

京都市大枝山古墳における電気探査

後藤忠徳* (京都大学・工学・地殻環境工学講座)

Electrical Resistivity Tomography at the Ooe-yama Ancient Tombs, Kyoto

Tada-nori Goto* (Kyoto University)

Abstract: Internal structures of tumuli (monumental tombs), especially the unexcavated ones, tell us the ages and cultural background of the ancient architectures. Due to the heavy vegetations on the unexcavated tumuli, the ground penetrating radar cannot be applied for the nondestructive exploration. Instead, the electrical resistivity tomography (ERT) is used to investigate the properties of the buried artificial structures. However, the internal structure is unknown in general, and the interpretation of resistivity structure cannot be proven. Here, we applied the ERT method to a tumulus, which was moved from the original location and reconstructed in a park recently. The internal structure is known, so that we can compare the obtained resistivity structure and the materials in the tumulus. As a result, the stone hut with rock blocks indicates the resistive feature, while the surrounding soil (especially the adjacent parts to the stone hut) is relatively conductive. It can be interpreted that the most of rain water soaked in the tumulus cannot be directly intrude into the tumulus, and the water saturation becomes high at the side of stone hut. We also applied the ERT to another unexcavated tumulus, and found the location of stone hut and other structures. Thus, the ERT is quite useful for imaging the internal structures of tumuli.

1. 緒言

古墳とは、古代社会において遺骸を葬るために営まれた墳墓の一種であり、一般に3世紀半ばから7世紀代にかけて築造されたものを指すことが多い。古墳は1) 墳丘を始めとする外部構造と、2) 遺骸を埋納する内部構造(主体)から構成される。墳丘外部・主体のいずれにも遺物が配置されているが、未発掘のままの古墳が国内には数多く存在しており、主体部には考古学的に貴重な資料が残されている場合がある。従って、古墳の内部構造が明らかになれば、主体部の発掘作業による墳丘の損傷を最小限に抑えることが可能となる。また主体部の非破壊探査の結果から、(発掘作業を行わなくても)古墳の築造時期や文化的背景を分析できる場合もある。

古墳の内部調査を目的とした物理探査の適用事例については、これまでに多数の報告がなされている。このうち、多くの成果を上げているのは地中レーダ探査である(例えば軽部, 1997; 北郷, 2008)。ただし、未発掘の古墳は墳丘が植生に覆われていることが多い。アンテナを地面と密着させる地中レーダの特性上、未発掘の古墳調査の場合は植生の除去が必要なケースが多く、現地の景観・自然環境・古墳の保全などへの配慮から地中レーダ探査を適用しにくい場合が考えられる。さらに墳丘表面から数m以上の深い場所に主体部が存在する場合、地中での電磁波の減衰のため、通常

の地中レーダでは探査が困難となることも予想される。

一方、比抵抗トモグラフィー(電気探査)が古墳の内部調査に適用されるケースも多数報告がなされている。例えば亀井ほか(2008)では高松塚古墳において比抵抗トモグラフィーを実施し、古墳内部構造を明らかにしている。また比抵抗モニタリングを実施し、墳丘への降雨浸透の可視化を試みている。水永ほか(2002)や田中ほか(2007)では3次元比抵抗トモグラフィーが適用されており、石室などの主体部の立体的な形状把握などが行われている。また海外においても、比抵抗トモグラフィーを用いた古墳調査が行われている(例えばPapadopoulos et al., 2010)。これらの解析結果では、古墳内部に石室に相当すると思われる高比抵抗異常体だけでなく、低比抵抗異常体も随所にみられており複雑な比抵抗構造が明らかとなっている。しかしながら、既往研究では古墳の内部構造が必ずしも明らかではなく、従って比抵抗構造の不均質が主体部のどの部分に起因しており、何を意味しているのかを解釈することは困難である。

そこで本研究では、古墳の内部構造が明らかである「移設古墳」において比抵抗トモグラフィーを実施し、古墳の比抵抗構造と主体部の比較を実施することで、古墳の内部構造の解釈に資することを目指す。同時に、未発掘の古墳においても比抵抗トモグラフィーを実施し、石室や羨道(通路部分)の分布調査を試みる。

2. 大枝山古墳

本研究では、京都市史跡「大枝山古墳群」に注目した。大枝山古墳群は京都市の西郊、西山の丘陵部に位置する群集墳である。この古墳群の存在は明治年間から知られており、分布調査や石室実測が行われている（京都市埋蔵文化財研究所、1989）。築造時期は古墳時代後期（6世紀後半から7世紀初頭）とされており、現在までに20基以上が確認されている（Fig.1）。古墳はいずれも円墳で、直径が15~20メートル、高さ3メートル前後のものが多い。主体部は横穴式石室で須恵器を中心とする土器類や鉄鏃・刀子・鉄刀・耳環等の金属製品が出土している。本古墳群は、京都市内の古墳時代後期の群集墳の中でも極めて良くその形状をとどめており、平安京遷都以前の京都の歴史を研究する上で貴重である。

本古墳の近年の調査としては、財団法人京都市埋蔵文化財研究所が昭和55年・58年・59年に発掘調査を実施している。その後、平成12年には京都市指定史跡として指定されており、現在は古墳公園として利用されている。調査の過程で、古墳の1つ（14号墳）は解体され、別の場所に移動・再構築がなされた。この「移設古墳」については、主体部（石室、羨道）のみならず、盛土部や地山部の構造も明らかとなっている。その他の古墳は移設されてはならず、未発掘のものも数多く残されている。このうち最大の古墳である16号墳（直径約24m、高さ約5m）は未発掘であり、石室の存在、石室の規模や主軸方向などは分かっていない。

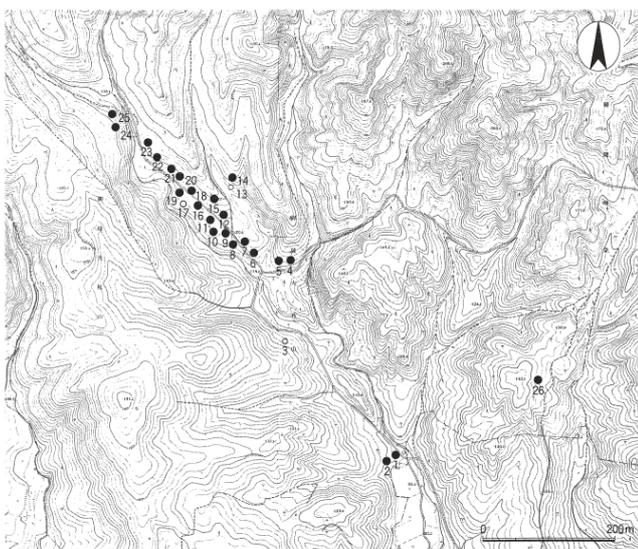


Fig.1 Distribution of the Ooe-yama tumuli (circles). After Kyoto City Archeological Research Institute (1989).

3. 比抵抗トモグラフィー探査

本研究では、移設古墳である14号墳および未発掘の16号墳において比抵抗トモグラフィー（ERT）を実施した。測定装置にはAGI社製 Super Sting R8を使用した。墳丘を横断する測線沿いに真鍮製電極棒28極を設置した。電極間隔は14号墳においては0.75m、16号墳においては1mとした。電極配置はダイポール・ダイポール法（ $n \leq 8$ ）を採用した。探査実施日は2015年12月1日、当日の天候は小雨であり、1測線のERTにかかる時間は約10分間であった（Fig.2）。測線沿いの古墳の地形については、レーザ測距器および傾斜計を用いて測量を行った。ERTにより得られた見掛比抵抗に対して、Geotomo Software製 RES2DINVを用いて、2次元インバージョンを実施して、地下比抵抗構造を推定した。



Fig.2 ERT survey on the reconstructed tumulus (top) and the unexcavated tumulus (bottom).

4. 結果・議論

14号墳でのERTの結果をFig.3に示した。ここには14号墳の内部構造も示した。両者を比較すると、石室の空洞および石室を構成する石材の位置と、高比抵抗異常体の位置が概ね対応することがわかる。また石室の外側を覆う土層・砂泥層の比抵抗は低い傾向を示している。特に石材のすぐ側方部では $50 \Omega m$ 程度と低い値である。この低比抵抗の分布については、土層・砂泥層・地山の分布との対応があまり見られない。

移設古墳でのERTの結果から、大枝山古墳群の墳丘

内部の構造について次のような示唆が得られた。まず石室内部や石材は水分をあまり含んでおらず、既往研究と同様に高比抵抗体としてイメージされている。その周辺の低比抵抗体は、(墳丘表面や墳丘麓よりも) 水分を多く含む土層・砂泥層に相当すると思われる。探査当日の天候は雨であり、墳丘表面からは雨水が浸透していた。しかし石材部分では地下水の大半はせき止められるため、石材側方へ流れていくことが予想される。その結果、石材側方の間隙水飽和度が上昇し、石室周辺で低比抵抗体が形成されたと推測される。

なお14号墳の高比抵抗異常域は、石材部分だけにとどまらず、石材よりも外側にもはみ出しているように見える。本研究では2次元解析を行っているが、実際古墳の内部構造は3次元的であると考えられる。3次元的な異常体を2次元解析により可視化した場合、本来よりも異常域が広がって認められる場合がある。本研究でも同様の特徴が見られているため、今後3次元的な効果について検討・評価する必要があると思われる。また石室の下方では比抵抗が低下している。これは石室上部の高比抵抗異常による、解析上の偽像である可能性が考えられる。あるいは石室上部から漏れだした雨水が石室床に溜まっていたことが実際に観察されており、石室床よりも下方で低比抵抗域が広がっていた可能性も考えられる。今後、数値計算などに基づく検討を実施する必要がある。

未発掘古墳である16号墳におけるERT探査結果では、石室や石室周辺の人工物の存在が可視化された(Fig.4)。14号墳と同様に、古墳中央部に高比抵抗異常が認められる。これはおそらく石室にあたると思われる。高比抵抗異常の上部には低比抵抗異常が認められる。これはおそらく墳丘に浸透した雨水が石室内部へ浸透できず、石室上部で宙水構造を作っていると考えられる。このような比抵抗構造の特徴は14号墳ではみられなかった。推測であるが、16号墳では14号墳で見られたような石室天井からの漏水がほとんど起きておらず、そのために石室より上側の土層での飽和度が上昇したと考えられる。すなわち、16号墳の石室内部では保存状況のよい状態で遺物が保持されている可能性がある。

さらに墳丘の南西側(Fig.4の左側)には、石室と思われる高比抵抗異常とは独立した高比抵抗体や低比抵抗体の存在が認められた。墳丘表面近くに位置する高比抵抗体の付近に電極を設置した際に、地下浅部に石のような硬い物の埋まっていることが推定された。従って、この高比抵抗体は羨道の入口付近を覆っている

石材などを示している可能性が考えられる。ただしこの高比抵抗体は石室と思しき高比抵抗異常とはつながってはいないため、羨道そのものは測線直下ではなく、入口の中心地点もERTの測線から少し横方向へ離れた場所にあるものと推測される。

5. まとめ

大枝山古墳群のうち、移設古墳である14号墳および未発掘の16号墳において、ERTを実施し、内部構造の可視化を行った。移設古墳に関しては、石室および石室周辺の高間隙水飽和度の土層などの存在が示唆された。古墳調査における比抵抗高構造の複雑さは、従来の研究では粘土層と土層の違いで説明されることがあるが、本研究で示されたように不均質な地下水浸透も考慮する必要があると思われる。また未発掘古墳においては、石室や羨道入口といった主体部に関わると思われる比抵抗異常を検出できた。比抵抗トモグラフィーは古墳調査において有効であり、今後のさらなる適用が期待されると考えられる。

参考文献

- 軽部文雄(1997): 国土の開発と遺跡保存のための物理探査, 物理探査, 50, 6, 555-577.
- 亀井宏行・阿児雄之・工藤博司(2008): 電気探査による高松塚古墳墳丘内の水分分布推定とモニタリング, 物理探査, 61, 5, 397-406.
- 北郷泰道(2008): 西都原古墳群における整備・活用のための物理探査, 最新の物理探査適用事例集, 物理探査学会編, 375-380.
- 京都市埋蔵文化財研究所(1989): 大枝山古墳群, 京都市埋蔵文化財研究所調査報告, 8, 100pp.
- 水永秀樹・青野哲雄・牛島恵輔(2002): 古墳の内部構造の3次元イメージング, 物理探査学会第107回学術講演会論文集, 203-206.
- 田中俊昭・水永秀樹・牛島恵輔(2007): 遺跡の3次元可視化プログラムの開発, 物理探査, 60, 3, 235-244.
- Papadopoulos, N. G., Yi, M. J., Kim, J. H., Tsourlos, P., and Tsokas, G. N. (2010): Geophysical investigation of tumuli by means of surface 3D electrical resistivity tomography, Journal of Applied Geophysics, 70, 3, 192-205.

謝辞

京都市文化財保護課の堀大輔氏には、大枝山古墳の御紹介・調査の御許可を頂き、資料を御提供頂いた。桂

坂古墳の森保存会の皆様には調査活動に御協力頂いた。
 本調査は京都大学大学院工学研究科の講義の一環で実施され、8名の大学院生が野外調査に参加した。

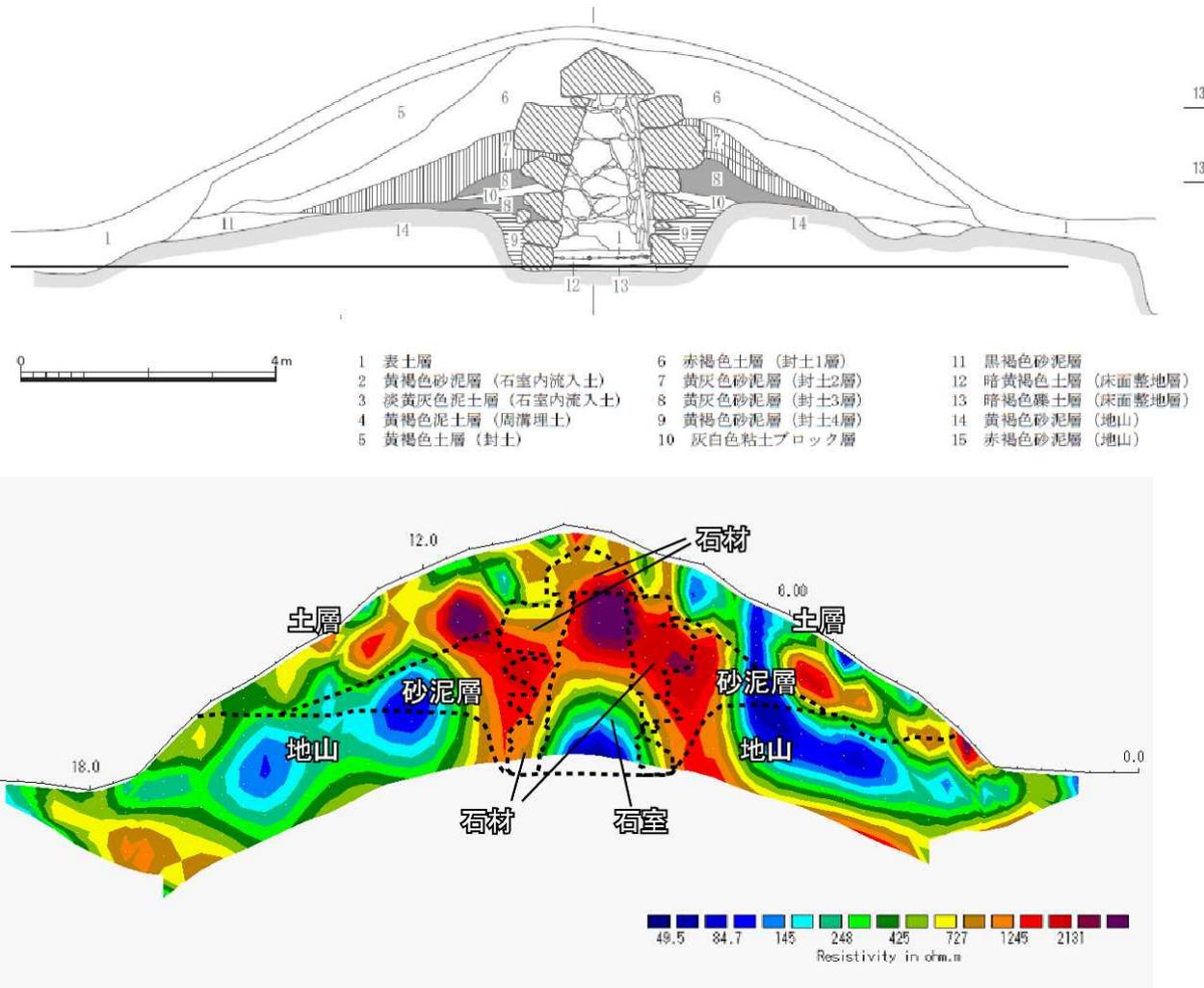


Fig.3 Top: Internal structure of reconstructed tumulus (Kyoto City Archeological Research Institute, 1989). Bottom: Resistivity structure inferred by the 2-D inversion

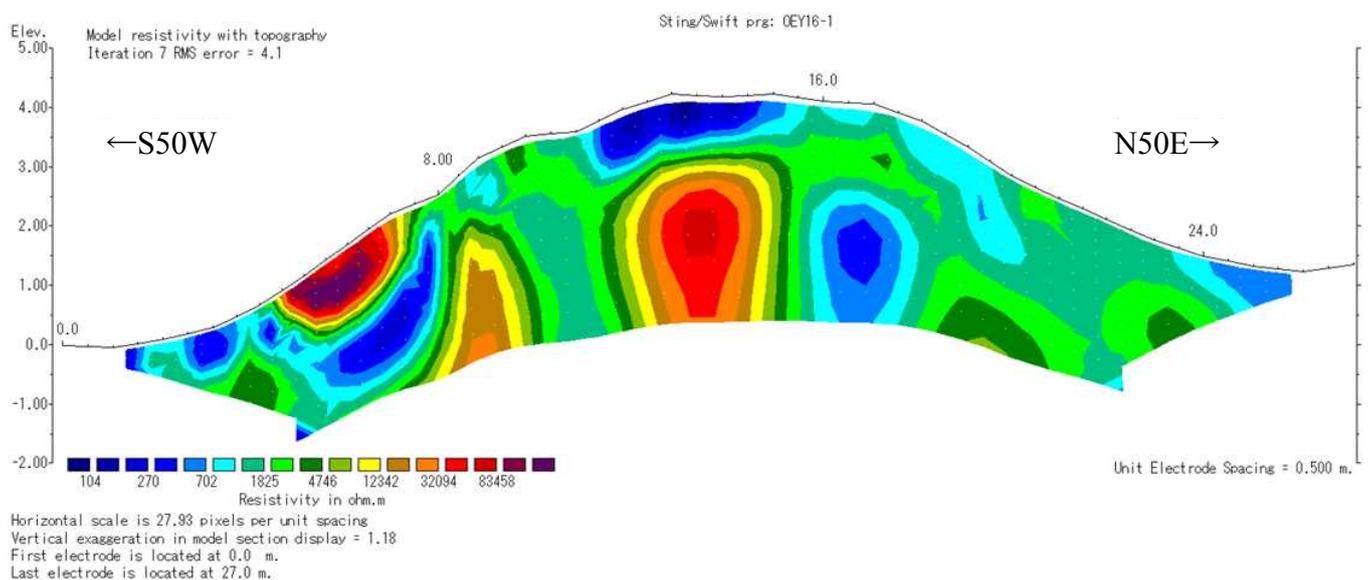


Fig. 4 Resistivity structure of unexcavated tumulus inferred by the 2-D inversion