

調査報告

若松城三の丸堀跡地中レーダー探査の調査成果報告

岸田 徹*・山口欧志*・三井 猛**・梅田由子**・平澤 慎***

はじめに

福島県立博物館では、令和2年度より「福島県立博物館を活用した会津文化観光拠点計画」に基づき文化観光拠点施設機能強化事業「三の丸からプロジェクト」を実施している。その中の「文化資源磨き上げ事業」の一環として、若松城跡への周遊を促進するための外構展示の設置を計画している。その展示のための基礎データ収集のため、若松城三の丸堀跡の地中レーダー探査を実施した。

当館が立地しているのは鶴ヶ城の名でも呼ばれる国史跡「若松城跡」の三の丸である（図版1）。昭和57年に博物館建設に先立ち予備調査として発掘調査が行われ、堀跡が確認された。

予備調査の詳細は報告書に譲るが、確認された堀跡は幅19mのもの（SD01・A）と幅8mのもの（SD01・B）の2つがあり、幅の広い堀のほうが古く、幅の狭い堀が新しく作られたものであることが明らかになっている（会津若松市教育委員会1983）。若松城三の丸には現在、発掘調査の成果と併せて明治時代に作成された「若松城拝借絵図面」をもとに幅の狭い堀跡を植栽により復元している。

本調査の実施にあたっては、地中レーダー探査を独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所に委託し、山口・岸田が現場での地中レーダー探査作業および解析にあたった。測量図の作成及び地中レー

ダー探査成果の測量図との合成を有限会社三井考測に委託し、三井・梅田がこの作業にあたった。この調査について当館の事務担当および本報告の編集を平澤が行なった。

本報告は、はじめにを平澤が担当し、1.探査の概要、2.探査成果、3.堀跡の規模に関するまとめを岸田が担当した。4.堀跡で新たに確認された反応については、探査成果について三井より指摘された内容を平澤がまとめたものである。

1. 探査の概要

地中レーダー（Ground Penetrating Radar：GPR）探査とは、アンテナより地中に向けて発射された電磁波の反射を捉え、その反射強度や減衰の様子から地下の構造を推定する探査法である。他の物理探査手法に比べ、比較的測定スピードが速く、その場で地下の疑似的な断面図を確認できるという利点を持つ。また分解能も相対的に高く、適用できる遺構・遺物の種類が多いため、近年遺跡探査に最も使用される機会の多い探査手法である。

地中レーダー探査の探査可能深度および分解能は、使用するアンテナの周波数に依存する。高周波数のアンテナは分解能が高いが、探査可能深度は浅い。低周波数のものは深くまで探れるが分解能は低下する。そのため探査対象物の大きさと推定される深度を考慮して使用するアンテナ周波数を選択する必要がある。今回は予想される遺構（確認）面までは約1m程度とそれほど深くはないが、堀の底面までは4～6m以上と推定されたため、浅部用（600MHz）と深部用（200MHz及び250MHz）の3種類のアンテナを用いて探査を実施した。

探査は2023年12月5日～7日の3日間で実施した。探査に使用した機器はGSSI社製地中レーダーSIR-

表1 探査基準点の国土座標一覧

<平面直角座標Ⅸ系>（有）三井考測による測量成果

ID	X	Y	Z
WT01	165165.989	9057.939	230.197
WT02	165109.433	9050.219	230.152
30-46	165152.113	9050.228	230.636
14-46	165154.221	9034.336	230.592
0-46	165156.005	9020.497	230.482
0-0	165110.398	9014.533	230.516
14-0	165108.582	9028.409	230.706
30-0	165106.505	9044.282	230.296
GPR-B1	165143.692	9054.398	230.187
GPR-B2	165139.324	9086.085	230.390
GPR-B3	165125.555	9084.215	230.390
GPR-B8	165129.923	9052.528	230.185

表2 各探査区での測線数、総測線長、探査面積

mala X3M	中心周波数	測線数 (本)	総測線長 (m)	探査面積 (㎡)
GSSI SIR-3000	200MHz	255	3,508	2,014
IDS Stream C	600MHz	228	4,427	4,758
Mala X3M	250MHz	41	630	313

*奈良文化財研究所 **三井考測 ***福島県立博物館

3000（使用アンテナ：中心周波数200MHz）およびIDS社製マルチチャンネル地中レーダーStream C（中心周波数：600MHz・32ch）、Mala社製X3M（中心周波数：250MHz）である。探査範囲を図版2に示す。探査範囲を設定するにあたり、博物館東側及び駐車場に探査の基準とするポイントを12箇所設置し、それぞれ国土座標（世界測地系、平面直角座標Ⅹ系）を取得している（表1）。

今回は異なる中心周波数をもつ3台の地中レーダー探査機を使用しているが、それぞれ探査範囲が異なっている。中心周波数200MHz（GSSI SIR-3000）では博物館の東側に東西30m、南北46mの範囲（博物館東側）とその東側に隣接する歩道と駐車場にL字形に探査範囲を設定した（図版2中赤枠で示す）。600MHz（IDS Stream C）では200MHzでの探査範囲を含みながら駐車場の北東側と南側を広くカバーするように設定している（図版2中青枠で示す）。250MHzアンテナは200MHzでの探査範囲内の南西側の南北約20m、東西約13m範囲で探査を実施した（図版1中緑枠で示す）。それぞれの探査測線数、総測線長、探査面積は表2に示す。但し、植栽や立木、人工物などで探査できなかった場所も存在している。

各側線で得られたGPRprofile（疑似地中断面図）は解析ソフトウェア“GPR SLICE ver.7”を用いて各種フィルター処理を実施し、不要なノイズを取り除くとともに、得られたすべてのGPRprofileを総合して任意の深度幅における反射強度の平面分布図（time-slice図）を作成した。

2. 探査成果

以下に各周波数（使用機材）における探査の結果を示す。

2. 1. 200MHz（GSSI SIR-3000）の結果

＜博物館東＞

図版3-1、3-2にアンテナ周波数200MHz（GSSI SIR-3000）を使用し、博物館東側で得られたGPRprofileより作成したtime-slice図を示す。同図では反射の強い領域を赤色等の暖色系で、反射の弱い領域を青色（寒色系）で色分けして表示している。各図の上には電波を反射してから反射波を受信するまでの電波の往復走時（単位：ns）とそこから推定される深度（単位：cm）を示している。但し、ここに示した深度はあくまで“推定深度”であり、実深度とは多少異なることがある。

図版3-1、3-2に示す各深度のtime-slice図では、探査区中央とやや東寄りに植栽のため探査できなかった部分が南北に帯状に存在する。この植栽は古絵図

及び1983（昭和58）年に会津若松市によって確認された三の丸堀跡（SD01・B）から推定された遺構の位置表示であり、この空白に挟まれた箇所には堀跡（SD01・B）が存在すると考えられる。図版3-2を見ると植栽の間とその外側で、特に目立った反射の差は認められない。ただし、深度21-33ns（推定深度：86-133cm）および深度32-44ns（推定深度：128-175cm）のtime-slice図においては植栽の西側に図中破線で示すように異常応答が帯状に続く箇所が認められた。これは堀跡SD01・Bの西側の立ち上がりを示している可能性が考えられる。また、深度54-65ns（推定深度：214-261cm）より以深においては西側の植栽列を境として西側が強い領域、東側が反射の弱い領域となっている。通常、含水率の高い粘質土が厚く堆積する堀や溝等の埋土は電磁波が水分により減衰するため、反射の弱い領域としてとらえられる。反射の弱い領域は東側の植栽列をこえてより東に広がっているため、これが堀跡SD01・B跡を示すとは考えにくい、もしかするとSD01・Bがさらに西側に広がる可能性を示唆しているのかもしれない。

＜歩道と駐車場＞

図版4-1、4-2に200MHzアンテナを使用し、歩道と駐車場で得られたGPRprofileより作成したtime-slice図を示す。歩道と駐車場の境には段差があるため、同深度の図においても両者の境には反射強度のギャップが認められる。また、駐車場の西縁には排水溝とグレーチングがあるため多重反射が起こり強い異常応答があらわれている。この不要なノイズと一部重なるように深度10-20ns（推定深度：39-79cm）においては南北に異常応答が帯状に認められる。駐車場に設定した探査区の南北幅は12mであり、全体の平面形が現時点では不明であるが、同異常は600MHzアンテナ（IDS Stream C）での探査結果にも表れているので後述することとする。本探査区ではその他に特筆すべき異常応答は認められなかった。

2. 2. 600MHz（IDS Stream C）の結果

＜博物館東＞

図版5-1、5-2に600MHzアンテナを使用し、博物館東側で得られたGPRprofileより作成したtime-slice図を示す。深度5-10ns（推定深度20-40cm）の図では探査区西半に反射の強い領域がまとまって分布している。これは博物館建設時、もしくはそれ以前の開発に伴う盛土（整地土）の違いや施工単位を示しているのかもしれない。より深い深度15-20ns（推定深度60-80cm）以深では、図中破線で示した範囲に反射の強い領域が認められる。この異常の西縁は200MHzアンテナの結果で得られた堀跡SD01・Aの立ち上

がりと考えられる箇所とほぼ一致しており、この異常はSD01・Aの埋土（もしくは埋土内に混入した礫など）によるものの可能性がある。この異常は浅い深度では探査区南西部分に現れ、深度が増すにつれて徐々に北東へと移行していく。これは、現地表は後世の盛土によりほぼ水平であるが、旧地表は緩やかに北に向かって傾斜しており、北に向かって遺構面が深くなっている様子を示唆しているのかもしれない。SD01・Aの埋土と考えられる異常は深度55-60ns（推定深度：222-241cm）で消え、代わりにSD01・Bの推定位置（植栽列の間）に強い異常応答があらわれる。SD01・Bの埋土の異常応答とも考えられるが、同深度は600MHzアンテナでの探査限界深度にあたり、ノイズの可能性もあることからその解釈については慎重を期するべきであると考ええる。

<歩道と駐車場>

図版6-1、6-2に600MHzアンテナを使用し、歩道と駐車場で得られたGPRprofileより作成したtime-slice図を示す。深度0-5ns（推定深度：0-22cm）および深度5-10ns（推定深度22-45cm）では探査区の北東部分に反射の強い領域が認められる。これは駐車場整備時の盛土の施工部分を示しているのではないかと考えられる。排水の為に歩道際の排水溝に向けて緩やかな傾斜をつけるために中央部分に厚く盛土したと考えられる。これらの異常と別に、深度15-20ns（推定深度：69-91cm）では探査区やや西寄りに南北に延びる帯状の異常応答が認められた。現状でこれが何らかの遺構であるのかの判断はできないが、過去の道路跡のようにも見て取れる。また、深度20-25ns（推定深度：91-114cm）、深度25-30ns（推定深度：114-136cm）にも図示したように2か所の異常応答が捉えられた。1つの異常の大きさは東西約5m、南北約12～13mと比較的大きい。これについても、現段階では遺構であるのか、後世の開発によるものかの判断はつかず、詳細は不明である。深度36-40ns（推定深度：160-182cm）においては探査区北側に東西方向にのびる帯状の反射の弱い領域が認められる。一見堀跡のようにも見えるが、探査区南側の反射が強く、徐々に北側に行くにつれて弱くなる様子は旧地形（地山）が南から北に向かって下がっていく様子を捉えたもので、自然地形が表れたものであると推察する。

2. 3. 250MHz（Mala X3M）の結果

図版7-1、7-2に250MHzアンテナを使用し、博物館東側で得られたGPRprofileより作成したtime-slice図を示す。この探査区は植栽の遺構表示の西側に設けられたもので、SD01・Aの西側の立ち上がりの検出を主目的として部分的に設定したものである。深度

21-31ns（推定深度：84-125cm）と深度31-42ns（推定深度：125-167cm）では主に探査区の南半分に反射の強い帯状の異常反応が認められた。この異常の位置は200MHzアンテナで堀跡SD01・Bの西側の立ち上がりと同じ位置と推定した位置と同じであり、同一の地下構造を捉えたものと解釈できる。深度42-52ns（推定深度：167-209cm）から深度63-74ns（推定深度：253-295cm）までは、探査区の北西に異常応答が捉えられている。これが浅い部分で捉えられた堀の結果から推定されたように、北側の方が盛土（整地土）が厚く、地表面からの深度が見かけ上深くなるとすれば、連続する立ち上がりを捉えたものと解釈しても矛盾はないと考える。

3. 堀跡の規模に関するまとめ

若松城三の丸においてかつての堀跡を非破壊で捉えるべく、地中レーダー探査を実施した。本探査では中心周波数の異なる3種類の探査機材を用い、探査深度、地中分解能を変えて探査した。その結果以下のことが推定された。

探査可能深度が深い地中分解能の低い200MHz（GSSI SIR-3000）、250MHz（Mala X3M）アンテナの結果では、堀跡SD01・Bの東側立ち上がり、SD01・Aとの境界は残念ながら捉えることができなかった。しかしSD01・Aの西側立ち上がりと同じ位置と推定される帯状の異常は捉えることができた。

地中分解能の高い600MHz（IDS Stream C）アンテナでもSD01・Bの東側立ち上がりは捉えることができなかったが、SD01・Aの埋土と考えられる異常応答が捉えられた。図版8は深度15-20ns（推定深度：60-80cm）、深度20-25ns（推定深度：80-100cm）、深度25-30ns（推定深度：100-120cm）、深度30-35ns（推定深度：121-141cm）の4深度のtime-slice図を重ね合して処理した画像である。図には緑破線で植栽による堀跡表示箇所も示している。この植栽の西側に沿うように表れている反射の強い領域（赤や黄色で表現される箇所）がSD01・Aの埋土と考えられる異常である。部分的に途切れているところがあるが推定される幅は約15mである。会津若松市教育委員会（1983）で確認されたSD01・Aの幅は、第2トレンチで14.95～15.15m、第3トレンチで16.8～17.3mであり、その規模に矛盾はない。

また、歩道と駐車場に設けられた探査区では、緩やかにカーブしながら南北に延びる異常応答が認められた。これが何らかの遺構であるかは今のところ不明である。

4. 堀跡で新たに確認された反応について

200MHz (GSSI SIR-3000) の博物館東探査区の探査成果 (図版3-1、3-2) において、深度64-76ns (推定深度: 257-304cm)、深度75-87ns (推定深度: 299-346cm)、深度86-96ns (推定深度: 342-384cm)、深度87-96ns (推定深度: 347-384cm) のtime-slice図で確認された探査区南側で東西方向に延びる強い反応について、堀に関わるものと推測される。地中に埋まる自然物にしては異常な反応と考えられ、推定深度から堀の底に近い位置と考えても差し支えないことから、人為的に堀の底面に設置された防衛設備の可能性はある。

予備調査では湧水により最深で2 m30cmまでしか掘り下げることができなかったため、より深い位置にあるこの反応についての詳細を予備調査の成果をもとに明らかにすることは困難ではあるが、若松城三の丸堀跡における新発見であった。

なお、若松城三の丸より東に約300m離れた城東町遺跡では、若松城の外堀跡が確認され畝堀であったことが明らかにされている (会津若松市教育委員会1994)。今回の反応について畝堀の一部であったと断定することはできないが、ひとつの可能性として考えることができるだろう。

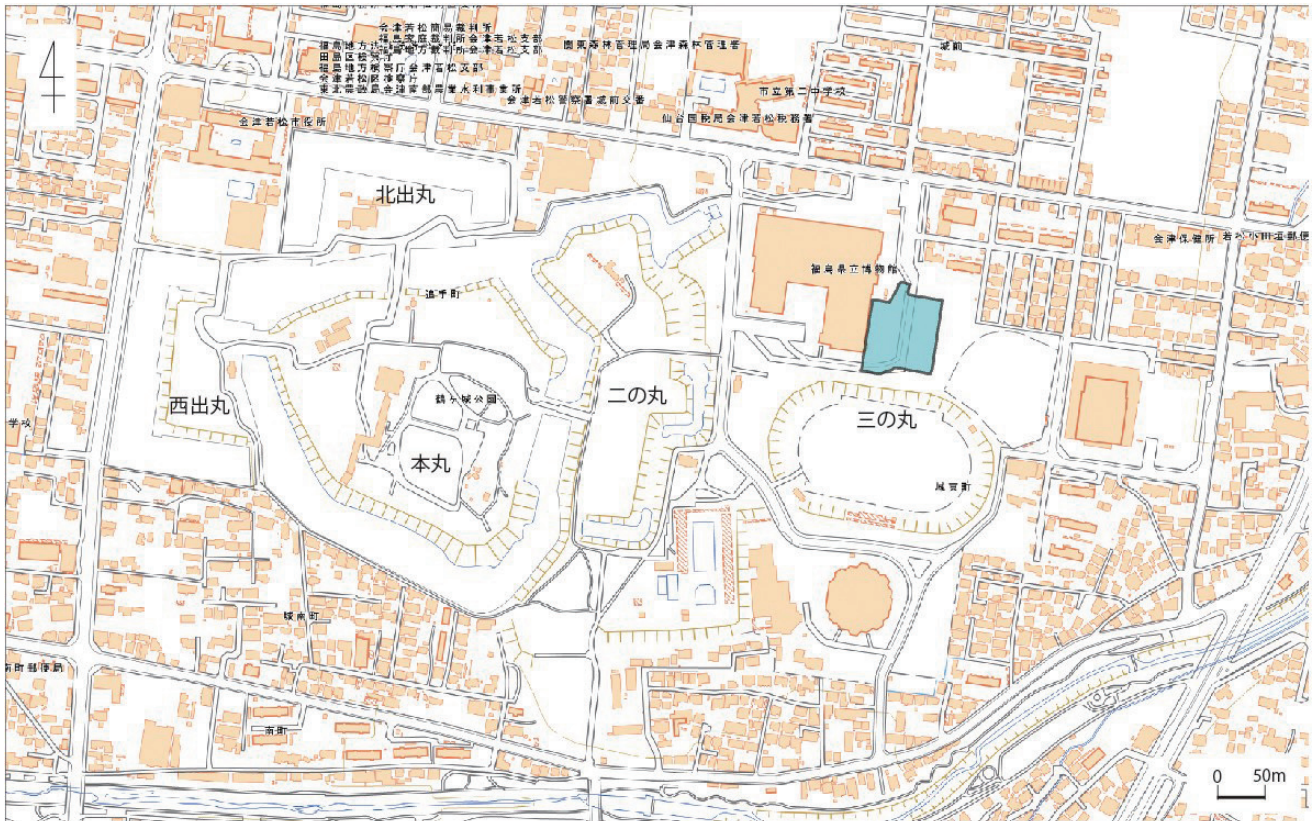
謝辞

調査中には会津若松市教育委員会澁川駿氏のほか当館学芸課職員の協力も得た。末筆になるが改めてお礼申し上げる。

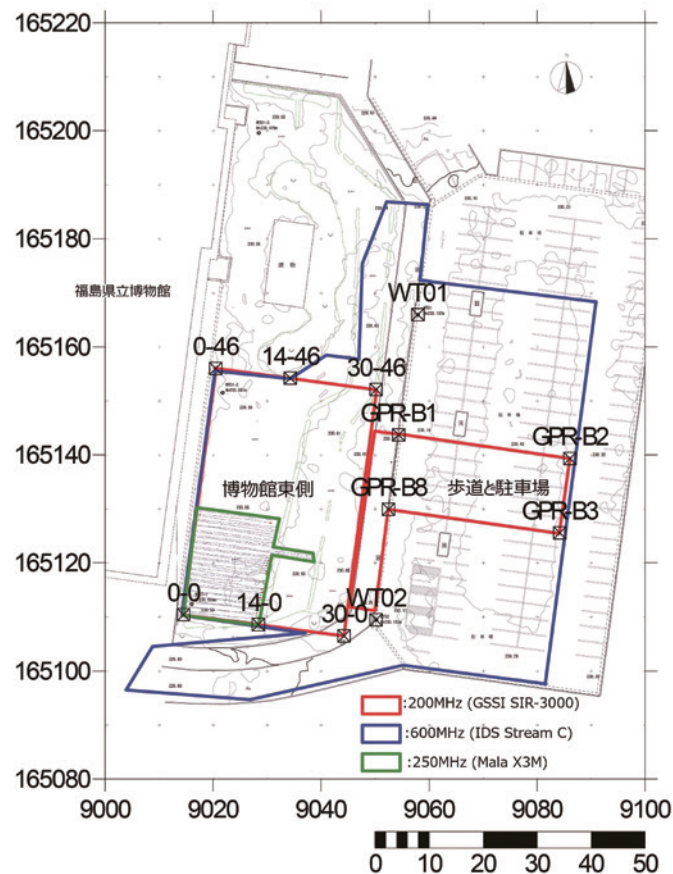
参考文献

- 会津若松市教育委員会 1983『若松城三の丸跡発掘予備調査報告』会津若松市文化財調査報告書第9号 会津若松市教育委員会
会津若松市教育委員会 1994『若松城下城東町遺跡』会津若松市文化財報告書第38号 会津若松市教育委員会

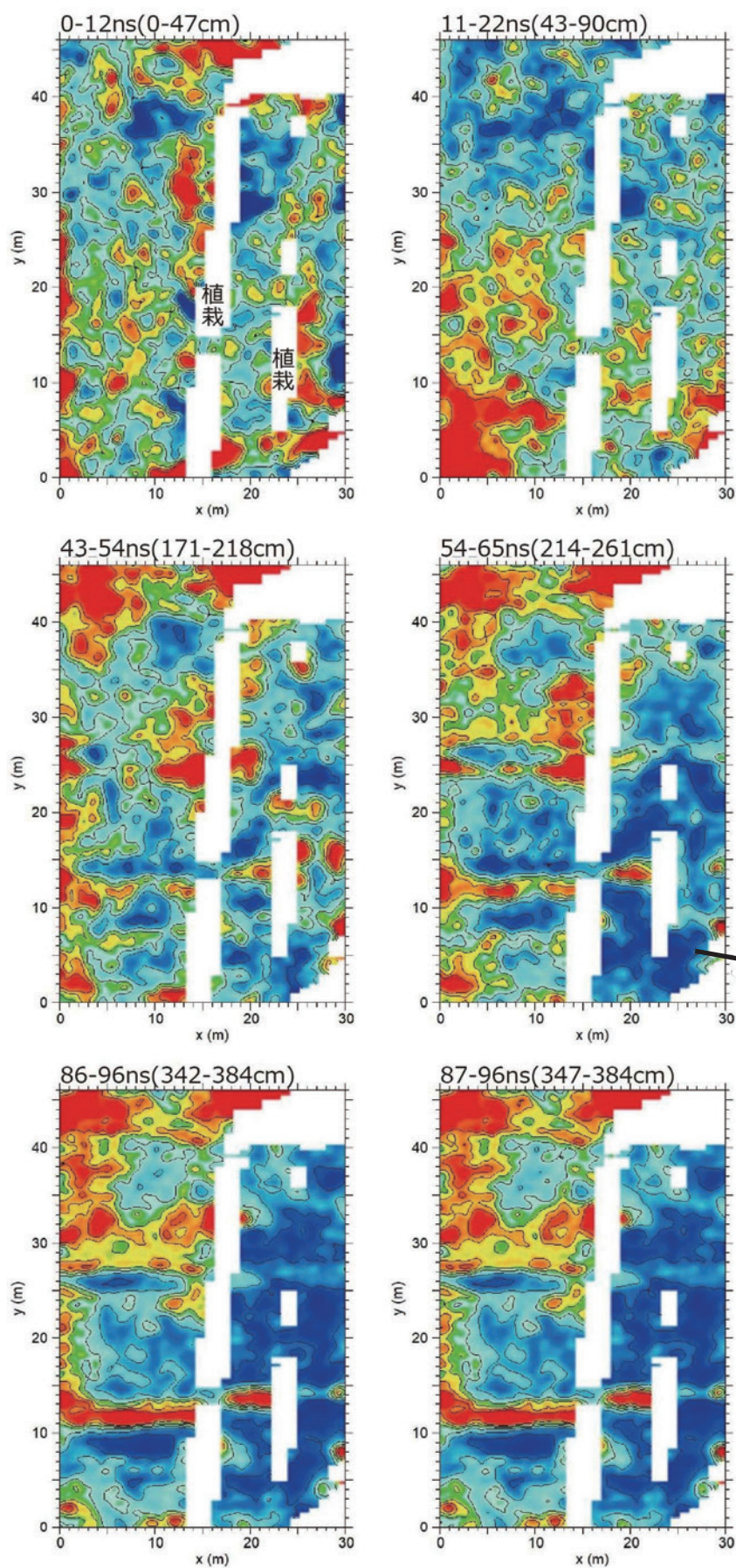
若松城三の丸堀跡地中レーダー探査の調査成果報告



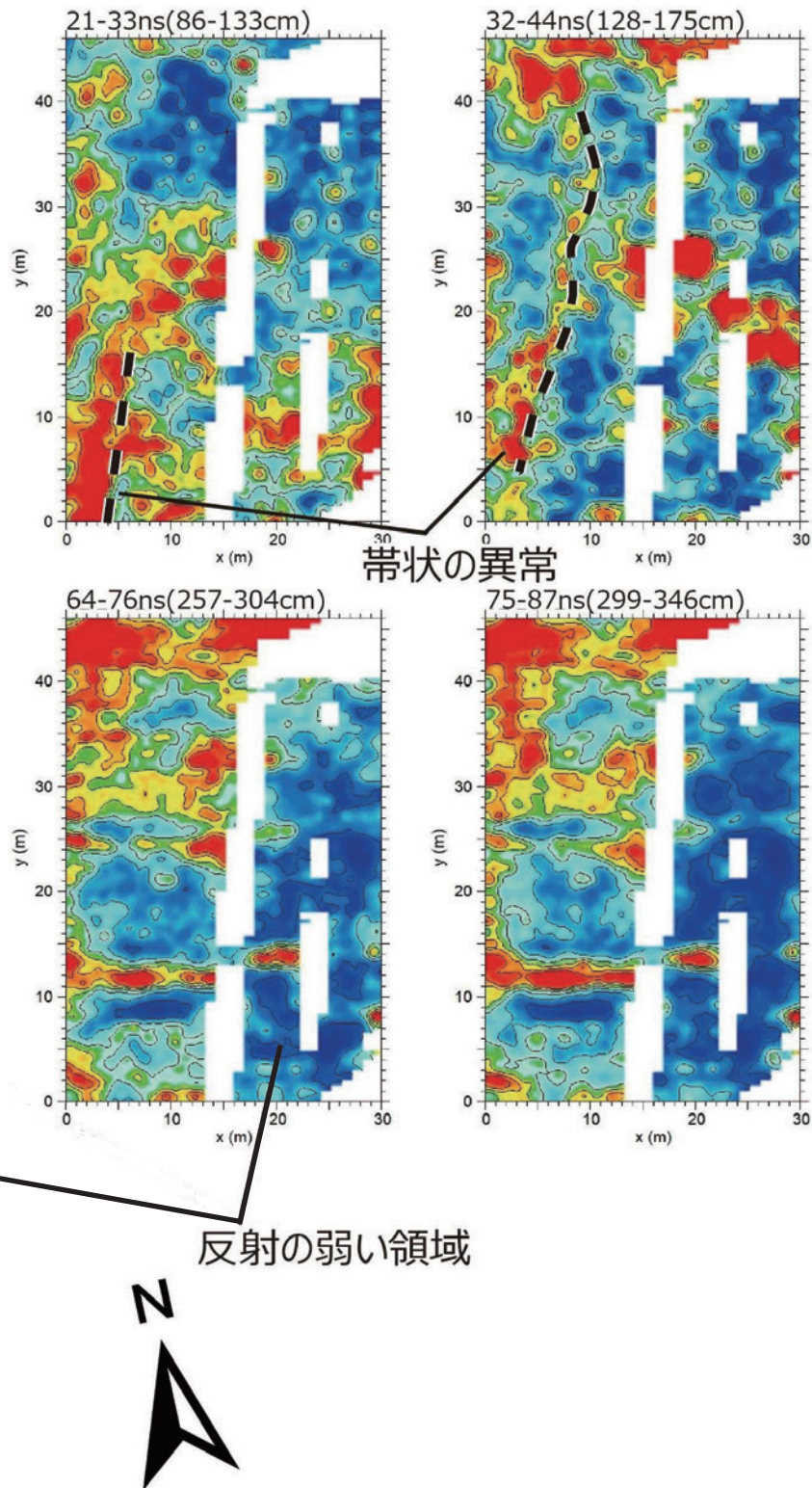
図版 1 現在の若松城三の丸の位置（地理院地図に平澤加筆、水色の範囲が今回の探査範囲）



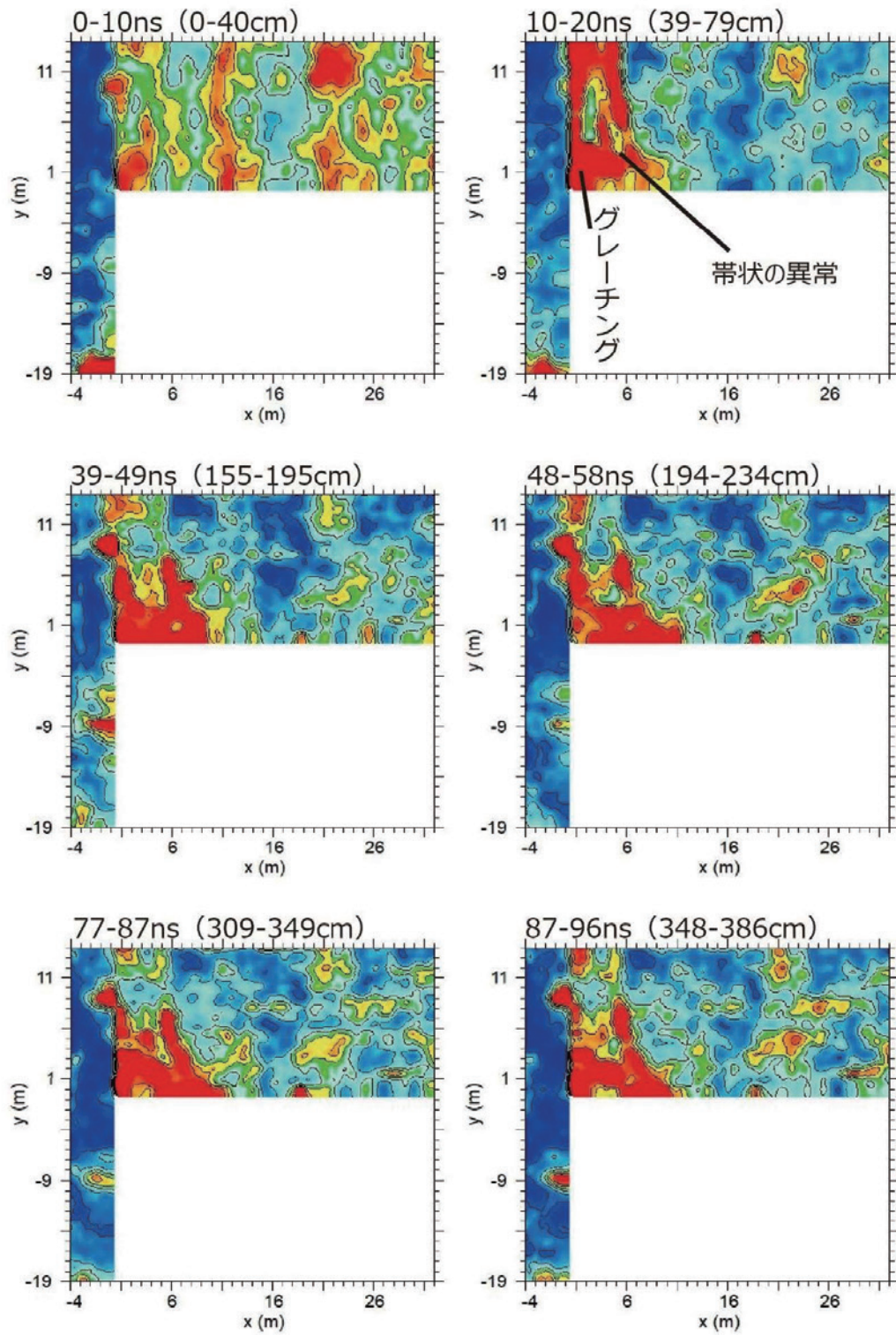
図版 2 地中レーダー探査範囲（三井提供図に岸田加筆）



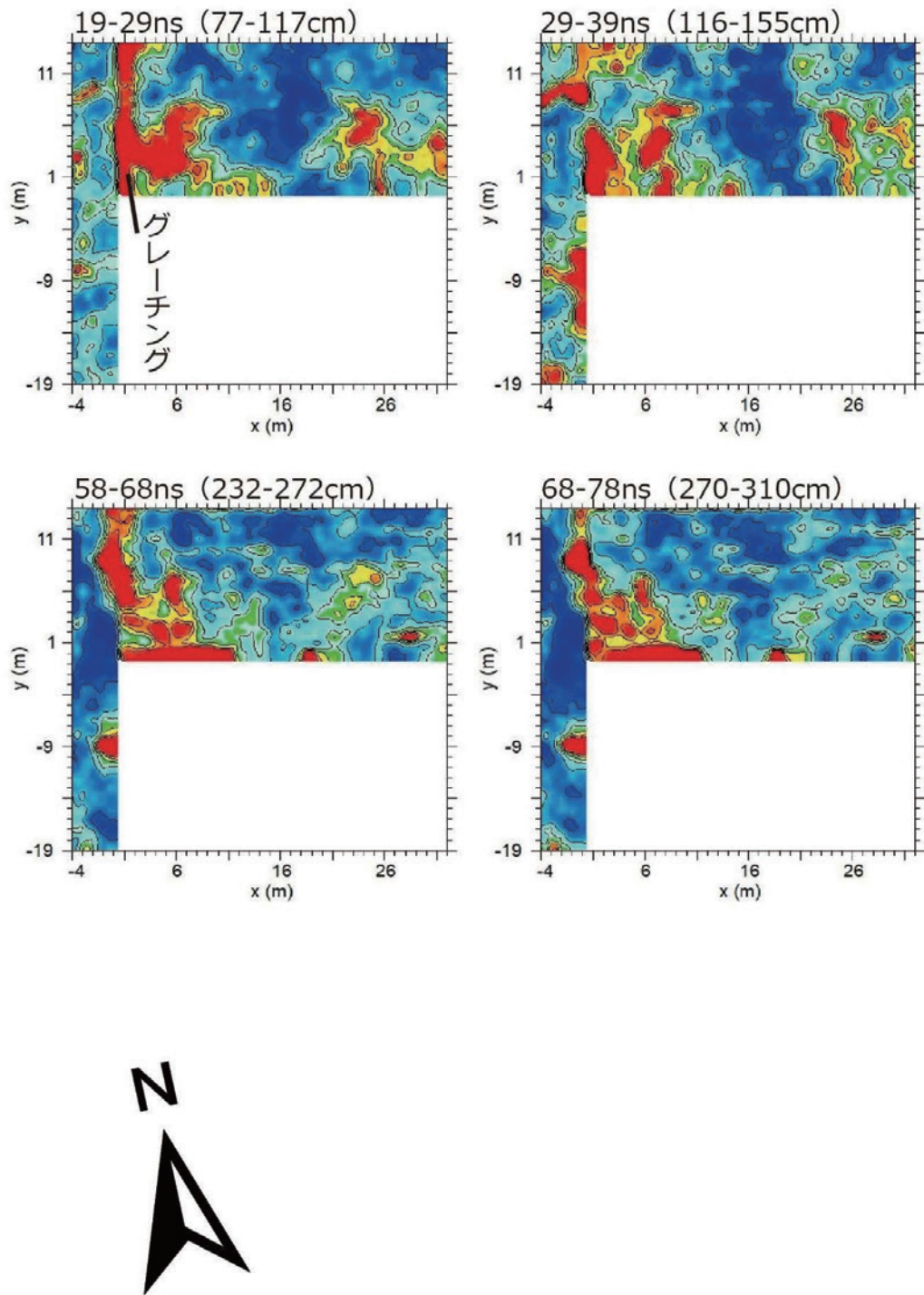
図版3-1 博物館東における地中レーダー（200MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸は任意の座標系による



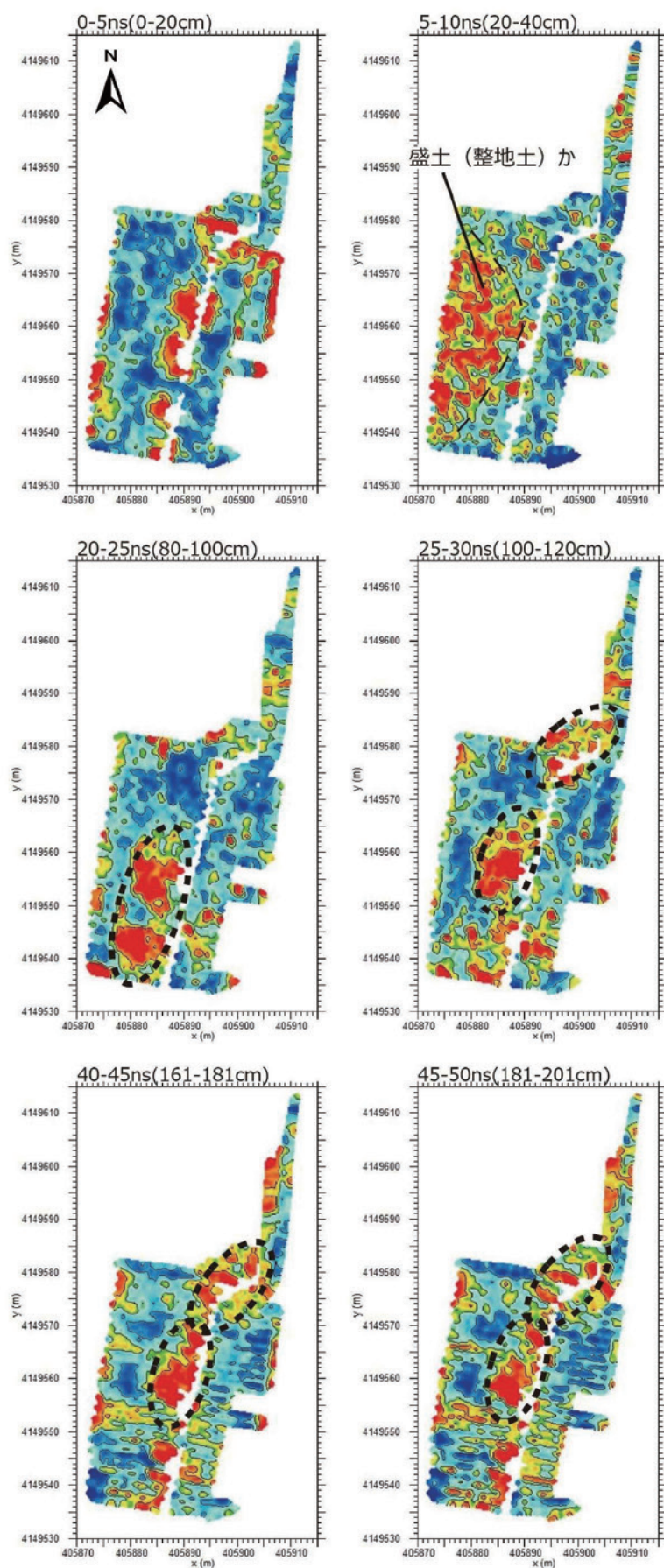
図版3-2 博物館東における地中レーダー（200MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸は任意の座標系による



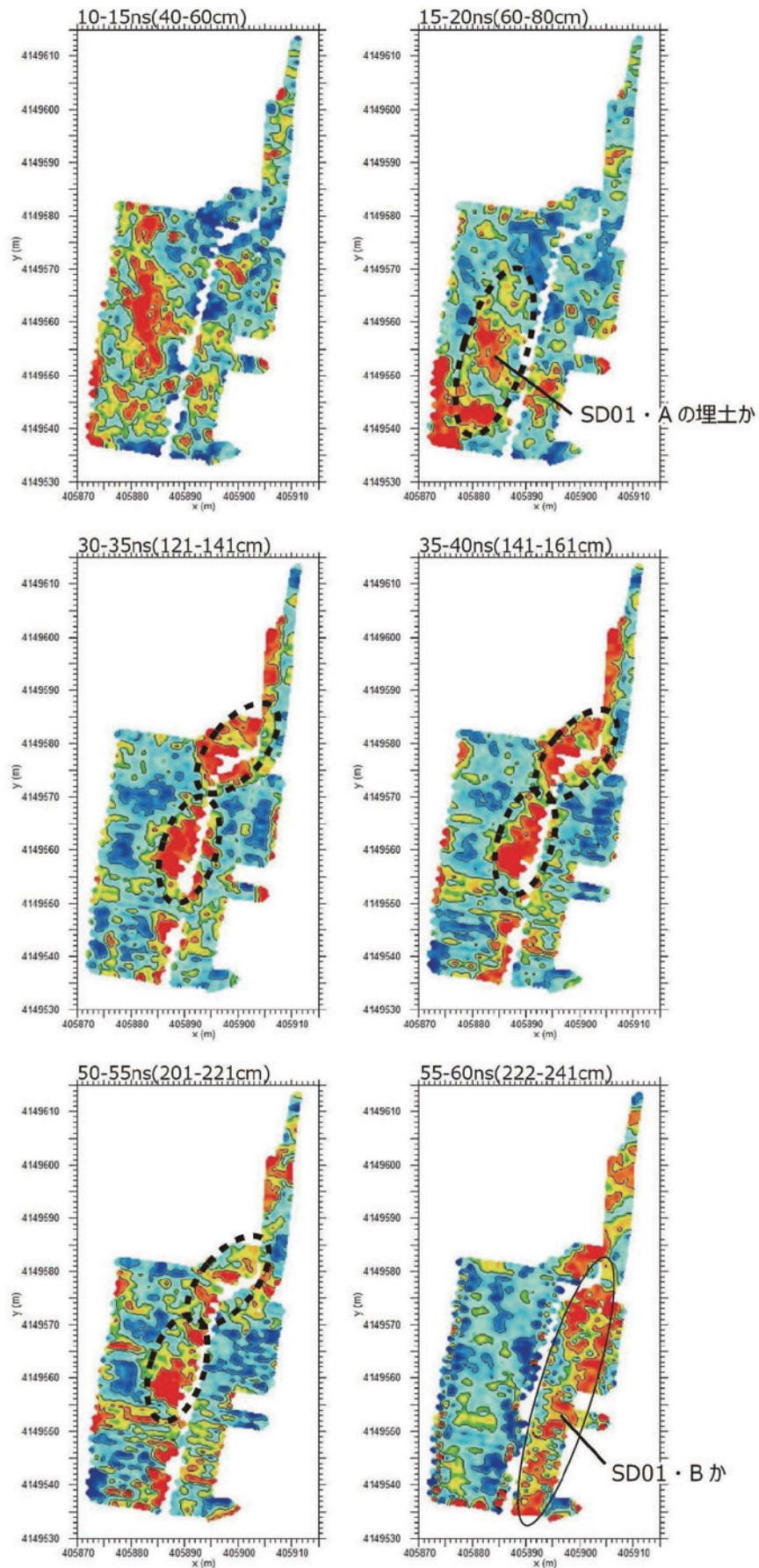
図版4-1 歩道と駐車場における地中レーダー（200MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸は任意の座標系による



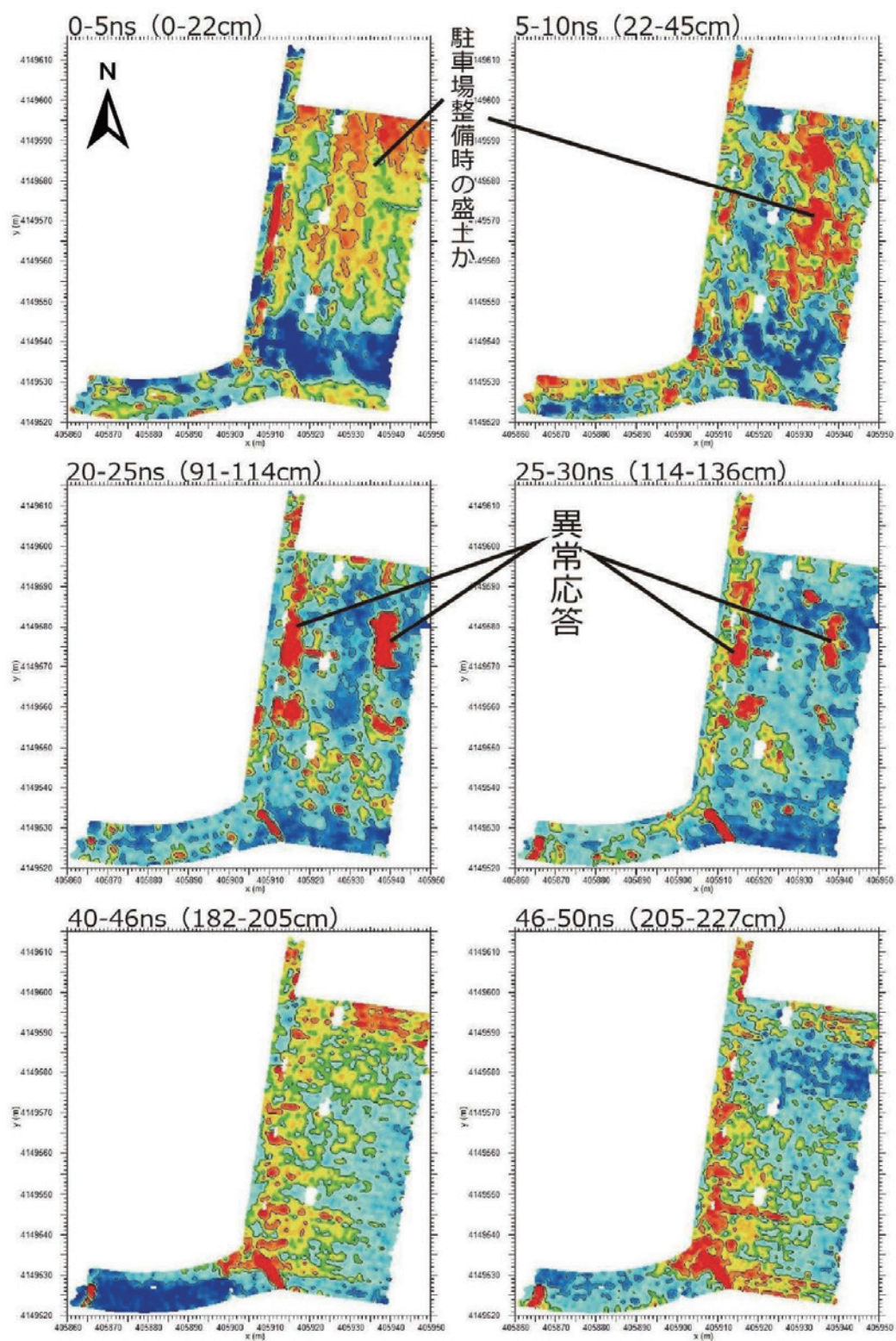
図版4-2 歩道と駐車場における地中レーダー（200MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸は任意の座標系による



図版5-1 博物館東における地中レーダー（600MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による

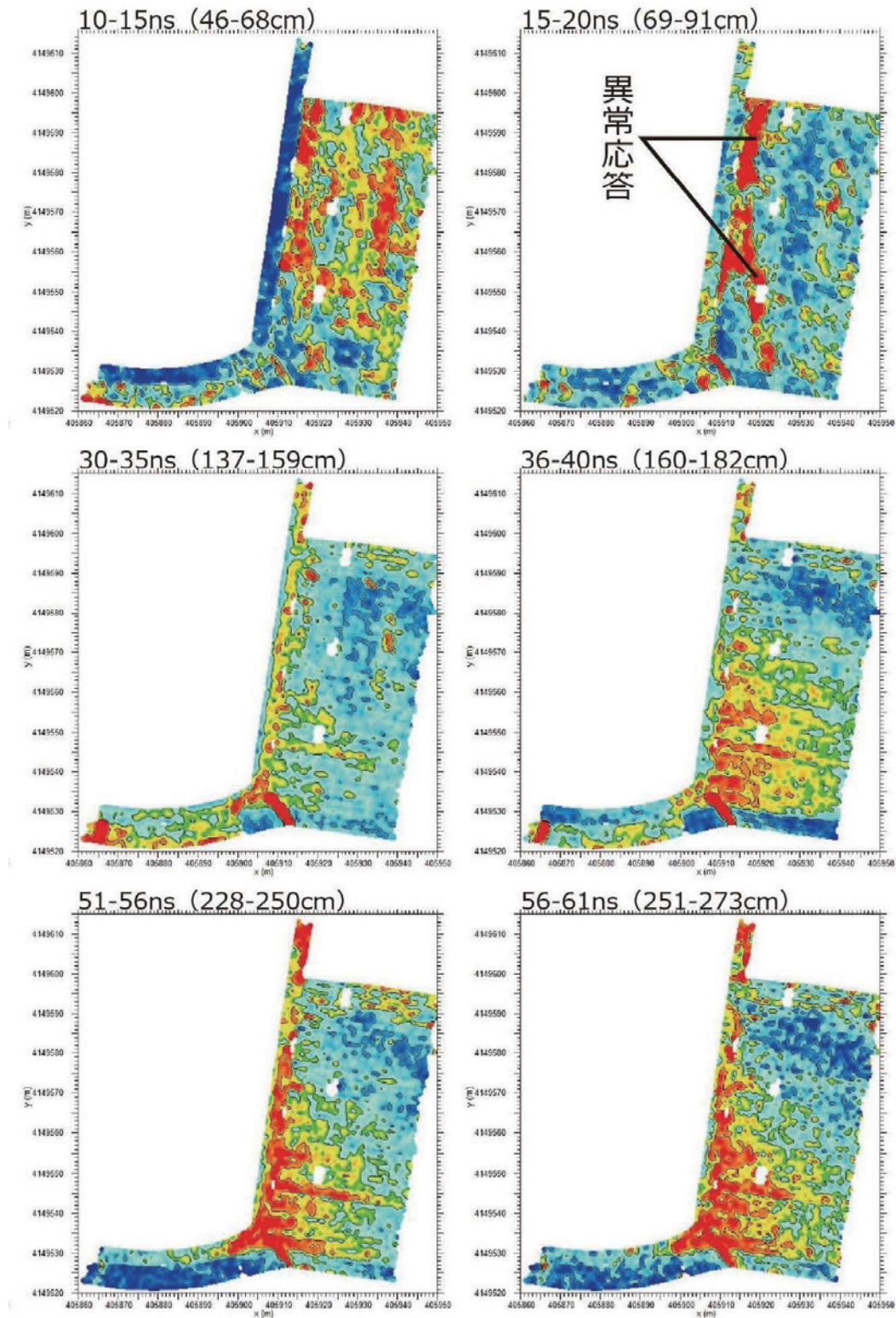


図版5-2 博物館東における地中レーダー（600MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による

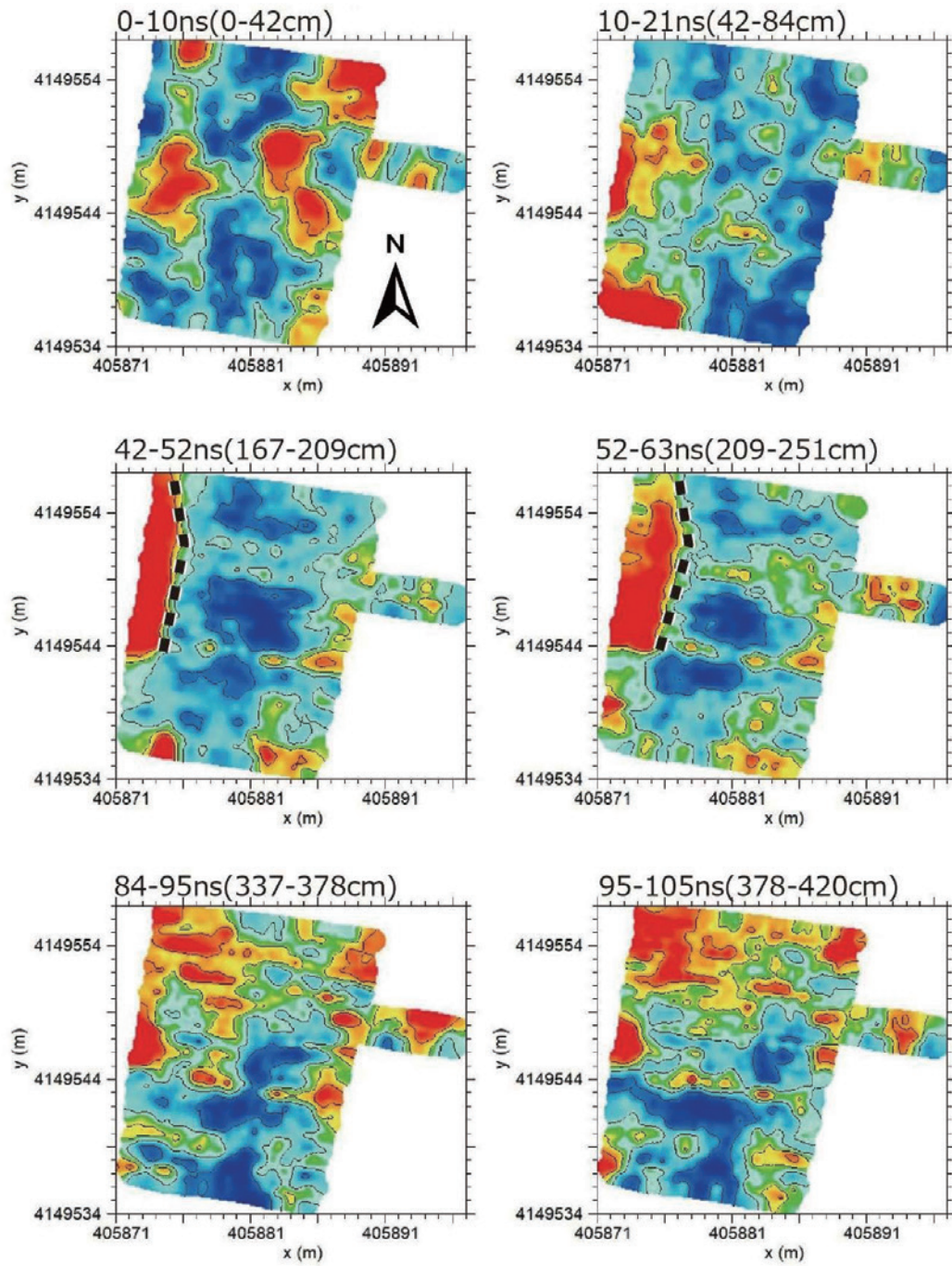


図版6-1 歩道と駐車場における地中レーダー（600MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による

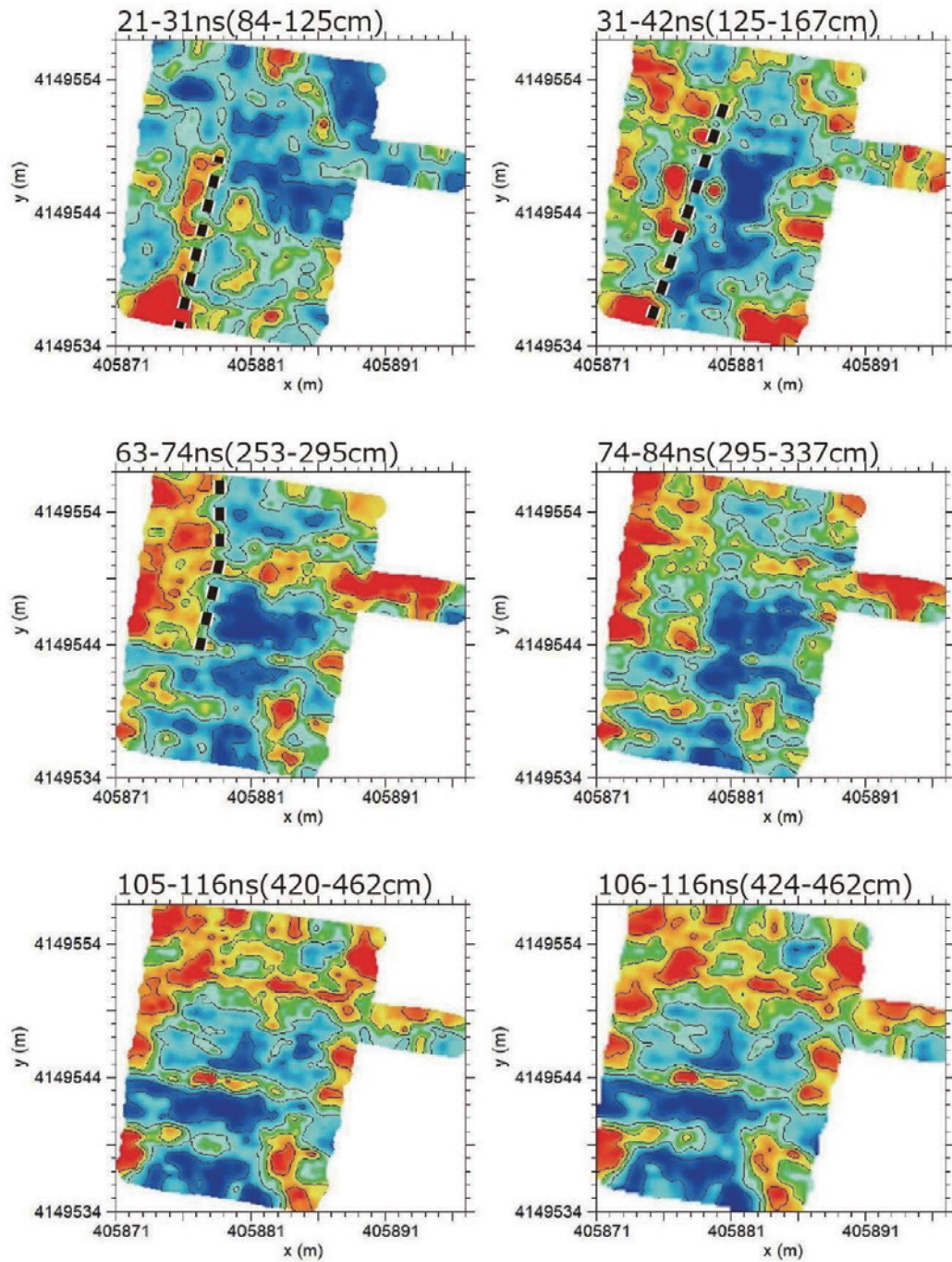
若松城三の丸堀跡地中レーダー探査の調査成果報告



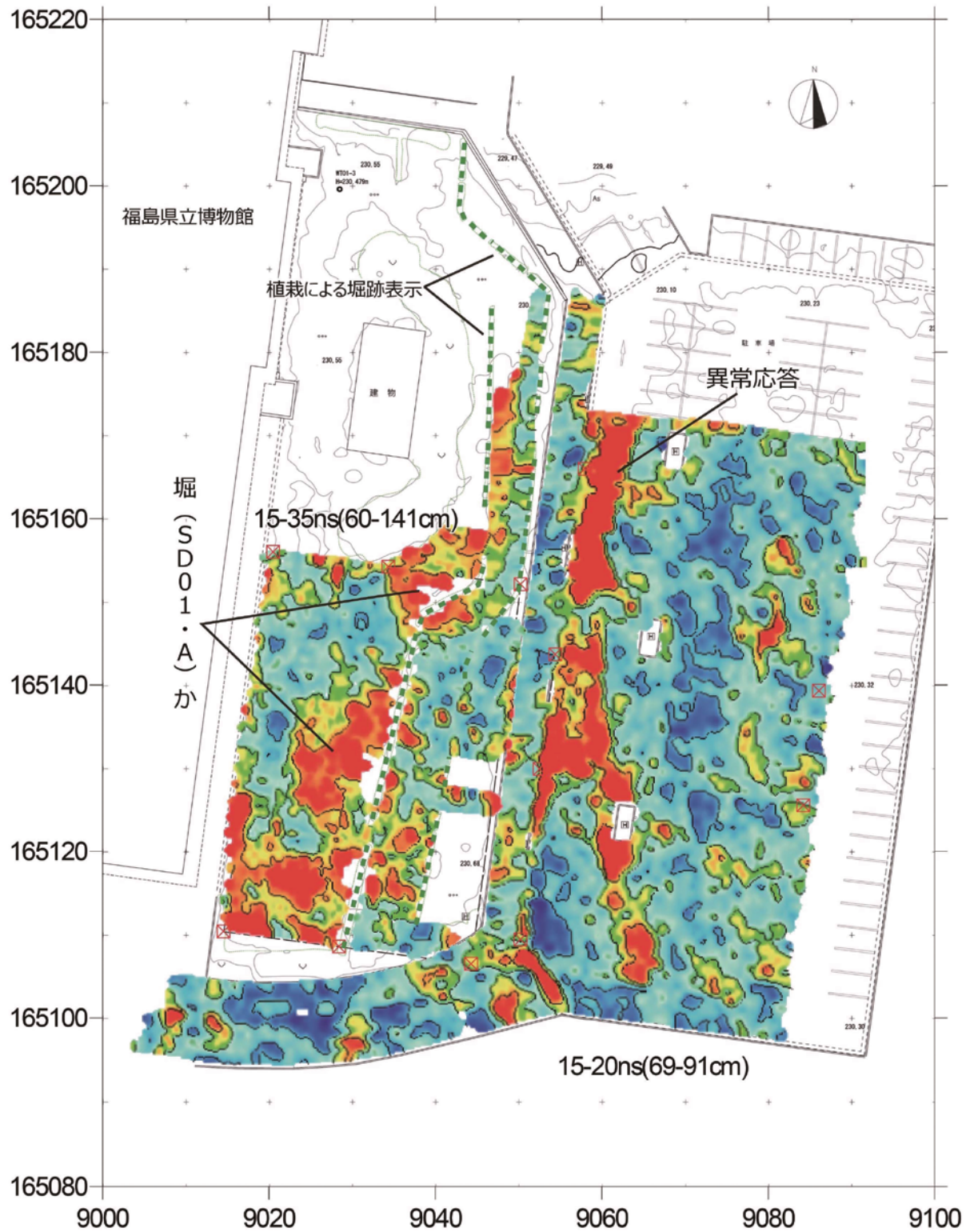
図版6-2 歩道と駐車場における地中レーダー（600MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による



図版7-1 博物館東における地中レーダー（250MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による



図版7-2 博物館東における地中レーダー（250MHz）探査結果（time-slice図一覧）
図のX軸、Y軸はUTM54座標系による



図版 8 4つの深度を重ね合わせたtime-slice図(600MHz)と測量図(三井作成図に岸田加筆)