

## 報 文

## 浜田市金城町の窯業資源となる変質風化花崗岩について

Resources of Altered Granite for Ceramics in Kanagi,  
Hamada city, Shimane Prefecture

永島晴夫\*・川谷芳弘\*\*・若槻和郎\*\*\*・原田達也\*\*\*

## 要 旨

過去 10 年間石州瓦用原料として使用されてきた、浜田市金城町に分布する窯業原料として利用可能な風化した雲城花崗岩の産出地域の露頭状況の記載、試料の X 線回折及び化学分析等をおこなった。

この変質風化花崗岩は耐火度が SK30 を越え、長石、黒雲母の仮像をしたカオリン鉱物と石英を主としている。変質は花崗岩形成後期の熱水変質によるセリサイトやカオリン鉱物の形成の他に、熱水変質時に形成された黄鉄鉱を含む珪質な脈からの、黄鉄鉱分解に由来する酸性地下水溶液によって風化変質が促進された。また、変質は上位の鮮新～更新統の都野津層堆積時にも継続し、現在に至っている。都野津層が現在も上位を被っている花崗岩は、風化による剝削を免れており、変質部分が厚く残存し、花崗岩表面から 10m の下部でも SK30 の耐火度があり、良好な採掘条件にある。

変質風化花崗岩のカオリン鉱物は非常に強く凝集しており、窯業原料としての使用に当たっては、物理的粉碎、解砕や化学的解膠などの鉱物の単体分離が必要である。

## 1. はじめに

島根県浜田市金城町を中心に分布する後期古第三紀の雲城花崗岩（以下「花崗岩」とする）は、今岡<sup>1)</sup>や、今岡ら<sup>2),3)</sup>の詳細な分布、構造、変質についての報告があり、井上<sup>4)</sup>は、その雲城花崗岩体にループペンダントをなして産出しているろう石鉱床調査に伴い、花崗岩体について報告している。北川ら<sup>5)~7)</sup>は、花崗岩中の粘土細脈等について、成因を含めた詳細な鉱物学的報告をしている。また、最近、地下ら<sup>8)</sup>は特に雲城花崗岩のカオリン鉱物（ハロイサイト及びカオリナイトを含めて以後「カオリン鉱物」とする）に注目した報告をおこなっている。花崗岩はカオリン鉱物化の著しい場所があり、窯業資源として魅力がある。そこで、この変質風化した花崗岩を瓦用資源として活用するよう推奨した結果、平成 9 年から平成 19 年まで 1～2 万 t / 年が瓦製

造に使用された実績がある。また、この変質風化した花崗岩の利用の可能性についても、原田ら<sup>9)~11)</sup>や永島ら<sup>12)</sup>の報告がある。

しかし、露頭規模での報告がないことや、この地域の変質風化した花崗岩は、他の堆積性の材料とシルト域での鉱物組成が異なることがあるので、これらの視点から報告する。

## 2. 試料および方法

今岡らの報告を参考として地表踏査をおこない、試料を採取し、X 線回折、化学分析、電子顕微鏡観察及び熱分析をおこなった。X 線回折は X 線回折装置（理学電気株式会社製 RINT2000）を使用した。その測定条件は、Cu-K  $\alpha$  線を用い、管電圧及び管電流を 30kV-40mA、走査速度を 2°/min. とした。熱分析は示差熱重量同時測定装置セイコーインスツルメント株式会社製 TG/DTA6300 高温型を使用した。昇温速度は 10°C /min. とした。電子顕微鏡観察は走査電子顕微鏡（日立製作所製 S-3500N）を使用し、試料に金属（Au-Pd）蒸着をおこない、加速電圧 15kV で観察した。化学分析は蛍光 X 線分析装置（理学電気工業株式会社製 system3270E）を使用し、ガラスビード法により分析した。検量線は旧地質調査所の火成岩シリーズの標準岩石試料を用いて作成した。

また、シルト及び粘土領域試料の化学分析の試料作成は次のようにした。

1. 瓦坯土は、水で泥化し 420  $\mu\text{m}$  のふるい下部分のうち 10, 20, 32, 53 及び 74  $\mu\text{m}$  のふるい上ものを分級試

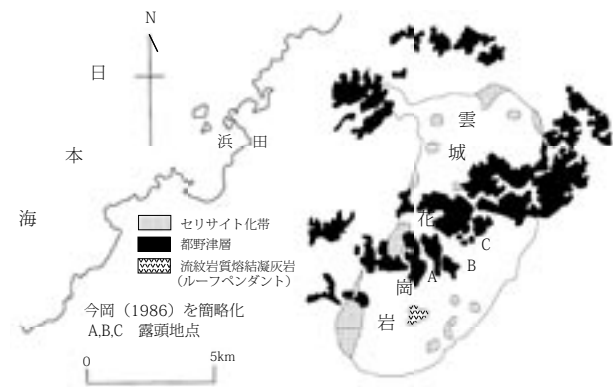


図 1 調査地の雲城花崗岩

\* 技術部, \*\* 企画調整, \*\*\* 研究開発グループ

料とした。また、2及び5 $\mu\text{m}$ の試料は、泥化した試料を水に良く分散させ、理論計算により相当する部分を吸引、乾燥したものを試料とした。

- 他試料は、水、磁製ボール( $\phi=30\text{mm}$ )及び試料を1:1:1の割合で磁製ボールミル( $\phi=250\text{mm}$ ,  $L=250\text{mm}$ )を用いて2時間処理し、試料の粉碎と解砕をおこなった。その後、瓦坏土と同様な処理で分析用試料を得た。

### 3. 結果

#### 3.1 花崗岩の分布と変質

花崗岩体は図1に示すように浜田市南西方向6kmに北東13km, 東西5kmの楕円形に分布する黒雲母花崗岩である。粗粒部分が多いが、岩体周辺部及びブルーペンダント近傍では細粒化や斑状化が著しい。岩体中には、2m~0.1mの幅の花崗岩組織を残しながら珪質化した変質脈が多く形成されている。花崗岩の粗粒部では斜長石と石英は斑状で、最大10mmである。石英は周辺が融食されており、クラックが多く2次破壊を行いやすい。黒雲母は2~3mmの黒色~茶褐色をした自形をすることが多くブロック状になっている。珪質に変質した部分では黒雲母は、黒褐色~茶色になり一部が溶解している。風化が進んだ花崗岩の中では、黒雲母は膨潤し5mm大のブロック状になり、淡黄色~金色を示すが、最も変質風化が進んだ場合には白色化している。

花崗岩の上位には北東-南西方向に鮮新~更新統とされる都野津層が一部を被っている。今岡は特に熱水性の変質を詳述して、セリサイト形成時期とカオリン鉱物形成時の両時期に、変質作用を受けたとしており、図1のようにセリサイト化の著しい範囲を示している。北川らや、地下らはカオリン鉱物の分類から、カオリン鉱物の形成は熱水と風化との変質作用によるとしている。また、地下ら、永島らはギブサイトの産出を示し変質が多様性に富むことを示している。

図2~図4に各露頭の状況と表1~表3に採取試料の化学分析値を示す。また、花崗岩の未風化試料の化学分析値の例を表4に示す。

図2の露頭Aと図3の露頭Bは、比較的なだらかな丘陵性の地形に形成された場合であり、図4の露頭Cは後背がやや高い山地に連続する場所の露頭である。

露頭Aは花崗岩の上位を不整合に都野津層が被う場合である。都野津層は淡黄褐色~黄土色を示し、20~30cmの礫を含む極めて淘汰の悪い砂基質の砂礫層で、くさり礫化している。花崗岩は全体が淡赤紫色~淡紅色に見える。この花崗岩は、黒雲母が2~5mmの黒褐色~黄土色をした自形または半自形をしており、5~10mmの斑状の淡紅色~白色を示す長石を淡褐色の石英が充填している。露頭には膨縮を伴い、0.5~20cmの幅で白及び淡紅色の粘土細脈が節理や硬質岩脈と平行、または交差して伸びている。露

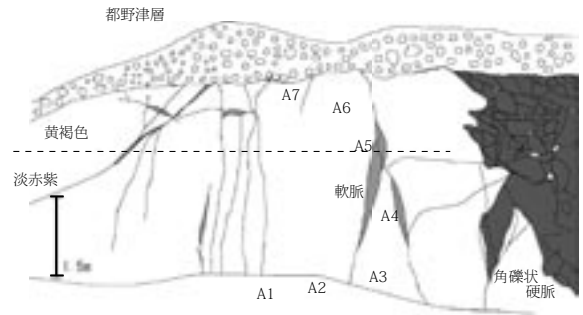


図2 露头Aの試料採取点(A1~A7)

表1 露头Aの試料の化学分析値

試料	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	SK*
A1	69.42	0.33	18.90	2.39	0.35	0.17	Tr	0.02	1.73	0.01	6.51	31
A2	69.71	0.36	19.06	2.23	0.36	0.08	Tr	0.05	1.59	0.01	6.65	32+
A3	70.61	0.31	18.08	3.03	0.09	0.11	Tr	0.02	1.42	0.02	6.30	31
A4	69.84	0.30	18.86	2.99	0.06	0.05	Tr	Tr	1.16	0.02	6.76	32-
A5	67.69	0.28	20.12	3.36	0.07	0.04	Tr	Tr	0.49	0.01	7.61	31
A6	68.91	0.29	20.05	2.49	0.05	0.07	Tr	Tr	0.40	0.01	7.58	32+
A7	69.99	0.32	19.10	2.69	0.10	0.07	Tr	Tr	0.35	0.02	7.41	31

SK\*耐火度 A1~試料採取地点 化学分析値(mass%) Tr: <0.01 mass%

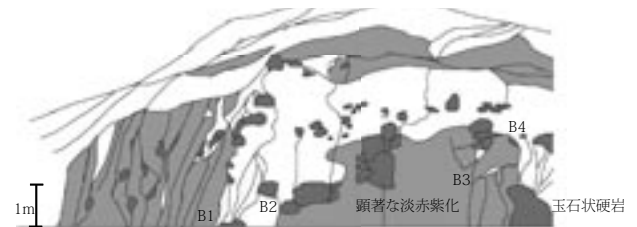


図3 露头B試料採取点(B1~B4)

表2 露头Bの試料の化学分析値

試料	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	SK*
B1	70.00	0.20	17.60	1.07	0.12	0.42	0.05	0.24	2.00	0.02	5.52	30
B2	70.52	0.30	16.01	2.03	0.07	0.38	0.39	1.05	2.75	0.02	4.50	26
B3	70.58	0.30	17.58	2.17	0.01	0.30	0.05	2.24	2.62	0.02	5.48	32
B4	65.10	0.22	20.03	1.19	0.11	0.23	Tr	0.07	2.71	0.06	6.16	29

SK\*耐火度 B1~試料採取地点 化学分析値(mass%) Tr: <0.01 mass%

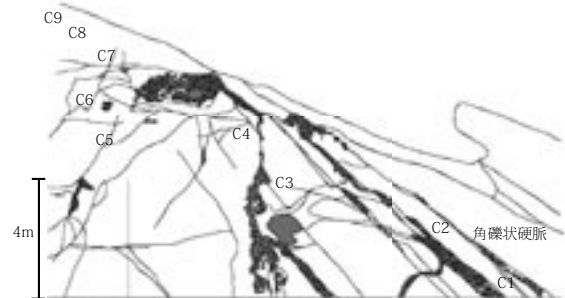


図4 露头Cの試料採取点(C1~C9)

表3 露头Cの試料の化学分析値

試料	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI	SK*
C1	73.47	0.30	15.75	2.21	0.23	0.38	0.03	0.22	2.71	0.02	4.57	20
C2	71.31	0.25	17.79	2.11	0.18	0.26	0.02	0.15	2.30	0.02	5.50	30
C3	71.79	0.27	17.43	2.41	0.26	0.23	0.00	0.06	1.83	0.03	5.52	28
C4	72.07	0.18	15.96	1.65	1.29	0.15	0.02	0.23	3.83	0.03	4.37	26
C5	71.93	0.25	17.06	2.25	0.21	0.17	0.01	0.16	2.76	0.03	5.06	26
C6	70.79	0.43	16.97	3.54	0.51	0.34	Tr	0.06	1.17	0.03	6.05	26
C7	72.15	0.31	17.52	2.35	0.08	0.19	Tr	0.05	1.00	0.03	6.19	30+
C8	72.67	0.30	17.16	2.24	0.25	0.12	Tr	0.04	1.14	0.03	5.96	28
C9	71.36	0.27	16.98	2.66	1.00	0.19	Tr	0.03	1.80	0.03	5.43	26

SK\*耐火度 C1~試料採取地点 化学分析値(mass%) Tr: <0.01 mass%

表4 新鮮な雲城花崗岩の化学分析値の例

試料	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Gr1	73.86	0.23	13.77	1.56	0.06	0.55	2.02	3.95	2.80	0.05	0.73
GR2	73.36	0.25	14.03	1.71	0.05	0.56	1.96	4.02	2.85	0.04	0.69

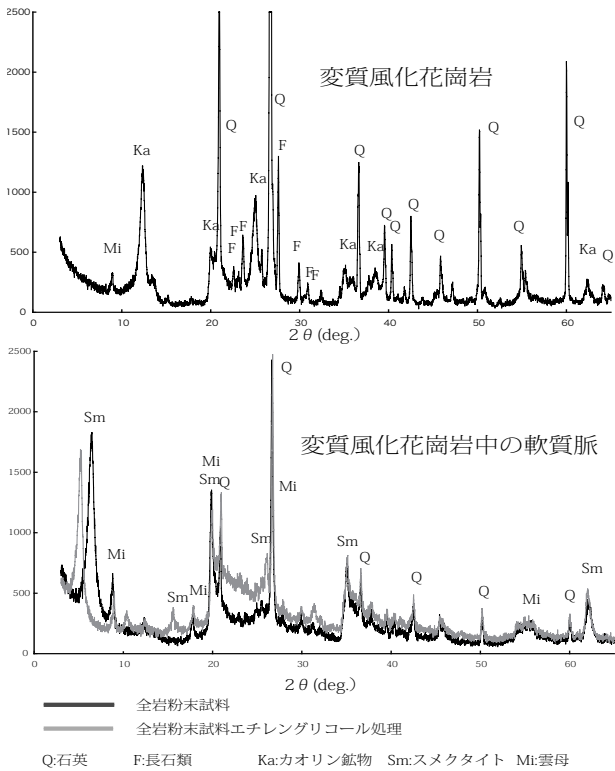
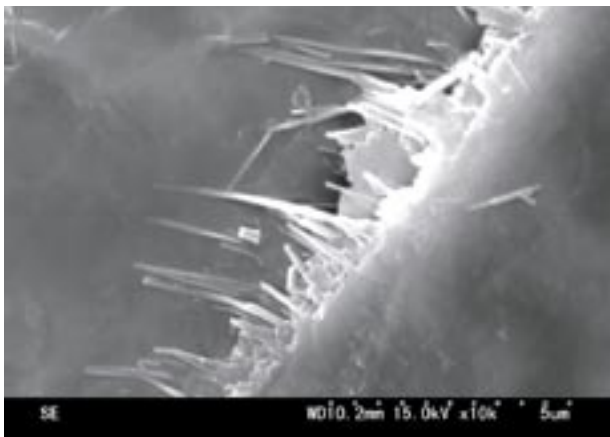
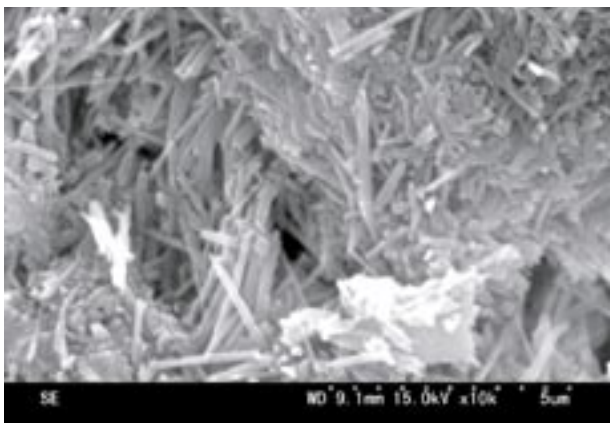


図5 代表的な試料のX線回折



雲母 5 μm



長石 5 μm

図6 雲母, 長石の変質

頭右端の角礫状硬脈は花崗岩の組織を持ち珪質化し、石英は多孔質で褐色に汚染されている。脈は50～5cmの塊状角礫に不規則に割れ目が発達し、軟質な粘土細脈が充填する場合もあるが硬質である。境界部分には黒色で網目状の細脈が発達している。硬脈は0.05～1mの幅があるが、この露頭では約1mである。この硬脈には黄鉄鉱が存在することがあり、酸化し褐色～暗褐色をした褐鉄鉱化した“焼け”の状態を示している。また、この露頭の各地点で採取された全ての試料で耐火度はSK30を超え、CaOとNa<sub>2</sub>Oの値は0mass%に近く、周辺の未風化の花崗岩Gr1及びGR2と比較すると溶脱が著しい。また、A1～A2付近は赤紫色が非常に強いが、Mnの濃度が高いことからこの発色はMn由来と考えられる。

図3に示す露頭Bは上位を都野津層が被わない例である。連続した硬脈ではなく、顕著に淡赤紫色化した花崗岩中に、硬質な玉石状の珪質化した硬岩が散在するように見える。しかし、詳細に観察すると、クラック状の細脈に連なっており連続性が認められる。玉石の大きさは0.2m～1mであり、極めて硬質なもののから容易に角礫化できる脆弱なものまでが混在する。試料B2周辺は、高角度の黒い細脈が密集し、赤紫色が特に強い。また、その周囲の風化した長石は10mm大のものがあり、濃い紅色である。全試料の耐火度はSK26～32を示し、比較的狭い範囲で耐火度の変化が大きい。また、CaOとNa<sub>2</sub>Oが少量残存するが、露頭Aと同様に原岩からの溶脱が著しい。

図4に示す露頭Cは、農道の整備のために開削された地点のものであり、約10mの高さの露頭である。全体は淡紅色を帯びた淡黄土色である。角礫状硬脈の大小が交差して発達するが、ほとんどが20～30cm大の角礫状に分離している。最上部のC8とC9は淡黄褐色で軟質になっているが、最下部は淡灰色で塊状のやや軟岩質の部分がある。C4及びC5は、褐色～淡紅色でセリサイト質の粘土細脈周囲の試料である。

### 3.2 X線回折

変質した花崗岩の代表的な試料と細脈中の粘土試料のX線回折結果を図5に示す。変質した花崗岩にはカオリン鉱物が顕著に形成されており、わずかにカリ長石が残存している。試料には黒雲母の形体を示すものがあるが、著しく変質をしている雲母のピークは、黒雲母の変質の残存と、変質時に形成されたセリサイトとの両方の可能性がある。

細脈を構成する粘土で、乾燥時は硬く、多くのクラックを生じ碎片化し易いが、湿潤状態では粘性が強い均質なものがある。この試料をエチレングリコール処理した結果、主要なピークである15Åは、17Åに変化したことから、石英を含む粘土鉱物はスメクタイトと判定した。この試料には黒雲母が観察できないことから、鋭い雲母のピークはセリサイトである。

### 3.3 雲母，長石の変質

花崗岩を構成する主要な変質した鉱物は，黒雲母と斜長石である．変質した黒雲母と斜長石の走査型電子顕微鏡写真を図6に示す．これらは，いずれもX線回折的にはカオリン鉱物に変質している．黒雲母結晶端部には，毛状の結晶子が多数，a，b軸平面方向に形成されている．

長石は全体が針状の結晶子で構成されており，完全な長石の仮像をなしたカオリン鉱物となっている．北川らは透過型電子顕微鏡観察で，この針状結晶はチューブ状の形態であることを確認している．このことは，ハロイサイトの基本的な結晶構造の説明<sup>13)</sup>からも支持される．

変質した長石粒の熱分析結果を図7に示す．吸熱反応は60℃と480℃にあり，それらは熱減量に対応している．60℃の吸熱反応は付着または層間水，480℃の吸熱反応は構造水の離脱とすれば，長石の仮像をしたカオリン鉱物は

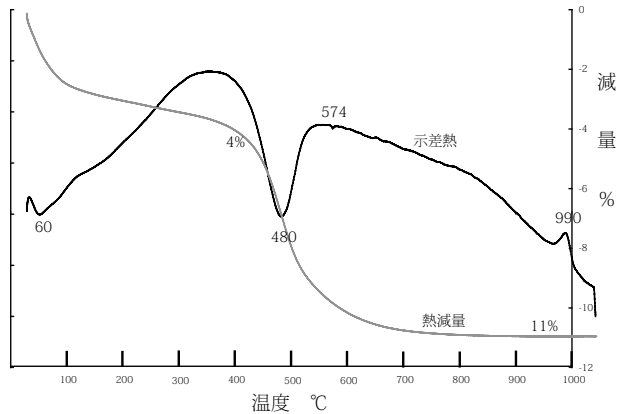


図7 変質長石粒の熱分析

ハロイサイトと同定できる．

### 3.4 シルト域での堆積性資源と花崗岩の相違

花崗岩3種類，現状で使用されている瓦坏土及び著しく風化した都野津層の礫2種の化学分析をおこなった．

瓦坏土試料は，工場で押し出し成形し乾燥させた，焼成前のものである．花崗岩1は，全体が白～淡黄褐色を示す非常に変質が進んだものを試料とした．約5～8mm大の白色の長石が斑状に混じっており，雲母は白色～金色である．花崗岩2は図2で示した露頭Aの場所で約100t採掘したものを混合し，その一部を試料とした．全体は赤紫色～淡赤紫を示し，白～紅色の長石粒が目立ち，容易に指頭でつぶす事ができる．花崗岩3は，図3で示した露頭Bの場所で採取した試料であり，硬質な岩脈を形成する礫状岩塊を取り除いたものである．砂礫1は，都野津層中の粘土と砂を基質とし，3～10cmの礫からなり，淡黄褐色を示すものである．礫のデイサイトや流紋岩の溶岩，凝灰岩はくさり礫化が著しく，ハンマーで容易に微細に粉碎できる垂円～垂角礫で構成される．砂礫2は大田市水上町に分布する白色を示すくさり礫である．最大20cm大の礫が散在する砂が基質の淘汰度の悪い砂礫であるが，デイサイト，花崗岩及び流紋岩の礫は完全に風化軟質化しており容易に解

砕する．しかし，3～5cm大の珪質な片岩及びチャートは円礫であることが多く，極めて硬質である．

花崗岩1の74μmに分級した試料は，ほとんどが金色の黒雲母の変質物であり，ボールミル内で選択的に粉碎されなかった．花崗岩3の場合にも花崗岩1と同様に風化黒雲母がふるい上に残ったが，花崗岩1のように多くはなかった．

これらの試料の化学分析結果に基づき，SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のモル比を算出した結果を図8に示す．

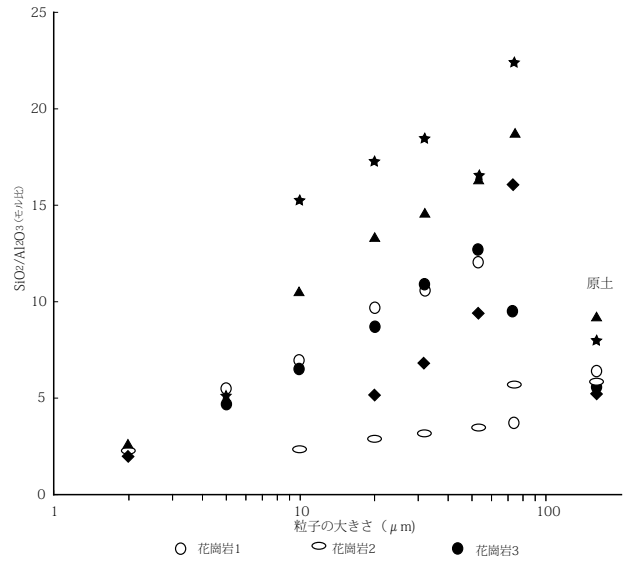


図8 各粒度別のSiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (モル比)

## 4. 考 察

花崗岩の風化物が窯業資源として使用される例は少ない．大規模に利用されている例では，岐阜県下石で花崗岩が表面から深さ10mまで変質していることを清水<sup>14)</sup>が報告している．金城町の花崗岩は，露頭図で示したように，地表下10mでも耐火度がSK30を超え，カオリン鉱物化が生じており，窯業資源として十分活用可能である．今岡は花崗岩が強くセリサイト化した高い温度での変質地域を示している．より低い温度での変質作用であるカオリン鉱物の生成は熱水変質と風化との両者によると，北川らや地下からも指摘している．

各露頭で観察される黄褐色～褐色の珪質で多孔質な硬脈は大小の角礫状に分離する事が多く，中に黄鉄鉱が含まれている．露頭状況と分析結果から風化は，次の過程を経て拡大したと考えた．既に熱水変質後期には低温度でカオリン鉱物や図5に示したスメクタイトが形成されていたが，珪質硬脈形成後に地質的構造運動や冷却に伴う節理等の発達によって割れ目が開き，地下水の通水性がよくなった．千木良<sup>15)</sup>が泥岩の風化で示したように，地下水の通水によって黄鉄鉱は酸化し，酸性の溶液がCaOやNa<sub>2</sub>Oを溶脱し，図5に示したカオリン鉱物の生成が促進された．また，井上<sup>16)</sup>及び島根県<sup>17)</sup>の金城地区の都野津層分布調査によれ

ば、花崗岩を被う都野津層中には、埋没古土壌である赤色土が存在し、堆積時に強い風化時期が少なくとも2回は存在したことを示している。従って、花崗岩は、都野津層堆積時にも強い風化作用を受け長時間の風化時間を経てカオリン鉱物を形成した。更に、図2の露頭Aで示したように、上位の都野津層の礫層も著しく、くさり礫化している。このことは、風化の促進と剝削作用も同時に進行することから、より剝削を免れにくい、上位に都野津層が残存する場合には、風化層の厚さが大きくなった理由となる。

窯業資源として考えた場合、鉄分が2.0mass%を超えることがあるが、カオリン鉱物質で耐火度がSK26以上である事を前提とすれば、この地域の変質風化花崗岩はCaO、Na<sub>2</sub>O共に0mass%に近い痕跡程度であれば、斜長石類は、ほぼ完全にカオリン鉱物に変質している。また、カオリン鉱物の構造水等から由来する強熱減量が5.5mass%以上であれば耐火度はSK26以上が確保できる。セリサイトやスメクタイトは幅20cm程度の脈で分布することもあるが、大量採掘の場合、微量の混入と考えられ、瓦原料としての利用には大きな支障ではない。

この花崗岩は図6の観察のように、カオリン鉱物は微細であるが、長石や黒雲母の凝集性の強い仮像をなしているため可塑性に欠ける。SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値は、カオリン鉱物では2となり、アルカリ長石をKAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>～NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>と仮定した時に、値は6となる。各花崗岩、砂礫及び瓦坏土の2μmの粒子は、SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値がカオリン鉱物の値に近い。瓦坏土全体のSiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値は8.0であり、5μmでの値は5.1である。しかし、74μmでの値は22.4であり、シルト域でのSiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値は高い。このことは、瓦坏土の粒度別の構成は、粘土分が多い材料と石英と長石からなる砂分で鉱物種と粒度が調整された構成になっていることを示している。砂礫1の場合は74μmでの値は16.0であり石英分に富む事が予想されるが、それ以下のシルトでの値は5.1～9.4であって長石分比率が高い事が予想される。この砂礫は淡黄褐色を示す砂分を基質とするくさり礫であり、堆積学的な成熟度が低い分類に入る。砂礫2はシルト域でのSiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値は10.4～16.3であり、瓦坏土に近い値となっている。砂礫2は、堆積学的成熟度が悪いにもかかわらず、成熟度が良い化学的値を示すのは、この砂礫が十分に変質し、かつ砂分と粘土鉱物との単体分離が進んでいる事を示している。

花崗岩1及び花崗岩3ではシルト域の値が7.0～12.1であり、それぞれの粒子部分にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を増加させる成分のカオリン鉱物が混じっている事を示唆している。また、花崗岩2の場合はシルト域でのSiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の値が4.7と低く、それぞれの部分に多くのカオリン鉱物が含まれている事を示している。これらの事から、花崗岩は軽易な粉碎だけでは凝集したカオリン鉱物の単体分離が進まず、比表面積の増大による可塑性の発現が困難となる。

## 5. まとめ

花崗岩体の変質は、カオリン鉱物化が進んでおり、鉄分が2mass%を超える事もあるが、耐火度でSK26～SK32を示す分布が認められ、窯業原料として使用可能である。

この花崗岩のカオリン鉱物化は、花崗岩形成後期の珪質化作用に伴う珪質脈の分布と密接な関係があり、珪質脈の存在が多いほど、カオリン鉱物化が進んでいる。上位を都野津層が被う場合には、カオリン鉱物化層が厚い傾向にある。長石、黒雲母は本来の形状を残したまま、カオリン鉱物に変質する仮像であり、極めて強く凝集している。そのため、従来の都野津層などの堆積性原料とは異なり、窯業原料としての使用に当たっては、物理的粉碎、解砕または化学的な解膠が必要となる。

## 文 献

- 1) 今岡照喜. 山陰西部における古第三紀火成活動. 広島大学地学研究報告. 1986, 26, p. 1-109.
- 2) 今岡照喜, 松本幸敬, 村上允英. 島根県雲城花崗岩体について—地下水の関与の問題によせて—. MAGMA. 1977, 51, p. 12-14.
- 3) Teruyoshi IMAOKA, Nobuhide MURAKAMI, Toshio MATSUMOTO and Hirofumi YAMASAKI. Paleogene cauldrons in the western San-in district, Southwest Japan. 山口大学教養部紀要自然科学篇. 1988, 22, p. 41-75.
- 4) 井上多津男, 酒井禮男, 飯塚信之. 雲城山ろう石鉱床調査. 島根県立工業技術センター研究報告. 1984, 21, p. 12-17.
- 5) RYUJI KITAGAWA, SATORU KAKITANI, SETSUO TAKENO AND YOSHIHARU NISHIDA. TOPOGRAPHICAL EXAMINATION AND GENESIS OF CLAY VEINS FOUND IN THE KUMOGI GRANITE MASS IN SHIMANE PREFECTURE, SOUTHWEST. 日本岩石鉱物鉱床学会誌. 1981, 76, p. 262-272.
- 6) 北川隆司, 広沢治人, 永井康彦, 延下哲郎. 花崗岩及び流紋岩の変質作用により生成されたハロイサイトの形状と成因について. 粘土科学. 1984, 21, 1, p. 20-33.
- 7) Ryuji KITAGAWA and Hirotsugu NISHIDO. Orientation Analysis and Formation Ages of Fractures Filled with Clay Minerals (Clay Veins) in Hiroshima and Shimane Prefectures, Southwest Japan. 応用地質. 1994, 35, 2, p. 14-22.
- 8) 地下まゆみ, 北川隆司, 藤原千香子, 中村由香. 島根県雲城花崗岩の変質—チューブ状ハロイサイトに注目して—. 粘土科学. 2004, 44, 1, p. 12-18.
- 9) 原田達也, 若槻和郎, 川谷芳弘. 瓦坏土としての低品位粘土活用技術の開発—低品位粘土と金城風化花崗岩の配合基礎試験—島根県産業技術センター研究報告. 2001, 38, p. 72-75.
- 10) 原田達也, 若槻和郎, 上野敏之, 川谷芳弘. 未利用粘土活用技術の開発—低品位粘土を用いた瓦用坏土による石州瓦

- の試作一。島根県産業技術センター研究報告。2002, 39, p. 75-78.
- 11) 原田達也, 若槻和郎, 上野敏之, 長野和秀. 未利用粘土活用技術の開発一海成粘土の改質と配合一。島根県産業技術センター研究報告。2003, 40, p. 41-46.
- 12) 永島晴夫, 堀江成, 山田陽子, 大津賀望, 林剛. 島根県石見地方に産する低品位粘土原料の性質と合成瓦坯土への利用. 帝京科学大学紀要. 2005, vol. 1, p. 35-46.
- 13) Ralph E.Grim. "Structure of the Clay Minerals" . Clay Mineralogy. Second Edition, McGraw-Hill, 1968, p. 51-125.
- 14) 清水洋. 風化及び続成過程におけるカオリン鉱物の変化. 粘土科学. 1972, 12, 2, p. 63-73.
- 15) 千木良雅弘. 泥岩の化学的風化一新潟県更新統灰爪層の例一. 地質学雑誌. 1998, 6, p. 419-431.
- 16) 井上多津男. 石見地方の瓦粘土鉱床の研究一第3報金城町七条地区の調査概報一。島根県工業試験場報告。1973, p. 193-200.
- 17) 石見地方粘土鉱床調査報告書(第4報金城地区)。島根県立工業技術センター。1978, p. 27.