

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12552

研究課題名(和文)古王国時代のピラミッド群の構造分析による王朝の盛衰史研究

研究課題名(英文)The study of the rise and fall of the Old Kingdom by structural analysis of pyramids

研究代表者

河江 肖剰 (Kawae, Yukinori)

名古屋大学・高等研究院・准教授

研究者番号：00726987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ギザ台地に位置する、第4王朝時代のカフラー王(紀元前2472-2448年頃)のピラミッド複合体に組み込まれたスフィンクスならびにスフィンクス神殿と、ギザ遺跡から南に11キロに位置するアブシールに建造された第5王朝時代のラーネフェルエフ王(紀元前2404年頃)の未完成の王墓の3D計測調査を行った。加えて、これまで取得したギザの三大ピラミッドの3Dデータの生成とその解析によって、ピラミッド内部に「セケド2」という勾配が用いられ、外部には「セケド 5 1/2」が用いられていることを定量的なデータで示すことができた。これらのデータは、オンライン・アーカイブによる、データの一元化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、これまで主に線画生成しかされてこなかったエジプトの世界遺産であるメンフィス地区のスフィンクスやピラミッドを、最新の3Dレーザースキャナーや、Structure From Motionを用いた写真測量によって計測することで、4500年前の巨石建造プロジェクトに、定量的データから新たに光を当てることができた。さらに、長期的な修復保全のための文化財のサイトマネジメントを可能にし、360度VR8Kデータとして公開することで、学術研究の促進ならびにアウトリーチ活動としての観光資源への還元も行うことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, my team has carried out a 3D measurement survey of the Sphinx and the Sphinx Temple embedded in the Pyramid complex of King Khafre of the Fourth Dynasty (c. 2472-2448 BC) of the Old Kingdom, located on the Giza Plateau, and also of the unfinished royal tomb of King Raneferef of the Fifth Dynasty (c. 2404 BC), built at Abshir, 11 km south of the Giza site. In addition, the production of the 3D data of the three Great Pyramids of Giza obtained and the analysis of these data have enabled us to present quantitatively that the slope "seked 2" is used for the internal structure and "seked 5 1/2" for the external. These data eventually constituted an online archive using "BOX", a cloud storage service, in an attempt to centralise the data.

研究分野：エジプト考古学

キーワード：エジプト考古学 ギザ台地 アブシール ピラミッド スフィンクス 3D計測 SFM VR

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

古代エジプトの古王国時代(紀元前 2543-2120 年頃)には、70 基を超える巨大なピラミッドが造営された。当時の巨石建造プロジェクトは、国の盛衰と深く関わっていると考えられており、王権の在り方、官僚機構の発展と複雑化、天然資源の探査と活用など多様な角度から研究が行われている。それらの元となる史料は、墓や神殿に残された様々な称号・職名・形容辞、あるいはパピルス文書や労働者の残した落書きなどの文字資料、隣接する都市遺構から出土する物質文化資料、南のヌビアや北のレヴァントとの交易活動を示す遺物、さらには地形や土壌調査による周囲の環境データなどである。こういった考古学的データは、相互に関連付けられ、多面的に当時の社会が理解されつつある。

しかしその一方、ピラミッドなどの巨石建造物そのもののデータは、1960 年代のヴィト・マラジョリョとチェステ・リナルディによる建築学的な測量調査以後(文献 1)ほとんどアップデートされていない。その半世紀前の情報も、主にピラミッドの大きさや内部の部屋や通路などの記述的な描写とスキマティックな線画による平面図と立面図の作成だけに焦点があたっており、建材として用いられたモルタルや瓦礫の分布や、基礎的データである一つ一つの石材の大きさを示す実測図も存在していない。結果として、通史的な技術変化を含め、この時代のピラミッドの建造方法についてはいまだ仮説の域を出ておらず、社会の変容と関連付けた研究がほとんど進められていない。

申請者はこれまで、メンフィス地区のピラミッド群の基礎データをアップデートすべく、様々な三次元計測プロジェクトに従事し、第 3 王朝から第 5 王朝までの 7 基のピラミッドの三次元形状データを取得した。しかし現時点では、それらの三次元形状データは取得の段階で留まっており、具体的なデータの使用法を含め、その汎用性の研究は緒に就いたばかりであった。

- 文献 1: Maragioglio, V., and C. Rinaldi. 1963-77. L'architettura delle piramidi menfite. Torino: Tip. Artale.

### 2. 研究の目的

本研究では、上述の古王国時代のピラミッド群の三次元形状データから、それぞれ組積造を示し得る箇所を抜き出し、立面図を生成することで、内部構造とその変化を明らかにし、さらに、新たに巨石が用いられている神殿の構造データも取得し、その建造方法を探る。内部の組積造に関しては、判明している当時の建造技術と道具は、(1) 滑車状の道具、(2) テコ、(3) 傾斜路という 3 つである。しかし、これらがどのような組み合わせで用いられたのか、そして、傾斜路の形状がどのようなものであったのかは分かっていない。本研究では、三次元形状データから詳細な実測図を作成することで、俯瞰的に巨石建造について研究し、さらに、石材の大きさ、構造などから、傾斜路の形状と、どのような組み合わせで滑車状の道具やテコとが使われたのかを明らかにする。

傾斜路の形状は、石切場との関わりも指摘されている。ピラミッド建造の研究は、建造物を単独に見るだけではなく、石切場を含めた周囲の地形など、巨視的な視点から建造プロジェクトとして理解する必要がある。そこで本研究では、そのような地形考古学的な視点もふまえ、建造方法と技術の発展を通史的に明らかにする。さらに、3D データの公開によって、学術研究の促進ならびにアウトリーチ活動としてのエジプトの観光資源への還元も試みる。

### 3. 研究の方法

7 基のピラミッドの三次元形状データは現在全て申請者が所持している。それらのうち、ギザの三大ピラミッドとニウセルラー王のピラミッド以外は、二次元の展開図(平面図/立面図)の生成も完成している。本研究では、各現場で遺構の観察を踏まえつつ、必要な箇所の線画生成を行い、そこから先行研究と比較と、他の古代エジプトの遺跡の建築技術を参照しつつ、研究を推進する。それぞれの三次元形状データは、日本の大学機関、企業、エジプト考古省、米刻古代エジプト調査協会、チェコ・エジプト学研究所がステークホルダーとして著作権を所有しているが、本研究期間内に、学術研究のためだけではなく、一般公開も含め調整も行う。

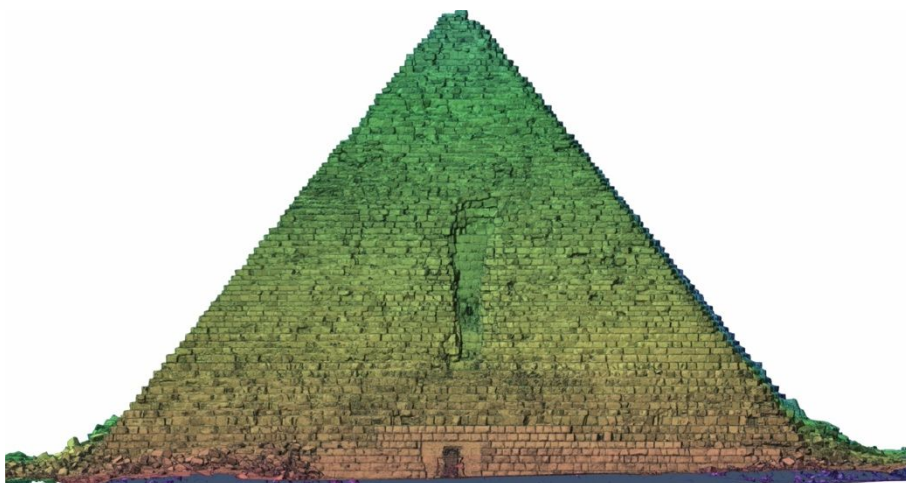
### 4. 研究成果

新たなデータの取得として、ギザ遺跡では、第 4 王朝時代のカフラー王(紀元前 2472-2448 年頃)のピラミッド複合体に組み込まれたスフィンクス、スフィンクス神殿、それが建てられた中央墓地の 338m x 292m の全域エリアの 3D 計測調査を行った。これは、3D レーザー・スキャナ(FARO Focus3D X330)、ならびにアクション・カメラ GoPro5, 6, 7 と、LUMICA Bi Rod 6G-750、そして、エジプトでは使用が通常困難な、DJI Phantom 4 Pro drone を特別な許可を取得して用いた。さらに古王国時代の巨石建造における技術変化を調査するために、ギザ遺跡から南に 11 キロに位置するアブシールに建造された第 5 王朝時代のラーネフェルエフ王(紀元前 2404 年頃)の未完成の王墓の 3D 計測調査の予備調査も行った。この調査も、ギザと同様の機材を用いて行

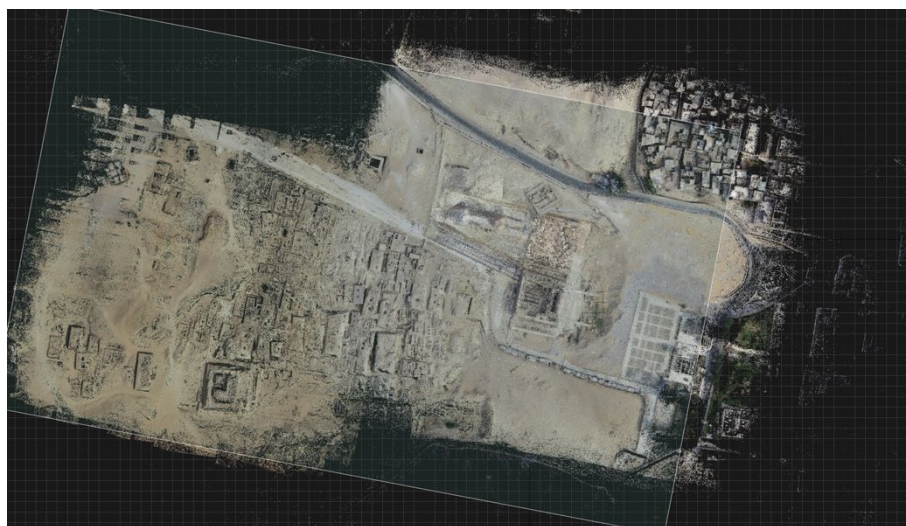
われた。こういった新しい現場のデータ収集に加え、これまで取得したギザの三大ピラミッドの3Dデータの生成と解析も行った。

結果、ギザのピラミッド群の内部構造が、古代エジプトの勾配である「セケド」の2という値が用いられ、外部にはセケド5 1/2が用いられていることが、定量的なデータで示すことができた。この外部のセケド5 1/2 (=51.84度)は「ピラミッド・アングル」と呼ばれているが、実際には、内部構造のセケド2が重要であるため、この勾配を最初に用いたネチェリケト王という最古のピラミッド建造者の名前を取り「ネチェリケト・アングル」という名称を提唱した。これらの勾配とその変化は、我々が取得したアブシールの3Dピラミッドでも確認することができるため、通史的な技術発展の研究が可能となった。スフィンクスとスフィンクス神殿、さらに中央墓地の3D形状データの収集によって、石切場を含めた周囲の地形など巨視的な視点から建造プロジェクトとしての研究と、長期的な修復保全のための文化財のサイトマネジメントが可能になった。

これらのデータのなかでも、大ピラミッドのデータを日本のドローン/CGを専門とするWorld Scan Projectの協力を得て、8K360度VRデータとして一般公開したのは、学術研究の促進ならびにアウトリーチ活動としての観光資源への還元としても大きなことであった。



3Dデータから生成したメンカウラー王のピラミッドの北面画像。12世紀の盗掘活動によって、一部、内部が露出し、構造体の記録、解析が可能になっている。



スフィンクス、スフィンクス神殿が位置するギザの中央墓地の3Dデータから生成した平面画像。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 河江肖剰, 安室喜弘, 金谷一朗	4. 巻 -
2. 論文標題 ギザのスフィンクス神殿における3D計測調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第24回西アジア発掘調査報告会	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河江肖剰	4. 巻 44-2
2. 論文標題 ギザのピラミッドにおけるドローンによる 3D 計測調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 国際交通安全学会誌	6. 最初と最後の頁 113-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24572/iatsreview.44.2_117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河江肖剰	4. 巻 -
2. 論文標題 エジプトのピラミッド調査における3Dドキュメンテーションの有用性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 システム制御情報学会研究発表講演論文集	6. 最初と最後の頁 586-588
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 河江肖剰
2. 発表標題 エジプトのピラミッド調査における3Dドキュメンテーションの有用性
3. 学会等名 システム制御情報学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河江肖剰
2. 発表標題 ピラミッド・タウンの邸宅「House Unit 1」の発掘と文化的資料の分析
3. 学会等名 古代エジプト領域部におけるモニュメントと知の動態 - アコリス考古学プロジェクト2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河江肖剰
2. 発表標題 Analyzing Egyptian Pyramids in the Digital Age
3. 学会等名 Harvard Museums of Science and Culture Lecture Series (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河江肖剰
2. 発表標題 オープンイノベーションによるピラミッド群の3次元調査
3. 学会等名 名古屋大学高等研究院レクチャー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河江肖剰
2. 発表標題 Giza 3D Survey 2013-18
3. 学会等名 National Geographic Explorer Festival - Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 河江 肖剰、佐藤 悦夫	4. 発行年 2021年
2. 出版社 グラフィック社	5. 総ページ数 160
3. 書名 世界のピラミッドWonder land	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------