日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要
No.57（2022）pp.19-40

大崩山花崗岩質バソリス包有岩類の全岩化学組成とその成因

高橋　正樹*・金丸　龍夫**・大畑　　聡**

Whole-rock Chemistry of Inclusions in the Okueyama Granitic Batholith, Kyushu, SW Japan and Its Origin

Masaki TAKAHASHI*, Tatsuo KANAMARU** and Satoshi OHATA**

（Accepted November 11, 2021）

A lot of inclusions are included in the Okueyama granitic batholith; they are mafic inclusions, mafic double enclaves, xenoliths of gneiss or migmatite and country rocks. The inclusions are enriched in the later-intruded granite to granodiorite. Mafic double enclaves are classified into groups A and B. The group A with 66 to 69wt.% SiO_2 is the same as host granitic rocks in chemistry, while the chemical composition of group B with 60 to 65 wt.% SiO_2 is similar to those of igneous rocks of the stage of andesite-dacite composite volcanoes. Mafic inclusions with 54 to 56wt.% are shoshonite in composition. The group B inclusions may have been derived from high-magnesian andesite of mantle origin. The batholithic granitic magma was formed by melting of the lower crustal materials consisting of mixtures of solidified magma of andesite-dacite composite volcano and meta-sedimentary rocks (gneiss or migmatite), heated by magmas of high magnesian andesite and shoshonite ascended from the mantle to the crust.

Keywords : mafic inclusion, double enclave, xenolith, granitic magma, andesite, dacite

1. はじめに

一般に花崗岩体には多くの包有岩（inclusion）が含まれている。それらには，貫入した花崗岩質マグマが周囲の母岩を構成する様々な岩石を取り込んだ捕獲岩（xenolith）以外にも，深部からもたらされた変成岩や深成岩起源（結晶沈積岩を含む）の捕獲岩，暗色包有岩（dark inclusion），苦鉄質包有岩（mafic inclusion）あるいは苦鉄質微粒状包有岩（mafic microgranular enclave）などとよばれる包有岩が含まれる（Didier and Barbarin, 1991など）。捕獲岩は固体として取り込まれたものであるが，苦鉄質包有岩の多くは，急冷縁や火炎状構造といった液体として取り込まれた証拠を有しており，これらは苦鉄質マグマ性包有岩（mafic magmatic inclusion）とよばれる。14～13Ma頃に活動した中期中新世瀬戸内・西南日本外帯マグマ活動帯（Fig.1）に属する大崩山火山深成複合岩体の大崩山花崗岩質バソリスには，多数の包有岩類が含まれている。ここでは，それらの包有岩類の全岩化学組成について報告し，ホスト花崗岩類および先行する火山岩類との成因的関係について検討したい。

2. 大崩山花崗岩バソリスと包有岩類

大崩山火山深成複合岩体は3つの形成期からなる（Takahashi, 1986; 2014）（Fig.2）。古期コールドロン形成期では，流紋岩～デイサイト質火砕流堆積物と溶岩が噴出して祖母山コールドロンが形成され，次いで無斑晶質流紋岩質溶岩の流出と流紋岩～デイサイト質火砕流堆積物が噴出して傾山コールドロンが形成された。安山岩・デイサイト質複成火山形成期では，安山岩～デイサイト質溶岩と火砕流堆積物が噴出して，複成火山体が形成された。新期コールドロン形成期では，国見岳（くにみだけ）流紋岩質火砕流堆積物が噴出して大崩山コールドロンが沈降し，大崩山コールドロンを縁取る珪長岩，凝灰岩，花崗

* 日本大学文理学部自然科学研究所
〒156-8550　東京都世田谷区桜上水3-25-40
** 日本大学文理学部地球科学科：
〒156-8550　東京都世田谷区桜上水3-25-40
* Institute of Natural Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui, Setagayaku, Tokyo 156-8550, Japan
** Department of Earth and Environmental Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40, Sakurajosui, Setagayaku, Tokyo 156-8550, Japan

斑岩からなる環状複合岩脈が形成された。最後に大崩山花崗岩質バソリスが貫入定置したが，大崩山花崗岩質バソリスは，先に貫入定置した$SiO_2$70wt.％以上の花崗岩類と，30万年以上の時間をおいてその下位に貫入定置した$SiO_2$70～66wt.％の花崗閃緑岩～花崗岩からなる（谷・他，2021）。

大崩山花崗岩質バソリスは，平坦な天井部と急傾斜の壁境界からなる33×22kmの拡がりを持つ大型の花崗岩体であり，当時の地表から深さ3km程度の地点に貫入定置したものと推定されている（Fig.3）。大崩山花崗岩質バソリスは天井部が侵食を受け，急峻な山岳地帯の標高の低い谷部の所々に，岩体の頂部が姿を現している。それらは，尾平（おびら）岩体（OBG），上畑（うわはた）岩体（UHG），奥村岩体（OMG），藤河内（ふじこうち）（FKG），日之影（ひのかげ）岩体（HNG），大崩山岩体（OKG）などからなる。このうち最大規模の岩体が大崩山岩体（11×8km）であり，侵食により天井境界から標高差最大1000mの花崗岩体の断面が露出している。また，隣接する日之影岩体（4×1.3km）も，天井境界から最大300m余りの断面が露出している。

3. 包有岩類の種類と産状

大崩山花崗岩質バソリスには多くの包有岩（inclusion）が含まれている。特に，天井境界から1000m余りの断面が観察可能で，標高の低い地点に岩体の比較的深部が露出している大崩山花崗複合岩体（Fig.3）や，隣接する300m余りの断面が露出している日之影花崗複合岩体には，多様な包有岩類が含まれている。包有岩類は，(1) 母岩の四万十層群などの堆積岩類の捕獲岩（xenolith of country sedimentary rocks），(2) 片麻岩あるいはミグマタイトの捕獲岩（xenolith of gneiss or migmatite），(3) 苦鉄質2重包有岩（mafic double enclave），(4) 苦鉄質包有岩（mafic inclusion）などからなる。

大崩山花崗複合岩体では，標高1000m以上では長径10cm以上の包有岩はほとんど含まれていない（1m^2当たり1.0個以下）が，標高1000m以下ではその個数が増大し，標高800m以下では長径10cm以上の包有岩は最大1m^2当たり4.0個にまで増える（Fig.4, Fig.5）。また，大型の2重包有岩は標高1000m前後（天井境界から300m程度）の地点に多くみられる。

3-1. 母岩（砂岩・泥岩）の捕獲岩

大崩山花崗複合岩体の場合には，母岩である四万十層群堆積岩類の砂岩・泥岩のホルンフェルス岩片が捕獲岩として含まれている（Fig.6）。やや紫色を帯びた暗黒灰色の角礫状のものが多い（Fig.6A）。場合によってはホスト花崗岩マグマとの反応が進み，部分的に融解しているものもみられる（Fig.6B）。

3-2. 片麻岩あるいはミグマタイトの捕獲岩

褶曲した片麻岩あるいはミグマタイトの捕獲岩である。単独で含まれる場合もあるが（Fig.8D），多くは2重包有岩に含まれる形で産する（Fig.8B）。ミグマタイトは部分融解している（Fig.8A, C, E）。地表付近にはみられないもので，地殻深部からもらされたものである。

3-3. 苦鉄質2重包有岩

苦鉄質包有岩がさらに包有岩を含んでいるものを苦鉄質2重包有岩という。楕円形で長径1m以上の大型のものも多く，長径が数mに及ぶものも含まれる（Figs.8F, 9B）。多くのものは片麻岩あるいはミグマタイトの捕獲岩を含むが（Fig.8A, B, C, E），苦鉄質包有岩を含む場合もある。片麻岩あるいはミグマタイトを含む苦鉄質2重包有岩は，地殻深部で片麻岩あるいはミグマタイトを捕獲したマグマが上昇し，低温の花崗岩質マグマに取り込まれて急冷固化したものと考えられる。

3-4. 苦鉄質包有岩

苦鉄質包有岩には苦鉄質2重包有岩と単独の小型包有岩がある。小型包有岩には楕円形や不定形のものが多いが，長径は数10cm以下である（Fig.7）。ホストの花崗岩質マグマに取り込まれた時に周囲のマグマよりも高温で急冷固化したことを示す急冷縁（chilled margin）や，取り込まれた時に液体で流動性があったことを示す火炎状構造（flame (lobate) structure）が縁部に発達していることが多い（Fig.7A, B）。いわゆる，苦鉄質マグマ性包有岩（mafic magmatic inclusion）である。優黒質で斑状結晶を含むことが普通である。

4. 全岩化学組成

包有岩のうち，ここでは (1) 母岩の堆積岩捕獲岩，(2) 苦鉄質包有岩，(3) 苦鉄質2重包有岩について，東京大学地震研究所の全自動XRF分析装置を用いて全岩化学組成分析を行った。分析装置，分析方法および分析誤差については，外西・他（2016）を参照のこと。分析結果をTable 1および2に示す。分析対象としたのは，大崩山花崗複合岩体の母岩堆積岩捕獲岩および苦鉄質包有岩と，日之影花崗複合岩体の苦鉄質2重包有岩である。

4-1. 包有岩と新期コールドロン形成期火成岩類との全岩主化学組成の比較

包有岩の全岩主化学組成を新期コールドロン形成期火成岩類（国見岳流紋岩質火砕流堆積物，環状岩脈花崗斑岩および大崩山バソリス花崗岩類）（高橋・他，2014）とSiO_2変化図上で比較した（Fig.10）。苦鉄質2重包有岩は，SiO_2が66～69wt.％のAグループと，60～65wt.％のBグループに区分される。Aグループの全岩主化学組成は，大崩山バソリス花崗岩類のSiO_2に乏しいものとほとんど同じ組成を示す。一方Bグループは，Aグループおよびバソリス花崗岩類よりも，TiO_2, P_2O_5, MgO, FeO*に富んでおりAl_2O_3に乏しい。苦鉄質包有岩は，54～56wt.％とさらにSiO_2に乏しく，Bグループと比較してTiO_2,およびP_2O_5に乏しく，BグループがSiO_2の増大とともに減少するのに対して増加する傾向がみられる。母岩堆積岩捕獲岩は，火成岩類包有岩と比較してTiO_2, P_2O_5, MgO, FeO*, CaOに乏しく，K_2OおよびAl_2O_3に富む。苦鉄質2重包有岩は，high-K系列，I-type，カルクアルカリ系列に属し，苦鉄質包有岩は，high-K系列，I-type，ソレアイト系列に属する。

4-2. 包有岩と安山岩・デイサイト質複成火山形成期火成岩類との全岩主化学組成の比較

苦鉄質2重包有岩と苦鉄質包有岩の主化学組成を，安山岩・デイサイト質複成火山形成期火成岩類の主化学組成（高橋・他，2014）とSiO_2変化図上で比較した（Fig.11）。安山岩・デイサイト質複成火山形成期火成岩類のうちSiO_2に富む一部のものは、新期コールドロン形成期火成岩類やAグループ苦鉄質2重包有岩と同じ組成を示す。これに対して、Bグループ苦鉄質2重包有岩は，FeO*にやや富むことを除き，安山岩・デイサイト質複成火山形成期火成岩類とほとんど組成が同じである。Bグループ苦鉄質2重包有岩を形成したマグマは，安山岩・デイサイト質複成火山を形成したマグマの大部分とほぼ同一のマグマであったと考えられる。一方，苦鉄質包有岩は，安山岩・デイサイト質複成火山火成岩類に比べて，SiO_2, MgO, CaO, Al_2O_3に乏しく，Na_2OとK_2Oに富む。岩石名では玄武岩質粗面安山岩（basaltic trachyandesite）であり，K_2Oに富むことからショショナイト（shoshonite）ともいえる。

4-3. 包有岩とバソリス花崗岩類との全岩微量元素組成の比較

包有岩とホストのバソリス花崗岩類の全岩微量元素組成（高橋・他，2022印刷中）をSiO_2変化図上で比較した（Fig.12）。苦鉄質2重包有岩のうちAグループの全岩微量元素組成は，ほとんどホスト花崗岩類と同じである。一方，Bグループは，Rb, Sr, Baに乏しく，しかもホスト花崗岩類のRb, Sr, BaがSiO_2の増大とともに減少するのに対して，SiO_2が増大すると増加するという逆の組成変化トレンドを示す。また，Bグループはホスト花崗岩類よりも，Zr, Nb, V, Zn, Thに富んでおりScに乏しい。苦鉄質包有岩は，BグループよりもRb,Sr, Baに富み，Zr, Nbに乏しい組成変化トレンドを示す。

4-4. 包有岩とバソリス花崗岩類との全岩液相濃集元素比の比較

包有岩とホスト花崗岩類の全岩液相濃集元素比について検討した（Fig.13）。Aグループとホスト花崗岩類の比はほとんど同じであるが，ホスト花崗岩類では，Rb/Ba比，Rb/Zr比，Rb/Nb比が増大するように変化している。これは，Rbの増加とともに，Ba, Zr, Nbが減少していることを反映している。また，Zr/Y比は減少するように変化している。これは，Zrの減少とともにYが増加していることを示している。一方、苦鉄質2重包有岩Aグループと比べてBグループは，Rb/Zr比とRb/Nb比が小さい値を示しており，両者は異なる全岩液相濃集元素比を有する。すなわち，このことから，Bグループマグマの単純な結晶分化作用では，Aグループマグマを生成出来ないことが示唆される。

5. 議論

5-1. 包有岩を形成したマグマの成因

堆積岩捕獲岩や片麻岩・ミグマタイト質捕獲岩を除く包有岩は，何れもマグマ性包有岩である。包有岩を形成したマグマには，3種類のものが認められる。苦鉄質2重包有岩のAグループはバソリス花崗岩類とほぼ同一のマグマに由来する。また，Bグループは安山岩・デイサイト質複成火山を形成したマグマとほぼ同一のマグマからなる。さらに，苦鉄質包有岩はBグループのマグマとは異なるショショナイト質のマグマからもたらされた。すなわち，最終的に地下3kmほどの浅所に貫入定置したバソリス花崗岩質マグマに、異なる起源を持つ3種類のマグマが注入されたことになる。Bグループに相当する安山岩・デイサイト質マグマのうち最もMgOに富むものは$SiO_2$58wt.％でMgO4.7wt.％であるが，SiO_2変化図上ではSiO_2が乏しくなるにつれて急激にMgOが増加しているので，組成変化トレンドを延長して行くと，$SiO_2$55wt.％でMgO8.0wt.％の高マグネシウム安山岩となることが予想される。すなわち，Bグループは高マグ

ネシウム安山岩質マグマに由来する可能性が考えられる。一方，K_2Oに富むショショナイト質マグマは，マントルにおいて高マグネシウム安山岩質マグマと共存していたものと思われる。Aグループデイサイト質マグマおよびバソリス花崗岩質マグマは，地下深部で固化したBグループマグマと片麻岩・ミグマタイトの混合物が，新たに供給されたBグループマグマの熱によって部分融解したものである可能性がある。

5-2.　新期コールドロン形成期のマグマ供給システム

年代的にみて，安山岩・デイサイト質複成火山形成期と新期コールドロン形成期は連続していた可能性が高い。新期（大崩山）コールドロンを形成した珪長質マグマ（国見岳流紋岩質火砕流堆積物，環状岩脈花崗斑岩そしてバソリス花崗岩類）は，SiO_2変化図上でほぼ連続した組成変化トレンドを示す。これらの珪長質マグマは，固化した安山岩・デイサイト質マグマと片麻岩・ミグマタイトの混合物が部分融解して生成されたらしい。すなわち，新期コールドロン形成期には，高マグネシウム安山岩質マグマやショショナイト質マグマがマントルに存在しており，地殻深部に上昇してきたこれらのマグマが，固化した安山岩・デイサイト質マグマや片麻岩・ミグマタイトからなる下部地殻物質を融解し，新期コールドロンに関係した珪長質マグマが生成されたものと推定される。バソリス花崗岩類を形成した珪長質マグマは，30万年以上の時間間隙をおいて前期と後期の2回にわたって貫入定置したが，後期バソリス花崗岩に苦鉄質2重マグマ性包有岩や苦鉄質マグマ性包有岩が含まれることから，後期のバソリス花崗岩質マグマが貫入定置した時にも，地殻深部には安山岩・デイサイト質マグマやショショナイト質マグマが存在していたものと考えられる。新期コールドロン形成期のマグマ供給システムとしては，地殻深部に存在する安山岩・デイサイト質マグマとショショナイト質マグマの熱が下部地殻物質を融解し，生成された大量の珪長質マグマが噴出して大崩山コールドロンが沈降するとともに，地殻浅部に貫入定置して花崗岩質バソリスを形成する，といったものが考えられる。

6.　まとめ

(1) 大崩山花崗岩質バソリスには多くの包有岩が含まれており，それらは母岩堆積岩の捕獲岩，片麻岩・ミグマタイトなどの深部捕獲岩，苦鉄質2重包有岩そして苦鉄質包有岩からなる。

(2) 包有岩は最後に貫入定置した後期バソリス花崗岩類に多く含まれている。

(3) 苦鉄質2重包有岩はバソリス花崗岩類と同質マグマに由来するAグループと，安山岩・デイサイト質複成火山を構成したマグマと同質のBグループとに区分される。苦鉄質包有岩にはショショナイトが含まれる。

(4) Bグループおよび安山岩・デイサイト質複成火山を構成したマグマは，高マグネシウム安山岩に由来する可能性がある。

(5) 新期コールドロン形成期を通して，地殻深部には安山岩・デイサイト質マグマおよびショショナイト質マグマが存在していた。それらの熱が固化した安山岩・デイサイト質マグマや片麻岩・ミグマタイトの混合物からなる下部地殻を融解して大量の珪長質マグマを生成することで，大規模珪長質火山活動と大崩山コールドロンの形成をもたらし，最終的に大規模なバソリス花崗岩質マグマの地下浅所への貫入定置に至った。

引用文献

Didier, J. and Barbarin, B. (1991): The different types of enclaves in granites- Nomenclature. In “Enclaves and granite petrology” , Didier,J. and Barbarin, B. eds., 19-23, Elsevier

外西奈津美・安田　敦・中田節也（2016）：ガラスビード法による蛍光X線分析装置（XRF）を用いた珪酸塩岩石の主・微量成分分析．地震研彙報，**90**, 1-14

Takahashi, M. (1986): Anatomy of a middle Miocene Valles-type caldera cluster: geology of the Okueyama volcano-plutonic complex, SW Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res., **29**, 33-70

Takahashi, M. (2015): Subsurface structure of Miocene large-scale caldera cluster: illustrated descriptions of geology of the Okueyama volcano-plutonic complex, Southwest Japan. Proc. Inst. Natural Sci. Nihon Univ., **49**, 197-230

高橋正樹・東野公則・金丸龍夫（2014）：大崩山火山深成複合岩体火成岩類の全岩主化学組成－分析データ271個の総括－．日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，49，173-195

高橋正樹・岡本康成・金丸龍夫・藤縄明彦（2022）：大崩山花崗複合岩体にみられる垂直方向組成累帯構造の成因．日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要．57（印刷中）

谷　健一郎・堤　之恭・大村一希・高橋正樹・金丸龍夫（2021）：ジルコンU-Pb年代による大崩山火山深成複合岩体形成活動史の制約．日本地質学会第128年学術大会講演要旨

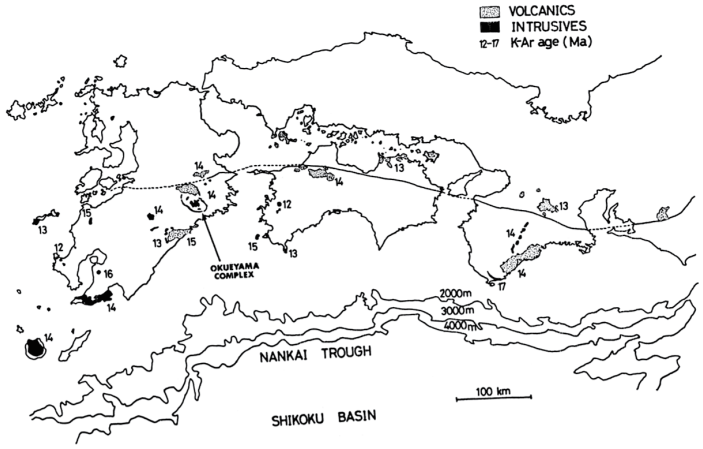

Fig.1 Map showing the locality of Okueyama volcano-plutonic complex and distribution of middle Miocene volcanic and plutonic rocks of the Setouchi-Outer Zone of SW Japan magmatic belt. Numerals: K-Ar ages; numerals with m: depth contour of the Nankai trough in meters.

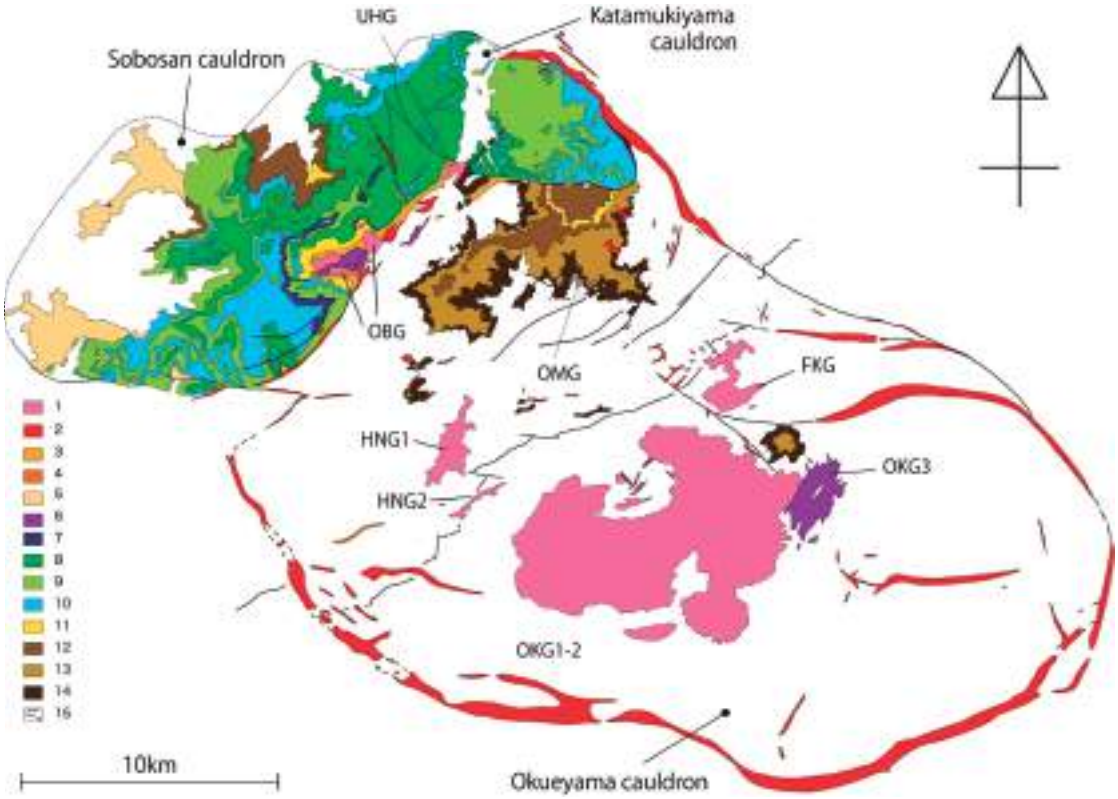

Fig.2 Geologic map of the Okueyama volcano-plutonic complex (Takahashi, 2014). 1: batholithic granite; 2: granite porphyry; 3: tuffisite; 4: felsite; 5: Kunimidake welded tuff; 6: older granitoids; 7: Sobosan dacite lava; 8: Sobosan aphyric andesite lava; 9: Sobosan porphyritic andesite-dacite lava; 10: Sobosan andesite-dacite pyroclastic flow deposit; 11: Katamukiyama crystal-rich pyroclastic flow deposit; 12: Katamukiyama lithic fragment-rich pyroclastic flow deposit; 13: Katamukiyama aphyric rhyolite lava; 14: Sobosan crystal-rich pyroclastic flow deposit; 15: fault

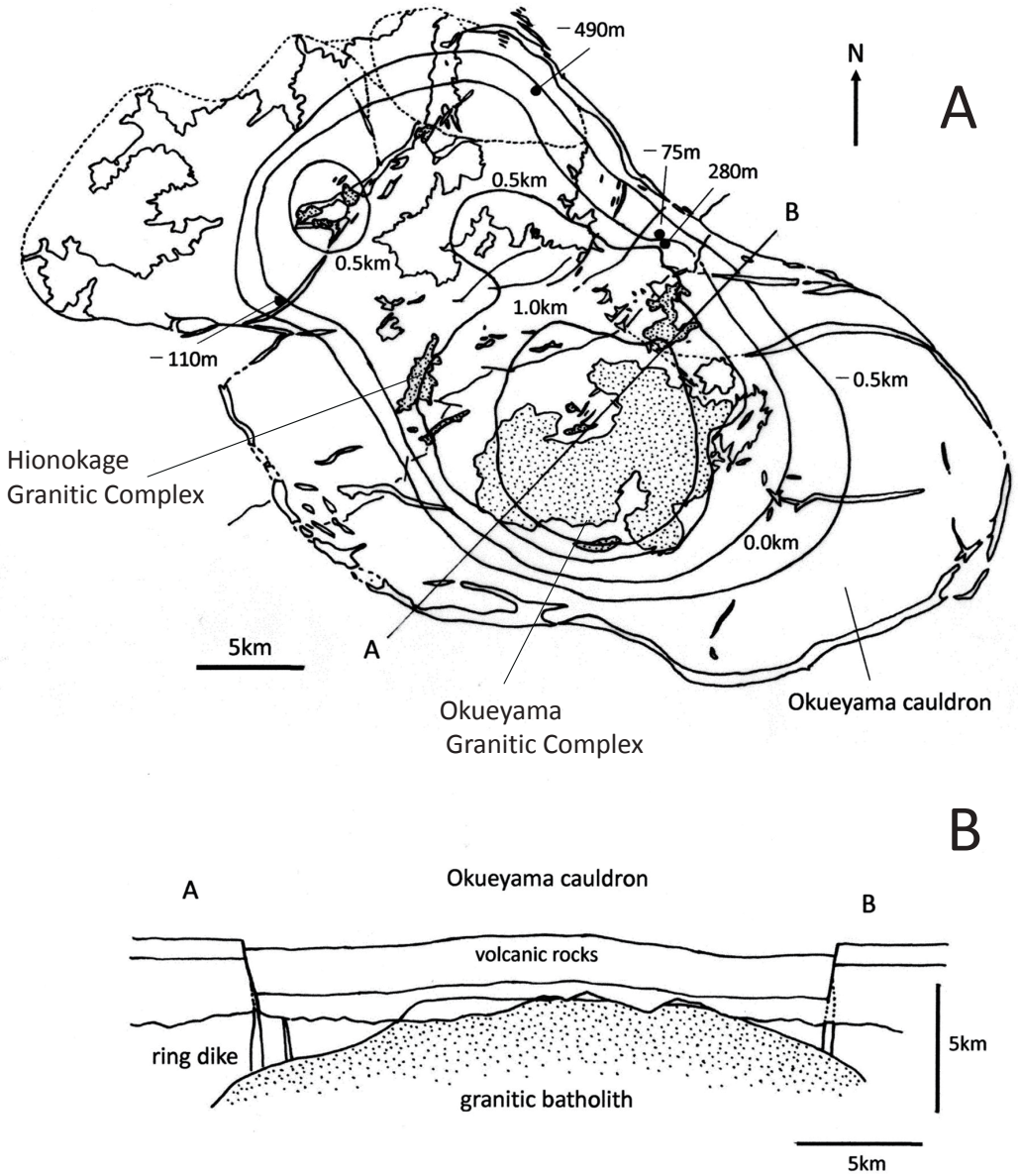

Fig.3 Map showing the shape of Okueyama granitic batholith. The contours denote contact boundary of the granitic batholith. The interval of contours is 0.5km. The numerals in meters at the three drilling sites indicate the depth drilling reached the latent batholithic granite. A: map showing the shape of Okueyama granitic batholith; B: estimated cross-section of the Okueyama granitic batholith.

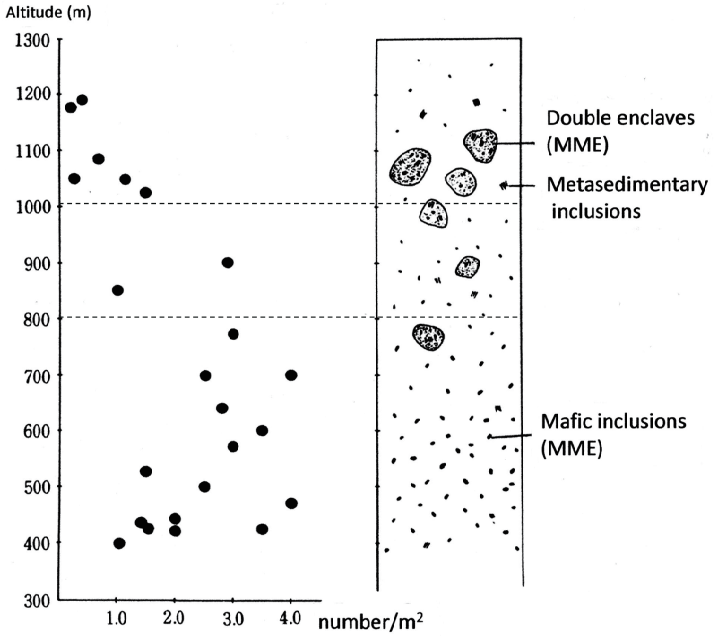

Fig.4 Diagram indicating the altitudinal variation of number of inclusions (more than 10cm in diameter) per 1m^2 in Okueyama granitic complex and a cartoon showing schematically the altitudinal variation for occurrence of inclusions. Dashed lines denote 800 and 1,000m in altitude.

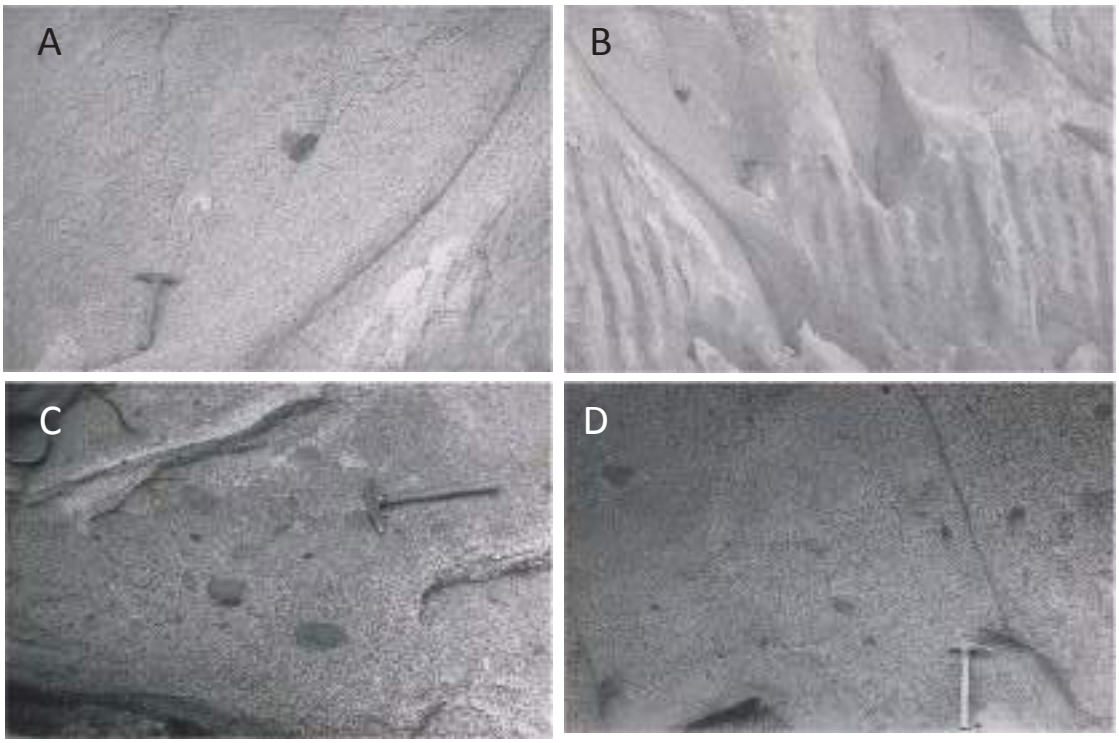

Fig.5 Photographs showing number of inclusions in outcrops. A and B: upper level of OKG1 at about 1,000m in altitude; C and D: lower level of OKG1 at about 450m in altitude; A and B: OKG1 (the Kamishishikawa area); C: OKG1(the Kamishishikawa area); D: OKG1(the Kamihori area).

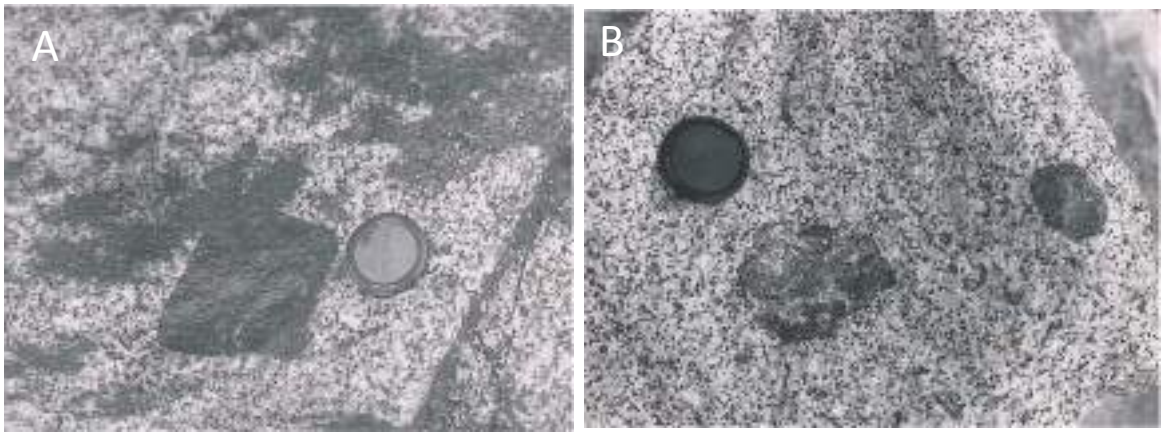

Fig.6 Photographs showing xenolith of country rocks (sandstone or mudstone in the Shimanto Super Group). A: angular xenolith; B: reacted and partially melted xenolith; A and B: OKG1(the Kamihori area).

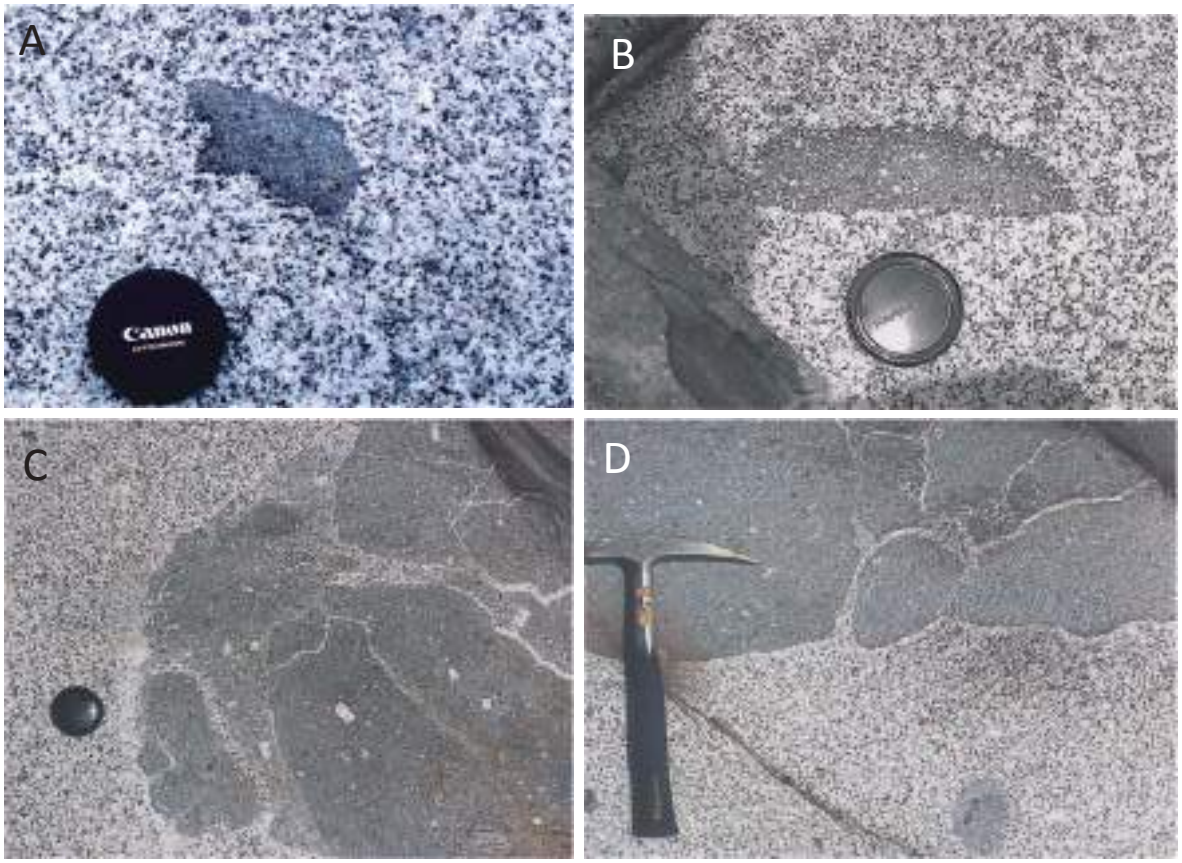

Fig.7 Photographs showing mafic inclusions. A, B and C: mafic inclusion with chilled and lobate (flame structure) margin; C: mafic inclusion fractured to ovoidal form. A: OKG1(the Kamishishikawa area): B: OKG1(the Kamihori area); C and D: HNG (the Iiboshi area).

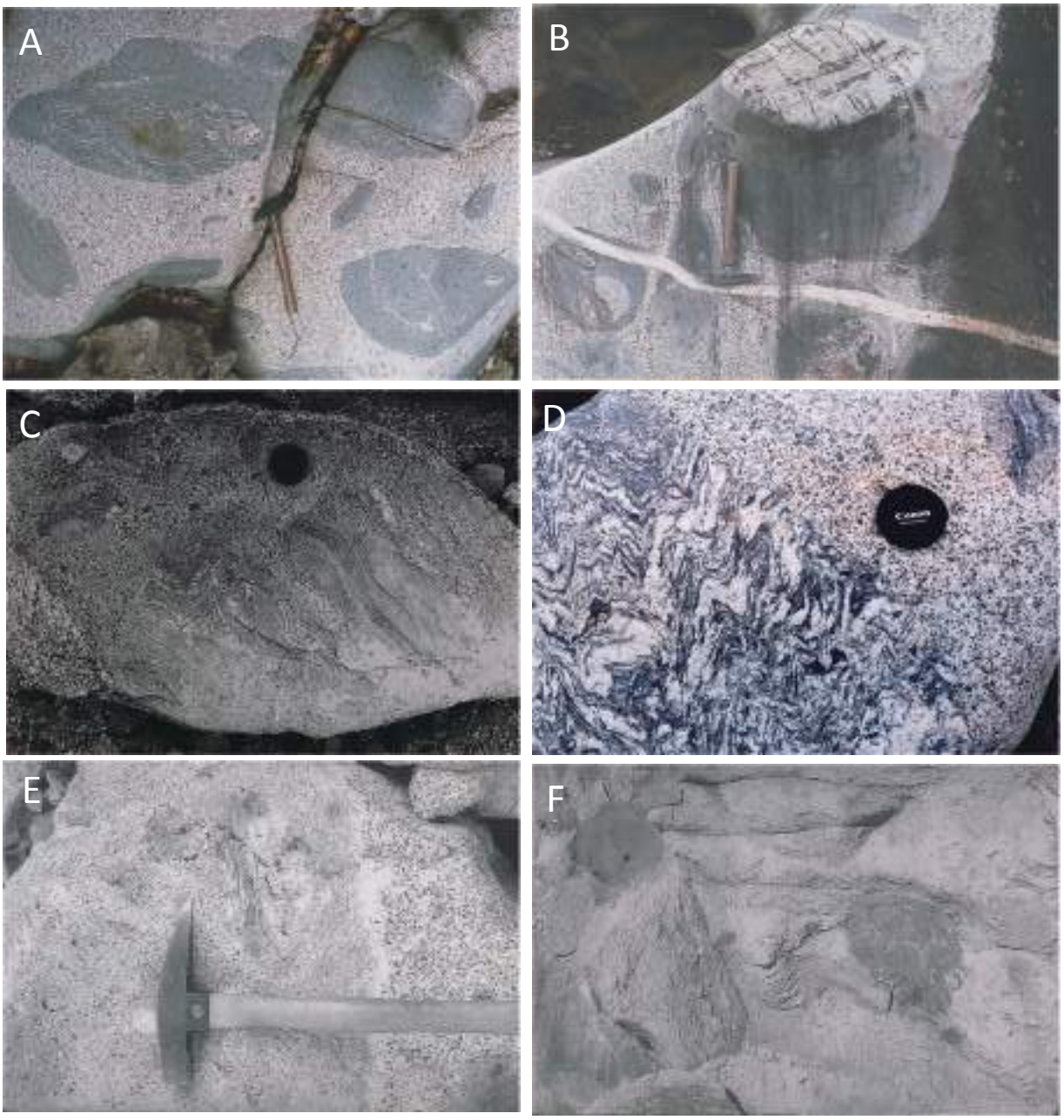

Fig.8 Photographs showing mafic double enclaves and xenoliths of gneiss or migmatite. A: mafic double enclave including xenolith of migmatite; B: mafic double enclave including xenolith of gneiss; C: mafic double enclave including xenolith of migmatite; D: xenolith of gneiss; E: xenolith of migmatite in double enclave; F: large double enclaves in the upper level of OKG1 at about 1,000m in altitude; A and B: HNG (the Iiboshi area); C, D and E: OKG1(the Kamihori area); F: OKG1 (the Kamishishikawa area).

Fig.9 Photographs showing inclusion-concentrated layer. A and B: large inclusions are concentrated in HNG (the Iiboshi area); C: inclusion-concentrated layer with sharp bottom boundary and reverse grading in HNG (the Iiboshi area).

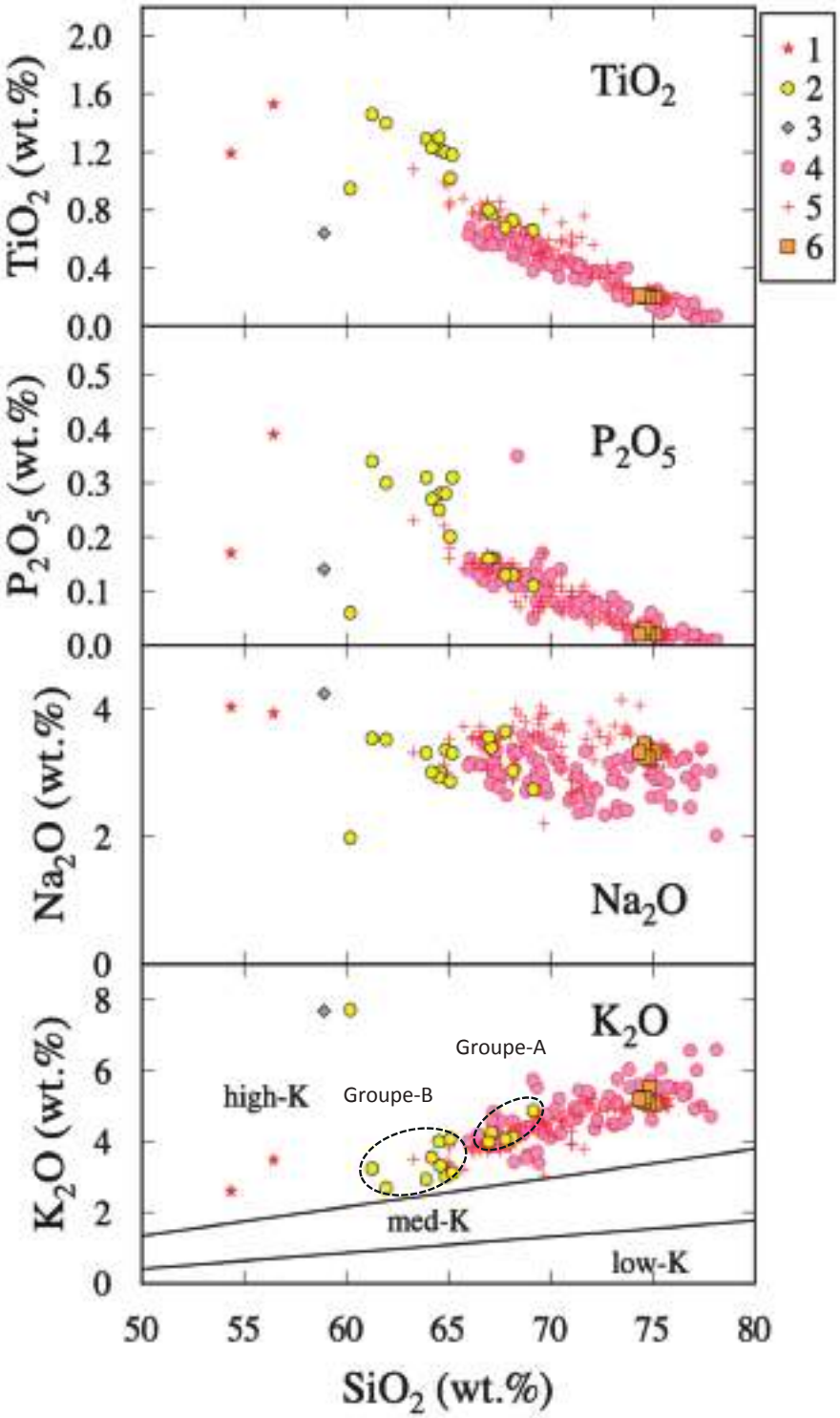

Fig.10A SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for TiO_2, P_2O_5, Na_2O and K_2O contents, comparing them with those of igneous rocks of the Younger cauldron stage. Circles with dashed line denote Group A and B, respectively. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite; 5: ring-dike granite porphyry; 6: Kunimidake rhyolitic pyroclastic flow deposit; low-K: low-K series; med-K: medium-K series; high-K: high-K series

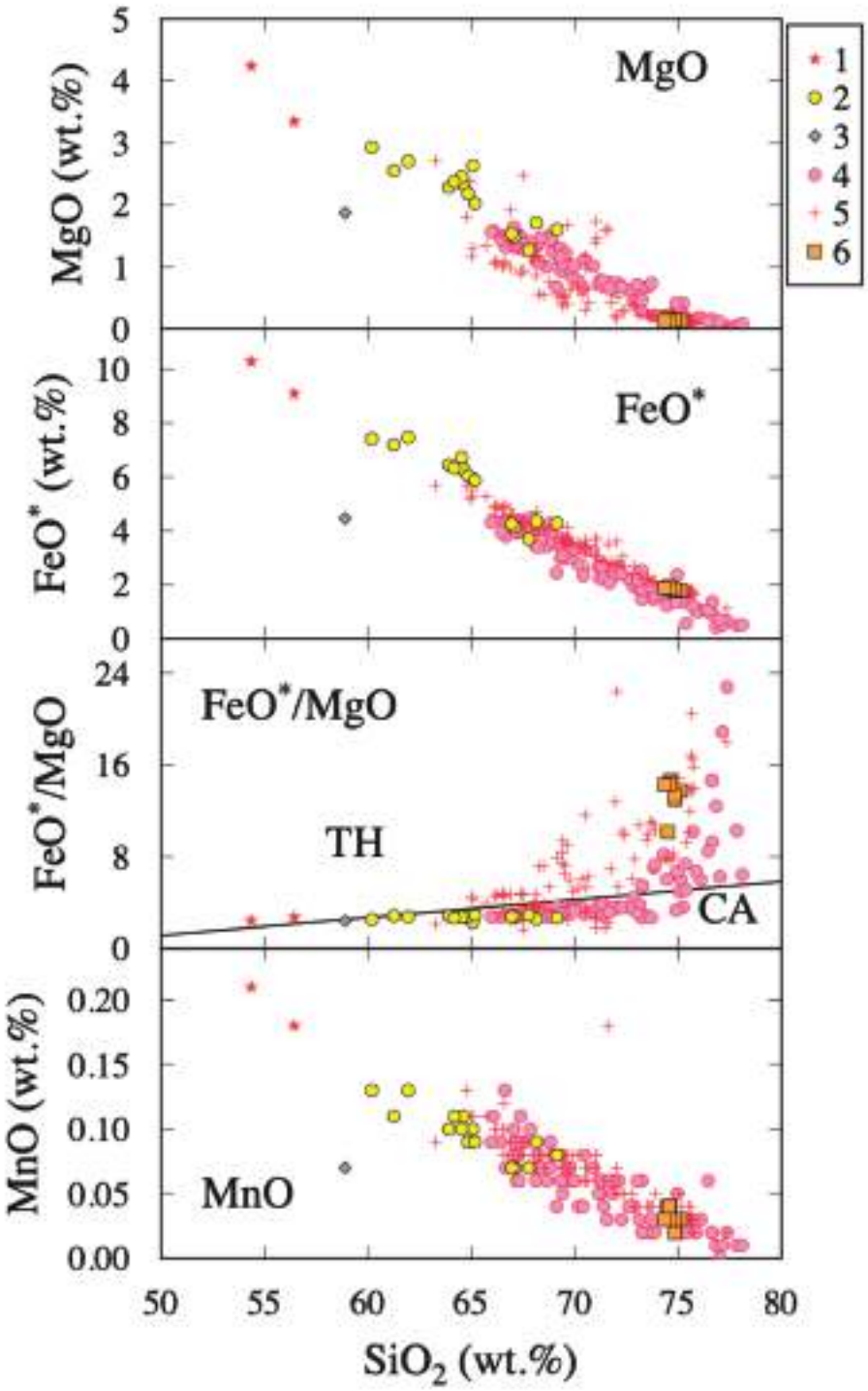

Fig.10B SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for MgO, FeO*, MnO contents and FeO*/MgO ratio, comparing them with those of igneous rocks of the Younger cauldron stage. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite; 5: ring-dike granite porphyry; 6: Kunimidake rhyolitic pyroclastic flow deposit; TH: tholeiitic rock-series; CA: calc-alkalic rock-series.

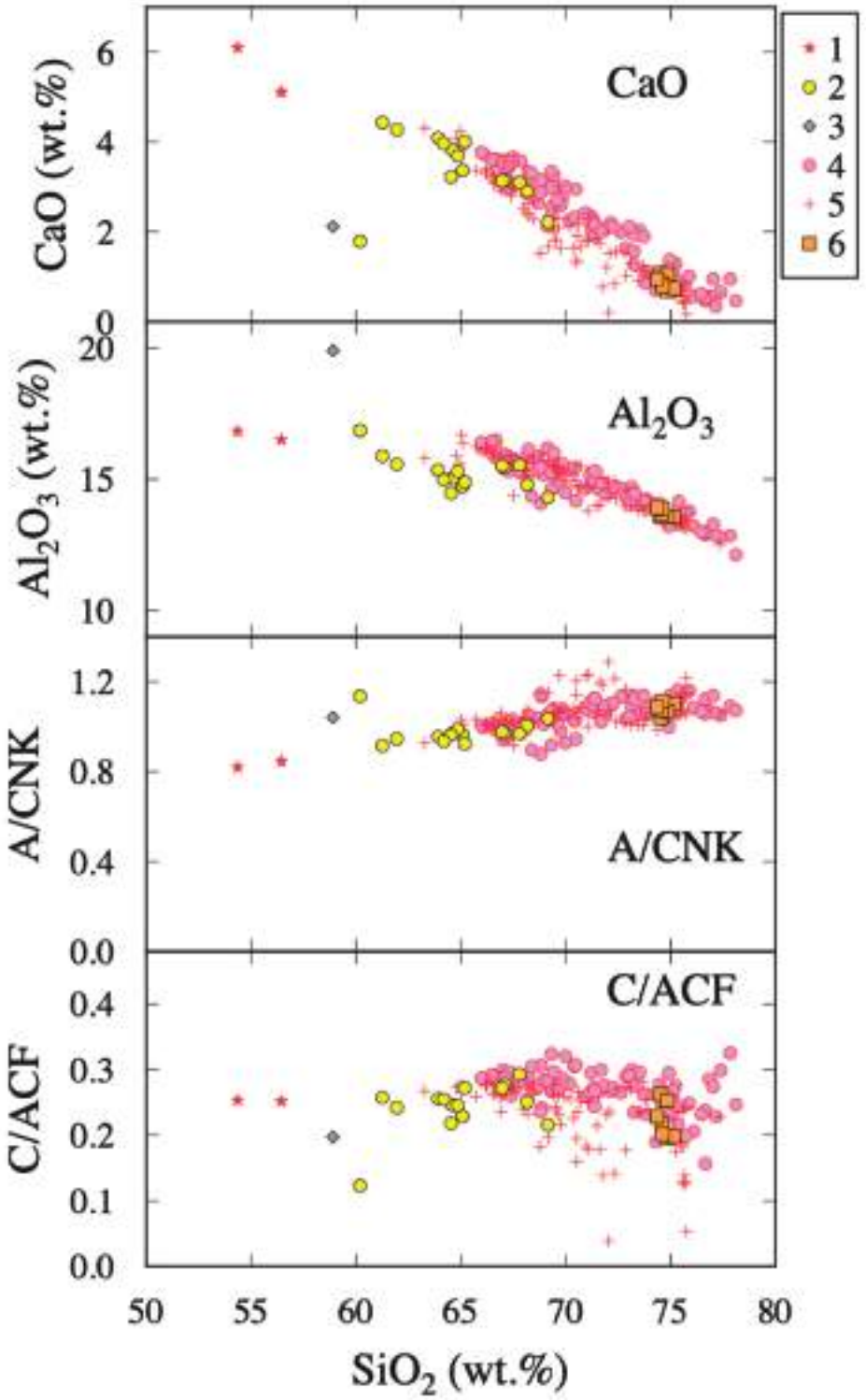

Fig.10C SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for CaO, Al_2O_3 contents, A/CNK and C/ACF ratios, comparing them with those of igneous rocks of the Younger cauldron stage. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite; 5: ring-dike granite porphyry; 6: Kunimidake rhyolitic pyroclastic flow deposit; A/CNK: Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O) molar ratio; C/ACF: CaO/ [(Al_2O_3 - Na_2O - K_2O) + CaO + (FeO* + MgO)] molar ratio.

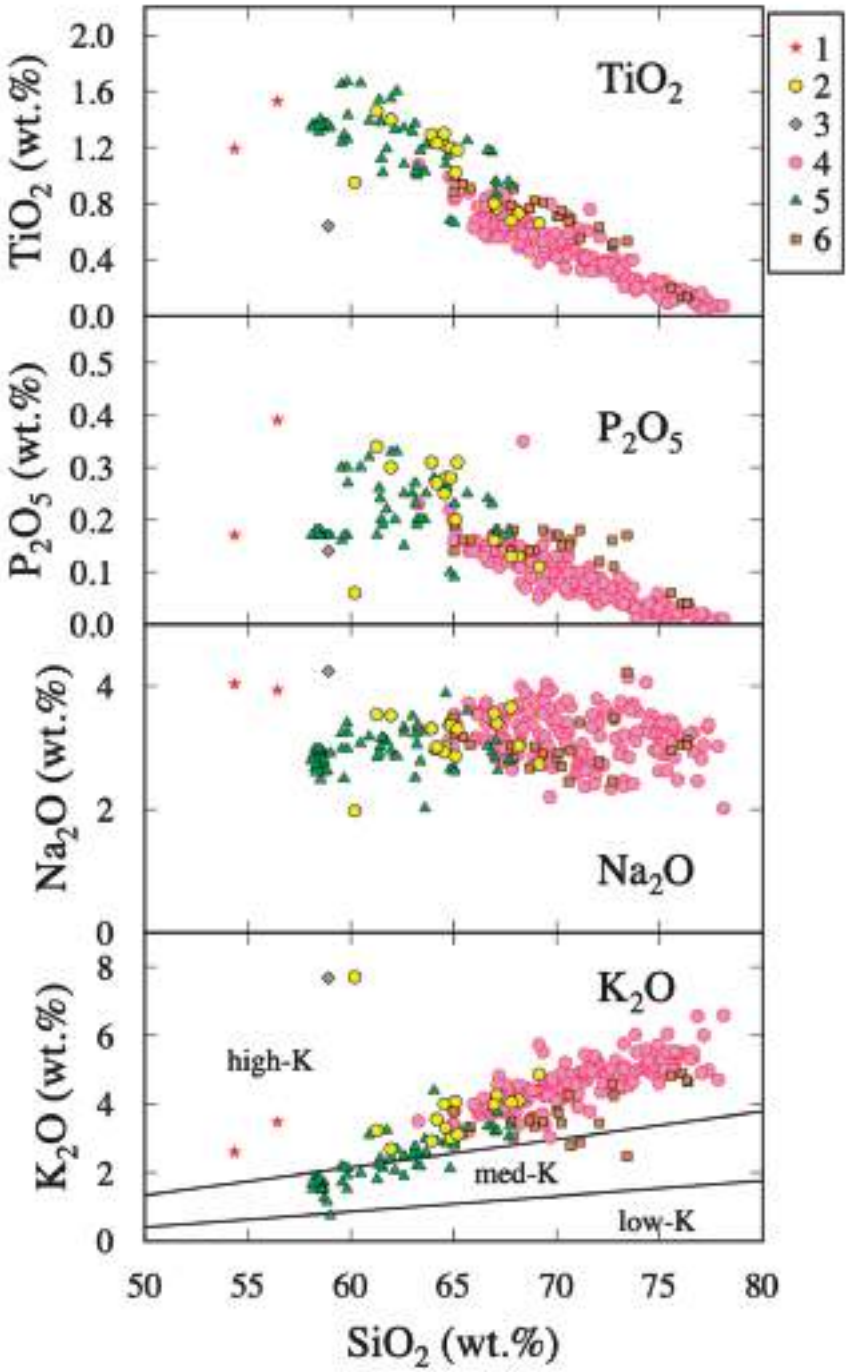

Fig.11A SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for TiO_2, P_2O_5, Na_2O and K_2O contents, comparing them with those of igneous rocks of each stage of the Okueyama volcano-plutonic complex. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: igneous rocks of the Younger cauldron; 5: igneous rocks of the andesite-dacite polygenetic volcano; 6: igneous rocks of the Older cauldron; low-K: low-K series; med-K: medium-K series; high-K: high-K series

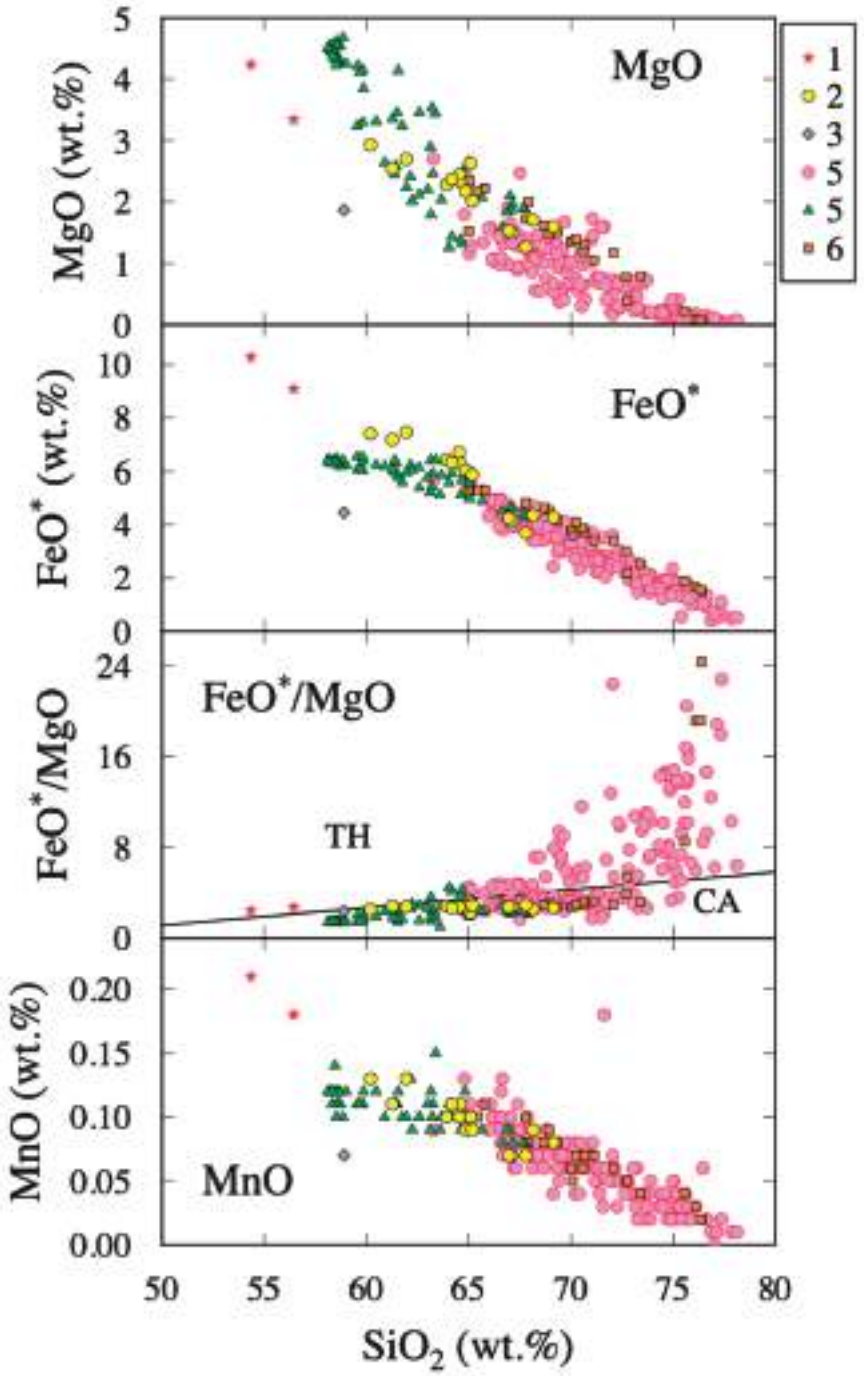

Fig.11B SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for MgO, FeO*, MnO contents and FeO*/MgO ratio, comparing them with those of igneous rocks of each stage of the Okueyama volcano-plutonic complex. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: igneous rocks of the Younger cauldron; 5: igneous rocks of the andesite-dacite polygenetic volcano; 6: igneous rocks of the Older cauldron; TH: tholeiitic rock-series; CA: calc-alkalic rock-series.

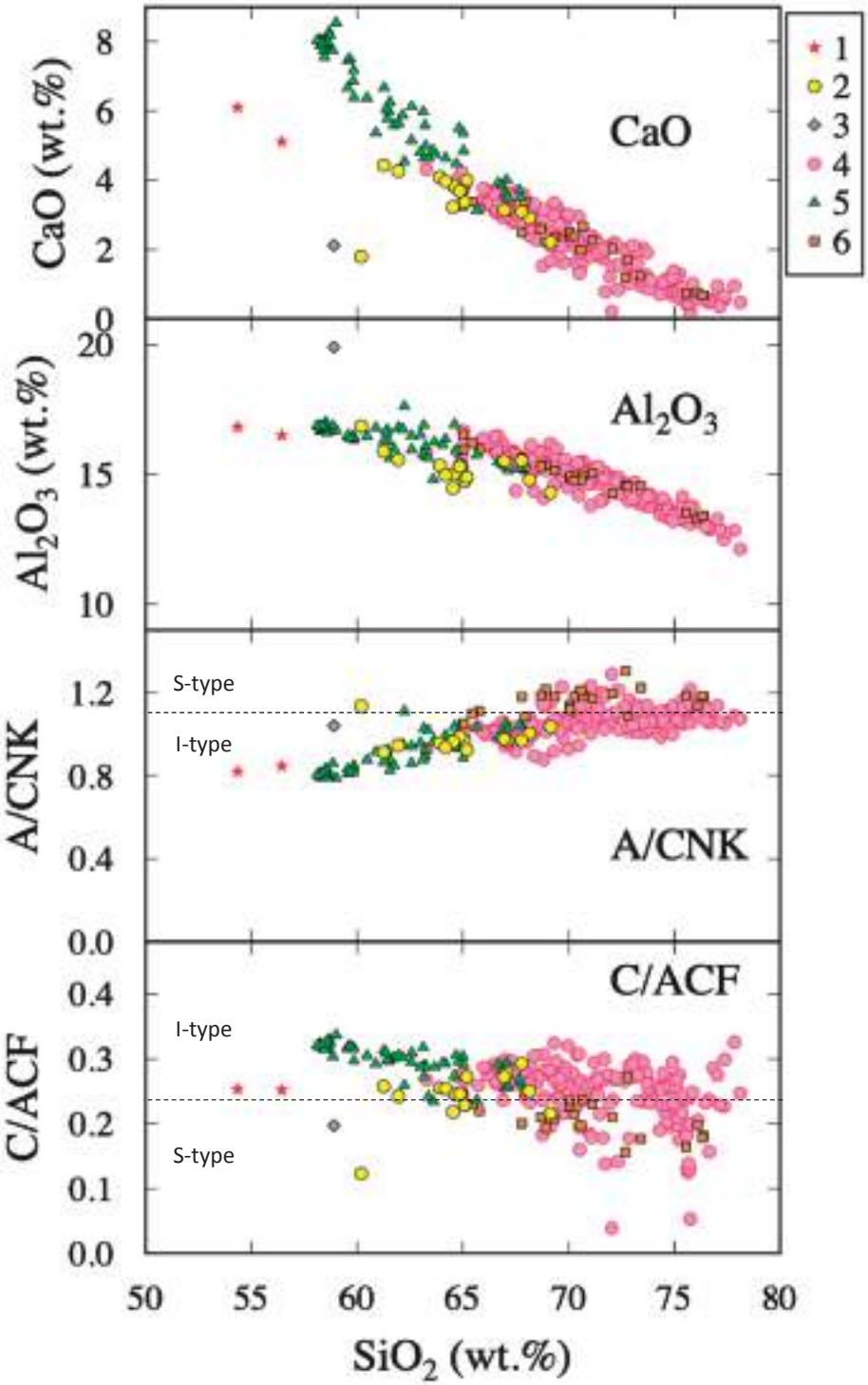

Fig.11C SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for CaO, Al_2O_3 contents, A/CNK and C/ACF ratios, comparing them with those of igneous rocks of each stage of the Okueyama volcano-plutonic complex. Dashed line denotes the boundary between I-type and S-type. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: igneous rocks of the Younger cauldron; 5: igneous rocks of the andesite-dacite polygenetic volcano; 6: igneous rocks of the Older cauldron; A/CNK: $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ molar ratio; C/ACF: CaO/ [$(Al_2O_3$-Na_2O-$K_2O)$ + CaO + (FeO^* + MgO)] molar ratio.

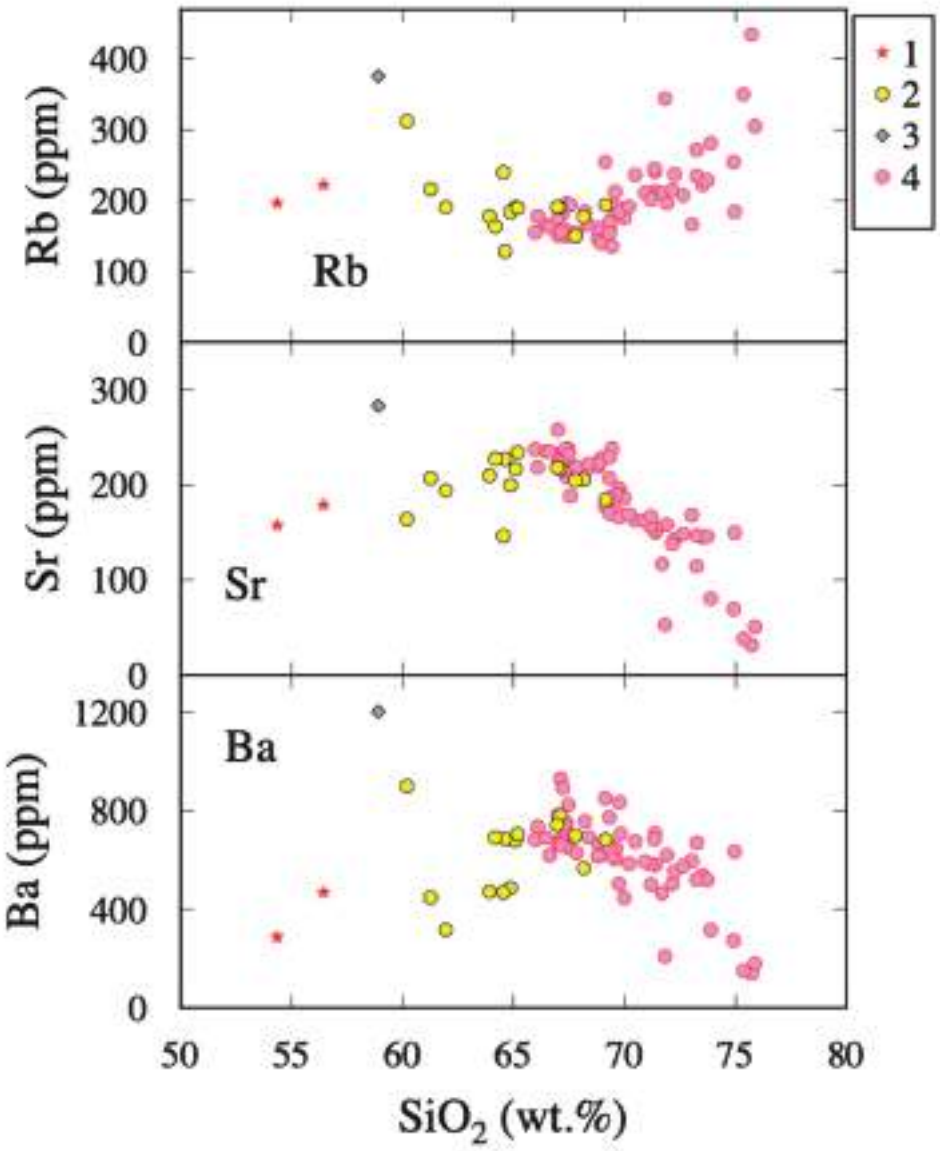

Fig.12A SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for Rb, Sr and Ba. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite

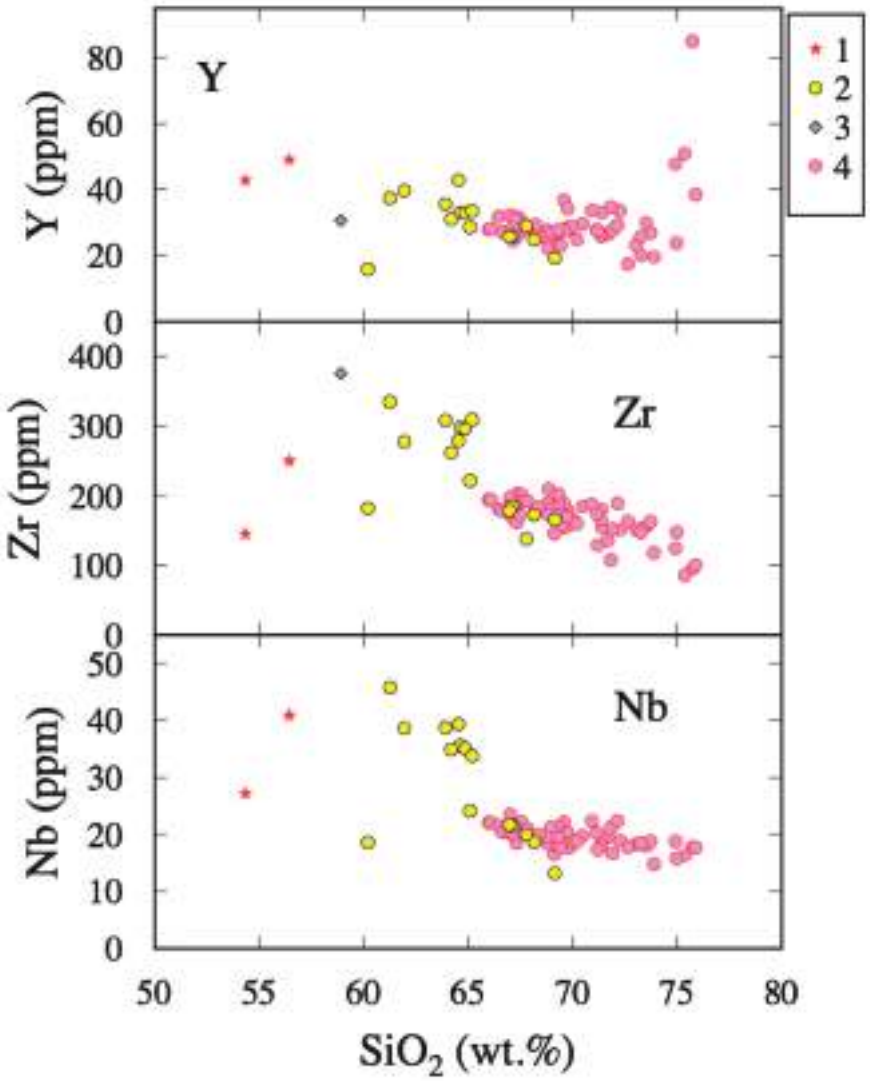

Fig.12B SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for Y, Zr and Nb. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite

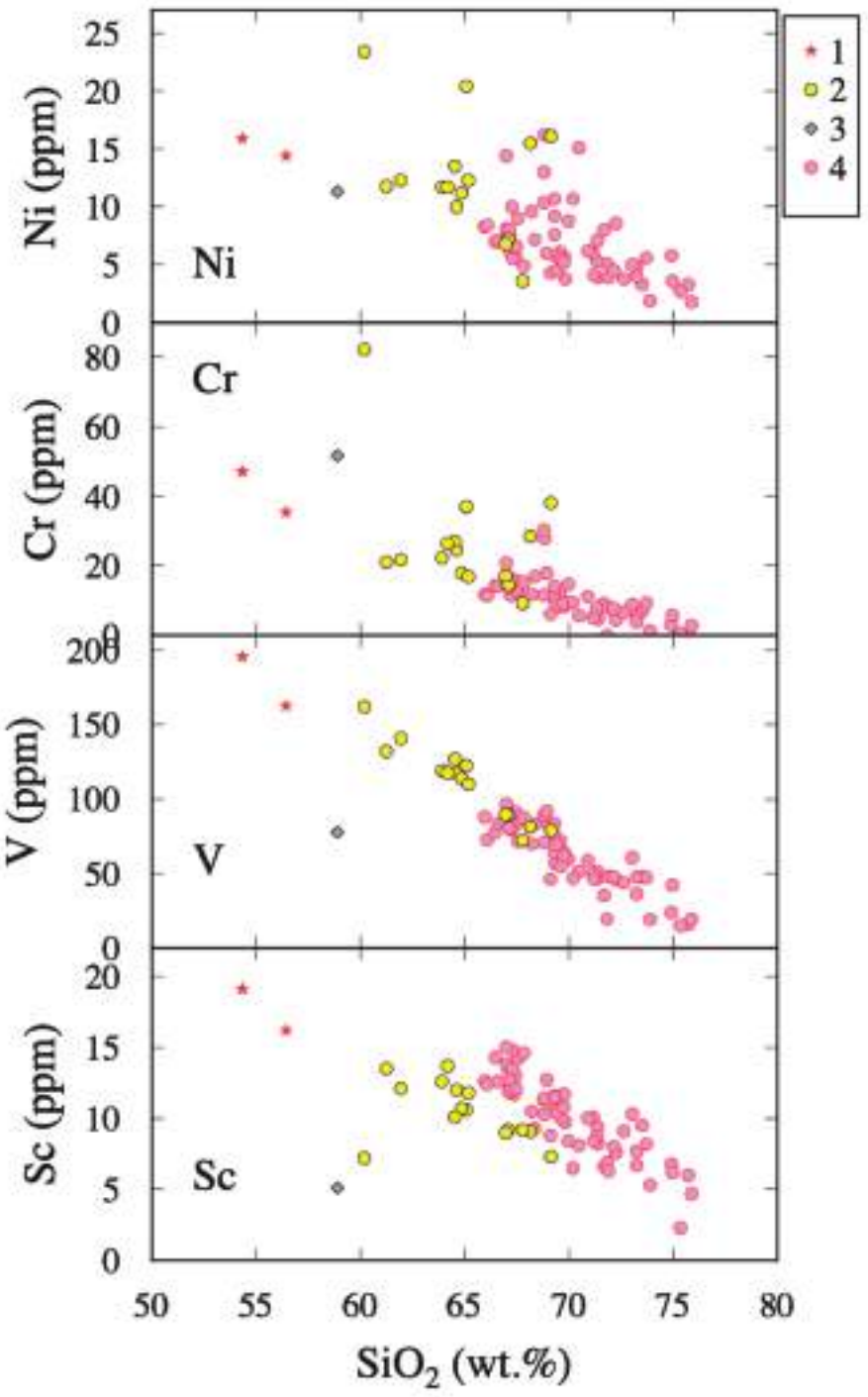

Fig.12C SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for Ni, Cr, V and Sc. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite

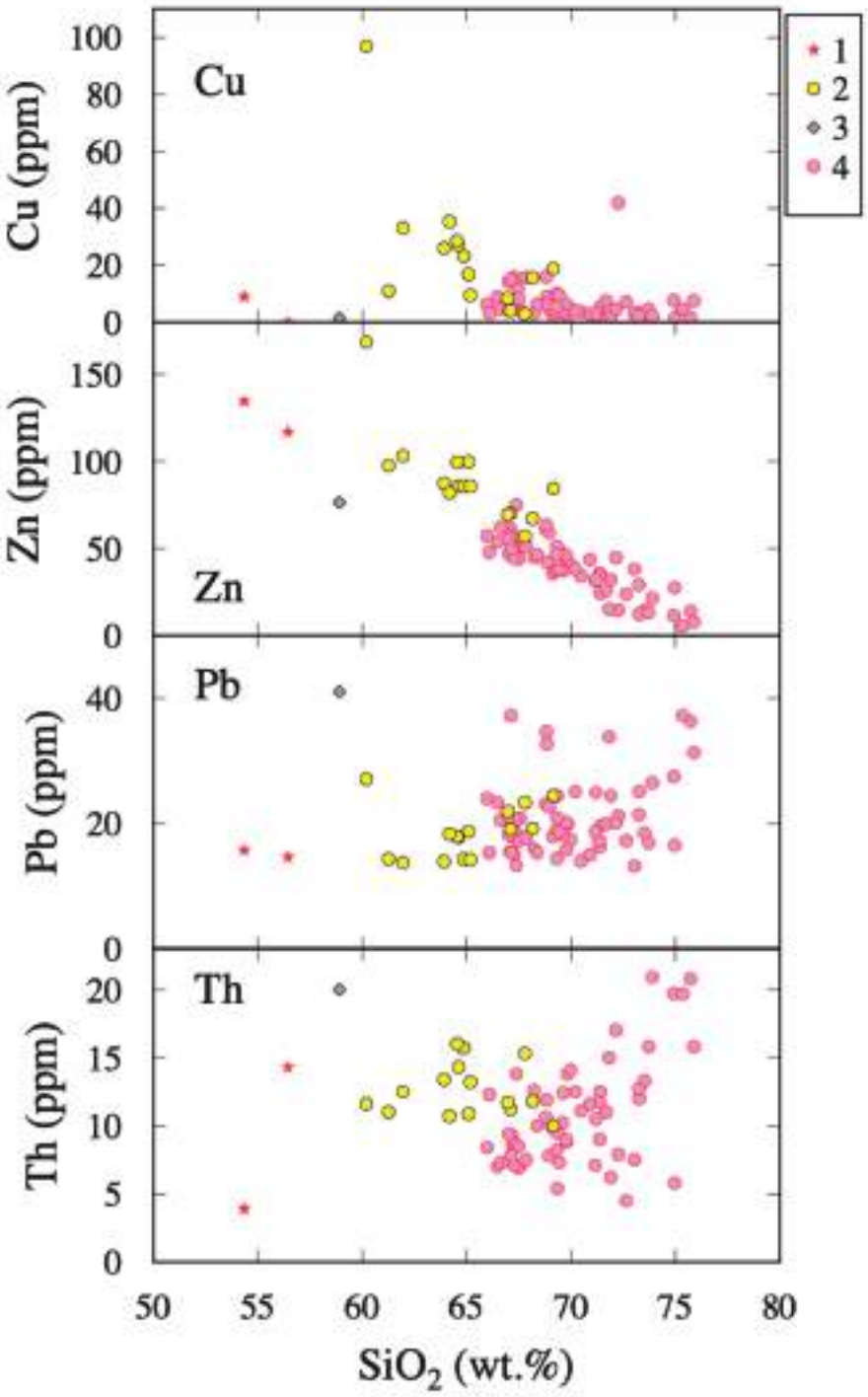

Fig.12D　SiO_2 variation diagram of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks for Cu, Zn, Pb and Th. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite

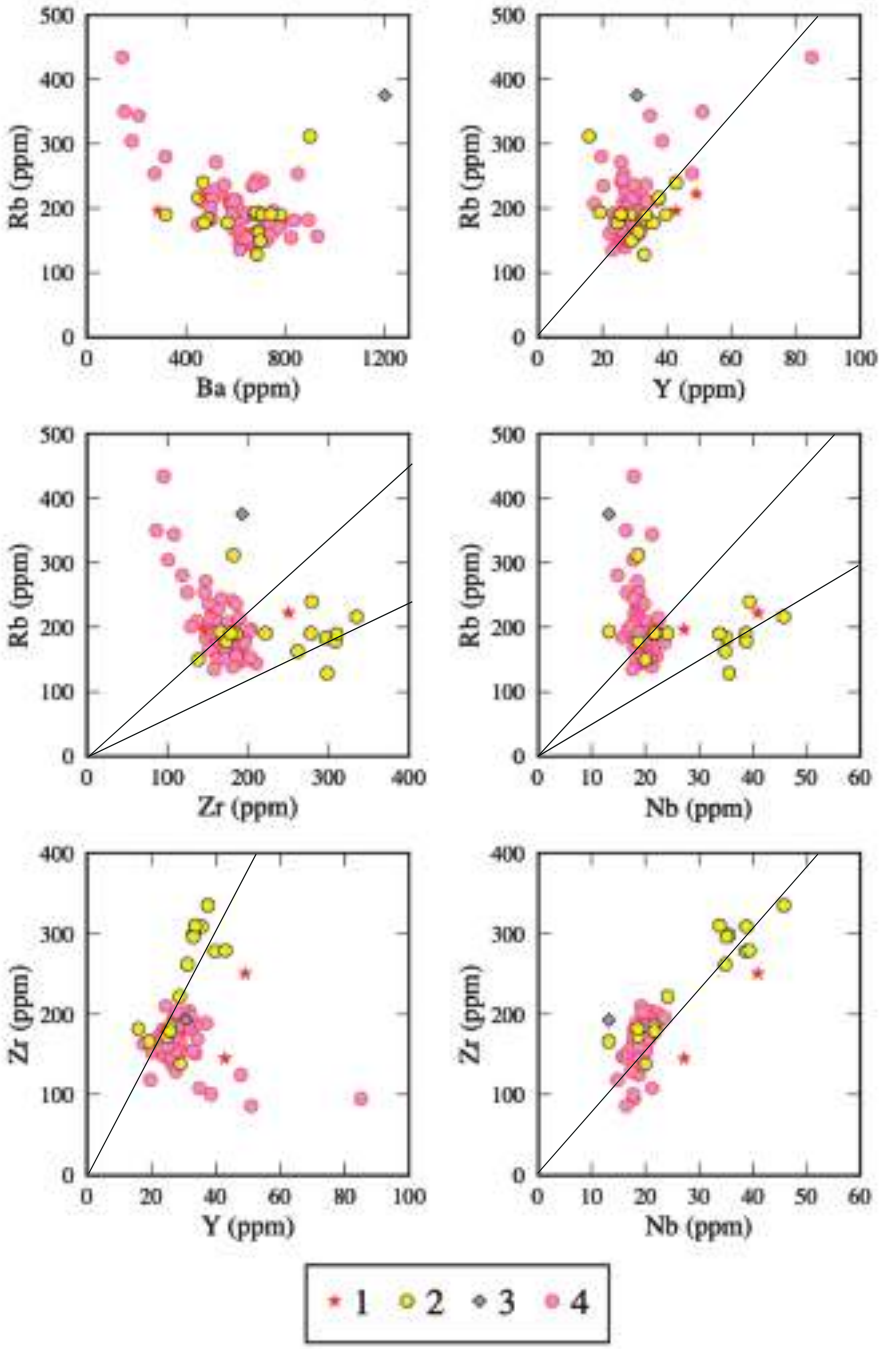

Fig.13 Diagram showing the incompatible element ratios of mafic double enclave, mafic inclusion and xenolith of country rocks. Lines in the diagram denote ratios. 1: mafic inclusion; 2: mafic double enclave; 3: xenolith of country rocks; 4: batholithic granite

Table 1　Major element compositions of inclusions (wt, %).

No.	sample No.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Total
1	15120703A (OKG1)Shishikawa	54.35	1.19	16.83	10.28	0.21	4.24	6.10	4.03	2.60	0.17	100
2	15120703B(OKG1)Shishikawa	56.44	1.53	16.51	9.09	0.18	3.34	5.11	3.93	3.48	0.39	100
3	17122802A (HNG1)Hinokage	65.08	1.02	14.74	5.93	0.10	2.63	3.37	2.86	4.07	0.20	100
4	17122802B (HNG1)Hinokage	68.16	0.73	14.79	4.36	0.09	1.71	2.91	3.03	4.11	0.13	100
5	17122802C (HNG1)Hinokage	61.95	1.40	15.57	7.47	0.13	2.70	4.27	3.52	2.69	0.30	100
6	17122802D (HNG1)Hinokage	64.61	1.21	15.04	6.28	0.11	2.33	3.82	3.01	3.31	0.28	100
7	17122802E (HNG1)Hinokage	69.15	0.66	14.30	4.28	0.08	1.60	2.22	2.74	4.87	0.11	100
8	17122802F (HNG1)Hinokage	64.85	1.20	15.31	6.04	0.09	2.18	3.69	3.36	3.01	0.28	100
9	17122802G (HNG1)Hinokage	63.91	1.29	15.35	6.44	0.10	2.28	4.09	3.31	2.93	0.31	100
10	17122802H (HNG1)Hinokage	64.54	1.30	14.47	6.72	0.10	2.45	3.23	2.93	4.00	0.25	100
11	17122802I (HNG1)Hinokage	67.10	0.77	15.46	4.14	0.07	1.49	3.15	3.40	4.26	0.16	100
12	17122802J (HNG1)Hinokage	61.26	1.46	15.89	7.19	0.11	2.55	4.43	3.54	3.23	0.34	100
13	17122802K (HNG1)Hinokage	65.19	1.18	14.90	5.87	0.09	2.02	4.01	3.31	3.12	0.31	100
14	17122802L (HNG1)Hinokage	64.18	1.23	14.98	6.33	0.11	2.37	3.97	3.01	3.55	0.27	100
15	17122802M (HNG1)Hinokage	60.19	0.95	16.86	7.41	0.13	2.93	1.79	1.98	7.71	0.06	100
16	17122802N (HNG1)Hinokage	66.97	0.80	15.52	4.25	0.07	1.53	3.14	3.56	3.99	0.16	100
17	17122802O (HNG1)Hinokage	67.79	0.68	15.54	3.70	0.07	1.27	3.10	3.65	4.06	0.13	100
18	19122701 (OKG1)Horigawa	58.90	0.64	19.90	4.46	0.07	1.87	2.12	4.24	7.68	0.14	100

Table 2　Trace element compositions of inclusions (ppm).

No.	Sample No.	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Sc	Cr	Ni	Ga	Cu	Zn	Pb	Th
1	15120703A (OKG1)Shishikawa	196.6	157.3	286.8	42.8	145.0	27.2	195.5	19.1	47.1	15.9	22.8	8.9	134.4	15.7	3.9
2	15120703B(OKG1)Shishikawa	222.2	179.0	467.9	49.1	250.2	40.9	162.6	16.2	35.4	14.4	21.8	0.0	117.0	14.6	14.3
3	17122802A(HNG)Hinokage	190.6	216.9	679.6	28.7	221.7	24.1	122.6	10.6	37.0	20.4	18.6	16.8	99.8	18.7	10.9
4	17122802B(HNG)Hinokage	177.5	205.6	566.6	24.8	172.7	18.7	81.3	9.1	28.5	15.5	18.1	15.6	67.1	19.2	11.8
5	17122802C(HNG)Hinokage	190.5	193.9	316.6	39.7	277.8	38.7	140.8	12.1	21.8	12.3	21.5	33.0	103.1	13.7	12.5
6	17122802D(HNG)Hinokage	128.6	227.1	685.8	33.0	298.2	35.6	117.3	12.0	24.6	10.0	18.9	27.0	85.7	17.8	14.3
7	17122802E(HNG)Hinokage	193.6	184.5	682.0	19.3	165.8	13.2	78.9	7.3	38.1	16.1	17.0	18.8	84.4	24.4	10.0
8	17122802F(HNG)Hinokage	183.9	199.6	486.8	33.0	296.4	35.1	113.7	10.7	17.9	11.2	19.9	23.2	85.7	14.3	15.7
9	17122802G(HNG)Hinokage	177.7	209.8	472.3	35.6	308.7	38.8	119.0	12.6	22.3	11.7	20.8	26.0	87.4	13.9	13.4
10	17122802H(HNG)Hinokage	239.9	146.3	467.9	42.9	279.1	39.4	126.8	10.1	27.0	13.5	20.3	28.6	99.5	17.9	16.0
11	17122802I(HNG)Hinokage	189.9	216.5	780.8	26.0	185.2	21.6	89.4	9.2	14.6	7.2	19.0	4.1	70.1	19.1	11.2
12	17122802J(HNG)Hinokage	216.5	207.1	448.3	37.5	335.0	45.8	132.1	13.5	21.1	11.8	22.2	11.0	97.6	14.3	11.0
13	17122802K(HNG)Hinokage	189.8	234.3	704.5	33.6	309.8	33.8	110.0	11.8	16.9	12.3	19.8	9.5	85.7	14.2	13.2
14	17122802L(HNG)Hinokage	163.0	227.5	691.6	31.1	261.7	34.9	117.4	13.7	26.4	11.7	19.3	35.3	81.9	18.3	10.7
15	17122802M(HNG)Hinokage	312.0	164.1	899.3	15.9	181.9	18.6	161.9	7.2	82.3	23.4	22.1	96.8	168.6	27.1	11.6
16	17122802N(HNG)Hinokage	190.8	218.3	742.6	25.8	178.6	21.7	89.7	9.0	17.1	6.8	19.4	8.4	69.4	21.9	11.7
17	17122802O(HNG)Hinokage	149.8	204.8	698.8	29.0	138.2	20.0	72.4	9.2	9.3	3.6	18.0	2.9	56.9	23.3	15.3
18	19122701(OKG1)Horigawa	375.5	283.0	1201.5	30.7	192.5	13.2	77.7	5.1	51.7	11.3	24.1	1.4	76.4	41.0	20.0