

令和 4 年 9 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03806

研究課題名（和文）ポンペイとオスティア：古代ローマにみる建築術の総体としての都市と技術の大衆化

研究課題名（英文）Pompeii and Ostia: Popularization of engineering in Ancient Roman architecture and urbanization

研究代表者

堀 賀貴 (HORI, Yoshiki)

九州大学・人間環境学研究院・教授

研究者番号：20294655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,600,000円

研究成果の概要（和文）：オスティアにおいて、必ずしもパンテオンのような記念碑的建造物と同等の先端技術がそのまま適用されていないことが実証された。先端技術に準拠しながら、限られた予算、工期のなかで、簡素化、簡易化された技術が開発・工夫された実態が「交差ヴォールト」について確認された。さらなる壁体施工の分析には、「統計的」な手法が必要であり、その前提として「修復部分」の特定が、もとめられるため、まずは点群データに基づく特定技術の成果発表をおこなった。また、蛍光 X 線分析についてもその有効性を認められた。結果として、分析技術の発展にともない、発掘をしなくとも十分に研究としての成果が見込めることが実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の進行にともなって、遺跡のデジタル・ツインの作成が可能であることが実証され、研究だけでなく仮想空間に遺跡を構築することによって遠隔地から遺跡を体験することも可能となった。書籍の出版については、研究者だけでなく一般に読者にも理解できるよう内容を検討し、日本経済新聞の書評にも取り上げられ、普段は遠い存在である本研究分野が、現代社会にも直結していること、とくに災害や疫病あるいは都市の生活など、示唆的な部分も多い。また古代遺跡の魅力そのものを一般の読者にも伝えることができた。https://www.nikkei.com/article/DGKKZ071881100U1A510C2MY6000/

研究成果の概要（英文）：In this research, we will adopt the historically correct constructional point of view and demonstrate that many of the buildings in Ostia are based upon direct application of the most advanced buildings in Rome, such as Pantheon. We provide the new evidence that can either fill gaps in our understanding or simply add to how the Roman constructed the cross-vaults. Statistically based method could be required for further analysis of their construction, such as wall thickness and mosaic. Preliminary analysis was made of limited walls in Ostia using point cloud data, especially X-ray fluorescence analysis is quite useful for the detection of restoration work. Conclusively it can be said that the research of ancient Roman architecture "without excavation" provide adequate and fruitful results.

研究分野：西洋建築史・都市史

キーワード：オスティア ポンペイ ヘルクラネウム 建設技術 デジタル・ツイン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市、公共建造物から住宅、工房、店舗あるいは道路、噴水に至るまで、古代ローマの遺構は「残りの良さ」だけでなく「多様」あるいは「雑多」ともいえる様相が他の時代を圧倒している。特にポンペイとオスティアの二大遺跡は建築史の教科書の70%以上の情報を提供したともいわれローマ社会の実態を映し出す。大衆化された建築術とは、社会における様々な問題に対して工学的に応答する雑多な技術群 (techniques) である。社会問題が常に「雑多」である以上、応答も雑多であり、モザイクの制作、浴場の耐水化から高層建築の建設、道路のかさ上げまで含む。「純粹」芸術として単体で理解可能な古代ギリシアやゴシックとは異なる建築世界を提供する(したがって亜流・世俗的という評価はある意味で正しい)。いわば古代ローマ都市全体が建築術の総体である。長年申請者が取り組む3Dスキャン技術により、都市を高精度にまるごと仮想モデル化することが可能で、あらゆるスケールの「雑多」な技術をあぶり出す。そこに「実践」される都市・建築の実相を見いだすことは、系統的、総説的あるいは全史的な都市・建築の歴史とは異なる学術的意義がある。

2. 研究の目的

エンジニアの基盤としての技術あるいは知恵・工夫という枠組みは、人間のあらゆる行為に関わる事象、スケールを内包できる。市民生活を支える水道、都市の骨格となる街路、高層の建物を可能にする構造、快適な生活を保障する浴場、暖房、あるいは生活をより豊かにする装飾、あるいは防水床としてのモザイクなど。本研究では、普及化(簡略化)、大衆化(一般化)した実践技術を「ネットワーク(連環)」としてとらえる。この広がりはいずれもスケールを超え多面的に都市・建築さらには人工物としての環境(built environment)を構築(architecture)する。本研究では古代ローマ都市全体を3次元モデルとして構築し(下段の技術がそれを可能にする)、あらゆるスケールで技術を取りだしネットワーク化し都市間を比較することで時空を超えた技術波及の実態を追った。

3. 研究の方法

記録・保存と研究の関係を革命的に進化させるレーザー・スキャニング

古代ローマに限らず、遺跡を扱う研究においては、記録・保存(あるいは報告)作業を経て研究を行う「プロセス型」研究が一般的であったが、多くの問題点が潜む。1) 記録・保存者による作為、不作為: 遺跡に関するすべて情報の完全な記録は原理的に不可能である。そこに記録者の作為や不作為が生まれる。単なる誤り以外に不明な部分を復元・想像して記録する(作為)や不必要とみなした部分は記録しない(不作為)である。2) 研究者による作為、不作為: 記録者と研究者が同一の場合も含め、多くの研究に見られるデータの簡略化(ときに理想化)、あるいは不十分な図版(写真による代替や不適切な縮尺など)は研究の再現性を担保していない。現在は記録技術の限界や時間的制約もあり許容されているが、情報の取捨選択の上に構築された歴史しか提供しない。しかしレーザー・スキャニングによる半自動的な形状記録(最新機材では約100m半径で±1mm誤差)は、作為/不作為が入り込む余地を極限まで減らし、その問題を克服できる。加えてデータ公開(ビッグデータとしての共有)も可能にする。プロセス型研究からクラウド型研究へ変化する(データはテキストで記述されフォーマットの変化に関わらず永久にデータを保管できる)。取捨選択という旧縛から開放され、研究者が自由に情報を取り出して、一見して無関係と思われる事象がつながる、逆にアプリオリに信じられてきた関係性に疑問が生じる可能性もある。結果として、研究開始当初には一般的ではなかった考え方であるデジタル・ツインの構築につながるようになった。古代ローマ遺跡を仮想空間のなかに再現することで、新しい研究が今後生まれる可能性がある。

4. 研究成果

1) シンポジウム

2019年3月10日(日)、17日(日)

第三回 国際シンポジウム古代ローマの危機管理

International Colloquium: Risk Management in Ancient Rome

2) 著作

2冊出版した。一般の読者でも理解できるよう工夫したものである。

堀 賀貴編『古代ローマ人の危機管理』、九州大学出版会、2021年4月

堀 賀貴編『古代ローマ人の都市管理』、九州大学出版会、2021年7月

3) 発表論文(査読有)

Ogawa, T., and Hori, Y. "ARCHAEOLOGY WITHOUT EXCAVATION? : LASER SCANNING IN OSTIA" 24th EAA Annual Meeting, Barcelona, 5-8 September, 2018.

Ogawa, T., and Y. Hori, "Comparison with Accuracy of Terrestrial Laser Scanner by Using Point Cloud

Aligned with Shape Matching and best Fitting Methods." International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W9, pp.535-541, 2019 Feb. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-535-2019>

OGAWA,T.,HORI,Y.,and AYATSUKA,I."Measurement Conversion in Pompeii and Herculaneum. " 27th EAA Annual Meeting, Kiel(WEB Remote), 6-11 September 2021.

OGAWA,T.and HORI,Y. "Applying RANSAC Algorithm to Analyse Archaeological and Architectural Materials from Ostia Antica. " 27th EAA Annual Meeting, Kiel(WEB Remote), 6-11 September 2021.

小川拓郎, 堀 賀貴, オスティアにおける交差状のヴォールトの工法について、スティア・ローマ都市研究 IV、日本建築学会計画系論文集 第 87 巻 第 793 号, 2022 年 3 月、pp.644-655

Y. B. Lim, T. Ogawa , Y. Hori, DETECTION OF RESTORATION WORK BY APPLYING THE RANSAC ALGORITHM TO THE POINT CLOUD DATA FROM LASER SCANNING: CASE STUDY AT OSTIA, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVI-2/W1-2022 9th Intl. Workshop 3D-ARCH "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", 2-4 March 2022, Mantua, Italy, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-315-2022>.

なお、以上の論文成果にもとづき著者の小川拓郎氏に九州大学より博士（工学）が授与されている。

題目「ヘレニズム及び古代ローマの建造物・建築材料・測量道具における歪みの可視化とその応用：オスティア・ポンペイ・ヘルクラネウムを中心としたレーザー実測及び分析」
学位論文 <4784384>

他に、研究分担者が発表した論文は以下の通り。

池口 守「古代世界の経済とローマ帝国の役割」『岩波講座 世界歴史—ローマ帝国と西アジア 前三～七世紀—』岩波書店, 2021 年 12 月 3 日, 135-160 頁

池口 守「動物考古学史料の活用—古代ローマ史を中心に—」『西洋史学』268 (2019 年 12 月 30 日), 62-77 頁

池口守「ローマ期ティレニア海沿岸の港湾インフラの発達と海上輸送費の低下」『久留米大学文学部紀要』 36 (2019 年 9 月 30 日), 1-19 頁

加藤磨珠枝「教皇庁と女性—崇敬と蔑視の構造」『西洋中世研究』11 号 (2019 年) pp. 2-7

加藤磨珠枝「中世初期ローマ教会における女性の職務とその表象について」『西洋中世研究』11 号 (2019 年) pp. 8-30

加藤磨珠枝「キリストはどのように描かれてきたのか」『芸術新潮』72 (1) 新潮社、2020 年、pp. 70-79

加藤磨珠枝「永遠の都ローマ—カピトリヌスの丘に立ちて—」『地中海学研究』XLIV (2021 年)、pp. 122-123

共著 (秋山聰, 田中正之監修, 芳賀満, 芳賀京子, 奈良澤由美, 加藤磨珠枝, 武田一文, 高 晟峻, 木俣元一, 京谷啓徳, 秋山 聰, 宮下規久朗, 尾関 幸, 喜多崎 親, 天野知香, 田中正之, 井口壽乃)

担当箇所「第 3 章 中世Iビザンティン、西欧初期中世」『美術出版ライブラリー 西洋美術史』美術出版社、2021 年、pp. 68-70, 72-73, 78-79, 88, 90-92, 94

他、論文として発表されていないが、研究の前提となるオリジナルと復元の壁体の区別について、非常に有用な調査結果を報告しておく。

オスティア遺跡建造物に使用されているモルタルなどの蛍光 X 線分析調査

西山要一・小川拓郎

オスティア遺跡における蛍光 X 線分析調査の主目的は、ローマ時代のオリジナルモルタルと、後世に遺構修復のために使用されたモルタルの分析化学的判別の可能性を探ることにある。分析調査は次の要領で行った。

1 調査の機器および測定条件

調査日時：2020 年 2 月 21 日、22 日、23 日

分析機：ブルカー社製ハンドヘルド蛍光 X 線分析機・トレイサー 5i

測定者：西山要一 (奈良大学)、小川拓郎 (九州大学)

測定条件：電圧 40kV、電流 30 μ A、測定時間 5~60 秒、管球ロジウム、分析野 3mm ϕ 、大気中雰囲気

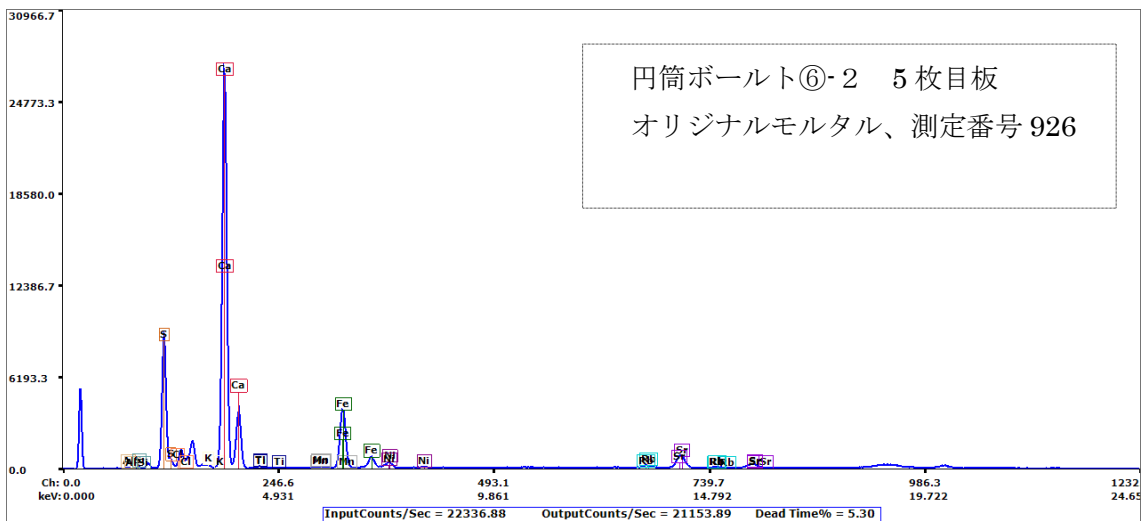
2 分析遺構と分析位置

オステリア遺跡の 4 地区 9 遺構で分析調査を行った。調査遺構と分析か所は、Terme Mirittime (Ⅲ,VⅢ, 2) で 6 か所、Terme della Trinacria (Ⅲ,XⅥ, 7) で 10 か所、Terme del Filosofo(V,Ⅱ,6-7)で 25 か所、Tempio Collegiale (Ⅰ,X, 4) で 19 か所、Edificio a tabernae(Ⅲ,XⅣ, 1)で 23 か所、Caseggiato del Termopolio(Ⅰ,Ⅱ, 5)で 3 か所、Terme del Sette Sapienti(Ⅲ,X, 2)で 14 か所、Terme delle Sei Colonne(Ⅳ,V,10-11)で 4 か所、Caseggiato del Pozzo(V,Ⅱ,1, 3)で 18 か所、あわせて 9 遺構で 122 か所のボルトおよび壁のモルタル表面、モルタル内層、骨材、レンガ表面等の測定を行った。

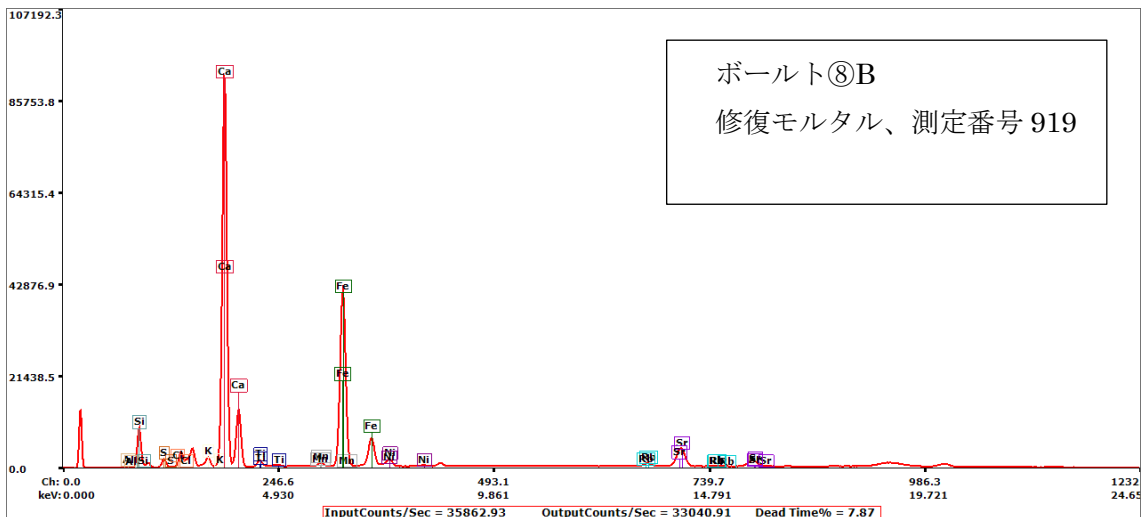
3 分析結果

オリジナルのモルタル、修復のモルタル、時期不明のモルタルのすべての測定か所から、多量のカルシウム (Ca)、中程度の量の鉄 (Fe)、少量の塩素 (Cl)、硫黄 (S)、カリウム (K)、微量のアルミニウム (Al)、ケイ素 (Si)、チタン (Ti)、マンガン (Mn)、ニッケル (Ni)、ルビジウム (Rb)、ストロンチウム (Sr) が検出された。モルタルの主材料はカルシウムでありケイ素、アルミニウム、鉄を不純物として含むとすることに照応する (図 1、図 2)。

(図 1) Tempio dei Sette Sapienti (Ⅲ,X, 2)



(図 2) Caseggiato del Termopolio(Ⅰ,Ⅱ, 5)



さて、本調査の目標はオリジナルモルタルと修復モルタルの判別の分析化学的データを得ることであるが、モルタルに普遍的にかつ多く存在する主構成元素のカルシウムや鉄、ケイ素、アルミニウムなどは判別基準にはならない。

そこで着目されるのは、チタン、マンガン、ニッケル、ルビジウム、ストロンチウムなどの微量成分である。これらの蛍光X線強度(cps)とカルシウムを 100 とし鉄、ルビジウム、ストロンチウム、マンガンの比を比較した。その一部を表 1 に示す。

(表 1)カルシウムを 100 とする鉄等の成分比

検出元素(判別を試みた元素)	カルシウム	鉄	ルビジウム	ストロンチウム	マンガン	備考(マンガン含有量)
----------------	-------	---	-------	---------	------	-------------

測定か所(測定番号)	Ca	Fe	Rb	Sr	Mn	から判断すると)
Terme della Trinacria(Ⅲ, X VI, 7) 円筒ボールド③B (修復) (828)	100	25.93	9.75	24.88	0.36	オリジナルモルタルか
Terme della Trinacria(Ⅲ, X VI, 7) 円筒ボールド④B (オリジナル) (831)	100	41.73	0.94	4.44	0.60	修復モルタルか
Terme del Filosofo(V, Ⅱ, 6-7) 交差ボールド①B-2 (840)	100	18.53	0.36	2.45	0.29	オリジナルモルタル
Terme del Filosofo(V, Ⅱ, 6-7) 交差ボールド①C-1 (846)	100	39.98	0.84	3.52	0.10	オリジナルモルタル
Tempio Collegiale(Ⅰ, X, 4) 交差ボールド②B-1 (オリジナル) (873)	100	9.01	0.26	0.23	0.21	オリジナルモルタル
Tempio Collegiale(Ⅰ, X, 4) 交差ボールド②D-2 (修復) (879)	100	29.14	4.39	2.64	0.64	修復モルタル
Colleggiato del Termopolio(Ⅰ, Ⅱ, 5) ボールド⑧B (修復) (919)	100	54.04	1.27	8.24	1.07	修復モルタル
Trme dei Sette Sapienti(Ⅲ, X, 2) 円筒ボールド⑥-2 (オリジナル) (926)	100	18.13	0.94	5.40	0.39	オリジナルモルタル
Trme dei Sette Sapienti(Ⅲ, X, 2) 円筒ボールド⑥-8 (修復) (933)	100	56.07	0.94	3.89	1.09	修復モルタル
Trme dei Sette Sapienti(Ⅲ, X, 2) 円筒ボールド⑥-10 壁 (オリジナル) (938)	100	4.91	0.19	3.53	0.21	オリジナルモルタル

(測定か所覧の「オリジナル (オリジナルモルタル)」、「修復 (修復モルタル)」の記述はそれぞれ建築学の視点による。記載の無いか所は判断できないことを示す。)

上表によって鉄、ルビジウム、ストロンチウムは、オリジナルモルタルと同様に修復モルタルにも等しく含まれ、また、オリジナルモルタルまたは修復モルタルに何ら多寡の傾向は見られない。

その中で、微量に含まれるマンガンは、2、3の例を除いて90%程度の確率で、オリジナルモルタルには0.50以下、修復モルタルには0.60以上含まれることがわかる。

ローマ時代のオリジナルモルタルか、後世の修復モルタルかを判断する指標としてマンガンの含有率の値を利用することがでる。今後もデータの蓄積を図りたい。そして、ハンドヘルド型蛍光X線分析機が遺跡・遺構の臨地調査にさらに広く活用されることを望みたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ogawa, T., and Y. Hori	4. 巻 XLII-2/W9
2. 論文標題 Comparison with Accuracy of Terrestrial Laser Scanner by Using Point Cloud Aligned with Shape Matching and best Fitting Methods.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 535-541
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-535-2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. B. Lim, T. Ogawa, Y. Hori	4. 巻 XLVI-2/W1
2. 論文標題 DETECTION OF RESTORATION WORK BY APPLYING THE RANSAC ALGORITHM TO THE POINT CLOUD DATA FROM LASER SCANNING: CASE STUDY AT OSTIA	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences	6. 最初と最後の頁 315-321
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-315-2022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 小川拓郎, 堀賀貴	4. 巻 第87巻 第793号
2. 論文標題 オスティアにおける交差状のヴォールトの工法について スティア・ローマ都市研究 IV	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本建築学会計画系論文集	6. 最初と最後の頁 644-655
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aija.87.644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Ogawa, T., and Hori, Y.
2. 発表標題 ARCHAEOLOGY WITHOUT EXCAVATION?: LASER SCANNING IN OSTIA
3. 学会等名 24th EAA Annual Meeting（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikeguchi, M.
2. 発表標題 Alimentazione e utilizzazione degli animali in eta romana: nuovi dati da Pompei
3. 学会等名 Ancient History Seminar (Cambridge) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 De Grossi Mazzorin J., Ikeguchi M., Minniti C.
2. 発表標題 Animal use and consumption in Roman Italy: new zooarchaeological evidence from the so-called 'Porta Capua', Pompeii
3. 学会等名 Roman Discussion Forum (Oxford) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuro OGAWA, Yoshiki HORI, Ikuhiro AYATSUKA
2. 発表標題 Standard Measures of Capacity in Pompeii and Herculaneum
3. 学会等名 27th EAA Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OGAWA, T. and HORI, Y.
2. 発表標題 Applying RANSAC Algorithm to Analyse Archaeological and Architectural Materials from Ostia Antica
3. 学会等名 27th EAA Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 堀 賀貴 (編集), エヴァン・プラウドフット, 藤井 慈子, ジャネット・ディレーン	4. 発行年 2021年
2. 出版社 九州大学出版会	5. 総ページ数 242
3. 書名 古代ローマ人の危機管理	

1. 著者名 堀 賀貴 (編集), レイ・ローレンス, ジャネット・ディレーン, 佐々木 健	4. 発行年 2021年
2. 出版社 九州大学出版会	5. 総ページ数 298
3. 書名 古代ローマ人の都市管理	

1. 著者名 Hans Kamermans, L. Bouke Van Der Meer	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Leiden Univ Press	5. 総ページ数 243
3. 書名 Designating Place: Archaeological Perspectives on Built Environments in Ostia and Pompeii (Archaeological Studies Leiden University, 50)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門建築・都市史研究室 オスティアデータ公開ページ https://history.arch.kyushu-u.ac.jp/potree/workspace/Ostia.html ヘルクラネウム公開ページ https://history.arch.kyushu-u.ac.jp/potree/workspace/Herculaneum.html 豊田浩志、2018年夏期調査報告 http://www.koji007.tokyo/atelier/

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	西山 要一 (Nishiyama Yoichi) (00090936)	奈良大学・その他部局等・名誉教授 (34603)	
研究分担者	渡部 展也 (Watanabe Nobuya) (10365497)	中部大学・人文学部・准教授 (33910)	
研究分担者	豊田 浩志 (Toyota Koji) (20112162)	上智大学・文学部・教授 (32621)	
研究分担者	池口 守 (Ikeguchi Mamoru) (20469399)	久留米大学・文学部・准教授 (37104)	
研究分担者	加藤 磨珠枝 (Kato Masue) (40422521)	立教大学・文学部・教授 (32686)	
研究分担者	佐々木 淑美 (Sasaki Juni) (60637883)	東北芸術工科大学・文化財保存修復研究センター・研究員 (31501)	
研究分担者	佐々木 健 (Sasaki Takeshi) (70437185)	京都大学・法学研究科・教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	ディレーン ジャネット (DeLaine Janet)		
研究協力者	ローレンス レイ (Laurence Ray)	教授	
研究協力者	小川 拓郎 (OGAWA TAKURO) (00943614)		

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1件

国際研究集会 Risk Management in Ancient Rome	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

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			
英国	University of Oxford			
イタリア	Parco Archeologico di Osita	Parco Archeologico di Ercolano	Parco Archeologico di Pompei	他2機関
オーストラリア	Macquarie University			