

日本の古墳のミュオンラジオグラフィによる考古学的研究

石黒 勝己*¹ 西藤 清秀*²

Ishiguro Katsumi

Saito Kiyohide

1. はじめに

ミュオンラジオグラフィは、考古学の世界において新たな遺構探査技術になりつつある。考古学における地下遺構の探査には、超音波や電気を地下に送り、その抵抗を記録するためには探査したい場所に直接探査機材の設置が必要である。その点、ミュオンラジオグラフィは、記録を取りたい場所に機材の設置をしなくても記録が取れるため、非常に有効な探査手段といえる。特に3世紀頃の高い盛土の中に石室等の埋葬施設を設けた古墳の調査には有効である。その中で日本最古の前方後円墳であり、卑弥呼の墓とも推定されている奈良県桜井市の箸墓古墳(図1)は、現在、宮内庁が倭迹迹日百襲姫命(やまとととひももそひめのみこと)の墓として管理する陵墓参考地であるため、一般に人の出入りは禁止されており、直接的な地下探査はほぼ不可能である。



図1 箸墓古墳(奈良県桜井市)

しかし、筆者らは埋葬施設の可視化を目的としてミュオンラジオグラフィを応用し、調査研究を進めてきた。次章以下に箸墓古墳の埋葬施設透視に至る研究過程を紹介する。

2. 調査経過と方法

ミュオンラジオグラフィはレントゲン写真のような内部画像を大規模構造物に対して作成する技術である。ただし放射線はX線の代わりに透過力の高い宇宙線ミュオンを用いる(図2)。箸墓古墳の透視を実施する前に、2013年より横穴式石室が実見できる石神古墳での石室の透視¹⁾、西乗鞍古墳での墳丘透視²⁾に関わるミュオン調査を行い、2016年12月から未発掘の春日古墳(図3)の内部画像化を実施した。春日古墳は斑鳩町、法隆寺近く

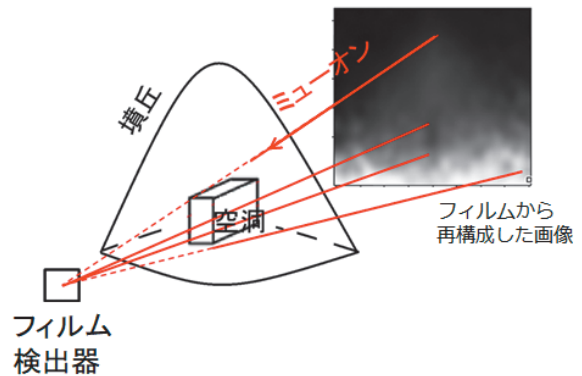


図2 ミュオンラジオグラフィ概略図

空から古墳を貫通してきたミュオンをフィルム等の検出器でとらえる。ミュオンの飛来角度の異方性から画像を再構成すると古墳内部の投影図のような画像が得られる

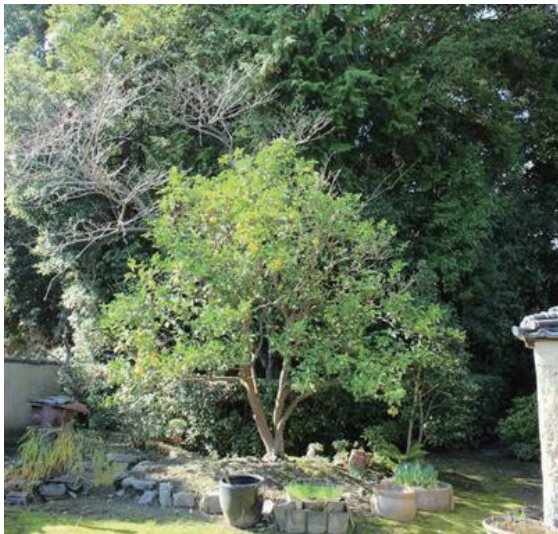


図3 春日古墳 (奈良県斑鳩町)



図4 藤ノ木古墳より出土した石棺内

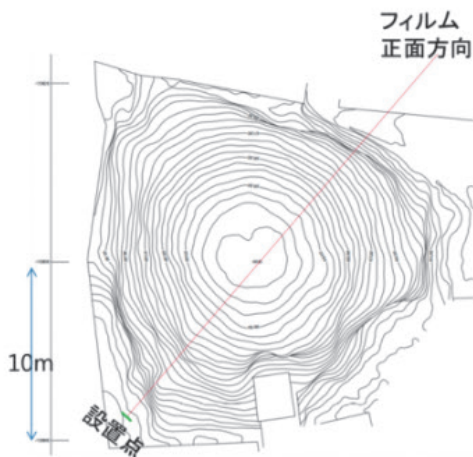


図5 春日古墳のフィルム設置箇所



図6 春日古墳に設置した検出器とその設置台

の古墳で著名な藤ノ木古墳に近接する円墳である。藤ノ木古墳は豪華な金銅製の履物等と共に2体の埋葬者が同一棺に葬られた6世紀後半の古墳であり(図4)、春日古墳との関係は重要である。春日古墳の墳丘の外、古墳南西側にA4サイズの原子核乾板を3か月間置いておきミュオン計測をした(図5, 図6)。これは、原子核乾板というミュオンに感度を持つように高感度化したフィルムである。現像後のフィルムを顕微鏡で見ると宇宙線ミュオンの通った跡が写っていることが1本1本確認できる(図7)。フィルムの乳剤は10分の1mm程度に厚く塗られておりミュオンの飛来方向も分かる。宇宙線ミュオンは空から降り注いだ後10mの土砂が遮蔽として存在していると約半分が減ってしま

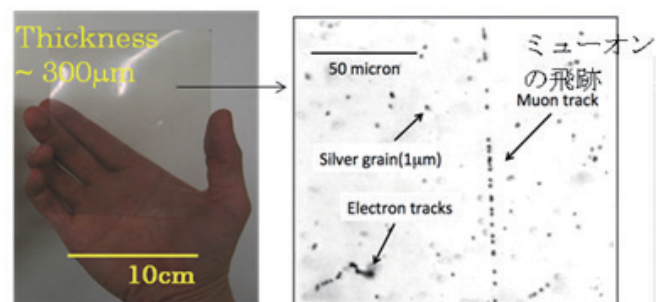


図7 原子核乾板とその拡大顕微鏡画像

う。しかし古墳の埋葬施設が空洞として残っていればそちらの方向からのミュオンは多く検出されることになるため統計をとることで空洞の存在する方向や大まかな形状を検出することができる。

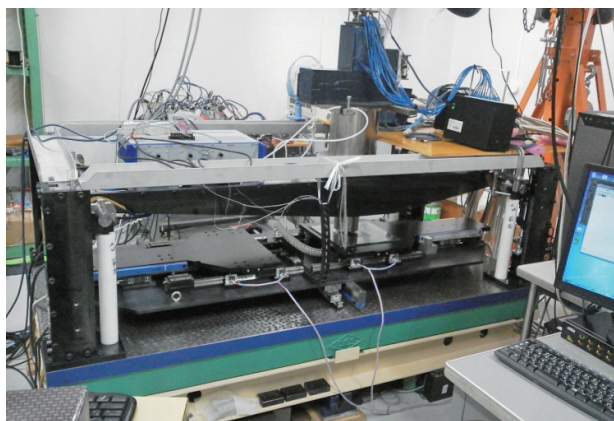


図8 自動飛跡読み取りステージ

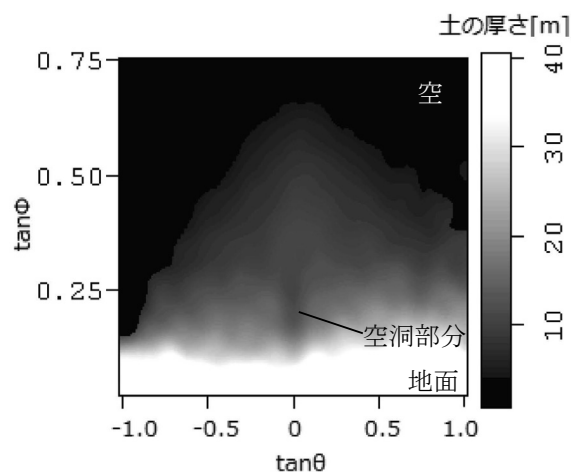


図9 春日古墳の内部画像:土の厚さの違いが表されている。X軸は方位角 $\tan \theta$, Y軸は仰角 $\tan \varphi$

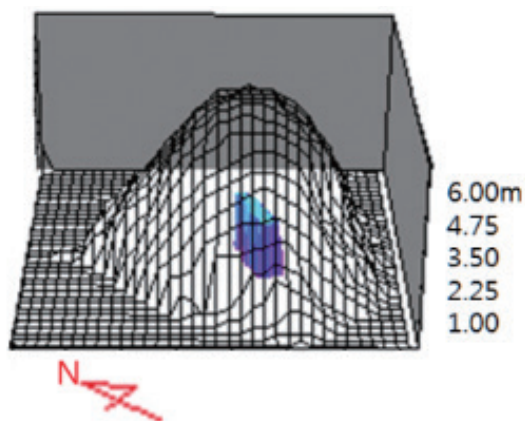


図10 春日古墳の内部空洞の方向

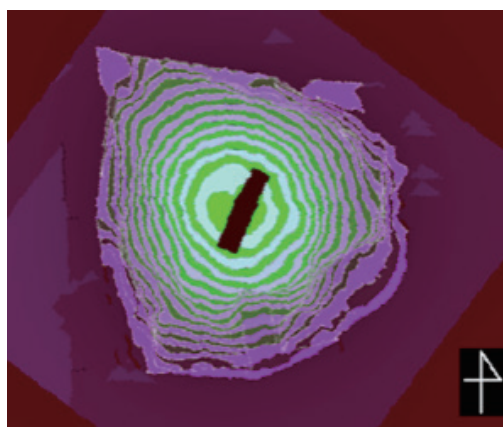


図11 春日古墳の内部空洞の方向 (上部から)

現像後の原子核乾板を自動顕微鏡ステージ(図8)^{3,4)}でスキャンして総数約100万本のミュオンの方向分布を得、これを土の厚さに変換することで画像化を行った(図9)。得られた絵は土の厚さの場所ごとの違いを表しており、古墳の低い部分では古墳中心方向が周囲の部分よりも薄く検出されている。これは墳丘の外形では説明できず、古墳中心部に奥行き 6.1 ± 0.5 mの空洞が存在していることが分かった。

更にいろいろな方向の空洞を仮定したシミュレーションと比較をすることで埋葬施設の形状の推定を行っている。図10、図11のような立体画像が最もデータと合致しており、石室の方向を表していると考えている。これを周辺の藤ノ木古墳とも比較した。藤ノ木古墳の埋葬施設は、南東から中心方向に横穴式石室が作られている(図12、図13)。先行研究では春日古墳と藤ノ木古墳に深い関係があった場合、両者で違うタイプの埋葬施設が作られている可能性

があると指摘されているが⁵⁾、本研究では空洞の方向に違いが見られたものの明らかな石室タイプの違いは検出されなかった⁶⁾。

3. おわりに

石神古墳、西乗鞍古墳、春日古墳での計測の結果を踏まえ、当初の目的であった大和政権の成立に重要な位置を占める日本最古の前方後円墳、箸墓古墳の計測を2018年12月から実施している。箸墓古墳の計測には検出器の設置箇所は限られるため地域の方々とも相談し、市有地に加えて畑、民家の塀等の私有地にも設置し、フィルムを写真のように張り付けた(図14、図15)。このように塀の裏数mmの空間があれば設置できるのは原子核乾板の強みである。検出器の改良も行っている。これまでは夏季の計測中にはフィルムが経時的に黒化し、最終的に読み取れなくなる問題があった。このためフィルムを



図 12 藤ノ木古墳

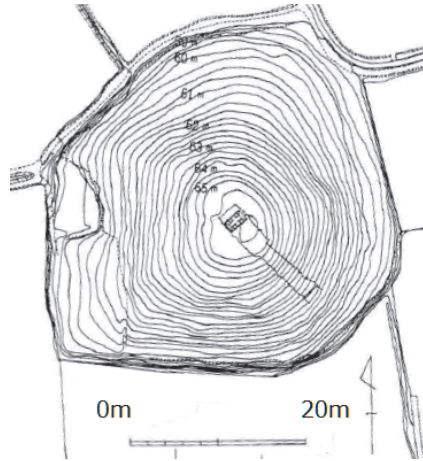


図 13 藤ノ木古墳の横穴式石室



図 14 箸墓古墳周辺の畑へのフィルムの設置



図 15 箸墓古墳周辺の民家壁へのフィルムの設置

頻繁に取り換えるか夏季の計測を避ける必要があった。この原因はフィルムの遮光パックから微量に発生している水素ガスが高温下における化学反応の促進でフィルムの増感剤として働きノイズであるランダムな黒点を増やしていたためであることが分かった。現在はパックをガスの発生が少ない無添加ビニールを用いた素材で作り直すことでフィルムの黒化をほとんど防げるようになり全シーズン計測可能になった。

箸墓古墳は事前に西藤清秀らが、古墳の外形を航空機からレーザー計測しており⁷⁾、今後はこの結果を利用したシミュレーションとミュオン計測した内部透視データを比較して解析を行っていく。どのような結果が得られるか楽しみである。

参考文献

- 1) 石黒勝己 ほか「宇宙線ミュオンを用いた古墳埋葬施設の解析」2014年度 日本文化財科学会概要集

- (2014)
- 2) Ishiguro Katsumi, Saito Kiyohide, “Study of cultural properties by the technique of cosmic ray physics” IcMass2019 abstracts (2019)
- 3) K. Hamada, *et al.*, *Journal of Instrumentation*, 07001 (2012)
- 4) Masahiro Yoshimoto, *et al.*, “Hyper-track selector nuclear emulsion readout system aimed at scanning an area of one thousand square meters”, PTEP Volume 2017, Issue 10 (2017)
- 5) 奈良県立橿原考古学研究所「斑鳩町の古墳」斑鳩町教育委員会 (1990)
- 6) 石黒勝己 ほか「ミュオンラジオグラフィーによる春日古墳墳丘内部画像の作成」日本文化財科学会 35 回大会研究発表要旨集 (2018)
- 7) 藤井紀綱 ほか「ヘリコプター搭載航空レーザー計測データによる大型古墳の 3D 表現」月刊考古学ジャーナル, 672 (2015)

(*1 名古屋大学, 奈良県立橿原考古学研究所,
*2 奈良県立橿原考古学研究所)