

造山古墳後円部の地中レーダー 探査結果と今後の展開

北條芳隆・宮原俊一・白川美冬
(東海大学)

はじめに

1. 東海大学チームの概要（使用機種仕様・事前調査）
2. 造山古墳後円部の探査目的（埋葬頭位と墳丘方位）
3. 探査結果の概要
4. 探査結果の点検（岡山市教委調査成果との突き合わせ）
5. 造山古墳の評価をめぐる今後の予定（arc Astro VR）



1. 東海大学チームの概要（使用機種仕様・事前調査）

背景：発表者の一人宮原俊一は、調査を担当した遺跡において「掘らずに知る」ことの重要性を痛感。発掘調査に直接携わる考古学サイドから、埋蔵物の有無、遺構の形状、土層の違いなど、事前に把握することへの期待とその有効性を追求したいとの願望を抱き、富山大学大学院理工学研究部 酒井英男氏に探査機の選定を依頼、遺跡探査方法の教示を乞うた（2017年7月）。

経緯：2019年度科学研究費 新学術領域研究「出ユーラシアの総合的人類史学：文明創出メカニズムの解明」代表松本直子（岡山大学）が採択。A01班の分担研究者北條芳隆は、過去の天体の運行と遺跡の関係把握を目指し、未調査の埋葬施設や祭祀遺跡の方位を追及するための方法としてレーダー探査を導入し東海大学で実施することとした。

選定機種と仕様：NOGGIN Plus 500MHz（Sensors & Software 社製）



使用機種を選定

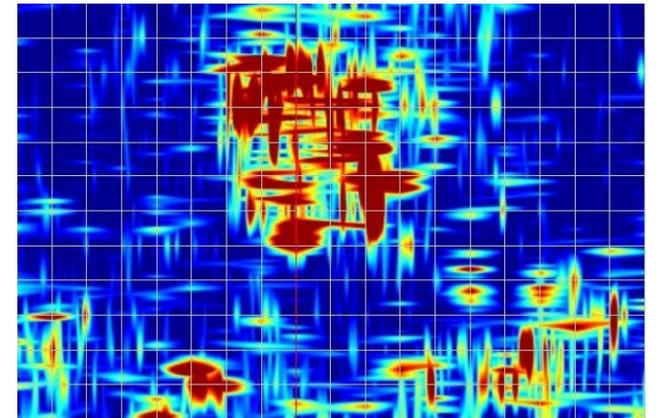
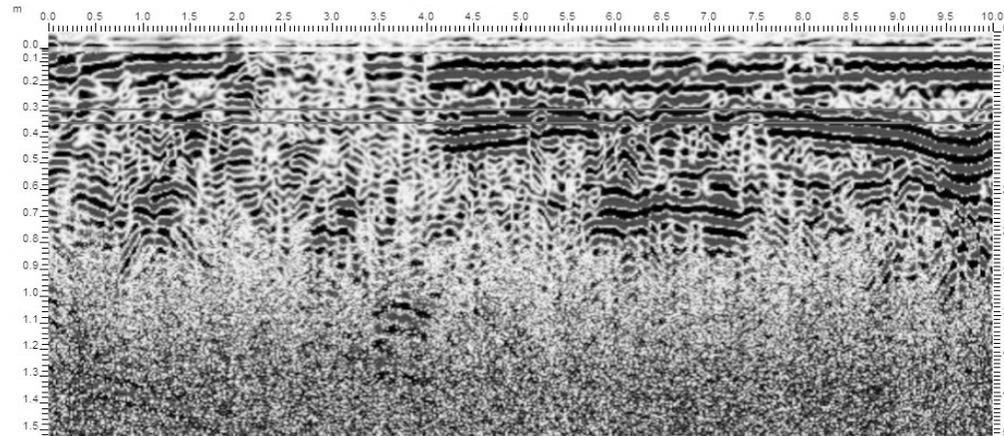
形状	製造元	メーカー	製品名	変調方式	使用周波数	主たる用途
カートタイプ	国内	(株) 光電製作所	GPR-10C	インパルス	350MHz	地中の埋設管、空洞、構造物
		日本信号 (株)	グラントシアGN-01	チャープ	50~800MHz	埋設物探査、空洞探査
			グラントシアGN-02	チャープ	70~850MHz	埋設物探査、空洞探査
		日本無線 (株)	NJJ-640	インパルス	10~1000MHz	地中の埋設管、空洞、構造物
	海外	GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc)	SIR-3000 SIR-4000	インパルス	300/400/900MHz 1.6GHz	埋設物、路面下空洞、地層構造
			ユーティリティ スキャンDF	インパルス	2周波方式 300MHzと800MHz	地下埋設管、空洞探査
			ストラクチャスキャン	インパルス	1.6/2/2.6GHz	コンクリート中の密集鉄筋や配管・空洞等
		Mala Geoscience	RAMAC	インパルス	100/200/500/800/ 2000MHz	埋設管 (埋設物)、空洞 (トンネル) の検出、考古学調査
		GEOSCANNERS	AKULA9000	—	300/400MHz	路面下空洞
		Sensors & Software	NOGGIN Plus	—	100/250/500/1000MHz	鉄筋コンクリート、空洞、配管・埋設物探査
			Pulse EKKO PRO	—	12.5/25/50/100/200/ 250/500/1000MHz	埋設物探査、遺跡物探査

使用機器の特徴



NOGIN Plus 500MHz (Sensors & Software社)

調査地点を位置情報として記録できるGPSアンテナと共に探査機をカートに搭載し、これを移動・計測することによって地中の鉛直断面図（下左図：セクション）と水平断面図（下右図：タイムスライス）を作成することができる。



使用機器の仕様



NOGIN Plus 500MHz (Sensors & Software社)

本探査機は、地中の含水率に見合った伝播速度の調整が容易であり、探査結果を現場で即時可視化できることから、遺跡探査を進める上で効率的な機種であると考え、これを採用した。

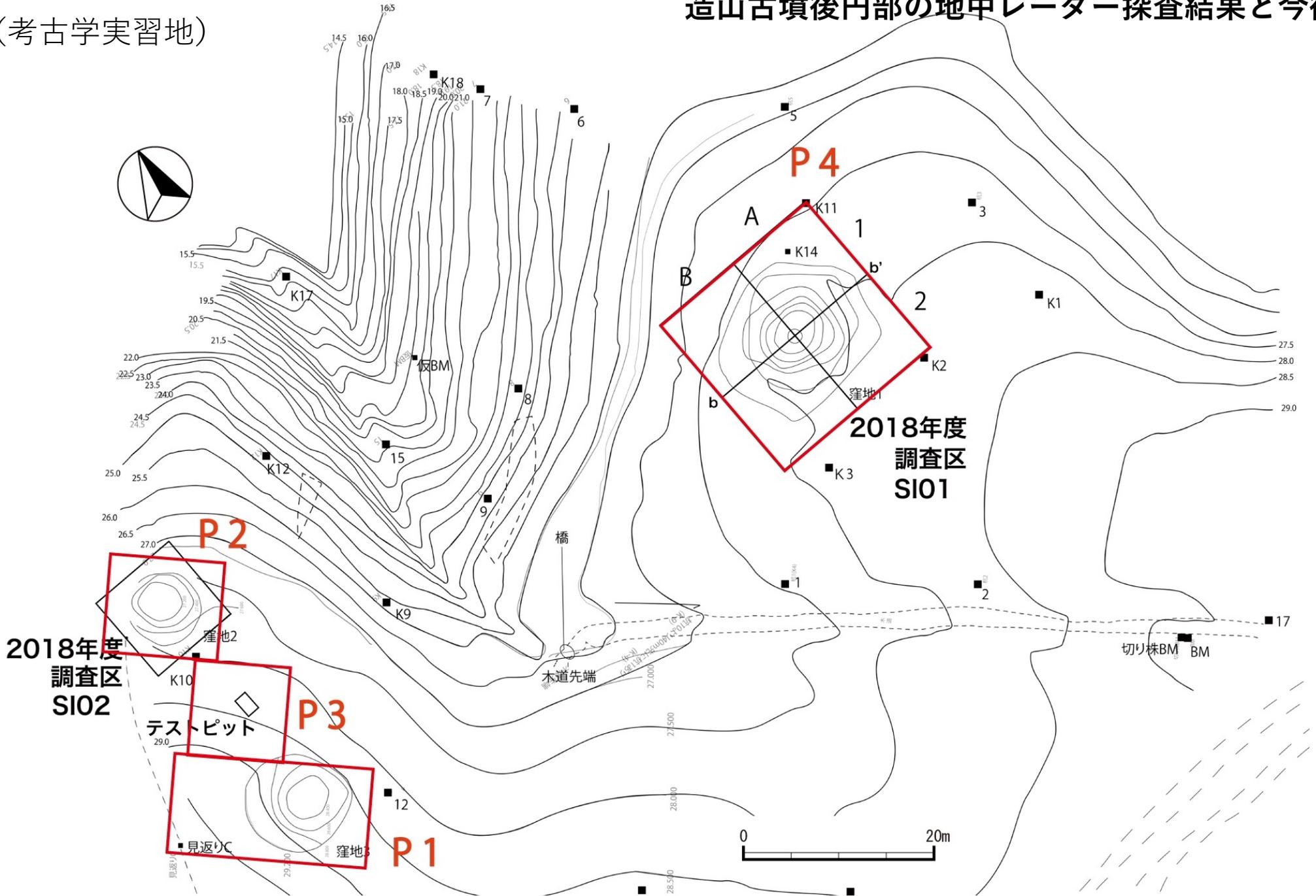
GPR指標速度

Air	0.3m/ns
Very Dry Soil(Ice,Granite,Dry Salt)	0.15m/ns
Dry Soil(Limestone,Concrete)	0.12m/ns
Moist Soil(Pavement,Rock)	0.1m/ns
Wet Soil(Silt)	0.08m/ns
Water	0.033m/ns

※データ解析時に、EKKO_Project(ver.5.2) によるHyperbola fitting (双曲線較正) 法によりさらに詳細な伝播速度を算出。

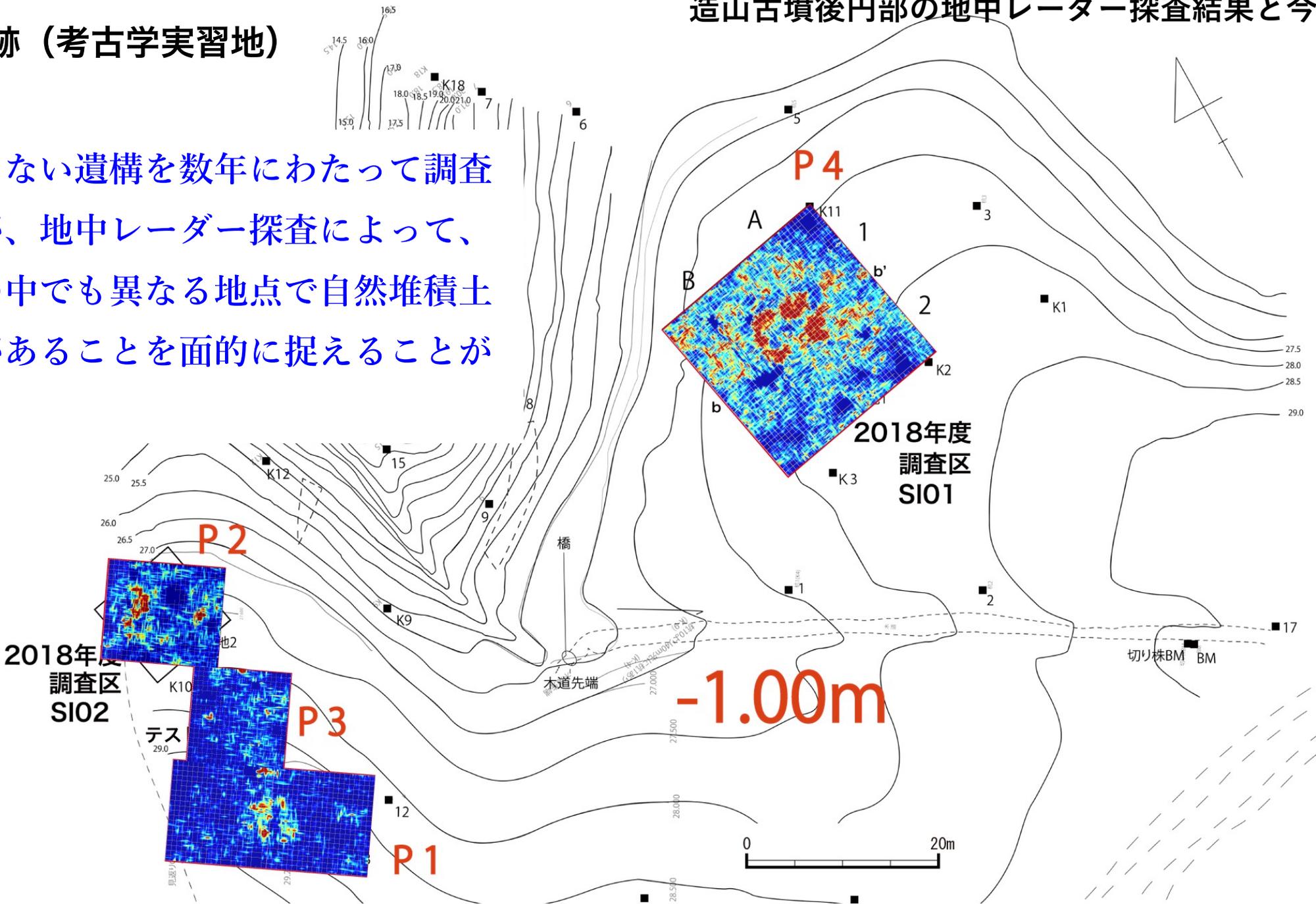
発掘調査実施遺跡での検証探査

- ・王子ノ台遺跡東区（湘南校舎11号館駐車場：神奈川県平塚市：2020/09/28）
- ・王子ノ台遺跡東区（湘南校舎11号館植栽帯：神奈川県平塚市：2020/09/29）
- ・王子ノ台遺跡西・東区（湘南校舎3・11号館連絡舗装路：神奈川県平塚市：2020/09/29）
- ・芥坂遺跡（湘南校舎芝生広場地点：神奈川県平塚市：2020/09/30）
- ・今宮遺跡（湘南校舎7号館前庭：神奈川県平塚市・秦野市：2020/10/02）
- ・水尻遺跡（湘南校舎15号館：神奈川県平塚市：2020/10/09）
- ・北金目神社古墳（考古学実習地：神奈川県平塚市：2020/10/30）
- ・相模国分寺（神奈川県海老名市：2020/11/09）
- ・青柳遺跡遺跡隣接地（湘南校舎20号館建設予定地：神奈川県平塚市：2020/12/11）
- ・高間原遺跡（湘南校舎多目的グラウンド：神奈川県平塚市：2021/01/23）
- 金堀沢遺跡（考古学実習地2018-2020年度調査地点：青森県上北郡六ヶ所村：2021/08/29）



金堀沢遺跡 (考古学実習地)

埋まりきらない遺構を数年にわたって調査してきたが、地中レーダー探査によって、同じ遺跡の中でも異なる地点で自然堆積土層に相違があることを面的に捉えることができた。



2018年度調査区 SI02

2018年度調査区 SI01

-1.00m

古墳におけるレーダー探査（予備調査として）

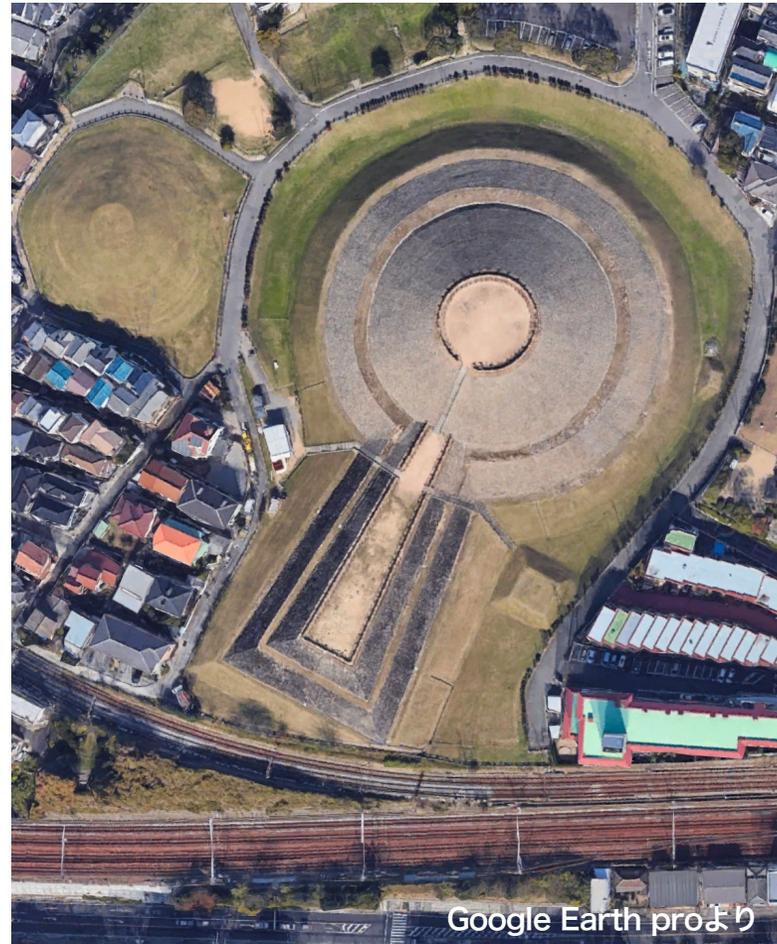
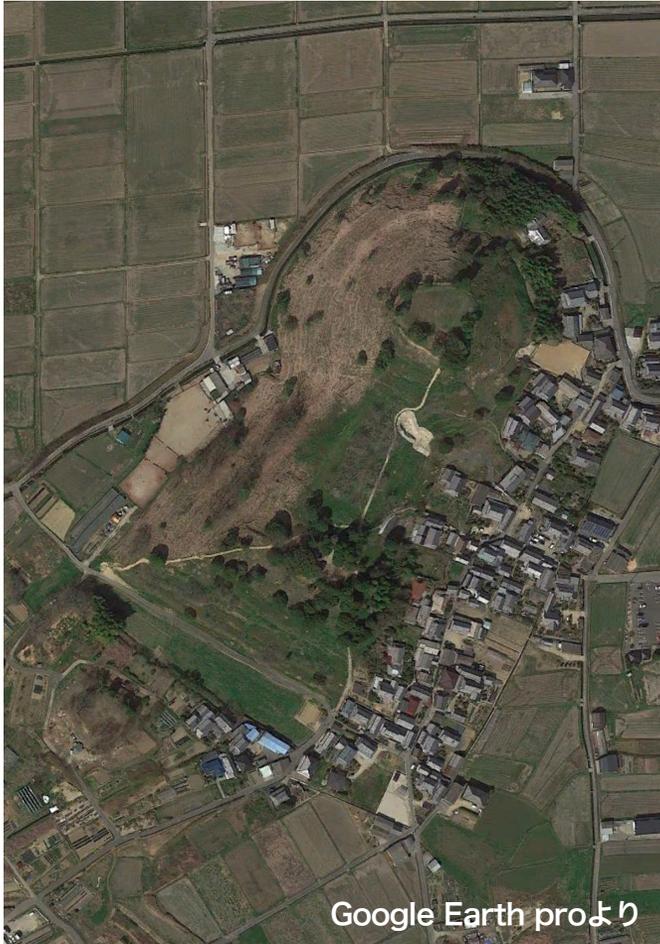
- ・ 弘法山古墳（長野県松本市：2021/11/02）
- ・ 造山古墳（岡山県岡山市：2022/02/06）
- ・ 作山古墳（岡山県総社市：2022/02/07）
- ・ 東之宮古墳（愛知県犬山市：2022/03/20）
- ・ 棺護山35号墳・北尾根3号墳（長野県松本市：2023/01/31）
- ・ 松島王墓古墳（長野県伊那市箕輪町：2023/02/01）
- ・ 大安場古墳群（福島県郡山市：2023/02/14）
- ・ 傾城壇古墳（福島県大玉村：2023/02/15）
- ・ 蒲倉古墳群（福島県郡山市：2023/02/15）





探査は比較的降雨量の少ない晩秋から冬期を選び、直前の7日間に降雨がない日を基本条件とした
なお前日に積雪があったタイミングでも地下からの反応は良好な場合もあった

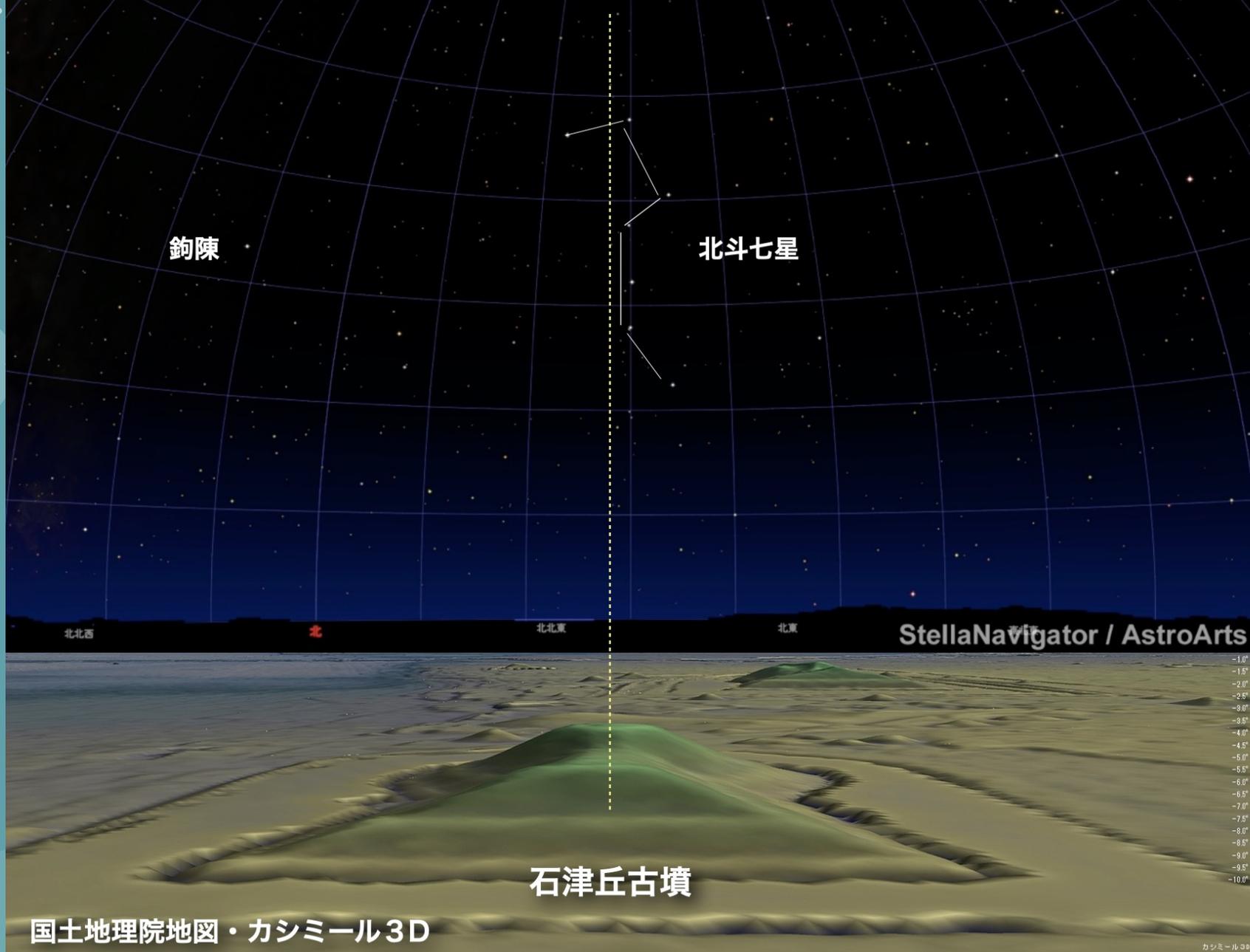
2. 造山古墳後円部の探査目的（埋葬頭位と墳丘方位）



造山古墳は、墳丘の中心軸線が天の北極（北辰）より28度から29度東に振れる類型に属する

AD.420 冬至 (12月21日0時)

北斗七星の4星が直立 (TN29.8°E)



北辰とは天の北極：地球の自転軸の延長線上

みなし北辰第1案

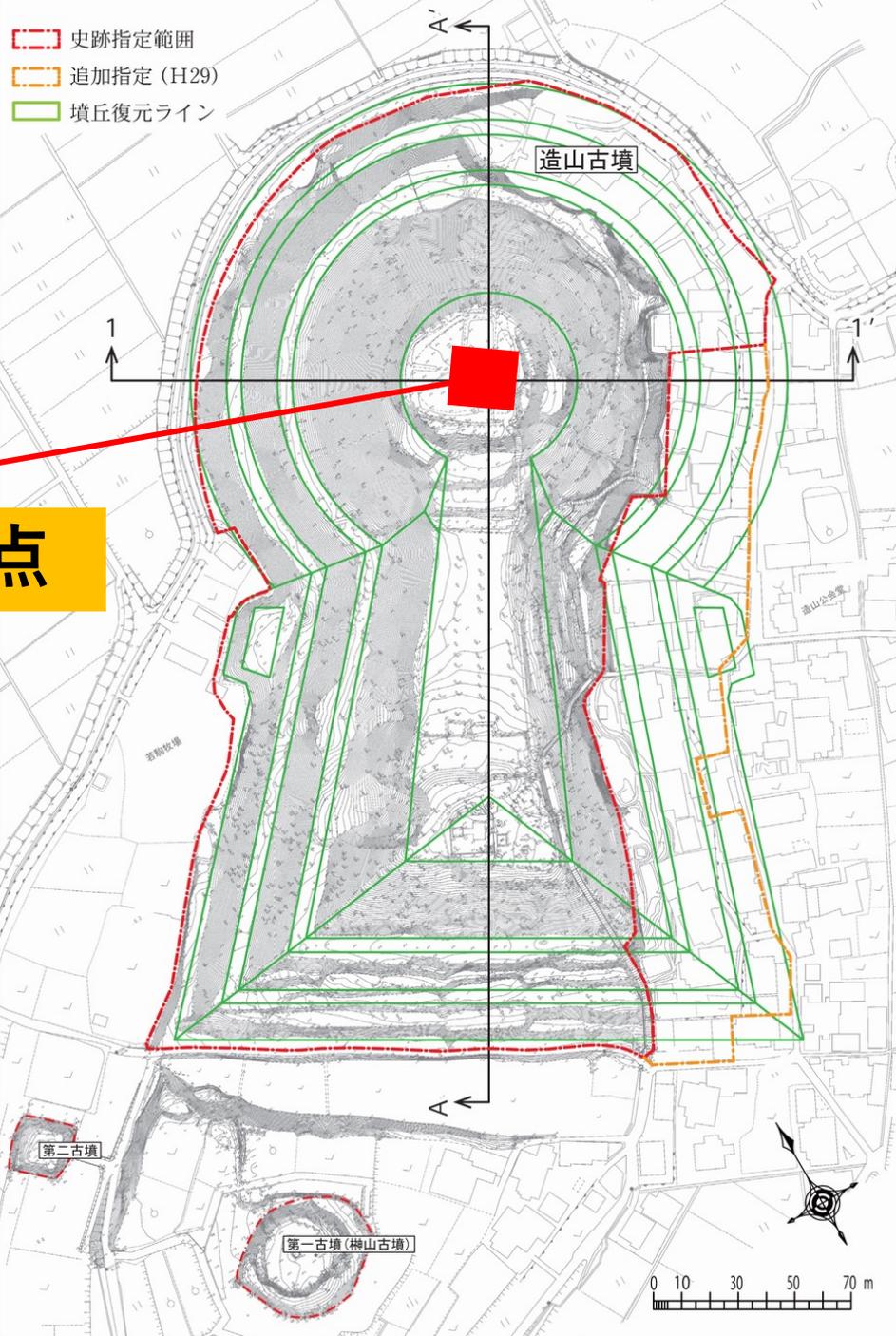
5世紀代の北斗七星の周回軌道内を北と見定める方位観測法



3. 探査結果の概要

- 岡山市北区新庄に所在する造山古墳は、全国第4位（吉備地方では最大）の大きさを誇る巨大な前方後円墳である。5世紀前半の築造とされ、全長約350m、後円部径約190m、高さ約29mを測る。
- 墳頂部は平坦にならされており、戦国時代に築造されたとされる土塁や曲輪の一部が確認できる。

造山古墳 (岡山県岡山市)



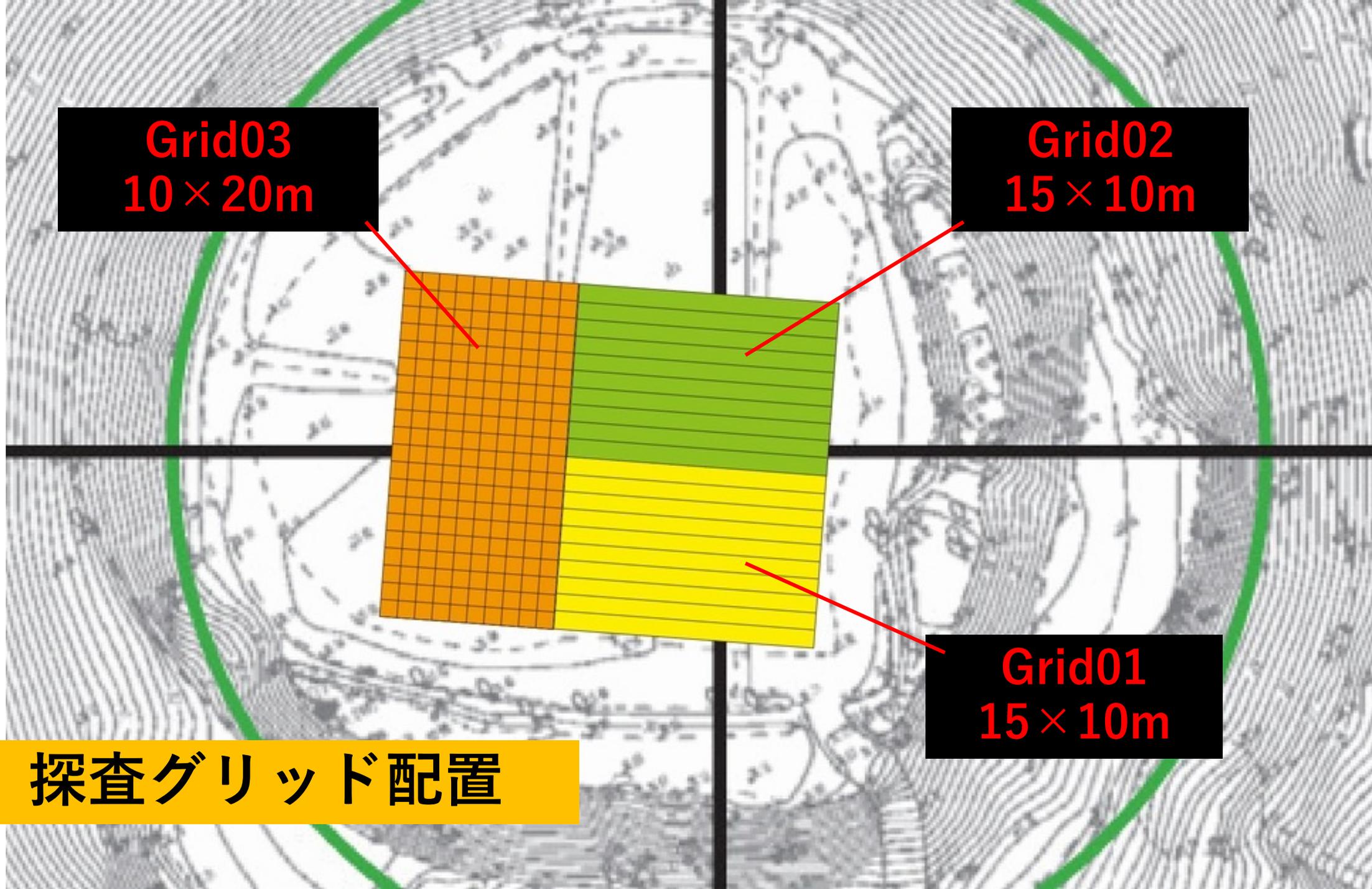
地中レーダー調査地点

Grid03
10 × 20m

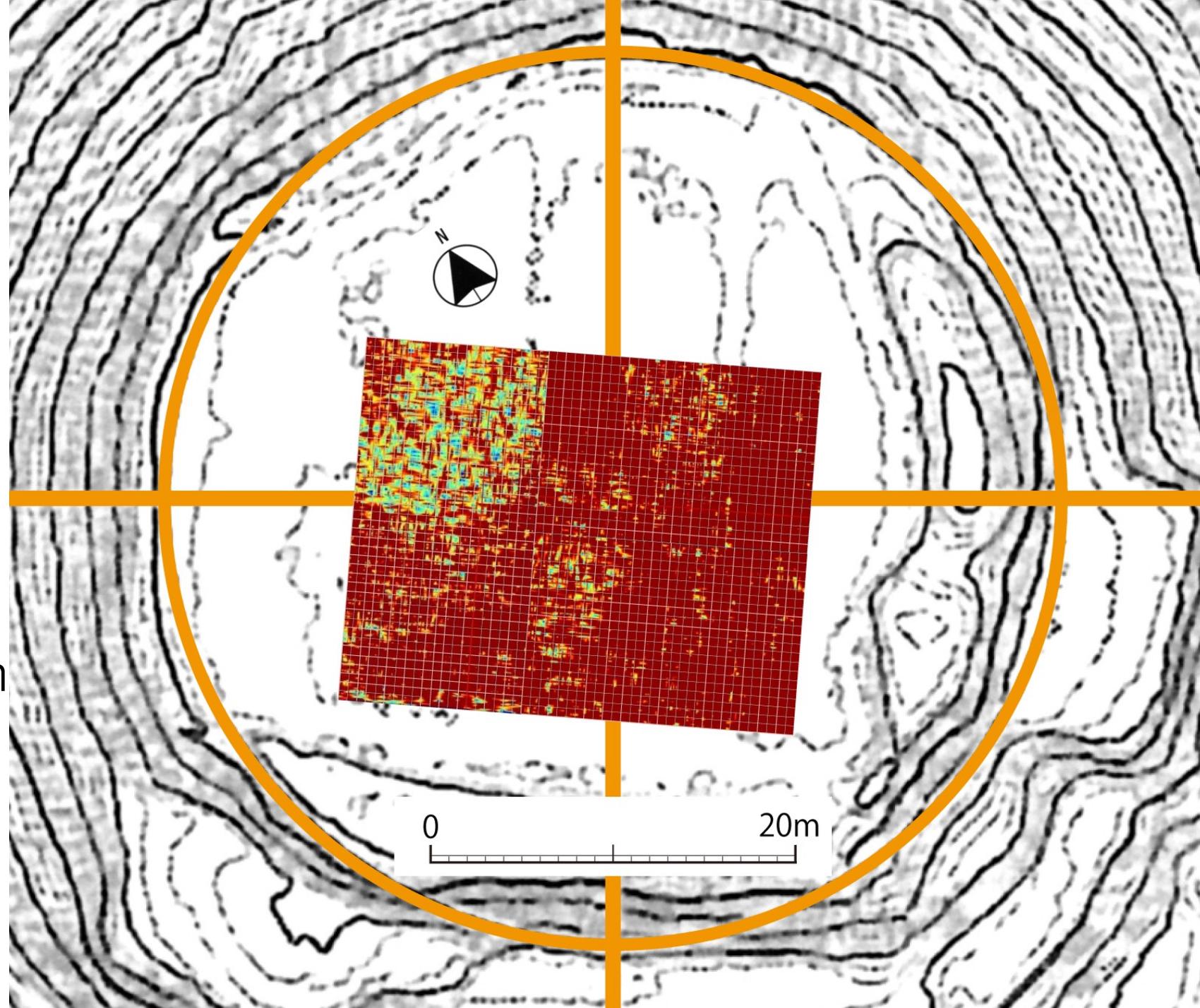
Grid02
15 × 10m

Grid01
15 × 10m

探査グリッド配置



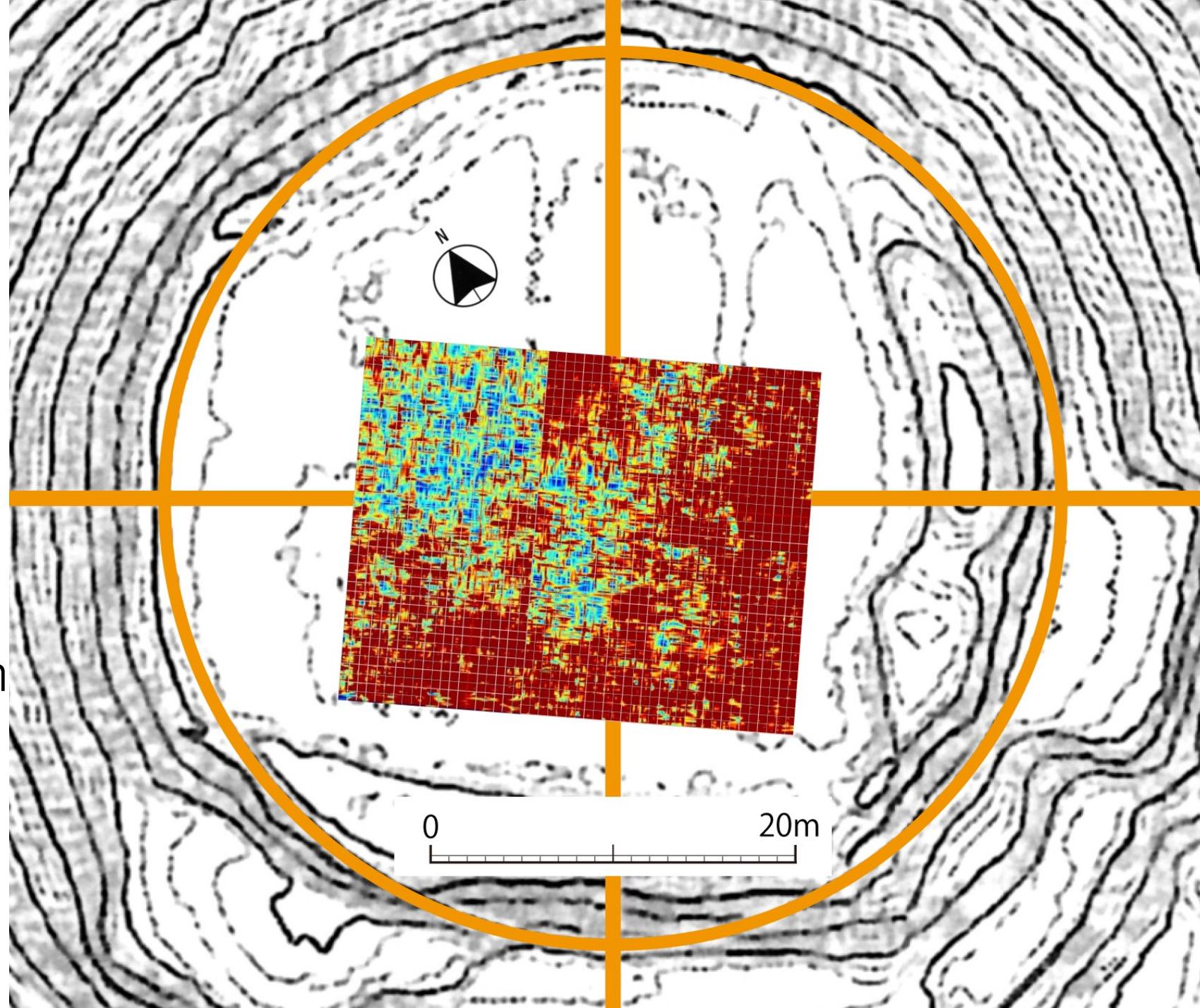
造山古墳



0.20-0.25m

※後円部計測値の中心・軸線は新納泉2021を参考にした。

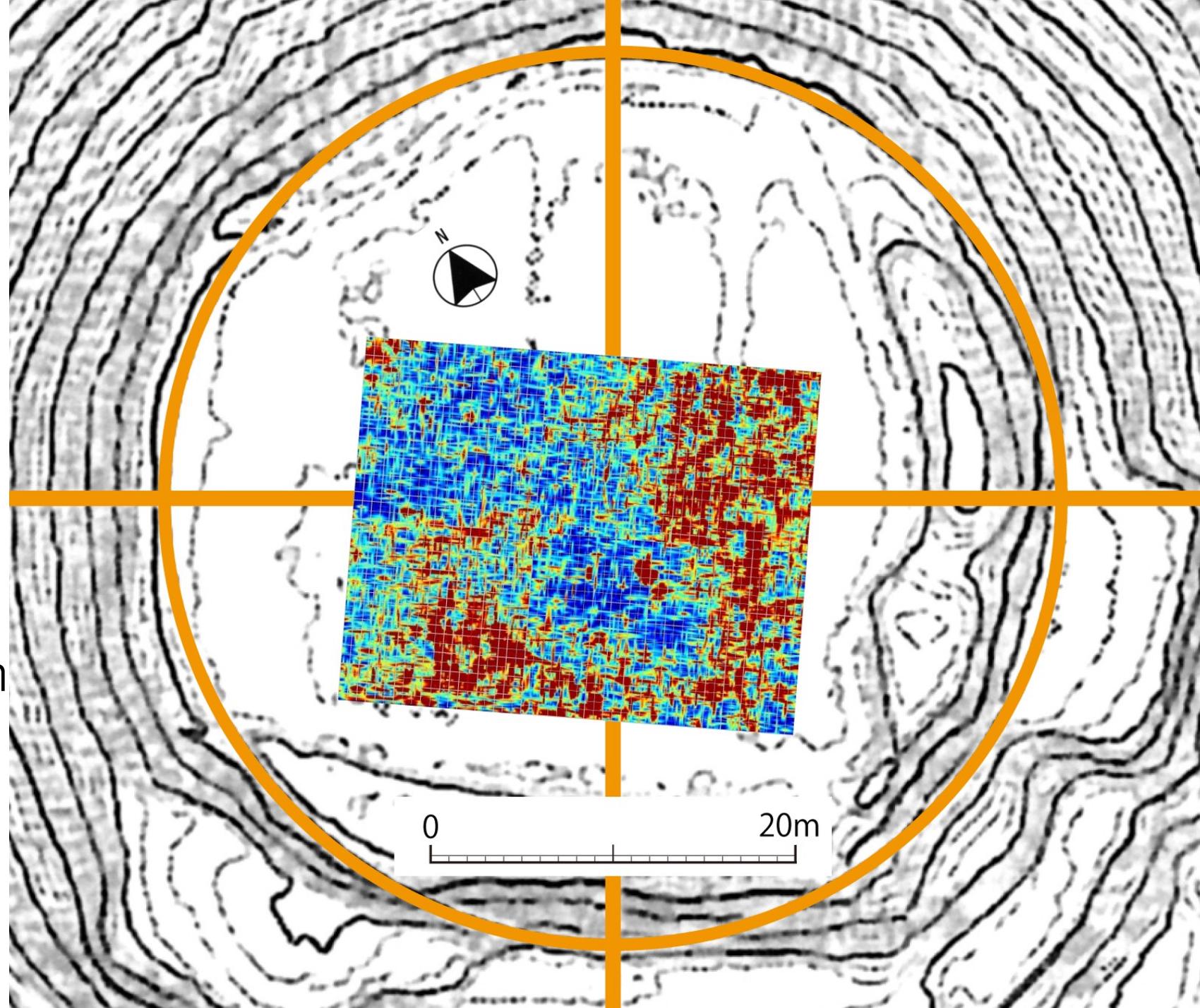
造山古墳



0.30-0.35m

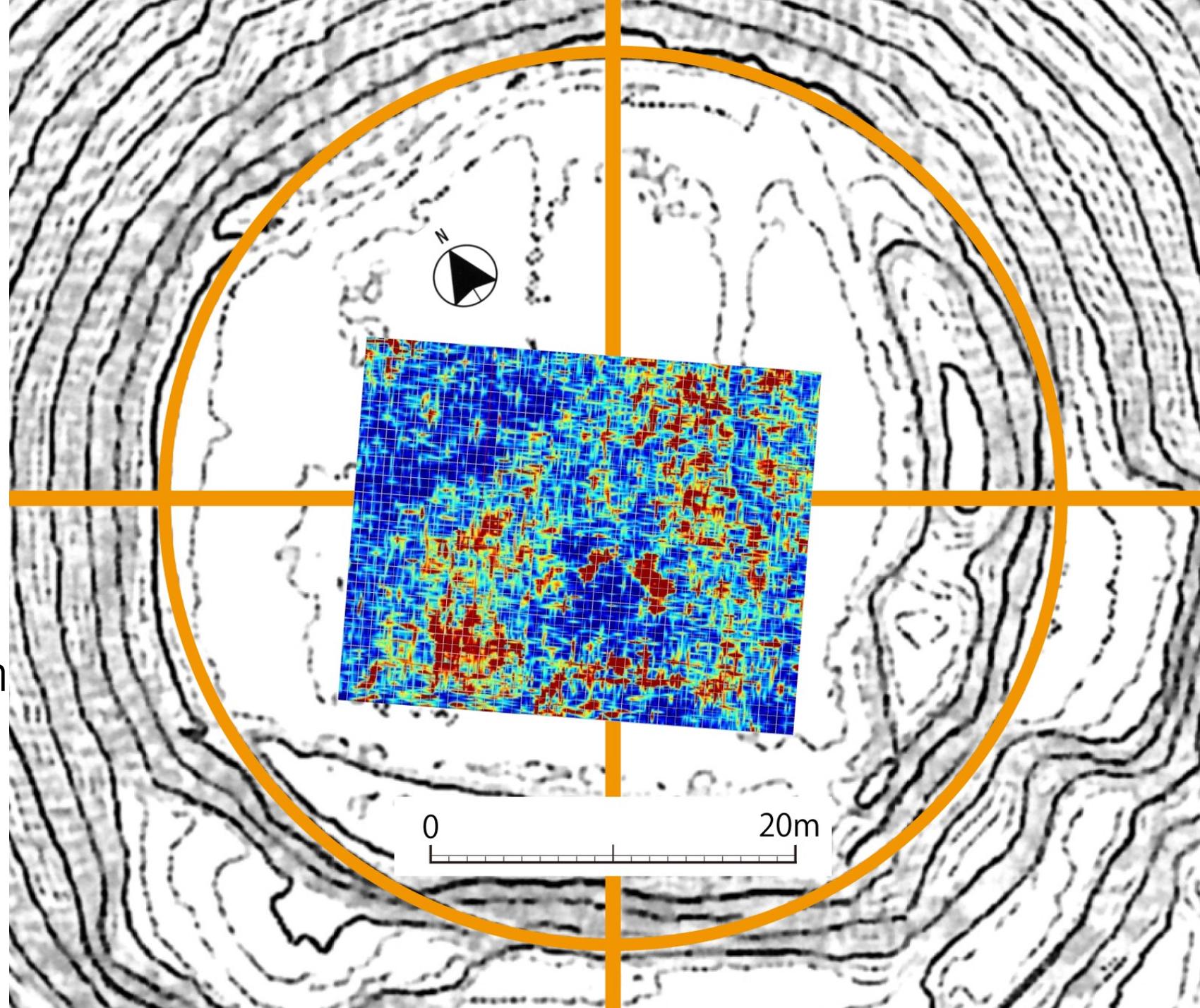
※後円部計測値の中心・軸線は新納泉2021を参考にした。

造山古墳



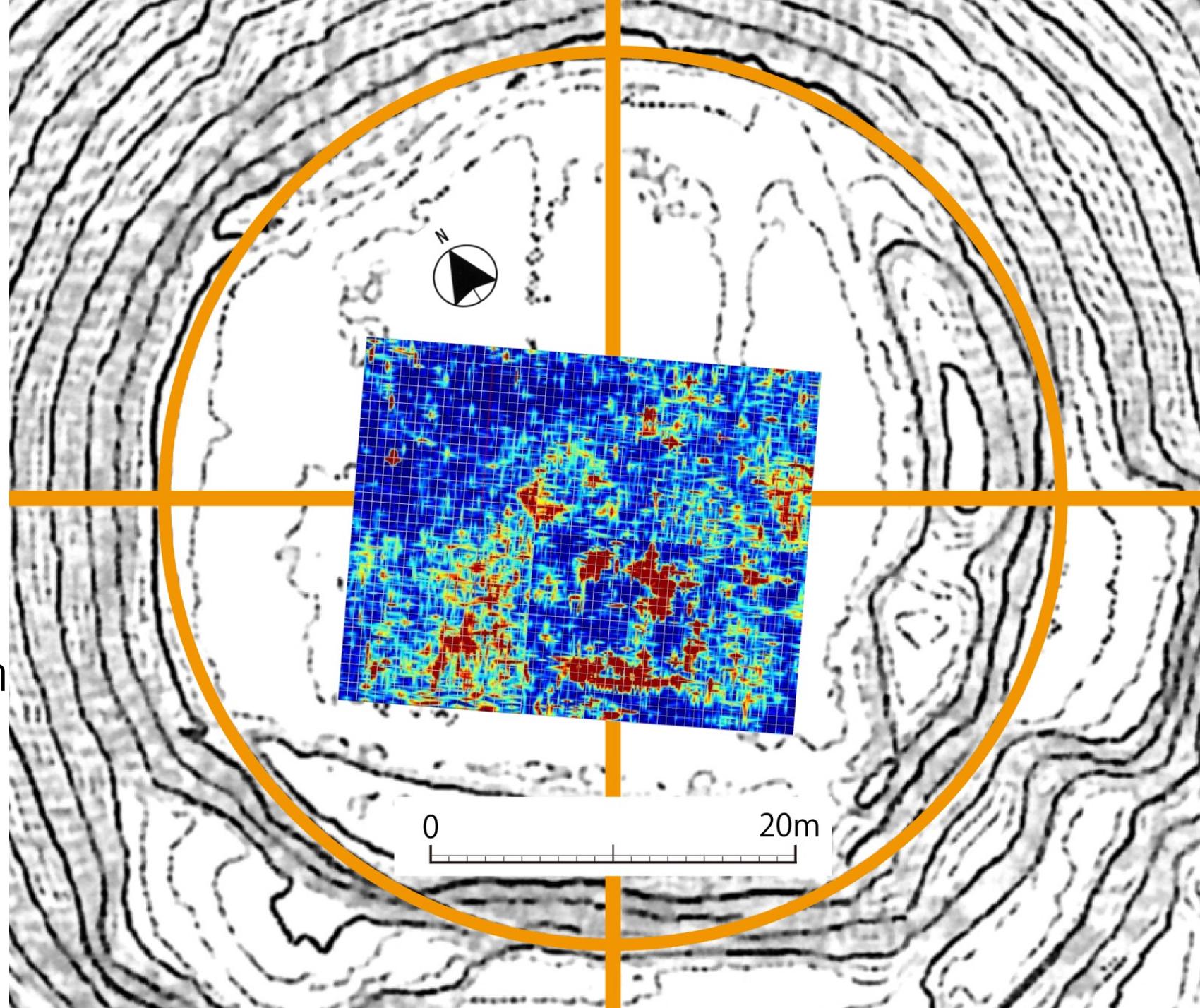
0.40-0.45m

造山古墳



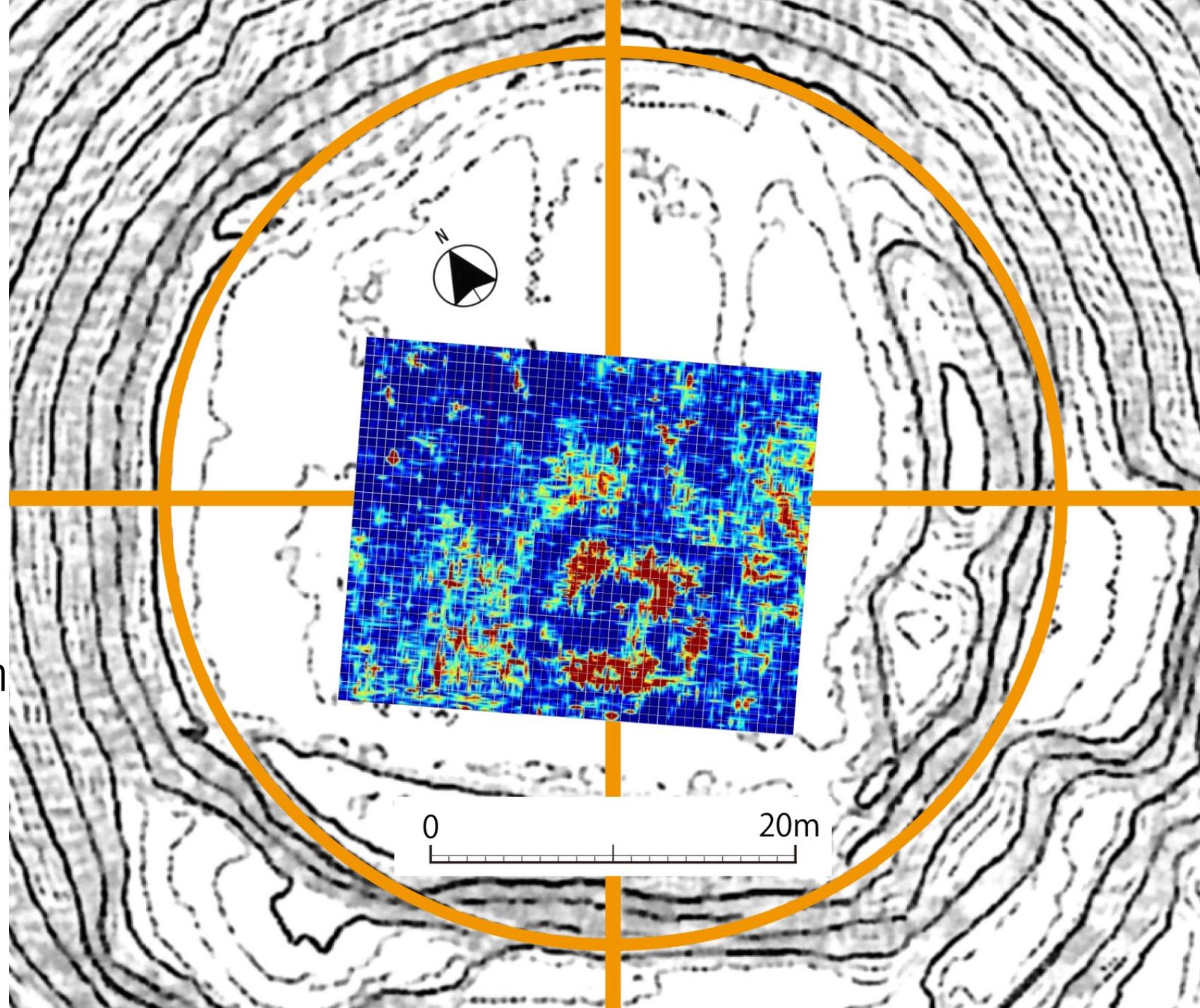
0.50-0.55m

造山古墳



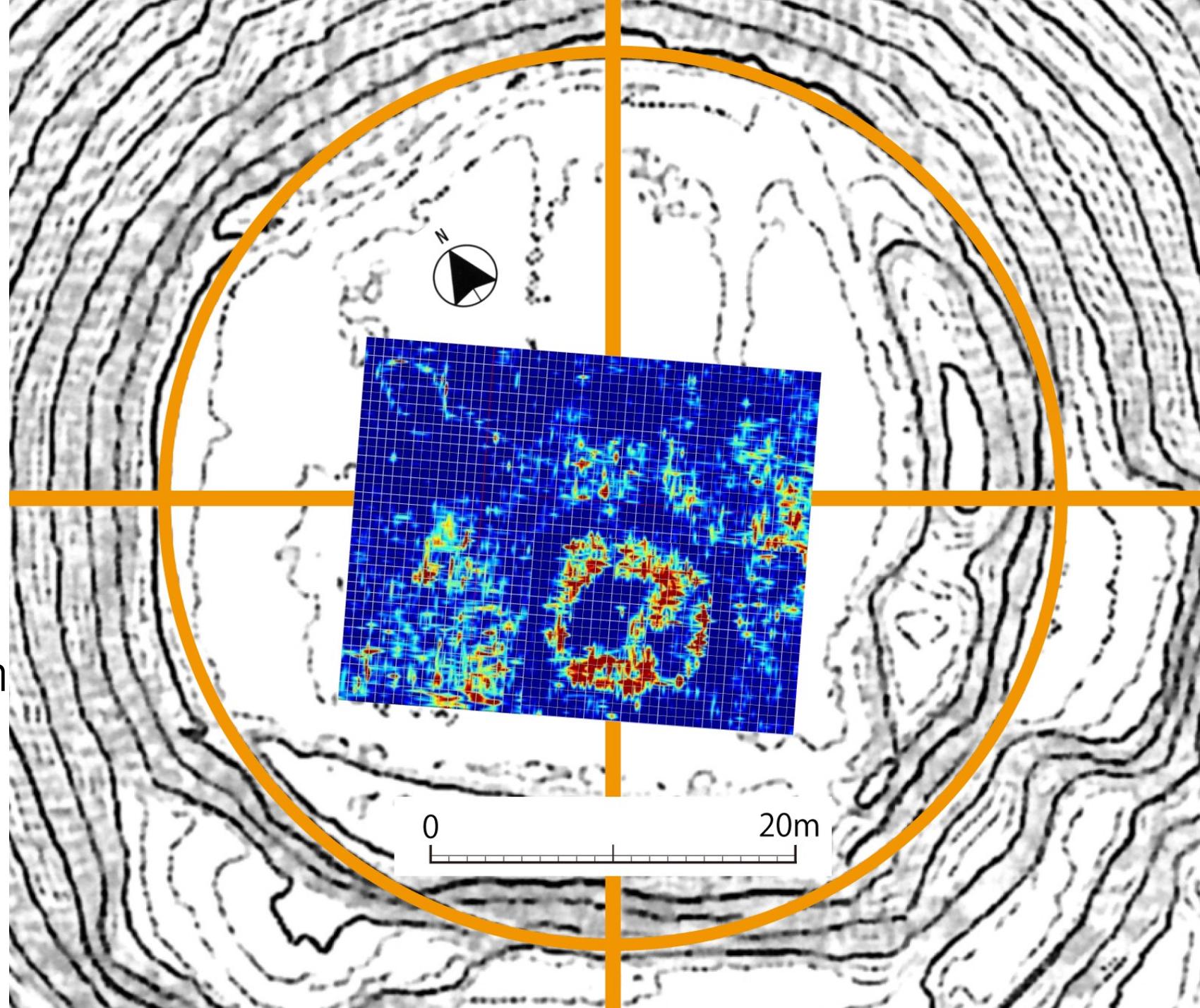
0.60-0.65m

造山古墳



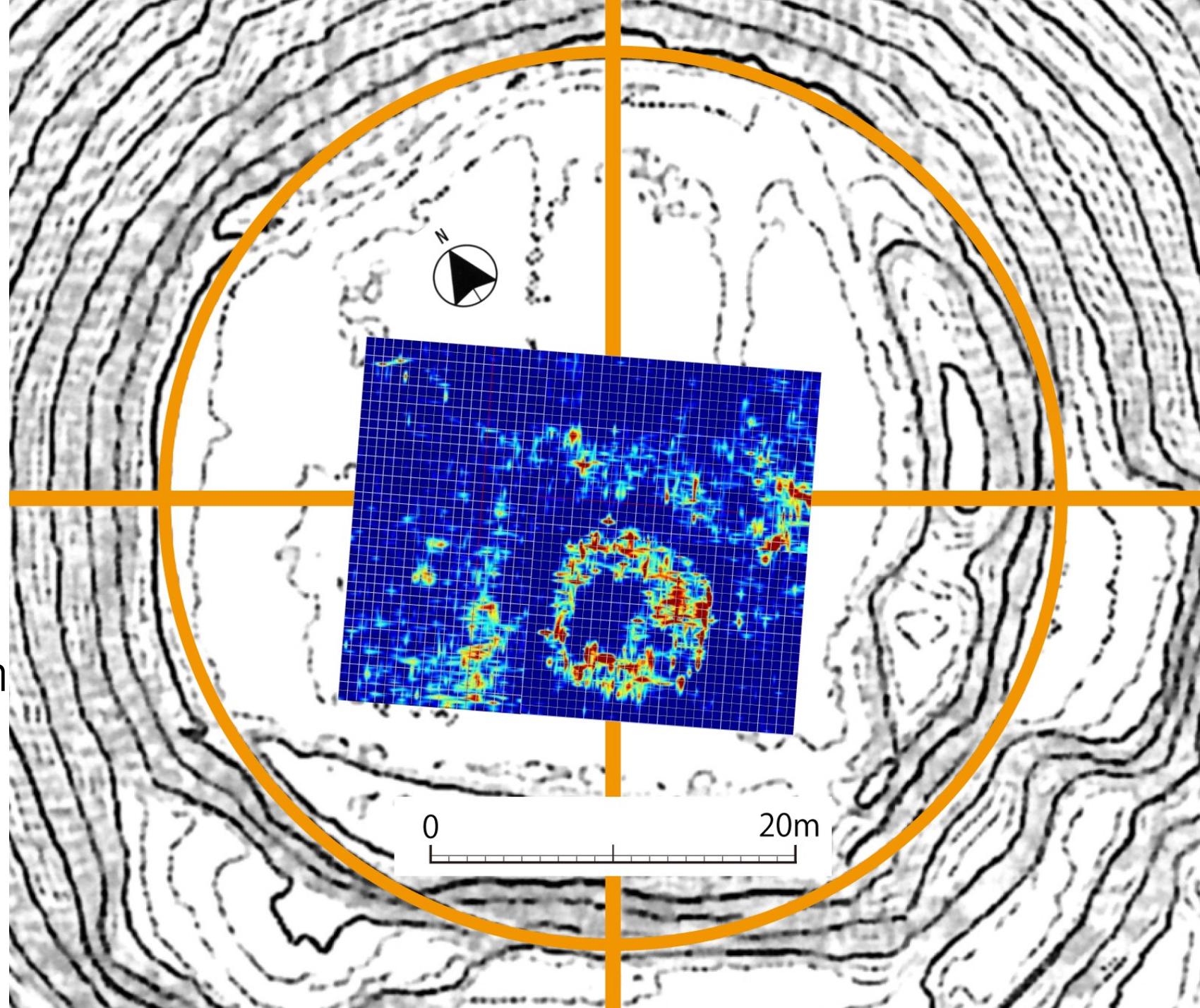
0.70-0.75m

造山古墳



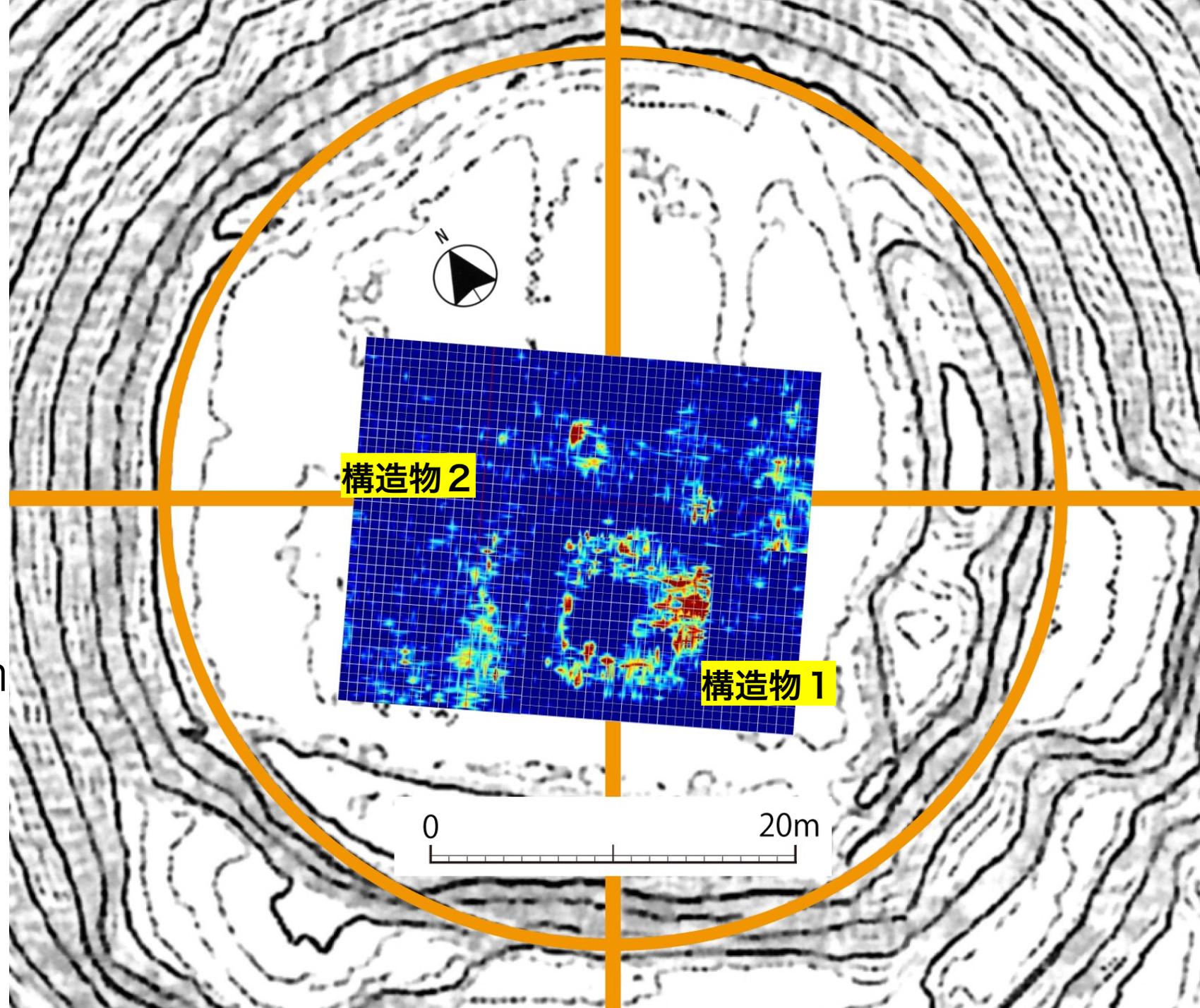
0.80-0.85m

造山古墳



0.90-0.95m

造山古墳



1.00-1.05m

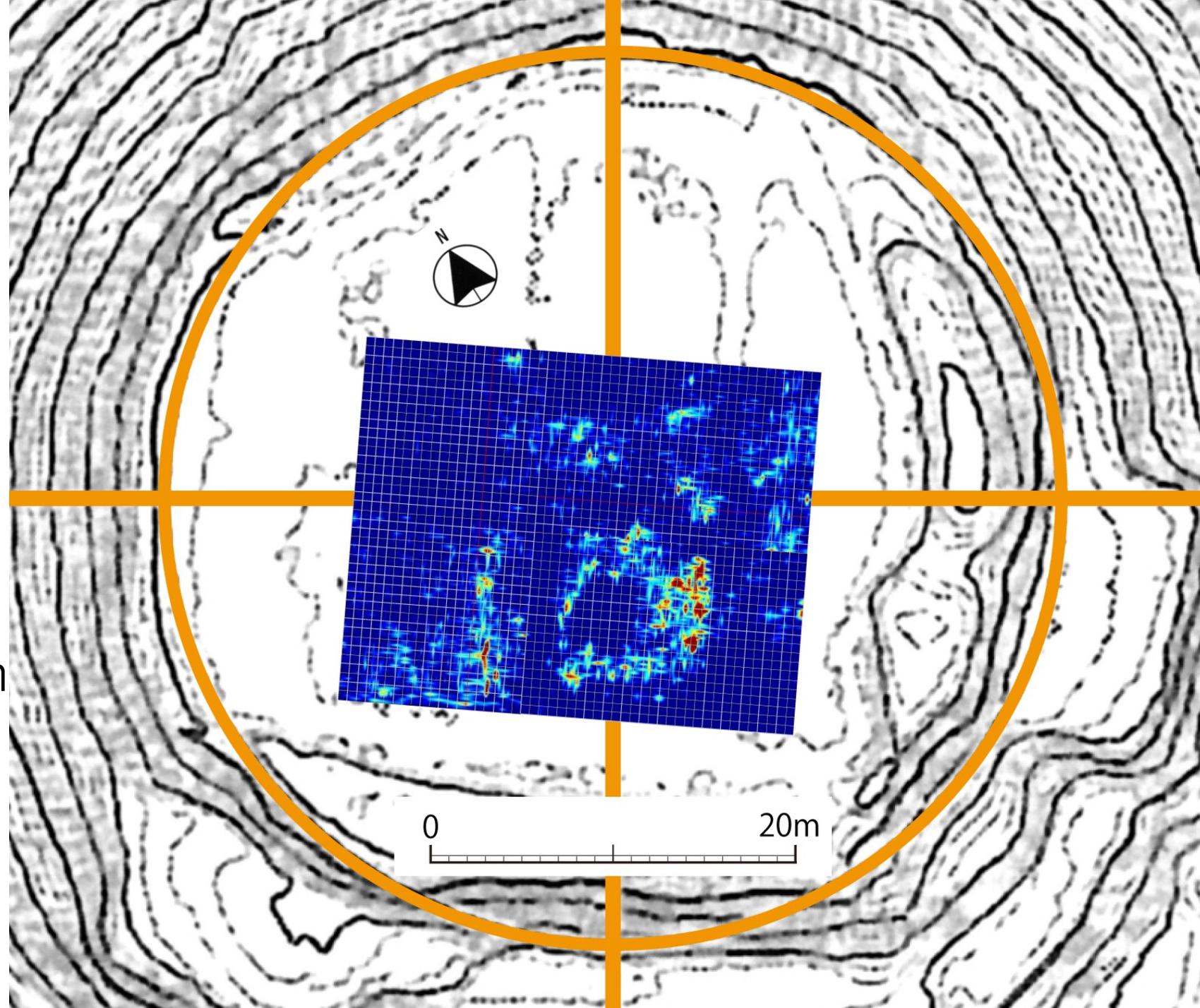
構造物 2

構造物 1

0

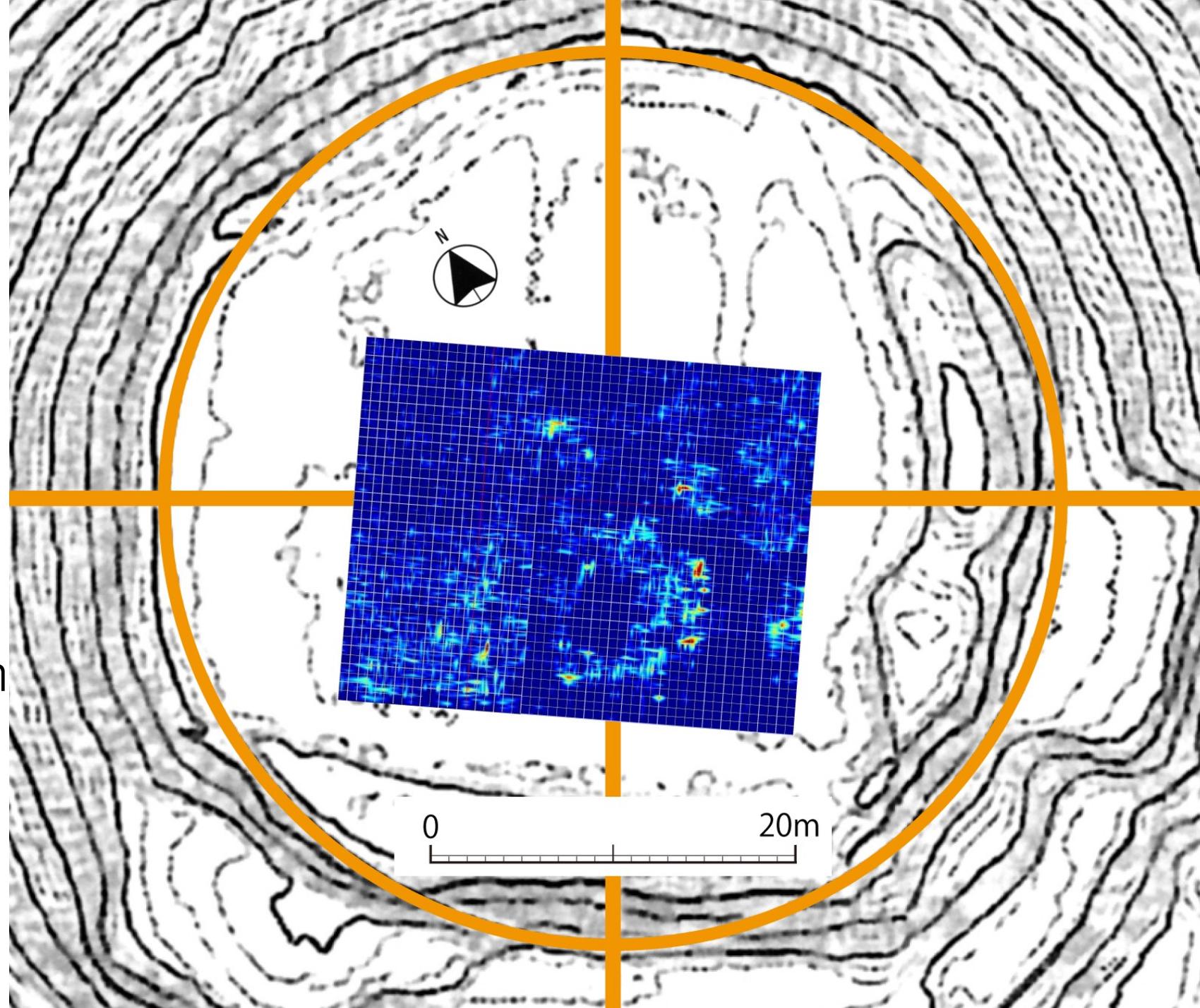
20m

造山古墳



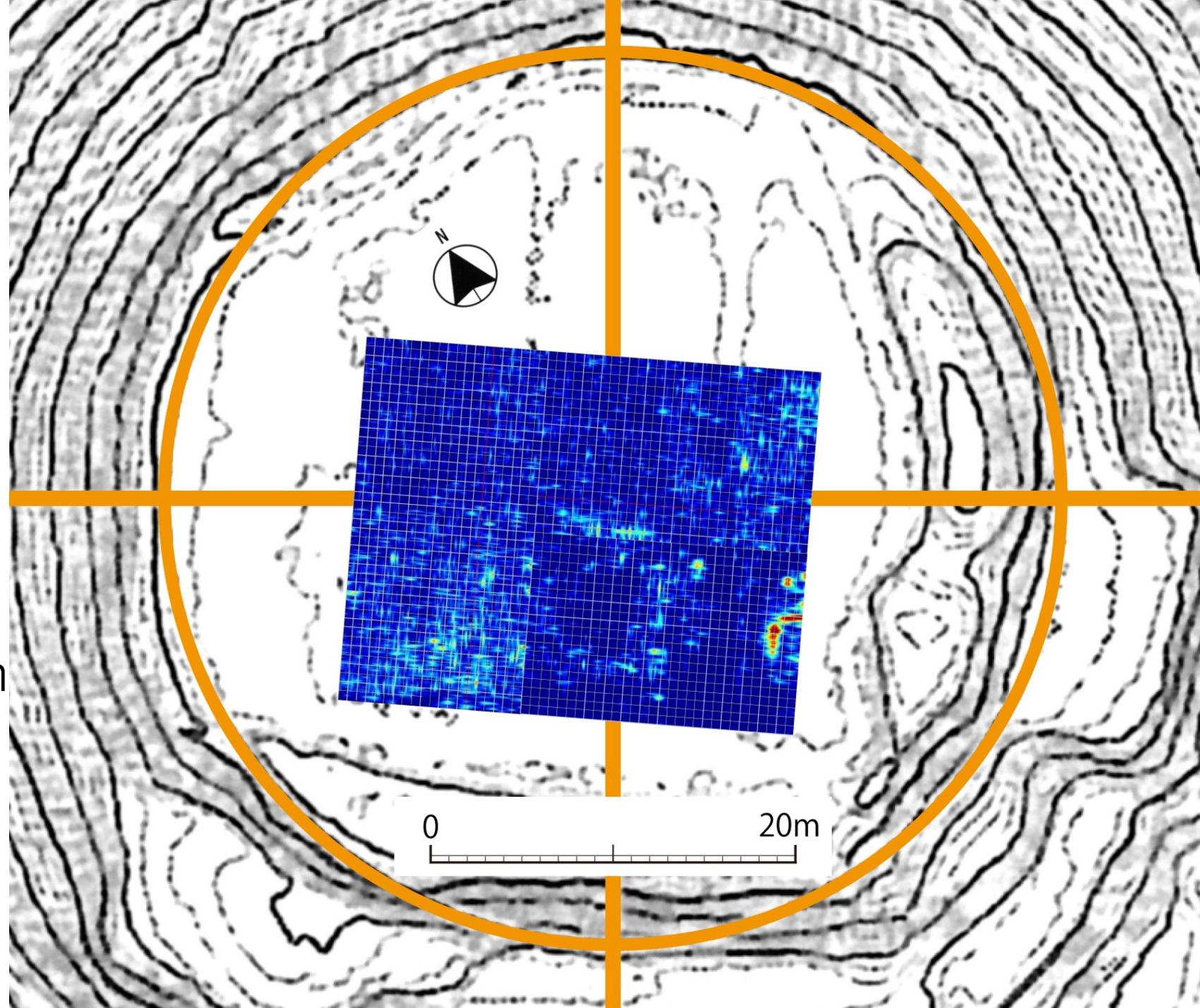
1.10-1.15m

造山古墳



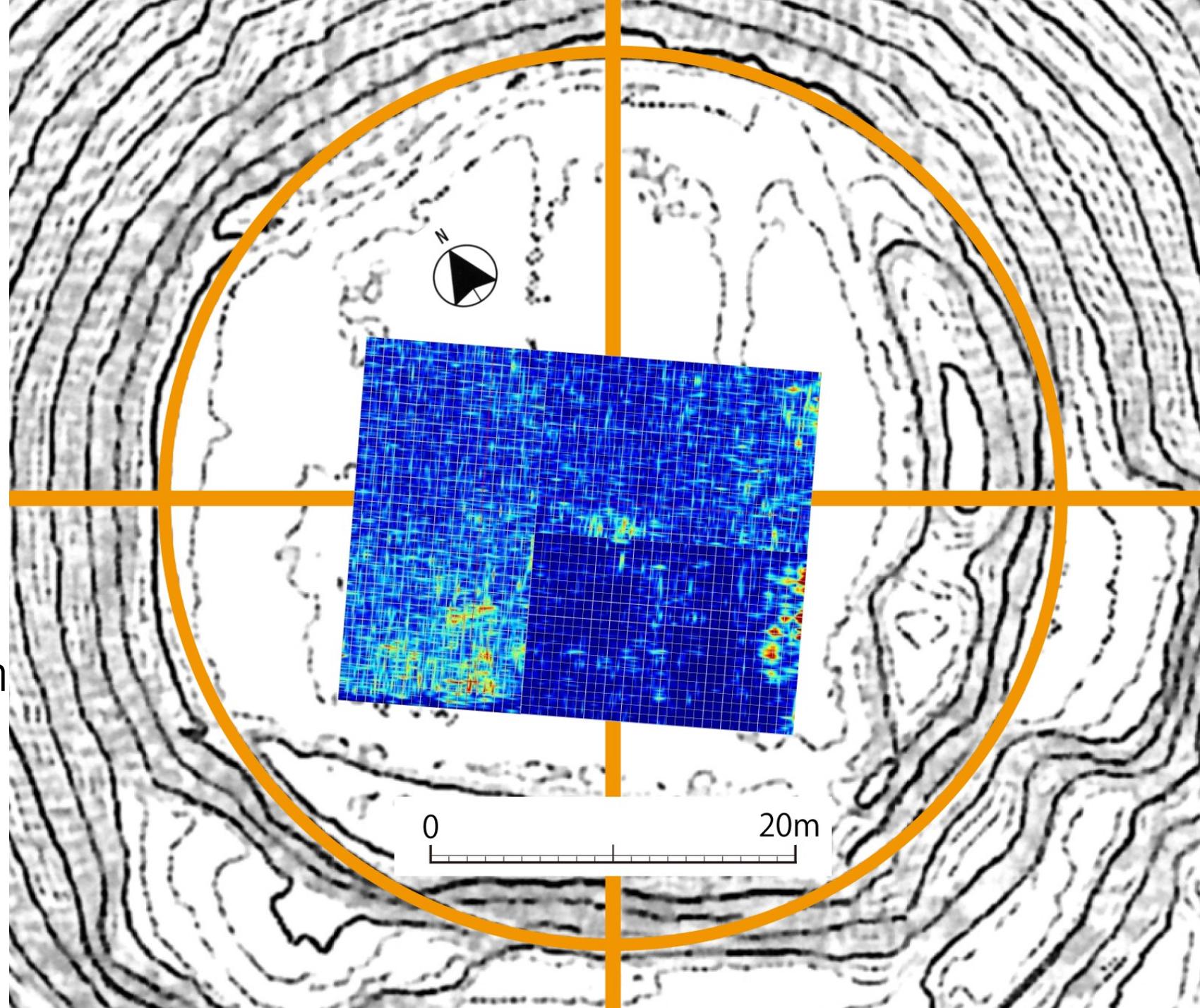
1.20-1.25m

造山古墳



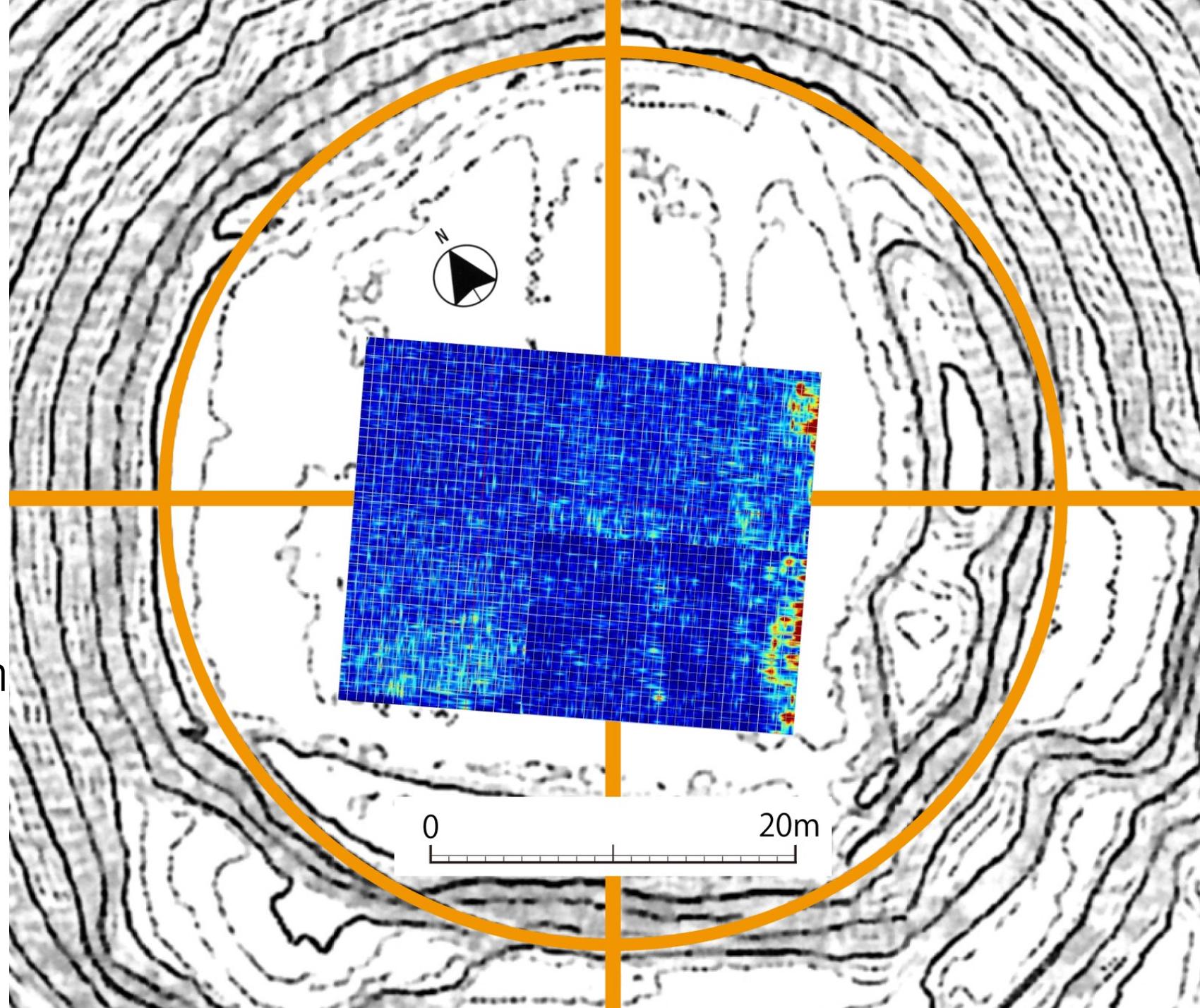
1.30-1.35m

造山古墳



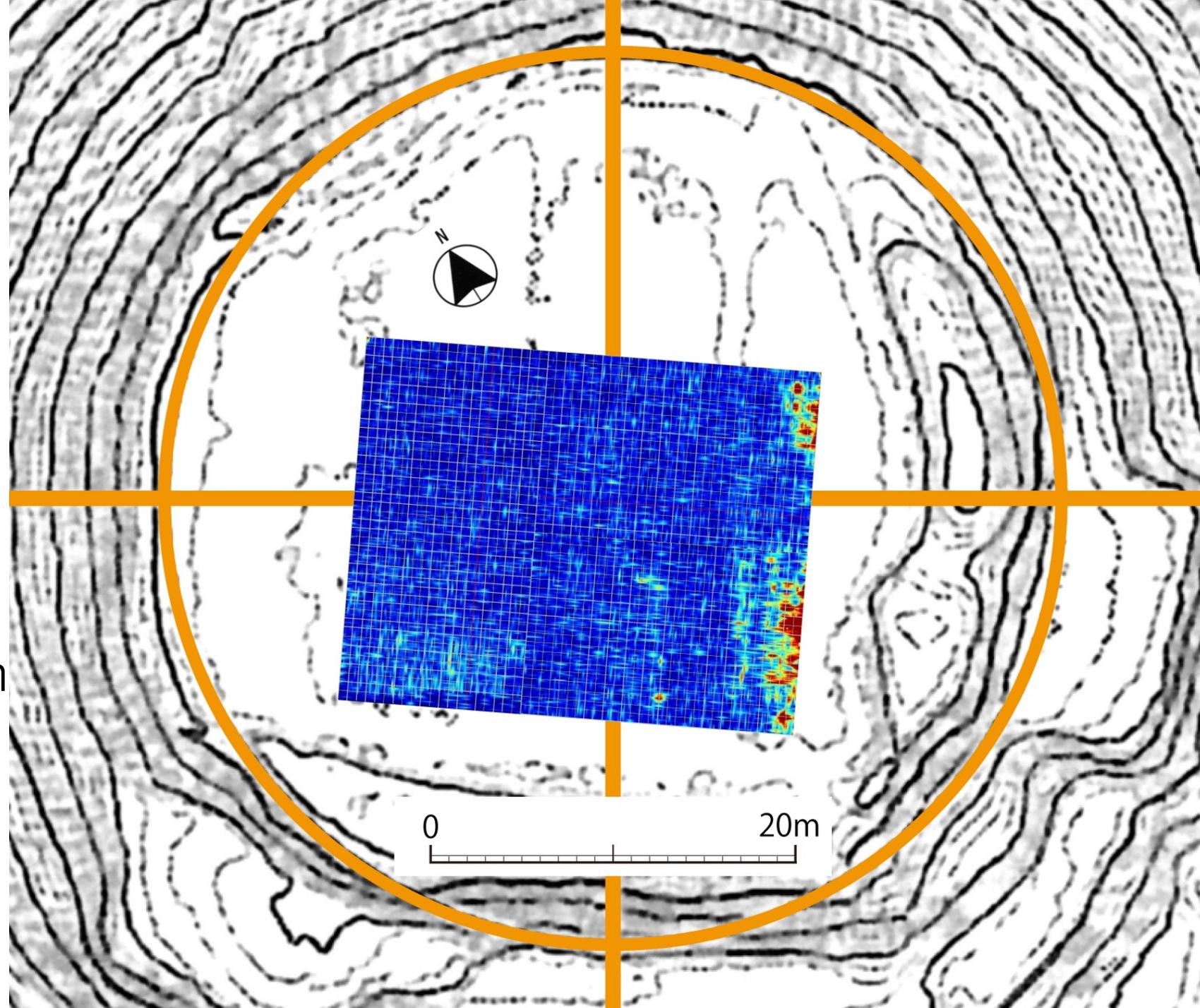
1.40-1.45m

造山古墳



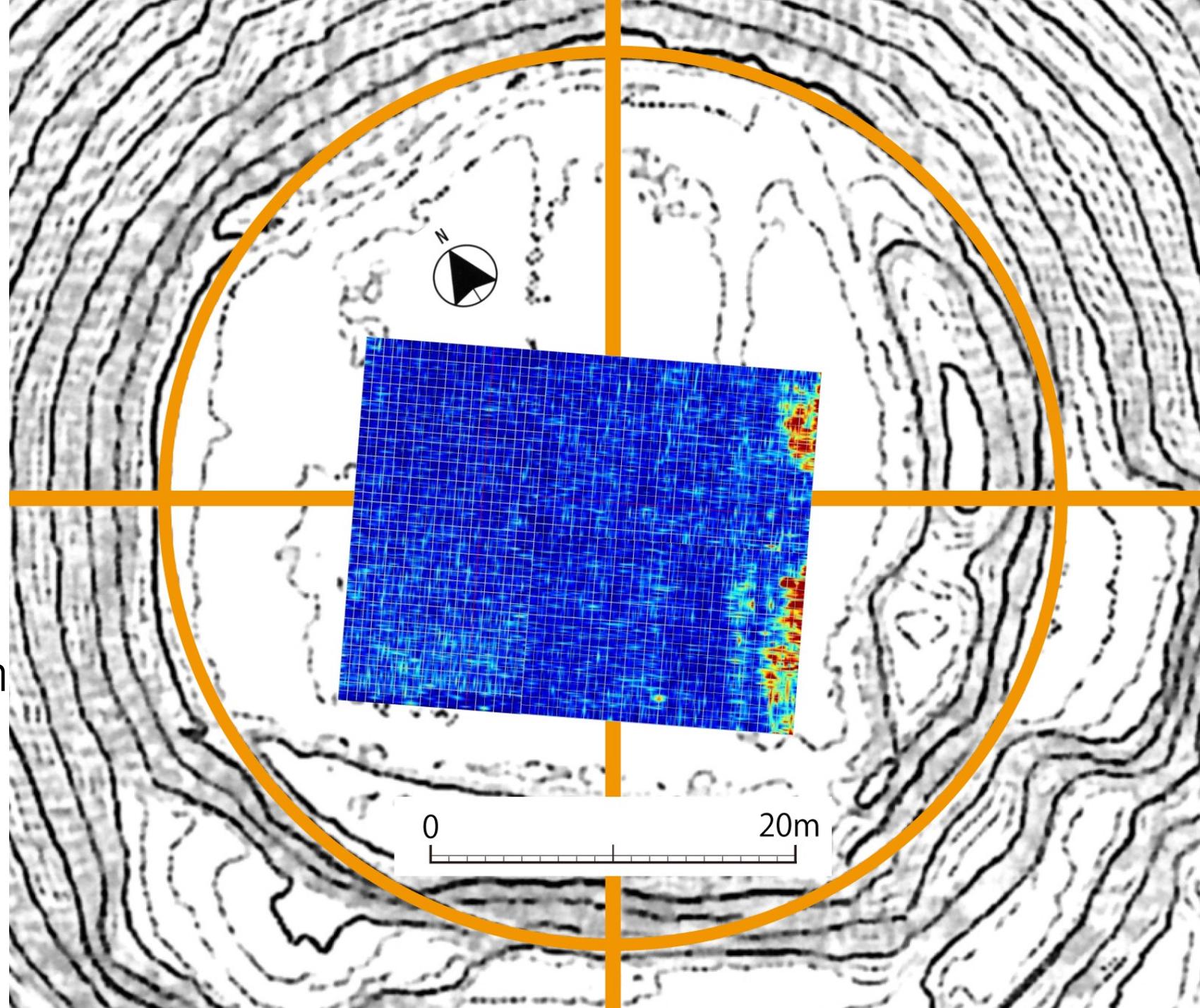
1.50-1.55m

造山古墳



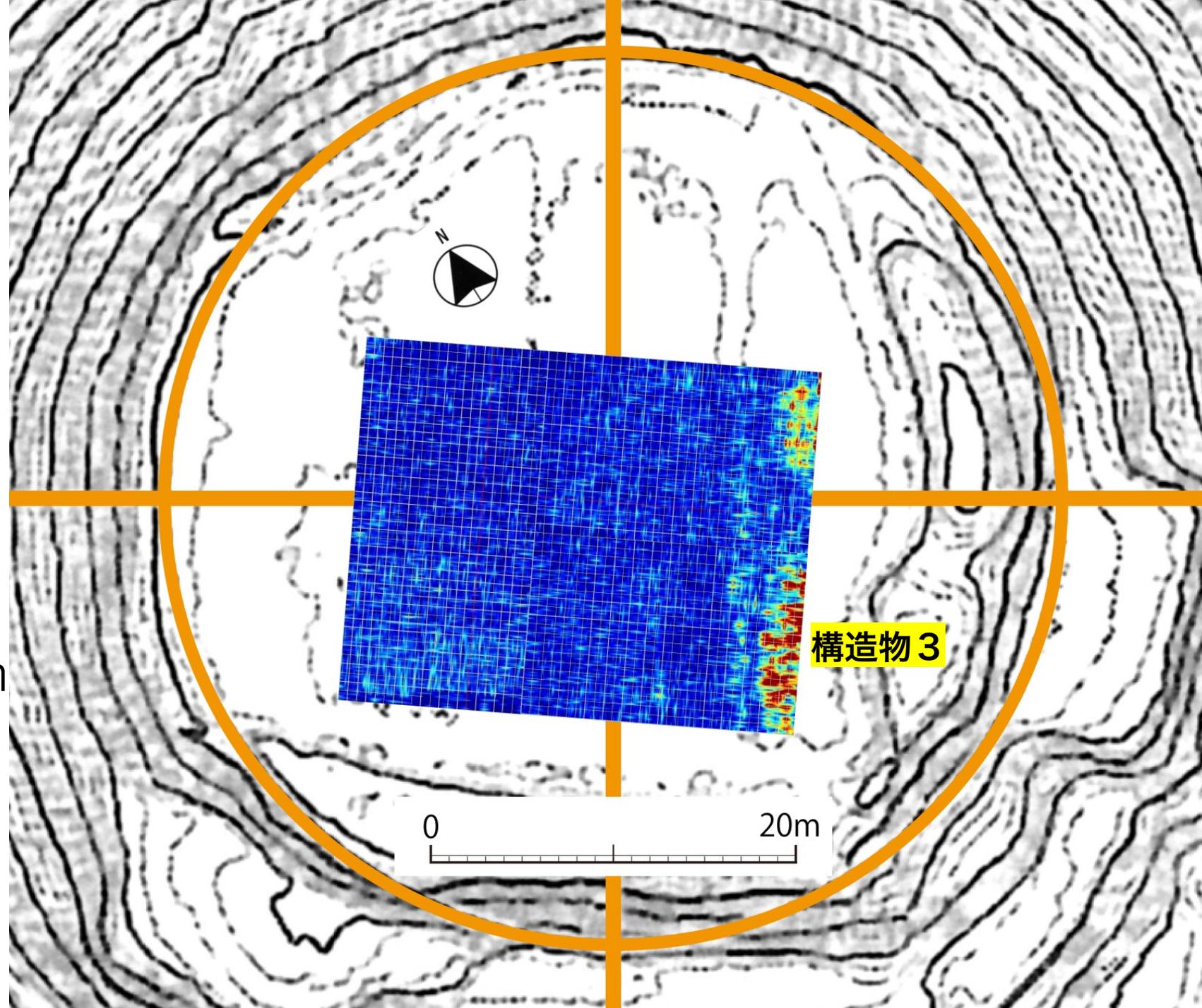
1.60-1.65m

造山古墳



1.70-1.75m

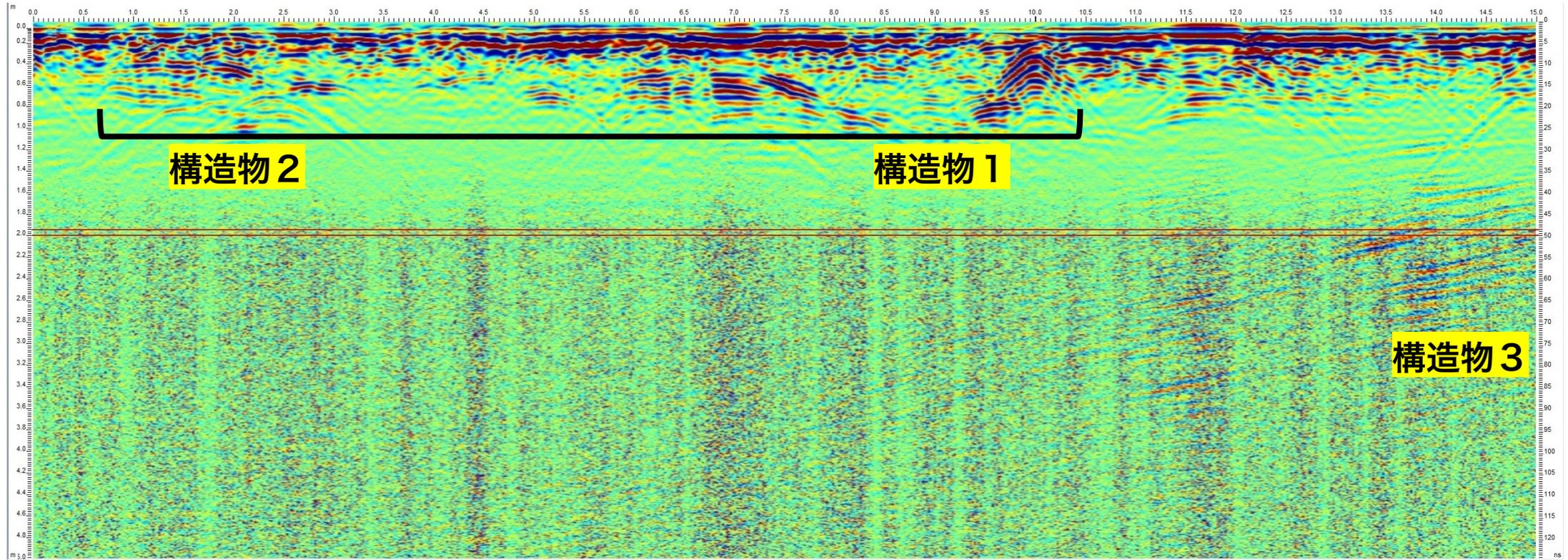
造山古墳



1.80-1.85m

構造物 3

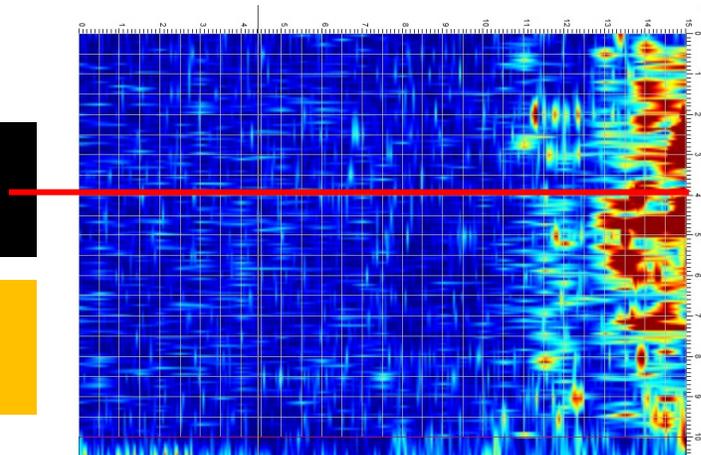
0 20m



造山古墳

Grid 01

Line 4

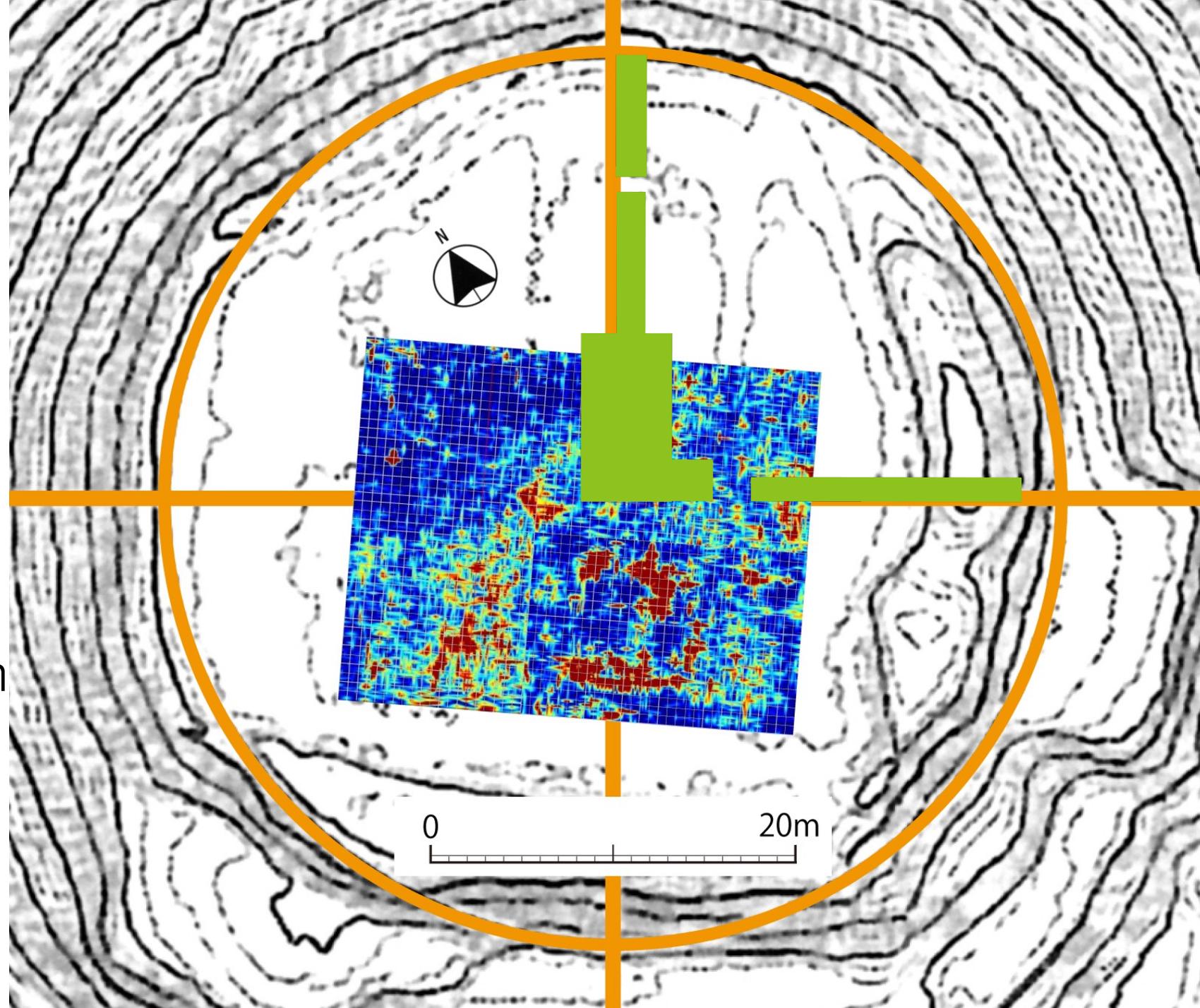


-2.00m

4. 探査結果の点検（岡山市教委調査成果との突き合わせ）



造山古墳

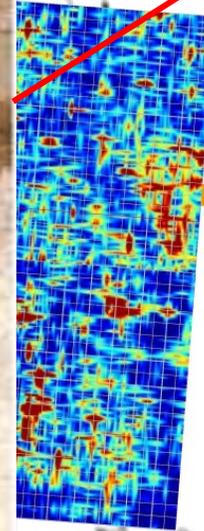


0.60-0.65m

造山古墳



0.60-0.65m



20m

※本ページは転載・複製しないようお願いします。

造山古墳

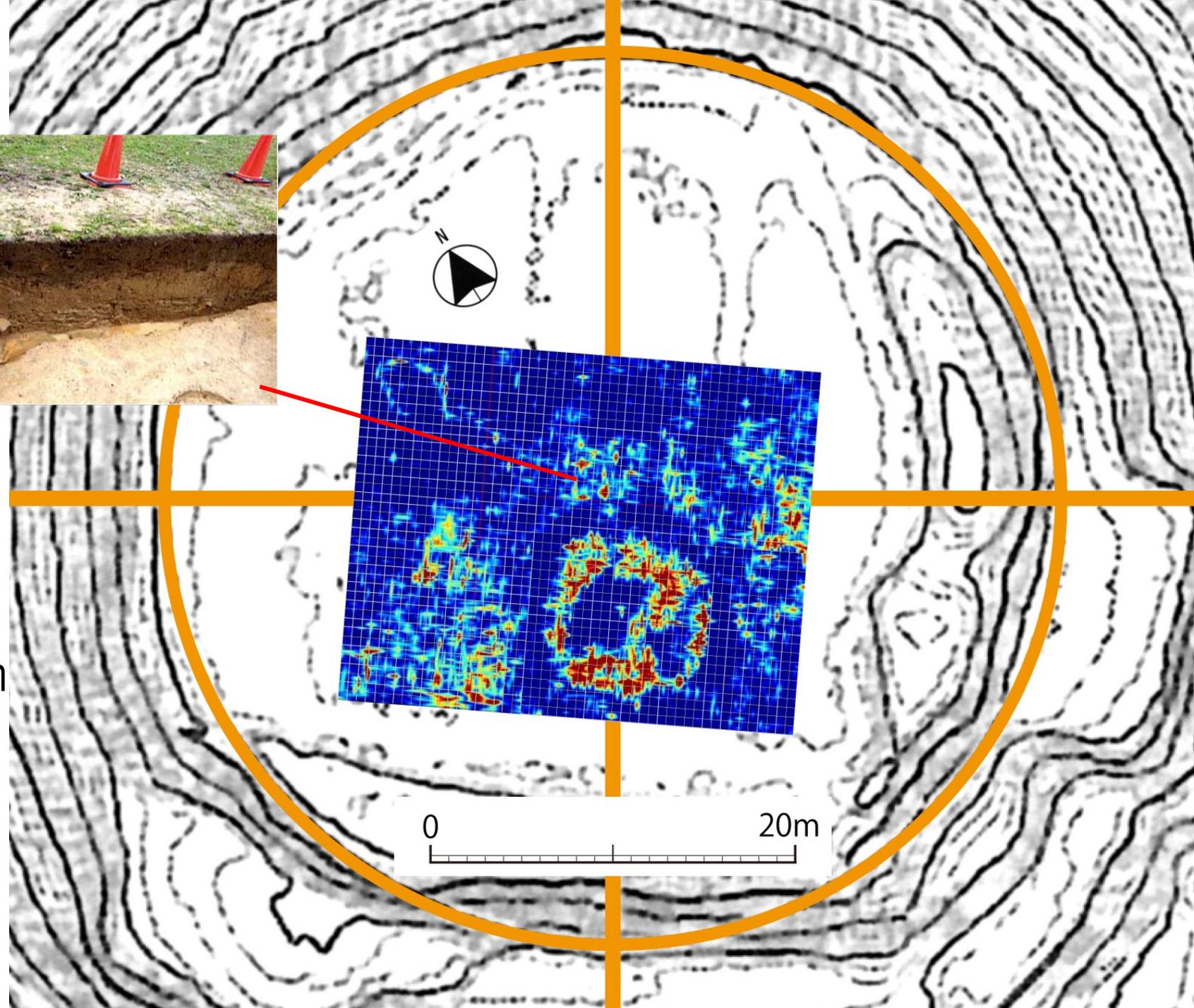


0.70-0



※本ページは転載・複写しないようお願いします。

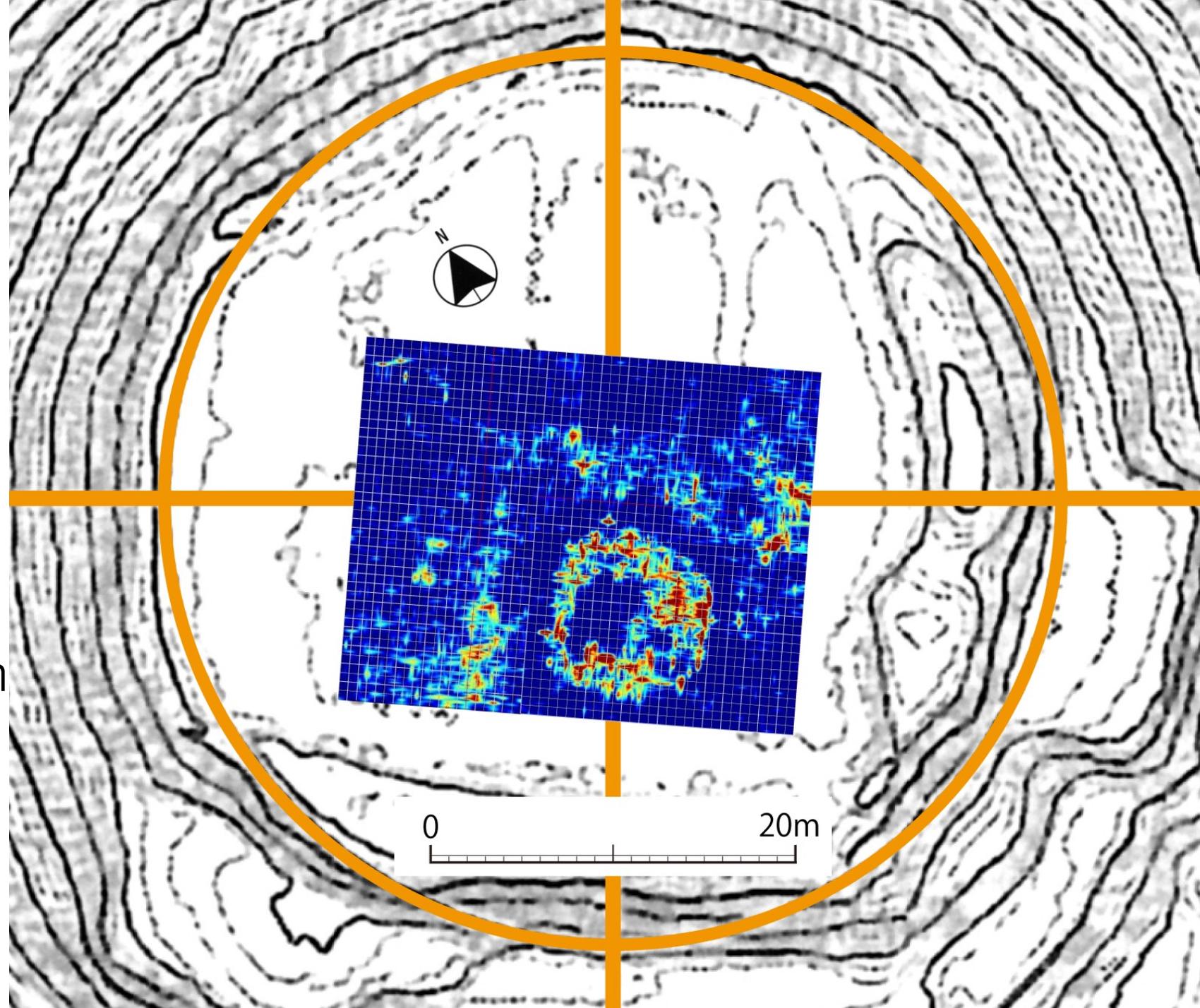
造山古墳



0.80-0.85m

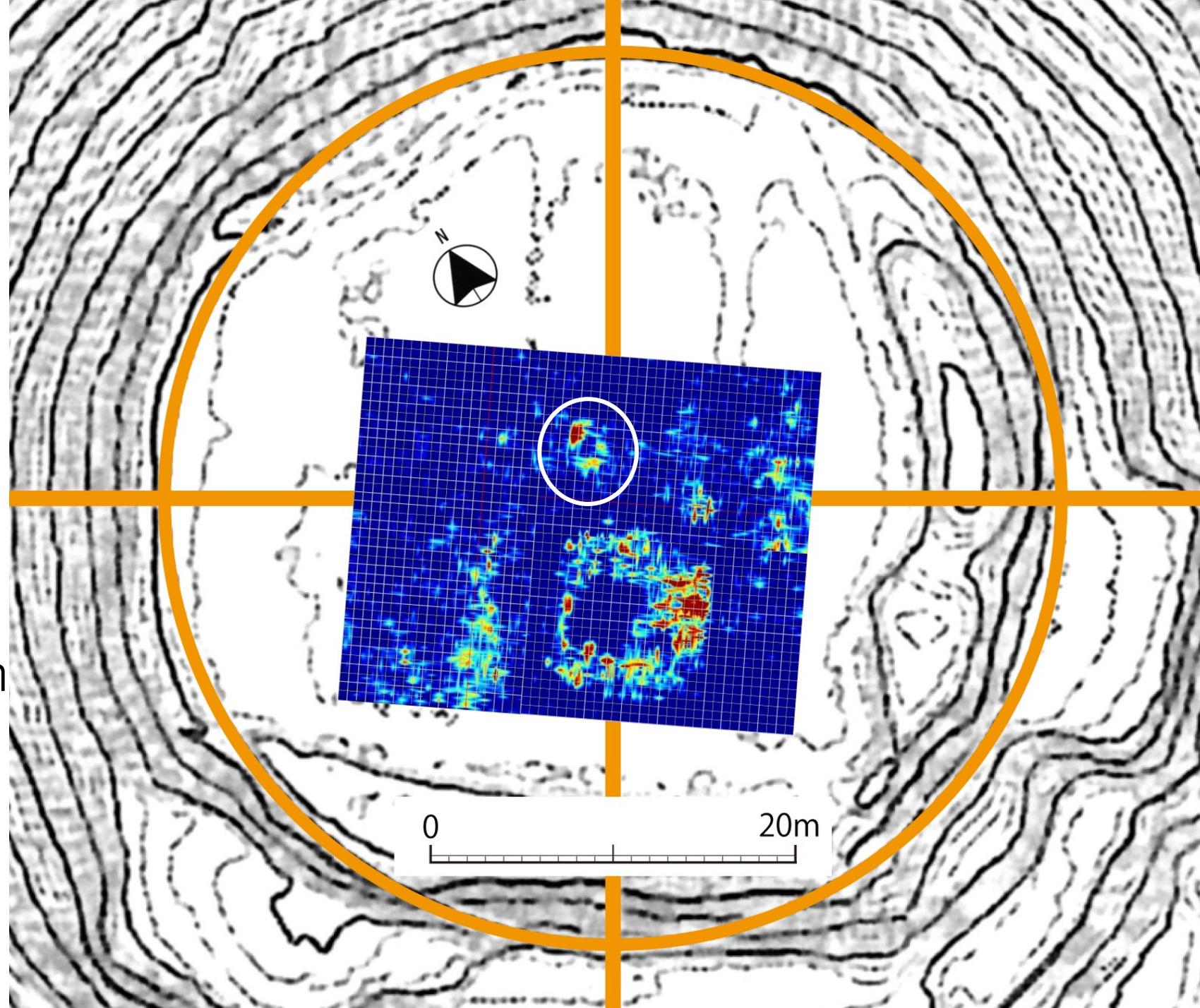
※本ページは転載・複製しないようお願いします。

造山古墳



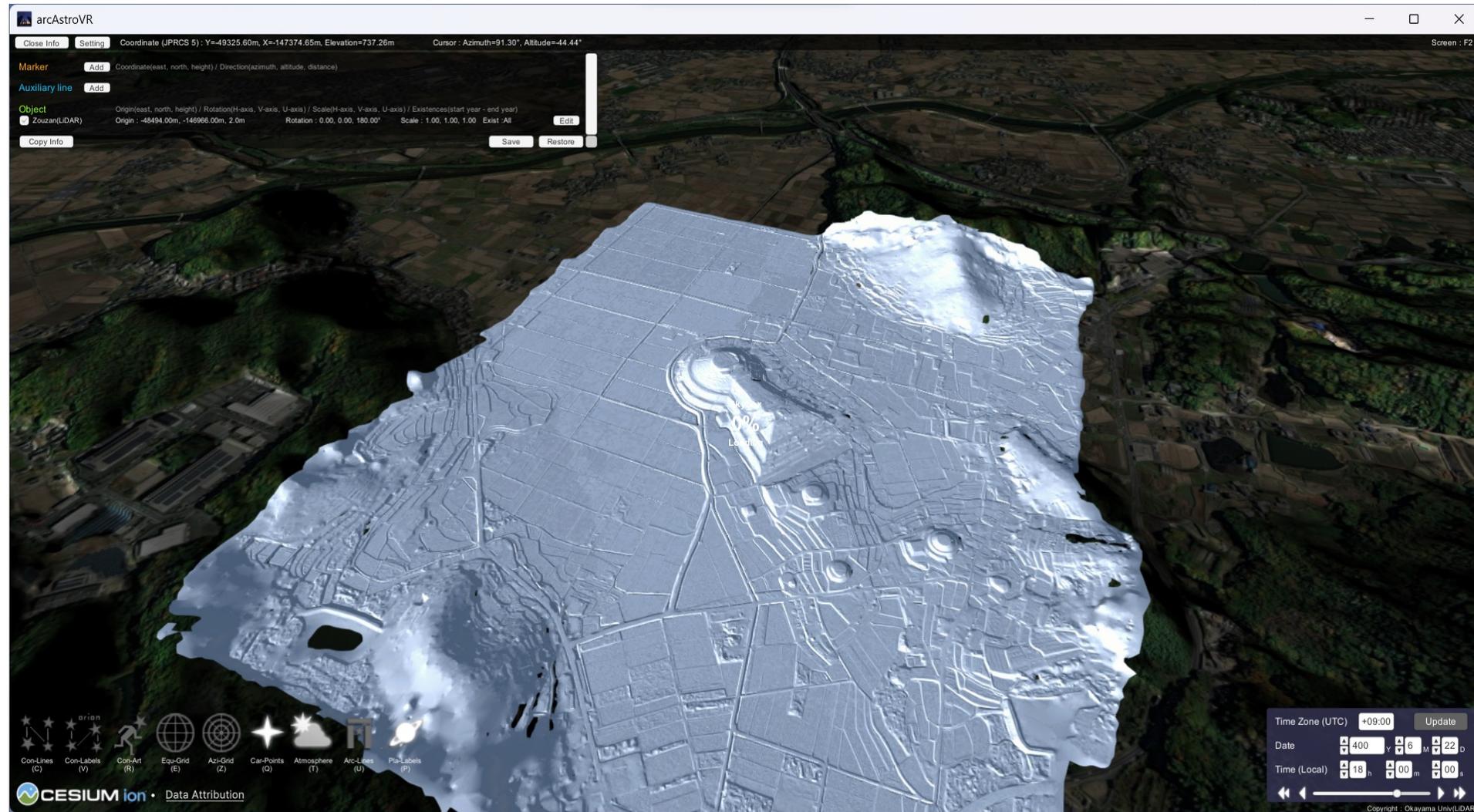
0.90-0.95m

造山古墳



1.00-1.05m

5. 造山古墳の評価をめぐる今後の予定 (arc Astro VR)



arc Astro VRへ造山古墳の測量成果をデータセットとして組み込む

AD.420冬至 (12月20日20:48)

正確な「斗建」に準じて軸線
を決めた可能性

北斗七星

メラク「天旋」

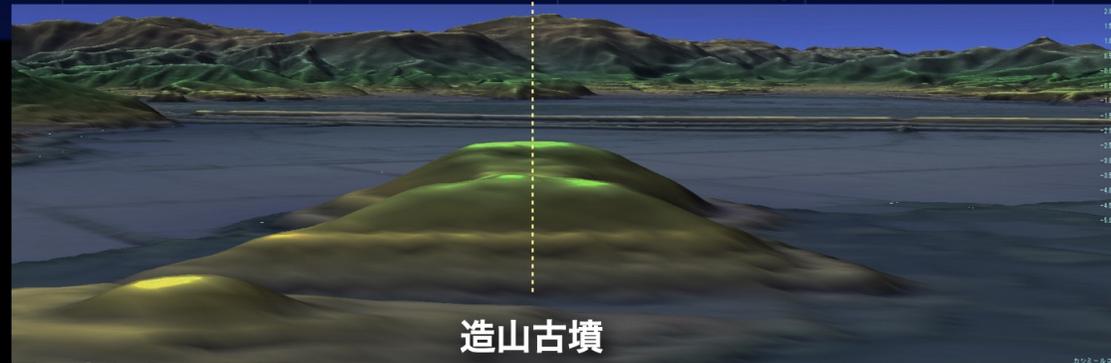
みなし北辰第2案

アルコル「輔星」

ミザール「開陽」

アルカイド「搖光」

北



造山古墳

北條芳隆の現時点での試案

みなし北辰 (第2案) TN.29.8°E

夏至の日の入
日の入: TN.62.1°W

TW.+27.9°



みなし北辰の方位を90°回すと古墳時代の冬至の日の出・夏至の日の入り方位とほぼ重なる

北斗七星の斗建の情景を指標とする冬至と夏至の太陽を崇める信仰が造山古墳時代の軸線を決めた可能性

冬至の日の出
日の出: TN.121.3°E

TE.-31.3°

初期の前方後方墳には冬至の日の出に軸線を沿わせる事例がある

造山古墳の軸線: TN.28.6°E

おわりに

高額な探査機を使用する「掘らずに知る」調査は、決して広く一般化できる調査手法とはいえない。レーダー探査の利用シーンが多岐にわたった今日でも、緊急性を要する工事や大規模事業におけるコスト削減を図ることを目的に用いられており、依然、通常の遺跡調査で用いられる事例は非常に稀である。また、異なる原理（方式）をもつ種々の探査機により、同じ地点を探査した場合の再現性についてもこれを保証した探査実例は皆無に等しい。さらに、図像の解析から主観を排除するにも、より多くの事例の検討が必要とされる。

このようにハード面・ソフト面に課題が多く残されている状況にあって、考古学サイドから発信できる試みとしては、既掘遺構での探査結果と未調査遺構でのそれを比較し、未調査部のレーダーの反応から何が読み取れるか（または読み取ったか）を広く公開することと、情報の共有が肝要である。



引用・参考文献

泉 吉紀・酒井英男・中村和之・斉藤大朋 2017「地中レーダーによるチャシ跡の探査研究」『函館工業高等専門学校紀要』51巻 p.68-73

岡山市教育委員会 2021『造山古墳群発掘調査概報 2014～2020年度調査』岡山市教育委員会

総務省 2017『地中レーダー技術に関する調査検討会報告書』地中レーダー技術に関する調査検討会

新納 泉 2012「作山古墳墳丘のレーザー計測」『岡山市造山古墳群の調査概報』岡山大学学術成果リポジトリ

新納 泉 2021「『日本書紀』紀年の再検討：応神紀・雄略紀を中心に」『考古学研究』68 考古学研究会

北條芳隆2017『古墳の方位と太陽』同成社

松本建速他 2020「金堀沢遺跡発掘調査概報 第6次調査」『研究紀要 東海大学文学部』第110輯 東海大学文学部

宮原俊一・松本建速・北條芳隆 2023「地中レーダーによる遺跡探査報告（1）—青森県六ヶ所村金堀沢遺跡・長野県松本市弘法山古墳—」『研究紀要 東海大学文学部』第113輯 東海大学文学部

白川美冬2023「埋葬方位研究の行く末」『しだみゅー歴史講演会「寺子屋」文化遺産ストーリーしだみゅーmeeting 考古天文学と古代の景観』しだみゅー

