

第3章 分布調査の成果



小豆島石丁場跡各丁場 分布図

①	福田石切丁場 [小豆島町指定史跡]	藤堂家 (伊勢津藩)
②	岩谷石切丁場 [国指定・県指定史跡]	黒田家 (筑前福岡藩)
③	石場石切丁場 [小豆島町指定史跡]	田中家 (筑後柳川藩)
④	土庄石切丁場 [県指定史跡]	加藤家 (肥後熊本藩)
⑤	小海石切丁場 [県指定・土庄町指定史跡]	細川家 (豊前小倉藩)
⑥	大部石切丁場 [土庄町指定]	中川家 (豊後竹田藩) 松平家 (因幡松江藩)

I. 各工程の成果

2015年～2017年の3ヶ年に実施した調査は、①石材分布調査、②地形測量調査、③海中石材の三次元化処理である。

1. 素潜りによる分布把握

八人石丁場の海岸部には海中に多くの石材が分布する。海水面が澄んだ状態の時には水深2m近くまで海上から目視できる。分布調査は基本的にシュノーケリングで行い、確認できた矢穴石及び規格石材に目印としてナンバープレートを沈めた。シュノーケリングは段階的に実施し、1回目は広い範囲で石材を探すことに専念し、加工石材の可能性がある場合は素潜りで矢穴等の痕跡を確認した。2回目は目印の石材などを頼りに往復しながら面的に搜索を行い、石材にはナンバープレートを設置した。これらを頼りにおおよその位置関係を略図化し、個別石材を写真等で記録した。翌年は記録した石材の搜索を行い、確認できた石材については個別石材の計測を行った。海中の状況は、天候や時期などにより大きく変貌する。砂に埋もれて確認できないものや、海草よって判別できないものもあり、周辺の地形や海面より上に出ている石材などを手がかりとした確認が主な作業となった。

分布調査によると、南北の崖面近くには2mを越えるような自然種石の巨石が点在している。海岸から約20m付近までは崖面からの崩れや自然災害等による影響によると推定される1m前後の石材も多数確認された。その分布は鶴翼状に展開し、中央付近から南よりにかけては砂地がひろがっている。岸から離れるほど、石材は少なくなる。海中の加工石材は、17石を確認した沖合いでは水深5m前後に1石を確認するに留まった。

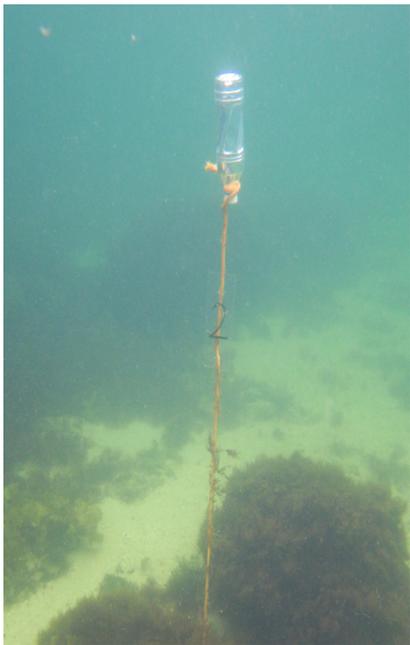
素潜りによる分布調査は、石材のおおよその分布を探る上では、有効的な手法と言える。本調査地では石材を確認できる水深は3～5m程度、石材の計測については2m前後までが限界であった。また、合わせてクリアカヤックによる海上からの石材確認も試みた。素潜りと異なり、周囲との位置関係を把握しやすいという利点があった。しかし、石材の確認には素潜りで接近する必要があり、併用することでより効率的な調査が可能であろう。



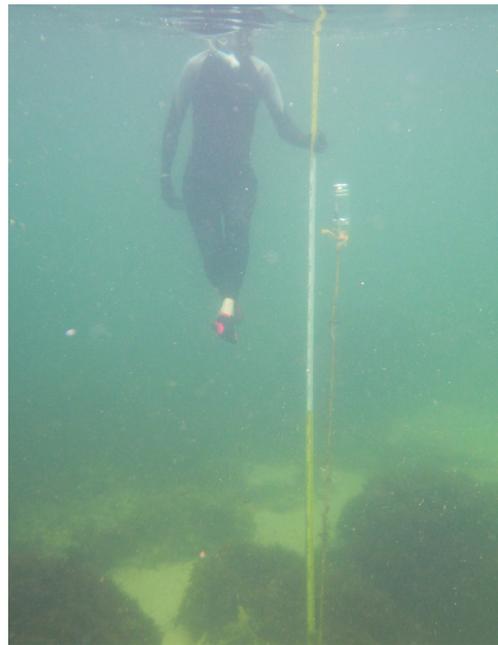
シュノーケリングによる石材確認



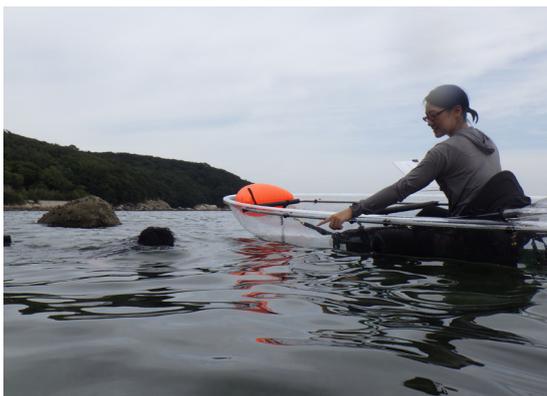
シュノーケリングによる石材確認2



石材のナンバープレート



石材の確認状況



クリアカヤックによる石材確認



クリアカヤックによる石材確認2

2. 平板測量と個別石材の実測〔PL 3・4〕

当地は八人石丁場から谷状地形を下った先にひろがる湾状の海岸である。自然災害等の影響もあり、海岸の一面が石材に覆われてしまっているが、中には矢穴列のある巨大な種石や矢こぎにより平坦面をつくる石材など、大きくその位置が変動していない石材もいくつか窺える。陸上部分から波打ち際においては、角石として加工された石材や刻印の残るものも含まれており、それら主要な石材や基準となる石材について平板測量を行った。距離測定は調査途中からレーザー距離計を導入した。海中に見られる角石や矢穴のある加工石材は、個別に実測した石材の位置関係を明確にするため、基準となる2点を平板に記録し、石材の長軸の方向と分布状況の把握に努めた。

平板測量の結果、角石などの加工石材は海岸の中央付近に集中する。一方、矢穴列の見られる巨石等は海岸の周縁部に点在しており、石材の分布に片寄りが見られることが判明した。

これは海中の石材についても同様であり、谷地形の延長上にまとまる傾向がみられた。

個別の石材については、海岸部から海中にかけて分布する加工石材を計測した。No. 1・25は矢こぎのある石である。規格石材を切り出すために石の表面を平坦にし、その上で矢穴列を設けて分割する行程がよくわかる。2は小口面に「#」刻印が残る石材である。3～10は直方体に成形された規格石材である。いずれも長辺が2mを超える長大なもので、小口面は0.9～1m前後を測る。特に8は長辺3m、短辺1.2m、高さ0.5m以上の規模をもつ大型品である。11の種石にも下部に矢穴列が見られ、転石と考えられる。また、これらの石材と同様の規格石材が海中にも存在する。12・20は長辺2.5m前後、13～15・18・19・21は長辺2.0m前後、16・17は長辺1.3m前後の直方体に規格されている。その他、ホゾ穴を2つもつ石材もあった。一方、陸上には22の「十」刻印や23の「丁」刻印などの黒田家のものとされる刻印をもつ石材も確認できた。



個別石材の計測



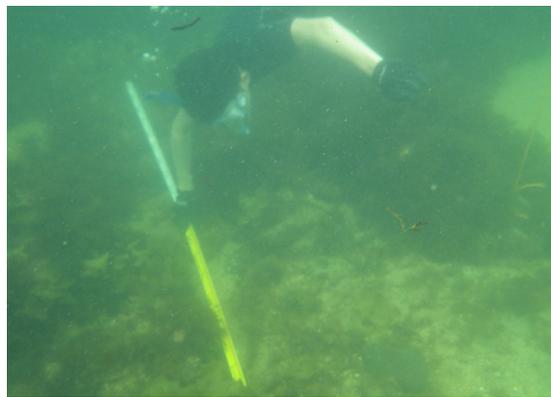
平板による測量



個別石材の計測 2



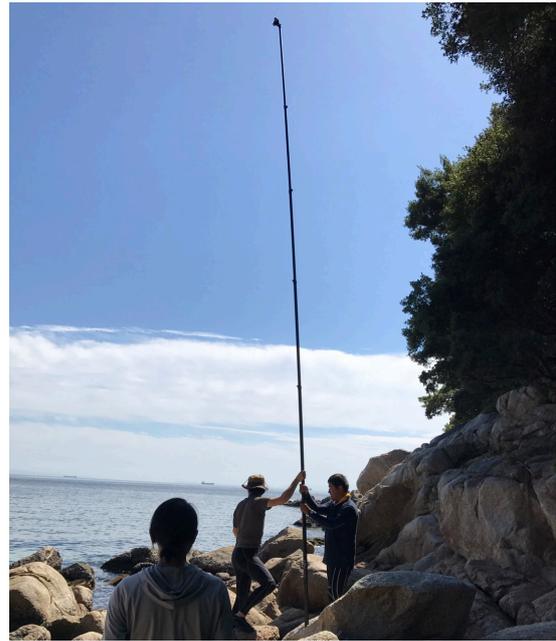
水中石材の計測



水中石材の計測 2

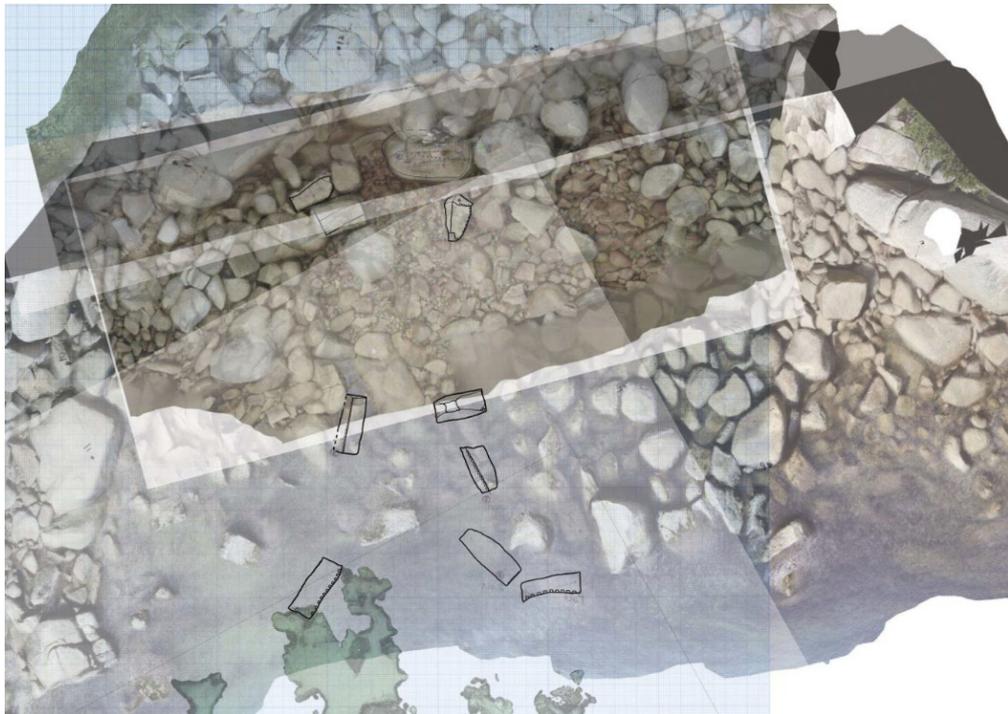
3. 写真計測

当該調査地の陸上部は、大量の石材がおり重なっている状態であった。採石当時から動いていない石材と後年の土砂崩れなどによる転石が混在していた。平板測量による石材全点を記録化は、困難な量であったため、写真計測を実施した。撮影用ロングロッド 4.5m および 7.5m を活用して高所から撮影した。ロングロッドの先には Wifi による遠隔操作可能なカメラを付け、地上ではタブレットでカメラシャッターを操作して撮影を行った。被写体となる石材群が 7 割以上オーバーラップするように撮影した。撮影は①陸地（満潮でも水没しない）、②陸地（干潮時に陸地化）、③波打ち際（干潮時の波打ち際）の 3 ブロックに分けた。②③は、潮の干満に合わせて撮影した。③については、常に波が押し寄せるため、画像の 7 割以上のオーバーラップ率を確保できず、接合処理の結果が芳しくなかった。撮影した画像は、Photoscan にてオルソ画像化したのち、石材輪郭をトレースした。なお、スケールは平板測量で記録した基準点をもとに整合させた。



ポールによる写真撮影

撮影した画像は、Photoscan にてオルソ画像化したのち、石材輪郭をトレースした。なお、スケールは平板測量で記録した基準点をもとに整合させた。



オルソ画像・平板測量図の合成

Ⅱ. 水中ソナー・SfM/MVS

1. 廉価型水中ソナー調査による成果

近年、水中の情報を取得する方法として、海底表面の計測をおこなう、サイドスキャンソナー、マルチビーム測深器や、海底表面下の情報を取得するサブボトムプロファイラー、磁気探査機などの利用が進められ、水中遺跡の探査に大きく寄与している。

他方、釣りや漁業を目的に販売されている汎用の廉価なサイドスキャンソナーを海底の調査に活用する研究が近年おこなわれつつある。特に、津波被害地の浅層を対象にした試みでは、従来の船舶が航行不能な部分においても利用が可能であり、より高価な機器に比べて限界は大きいものの、簡易に海中を把握できる手段として注目されてきた⁽¹⁾。奈良文化財研究所遺跡・調査技術研究室では今後沿岸地域において重要となるであろう水中の遺跡の把握を文化財保護行政の下で積極的に推進することを目的として、機器の試行をおこなっている。今回、八人石丁場先の海中調査において、計測をおこなったので、報告する。

今回使用した機材は LOWRANCE 社 HDS7Gen7 およびストラクチャースキャンを用いた。使用周波数は 800KHz である。振動子はパイプに固定し、船の側面より海中に入れて固定をおこなった。位置決定については、機器に付属の GPS を用いた。このため、単独測位による誤差が見込まれる。本来は外部機器の RTK-GPS による計測が望ましいが、今回は実施できなかった。

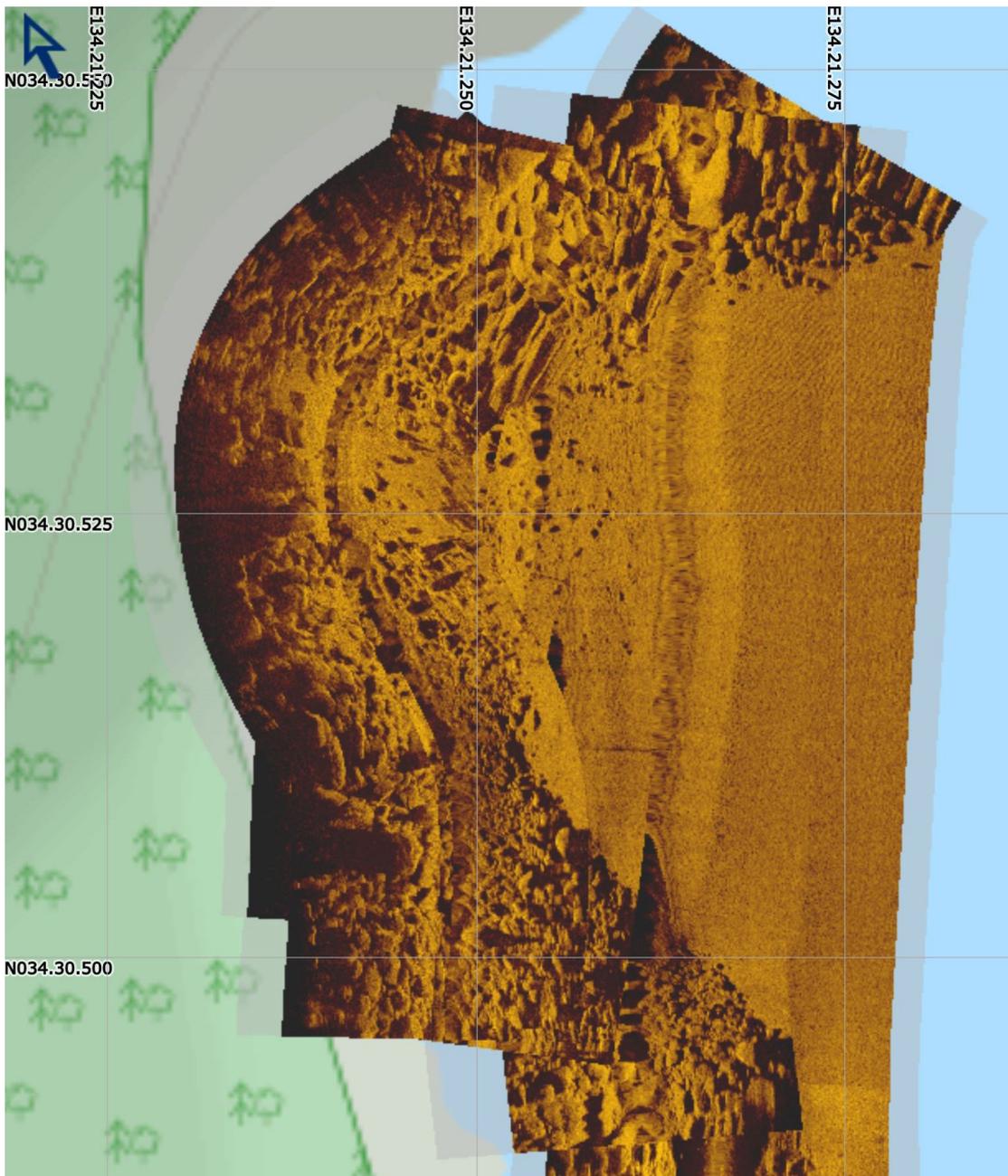
計測結果は ReefMaster2.0 (ReefMaster Software Ltd.) で解析をおこない、Mosaic 処理をおこなって表示をおこなった。表示の背景画像には OpenStreetMap を用いた。

計測の結果を図に示す。海中に存在する石の形状と分布を確認することには成功している。しかし、詳細をみると、スキャンの測線間において差が生じたり、石が二重に、あるいは形状が崩れていると考えられる部分も存在する。測線の間隔などの設定、安定した計測のための工夫、位置精度の向上といった点について見直しが必要と考える。このため、必ずしも充分とは言えないが、浅層における水中遺跡の把握にこれらの技術が活用可能であることをしめすことができた。今後、より詳細かつ高精度の情報を取得することを目的に手法の改良をおこないたい。

(1) (独) 水産総合研究センター水産工学研究所 2011 簡単に行える音響機器を用いた漁場調査に関する手引き、横山勝栄・大野敦生・畠山信・田中克 2012 小湾内における海底がれきの簡易的な探査手法 水産海洋研究 76(1)。



水中ソナー計測の様子



サイドスキャンソナーによる海中の石材分布表示

2. SfM-MVS による水中計測の成果

近年、SfM-MVS が三次元計測の手法として、ロボット工学や地形学の分野で実績が積み重ねられ、その実用性が高く評価されるようになった。SfM-MVS とは、SfM(Structure from Motion) and MVS(Multi-view Stereo) の略で、対象を複数のアングルから撮影した多数の画像を元に撮影位置を求め、三次元の点や面のモデルを構築するものである。その特徴は、デジタルカメラと PC があれば誰でも着手できる点にある。

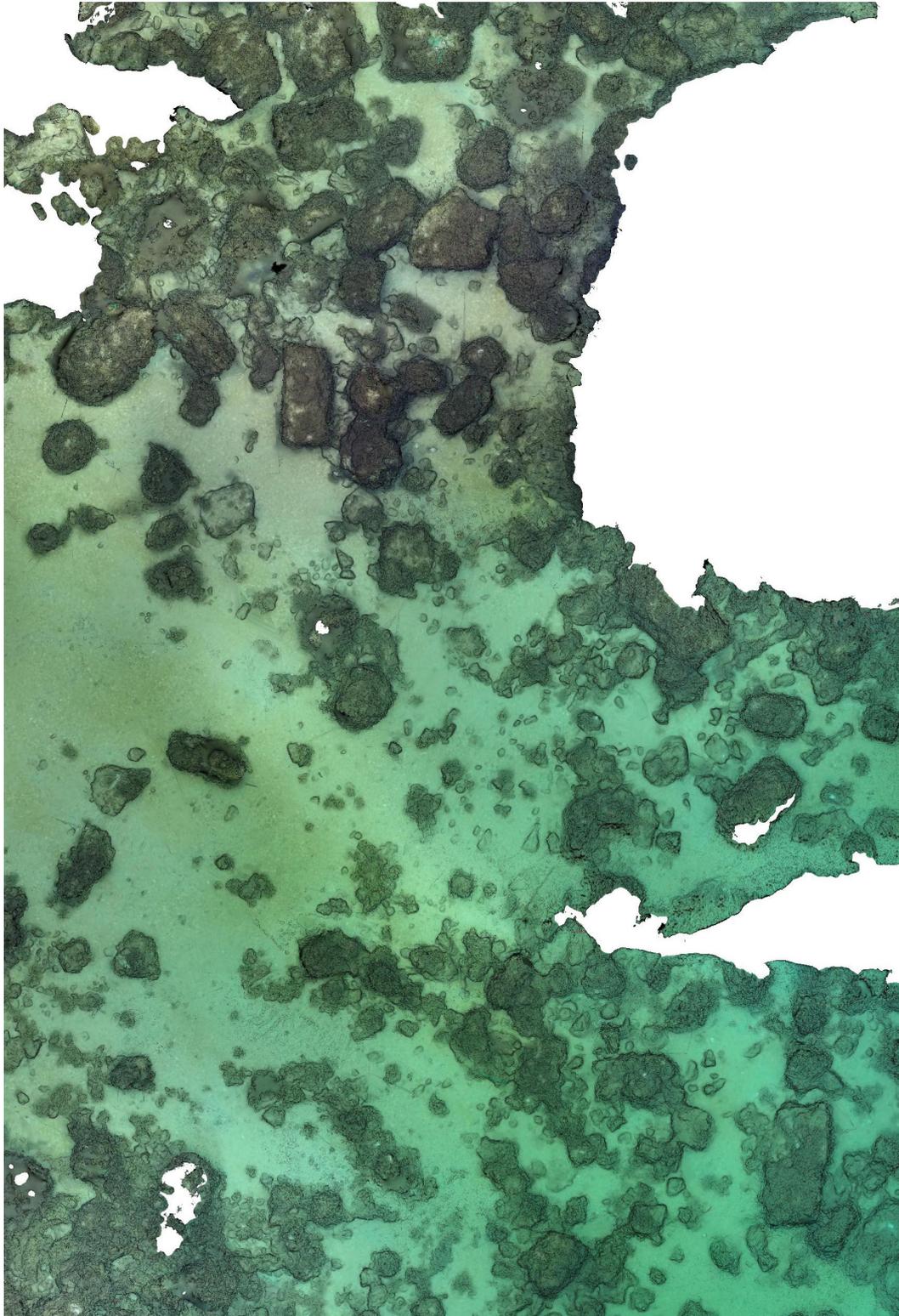
文化財科学の分野でも浸透しつつあり、Drone に搭載させ空撮した画像から遺跡の微地形測量を行うもの、長さ 5 m ほどに伸縮する棒の先にカメラを取り付け撮影した画像から発掘調査で検出した遺構を測量するもの、出土遺物の三次元計測を行うものなど、文化財調査の様々な場面に応用されている。

従来の海中の残石の記録は、調査者が潜水し実見しながら計り図化する手法であり、潜水できる時間は有限であるため、迅速性や安全性の点で課題があった。そこでこの課題への取り組みへの一試行として、海中に潜らずに残石を計測する手法として SfM-MVS を用いた。SfM-MVS 用の画像を取得するために用いたカメラは、HERO4 Black Edition である。このカメラを防水ハウジングに格納し、できるだけ鉛直方向に向くよう船に固定して、船を時速 3 km ほどで調査範囲をゆっくりと往来させながら撮影した。撮影時間は、延べ 35 分、撮影間隔は 2 秒間隔である。撮影した画像数は 1528 枚である。

この撮影した 1528 枚の写真を SfM-MVS の実行プログラムの 1 つである Agisoft 社の Photoscan Pro で処理した。処理に要した時間は約 47 時間であった。その結果を図に示す。この三次元モデルから、海中の残石の分布とそれぞれの残石の形状を図として可視化することができた。しかし、課題も改めて浮き彫りとなった。SfM-MVS には鮮明な画像が必要だが、今回撮影した画像を確認すると、プランクトンやその他浮遊物の影響で不鮮明な画像がある。水中が暗いためブレた画像などがある。今後は、これらの画像が生じないように、如何に撮影するかが課題となる。また、より簡易に精度の高い位置情報を三次元モデルに付加するには、撮影時に精度の高い位置情報を写真に直接追加する必要がある。今後は、これらの課題に取り組み、より実用性を高めて改良をおこないたい。



海中の残石撮影の様子



海中の石材分布

Ⅲ. 小 結

調査地は、大坂城石垣石丁場跡小豆島石丁場跡の八人石丁場の海岸部である。八人石丁場は、標高0 mから80 mの範囲で採石が確認でき、その主体は八人石付近と北側の平場付近にある。これら2つの採石地点から下に向かって谷筋があり、途中で一つに合流して海岸部へ至る。そのため、本調査地は、八人石丁場から切り出した石材を搬出する唯一の場所であると言える。

調査では、大小様々な石材が多量に分布する中に、加工石材や刻印のある石材などが確認された。その状況は、すでに『史跡大坂城石垣石切丁場跡保存管理計画報告書』でも紹介されており、昭和53年の調査で確認された石材と3石（No. 3・4・24）を照合することができた。

さて、今回行った各調査の成果は、統合した図面を作成することで、当時の状況に迫ることができた。石材分布状況を見てみると、南北の崖面付近は素潜りでも確認されたように崩落による自然石が多く分布する。これは陸上部の石材分布状況とも一致している。一方、中央付近は谷筋の出口や崖に近い位置に限って3～5 m程度の巨石が点在する。これにより、十字に矢穴列のはいるNo.24からNo. 1を通過して北側の崖面までを結んだ範囲で、土砂崩れ等による石材の流出が軽減されたように見える。もちろん0.5～2 m前後の石材は、海中においても海岸から約20m付近まではひろがるのが確認できるが、石材の大きさや密度を見れば沖へ行くほど、崩れ等による影響が少ないことがわかる。

このような分布状況の中で、角石となる可能性が高い直方体の規格石材が中央付近のみに集まるという極めて異常な分布が見られる。海中の様子も砂地がひろがるなど他とは異なった状況であり、規格石材には砂に半分以上埋没しているものもある。また、規格石材の分布は、八人石丁場からのびる谷状の地形の延長上に位置し、No.10・13・14は人為的に並べられた配置である。つまり、海岸部の中央付近の状況は、土砂崩れ等による石の流失を考慮しても、規格石材の分布には当時の状況を反映するものもあると推定される。

では、仮に規格石材の配置がある程度、当時の状況を残しているとすれば、大きく4つのまとまりと捉えることができる〔PL6〕。A群はNo. 3・4、B群はNo. 5～9・11、C群はNo.10・12～15、D群はNo.17～20である。このうち、最もよく残っているものがC群であり、5石の規格石材が長辺を海側に向けて整然と並べられていた様子が窺える。また、B群やD群も本来はC群と同様に配置されていた可能性が高く、No. 6やNo.11は本来の配置で、No. 5やNo. 7は向きを少し変えただけのように見える。

こうした規格石材の配置から当時の景観を推定するならば、本来の海岸線はD群付近に求めることができ、また干潮時に現れるホゾ穴をもつ石材も当時の船積みに関係している可能性もある。このことから、この付近に船を接岸させて搬出したことが想定され、海岸に規格石材が多量に仮置きされた状況は、搬出の頻度の高さを物語っている。