorite of the Sawara Granite from the Gokayama area.

 Zr
 150
 114
 111
 178

 *: total iron as Fe₂O₃, L.O.I.: loss on ignition, n.d.: not detected.



Fig.12 SiO₂-oxides diagrams of the Sawara Granite around gold prospects. $Fe_2O_3^*$ is total iron as Fe_2O_3 .

ているが、その石英指数は反映されていない.緑 泥石はほぼ全域にわたって出現する (Fig.16) が, 白色変質帯では緑泥石の量はかなり減少し、緑泥 石を欠く岩石も多く存在する、イライトもほぼ全 域にわたって出現する (Fig.17) が、 変質花崗閃 緑岩と白色変質花崗閃緑岩では産状が異なる.す なわち、前者では斜長石の一部を交代したり、少 量の脈鉱物として出現するが、後者では緑泥石と 斜長石の大部分を交代し、 さらに脈鉱物としても 出現する.そのため、イライトの量も後者の方が 多い. 黄鉄鉱もほぼ全域にわたって出現する (Fig.18). したがって, 黒雲母の緑泥石化の後に, 坑口すなわち鉱脈周辺の白色変質帯における緑泥 石および斜長石のイライト化が起こったと考えら れる. 変質花崗閃緑岩や白色変質花崗閃緑岩には, 石英の動的再結晶が認められるため (Fig.11). これらの岩石は明らかに変形作用を被っている. 今回検討した試料は、本地域に発達する北西-南 東方向の断層 (Fig.1) の近くに位置しているた め、この断層の運動に関連した変形作用によって、 石英の動的再結晶が起こったと考えられる、さら

に,この変形作用に伴って,黒雲母の緑泥石化も 起こったと考えられる. 断層運動およびそれに関 連した変形作用については、本地域を含めたより 広い範囲の断裂系の構造地質学的検討が必要であ ろう.この変形作用の後に、緑泥石(と多くの斜 長石)のイライト化とイライト脈の形成が,金鉱 床を形成した熱水活動にともなって起こったと考 えられる. 黄鉄鉱は, 探鉱跡近傍において出現し ていることから、この熱水活動によって生成した と考えられる. イライトや黄鉄鉱を生成する熱水 変質作用は、Meyer and Hemley (1967) による 分類では、セリサイト変質作用にあたる.また、 歌田 (1977) による分類では,中性帯のイライト 帯に相当する. 吉村 (2001) によると, 中性変質 帯において、イライトと黄鉄鉱を生成する温度条 件は200 以上である.直接金鉱床から採取した わけではないが、ズリから採取した石英に包有さ れる流体包有物の均質化温度は、161~306 であ リ, 大部分は230~280 に集中する (Fig.15). したがって、熱水の温度は230~280 程度はあっ たと考えられる.これは周囲の白色変質花崗閃緑



Fig.13 SiO_2 -trace element diagrams of the Sawara Granite around gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 12.

岩の変質鉱物の組み合わせから得られた温度条件 と矛盾しない.以上のことから,熱水上昇の中心 であった金鉱脈(採掘され現在は確認できない) 部は、230~280 程度で、その周囲の白色変質帯 は200 以上で生成したと考えられる.このとき 通過した熱水は、さらに外側の変質花崗閃緑岩中 にも達し、イライトの細脈を形成したと考えられる. る.

同様な熱水変質作用は、小川内探鉱跡において も起こったと考えられる.ここでの原岩は北西-南東方向の断層周辺に分布するカタクレーサイト (Fig.8a) である. 大野探鉱跡における白色変質帯の方向ならびに 坑口(A)の方向は東西方向であり,周辺に発達 する断裂の中の西北西-東南東走向で高角なグルー プの方向とほぼ一致する.したがって,熱水はこ の方向の断裂に沿って上昇したと考えられる.小 川内探鉱跡は北西-南東方向の断層付近に位置す る(Fig.1)が,坑口の方向は西北西方向で,断 層の方向とは斜交する.小川内探鉱跡周辺の白色 変質帯の方向は確認できていないが,坑口の方向 と平行だと仮定すると,大野探鉱跡の白色変質帯 の方向と一致する.したがって,両探鉱跡の熱水 活動は,西北西-東南東方向の断裂に沿ったもの



Fig.14 Occurrence of fluid inclusions in quartz.
a, b: fluid inclusions in quartz B, c, d: fluid inclusions in quartz C,
e, f: fluid inclusions in quartz D.
Qtz: quartz, L: liquid, V: vapor.
Scale bars indicate 0.1mm.



Fig.15 Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in quartz.

であると考えられる.

2. 熱水変質作用に伴う化学組成の変化

熱水変質作用を被った白色変質花崗閃緑岩は, 変質花崗閃緑岩に比べ, Fe₂O₃*, MgO, CaO, Sr に乏しく, S に富む傾向がある (Figs.12, 13). そこで, これらのうち変化の著しい Fe₂O₃*, CaO, S の含有量の変化を,大野探鉱跡の坑口 (A)周辺で検討した (Figs.19~21).Fe₂O₃*は, 変質花崗閃緑岩では大部分が2.0wt%以上である のに対し,白色変質花崗閃緑岩では大部分が1.5 wt%以下である (Fig.19).変質花崗閃緑岩の CaO 含有量は,北側では1.5wt%以上であるが, 南側では0.5 wt%以下から2.0wt%以上まで変化 に富む (Fig.20).これに対し,白色変質花崗閃 緑岩では多くが1.5wt%以下である.変質花崗閃 緑岩のS含有量は大部分が500ppm 以下であるの に対し,白色変質花崗閃緑岩では1000ppm 以上

が大部分を占める (Fig.21). Fe₂O₃*の含有量の 増加傾向は緑泥石に出現 (Fig.16) とその量に, CaO 含有量の減少傾向はイライトの出現 (Fig. 17) とその量に、S 含有量の増加傾向は黄鉄鉱の 出現 (Fig.18) とその量に調和的である. したがっ て、鉄、マグネシウムに富む緑泥石の鉄、マグネ シウムに乏しいイライトによる交代により,鉄, マグネシウムが溶脱し、カルシウムに富む斜長石 のカルシウムに乏しいイライトによる交代により, カルシウム (およびこれと挙動が同じ Sr) が溶 脱したと考えられる. さらに、Sに富む黄鉄鉱の 出現によって、Sの付加が起こったと考えられる. また、白色変質花崗閃緑岩のうち、変質花崗閃緑 岩よりも Na₂O に富む岩石は K₂O に乏しい傾向 がある (Fig.12) ことから、熱水との反応による カリ長石の曹長石化も起こった可能性が高い.



Fig.16 Distribution of chlorite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.



Fig.17 Distribution of illite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 16.



Fig.18 Distribution of pyrite in the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects. Symbols are the same as those in Figure 16.



Fig.19 Distribution of $Fe_2O_3^*$ contents of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.



Fig.20 Distribution of CaO contents of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.



 $\label{eq:Fig.21} \begin{array}{l} \mbox{Distribution of S contents of the Sawara Granite around the adit} \\ \mbox{(A) of the Ono gold prospects.} \end{array}$

謝辞 辞

福岡県五ヶ山ダム建設事務所ならびに福岡県教 育庁総務部文化財保護課大規模遺跡対策・災害復 旧班の伊崎俊秋氏には,現地調査の機会を与えて いただいた.さらに地元である福岡県筑紫郡那珂 川町大野の築地蔵次氏,佐賀県神埼郡東脊振村小 川内の武廣邦敏氏には現地調査に同行していただ いた.佐賀大学文化教育学部の川野良信助教授に は粗稿を読んでいただき,有益な討論をいただい た.匿名の査読者には,本論文を査読をしていた だき,有益な助言をいただいた.以上の方々に心 から感謝いたします.

引用文献

- 林 正雄・山崎達雄, 1979, 全岩 X 線粉末デー タの1表示法 (要旨). 日本地質学会西日本 支部会報, no.69, 16.
- 東脊振村小川内,1985,小川内誌. 佐賀県神埼郡 東脊振村小川内,213p.
- **唐木田芳文**,1985,北九州花崗岩の地質学的分類. 日本応用地質学会西日本支部会報,no.6,2-12.
- 唐木田芳文・富田宰臣・下山正一・千々和一豊, 1994,福岡地域の地質.地域地質研究報告書 (5万分の1地質図幅),地質調査所,192p.
- 久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住 英夫・鎌田耕太郎・広島俊男・中島和敏,19 93,20万分の1地質図 福岡.地質調査所.
- Meyer, C. and Hemley, J., J., 1967, Wall rock alteration. In Barnes, H., L. (ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits.

Holt, Rinehart and Winston, Inc., 166-235.

- 那珂川町教育委員会,1976, 郷土誌 那珂川. 福 岡県筑紫郡那珂川町,403p.
- 大和田正明・亀井淳志・山本耕次・小山内康人・ 加々美寛雄,1999,中・北部九州,白亜紀花 崗岩類の時空分布と起源.地質学論集,no.5 3,349-363.
- Roedder, E., 1967, Fluid inclusions as samples of ore fluids. In Barnes, H., L. (ed) Geochemistry of hydrothermal ore deposits. Holt, Rinehart and Winston, Inc., 515-574.
- 資源・素材学会, 1989, 日本金山誌, 第一編 九 州. 144 p.
- 上野禎一・島田允堯・山邉孝之・中園仁彰・白山 信一郎,1990,福岡県河東鉱山の含金銀鉛亜 鉛脈と鉱物共生.鉱山地質,40,175-182.
- 歌田 実, 1977, 鉱床母岩の変質作用. 立見辰雄 編,現代鉱床学の基礎. 東京大学出版会, 145-159.
- 吉村尚久,2001,粘土鉱物と変質作用.地学団体 研究会,293p.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋,2004,粉末ペレット法による珪酸塩.炭酸塩岩石の微量元素の 蛍光X線分析.福岡大学理学集報,34,43-49.
- 柚原雅樹・田口幸洋,2003a, 蛍光X線分析装置 ZSX100e による,珪酸塩岩石の主成分およ び微量元素の定量分析.福岡大学理学集報, 33,25-34.
- 柚原雅樹・田口幸洋,2003b,ガラスビード法に よる珪酸塩岩石の Co および S の蛍光 X 線分 析. 福岡大学理学集報,33,77-81.



Appendix 1. Sample localities of the Sawara Granite.



Appendix 2. Sample points of the Sawara Granite around the adit (A) of the Ono gold prospects.



Appendix 3. Sample points of the Sawara Granite around the Ogawachi gold prospects.