

造園材料としての白川石および類似花崗岩の色彩的特徴の分析

Color analysis of Shirakawa-ishi used as landscaping material and similar granites

張 平星* 深町 加津枝** 尼崎 博正*** 柴田 昌三**

Pingxing ZHANG Katsue FUKAMACHI Hiromasa AMASAKI Shozo SHIBATA

Abstract: Shirakawa-ishi is a famous white granite produced from Kyoto and used for gardening stonework. Its debris is called Shirakawa-suna and has been widely used in temple gardens of Kyoto as a traditional landscaping gravel due to its beautiful color. However, ever since the quarrying of Shirakawa-ishi was banned, landscapes made of Shirakawa-suna have been changing or lost. This study aimed to find out the color characteristics of Shirakawa-ishi and similar granites, and to discuss on appropriate substitutes for Shirakawa-suna. We collected Shirakawa-ishi from 3 quarries, and 4 similar granites of different origin. We analyzed the color of 3 main minerals (white feldspar, gray quartz, and black mica) in each sample by scanner, AutoCAD and Adobe Photoshop. The ratio of “white: gray: black” of Shirakawa-ishi was around 6.2:3:0.8, while the white-black contrast was strong, which lead to a soft white, but clear color. Compared to Shirakawa-ishi, Inada-ishi (Japan) was much lighter and showed greater black-white contrast, which was too white for landscaping gravel. The color of mica in SobuG603 (China) was unclear, while LeBlanc (France) was much darker and contained more quartz. Kitagi-ishi (Japan) was slightly darker in overall color, but closest to Shirakawa-ishi. Its debris was considered to be an appropriate substitute of Shirakawa-suna.

Keywords: Shirakawa-ishi, Shirakawa-suna, color, landscaping material, granite, garden

キーワード: 白川石, 白川砂, 色彩, 造園材料, 花崗岩, 庭園

1. はじめに

日本庭園の石造物などには、花崗岩でできたものが多い¹⁻³⁾。花崗岩は雲母・石英・長石といった3種類の鉱物を主成分とする岩石である。雲母には光沢のある黒雲母が多く、石英は半透明であるが灰色に見える。長石の含有率が高くと高く、主に白や薄いピンク色などの淡い色を呈し、花崗岩の基調色となっている⁴⁻⁶⁾。日本の花崗岩は北の青森県から南の福岡県まで広く産出している⁷⁾。そのうち、長石が暗い黒色系の花崗岩は非常に稀であり、白色系やピンク系の花崗岩がほとんどである^{4,8)}。

「白川石」は日本の白色系の花崗岩の代表として、庭園の石燈籠や手水鉢から石橋まで、さまざまな石造物に使われている^{1,3,9,10)}。白川石を砕いてできた新鮮な石屑は「白川砂」という造園用砂利となり、京都の神社や御所、そして枯山水庭園の敷砂として数百年間使われてきた^{3,11-13)}。白川石の産出地は、京都の比叡山と大文字山間の黒雲母花崗岩地帯であり、地質学上は「北白川花崗岩地帯」とよばれる¹⁴⁾。張ら(2016)¹⁵⁾の調査によれば、白川石の採石場は主に「山中越」・「瓜生山」・「修学院」及び「四明ヶ岳」の4区域に分布している(図-1)。

「鉱物の平均粒径が5mm以上は粗粒、1~5mmは中粒、0.05~1mmは細粒」という岩石学上の花崗岩の粒度区分⁹⁾によると、白川石は「均質の中粒~粗粒の黒雲母花崗岩」である^{10,16)}。色からみると、白川石は長石が白く、石英が半透明で淡灰色を呈し、雲母が黒くはつきりしている^{10,16,17)}。その石屑である白川砂は、白川石と同じ石質を持っている。色は柔らかい白さで美しく、庭園の敷砂として清浄・神聖・権威を連想させ、そして樹木や景石を引き立てる効果があるといわれる^{11,18,19)}。

白川砂の敷砂は花崗岩の風化や磨耗により、常に補充や更新を行う必要がある。しかし、明治時代以降の白川石の資源の枯渇や廉価石材の輸入、そして昭和25年の「採石法」と昭和45年の「京都市風致条例」などの法規の制限により、白川石の採石と白川砂の生産は全面的に廃止された^{13,15)}。その結果、1980年代から京

都の数多くの枯山水庭園は、他産地の黒雲母花崗岩の碎石を白川砂の代替品として利用しはじめた¹³⁾。

張ら(2015)の庭師や石材店に対する聞き取り調査¹³⁾により、現在流通している代替品砕石は種類がさまざまであり、日本国内産と中国産に分けられる。しかし、「白くて透明感がある」白川砂に比べ、代替品砕石は「青味を帯び、透明感がない」といった色彩的差異が述べられている。

京都の枯山水庭園をはじめ、数百年間伝わってきた白川砂による景観を保全・継承・発展していくためには、伝統的造園石材としての白川石の色彩的特徴を解明し、白川砂の適切な代替品を探し出すことが急務となっている。

斑状構造を特徴とする花崗岩は、その色彩が長石・石英・雲母の3鉱物成分のそれぞれの割合や色に影響される⁶⁾。岩石学や地質学では、北白川花崗岩地帯から黒雲母花崗岩を採取し、鉱物成分の割合を分析した文献や研究が複数みられる²⁰⁻²²⁾。その結果、長石は56.4%~71.5%、石英は21.5%~37.1%、雲母は5.0%~7.2%の範囲にあり、数値のばらつきがみられる。一方、修学院採石場から産出した白川石の特徴について、「石英の色が薄い」という記録がある^{10,11)}。

なお、白川砂の色彩に関する研究は小林(1985)²³⁾の1報がある。小林は色彩計を用いて、粒径5mm以下の細粒の白川砂を測定し、「黄の色相」をみとめたが、白川石と庭園に広く使われている5mm以上の白川砂の色彩は解明していない。

一方、全体的に、石材の色彩測定に関する研究は、地質学・岩石学・建築学などの分野に多数存在する²⁴⁻²⁹⁾が、造園学においてはほとんどみられない。

そこで本研究は、地質学や岩石学に使われる花崗岩の鉱物成分の割合や色彩に関する測定方法を造園石材の分析に応用し、1) 白川石の色彩的特徴、2) 白川石と類似花崗岩の色彩的差異を解明した上で、白川砂の適切な代替品について検討することを目的とした。

*京都大学大学院農学研究科

**京都大学大学院地球環境学

***京都造形芸術大学環境デザイン学科

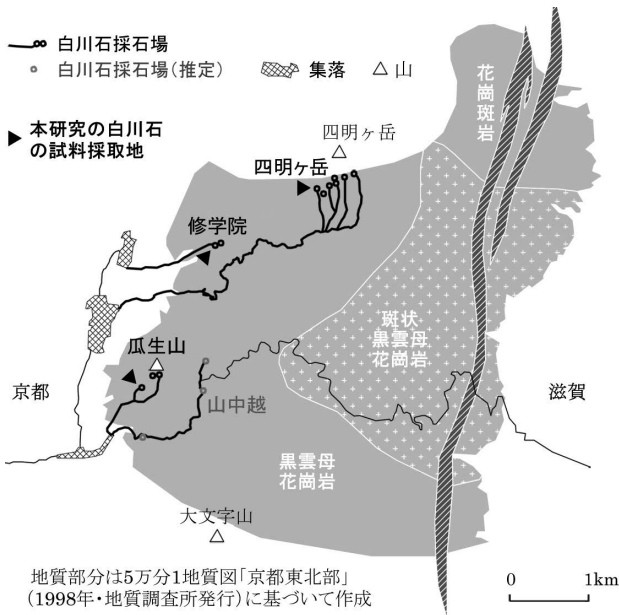


図-1 白川石採石場の分布¹⁵⁾

2. 研究方法

(1) 白川石と類似花崗岩の試料

白川石の試料は、2015年5月から2017年8月まで、白川石の採石遺構が消滅した山中越採石場を除き、採石遺構の位置が半明した瓜生山・修学院・四明ヶ岳の3採石場(図-1)から、それぞれ3個を採取した。

採石場では、硬い母岩からの試料採取が難しいが、採石や加工により白川石の岩塊が多数残っている¹⁵⁾。その中から、状態の良い均質なものを採取した。また、長年の放置で、花崗岩は風化や日焼けにより、長石が白濁化し、黒雲母が赤褐色へ変色する場合がある^{6,30)}ため、なるべく未風化のものを選択した。

また、白川石と同じく「中粒～粗粒」の「白色系の黒雲母花崗岩」を「類似花崗岩」と設定し、試料を入手した。一つの採石区域から色彩や粒度が異なる数種類のものが産出され、同じ名称で販売される場合があるが、その石材の代表的な石質に基づいて判断した。例えば、日本の庵治石や中国のG633は細粒のものであり、全体的にグレーを呈するため^{31,32)}、本研究では対象外とした。また、日本の御影石や蛭川石などはピンク色の長石や茶色の斑点を持つため、これらも対象外とした。

白川石の類似花崗岩には、日本産のものが多数存在する^{7,10,31)}が、現在生産停止になったものが多い。生産可能なものでは、茨城県の「稲田石」と岡山県の「北木石」がその代表であり³²⁾、試料を入手した(表-1)。稲田石は明治中期より採掘され、日本でもっとも白い花崗岩といわれ、建築・墓石・鳥居などに使われており、産量が多くかつ安定している³¹⁻³³⁾。北木石は江戸時代から採掘され、大阪城の石垣をはじめ、建築・墓石・石燈籠などに広く使われてきた^{31,32)}。

また、外国産の類似花崗岩も多数存在する。新しい石材の生産開始や従来の石材の採掘禁止などによる種類の変動が多いが、中国産とヨーロッパ産のものが大半を占めている³²⁾。本研究は中国の「崇武 G603」とフランスの「ルブラン」を外国産の類似花崗岩の2例として試料を入手した。

(2) 色彩分析の手法の選択

花崗岩の色彩を測定する手法は、現在主に次の3種類がある。

1) 色彩計を用いて、特定の光源の下で、測定径3～10mmの円形範囲内の試料の色彩平均値を直接に測定する^{24,27,34)}。この手法は、土壌や砂岩などの均質なものを測るには便利であるが、鉱物

表-1 白川石と類似花崗岩の試料

石名	粒度	産地	研磨面画像	
			分析可能な範囲	設定した分析範囲
白川石	中粒～粗粒	瓜生山採石場 3個	22cm ²	6cm ²
			13cm ²	6cm ²
			8cm ²	6cm ²
		修学院採石場 3個	14cm ²	6cm ²
			7cm ²	6cm ²
			6cm ²	6cm ²
		四明ヶ岳採石場 3個	25cm ²	6cm ²
			23cm ²	6cm ²
			10cm ²	6cm ²
稲田石	粗粒	日本・茨城県	8×8cm	6cm ² ×3ヶ所
北木石	中粒～粗粒	日本・岡山県	6×5cm	6cm ² ×3ヶ所
崇武 G603	中粒	中国	15×15cm	6cm ² ×3ヶ所
ルブラン	中粒～粗粒	フランス	15×10cm	6cm ² ×3ヶ所

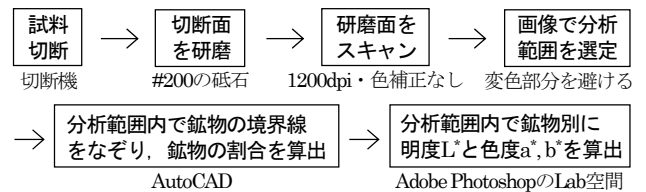


図-2 色彩分析の手順

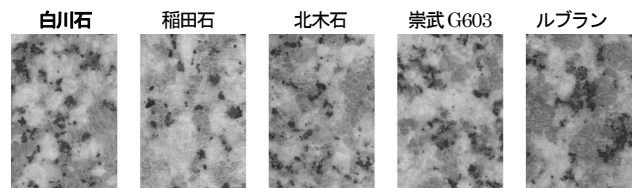


図-3 白川石と類似花崗岩の研磨面画像(局部・3/4倍)

の径が5mm前後の中粒～粗粒の花崗岩を測るには適さない²⁴⁾。

2) デジタルカメラで試料を撮影し、画像処理ソフトで写真を分析する²⁸⁾。この手法は、屋外の現場で写真を撮るのがメリットであるが、撮影時の異なる光源条件やレンズによる変形で、色彩値のばらつきが出やすい²⁴⁾。

3) スキャナーで試料の研磨面の画像を読み込み、画像処理ソフトで研磨面を分析する^{25,26,29,35)}。この手法は、安定な光源条件で高解像度の画像を取ることができ、そして鉱物ごとの解析ができるため、岩石学において、花崗岩の観察や鉱物の割合の計算に使われはじめた。

この手法に利用される画像処理ソフトは Adobe Photoshop がほとんどである^{26,29,35)}。色彩分析において、RGB(赤緑青の三原色の値を表す)・XYZ(色の三刺激値を表す)などの表色法に比べ、CIE Lab 表色法は物質の明度(L*)と色度(a*, b*)を直観的に表すため、多く利用されている^{24,26,28,34)}。

そこで本研究では「試料を切断・研磨し、スキャナーで研磨面の画像を読み込み、AutoCAD で鉱物成分の割合を算出した後に、Adobe Photoshop で鉱物別に色彩を分析する」という色彩分析の手順を設定した(図-2)。

(3) 試料の研磨面の作成と画像の読み込み

まず白川石の試料の表面の土や苔を取り除き、自然乾燥して切断機で切断した。切断面に機械の痕が残る場合が多く、色彩分析をより正確に行うために、砥石で切断面を平滑に研磨した。

花崗岩の研磨には、粗磨き(#100～200の砥石)・水磨き(#400～800の砥石)・本磨き(#800～2000の砥石)があるが、この順で光沢度が高くなり、明度が低下していく特徴がある²⁷⁾。水磨きと本磨きは床材や壁材などの建築材に多く使われるが、造園用の

白川石は研磨しないのがほとんどであるため、本研究は砥石の番数をおさえ、#200を使用した。また、類似花崗岩の試料についても、同じく#200の砥石で研磨し、研磨面を作成した。

次にスキャナー（EPSON ES-7000H）のガラスに透明の保護シートを貼り、試料の自然乾燥状態の研磨面の画像を「解像度1200dpi・JPEG形式・色補正なし」で読み込んだ（図-3）。

（4）試料研磨面の色彩分析

白川石の各研磨面の画像について、風化・日焼け・土や苔の付着による明らかな変色部分を除き、AutoCADを用いてできる限り大きい面積を算出した結果、分析可能な範囲は6~25cm²で（表-1）、その形状と大きさはさまざまであった。そこで、研磨面ごとの分析範囲を6cm²と設定し、各採石場の白川石は3試料で計18cm²の面積について分析した。さらに3採石場の合計54cm²の面積でまとめて分析し、白川石の全体の結果とした。具体的に、分析可能な範囲が小さい場合、AutoCADの折れ線で面積6cm²の形状を囲んで分析範囲とした。分析可能な範囲が大きい場合、1cm×6cmまたは2cm×3cmの矩形を設定した。

また、各類似花崗岩の研磨面については、それぞれ無作為に2cm×3cmの矩形3ヶ所を設定し、計18cm²の面積で分析した。

研磨面の分析範囲内において、AutoCADで長石・石英・雲母の境界に沿って線をなぞり、各鉱物の合計面積、そして割合を算出した。長石と石英の色が近く、境界線を判断しにくい場合があるが、石英は水で濡らすと透明になる特徴を持っている。そのため、水で濡らした研磨面の画像もスキャナーで読み込み、AutoCADで参考として使いながら長石と石英の領域を判断した。

さらに、Windows10のパソコン環境・Adobe Photoshop（CS5）のLab色空間で、画像の明暗・色調などの変更を行わず、分析範囲内の各鉱物の色彩値を求めた。具体的に、まずAutoCADから出力した鉱物の境界線を研磨面の画像の上に重ね、「自動選択ツール」で対象鉱物の領域を選択する。そして研磨面画像のレイヤーを選択し、「ウィンドウ→ヒストグラム」命令を実行する。「ソ-

ス」で「選択されたレイヤー」を指定すれば、研磨面画像の選択領域において、対象鉱物のL, a, bごとのピクセル数の分布図が作成され、また平均値と標準偏差も算出される（図-4）。

Adobe Photoshopのヒストグラムは縦軸をピクセル数で、横軸を0~255階調で示す。CIE Lab表色法の明度L*（0~100、0が黒、100が白）と色度a*（-128~127、負が緑・正が赤）、b*（-128~127、負が青・正が黄）の値を得るために、次のような換算を行い、L*, a*, b*の平均値と標準偏差を求めた。

$$\text{平均値: } L^*_{\text{mean}} = L_{\text{mean}}/255 \times 100, \quad a^*_{\text{mean}} = a_{\text{mean}} - 128, \quad b^*_{\text{mean}} = b_{\text{mean}} - 128$$

$$\text{標準偏差: } L^*_{\text{SD}} = L_{\text{SD}}/255 \times 100, \quad a^*_{\text{SD}} = a_{\text{SD}}, \quad b^*_{\text{SD}} = b_{\text{SD}}$$

(L, a, bはAdobe Photoshopが算出した値、L*, a*, b*はCIE Lab表色法の値)

CIE Lab表色法において、数値の差は0.3以下であると目視で判断しにくいだが、2.5以上になると、だいたいの人が色差の存在を識別できるといわれる³⁶⁾。

3. 結果

（1）白川石の色彩的特徴

1) 色度 (a*, b*)

白川石の採石場別・鉱物別にa*とb*の平均値と標準偏差を算出した結果（表-2）、a*の平均値はすべて-0.46~0.00の範囲内にあり、標準偏差は1未満であったことから、白川石は緑の色味も赤の色味も微小である可能性が示された。また、b*の平均値はすべて1.04~2.79と正の値となり、白川石はわずかな黄味を帯び、青

表-2 鉱物別にみる白川石の色度 (a*, b*の平均値)

	瓜生山採石場		修学院採石場		四明ヶ岳採石場		白川石全体	
	a* _{mean}	b* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}	a* _{mean}	b* _{mean}
長石	-0.38	1.73	-0.46	2.79	-0.41	1.60	-0.43	2.09
石英	-0.03	1.93	0.00	2.69	-0.17	1.24	-0.07	1.87
雲母	-0.20	1.13	-0.44	1.41	-0.39	1.04	-0.35	1.20
全体	-0.23	1.76	-0.37	2.65	-0.34	1.45	-0.31	1.95

標準偏差: a*_{SD}=0.66~0.99, b*_{SD}=1.62~2.30

表-3 鉱物別にみる白川石の明度 (L*の平均値と標準偏差)

	瓜生山採石場		修学院採石場		四明ヶ岳採石場		白川石全体	
	L* _{mean}	L* _{SD}	L* _{mean}	L* _{SD}	L* _{mean}	L* _{SD}	L* _{mean}	L* _{SD}
長石	66.44	8.82	71.04	9.18	68.24	8.42	68.81	9.03
石英	60.69	7.05	60.53	7.48	57.88	6.64	59.74	7.13
雲母	35.37	7.86	36.24	9.55	36.24	7.44	35.96	8.40
全体	61.66	11.51	65.86	13.55	62.66	11.97	63.40	12.51

表-4 白川石の鉱物の面積割合

	瓜生山採石場	修学院採石場	四明ヶ岳採石場	白川石全体
長石	51.6%	72.0%	63.1%	62.2%
石英	40.2%	18.9%	29.0%	29.4%
雲母	8.2%	9.1%	7.9%	8.4%

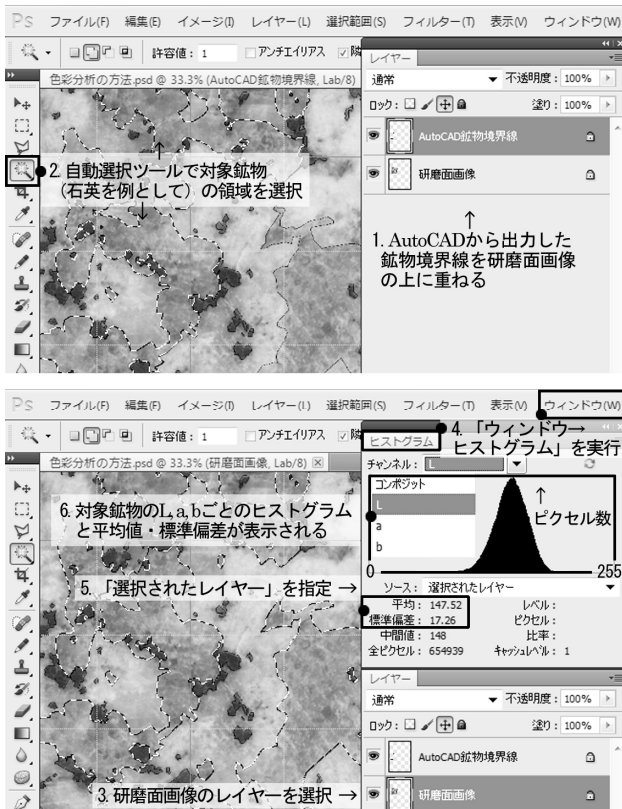


図-4 Adobe Photoshopで鉱物別に色彩値を算出する方法

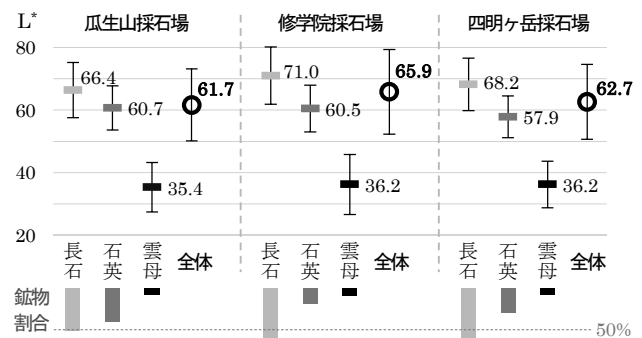


図-5 白川石の明度 (L*の平均値±標準偏差) と鉱物の面積割合

味が無い可能性が示された。一方、 a^* と b^* が-128~127の範囲にあるのに対し、表-2の a^* と b^* の値がすべて0付近に集中していることから、白川石は無彩色に近い傾向が示された。

鉱物別にみると、長石の b^* の平均値は2以上であり、石英と雲母 b^* の平均値より大きく1.20、長石の黄味が強かった。採石場別にみると、修学院採石場の白川石は瓜生山採石場と四明ヶ岳採石場の白川石に比べ、鉱物別においても石全体においても b^* の平均値が高く、黄味が強い傾向が示された。

2) 明度 (L^*) と鉱物の面積割合

白川石の採石場別・鉱物別に L^* の平均値と標準偏差を算出した結果、白川石全体の L^* の平均値は63.40であった(表-3)。鉱物別に L^* の平均値をみると、長石は68.81、石英は59.74、雲母は35.96であった。また、 L^* の「平均値±標準偏差」を示した明度の範囲をみると(図-5)、長石は約60~78、石英は約53~67、雲母は約28~44であった。白川石は長石と石英の明度が高く、雲母の明度が低かった。一方、AutoCADで白川石の鉱物の面積割合を算出した結果、長石62.2%、石英29.4%、雲母8.4%となった(表-4)。以上のことから、白川石は明度の高い長石と石英の中に、明度が低い雲母が点在することが確認されたため、全体の印象として白黒のコントラストが明確であることが推測される。

また、明度と鉱物の面積割合は採石場によってばらつきがあった。修学院採石場の白川石は、石全体も長石も L^* の平均値が3採石場の中でもっとも大きく、明度が高かった。瓜生山採石場と修学院採石場の白川石の石英は、四明ヶ岳採石場の白川石の石英より L^* の平均値が大きく、明度が高かった。また、3採石場の中で、瓜生山採石場の白川石の石英は面積割合が40.2%で高く、修学院採石場の白川石の石英は面積割合が18.9%で低かった。

(2) 白川石と類似花崗岩の色彩的差異

1) 色度 (a^*, b^*)

4 類似花崗岩の鉱物別に a^* と b^* の平均値と標準偏差を算出した結果(表-5)、 a^* の平均値は-0.85~0.00の範囲にあり、標準偏差は1未満であった。 b^* の平均値は-0.90~2.65の範囲にあり、標

表-5 白川石と類似花崗岩の色度 (a^*, b^* の平均値)

	白川石		稲田石		北木石		崇武 G603		ルブラン	
	a^* mean	b^* mean	a^* mean	b^* mean	a^* mean	b^* mean	a^* mean	b^* mean	a^* mean	b^* mean
長石	-0.43	2.09	-0.85	1.31	-0.22	0.00	-0.75	1.24	-0.54	-0.90
石英	-0.07	1.87	-0.45	1.43	0.00	1.14	-0.37	1.85	-0.33	0.19
雲母	-0.35	1.2	-0.49	2.65	-0.08	0.80	-0.73	-0.08	-0.28	0.21
全体	-0.31	1.95	-0.68	1.43	-0.15	0.35	-0.66	1.29	-0.43	-0.34

4 類似花崗岩の色度の標準偏差: $a^*_{SD}=0.61\sim 0.90$, $b^*_{SD}=1.32\sim 2.28$

表-6 白川石と類似花崗岩の明度 (L^* の平均値と標準偏差)

	白川石		稲田石		北木石		崇武 G603		ルブラン	
	L^* mean	L^* SD	L^* mean	L^* SD	L^* mean	L^* SD	L^* mean	L^* SD	L^* mean	L^* SD
長石	68.81	9.03	74.04	6.09	65.32	9.36	69.64	8.26	65.15	8.71
石英	59.74	7.13	64.25	7.18	57.53	7.11	58.71	7.10	53.54	7.05
雲母	35.96	8.40	33.62	8.34	33.18	8.36	36.32	7.94	33.46	6.94
全体	63.40	12.51	68.00	11.69	60.64	12.39	64.33	12.20	57.31	12.14

表-7 白川石と類似花崗岩の鉱物の面積割合

	白川石	稲田石	北木石	崇武 G603	ルブラン
長石	62.2%	56.4%	66.3%	67.4%	48.3%
石英	29.4%	37.8%	25.6%	25.1%	42.7%
雲母	8.4%	5.8%	8.1%	7.5%	9.0%

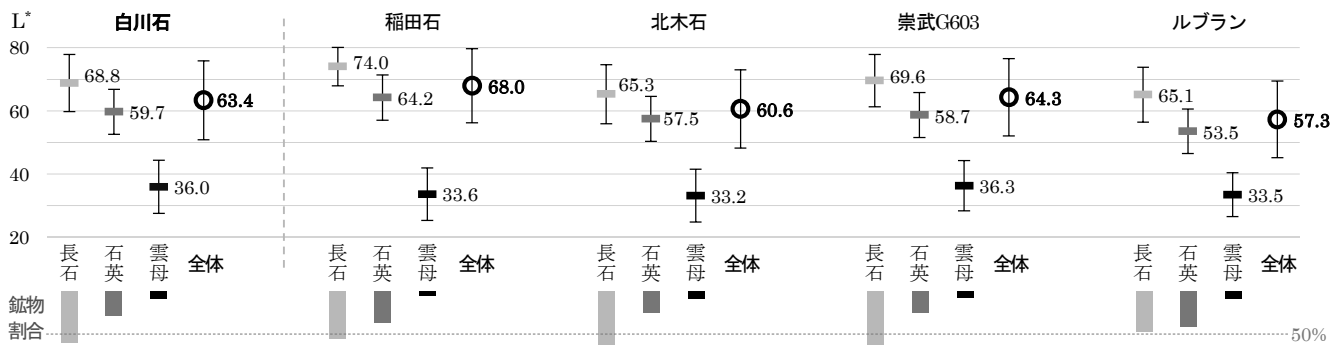


図-6 白川石と類似花崗岩の明度 (L^* の平均値±標準偏差) と鉱物の面積割合

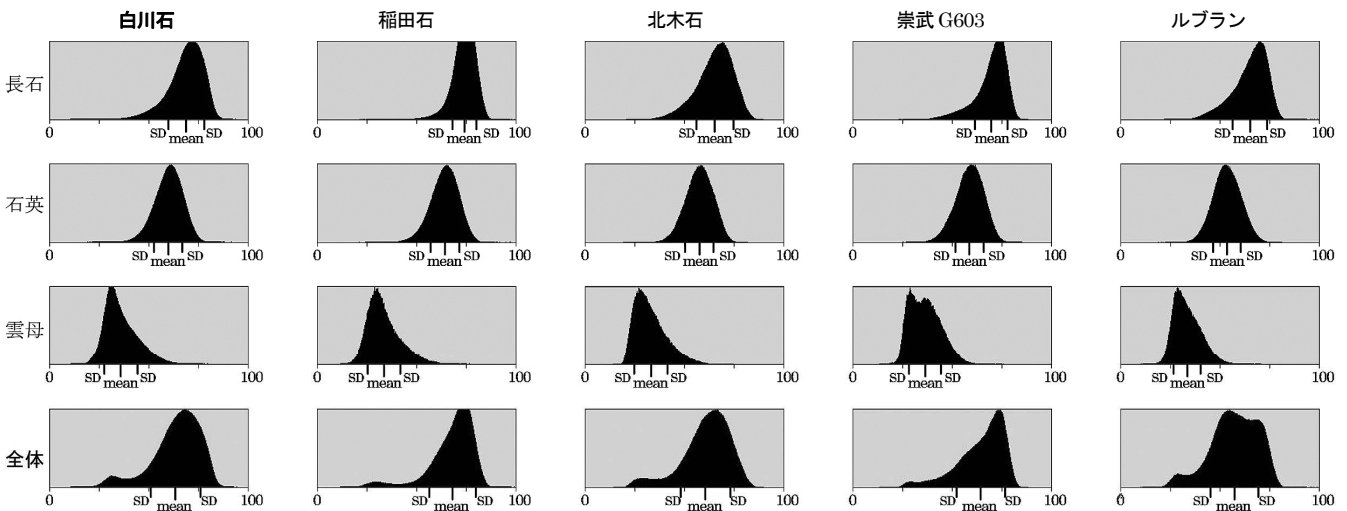


図-7 白川石と類似花崗岩の明度ヒストグラム (横軸: L^* , 縦軸: ピクセル数)

標準偏差は2.28以下であった。a*とb*が128~127の範囲にあるのに対し、表-5のa*とb*の値がすべて0付近に集中していることから、4類似花崗岩は白川石と共通して無彩色に近い可能性が示された。そのうち、北木石のa*とb*の平均値はもっとも0に近く、より無彩色に近い可能性が示された。

b*の平均値をみると、4類似花崗岩は石全体でも長石でも白川石より小さく、黄味が弱い傾向が示された。稲田石の雲母は2.65で、白川石と4類似花崗岩の雲母の中でもっとも大きく、黄味が強い傾向が示された。ルブランは石全体が-0.34で負の値が認められ、黄味がない可能性が示された。

2) 明度 (L*) と鉱物の面積割合

4類似花崗岩のL*の平均値と標準偏差を算出した結果(表-6)、石全体のL*の平均値をみると、稲田石は68.00で白川石より約4.6大きく、明度が高かった。崇武G603は64.33で白川石に近く、北木石は60.64で白川石に比べて明度が低かった。ルブランは57.31で白川石より約6.1小さく、明度ももっとも低かった。

鉱物別に面積割合をみると(表-7)、稲田石は長石が白川石の長石より5.8%少なく、石英が白川石の石英より8.4%多かった。また、北木石は長石が白川石の長石より4.1%多いが、各鉱物の面積割合が4類似花崗岩の中で白川石にもっとも近かった。崇武G603は長石が白川石の長石より5.2%多かった。ルブランは長石が白川石の長石より13.9%少なく、石英が白川石の石英より13.3%多かった。そして、4類似花崗岩の雲母は大差がなかったが、稲田石の雲母は白川石の雲母より2.6%少なかった。

鉱物別に明度をみると(図-6)、稲田石の長石は白川石の長石に比べ、L*の平均値が約5.3大きく、L*の標準偏差が小さく、明度が高くてばらつきが小さかった。また、稲田石の石英は白川石の石英に比べ、L*の平均値が約5.5大きく、明度が高く、その雲母は白川石の雲母よりL*の平均値が約2.3小さく、明度が低かった。北木石の各鉱物は白川石の各鉱物よりL*の平均値が2.2~3.5小さく、明度が低かった。崇武G603の各鉱物は白川石の各鉱物に比べ、L*の平均値の差が1未満であった。各鉱物の平均明度は4類似花崗岩の中で白川石にもっとも近かった。ルブランの長石、石英、雲母は白川石の長石、石英、雲母に比べ、L*の平均値がそれぞれ3.7、6.2、2.5小さく、各鉱物の明度が低かった。

なお、鉱物別に明度のヒストグラムをみると(図-7)、白川石は各鉱物のヒストグラムがすべて単峰性を持ち、明度が集中しており、各鉱物の色ははっきりしている特徴が示された。

稲田石の長石は白川石の長石に比べ、明度の分布が集中していた。北木石は各鉱物も石全体も明度分布が白川石にもっとも近かった。一方、崇武G603の雲母は明度分布が二山型となり、明度が分散し色がはっきりしていない特徴が示された。ルブランは石英の明度が低く、かつ石英の面積割合が多いため、石全体の明度分布が二山型となり、明度が分散し色が不鮮明となる特徴を持つことが推測される。

4. 考察

(1) 白川石と白川砂の色彩的特徴

以上の結果により、白川石は鉱物全体がほぼ無彩色であった。その色は6割以上の長石、約3割の石英、1割未満の雲母で表現され、長石と石英の明度が高く、雲母の明度が低かった。白川石は浅い基調色に黒が点在し、白黒が明確であることが推測された。張ら(2015)¹³⁾の聞き取り調査から得られた「透明感がある」といった白川砂の特徴は、半透明の石英で表現される透明感のほか、「無彩色で、かつ白黒がはっきりしている」という色の鮮明さにもつながると考えられる。

a*, b*の値を見ると、白川石は色度が非常に低いが、微かな黄味を帯びている傾向が示された。白川石は「風化しやすい」・「サビがつきやすい」²⁾ため、長石が白濁化し、黒雲母が茶色になりやすい。さらに日焼けや土の付着による変色の場合も含め、庭園に使われている白川石の石造品や白川砂は、黄味が本研究の結果より強く、そして年月を経ると、黄味がさらに強くなると想定される。小林(1985)の粒径5mm以下の白川砂は「黄の色相」を持っていたという研究結果²⁰⁾との一致性がみられた。先行研究が述べる白川石と白川砂の持つ「柔らかな白さ」¹⁸⁾とは、この黄味によるものであると考えられる。

花崗岩は研磨するほど、明度が低下する特徴がある²⁰⁾。本研究で得られた白川石の研磨面の明度L*の平均値に比べ、研磨せずに石造物に加工された白川石や白川石を砕いてできた白川砂は、明度が若干高いと判断できる。一方、本研究は砥石の粗さをおさえたため、その明度の差は小さいといえる。

また、本研究で得られた結果は、自然乾燥状態の白川石の色彩値であり、白川石と白川砂が雨水を含むと、石英がさらに透明になり、全体的な明度が低くなる。この「濡れ色」への変化も庭園観賞上の趣であると思われる^{18, 23)}。

採石場別にみると、鉱物成分の割合にばらつきがあった。そのうち、修学院採石場の白川石の石英は割合が低く、その明度は四明ヶ岳採石場の白川石より高かった。この結果は文献^{10, 11)}にみる、修学院の白川石は「石英の色が薄い」という記述と一致していた。また、修学院採石場の白川石は明度が高く、黄味が強く、色彩においてほかの採石場の白川石との差がみとめられた。一方、先行研究の鉱物成分の割合に関する結果^{20, 22)}にもばらつきがあった。

これらの石質の差異は、同じ北白川花崗岩地帯においても、花崗岩形成時点のマグマの成分や温度・冷却速度などの差異によるものと考えられる。また、山中越採石場は採石遺構が消滅し、試料を採取できなかったが、地理上で瓜生山採石場に近いため(図-1)、山中越から産出した白川石は色彩上、瓜生山採石場の白川石に近いと推測される。

(2) 白川石と類似花崗岩の比較からみる白川砂の適切な代替品

以上から、白川石は「柔らかい白さ」、「白黒がはっきりしている」という色彩的特徴が示された。白川石を比較の基準として、

表-8 類似花崗岩の色彩的特徴

	石全体		鉱物別			色彩的特徴のまとめ
	色度	明度 (白川石に比較)	色度	明度 (白川石の各鉱物に比較)	面積割合 (白川石の各鉱物に比較)	
稲田石	ほぼ無彩色	高い	ほぼ無彩色 雲母: 微かな黄味	長石と石英: 高い 雲母: 低い	長石: 少ない 石英: 多い 雲母: 少ない	・白川石より明度が高い。 ・白黒が白川石より明確である。
北木石	無彩色	低い	無彩色	各鉱物: 低い	各鉱物: 白川石に近い	・明度が低い、白川石に近い。
崇武G603	ほぼ無彩色	白川石に近い	ほぼ無彩色	各鉱物の平均明度: 白川石に近い。 雲母: 明度が分散している。	長石: 多い 石英: 少ない	・雲母の黒が不鮮明である。
ルブラン	ほぼ無彩色 黄味がない	低い。明度が分散している。	ほぼ無彩色	各鉱物: 低い	長石: 少ない 石英: 多い	・明度ももっとも低い。 ・白黒が不明瞭である。

4 類似花崗岩の色彩的特徴を表-8にまとめた。

稲田石は白川石に比べ、石全体も長石も石英の明度が高く、雲母の明度も面積割合も低く、白黒がより明確である可能性がある。北木石は白川石に比べ、より無彩色であるが、石全体も各鉱物も明度が低いが、鉱物の面積割合も明度分布も白川石に近い。

崇武 G603 は石全体の明度と鉱物の面積割合、そして各鉱物の平均明度において白川石に近い。しかし崇武 G603 の雲母の明度分布が白川石やほかの類似花崗岩の雲母と異なって分散しているため、その色が不鮮明である可能性がある。また、ルブランは白川石に比べ、石全体も各鉱物も明度が低く、石英の面積割合が高く、白黒が不明瞭である可能性がある。

4 類似花崗岩のうち、稲田石のみは白川石より明るく、「日本でもっとも白い花崗岩」³¹⁻³³⁾という評価に一致している。しかし、稲田石は明治以降、建築材として採掘されてきた石材で、明治以前の庭園に使われていなかった。それまでの造園石材において、白川石より白い花崗岩はほとんどなかったと考えられる。また、庭園観賞上、白川砂の「柔らかい白さ」と異なり、稲田石の石層は庭園の敷砂として白すぎると評価される可能性が高いと考えられる。

白川石も類似花崗岩も無彩色に近く、 b^* の平均値はほとんどが正の値を示しており、青味がなかった。張ら (2015)¹³⁾の聞き取り調査から得られた「青味を帯び、透明感がない」といった白川砂の代替品砕石の特徴は、 b^* が負の値となって青味を示すことではなく、白黒がはっきりしないため全体的にグレーにみえるということであったと考えられる。そこで、白黒がはっきりしていない崇武 G603 や、顕著に暗いルブランに比べ、北木石は白川石にもっとも近く、その石層は色彩上、白川砂の代替品としてもっとも適していると考えられる。

一方、造園材料としての白川石と白川砂の特徴は色彩のみならず、鉱物の分布状態や雲母の反射率、そして硬さや吸水率など、さまざまな要素につながるため、別の視点からの解明が期待される。また、白川石の類似花崗岩は、今回分析した4例のほか、外国産のものが多数存在する。本研究の色彩分析で用いたスキャナーは普及しており、AutoCAD と Adobe Photoshop も広く利用され、異なる石材のデータを重ねていくには便利であり、情報の蓄積が今後の課題となる。

なお、本研究は Adobe Photoshop を用いて各鉱物の明度 (L^*) と色度 (a^*, b^*) の平均値と標準偏差を分析したものであり、今後は各数量データに対して統計分析を行うことにより、より信頼性の高い情報を取得することが期待される。

5. まとめ

本研究は日本の白色系花崗岩の代表である「白川石」の色彩的特徴を解明し、その石層である「白川砂」という伝統的造園用砂利の代替品を検討するために、スキャナーと AutoCAD・Adobe Photoshop を用いて、得た白川石と4類似花崗岩の研磨面画像に対して、鉱物別に色彩分析を行った。

白川石は無彩色に近い一方、微かな黄味を帯び、柔らかい白さを示していた。その色は6割強の長石、約3割の石英と1割未満の雲母で表現され、白黒が明確である特徴が示唆された。

白川石に比べ、茨城県の「稲田石」は明度がより高く、白黒がより明確である可能性があるため、その石層が庭園の敷砂として白すぎると考えられる。中国の「崇武 G603」は雲母の色が不鮮明である可能性が示唆された。フランスの「ルブラン」は明度が低く、白黒が不明瞭である可能性が示唆された。岡山県の「北木石」は明度が低いが、色彩的に白川石にもっとも近く、その石層は白川砂の代替品としてもっとも適していると考えられる。

謝辞：(株)西村石灯呂店と(株)阪下石材商店には、花崗岩試料を提供・加工していただきました。心より御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 小林章 (1984) : 京都における造園用石材の地域性の研究 : 造園雑誌 47(3), 154-170
- 2) 尼崎博正 (1980) : 京都の古庭園における庭石の石質について : 京都芸術短期大学 瓜生 3, 30-38
- 3) 日本造園学会 (1978) : 造園ハンドブック : 技報堂出版 (株), 788-789, 917
- 4) 小山一郎 (1912) : 本邦産建築石材雑記 : 地質学雑誌(19), 477-478
- 5) 鈴木淑夫 (2005) : 岩石学辞典 : 朝倉書店 : 49-50
- 6) 服部仁 (2014) : 石材の基礎知識 (「月刊石材」別冊シリーズ) : (株) 石文社, 81-116
- 7) 中江勤 (1991) : 日本のみかみざ石産地について : 地質ニュース(441), 22-27
- 8) 石原舜三・瀧木輝一 (1991) : 日本の白みかみざ : 地質ニュース(441), 2-5
- 9) 北村援琴・秋里離島 (1735) : 築山庭造伝 (前編) 上, 石燈籠の図
- 10) 臨時議院建築局 (1921) : 本邦産建築石材 : 三菱会社, 50, 56-60
- 11) 上原敬二 (1955) : 庭石と石組 : 加島書店, 92, 173
- 12) 小林章 (1982) : 造園材料としての白川砂の研究 : 造園雑誌 46(2), 102-115
- 13) 張平星ほか (2015) : 京都の寺院における白川砂の利用と維持管理 : ランドスケープ研究 78(5), 497-500
- 14) 北村四郎ほか (1961) : 比叡山・その自然と人文 : 京都新聞社, 8-13
- 15) 張平星ほか (2016) : 京都東山北部における近代以降の白川石の産出場およびその変遷 : ランドスケープ研究 79(5), 437-442
- 16) 小山一郎 (1922) : 日本産土木建築石材 : 日本鉱業新聞社, 68, 77
- 17) 川勝政太郎 (1939) : 石造美術 : スズカケ出版部, 11
- 18) 邦光史郎 (1984) : 四季と風土 山紫水明のみやこ : 講談社, 147
- 19) 進士五十八 (2005) : 日本の庭園・造景の技とこころ : 中公新書, 111
- 20) 地質調査所 (1959) : 本邦産花崗岩質岩石の化学成分 : 工業技術院地質調査所, 154-155, 206-213
- 21) 木村克己ほか (1998) : 京都東北部地域の地質 : 地質調査総合センター, 35-40
- 22) 貴治康夫ほか (2008) : 比叡山花崗岩体の形成史と白亜紀火成活動史における位置づけ : 地質学雑誌 114(2), 53-69
- 23) 小林章 (1985) : 白川砂の色彩に関する研究 : 造園雑誌 28(5), 87-102
- 24) 西山賢一ほか (2011) : 色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法 : 応用地質 52, 62-71
- 25) 須藤定久 (2002) : スキャナーによる岩石類の観察 : 地質ニュース 574, 46-52
- 26) 中野聡志ほか (2012) : パーソナルコンピューターとスキャナーを利用した鉱物の色測定 : 滋賀大学教育学部紀要 62, 47-65
- 27) 飯島祥二ほか (2010) : 建築石材の色彩の計測に関する研究一環境構成要素である石材の色彩に関する基礎的データ : 日本建築学会大学講演梗概集 (北陸), 429-430
- 28) 浦野祐嗣ほか (2006) : デジタルカメラを用いた新しい色彩測定方法と建築材料用石材の色彩評価指標値の提案 : 土木学会論文集 C 62(4), 793-802
- 29) 西本昌司 (1996) : 画像処理ソフト「Adobe photoshop™」を用いた花崗岩質岩石のモード測定 : 岩鉱 91, 235-241
- 30) 木宮一邦 (1975) : 花こう岩類の物理的風化指標としての引張強度 : 地質学雑誌 81(6), 349-364
- 31) 飯島亮・加藤栄一 (1978) : 原色 日本の石 産地と利用 : 大和屋出版, 261pp
- 32) 全国建築石材工業会 (2016) : 原色 石材大事典 : (株) 誠文堂新光社, 58-206
- 33) 笹田政克 (1991) : 稲田みかみざ : 地質ニュース 441, 34-40
- 34) 辻本剛三ほか (2012) : 砂浜底質の色彩分析とその活用方法に関する基礎的研究 : 土木学会論文集 B2 (海岸工学) 68(2), 1456-1460
- 35) 鬼村雅和ほか (1997) : 地質調査・岩石研究のための新しいデジタル機器とソフトの応用 : 山口地学会誌 39, 5-11
- 36) 納谷嘉信 (1986) : 産業色彩学 : 朝倉書店, 104