

地中レーダ探査による前田利長墓所の研究

泉 吉紀¹⁾・岸田 徹²⁾・酒井 英男³⁾

●キーワード：地中レーダ (ground penetrating radar), 遺跡探査 (archaeological prospection), 前田利長墓所 (Maeda Toshinaga Tomb)

1. はじめに

富山県高岡市に所在する前田利長墓所は、加賀藩2代藩主前田利長の33回忌(1646年)に、3代藩主の前田利常により造営され、当時の武将の墓としては全国有数の規模を誇る(図1に墓所の位置、図2に写真を示す)。現在は、内堀とその周囲を含む約10,000 m²の墓域であるが、明治42(1909)年の絵図(図3)では内堀と外堀の2重の堀を持ち、一説には165,000 m²の面積を有したとも伝えられており、その範囲はまだ明確になっていない。同墓所の近傍での調査は望まれていたが、国指定遺跡(2009年)であるため調査の内容は限られている。発掘することのできない御廟の内部構造を探り、墓域を区画する内堀と外堀の位置推定を目的として、非破壊の地中レーダ(GPR: Ground Penetrating Radar)を用いて研究を行った。地中レーダ探査は、様々な対象に適

用でき(酒井ら:1999)、遺跡でも有用な研究手法となっている(岸田・酒井:2007, 泉・酒井:2015)。



図2 前田利長墓所の写真

Fig. 2 Photograph of the Maeda Toshinaga Tomb



図1 前田利長墓所の位置

Fig. 1 Location of the Maeda Toshinaga Tomb

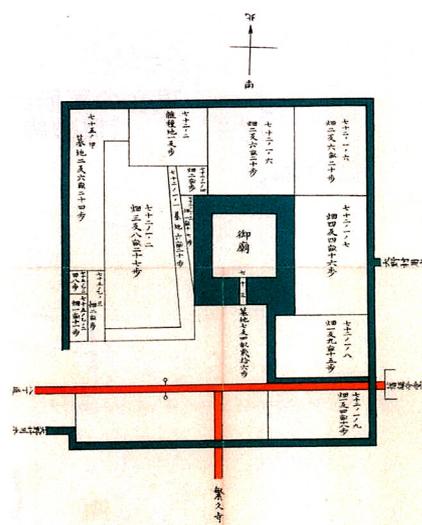


図3 前田利長墓所の絵図 高岡市教育委員会(2008)より転載

Fig. 3 Picture map of the Maeda Toshinaga Tomb

¹⁾ 富山大学大学院 理工学教育部 〒930-8555 富山県富山市五福 3190

²⁾ 同志社大学 文化遺産情報科学研究センター 〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3

³⁾ 富山大学大学院 理工学研究部 〒930-8555 富山県富山市五福 3190

2. 研究方法

地中レーダ探査は、電磁波の反射、屈折、透過、減衰を利用して地下の構造を調べる探査方法である。探査装置は、送信・受信アンテナからなり、送信アンテナより地中にレーダ波を送り、比誘電率の異なる境界面（地層の不連続面や石・空洞など）での反射波を受信アンテナで受信して地下を探る（物理探査学会：1998）。このレーダ波の往復時間（走時）と反射強度を記録し、地下の擬似反射断面図を作成する。探査装置の構成を図4に示す。

本研究では、断面図の解析と共に、全測線で得た探査データをまとめて、深度毎の平面図を作成する深度スライス図による解析も行った（Conyers and Goodman：1997）。設定した深度範囲での地下構造は、各測線のレーダ反射波の相対強度の平均化と内挿により図化される。具体的には、解析結果をもとに、反射の強弱を色分けしながら様々な深度の平面図を作成し、異常応答を検討した。また、レーダ波の走時から実深度に変換するには、地中内のレーダ波の伝搬速度が必要になる。伝搬速度は土壌の含水率などの物性により大きく変化する。本研究では、既存の埋設管や発掘結果などから、探査範囲毎に

伝搬速度（0.06～0.1 m/ns）を推定し、走時から深度への換算に用いた。探査装置は、Sensors & Software社のNOGGIN plusで、中心周波数250 MHzのアンテナを用いた（図5）。探査は、2006年9月から2007年7月

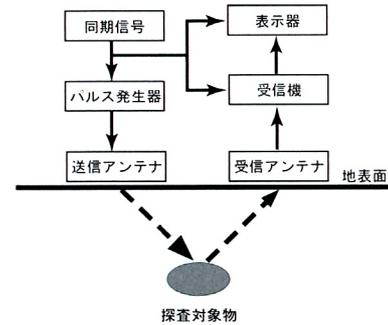


図4 探査装置の構成

Fig. 4 Configuration of the surveying device



図5 探査状況

Fig. 5 Photograph of the GPR

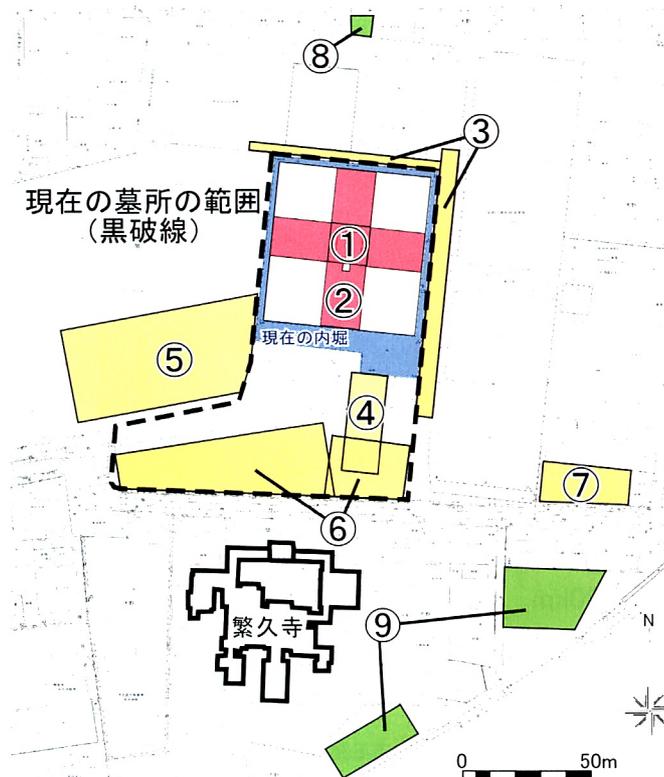


図6 探査範囲

Fig. 6 Survey area

にかけて実施した。探査範囲は、御廟の上部および内堀に囲まれた廟内（内区）に①と②地区、廟の外側（外区）に③～⑦地区、墓所周辺（周縁区）に⑧～⑨地区の9箇所からなる（図6）。

3. 探査結果と考察

3-1. 内区の探査

図7に前田利長墓所の三次元モデル図を示す。利長の御廟は、上段（幅約10m、高さ約2m）と下段（幅約15m、高さ約3m）から成る2段構造となっている。かつては上段の北壁に入口があり、人が入れるほどの空間（空洞）が存在したとの伝承も残っており、内部に空洞が存在するかを探った。また、御廟は安山岩製の基壇の上に墓碑が建っているが、これがすべて石積みの構造物なのか、あるいは貼石で覆った土盛りの構造物なのか不明なため、御廟上から探査を行った（①地区）。②地区では廟内の整地状況を探るため御廟の東西南北に探査区を設定した。

(1)①地区の結果

御廟上での探査結果の代表例として、上段北側の

LINE1の結果を示す（図8中）。空洞による強い反射を示す応答は無い。また上下段の境界も認められず、上段と下段を区画する内部の貼石構造は存在しないことがわかった。下段北側のLINE7（図8右）では、空洞の応答は無いが、深度約3mに下段と地表面の境界の応答がある。ここでは示していないが、御廟の東、西、南側でも空洞の応答は無かった。以上の結果から、御廟は段築された土盛りを貼石で覆った構造と考えられる。

(2)②地区の結果

内区での代表的な探査結果を図9に示す。LINE10では、測線距離1～19m、深度約0.5mに境界の構造が認められる。この範囲は成層構造を示しており、地山と整地土の境界面と考えられる。この境界の構造は、土塁が存在する距離19m地点で弱くなるので、土塁の下部には整地土が入っていない可能性が考えられる。土塁の内部は反射の弱い領域となっており、整地土と異なる土壌で構築されていると考えられる。同様の結果は、廟の東西南北に設定した全探査区で認められた。

また、探査後に実施された発掘調査でも同範囲で土塁が確認された。整地土は砂、砂礫、砂質シルト、土塁は

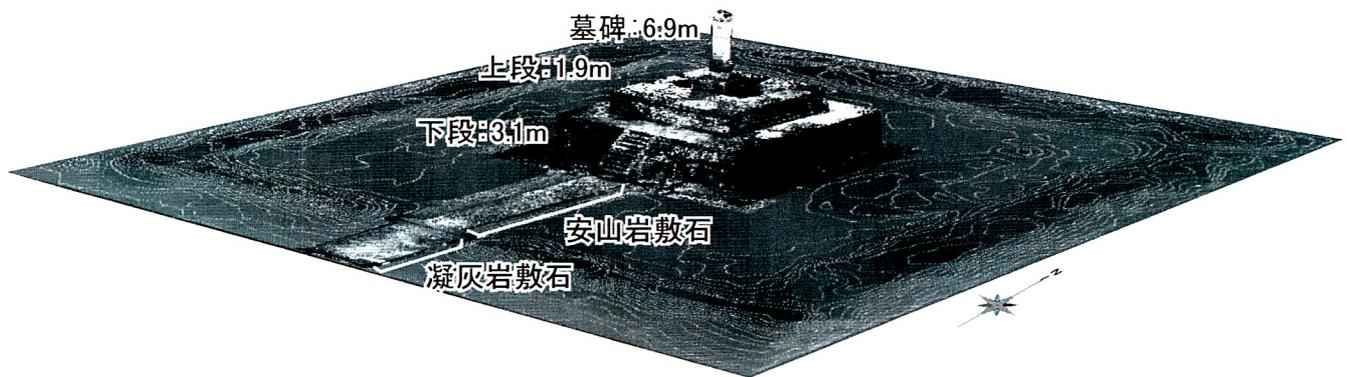


図7 前田利長墓所の三次元モデル図 高岡市教育委員会（2008）より転載・追記
Fig. 7 Three dimensional model of the Maeda Toshinaga Tomb

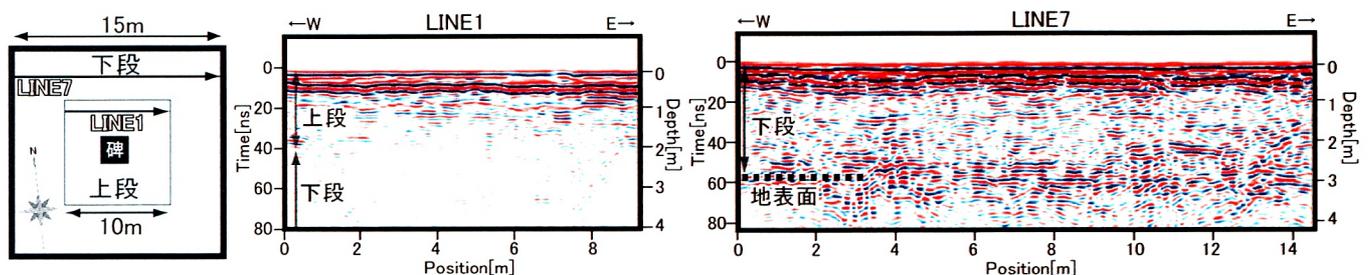


図8 ①地区での代表的な探査結果
Fig. 8 Representative GPR profiles of the area ①

3-2. 外区での探查結果

廟の周辺部③～⑦地区における探查結果を示す。ここでは主に内堀と外堀の位置を探ることを目的としている。

(1)③地区の結果

現存する内堀は造営時にはさらに幅が広がったが、過去の改修工事で狭められた可能性が考えられた。そのため内堀の東側と北側の道路上（表土は礫敷き）より探查を行い、改修の痕跡が認められるかを探った。

図 11 右に内堀の東側に接する道路上で得られた代表的な GPR profile (LINE80, LINE40) を示す。両 profile で測線距離 4.5 m, 深度約 1 m に強い異常応答が見られた。同様の異常応答は他の測線でも明確に捉えられたが、この異常は内堀の範囲を越えてさらに南へと

直線状に伸びており、道路下に埋設された配管の可能性が高い。図 11 左には深度約 0.75～1.05 m で解析した深度スライス図を示している。内堀東側に配管と考えられる強い異常が南北に直線状に伸びる様子が認められる。この他には目立った異常応答は無く、探查結果からは改修の痕跡は認められなかった。

(2)④地区の結果

明治期の絵図（図 3）には、内堀の南側に南北に延びる堀が描かれていた。そのため、絵図に描かれた内堀の位置に相当する場所に探查区を設定した。図 12 に代表的な探查結果と測線の位置を示す。図 12 右に示した LINE20 では、測線距離 3～5 m, 深度約 1～2 m に異常応答が認められた。この異常応答は、測線距離 0～3 m,

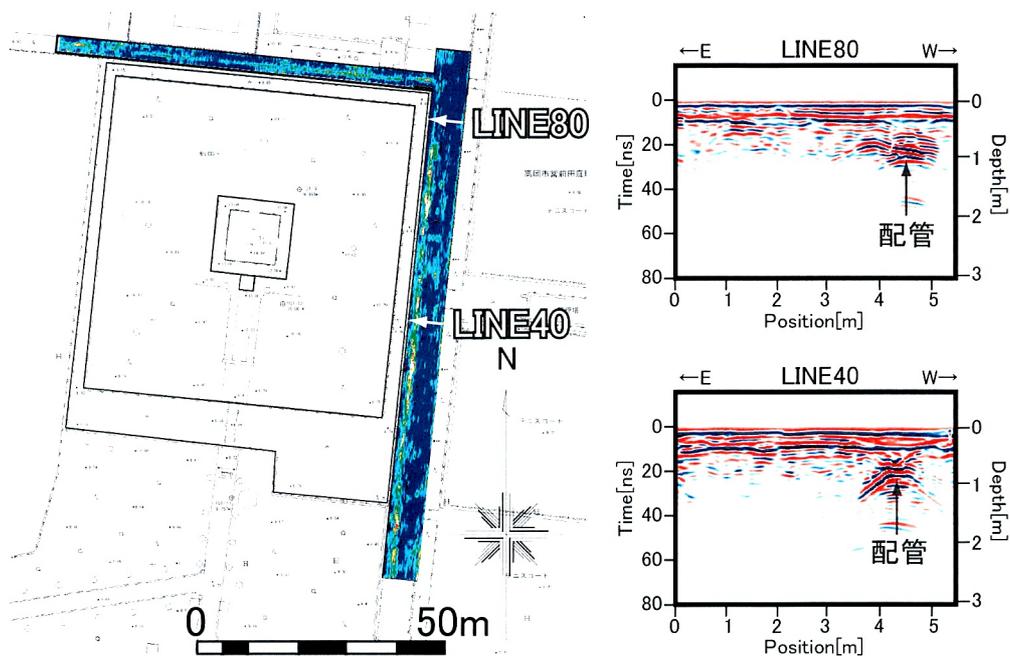


図 11 ③地区での代表的な探查結果

Fig. 11 Representative GPR profiles and depth -slice map of the area ③

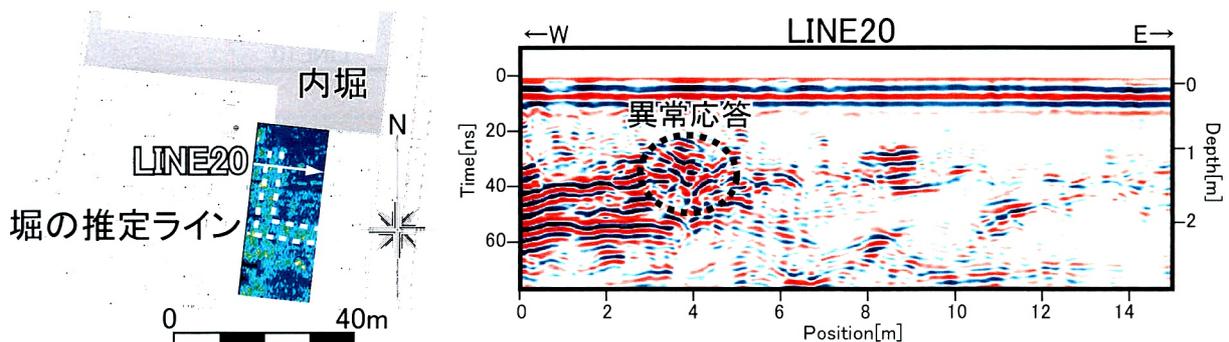


図 12 ④地区での代表的な探查結果

Fig. 12 Representative GPR profile and depth-slice map of the area ④

深度約 1.5 m に認められる成層構造を切っており、現在では埋まってしまった過去の堀の可能性が考えられた。図 12 左に示す深度約 0.75~1.05 m で解析した深度スライス図では、この異常が現在の内堀より直線状に南に伸び、約 20 m で東に曲がる様子が認められた。内堀はこの様に L 字状に巡っていたと推測される。

(3)⑤地区の結果

廟の西側を巡る外堀の位置を探るため、芳野中学校のグラウンドに探査区⑤を設定した。グラウンドの表土は真砂土で構成されている。図 13 の LINE20 の結果では、測線距離 21~25 m、深度 0.5~1.2 m に落ち込みの応答がある。深度スライス図では、この落ち込み応答は直線

状につながった。この異常は現在の地割から推定される外堀の位置に一致しており、未発見の西側の外堀を捉えた可能性が高い。

(4)⑥地区の結果

⑥地区は墓域南縁部に位置し、廟南側を巡る外堀の応答が想定された。図 14 に探査結果を示すが、堀の構造を読み取るのが困難な測線が多く、外堀の位置を決めるのは困難であった。

(5)⑦地区の結果

墓域東部の探査区の結果を示す。この探査区の北側では 2006 年度に高岡市教育委員会による発掘調査が行わ

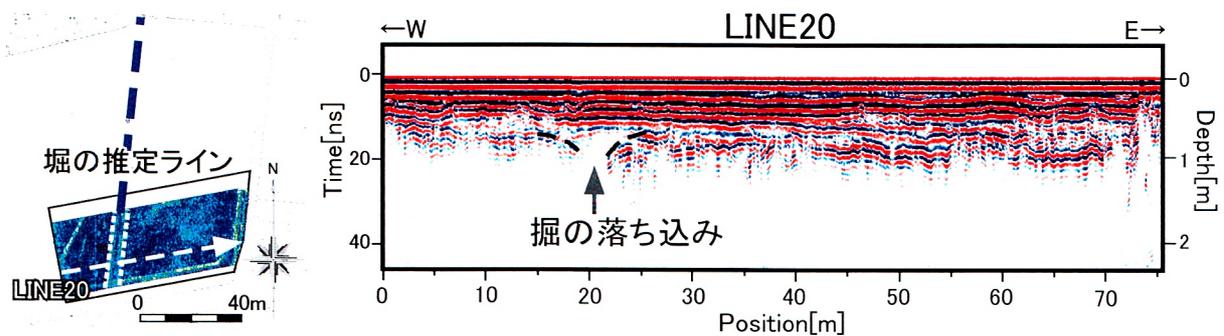


図 13 ⑤地区での代表的な探査結果

Fig. 13 Representative GPR profile and depth-slice map of the area ⑤

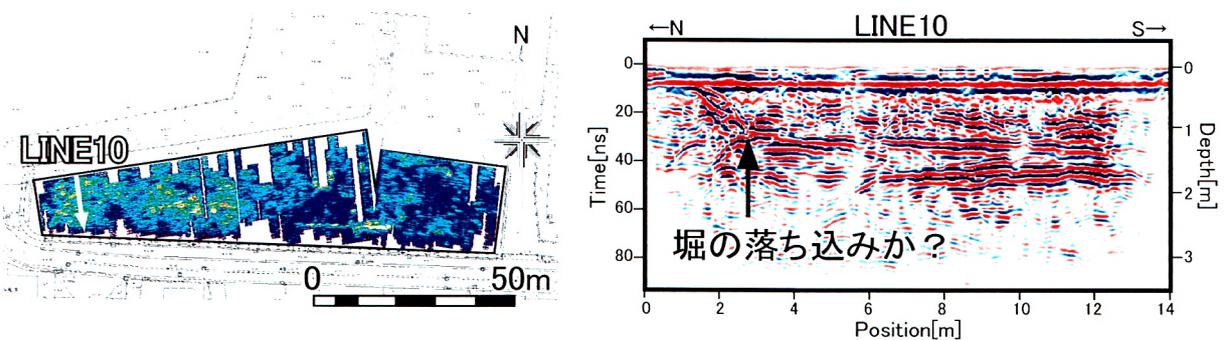


図 14 ⑥地区での代表的な探査結果

Fig. 14 Representative GPR profile and depth-slice map of the area ⑥

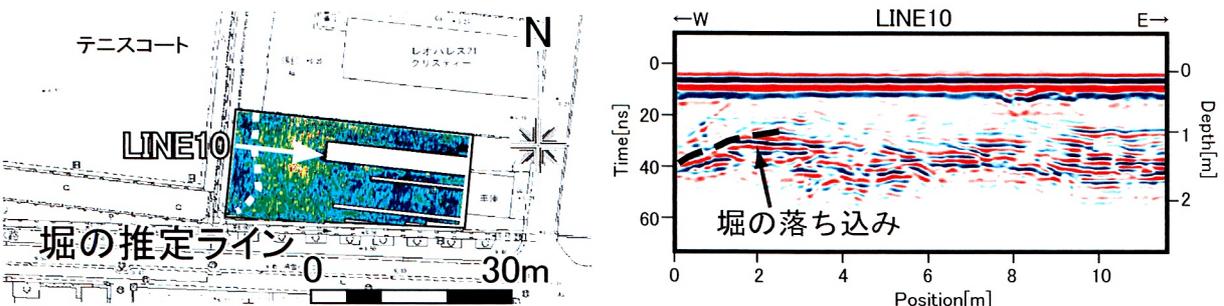


図 15 ⑦地区での代表的な探査結果

Fig. 15 Representative GPR profile and depth-slice map of the area ⑦

れ、外堀が見つかった。図 15 の LINE10 の探査結果には、距離 0~2 m の深度 1.5~1 m に、西側へ傾斜する応答があり、墓所の東側を区画する外堀と考えられる。深度スライス図では、西端に反射の弱い領域（白破線）が外堀跡を示している。この応答は、探査範囲の南西側で西へ緩やかに曲がっており、この地点が外堀の南東隅と考えられる。

3-3. 周縁区での探査

周縁区では、外堀の位置および外堀のさらに外側を区画する堀や溝の有無を推定する目的で探査を実施した。

(1)⑧地区の結果

図 16 に高岡武道館横にあるプールの北側空き地で得られた代表的な探査結果を示す。本探査区では、堀を示す土層構造は読み取ることが出来なかった。この場所は現在空き地となっているが、過去に建物が建っていた形跡があり、建設時の基礎工事等で地層がかく乱を受けたため、明瞭な土層構造を捉えることができなかったと考えられる。

(2)⑨地区の結果

⑨地区は繁久寺の近傍の耕作地に設定した探査区で、現在は田園として利用されている。代表的な探査結果を図 17 に示す。南側の LINE20 では、深度約 1.5 m に地層の境界面が認められた。距離 6~11 m の地層に、約

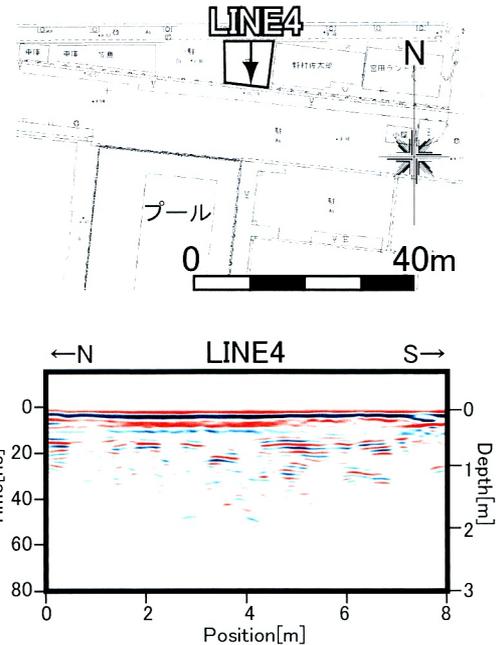


図 16 ⑧地区での代表的な探査結果
Fig. 16 Representative GPR profile of the area ⑧

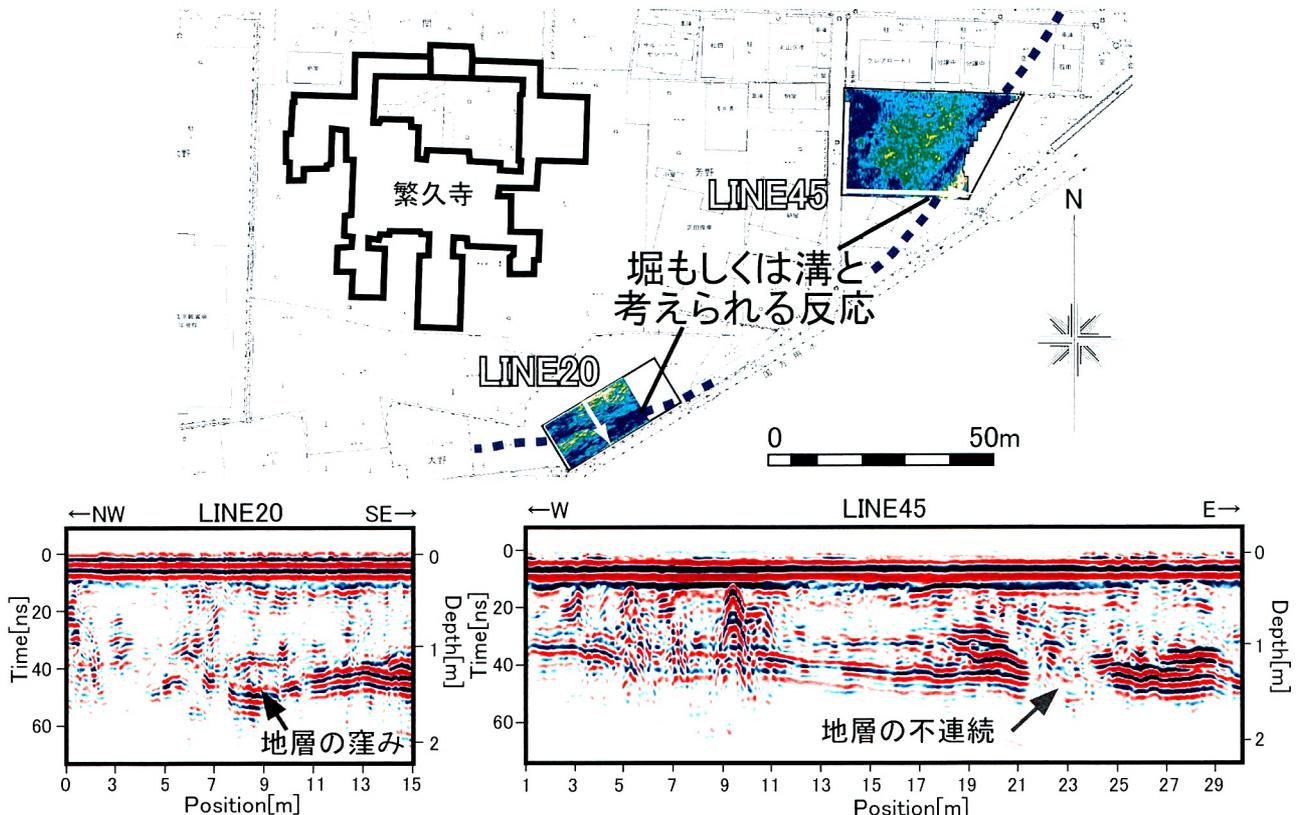


図 17 ⑨地区での代表的な探査結果
Fig. 17 Representative GPR profiles and depth-slice map of the area ⑨

0.5 m の深みがあり、堀か溝の底部と考えられる。また北側の LINE45 では、深度約 1.5 m に見られる境界面が距離 21~24 m の範囲で途切れており、この範囲には境界面を貫く堀や溝があると推察される。深度 1.2~1.5 m で解析した深度スライス図では、堀（溝）の弱反射の領域は、繁久寺の南側ではほぼ東西に、東側では南西から北東方向へ続くと読み取れる。

3-4. 全探査区の結果

図 18 に探査で得られた全地区の深度スライス図を示す。②地区では整地土が施されている範囲、④地区では L 字状の内堀、⑤地区では直線上に伸びる外堀、⑦地区では外堀の南東隅の部分認められた。⑨地区でも堀か溝跡と見られる連続的な応答が得られた。

また、探査では堀跡の明確な反応が得られなかった⑥

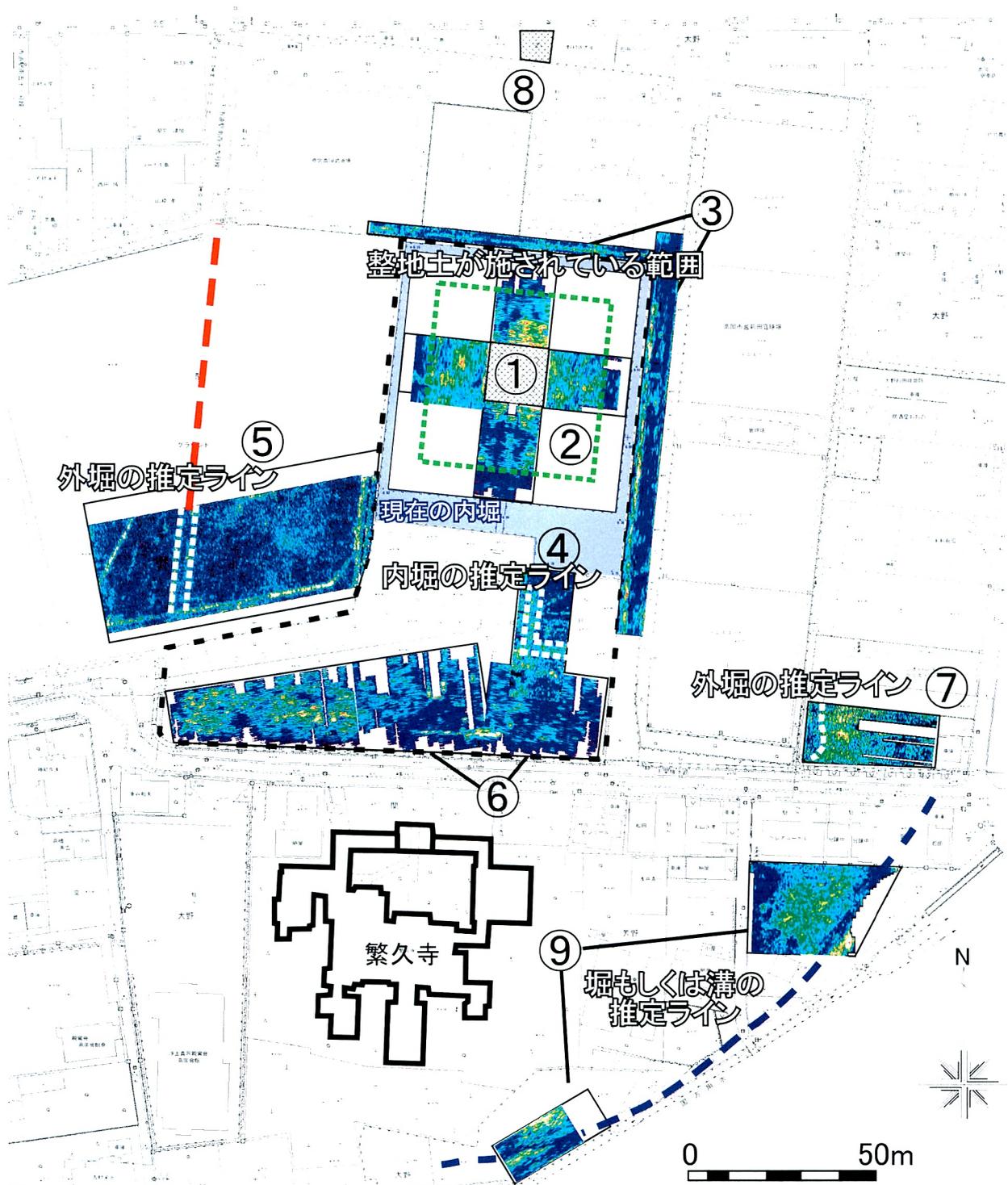


図 18 全地区での深度スライス図
Fig. 18 Depth-slice map of all areas

地区でも、発掘調査で東西方向に外堀跡が検出された。これらの情報を統合することで、様相の不明であった前田利長墓所に付随する堀の経路推定を行った。

図 19 に、探査結果と発掘結果から堀の推定経路を示す。推定経路は図 3 の絵図とも相似している。②地区の結果で述べたように、内区は現在よりも小さく約 60 m 四方の正方形型の区画であり、御廟正面（南側）の堀幅

が現在より広がったと考えられる。内堀は直線状に南に伸び、約 20 m で東に曲がり L 字状に巡っていたと推察される。周囲の外堀が御廟を中心として約 90 m 四方に巡っていたとすれば、国内でも有数の規模である。また、繁久寺の近傍で得られた堀跡が墓所に付随する施設ならば、さらに広大な墓域であった可能性も考えられる。

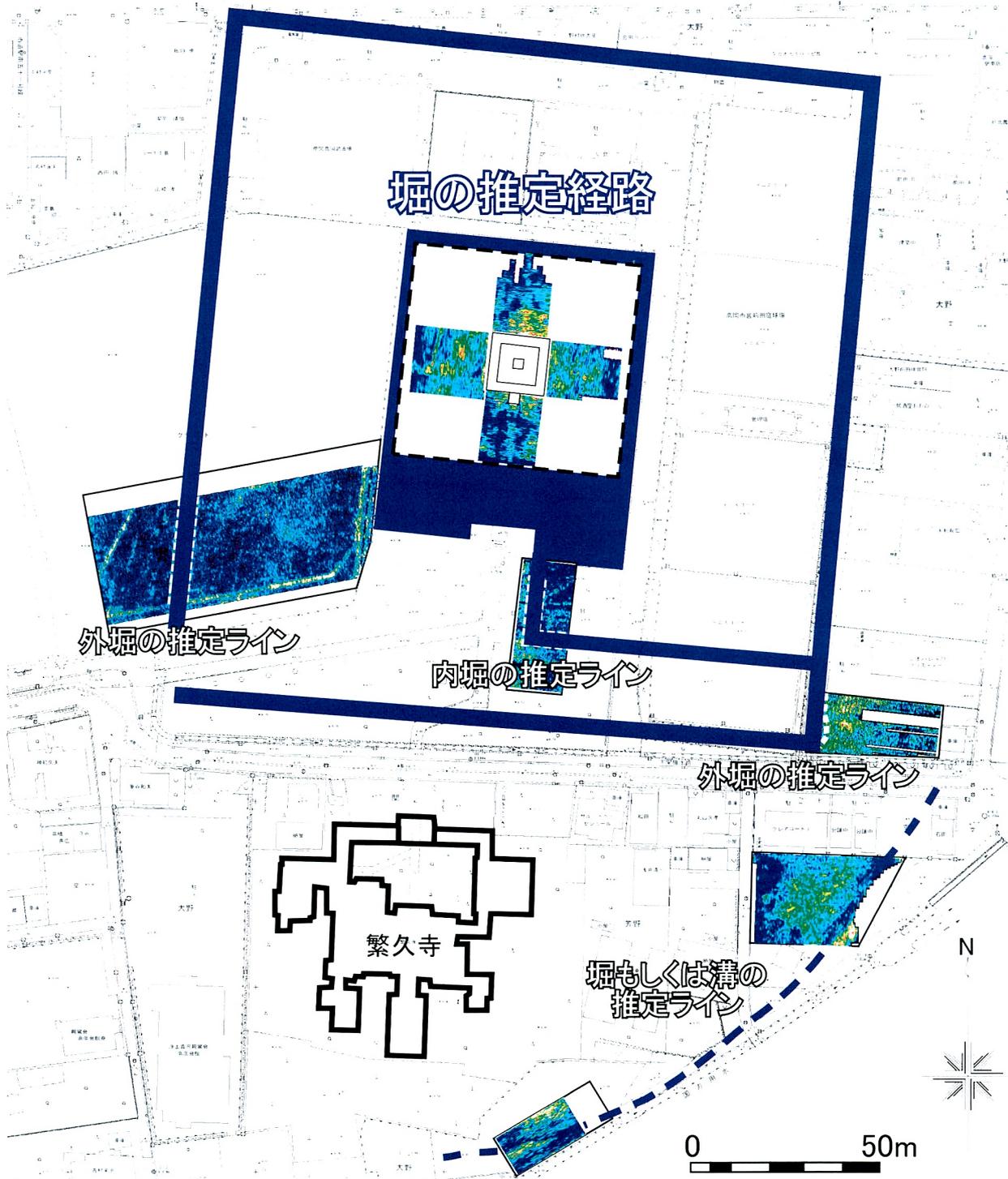


図 19 調査結果から推定した堀の経路

Fig. 19 The estimated moats from the results of survey

4. まとめ

前田利長墓所において、御廟の内部構造、廟の整地状況および堀の様相を探る目的で地中レーダ探査を行い、以下のことが判明した。

- 1) 御廟の内部に空洞は存在しない。また、上下段を区画する構造も認められないため、御廟は土盛りによって段築された基壇を貼石で覆った構造と考えられる。
- 2) 御廟を中心に約 50 m 四方に土塁があり、その内部に約 0.5 m 厚の整地土が施されている。また、探査後の発掘調査で御廟南側の土塁の先に空堀が検出され、造営時の御廟は現在よりも南側に 3 m 程短く、約 60 m 四方の正方形型の区画であったと考えられる。
- 3) 御廟の南側には、堀跡による異常応答が検出され、L 字状に巡る内堀の存在を示している。
- 4) 御廟の西側では、南北走向の線状の応答が得られ、絵図に描かれた外堀の位置と符合し、埋没した外堀の存

在が考えられる。東側では、外堀の明瞭な反応が得られた。この反応は探査区の南西で西に曲がっており、外堀の南東隅に対応する。

5) 繁久寺の周辺では、堀か溝跡の反応が現れた。これが前田墓所に付随する施設かは不明だが、墓域がより広い可能性を示している。

堀等を示す反応が認められなかった探査区では、堀の埋土と周囲土壌の物性に差がなかったと考えられる。

本研究で調査した前田利長墓所のように、史跡指定を受けた遺跡では発掘調査は制限される。そうした場合、部分的な発掘調査の結果を、探査で面的に広げて広範囲に地下構造を推定する方針が良いと考えられる。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、多大なご協力を頂いた元高岡市学芸員の栗山氏(現奈良文化財研究所)および高岡市教育委員会に感謝します。

文 献

- 泉 吉紀・酒井英男 2015 「壁面からの地中レーダ探査による遺構内部構造の研究」 情報考古学 20 pp.1-7
- 岸田 徹・酒井英男 2007 「地中レーダ探査による古墳の研究－削平された古墳の復元・盛土量の推定－」 考古学と自然科学 55 pp.45-59
- 酒井英男・田中謙次・Dean Goodman 1999 「考古学および雪氷学における地中レーダ探査法」 地質ニュース 537 pp.16-23
- 高岡市教育委員会 2008 『高岡市前田利長墓所調査報告』 176p
- 物理探査学会 1998 『物理探査ハンドブック』 1336p
- Conyers, L. B. and Goodman, D. 1997 "Ground-penetrating radar -An introduction for archaeologists" Altamira Press 232p

(2014年3月5日受付, 2015年6月20日受理)

Ground Penetrating Radar Study of the Maeda Toshinaga Tomb

Yoshinori IZUMI¹⁾, Toru KISHIDA²⁾ and Hideo SAKAI³⁾

- ¹⁾ Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama-ken 930-8555, Japan
- ²⁾ Research Center for Knowledge Science in Cultural Heritage, Doshisha University, 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe-shi, Kyoto-fu 610-0394, Japan
- ³⁾ Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama, 3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama-ken 930-8555, Japan
-

We conducted a ground penetrating radar (GPR) survey of the Maeda Toshinaga Tomb, located in Takaoka, Toyama Prefecture, Japan, to investigate the internal tomb structure and the aspect of the moat. No reflections from a space and a boundary between the upper and lower step were observed in the tomb. It was estimated that the tomb was made of earth and covered with stone. The tomb was surrounded by a 25 m² earth mound which was 0.5 m thick. In the excavation following the GPR survey, the moat was found outside the earth mound on the south of the tomb, and the tomb was about 3 m shorter than at present on the south side, and had a square feature that was 60 m to a side. To the south of the tomb, a reflection 1-2 m deep was found, indicating that the inner moat was L-shaped. To the west of the tomb, a linear response running north-south, which coincided with the outer moat in the historical map, was observed, and we concluded that the moat was buried. To the east of the tomb, the reflection of the geological layer 1-1.5 m deep sloping to the west was identified as the outer moat. An outer moat of 90 m² would make the Maeda Toshinaga Tomb one of the biggest in Japan. Around the Hankyu-ji Temple, the response for the moat was observed. If this building were related to the Maeda Toshinaga Tomb, the tomb area could be larger. The excavation results demonstrate that GPR surveys are a useful method for observing internal structures over a wide range of excavations, particularly because the excavation of historical sites, such as the Maeda Toshinaga tomb, is restricted.