

## 名護市天仁屋の碇石と SfM (Structure-from-Motion) を応用した碇石の計測方法

片桐千亜紀<sup>1)</sup>・木村謙介<sup>2)</sup>・崎原恒寿<sup>3)</sup>

### A stone anchor from Teniya, Nago City, and a measuring method for stone anchors applying SfM

Chiaki KATAGIRI<sup>1)</sup>, Kensuke KIMURA<sup>2)</sup>, Tsunehisa SAKIHARA<sup>3)</sup>

#### 1. はじめに

名護市天仁屋で碇石が確認された。沖縄島では加工が荒い1m前後の琉球製と考えられる碇石がこれまでに3本確認されているが(片桐他2005、崎原2012)、今回確認された碇石は其中でも最大の大きさである。琉球製と考えられる碇石の発見は、2004年に沖縄県立埋蔵文化財センターによって発見された瀬底島アンチ浜沖の碇石以来約10年ぶりである。

沖縄県立博物館・美術館では平成26年11月8日～平成27年1月18日まで、平成26年度博物館特別展「水中文化遺産～海に沈んだ歴史のカケラ～」を開催した。この展示会の会期中、沖縄タイムスに展示会の内容を紹介する新聞記事(2014年11月24日)を寄稿し紹介していただいたが、その新聞を読んで来館された安仁屋昌健氏が、展示されていた様々な碇石を見て、自分が所有しているものと似ている事に気づき、当館に連絡があった。その後、資料そのものを当館に持ち込んでいただき、実見したところ碇石であることがわかった。安仁屋氏からの聞き取りによると、もともとこの碇石は「約30年前(1980年代)にオジが名護市天仁屋と東村慶佐次との間の海底から引き揚げ、庭に立ててあった。」と言う。

安仁屋氏の好意によって、この碇石はそのまま「天仁屋の碇石」として展示会に追加で展示させていただいた(写真1)。水中文化遺産に着目した展示会と新聞での紹介によって、これまで知られてこな



写真1 水中文化遺産展で追加展示した名護市天仁屋の碇石の様子

かった碇石の存在が明るみとなったことは、本展示会を開催した大きな意義のひとつと考えられる。

本稿では天仁屋の碇石の紹介とともに、SfM (Structure-from-Motion) を応用した碇石の計測方法について述べる。

#### 2. 琉球製碇石の調査概要

碇石研究は上田雄氏、松岡史氏によって集成や分類が行われ(上田1976・松岡1981)、小川光彦氏がこの研究を引き継ぐように精力的な研究を進めている(小川2008など)。南西諸島では當眞嗣一氏による碇石集成及び上田・松岡氏らの分類を引き継いで角柱対称型の細分が行われている(當眞1996)。沖縄県

1) 沖縄県立博物館・美術館 〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち 3-1-1

Okinawa Prefectural Museum and Art Museum, 3-1-1, Omoromachi, Naha, Okinawa, 900-0006, Japan.

2) 株式会社パスコ 〒900-0015 沖縄県那覇市久茂地 2-22-12

2-22-12, Kumoji, Naha, Okinawa, 900-0015, Japan

3) 恩納村教育委員会 〒904-0415 沖縄県恩納村字仲泊 1656-8

Onna Village board of education, 1656-8, Nakadomari, Onna, Okinawa, 904-0415, Japan.

内で確認された2類に該当すると考えられる碇石は、これまで本部町、うるま市、糸満市で確認報告されており、琉球製と考えられる。今回、水中文化

遺産展中に情報を寄せられた名護市天仁屋の碇石は県内で4例目の事例となる(図1)。



図1 沖縄諸島における琉球製碇石の分布

各碇石の調査経緯について記載する。糸満市の碇石は、矢沢秀雄による戦跡調査の時に初めて確認され、糸満市教育委員会の湖城清により公表されたものである(湖城1995、當眞1996)。発見時は、石敢當に転用されていたと報告されている。実際、碇石の片面に「石敢當」と彫り込まれている。

浜比嘉島の碇石は、勝連町の遺跡分布調査報告書内で浜比嘉島浜集落内の線刻石柱として上原静により報告された資料である(上原1993、片桐他2005)。

アンチ浜の碇石は、2004年に沖縄県立埋蔵文化財センターによる沿岸地域遺跡分布調査の際、本部町瀬底島アンチ浜一帯のシュノーケルによる水中調査の結果、海底に碇石がある事が発見され、回収するための調査がなされた<sup>\*1</sup>(片桐他2005)。

天仁屋の碇石については前述した。

### 3. SfM (Structure-from-Motion) を応用した碇石の計測方法

#### 3-1. はじめに

本計測の対象となる碇石は、その質量・大きさのため取り扱いが難しく、従来の考古学的な図化作業には大きな困難を伴った。このため、今回の計測で

は、これらの負担の軽減と図化の迅速化・簡便化および低コスト化を図ることを目的とし、SfM (Structure-from-Motion) による計測方法を試行する。

#### 3-2. 選定技術

今回の計測では、計測対象が非常に大きく重量であることから、対象物をなるべく動かさずに計測することを前提条件として作業にあたった。

計測方法としては、3次元レーザ計測や写真測量などを実施する案もあったが、当初の目的である迅速化・簡便化・低コスト化の条件を満たすために、汎用デジタルカメラを使用する Structure-from-Motion (以下、SfM) を応用した3次元計測を選定した。

#### 3-3. 現地計測

今回の計測には、焦点距離50mmの単焦点レンズを装着したデジタル一眼レフカメラ Nikon D800E を使用した。計測は基本的に通常の写真撮影と同じ要領であるが、アングルと光源の2点については特に留意が必要である。撮影は合計49アングル行い、1アングルにつきそれぞれ露光調整を適正、アンダー、オーバーを各1カットずつの計3カットの画像を撮影した(写真2~4)。



写真2 標定点配置状況



写真3 標定点の観測

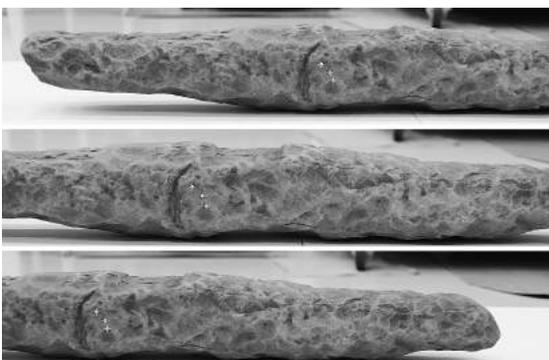


写真4 撮影画像（マッチングポイントを意識した計測）

なお、座標系は任意に設定した極地座標系を使用し、トータルステーションの機械点の座標をXYZ (0, 0, 0)、後視点の座標をXYZ (0, 2, 0.01) と定義した。また、標定点を資料の周囲に配置し、標定点観測を行った。観測は測量用プリズムボールを標定点上に据え付けを行い、標定点は点番号を観測した順に、1～6とした。

### 3-4. 画像解析と3次元形状の復元

取得した画像データの解析には、「Agisoft PhotoScan Professional Edition Version 1.0.4」を使用した。本ソフトウェアは、比較的簡単にデータの取り込みから解析までを行なうことができる。また、独自のアルゴリズムで、撮影機器・レンズ焦点距離が入り混じった画像データでも解析が可能であることから、汎用性が高い。

解析には、まず撮影した画像データの読み込みを行う。撮影画像の枚数が増えるほど、要する時間が多くなるが、より精細な結果が期待できる。

解析の結果、復元された3次元形状は、目視の上では大きな破綻は見られなかった。また、あらかじめ取得していた基準座標との誤差についても、解析ソフト内での検証によれば解析誤差1～4mm前後とかなり良好な結果であった（表1、図2）。

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
<input checked="" type="checkbox"/> point 1	-0.968000	-5.100000	0.679000	0.001786	8	1.274
<input checked="" type="checkbox"/> point 2	0.070000	-0.134000	0.609000	0.001497	7	4.199
<input checked="" type="checkbox"/> point 3	0.080000	-5.086000	0.675000	0.002303	17	5.181
<input checked="" type="checkbox"/> point 4	0.105000	-3.975000	0.674000	0.003598	1	0.006
<input checked="" type="checkbox"/> point 5	-0.946000	-3.955000	0.674000	0.004304	1	0.006
<input checked="" type="checkbox"/> point 6	-0.966000	-5.014000	0.678000	0.001411	21	3.689
<b>Total Error</b>				<b>0.002214</b>		<b>4.068</b>

表1 標定点座標一覧

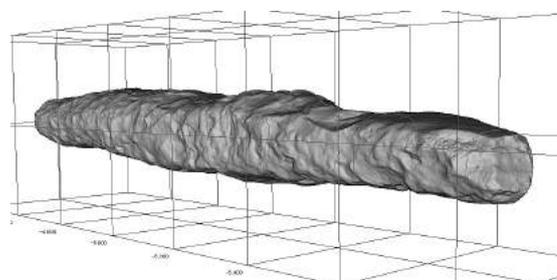


図2 データ解析状況

### 3-5. 2次元図化（数値図化）

今回使用したソフトには、復元した3次元形状とテクスチャから、座標位置情報が記載されたテキストファイルとともに、オルソ画像を生成する機能が備わっている。この機能を使用してオルソ画像の生成を行い、実測図とした（図3）。

### 3-6. まとめ

今回の計測では、SfMの技術を全面的に応用して、デジタル画像データから3次元形状を復元し、2次元図面の作成まで試みた。

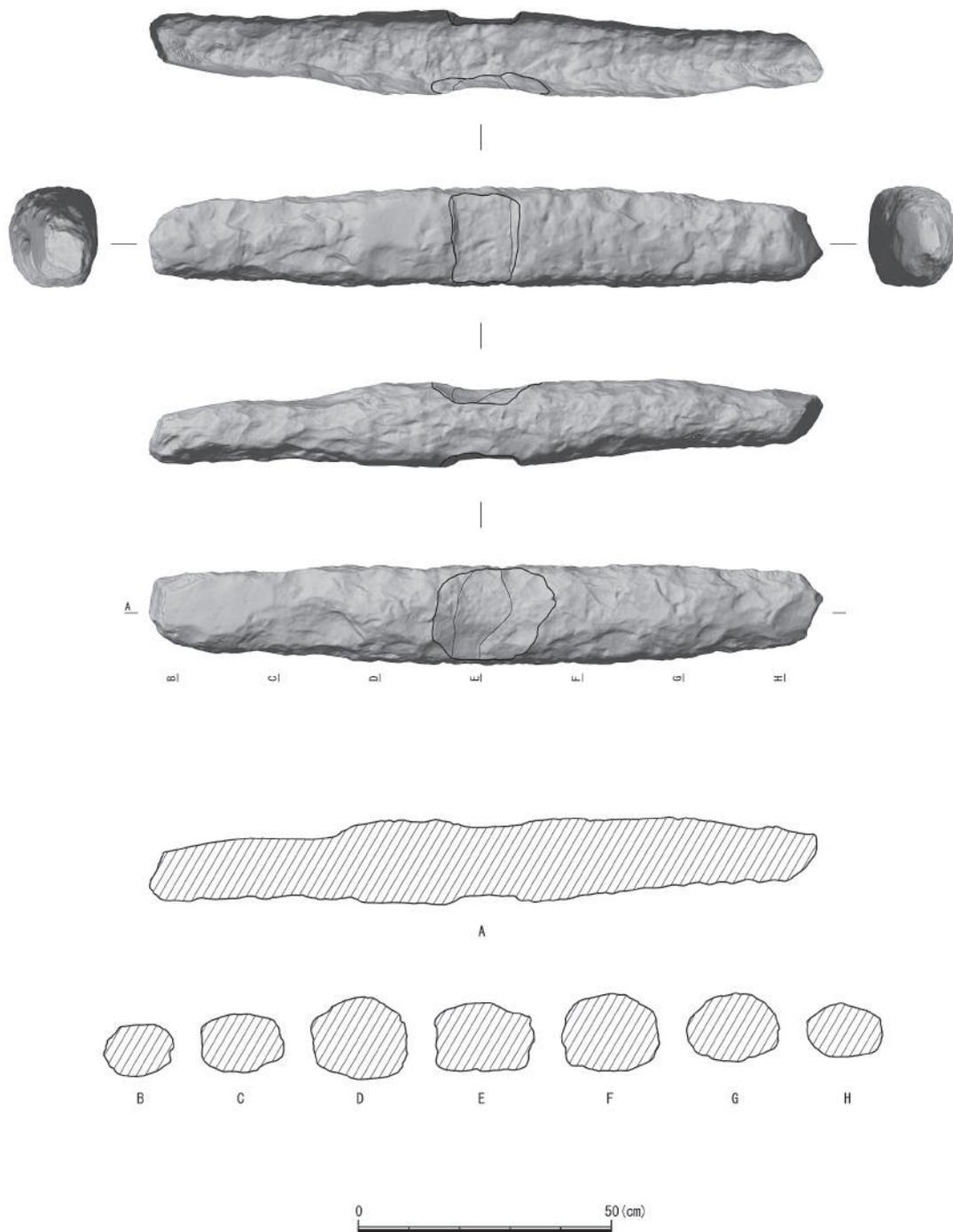


図3 天仁屋の碓石実測図

計測に要した時間は、現地計測に1時間弱、解析に3時間（PC自動処理）、図化編集に1時間、合計5時間程度であった。一連の作業の中で、得た成果および検討課題を以下に示す。

<成果>

①計測時間の迅速化→PCによる自動解析が作業時

間の大半を占める。

②計測の簡便化→既存のデジタルカメラの活用。いつでもどこでも。

③資料の完全データ化→事後でもデータの利活用が可能。3次元計測データの共有化（3D PDFによる）

## <課題>

- ①初期投資費用→高性能なPCと解析ソフトウェアが必要。
- ②図化編集→専門家による検討が必要
- ③外部検証手段の必要性→精度検証方法の確立

### 4. 天仁屋の碇石の特徴

天仁屋の碇石は全長約122cm、中央部幅約17cm、中央部厚約12cm、先端部幅約13cm、先端部厚約10cm、碇身装着部幅約11.5cm、碇身装着部深約1cm、重量70kgを計る。これまで確認されている糸満市の碇石約108cm、浜比嘉島の碇石推定約113cm、アンチ浜の碇石約76.5cmの3本の碇石と比べて最大の長さであり、相対的にシャープなフォームをしている特徴がある。

素材は砂岩<sup>\*2</sup>であり、肉眼観察のレベルでは浜比嘉島の碇石の素材と良く似ている。

中央部に碇身装着部を持ち、片面は明瞭な段を設けているが、もう一方の面はなだらか弧を描いて凹めているのみである。この特徴は、糸満市の碇石に共通しており、片面をこのように加工する志向性があったのかもしれない。一方で両面に明瞭な段を設けるアンチ浜の碇石のようなものも確認されている。そして、碇身装着部の幅は半分の観察ができない浜比嘉島の碇石を除けば、全長約76.5cm（アンチ浜）・108cm（糸満市）、122cm（天仁屋）という大きさにかわらず、約11～13cmとほぼ均一である点は興味深い。

中央部から先端部になるにつれて先細る形態に加工されており、碇身装着部が設けられている幅広面よりも、側面の方がその先細りは顕著である。断面形態も方形というよりは四隅を荒く何度も面取りしており、いびつな楕円形を呈する。この面取は先端部に向かうにつれて顕著であり、見た目が実際よりも先端部が先細っているように見えるという効果がある点が注目される。このような形態的特徴も、素材の特徴と同様、浜比嘉島の碇石と最も似る。アンチ浜の碇石は先端部の先細り加工をほとんどしていないが、やはり先端部に向かうにつれてより大きく四隅を面取ることによって、先端部が先細っているように見える。一方糸満市の碇石はアンチ浜の碇石と同様、先端部の先細り加工をしておらず、四隅の

面取りもあるが、比較的均一で先細りに見える効果は生んでいない。

最後に、天仁屋の碇石が引き揚げられた場所は沖縄島の東海岸の海と聞く。名護市天仁屋と東村慶佐次の間海域というから、その証言が正しければ有銘湾の海底に存在していた可能性が考えられる。これまで確認された琉球製の碇石は2点が西海岸（糸満市、アンチ浜）、2点（天仁屋、浜比嘉）が東海岸となっている。そして、その素材や形態的特徴、加工方法が最も似る天仁屋の碇石と浜比嘉島の碇石が東海岸に存在する。これらは偶然だろうか、今後の興味深い課題であり、資料の増加が楽しみである。

### 5. 考察と課題

今回確認された天仁屋の碇石を含めて、沖縄諸島では計4本の琉球製と考えられる碇石が確認された。これらの碇石はその時代は不明だが、琉球船に装備されたものであると考えるのが妥当だろう。

琉球製の碇石の特徴をまとめると、①中央部の幅広面に明瞭な碇身装着部を設ける（片面が明瞭な段を設け、片面はゆるく弧を描く場合と両面ともに明瞭な段を設ける場合がある）、②方形を志向する加工を施した後、四隅を大胆に面取りすることによって先端部が先細るもしくは先細って見えるように志向する、③加工が粗く明瞭な痕跡が残る、などがあげられる。

このような特徴を兼ね添えている碇石は、中国船に装備されていたと考えられている中国スタイル碇石であり、それを模倣したタイプの碇石は、小川氏によって模倣型碇石と名付けられている（小川2008）。琉球製の碇石も小川氏が指摘するように、やはり中国船の碇石を模倣したものであろう。両者を比較すると、③の素材の加工の荒さは比べようもないが、①と②の特徴は中国スタイル碇石を模倣している可能性は高い。沖縄諸島に中国船が来航していたことにより、アンカーストックとして碇石が装備されている木石碇を目にすることがあれば、②の特徴である先端部の先細りを模倣することはできると思うが、碇身装着部は外面を完成された木石碇を見ただけでは模倣することはできない。分解され碇石のみとなった姿を知っていて初めて可能となろう。このことから、琉球製碇石は中国スタイル碇石

を模倣する意識がかなり高かったものと考えられる。その中でも天仁屋の碇石は他の琉球製碇石と比べて、そのシャープなフォームが中国スタイル碇石にかなり近く、より似ていると判断できる。これらの碇石の年代が明らかではない点は大きな課題であるが、古琉球時代の琉球の船がどのような形態をしていたのか、よくわかっていないのが現状である。碇石が中国船と似ているということは、船の形も似ていた可能性もあるのではなかろうか。今後、このように残されている船の装備（イカリなど）から琉球の船の形態を模索していく事は、無意味な事ではないだろう。

近年、高津孝氏らの研究グループによって碇石の石材同定が積極的に進められており、船籍や出港地に繋がっていく成果が得られている（高津他2013）。今後、琉球製の碇石でも石材同定とその産地の研究を進める必要がある。

※1 2004年に沖縄県立埋蔵文化財センターが回収したアンチ浜の碇石は、アジア水中考古学研究所の小川光彦氏に、碇石の評価についてセンターから指導・助言を依頼した際、中国スタイル碇石の「模倣」型碇石と考えられることをご教示いただいた。

※2 沖縄県立博物館・美術館学芸員地学担当の仲里健氏のご教示による。

#### 【参考文献】

- 上田雄 1976 「碇石についての研究調査報告」『海  
事史研究』第23号
- 上原静 1993 『勝連町の遺跡－遺跡詳細分布調査  
報告－』勝連町教育委員会
- 小川光彦 2008 「東アジア海域における中国ス  
タイル碇石の研究」『第1回 韓・日共同水中考古学  
研究発表会 研究発表論文集』（財）韓国文物研究  
院
- 片桐千亜紀・比嘉尚輝・崎原恒寿 2005 「本部町  
瀬底島アンチの浜海底発見の碇石」『紀要 沖縄埋  
文研究3』沖縄県立埋蔵文化財センター
- 株式会社オーク 2013 「Agisoft PhotoScan Pro-  
fessional edition 日本語マニュアル」
- 湖城清 1995 「碇石発見される－糸満市－」『南島

考古だより』第53号 沖縄考古学会

崎原恒寿 2012 「第4章第11項 南西諸島の碇石  
について」『水中文化遺産データベース作成と水中  
考古学の推進 海の文化遺産総合調査報告書－南  
西諸島編－』アジア水中考古学研究所・南西諸島  
水中文化遺産研究会・鹿児島大学法文学部物質文  
化論研究室

高津孝・大木公彦・橋口亘 2013 「日本現存碇石石  
材調査報告」『鹿大史学』60

當間嗣一 1996 「南西諸島発見の碇石の考察」『沖  
縄県立博物館紀要』第22号 沖縄県立博物館

松岡史 1981 「碇石の研究」『松浦党研究』第2号  
松浦党研究連合会

林 昌希 2011 『コンピュータビジョンのセカイ-  
今そこにあるミライ 動画編集技術「マッチムー  
ブ」(1)』 <http://news.mynavi.jp>

向川康博・中村裕一・大田友一 1996 「2枚の顔写  
真を用いた任意方向の顔画像の生成」『情報処理学  
会論文誌』vol.37 No.4

山田健人・金澤 靖・金谷健一・菅谷保之 2009  
「2 画像からの3 次元復元の最新アルゴリズム」  
『情報処理学会研究報告』