

地下レーダによる軽石下の遺構分布調査

—群馬県子持村：黒井峯遺跡，西組遺跡ほか—

坂山利彦¹⁾・長田正樹¹⁾・田村晃一¹⁾・石井克己²⁾

1. はじめに

群馬県子持村は、群馬県のほぼ中央、榛名山と赤城山に挟まれた利根川と吾妻川が合流する地域に位置する。

子持村の一带は、6世紀中頃の榛名山二ツ岳の噴出に伴う降下軽石層によって厚く覆われており、この軽石層の下から古墳時代の集落跡が次々と発見されている。これらの遺跡は、古墳時代における集落の構造や生活の様式を教えてくれるだけでなく、火山災害による集落の崩壊の過程を生々しく伝える貴重な遺跡である。2m以上もの軽石層の下に埋没した古墳時代の集落は、この軽石層によって、ほぼ1,400年もの間完全な形で保存されてきた。

このような軽石層下の古墳時代の遺跡として、現在、黒井峯遺跡（集落）、西組遺跡（集落）、田尻遺跡（古墳群）が発掘、確認されている。これらの遺跡では、発掘調査に先立って、地下レーダによる探査を導入し、軽石層下の住居跡などの遺構の検出や、遺跡範囲の確認に効果をあげることができた。

本論では、これらの遺跡における地下レーダ探査の結果について述べ、軽石層下の遺構分布調査に対する地下レーダの適用性について検討する。

2. 地形・地質と遺跡分布の概要

子持村は、利根川と吾妻川の合流点の北西部にあって、その地形は、図1に示したように、北側の子持山と、その南麓傾斜面、および河川沿いに形成された4～5段の段丘面からなっている。

黒井峯遺跡は、吾妻川に面した河岸段丘最上段（海拔250m）に位置する。この段丘面の東側は、子持山より南北に流れる小河川によって、また、その北側は東西に流れる小河川と谷地形によって、台地状に分割され、南側と東側には段丘崖が発達している。遺跡の位置する台地の広さは約160,000m²の面積を有している。

西組遺跡は黒井峯遺跡の北側、小谷を挟んで隣り合う段丘面上に位置する。また田尻遺跡は、黒井峯遺跡の東側、黒井峯遺跡よりは1段低位の段丘面上に位置する。

これらの遺跡はいずれも、子持山南麓傾斜面から平坦面に移る上位段丘面上に形成されたものである。この地域の土層構成上の最大の特徴は、当地域の南西約10kmに位置する榛名山二ツ岳の噴火によ

1) 応用地質株式会社地盤工学研究so：336 埼玉県浦和市太田窪2-2-19

2) 群馬県子持村教育委員会：377-02 群馬県北群馬郡子持村大字吹屋384



図1 調査地の位置図
Fig.1 Location of sites where surveys were carried out.

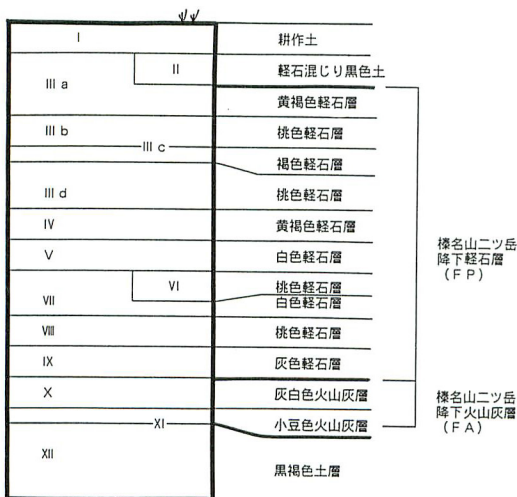


図2 調査地の土層構成の概要
Fig.2 Standardized soil column section at Komochi-mura area.

って、最大層厚2.5mにもおよぶ軽石層が厚く堆積していることである。

当地域に分布する土層の模式図を図2に示す。土層の層準は上位から、黒色耕作土(I層)、軽石まじり黒色土(II層)、二ツ岳降下軽石層(III~IX層)、二ツ岳降下火山灰層(X層, XI層)、黒褐色土層(XII層)となっている。X層上面とXII層上面が、それぞれ6世紀中頃と前半の地表面を形成する。

二ツ岳降下軽石層(FP層)は、約200cm~250cmの層厚を有し、III層~IX層の7層に細分される。粒径は5mmから大きいもので30cm前後のものまでが含まれているが、平均的には3~4cmのものが多い。色調としては、白色、褐色がかったもの、淡い桃色のものなどが観察される。軽石層の下の二ツ岳降下火山灰層(FA層)は約20cm前後の層厚を有し、X層, XI層の2層に細分される。降下堆積物のほか、炭化物を微量に含むベースサージ(熱を持った爆風)に伴う堆積物、水蒸気爆発に伴う水分を多量に含んだ堆積物などが認められている。

後述するように、地下レーダにおいては、これらの地層境界のうち、軽石混じり黒色土(II層)と軽石III層の境界、軽石III層と軽石IV層の境界、軽石IX層と火山灰層(X層)の境界、火山灰層(XI層)と黒褐色土層(XII層)の境界が反射面としてとらえられている。

3. 地下レーダ探査の方法と遺跡調査への利用

当地域は2mを超える軽石層に厚く覆われ、現在の地表面からは遺跡の存在を窺わせる徴候すら見出すことは困難な状況である。しかし、この軽石層は、軽量ブロック材の原料として採

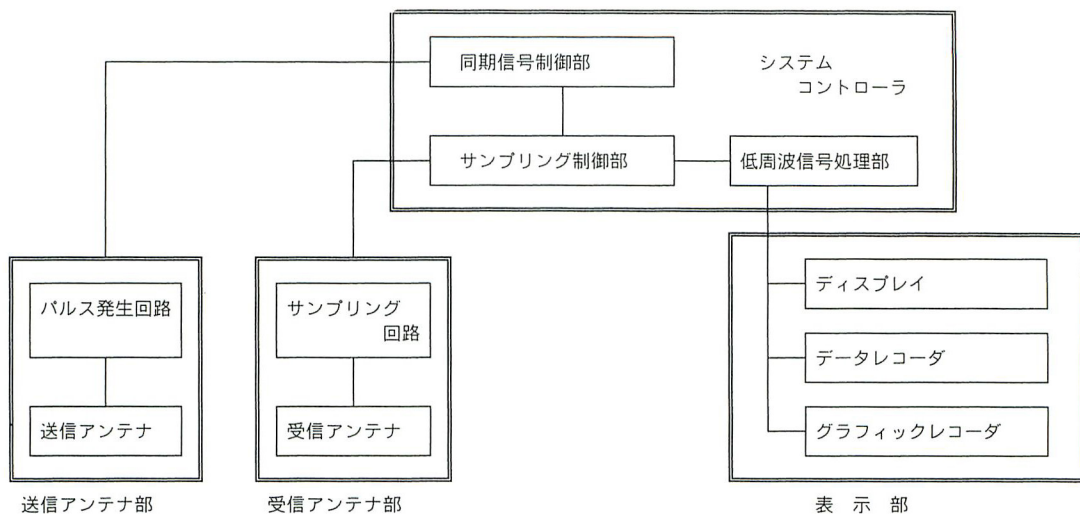


図3 地下レーダシステムのブロックダイアグラム

Fig. 3 Schematic block diagram of the ground probing radar system.

取、利用されていたため、その採取現場から遺構が検出され、この地域一帯には古墳時代の遺跡の存在が推測されていた。このような状況のもと、遺跡の分布状況を明らかにするため、地下レーダ探査を実施することになった。

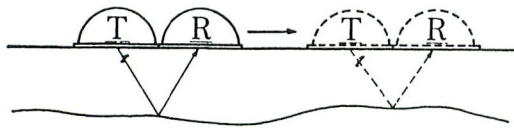
地下レーダ探査は、地表面において、非常に短い時間（1 nanosec～数 nanosec）内に広域バンドパルス電磁波を放射し、この電磁波が地下において反射して、再び地表にもどってくる波をとらえることによって、地下の構造を調べるものである。一般的な地下レーダシステムの構成を図3にブロックダイアグラムで示す。

この地下レーダシステムは大別すると、送信アンテナ、受信アンテナ、システムコントローラおよび、各種の外部記録装置から構成されている。送信アンテナから放射される電磁波パルスは、立ち上がり時間が数 nanosec の 100 MHz～数 MHz の周波数帯域を有する広域バンドパルスである。送信アンテナから放射された電磁波パルスは、地下の反射面で反射し、受信アンテナによって受信される。受信信号は、サンプリングブリッジ回路によって可聴周波数帯域の電気信号に変換され、システムコントローラに入力される。システムコントローラにおいては、反射波形をより識別しやすいように、入力信号に対して各種の信号処理が行われる。そして、信号処理された出力信号は、データレコーダに収録されるとともに、グラフィックレコーダなどの出力装置に可視記録として表示される。

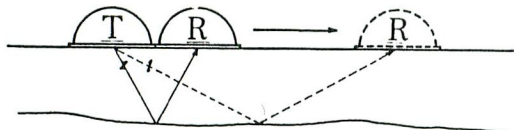
測定方法は、まず図4に示したプロファイル測定が行われる。この方法は、地表に送信アンテナと受信アンテナを一定間隔で設置し、これを決められた測線に沿って連続移動して測定する。このような測定によって、測線下の反射面の形状が時間断面としてグラフィック記録上に得られ、反射面の起

T:送信アンテナ

R:受信アンテナ



(a) プロファイル測定



(b) ワイドアングル測定

図4 地下レーダ探査の測定法

Fig. 4 Survey methods in ground probing radar exploration. (a) Profiling method.

(b) Wide angle method.

伏の変化や反射体の位置を直接的に把握することができる。

プロファイル測定で得られた反射時間断面から反射面の深度を求めるためには、地中を伝播する電磁波の速度の値が必要であり、そのために、代表的な地点においてワイドアングル測定が実施される。この測定方法は、送信アンテナを1ヶ所に固定し、受信アンテナだけを徐々に遠ざけるように移動し測定する。その測定によって、地中を伝播する電磁波の距離増加に伴う走時変化を把握することができ、地中における電磁波の伝播速度が求められる。

地盤内を伝播する電磁波は、主として、土の誘電率が変化する境界面、すなわち、土の空隙率や含水率の変化する境界面において反射する。

このような面としては、砂質土層と粘性土層の境界面などのような地層境界面や土質境界面、土の締め固め状態の急変面、地下水浸潤面などがあげられる。

遺跡がある場合には、旧生活面や遺構の上面を境として土質が変化しており、これらの境界面が反射面として地下レーダでとらえられることになる。すなわち、竪穴式住居跡、水路跡、堀跡などは後世に堆積した土に埋もれており、それらの起伏が反射面となって、また、土中の遺物や古墳内部の石室などは、それ自体が局所的な反射体となって、地下レーダ記録上にとらえられる。

今回の調査は、古墳時代の旧地表面、すなわち、降下軽石層の底面の起伏をとらえることによって、軽石層下に埋没している遺構を明らかにしようとする目的であった。調査には、地下レーダ装置として、Georadar-IIシステム（応用地質株式会社製）を使用した。このシステムのアンテナ周波数は350 MHz（中心周波数）である。

4. 地下レーダ探査結果による遺構分布状況

降下軽石層が厚く堆積している、黒井峯遺跡の地域で得られたプロファイル測定記録とワイドアングル測定記録を図5に示す。

プロファイル記録には、反射往復時間で約50 nanosecの付近に明瞭な反射が認められ、この反射往復時間に相当する深度に、はっきりとした地層境界が存在することを示している。ワイドアングル測定結果によれば、この反射面までの電磁波伝播速度は9.3 cm/nanosecを示し、その深度は約250 cmであることが求められる。この反射面深度はまさに降下軽石層の底面に対応するものであり、地下レー

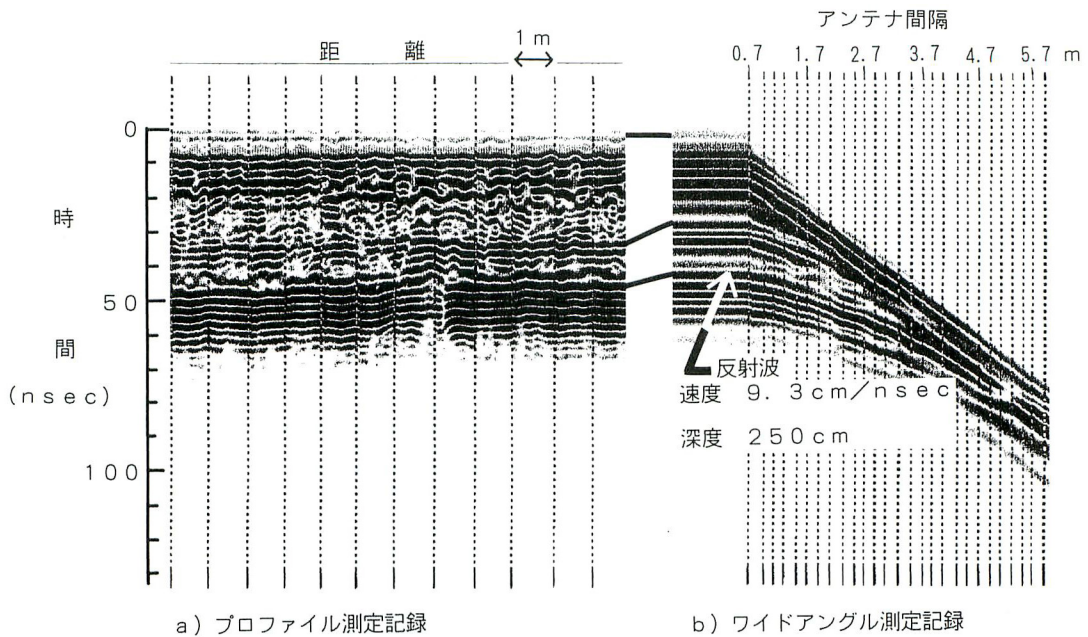


図5 調査地における地下レーダ記録
 Fig. 5 An example of radar records by means of profile measurements, (a) and wide angle measurements (b) at the Kuroimine site.

グによって、古墳時代の旧地表面が明瞭にとらえられることが分った。

また、既に、黒井峯地域の一部では、降下軽石層の下から竪穴式住居跡や古墳が発掘、確認されており、地下レーダによってとらえられる古墳時代の旧地表面の起伏の規模や形状から、遺構の存在を推定することが可能であった。

図6～図9に地下レーダによってとらえられた遺構の代表的な記録を示す。図6に示した記録では、測定距離20m～29m付近にかけて旧地表面が局部的に窪んでいる様子が明瞭にとらえられている。このような窪みは、当時既に廃絶された竪穴式住居跡の床面が埋まり切らずに残っている落ち込みによるものであり、住居跡の存在を明確に指摘することができる。

図7の記録は、竪穴式住居跡の床面の落ち込みと同時に、住居跡周辺の周堤帯も明瞭に表われている。周堤帯を含めて住居跡の広がり、約20mに達しており、掘り込みの深さも深く、比較的大きな住居跡であることがよく分かる。

図8の記録は、測線距離0m～16m付近にかけて旧地表面が激しく起伏していると同時に、その上層部からの反射の乱れも大きい。先に示した図6、図7の場合は、住居跡の床面だけが残されて埋没したものと見られるが、この場合には、住居が上部構造物も押し潰されるように、軽石層中に埋没しているものと考えられる。また、測定距離8.5m付近には、やや深い位置に局所的な反射が表われて

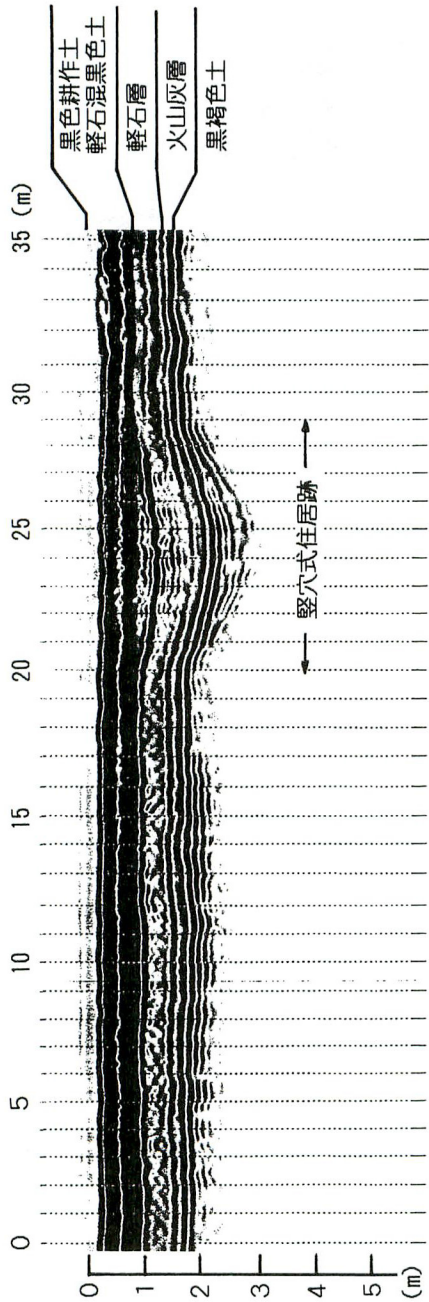


図6 地下レーダ探査記録 (竪穴式住居跡)

Fig. 6 Profile section showing a pit dwelling. Moderate depression of top black soil layer can be interpreted as a house at Kofun period.

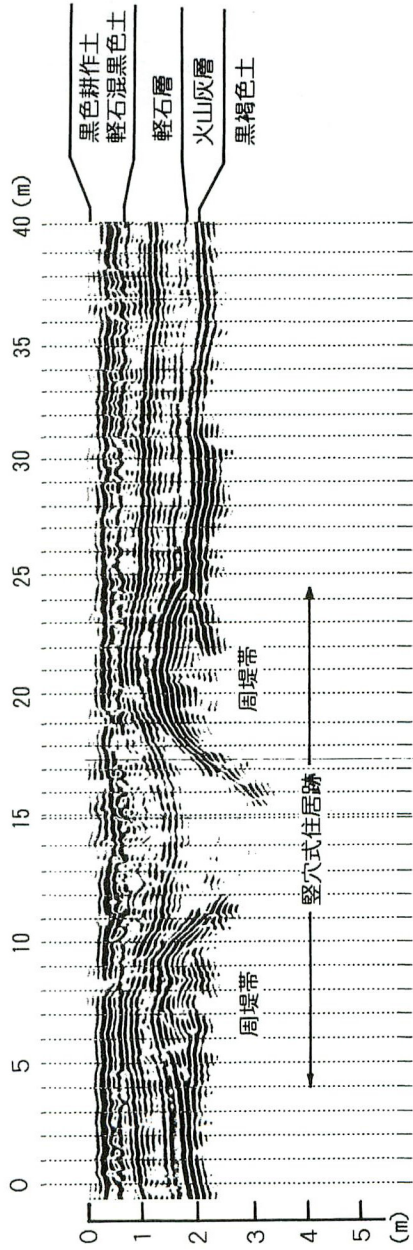


図7 地下レーダ探査記録 (竪穴式住居跡)

Fig. 7 Profile section showing a pit dwelling. A rise of top black soil layer surrounding the depression is embankment-like structure related with a house peripherally.

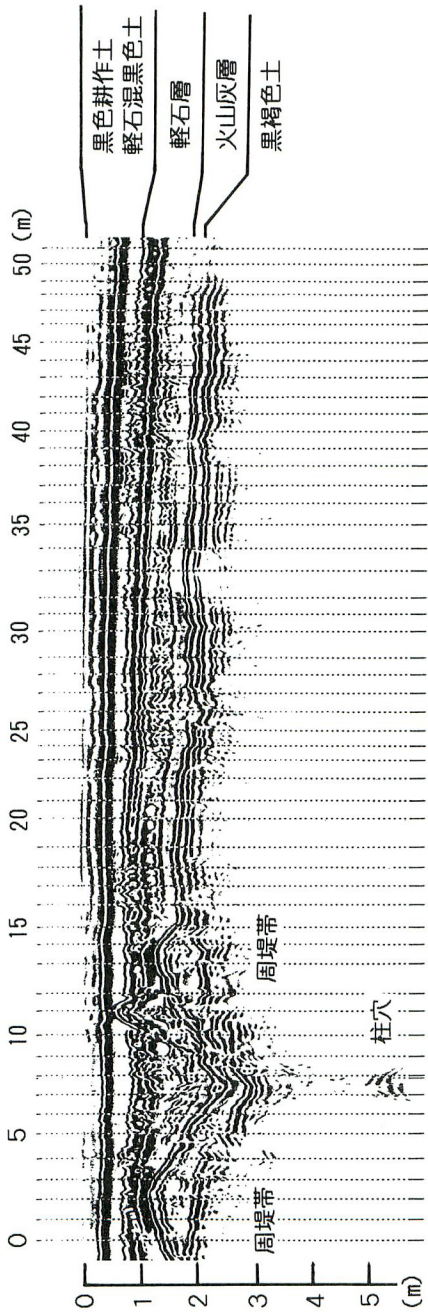


図8 地下レーダー探査記録 (竪穴式住居跡)
 Fig.8 Profile section showing a pit dwelling. In this record, disturbance in pumice layer suggests that a house collapsed during or just after a period of falling of pumice.



図9 地下レーダー探査記録 (埋没古墳)
 Fig.9 Profile section showing a mounded tomb which buried under pumice. Peripheral moat surrounding the mound is also shown.

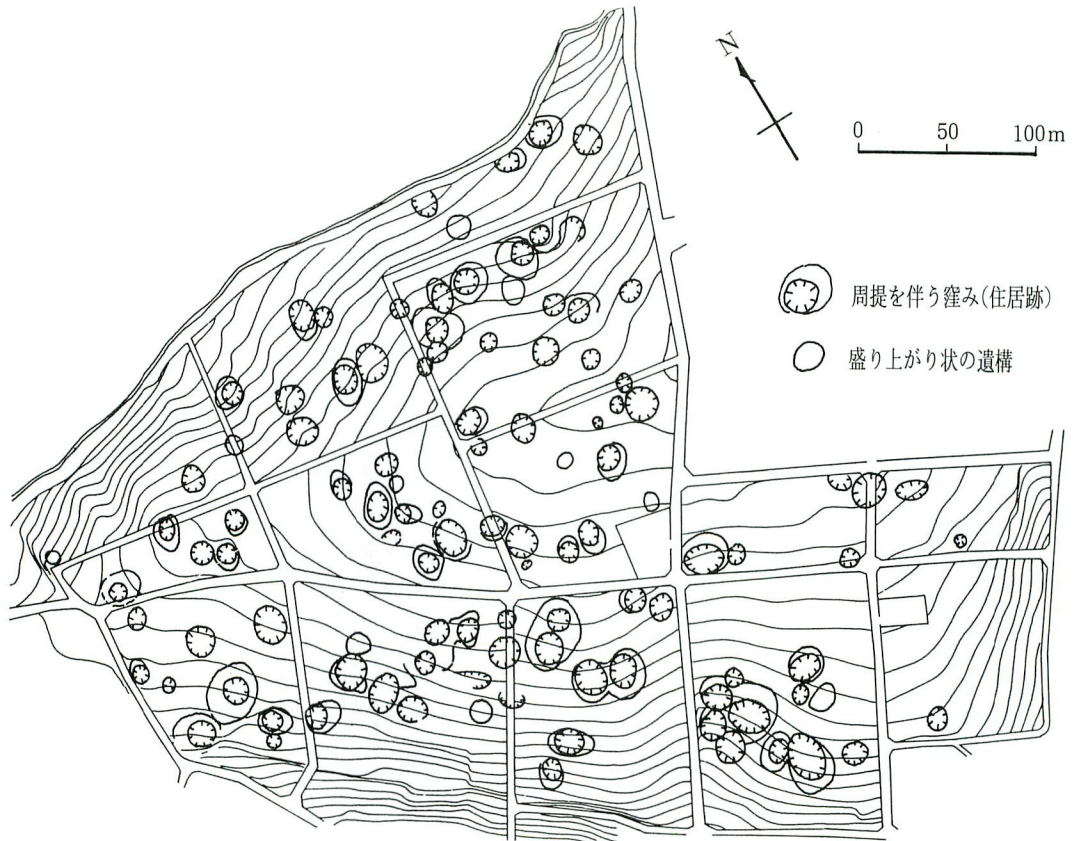


図10 黒井峯遺跡での遺構分布推定図

Fig.10 Estimated location of pit dwellings buried under pumice layer at the Kuroimine site.

おり、柱穴状の遺構があるものと推定される。

図9の記録は、軽石層の下に完全に埋没した古墳の形成をとらえた記録である。墳丘による盛り上りとともに、墳丘の盛土内部の堆積状況や墳丘を巡る周溝も明瞭に表われている。

このような地下レーダ探査の結果、黒井峯遺跡、西組遺跡は竪穴式住居跡を主とする集落跡、また、田尻遺跡は古墳群となっていることが分った。図10に地下レーダによって推定された黒井峯遺跡の住居跡の分布状況を示す。黒井峯遺跡では、約80,000m²の調査面積の中に10m間隔で地下レーダ測線を設定し、100ヶ所を超える住居跡が検出された。そのうち約27,000m²の範囲で発掘調査が行われ、大量の軽石の降下という火山災害にみまわれた古墳時代の集落の姿がほぼ完全な形で発見された。

5. 発掘結果による地下レーダ記録の解釈

黒井峯遺跡では、比較的広い範囲にわたって発掘調査が行われ、その発掘結果と事前に実施した地下レーダ探査の結果とを詳細に比較することができた。発掘結果との比較によって、当初、解釈が困

難であった地下レーダ記録についても、遺構との対応をより具体的に把握することができた。以下では、このような記録例を示し、そこから読み取れる解釈と遺構の状況について検討する。

図11に示した地下レーダ記録では、軽石層の底面からの反射と軽石層の中間層からの反射が明瞭に表われている。いずれの反射面もほぼ平坦であり、軽石層が水平成層状態で堆積していることを示しているが、測線距離16m～26mの間で、軽石層内からの反射が大きく乱れている。このように反射が乱れる場所は、黒井峯遺跡の中で何ヶ所か検出されていたが、発掘の結果、これらは平地式住居が立っていた場所であることが分った。

また、軽石層の中間層からの反射は、軽石Ⅲ層と軽石Ⅳ層の境界面からの反射であり、Ⅲ層とⅣ層の軽石の降下時刻の間には時間的に開きがあったことも発掘によって確認された。以下では、軽石の降下時間の異なる軽石Ⅲ層と軽石Ⅳ層～軽石Ⅸ層を、それぞれ全体的な色合から褐色軽石層、白色軽石層と呼んで区別することにする。

平地式住居による反射記録の乱れを細かく見ると、白色軽石層の上面が住居の近傍で一旦盛り上がりを見せ、住居の中心部で一気に落ち込んでいることが分かる。このことは、白色軽石層の軽石が降下した時点では、住居は倒壊せず、屋根から落ちる軽石が軒下に厚く堆積し、その後、褐色軽石層の軽石が降下した時点で、屋根の崩壊が起こったことを示すものであった。

図12に示した地下レーダ記録では、図11と同様に、測線距離18m～24m付近にかけて、軽石層からの反射に乱れが見られる。しかし、この地下レーダ記録では、反射の乱れの近傍で軽石層の中間層の反射面に盛り上がりが見られず、また、測定距離21mを境に、軽石層底面の深さや中間層の堆積にわずかな違いが見られる。これは、軽石層に埋没した柴垣による堆積状態の変化をとらえたものである。

以上の例のように、軽石層底面の旧地表面の起伏だけでなく、軽石層内の堆積状況の変化によっても遺構の存在を検出できることが明らかになった。

この他、特徴的な遺構として、道路跡、畝の畝跡による地下レーダ記録を図13、図14に示す。道路跡の記録では、道路部分が周辺よりやや高まっており、その中央部にはわずかな窪みが見られる。中央部分は、人間が歩くことによって踏み締められた部分であると推定される。また、畝の畝跡は、規則的な起伏が見られる記録となっている。この記録では、畝幅が広く表われているが、畝の方向と地下レーダ測線の方向が斜めに交差したため、見掛け上畝幅が広く表われたものと考えられる。

黒井峯遺跡に隣接する西組遺跡では、以上のような解釈を取り入れることによって、竪穴式住居の他、平地式住居跡、柴垣、道路跡などの分布をさらに細かく推定することができた。図15に地下レーダ探査によって推定された西組遺跡の遺構分布を示す。西組遺跡では、各遺構の分布状況をより詳細に把握するため、5m間隔で地下レーダ測線を設定した。また、遺構の集中する部分では、主測線に直交する方向の副測線を設定した。

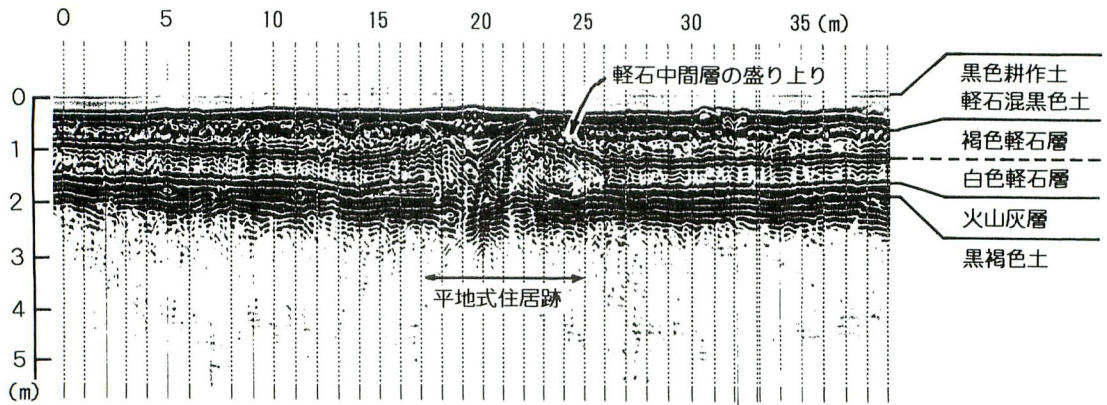


図11 地下レーダ探査記録（平地式住居跡）

Fig. 11 Profile section showing a building with pillars embedded directly in the ground.

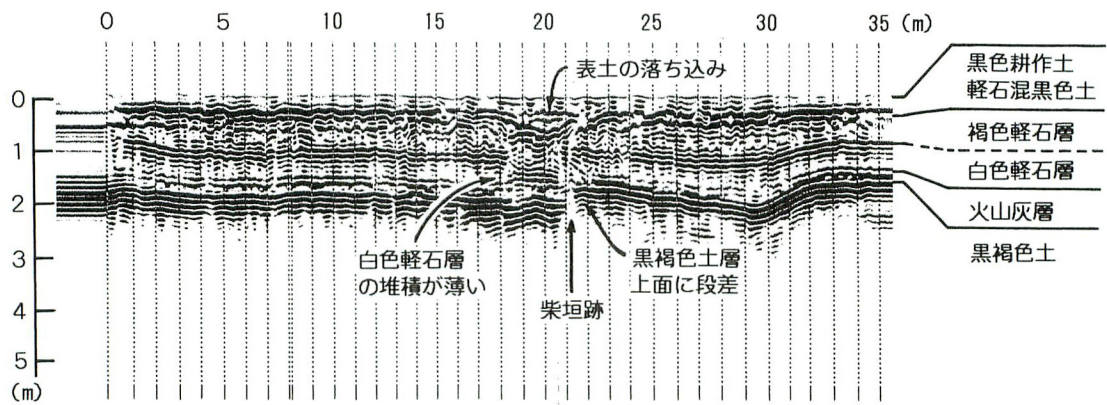


図12 地下レーダ探査記録（柴垣）

Fig. 12 Profile section showing hedge enclosed one housing unit.

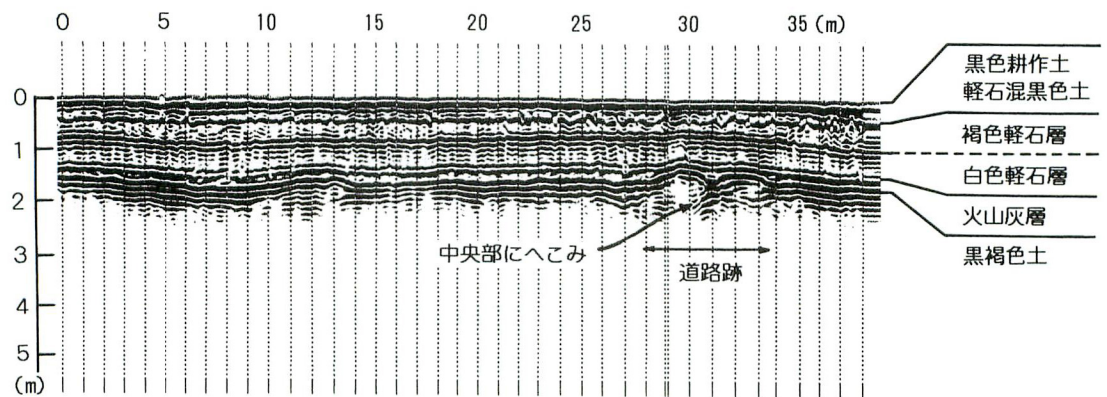


図13 地下レーダ探査記録（道路跡）

Fig. 13 Profile section showing ancient road.

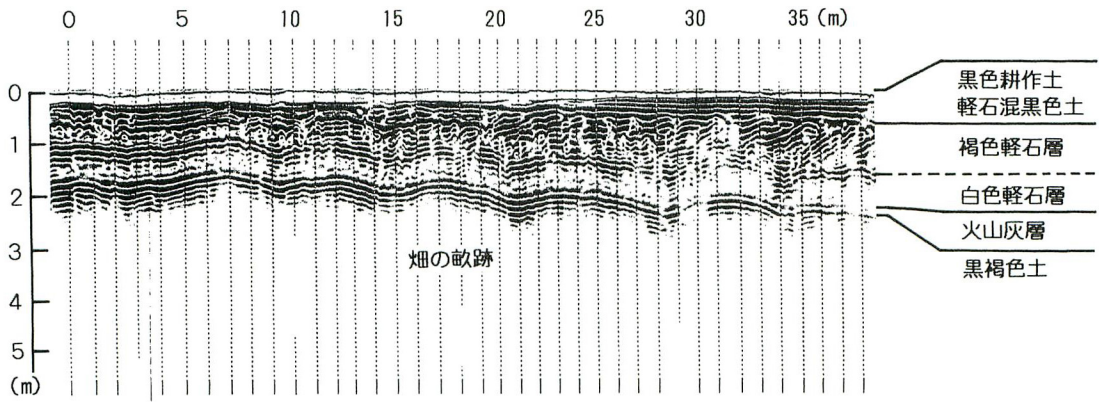


図14 地下レーダ探査記録 (畑の畝跡)

Fig. 14 Profile section showing ploughed field where ridges were raised up at nearly equal interval.

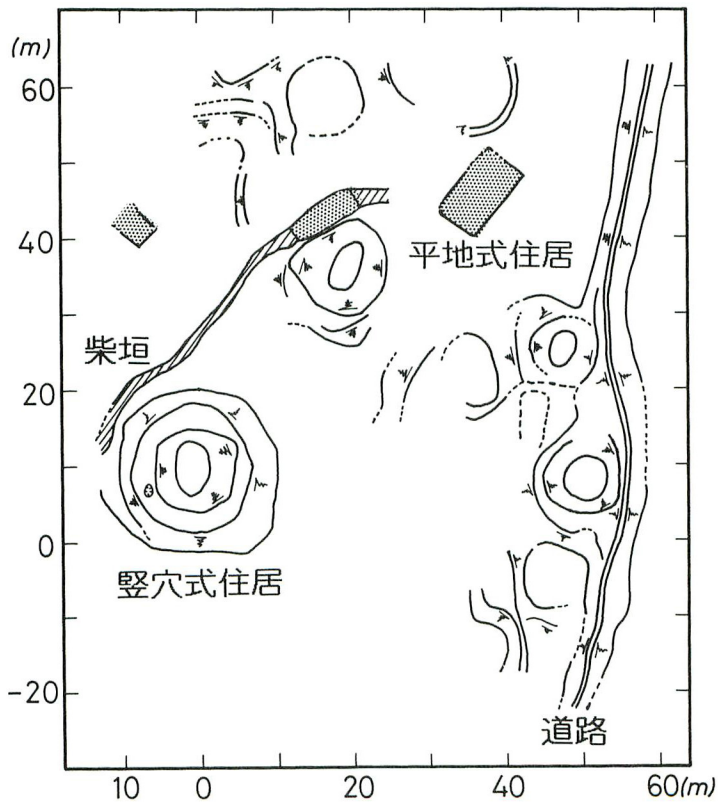


図15 西組遺跡における遺構推定分布

Fig. 15 Buried structural remains estimated from radar exploration at the Nishigumi site.

6. 地下レーダの適用性と今後の課題

黒井峯遺跡を初めとする子持村内の遺跡において、地下レーダ探査は、遺構分布調査の方法として、極めて有効な調査法であることが分った。これまでの調査結果によれば、当地域における地下レーダの適用性は次のようにまとめられる。

- ① 地下レーダ探査は、全くの非破壊調査法であり、現在の地表面の上から比較的簡便に地下を探ることができる。コンニャクの栽培を中心とする当調査地域においては、これらの作物の栽培が終了した時期を利用して、短期間で広い範囲の調査が可能であった。
- ② 更に、当地域に厚く堆積している軽石層は、電磁波の透過性が良く、また、その底面となっている軽石層（FP層）と火山灰層（FA層）の境界や火山灰層（FA層）と黒褐色土層の境界が電磁波の良好な反射面となっている。これらの境界面の起伏が地下レーダでとらえられ、古墳時代の遺構の判別の有力な情報となった。
- ③ 軽石層内においても、軽石Ⅲ層と軽石Ⅳ層との境界面からの反射がとらえられ、この境界面の乱れの状況からは、住居の上部構造や柴垣など軽石層内の遺構（立体残存遺構）の存在を推定することができた。
- ④ 地下レーダにとらえられた、いろいろな反射記録を解釈する上では、発掘結果との比較、検討が重要であり、検証データの蓄積によって、よりの確な判断が可能となった。また、探査データを参考にすることによって、発掘調査の運営を計画的に進めることが可能となった。

当調査地域は、火山の噴火に伴う降下軽石層が厚く堆積しているという特殊な地質条件の地域ではあったが、地下レーダ探査が、遺構分布調査における有効な調査方法として実証された意義は大きいものと考えられる。

現在のところ、軽石層や火山灰層の地域、およびローム地盤の地域において、地下レーダが有効に使えることが分ってきた。しかし、地下レーダの適用性は、表層地盤の地質条件だけではなく、埋蔵文化財の種類や埋蔵状態によって、大きく左右される。今後は、多くの地域での探査事例を蓄積し、発掘結果との比較、検証を重ねながら検出可能な遺構の種類や条件について検討していくことが必要である。

7. まとめ

黒井峯遺跡は、多量の軽石の降下という突然に襲った火山災害によって、地下に封じ込められた、いわばタイムカプセルであった。昭和60年度、61年度に行われた発掘調査によって、6世紀中頃の集落の姿が生々しくよみがえった。

竪穴式住居を中心として、柴垣によって囲まれた家屋群や区画された畑などが1単位となって、これらが寄せ集めるように集落が構成されていた。一群の家屋群は、平地式建物や掘立柱建物（高床式建物）からなり、これらの家屋群はそれぞれの目的を持って、多様な使われ方をしてきたことがうか

がわれる。さらに、軽石層内からは、建物の上部構造が発掘され、寄棟形式の住居屋根、切妻形式の掘立柱建物が確認された。

このように黒井峯遺跡では、地下レーダによる遺構分布調査と2ヶ年にわたる発掘調査によって、古墳時代後期の社会像を具体的に示す新事実を数多く発見することができた。さらに、黒井峯遺跡周辺では、地下レーダを利用した遺構分布調査と部分的な発掘調査を継続して実施しており、西組遺跡や田尻遺跡の存在やその内容が次第に明らかになっている。今後は、これらの遺跡相互間の関連性を考慮した調査を進めていく必要があるだろう。

参 考 文 献

- 井上唯雄・石井克己(1987) 群馬県黒井峯遺跡の調査。日本考古学協会第52回総会研究発表要旨：46。
- 長田正樹・田村晃一・坂山利彦・石井克己(1988) 地下レーダによる遺構分布調査——群馬県子持村西組遺跡——。昭和63年度日本文化財科学会大会研究発表要旨：22-23。
- 坂山利彦・長田正樹・島裕雅(1986) 遺跡調査への物理探査の適用。応用地質年報 No. 8：73-93。
- 田村晃一・長田正樹・坂山利彦・石井克己(1989) 地下レーダ探査を利用した軽石下の古墳調査例——群馬県子持村田尻遺跡——。日本文化財科学会第6回大会研究発表要旨集：8-9。
- 群馬県北群馬郡子持村教育委員会(1985) 黒井峯遺跡 I ——軽石下の古墳時代集落の調査——。子持村文化財調査報告第2集。
- 群馬県北群馬郡子持村教育委員会(1986) 黒井峯遺跡確認調査概報。子持村文化財調査報告第4集。
- 群馬県北群馬郡子持村教育委員会(1987) 昭和61年度黒井峯遺跡発掘調査概報。子持村文化財調査報告第6集。

Survey of structural Remain under Pumice Layers by Ground Probing Radar
—Kuroimine site, Nishigumi site at Komochi-mura, Gunma Prefecture—

Toshihiko SAKAYAMA¹⁾, Masaki OSADA¹⁾
Koichi TAMURA¹⁾, and Katsumi ISHII²⁾

- 1) OYO Corporation, Daitakubo 2-2-19, Urawa, Saitama 336, JAPAN
- 2) Komoshi village Board of Education, Fukiya 386, Komochi, Gunma 377-02, JAPAN

Komochi-mura is situated at the confluence of the River Tone and River Agatuma at the near center of Gunma Prefecture. The entire environs of Komochi-mura are thickly covered with pumice ash which had been ejected from the eruption of Futatudake of Mount Haruna situated at a distance of about 10 kilometers south-westward from the environs.

Recently, archaeological excavations revealed part of a settlement and its related remains in the 'Kofun' period (middle to later part of the 6th century A. D.), buried under these pumice layers. To investigate the range of site and the location of buried structural remains, we conducted non-destructive survey by mean of ground probing radar at these sites, i. e., Kuroimine, Nishigumi and Tajiri sites. The ground probing radar method is a geophysical method using electro-magnetic waves. From the transmitting antenna on the ground surface, electromagnetic pulses are radiated into the underground. Echoes reflected from underground boundaries, such as between soil strata, are recorded.

The old ground surface of the 'Kofun' period is the top black soil overlain directly with pumice layers; the EM pulses are effectively reflected from this surface because of remarkable difference in electric permittivities. Pit dwellings recorded as hollow places on the old ground surface, and burial mounds as raised places. Besides such comparatively large structural remains, some remains such as the ridges between farm plots and the road are also detectable. As a result of the ground probing radar exploration over the area of 80,000m², we were able to map a gross distribution of remains, and then limit the area of each site.

At the Kuroimine and the Nishigumi sites, excavations followed by exploration showed that a housing unit in an old village consisted of pit dwellings, storehouses (buildings with pillars), farm plot and hedge. At the Tajiri site, a quare-shaped tumulus, which had a mound of about 15 meters in diameter and 1.5 meters in height, was unearthed from the location pointed out by exploration. Because we are able to show possibility of burying other tumuli besied this mound,

this Tajiri site may be characterized as a burial field related to the nearby village like the Kuroimine site. Through the comparison and crosschecking between exploration and excavation, it becomes possible to elucidate the archaeological and geological characteristics on and around the site, and to make out a precise investigation schedule carefully and effectively.