

鳶尾塚古墳の石室石材の岩石学的特徴

Petrological characteristics of the stone chamber of Tobiotsuka Kofun, Okayama Prefecture

金子峻大 (Takahiro KANEKO)*

野坂俊夫 (Toshio NOZAKA)**

清家 章 (Akira SEIKE)***

Abstract

Tobiotsuka Kofun, a tumulus built on the Misu Hills in the Kofun period, has a horizontal stone chamber made of huge stone blocks with a width up to 2 meters or more. To specify the source of the stone blocks, we carried out the measurement of magnetic susceptibility, petrographic observation, and chemical analysis of minerals. The stones are amphibole-biotite granite with phenocrystic large grains of K-feldspar. The back-wall stone of the chamber has higher magnetic susceptibility than ceiling and side-wall stones, which probably results from a higher amount of magnetite formed by the alteration of biotite in the back-wall stone. Furthermore, the back-wall stone is different from ceiling stone in that it has lower X_{Mg} [$Mg/(Mg + Fe)$ mole ratio], lower Al, Ti, and Na + K contents and higher Si contents of amphibole, higher X_{Mg} of biotite, and shows a tendency to have higher Na (albite component) contents at rims of plagioclase crystals and lower Ti contents of zircon. These characteristics of the back-wall stone are similar to those of granite exposed in the Koshinzan area about 2 km northeast of Tobiotsuka Kofun, whereas the ceiling and side-wall stones are similar to granite outcrops in the vicinity of Tobiotsuka Kofun, e.g., in the Midoriyama area. It is concluded that the quarry for the back-wall was located at a different place from that for the ceiling and side-wall stones.

Keywords: Tobiotsuka Kofun, stone chamber, granite

1. はじめに

岡山市と総社市にまたがって広がる三須丘陵とその周辺には、大小合わせて 300 基以上の古墳が存在している。古墳の石室形態や石材は時代とともに変化することが知られている。吉備地域では古墳時代中期までは竪穴式石室が主流で、その石材には香川県産の古銅輝石安山岩などの小型石材が多用された（白石，1991 など）。古墳時代後期（6 世紀中期以降）になると横穴式石室が多くなり、その石材には古墳周辺に多産する花崗岩類が多く用いられるようになる。横穴式石室の石材は時代とともに大型化し（山崎，1984；新納，1987，2009 など）、ときには数メートルに達する巨石が用いられるようになる。このような巨石墳の石

材の産地を知ることができれば、古墳の築造方法や当時の権力構造の変遷など、考古学的に重要な問題を解明する手掛かりが得られるものと期待される。

三須丘陵の南西部に位置する鳶尾塚古墳は（図 1）、古墳時代後期後半～終末期に築造された国内最大級の天井石を持つ巨石墳である（岡山大学考古学研究室，2019）。2017 年以降、岡山大学考古学研究室によって墳丘と石室の測量や遺物の発掘などの調査が進められている。この発掘調査に際して石室石材の一部を採取して分析用試料に供することができた。そこで本研究では、この石材試料を岩石学的手法によって分析し、古墳周辺に露出する岩石との共通点と相違点を調べた。

* 岡山大学大学院自然科学研究科（現所属：品川リフラクトリーズ株式会社），〒700-8530 岡山市北区津島中三丁目 1-1
Department of Earth Sciences, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan (Present affiliation: Shinagawa Refractories Co., Ltd.)

** 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域，〒700-8530 岡山市北区津島中三丁目 1-1
Department of Earth Sciences, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

*** 岡山大学学術研究院社会文化科学学域，〒700-8530 岡山市北区津島中三丁目 1-1
Department of Archaeology, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

2. 石室外観

鳶尾塚古墳は墳丘直径 23 m, 石室最大幅 2.3 m, 石室全長 12.5 m の円墳である(岡山大学考古学研究室, 2019). 南向きに開口する横穴式石室の玄室天井には縦・横およそ 5 m×2 m の, また奥壁には 2 m 四方を超える巨大な石材が使用されている(岡山大学考古学

研究室, 2019). 側壁には数 10 cm から 1 m 前後の大型石材が 2~3 段積みあげられている. 石材の多くはほぼ平滑な表面を持つが, 一部には凹凸の目立つ石材も存在する. 大型石材のほとんどは粗粒(平均粒径 0.5 cm 前後)の花崗岩だが, 一般的な等粒状組織とは違ってカリ長石の斑状結晶(最大 1 cm 程度)が目立つ

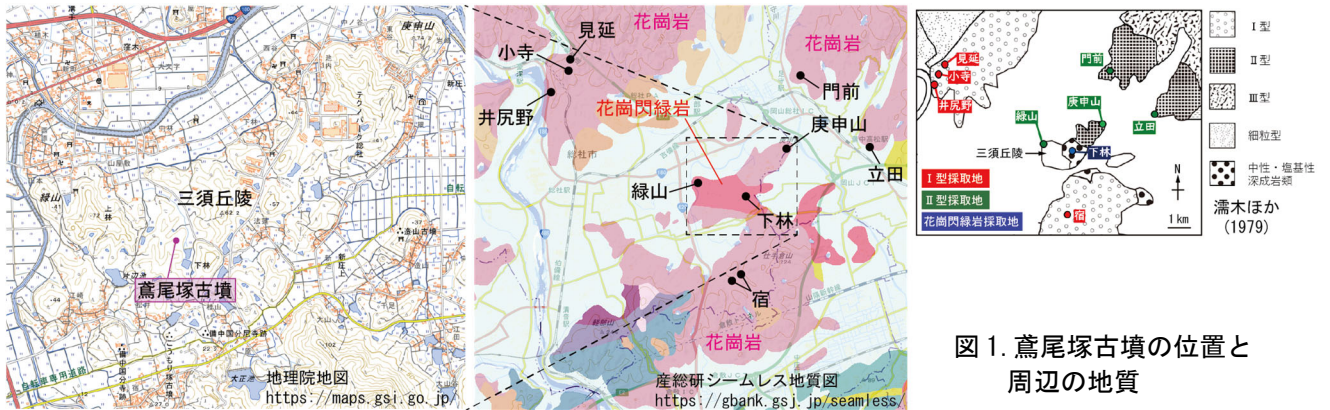


図 1. 鳶尾塚古墳の位置と周辺の地質



図 2. 鳶尾塚古墳石室と周辺露頭の外観

斑状組織を持つ。表面は風化や土砂の付着によって茶褐色を呈しており、カリ長石斑晶の突出や石材表面の剥離が散見される（図2）。

3. 周辺の地質概要

既存の地質図によれば、三須丘陵と周辺の丘陵地には白亜紀の花崗岩と花崗閃緑岩（一部はトータル岩）が露出しており、丘陵を取り囲む平野部には沖積層が広く堆積している（図1：産業技術総合研究所地質調査総合センター，2022）。濡木ほか（1979）は岡山県中南部に分布する花崗岩類を、I型、II型、III型、IV型、および細粒型の5グループに分類した。このうちI型は等粒状組織をもつ黒雲母花崗岩（長石の量比はアルカリ長石 > 斜長石）である。II型、III型、IV型は斑状組織を持っており、それぞれ斑状のカリ長石、石英、斜長石の目立つ角閃石黒雲母花崗岩（長石の量比はアルカリ長石 ≒ 斜長石）である。細粒花崗岩はI～IV型花崗岩に付随して産することが多く、地質図上に描かれるほどの規模でまとまって分布することは少ない。濡木ほか（1979）は花崗岩類の他に「中性～塩基性深成岩類」というグループを設けているが、その中には斑れい岩、石英閃緑岩、花崗閃緑岩など多様な岩型が含まれる。濡木ほか（1979）の分類と産業技術総合研究所の地質図に従えば、鳶尾塚古墳周辺に分布する花崗岩類は、I型花崗岩、II型花崗岩、および花崗閃緑岩の3種類である。

4. 試料と分析方法

分析試料は、鳶尾塚古墳の天井石（風化剥離部2か所）と奥壁（発掘調査以前に土中に埋没していた部分1か所）、および石室内羨道と石室外墳丘の転石各1個から採取した。古墳周辺の露頭からは、井尻野、小寺、見延、宿（以上は既存の地質図によればI型花崗岩の分布地域）、庚申山、立田、門前（II型花崗岩の分布地域）、および緑山と下林（花崗閃緑岩の分布地域）の各地区で試料を採取した（図1）。しかし露頭スケールでは、小縮尺の地質図では表現されないような岩相の多様性が見られることも多く、本研究で採取した岩石には地質図で示された岩相とは異なるものもある。たとえば緑山地区は産業技術総合研究所の地質

図では花崗閃緑岩の分布域とされているが（図1）、我々の調査で確認されたのはII型花崗岩の露頭であった。また井尻野地区は濡木ほか（1979）で示されているとおりI型花崗岩が露出しているが、II型花崗岩の転石が見つかったので、これも採取した。なお野外調査において多くの花崗岩露頭で方状節理がよく発達していることを確認した（たとえば緑山地区や庚申山の露頭：図2）。

試料採取に先立って石室石材の表面の帯磁率を、携帯型の帯磁率計（株式会社レックス製 KT-10）を用いて測定した。基本的に1個の石材について場所を変えて3回の測定をしたが、サイズの大きな奥壁では5回、さらに大きな天井石では10回の測定をした。露頭では試料1個の採取箇所について3回の測定をし、各地区で合計6回から33回の測定を行った。

採取した試料から検鏡用の薄片を作製し、偏光顕微鏡下で鉱物の同定と組織観察を行い、ポイントカウンタ法による鉱物体積比の測定を行った。一部の薄片は鏡面研磨し、電子線マイクロアナライザー（EPMA）を用いて角閃石、黒雲母、斜長石、カリ長石、ジルコンの化学組成の分析を行った。ジルコン以外の鉱物についてはSi, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, Kを定量し、その分析条件は加速電圧15kV、照射電流20nA、ビーム径5μm、測定時間は特性X線ピーク10s、バックグラウンド10sである。補正計算はBence and Albee (1968)法を用いた。ジルコンについては加速電圧20kV、ビーム径1-5μmとし、Si, Zr, Y, Al, Hf, Ti, Caを分析した。このうちSiとZrは照射電流20nAで特性X線ピーク60s、バックグラウンド60sの測定、その他の微量元素は照射電流200nAで特性X線ピーク200-300s、バックグラウンド100-150sの測定をした。微量元素のバックグラウンド測定は、分光結晶の位置を連続的に変えてX線強度の変化を確認し、元素ごとに最適な位置を決定したうえで実施した。ジルコンの分析値の補正計算はZAF法を用いた。副成分鉱物の多くは鏡下での光学的特徴とEPMAのEDS検出器を用いた半定量分析に基づいて同定し、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の量比はEDSでの検出頻度に基づいて推定した。

5. 帯磁率

岩石の帯磁率は磁鉄鉱や苦鉄質鉱物などの磁性を持つ鉱物の含有量を反映して変化する。鳶尾塚古墳の石室石材のほとんどは 0.5×10^{-3} SI 以下の低い値を持つが、奥壁だけは 2×10^{-3} SI 以上の際立って高い値を示す (図 3)。周辺露頭の大半は 1×10^{-3} SI 以下の低い値を持つが、庚申山の II 型花崗岩と下林地区の花崗閃緑岩ではばらつきが大きく、 5×10^{-3} SI を超える値を示すことがある (図 3)。

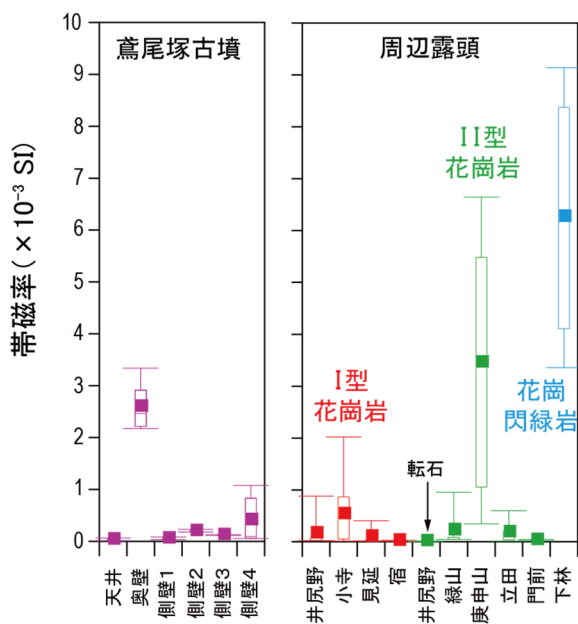


図 3. 鳶尾塚古墳石室石材と周辺露頭の帯磁率

6. 岩相と鉱物産状

鳶尾塚古墳の石材と周辺露頭の岩石の多くは、鉱物量比測定により花崗岩に属することがわかった。濡木ほか (1979) によれば I 型花崗岩は II 型花崗岩よりもアルカリ長石が多いとされているが、今回の測定結果では試料ごとにさほど大きな鉱物量比の差異は認められなかった。しかし花崗岩のような粗粒な岩石のモード組成を薄片 1 枚程度の面積で決定するのは難しいため、わずかな差異は取り上げない方が良くだろう。以下は各試料の肉眼と顕微鏡下での観察に基づく岩石記載である。代表的な試料の写真を図 4 に示す。

6-1. 鳶尾塚古墳の天井石・転石

天井石と転石の試料に大きな差異は認められないので、一括して記載する。主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒の角閃石黒雲母花崗岩で、最大 1 cm に達する白色のカリ長石斑晶が目立つ (図 2)。カリ長石斑晶を除く鉱物の大きさは最大 0.5 cm 程度である。鏡下ではカリ長石にパーサイト構造が、斜長石に累帯構造が認められる。鏡下での色は、黒雲母は褐色～暗褐色、角閃石はコアが褐色でリムが緑色である。副成分鉱物としてジルコン (10–100 μm)、磁鉄鉱 ($\sim 10 \mu\text{m}$)、チタン鉄鉱 (20–50 μm) を含み、試料によっては、緑簾石、褐簾石、バライト、リン灰石も産出する。副成分鉱物は斜長石中やカリ長石中に産するものもあるが、黒雲母や角閃石中に包有されていることが多い。特に磁鉄鉱とチタン鉄鉱は、変質作用によって緑泥石化した黒雲母中にまとまって産し、量比はチタン鉄鉱 > 磁鉄鉱である。

6-2. 鳶尾塚古墳の奥壁

粗粒 (粒径 0.5–1 cm) の角閃石黒雲母花崗岩で、最大 1 cm 程度のカリ長石斑晶を持つ。主成分鉱物の種類、大きさ、産状は天井石・転石と同じである。斜長石結晶の周辺を囲うようにカリ長石が産することがある。副成分鉱物として、磁鉄鉱 ($\sim 20 \mu\text{m}$)、チタン鉄鉱 ($\sim 20 \mu\text{m}$)、ジルコン ($\sim 50 \mu\text{m}$)、チタン石 (10 μm)、褐れん石を含む。磁鉄鉱とチタン鉄鉱は主に変質した黒雲母中に産するが (図 4)、斜長石、カリ長石、石英中に含まれる磁鉄鉱もある。不透明鉱物の量は天井石・転石より多く、量比が磁鉄鉱 > チタン鉄鉱である点も天井石・転石と異なっている。

6-3. 総社市井尻野の露頭・転石

井尻野地区では露頭と転石から 3 個の試料を採取した。既存の地質図では井尻野は I 型花崗岩の産出地とされているが (図 1)、以下に示すように転石から採取した 1 試料は II 型花崗岩に類似している。

転石の一つ (試料番号 20200624_1) は II 型花崗岩の特徴を持つ。主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る中～粗粒 (粒径 5–10 mm) の角閃石黒雲母花崗岩で、最大 1 cm 程度の薄赤色のカリ長石

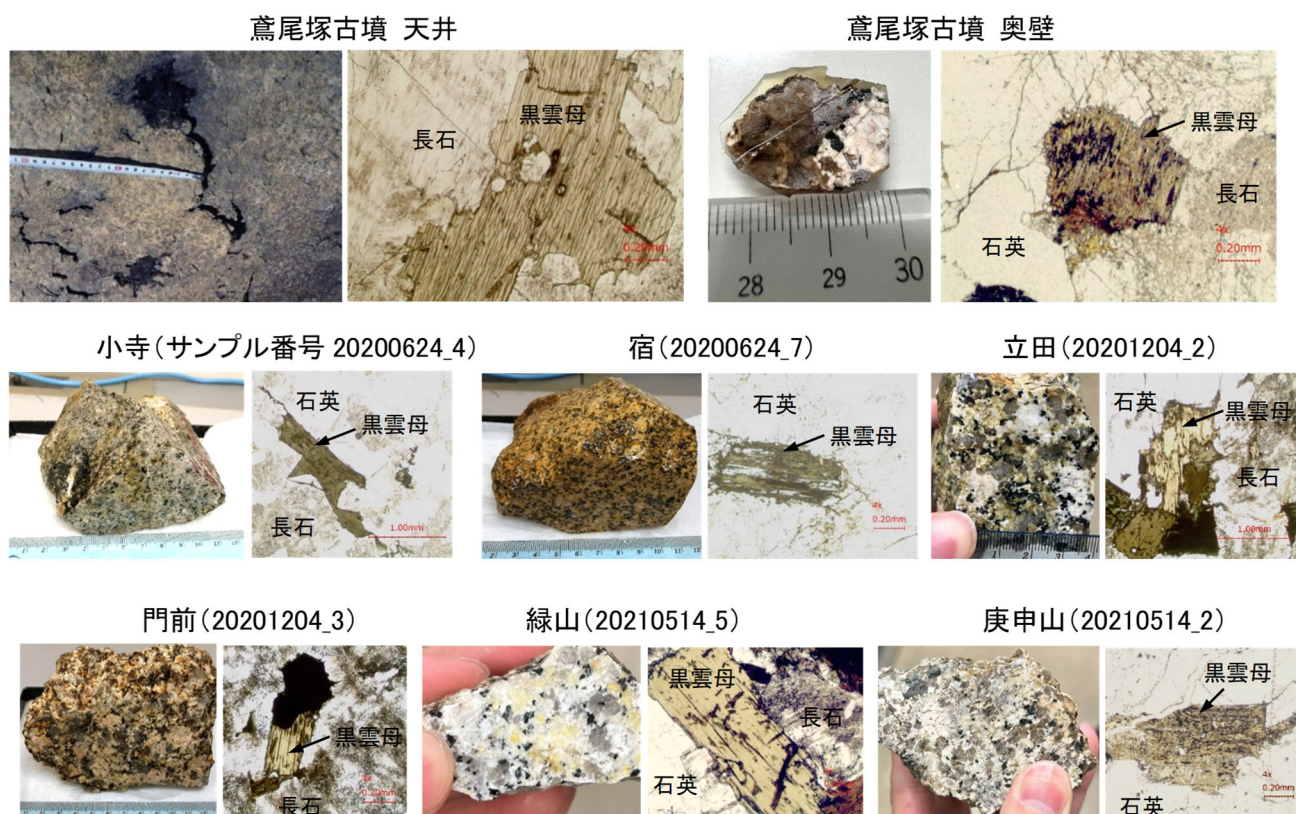


図 4. 岩石試料外観と偏光顕微鏡写真 (単ニコル)

斑晶を持つ。カリ長石はパーサイト構造を持ち、斜長石は累帯構造が明瞭である。黒雲母は褐色～暗褐色の多色性を示し、角閃石は緑色を呈する。不透明鉱物は少ない。副成分鉱物として、ジルコン (10–20 μm)、チタン鉄鉱、リン灰石 (2–100 μm)、および褐れん石 (10–400 μm) が産出する。

もう一つの転石 (試料番号 20200624_2) は中粒 (平均粒径 $\sim 7 \text{ mm}$) の黒雲母花崗岩である。主成分鉱物は石英、カリ長石、斜長石、黒雲母である。上記の転石 (20200624_1) よりやや粒径が小さい。カリ長石にはパーサイト構造が発達する。斜長石の累帯構造はやや弱い。黒雲母は褐色～暗褐色の多色性を有する。角閃石は欠如しており、不透明鉱物は少ない。副成分鉱物として、ジルコン ($\sim 10 \mu\text{m}$)、チタン鉄鉱 (10–30 μm)、リン灰石 (10–300 μm)、蛍石が付随する。

露頭から採取した試料 (20200624_3) は中粒 (平均粒径 $\sim 2.5 \text{ mm}$) の黒雲母花崗岩である。主成分鉱物は石英、カリ長石、斜長石、黒雲母で、一部のカリ長石はマイクロクリンになっている。カリ長石にはパーサ

イト構造が発達する。黒雲母は緑～褐色の多色性を呈す。試料中のほとんどの長石は丸みを帯びた石英 ($\sim 0.5 \text{ mm}$) を多量に包有する。石英や斜長石は細粒な白雲母を含む場合がある。不透明鉱物は少ない。

6-4. 総社市小寺

小寺地区の露頭から 2 個の試料を採取した。

一つの試料 (20200624_4) は主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る中粒 ($\sim 2.5 \text{ mm}$) の黒雲母花崗岩である (図 4)。ミルメカイト構造が散見される。カリ長石にはパーサイト構造が見られ、一部はマイクロクリンになっている。斜長石は累帯構造が発達する。長石には丸みを帯びた石英を包有するものもある。黒雲母は緑～褐色の多色性を示し、細長い形態を持つものが多い。不透明鉱物は少ない。

もう一つの試料 (20200624_5) は主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る細粒斑状 (平均粒径 $\sim 0.2 \text{ mm}$ 、斑状結晶は $\sim 2.5 \text{ mm}$) の黒雲母花崗岩で、岩石全体がやや緑色を呈している。構成鉱物のいずれにお

いても斑状結晶が認められる。ミルメカイト構造が頻繁に見られる。カリ長石はパーサイト構造を有し、斜長石は累帯構造を示す。黒雲母は細長い形態で、褐色を呈する。不透明鉱物は少ない。

6-5. 総社市見延

採取した試料はI型花崗岩の特徴をもつ。主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る中粒(平均粒径 ~2 mm, 最大 4.5 mm)の黒雲母花崗岩である。カリ長石はパーサイト構造を持ち、一部のカリ長石はマイクロクリンになっている。斜長石の累帯構造はあまり見られない。長石中に包有された石英が散見される。黒雲母は褐色を呈し、細長い形の結晶が多い。不透明鉱物は少ない。

6-6. 総社市宿

宿地区では3個の試料を採取した。

一つ目の試料(20200624_7)は、主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る中粒(粒径 ~2 mm)の黒雲母花崗岩である(図4)。カリ長石にはパーサイト構造はよく発達する。斜長石の累帯構造は顕微鏡で観察されない。黒雲母は緑~褐色の多色性を示す。不透明鉱物は少ない。長石と石英の結晶中に細粒(0.1 mm以下)の白雲母が産出する。白雲母の一部は長石中の割れ目を充填しており、長石と石英に包有される自形結晶として産するものも少なくない。このような産状は、前者が二次的な熱水変質起源、後者はマグマからの結晶作用の産物であることを示唆する。

二つ目の試料(20200624_8)は、主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る中粒(粒径 ~3 mm, 最大 5 mm)の黒雲母花崗岩で、上記の20200624_7よりも粗粒の結晶が目立ち、白雲母の含有量が多い。カリ長石にはパーサイト構造はよく発達する。斜長石の累帯構造は顕微鏡で観察されない。黒雲母は緑~褐色の多色性を呈する。不透明鉱物は少ない。

三つ目の試料(20200624_9)は、主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母から成る中粒(平均粒径 ~3 mm, 最大 5 mm)の黒雲母花崗岩で、薄片中に細粒(~0.5 mm)の石英集合体から成る細脈が複数認められる。カリ長石にはパーサイト構造が非常によく発達する。

斜長石の累帯構造は顕微鏡で観察されない。黒雲母は緑~褐色の多色性を呈する。不透明鉱物は少ない。白雲母も長石中に産するが、その量は上記2試料に比べてかなり少ない。

6-7. 岡山市北区立田

立田地区では2個の試料を採取したが、両者の特徴は類似しているため一括して記載する。主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒(平均粒径 ~0.5 cm, 最大 1 cm)の角閃石黒雲母花崗岩である。肉眼では白色の斑状カリ長石結晶(最大 ~1 cm)が目立つ(図4)。カリ長石はパーサイト構造を持つ。斜長石の累帯構造は著しい。黒雲母は鏡下で褐色~暗褐色を呈し、角閃石はコアで茶褐色、リムで緑色を呈する。副成分鉱物としてジルコン(~30 μm)、磁鉄鉱(5-10 μm)、チタン鉄鉱(5-40 μm)、リン灰石(~100 μm)、褐れん石(~100 μm)、チタン石(~5 μm)が付随する。副成分鉱物は黒雲母や角閃石中に包有されている場合が多い。磁鉄鉱・チタン鉄鉱は変質し緑泥石化した黒雲母中に多産し、量比は磁鉄鉱 < チタン鉄鉱である。

6-8. 岡山市北区門前

主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒(平均粒径 ~0.5 cm, 最大 1 cm)の角閃石黒雲母花崗岩である。薄赤色の斑状カリ長石結晶(最大 ~1 cm)が目立つ(図2, 図4)。カリ長石はパーサイト構造をもち、斜長石には累帯構造が発達している。黒雲母は鏡下で褐色~暗褐色を呈するが、変質によってパーミキュライト化したものが多い。角閃石は緑色を呈する。試料は全体的にやや強く変質しており、黒雲母の周囲には褐鉄鉱などに充填された細脈が目立つ。副成分鉱物としてジルコン(~100 μm)、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、リン灰石、褐れん石が付随する。不透明鉱物は少なく、量比はチタン鉄鉱 > 磁鉄鉱である。

6-9. 総社市上林 緑山

主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒(平均粒径 ~0.5 cm, 最大 1 cm)の角閃石黒雲母花崗岩である。白色の斑状カリ長石結晶(最大 ~1

cm)が目立つ(図4)。カリ長石にはパーサイト構造が発達し、斜長石には累帯構造がはっきり認められる。黒雲母は鏡下で褐色～暗褐色の多色性をもち、角閃石は緑～褐色の多色性を有する。副成分鉱物はジルコン(10–100 μm)、磁鉄鉱、チタン鉄鉱が付随する。不透明鉱物は少ない。

6-10. 岡山市北区新庄上 庚申山

庚申山では3試料を採取した。それらの基本的な特徴(不透明鉱物の含有量以外)は類似している。主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒(平均粒径 ~0.5 cm, 最大 1 cm)の角閃石黒雲母花崗岩である。白色の斑状カリ長石結晶(最大 ~1 cm)が目立つ(図4)。カリ長石にはパーサイト構造が発達し、斜長石には累帯構造がはっきり認められる。角閃石は緑～褐色の多色性を有する。黒雲母は鏡下で褐色～暗褐色の多色性をもち、変質したものは不透明鉱物(磁鉄鉱とチタン鉄鉱)を多く包有する(図4)。副成分鉱物としてジルコン(5–100 μm)、チタン鉄鉱(~10 μm)、リン灰石が付随する。不透明鉱物は黒雲母中だけでなく斜長石中にも産するが、その総量は試料ごとにばらつきがあり、他地区の花崗岩より多いものと少ないものがある。不透明鉱物の量比は磁鉄鉱 > チタン鉄鉱である。

6-11. 総社市下林

主に石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石から成る粗粒(平均粒径 ~0.5 cm, 最大 1 cm)の角閃石黒雲母花崗閃緑岩である。有色鉱物が他地区の花崗岩よりも多いため、ここでは便宜的に「花崗閃緑岩」と呼ぶが、長石の量比はカリ長石 > 斜長石で、斜長石の量が少ないため、典型的な花崗閃緑岩とは異なっている。角閃石と黒雲母の変質が進んでおり、その結果生じた不透明鉱物の量も他地区の花崗岩試料より多い。また完全に変質して細粒鉱物集合体の仮像となった(苦鉄質?) 鉱物も少量産するが、その鉱物の同定はできなかった。薄赤色の斑状カリ長石結晶(最大 ~1 cm)が目立つ。カリ長石にはパーサイト構造が発達し、アンチパーサイト構造をもつ曹長石も認められる。斜

長石の累帯構造は目立たない。長石類の変質も苦鉄質鉱物同様に進んでいる。しばしば細粒(粒径 ~0.2 mm)の石英がその他の鉱物に包有されている。黒雲母は褐色～暗褐色の多色性を有する。角閃石は緑～褐色の多色性をもち、副成分鉱物としてジルコン(10–100 μm)、磁鉄鉱(~50 μm)、チタン鉄鉱が付随する。不透明鉄鉱は変質し緑泥石化した黒雲母内に非常に多く見られるが、石英や長石中にもみられる。量比は磁鉄鉱 > チタン鉄鉱である。

I型花崗岩とII型花崗岩は、カリ長石斑晶と角閃石の有無の点で区別することができる(濡木, 1979)。鳶尾塚古墳の石室石材はカリ長石の斑晶に加えて角閃石と黒雲母の両方を含んでいるという点で、II型花崗岩類の特徴と一致している。同様に、周辺地域のうち立田、門前、緑山、庚申山の各地区の露頭と井尻野地区の一部の転石から採取した試料はII型花崗岩に分類され、他のI型花崗岩の試料とは明確に区別することができる。

7. 鉱物化学組成

鳶尾塚古墳の石室石材、羨道と墳丘の転石、および石材と岩相が類似しているII型花崗岩類(井尻野地区の転石と庚申山、緑山、立田、門前の各地区の露頭)と古墳近隣の下林地区の花崗閃緑岩の露頭から採取した試料の分析によって得られた鉱物の化学組成を表1と図5~8に示し、以下に概要を記述する。なお鉱物中の陽イオン数は化学式単位当たり(pf.u: per formula unit)のモル数で、EPMA分析値をもとに一定の酸素モル数(角閃石では23、黒雲母では22)を仮定して計算したものである。

7-1. 角閃石

鳶尾塚古墳の奥壁の角閃石の多くは、天井石・転石中のものに比べて X_{Mg} とAl, Ti, Na + Kの濃度が低く、Siに富んでいる(図5)。しかし奥壁において1点のみは他とは異なる組成(Al ~1.9, Si ~6.6, Na + K ~0.6)を示す(図5)。

表1. 鉱物の典型的な化学組成範囲

鉱物化学組成		鳶尾塚古墳天井石・転石	鳶尾塚古墳奥壁	II型花崗岩露頭
角閃石	X _{Mg}	0.22 – 0.35	0.15 – 0.25	0.2 – 0.3
	Al (pfu)	1.3 – 1.7	0.7 – 1.2	1.2 – 2.4
	Ti (pfu)	0.1 – 0.2	< 0.04	0.04 – 0.3
	Si (pfu)	6.5 – 6.8	7.1 – 7.4	6.2 – 6.7
	Na + K (pfu)	0.7 – 0.8	0.2 – 0.4	0.6 – 0.8
黒雲母	X _{Mg}	0.23 – 0.27	0.27 – 0.28	0.24 – 0.28
	Al (pfu)	2.42 – 2.56	2.49 – 2.63	2.47 – 2.62
	Ti (pfu)	0.37 – 0.45	0.37 – 0.43	0.37 – 0.46
斜長石コア	An	28 – 51	32 – 43	25 – 51
	Ab	48 – 69	56 – 65	48 – 71
	Or	1 – 3	1 – 3	1 – 3
斜長石リム	An	15 – 31	15 – 17	13 – 34
	Ab	67 – 80	80 – 84	63 – 83
	Or	2 – 5	2 – 3	1 – 3
カリ長石	An	< 1	< 1	< 1
	Ab	3 – 29	5 – 25	3 – 26
	Or	71 – 97	75 – 95	74 – 97
ジルコン	ZrO ₂ (wt%)	56 – 68	59 – 68	56 – 68
	TiO ₂ (wt%)	< 0.06	< 0.02	< 0.22
	HfO ₂ (wt%)	1.1 – 5.9	1.2 – 9.3	1.1 – 6.5
	Y ₂ O ₃ (wt%)	< 2.2	< 1.5	< 3.2

X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe*), Fe*は全鉄を2価鉄と仮定して求めた値. pfu = per formula unit

一部の範囲外のデータは省略. II型花崗岩露頭は庚申山, 緑山, 立田, 門前の全地区を含む.

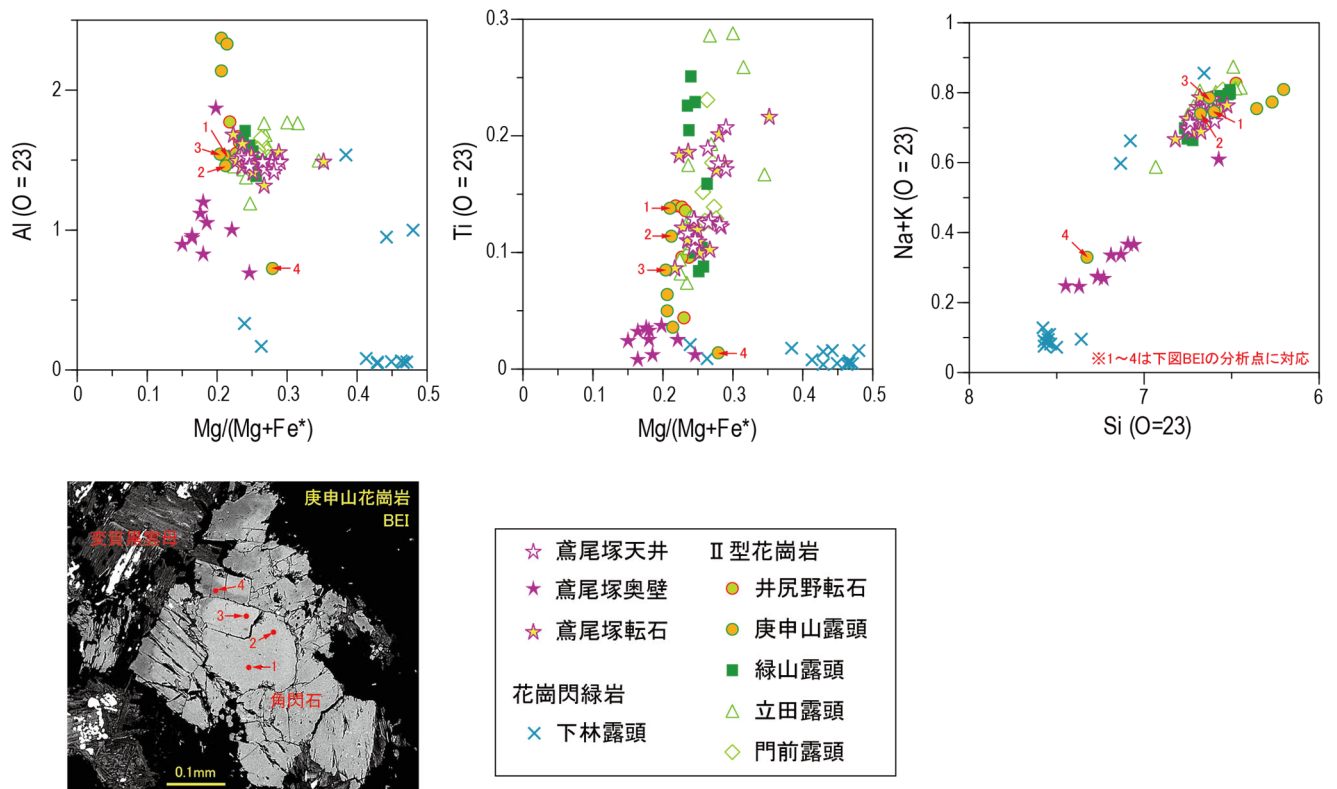


図5. 角閃石の化学組成

花崗岩露頭試料のデータはばらつきがあるが、ほとんど類似した組成を示す。しかし庚申山の角閃石は他地区のものより X_{Mg} がやや低い (図 5)。花崗岩中の角閃石に比べて下林地区の花崗閃緑岩では X_{Mg} が高いものが多い。庚申山花崗岩中の角閃石には全体の傾向から大きく外れる組成 ($Al \sim 0.7$, $Si \sim 7.3$, $Na + K \sim 0.33$) を持つものがあるが、それは変質した黒雲母に接するリムや割れ目に沿って反射電子線像 (BEI) の輝度が低下した部分にあたり (図 5, 分析点番号 4)、その産状は変質作用による組成改変を示唆している。この組成改変を受けたと思われる角閃石組成は鳶尾塚古墳の奥壁の多くの角閃石の組成と類似している一方、庚申山の角閃石で組成改変を受けていない部分は鳶尾塚古墳奥壁の一部の角閃石と組成が類似している (図 5)。このことは、奥壁角閃石の多くが変質作用による組成改変を受けており、一部には変質作用の影響をあまり受けていない角閃石も残留しているという可能性を示唆している。

7-2. 黒雲母

鳶尾塚古墳の奥壁の黒雲母は天井石や転石中のものより X_{Mg} が高くやや Al に富むという、角閃石とは逆の傾向を示す (図 6)。

花崗岩露頭の黒雲母の組成はほとんどが類似した組成を持つが、一部は Al または Ti 量がやや大きく異なるものもある (図 6)。なかでも庚申山の Ti 濃度が低い (~ 0.3) 黒雲母は細粒 (粒径 $< 0.1-0.2$ mm) 集合体を成しており、他の独立した結晶とは産状が異なっている。それらの黒雲母は、たとえば結晶作用末期の晶出や熱水変質作用の影響など、他とは異なる成因を持っている可能性が高い。下林の花崗閃緑岩中の黒雲母は $X_{Mg} = 0.49-0.54$ で、角閃石と同様に花崗岩中のものより高い値を示す。鳶尾塚古墳の石材と周辺露頭の黒雲母組成は全体的に類似している。なかでも庚申山では他の地区の露頭よりも X_{Mg} が高いものが産しており、それらは鳶尾塚古墳奥壁の黒雲母に相当する値を持つ (図 6)。

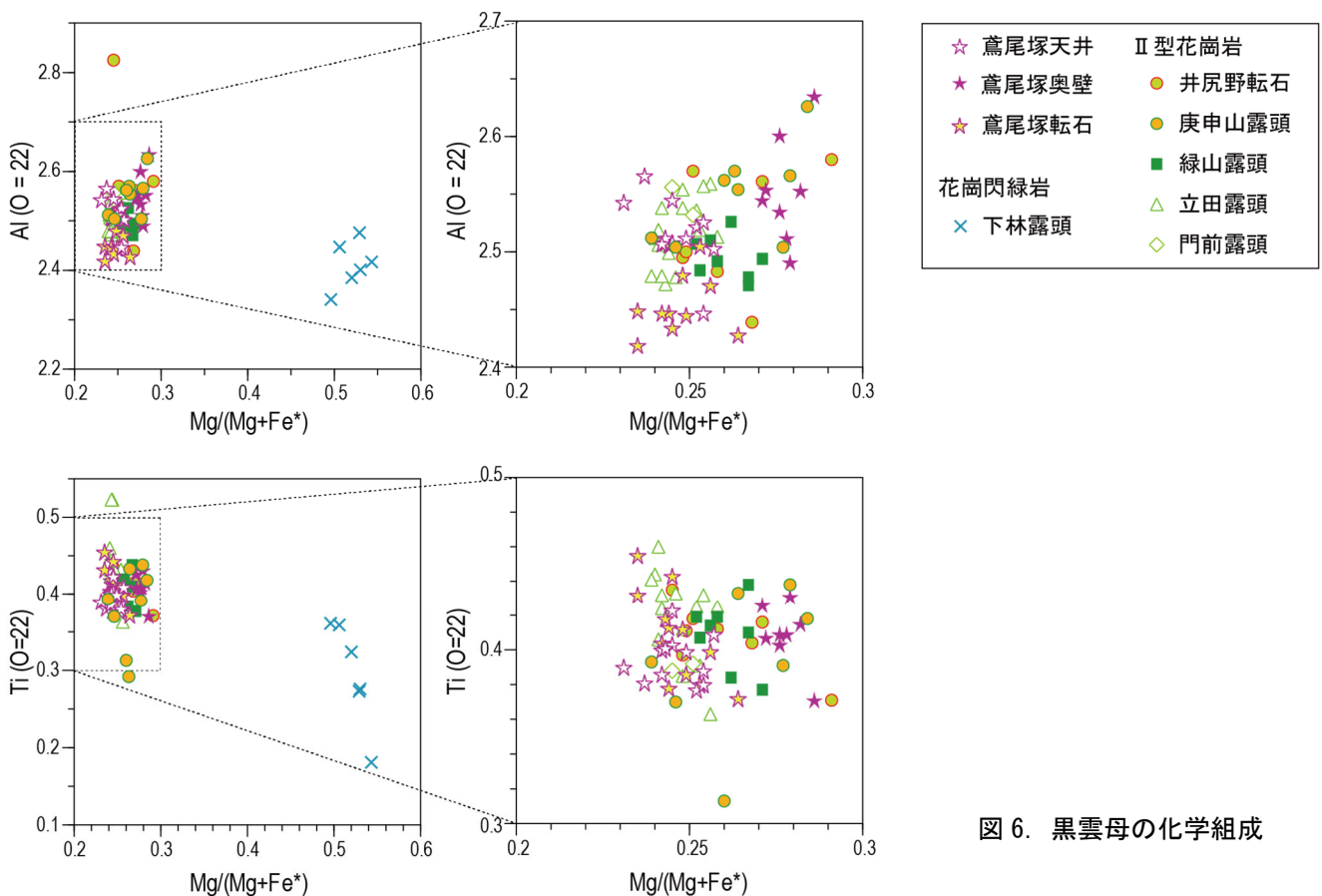


図 6. 黒雲母の化学組成

7-3. 長石

長石の組成は Ca 長石 (An), Na 長石 (Ab), K 長石 (Or) を端成分に取ったモル比三角図で示される (図 7). 斜長石は累帯構造を呈することが多く, 結晶のコアからリムにかけて連続的に組成が変化する. 薄片面に現れる見かけのコアは必ずしも三次元的な結晶中心とは限らないので, 一般に薄片におけるコアの分析値は同一試料内でもばらつく. しかし斜長石コアの An 成分の最高値は, 結晶分化作用初期のマグマの組成を反映しているので, これを試料間で比較することには意味がある. 一方, 斜長石リムの Ab 成分の最高値は結晶分化末期に到達した組成であり, これも試料間の比較対象となる. ただし今回分析した斜長石の結晶は各試料で 4 個 (コアとリムそれぞれ 4 点ずつ) 程度であり, 必ずしも試料中での An や Ab の最高値を

表していない可能性があることに留意しておく必要がある.

鳶尾塚古墳では奥壁の方が天井石や転石よりもコアの An 最高値が低く, リムの Ab 最高値が高い (表 1). 花崗岩露頭の斜長石コアの An 最高値は, 井尻野転石で 43, 庚申山で 47, 緑山で 51, 立田で 49, 門前で 49 である. リムの Ab 最高値は井尻野転石で 81, 庚申山で 82, 緑山で 79, 立田で 83, 門前で 72 である. 下林の花崗閃緑岩は斜長石の累帯構造が目立たず, またいずれの結晶も変質がかなり進行しているために分析点の選定が十分にできなかったが, 得られた分析値は An=2-10, Ab=87-97, Or=2-6 と Na 長石に近い.

カリ長石はいずれの試料でも An 成分が 1%未満である. 鳶尾塚古墳の天井石と転石では, Ab=3-29, Or

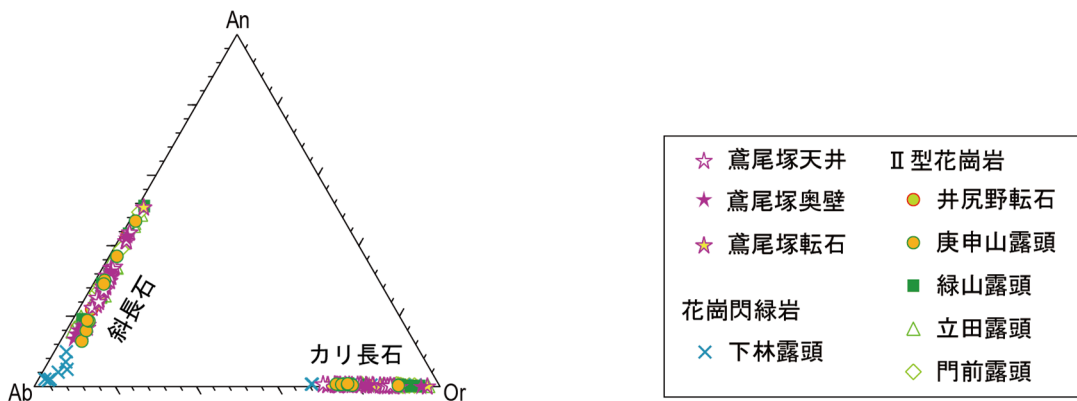


図 7. 長石の化学組成

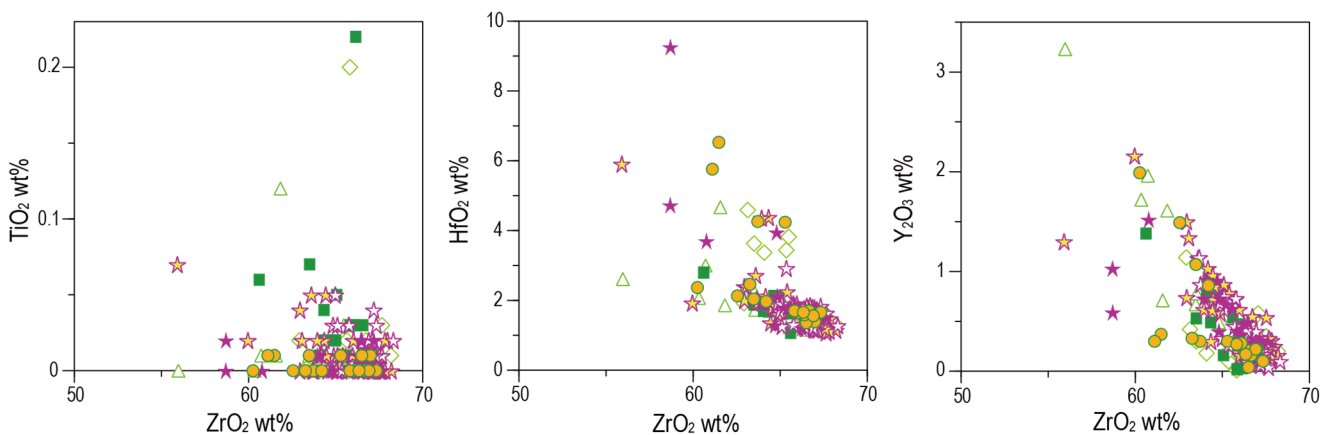


図 8. ジルコンの化学組成

= 71-97 で、奥壁では Ab = 5-25, Or = 75-95 である。周辺の花崗岩類については、井尻野転石で Ab = 6-23, Or = 77-93, 庚申山で Ab = 10-26, Or = 74-90, 緑山で Ab = 5-23, Or = 76-95, 立田で Ab = 3-18, Or = 82-97, 門前で Ab = 6-19, Or = 80-94 である。下林の花崗閃緑岩では Ab = 17-32, Or = 68-83 である。カリ長石の組成については、試料間の明瞭な差異は認められない。

7-4. ジルコン

ジルコンは各試料中にごく少量しか出現しないが、その組成はマグマの微量成分組成を反映して変化するので、主成分組成では識別できないようなわずかな違いが検出される可能性がある。本研究では ZrO_2 , TiO_2 , HfO_2 , Y_2O_3 の含有量を比較した (図 8)。試料間の明瞭な差異は特に認められないが、鳶尾塚古墳の奥壁のジルコンには ZrO_2 が少なく、かつ HfO_2 と Y_2O_3 がやや多いものがあり、また TiO_2 が 0.02% より多いものが欠如しているという点で、天井石と異なっている (図 8)。ジルコンの組成も他の鉱物同様に鳶尾塚古墳の奥壁と庚申山の花崗岩には類似性が認められる (図 8)。

8. 考察とまとめ

鳶尾塚古墳では石室石材の多くにカリ長石斑晶の目立つ斑状角閃石黒雲母花崗岩が使われていることが明らかになった。この花崗岩は、濡木ほか (1979) の分類によれば「II型花崗岩」である。II型花崗岩は三須丘陵周辺に分布しており (図 1)、それらの花崗岩が石室の石材として使われた可能性が高い。古墳周辺の花崗岩には方状節理の発達した露頭が多く (図 2)、大型石材の採石には適した環境であったと言えるだろう。

本研究の分析結果のなかでも特筆すべき点は、石室の奥壁に使われている石材、いわゆる「鏡石」は天井や側壁に使われている石材よりも帯磁率が際立って高いということである (図 3)。本研究で調べたII型花崗岩のなかでこれに相当する高い帯磁率を持つのは庚申山に露出するものだけである。さらに鉱物の産状と化学組成の点においても、鳶尾塚古墳の鏡石と天

井石には違いがあり、鏡石は多くの点で庚申山地区に露出する花崗岩と類似していることが明らかになった。以下に鏡石と庚申山花崗岩との共通点をまとめる。

- ①斑状カリ長石の目立つ角閃石黒雲母花崗岩である (図 2)
- ②帯磁率が高い (大部分で 2×10^{-3} SI 以上) (図 3)
- ③変質した黒雲母に付随して不透明鉱物が産出し (図 4)、その量比は磁鉄鉱 > チタン鉄鉱である
- ④角閃石の X_{Mg} が比較的低い (多くは 0.22 以下) (図 5)
- ⑤黒雲母の X_{Mg} が比較的高い (多くは 0.26 以上) (図 6)
- ⑥斜長石リムの Ab 値が比較的高い (80 以上) (図 7)
- ⑦ジルコンの ZrO_2 濃度のばらつきが大きく、 TiO_2 に乏しい (0.02 wt% 以下) (図 8)

しかしながら鏡石と庚申山花崗岩との間で鉱物の化学組成は完全に一致するわけではない。たとえば角閃石の Al, Ti, Si, Na + K 量にばらつきが認められるが、それは変質作用の程度の差によるものと考えられる (図 5, 角閃石分析点 1-4)。また鏡石や庚申山花崗岩では変質作用によって黒雲母から磁鉄鉱が多く生成している。その結果、それらの岩石の帯磁率が上昇したのだろう。一方、天井石や側壁石材では角閃石の組成改変や帯磁率の顕著な増加は認められない。このことから、鏡石の変質作用は古墳築造後ではなく、それより前に天然の岩石において起きたものと考えられる。つまり鳶尾塚古墳の鏡石には変質した庚申山タイプの花崗岩が使われたと考えれば、全ての観察・分析結果が矛盾なく説明できる。

一方、古墳の天井や側壁の石材の多くは、庚申山以外の地区に産するII型花崗岩と類似した特徴を持つ。特に遠方から石材を運搬したことを示す証拠はないので、たとえば緑山地区の露頭など、古墳の近辺で採石されたと考えるのが妥当であろう。本研究で試料を採取した緑山の露頭は、高さ 5 m 程度の鉛直な崖となっている (図 2)。それはかつての採石場の跡なのかもしれない。

本研究では鳶尾塚古墳の石室石材の岩石学的徴、とくに奥壁と天井・側壁の石材の違いを明らかにした。奥壁には庚申山に産する花崗岩と類似した石材が使われているが、これは実際に庚申山で採石が行われたことを意味するものではない。一般に花崗岩の化学組成や変質程度は露頭規模でも変化することが少なくないので、それらの特徴のみに基づいて過去の採石場を特定することは難しい。しかしながら、採石場の位置を特定することはできなくても、鏡石には他とは違う石材が用いられているということは重要な新知見と言えるだろう。はたしてそれは意図的に設計されたことであつたのだろうか？ 今後の研究の進展を待ちたい。

謝辞

岡山県と総社市には古墳内の調査と試料採取を許可していただいた。岡山大学の鈴木茂之特任教授には原稿を読んでいただき、修正意見をいただいた。本研究には文部科学省科研費（課題番号 20H05634、代表：清家章）を使用した。

引用文献

- Bence, A.E. and Albee, A.L. (1968). Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. *Journal of Geology*, 76, 382–403.
- 国土交通省国土地理院（2023）地理院地図
<https://maps.gsi.go.jp/>
- 新納泉（1987）緑山古墳群の築造年代と形成過程。総社市文化振興財団編：緑山古墳群，81–86。
- 新納泉（2009）前方後円墳廃絶期の暦年代。考古学研究，56，71–91。
- 濡木輝一・浅見正雄・光野千春（1979）岡山県中・南部の花崗岩類。地質学論集，17，35–46。
- 岡山大学考古学研究室（2019）鳶尾塚古墳 I 一墳丘測量調査・石室実測調査報告—
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（2022）日本シームレス地質図 <https://gbank.gsj.jp/seamless/>
- 白石純（1991）吉備地方の竪穴式石室石材の原産地推定。古文化談叢，24，111–134。
- 山崎信二（1984）横穴式石室構造の比較研究—中・四国編—古代瓦と横穴式石室の研究。同成社。