

地上型レーザースキャナー計測による文化財への活用事例



徳田 義孝¹

1. はじめに

昨今、地上型レーザースキャナーの普及が進み、3次元計測は土木・建築のみならず、文化財保護のための活用事例も多い。本稿は、金沢市（石川県）及び高岡市（富山県）より受託した、文化財の詳細調査における3次元計測の活用事例を報告するものである。

2. 野田山・加賀藩主前田家墓所 墳墓詳細測量業務（金沢市）

2.1 調査に至った経緯

加賀百万石の城下町として知られる古都・金沢。この金沢市で平成13年に開催された「全国都市緑化フェア」、翌平成14年に放映された大河ドラマ「利家とまつ」がいずれも好評を博し、こうした機運の高まりから、平成14年の金沢文化財保護審議会において前田家墓所の歴史的価値が話題となった。それを受けて調査に向けた検討が進められ、前田家側のご理解、ご協力の下、平成16年度から平成19年度の4ヶ年にわたり、墓所の国史跡指定に向けた詳細調査の実現に至った。

また、平成18年に文化庁の公募を受けて、石川県から世界遺産登録に向けた提案書が提出されたことにより、世界遺産暫定リスト入りを目指して、前田家墓所の調査がその一端を担うものに発展した。

調査の内容は、測量・発掘・石造物・史料・墓守聞取調査で構成され、今回、主要図面作成のための詳細測量の手法に、地上

型レーザースキャナーを用いた3次元計測が採用された。

2.2 墓所の概要

加賀藩主・前田家墓所は、金沢城より南方3.5kmに位置する野田山丘陵地の最高所に造墓された約7.6haに及ぶ広大な墓地であり、墓域内には初代藩主利家をはじめ、歴代藩主、藩主正側室、その子女等、約80基の墓が並ぶ。

前田家の墓はいずれも土を高く盛り上げた土饅頭^{どまんじゅう}形式で、特に藩主墓は方形三段築造という、全国的に見ても特徴的な外観（図1）となっている。その規模は、大きなものでは墳墓の一辺が15m、高さが5mを越え、墳墓の周囲には境界としての溝を巡らせる形で墓域を形成している。

2.3 測量調査の概要

前田家墓所の学術的調査に先立ち、デジタル化による将来的な有効活用を見据え、下記の内容について実施した。

(1) 平成16年度実施作業

* 実測による現況平面図（図2）作成
(A=7.6ha, S=1/200)

(2) 平成16年度～平成19年度実施作業

* 墳墓個別詳細測量（A=4.0ha, 77基）

- ・ 3次元レーザー計測（約600scan）
- ・ 墳墓3次元モデル作成
- ・ 墳墓等高線図作成（S=1/80）
- ・ エレベーション図作成（S=1/100）
- ・ 土量算出

¹ 株式会社 国土開発センター

2.4 調査における課題と対策

歴史的価値を有する墓地ということから現状保全が優先されているため、そのことが調査の進め方に影響を与えた。その中で、作業に際して直面した2つの課題と、それぞれの課題に対して講じた対策を以下に記す。

- (1) **課題：**墳墓や周溝に落ち葉等の堆積があるため、正確な地表面のデータが取得できないこと。

対策：墓所管理者の了解を得たうえで、墳墓に支障をきたさない範囲の伐採と清掃を実施。特に溝の中の堆積物を重点的に取り除き、地表面を現すことで、正確な地形の計測に努めた。

- (2) **課題：**樹木の密生や石造物等の障害が多いため、一度に長距離の計測ができないこと。

対策：視通距離が30m程度しかとれず、長距離用のスキャナーでは効率の良い計測が難しいと判断し、使用器機を選択に着目。測定範囲と測定時間を重視した検討の結果、LS880（表1）を選択し、作業の効率化を図った。

2.5 調査成果

取得した点群データの処理及び統合により、墓所全域の3次元モデル（図3）を作成し、各種成果図面を完成させた。

3次元計測の利点が顕著に確認できた成果を以下に記す。

- (1) 遺構平面図（図4）

墳墓や周辺地形を把握する上で、実測時には確認できなかった周囲の溝や詳細な地形変化が3次元モデルによって明らかになり、モデルから抽出した等高線を実測平面図に重ねる事で、より正確な遺構平面図を完成させた。



図1 初代藩主 前田利家墓所（金沢市）

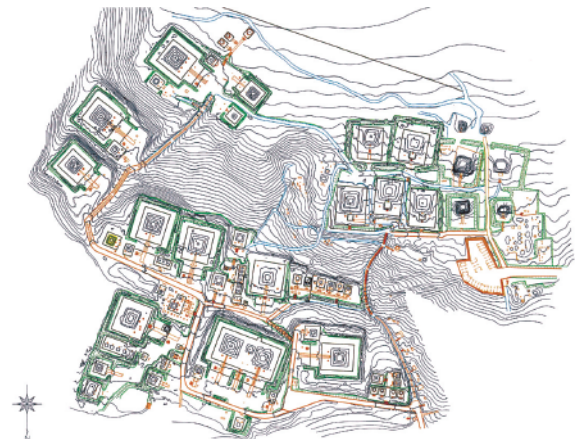


図2 前田家墓所現況平面図



図3 墓所全体3次元モデル鳥瞰図

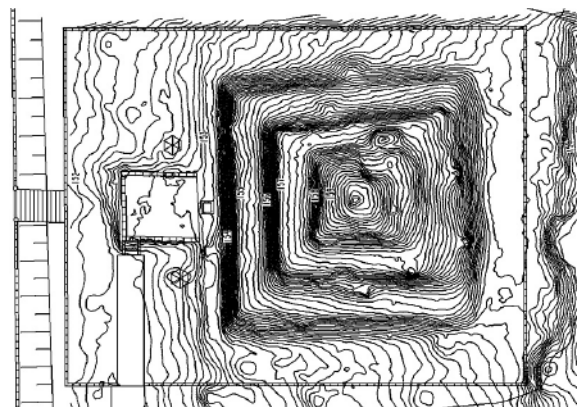


図4 前田利家墓所 遺構平面図

(2) 土量算出

各墳墓の正確な土量を把握する事で、藩主、正側室、子女の被葬者の身分と造成規模の相関が明確となり、墳墓の基本序列が確認された。

(3) 墳墓の特徴と変遷の把握

遺構平面図より、墳墓の正確な主軸方位のほか、墳墓のスタイルや規模が詳細に確認され、これらが墳墓の造成時期と高い相関をもっていることが判明するなど、前田家墓所の学術的検証に大きく寄与した。「野田山・加賀藩主前田家墓所調査報告書」によれば、個々の墳墓の特徴から、以下3つの造成時期の分類が可能となっている。(図5)

I 期：16世紀末～17世紀前半

II 期：17世紀後半～19世紀後半

III 期：20世紀～現在

① I 期 織豊大名墓所

墓所は、野田山中腹の標高約150～160mの位置に前後二段の階段状に造成されており、東西150m、南北65mの範囲に、利家の家族墓計9基が整然と配置されている。

墳墓のスタイルは一辺16m前後の方形墳を

三段に積み重ね、周囲に方形の堀を巡らせたもので、1620年を境に「長方形墓域・墳丘後方配置型 (Aタイプ)」から「正方形墓域・墳丘中央配置型 (Bタイプ)」へ変遷している。また、特徴的な墓前施設として、越前石^{せきぎょう}で造られた石廟の存在がある。

I 期は、織豊期の有力大名として活躍した前田利家とその家族で構成されており、織豊大名墓所の代表例であるとともに、墳形、造墓原理など、中世北陸の墓制を色濃く残している。

② II 期 近世大名墓所

3代藩主利常墓は、I 期墓所から直線距離で北へ約150m、標高約123mの場所に新たに造られ、以後歴代墓は廃藩置県までの229年に渡り造営されている。配置は、I 期で見られた規則性は失われ、散在的となっている。

墳墓のスタイルは、Bタイプの前に方形の前庭部が付くCタイプが新たに創出され、藩主墓と正室墓に採用。その他の墳墓には小型化したBタイプが使用される。また、I 期を特徴付けた石廟は消失し、代わりとなる墓石はない。

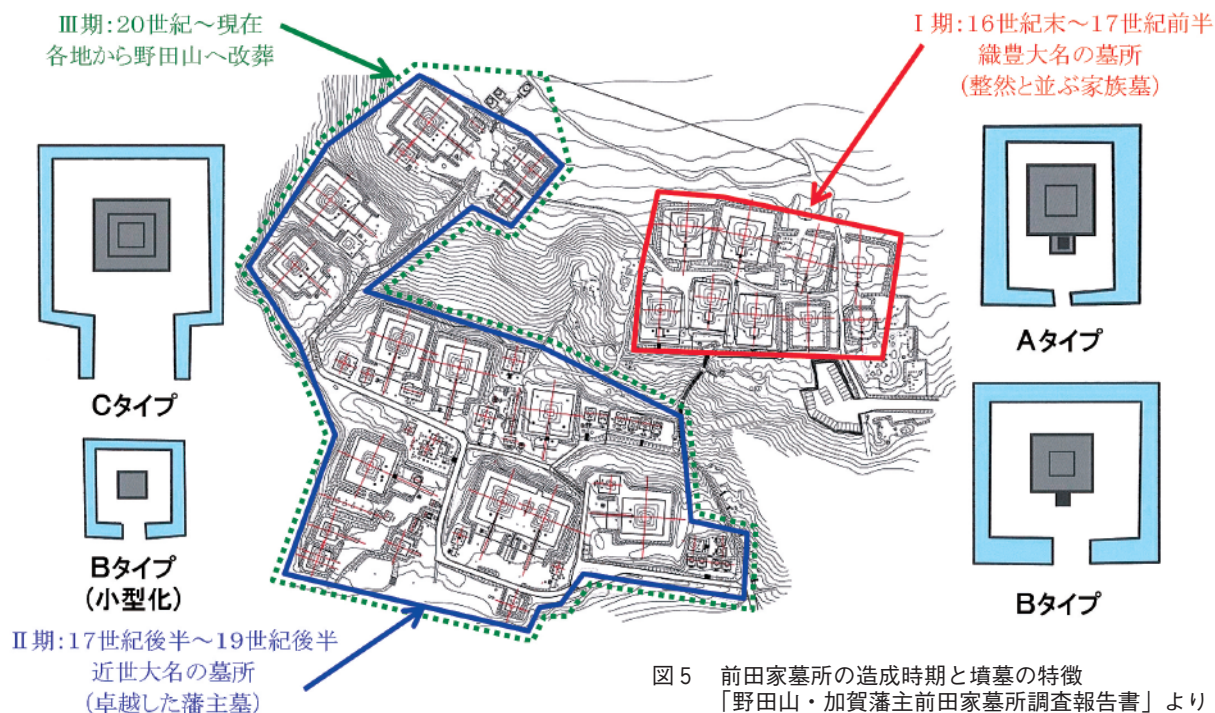


図5 前田家墓所の造成時期と墳墓の特徴
「野田山・加賀藩主前田家墓所調査報告書」より

墓所内には、特別に家臣の墓が造られ、加賀八家と呼ばれる重臣の歴代墓所がⅡ期墓所下方に造営され、野田山墓地全体が拡大した。

Ⅱ期は、卓越した藩主墓を中心に、身分・性別による格差が顕著になり、近世大名墓所の典型と言える。

③Ⅲ期 野田山への改葬

廃藩置県により旧藩主前田家は東京へ移住し、明治8年、野田山は石川県の手に移り、同17年には金沢区（市）へ移管された。その後同33年、金沢市が管理していた前田家歴代の墳墓地を前田家へ返還し、現在の「前田家墓所」が誕生した。明治43年以降、東京や高岡、金沢の寺院に分散していた墳墓（計45基）の移転・改葬が行われ、野田山への集約が進んでいる。

場所はⅡ期の墓地空間の空白地が選ばれており、改葬墓は、江戸時代の巨大な墳墓からコンパクトな規模に転換し、墳形も八角・方・円墳と多様なスタイルを採用している。Ⅲ期は改葬墓を中心に、近代化による変容を受けた大名墓所の事例と言える。

以上、レーザー計測による調査を行った事で、実測では得ることのできなかった各墳墓の詳細を把握する事が可能となった。

結果として、前田家墓所は大きく3つの時期の歴史的所産が集積され、400年以上に渡る変遷の過程が良好に残された大名墓所として貴重な文化財である事が認識され、本調査において大きな成果をあげた。

3. 前田利長公墓所詳細測量業務（高岡市）

3.1 調査に至った経緯

高岡の町は、1609年に加賀藩二代藩主・前田利長公によって開かれ、平成21年には開町400年という記念すべき年を迎える。

平成16年に金沢市で本格的な調査が開始された後、翌17年に開かれた調査指導委員会において「野田山だけでなく高岡にある二代藩主の墓も一体の史跡として保護していくべきではないか」という文化庁からの見解を受け、平成18年度より、石川・富山の県境を越える共同調査の実現に至った。

また、金沢市と同じく高岡市においても世界遺産登録に向けた取り組みを開始しており、それぞれの成果が相乗効果となる事に期待を寄せて調査が始められた。

3.2 墓所の概要

前田利長墓所（図6）は、利長の三十三回忌にあたる1646年、三代藩主利常によって造営された。

近世文書に記された利長墓所に関する記述には墓域の面積について記したものがほとんどないため不明点が多く、一説によると造営当初は5万坪あったとも言われているが、別の史料より、前田家が認識していた墓域面積は1万坪（＝3.3ha）とされている。現在は周辺に公共施設が整備され、現存する一部（約1ha）が富山県指定の史跡となっている。

3.3 測量調査の概要

利長墓所の調査は野田山に倣い、先行して全体把握のための実測平面図が作成された。現在の墓域は1haとなっているが、当時の平



図6 二代藩主 前田利長墓所（高岡市）

面プランの考察を行うことを目的に、実測の対象は墓所の周辺を含む12haとした。

並行して墓所内及び石造物の3次元計測を実施し、翌年には全ての成果を完成させる事となった。金沢市の調査が平成19年度の報告書刊行に向けて進行中であり、足並みを揃えるために、作業は急ピッチで進められた。

本業務における実施内容は、以下のとおりである。

(1) 平成18年度実施作業

- * 実測による現況平面図（図7）作成
(A=12.0ha, S=1/500)

(2) 平成18年度～平成19年度実施作業

- * 墓所内詳細測量
 - ・ 地形3次元レーザー計測（1.0ha）
 - ・ 石造物3次元レーザー計測（25基）
 - ・ 墓所内3次元モデル作成（図8）
 - ・ 遺構平面図作成（S=1/80）
 - ・ エレベーション図作成（S=1/200）
 - ・ 石造物立面図作成（S=1/5～1/40）

3.4 石造物調査における課題と対策

燈籠や石碑等、石造物の計測にあたり、野田山・前田家墓所の地形計測に対して、構造物の計測が初めての取り組みであったため、対象物の違いによる計測手法の確立は困難を極めた。

当初、同じスキャナーでも計測時に取得する点群密度を細かく設定する事で対応できると想定し、同機による計測を実施した。しかし、地形計測においてLS880の持つ測定誤差が成果に与える影響は微量であったが、構造物の計測においてはミリ単位の精度が必要とされ、取得した際の点のばらつきが大きな弊害となった。

試行錯誤の末、使用器機を見直しLS880に替えて複数の計測器を使い分けることで、必要精度の確保が可能となり、野田山の墳墓と

は異なる詳細な図面（図9）を完成させた。

対象物による計測器使い分けの具体例を以下に記す。

(1) LS880による全体地形計測

墓所内は比較的平坦な地形であったが、野田山と同様に植生や石燈籠等の障害物が多く、測定時間の早いLS880による計測を実施した。

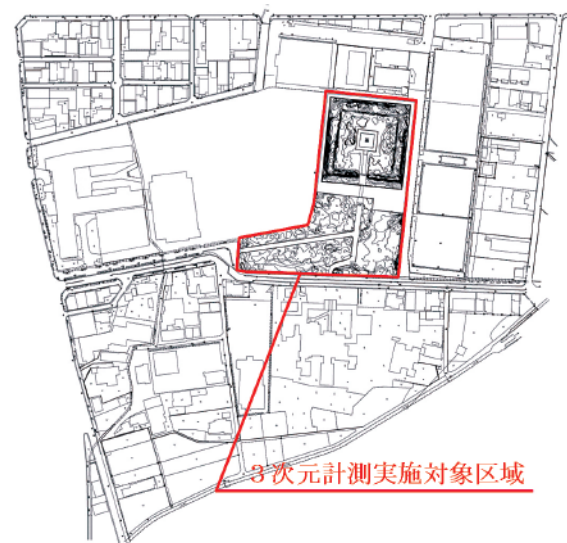


図7 前田利長墓所現況平面図

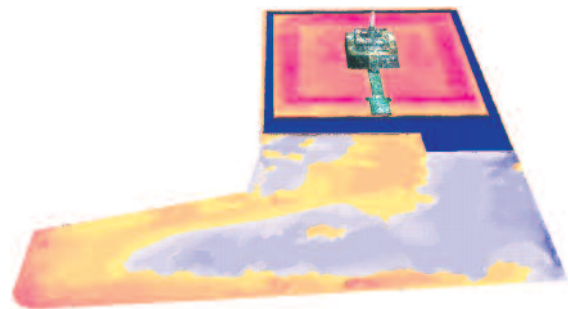


図8 墓所内3次元モデル

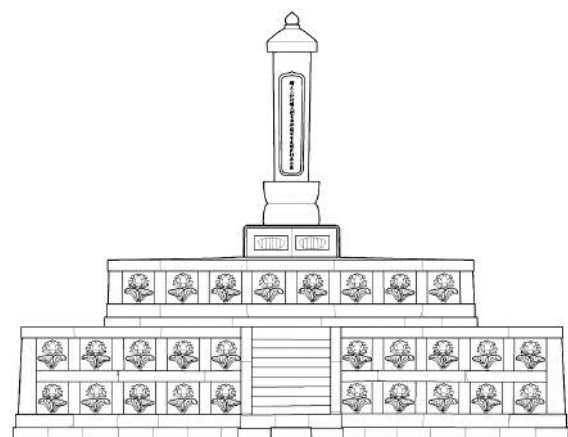


図9 前田利長墓所立面図

(2) HDS3000 (表1) による石造物の全体計測
御廟、石燈籠、石廟、敷石等、石造物の全体形状把握、図面作成のツールとして、HDS3000による計測を実施した。

(3) VIVID910 (表1) による石造物の詳細計測
石碑の刻印文字及び、石燈籠や石廟の彫刻模様は、HDS3000による計測でも詳細な表現が困難であったため、VIVID910による部分計測を実施し、HDS3000の計測データに重ねることで、より詳細な図面 (図10) を完成させた。

3.5 調査成果

本調査で作成した石造物の詳細図は、通常手実測により行われ完成までに長い時間を要するものであるが、3次元計測により図化する事で、品質の向上と作業の短縮化において、有効性の高さが確認された。

特筆すべき成果として、利長墓所の土台造成規模を野田山の墳墓と比較すると、初代藩主である利家の墳墓を下回り、当時野田山に造成されていた歴代藩主の墓と近似する規模

で造られている事が明らかとなり、遠く離れた高岡の地においても、加賀藩主前田家墓所の造墓原理が貫徹されていた事を伺わせる結果となった。

さらに今回の調査では、別途地中レーザー探査や発掘調査が実施された。

これらの調査結果から現存する絵図を元に変遷を追うと、造営当時の平面プランが推測でき、この面積が文献史料に残されている1万坪と近似した。この事から、利長墓所の墓域が3.3haあり、大名個人の墓所としては全国でも最大級の規模である事が物的証拠から明らかとなった。

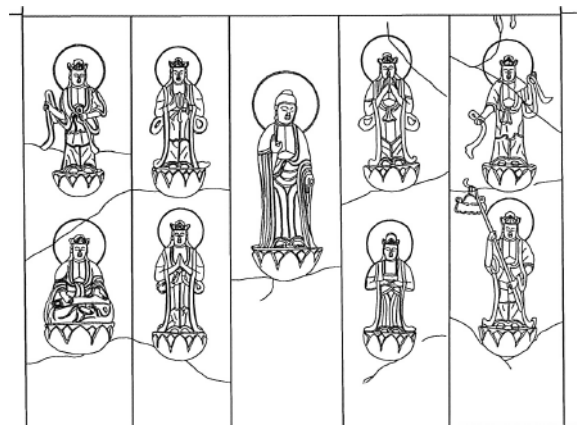


図10 石廟 (壁面) 立面図

表1 3次元レーザースキャナー概要

Performance	デジタイザ	地上型レーザースキャナー	
	KONICA MINOLTA [VIVID910]	FARO [LS880]	Leica Geosystems [HDS3000]
測定方式	三角測量 光切断方式	位相差方式	タイムオブフライト方式
測定距離	0.6m~2.5m	0.6m~38m	1m~200m
測定範囲	レンズ、測定距離による	鉛直320° × 水平360°	鉛直270° × 水平360°
測定精度	0.1~0.22 (確度)	±3mm@10m	±4mm@50m
スキャニングレート	—	約120,000点/秒	約1,000点/秒
レーザー強度	クラス2	クラス3R	クラス3R
重量	11kg	14.5kg	16kg
外観			

文献資料と発掘調査、そして3次元計測により明らかとなった利長墓所の全体像は、今後高岡の歴史を探る上で、重要な成果として残されていくと思われる。

4. 調査を終えて

平成20年3月、金沢市と高岡市からそれぞれ調査報告書が刊行された（図11）。

内容は測量調査だけでなく、発掘調査・石造物調査・史料調査・墓守聞取調査、そして学識経験者による考察等が盛り込まれており、この調査報告書をもって両市は、同年6月、文化庁に対して国史跡指定の申請書を提出した。早ければ、平成21年2月に一体の史跡「加賀藩前田家墓所」として指定される見通しという事で、この指定が実現すれば、県境をまたいだ国史跡指定は北陸で初めての登録となり、今後の世界遺産登録へ向けた取り組みにも、大きな影響を与えるものと期待される。

また同年8月には、金沢市・高岡市共同によるフォーラムが開催され、現地視察や記念講演を通して、両市が県境を越えて国史跡指定を目指す意義と、墓所の歴史的価値の高さが地域の人々に伝えられた。

5. 今後の課題

2つの調査を通じて広範囲の地形や大規模な石造物の計測を行い、対象物や用途に応じて適当な計測手法、使用器機を選択が必要であることを確認できた。また目的や用途によっては、3次元モデルや図面ではなく、点群の状態でも十分に活用できる可能性を感じており、そのためにも、より高精度なデータ取得のための工夫が必要となる。

今後は、計測手法のカテゴリーを蓄積し確立する事で計測作業の迅速化につなげること、写真計測の活用、様々なフィルタリング



図11 金沢市、高岡市刊行の調査報告書

手法の模索、そして応用技術として、モデリングの効率化と技術力の向上が課題であると考ええる。

これらの課題を克服することで、より幅広い分野、目的における3次元計測の利活用促進を図りたい。

発表日：2008年6月18日

■参考文献

- 1) 金沢市：「野田山・加賀藩主前田家墓所調査報告書」（2008年）
- 2) 高岡市：「前田利長墓所調査報告書」（2008年）
- 3) 金沢市ホームページ
- 4) 高岡市ホームページ

■謝辞

本稿の発表にあたり、金沢市文化財保護課、高岡市文化財課より貴重なご意見を賜り、調査成果の使用についてご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

■発表者

徳田 義孝（とくだ よしたか）
株式会社 国土開発センター
技術開発研究所 計測事業部 計測部

y_tokuda@kokudonet.co.jp

2001年、東海工業専門学校卒業後、(株)国土開発センター入社。計測事業部に在籍し、測量業務を担当。2004年より、地上型レーザースキャナーの導入を機に3次元計測業務に従事。現在、文化財の他、土木測量における3次元計測の活用に向けた研究開発を担当。