

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：32686

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20721

研究課題名（和文）古代末期～中世ビザンツ期城塞の年代測定にむけた物質的・統計的アプローチの開発

研究課題名（英文）Development of material and statistical approaches for dating castles from late antiquity to medieval Byzantine period

研究代表者

深津 行徳（Fukatsu, Yukinori）

立教大学・文学部・教授

研究者番号：70208916

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：(1)建材の積み方様式調査について、年代が明らかな城壁の部分を切り出して3分割交差検証で評価、ディープラーニングで学習し検証用画像でパラメータを最適化した。その結果、95%の識別精度が得られた。

(2)建材の風化による損耗度調査について、Pundit PL200一式（FTS社製、解析ソフト含）を使用し、石材の年代確定を目指して非破壊調査を行なった。調査の結果、遺物の残存状況（方角・地中にあったか否か等）によって数値に大きな差異があり、パラメータの設定が重要課題であると認識された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、建築学、岩石風化学、画像認識、機械学習、統計学の方法や知見を援用しつつ、古代末期～中世ビザンツ期（3世紀～15世紀）の城壁の建設・修築年代決定を可能にするような信頼のおける科学的方法を開発することを目的とした。その結果、特に建材の積み方様式調査については、データの蓄積によって科学的評価を得る可能性があるという結論に達した。年代が明らかな城壁の部分を切り出して3分割交差検証で評価、ディープラーニングで学習し検証用画像でパラメータを最適化した。その結果、95%の識別精度が得られた。

研究成果の概要（英文）：(1) Regarding the investigation of the stacking style of building materials, we cut out parts of the castle wall with known ages and evaluated them using 3-fold cross-validation, learned using deep learning, and optimized parameters using verification images. As a result, an identification accuracy of 95% was obtained.

(2) Regarding the degree of wear and tear on building materials due to weathering, a non-destructive investigation was conducted using the Pundit PL200 set (manufactured by FTS, including analysis software) with the aim of determining the age of the stones. As a result of the investigation, there were large differences in the numerical values depending on how the remains remained (direction, whether they were underground, etc.), and it was recognized that setting parameters was an important issue.

研究分野：history archeology

キーワード：リキア ビザンツ 城壁年代 弾性波速度試験機

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

古代ローマ帝国が中世ビザンツ帝国として生き残った小アジアでは、「ローマの平和」が終わり異民族の侵入が始まる3世紀以降、オスマン帝国の支配が確立し再び平和が訪れる15世紀まで、内陸でも至る所で石灰岩製の城壁が建造され、繰り返し修築された。そうした城壁の建設・修築という行為は、外敵からの攻撃を予想し備えようとする都市住民の心性変化、あるいは帝国役人の政策判断と、城壁建築・修復のために費やしようとする資源量のバロメーターであり、その年代を可能な限り正確に特定できれば、特に文献や考古資料による情報が少ない地域における社会的心性の変容とそれを取り巻く国際情勢・内政対応、経済的条件の変化を、より精密に跡付けることができよう。こうした容易に知りえぬ重要歴史的事象を科学的に解明する事が、城壁建設・修築年代決定法考案における究極的な課題であった。

### 2. 研究の目的

本研究は、建築学、岩石風化学、画像認識、機械学習、統計学の方法や知見を援用しつつ、古代末期～中世ビザンツ期(3世紀～15世紀)の城壁の建設・修築年代決定を可能にするような信頼のおける科学的方法を開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

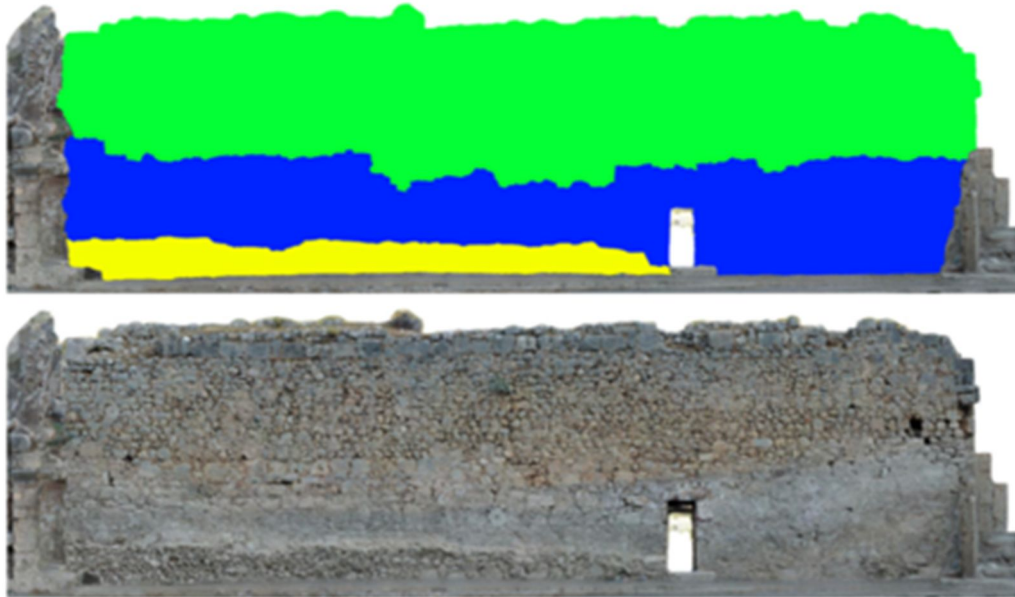
城壁建築は教会建築や宮殿建築などと異なり、意匠上の特徴を容易に認めがたく、年代決定困難とされてきた。そこで本研究では、フィジカルな資料、すなわち建材(転用材、礫石材、煉瓦材、接着用モルタル材)に注目して、建材の積み方の様式変化と、建材の風化による損耗度に注目する二つのアプローチを試みた。

- (1) 建材の積み方様式調査：樋口・深津が、城壁外壁上、建設様式の変化が見られるラインを基準にセグメンテーションを行い、平面写真のデータベースを作成する。堀田は、それらについてさらに建材別のセグメンテーション処理を行い、その作成データをもとに、建築時、修築時、再修築等、建設・修築の各次に一定の傾向が観察されるか調査する。
- (2) 建材の風化による損耗度調査：指標データとして、リキア各地の城壁建築で用いられている石灰岩と煉瓦材・モルタル材の風化速度を予め推定しておく必要がある。そのための基準を作成するため、色測定と赤外反射率測定による色彩や空隙率・含水率などの物理的性質試験、エコーチップ、シュミットロックハンマー、弾性波速度試験機による強度試験・硬度測定試験等を、小口・浦野が行う。城壁部材の風化速度については、石材等の部材間に生じた隙間の発生率を風化による欠損率と捉えて、その空間率を計算すること、また、擬似3D画像上に表現しうる可能性を模索することとする。未風化岩と調査対象の石材の諸物性値の比をとることで、風化にともなう色彩変化や含水率(赤外反射率計を利用)の変化、強度低下の程度を探り、また、風化の結果生じた隙間を挟む2つの石材間の弾性波速度の低下具合を調べ、堀田と村上が数値のデータベース化を行う。

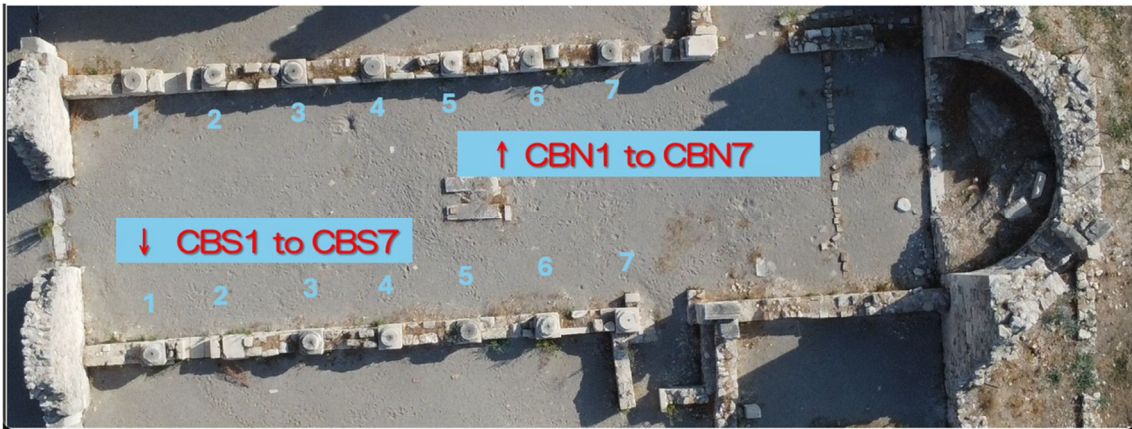
### 4. 研究成果

樋口と深津・浦野はデジタルカメラ SONY 7iv、ドローン DJI Mini 2 pro、PC(Lenovo NoteBook、Mac Studio) 写真測量用ソフトウェア(Agisoft MetaShape)を使用し、撮影した写真から三次元モデルを作成、小口、堀田に提供した。

- (1) 建材の積み方様式調査について、堀田と三宮隆寛(名城大学)は年代が明らかな城壁の部分を取り出して3分割交差検証で評価、ディープラーニングで学習し検証用画像でパラメータを最適化し、教師画像を作成した(次図)。その結果、95%の識別精度が得られたが、学習データが少ないため汎化性は高くはないと考えられる。



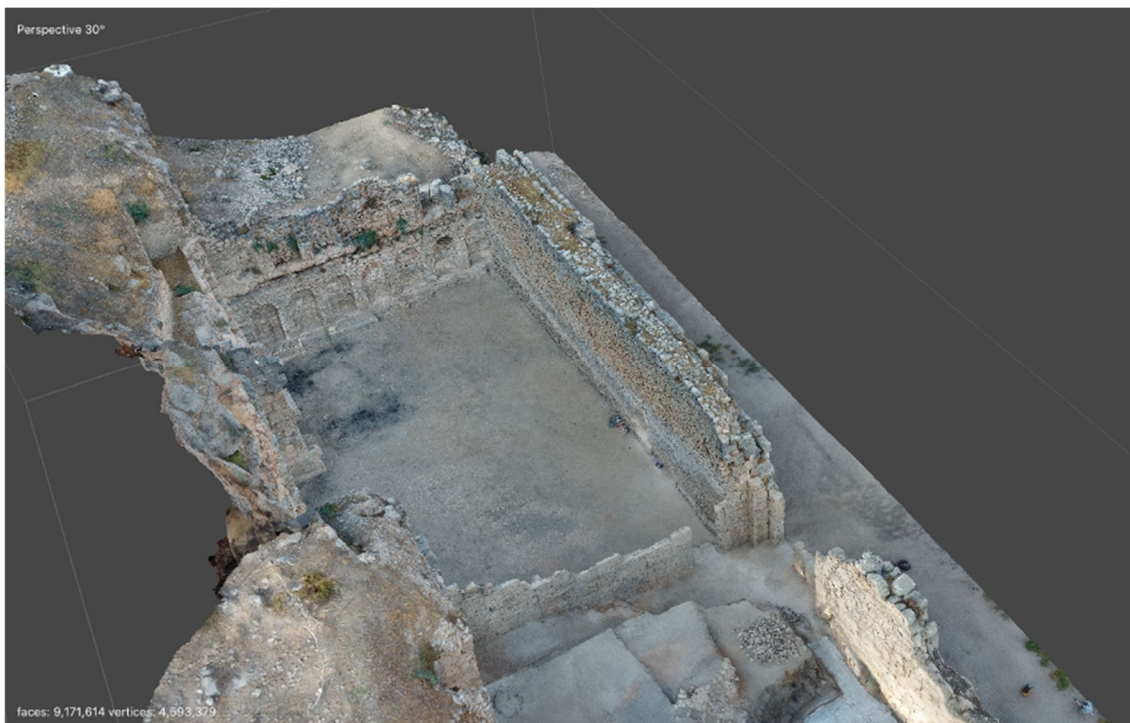
(2) 建材の風化による損耗度調査について小口・浦野は、Pundit PL200 一式 (FTS 社製、解析ソフト含) を使用し、石材の年代確定を目指して非破壊調査を行なった。調査の結果、遺物の残存状況 (方角・地中にあったか否か等) によって数値に大きな差異があり、パラメータの設定が重要課題であると認識された。(次図・表)



CBS1 (Column Base South CBS2 (上なし) 6C)			CBS3			CBS4 (一体型)			CBS5 (一体型)			CBS6			CBS7 (一体型)					
回	P波速度数 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考			
1	2045上		1	2532上		1	1848		1	713Crack		1	2012		1	2268上				
2	2387上		2	1543中		2	2165		2	839Crack		2	2387		2	2033上				
3	2494上		3	2632下		3	1764		3	2075		3	536		3	405上				
4	1969上		4	2079中		4	1905		4	1548下		4	1667		4	2370上				
5	717上、Crack					5	2625		5	2513					5	1946上、Crack				
6	2058														6	2433下				
7	1829上、Crack														7	1748下				
8	331Crack																			
	1728.75			2196.5			2061.4			1537.6			1650.5			1886.143				
																	1729.6			
CBN1 (Column Base North #) (一体型) 6C			CBN2 (一体型) 6C			CBN3			CBS 4			CBN5 (一体型)			CBS6 (一体型)			CBS7 (一体型)		
回	P波速度数 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考	回数	P波速度 (m/s)	備考			
1	2020		1	2188		1	2020上		1	1181上		1	585上		1	1577上				
2	2445		2	2740		2	1631角		2	2879上		2	1597上		2	2584角				
3	2096		3	2564		3	1961側面上		3	2198角		3	2646角		3	905側面上				
4	2281		4	2584	漆喰あり	4	側面中、2353保護あり		4	2364側面上		4	532側面上		4	1957側面上				
			5	2141		5	2370側面下		5	2387側面中		5	769側面上		5	2577側面中				
	2210.5			2443.4			2067		6	1976側面下		6	2469側面上		6	2079側面下				
									7	2320側面下		7	1808側面中		7	2092側面下				
										2186.429		8	2398側面中		8	2123側面下				
												9	2362側面下		9	2725側面上				
													1685.111			1967.286				
																1838				

Raw data at Basilica

また樋口はトルコ側研究者のリクエストに応じ、TLOS 遺跡 Prytaneion の壁面構造を明らかにするために詳細な 3D 画像を作成した(次図)。城壁建設・修築年代確定について科学的にアプローチするためには、さらなるデータの取得が必要である。



なお本研究は本来、令和 2~4 年度の予定であった。しかしながら Covid-19 により海外渡航が制限され、さらに研究期間最終年度である令和 4 年度に立教大学にて予定していた国際会議はトルコにおける自然災害のため断念せざるを得なかった。そこで研究期間を一年延長し、令和 5 年 8 月に浦野・深津がトルコを訪問、村上の助言も得て研究会を行い、本研究を総括するとともに今後の調査協力について議論した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小口 千明  (Oguchi Chiaki)  (20312803)	埼玉大学・理工学研究科・准教授   (12401)	
研究分担者	堀田 一弘  (Hotta Kazuhiro)  (40345426)	名城大学・理工学部・教授   (33919)	
研究分担者	浦野 聡  (Urano Satoshi)  (60211778)	立教大学・文学部・教授   (32686)	
研究分担者	樋口 諒  (Higuchi Ryo)  (70827196)	名古屋大学・高等研究院(文)・特任助教   (13901)	
研究分担者	村上 祐子  (Murakami Yuko)  (80435502)	立教大学・人工知能科学研究科・教授   (32686)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------