

## 首里城古瓦等の理化学的研究

窯業室 照屋善義・花城可英・与座範弘・宜野座俊夫

### 1. 緒 言

首里城正殿の復元事業にあたっては、瓦類・木造・彩色・彫刻の各専門分野からも技術的検討が行なわれた。

筆者らは、首里城遺物に関する理化学的研究をはじめ、首里城正殿復元瓦素地の開発も試みた。沖繩の古瓦の研究や記述は、考古学・建築・窯業等多くの分野から検討されてきているが、理化学的研究に関する報告は少ない。

本研究は、首里城正殿跡の遺物をはじめ、大和系瓦と見做されている勝連城跡遺物、1986年発掘された古窯湧田焼跡の遺物、これらの古瓦に加えて近年の赤瓦等々について理化学的実験を行なったものである。また、実験の結果から古瓦の焼成法、原料の類似性等についても考察を加えたのでその結果について報告する。

### 2. 瓦の歴史概説

琉球最古の瓦は、浦添城跡から出土した「癸酉年高麗瓦匠造」銘入りの黒瓦である。この瓦は、高麗人による琉球製瓦か高麗製瓦を輸入したのか、また「癸酉年」が1153年、1273年、1393年説と解釈の分かれるところであるが、いずれにしろ高麗年間の高麗瓦である。

一方、勝連城跡などからは「大天」在銘瓦が出土している。この瓦は、瓦の巴文、宇瓦の唐草文があることから鎌倉期の大和系古瓦（14世紀後半）と見做されている。その後、同系列の技術で造られたと考えられる無銘の黒瓦が焼造されている。

15世紀のブランクの時代を経て16世紀になると明人瓦工渡嘉敷三良が明式瓦製法を導入（琉球国由来記）、瓦奉行所を設置（球陽）するなど盛んに瓦を焼造した。

赤瓦葺の記録は、1670年首里城正殿再建が最初であり、その後寺社仏閣、貴族、士族屋敷などに用いられるようになった。

壺屋で発見された「乾隆三年」（1738年）の年号入りの瓦は、現在の赤瓦の形態を示すもので壺屋のほか首里山川、首里鳥堀、浦添内間などに瓦窯跡が見られる。特に首里山川瓦屋（15代島袋朝稔氏）は、1709年首里城焼失に伴う改修工事の瓦を焼いたのをはじめ、乾隆11年には御拝領墓を建立するなど王府の保護を受けたという。

しかしながら瓦葺は、公共の建物や士族の家屋敷ぐらいのもので、それ以外の使用については明治22年頃まで認められなかった。禁制解除の明治後期、大正、昭和初期と庶民の住居にも瓦葺が多く見られ、南国沖繩の碧い海、青い空とシックい塗りの赤瓦屋根のイメージをとどめるまでになっていた。明治22年頃までは、首里・那覇を中心に焼かれた瓦も原材料の豊富な与那原地方で生産され

るようになった。

### 3. 試料と実験方法

8)  
図1に沖縄島に分布する古窯跡と供試瓦の産出地との位置関係を示す。

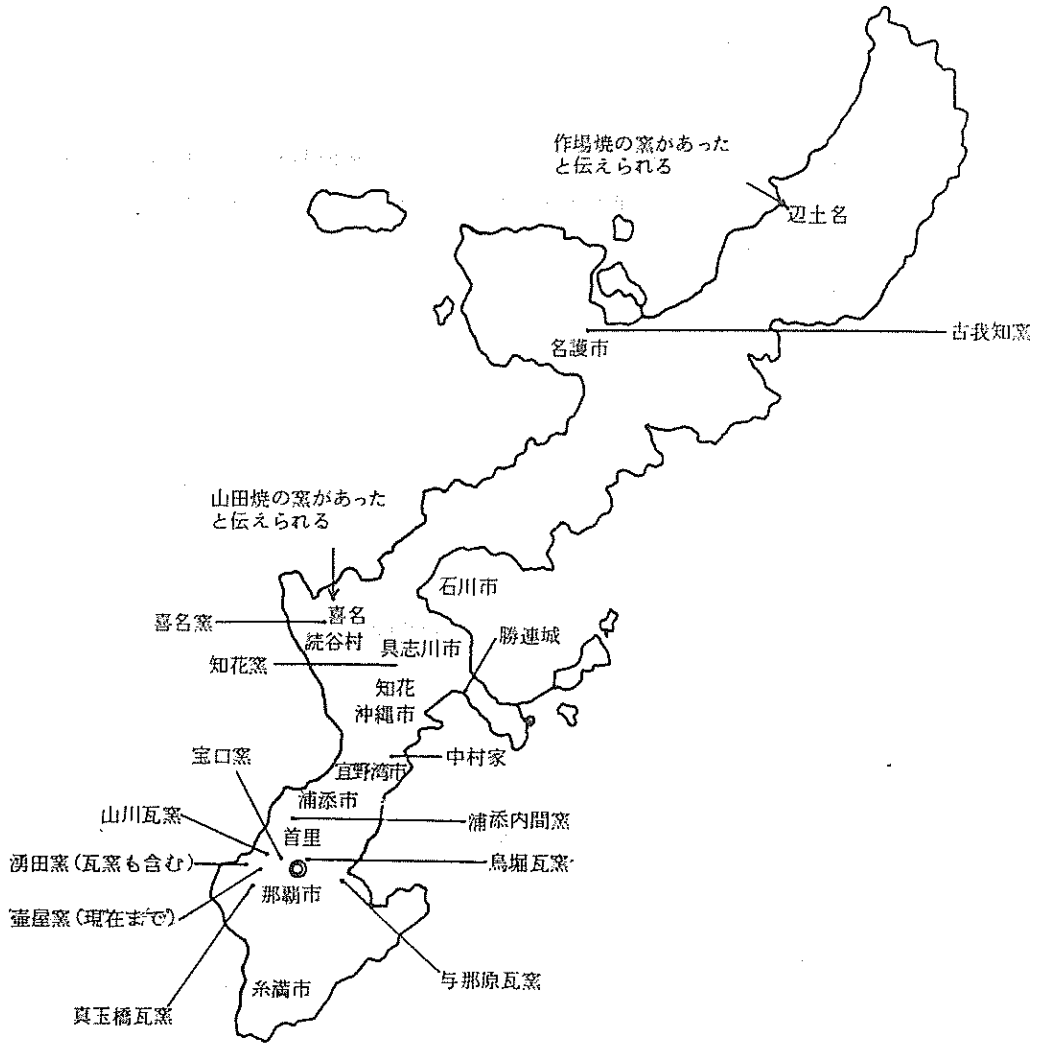


図1 沖縄島の古窯分布と供試瓦の産出地

また、写真1には、供試瓦の種類と形状を示す。これらの供試瓦のうち古瓦類は県教育庁文化課収蔵の発掘遺物の中から提供されたものである。

写真1に示すように古瓦の試料は、破片状のものが多く、瓦の形状を留めているのは近年の瓦だけである。

### 3.1 試料の前処理

図2に供試瓦の処理と研究のフローシートを示す。

試料は、まず110℃で2時間以上乾燥した。室温まで放冷したのち、水中に浸漬し超音波洗浄機で200分間洗浄した。この操作によって試料表面の漆喰や粘土の付着物が除去でき、供試瓦のコンタミネーションの影響を極力少なくするように処理した。

### 3.2 実験方法

#### 3.2.1 形状寸法

ノギスを用いて測定した。

#### 3.2.2 表面観察

肉眼と実体顕微鏡により、瓦の表裏面と断面の状態を観察した。

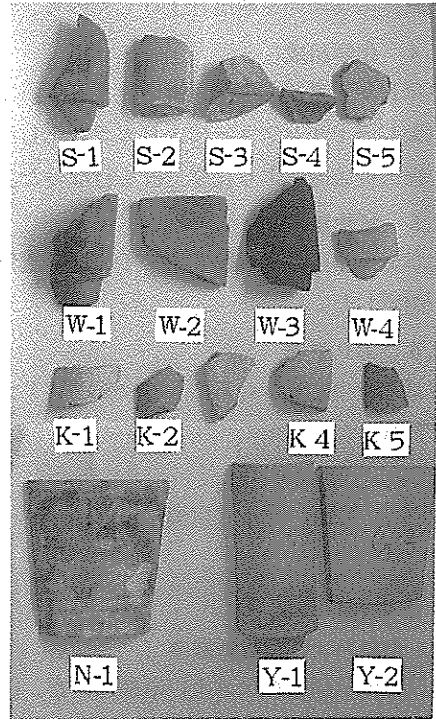


写真1 供試瓦の種類と形状

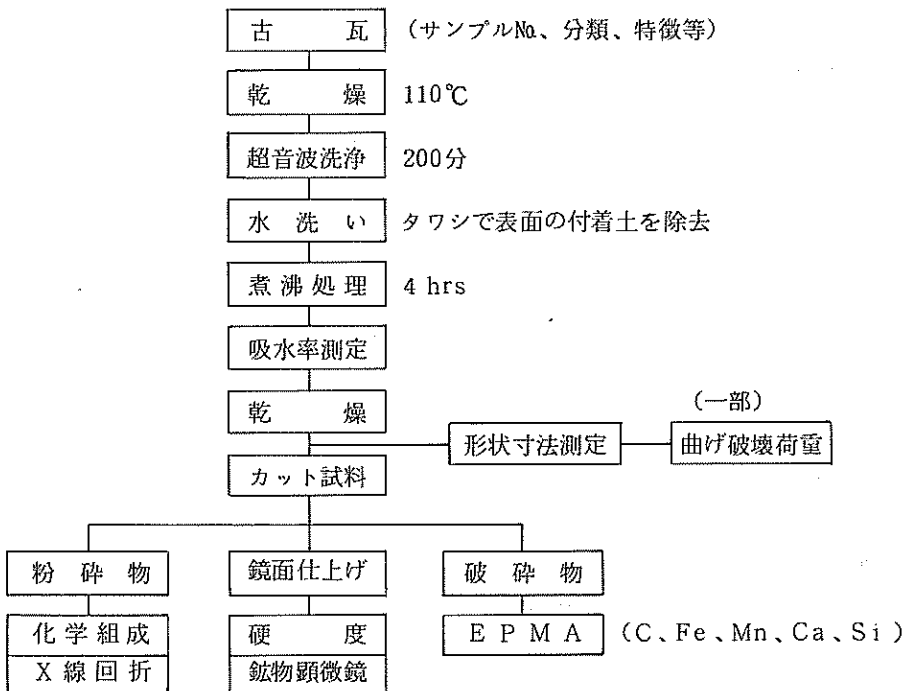


図2 試料の処理と研究フローシート

3.2.3 硬 度

供試体の切断面を研磨仕上げしたのち、モース硬度を測定した。

3.2.4 化学組成

供試瓦からダイヤモンドカッターを用いて破片を切り出し、ディスク振動ミルで微粉碎し、理学電気製ビードサンプラーによりガラス化した。このガラス試料を用いて理学ガイガーフレックス蛍光X線分析装置により化学分析を行なった。

3.2.5 鉱物組成

化学分析用の微粉碎物を用いて、理学電気製ガイガーフレックス回折X線装置により粉末X線回折を測定した。

3.2.6 EPMA

供試瓦の薄片について、X線マイクロアナライザー（島津製作所製EPM-810V型）により観察を行なった。

3.2.7 吸水率

JIS A 5208 粘土瓦試験法に準拠して行なった。

4. 結果および考察

4.1 肉眼および顕微鏡観察

供試瓦の分類と特徴および顕微鏡観察、硬度等の測定結果を表1に示す。

表1 供試瓦の種類と特徴

区分	試料No	分類	外形	厚さ(㎜)	表面の特徴	断面の特徴	裏面の特徴	顕微鏡観察	硬度
首里城 正殿遺物	S-1	明式(中~新) 17~18世紀初頭	丸瓦	19.0	灰黒色・気孔・漆喰	灰色・気孔	灰色・灰黒色・布目	石英・長石・雲母・輝石 凝灰礫	4
	S-2	明式(中~新) 17~18世紀初頭	丸瓦	15.4	灰黄色・漆喰	灰色・気孔・黒色斑点	黄灰色・布目	石英・長石・雲母・輝石 凝灰礫・砂岩	3~4
	S-3	明式(中)18世紀初頭	軒平瓦	15.6	黄褐色・気孔・漆喰	灰色・気孔	漆喰	石英・長石・雲母・輝石 凝灰礫・砂岩	4
	S-4	明式(古)17世紀後半	軒平瓦	—	灰黒色	内部黒色外面黄灰色・気孔・黒色斑点	黄灰色・黒色斑点	石英・長石・雲母・輝石 砂岩	3~4
	S-5	大和系(14世紀後半)	平瓦	21.2	黄灰色・凝灰質・押型 紋様	黒色・気孔	暗灰色・気孔	石英・長石・雲母・凝灰 礫・砂岩	4
湧田窯 遺物	W-1	明式(?)	丸瓦	18.3	灰色	灰色・気孔・黒色斑点	黒と灰色・鉄錆布目	石英・長石・雲母・凝灰 礫・砂岩	4
	W-2	明式(?)	平瓦	20.4	灰色・黒色斑点	灰黒色芯・気孔・黒色斑点	灰色鉄錆布目黒斑点	石英・長石・雲母・輝石 礫・砂岩	4
	W-3	明式(?)	丸瓦	18.4	黒色・気孔	赤褐色芯・気孔	黒色	石英・長石・雲母・輝石 砂岩	6
	W-4	近代(持込瓦?)	丸瓦	15.0	赤褐色・気孔	赤褐色・気孔・黒色斑点	布目	石英・長石・雲母・輝石 砂岩	2
勝連城 遺物	K-1	大和系(14世紀後半)	丸瓦	17.4	淡褐色・押型紋様	内部灰黒色外面淡褐色・ 気孔	淡褐色	石英・長石・雲母・凝灰 礫・石灰・砂岩	5
	K-2	大和系(14世紀後半)	丸瓦	17.5	灰色・押型紋様	灰色・気孔	灰色	石英・長石・雲母・凝灰 礫・石灰・砂岩	5
	K-3	大和系(14世紀後半)	平瓦	20.0	淡褐色・白斑点・気孔	灰色・気孔	淡褐色	石英・長石・雲母・凝灰 礫・石灰・砂岩	4
	K-4	大和系(14世紀後半)	丸瓦	19.2	淡褐色・気孔	内部灰黒色外面淡褐色・ 気孔	淡褐色竹紋様	石英・長石・雲母・凝灰 礫・石灰・砂岩	5
	K-5	大和系(14世紀後半)	平瓦	20.8	灰色・押型紋様・気孔	内部黒色外面淡褐色・ 気孔	灰色・気孔	石英・長石・雲母・凝灰 礫・石灰・砂岩	5
中村家	N-1	明式(明治)	平瓦	14.6~17.5	赤褐色・気孔		漆喰・気孔・布目	石英・長石・雲母・石灰 砂岩	2
51年製瓦 与那原町	Y-1	プレス(現代)	丸瓦	18.1	暗褐色・白華		白華	石英・雲母・石灰・砂岩	2
	Y-2	押出(現代)	平瓦	18.0	暗褐色・白華		白華	石英・雲母・石灰・砂岩	2

※ 首里城、湧田古窯、勝連城遺物瓦の分類及び編年は、県立博物館主幹 当間嗣一氏による。

首里城正殿遺物の供試瓦は、丸瓦2個、軒平瓦2個それに平瓦1個である。供試瓦S-5は、大和系平瓦で首里城正殿遺物のI期に相当する14世紀後半の古瓦である。供試瓦S-1・S-2・S-3・S-4は、首里城正殿遺物のV期に相当する明式瓦である。これらの瓦もS-4が17世紀後半、S-3が18世紀初め、S-1とS-2はS-3に近い時代のものとそれぞれ推定されている。瓦表面は、灰色または淡褐色を呈し、漆喰の付着が見られる。

湧田古窯供試瓦は、17世紀後半の明式瓦と考えられているが、発掘調査によって詳細な調査報告が待たれている。供試瓦の種類は、丸瓦3個と平瓦1個である。そのうち供試瓦W-1とW-2は灰色、W-3は黒色、W-4だけが赤瓦である。この赤瓦は、遺跡外から持ち込まれた可能性がある、と指摘されている。漆喰等の付着は見られない。

勝連城跡遺物の供試瓦は、14世紀後半の大和系古瓦である。丸瓦3個と平瓦2個の供試瓦であるが、K-1、K-3、K-4が淡褐色瓦、K-2とK-5の供試瓦は灰色瓦である。漆喰の付着は見られない。

中村家の<sup>10)</sup>供試瓦は、葺換工事の際提供された平瓦である。明治初期ごろ製造された明式の赤瓦である。

与那原瓦の供試瓦は、工業試験場に保存されていた昭和51年頃の丸瓦と平瓦である。赤瓦の表面には、白華(スカム)が見られる。

首里城正殿、湧田古窯、勝連城跡、中村家のそれぞれの供試瓦は、手造り時代の瓦であって、表面仕上げが粗く、裏面にも叩きや布目があるなど手造りの跡が明瞭に残っている。与那原瓦は機械生産のいわゆるプレス瓦であり、表面が滑らかである。

写真2は、実体顕微鏡による供試瓦の断面図である。顕微鏡下での断面の状況は、概略次のとおりである。

首里城正殿供試瓦のS-1、S-2、S-3の断面図は灰色である。またS-4とS-5の断面図は黒色芯を呈している。断面には、石英・長石・雲母・輝石・凝灰質礫・砂岩礫と思われる鉱物が観察できる。

湧田古窯供試瓦の断面図は、W-1が灰色、W-2黒色、W-3赤色芯、W-4赤褐色とそれぞれ異なった呈色を示している。断面には、首里城正殿供試瓦と類似した鉱物種が確認できる。

勝連城跡供試瓦は、いずれも黒色芯を呈し、顕微鏡下では、石英・長石・雲母・輝石・凝灰質礫砂岩礫に加えて、表面に石灰石が確認できることが、他の古瓦と異なっている。

中村家および与那原瓦の断面は、表面と同じ赤褐色を呈し、石英・雲母・長石・石灰石・砂岩礫などの鉱物が観察できる。

一般的に古瓦の断面は、大きな閉気孔があり、粗相になっているが、これは人力による土練りのためと考えられる。また、石英や凝灰質礫、砂礫など比較的大きな鉱物が残留するなど、使用された原料が比較的粗目の原土であったことを示している。

原料が単味で使用されている場合、原土中の鉱物種は粘土の生成や地質環境を裏付ける重要な指標ともなるが、二種以上の配合素地ともなると、使用されている個々の原土を推定することは困難である。さらに供試瓦のように一担熱処理を受けた焼成素地から原料粘土を推定することは、ますます困難が伴ってくる。従って、古瓦等の供試瓦が単味素地か配合素地かを明らかにすることはできない。現在の与那原瓦においても、クチャ単味とクチャに砂質粘土を配合している工場があつて

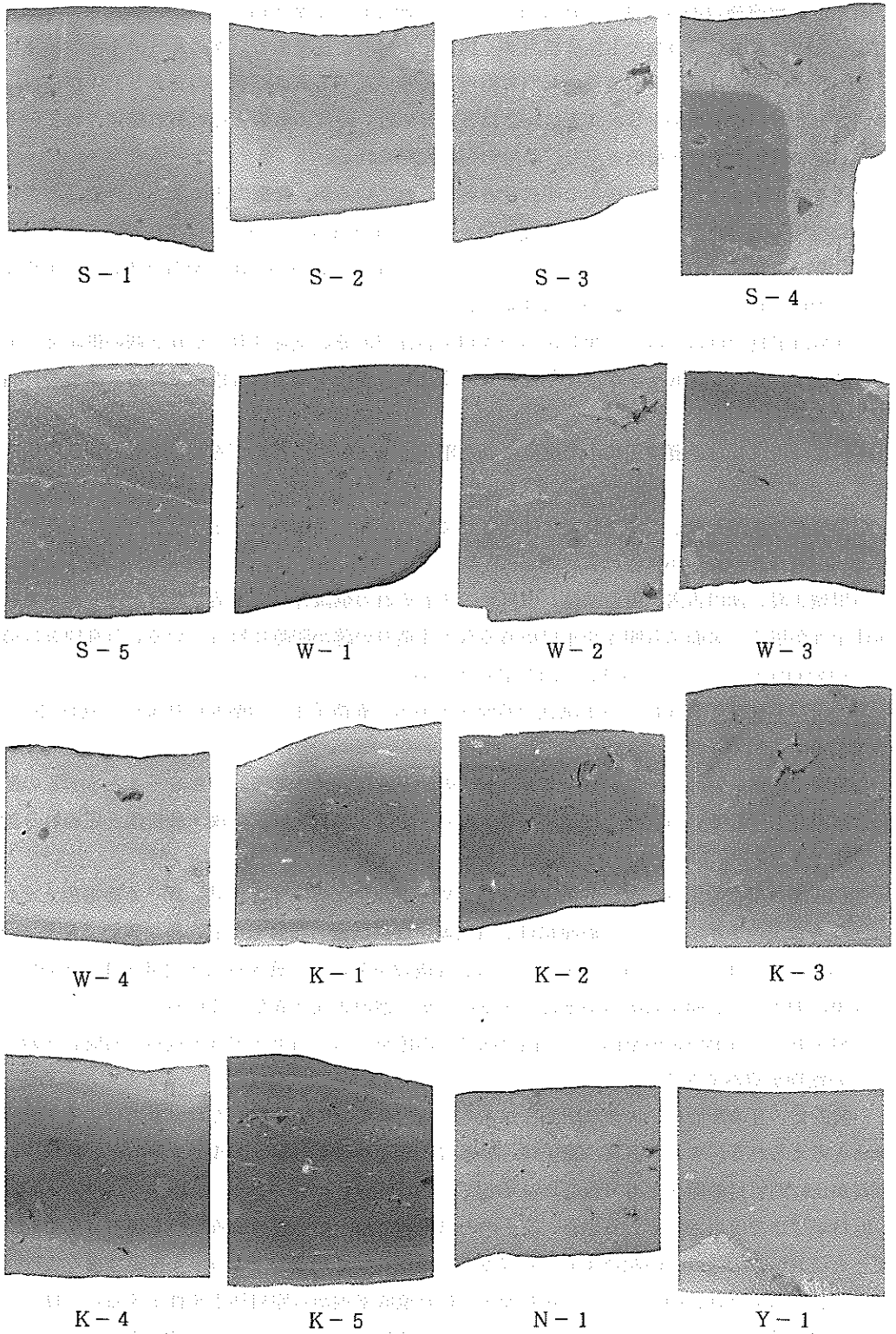


写真2 供試瓦の断面図

必ずしも定まっていない。

いま、供試瓦が単味原料の焼成素地であることを前提にして考察を試みると、供試瓦間には系統的にいくつかの違いが見られる。首里城供試瓦と勝連城供試瓦は、鉱物種が類似することから、同系統の粘土が使用されたものであると考えられるが、勝連城供試瓦表面には、貝化石などの石灰石が付着するなどの違いがある。当間によれば、この石灰石は、平瓦を一枚一枚成形する時の剥離材として使用された可能性が強いとしている。石灰石が剥離材とすれば、両瓦の素地は、同一系統の粘土と見做すことができる。

断面中に石灰石を含む中村家供試瓦と与那原供試瓦の相互間には、長石と石灰石の量的な違いが見られるなど、それぞれ独立した系統の粘土であることを示している。

古瓦の硬度は、現在の瓦と比較して全体的に硬度が高い。すなわち、中村家瓦や与那原瓦が硬度2（石膏相当）程度の硬さを示すのに対し、古瓦は、硬度4（蛍石相当）ないしそれ以上の硬度を示す瓦もある。

#### 4.2 化学組成と瓦素地の類似性

表2に供試瓦の化学組成を示す。

表2 供試瓦の化学組成

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig. Loss
S-1	65.4%	19.0%	8.68%	1.00%	1.20%	1.18%	2.48%	0.33%	0.58%
S-2	64.8	19.3	8.33	0.99	0.96	1.34	2.69	0.49	1.12
S-3	65.7	17.3	7.60	0.97	1.74	1.29	2.41	0.33	2.67
S-4	63.4	17.5	8.23	0.95	1.34	1.16	2.24	0.10	5.06
S-5	69.2	14.7	5.89	0.85	1.41	1.13	2.17	0.49	4.21
W-1	64.1	19.4	9.53	1.01	0.86	1.28	2.55	0.12	1.15
W-2	65.3	17.7	7.84	0.96	1.24	1.26	2.42	0.31	2.96
W-3	65.8	19.2	8.62	1.00	0.74	1.28	2.77	0.10	0.48
W-4	62.3	21.2	9.74	1.08	0.72	0.97	1.89	—	2.06
K-1	65.2	19.8	7.72	1.01	1.16	1.31	2.56	0.32	0.88
K-2	65.1	20.2	8.00	1.01	1.03	1.30	2.68	0.11	0.57
K-3	65.0	20.3	7.96	1.00	1.04	1.31	2.73	—	0.57
K-4	64.2	19.6	8.54	1.01	1.24	1.35	2.62	0.17	1.22
K-5	65.4	19.9	7.80	1.02	1.12	1.30	2.61	—	0.84
N-1	68.5	17.7	7.57	0.88	0.54	1.10	2.43	—	1.31
Y-1	63.8	17.0	6.52	0.86	4.81	2.09	3.33	0.87	0.70
高麗瓦片(㉜)	66.9	17.0	8.10	1.02	0.53	1.88	2.54	1.04	1.04
湧田窯周辺 採集瓦片(㉝)	67.8	17.0	7.40	1.08	0.77	1.56	2.06	0.64	1.46
赤瓦片(㉞)	60.4	20.4	12.2	1.16	0.52	1.19	2.14	0.46	1.64

表中の試料（あ）、試料（お）及び試料（こ）は、杉光らの分析結果である。試料Jは、戦後の一時期まで瓦原料として使用していた、沖縄島南部のジャーガルの分析値である。

大森らは、多賀城跡古代瓦の化学分析値を $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{第三成分} (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O})$ の3成分にプロットした場合、供試瓦の製造時期と瓦窯に大きな相違があるにもかかわらず、全試料が、 $\text{SiO}_2$  70%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  20%、第三成分10%を中心とする狭い領域に集中し、化学組成がほぼ類似する事実を示した。

図3の三角座標に、沖縄の供試瓦の $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{第三成分}$ の関係を示す。

点線で囲んだ領域（14試料ある）は、ほぼ化学組成が類似する供試瓦と推定されるが、首里城S-5、湧田W-4、中村家N、与那原Y、赤瓦片（こ）、ジャーガルJの相互間には、明らかに成分の違いが見られ、異種異質の原料が使用されている可能性が強い。

首里城S-5の化学組成は、同じ首里城供試瓦と比較して珪酸分が高いため砂質粘土であり、鉄分も少ない粘土であることを示している。湧田W-4は、アルミナ分が高く、鉄分も高いため、他の湧田古窯瓦と比較してより粘土質の原料であることを示している。この湧田瓦W-4の化学組成の結果は持ち込まれた瓦の可能性を裏付けている。

明治時代の瓦原料は、沖縄本島の南部層いわゆるジャーガルが利用されたものと考えたが、中村家Nが、与那原YやジャーガルJと異質の化学組成を示すのは興味深い結果である。ジャーガルJと赤瓦片（こ）とは、ほぼ同質の原料であることを示している。高麗瓦（あ）が、首里城や湧田古窯の供試瓦と同じ化学組成の領域に入るのは、注目すべき結果である。

### 4.3 X線回折と焼成温度

東村は、土器の焼成温度を推定するのに、X線回折法により検討している。この手法は、土器などのように一担加熱を受けた試料についてX線回折スペクトルを測定し、スペクトルの変化から焼成温度を推定する方法である。

例えば、イライトは950℃までしかX線回折ピークは存在しないので、イライトの回折ピークが観察されたならば、950℃以下の焼成温度である。また、斜長石は1,100℃までしかピークの存在は確認できないので、斜長石の回折線が認められれば、1100℃以下の焼成温度とみなすことができる、とする論拠である。

図4シリーズは、供試瓦のX線回折図である。以下では、X線回折図と焼成温度との関係を全供試瓦について考察する。

#### 首里城S-1

石英、イライト、微斜長石のほか僅かのアノーサイトまたはゲーレナイトが確認できる。イライトの001 (10Å)面のピークが僅かに確認できることから、焼成温度は950℃前後と考えられる。

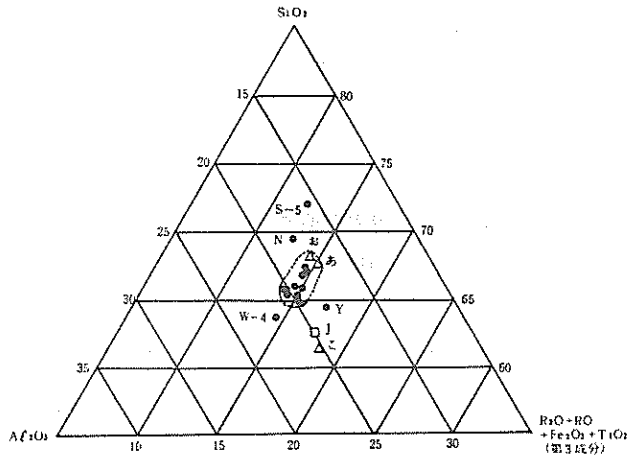


図3 供試瓦の化学組成と三角座標



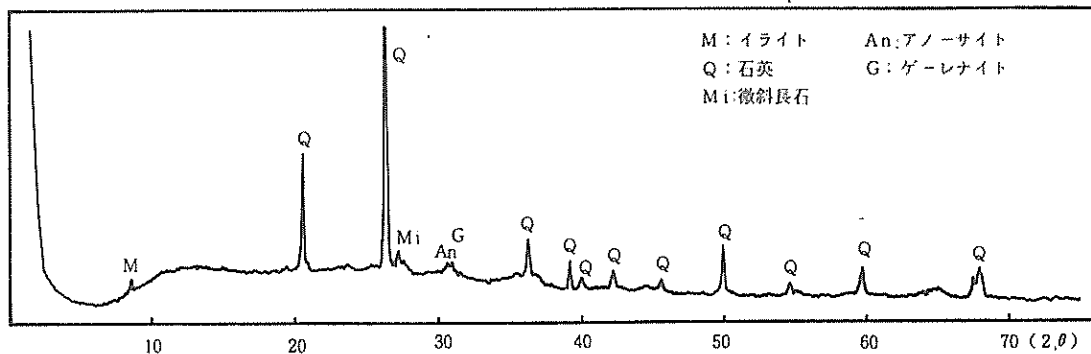


図4-1 S-1のX線回折図

首里城S-2

石英、イライトのほか微斜長石、曹長石、アノーサイト、ゲーレナイトなどの僅かなピークが確認できる。

イライトの001 (10Å) が明瞭であるほか、002 (5.0Å) と011 (4.5Å) のピークが残存することから、S-1よりも低い900°C前後の焼成温度が推定できる。

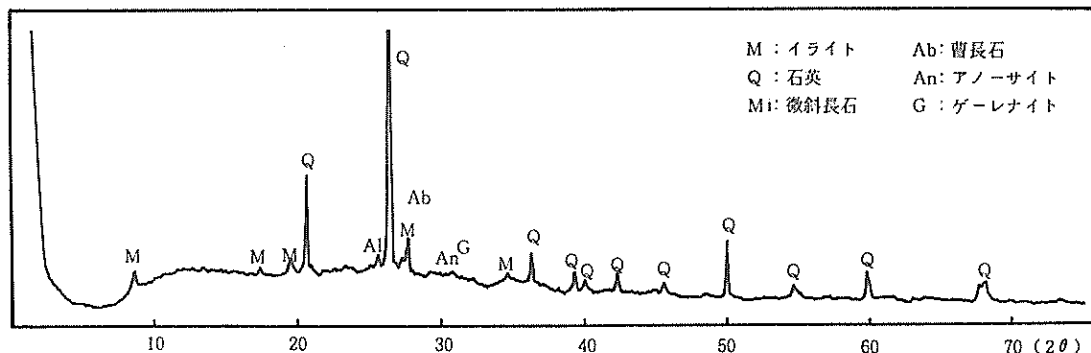


図4-2 S-2のX線の回折図

首里城S-3

石英、イライトのほか、僅かの微斜長石や曹長石が確認できる。イライトのピークは、S-2より明瞭に残存しており、焼成温度は900°C前後と考えられる。

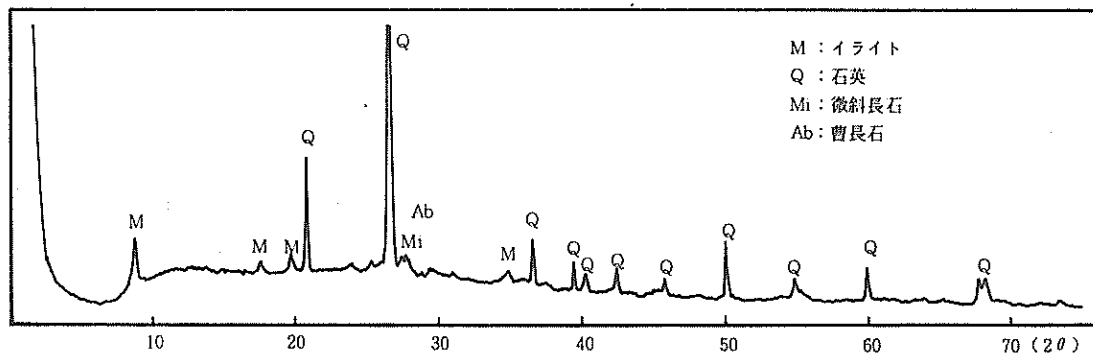


図4-3 S-3のX線回折図

首里城 S-4

石英、イライト、微斜長石、曹長石の存在が確認できる。イライトの回折ピークも S-3 と同程度に存在しており、焼成温度は同程度の 900°C 前後と考えられる。

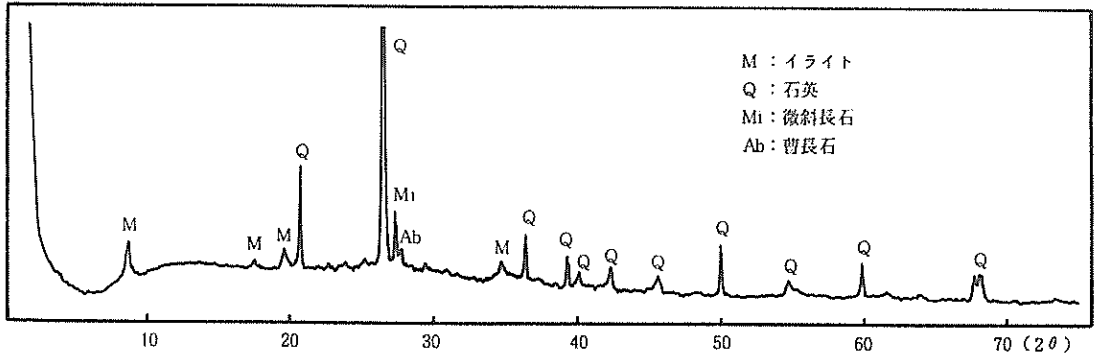


図 4-4 S-4 の X線回折図

首里城 S-5

石英、イライトのほか微斜長石、曹長石が確認できるほか、ウユスタイト (FeO) の存在を示すピークが発現している。イライトの回折線が、S-3 と同程度に残存しており、焼成温度は 900°C 前後と考えられる。

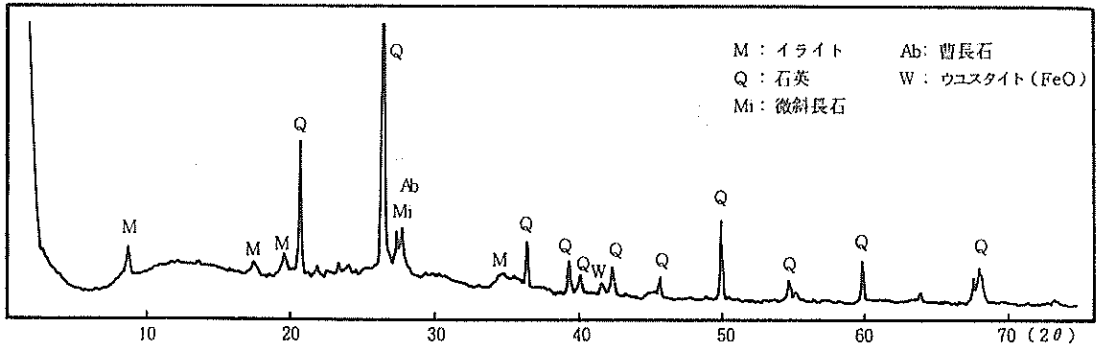


図 4-5 S-5 の X線回折図

湧田古窯 W-1

石英、イライトのほか斜長石のピークが確認できる。イライトの 001 (10 Å) は明瞭であるが、002 (5.0 Å) と 011 (4.5 Å) のピークが消失する傾向にあることから、焼成温度は 900°C 強と考えられる。

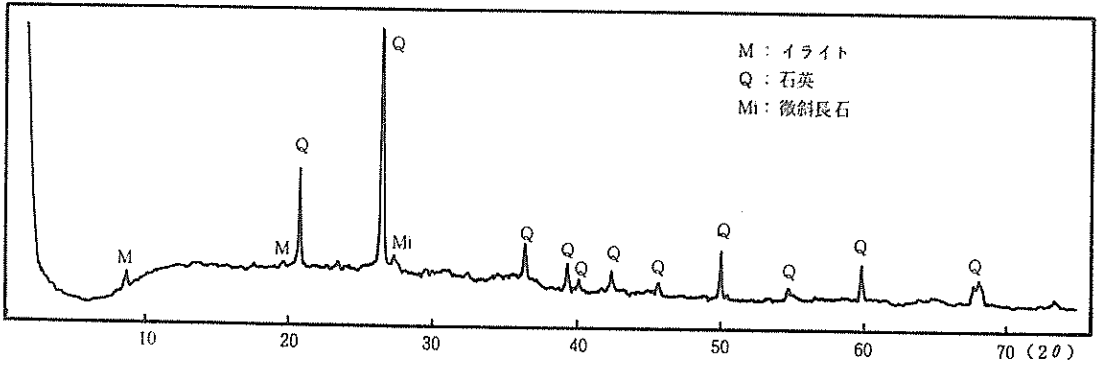


図4-6 W-1のX線回折図

湧田古窯W-2

石英、イライトのほか、微斜長石、曹長石が確認できる。イライトの回折線がW-1より明瞭であることから焼成温度はW-1より低く、900℃前後と考えられる。

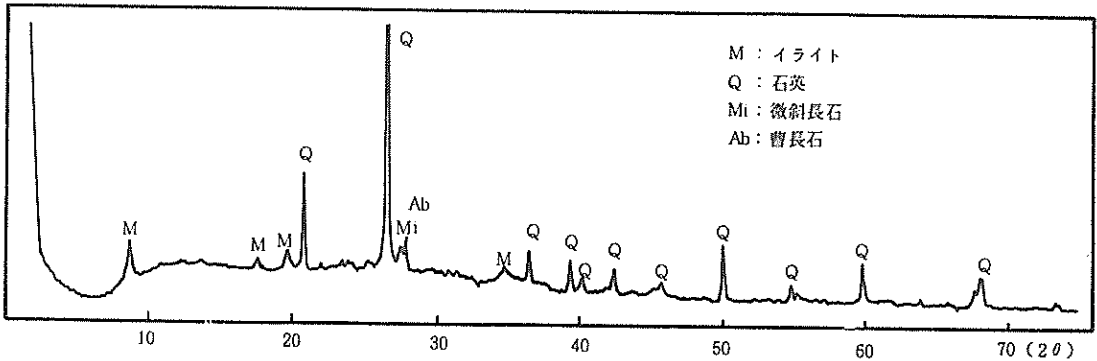


図-7 W-2のX線回折図

湧田古窯W-3

石英と微斜長石のほか、アノーサイト、ゲーレナイトが出現している。また鉄化合物のヘマタイト ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )とマグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )のピークが確認できる。鉄(Fe)のピークも僅かながら確認できる。イライトの001 ( $10\text{\AA}$ )が消失していることから、950℃~1,000℃の焼成温度であり、おそらく1,000℃前後と推定される。

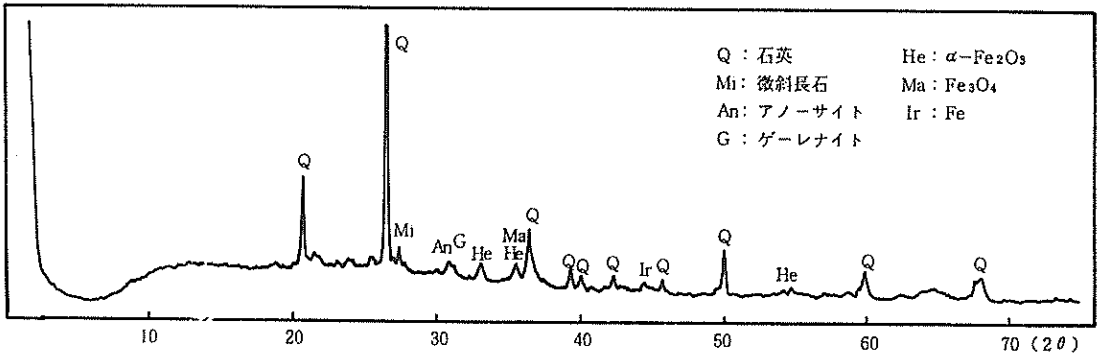


図4-8 W-3のX線回折図

湧田古窯 W-4

石英、イライト、微斜長石のほか、ヘマタイトとマグネタイトが確認できる。イライトの 001 (10 Å) と 011 (5.4 Å) が明瞭であることから、焼成温度は 900 °C 前後と考えられる。

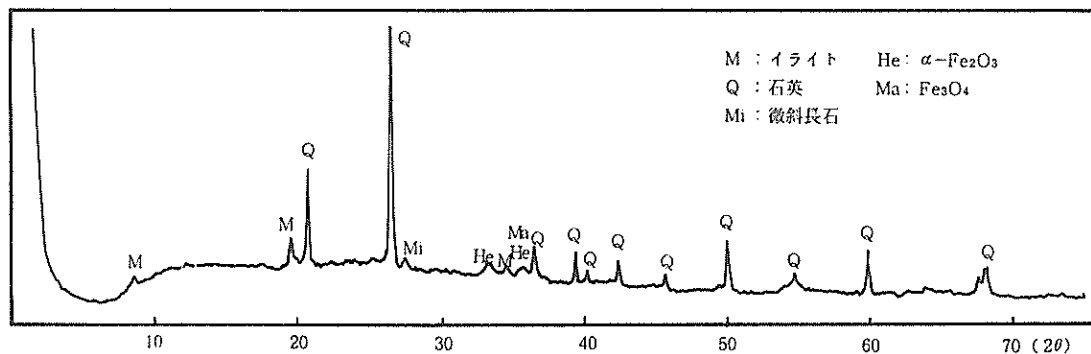


図 4-9 W-4 の X線回折図

勝連城 K-1

石英、微斜長石、カリ長石のほか、ゲーレンナイト、アノーサイト、鉄 (Fe) が僅かに確認できる。また、カルサイトのピークが認められるのが特徴的である。イライトの回折線がすべて消失していることから、焼成温度はおおよそ 1,000 °C と推定される。

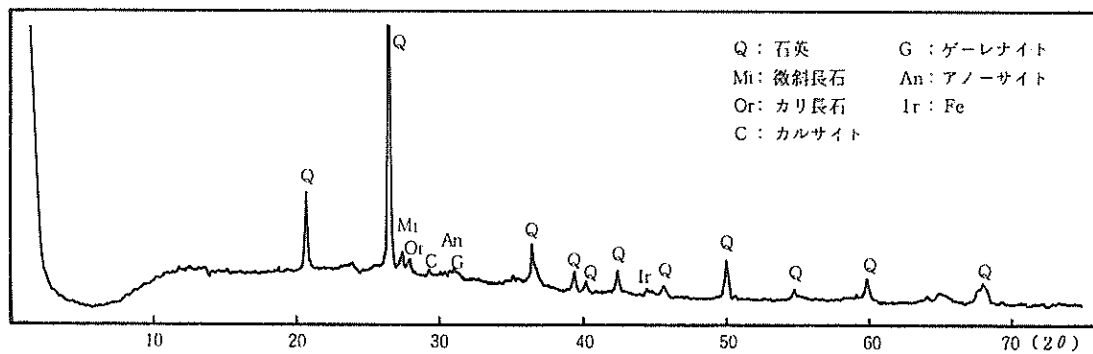


図 4-10 K-1 の X線回折図

勝連城 K-2

石英、微斜長石、ゲーレンナイト、アノーサイトのほか、僅かのマグネタイトとカルサイトが確認できる。イライトの回折線がすべて消失していることから、K-1 と同程度の焼成温度 1,000 °C が推定される。

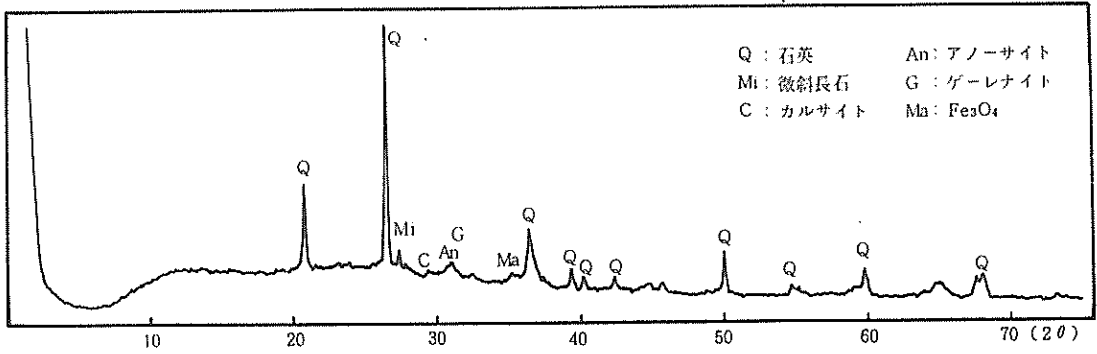


図 4 - 11 K-2 の X 線回折図

勝連城 K - 3

石英、微斜長石、曹長石、カリ長石と若干のゲーレナイト、アノーサイト、鉄 (Fe) のピークが認められる。カルサイトのピークは消失している。イライトの回折線がすべて消失しており、さらにカルサイトの回折線も認められないことから、1,000 °C 強の焼成温度と考えられる。

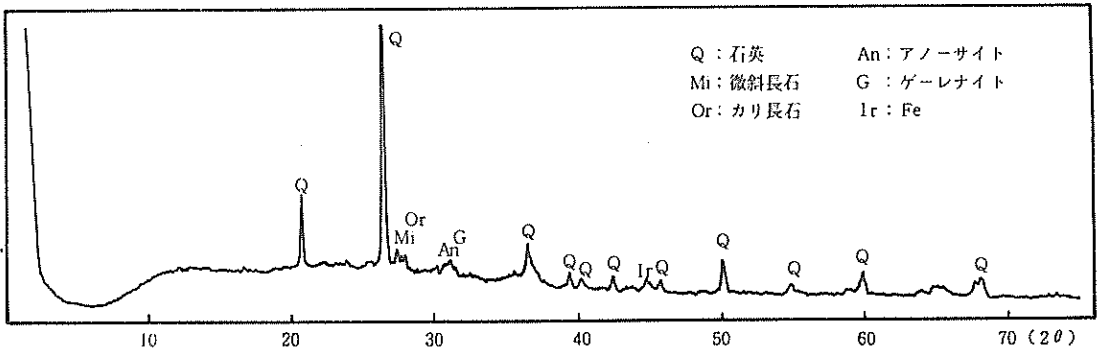


図 4 - 12 K-3 の X 線回折図

勝連城 K - 4

石英、微斜長石、ゲーレナイトのほか若干のカルサイトが確認できる。イライトの回折線はすべて消失していることから 1,000 °C 程度の焼成温度が推定される。

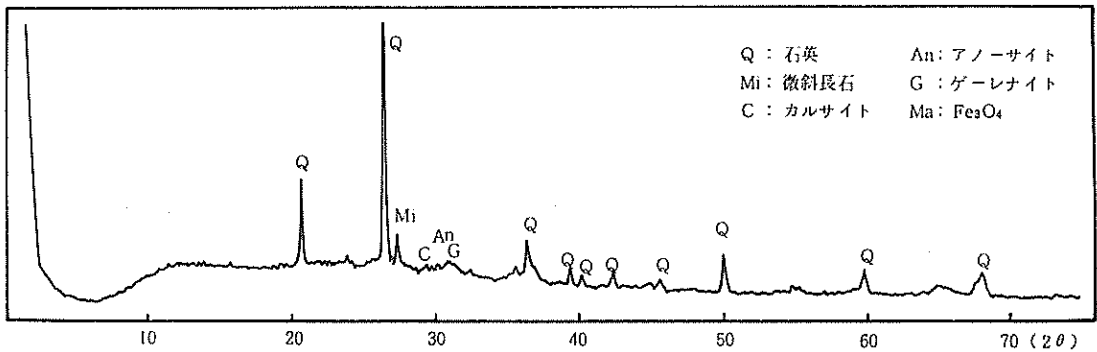


図 4 - 13 K-4 の X 線回折図

勝連城 K-5

石英、微斜長石、アノーサイト、ゲーレンナイトが認められるほか、金属鉄の特徴線も認められる。イライトの001 (10 Å) のピークが完全に消失していることから1,000 °C程度の焼成温度が推定できる。

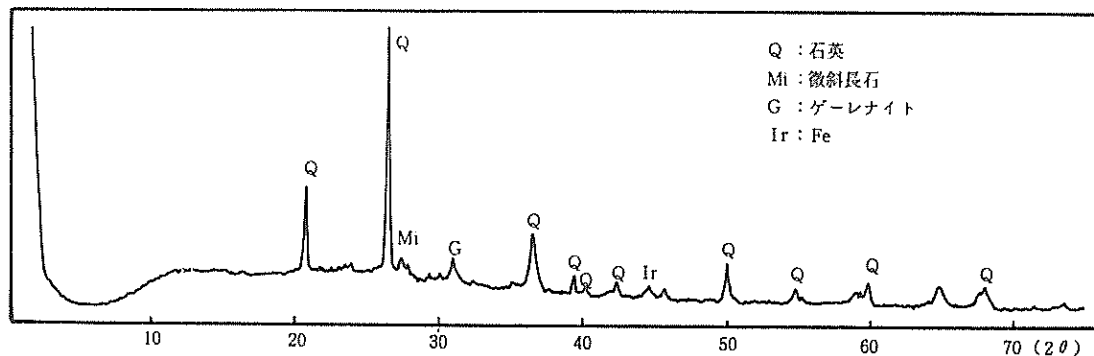


図4-14 K-5のX線回折図

中村家 N

石英、イライト、微斜長石と若干のカルサイトが認められるほか、明瞭なヘマタイトが確認できる。イライトの001 (10 Å) のピークが、若干残っているため950 °Cに近い焼成温度と考えられる。

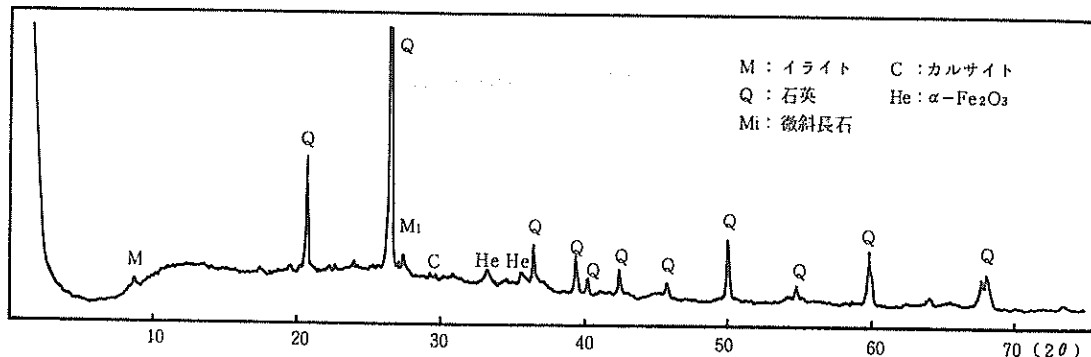


図4-15 N-1のX線回折図

与那原 Y

石英、イライト、微斜長石、曹長石、アノーサイト及びカルサイトが認められる。また鉄化合物としてヘマタイトとマグネタイトのピークが確認できる。イライトの回折ピークが若干残留することから、焼成温度は950 °C程度と考えられる。

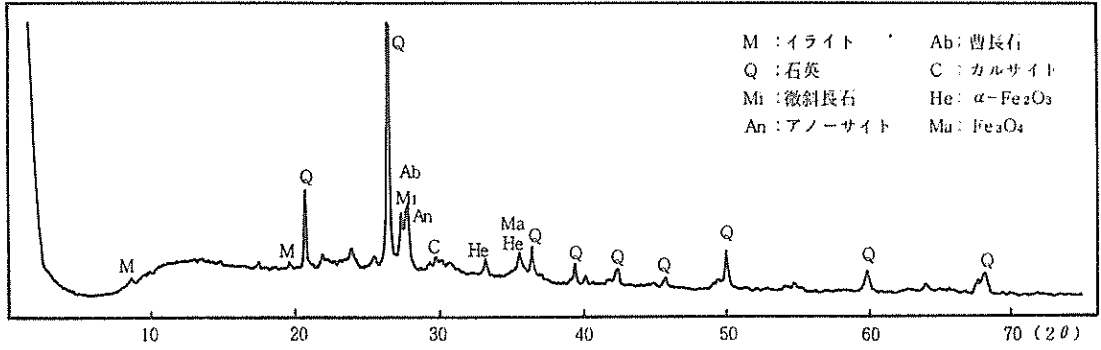


図 4-16 Y-1 の X線回折図

全供試瓦の X線回折と組成鉱物の結果をまとめて示したのが表 3 である。

表 3 供試瓦の組成鉱物等

区分	試料No.	外形	イライト	石英	微斜長石	アノーサイト	ゲーレンナイト	曹長石	FeO ウュスタイト	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ヘマタイト	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> マグネタイト	Fe 鉄	カルサイト
首里城 正殿遺物	S-1	丸瓦	△	◎	△	△	△	×	×	×	×	×	×
	S-2	丸瓦	△	◎	△	△	△	○	×	×	×	×	×
	S-3	花瓦	○	◎	△	×	×	△	×	×	×	×	×
	S-4	花瓦	○	◎	○	×	×	△	×	×	×	×	×
	S-5	平瓦	○	◎	○	×	×	○	△	×	×	×	×
湧田窯 遺物	W-1	丸瓦	△	◎	△	×	×	×	×	×	×	×	×
	W-2	平瓦	○	◎	△	×	×	△	×	×	×	×	×
	W-3	丸瓦	×	◎	△	×	△	×	×	△	△	△	×
	W-4	丸瓦	△	◎	△	×	×	×	×	△	△	×	×
勝連城 遺物	K-1	丸瓦	×	◎	△	△	△	×	×	×	△	△	△
	K-2	丸瓦	×	◎	△	△	△	×	×	×	△	△	△
	K-3	平瓦	×	◎	△	△	△	△	×	×	×	△	△
	K-4	丸瓦	×	◎	○	×	△	×	×	×	△	△	△
	K-5	平瓦	×	◎	△	△	△	×	×	×	×	△	△
中村家	N-1	平瓦	△	◎	△	×	×	×	△	△	×	△	
51年製瓦 与那原町	Y-1	丸瓦	△	◎	△	△	×	△	×	△	△	×	△

◎:非常に多い ○:普通 △:少ない ×:無し

石灰(CaO)とカオリンを含む素地の焼成過程における変化<sup>13)</sup>は、石灰とカオリンの組成比にかかわらず最初に生成する結晶はゲーレンナイトであり、その後アノサイトが生成される。そしてゲーレンナイトの生成温度は石灰石の含有量の増加につれて840℃～930℃の範囲内で変化する。供試瓦のS-1、S-2、W-3、K-1、K-2、K-3、K-4、Y-1中には、ゲーレンナイトまたはアノサイトが生成されている。勝連城跡遺物瓦と与那原瓦にその傾向が強い。この結果からも焼成温度は推定できる。

X線回折による供試瓦の特徴は、いずれの瓦にも石英と微斜長石が確認できることである。また、焼成温度の決め手となるイライトの特徴線が消失しているのは勝連城瓦であって、最も焼成温度が高いことを示唆している。勝連城供試瓦表面には、さんごの遺骸が残留するなど、カルサイトが900℃以上で分解することと瓦の推定焼成温度が1,000℃としていることが矛盾しているように考えられるが、貝化石の粗粒であることと還元焼成における炭酸ガスの分圧<sup>14)</sup>を考慮すれば、イライトの消失温度から推定する焼成温度との関係は解消できる。

#### 4.4 焼成呈色と焼成法

写真1の試料や写真2の断面図に示したように、供試瓦には種々な焼成呈色が見られる。焼成呈色から見た供試瓦は、以下の6種類に分類できる。

- ① 表面は黒色であるが、断面は灰色の瓦(S-1、W-1、W-2)
- ② 表面は淡褐色であるが、断面は灰色の瓦(S-2、S-3)
- ③ 表面は淡褐色であるが、断面は黒色芯の瓦(S-4、S-5、K-2、K-5)
- ④ 表面は淡褐色であるが、断面は黒色の瓦(K-1、K-3、K-4)
- ⑤ 表面は黒色であるが、断面は褐色芯の瓦(W-3)
- ⑥ 表面も断面も褐色の瓦(W-4、N-1、Y-1、Y-2)

焼成呈色の違いは、原料(鉄分が多いか少ないか)焼成雰囲気(酸化か還元か)焼成時間(長いかわるか短い)焼成窯の構造(水平窯か傾斜窯か)等多くの要因が関係しているものと考えられる。

瓦の場合、灰色瓦や赤瓦に加えて、銀黒色のいぶし瓦がある。いぶし瓦は、炭化水素に富む気体を約1,000℃に加熱した粘土素地に接触させる燻化と呼ばれる工程で表面に炭素膜を形成させることによって製造<sup>15)</sup>される。

現代製造のいぶし瓦は、いぶし銀と称して瓦の表面状態の呈色や艶の状態ですら判断できるが、遺物瓦のように長年土中に埋設されている瓦は、風化等の影響を強く受けているものと考えられる。

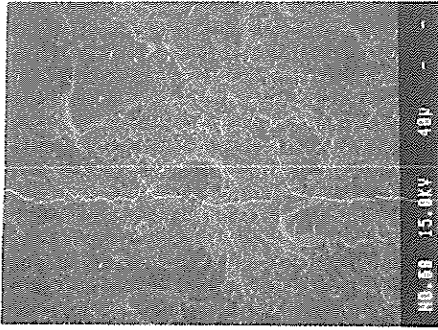
そこで供試瓦のうち、表面が灰黒色または黒色の瓦について、いぶし瓦であるか還元焼成による黒色瓦であるのかの判定をするためEPMAにより表面炭素の元素分析を行なった。

写真3に首里城S-1と湧田W-3それに現在のいぶし瓦(宮崎産)のEPMAによる線分析、面分析及びSEMの結果を示す。

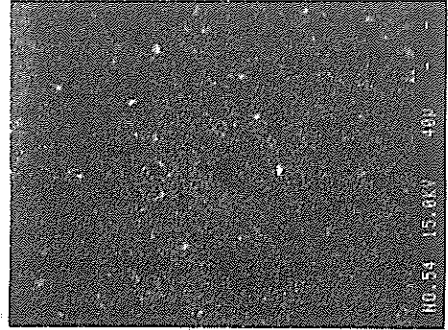
宮崎産いぶし瓦の線分析・面分析・SEMとS-1及びW-3の分析結果には大きな違いが見られる。線分析において、宮崎産いぶし瓦は、炭素(C)の分析線が明瞭に出現しているが、S-1では、炭素(C)の特徴線は少なく、W-3では、殆んど炭素の分析線は現われていない。また、面分析においても、いぶし瓦が全面に炭素の特性X線像が見られるのに対し、S-1ではまばらに、W-3では殆んど炭素の特性X線像は確認できない。

同様な傾向は、SEMにおいても確認される。すなわち、いぶし瓦が球状炭素膜によって全面を

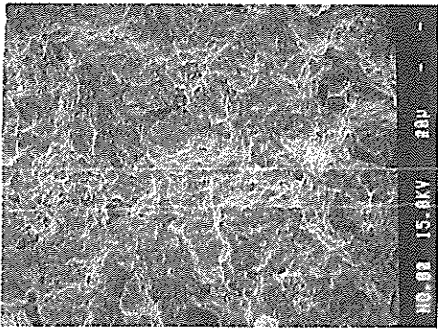




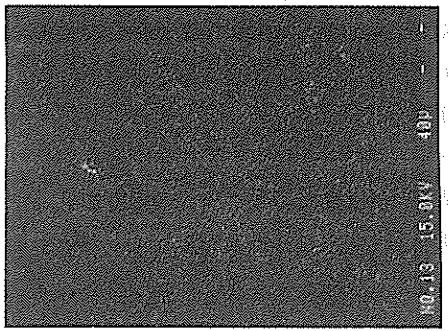
首里城S-1のSEM像と線分析(C)



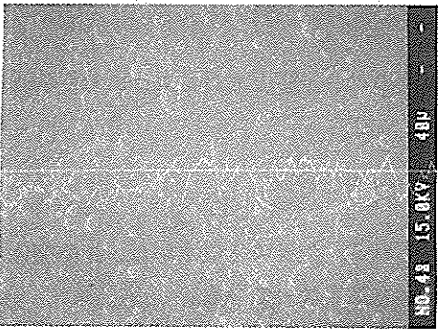
首里城S-1の面分析(C)



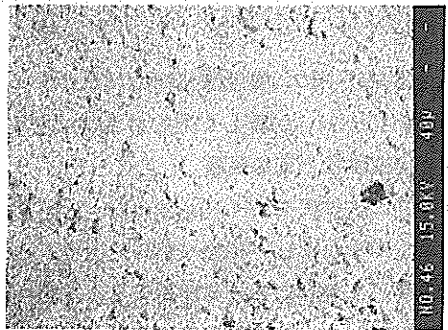
湧田W-3のSEM像と線分析(C)



湧田W-3の面分析(C)



いぶし瓦のSEM像と線分析(C)



いぶし瓦の面分析(C)

写真3 X線マイクロアナライザーによる瓦の表面観察と元素分析

被膜していることに対し、S-1とW-3は焼成素地そのもののSEMとなっている。

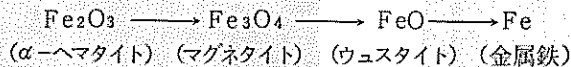
以上のEPMAの結果から、S-1とW-3の炭素(C)が、いぶし焼の炭素膜というよりは、還元焼成中の付着炭素かあるいは二次的に吸着された炭素(有機炭素や無機炭酸塩)の可能性が強い。

<sup>16)17)</sup> 西村は、鉄分含有素地の還元焼成において、素地の気孔率、還元温度、還元持続時間およびガスの種類、その他の還元条件により、素地の表面部分が還元され、内部は酸化の状態であったり、逆

に表面部分は酸化状態で、内部が還元されたものなどが得られることを示した。すなわち、焼成呈色の変化は、鉄化合物の挙動によるものと考えられている。

前述した供試瓦の表面と断面の焼成呈色の分類は、西村らの論拠による現象として捉えれば理解できる。

一方、いぶし瓦の焼成においては、素地中の鉄化合物が、燻化ガスの濃度および燻化終了後の雰囲気によって下記のように変化するとされている。



すなわち、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ は、赤色系の三価鉄化合物で $\text{Fe}_2\text{O}_3$ が多いと赤瓦のような呈色を示すが、次第に還元されてくると、還元状態の強弱によって二価鉄系の黑色酸化物 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}$ )に移行し、さらに金属鉄まで還元されることを示している。

図4に示したX線回折による鉄化合物の確認と焼成呈色の関係については次のように解釈することができる。

分類① (S-1、W-1、W-2)、分類② (S-2、S-3) および分類④ (K-1、K-3、K-4) の供試瓦には、鉄化合物は確認されていない。このことは、供試瓦が風化作用によって結晶構造が崩壊したのか、還元程度が低いためにX線の結晶構造まで発達してない、あるいは、マトリックス中に鉄鉱物種が量的に少ないためなどの、いくつかの要因が考えられる。分類③ (S-4、S-5、K-2、K-5) のうち、S-4 および K-2 には、鉄化合物の回折線は認められないが、S-5 には、ウユスタイト ( $\text{FeO}$ )、K-5 には、マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) が確認でき、黑色化の要因と一致する。分類⑤ (W-3) には、ヘマタイトとマグネタイトの両者が確認できる。分類⑥ (W-4、N-1、Y-1) の供試瓦には、ヘマタイトとマグネタイトの両者が確認できる。

褐色供試瓦中に、黑色酸化物のマグネタイトが存在するのは、矛盾しているように考えられるが、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$  が著しく大と考えれば理解できる。

#### 4.5 焼成性状と瓦の品質

供試瓦の諸性状を表4に示す。

供試瓦の吸水率は、10%~21%と大きなバラツキが見られる。気孔率と吸水率は、相関関係にあることから、当然のことながら気孔率の高い瓦は、吸水率も高くなっている。

JIS規格(A 5208)の吸水率は、いぶし瓦20%以下、釉葉瓦14%以下であるが、供試瓦の中には、いぶし瓦の規格をも満足し得ない瓦がある。

勝連城跡瓦は、吸水率が最も低く、品質の高い瓦であることを示している。与那原瓦のY-1とY-2の吸水率の違いは、Y-1の丸瓦はプレス瓦であり、Y-2の平瓦は押出成形瓦であるために吸水率に差が見られる。また与那原瓦は、昭和51年頃までは、登り窯焼成であったために品質的にも問題が多かった。現在ではガス窯焼成に移行していることや、原土処理の改善もあって、吸水率が14%以下となっており品質の向上が図られている。

勝連城跡瓦の懸掛比重が概して小さいのは、焼成素地の内部に閉気孔が多いことを示すもので、写真2で示した断面図の状況と一致している。従って勝連城跡瓦は、閉気孔が多く、開放気孔(吸水気孔)が小さいために吸水率が低くなっている。つまり瓦の表層部がよく焼結していることであ

り、硬度において、他の瓦より大きい値を示すことにも関与している。

以上、種々な実験結果に基づいて考察を加えたが、表5に実験結果の概要をまとめて示す。

表4 供試瓦の性状

区分	試料No	外形	吸水率	気孔率	見掛比重	かさ比重
首里城 正殿遺物	S-1	丸瓦	19.4%	33.2%	2.56	1.71
	S-2	丸瓦	17.2	30.5	2.54	1.77
	S-3	花瓦	18.6	32.6	2.60	1.75
	S-4	花瓦	19.4	34.0	2.65	1.75
	S-5	平瓦	15.9	29.2	2.60	1.84
湧田窯 遺物	W-1	丸瓦	20.0	34.1	2.59	1.71
	W-2	平瓦	18.7	32.1	2.53	1.71
	W-3	丸瓦	12.4	24.1	2.54	1.93
	W-4	丸瓦	21.6	37.1	2.73	1.71
勝連城 遺物	K-1	丸瓦	13.4	23.8	2.33	1.78
	K-2	丸瓦	12.3	21.8	2.29	1.79
	K-3	平瓦	14.1	25.1	2.37	1.78
	K-4	丸瓦	16.6	28.6	2.41	1.72
	K-5	平瓦	10.5	18.4	2.15	1.75
中村家	N-1	平瓦	20.2	34.1	2.56	1.69
51年製瓦 与那原町	Y-1	丸瓦	16.4	29.4	2.53	1.79
	Y-2	平瓦	20.6	34.8	2.59	1.69

表5 供試瓦の実験結果の概要

瓦の種類	項目	焼成色	鉄分	組成鉱物の 特徴	焼成温度	焼成法	品質(吸水率)
首里城瓦		灰色	6%~9%	アノーサイト ゲーレナイト ウユスタイト	900℃~950℃	還元	16%~19%
湧田瓦		灰色	6%~10%	アノーサイト ゲーレナイト ヘマタイト マグネタイト Fe	900℃~1,000℃	還元	12%~20%
勝連城瓦		灰色	8%~9%	ゲーレナイト アノーサイト Fe マグネタイト カルサイト	1,000℃前後	還元	11%~17%
中村家瓦		赤褐色	8%	カルサイト ヘマタイト	950℃	酸化	20%
与那原瓦		赤褐色	7%	アノーサイト ヘマタイト マグネタイト	950℃	酸化	16%~20%

## 5. 古瓦の焼成窯

首里城遺物、湧田古窯、勝連城跡の供試瓦は、ほとんど灰色瓦と見做すことができる。これらの焼成呈色について、原料や焼成温度、焼成法との関係において種々な考察を行なった。

図1に示したように、沖縄島には多くの古窯のあることが記されている。これらの古窯は、いずれも発掘されておらず、その形態・規模等まったく明らかになっていない。

1986年沖縄県庁舎の建設工事に伴って、湧田古窯が発見され発掘調査が行なわれた。県内唯一の古窯発掘遺跡である。湧田古窯は、17世紀中頃まで一大窯業産地であったことが、文献等の調査研究で明らかにされている。

本研究の湧田古窯Wシリーズの供試瓦も今回発掘された遺物であるが、瓦のほかに、青磁、染付類、灰釉茶碗、窯道具等々おびただしい量の出土品が発掘された。宮城・小渡<sup>18)</sup>らは、湧田古窯産地で発見された窯について「水平窯」と称している。

そこで、以下では、本研究の理化学的研究の知見に基づいて、湧田古窯の焼成窯について推論を試みた。

### 5.1 湧田古窯の焼成法

今回発掘された瓦は、ほとんど灰色瓦であり、本研究で取り扱った供試瓦のような瓦が焼かれたものと想像できる。

表4に示した試験結果から、湧田古窯の瓦は次のように言い換えることができる。「湧田古窯の瓦は、鉄分の多い粘土を用いて明式(?)の手法で成形し、900℃～1,000℃で焼成した。焼成法は、還元焼成であり、その結果灰色瓦である」

写真4は、湧田古窯の発掘遺構の一つである。

この水平窯で多くの瓦が焼かれたとすれば、この窯は還元の強い窯であることを示唆しており、筆者らの推論と一致する。

還元焼成の窯の雰囲気を醸し出す方法としていくつかの方法が考えられる。一般的には、燃料の不完全燃焼によって還元ガス(COガス)を作り出す方法と、いぶし焼きのように水の作用によって還元ガス(COやH<sub>2</sub>ガス)の状態にする方法とがある。湧田古窯遺物瓦が強力な還元を受けている瓦と考え合せると、水の



写真4 湧田古窯の発掘遺構

作用による還元すなわち後者の方法によって焼成されたものと考えられる。

1637年発刊された中国の技術書「天工開物」<sup>19)</sup>に、瓦や磚(煉瓦)を焼く場合「水を注いで転渤する」と記述されている。

図5は「天工開物」に掲載されている転渤の状況を示す挿絵であるが、瓦も磚と同様に転渤すると記述されている。磚を焼く場合の転渤について次のような説明がある。

「薪で焼く窯は、頂上と側面に三個の穴をあけて煙を出し、火が十分になって火を止める時に、泥で固くその穴を塞ぐ。それから水で転渤する（図5）、火加減が一両少ないと、転渤した色に光沢がない。三両少ないのを嫩火磚といい、もとの土の色が所々に残っている。後日、霜や雪を受けると、立ちどころに崩れ、もとの土にもどってしまう。火加減が一両多いと裂け目ができ、三両多いと、煉瓦の形は縮小してひびが入り、曲がったままで真直にならない。これを叩くと屑鉄のようであって、これを土中に埋めて牆の土台にするがやはり磚の役目をする……中略……転渤の方法は、窯の頂上に一個の平たい田の形をつくり、まわりの縁をやや高くして水をその上に注ぐ。磚百斤について水四十石を用いる。すると水気が窯を透して火気と感じあい磚ができあがる。こうして水と火がたがいに作用しあうと、磚がいつまでももつのである」

以上のことから、湧田古窯の灰色瓦は、転渤による還元焼成の可能性が強く、湧田古窯の水平窯にも関連づけることができる。

## 5.2 天工開物と中国の瓦・煉瓦窯

筆者らの一人照屋は、中国の窯業事情を視察した際、天工開物の図説と同様な瓦の成形技法を確認したが、焼成窯の形態、構造については確認するまでにはいたっていない。

金岡は、4度に亘る中国政府の招へいを受け、中国の窯業技術指導に携ってきた。その間、中国の瓦や煉瓦を焼く窯に興味を持ち、種々な窯の形態や構造について考察を加えている。中国の煉瓦や瓦を焼く窯には、1洞窟窯、2饅頭窯、3石灰窯、4輪窯、5竜窯があるとしている。そのなかで、天工開物の転渤と関連して、饅頭窯のことについて詳細な見聞を記してある。

図6は金岡の饅頭窯のスケッチ、図7は同じく北村のスケッチを示すが、いずれの窯も半地下に焚口があり、湧田古窯の水平窯を彷彿させる。窯上部には水をためる溝がある。

写真5は、現在使用されている饅頭窯に水をためるための溝の様子を示している。写真の溝の右側には、はっきり排水孔が確認できる。

図5の転渤の挿絵は、いかにも窯を焚きながら上から水をそそぎ込んでいるように見える。転渤とは、真赤に焼けた瓦や煉瓦に水をぶっかけることなのか、その場合窯は爆発しないのか等の疑問が出てくる。

「焼成後、窯に水を入れるということは、窯の上に水を貯めて置くと、水が天井の炉壁の隙間から、徐々に窯の中へ浸透していく。そのため、水を入れる日数は、窯の大きさに依って異なり、3日間というのもあれば、6日間というのもあった。窯の上は水を留めるため、中央の開口部と周囲が僅かに高くしており、その間の凹んだところに水が溜るように、また余分の水は、外側へ流れるよう

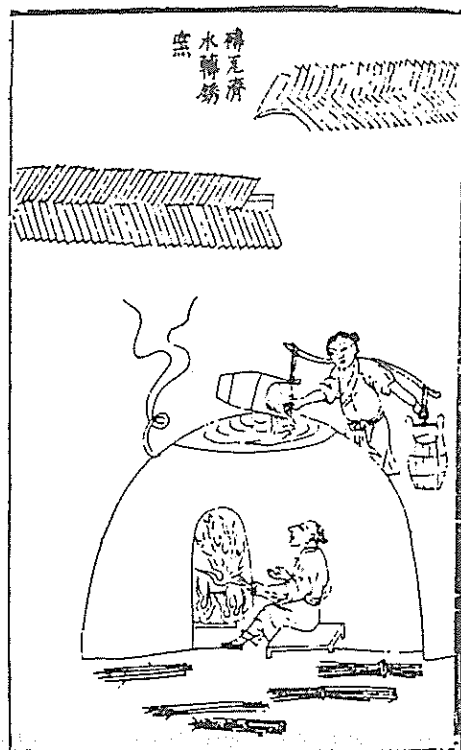


図5 瓦の窯に水を入れる風景  
(天工開物)

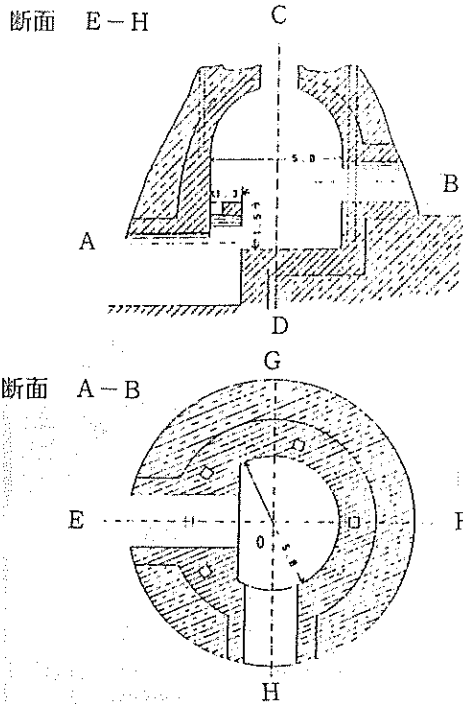


図6 楼観台付近の饅頭窯のスケッチ(金岡)

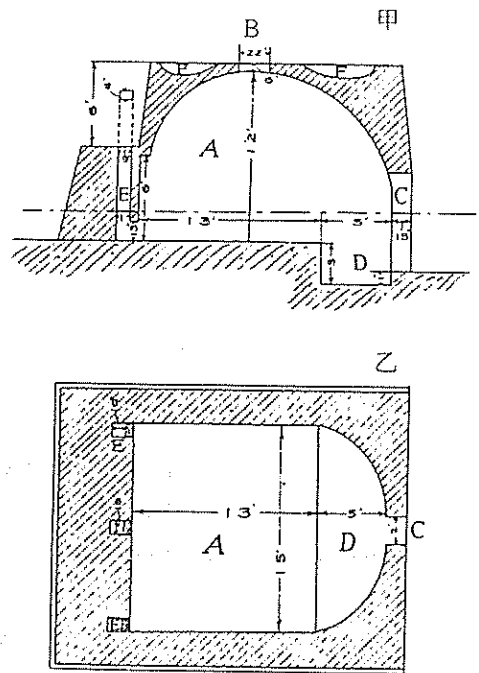


図7 北村の煉瓦窯の見取図  
福建省保定府新城県

にしてある。今まではどれ位入れるのかと聞いて来たりしたが、其の量はよく知られていない場合が多いことが理解できた<sup>21)</sup>としている。また「この饅頭窯による煉瓦の製法の最大の特徴は、その焼成方法、水による還元方法である。それは本邦で作られている“いぶし瓦”のそれとは全く異なっている。当然出来た製品の性質も異なる。いぶし瓦の銀色は、その表面に生成した炭素に依るものがあるが、この変化による煉瓦の灰色は、素地中の鉄が水蒸気によって還元され、生成した二価鉄化合物によるものと考えられる。赤煉瓦と黒煉瓦の性質が大きく異なることは、長時間かけて行われる水を加えての冷却過程に、反応が一段と進行していることを示している<sup>21)</sup>」と結論づけている。

さらに金岡が「この饅頭窯による煉瓦の製造法は、数百年にわたって、各地でつづけら



写真5 饅頭窯の上

れている完成された方法である。技術的に極めて興味のある方法であるが、本邦では全くと言ってよいくらい知られていない<sup>21)</sup>と述べていることと、湧田古窯の水平窯について、古瓦研究の権威者大川清が「本土にも類似がなく、中国あたりからの影響を考えなければならない貴重な遺跡<sup>23)</sup>」と述べているように、両氏の所見が一致していることは、極めて注目に値する。

湧田古窯の瓦が、還元焼成であることに着目し、還元技法を天工開物の転渤に求めた。さらに、現在の中国で焼かれている瓦や磚の焼成窯と転渤について、金岡の中国見聞録を中心にその事実関係を明らかにした。

以上のことから、湧田古窯の水平窯は窯の規模の違いがあるとは言え、大同小異、南中国の瓦焼きの饅頭窯と同一系統の窯と考えざるを得ない。

## 6. 総括

首里城古瓦等の理化学的研究を行なった結果、以下の結論が得られた。

1) 首里城正殿の古瓦のうち、大和系瓦(S-5)と明式瓦(S-1~S-4)を比較すると、特性に大きな違いが見られた。大和系瓦は、砂質の粗い粘土が使われているが、鉄分が少ない。焼成温度は、約900℃ぐらいであるが、還元焼成による黒色芯を呈している。素地が粗相なため、鉄分がウユスタイトまで還元されている。吸水率は明式瓦より低く、品質的に良好な瓦である。

明式瓦は、鉄分が高く、大和系瓦より粘土分もある程度以上含まれている。焼成温度は、900℃~950℃であるが、還元焼成による灰色瓦が多い。

大和系瓦と明式瓦の原土は、明らかに異種異質の粘土である。

2) 湧田古窯瓦は、圧倒的に灰色瓦が多く、明式瓦の可能性が高い。焼成温度は、900℃~1,000℃で、還元焼成である。原土は、首里城明式瓦に類似し、品質的にも同程度の瓦である。

3) 大和系瓦の勝連城跡瓦は、還元焼成による灰色瓦で、焼成温度が1,000℃と高く、品質的にも最も優れた瓦である。瓦表面に石灰質の貝化石等を含むことを特徴とする。

4) 中村家瓦は、時代的に新しい明式瓦であるが、950℃ぐらいの焼成温度で、酸化焼成による赤瓦である。原土は、近年の瓦原料であるジャーガルやクチャとも類似性がなく、独自の粘土が使われている。

5) 与那原瓦は、現在の瓦原料であるクチャを原料とし、950℃の酸化焼成の赤瓦である。

## 7. おわりに

古瓦の原土がどこの産地の粘土であるかということは、古瓦を研究する上で最も重要なことであり、興味のある課題である。古瓦の理化学的研究の結果、瓦原料にいく種類の粘土が使われていたということは、古瓦原料の産地が改めて注目される。

天工開物に「土をこねて瓦をつくるには、地を二尺余り掘り、砂のない粘土を選びとる。百里四方のうちにはきっと手ごろな土が出るものであって、これを家を建てるのに役立つ民家の家は、もともと四枚分が一度にでき、それを一片ずつ分ける……中略……しかし皇室の宮殿で用いるものは、これとはたいへん違っている。……中略……土は必ず太平府(安徽省)からとりよせる〔船で三千里を選びやっと京師に達する……以下省略〕」とある。つまり、民家の瓦土は、周辺の粘土を使用しているが、官用の瓦土は、三千里もある遠隔地から良質の粘土を船を使って運んで使用した、と

いうことである。

琉球の高麗瓦、大天瓦、大和系瓦の古瓦は高麗や大和で焼いて瓦を持ち込んだのか、あるいは琉球で焼いた瓦であるのか議論が別れているが、瓦原料から見れば、高麗や大和の原料を船で運んで瓦を焼いたか、あるいは琉球に賦存する原料を船で運んで瓦を焼いたのかということに置き換えることができる。

本研究で高麗瓦の化学組成が、湧田古窯瓦の化学組成と類似することを示したが、今後湧田古窯の考古学や理化学的研究の進捗に伴って、瓦原料の運搬、流通経路が明らかになるかも知れない。

一方、大和系瓦の勝連城跡瓦に付着しているさんご貝化石に注目してみたい。さんごの棲息地は、トカラ海峡を北限とし、それ以南の南西諸島にしか棲息していないことから、勝連城跡瓦は、明らかに琉球圏域で焼成されたことになる。

小渡<sup>18)</sup>は、古瓦原料の流通経路を沖縄本島に求めている。現在の名護市於茂差あたりの原料を海路により湧田あたりに運んで使ったとしている。一つの推論であるが、一理ある提言である。

古瓦の研究に最も重要かつ決め手となるのは、焼成窯の形態と焼成法であろう。中国の饅頭窯は、「農民の窯」と言われているように、華やかな中国陶磁史のなかでは、目に留めるほどの存在ではないかも知れない。

このような一見プリミティブな窯でも、長い歴史と風土のなかで伝統的な技術を濃縮し、今なお生々として今日に到っているかも知れない。

琉球と中国の歴史的関係から、湧田古窯の水平窯が、中国の饅頭窯を原型とする窯の形態であること、さらには、湧田古窯で明式の首里城正殿瓦が焼かれた可能性があるなど、今後考古学と理化学的研究の裏付けによって、種々な疑問点の解明が進展していくものと考えられる。

## 謝 辞

首里城正殿の復元事業と関連して、古瓦の理化学的研究の機会が与えられた。

多量の発掘遺物のなかから、数枚の供試瓦の実験結果ではあるが、時代区分を伴う系統的な瓦試料であると考えている。

本研究のために古瓦を選別提供していただいた県教育庁文化課主幹（現県立博物館主幹）当間嗣一氏、いぶし瓦の参考品を提供していただいた宮崎県工業試験場特別研究員山崎忠之氏、湧田古窯の写真や中村家瓦等の提供をしていたいただいた岡国建福島清氏及び平良啓氏に深謝の意を表します。

また、中京短期大学比較陶器研究所の金岡繁人教授には、中国の煉瓦・瓦窯の見聞録の文献の提供をはじめ、種々など教示をいただいた。ここに深甚な感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

1. 照屋善義、宜野座俊夫、与座範弘、花城可英 沖縄県工業試験場研究報告 第16号 P77～1988年
2. 照屋善義、宜野座俊夫、与座範弘、花城可英 沖縄県工業試験場研究報告 第16号 P89 1988年
3. 大川清、沖縄文化財調査報告、沖縄県教育委員会監修 P390 1959～1962年
4. 多和田真淳、全上 全上 P293 1959～1962年
5. 外間正幸、宮城篤正、日本のやきもの沖縄、淡交社 P158 1973年



6. 杉光正治、草場茂治、佐賀県窯業試験場研究報告 P 1～7 1972年
7. 照屋善義、セラミックス Vol 19、3号 窯業協会 P 1984年
8. 図録沖縄の古窯 「やちむん特別号」やちむん会 P 13 1979年
9. 照屋善義、沖縄県工業試験場研究報告 Vol 7 P 23 1979年
10. 沖縄大百科辞典（下巻） 沖縄タイムス社 P 33 1983年
11. 大森啓一、岡田 広、粘土科学 Vol 18 2号 P 40 1978年
12. 東村武信著、考古学と物理化学、学生社版 P 153 1978年
13. 川村資三、黒川利一、名古屋工業技術試験所報告 Vol 29（6号） P 157 1979年
14. 石灰石の用途と特性、石灰石鉱業協会編 P 47 1986年
15. 田中稔著、粘土瓦ハンドブック、技報堂 P 328～374 1980年
16. 西村幸雄、名古屋工業技術試験所報告 Vol 16（4号） P 128 1967年
17. 西村幸雄、全 上 Vol 19（3・4・5号） P 52 1969年
18. 小渡清考、宮城篤正、やちむん P 1～14 やちむん会 1988年
19. 天工開物、宋応星・藪内清訳注、東洋文庫 130 平風社 1985年
20. 照屋善義、琉球新報「沖縄のルーツ」を訪ねて 1984. 10. 10（朝刊）
21. 金岡繁人、中京短期大学 論叢第19巻1号 P 83～93 1988年
22. 北村弥一郎、清国窯業調査報告 P 135～140 農商務省、明治41年
23. 宮城篤正、やちむん、やちむん会 P 10 1988年

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。