

デジタル技術・非破壊的手法を用いた古代寺院における 伽藍配置の調査研究

——下総龍角寺の測量・GPR（レーダー探査）調査——

城 倉 正 祥・ナ ワ ビ 矢 麻

Research on the Placement of Buildings in an Ancient Temple Using Digital and Non-Destructive Techniques:

Measurement Survey and GPR at Simousa Ryukakuji Temple

Masayoshi JOKURA・Yama NAWABI

Abstract

Ryukakuji Temple (Chiba Prefecture, Inba-gun, Sakae-machi) is the oldest temple in the eastern part of Japan that dates from ancient times. While it has been under investigation since the 1940s, there are still many unclear points to it. The biggest problem is that the topographical information for the area is old, and an analysis based on accurate terrain information has not been performed.

This survey was conducted so as to clarify the placement of the founding period temple and to reveal the evolution of the ruins from ancient to modern times. In order to accomplish these tasks, we performed a topographical survey and a GPR (ground penetrating radar) survey.

For the topographical survey, we adopted a direct method and created a survey map of 10cm contours using levels and total stations. As a result, the north side of the terrain became clearly visible. In addition to discerning the foundation of the main hall and tower, we revealed the possibility the northwest corner reflects the position of the corridor of the founding period.

GPR is a geophysical survey method aimed at understanding the position and shape of remains in a non-destructive way. In this survey, we obtained a reaction for the foundations of the main hall, the tower, and the northwest side of the corridor. On the other hand, since we could not confirm reaction at the existing Nioh-mon area: It was found to be a gate that was built some time after the early modern period. The GPR results above are consistent with the outcome of the topographical survey, and therefore it is possible to estimate the original placement of the temple.

From the overall results of the survey, we can assume a different placement of the temple building from that of previous research. In addition, we have gained a deeper understanding of the transformation process of the axis of the precincts of the ruins. Based on these results, we need to continue to re-organize past research results, promote new excavation efforts, and discuss the placement and subsequent transition of the temple buildings of Ryukakuji.

はじめに

千葉県印旛郡栄町に所在する天竺山寂光院龍角寺は、白鳳期に創建された房総を代表する古刹である。本尊の薬師如来坐像の頭部は旧山田寺講堂本尊と通じる作風として知られ、国の重要文化財に指定

されている。また、出土した古瓦も山田寺系の単弁蓮華文軒丸瓦と重弧文軒平瓦で、飛鳥の王権との深い関係性の中で創建された点が指摘される。瓦に関しては、龍角寺瓦窯・五斗蒔瓦窯の発掘とその出土品の研究が進み、特に文字瓦の分析が成果を上げている。一方、遺構に関しては、1948年以降に継続

的な発掘調査が行われ、金堂・塔・回廊など創建期の伽藍配置に関する基本情報が得られているが、正式な報告書が刊行されておらず「法起寺式」伽藍が想定されるものの確定には至っていない。

7世紀において各地に展開した初期寺院の造営には、大和の王権や有力氏族の関与が指摘され、瓦の型式や伽藍配置の展開過程から地方における寺院造営の歴史的背景を追及する研究が行われている。しかし、地中に埋もれた寺院の伽藍配置を明らかにする作業は容易ではない。そのため、発掘が行われたごく一部の事例を中心として、比較研究が行われているのが現状である。以上の状況を踏まえ、早稲田大学考古学研究室では、下総龍角寺の伽藍配置を測量・GPR（レーダー探査）という非破壊的手法によって明らかにする調査計画を立案した。本発表では、2014年3～4月に実施した龍角寺Ⅱ期（1・2次）調査の概要とその意義について報告する。

1. 下総龍角寺の発掘調査史

まずは、龍角寺の調査史についてまとめる。

龍角寺は、1930年代に薬師如来座像と塔心礎が国指定史跡に指定されると俄かに注目を集め、1948・49年に早稲田大学の滝口宏によって初めての発掘調査が行われた。本調査の成果としては、①奈良時代前期創建の法起寺式伽藍を明らかにした点、②回廊の痕跡を追及・復原をした点、③石製鴟尾を発見した点、④龍角寺瓦窯を発見した点、が挙げられている。

1971年には、早稲田大学が金堂・塔及び塔北方建造物を調査した。本調査の概報によると、金堂は五×五間一辺50尺の方形であった。また、金堂基壇の発掘によって、現基壇の下層に創建期の基壇が検出された。現基壇が一辺70尺の方形で南・東・西の三面に階段を設けるのに対し、創建基壇は間口51尺・奥行41尺で磁北に対して東へ7.2度傾き、ほぼ真北に近いという。つまり、白鳳基壇の東・南・西に増築し方位を変えて、江戸の金堂基壇を造営した点が判明した。この成果からすれば、創建金堂の主軸は現金堂基壇よりも反時計に傾いていた点が把握できる。塔心礎は、根石が確認できた点から原位置だと判明した。発掘ではこの塔心礎を中心として一辺36尺の方形基壇が確認され、基壇の対角線51尺は金堂の正面長に一致すると指摘された。なお、

金堂・塔以外の遺構としては、塔基壇北線から北40尺で3基の柱穴を検出し、建物西の柱筋と判断された。さらに、金堂と塔の中心の南側を調査したが南門は検出されなかったという。

1976年には早稲田大学が金堂の北側・西側の調査を行ったが、講堂址と推定される遺構は検出できなかったという。また、金堂西側の高まりが自然地形である点を確認したとされるが、詳細は不明である。

1989年の二荒神社の発掘では、社殿に創建期の礎石が転用されていた点が判明したという。また、調査区の東側でロームを掘り込んで形成された版築基壇の西端を南北10mほど検出し、金堂北側に講堂が存在する可能性が指摘された。なお、1989年の調査担当者は、創建期の南門を現在礎石が残る仁王門の位置と考え、南門・金堂・講堂が一行に並び、金堂の東に塔が位置する変則的な伽藍配置を想定した。その他、1987・88・2003・05年にも発掘調査が実施されている。

以上、龍角寺の発掘調査の成果を整理した。1948・49・71・76・89年の調査成果の正報告が行われていないため、不明な部分が多いものの創建期の伽藍配置の推定に関しては一定の成果が上がっている。すなわち、創建伽藍の軸線が現金堂基壇の軸線よりも反時計方向に傾く点、また滝口宏が想定した法起寺式伽藍がその後の調査で南門・金堂・講堂が一直線に並び金堂の東に塔が位置する変則的な伽藍配置へと認識が改められている点、この2点が現在までの調査成果として総括できる。

しかし、発掘調査史を検討すると、確実なのは東西に並ぶ金堂と塔の位置関係、及びその軸線のみで、仁王門が創建南門の位置にある確証は何もなく、講堂の位置についても考古学的に確定しているとは言い難い。最大の問題は、従来の研究の基礎となっている現地形の情報が古く、正確な地形情報に基づく分析が行われていない点、方位の問題が議論されながらも古代～近世までの方位の変遷が時間的な推移として整理されていない点、この2点に集約できる。まずは、現地形の正確な情報を高精度で記録する測量図の作成と、地中の様相を把握するGPR（レーダー探査）など考古学的な非破壊調査が必要である。

2. 研究課題と調査方法

【研究課題】

上記のように、過去に多くの調査が実施されているにも拘わらず、龍角寺の伽藍配置は未だに明らかではない。そのため、本調査では、①龍角寺の創建期伽藍の配置を明らかにする、②古代から近世までの龍角寺の遺構の変遷を明らかにする、この2点を目的とする。この課題を達成するために、本調査では観察に基づく微地形測量と GPR・磁気探査という非破壊手法の調査を行った。以下では、その調査方法について概略する。

【測量調査】

地形測量においては直接法を採用し、レベルとトータルステーションを用い 10cm 等高線の測量図を作成した。実測の際には、作業者が視覚的に等高線を共有し、微地形の変化を詳細に観察できるように等高線毎にカラーピンボールを設置した。その後カラーピンボールの位置をトータルステーションで測距し、地形を細かく観察しながら等高線を作図した。全調査期間で測点は合計 11061 点に達した。測量図の縮尺は、対象地域全体を 100 分の 1 とし、礎石等が表土上に露出して遺存する金堂・塔・仁王門・龍神宮・鐘楼については 20 分の 1 とした。調査に用いた局地座標系を平面直角座標第 9 系（世界測地系）に変換する測量も行った。

【GPR 探査】

本調査では創建期の伽藍配置を明らかにするため、GPR 探査も実施した。GPR (Ground Penetrating Radar) 探査とは、物理探査の一手法である。GPR 探査は発掘とは異なり、完全に非破壊で遺構の位置や形状を把握できる。すなわち、地下に電波を送り、返ってきた反射波の速度と強さを受信し解析することで、地下の情報を推定できる。GPR は誘電率（土の含水率）の差に反応するため、基壇などの大型構造物や空洞・金属・石などは反射が強く、周辺の土と同質の遺物（土器など）の反応は弱い。また、含水率の異なる土層の境界の把握も可能である。含水率の高い土が堆積する溝や、版築で造られた基壇を有する古代寺院において、GPR 探査は非常に有効な方法である。

実際の作業としては、電波を送受信するアンテナを橇に載せ対象地に設定した側線に沿ってアンテナ

を移動させ、受信した反応のデータを記録する。測線については、測量の結果を考慮に入れ、可能な限り遺構に直行するような設定を行う必要がある。多くの測線での反応の探知により、埋蔵遺構の信憑性が向上するためである。GPR 探査で成果を上げるためには、観察に基づく測線の設定と、遺構の状況を把握した上での適切な機械設定が重要である。

調査区で取得した地下の情報は距離補正をかけ断面図のように記録される。これを Profile 図と呼び、各測線の反応の深さや形状を捉える際に使用する。平面図の表示も可能であり、これは Time-Slice 図と呼称するが、反応の平面的な形状を把握する際に有効である。Profile 図、Time-Slice 図の両側面からの検証で、遺構の構造や各遺構の関係を 3 次元的に分析できる。

本調査における GPR 探査の主目的は、①回廊の反応の把握、②金堂・塔など主要堂塔の基壇の反応の検出、③仁王門における基壇有無の確認、以上の 3 点である。今回使用したのは、スウェーデン MAL Å Geoscience 社製の RAMAC/X3M システムの 500MHz アンテナである。500MHz アンテナは、地中の状況にもよるが、地表下約 3～4 m までの情報を得るために最適な周波数を有している。

【磁気探査】

本調査においては磁気探査も実施した。磁気探査は GPR 探査同様、非破壊的手法の一つで、地中の磁気を帯びた遺物の検出が可能である。鉄などの金属、被熱した遺物（瓦など）や遺構（瓦窯など）の位置を把握することができる。実際の作業としては、側線を設定後、磁力計を持って歩き、1 m ごとに数値を記録する。記録した数値の変化量の大小から地中の磁場の異常部を把握するという方法である。

本調査においては、①北西斜面の瓦散布地における瓦窯の有無の確認、②金堂基壇上にある礎石の被熱有無の確認を目的として磁気探査を実施した。今回使用したのは、イギリス Geoscan 社製のフラックスゲート型磁力計 FM18 である。

3. 測量・GPR・磁気探査の成果

【測量】

図 1 には、本調査での測量成果を示した。まず、境内の中で仁王門から金堂前面まで、そして金堂東

西は平坦面になっているが、南側に向かって緩やかに低くなる地形を呈する。境内前面で高い地形は、奉安殿の東側、鐘樓付近で比高 60cm ほどである。その島状の高まりはトイレ背面で最も高くなるが、境内北西側・北側の道路に面する部分がいずれも高くなっているように、道路造成の際に盛り上げた土と思われ、本来の地形を反映しているわけではない。境内南側は鐘樓部分の高まりを除いて創建期の地形はかなり削平されていると思われる。一方、境内南とは対照的に創建期の地形を色濃く反映すると思われるのが、境内北側である。境内北側では金堂を取り囲むように西・北・東に顕著な高まりが認められる。もちろん、古代から近世までに及ぶ活動の諸痕跡で改変を受けているが、北西部分の地形は凹凸が少なく、創建期本来の地形を残していると考えられる。特に、二荒神社の西南側・西側・北東側の高まりの最高点がほぼ同じで、この部分の地形が金堂を取り囲むように存在する点が注目される。その構造から創建回廊の北西隅の地形を反映している可能性が高い。この高まりは金堂の真北、北側道路に抜ける南北小道で東西に分断されるが、その東側にも続いていくことが観察できる。南北小道から龍神宮礎石までは多くの石造物が安置されるように、改変が著しいものの、北西コーナーに比べて高まりの南北幅が広がっている点が注目される。続く龍神宮の東側には小さな社が建つが、ここから 1971 年に柱穴が検出された境内北東隅までは、金堂から続く道で平坦に開削されている。金堂の東側では塔心礎の回りに基壇を示す高まりが認められ、その北側には古瓦が一括埋納された瓦塚がある。

以上、境内の測量図の作成によって従来は分からなかった北側の地形が明瞭に把握できた。その成果からすると、金堂・塔の基壇の他には、北西隅のコーナー部分が創建期の回廊を反映している可能性が指摘できる。また、講堂に関しては、1989 年の調査成果から二荒神社東側に想定されているが、この部分の地形は二荒神社から西側にかけての地形と一連のもので、南北幅が短いことが観察できる。一方、注目されるのは地形の改変が著しいものの龍神宮の位置である。この部分は、西側から続いてくる回廊と思われる高まりに比べて、南北に広い範囲で高まりが認められる。ここでは、地形の観察から得られる仮説として、龍神宮から西側の石造物集中域までの範囲が創建期講堂の一部である可能性を考えてお

く。この点は、レーダー探査の成果も踏まえて考える必要がある。

【GPR・磁気探査】

図 2 には龍角寺境内で行った GPR 探査の成果を Time-Slice 平面図として表示した。金堂における全面作業以外は、発掘調査におけるトレンチのような遺構に直行する形でレーダーを引いた。A ～ Q 区まで合計 17 区を設定して作業を行った。金堂部分には現在の基壇の範囲に強い反応が認められ、基壇の盛土範囲が良く観察できた。また、1971 年の発掘でも確認している塔心礎周囲の基壇も良好な反応が確認できた。注意すべきは、現存地形から創建回廊北西隅の可能性を考えた部分、すなわち P・M・I・L 区で幅 8 m 前後の帯状の強い反応が認められる点である。この反応は Profile 図でも明確に確認できるが、L・M 区の反応は規模・深さともにほぼ同じで、同規模の構造物の北西コーナーを示している可能性が高い。つまり、回廊の基壇と考えるのが自然である。龍神宮の西側部分は石造物が密集するため GPR を実施できなかったが、龍神宮の礎石に沿う形で設定した N 区では、L・M 区とよく似た反応を検出した。しかし、L・M 区に比べて反応が幅広い点が注目される。この地点は、塔と金堂の中心ラインの北側に位置し、講堂の存在が想定できる場所である。

一方、現存する仁王門の礎石部分で行った探査では金堂・塔・回廊の基壇で検出した反応は全く確認できなかった。もちろん、基壇が全て削平されている可能性も残るが、地形的に考えてもここに創建期の南門が位置する可能性は低く、近世以降に建造された仁王門と考えるべきだろう。金堂北西の高まりを回廊のコーナーと見るのであれば、南面回廊は奉安殿北側辺りに想定できるが、この地点にもやや強い反応が認められる点が注目される。この東西ライン上には鐘樓やトイレ下で検出された近世遺構も位置しており、南回廊の残存地形を利用して近世建物が建造された可能性も残る。以上の GPR 成果は、地形測量の成果とも符合し、創建期伽藍の配置のおよその推定が可能になったと考える。

次に、二荒神社西側斜面地の分析について述べる。二荒神社の西側斜面地には大きく凹んだ平坦地があり、その下に境内北側から続く切り通しの東西道路が位置する。この平坦面と切り通しの崖面に火

をうけた古瓦が多く集中するため、この平坦面に窯が存在する可能性も考え、磁気探査・GPR 探査を行った。結果、磁気探査においてほとんど反応が認められず、窯の存在はほぼ否定できた。また、GPR 探査でも顕著な反応は認められず、従来の見解通り、火災の後に境内の瓦を一括して廃棄した場所と考えられる。ただし、平坦面には岩屋古墳の石室と同じ貝化石を含む砂岩の破片が散乱しているなど、この廃棄地点の時期や意義についても、今後検討を行う必要がある。

以上、測量・GPR 探査・磁気探査の成果を総合すると、従来の研究とは異なる伽藍配置が想定できた。これらの新知見を踏まえた上で、過去の調査成果の再整理、新たな発掘調査を進め、龍角寺の創建伽藍の配置やその後の変遷について考察していく必要がある。

4. SfM・3D スキャナーを用いた実測

Ⅱ期調査では、金堂・龍神宮・仁王門・鐘樓の礎石、及び塔心礎について3D スキャナー・SfM を用いた三次元化を行った。3D スキャナーは、Creaform 社の ExaScan を使用し、SfM は AGI 社の PhotoScan を用いた。

3D スキャナーを用いてサーフィス解像度 1 mm で実測したデータは、人が実測・表現できるレベルを遥かに超えた緻密さで、トータルステーションを用いた位置情報を与える作業によって、三次元空間の中で位置付けることも可能である。一方、SfM を用いて作成した 3D 画像は非常に鮮明で、遺構情報の記録として非常に将来性のある方法である。SfM とは、写真から 3D モデルを作成する技術である。もちろん、クリアしなければならない様々な問題もあるが、今後の可能性を探る意味でも実測における 3D 化作業に力を入れていく必要がある。

5. 創建伽藍の配置と軸線の変遷

ここまでⅡ期調査で行った作業に関して、その概要を整理した。最後に、地形測量・GPR 探査を踏まえた上で、遺構の主軸に着目して龍角寺の主要遺構の変遷に関してまとめてみたい。

龍角寺の各遺構には軸線に明確な規則性が認められる点が見える。まず、金堂の軸線から見てみる。

金堂は 1971 年の発掘で創建基壇が確認され、当時の認識では真北に近い軸線をとると認識されていたが、世界測地系の正確な測量成果からすると、最も真北に近いのは礎石を残す元禄金堂である。本調査では、この元禄金堂を主軸として局座標系を構築したため、偶然ではあるが世界測地系とほぼ同じ方位を持つことになっていた。創建基壇の軸線を金堂北西の推定回廊から算出すると、北に対して 4 度 07 分反時計に傾く軸線が導き出せるが、その軸線を塔心礎に当てはめると東西軸線は現在の金堂基壇のやや北側に偏った位置を示す。この点は、1971 年の発掘で創建金堂の東・南・西に基壇が増築されたという記述と合致し、創建金堂の中心点がやや北側に位置する現象を理解できる。北西の推定回廊、塔と金堂を結んだ軸線を「軸 A」としておく。一方、本調査の金堂 $S=1/20$ の実測によって明らかになった元禄金堂と基壇の軸線が異なる点に注目すると、現基壇の軸線は南階段・東西階段の位置から導き出すことができ、西に 1 度 29 分傾く「軸 B」が認識できる。では元禄金堂の軸線はというと、東に 0 度 53 分しか振れていない「軸 C」で、ほぼ正北位を意識していると思われる。つまり、金堂に関しては創建時に北西側に傾いた軸線を持っていたものから、 $A \rightarrow B \rightarrow C$ の 3 時期の変遷によって正北位に保持されたと認識できそうである。

この金堂の軸線変化に対して、他の遺構の軸線を比較する。注目されるのは、仁王門・鐘樓・トイレ下層遺構の軸線である。これらの遺構はいずれも近世の建造物とみられるが、東に 3 度 38 分傾く「軸 a」である。しかし、これらの遺構が存在した近世においても本尊薬師如来は金堂に安置されていたはずで、本来ならば仁王門と金堂の軸線は一致してしるべきだと思われるが、実際には北東側を向いている。この事実を理解する上で重要なのは、現在の龍角寺正面階段から南に伸びる道路が、仁王門とほぼ同じ軸線を持っている点である。すなわち、仁王門は江戸の参道を意識した方位を持っている可能性がある。一方、これら寺院とは全く異なる軸線を持っているのが、境内の神社である。龍神宮は東に 14 度 23 分傾く「軸 b」であり、二荒神社も江戸の寺院の方位とは異なる。二荒神社は創建回廊の基壇の高まりを利用して造営されたものと思われ、「軸 A」に合致するが、これら寺院内の神社が建立時の寺の方位に規制を受けなかった事実を読み取れる。

以上、境内遺構の軸線に注目してみると、従来までの測量図の精度では見えなかった軸線の変容過程とその規則性を見出すことができる。

おわりに

本発表では、早稲田大学考古学研究室が2014年3～4月に行った千葉県印旛郡栄町に所在する龍角寺の測量・GPR（Ⅱ期1・2次）調査の概要を報告した。破壊を伴う発掘調査を行わなくても、地表面に残された地形情報や地中構造の把握でこれだけの考古学的情報を得ることが可能である。特に、古墳・寺院・都城・官衙・城郭など現地形に痕跡を多く残す大規模な構造物は、測量・GPRによる非破壊調査を中心に研究を進めるべきだと考える。非破壊で得られる情報を最大限引き出した後に、必要最低限の範囲で発掘を進めることで労力や費用、破壊を抑えることができる。

今後、更に分析精度を高めると共に、事例を増やし、非破壊的遺構研究の手法を確立していきたい。また、本稿で対象となった龍角寺については、過去の調査成果の整理や新しい視点の調査を進め、伽藍配置の把握や瓦の分析などからその歴史的意義について考察を深めたいと思う。

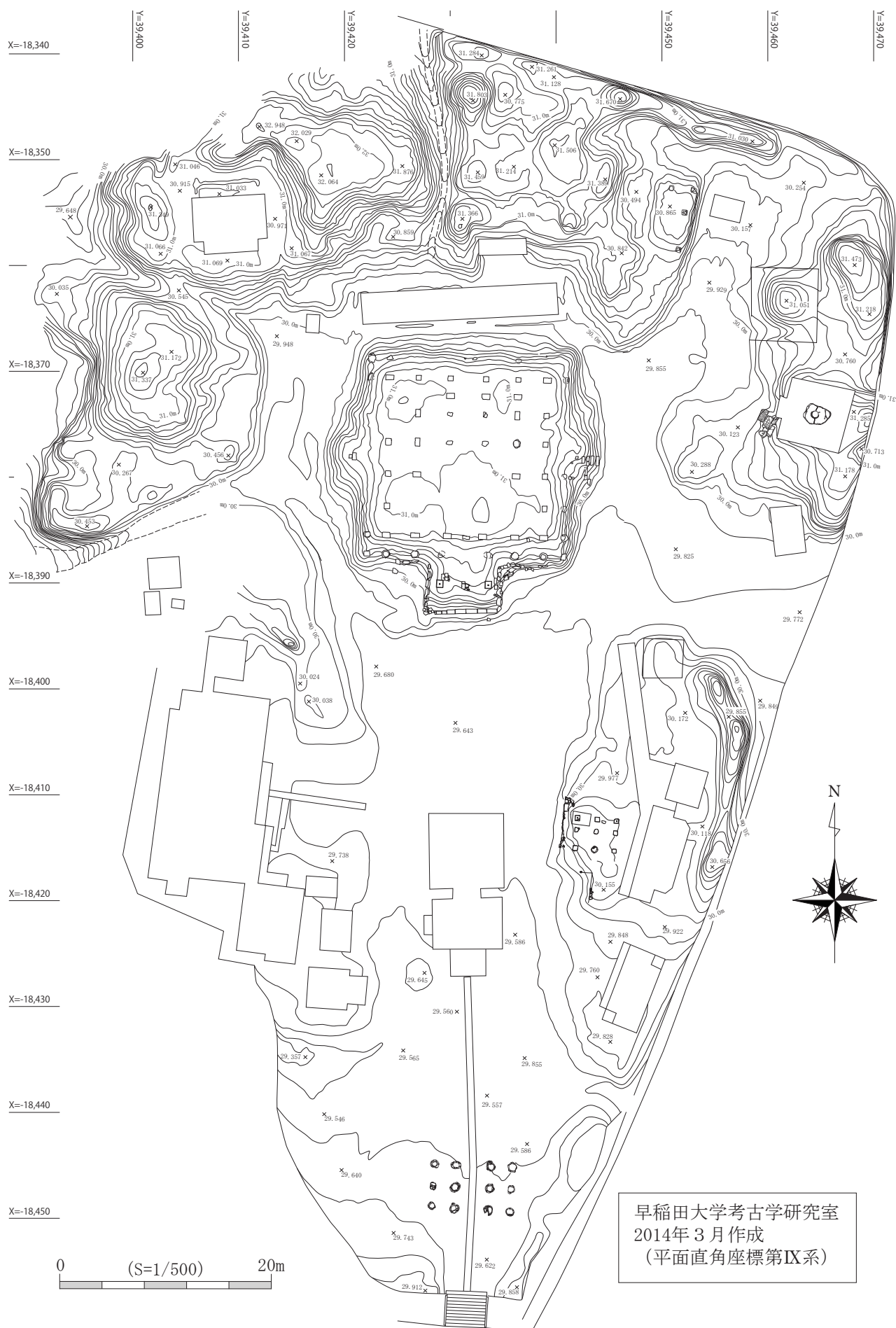


図1 龍角寺Ⅱ期(1・2次)調査の測量成果

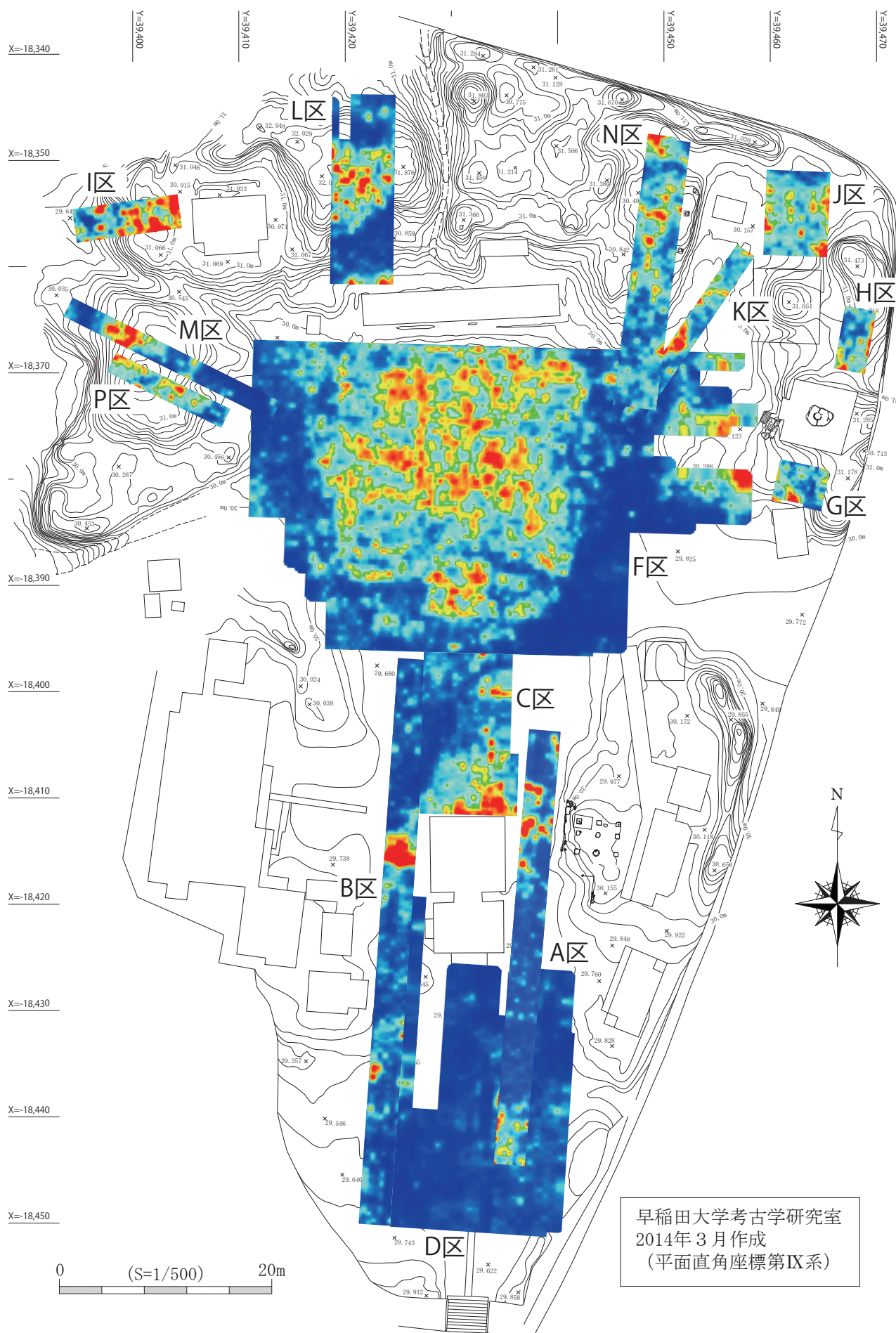


図2 龍角寺Ⅱ期(1・2次)調査のGPR(レーダー探査)成果