

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	統合的考古探査法の確立
Title(English)	
著者(和文)	阿児雄之
Author(English)	Takayuki Ako
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第6197号, 授与年月日:2005年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor(Philosophy), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第6197号, Conferred date:2005/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

G2004

A  
A

## 統合的考古探査法の確立

東京工業大学 計算工学専攻 亀井宏行研究室

01D38011 阿見雄之

February, 2005

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	現状と課題	1
1.2	目的と意義	2
1.3	本論の構成	2
第 2 章	統合的考古探査法	5
2.1	背景	5
2.1.1	桜井古墳における事例	5
2.2	提案	17
第 3 章	地下三次元構造のモデル化-物理探査データの三次元解析-	19
3.1	レーダ探査-3次元マイグレーション-	20
3.1.1	はじめに	20
3.1.2	レーダ探査概説	20
3.1.3	既存データ処理法の問題	20
3.1.4	3次元マイグレーション	24
3.1.5	シミュレーション	26
3.1.6	天白遺跡探査への適用	26
3.1.7	まとめ	30
3.2	電気探査-三次元抵抗率分布解析-	33
3.2.1	はじめに	33
3.2.2	電気探査概説	33
3.2.3	三次元抵抗率分布解析	34
3.2.4	高松塚古墳への適用	38
3.2.5	まとめ	41
3.3	磁気探査-文化財モデル解析-	43
3.3.1	はじめに	43
3.3.2	磁気探査概説	43
3.3.3	対象文化財に特化した磁性体モデル	43
3.3.4	寺所窠跡への適用	45
3.3.5	まとめ	48
3.4	まとめ	51
第 4 章	歴史・地理情報の導入	53
4.1	歴史知識の導入	54

4.1.1	はじめに	54
4.1.2	解釈過程の明示	54
4.1.3	東大寺丸山西遺跡への適用	55
4.1.4	まとめ	64
4.2	地理情報の利用	65
4.2.1	はじめに	65
4.2.2	GIS-地理情報システム	65
4.2.3	野古墳群への適用	66
4.2.4	まとめ	68
4.3	まとめ	70
第5章	探査の実践	71
5.1	調査票による探査実践	71
5.1.1	遺跡情報	71
5.1.2	探査情報	71
5.1.3	歴史・地理情報	73
5.1.4	結果情報	74
5.2	古墳-複雑な構造を有する遺跡-	75
5.2.1	五塚原古墳-埋葬部推定	75
5.2.2	女鹿山古墳-墳丘形状推定	79
5.3	集落・宮都・寺院など-広範囲に広がる遺跡	88
5.3.1	掬鹿廃寺-寺域推定	88
5.4	窯跡・製鉄遺跡-被熱遺跡-	93
5.4.1	東谷製鉄遺跡-大量の磁性体分布解析	93
5.5	基壇・土壇-現存文化財の探査-	99
5.5.1	鶴林寺-閉鎖空間での調査	99
5.5.2	法隆寺-複数アンテナの使用	105
第6章	結論	111
6.1	結論	111
6.2	今後の検討課題	112
探査遺跡一覧		113
参考文献		115
業績一覧		117
謝辞		119

## 表目次

2.1	桜井古墳レーダ探査条件	12
3.1	天白遺跡レーダ探査条件	29
3.2	高松塚古墳 電気探査条件	38
4.1	東大寺丸山西遺跡 探査履歴	56
4.2	東大寺丸山西遺跡 電気探査条件	56
4.3	東大寺丸山西遺跡 レーダ探査条件	58
5.1	五塚原古墳 後円部探査条件	77
5.2	女鹿山古墳探査条件	82
5.3	倚鹿廃寺探査条件	90
5.4	鶴林寺レーダ探査条件	101
5.5	法隆寺レーダ探査条件	107
6.1	探査従事遺跡一覧	113

# 図目次

1.1	考古探査件数	2
1.2	論文構成	3
2.1	桜井古墳全景写真 出典：図版2 1 桜井古墳全景（南から） <sup>(2)</sup>	6
2.2	赤外線撮影結果 出典：図97 探査判読全体図 <sup>(2)</sup>	7
2.3	ナチュラルカラー撮影結果 出典：図95 判読写真 <sup>(2)</sup>	8
2.4	レーダ探査結果断面図 出典：図103 東側埋葬施設探査データ <sup>(2)</sup>	8
2.5	探査結果解釈図 出典：図113 探査箇所位置図 <sup>(2)</sup>	9
2.6	後方部発掘結果 出典：図57 C区詳細図 <sup>(2)</sup>	10
2.7	発掘結果写真 出典：図版8 1 平成12年度調査状況（真上から） <sup>(2)</sup>	11
2.8	亀井研レーダ探査測線配置および結果解釈図	13
2.9	桜井古墳後方部 タイムスライス図（Time window=56.2-60.9nsec）	13
2.10	桜井古墳後方部 レーダ断面図（南北測線 No.8）	14
2.11	桜井古墳後方部 レーダ断面図（東西測線 No.20）	14
2.12	桜井古墳後方部 タイムスライス図（Time window=23.4-28.1nsec）	15
3.1	レーダ探査模式図	20
3.2	レーダ探査結果断面模式図	20
3.3	シミュレーションモデル	21
3.4	シミュレーション結果図	21
3.5	マイグレーション方法模式図	22
3.6	2次元マイグレーション結果	22
3.7	シミュレーションモデル	22
3.8	シミュレーション結果断面図	23
3.9	center	23
3.10	3次元マイグレーション法模式図	26
3.11	3次元マイグレーションのシミュレーション結果図	26
3.12	天白遺跡	27
3.13	天白遺跡：レーダ探査結果	28
3.14	天白遺跡：磁気探査結果（垂直方向成分）	28
3.15	天白遺跡：レーダ断面図	29
3.16	結果比較	30
3.17	天白遺跡発掘風景	31
3.18	土層断面	32

3.19	レーダ断面図 Y=43m	32
3.20	電極配置 <sup>(11)</sup>	33
3.21	Wenner 電極配置における感度分布	35
3.22	電極ピン設置風景	36
3.23	抵抗率解析の手順	37
3.24	高松塚古墳 南側より 2003.5 撮影	38
3.25	電気探査測線配置図	39
3.26	見掛け比抵抗分布図 左図:南北測線 (Line2), 右図:東西測線 (Line7)	40
3.27	2 次元解析結果図 左図:南北測線 (Line2), 右図:東西測線 (Line7)	40
3.28	解析モデルブロック図	40
3.29	三次元解析結果図	41
3.30	三次元解析結果図 (低抵抗率部分のみ表示)	42
3.31	磁気探査風景 TRM-70D を使用	44
3.32	窯モデル (a) 窯モデル (入れ子構造), (b) 外側の直方磁性体, (c) 内側の直方磁性体	44
3.33	須恵質切妻形家形陶棺	45
3.34	寺所遺跡測量図および探査領域図	46
3.35	磁気探査結果 垂直成分分布	46
3.36	推定された磁性体形状	47
3.37	推定磁性体の平面位置図	47
3.38	推定磁性体の断面	48
3.39	左図:見掛け比抵抗分布 右図:比抵抗分布+推定磁性体	49
3.40	レーダ断面図	50
4.1	東大寺丸山西測量図 京都府立大学考古学研究室作成 (1999.7-2000.4)	55
4.2	電気探査測線配置図	56
4.3	比抵抗探査結果 1 (電極間隔:上段 1.0m、下段 0.5m)	57
4.4	電気探査結果 2 (電極間隔:上段 1.5m、下段 1.0m)	58
4.5	レーダ探査測線配置図	58
4.6	レーダ断面図	59
4.7	上段反射分布図 (20nsec より深い部分の反射)	59
4.8	レーダタイムスライス図	60
4.9	散布瓦	61
4.10	東大寺寺中寺外惣絵図	62
4.11	天地院絵巻	62
4.12	土地利用分析図	63
4.13	江戸時代図	67
4.14	明治時代図	67
4.15	現代図	68
4.16	古墳基準点設定	68
4.17	古墳比定	69
4.18	レーダ探査結果	69
4.19	レーダ探査結果と幾何補正図の統合	69

4.20	電気探査結果	69
4.21	電気探査結果と幾何補正図の統合	69
5.1	調査票	72
5.2	ARCADIA における遺跡情報概念図 <sup>(28)</sup>	72
5.3	ARCADIA における調査情報概念図 <sup>(28)</sup>	73
5.4	ARCADIA における文献情報概念図 <sup>(28)</sup>	73
5.5	ARCADIA における遺物情報概念図 <sup>(28)</sup>	74
5.6	五塚原古墳調査票	75
5.7	五塚原古墳探査領域図	76
5.8	五塚原古墳 後円部探査結果	78
5.9	女鹿山古墳 A block 墳調査票	79
5.10	女鹿山古墳 B block 調査票	80
5.11	女鹿山古墳 C block 調査票	81
5.12	女鹿山古墳測量図：加西市教育委員会作成	82
5.13	電気探査風景：墳丘南側より撮影	83
5.14	レーダタイムスライス図：time window=37.5-40nsec	84
5.15	見掛け比抵抗分布図：WENNER 配置 電極間隔=1.5m	84
5.16	磁気探査結果図：Z 軸成分	84
5.17	A ブロック 東西方向レーダ断面図	84
5.18	全ブロック電気探査結果図：WENNER 配置 電極間隔=1.0m	86
5.19	レーダ断面図：図中矢印が電気探査結果における低比抵抗範囲=推定周壕部	86
5.20	掬鹿廃寺 A block 調査票	88
5.21	掬鹿廃寺探査領域配置図	89
5.22	掬鹿廃寺比抵抗分布図（電極間隔 1.0m）	91
5.23	C block 見掛け比抵抗分布鳥瞰図	92
5.24	東谷製鉄遺跡調査票	93
5.25	磁気探査範囲	94
5.26	磁気探査風景	95
5.27	磁気探査結果	96
5.28	誤差と AIC の推移	97
5.29	推定点ダイポールの分布	98
5.30	鶴林寺本堂調査票	99
5.31	鶴林寺太子堂調査票	100
5.32	鶴林寺境内	101
5.33	鶴林寺：レーダ探査風景	102
5.34	本堂レーダ断面図 NS17 測線	102
5.35	本堂レーダ探査結果図	103
5.36	太子堂レーダ断面図 NS5, WE10 測線	103
5.37	太子堂レーダ探査結果図	104
5.38	法隆寺土壇調査票	105
5.39	金堂仏壇探査領域 壇上面：南北最大 4m ×東西最大 8.7m および北壁面	106



---

5.40	金堂基壇亀裂	106
5.41	金堂仏壇亀裂	106
5.42	壇上探査風景 (900MHz)	107
5.43	壇壁探査風景 (1.5GHz)	107
5.44	仏壇修理前状況 出典：第三六三圖礎石概観 <sup>(7)</sup>	108
5.45	仏壇修理後状況 出典：第二一二圖柱間連絡材取付其二 <sup>(7)</sup>	108
5.46	900MHz タイムスライス図 (Time window=1.5-2.0ns)	108
5.47	1.5GHz タイムスライス図 (Time window=1.0-1.2ns)	109
5.48	1.5GHz タイムスライス図 (Time window=2.0-2.4ns)	109
5.49	壁面 1.5GHz レーダ断面図：基壇より 0.51m 上	109
5.50	壁面 1.5GHz レーダ断面図：基壇より 0.14m 上	109

# 第1章

## 序論

近年、全国各地で発掘調査がおこなわれ、その成果は時に大きく紙面を飾る。「最古の～」や「最大級の～」などとして、次々に新発見がなされ、私たちの歴史が書き換えられている。しかし、それら発見の大部分が偶然見つかったものである。発掘調査に従事した考古学者があらかじめ計画を立て、発掘をおこなったものは非常に少ない。宅地開発等の際に、地方自治体に勤務している専門職員の手により調査され、発見された遺跡が大多数を占めるのである。

「掘ってみないと何が出てくるかわからない。」これが発掘調査に携わっている方の多くが持つ考えであろう。しかし、本論文の研究対象となる考古探査とは、地下に埋没している遺跡を発掘することなく、その存在状況を把握する方法である。時に、遺跡探査や文化財探査とも称されるが、国際的には Archaeological Prospection として認知されている（本論文では、以後、「考古探査」と称する）。

遺跡調査における発掘調査と考古探査の関係は、しばしば医療に例えられる。その対象を、遺跡から人間に置き換えて考えてみる。まず、発掘調査は遺跡を掘り進めながら（傷つけながら）、その状況を解明していく。まさに外科手術である。それに対して、考古探査は物理探査手法を用いて、遺跡を破壊する事なく状況を判断する。これは非侵襲的な各種検査に対応するであろう。病気を特定する為に様々な検査が存在するように、物理探査手法にも着目する地下構造の物性の違いにより、多くの探査手法が存在する。

本章では、この考古探査について概観し、その現状および本研究が問題とした背景について述べる。そして、本論における目的を掲げ、論文構成を紹介する。

### 1.1 現状と課題

まず、考古探査が日本において、どの程度実施されているか把握したい。図 1.1 は、奈良文化財研究所においてまとめられた考古探査実施状況<sup>(17)</sup>をグラフ化したものである。

約 50 年前から考古探査は、実施されており、1980 年代後半より件数が増加する。しかし、その数は、年間 60 件程度である。遺跡発掘調査はこれに対し、年間 2 万件近くにのぼるとされる。考古探査の件数は、あまりにも少なく、認知度も低いと言わざるを得ない。また、探査目的を見ると、約 7 割が発掘調査の事前調査としての位置確認である。そして、位置確認を目的とした調査は、その後実施される発掘成果の陰に隠れ、成果が表に出てくる事は非常に稀である。発掘成果は探査結果よりも多くの情報を有していると認識されてしまっているからであろう。

さて、考古探査がどのような形態で実施されているのか、筆者の管見の及ぶ限りであるが紹介する。現在、日本国内において考古探査を実施しているのは、主に物理探査技術を研究している理工学系の研究者や、地下資源調査などに携わっている企業である。その為、物理探査技術には精通しているものの、探査対象である遺跡（埋蔵文化財）に対しての理解が乏しいという面がある。物理探査によって得られた地下構造をすべて何らかの埋蔵文化財に照らし合わせてしまう状況に陥る事もあり、歴史学の世界では到底考えられない解釈をも時にはおこなっていた。一方、考古学者は物理探査技術自身への理解が及ばず、たとえ測定したデータがエラーを含んでいようとも、そのエラーに気づくことができ

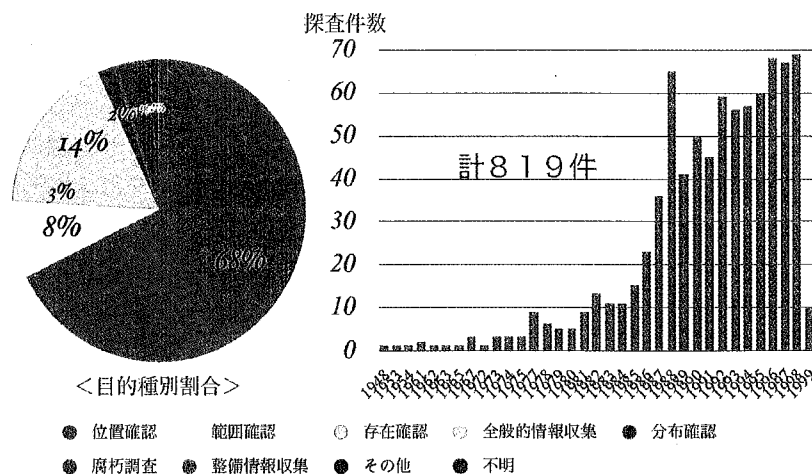


図 1.1: 考古探査件数

ず、自身の仮説を立証する結果であれば、受け入れている例も多々存在する。このように、考古探査と遺跡調査が乖離した状況が見受けられ、物理探査技術が遺跡調査において有効的に機能しているとは言いがたい。また、両分野における研究も互いの成果を融合する方向性で進められている訳ではなく、平行線をたどっているといえる。

つまり、現状では探査で得られた結果を、どのような文化財として解釈するのかという方法が成り立っていない。探査の結果解釈は、地下の物性値の異常範囲を示すだけに留まってしまい、遺跡の解明をおこなえていないのが現状である。よって、遺跡を調査する者からみると、考古探査はあくまでも発掘範囲を設定する際の補助的な調査法という認識でしかない。この状況は、前述の結果(図 1.1)が如実に示している。

以上の様に現状を整理すると、考古探査が有する問題がふたつあることがわかる。ひとつは、探査結果の解釈についての問題である。そして、もうひとつが、考古探査が発掘の事前調査に留まっている問題である。このふたつの問題解決が、本論文における課題である。

## 1.2 目的と意義

本論文が目指すものは、理工学系および考古学系の研究者双方が共有し、理解できる探査結果解釈の方法を導くことである。そしてさらに、遺跡調査とは乖離している考古探査の現状を打破し、考古探査を発掘の事前調査だけでなく、遺跡調査の一手法として確立させる事である。本論文では、その実現に向け、物理探査技術を基礎として、種々の情報との連携および統合化をおこない遺跡を解明する「統合的考古探査法」を提案し、その確立を目指した。

統合的考古探査法という新しい調査法を提案し、本論文においてその指針を例示する事により、従来の遺跡調査を拡充する事ができると考える。さらに、非破壊調査方法という特質が理解されれば、文化財保護にも大きく貢献できる。

## 1.3 本論の構成

本論文は以下の章で構成される。第1章では、考古探査の現状を整理し、含有する問題点を明らかにした。そして、本研究の目的を掲げた。そして、第2章において、統合的考古探査法を提案する。本章が、研究における筆者の論考の基礎概念であり結論といえる。これに続き、統合的考古探査法を構成する要素を第3章、4章で述べる。第3章では地下三次元構造のモデル化について、第4章では歴史・地理情報の統合について、適用例を交え説明する。第5章では、提案した統合的考古探査法の留意点をまとめた調査票について述べ、提案手法の有効性を示す実践例を紹介する。そして、第6章において以上の論考をふまえて研究をまとめ、研究成果の展望・課題について検討をおこない結びとする。

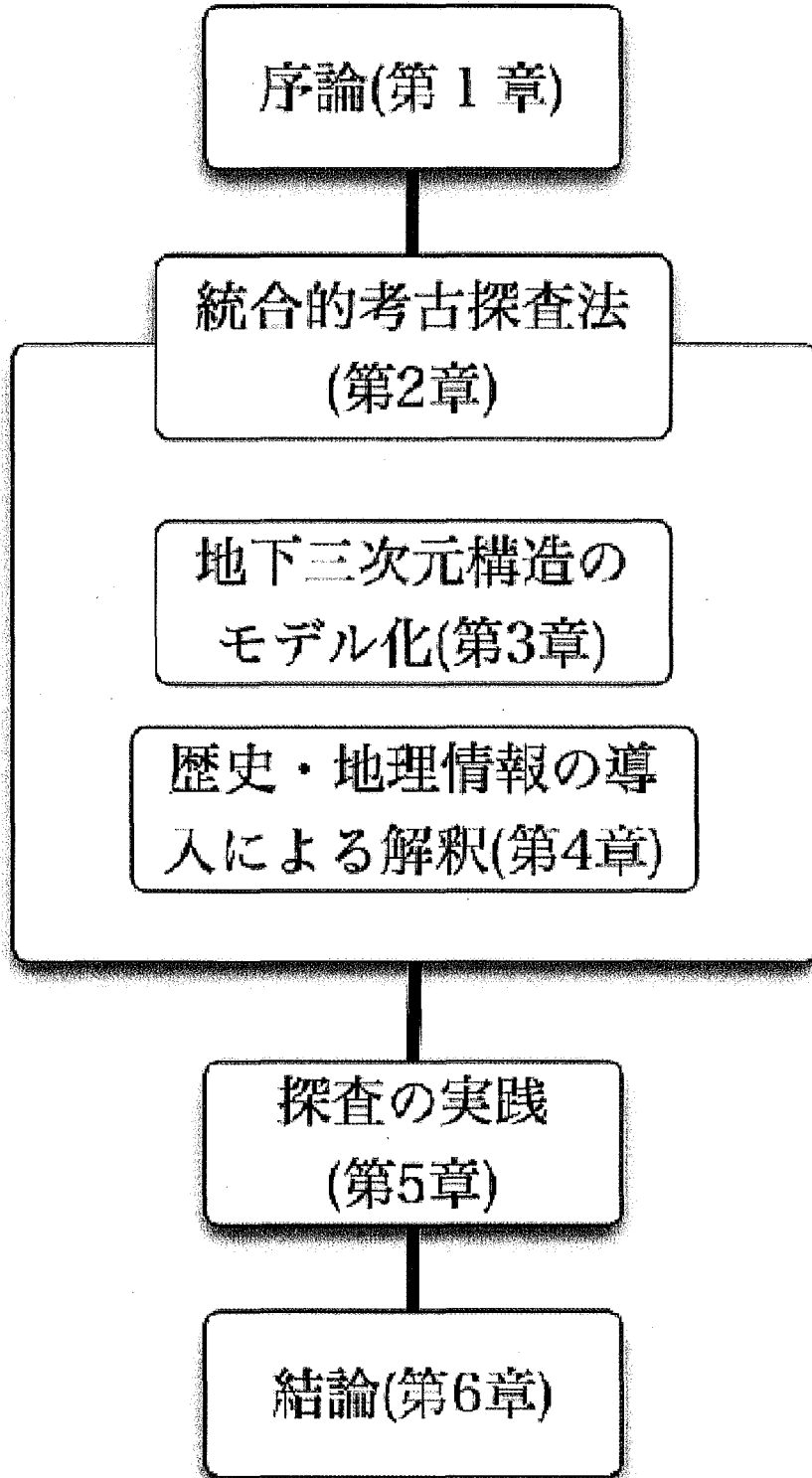


図 1.2: 論文構成

## 第2章

# 統合的考古探査法

### 2.1 背景

まず、探査対象である埋蔵文化財について考える。筆者は、調査の対象となる埋蔵文化財とは、歴史的意味が付加されている、地下に存在するモノであると考えられる。

探査に従事してきた理工学者は、地下に存在するモノの持つ特定の物性に着目することにより、物理探査という方法を用いて、地下構造を理解してきた。しかし、そのモノに付加される歴史的意味については理解が及ばない。一方、遺跡調査主体者としての考古学者は、発掘調査により地下に存在するモノを直視し、そのモノの持つ歴史的意味を考えてきた。よって、地下に存在するモノが物理探査の結果として提示されても、そのモノに歴史的意味が付加されていない限り、それを文化財として認知できない。

埋蔵文化財をこのように考えると、埋蔵文化財を探査する際、従来から存在する物理探査技術をただ単に文化財調査に用いただけでは不十分である。考古探査には、探査結果に対して、歴史的な意味付けを伴った解釈をおこない、埋蔵文化財を推定することが要求される。これを実現させるためには、探査従事者が遺跡調査主体者などから探査対象に関する歴史的知識を提供してもらう必要がある。そして、適切な歴史知識を基にして探査結果解釈をおこない、探査対象である文化財を判断する。しかし、現在これらへの働きは不十分であり、問題となっている。

#### 2.1.1 桜井古墳における事例

福島県原町市桜井古墳で実施された考古探査は、探査結果解釈において、探査従事者が適切な歴史知識を有しておらず、その結果、遺跡調査主体者との間で探査解釈に相違を生んでしまった例である<sup>(2)</sup>。

##### 調査概要

桜井古墳は、福島県原町市に所在する、東北地方でも有数の規模を誇る前方後方墳である(図2.1)。本古墳は昭和31年に国指定史跡となっており、現在まで大切に保存されてきている。後方部3段、前方部無段で構成される全長74.5mの墳丘を持ち、その周囲には最大幅20mを測る周濠が巡っている。

探査は、平成10年度から12年度にかけて実施された桜井古墳保存整備事業の一環として、平成10年7月におこなわれた。用いられた探査法は、赤外線航空撮影とレーザ探査である。特に埋葬施設については、40年以上前の測量調査記録しか知見がなく、埋葬部の構造推定が本探査の主たる目的とされた。

##### 探査結果

調査報告書<sup>(2)</sup>では周濠についても解析をおこなっているが、ここでは埋葬部に関してのみ、その探査結果および解釈を示す。



1 桜井古墳全景（南から）

図 2.1: 桜井古墳全景写真 出典：図版 2 1 桜井古墳全景（南から）<sup>(2)</sup>

#### ■赤外線写真撮影結果

赤外線写真撮影では、土壌の水分含有量を推定することが可能である。赤外線撮影では、周囲に比べ土壌の状態が、1) 多くの水分を含む、2) 構成粒子が細かい、3) 腐食化が進んでいると濃色を呈する。この性質を利用し、判読はおこなわれている。図 2.2 に、撮影結果に判読結果を記載したものを示す。後方部点線部分 (A) が方形の区画として現れており、埋葬主体部と推定された。さらに、その部分のナチュラルカラー撮影の結果 (図 2.3) より、南北に伸びる細い溝状の遺構と思われるソイルマーク (図 2.3 中 B) を検出している。そして、これを細さや形状から粘土槨主体部と想定している。探査従事者は、この解釈に島根県宍戸町上野 1 号墳の粘土槨主体部を参考としている。

#### ■レーダ探査結果

レーダ探査は、G.S.S.I 社製 SIR-2 探査機と 400MHz および 200MHz のアンテナを用いたシステムで実施された。後方部墳頂におけるレーダ探査結果断面図を図 2.4 に示す。報告書には詳細な位置および方向が記載されていないため、筆者独自の解釈をおこなうことは困難である。しかし、明瞭な反射が存在し、埋葬主体部の存在をうかがわせる結果を得ている。そして、それら結果より導かれた結果解釈が図 2.5 である。

#### ■推定結果

探査結果より推定した埋葬部について、次のように記述されている。

後方部墳頂に南北 16m、東西 11m の墓壇が掘り込まれているようである。壁は緩やかに傾斜し、深さは 1.6m-2.0m を測る。底面は緩やかに北側に傾斜していると考えられる。主体部が存在すると考えられる竪穴の上部は 2 基存在すると考えられる。墓壇底面から掘り込まれ、周囲に粘土を詰めていると考えられ、東側の埋葬施設は主軸がほぼ南北を示し、西側の埋葬施設はわずかに主軸を東に振るようである。主体部の幅は 80cm 前後、その両側に粘土が 60-80cm の幅で詰められていると考えられる。(143 ページから引用<sup>(2)</sup>)

このように、探査では、古墳主軸に対して直交する 2 つの埋葬施設を推定している。



図97 探査判読全体図

図 2.2: 赤外線撮影結果 出典：図 97 探査判読全体図<sup>(2)</sup>

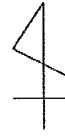
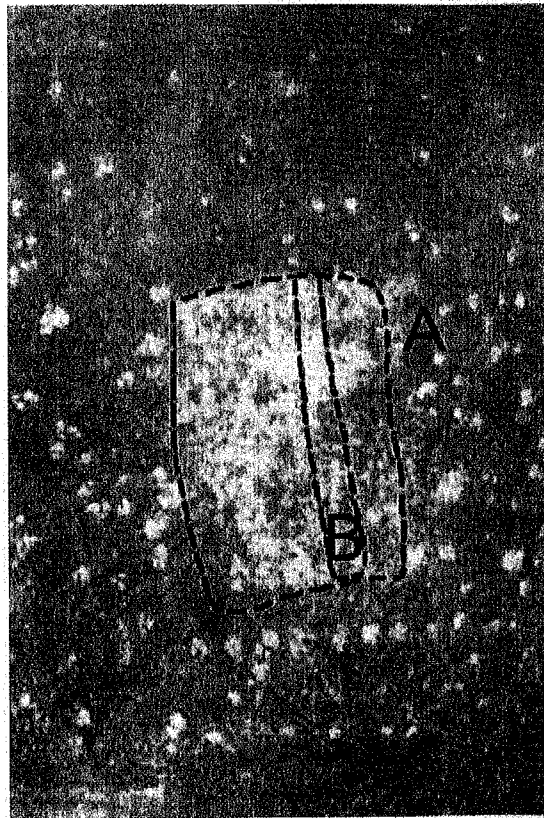


図95 判読写真

図 2.3: ナチュラルカラー撮影結果 出典：図 95 判読写真<sup>(2)</sup>

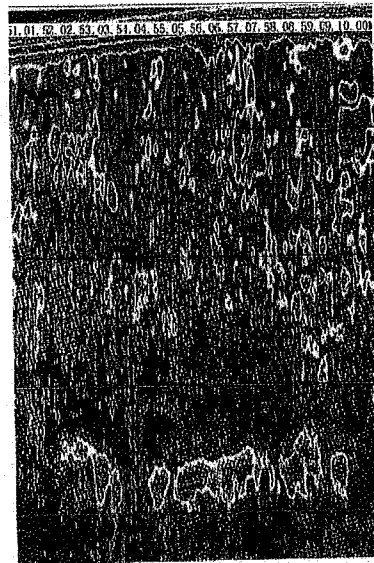


図103 東側埋葬施設探査データ

図 2.4: レーダ探査結果断面図 出典：図 103 東側埋葬施設探査データ<sup>(2)</sup>



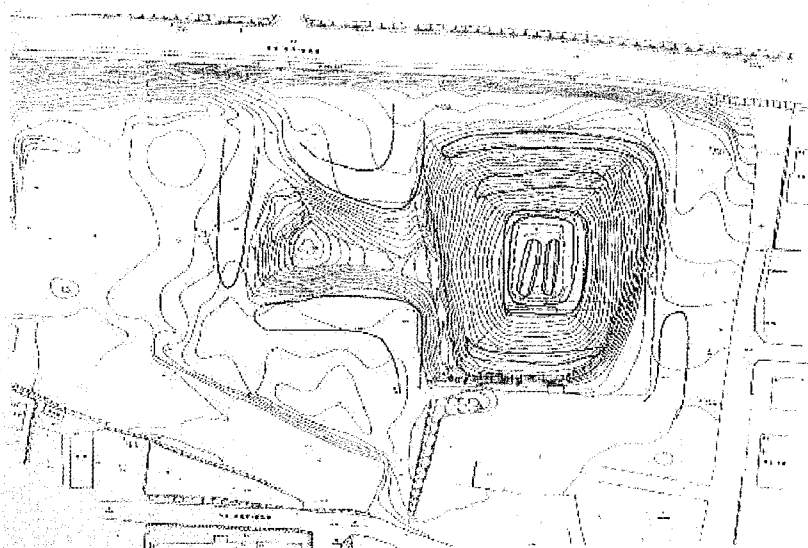


图113 探查箇所位置图

图 2.5: 探查結果解釈图 出典: 图 113 探查箇所位置图<sup>(2)</sup>

## 発掘結果

次に、発掘調査結果について示す（図 2.6,2.7）。後方部墳頂に設けた調査区の発掘により、墳丘主軸に沿った東西 11m × 南北 10m の方形をした比較的均一な黄褐色土を呈する土層が検出された。墳丘平坦面の中央かつ盛土層を掘り込む形で作られていることより、墓壙として位置付けられた。そして、中央付近およびそれより北東側に、長軸を東西に向けた楕円形の黒色土が埋土である遺構が検出された。このような自然に現れた落ち込みの存在は、近年の古墳調査によって確認例が増えてきている。詳細な調査例は宮城県の大森塚古墳（夷森古墳）で発掘されている<sup>(3)</sup>。大森塚古墳では、被覆粘土を伴う粘土槨内の割竹形木棺が朽ち空洞となった箇所、上層に位置する被覆粘土と墓壙埋土が陥没した状況が確認されている。したがって、これらも、棺が朽ちたことが原因の陥没坑として位置づけられ、中央のものを1号陥没坑、北側のものを2号陥没坑としている。1号陥没坑は長軸 7m × 短軸 3m であり、2号陥没坑は長軸 3.5m × 短軸 2m の規模を持つ。ただし、陥没坑として検出される埋葬施設にも、前述の大森塚古墳の様に被覆粘土を伴う粘土槨である場合や木棺直葬の場合がある。桜井古墳では被覆粘土の存在が確認されておらず、木棺直葬と考えられている。

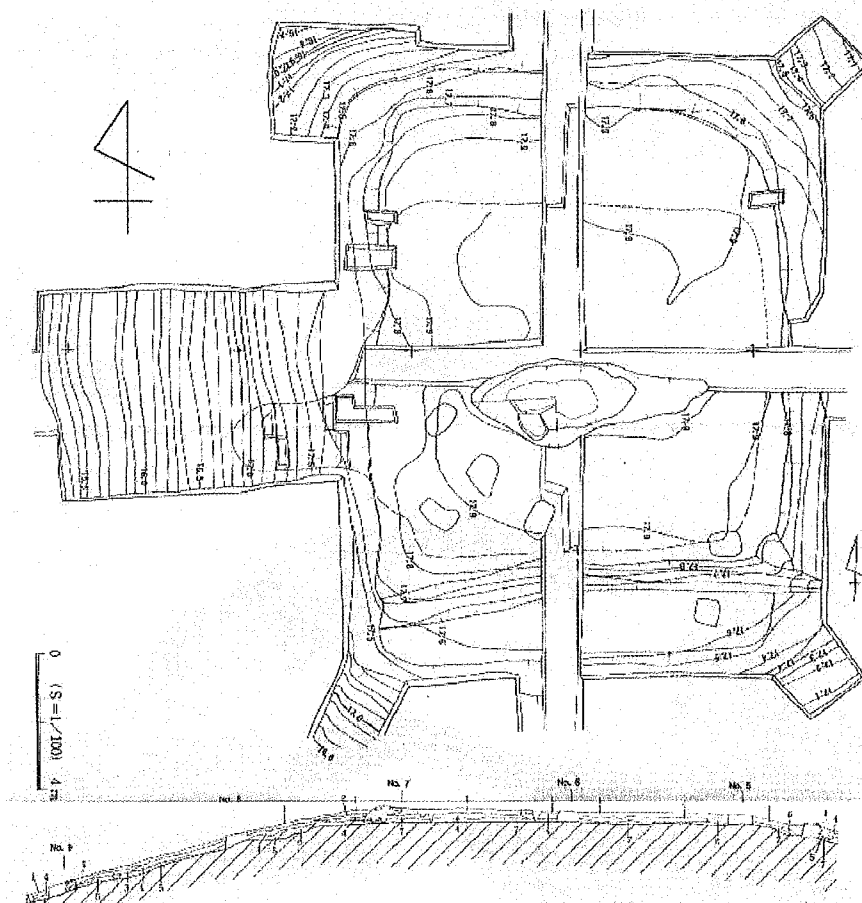
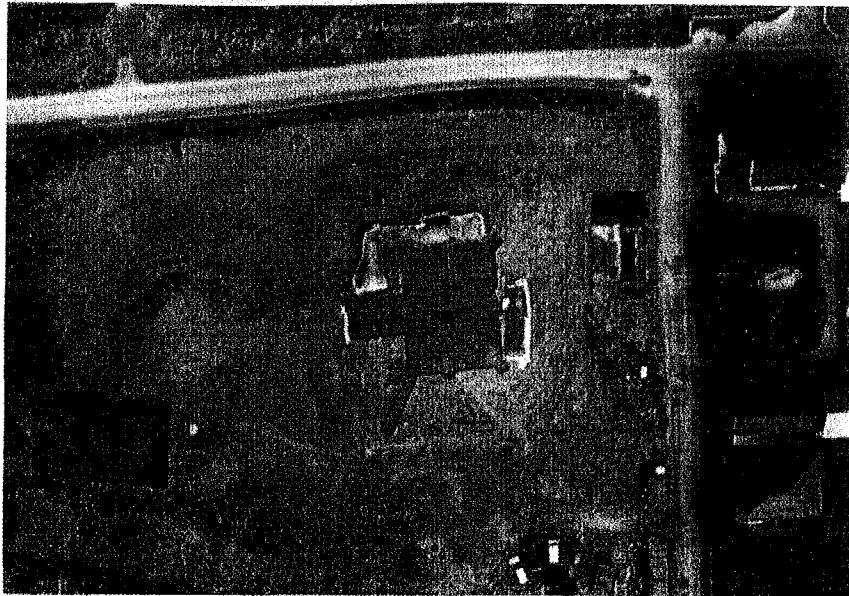


図 2.6: 後方部発掘結果 出典：図 57 C区詳細図<sup>(2)</sup>



1 平成12年度調査状況（真上から）

図 2.7: 発掘結果写真 出典：図版 8 1 平成 12 年度調査状況（真上から）<sup>(2)</sup>

## 結果比較

探査結果と発掘結果を比較すると、

探査 古墳主軸に直交する位置に2つの埋葬主体部

発掘 古墳主軸に平行する位置に2つの埋葬主体部

といった具合に、全く正反対の結果となってしまった。この相違について、報告書では次のようにまとめられている。

このように、今回の物理探査では地中の変化を明確に把握できた部分と異なる結果が得られた部分が認められたと言わざるを得ない。物理探査は発掘調査が困難な場所や遺跡に対して、地中の遺構の存在や状態に対する情報を得る事を目的に実施される場合や、発掘調査の前段に調査の方向性を決めるための事前調査として用いられる事が多く、遺跡の立地や条件、遺跡の性格によって探査結果に若干の相違が現れることがあるとは思われるが、探査の成果が地中の変化を正確に把握されない場合もあると言わざるを得ない。したがって、遺跡に対して物理探査を実施する場合には、物理探査と発掘調査を併用し、多角的な検討を行う必要があると思われる。つまり、物理探査によって得られた成果を、考古学的な手法を用いた検証を行えば、地中に存在する遺構の状況をより正確に把握することが可能となり、物理探査の探査成果をより確かなものとして提示することが可能となるであろう。(188 ページから引用<sup>(2)</sup>)

## もうひとつの探査結果解釈

前述の通り、報告書のまとめでは「探査の成果が地中の変化を正確に把握されない場合もあると言わざるを得ない。」と述べられている。しかし、筆者はそのまとめに対し、桜井古墳でおこなわれた探査は、地中の変化を正確に捉えているが、その結果解釈を誤っていたと判断する。桜井古墳では、当研究室もレーダ探査を実施している。測定されたデータを比較すると、ほぼ同様の結果を得ている。しかし、その結果解釈が異なっており、最終的には発掘結果に一致している結論を導いている。ここで、その探査を紹介する。

平成10年6月、当研究室が後方部墳頂に探査領域を設定し、レーダ探査を実施した。その際の測定条件を表2.1に、そして、探査測線と探査結果解釈を重ねたものを図2.8に示す。測線配置図は、墳丘測量図に重ねられていないが、東西測線 No.17 における■印が図2.6の+印に対応する。

表 2.1: 桜井古墳レーダ探査条件

探査領域	東西 12m × 南北 16m
測線間隔および本数	0.5m (東西方向 33 本、南北方向 25 本)
探査装置	KODEN KSD-3AM 166MHz アンテナ

探査の結果、図2.8の様な解釈が導かれている。この解釈について探査結果を交え述べる。最もはっきりと捉えられた特徴が「穴2」の存在である。東西長10m、南北幅4mの大きさで墳丘主軸の南側に存在する。この構造の輪郭はタイムスライス図2.9 (Time window=56.2-60.9nsec)<sup>\*1</sup>で確認できる。そして、この穴の断面形が南北測線 No.8 のレーダ断面図2.10で見ることができる。この「穴2」の解釈は、穴の中に強い反応を与えるものが何も見られないので、木棺などが据えられていたが既に木質部は腐ってしまい、その跡だけ残ったものと考えられた。さらに、この穴の中央を通る東西測線 No.20 のレーダ断面図2.11をみると、深さ80nsecあたりにおいて、西端より3m付近から10mあたりまで強い反射を見る事ができるので、これを棺床と解釈する事ができている。

<sup>\*1</sup> タイムスライス図とは、各測線から深度のデータを抜き出し平面的に配置したもの。参照：第3章1節

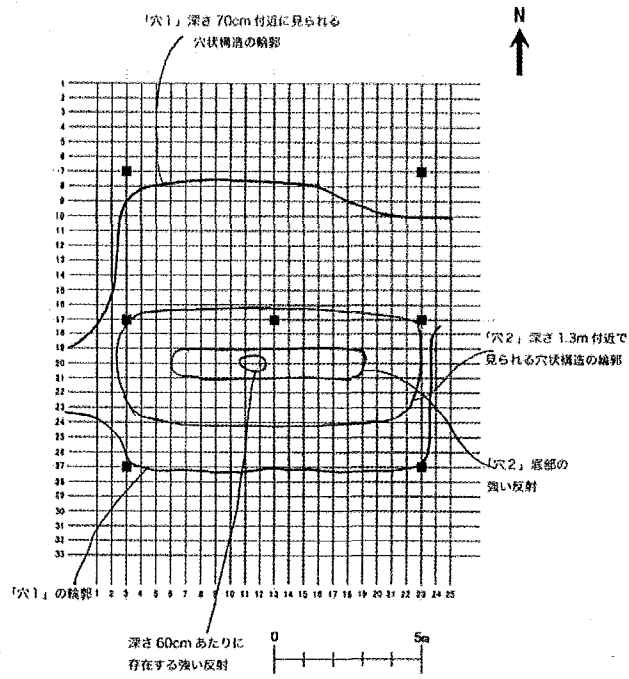


図 2.8: 亀井研レーダ探査測線配置および結果解釈図

Sakurai-Kofun

Radar Time Slice(Window 56.2-60.9 nsec)

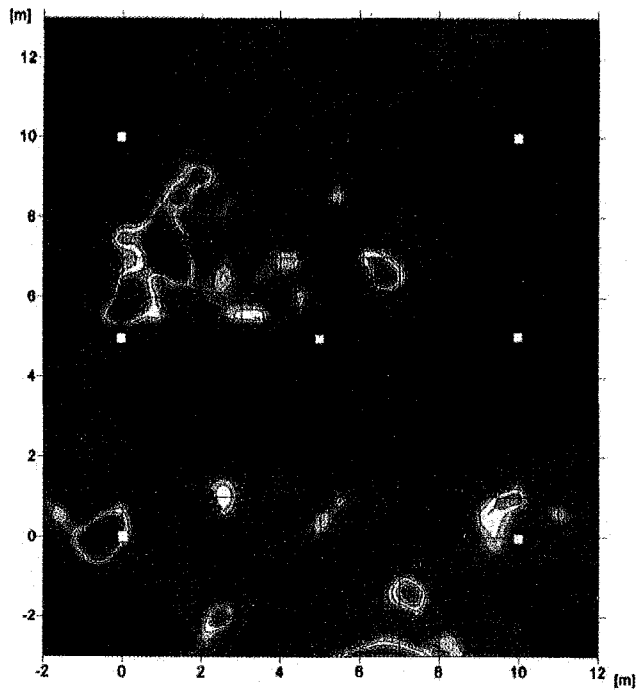


図 2.9: 桜井古墳後方部 タイムスライス図 (Time window=56.2-60.9nsec)

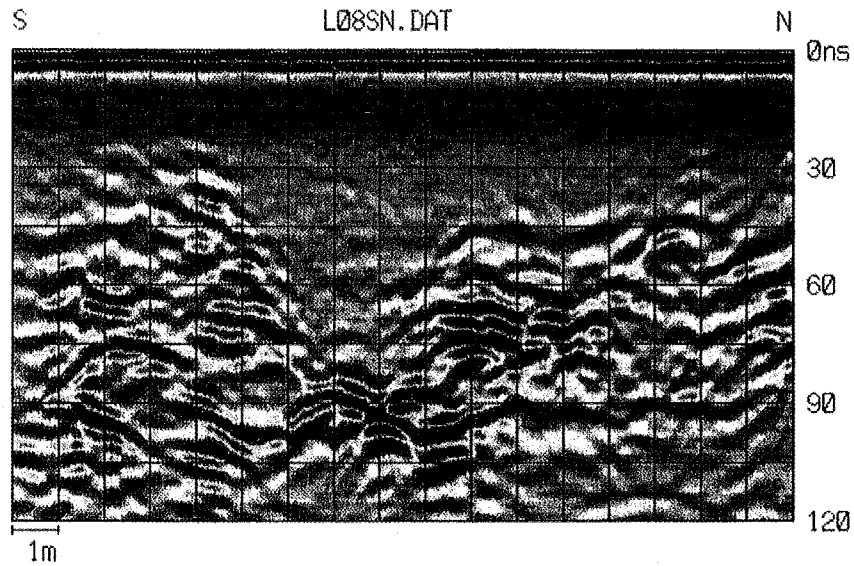


図 2.10: 桜井古墳後方部 レーダ断面図 (南北測線 No.8)

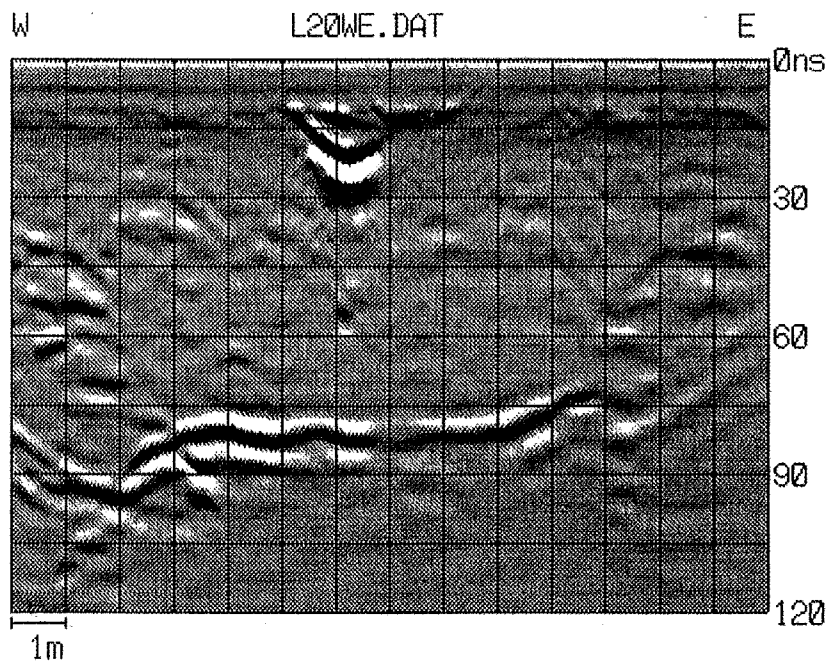


図 2.11: 桜井古墳後方部 レーダ断面図 (東西測線 No.20)

そして、タイムスライス図 2.12 (Time window=23.4-28.1nsec) をみると 10m 四方の反射のない部分が見られる。これが解釈図における「穴 1」である。この「穴 1」は東側と西側で閉じていない可能性がある指摘されている。この「穴 1」の中に「穴 2」が掘り込まれていると見える。もし、「穴 2」を墓壙と仮定し、「穴 1」も古墳に関連する構造であるとする、と、「穴 1」の墓壙があり、その内部のやや南よりにさらに深い墓壙「穴 2」が存在し木棺が埋葬されているという二段墓壙の施設を推定できる。そして、「穴 2」の位置が「穴 1」の南側に位置している為、北側での施設の存在を推定している。

この探査結果解釈は、前述の探査結果と正反対の墳丘主軸に平行な埋葬部の存在を示唆している。しかし、発掘結果

## Sakurai-Kofun

Radar Time Slice(Window23.4-28.1 nsec)

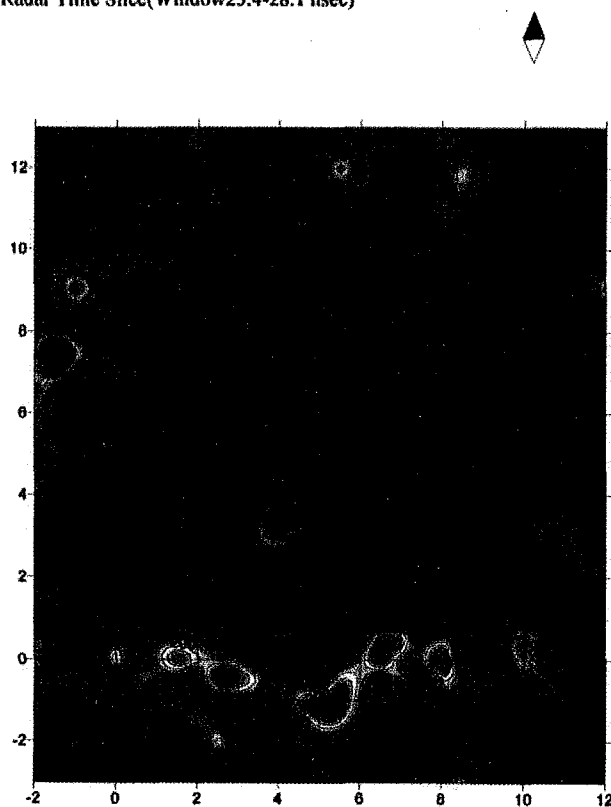


図 2.12: 桜井古墳後方部 タイムスライス図 (Time window=23.4-28.1nsec)

と照合すると当研究室でおこなった探査解釈の方が一致している事がわかる。

### まとめ

桜井古墳における探査は、発掘結果を見る限り失敗である。しかし、当研究室で実施したレーダ探査結果も同様の反射を捉えているが、発掘調査と一致する解釈を導きだした。つまり、失敗の原因は探査結果の解釈を誤ってしまったことである。結果解釈の参考とした島根県上野1号墳の粘土槨主体部は、代表的な事例であるけれども、地域および残存状況が桜井古墳とは異なる。周辺地域における埋葬部の構造や、木棺の腐朽といった経年による古墳内部構造の変化という適切な考古学的な情報があれば、過ちを防ぐ事ができた可能性がある。この桜井古墳における探査例は、探査結果を如何に解釈するべきであるかという問題を提示する好例である。



## 2.2 提案

埋蔵文化財を探查するという事は、物理探查技術をもちいて地下の構造を把握し、埋蔵文化財に関する知識をもとにして、探查対象がどのような文化財であるのかを推定することである。いくら良好な探查結果が得られようとも、その結果解釈によって最終的な結論が全く異なることは、桜井古墳の例で示した通りである。埋蔵文化財を対象とした探查はおこなわれているものの、探查結果解釈について論じられることは少ない。その為、現状として考古探查が発掘調査の事前調査としてしか使われていないのであろう。大まかな場所さえ判明すれば、詳細は発掘でもって確かめるという考えが浸透していると予測される。このような状況のもと、探查解釈に関する議論をおこない、発掘の事前調査にとどまらない探查を創出していくことが、現在必要であると考えられる。

そこで本論文では、複数の探查法を用いることにより詳細な地下3次元構造をモデル化し、歴史知識および地理情報を用いた文化財解釈をおこなう方法を提案する。そして、この方法を現状の考古探查と区別して「統合的考古探查法」と称する。

提案した統合的考古探查法を確立するには、次の2要素の連携が必要である。

### 物理探查による三次元モデル推定

現在の物理探查技術は、資源調査の為に発展してきたものが多くを占める。しかし、埋蔵文化財は地下資源に比べ、構造が複雑であり、地下構造を三次元的に把握する必要がある。その為、資源調査に使われていた技術そのまま転用しても、効果を挙げる事は難しい。統合的考古探查法では、複数の探查結果より詳細な地下三次元構造をモデル化する。その実現には、各探查法において三次元的なデータ解析手法が必要となる。その詳細については、本論文第3章にて述べる。

### 歴史・地理情報を導入した解釈

探查結果より得られた三次元モデルに対して、どのような歴史知識を導入し、そのモデルを埋蔵文化財と解釈・認識したのかを明示することが重要である。第4章において、歴史知識を活用した探查結果解釈の例を提示する。その例をもって統合的考古探查法が、新しい遺跡調査方法のひとつとなり得る可能性を示したい。そして、この地下三次元構造と歴史知識を統合していく基準となるのが地理情報である。本論文ではGIS（地理情報システム）の技術を導入し、位置情報を軸として各種情報を統合化する事を可能とした。探查従事者と遺跡調査者が視覚的に共通理解をはかることが容易になり、調査成果の蓄積および共有をおこなう事ができる。

以上のように、統合的考古探查法は、「地下三次元構造のモデル化」（複数探查方法における三次元解析結果の統合）と、それを媒介として埋蔵文化財を認識し、調査成果を共有する為の「歴史・地理情報の統合」（歴史知識の導入による解釈とGISを基盤とする情報統合）から成り立つ。この2要素が連携し機能する事で、有益な遺跡調査をおこなう事ができると考える。そして、統合的考古探查は柔軟な調査形態を有することができ、発掘調査の事前調査に留まらない方法として有効に機能すると考えられる。

以降の章で、統合的考古探查法を構成する要素である「地下三次元構造のモデル化」と「歴史・地理情報の統合」について論述する。

## 第3章

# 地下三次元構造のモデル化-物理探査データの 三次元解析-

本章では、詳細な地下三次元構造のモデル化について述べる。統合的考古探査法が対象とする埋蔵文化財は、形状が地下埋蔵資源などに比べて複雑であり、詳細な三次元構造を把握する必要がある。現在の主流は、多くの2次元情報を解析・解釈し、それらから調査者が地下構造モデルを思考し、モデル化する方法である。しかし、それでは、調査者の恣意的な考えが含まれたり、情報量が膨大になるとヒトの力ではモデル化できなくなるなどの限界がある。よって、詳細な地下三次元構造を得る為には、探査データを三次元的に解析する手法が必要となる。以降、現在主に用いられている、レーダ探査、電気探査、磁気探査における三次元構造解析の手法について述べる。レーダ探査法については、3次元マイグレーション処理法について説明する。電気探査では従来より研究がおこなわれてきた地下三次元抵抗率分布解析手法を紹介する。そして、磁気探査では探査対象をモデル化し、そのパラメータを解析する方法を説明する。

### 3.1 レーダ探査-3次元マイグレーション-

#### 3.1.1 はじめに

レーダ探査におけるデータ処理技術には、レーダ画像の判読性を高める目的で発展してきたものが多く存在する。現在用いられている、2次元マイグレーション処理やタイムスライス処理も判読性を向上させるために有効な方法である。しかし、これらはいくまでもアンテナ走査測線直下の断面情報のみを取り扱ってきた。そこで、本節では、調査領域全体の3次元空間を取り扱う3次元マイグレーション処理法について述べる。本手法は、2次元マイグレーションの考えを発展させ、波の逆伝搬先を断面図だけではなく探査領域全体にまで拡張させたものである。従来は、探査測線間に位置する物体の正確な位置を推定することはできなかった。しかし、本手法を用いる事によって、地下埋蔵物の3次元位置推定が可能となり、測線間に位置する物体の位置推定が実現した。

#### 3.1.2 レーダ探査概説

地中レーダ探査は、地中に向けてレーダ波を送信し、誘電率の違う物質で反射した反射波の様子より、地下構造を推定する方法である。レーダ波は、レーダアンテナから送信された後、拡散・減衰しながら地中を伝搬する。そして、地中で反射しあらゆる方向からアンテナへ到達する。記録される受信波の情報は、アンテナから送信され地中で反射し再び受信されるまでの往復伝搬時間と、そのときの信号強度である(図3.1,3.2)。レーダの観測結果として得られるレーダ断面図は、縦軸をその往復伝搬時間、横軸をアンテナ位置として信号強度を並べ、階調表示したものである。そのため、レーダ断面図において、受信波は様々な方向からアンテナに到達したのにも関わらず、すべてアンテナ位置の真下に表示され、反射面の位置や傾きは実際の反射面の構造と異なった形で表現される。特徴的な例として、地下に存在する物体が点物体であっても、レーダ探査断面図において反射波は放物線として表現される(図3.3,3.4)。

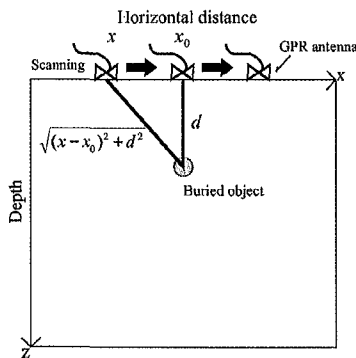


図 3.1: レーダ探査模式図

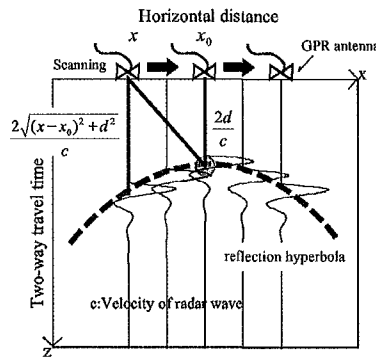


図 3.2: レーダ探査結果断面模式図

#### 3.1.3 既存データ処理法の問題

レーダ断面図は地下の状況を正確に表現している訳ではないため、レーダ断面図より地下構造を判読し解釈するには、多くの経験を必要とする。よって、これまではレーダ断面図の判読性向上を目的とした処理法が研究されてきた。現在多く使用されている処理法として、2次元マイグレーション処理とタイムスライス処理が挙げられる。しかし、いずれの処理法も取り扱う空間が、ある一測線におけるレーダ断面図のみであるため、測線間に存在する物体に関しては問題を持つ。以降、各処理方法について、シミュレーションを交えながらその問題点を明らかにする。

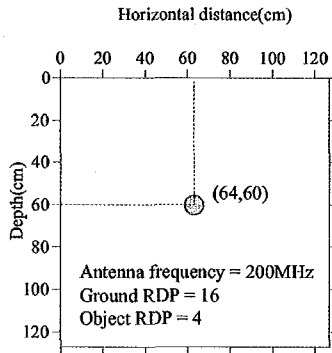


図 3.3: シミュレーションモデル

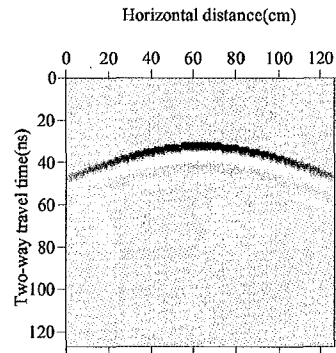


図 3.4: シミュレーション結果図

### 2次元マイグレーションの問題点

マイグレーション処理法は、アンテナで受信した反射波を受信位置から逆伝搬させることにより、レーダ断面図内における埋蔵物体の形状及び存在位置の推定を容易にするレーダ画像処理技術である。地震波を用いた探査技術の研究から応用され、様々なマイグレーション処理法が存在する。従来は、このマイグレーション処理を2次元空間であるレーダ断面に適用しているため、ここでは2次元マイグレーション処理と称する。

2次元マイグレーション処理法の原理を点物体の検出を例にとって説明する。点物体が地中  $(x_0, d)$  の位置に埋まっているとき (図 3.1, 3.3)、双曲線パターンをもつレーダ断面像を得る (図 3.2, 3.4)。いま、このレーダ像から点物体の位置を復元することを考える。もし、地中の比誘電率  $\epsilon$  が既知であるとする、レーダ断面図の  $z$  軸方向成分を往復伝搬時間  $Zt$  から距離  $Zd$  へ変換できる。

$$Zd = \frac{1}{2} Zt \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon}}$$

$c_0$ ; Velocity of light in vacuum

時間-距離変換したレーダ画像も双曲線パターンを維持し、その反射信号の値は  $f(x, \sqrt{(x-x_0)^2 + d^2})$  とおくことができる。

$(x_0, d)$  にある点物体の場合、この反射信号を

$$\bar{f}(x_0, d) = \sum_x \rho_x f(x, \sqrt{(x-x_0)^2 + d^2})$$

$\rho_x$ ; 重み関数

のように加算すれば、点物体の位置  $u(x, y, 0, t)$  において反射信号  $\bar{f}(x_0, d)$  が重なり合い、双曲線を描いた反射信号が  $(x_0, d)$  へ逆伝搬されることになる (図 3.5)。

つまり、すべての観測点における反射信号を逆伝搬し反射信号が重なりあった点が、反射源である物体の場所として推定できる (図 3.6)。

まとめると、2次元マイグレーションの手順は、

1. 画像の深さ方向を地中の比誘電率  $\epsilon$  を用いて、遅延時間から距離に変換する。
2. レーダ波を受信した点から受信した信号を逆伝播させる。
3. 実際に物体のある位置で全ての信号が重なり合う。

となる。

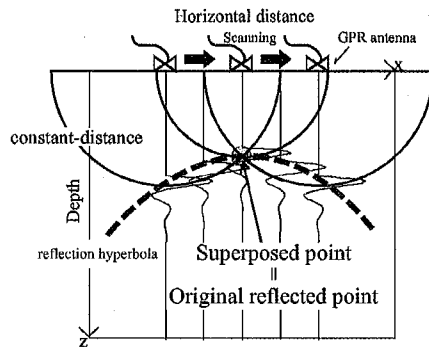


図 3.5: マイグレーション方法模式図

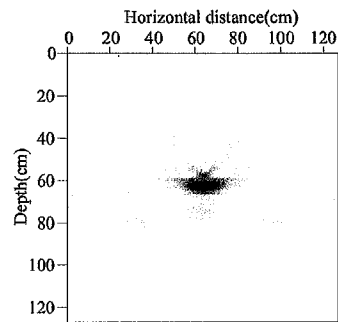


図 3.6: 2次元マイグレーション結果

2次元マイグレーション処理法は、レーダ画像のような二次元の世界で考えていると、効果的な処理法であるが、実際の遺跡のような三次元の世界に結果を還元した場合、問題が生じる。図 3.7 に示したように、点物体が一つ存在するモデルを仮定する。そして、その点物体の直上を通らないレーダ探査測線を設定する。その他図中に示した条件下で、各測線において得られるレーダ断面図が図 3.8 である。いずれの断面図にも放物線パターンが描かれており、点物体の存在を推定させる。これら断面図に 2次元マイグレーション処理を施すと、前述の例(図 3.6)と同じく、各断面図の放物線が点となる。

2次元マイグレーションでは波の逆伝搬先がレーダ断面図内に限定される。そのため、一つずつのレーダ断面画像において 2次元マイグレーションをおこなうと、測線直下以外に存在する埋蔵物からの反射波も測線直下のレーダ断面画像に復元されてしまう。よって、アンテナから物体までの距離は再現できているが、測線からの反射波の反射位置を復元することができていない。その結果、各レーダ断面図に物体があらわれ、測線間に存在する一つの点物体ではなく、各測線下に一つずつ、計 4つの点物体が存在しているという解釈に陥る。もちろん、この解釈は間違いである。例が極端ではあるかもしれないが、このシミュレーションのような誤解釈をする場合がある。

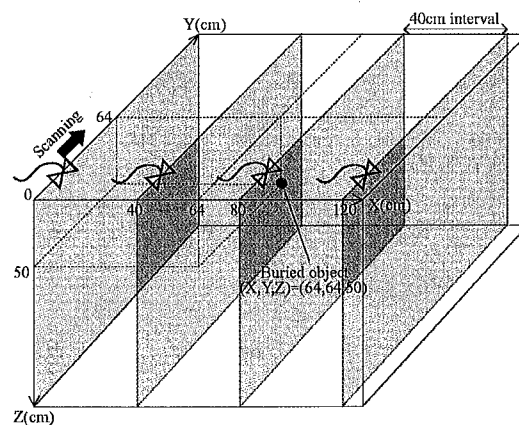


図 3.7: シミュレーションモデル

#### タイムスライスの問題点

次にタイムスライスについて考える。

タイムスライスとは、複数のレーダ断面図からある一定の伝播復帰時間における反射信号を抜き出し、測線位置に並べたものである。これは、反射信号の平面分布を提示するため、遺跡の概略を把握するのに効果的なデータ表現方法であ

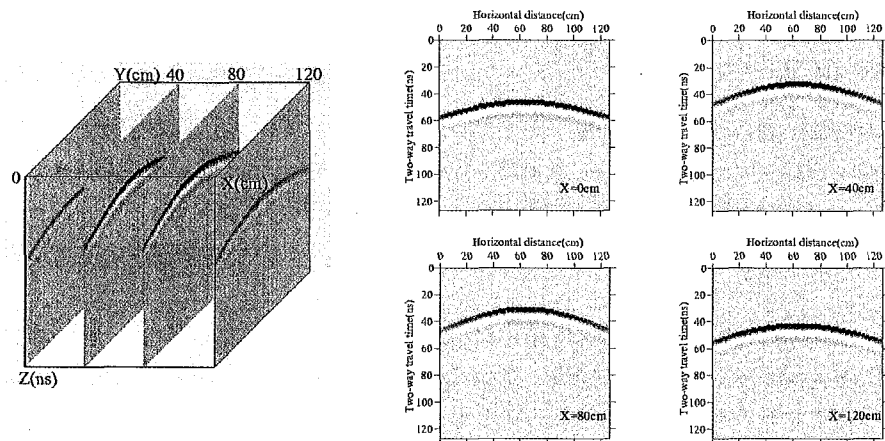


図 3.8: シミュレーション結果断面図

る。深度を順次変化させることにより、発掘調査と同じような感覚で埋蔵物の状態を推定することができるために、考古学者にも探査結果をイメージしやすい表現方法であり、一般的に使われている。

しかし、タイムスライスは反射信号を測線直下に並べており、測線間についてはデータを補完して表現している。そのため、測線間に存在する物体に関しては、その大きさ・位置を正確に表現してはいない。タイムスライスは、複数測線にわたって存在するような比較的大型の遺構や遺物の存在状況を把握するには効果的な方法であるが、測線と測線の間に存在するような小さな物体の位置を推定することは不可能である。

さらに、点物体がレーダ断面画像では放物線として捉えられてしまう様に、レーダ断面画像は、物体の形状を反映している訳ではない偽像を有する。もし、偽像を含んだままでタイムスライスを作成すれば、偽像がさらなる偽像を生み出してしまうという問題が生ずる。この問題を、2次元マイグレーションの項で用いたシミュレーションモデル(図 3.7)を用いて考える。シミュレーションモデルから得られた4枚のレーダ断面図を基にして作成したタイムスライスが図 3.9 左である。浅いところから順に提示してある。これらタイムスライスから正確な物体の位置および数を決定することはできない。また、2次元マイグレーション処理を施した断面図から作成したタイムスライス図 3.9 右も、同様にして正確な解釈をおこなうことができない。

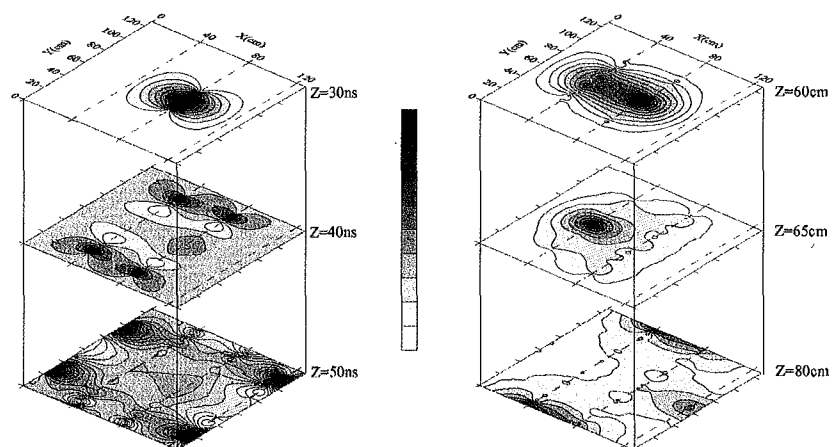


図 3.9: シミュレーション結果タイムスライス図  
 左図は4枚のレーダ断面図から作成したタイムスライス図  
 右図は2次元マイグレーション処理を施した断面図から作成したタイムスライス図

### 3.1.4 3次元マイグレーション

前述のとおり、現在まで用いられてきた2次元マイグレーションおよびタイムスライスは、その処理結果に問題を含んでおり、その問題を認識せずに用いた場合、結果解釈に大きな誤解を生じる。そこで、本研究では、複数レーダ断面図を一括して処理し、3次元空間における物体位置を推定する手法として、3次元マイグレーションを提案する。本手法では、特に2次元マイグレーションおよびタイムスライスでは解決できない、測線間に存在する物体の検出と位置推定が目的である。

マイグレーションの手法にはいくつかの種類があるが、その基礎となる原理はいずれも、先の節で述べた波の逆伝播である。すなわち、各測定点で得られた受信波を、受信点から逆伝搬させると、全ての点から逆伝搬する波がある点で交わり、その点が実際に物体のある点であるということである。本研究で提案する3次元マイグレーション法は、波動方程式に基づく方法であり、レーダ波の回折や反射などの性質を包含して処理でき、フーリエ変換を用いた高速な演算が可能である。

#### 3次元マイグレーションの定式化

今、地表面の探査領域を  $x, y$  の座標で表現し、深さ方向を  $z$ 、時刻  $t \geq 0$  におけるレーダ波  $u(x, y, z, t)$  を考える。レーダ像は、地表面  $z = 0$  において得られる、 $u(x, y, 0, t)$  である。これを用いて、時刻  $t = 0$  の反射源、すなわち真の地下構造  $u(x, y, z, 0)$  を、波動の周波数領域で解く手法が F-k マイグレーション (周波数領域マイグレーション) である。

電波の伝播速度  $v$  が地中全体で一定であるとする、レーダ波  $u(x, y, z, t)$  は次の式を満たす

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (3.1)$$

まず、 $u(x, y, z, t)$  の  $x, y, z$  に関する3次元フーリエ変換を  $S(k_x, k_y, k_z, t)$  で表すと、

$$u(x, y, z, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(k_x, k_y, k_z, t) e^{j(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y dk_z \quad (3.2)$$

ここで  $k_x, k_y, k_z$  は  $x, y, z$  方向の波数である。式 (3.2) を式 (3.1) に代入して、

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + v^2(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2)S = 0 \quad (3.3)$$

一方、 $u(x, y, z, t)$  の4次元フーリエ変換を  $U(k_x, k_y, k_z, \omega)$  で表すと、

$$u(x, y, z, t) = \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(k_x, k_y, k_z, \omega) e^{j(k_x x + k_y y + k_z z + \omega t)} dk_x dk_y dk_z d\omega \quad (3.4)$$

式 (3.4) を式 (3.1) に代入して

$$\omega^2 - v^2(k_x^2 + k_y^2 + k_z^2) = 0 \quad (3.5)$$

これを用いて式 (3.3) を書き直すと

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + \omega^2 S = 0 \quad (3.6)$$

式 (3.6) の一般解は、

$$S(k_x, k_y, k_z, t) = A(k_x, k_y, k_z)e^{j\omega t} + B(k_x, k_y, k_z)e^{-j\omega t} \quad (3.7)$$

今は、地下の反射点からの波だけを考えているので、第2項は無視できる。従って、

$$S(k_x, k_y, k_z, t) = A(k_x, k_y, k_z)e^{j\omega t} \quad (3.8)$$

式(3.8)で、 $k_x, k_y, k_z$ に関する3次元フーリエ逆変換をとると、

$$u(x, y, z, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(k_x, k_y, k_z) e^{j\omega t} e^{j(k_x x + k_y y + k_z z)} dk_x dk_y dk_z \quad (3.9)$$

今、地表面で得られる像を考えているので、 $z = 0$ とし、

$$u(x, y, 0, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(k_x, k_y, k_z) e^{j(k_x x + k_y y + \omega t)} dk_x dk_y dk_z \quad (3.10)$$

一方で、 $u(x, y, z, t)$ の $x, y, t$ に関する3次元フーリエ変換を $D(k_x, k_y, z, \omega)$ とすれば、

$$u(x, y, z, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(k_x, k_y, z, \omega) e^{j(k_x x + k_y y + \omega t)} dk_x dk_y d\omega \quad (3.11)$$

ここで先ほどと同様に、 $z = 0$ として、

$$u(x, y, 0, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(k_x, k_y, 0, \omega) e^{j(k_x x + k_y y + \omega t)} dk_x dk_y d\omega \quad (3.12)$$

ここで、 $D'(k_x, k_y, \omega) \equiv D(k_x, k_y, 0, \omega)$ とすれば、式(3.10)と式(3.12)の比較により、

$$D'(k_x, k_y, \omega) d\omega = A(k_x, k_y, k_z) dk_z \quad (3.13)$$

また一方で、式(3.5)より、

$$\omega = \pm v \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad (3.14)$$

今、地上に向かう波のみを考えるので、

$$\omega = v \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \quad (3.15)$$

式(3.8)、式(3.13)、式(3.15)より、

$$\begin{aligned} S(k_x, k_y, k_z, 0) &= A(k_x, k_y, k_z) \\ &= D'(k_x, k_y, \omega) \frac{d\omega}{dk_z} \\ &= D'(k_x, k_y, v \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}) v \frac{k_z}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}} \end{aligned} \quad (3.16)$$

従って、地表面 $z = 0$ で得られたレーダ像 $u(x, y, 0, t)$ をフーリエ変換して得られる関数 $D(k_x, k_y, 0, \omega)$ を、フーリエ空間において幾何学的変換や振幅補正を加えることにより $S(k_x, k_y, k_z, 0)$ が得られることがわかる。ここで、 $S(k_x, k_y, k_z, 0)$ をフーリエ逆変換することで、反射源 $u(x, y, z, 0)$ を得ることができ、3次元的な地下構造を推測することが可能となる。



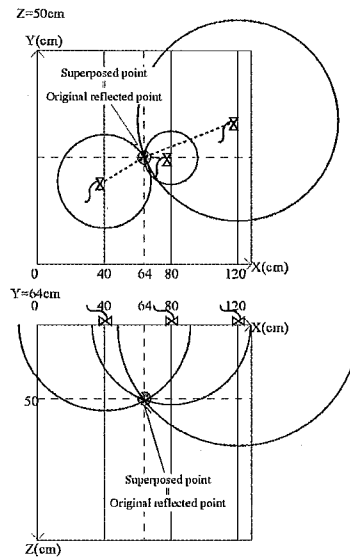


図 3.10: 3次元マイグレーション法模式図

### 3.1.5 シミュレーション

同様のモデル(図 3.7,3.8)を用いて、本提案手法の評価をおこなう。このモデルでは、点物体一つを想定しているので、反射源  $(x, y, z, 0) = (64, 64, 50, 0)$  の位置に信号が重なり合うはずである。3次元マイグレーションに用いたレーダ断面図は、シミュレーションモデル(図 3.7)から得られた4つのレーダ断面図である(図 3.8)。よって、観測波  $u(x, y, 0, t)$  の範囲は、 $(x = 0, 40, 80, 120), (0 \leq y \leq 127), (0 \leq t \leq 127)$  となる。これ以外の観測をおこなっていない領域については、 $u = 0$  として計算をおこなった。3次元マイグレーションをおこなった結果が図 3.11 である。図(図 3.11)で示した通り、反射源位置  $(64, 64, 50)$  において信号が重なり合い、点物体が復元されていることがわかる。

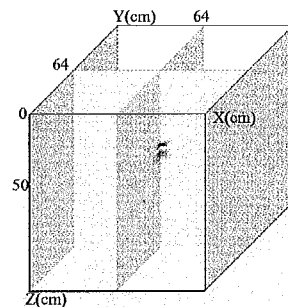


図 3.11: 3次元マイグレーションのシミュレーション結果図

### 3.1.6 天白遺跡探査への適用

3次元マイグレーション処理を、三重県嬉野町に位置する天白遺跡<sup>(16)</sup>においておこなった探査データに適用した。

#### 遺跡概要

天白遺跡は1989年より発掘調査が実施され、その範囲は約  $5490\text{m}^2$  である。数次にわたる調査において、縄文時代の配石遺構群と弥生時代から中世にわたる遺構・遺物群が検出されている(図 3.12)。特に配石遺構群については、そ

の重要性から遺跡整備が計画されている。日本考古学で配石遺構は、祭祀に関わって石を配置し構築した遺構一般のことを指し示す。天白遺跡で発見された配石遺構の多くが、人頭大(約 20-40cm)の大きさの円礫を中心に構成される。配石遺構には、直径 1.5m 前後の円形に石を敷き詰めたもの:TypeA(図 3.12 右上)、同規模で環状に石を配列したもの:TypeB(図 3.12 右下)などが存在する。また、顕著な形を築かない円礫群も散乱して多く存在する。散乱して存在する石の間には、口を上にしてや、あるいは下にして埋めた甕が 28 箇所発見されている。そして、範囲にばらつきがあるが、32 箇所で焼け土の広がり確認されている。これらの遺構は、すべて祭祀に関わる遺構と考えられている。

遺物も祭祀に関係する土偶・石棒・石剣・土製勾玉などが数多く発見されている。他にも日々の生活に関わる土器等も発見されているが、それを使用したであろう人々の住居跡が発見されていない。出土した土器の C14 年代測定結果より、天白遺跡は紀元前 3,600 年前頃の遺跡と推定されている。

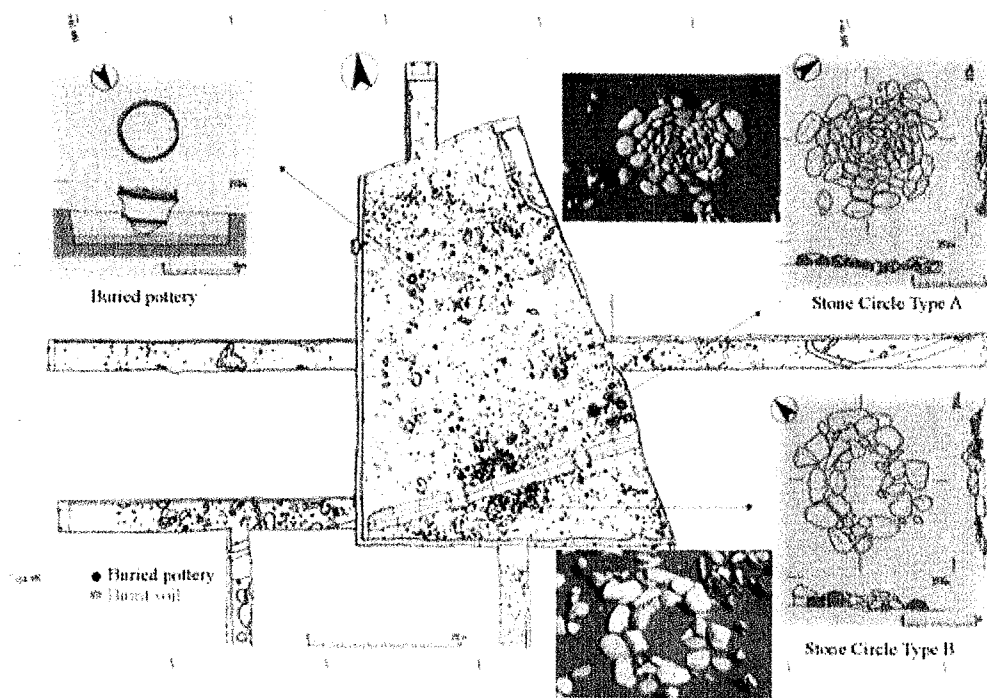


図 3.12: 天白遺跡

#### 探査成果

探査は、遺跡整備に向けて、発掘により検出された配石遺構群の広がりを明らかにするため実施した。探査期間は、2002年7月25~28日、8月5~8日、2003年1月11~12日の3回実施したが、1月の調査は補足調査である。探査対象範囲は、東西130m、南北100mである。用いた探査方法は、レーダ探査法と磁気探査法である。レーダ探査には、GSSI社製SIR-2と400MHzアンテナを使用し、磁気探査にはトーキン製フラックスゲート型3軸グラジオメータTRM-70Dを使用した。レーダ探査測線は、探査域南西隅を原点として、0.5m間隔で東西及び南北方向に設定した。また、磁気探査測線は、1.0m間隔のグリッドを設定し観測した。

これら探査結果を以下に示す(図 3.13:レーダ探査結果, 図 3.14:磁気探査結果)。図 3.13 タイムスライス図(Time window=29-30nsec)では、東西90m、南北65mの楕円形を描くようにして、反射が点在する。所々に密集部が存在し、発掘結果と照合して、これらが配石遺構群であることがわかる。この結果より、全面発掘をおこなうことなく、おおよその遺構分布範囲を推定することができた。タイムスライス図よりは、これらの他にも発掘調査で検出されている東

西にのびる中世溝の存在を確認できる。さらに、この溝の北側に、並行する二本の溝らしき結果をみられるが、発掘調査では確認されていない。磁気探査の垂直成分結果(図3.14)においては、配石遺構の分布は明確に捉えられていない。また、焼け土の存在を示す箇所も指摘することが困難である。しかし、中世溝が明瞭に捉えられている。後におこなった土壌分析の結果、縄文時代の文化面の存在する層は磁化率が大きいことが判明した。本来の磁化率が大きいため、焼け土であってもこの層上に存在するものは磁化率の大きさに差がなく、磁気探査では検出が困難であったと考えられる。また、明瞭な磁気異常として捉えられた中世溝の埋土は、磁化率が小さいという結果が得られている。

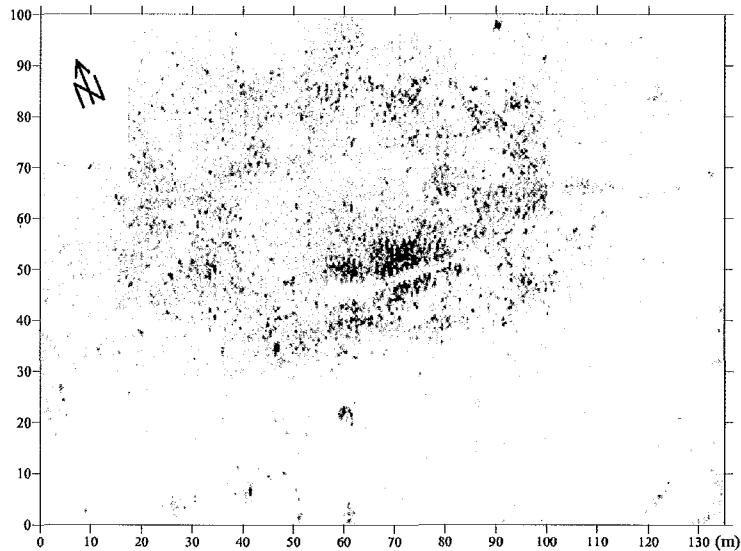


図 3.13: 天白遺跡：レーダ探査結果

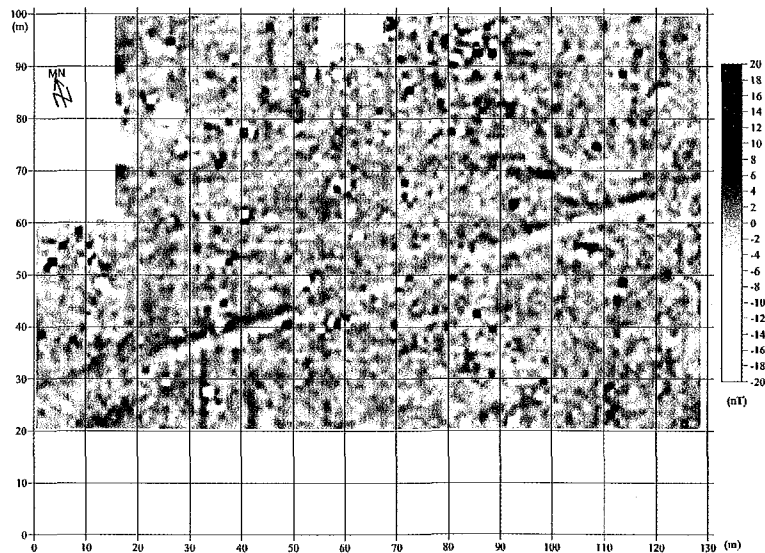


図 3.14: 天白遺跡：磁気探査結果（垂直方向成分）

#### 実探査データへの適用

レーダ探査と磁気探査により、遺跡内における遺構の存在状況を把握することはできた。しかし、本遺跡の特徴である配石遺構については、その種類を判定するまでの結果を得ることができなかった。配石遺構を構成している石の大き

表 3.1: 天白遺跡レーダ探査条件

探査領域	: 東西 5m × 南北 20m(X=70-75m, Y=30-35m)
測線設定	: 南北方向測線、0.25m 間隔 (計 21 本)
レーダアンテナ中心周波数	: 400MHz
スキャン数	: 25scans/m
サンプル数	: 256samples/scan

さは人頭大であるため、測線間に位置することが大いにあり得る。よって、2次元マイグレーション処理やタイムスライスを使ったデータ解析では前述のような問題が起こり、石の正確な位置を把握することは不可能である。しかし、3次元マイグレーション処理を用いれば、測線間に存在する石の位置も正確に判断でき、その石によって構成される配列遺構の種類判別が可能と考えた。3次元マイグレーション処理を成功させる為には、複数の測線で同一の配石からの反射を得る必要があるため、2002年7月に部分的に測線間隔 25cm として高密度に探査した領域についておこなった。処理には膨大な時間を要するために探査領域全体を一度に扱わず、今回は適用部分を限定した。処理範囲および探査条件は、表 3.1 の通りである。この部分は、探査以前に試掘調査がおこなわれており遺構の分布が明らかである。そのため、マイグレーション処理結果を評価する際に好都合であると考え選択した。

処理に用いたレーダ断面画像の一つを図 3.15 に示す。断面図において、25~35nsec 付近に配石を構成していると考えられる石の反射パターンを見ることができる。

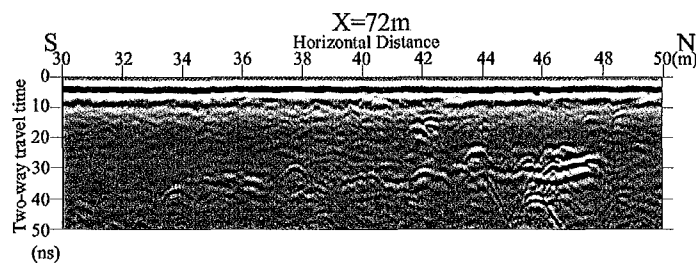


図 3.15: 天白遺跡：レーダ断面図

これらレーダ断面画像を用いたこの領域のタイムスライスを図 3.16 左に示す。タイムスライス図を作成する際に用いた時間幅は、レーダ断面図で多くの石による反射パターンが見られた 27~29nsec の範囲である。タイムスライス図では、Y=46-48m の箇所に多くの石が集中して存在することがわかる。また、X=74-75m, Y=36-38m のあたりにも石の存在を推定できる。このように、石の集中部分を確認することができるが、石の数や正確な位置が判明しないため、配石遺構の種類判別をおこなうことが困難である。

これに対して、3次元マイグレーションを施した結果を図 3.16 右に示す。ここでは、誘電率 12 として処理した結果の深さ 125cm における平面図である (今回、誘電率は過去の発掘成果を基にして推定)。タイムスライスで見ることができた石の集中部分に関して、反射が測線間の位置にも復元され、石一つ一つを分離できている。タイムスライス図では無理であったが、配石遺構種別を判断できるような結果を得ることができている。

X=71.5-72m, Y=47-48m では、タイムスライス図で一つの反射でしかなかったが、それが複数個の反射の集合であることが 3次元マイグレーション結果ではわかる。さらに、この集合は平面円形状に敷き詰める形をとる TypeA の配石遺構であると判断できる。

X=73-74.5m, Y=45-47m と X=74-75m, Y=46-48m では、3次元マイグレーション結果において石が環状に存在していることが見て取れる。これは、TypeB の配石遺構であると判断できる。これらの遺構はタイムスライス図では、配石遺構のタイプを判断することはできず、石の存在を推定することのみにとどまる。

これらの配石遺構は、発掘によって存在を確認されている。図3.16左:タイムスライス図、右:3次元マイグレーション結果を中央:発掘結果と比べると、3次元マイグレーション処理をおこなった結果が発掘成果をよく整合していることがわかる。つまり、3次元マイグレーション処理をおこなうことによって、測線間にもレーダ波を逆伝搬させることが可能となり、タイムスライス図に比べて詳細に石の分布を把握することが可能となっている。

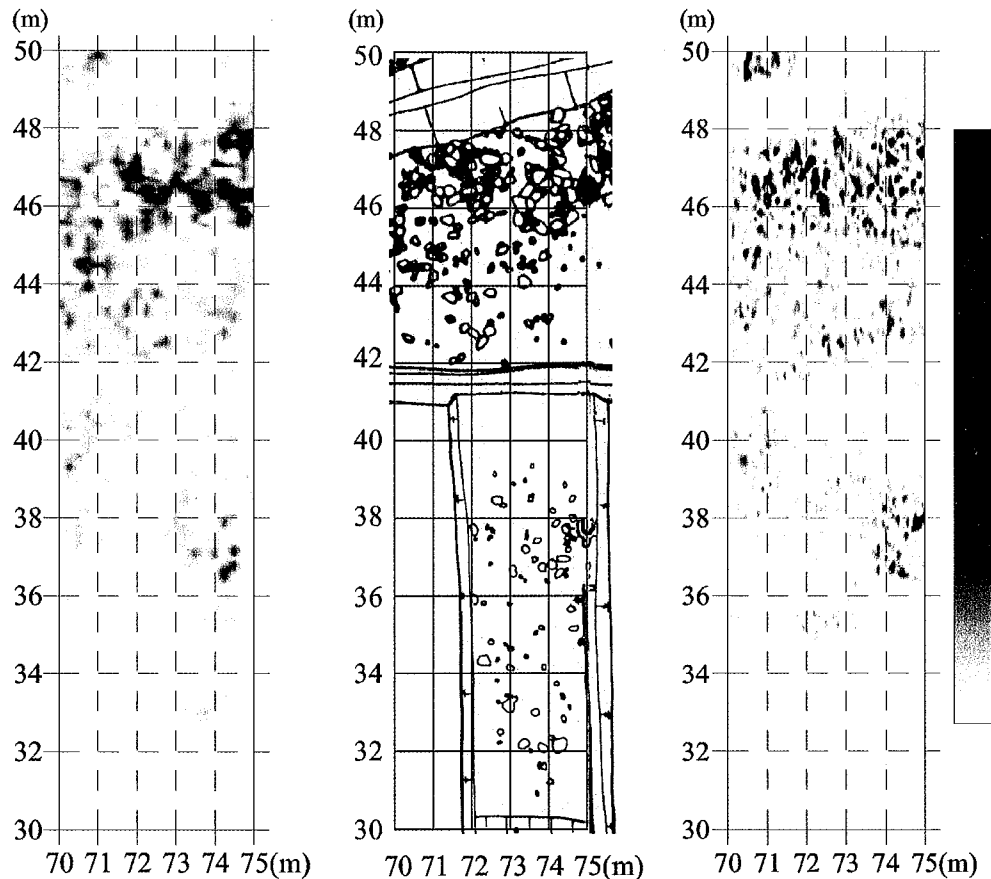


図 3.16: 結果比較

左:タイムスライス図 (27-29ns)

中央:発掘結果

右:3次元マイグレーション結果 (125cm)

### 3.1.7 まとめ

複数の測線にまたがって存在するような遺構や遺物に関しては、2次元マイグレーションやタイムスライスでその形状などを把握することができる。しかし、測線間に位置する物体の位置は考慮しておらず、誤った結果を含んでいた。この問題に対し、本論文では3次元マイグレーションをその解決方法として提案した。本論で提案した通り、3次元マイグレーションを用いることによって、測線間に存在する物体の正確な位置を推定することが可能となった。測線間に物体が存在するモデルを用いたシミュレーション実験では、2次元マイグレーションやタイムスライスでは誤解釈を生み出すにも関わらず、3次元マイグレーションでは物体の正確な位置推定をおこなうことができた。さらに、20-30cm程度の小さな石が多量かつ広範囲に分布している天白遺跡のデータに3次元マイグレーションをおこなった。その結果、タイムスライスよりも詳細に石の分布状況を把握することができるようになり、それらの石が構成する配石遺構の

種類判別が可能となった。本遺跡では、過去の発掘調査成果より地下の誘電率が推測可能であったため、さらに良い結果を得ることができたと考える。以上のように、3次元マイグレーションは、三次元空間に散在する物体の正確な位置を推定することができる効果的な方法である。そして、小さな遺物が多量かつ広範囲に分布するような状況の遺跡においては、その効力を遺憾なく発揮すると考える。

■参考：誘電率の計算 天白遺跡の実探査データに3次元マイグレーションを用いた際の誘電率は、発掘調査の結果を基にして計算をおこなった。図3.17が実際の発掘調査風景である。この写真において、配石遺構を見ることができる。この配石遺構が検出された遺構面は図3.18で示した最下層に相当し、深さは地表下約1m程度である。この断面写真図3.18付近が発掘調査を終え埋め戻されたのち、レーダ探査をおこなった際に得られたレーダ断面図が断面図3.19である。この断面図は、遺跡全体を調査したものから $Y=43\text{m}$ における $X=50\text{-}70\text{m}$ の範囲を切り出したものである。このレーダ断面図を見ると約 $23\text{ns}$ あたりに明瞭な反射面が存在することがわかる。この反射面は、発掘時の最終層と埋め戻しの土の境界面考えることができる。

よって、境界面までの深さは $1\text{m} = 23\text{ns}$ と仮定することができるので、この地中におけるレーダ波の速度 $C$ は、 $0.0869\text{m/ns}$ である。ここで velocity of light:  $C_0 = 2.998 \times 10^8\text{m/s}$ , magnetic permeability:  $\mu = 1$  とすると、地中の誘電率 $\epsilon$ は、

$$\begin{aligned}\sqrt{\mu\epsilon} &= \frac{C_0}{C} \\ \epsilon &= \left(\frac{C_0}{C}\right)^2 \\ &= \left(\frac{2.998 \times 10^8 \times 10^{-9}}{0.0869}\right)^2 \\ &= 11.90\end{aligned}$$

と計算できる。よって、本論ではこの計算値をもとに地中の誘電率を $\epsilon = 12$ として、3次元マイグレーションをおこなった。



図 3.17: 天白遺跡発掘風景

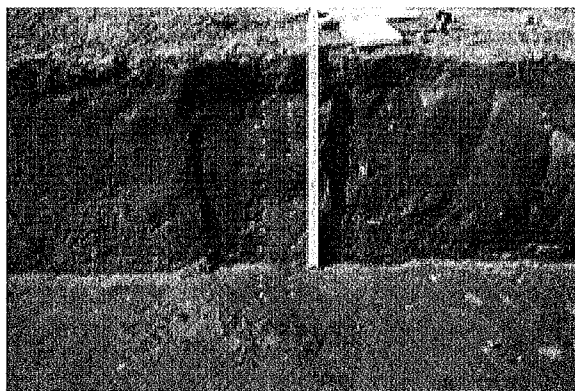


図 3.18: 土層断面

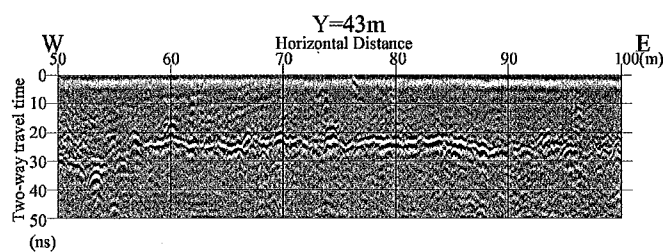


図 3.19: レーダ断面図 Y=43m

### 3.2 電気探査-三次元抵抗率分布解析-

#### 3.2.1 はじめに

電気探査法で得られる「見掛け比抵抗」と呼ばれる量は、大地が均質かつ半無限である際に抵抗率と同じとなる量である。しかし、実際の遺跡が平坦であることはなく、まして、均質媒質であるはずがない。よって、測定値である見掛け比抵抗値から地下の構造を推定するには、多くの知識と経験を必要とする。誰もが探査結果を理解するためには、地下の三次元抵抗率分布をもとめることが必要である。本節では、その解析手法を紹介し、適用例として古墳墳丘内の抵抗率分布を推定した例を示す。

#### 3.2.2 電気探査概説

考古探査で最も使用されている電気探査法は、比抵抗探査法と呼ばれているものである。本方法は、地面に電極を設置、電流を大地に流し、電極間の電位差を測定する事で地下の抵抗率を推定する方法である(図 3.20)。その電極の設置方法には様々な種類があるが、最も代表的な電極配置法が Wenner 電極配置法である。

種 類	電極配置係数(G)	配 置
2極法 ポール・ポール法 pole-pole	$2\pi a$	
3極法 等間隔CPP法	$4\pi a$	
ポール・ダイポール法 pole-dipole	$2n(n+1)\pi a$	
4極法 等間隔CPCP法 (ウェンナー法) Wenner	$2\pi a$	
等間隔CCPP法	$6\pi a$	
等間隔CPCP法 (スタaggerド法) staggered	$3\pi a$	
シュランベルジャー法 Schlumberger	$m(m+1)\pi a$	
ダイポール・ダイポール法 dipole-dipole	$n(n+1)(n+2)\pi a$	

図 3.20: 電極配置<sup>(11)</sup>



Wenner 法では電極を4本用い、それぞれを等間隔で直線的に配置する。そして、両端を電流電極  $C_1, C_2$  とし、内側を電位電極  $P_1, P_2$  とする。この状態で、電流電極  $C_1$  から電流  $I$  を大地に流入し、その際の電位電極間の電位差を  $V$  とすれば、次式より「見掛け比抵抗」と呼ばれる値  $\rho_a$  が与えられる。

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$

$a$ ; 電極間隔

ここで電流値および電位差から算出される「見掛け比抵抗」と呼ばれるものは、大地の真の抵抗率ではなく、大地が均質かつ半無限であるときのみ一致する。

見掛け比抵抗値は、地下の広い領域の抵抗率を反映しており、この値は感度を重みとした地中の抵抗率分布を加重平均した値である。感度とは、ある任意の電極系において、単位体積の比抵抗の変化により生ずる電位差または見掛け比抵抗の変化割合と定義される。そして、感度分布は単位体積が電極系に対して、位置的に順次移動したときの感度の分布図と定義される。Wenner 電極配置法における感度分布を図 3.21 に示す。図 3.21 における感度の算出は、Single Scattering Theory に基づいている<sup>(27)</sup>。

この電極配置では、配置電極の中央部の深さ  $a$  あたりの感度が最も高いので、見掛け比抵抗値は最も感度の高いあたりの抵抗率を表していると解釈される。そして、この電極配置を維持し、地表面を2次元的に移動すれば深さ  $a$  の見掛け比抵抗分布を得ることができる。さらに、電極間隔を変化させれば、異なる深さの見掛け比抵抗を測定することができるので、電極配置の移動および電極間隔の変化を組み合わせることにより、地下の3次元的な見掛け比抵抗分布を測定することができる。現在、測定ではあらかじめ多数の電極ピンを地表面に設置し、電極切り替え装置を用いて測定電極を選択している。その結果、電極配置移動および電極間隔の変化を制御することが可能となり、短時間での測定が可能となっている(図 3.22)。

### 3.2.3 三次元抵抗率分布解析

見掛け比抵抗は最大感度の位置での抵抗率を表しているものではない。そのため見掛け比抵抗分布から地下構造を推定するためには、考古探査の経験、理工学の知識、考古学の知識が必要となってくる。また、見掛け比抵抗分布から地下構造を直接推定してしまつて誤った解釈をしてしまう事例も報告されており<sup>(4)</sup>、見掛け比抵抗分布から地下の三次元抵抗率分布を解析する必要がある。

現在、探査従事者の経験や知識などの主観情報に頼ることなく数値データのみを用いた、見掛け比抵抗分布から抵抗率分布を求める手法が数多く開発され、実用化に至っているものが存在する。それらは主に、以下の手順を用いることによつて地下構造を推定する(図 3.23)<sup>(11)(25)(26)(29)</sup>。

1. 地下をブロックで分割し、ブロックのパラメータを抵抗率として地下をモデル化する。そして、そのパラメータに初期値を与える。
2. パラメータを設定された地下構造モデルによつて観測されるべき見掛け比抵抗を、コンピュータにより計算する。このように、モデルを与えてデータを求める手続きをフォワードイング(順問題解析)と呼ぶ。この数値計算法としては、有限要素法や境界要素法が用いられる<sup>(14)</sup>。
3. パラメータと計算される見掛け比抵抗データは非線形の関係にあるため、非線形最小二乗法により、測定値と計算値の誤差の二乗和が最小となるように地下モデルのパラメータを反復改良し、パラメータの最適値を求める。このように測定値からモデルを求める手続きをインバージョン(逆問題解析)と呼ぶ。

<設定条件>  
 電極配置法: Wenner配置  
 電極間隔: 2.0m  
 電極座標: 電流電極C1(5,8), C2(11,8)  
 電位電極P1(7,8), P2(9,8)

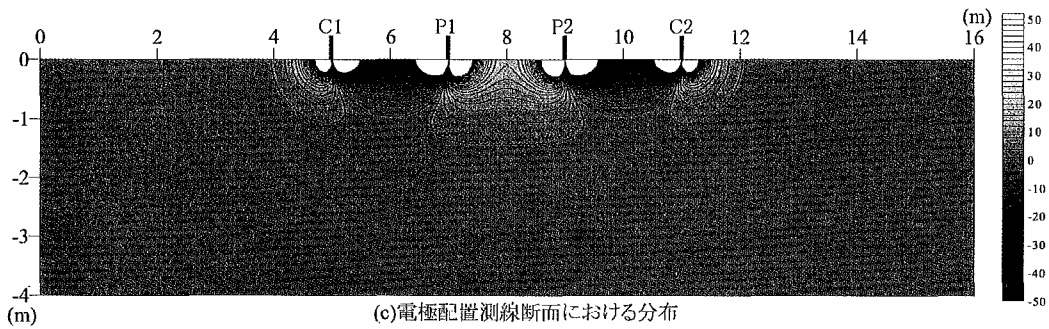
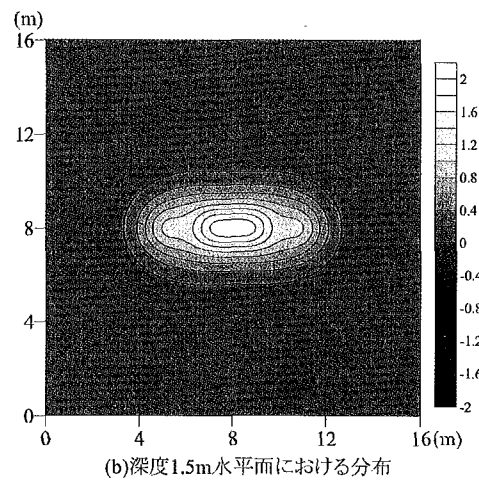
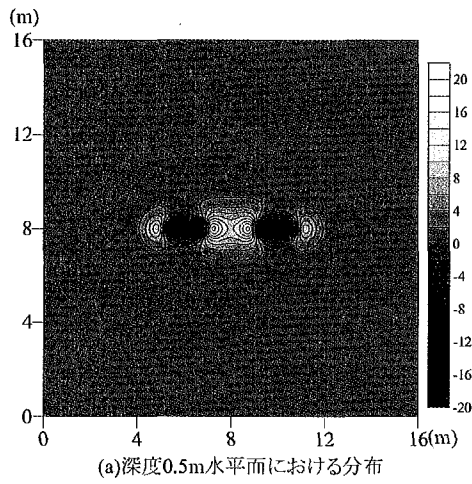
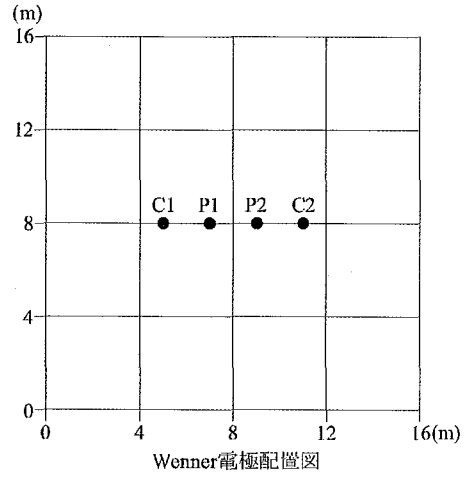


図 3.21: Wenner 電極配置における感度分布



図 3.22: 電極ピン設置風景

4. インバージョンの結果より、測定値と計算値の平均二乗誤差、当てはめの良否を判定する赤池の情報基準 (AIC や ABIC) などにより、各パラメータの検定を行い地下モデルの良否を判断する<sup>(24)</sup>。また最小二乗解が測定値を十分に説明出来なければ、もう一度、初期値を変え最初の過程からインバージョンをやり直す。
5. インバージョンの結果が測定値を十分に説明できると判断されれば、地下の抵抗率分布が得られ、歴史知識などを加味し、構造を推定する。

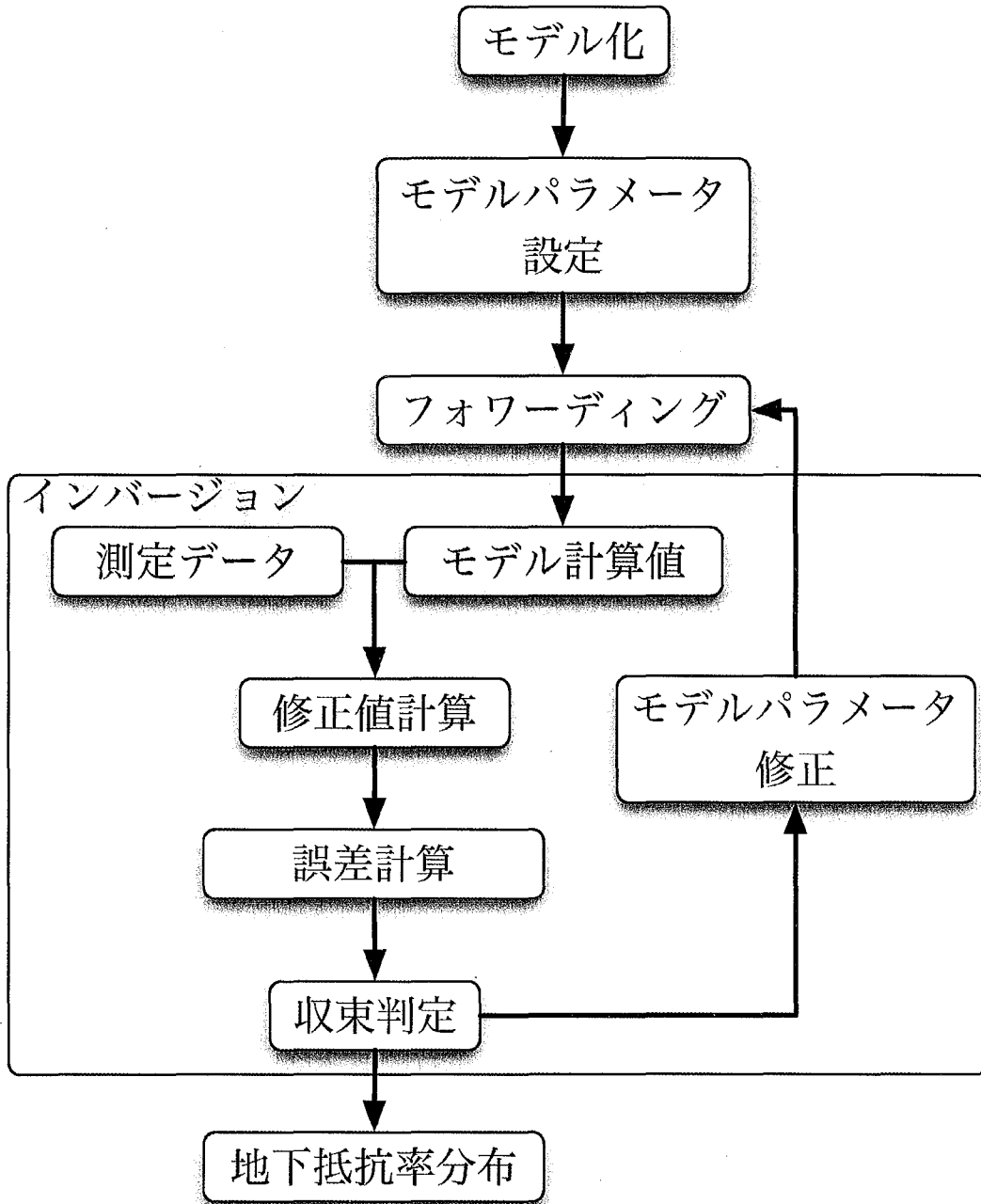


図 3.23: 抵抗率解析の手順

### 3.2.4 高松塚古墳への適用

高松塚古墳の墳丘内部における抵抗率分布を三次元抵抗率分布解析により計算し、内部構造を推定した。

#### 遺跡概要

奈良県明日香村に位置する高松塚古墳（図 3.24）は、石槨内部に描かれた国宝の彩色壁画で有名な古墳である。直径約 18m、高さ約 5m の円墳であるが、現在は壁画保存施設が建設され墳丘の形状は一見してわかる形ではない。古墳の築造は 7 世紀末から 8 世紀初頭とされる。

大きな話題となったのが、この高松塚古墳壁画において、2002 年 10 月黒カビの発生が認められたことである。そのカビは、壁画部分にもかかっており、早急な除去処理および原因解明が必要となった。カビの発生原因に関しては、墳丘内部の水分分布が影響していると予測され、墳丘内部における水分分布の把握を目的として電気探査を実施した。



図 3.24: 高松塚古墳 南側より 2003.5 撮影

#### 探査成果

電気探査は 2003 年 5 月 19 日から 23 日にかけて実施した。墳丘には竹が繁茂しており、電極配置が容易ではなく、図 3.25 に示したように墳丘を十字に切るような形で測線を設定した。本調査に用いた装置は、Geoscan 社製 RM-4 比抵抗測定器であり、この装置に多電極切り替え機とデータロガーを接続して測定をおこなった。その際の測定条件は表 3.2 の通りである。

表 3.2: 高松塚古墳 電気探査条件

電極本数	: 108 本/測線
電極間隔	: 0.25m
測線間隔	: 1m
電極配置	: Wenner 電極配置
電極展開幅	: 0.25m 刻みで 0.5m から 5.0m まで順次展開

探査の結果を図 3.26 に示す。左図が南北測線 Line2 における見掛け比抵抗分布断面図、右図が東西測線 Line7 における見掛け比抵抗分布断面図である。このように、見掛け比抵抗分布の状況では、墳丘形状も考慮されておらず、構造を推定することが困難である。よって、まず、これら 2 次元断面における抵抗率分布解析をおこなった。この解析には、Geotomo Software 社製の RES2DINV を用いた。解析では石槨内の空洞位置が既知であったので、その部分の抵抗

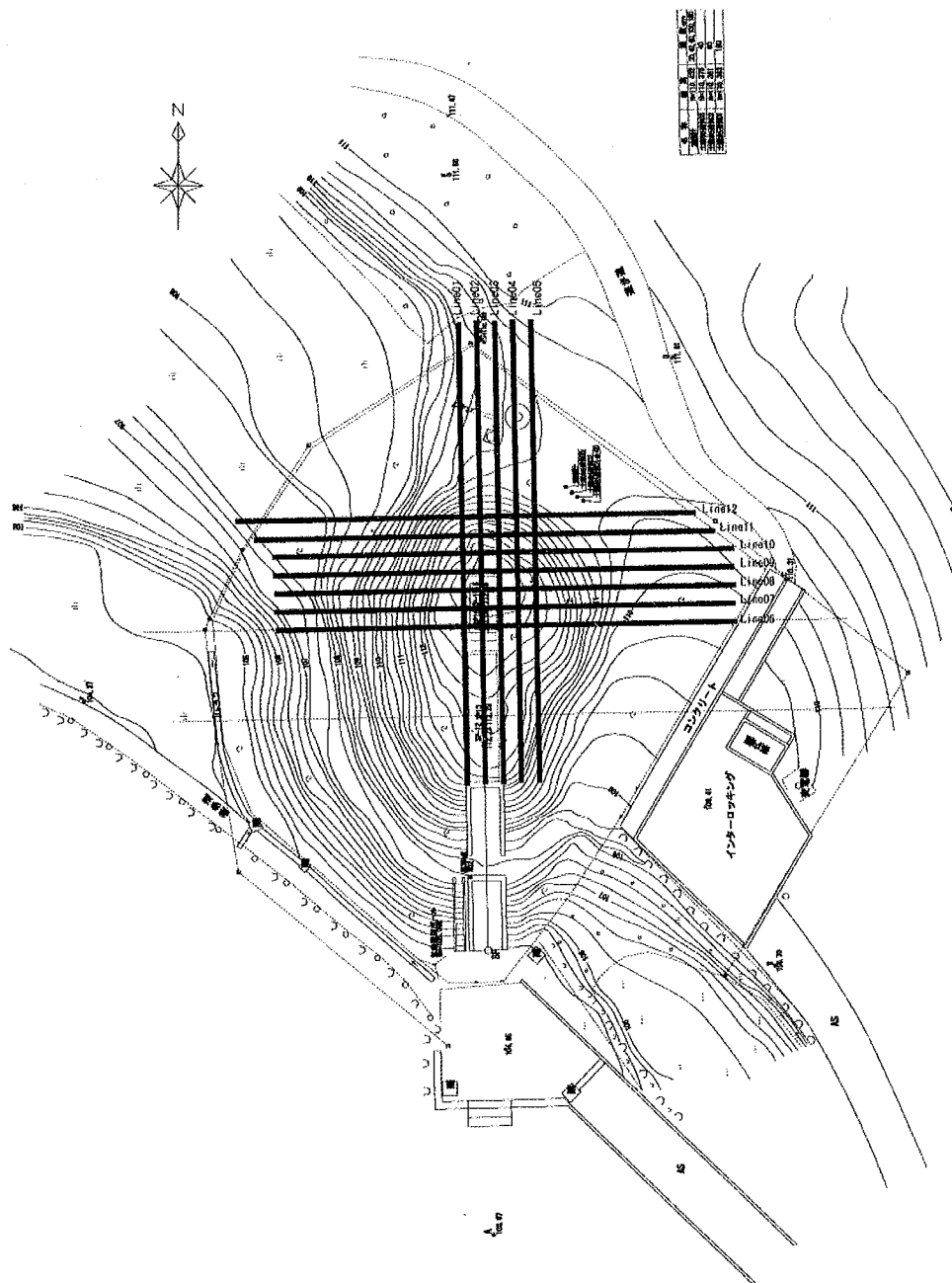


図 3.25: 電気探査測線配置図

率をあらかじめ設定して図 3.28 のようなブロックに分割した。そして、墳丘形状を考慮した解析結果が、図 3.27 である。石槨内部の空洞部分が高い抵抗率を示し、その北側および東側に低抵抗率分布が存在している。このことより、石槨の北東部分の抵抗率が低いと判断される。しかし、抵抗率が低い部分の範囲を 2 次元断面から推測することには、限界がある。そこで、3 次元解析をおこなった。

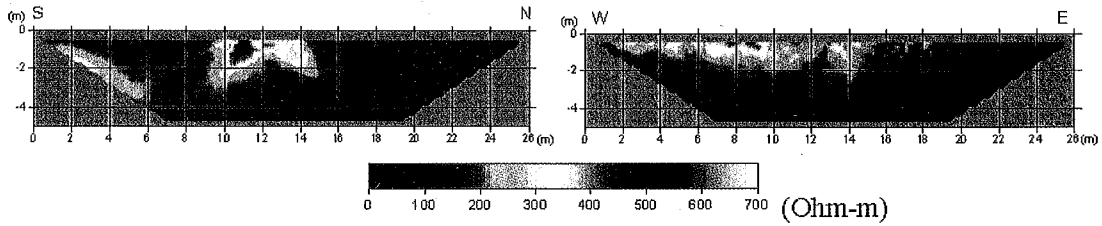


図 3.26: 見掛け比抵抗分布図 左図:南北測線 (Line2), 右図:東西測線 (Line7)

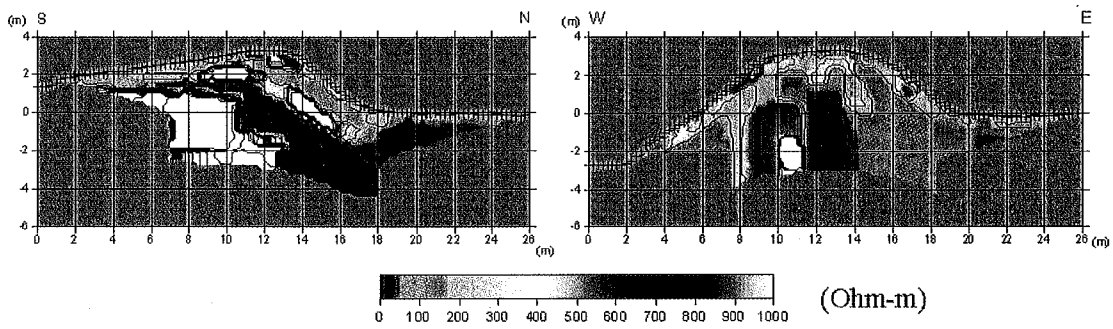


図 3.27: 2次元解析結果図 左図:南北測線 (Line2), 右図:東西測線 (Line7)

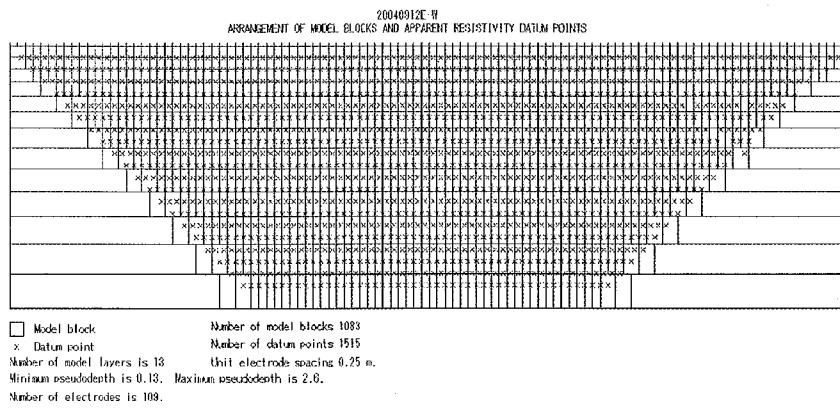


図 3.28: 解析モデルブロック図

### 三次元抵抗率分布解析

3次元解析には、Geotomo Software 社製の RES3DINV を用い、東西測線7本分のデータ（データ数：10,605点）についておこなった。その結果が図 3.29,3.30 である。図 3.29 は、石槲を中心として東西および南北の断面における抵抗率分布を示したものである。そして、図 3.30 は、低抵抗率部分のみを表示したものである。2次元解析結果と同様に、石槲の南東部に低抵抗率が集中して分布していると読み取ることができる。特に図 3.30 では、2次元の解析では十分に把握できなかったが、その抵抗率部分が石槲を取り巻くようにして存在している様子を見て取ることができる。この解析結果より、石槲を取り巻くようにして低抵抗率分布が存在していると判明した。さらに、石槲を挟み、ちょうどその低抵抗率分布の内側に位置する壁面において、多くの黒カビが発生していることが判明し、墳丘内の水分分布とカビの発生に相関があると確認できた。

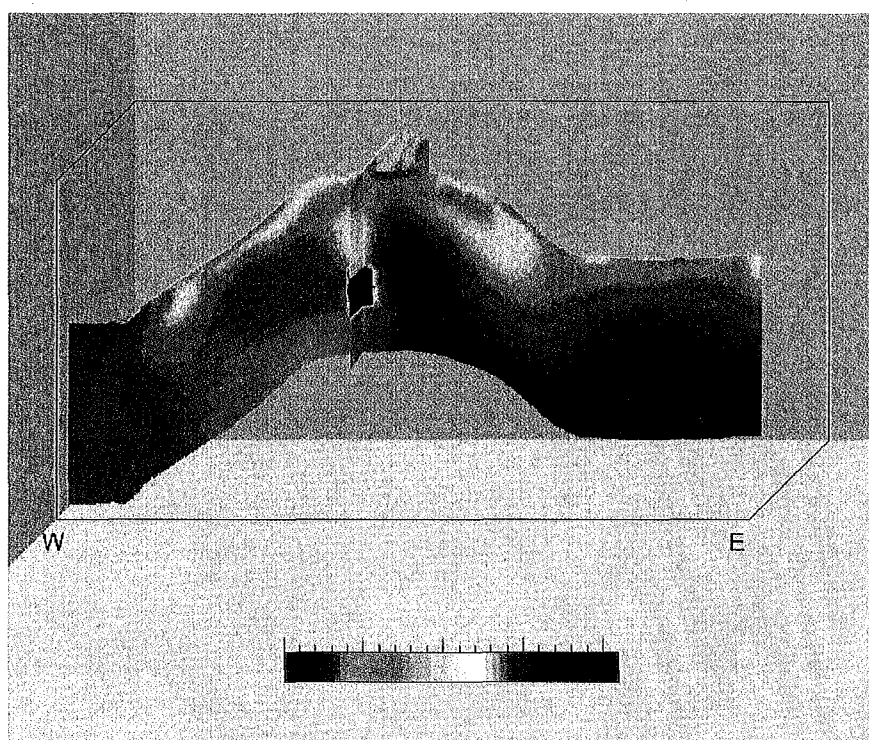


図 3.29: 三次元解析結果図

### 3.2.5 まとめ

電気探査法では、調査現場において地下の抵抗率分布を推測しやすい見掛け比抵抗が長く使われてきている。急激な抵抗率変化がなく、地表面が平坦な調査値の場合には、真の抵抗率分布の傾向を簡便に知ることができるため、浸透している。しかし、詳細な地下三次元抵抗率分布を知る為には、解析をおこない地下抵抗率分布を把握しなければならない。本節では、起伏の激しい墳丘を調査対象として、三次元解析の必要性および、その効果を実証した。また、その解析には市販ソフトウェアを用い、特別な環境でなくとも解析が可能であると示すことができた。



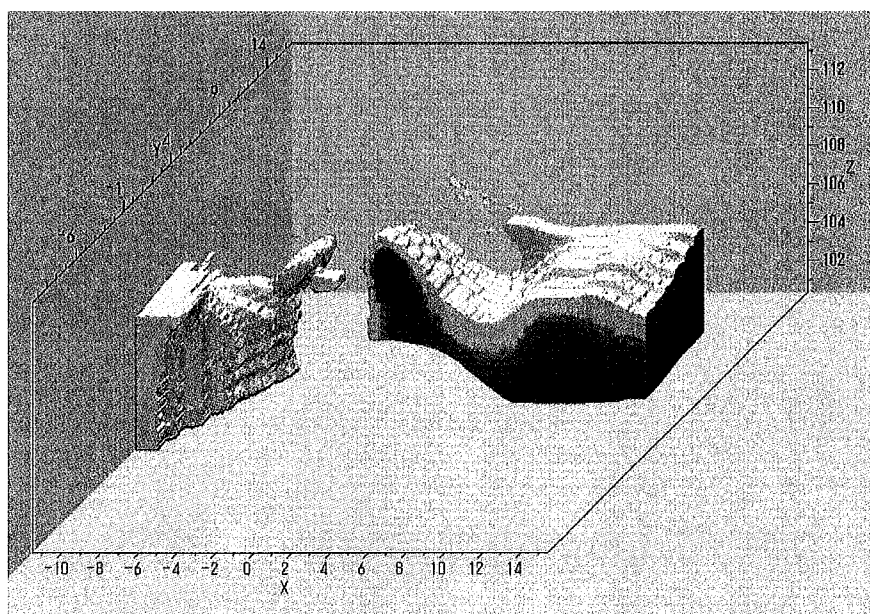


図 3.30: 三次元解析結果図 (低抵抗率部分のみ表示)

### 3.3 磁気探査-文化財モデル解析-

#### 3.3.1 はじめに

磁気探査は、地下に存在している磁性体を検出する探査法である。埋蔵文化財では、特に金属遺物および窯や炉などの被熱遺構といった強磁性体を探査するのに効果的な手法である。しかし、その存在は地上においては地磁気内の微小な磁気異常として観測され、磁気異常から磁性体の位置および形状を推定しなければならない。この推定には、様々な方法が存在するが、三次元形状を意識した場合、磁性体モデルを設定しそのパラメータを推定する方法が一般的である。本節では特に、特定の埋蔵文化財に特化したモデル設定した解析方法について述べる。

#### 3.3.2 磁気探査概説

地上磁気探査は鉄製品や窯跡など地中に埋まる磁性体がつくり出す磁場を地磁気の微小な異常として検出し、これを手がかりに磁性体の大きさや位置、埋没深度などを推定する手法である。

地磁気の強さは数万 nT 程度であるのに対し、探査対象となる磁性体による磁場強度はおおよそ数 nT から大きくとも数百 nT 程度と非常に小さいものである。そのため、磁気探査の研究では、高感度の磁力計の開発が進められてきた。現在では、高感度の磁力計の開発により、このような磁気異常も検出可能となった。

地磁気は方向と大きさを持つベクトル量であり、磁力計の代表的なものとして、絶対値（全磁力）を測定するプロトン磁力計とベクトル各成分を測定するフラックスゲート磁力計がある。プロトン磁力計は核磁気共鳴におけるプロトンの歳差運動の周波数が外部磁界の大きさに比例することを利用したもので、磁場の絶対値（全磁力）を測定する。一方、フラックスゲート磁力計は強磁性体の磁気飽和特性を利用した磁力計であり、コイルの中を通る磁束密度を計るもので、コイルの向きによる方向性を持つためベクトル計測が可能である。プロトン磁力計の感度は 0.1nT 程度で、フラックスゲート磁力計の感度は 1nT 程度である。

磁力計で計測した磁場は地磁気の影響を受けている。計測した磁場から地磁気の影響を取り除く方法としては、支持棒に取り付けた2つの磁力計の測定値の差分をとる方法がある。グラジオメータは2つの検出器を1つの棒に取り付け2台とも移動測定する装置で、各測定点での測定値の差分である磁気勾配の測定を行うものである。差分をとることで地磁気の影響を取り除かれ、これによって磁性体による地磁気の微小な異常のみを検出できるようになった。

その他の磁力計としては、ピコテスラ (pT:1nT=1000pT) 単位まで測定可能な全磁力計測型のセシウム磁力計や、フェムトテスラ (fT:1pT=1000fT) 単位まで測定可能なベクトル計測型の SQUID 磁力計のように、非常に高感度のものが開発されている。また、フラックスゲート型グラジオメータについては、従来はベクトル垂直方向成分のみの測定が行なわれていたが、ベクトル3成分（南北、東西、垂直方向成分）すべての測定が可能なる3軸グラジオメータの開発 (TRM-70D) により、地下磁性体についてより多くの情報が得られるようになった<sup>(9)</sup> (図 3.31)。

磁気探査における測定機器の開発技術が向上する一方で、データの解析方法についても、測定データから地下構造に関する情報を最大限に引き出すべく様々な研究がなされている。しかし、地下三次元構造および磁性体の形状推定は、未だ困難な状況である。

#### 3.3.3 対象文化財に特化した磁性体モデル

磁気探査データの解析においても電気探査データと同様に、観測データから逆解析により地下磁性体を推定しようと試みられている。しかし、磁場はラプラス方程式を満たすポテンシャル場であり、ある観測面において観測された磁場より正則空間の磁場を計算する事ができる。そして、特異点がない為に逆解析における解は不定となる。また、電気探査では電極配置法や電極間隔を変更することにより電流経路を変化させ、数多くのデータを得ることができる。しか



図 3.31: 磁気探査風景 TRM-70D を使用

し、磁気探査は受動的な探査方法であるため、観測磁場より得られる有意なデータ数は限られている。そのため、磁性体の形状解析において任意の形状を推定しようとする、モデルパラメータ数が多くなってしまい、解を求める事ができないという問題を孕んでいる。そこで本論文では、あらかじめ探査対象の文化財に対する情報を取り入れる事により、逆解析において有意な解を求める事を試みる。本論文では、探査対象を窯跡に絞ることにより、窯構造を推定する為のモデルを設定した。そのモデルは、窯の窯壁など被熱部分と焼成室など内部空洞部分を二つの直方体モデルを用いて表現した。このモデルにより、従来研究では推定が困難であった窯の構造を推定する事ができる。

#### 窯のモデル化

本逆解析では窯を図 3.32(a) に示すように窯体と内部の空洞部分を直方体型磁性体で近似した「窯モデル (=入れ子構造モデル)」であらわすことにする。磁場は線形場であるので、このモデルが発生させる磁場は図 3.32(b) に示す外側の直方体型磁性体が発生させる磁場から、図 3.32(c) に示す内側の直方体型磁性体（磁化方向は外側直方体型磁性体と同じ）が発生させる磁場を引くことで求められる。

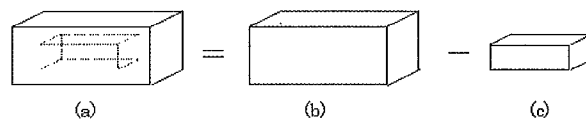


図 3.32: 窯モデル (a) 窯モデル (入れ子構造), (b) 外側の直方磁性体, (c) 内側の直方磁性体

#### 最小二乗法による解の探索

入れ子構造モデルの大きさをパラメータとし、その解の探索に非線形最小二乗法を用いる。観測点数が  $N$  点であるとする、評価関数は次のようになる。

$$\chi^2(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^N [B_i - B(i, \mathbf{a})]^2 \quad (3.17)$$

ここで、 $B_i$  は  $i$  番目の観測点における観測磁場、 $B(i, \mathbf{a})$  はパラメータ  $\mathbf{a}$  を持つ入れ子構造モデル ( $\mathbf{a}$  は外側や内側の直方体型磁性体の大きさ：幅など形状を決めるパラメータ) が発生させる磁場である。この評価関数  $\chi^2(\mathbf{a})$  を最小にするような  $\mathbf{a}$  が、窯の形状をあらわす解である。

### 3.3.4 寺所窯跡への適用

#### 遺跡概要

寺所窯跡は兵庫県多可郡中町の北東部に位置する遺跡である。その西方には東山古墳群が存在し、同窯跡では東山12号墳<sup>(18)</sup>より出土した須恵質切妻家形陶棺(図3.33)と同種の陶棺の破片や須恵器が発見されたことから、これらを焼成した窯が存在すると見られている。

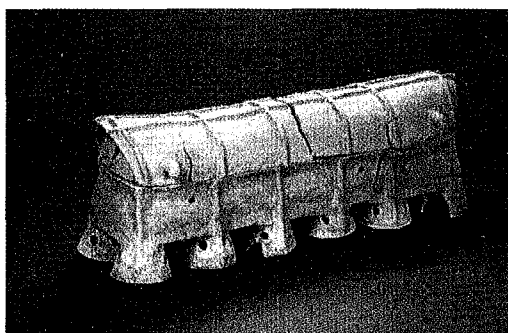


図 3.33: 須恵質切妻家形陶棺

#### 探査成果

図3.34は、寺所窯跡を探査する際に測量をおこなって得られた地形図であり、図中の原点(東西0m、南北0m地点)を標高0mとしている。調査は、2002年11月26日から30日にかけて磁気探査(ブロックA:東西44m×南北23m)、電気探査(ブロックB:東西20m×南北23m)、レーダ探査(測線1-4)を実施した。磁気探査にはトーキン製フラックスゲート型3軸グラジオメータTRM-70Dを使用し、測定条件は東西測線方向に観測点間隔1m、測線間隔1mとした。電気探査にはGeoscan Research社製RM-4を用いた多電極切り替え装置を使用し、電極配置にはWENNER法を採用し、測定条件は南北測線方向に電極間隔0.5m、測線間隔を1mとした。レーダ探査には光電製作所製KSD-3AM(アンテナ中心周波数166MHz)を使用した。

図3.34のブロックA(東西44m×南北23mの領域)を地磁気測定した結果(磁場の垂直方向成分の分布)を図3.35に示す。図3.35において南北中央部分に帯状の磁気異常が観測される。しかし、この磁気異常を窯跡と考えた場合、1つの窯が40m以上にも渡って存在するとは考えにくく、探査領域内に窯は複数存在するのではないかとと思われる。また、図3.35内、破線ブロックC(東西6m×南北4.5m)で区切った内部に見られる磁気異常は、帯状の磁気異常全体の方向とは方向性が異なっていることからブロックC内に(もしくはブロックCを一部分とする)窯が1つ、そしてこの窯の東西に少なくとも1つずつは窯が存在するのではないかと考えられる。

#### 実探査データの解析

ブロックE(東西12.5m×南北11.5m)内の磁気異常について窯モデルを用いた解析をおこない、考察を深める。

本逆解析により推定した磁性体の形状を図3.36に、平面位置、断面を図3.37、図3.38に示す。外側の直方体の長さは13.2m、幅1.6m、高さ0.9mという解が得られ、内側の直方体は外側の直方体に接する形状となった。この結果は外側の磁性体内部に空洞が存在しないことを意味する。高さについても0.9mと低いことから天井は崩れていると考えられる。

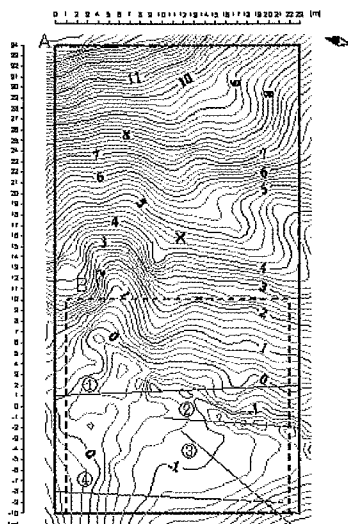


図 3.34: 寺所遺跡測量図および探査領域図

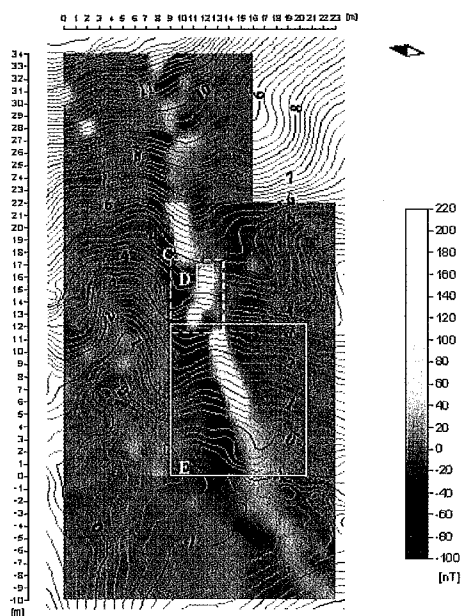


図 3.35: 磁気探査結果 垂直成分分布

#### 電気・レーダ探査結果との比較

次にこの推定結果と、電気・レーダ探査の結果との比較をおこなう。まずはブロック E（磁場の逆解析領域）と探査領域がほぼ重複する電気探査の結果と比較する。図 3.35 のブロック B（東西 20m × 南北 23m の領域）における電気探査結果（電極間隔 0.5m、1m、1.5m における見かけ比抵抗分布）と、地形を重ね合わせた図を、図 3.39 左に示す。そして、電気探査結果と、逆解析によって得られた磁性体の推定位置を重ね合わせた図を、図 3.39 右に示す。

図 3.39 左を見ると北西側（図の左）には低比抵抗が、南東側（図の中央より右上）には高比抵抗が観測される。これは北西側の地形が谷になっていることと、南東側の地形が尾根になっていることに影響しているのではないかと考えられる。しかし破線で囲った一帯は、尾根になっているにも関わらず低比抵抗が観測される。そして、図 3.39 右を見る

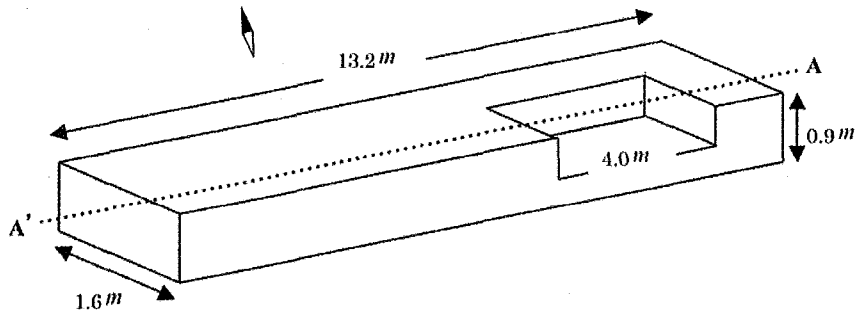


図 3.36: 推定された磁性体形状

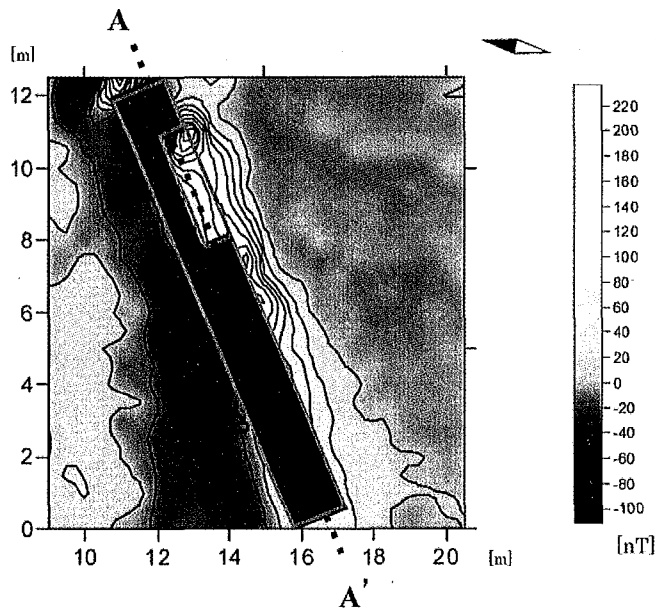


図 3.37: 推定磁性体の平面位置図

と、この低比抵抗部分と、推定された磁性体の位置とが重なっていることが分かる。この磁性体が窯であれば、焼成された窯床面で、雨水等の水分浸透が制限され、床面上部の土が水分を多く含む状況を想定できる。次にレーダ探査の結果と比較する。レーダ探査の結果を図 3.40 に示す（測線 1 におけるレーダ断面図）。この図を見る限り、磁性体があると推定した南北方向約 15-17m にかけて空洞と思われる反射パターンは確認できない。これは、磁気探査データの解析結果において、空洞がないと推定された結果と一致する。しかし、推定した磁性体位置の北側（南北方向 10-13m）に、複数の小物体の存在をうかがわせる反射パターンを見てとれる。空洞がない、すなわち窯壁が崩れていると解釈した場合、流れ崩れた窯壁片がこれらの反射源と推察可能である。

これらの比較、検証において、電気探査から窯が存在する可能性を示す結果が得られ、また窯以外に 10m 以上にも及ぶ磁気異常を発生させる磁性体は考えにくいから、この磁性体は窯であると考えられる。

本調査では、複数手法による探査の結果、窯の位置および、寸法を推定することができた。他の磁気異常部分についても窯の存在が推察され、本遺跡には複数の窯が存在すると考えられた。これらの窯のどれかが、東山 12 号墳より出土した陶棺を焼成した窯である可能性は高く、今後のさらなる調査が期待される。

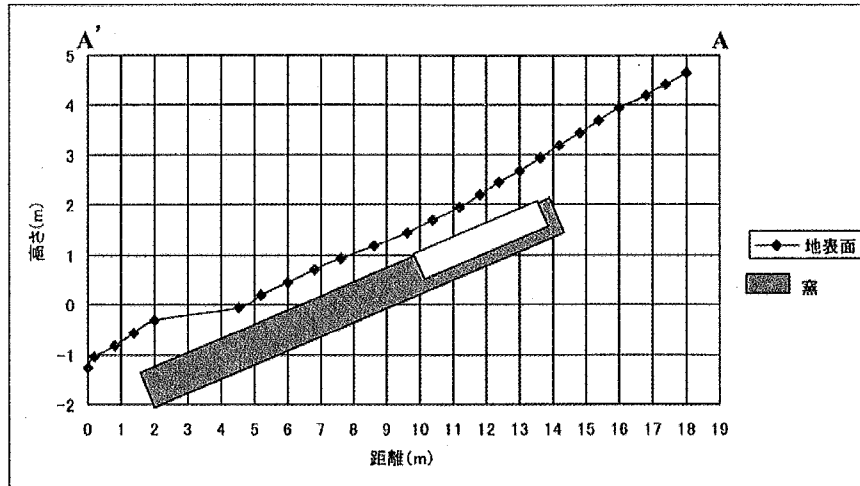


図 3.38: 推定磁性体の断面

### 3.3.5 まとめ

本節では、探査対象の形状に関する事前情報を、解析モデルに取り入れる事により三次元形状を推定する方法を提示した。窯跡の構造を再現できる窯モデルを想定し、実データに適用した。その結果、従来モデルでは推測が困難であった三次元形状を推定することができた。また、その解析結果を電気探査、レーダ探査の結果と比較検証する事ができ、解析手法の有効性を確かめる事ができた。

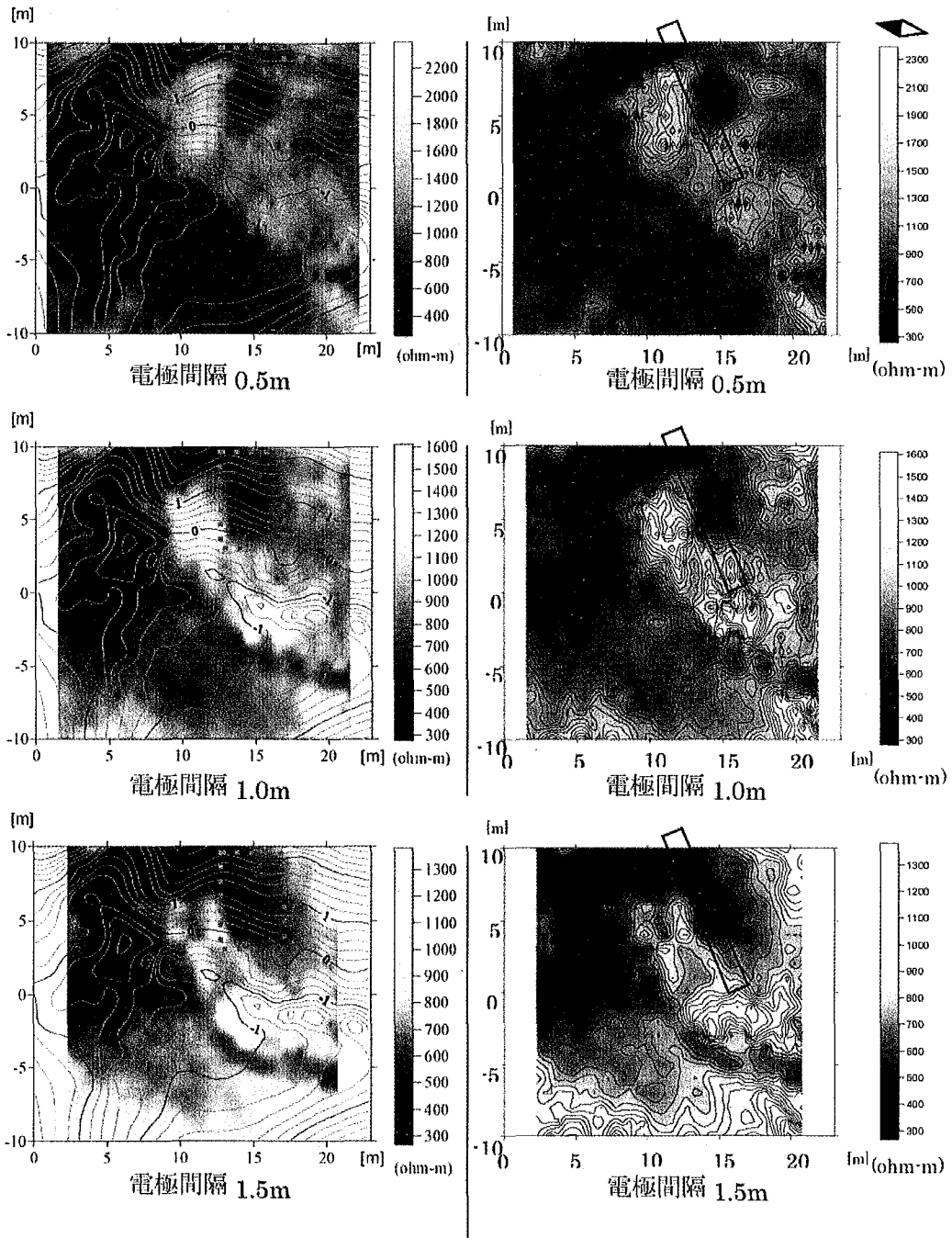


図 3.39: 左図: 見掛け比抵抗分布 右図: 比抵抗分布+推定磁性体



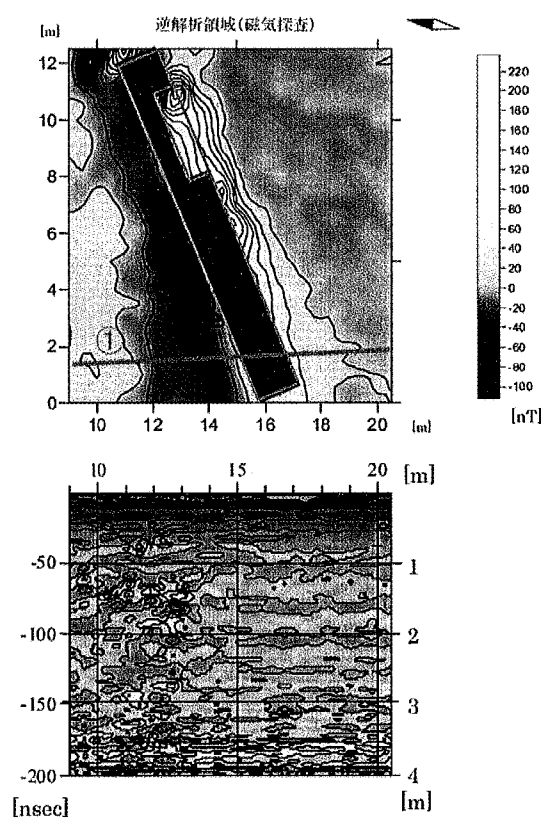


図 3.40: レーダ断面図

### 3.4 まとめ

本章において、複数の探査法において、地下三次元構造をモデル化する解析方法について述べた。レーダ探査法については、三次元マイグレーション法をもちいた三次元位置推定を説明した。本手法では、従来判別のつかなかった探査測線間に存在する物体の位置を推定することができる。人頭大の石で構成された配石遺構が多量かつ広範囲に分布する天白遺跡のデータに本手法を適用した結果、複数ある配石パターンを分類できる程度まで石の存在位置を推定することができた。

電気探査では、三次元地下抵抗率分布解析の方法について述べた。地下をいくつかの抵抗率ブロックにわけ、最小二乗法を用いてそのパラメータを推定する方法である。本解析手法は、かなり一般化されつつあり、高松塚古墳の墳丘内抵抗率分布測定には市販のソフトウェアを用いた。その結果、高松塚古墳壁面に発生した黒カビと関連性があると考えられる低比抵抗分布領域を推定することができた。この分布は2次元断面結果では異常範囲の把握が容易ではなく、三次元解析の必要性を示した例であった。

そして、磁気探査では、探査対象となる文化財の形状に関する情報を導入した磁性体モデルを想定し、三次元形状を推定する方法について述べた。磁気探査法を用い探査される事が多い、窯の構造を表現できる窯モデルを作り、寺所窯跡における探査データの解析をおこなった。その結果、天井が落ち、空洞の存在しない窯構造を推定した。この結果は電気探査、レーダ探査の結果でも検証され、本解析の有効性が実証された。本手法は、歴史情報をデータ解析手法に取り入れた統合的考古探査法であるといえる。

以上、現在主に用いられている探査法において、地下三次元構造をモデル化する方法について述べてきた。ただ単一の方法でモデル化するのではなく、これら探査結果を1つのモデルに集約させる事によって、より詳細な地下三次元構造モデルを記述する事が可能となった。

## 第4章

# 歴史・地理情報の導入

考古探査研究の中で、埋蔵文化財を効果的に検出する為の物理探査技術は、今日まで研究され発展してきた。しかし、探査結果を如何にして解釈するのかという点について、議論される事はほとんどなかった。現在、探査結果解釈は、探査従事者や考古学者等の遺跡調査者の経験をもとに導きだされている。その為、探査従事者の間で解釈の違いが生じたり、未経験者が考古探査を遺跡調査に導入する際の障壁を築く事になっている。本章では、探査の結果推定された地下構造モデルに対し、歴史知識・地理情報を導入し、それを文化財として解釈および認識する方法について論述し、これらの問題を解決する事を目的とする。まず、歴史知識を基にして、地下構造モデルをどのように解釈していくのかを、具体例をもって説明する。そして、探査結果や歴史知識などの情報を地理情報を軸として集約・統合する方法について述べる。GIS（地理情報システム）がその情報統合に役立ち、統合的考古探査法の調査成果を共有理解することができる。

## 4.1 歴史知識の導入

本節では、歴史知識の導入により、推定された地下構造を埋蔵文化財として解釈する方法について述べる。歴史知識がなくては、物理探査技術を用いて推定した地下構造も、埋蔵文化財として認識する事ができず、探査する場合には必須の情報である。しかし、探査従事者全員が歴史学者になる必要はもちろなく、探査結果解釈やデータ解析等の場面で如何に歴史知識を用いればよいのかを知っていればよい。歴史知識を調査領域の設定から結果解釈に至る場面に導入する事ができれば、統合的考古探査法は新しい遺跡調査手法となることができるであろう。以降、統合的考古探査法における歴史知識の導入形態やその効果について述べる。

### 4.1.1 はじめに

当然のことであるが、物理探査技術を用いて、測定されたデータはある物理量である。よって、推定した三次元地下構造モデルも、もっているのは物理量であるから、どのような種類の埋蔵文化財であるかを判断する必要がある。地下資源探査においては、その探査データ解釈は地下資源について学んだ専門の人材がおこなう。同様に、考古探査においても、考古知識、さらにそれを含む歴史知識を有していないと適切な解釈をおこなう事はできない。考古学において、良い例が存在する。地下構造を知る為の考古学的手法は、発掘調査である。発掘調査によって、様々な遺構や遺物が出土するが、過去より積み上げられてきた歴史知識体系があつて初めて、発掘によって出土したモノを埋蔵文化財として認識することができる。トイレ遺構などは近年までその存在が意識されておらず、発見例がほぼ皆無であった。しかし、トイレ遺構についての知識がまとめられるに従い、爆発的に発見例が増加している。埋蔵文化財への歴史知識の導入を示す好例であろう。学術的価値のある土器なども、知らなければただの土塊であり、ゴミともなりかねないのである。本節では、探査への歴史知識導入形態の提示が目的であり、特に、探査結果解釈における歴史知識の利用法について方法提案し、具体的な導入事例を例示する。

### 4.1.2 解釈過程の明示

考古探査が抱える最も大きな問題は、探査結果の解釈についての問題である。探査従事者がその解釈に至った根拠が明らかにされていないまま、報告されている例が多々見受けられる。そのような状況では、第三者が探査結果解釈について、その解釈が妥当であるのかどうかの判断を下す事ができない。よって、探査によって推定された三次元構造に対して、歴史知識を導入し解釈に至る過程を明示できる表現が必要となる。最終的な解釈が恣意的でないということを示す為にも、解釈に導入した歴史知識を整理し明示する事が必要である。しかし、調査対象となる埋蔵文化財の種類は千差万別であるため、解釈の一般化および定式化は困難である。さらに、探査結果を解釈するのは、人文科学系ではなく、探査技術を専門とする理工学系出身の探査従事者である場合もある。彼らにとって歴史知識は膨大であり、さらに、考古学的な知識となれば情報の理解に苦しむのは目に見えている。

そこで本論では、臨床医学における症例集や料理のレシピ集の様に、探査事例を集約し結果解釈の方法を提示する事を提案する。症例集等は基礎的な方法を記しているのではなく、実際的な事実および経験を集積する事によって、その方法を学び取れる様にしている物である。統合的考古探査における歴史知識の導入も、これに習い、レシピ集がある料理について、必要な素材・調理方法・調理の経過・完成状態について実際的に記しているように、ある遺跡の探査結果解釈について、推定した地下構造・用いた歴史知識・解釈結果を記す事によって歴史知識の導入方法をまとめていく。

### 4.1.3 東大寺丸山西遺跡への適用

歴史知識を導入する方法を具体例でもって、提示していきたい。本例は、東大寺の前身寺院である金鐘寺の存在を求めた調査において、探査結果へ古典文献・古絵地図・瓦といった歴史資料を加味し解釈をおこなったものである。

#### 遺跡概要

奈良県所在の東大寺丸山西遺跡は、東大寺の北西、丸山の西斜面に位置する。広大な平坦面を持ち、その平坦面から斜面にかけて、多量の瓦が散布しているのが本遺跡の現状である(図4.1)。京都大学・吉川真司氏を中心として研究が進められ<sup>(21)</sup>、散布している瓦の分析<sup>(23)</sup>、古典文献、絵図の研究などから、現在、東大寺の前身寺院である金鐘寺跡に比定されている。筆者は、1999年より当該遺跡の調査に加わり、歴史的・考古学的手法では調査が困難である寺院跡の存在位置・規模を確定する事を目的として、探査をおこなってきた(表4.1)。1999年7月より順次探査を実施してきた。調査当初は、調査当初は、遺構の存在確認が主たる目的であり、探査範囲も限定し実施された。複数回にわたる探査の結果、部分的ながら建造物跡と推定できる調査結果を得ることができたため<sup>(22)</sup>、2001年、2003年に平坦面全域を調査領域とした電気探査およびレーダ探査を実施した。以降、この2件の探査結果を中心にして述べる。

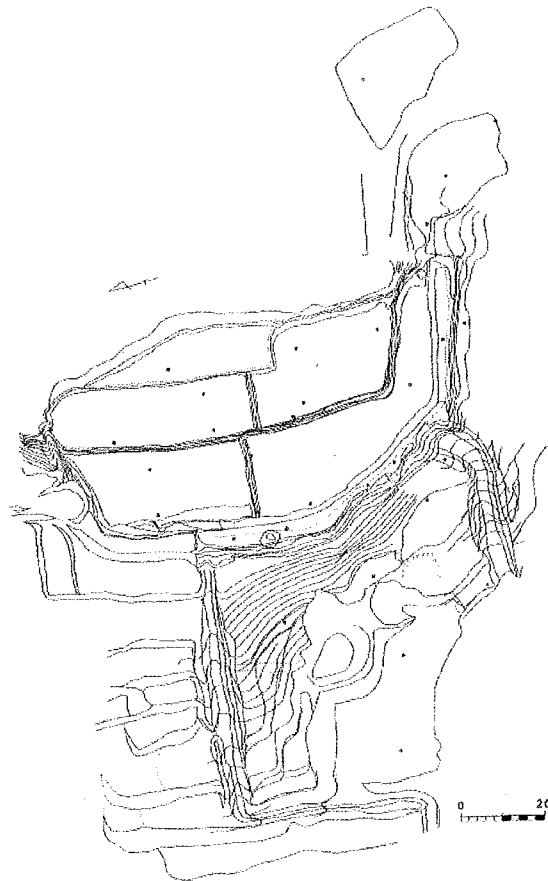


図4.1: 東大寺丸山西測量図 京都府立大学考古学研究室作成 (1999.7-2000.4)

#### 探査結果

■電気探査-2001.12-

表 4.1: 東大寺丸山西遺跡 探査履歴

調査日	探査方法	探査領域
1999.7	レーダ探査	平坦面上段（東側）南側を探査
1999.12	レーダ探査	平坦面上段（東側）を複数ブロックに分割して調査
2000.4	レーダ探査	平坦面上段において一連の基段らしき反射範囲を確定 平坦面下段（西側）も探査
2000.8	電気探査	平坦面上段（東側）を調査
2001.12	電気探査	平坦面全域を調査
2003.12	レーダ探査	平坦面全域を調査

2001年に実施した電気探査の探査条件は、表 4.2 のとおりであり、調査範囲を図 4.2 に示す。

表 4.2: 東大寺丸山西遺跡 電気探査条件

探査期間：	2001.12.10～20
測線：	1.0m 間隔
電極：	WENNER 電極配置、0.5m 間隔 測定時は 0.5, 1.0, 1.5m 間隔で電極を選択
測定点数：	約 25,000 点
比抵抗測定器：	GeoScan 社製 RM-4 比抵抗測定器 多電極切り替え装置とデータロガーを接続

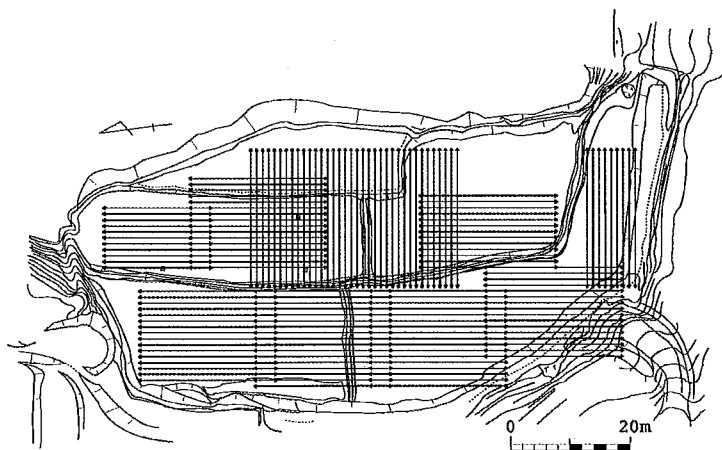


図 4.2: 電気探査測線配置図

探査した平坦面は東側（A～Dブロック）と西側（E～Hブロック）で高さが異なる。よって、同じ電極間隔の結果図を並べて表示すると、ある標高の水平面における比抵抗分布を表現できない。しかし、段差の高さを考慮すれば、一定標高面における見掛け比抵抗分布を得ることが可能である。実際の段差の高さは0.7m程度であったので、東側（上段）と西側（下段）で、0.5mの電極間隔差をもってデータを配置することにより、ほぼ一定標高面における見掛け比抵抗分布図が得られる。

浅い結果：図 4.3

東側上段（A～Dブロック）については電極間隔 1.0m、西側下段（E～Iブロック）については電極間隔 0.5mで測定した見かけ比抵抗値を図 4.3 に示す。東側上段の標高は、約 157m であるので、この結果図 4.3 は標高約 156m の平面

における見かけ比抵抗値分布を表現している想定である。

図 4.3 において、上段に高比抵抗部分に囲まれた矩形部分を見ることができる。西側に関しては段差の影響によって判断が不可能であるが、東西軸 9~26m、南北軸 0~8m 程度の規模を有する。形状は、整った矩形を呈しており、南北に方位が揃っていることから、何らかの人為的な働きがなされた結果存在している物と推定できる。そして、その部分を囲み約 110 Ω-m より高い比抵抗値を示す部分は、コの字状に分布するが、特に東側および北側が顕著である。この分布状況は、2000 年の探査結果でも同様に捉えられており、なんらかの遺構の存在を示している可能性が高い。遺構種を想定した場合、周囲に比べて高い比抵抗値を示していること、広がりをもって存在していることから、基壇のような版築されたものが挙げられる。

下段では南北軸 0m 付近を中心にして高比抵抗値を示す結果を得られているが、その部分では電極ピンを設置する際に他の場所に比べて抵抗があり、表土直下に礫の様な固い物体の存在が推定される。よって、その礫の影響が測定値に反映されたと考える。

そして、上下段に共通して、南北軸約 25m より南側では低比抵抗となる。また、ほぼ均一の見かけ比抵抗値を示している。

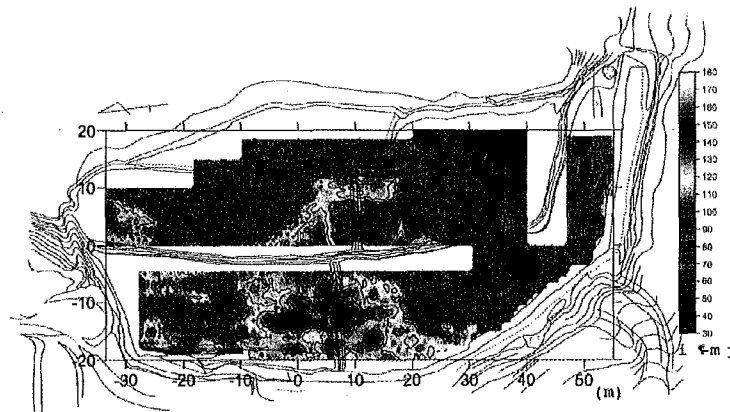


図 4.3: 比抵抗探査結果 1 (電極間隔: 上段 1.0m、下段 0.5m)

深い結果: 図 4.4

東側上段 (A~D ブロック) については電極間隔 1.5m、西側下段 (E~I ブロック) については電極間隔 1.0m で測定した見かけ比抵抗値を図 4.4 に示す。浅い結果と同様にして、この結果図 4.4 は標高約 155.5m の平面における見かけ比抵抗値分布を表現している想定である。

まず、浅い結果でも見られた上段特徴がぼんやりと見られる。この原因は、比抵抗探査法の原理そのものにある。比抵抗探査は、地表面からの測定であるので深い部分の結果であっても、浅い部分の状況を含んだものとなる。よって、このように浅い部分で特徴的に現れた比抵抗分布の影響が残るのである。そして、上段から下段にかけて、北から約 30 度西偏する約 18m 四方の正方 (南北軸 0m、東西軸 10m を中心とする) をなす見掛け比抵抗分布を見ることができる。これは、約 130 Ω-m 以上の比抵抗値を示す。上段では浅い結果においても、そのような分布を少し確認することができていたが、深い結果においてより明確である。礫の影響も多少現れていると見られるが、整った正方形の分布であることより、遺構を捉えている可能性が高いであろう。さらに、ここで注目されることは、その正方形の辺の方向である。やや北から西よりに方向が偏っている辺は、平坦面北東隅、南西隅の縁辺と平行しており、この方向を意識した土地利用がなされたと考えられる。

■レーダ探査-2003.12-

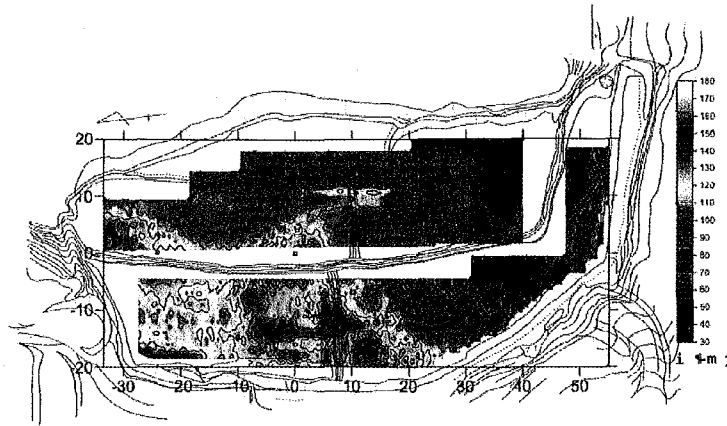


図 4.4: 電気探査結果 2 (電極間隔: 上段 1.5m、下段 1.0m)

2003 年に実施したレーダ探査の探査条件は表 4.3 の通りである。電気探査の領域とほぼ同じ範囲を探査領域として設定した(図 4.5)。また、平坦面の上段と下段で分割してレーダ探査を実施したが、その境界となっている段差斜面部分に関して、アンテナを走査しデータを取得している。

表 4.3: 東大寺丸山西遺跡 レーダ探査条件

探査範囲:	東西 50m × 南北 90m
	但し、約 50cm の段差が存在しているため、東側上段、西側下段に分けて調査
上段測線数:	178 本 (東西方向測線、測線間隔=0.5m)
下段測線数:	154 本 (東西方向測線、測線間隔=0.5m)
総測線数:	332 本
総測線距離:	6,538m
レーダ探査装置:	GSSI 社製 SIR-2 レーダ探査装置 400MHz アンテナを使用

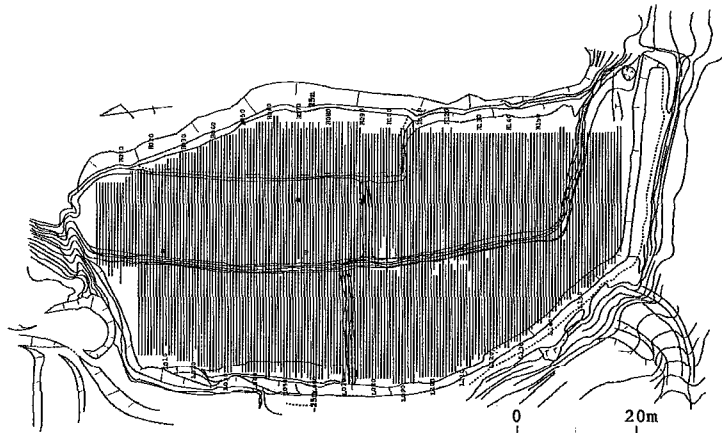


図 4.5: レーダ探査測線配置図

上段測線結果: 図 4.7

複数の断面図にわたり平坦な反射が連続的に見られる興味深い結果を得た。その反射が見られる断面図の一例として、図 4.6 を示す。図 4.6 の 0~12m 付近に見られる反射は 20nsec より深い位置に存在しており、これは平坦な境界面の存在を示唆するものである。また、その反射はやや深い位置に下がり、12~17m 付近まで存在する。この測線は



途中で東側の一段高い面上を上げるため、深さに変化が生じたと考えられる。よって、地形の影響を考慮すれば、この断面図で見られる反射は0~17mまでに存在する平坦な境界面によるものと推定できる。さらに、各断面図よりこれと同種の反射を抽出し、存在位置を記したものが図4.7である。図4.7から、これら一連の反射群がコの字型に分布していることがわかる。

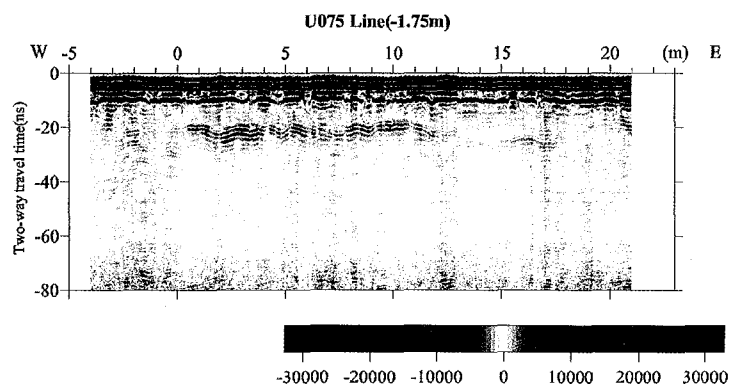


図 4.6: レーダ断面図



図 4.7: 上段反射分布図 (20nsec より深い部分の反射)

下段結果：図 4.8

浅い部分のタイムスライス図 (図 4.8) において、探査領域の中央畦より北側部分で方形をなす反射群が存在する。この方形辺は平坦面の北東辺および北西辺と同方位を有しており、興味深い。また、南側では、複数の平行線が見られ、過去の耕作跡 (畝跡) を推定できる。

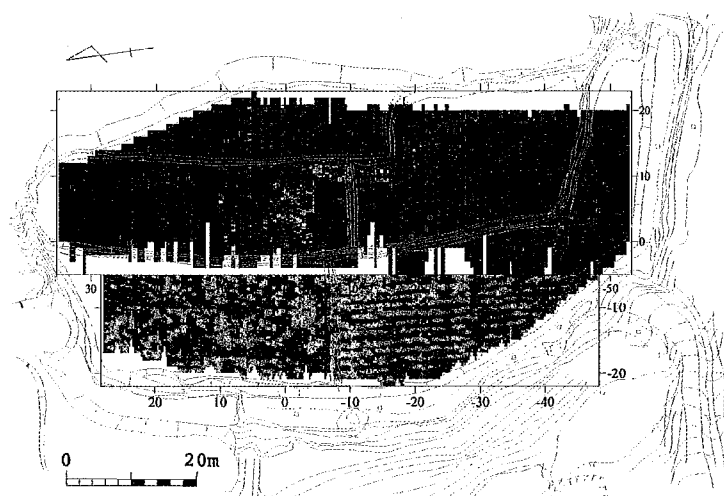


図 4.8: レーダタイムスライス図

## 歴史知識

現在までに、東大寺丸山西遺跡について判明している歴史的な知見を、「東大寺成立過程の研究」<sup>(22)</sup>記載の情報を基にして整理する。

## ■散布瓦から 図 4.9

東大寺丸山西遺跡では、数多くの瓦が表面採集されており、平坦面の西側と斜面との境界部分を中心として多量に散布している。この状況を見る限り、平坦面状に瓦葺きの建造物が存在した可能性が高い。採集された瓦の中には、軒先瓦も含まれており、その文様形式から瓦葺き建造物の存在年代を推定する事が可能である。整理分析の結果、「興福寺式軒瓦」と呼ばれる 6301-A と 6671-B の組み合わせが最も多く、8世紀前半にこの瓦を用いた建物が存在していたと推測できる。さらに、鎌倉時代の平瓦が少ないながらも採集されており、古代と中世の二時期に瓦葺き建物が存在していたと推測する事ができる。

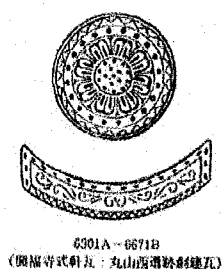


図 4.9: 散布瓦

## ■絵図から 図 4.10, 4.11

中近世の東大寺の様子を伝える基本史料として「東大寺寺中寺外惣絵図」4.10がある。この絵図では、丸山は特徴的な形で描かれており、その右下付近の丸山西遺跡の平坦面にあたると思われる箇所には、大きな区画が描かれ、「紫摩金院今ハ田」と注記されている。絵図では1間×1間の正方の建物として描かれているが、「今ハ田」という注記と他の建物とか描画方法が違うので、この当時は実際の建物が存在していなかったと推測される。文献史料等において、紫摩金院に関する記述は少ないが、11-13世紀頃に存在していた堂宇であるとみなされている。

そして、鎌倉時代(14世紀)に成立したのが、「天地院縁起絵」図 4.11である。僧侶が天地院の堂舎を巡る様子が描かれている。絵の上方に向かい登っている様子が描かれているので、画面上が東、下が西である。中央部にて法会が開催されている堂宇が天地院の中心的な建物と考えられる。かなり広い平坦地が必要であること、南側(絵巻向かって右)に谷川が流れていることを考慮して、その場所を丸山頂上と想定している。そして、丸山頂上では、発掘調査がおこなわれ、檜皮葺きの塔基壇等が確認されており、天地院の位置を丸山頂上と比定している。そうすると、絵巻左下方部に描かれた緩やかな稜線が丸山であると推定され、その西斜面には檜皮葺き房舎が存在していたと読み取れる。そして、この様相こそが中世における丸山西遺跡の姿であると推定される。さらに、絵巻には房舎に向かって伸びる階段が描かれており、丸山西遺跡でも同様に平坦面 I につながる西側からの道があることから、ますます絵巻左下方部が当時の丸山西遺跡の様子を描いていると推定される。

## ■地形測量から 図 4.12

図 4.12 の平坦地 I において北から西偏 4 度 (B-C, E-F, C-D: 直交) と 27 度 (A-B, F-A: 直交) の縁辺を見て取ることができる。西偏 4 度の方向性は、現在の地表面に残る畦畔が持っている。この方向性が現地形の大半を形作っている。また、西偏 27 度の方向性は、調査地の北東辺、南西辺にみられる方向性である。西偏 4 度の方向性は、平坦地 III の方位に見られる。そして、西偏 27 度の方向性は平坦地 II および上方にある水源地の平坦面方位とほぼ揃う。このような方

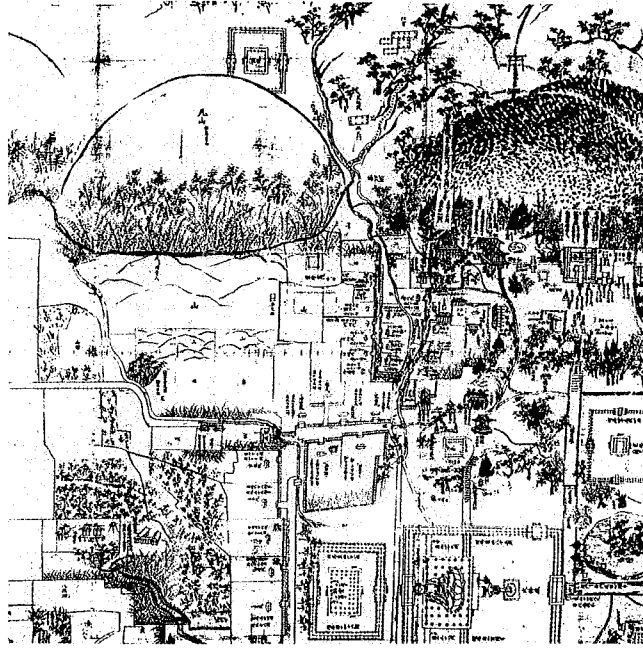


図 4.10: 東大寺寺中寺外惣絵図

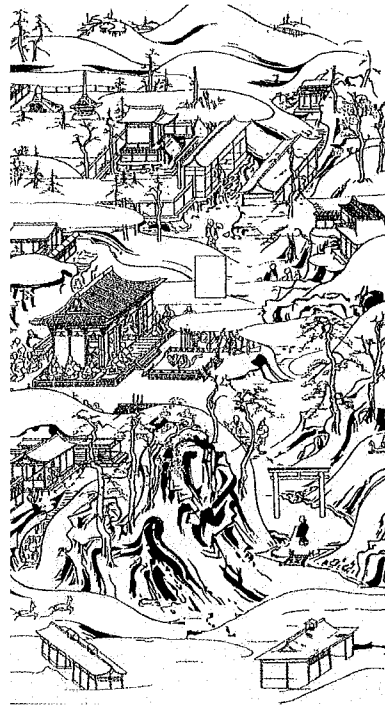


図 4.11: 天地院絵巻

位の一致が偶然と考えにくく、人為的な過去の土地利用の痕跡であると考えられる。

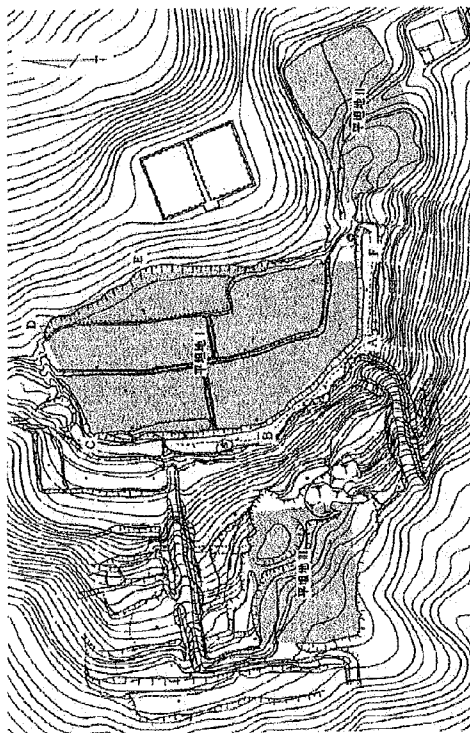


図 4.12: 土地利用分析図

このように、歴史的知見より丸山西遺跡には、8世紀から14世紀という長期間にわたる寺院の歴史があると考えられている。

#### 考察

数度にわたる探査の結果、前述の様に、矩形領域を取り囲むようにして存在する遺構と方形の遺構の存在を推定した。まず、平坦面上段にコの字状の高比抵抗分布が存在する事がわかった(図4.3)。そして、レーダ探査においても、同じ範囲で約20nsの深さに明瞭な反射を生む、平坦な境界面の存在が推定された(図4.7,4.6)。両者の結果は同一の構造を捉らえたものであると考えられ、文化財を想定すると、周囲に比べ高い比抵抗値を示すこと、平坦に面的に広がって存在すること、そして、歴史知識より瓦葺き建物、特に寺院が存在した可能性が高いことを考えると、版築され堅固な基壇の様なものではないかと考えられる。そして、矩形領域を取り囲む様に存在し、さらにその存在方位は、ほぼ西偏4度の土地利用痕跡である縁辺と揃う。このことより、この場所における代表的な建造物痕跡であると考えられる。

そして、これより深い部分において、下段を中心に方形の構造が存在することを推定した。電気探査で高比抵抗値を示し(図4.4)、レーダ探査でも反射群として捉えた(図4.8)。この方形領域の辺は、測定の結果導きだされた西偏27度の領域縁辺と揃うことが興味深い。この方形領域も、その状況から何らかの建造物の痕跡であると想定される。

これらの推定遺構を整理すると、方向性の異なる2種の建造物の存在を推定できる。さらに、存在する深さの位置関係より下段に位置する方形のものが古く、その後上段を中心にコの字状に広がるものが出現したと判断できる。この時代性を考慮すると、瓦や絵図より得られた歴史知識を導入する事により、さらなる推測をおこなう事ができる。特に探査結果で得られた形状を中心にして、絵図と比較すると、

- 深部(古い)の方形領域 = 「東大寺寺中寺外惣絵図」図4.10にみられる「紫摩金院今八田」
- 浅部(新しい)のコの字領域 = 「天地院縁起絵」図4.11にみられる「檜皮葺房舎」

という対応を想定できる。東大寺丸山西遺跡には複数の時期にわたり、様々な建造物が存在した可能性が大きいと判断される。本調査では、発掘という手段を用いずとも、丸山西遺跡における歴史の変遷を、探査結果と各種歴史情報を基にして推定する事ができた。

#### 4.1.4 まとめ

本節では、歴史知識を探査結果解釈へどのように導入し、明示するべきかについて論述した。探査従事者は、探査技術に精通し歴史知識にも明るい必要がある。このどちらかが欠けても、統合的考古探査法によって埋葬文化財を調査する事はできない。しかし、多種多様に存在する埋蔵文化財全てに対して、推定された地下構造を認識する方法を規定する事は不可能である。そこで、症例集やレシピ集のように、歴史知識をどのように導入したかという事例を集積する方法が効果的ではないかと考え、本節において提案した。そして、東大寺丸山西遺跡の探査を通じて、症例集的な歴史知識の導入を一般化する方法についての可能性を例示した。本探査では、探査結果解釈の根拠となる絵図や瓦などの歴史資料の整理をおこない、それらを比較検証する事ができた。その結果、時代の異なる2種類の建造物跡の存在を推定した。探査結果と様々な歴史情報から、歴史学のみ、物理探査のみの手法では導きだせない、具体的な東大寺丸山西遺跡の性格解明をおこなう事ができた。本例において、統合的考古探査法における歴史知識の導入形態を明示でき、発掘調査の事前調査に留まらない、新しい調査方法の在り方を示す事ができたと考える。

## 4.2 地理情報の利用

本節では、地理情報を軸として探査結果を視覚化し、探査以外の情報との統合化を目指す。また、地理情報をもった資料の解析と物理探査技術を統合した調査スタイルを提案し、野古墳群の調査に適用した。以降、その方法と結果について述べる。

### 4.2.1 はじめに

遺跡調査において、測量調査は重要な調査の一つである。遺跡の範囲を確認するため、遺跡の特徴を把握するためなどの目的で実施される。遺跡調査の最初におこなわれる調査であり、発掘調査が実施されるような場合には、調査記録として調査の最後までおこなわれる。一方、探査を実施する目的は、どこにあるのか肉眼では確認できない遺跡を把握する事である。この場合の測量調査は、遺跡の測量というよりも地形測量である。例えば探査で詳細な遺跡状況がわかろうとも、探査を実施した領域が正確に記録されていなければ、全く意味をなさない。探査結果報告の中には、探査結果を示すものだけが存在する。探査をおこなった周囲の状況が全く考慮されてない。特に古墳など平坦面が少なく、形状が複雑な遺跡の場合には地形図との統合は必須であろう。また、探査時の測量がいかげんであったため、探査をおこなった後の発掘調査の際に、探査で指摘された箇所とは異なる場所を調査してしまったという事故も報告されている。

そして、大規模な遺跡になれば、数度の試掘調査や発掘調査がおこなわれる。そのような遺跡で探査をおこなう場合、過去発掘調査との比較検討が必要である。その際にも地理情報を軸として統合する事により、詳細な探査結果解釈をおこなう事ができる。そして、探査結果を提示する際に、測量図と一致させる事により、探査従事者と遺跡調査主体者間で結果を共有できるのである。

以上の様に、遺跡調査において測量情報は重要な位置を占め、探査において欠かせない情報である。本節では、それらが有する位置情報に着目し、地理情報システム（GIS: Geographic Information System）を用い、探査と測量図などの空間データを統合化する事が目的である。探査は、発掘調査とは異なり、非破壊的な調査方法である。そのため、複数の探査手法を用いる事ができ、さらに複数回に渡る調査が可能である。しかし、それら探査結果が独立して存在しているのは利用価値は下がるのであるが、GISを利用する事により、複数の探査結果を一度に視覚化が可能になり、さらに発掘結果といった歴史知識を探査結果と合わせて表現可能となる。また、古地図の解析との連携により新たな遺跡発見を成し得る様になる。

### 4.2.2 GIS-地理情報システム

地理情報システム（GIS: Geographic Information System）とは、空間情報（地理的位置）を軸として位置に関する情報をもったデータ（空間データ）を、総合的に管理・解析し視覚的に表示する事により、高度な分析や迅速な判断を可能とする技術である。GISは様々な学問分野で利用されている技術である。研究分野以外にも、行政分野や民間の企業においても多用される。戸籍管理、インフラ整備状況把握、マーケットリサーチや、最適立地分布など多岐にわたる。それら空間情報の公開、相互利用も簡便であるのがGISの特徴であり、データ交換の場であるクリアリングハウスの整備も進んでいる。日本国内においては国土地理院が地理情報クリアリングハウス<sup>\*1</sup>を運営し、空間把握の基盤となる国土情報を提供している。また、GISアプリケーションを提供しているESRI Japan株式会社もジオグラフィネットワークジャパン<sup>\*2</sup>を運営している。このように、大規模なデータの整備、情報の共有がなされており、本研究の目的とする探査結果を中心とした統合化、共有に有効な技術である。

<sup>\*1</sup> <http://zgate.gsi.go.jp/>

<sup>\*2</sup> <http://www.geographynetwork.ne.jp>

考古学の分野では当初、地理学および情報科学を専門とする研究者の中で GIS 研究が起こった。活用事例としては、遺跡の立地分析や表示が代表的なものであり、眺望分析などの測量データと組み合わせた三次元的な空間表現などがあげられる。現在、その活動状況は伺い知れないものの、1997 年以来、奈良文化財研究所では「遺跡 GIS 研究会」が開催されている。また、近年では金田らが考古学を対象とした GIS に関する書籍を出版している<sup>(1)</sup>。

統合的考古探査法において、地理情報の導入は、探査結果を始めとするデータの効率的な記録保存、検索性の向上を促す。そして、空間情報を媒介とすることによる、情報の統合および共有化をはかれる事が一番の効果である。それも、視覚的・直感的な理解をはかる事ができる。従来 of 考古探査では、既出の通り、探査従事者と遺跡調査主体者の間における探査結果の解釈、情報の共有が障壁となってきた。しかし、GIS の技術は、その問題を解く手がかりとなる。発掘結果、測量図、古地図、自然科学データなど遺跡調査で取り扱う情報群は、そのほとんどが地理情報を有する。探査結果ももちろん地理情報を有しており、それら情報群を利用して結果解釈をおこなう。

### 4.2.3 野古墳群への適用

本例は、GIS のもつ解析機能を利用して古地図を幾何学変換し、現在の測量図と統合させたものである。野古墳群における古地図・絵図に適用した結果、現在は削平されて消滅した古墳の位置を推定する事ができた。さらに、その推定地において探査を実施し、古墳の存在可能性を検証した。

#### 遺跡概要

岐阜県揖斐郡大野町に所在する野古墳群は、前方後円墳の登越古墳をはじめとした数基の前方後円墳および円墳からなる。現在、圃場整備され、古墳の周囲は規格化された状況である。しかし、本古墳群を描いた江戸および明治時代の絵図が、現存しており、その絵図を見ると現在では、確認できない古墳が描かれている（絵図参照図 4.13,4.14,4.15）。これら古墳については中井<sup>(15)</sup>が、分布位置復元をおこなっている。しかし、推定方法が定式化されている訳ではなく、発掘調査等の証拠が提示されない限り、その分布状況は不確定のままである。このような状況に対して、本論では、古地図を幾何学変換し、現在消息不明の古墳の位置を推定する事が目的である。さらに、推定地域において探査をおこない、より詳細な古墳状況を把握することが目的である。

#### 古地図変換

現代の地図と異なり、江戸時代の地図等は測量の精度も低く、一枚の地図の中でもその縮尺は一様ではない。そのため、古地図の幾何補正は、古地図と現代図において共通の基準点を抽出し、アフィン変換（射影変換）をおこなうという方法を採用した。古地図を見ると、明治時代と江戸時代の地図では、土地境界や道路等の共通性が多い。しかし、現代では、圃場整備がおこなわれた結果、共通要素の基準点を見いだす事は困難である。過去より存在していると考えられるものは、古墳しかなく、古墳を共通点として設定する。だが、古墳のどこを基準点とするかが問題である。古墳形状は時代とともに変化していると推測され、共通点として使用する事はできない。そこで、本調査では、古墳の最大長および最大幅で長方形（バウンディングボックス）を作成し、対辺の中点を結んだ点を古墳の代表点として設定した（図 4.16 参照）。この規則に従って基準点を設定し、江戸の古地図から明治図に幾何変換し、さらに現代図上に幾何補正した。（図 4.17 参照）この補正により、消息が不明であった古墳の位置を推測する事ができた。

#### 検証

古地図の幾何補正をおこない存在位置を推定した古墳について、該当領域において探査をおこない、その所在確認をおこなった。その結果が図 4.18,4.19,4.20,4.21 である<sup>(5)</sup>。図 4.18 は古墳 5 の推定地域周辺においてレーダ探査実施した結果であり、図 4.19 はそれに幾何補正結果を重ね合わせたものである。同じく、図 4.20 は古墳 6 の推定地域において電気探査をおこなった結果である。そして、図 4.21 はそれに幾何補正結果を重ね合わせたものである。古墳 5 につ



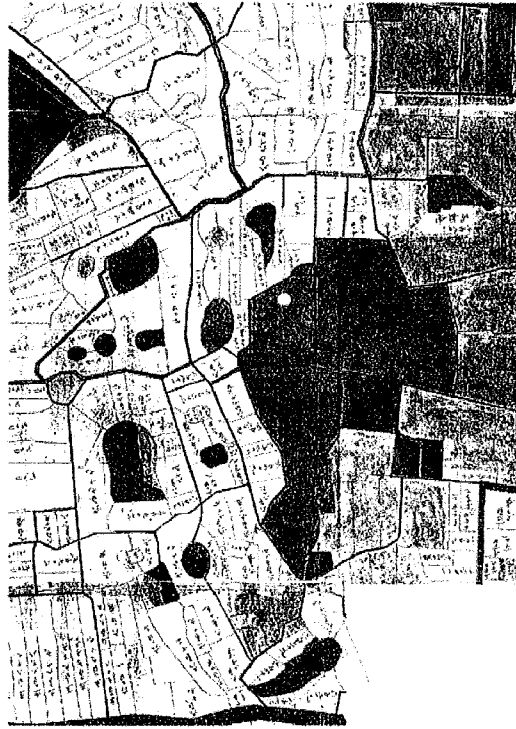


図 4.13: 江戸時代図

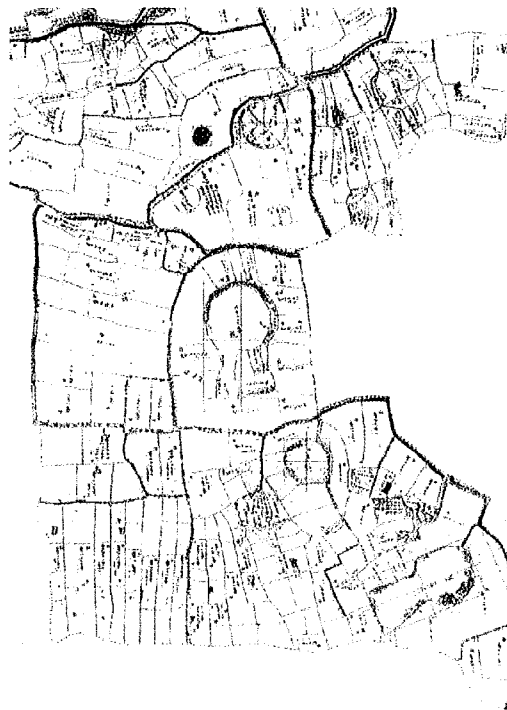


図 4.14: 明治時代図

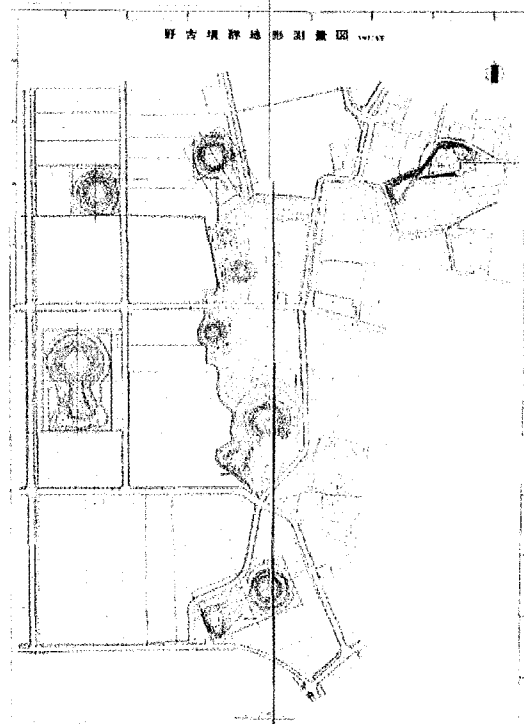


図 4.15: 現代図

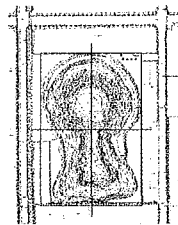


図 4.16: 古墳基準点設定

いては、レーダ探査で推定した古墳の周濠と墳丘の位置関係が一致していることがわかる。一方、古墳6についても、電気探査で古墳と解釈されるような抵抗率分布を示す範囲が幾何補正結果と一致している。以上のように、発掘調査という方法を用いずとも、消息不明古墳の存在位置を画像変換技術をもって推定する事ができた。さらに、探査成果との統合により、推定結果の検証をおこなう事ができ、地理情報を軸とした統合的考古探査の在り方を示す事ができた。

#### 4.2.4 まとめ

本節では、GISにより探査と測量図などの空間データを統合する事で、調査成果の視覚的な共有を実現する方法を提案した。また、従来の発掘の為の事前調査にとどまらない、新たな遺跡調査スタイルを導出し、成果を得る事ができた。今後、GISを基盤技術として持つ統合的考古探査の結果をデータベース化し、広く公開していく事が今後の課題である。

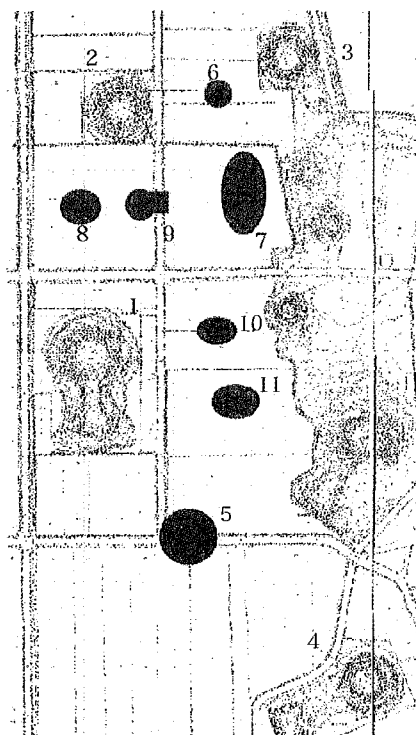


図 4.17: 古墳比定

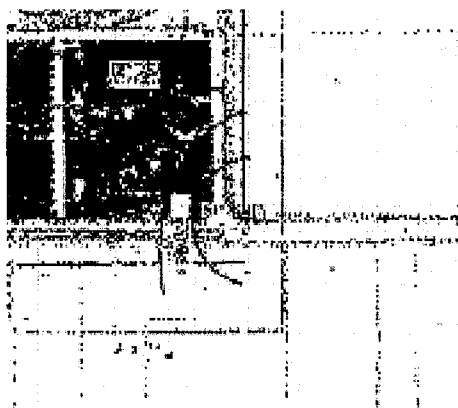


図 4.18: レーダ探査結果

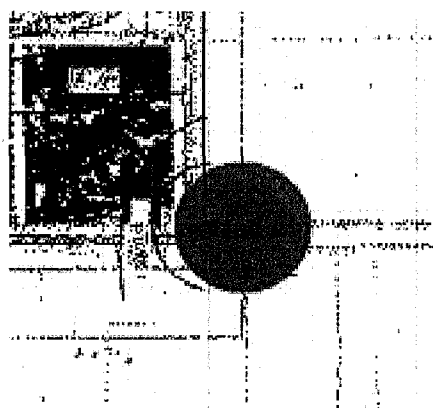


図 4.19: レーダ探査結果と幾何補正図の統合

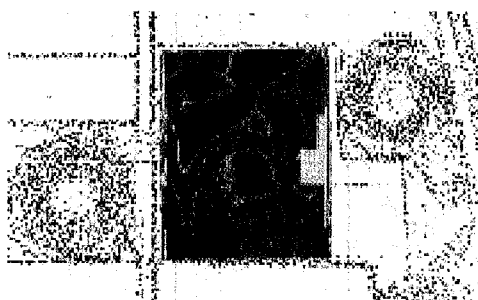


図 4.20: 電気探査結果

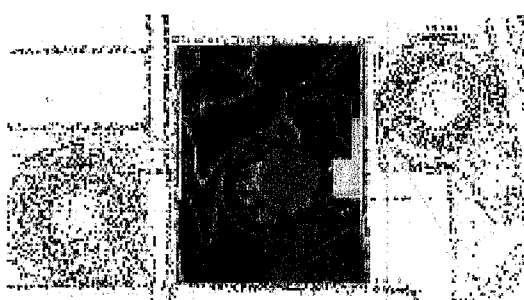


図 4.21: 電気探査結果と幾何補正図の統合

### 4.3 まとめ

本章では、探査結果より推定された地下構造を埋蔵文化財として認識する為に、歴史知識及び地理情報如何に導入するのが効果的であるのかを述べた。

従来は議論される機会が少なかった歴史知識に基づく探査結果解釈過程については、一つとして同じ遺跡は存在しないという考えに立ち、様々な探査事例を症例集的に整理する事により、歴史知識の導入方法を確立することを提案した。歴史知識を効果的に導入した、東大寺丸山西遺跡の調査においては、発掘という調査方法に頼らずとも具体的な遺跡性格を推定する事ができた。特に、東大寺丸山西遺跡は世界遺産にしていされた地域でもあるので、発掘による遺跡破壊はさげなければならない。そのような中、成果を挙げる事ができたのは評価できる部分であろう。そして、地理情報の利用については、GIS技術を基盤とする方法について述べた。その結果、探査従事者と遺跡調査主体者が、探査結果を視覚的に理解し、さらにお互いの情報を共有できる基盤を形成する事ができた。また、古地図解析との融合により、未確認遺跡を推定するという、新しい調査形態を提案する事ができ、野古墳群で成果を挙げた。

本章で提示した実践例は、いずれも発掘調査を伴わない遺跡調査である。統合的考古探査が発掘の事前調査から脱却し、1つの遺跡調査方法として成り立つ傍証事例であると認められる。

## 第5章

# 探査の実践

本章では、統合的考古探査法を実施する際に留意すべき点を調査票としてまとめ、それを利用する事により実効性を向上する方法について述べる。さらに、この調査票を用いて、これまでおこなってきた20数遺跡にのぼる探査事例(表6.1参照)を整理して、実践方法を例示する。

### 5.1 調査票による探査実践

我々が探査する遺跡は、ある程度の予測はできるものの未知の存在であり、時には過去に類を見ないものを調査する場合もある。よって、探査方法およびその結果解釈の一般化は不可能である。そこで、本章では統合的考古探査法に則った調査を支援する「調査票」を新たに作成した(図5.1)。

作成した調査表は、「遺跡情報」「探査情報」「歴史・地理情報」「結果情報」からなる。各情報にはチェック項目があり、新たに探査を実施する場合、調査票の項目を埋めるよう努めることにより、統合的考古探査法の考えに則したミスの少ない探査を進める事ができる。そして、過去の探査事例についても、調査に用いた物理探査手法はなにか、どのような解析方法で「地下三次元構造をモデル化」したのか、結果解釈過程においてどのような「歴史・地理情報を導入」したのかといった実施状況を記載し、探査成果を整理できる構造となっている。また、これら情報は当研究室で構築を進めている文化財情報活用システム(ARCADIA: 仮称)<sup>\*1(28)</sup>との連携を視野に入れた設定となっている。それぞれの情報は独立したXML形式ファイルとして管理する事により、この活用システムが有するデータベースと連携する事が可能である。

以降、各項目について、その詳細を述べる。

#### 5.1.1 遺跡情報

調査遺跡に関する基本的事項である。〈遺跡名〉、〈遺跡種類〉、〈遺跡時代〉、〈遺跡所在-住所〉、〈遺跡所在-緯度〉、〈遺跡所在-経度〉、〈その他〉が記入項目である。この情報は、探査をはじめとする他の情報群を取り纏める情報である。この事項は、構築中の文化財情報活用システム ARCADIA<sup>(28)</sup>の「遺跡情報」(図5.2)に準拠したものである。

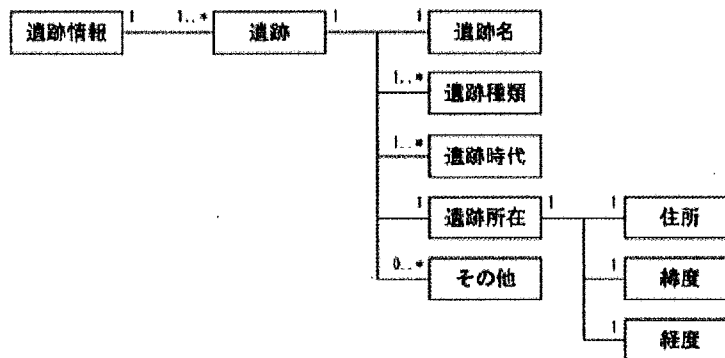
#### 5.1.2 探査情報

実施した探査に関する事項である。探査範囲ごとに情報をまとめ、〈探査日時〉、〈探査範囲-名称〉、〈探査範囲-大きさ〉、〈探査範囲-範囲図〉を記入項目として設定した。

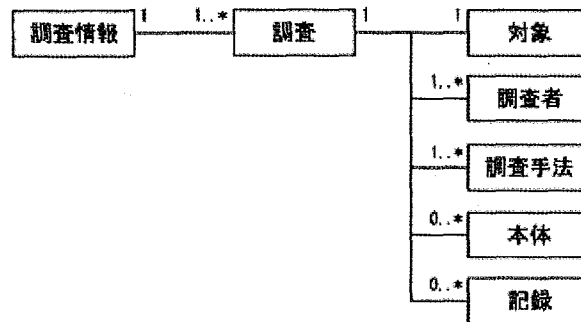
<sup>\*1</sup> 文部科学省21世紀COEプログラム「大規模知識資源の体系化と活用基盤構築」の援助を受けている。

遺跡情報	
遺跡名称:	遺跡所在地-住所:
遺跡種類:	-緯度(代表点):
その他:	-経度(代表点):
探査情報	歴史知識
調査日時:	発掘報告書 <input type="checkbox"/>
調査範囲-名称:	doc.xml
-規模:	参考文献 <input type="checkbox"/>
-図版:	その他 ( )
実施探査-電気探査 <input type="checkbox"/>	
res.xml	
-電気探査 <input type="checkbox"/>	
mag.xml	
-レーザ探査 <input type="checkbox"/>	
radar.xml	
-その他 ( )	
*各探査については以下の項目を持つ	
装置:	
測定条件:	
測線設定:	
測線配置図:	
探査結果(Original):	
解析結果:	
測定風景:	
その他:	
探査解釈結果	
発掘結果	

図 5.1: 調査票

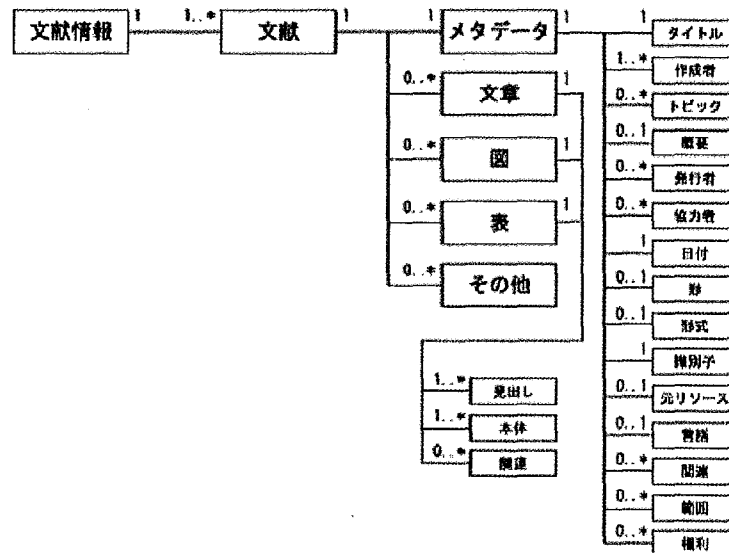
図 5.2: ARCADIA における遺跡情報概念図<sup>(28)</sup>

それに続き、実施した各探査法についての情報を記入する。探査法により項目は変化するが、〈探査装置〉、〈測定条件〉、〈測線設定〉、〈測線配置図〉、〈探査結果〉、〈解析結果〉、〈測定風景〉からなる。探査結果や解析結果は、そのデータを管理または保有している機関や場所を指し示す。そして、これら項目が記載された各探査法における情報を、個別の XML 形式のファイルとして保有する。統合的考古探査法では、複数の探査法による調査から地下の三次元地下構造をモデル化するので、一つの調査範囲に対して2つ以上の探査法による情報が記載されることが望ましい。ARCADIA では、この情報は「調査情報」(図 5.3)に相当する。

図 5.3: ARCADIA における調査情報概念図<sup>(28)</sup>

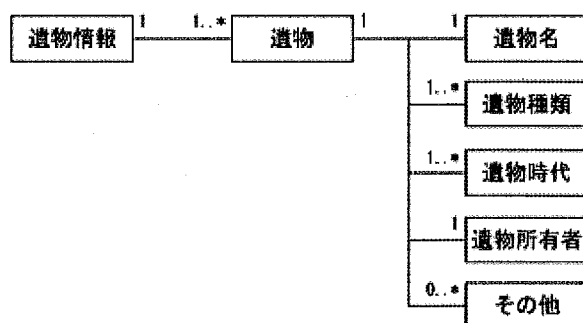
### 5.1.3 歴史・地理情報

歴史知識については、探査対象遺跡に於いて過去に実施された発掘報告書が存在するかどうかを調べる。もし、存在するのであれば、記載する。文献以外にも、検出された遺物も当然の事ながら、記載する。ここで記載が必要なのは情報の有無と、情報がある際にはその情報を保有する XML ファイルの名称と存在場所のみである。ARCADIA では、発掘報告書は「文献情報」(図 5.4)として、遺物は「遺物情報」(図 5.5)として扱われる。次に地理情報であるが、最も

図 5.4: ARCADIA における文献情報概念図<sup>(28)</sup>

重要な情報は探査対象遺跡の測量図である。この情報は、統合的考古探査をすすめる上で必須の情報である。できる限り、探査実施時の状況を反映している測量図である事が望ましい。この他に、探査結果を解釈する際に使う情報として古絵地図や古い航空写真などが挙げられる。

これら歴史知識および地理情報は、探査従事者よりも対象遺跡の調査担当者の方が適切かつ詳細な情報を有している。従来の考古探査では、探査結果解釈に用いるこの情報が適切でなく、誤解釈を生むこともあった(第2章における桜井古墳の例)。しかし、この調査票を用いれば、遺跡調査担当者が探査結果を解釈する上で、手掛かりとなる様な情報を記載する事ができ、物理探査従事者との間で情報を共有できる。もし、探査従事者が不適切な歴史知識や地理情報を探査解釈に用いていても、調査票に記載されていれば、遺跡調査担当者や第3の共同研究者の指摘を受けることができる。

図 5.5: ARCADIA における遺物情報概念図<sup>(28)</sup>

#### 5.1.4 結果情報

結果情報は、探査成果を整理する場合に使用する。探査解釈結果は、最終的に報告された探査報告などを記載する。そして、発掘結果は探査実施後におこなわれた発掘成果を記述する欄である。この結果情報が記載された探査結果が集積されれば、統合的考古探査の実践方法を提示する有益な事例集を作成する事ができる。そうなれば、新たに調査に取り組む場合、関連性のある過去の事例を参照する事が可能となり、効果的な統合的考古探査法を実施することができる。



## 5.2 古墳-複雑な構造を有する遺跡-

日本においては、古墳を対象とした探査実績がもっとも多い。筆者が携わった探査でも古墳調査が大半を占める。古墳は複雑な構造を持つ人工物であり、多くの情報を有する。そのため、遺跡調査に求められる要件も多く、統合的考古探査法の評価には好都合の遺跡種である。筆者が携わった調査古墳は、角塚古墳、五塚原古墳、玉手山7号墳、吉備塚古墳、高松塚古墳、ホケノ山古墳、勝山古墳、島の山古墳、玉丘古墳群、周遍寺山古墳、寺山古墳、女鹿山古墳、亀山古墳である。ほとんどが、古墳時代の中心であった関西に位置するものである。古墳を対象として探査をおこなう場合、埋葬部の位置および規模の把握を目的とする事が多い。そして、次に多いのが古墳形状の把握である。これには墳丘の形状を探査するものから、埋没してしまった周濠を探査し形状を復元するものまである。ここでは、埋葬部および古墳形状を目的とした場合の統合的考古探査法を、実践例を通じて提示する。

### 5.2.1 五塚原古墳-埋葬部推定

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：五塚原古墳	遺跡所在地-住所：京都府向日市寺戸町大牧 / 芝山3-1/6
遺跡種類：前方後円墳	-緯度(代表点)：34.94939°
その他：	-経度(代表点)：135.7025°
探査情報	歴史知識
調査日時：20010726-20010729	発掘報告書 <input type="checkbox"/>
調査範囲-名称：後円部	参考文献 <input type="checkbox"/>
-規模：20×20m	その他 ( )
-図版：Itsuka-map.ai	
実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Itsuka-res.xml	
装置：GeoScan Reserch 社製 RM-4	
測定条件：Weimer 0.5-2.5m	
測線設定：東西 1.0m 間隔	
測線配置図：Itsuka-map.ai	
探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/res	
解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/resinv	
測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/photo	
その他：	
-レーダ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Itsuka-radar.xml	
装置：KODEN 製作所社製 KSD-3AM	
測定条件：166MHz	
測線設定：東西・南北 1.0m 間隔	
測線配置図：Itsuka-map.ai	
探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/radar	
解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/rs	
測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Itsuka/photo	
その他：	
地理情報	
測線図 <input checked="" type="checkbox"/> Itsuka-map.ai	
五塚原古墳測線図(立命館大作成)	
古絵地図 <input type="checkbox"/>	
その他 ( )	
探査解釈結果	
阿見塚之、亀井宏行(東京工業大学)「六 探査の結果」 立命館大学文学部学芸員課程研究報告第10冊 五塚原 古墳第1・2次発掘調査概報、P.27-32、2003.3	
発掘結果	
立命館大学文学部・立命館大学文学部学芸員課程研究報告第10冊 五塚原古墳第1・2次発掘調査概報。 Technical report, 立命館大学文学部, 3 2003.	

図 5.6: 五塚原古墳調査票

## 調査概要

京都府向日市に所在する五塚原古墳<sup>(19)</sup>における探査は、2001年7月26日から29日にかけて、発掘調査に先立ち実施された。探査は地形測量図の検討から遺構の存在が疑われたくびれ部と前方部および後円部墳頂面においておこなわれた(図5.7)。くびれ部では電気・磁気・レーダ探査、前方部ならびに後円部では電気・レーダ探査を実施した。ここでは、特に後円部において実施した探査に着目して、考察をおこなっていく。五塚原古墳における実践例は、発掘に先駆け、調査範囲設定の判断材料となる結果を得る為に、複数の探査方法を用いて調査した代表的な事例である。

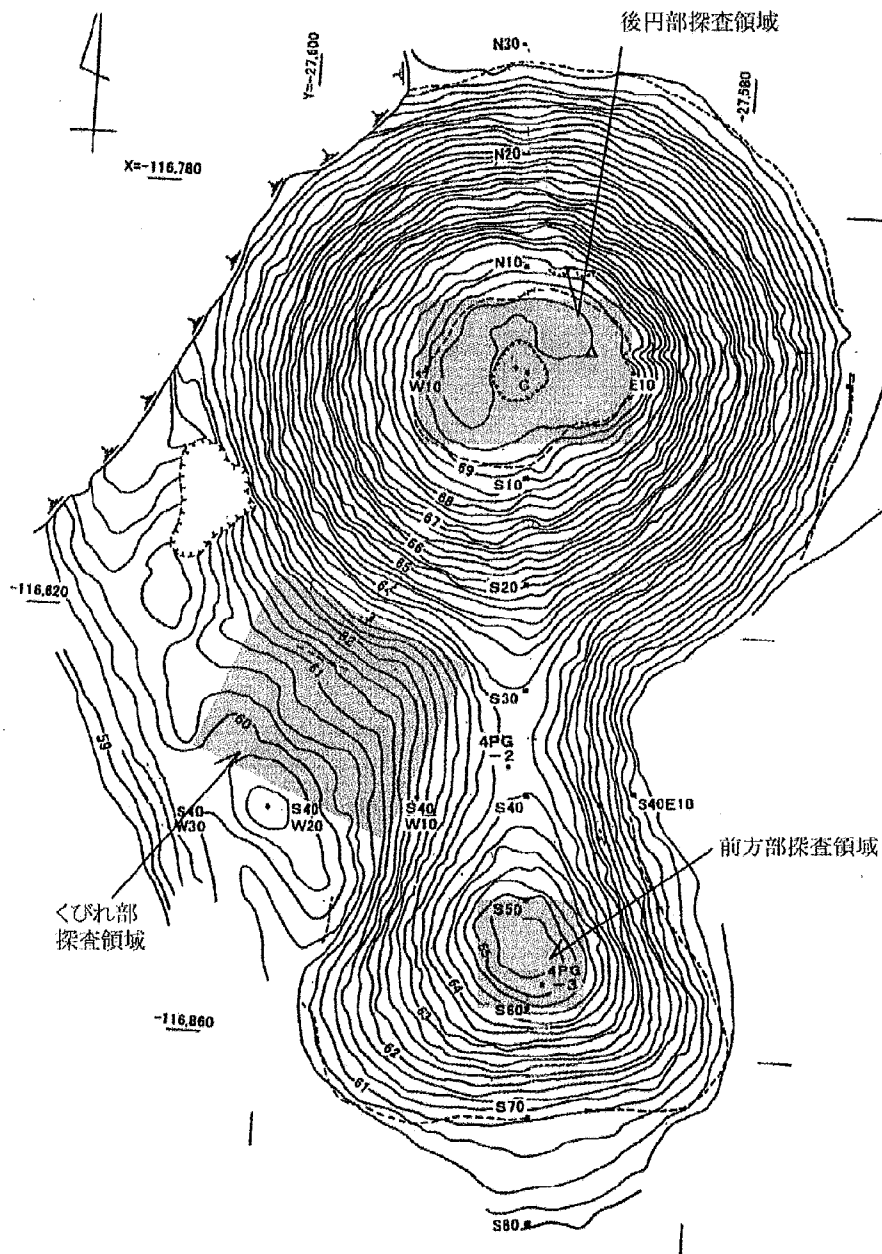


図 5.7: 五塚原古墳探査領域図

### 後円部探査成果

後円部は墳頂平坦面に 20 × 20m の探査範囲を設定し、電気探査・レーダ探査を実施した（探査条件：表 5.1）。そして、探査結果を図 5.8 に示す。電気探査結果は電極間隔 = 1.0m で測定された見掛け比抵抗値の平面分布を表示したものである。レーダ探査については、タイムスライス図 (Time Window=18.8-21.9ns) と、0-20ns 内でとらえられた反射の平面分布図を南北および東西測線で探査した結果それぞれについて提示した。

表 5.1: 五塚原古墳 後円部探査条件

探査方法	測線条件
電気探査	東西測線：間隔=1.0m, 電極ピン間隔=0.5m
レーダ探査	東西・南北測線：間隔=1.0m

電気探査では、探査範囲の東側が高比抵抗、西側が低比抵抗あるという傾向が結果よりわかる。この原因としては、現在の地表面状況が影響していると考えられる。測量図からも分かるように、墳丘面の削平が進んでおり、場所ごとにその度合いが異なってしまっている。よって、現地表面の土質が大きく異なっている。その地表面の状況の違いが大きく測定値に影響したのであろうと考える。

レーダ探査結果のタイムスライス図からは、やや西に傾く方形構造の存在が東西・南北測線の両者において読みとられた。さらに、反射分布図において、この方形構造を形作る反射群 1,2,4,5 はいずれも外側から内側に向かって下がる反射である。よって、後円部には方形の掘り込み状の構造の存在を推定できる。

また、反射群 7 でみられるように方形構造の南西隅から溝状の構造が探査範囲外（南西方向）に向かって伸びていくこともわかる。この方向はちょうど、くびれ部の地形異常のある箇所に向かっていくことが興味深い。そして、電気探査結果ではそこに低比抵抗値分布が見られる。

### 探査結果解釈

探査の結果より、やや西に傾く方形の掘り込み状の構造の存在を推定した。後円部の墳頂部に方形の掘り込み状構造が検出された場合、一般的にはそれを埋葬に関わる施設、墓壇として解釈する。しかし、五塚原古墳の場合、そのような歴史知識だけで解釈をおこなうのは、早計であろう。現在までの発掘記録により、古墳埋葬部の多くが北の方位を意識して作られているということが判明してきた。例え、墳丘が地形にそって北方位を意識しなくても、埋葬部の方向が南北方位に沿って築造されるといった例が多数存在する。

本古墳は墳丘主軸を南北方位にとり築造されている。一般的な考えに則れば、埋葬施設も南北方位を意識したものが存在すると想定される。しかし、探査で導かれた地下構造はやや西に傾く方形である。埋葬施設ではなく後世の攪乱によりできた構造とも解釈できるし、何らかの理由があり埋葬部方位を傾けたとも解釈できる。筆者は、墳丘中央部に攪乱によりできた窪地の形状が、この構造と同方位をもっていることを根拠として、探査で推定した構造は後世の攪乱痕跡であると解釈する。

### まとめ

本探査では、後円部に存在を推定した掘り込み状構造の解釈について、考察をおこなった。探査結果から推定された地下構造は、一般的には、後円部にやや西に傾く墓壇が存在すると解釈してしまう。しかし、古墳埋葬部の存在方位に関する歴史知識に照らし合わせると、本探査結果における構造の存在方位は特異である。よって、筆者は、それが埋葬施設ではなく、後世の攪乱の痕跡であるという解釈に至った。五塚原古墳の例において、探査結果より推定した地下構造モデルを解釈する為に、できる限り多くの歴史知識が必須であると示す事ができた。

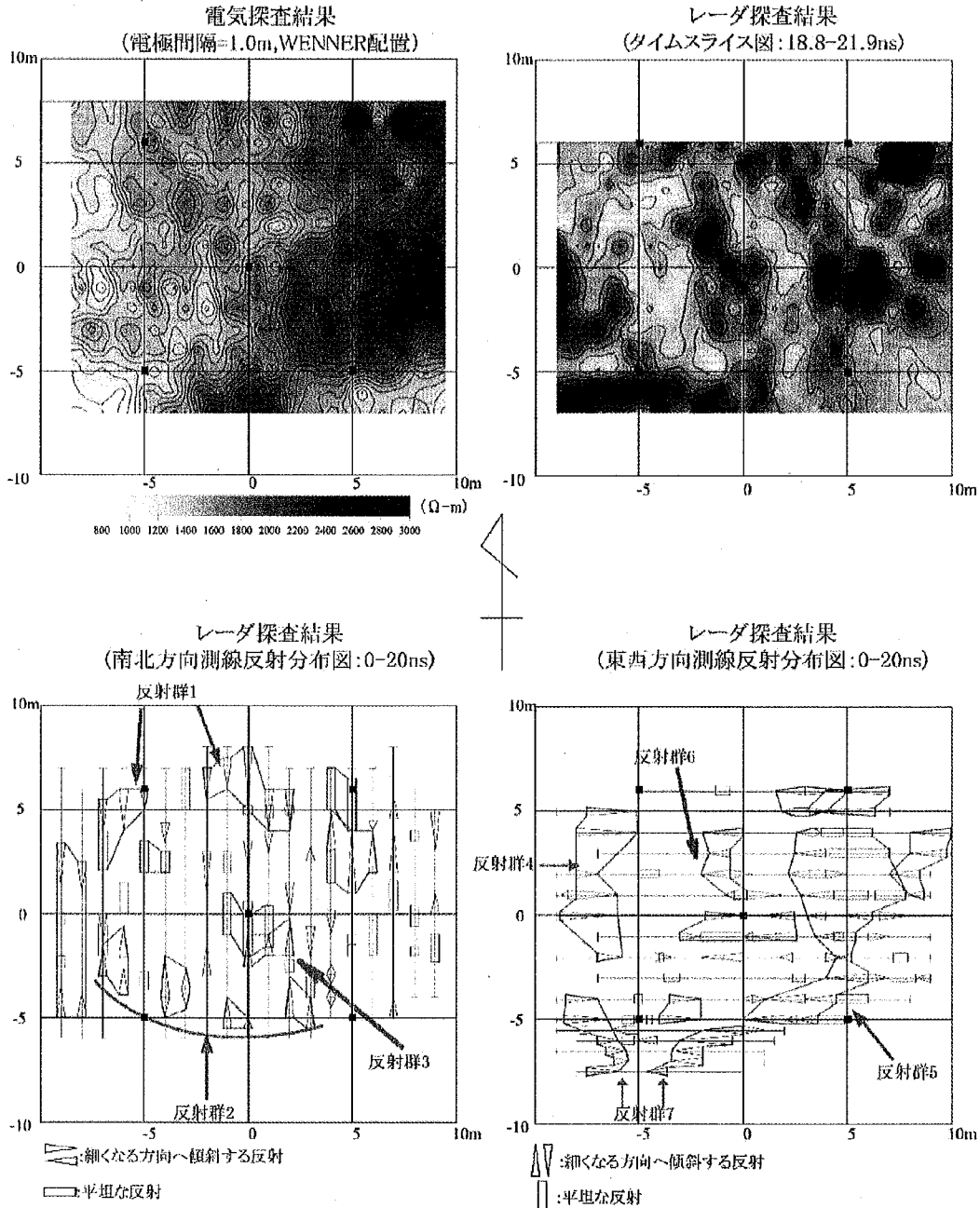


図 5.8: 五塚原古墳 後円部探査結果

5.2.2 女鹿山古墳-墳丘形状推定

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：女鹿山古墳	遺跡所在地-住所：兵庫県加西市西上野町女鹿山
遺跡種類：円墳？	-緯度(代表点)：34.93472°
その他：	-経度(代表点)：134.82283°
探査情報	歴史知識
調査日時：200206, 200211 調査範囲-名称：A-block -規模：NS12×EW9m -団版：Mega-map.ai 実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-res.xml 装置：GeoScan Reserch 社製 RM-4 測定条件：Wenner 0.5-2.5m 測線設定：東西 0.5m 間隔 測線配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/res 解析結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/resinv 測定風景：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/photo  -電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-mug.xml 装置：トーン注製 3軸ラジオメータ TRM-700 測定条件： 測線設定：東西・南北 0.5m 間隔 0.25m 測定 測線配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/mug 解析結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/muglav 測定風景：T.L.T khlab, kh-nus/site/hsuka/photo  -レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-radar.xml 装置：KODEN 製作所社製 KSD-3AM 測定条件：160MHz 測線設定：東西・南北 0.5m 間隔 測線配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/radar 解析結果：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/rs 測定風景：T.L.T khlab, kh-nus/site/Mega/photo	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 女鹿山6・21号墳発掘調査現地説明会資料 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input checked="" type="checkbox"/> Hsuka-map.ai 女鹿山古墳測量図(加西市教育委員会作成) 古絵地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解釈結果	
同記録之、発掘実行(東京工業大学)、発掘所長(京都府立大学)、工務所(松本電機株式会社)、加西市 史跡課(加西市教育委員会) 女鹿山古墳における考古探査-まろくさ-あかや、しかく社、文化財と探査、Vol.5, No.2, 2004	
発掘結果	

図 5.9: 女鹿山古 A block 墳調査票

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：女鹿山古墳 遺跡種類：円墳？ その他：	遺跡所在地-住所：兵庫県加西市西上野町女鹿山 -緯度(代表点)：34.93472° -経度(代表点)：134.82283°
探査情報	歴史知識
調査日時：200211, 200303 調査範囲-名称：B-block -規模：× m -図版：Mega-map.ai 実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-res.xml 装置：GeoScan Research 社製RM-4 測定条件：Wenner 0.5-2.5m 測程設定：東西 1.0m間隔 測程配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/res 解析結果：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/teshuv 測定風景：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/photo  レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-radar.xml 装置：KODEN 製作所社製 KS19-3AM 測定条件：160MHz 測程設定：東西・南北 1.0m間隔 測程配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/radar 解析結果：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/ts 測定風景：T.L.T khhah, kh-nas/site/Mega/photo	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 女鹿山6・21号墳発掘調査現地説明会資料 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input checked="" type="checkbox"/> Utsuka-map.ai 女鹿山古墳測量図(加西市教育委員会作成) 古絵地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解釈結果	
参照論文、発掘報告(東京工科大学、京都府立京都府立大学、T社株式会社(株)西電機株式会社)、加西市市史編纂室、加西市教育委員会 「女鹿山古墳:おひき考古探査-まろ?か?」あな?..Lか?探?.文化財と探査, Vol.5, No.2, 2004	
発掘結果	

図 5.10: 女鹿山古墳 B block 調査票

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：女鹿山古墳	遺跡所在地-住所：兵庫県加西市西上野町女鹿山
遺跡種類：円墳？	-緯度(代表点)：34.93472°
その他：	-経度(代表点)：134.82283°
探査情報	歴史知識
調査日時：200211, 200303 調査範囲-名称：C-block -規模：× m -図版：Mega-map.ai 実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-res.xml 装置：GeoScan Research 社製 RM-4 測定条件：Weiner 0.5-2.5m 測線設定：東西 1.0m 間隔 測線配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/res 解析結果：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/resinv 測定風景：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/photo  レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Mega-radar.xml 装置：KODEN 製作所社製 KSD-3AM 測定条件：166MHz 測線設定：東西・南北 1.0m 間隔 測線配置図：Mega-map.ai 探査結果：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/radar 解析結果：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/rs 測定風景：T.L.T khhb, kh-nas/site/Mega/photo	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 女鹿山 6・21 号墳発掘調査現地説明会資料 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input checked="" type="checkbox"/> Itstuka-map.ai 女鹿山古墳測量図 (加西市教育委員会作成) 古絵地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解釈結果	
<small>河原隆之、植井宗行(東京工科大学)、美田哲郎(京都府立大学)、1 総研司(松本路電機株式会社)、加西市市史編纂室、加西市教育委員会「女鹿山古墳における考古探査-まじりかき」あなろ... L かく 19、文化財と探査、Vol.5、No.2、2004</small>	
発掘結果	

図 5.11: 女鹿山古墳 C block 調査票

## 調査概要

女鹿山古墳は、兵庫県加西市に所在する直径約20mの円墳とされている古墳である(図5.12)。本古墳は、女鹿山丘陵の山頂部に位置し、北側の平野を一望できる状態にある。また、同丘陵には、複数の古墳が存在し女鹿山古墳群を形成している。本古墳について発掘調査はおこなわれておらず、その形態などは明らかになっていない。そのため、本探査は埋葬部の位置確認と古墳形状の推定を目的として実施された。

探査に用いた装置は次のものである。レーダ探査には、光電製作所製 KSD-3AM レーダ探査装置を用い、アンテナは中心周波数166MHzのものを使用した。電気探査には、GeoScan Research 社製 RM-4 比抵抗測定器に多電極切り替え制御装置を備えたシステムを用いた。電極配置は WENNER 配置を採用し、電極間隔は一部を除き、0.5 から 2.5m まで 0.5m 間隔で電極間隔を広げながら測定をおこなった。そして、磁気探査には、トーキン製フラックスゲート型3軸グラジオメータ TRM-70D を使用した。また、探査条件は表5.2の通りである。

表 5.2: 女鹿山古墳探査条件

探査領域	探査法	測線条件
Aブロック (円丘墳頂部)	レーダ探査 電気探査 磁気探査	東西・南北測線：間隔=0.5m 東西測線：間隔=0.25m、ピン間隔：=0.5m 東西測線：間隔=0.5m、観測点間隔：=0.25m
Bブロック (円丘北側)	レーダ探査 電気探査	東西・南北測線：間隔=1m 東西測線：間隔=1m、ピン間隔：=0.5m
Cブロック (円丘西・南・東側)	レーダ探査 電気探査	東西・南北測線：間隔=1m 東西測線：間隔=1m、ピン間隔：=0.5m

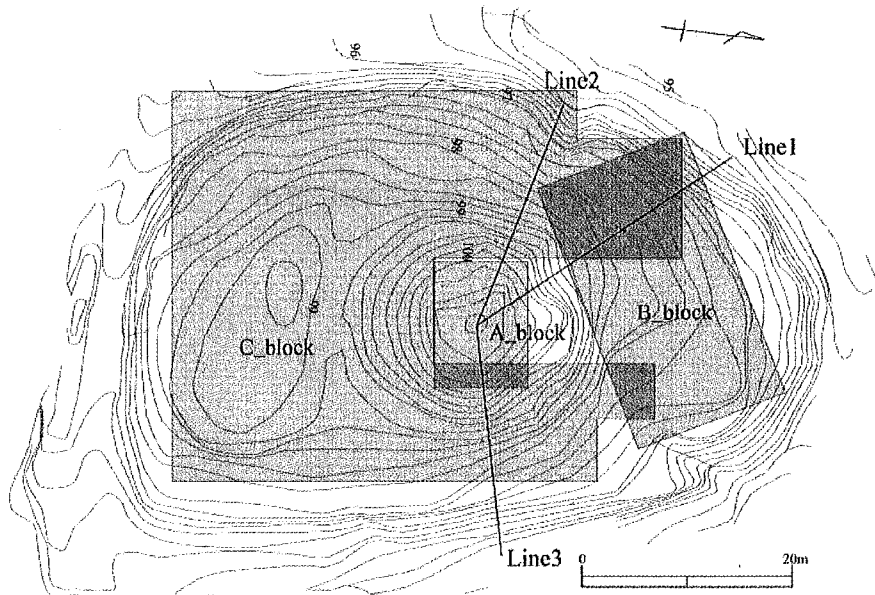


図 5.12: 女鹿山古墳測量図：加西市教育委員会作成



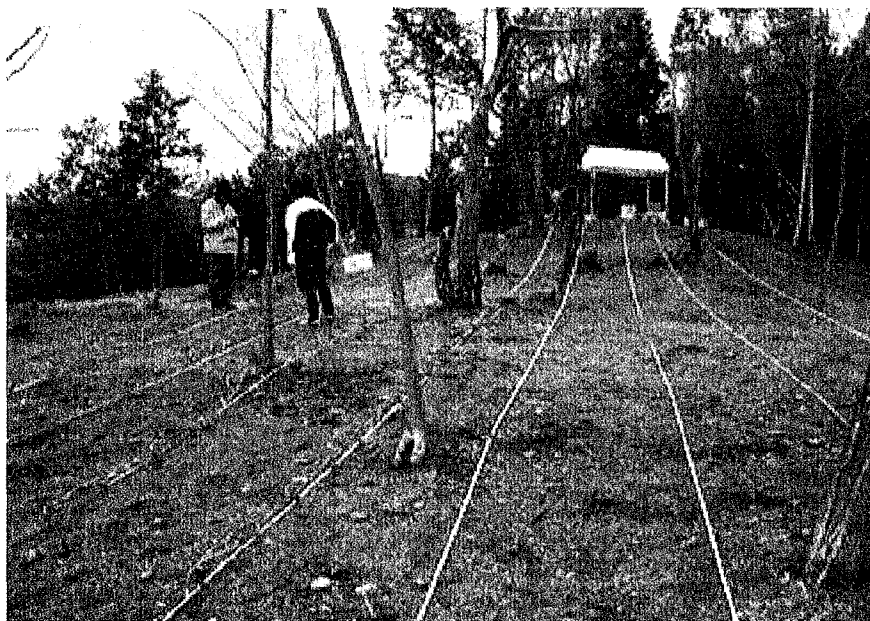


図 5.13: 電気探査風景：墳丘南側より撮影

#### 埋葬部探査

埋葬主体部の調査では、2002年6月と11月に、円丘墳頂部に東西12m×南北9mの探査域（Aブロック）を設定し、レーダ探査・電気探査・磁気探査を実施した（図5.12参照）。

Aブロック（円丘墳頂部）では、全ての探査法の結果において共通した位置に興味深い結果を見ることができる。その探査結果をAブロック探査結果図3-6に示す。図3は、レーダタイムスライス図（37.5-40ns）、図4は、見掛け比抵抗分布図（電極間隔=1.5m）、図5は磁気探査結果図（垂直成分）である。さらに、レーダ探査結果については、探査領域南端より2.0-5.0mの位置における東西断面図を1mごとに示す（図6）。

レーダタイムスライス図において、探査領域の南東部に南北に長く伸びる強い反射部分が見られる。その反射部分は、図6における各断面図の約6m付近に見られる。いずれの反射パターンも似通っており、南北に長い単一物体からの反射であると考えられる。そして、その反射部に向かい、東西から落ち込む反射が断面図において見られる。これらの落ち込む反射の分布状況はタイムスライス図において方形を成す。この方形は北辺・西辺が明瞭である。双方の反射分布とも長軸が北西-南東方向に揃っていること、外側から内側に向かう方形の落ち込みの構造をレーダ断面図より推定できることから、それぞれが埋葬主体部と墓壙ではないかと推定できる。

電気探査結果では、レーダ探査結果の南東部に見られた強い反射分布を囲む形で高比抵抗値を示す範囲が存在する。磁気探査結果においても磁気異常が同様の範囲に存在する。これらは、レーダ探査結果において、墓壙と推定した箇所に一致する。このように、埋葬部を示すと考えられる場所が、すべての探査結果より探査領域南東部の一箇所に絞込まれる。この部分についてさらに詳しく見ると、電気探査結果において、南西部分のみ高比抵抗を示していない。また、図の墳丘測量図において、墳頂南西部が一部崩れている様子が見られる。よって、埋葬部南西部分は攪乱を受けているであろうと判断できる。

以上のように、Aブロックでは各種探査結果の比較解釈により、一体の埋葬主体部位置を推定できた。さらに、埋葬主体部を取り囲むようにして、関連施設の存在をも推測した。そして、この埋葬部については、その長軸方向が南北軸に沿わず北西-南東軸である点、南西部が攪乱を受けている点が興味深い。

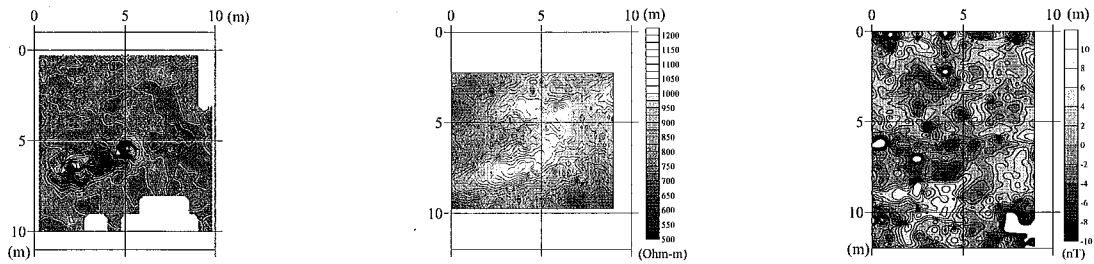


図 5.14: レーダタイムスライス図: 図 5.15: 見掛け比抵抗分布図: WEN- 図 5.16: 磁気探査結果図: Z 軸成分  
time window=37.5-40nsec . NER 配置 電極間隔=1.5m

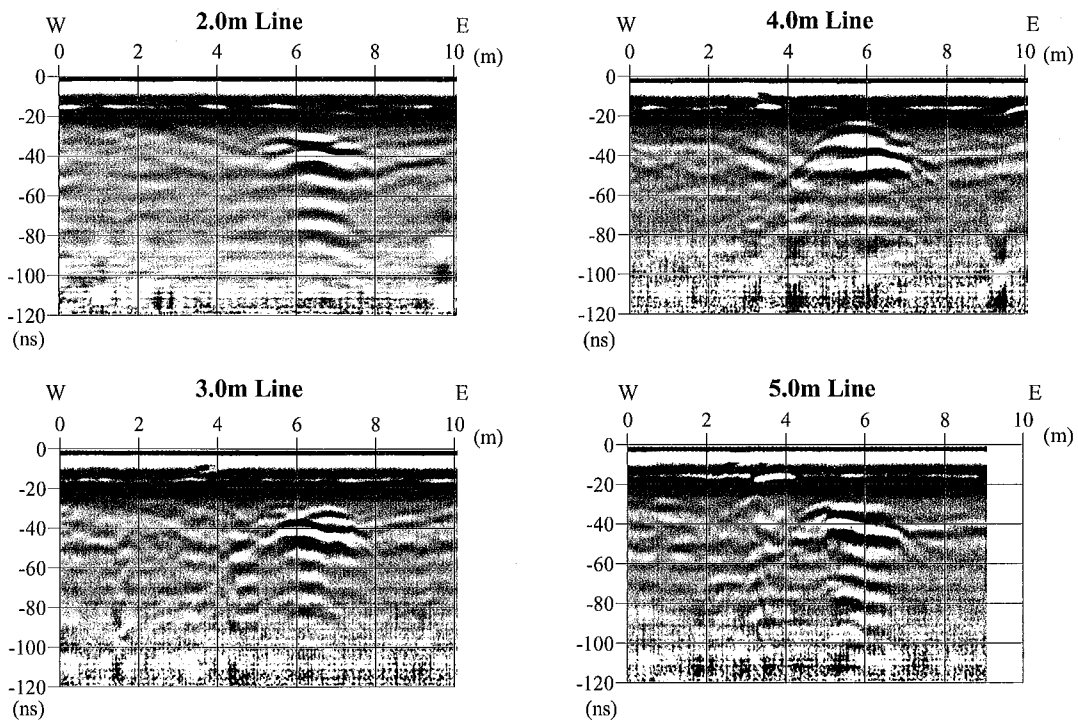


図 5.17: A ブロック 東西方向レーダ断面図

#### 墳形探査

墳丘形状の調査では、2002年11月と2003年3月に円丘を取り囲む形で探査域(B,Cブロック)を設定し、レーダ探査・電気探査を実施した(図5.13参照)。各ブロックにおける探査条件は、表5.2に示した通りである。これに加えて、葺石や周壕の検出を目的として、図5.12中のLine1から3においてレーダ探査をおこなった。

女鹿山古墳の墳形は円墳とされているが、測量図のみからの判断であり、円墳であるという確固たる根拠は現在得られていない。よって、円丘の北部および南部において方形にはり出す地形が存在していることから、前方後円墳とも考えられている。

また、円墳や前方後円墳ではなく、方墳である可能性も大いにある。墳頂部探査結果より判断した埋葬部方向は南北

軸に沿わない。もし、埋葬部方向が、南北軸を意識したものではなく、墳形に依存したものであると仮定すると、墳丘北東部に埋葬部方向とほぼ平行する等高線を見ることができ、方形の墳丘を復元することも可能である。

しかし、いずれの考えも主として測量図からの推測であり、決定的な証拠を見いだせていない。ここで、墳丘形状の解釈にあたり、あらためて、墳丘形状の決定要素を以下のように整理した。

- 現存の墳丘形態
- 形状を画する遺構の有無
  - 周壕、周濠
  - 葺石、列石

ここに取り上げた判断要素は、時代および地域により若干異なるであろうが、古墳一般に適用して差しつかえがないと考える。このように歴史知識を整理し、探査対象を明確にする作業が大切である。これら整理した歴史知識を用い、女鹿山古墳の墳形調査では、これら決定根拠の検出を目的として探査をおこなった。探査条件などは、表1に示したとおりである。

B,Cブロック（円丘周囲部）における電気探査結果を図5.18に示す。図5.18は、Aブロックの結果もあわせて示しており、結果はすべて電極間隔1mで得られた見掛け比抵抗値の分布である。

円丘の南側では、高比抵抗値を示す部分が3ヶ所、東西方向に並んで存在する。これらの箇所では、電極ピン設置の際に地表面直下に礫が存在することが判明しており、それが影響した結果であると考えられる。そして、円丘東側に「コの字状」に低比抵抗分布が存在する。この北東辺は、埋葬主体部の方向とほぼ平行していることから、方形に巡る周壕ではないかと推定できる。しかし、電気探査結果は地表面の起伏を考慮していないため、地形の影響を受け、低比抵抗分布が偶然「コの字状」となった可能性もある。

そこで、この低比抵抗部を横断する形で配置した測線のレーダ探査結果を用いて、周壕の存在について検討をおこなう（図5.12,5.19）。Line1は墳丘北側より墳頂に向かいアンテナを走査した測線、同様にLine2,3は西および東側から墳頂へ走査した測線である。各レーダ断面図は、地中の誘電率を16と仮定し、地形に沿って測定データを補正したものである。これらのレーダ断面図において、電気探査結果において、周壕と推定した低比抵抗値の範囲を矢印で示してある。その範囲では、標高99m付近に強い反射が存在する。この反射は、周壕を示す堀込み状の反射パターンではないが、この強い反射は溝にたまった埋土によるものではないかと考える。また、レーダ断面図からは、石による反射は見られず、葺石や列石は存在しないと考える。さらに、レーダ断面図において、墳丘とその外側で大きな土質の変化は見られず、盛り土で形成された痕跡は発見できない。

ここで、墳丘形状の決定要素について探査結果を解釈する。導かれた探査解釈を整理すると、以下のようになる。

- 現状の墳丘形態 ← 測量図から推定埋葬主体部と同方位の直線的な等高線を新たに発見
- 形状を画する遺構の有無
  - 周壕、周濠 ← 低比抵抗部分がコの字型にまわる。推定埋葬主体部方位と直交する反射が存在
  - 葺石、列石 ← 発見できていない

これらの決定要素と墳頂部の探査結果を統合して考えると、埋葬部方向と周壕方向の一致より、女鹿山古墳は一辺約17m（周壕を含むと21m）の方墳である可能性が高いと判断される。

#### まとめ

女鹿山古墳において探査を実施した結果、埋葬部については位置と規模を、古墳形状については埋葬部との位置関係より「方墳」の可能性を示唆した。これら成果は、探査対象を歴史知識を基にして整理し明確にしたことによるものが大きい。本古墳が位置する丘陵上には20数基からなる女鹿山古墳群が形成され、2002年の発掘調査により、女鹿山6・21号墳が方墳であると判明している。本探査により、女鹿山古墳が方墳であると推定された事は、女鹿山古墳群の

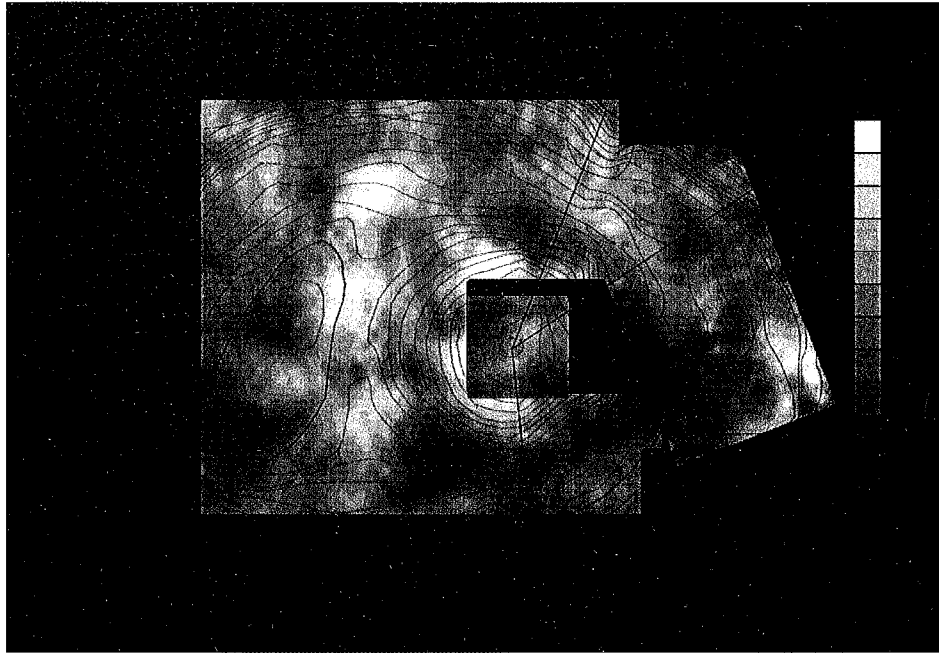


図 5.18: 全ブロック電気探査結果図：WENNER 配置 電極間隔=1.0m

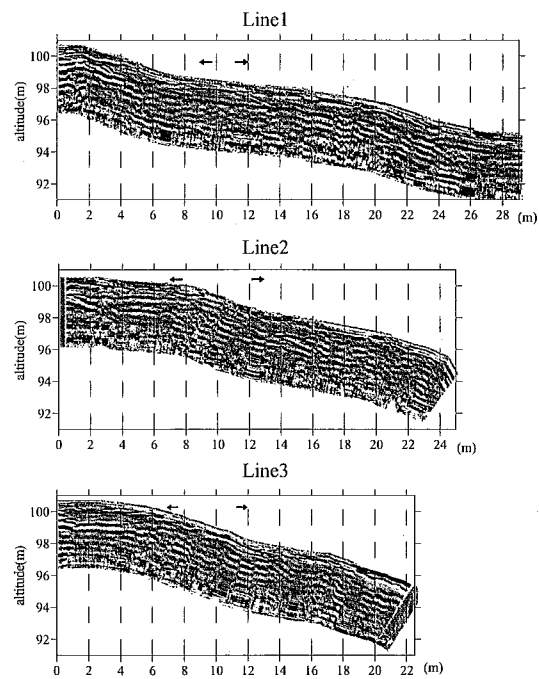


図 5.19: レーダ断面図：図中矢印が電気探査結果における低比抵抗範囲=推定周壕部

性格を把握する上で価値のある成果と考える。

また、従来の古墳形状探査は、平地に存在する前方後円墳を多く取り扱ってきた。本探査のように周壕を持たない丘陵上の古墳を対象として実施された調査は、稀であろう。古墳形状は、墳丘測量図からの推定で十分と認識され、古墳探査＝埋葬部調査となってしまう現状がある。そんな中、本探査のような事例は今後の調査方法に影響を与えると予測される。今後、問題意識の薄かった古墳形状を意識し、効果的な統合的考古探査の検討が必要であろう。

### 5.3 集落・宮都・寺院など-広範囲に広がる遺跡

集落、宮都、寺院は、その規模が広範囲に広がっている遺跡である。そして、私たちが住んでいる足下に存在している確率ももっとも高い遺跡種であろう。人の住みやすい所は、今も昔も一緒という事であろうか。身近である為に、建造物の立て替え等に伴い発掘調査される場合が多く、断片的な情報しか集まらない事が多い。よって、それら断片的な情報をつなぐ情報を得るべく、探査を実施する事がある。また、広大な領域から当時の状況がもっとも残存している部分を探査し、効率的な発掘調査につなげる事も試みられている。

集落では、新宮宮内遺跡。宮都では、平城京大極殿、越部赤松氏居館跡。寺院では、東大寺丸山西遺跡、捨鹿廃寺、El Zayyan 神殿の調査に携わってきた。また、明治の工場群跡である尚古集成館の調査にも携わった。

広範囲にひろがる遺跡を調査する際の統合的考古探査を、ここで提示する。

#### 5.3.1 捨鹿廃寺-寺域推定

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：捨鹿廃寺	遺跡所在地-住所：兵庫県加東郡東条町捨鹿谷
遺跡種類：寺院	-緯度(代表点)：34.90961°
その他：	-経度(代表点)：135.07153°
探査情報	歴史知識
調査日時：20010726-20010729	発掘報告書 <input checked="" type="checkbox"/>
調査範囲-名称：A block	加東郡教育委員会、13 捨鹿谷・松ノ下遺跡、
-規模：EW7.5×NS23.5m	加東郡埋蔵文化財報告 2000 年度年報、
-図版：Hashika-map.dxf	加東郡埋蔵文化財報告, No. 27.
実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/>	兵庫県加東郡教育委員会, 2001.
装置：GeoScan Research 社製 RM-4	参考文献 <input type="checkbox"/>
測定条件：Wenner 0.5-2.0m	その他(発掘記録 Hashika-excavation.dxf)
測線設定：南北 0.5m 間隔	
測線配置図：Hashika-map.ai	
探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Hashika/res	
解析結果：	
測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Hashika/photo	
その他：	
	地理情報
	測線図 <input checked="" type="checkbox"/> Hashika-map.dxf
	捨鹿谷測量図 (加東郡教育委員会作成)
	古跡地図 <input type="checkbox"/>
	その他 ( )
探査解釈結果	
発掘結果	

図 5.20: 捨鹿廃寺 A block 調査票

## 調査概要

兵庫県東条町に位置する掬鹿廃寺<sup>(10)</sup>は、当時の痕跡が礎石のみという寺院跡である。本遺跡における探査目的は、廃寺の寺域境界となる溝の検出と寺院構成堂宇の存在位置および規模確定であった。

探査には電気探査法を用いた。測定システムは、Geoscan Research 社製 RM-4 比抵抗測定器に多電極切り替え装置とデータロガーを接続したものである。電極配置法は、Wenner 法を用い、図 5.21 の探査範囲を表 5.3 の条件で測定した。

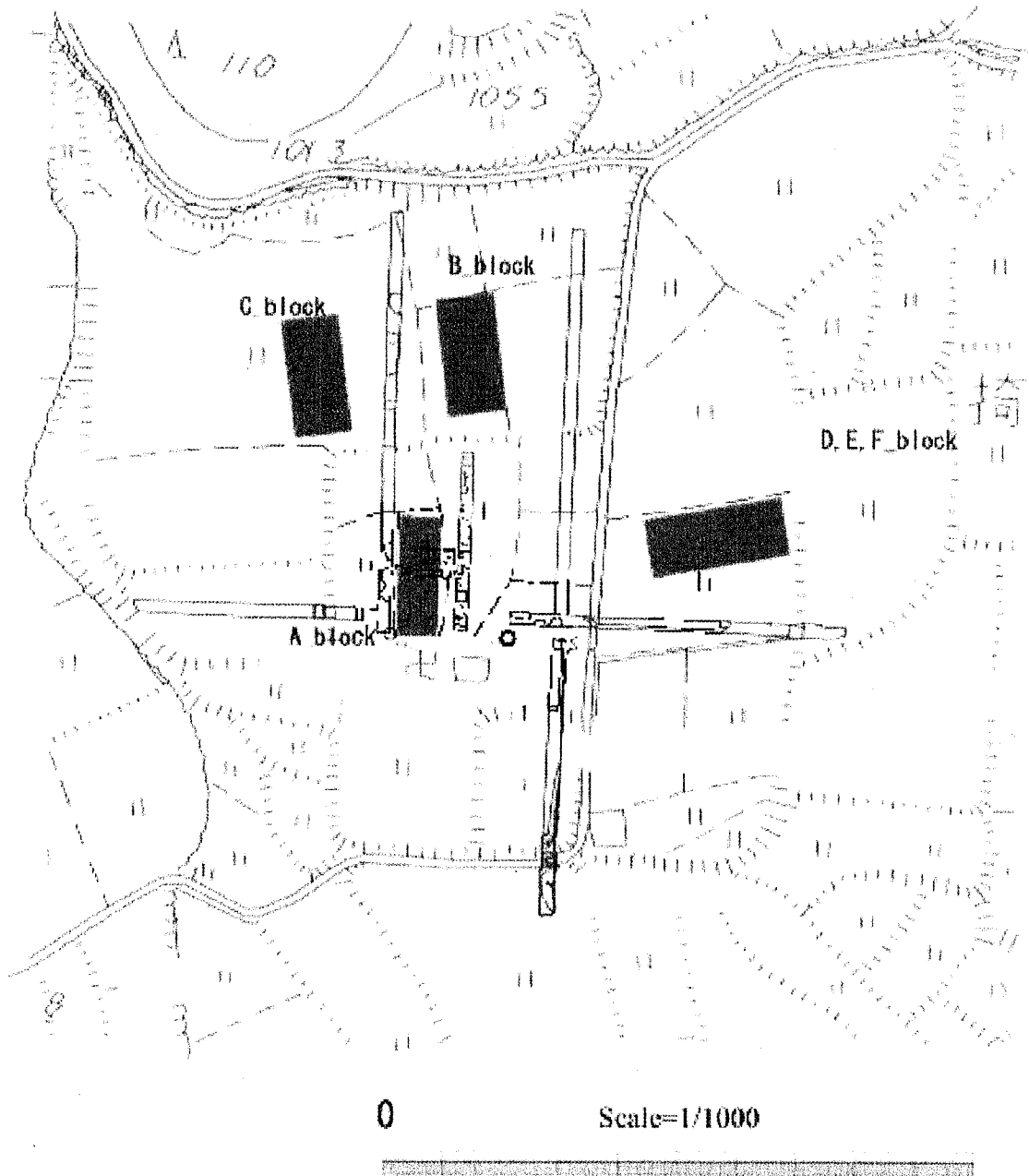


図 5.21: 掬鹿廃寺探査領域配置図

表 5.3: 袴鹿廃寺探査条件

探査領域	面積 (東西×南北)	測線条件
A block	7.5 × 23.5m	南北測線：0.5m 間隔, 電極間隔：0.5-2.0m(0.5m 刻み)
B block	6.0 × 20.0m	南北測線：1.0m 間隔, 電極間隔：0.5-3.0m(0.5m 刻み)
C block	11.0 × 21.5m	南北測線：0.5m 間隔, 電極間隔：0.5-2.0m(0.5m 刻み)
D block	23.5 × 10.0m	東西測線：0.5m 間隔, 電極間隔：0.5-3.0m(0.5m 刻み)
E block	16.0 × 8.0m	東西測線：0.5m 間隔, 電極間隔：0.5-2.5m(0.5m 刻み)
F block	23.5 × 10.0m	東西測線：1.0m 間隔, 電極間隔：0.5-3.0m(0.5m 刻み)

### 探査成果

探査結果は、地形測量図および発掘結果に重ね合わせて示す。図 5.22 が電極間隔を 1m として測定したときの見掛け比抵抗分布図である。このように地理情報を軸として統合化する事により、探査結果と発掘結果を基にした結果考察を視覚的におこなうことができる。

A block の結果では、Y=5m より南側の部分が高比抵抗値を示した。探査範囲の東側に隣接するトレンチにおける発掘調査の結果、後世の攪乱の痕跡が南側部分で認められていた。その結果を考慮すると、その攪乱が探査範囲内にも及んでいると解釈できる。

B block は寺域境界となる北側の溝が存在すると考えられる領域である。探査結果では、Y=6m を境界にして南側が高比抵抗、北側が低比抵抗という分布である。この境界が、溝の南側肩であると推測できる。しかし、北側にはこれに平行する抵抗値の変化を見る事はできず、溝の形を明瞭に描くには至らなかった。

C block は、発掘成果より北溝と西溝が会う北西隅の地点と予測される領域である。探査結果は、北側が低比抵抗、南西隅が高比抵抗という傾向を示す。溝としてはっきりと認識できないが (X,Y)=(6,6m) 地点がちょうど曲り角となると考えられる。Y=6m までは、X=5m を境界として抵抗値に大きな差が見られる。この部分が西溝の西側肩になると考える。そして、その西溝が折れ曲がり東側へ向かうとすると、ちょうど X=6m 以東では Y=5-8m にかけてだけが低比抵抗値となっている。この箇所が北溝になると考えられた。

この様子は、比抵抗値の鳥瞰図である図 3 のほうが理解しやすい。低比抵抗値で約 20 Ω-m の部分がちょうど溝状になっており、それが前述の二本の溝であると解釈する。

D,E,F block は、発掘により堂宇の一部と推定された遺構の存在する北側にあたる。結果の表示にあたり、D,E block は、調査範囲が一部分重複している。そして、F block は D,E block より約 50cm 上位に存在する。よって、D,E block と F block で電極間隔の違う結果を合わせる事により同深度の結果を表すようにした。

探査結果をみると、高比抵抗部分が北東から南西にかけて帯状に存在する。この帯の北東部は、深くなっても高比抵抗値を示し続けている。これらの結果を見る限り、比抵抗分布の範囲や方位などから堂宇に伴うであろう遺構の存在を示唆することはできなかった。しかし、また、帯状に伸びる高比抵抗が地中のどのような遺構を反映しているか本探査結果のみでは判断できなかった。

### まとめ

本遺跡で用いた探査手法は電気探査法のみであったが、地理情報を基にして地形情報および発掘結果と探査結果を統合する事により、各領域の探査で次のようなことが判明した。A block では、後世の攪乱範囲と隣接した発掘区で検出された遺構の存在範囲を推定。B block では、北溝の位置を明瞭に示す結果を得た。C block では、西溝と北溝の交点である位置を推定することができた。西溝については発掘成果と、北溝については B block の探査結果と位置が一致し信頼性が高い。D,E,F block は、広範囲の探査領域を設けたが、寺院と直接結びつくであろう遺構の存在を見出すこと



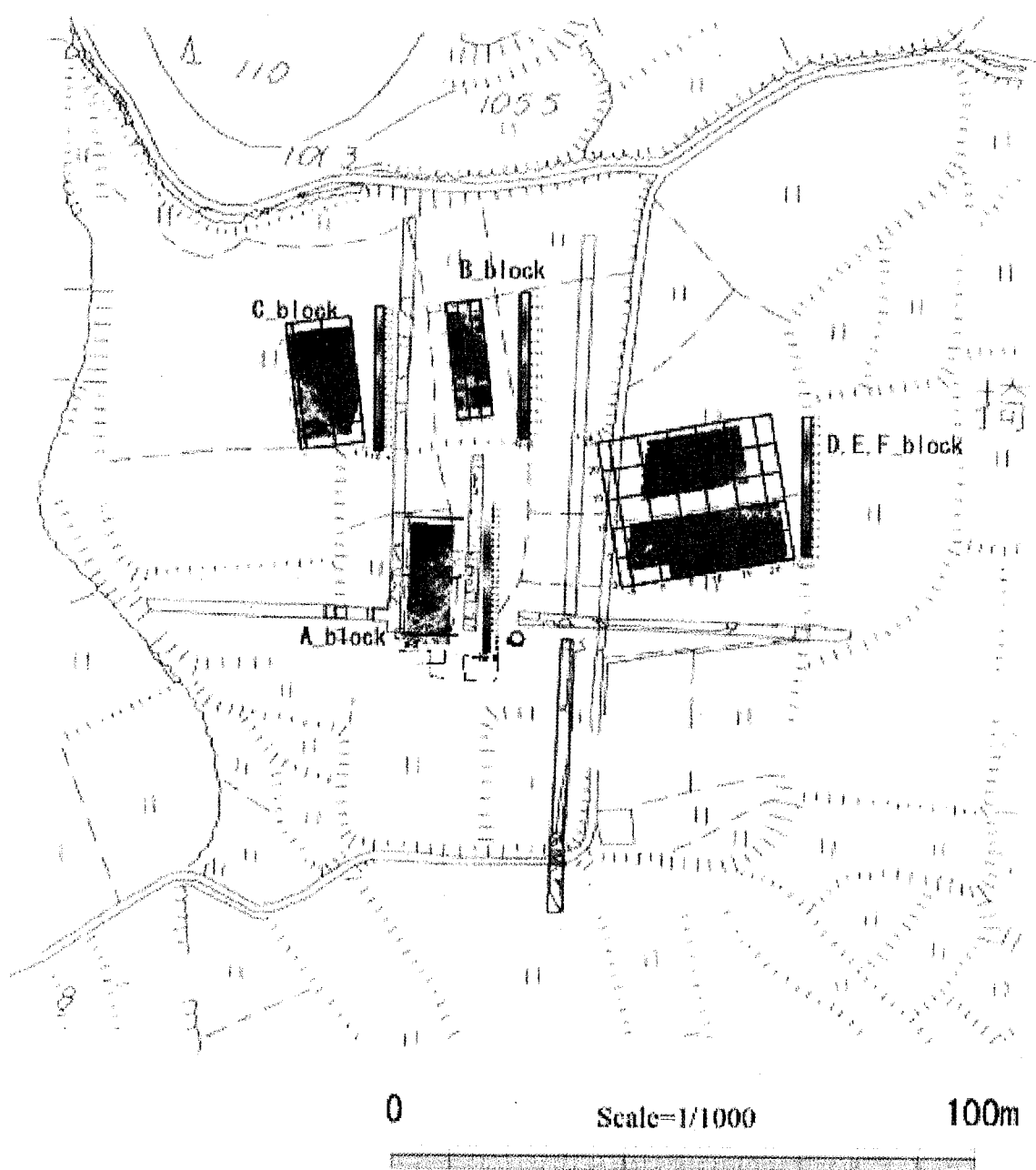


図 5.22: 倭鹿廃寺比抵抗分布図（電極間隔 1.0m）

はできなかった。しかし、探査結果と発掘調査成果をあわせて解釈する事により、倭鹿廃寺の寺域を規定する事ができた。広大な面積にひろがる遺跡を調査する場合は、本探査例の様に探査結果と部分的な発掘調査結果を組み合わせ、遺跡を解明する方法が効率的である。さらに、統合的考古探査法の要素である GIS 技術をもちいて、位置情報を軸として成果を集積していく事が可能である。

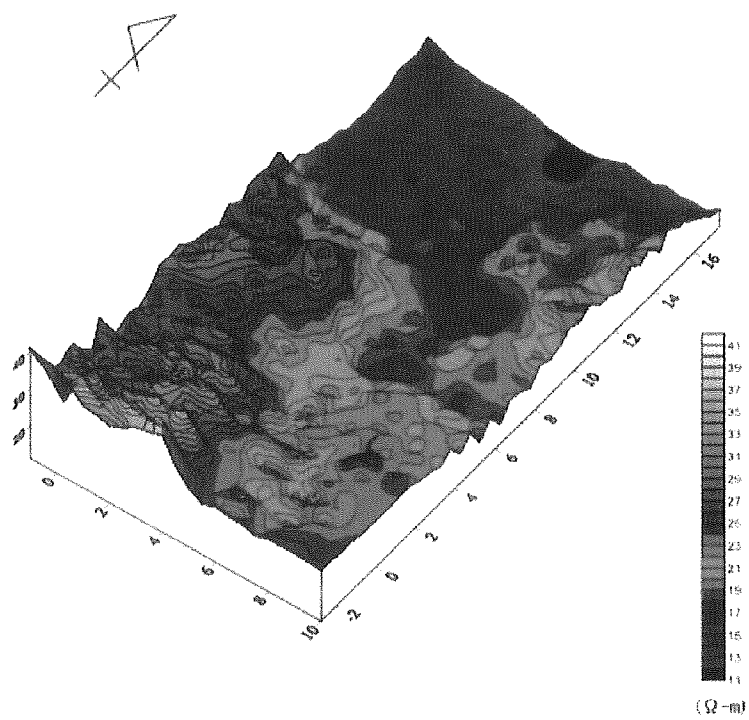


図 5.23: C block 見掛け比抵抗分布鳥瞰図

### 5.4 窯跡・製鉄遺跡-被熱遺跡-

窯跡や製鉄遺跡は、物理探査技術の適用から見ると、特殊な遺跡である。いずれの遺跡も、磁気探査法が最も効果を発揮する遺跡なのである。窯は高温焼成を受けた土壌が存在しており、それら被熱土壌は高い磁化率を有する。製鉄遺跡に存在する炉も同様であり、さらにその製品や鉄滓は高磁化である。筆者は窯ヶ根窯跡、寺所窯跡、東谷製鉄遺跡で探査を実施してきた。

#### 5.4.1 東谷製鉄遺跡-大量の磁性体分布解析

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：東谷製鉄遺跡	遺跡所在地-住所：滋賀県高島郡今津町大供
遺跡種類：製鉄遺跡	-緯度(代表点)：35.39745°
その他：	-経度(代表点)：136.02828°
探査情報	歴史知識
調査日時： 調査範囲-名称：平地面 -規模：NS12.0×EW24.0m -図版：Higa-map.ai 実施探査-電気探査 <input checked="" type="checkbox"/> Higa-map.xml 装置：トーンン社製 3軸グラジオメータ TBM-70D 測定条件： 測線設定：東西 0.5m 間隔 0.5m 測定 測線配置図：Higa-map.ai 探査結果：T.L.T khab, kh-nus/site/Higa/mag 解析結果： 測定風景：T.L.T khab, kh-nus/site/Higa/photo その他：	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input type="checkbox"/> その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input checked="" type="checkbox"/> Higa-map.ai 東谷測量図 (滋賀県文化財保護協会作成) 古絵地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解析結果	
岡見謙之、亀井宏行、大竹浩之(東京工業大学)「第5章 磁気探査結果報告」東谷遺跡、滋賀県教育委員会 財団法人滋賀県文化財保護協会、P.54-58、2004.3	
発掘結果	

図 5.24: 東谷製鉄遺跡調査票

## 調査概要

磁気探査で得られた観測磁場の解析において、第3章で説明したような磁性体の形状推定は大きな目的の1つである。それとともに、必要とされるのが磁性体の位置推定である。従来の研究では、水平面分布か深さ推定のいずれかに着目したものは存在したものの、地下に埋没している磁性体の三次元分布について考察された機会は少ない。本項では、東谷製鉄遺跡<sup>(20)</sup>において無数に散布する鉄滓を点ダイポールで近似し、その三次元分布を推定した例を紹介する。

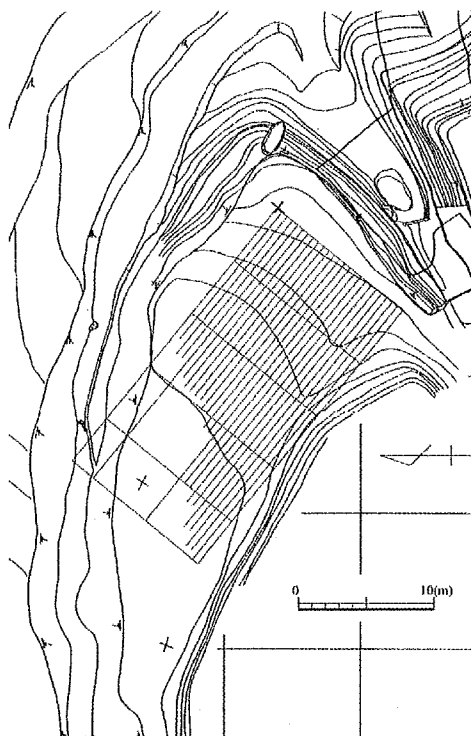


図 5.25: 磁気探査範囲

## 探査成果

探査範囲は、発掘調査区西側、試掘トレンチの設定された平坦面上に設定した（図 5.25 参照）。規模は南北 12m × 東西 24m である。ただし、北東部の一部分については、測定をおこなっていない。データ観測は、0.5m 間隔で東西方向の測線を設定し、その測線に沿って 0.5m 間隔で実施した。磁気探査に使用した装置はトーキン製フラックスゲート型 3 軸グラジオメータ TRM-70D である（図 5.26 参照）。

磁気探査結果を図 5.27 に示す。図 5.27 は、上段より南北成分、東西成分、垂直成分の磁場である。本結果図においては、縦軸を EW 軸、横軸を NS 軸として表記している。また、磁場の大きさは、正を白色、負を黒色の階調表示した上で、20nT ごとに等値線を描いた。

結果と見ると、まず、すべての結果において EW=1m, NS=2m の地点に、強い磁気異常が存在する。その地点にはコンクリート杭が存在しており、それが原因であると考えられる。そして、EW=4m, NS=15m の地点に典型的な磁気異常を見ることができる。磁気異常はピークが鋭いので、これは地表面近くに存在する比較的小さな強磁性体の存在を示していると推定する。遺跡の正確を考えた場合、まとまった大きさの鉄塊などを想定できる。同様に、双極子パターンを形成する磁気異常をさがすと、図 5.27(a) において EW=10m, NS=12m を中心とする東西に細長い磁気異常、図 5.27(b) において EW=6m, NS=4m を中心とする南北に細長い磁気異常が顕著に現れている。両者の磁気異常は垂直軸成分結果



図 5.26: 磁気探査風景

(図 5.27(c)) においても見ることができる。これらは、その規模が大きく炉跡と考えることもできる。探査範囲全体における磁気異常の分布状況を見ると、NS=15m より北側では磁気異常がほとんど存在していない。また、上記以外の小さな磁気異常も南側を中心として存在している。この状況を見る限り、本遺跡における遺構・遺物の存在範囲は主として南側に存在していると判断できる。

#### 分布解析

観測磁場よりの解釈でもある程度の磁性体分布領域を推定する事ができた。しかし、無数に散在すると解釈される鉄滓の詳細な位置は把握できていない。そこで、それら鉄滓を点ダイポールで近似し、その数および存在位置を推定する。本解析方法は、今井<sup>(13)</sup>によって、提案された方法であるが、その主題は点ダイポールの集合による形状推定であった。本論では、その解析方法の特性を活かし、散在する鉄滓の位置推定に利用した。

本解析手法では、順次点ダイポールの数を増やしなが、点ダイポールの位置および磁気モーメントを最小二乗法を用い推測していく。そして、適切な点ダイポールの個数の決定には AIC(AKAIKE Infomation Criterion)<sup>(12)</sup>を用いた評価関数を用いている。各個数のときに AIC を計算し、この値が最小になるときが、観測磁場をもっともよく反映するダイポールの数であると判断する。そのアルゴリズムを整理すると以下ようになる。

1. 観測磁場から点ダイポールの持つパラメータ（位置と磁気モーメント）の初期値を決定する。
2. 点ダイポールの数を 1 個から 1 つずつ増やして、最小二乗法によりパラメータの最適値を推定する。
3. 各個数の最適解に対して AIC を計算する。
4. AIC が最小となった個数の解を、観測磁場を最も再現する解として地下磁性体分布の推定結果とする。

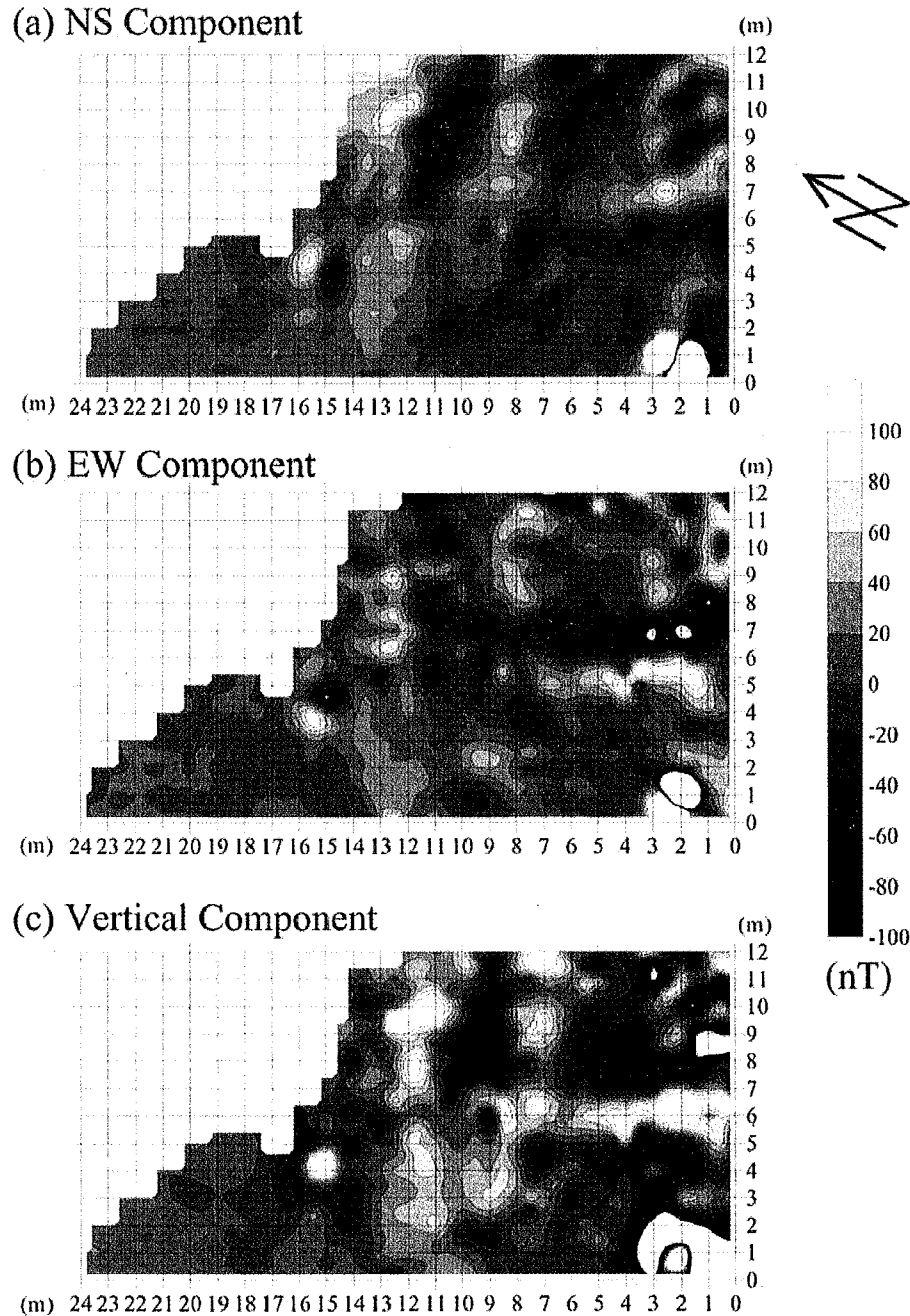


図 5.27: 磁気探査結果

## 解析結果

図 5.27(c) に示した垂直成分の結果に本解析手法を適用した。点ダイポールを 30 個まで増やした際の、誤差と AIC の推移結果が図 5.28 である。グラフを見ると、点ダイポールが 21 個の際に誤差および AIC が共に最小となっている。よって、点ダイポール 21 個の際に推定された解が、最適解であると判断できる。そして、それら推定された点ダイポールを観測磁場の上にプロットした図が図 5.29 左である (ただし、観測領域内のものにプロット)。そして、図 5.29 右が推定した点ダイポールの深さである。結果をみると、特徴的な磁気異常が見られる箇所に必ずしも点ダイポー

ルの存在が推定されている訳ではない。また、炉跡と推定した部分をも1つの点ダイポールで表現されてしまっている。今後、本解析手法には検討する余地があるが、複数の小さな磁性体の位置を推定するには効果的な方法であると考えられる。

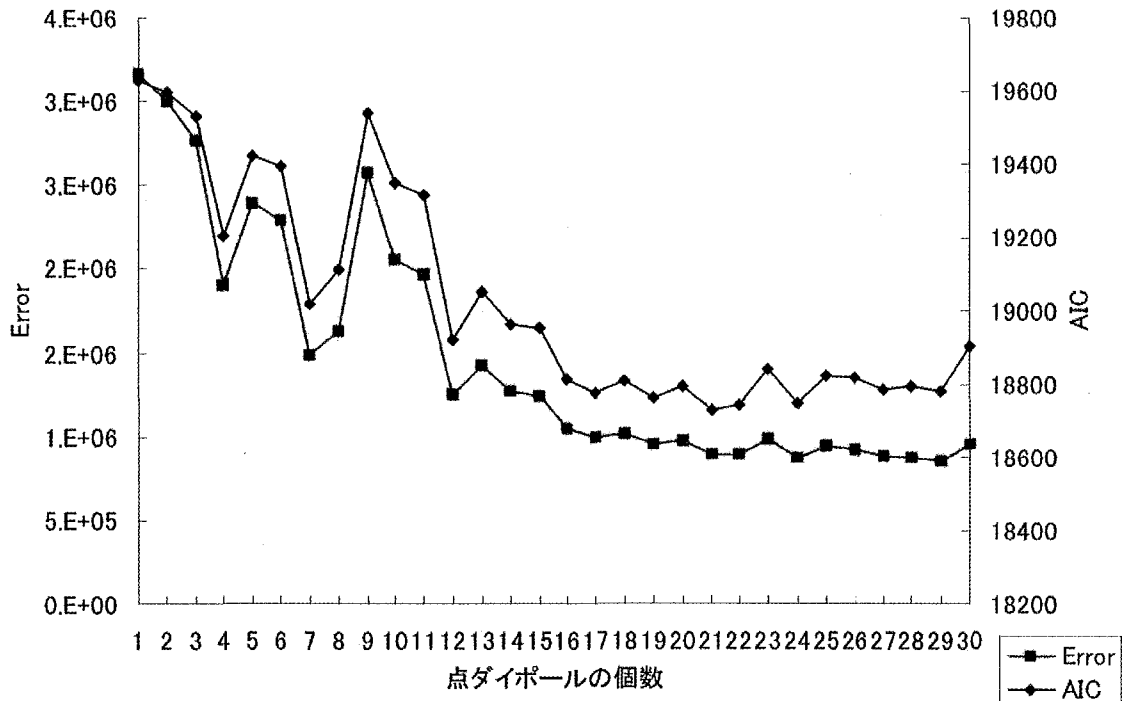


図 5.28: 誤差と AIC の推移

#### まとめ

本遺跡では、大量の磁性体が存在しており、それらの区別が困難であった。しかし、点ダイポールを用いた解析手法により、複数の磁性体位置を推定することができた。従来は、2次元の平面的な位置推定でしかなかったが、本手法では3次元的位置を推定することができるが利点である。第3章では、磁性体の3次元形状について論述したが、本例に用いた解析方法は、複数磁性体の三次元的な分布を解析する方法である。この解析方法を用い、磁性体の三次元分布が判明すれば、発掘調査の際等、磁性体が出土する深さをあらかじめ予想でき、効率的に調査を進めることが可能であると考えられる。

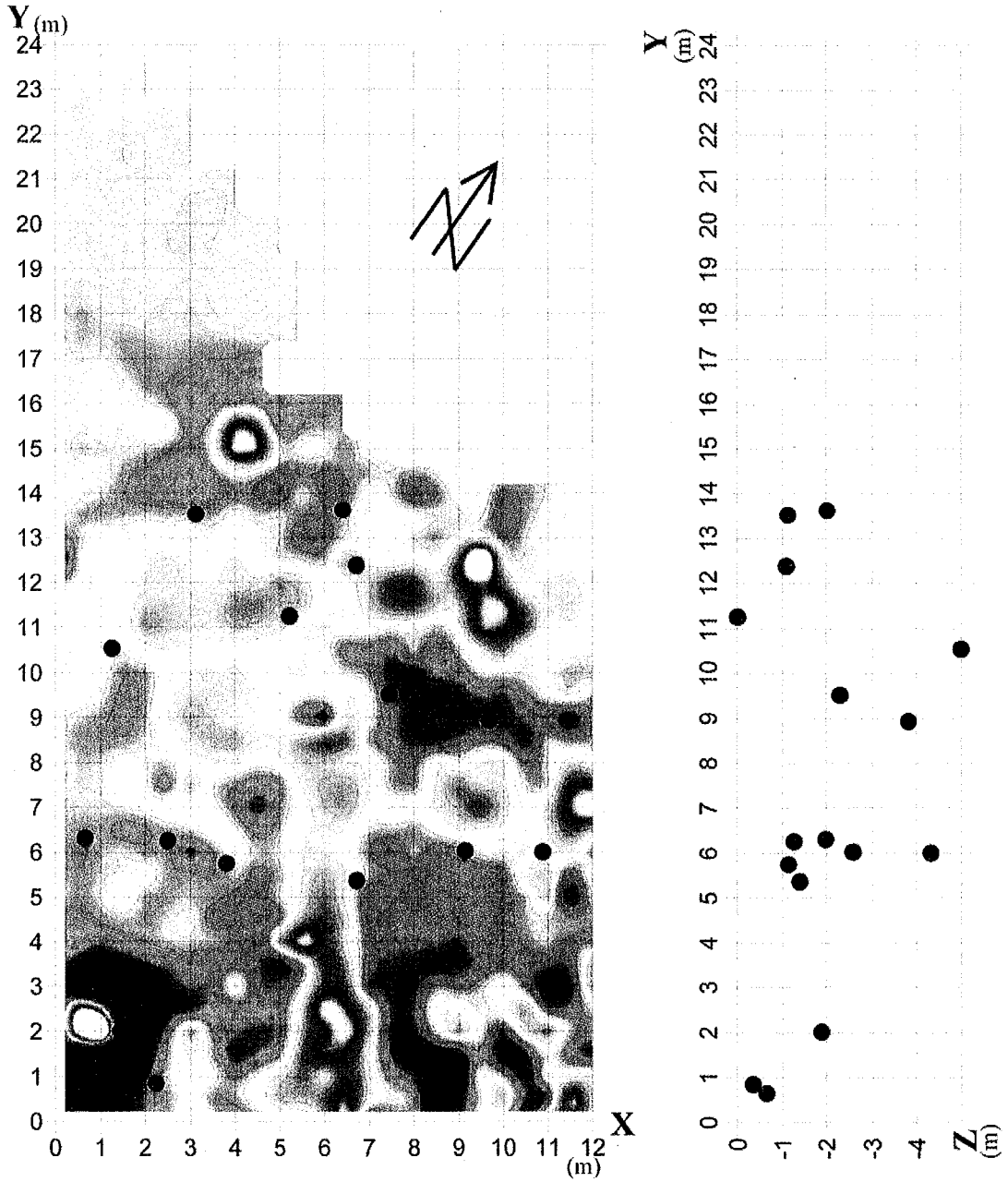


図 5.29: 推定点ダイポールの分布



### 5.5 基壇・土壇-現存文化財の探査-

筆者は、埋蔵文化財だけではなく、現存する文化財に対しても、探査をおこなってきた。現存文化財の調査は、文化財に影響を与えない事が絶対の原則である。本節では、鶴林寺の基壇および法隆寺の土壇における調査事例を示す。これら調査は、非破壊の手法を用いる統合的考古探査法でのみ成し得た調査である。そして、統合的考古探査から導出される新しい調査形態である。

#### 5.5.1 鶴林寺-閉鎖空間での調査

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：鶴林寺 遺跡種類：寺院 その他：	遺跡所在地-住所：兵庫県加古川市加古川町北在家 -緯度(代表点)：34.75581° -経度(代表点)：134.83731°
探査情報	歴史知識
調査日時： 調査範囲-名称：本堂 -規模：EW14.0×NS12m -図版：Higa-map.ai 実施探査-レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Kakurinji-hondou.xml 装置：G.S.S.I 社製 SIR-2 測定条件：400MHz 測線設定：東西16本 南北20本 測線配置図：Kakurinji-hondou.ai 探査結果：T.L.T khlab, kb-nus/site/Kaku/radar 解析結果：T.L.T khlab, kb-nus/site/Kaku/ls 測定風景：T.L.T khlab, kb-nus/site/Kaku/photo その他：	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 刀田山鶴林寺、刀田山 鶴林寺。 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input type="checkbox"/> 古絵地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解釈結果	
発掘結果	

図 5.30: 鶴林寺本堂調査票

## 統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：鶴林寺	遺跡所在地-住所：兵庫県加古川市加古川町北在家
遺跡種類：寺院	-緯度(代表点)：34.75581°
その他：	-経度(代表点)：134.83731°
探査情報	歴史知識
調査日時： 調査範囲-名称：太子堂 -規模：FW6.5×NS8.5m -図版：Higa-map.ai 実施探査-レーダ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Kakurinji-taishi.xml 装置：G.S.S.I 社製 SIR-2 測定条件：400MHz 測線設定：東西 16 本 南北 20 本 測線配置図：Kakurinji-taishi.ai 探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Kaku/radar 解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Kaku/is 測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Kaku/photo その他：	発掘報告書 <input type="checkbox"/>  参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 刀山山鶴林寺、刀山山鶴林寺、 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input type="checkbox"/>  古絵地図 <input type="checkbox"/>  その他 ( )
探査解釈結果	
発掘結果	

図 5.31: 鶴林寺太子堂調査票

## 調査概要

兵庫県加古川市所在の鶴林寺は、聖徳太子縁の古刹である。鶴林寺の本堂は、その様式から室町時代の建立であると考えられている。しかし、

1. 本堂内陣に安置されている本尊・薬師如来をはじめとする仏像は、平安前期の作
2. 本堂基壇中央に石で囲んだ土壇が存在
3. 本堂周辺の太子堂・常行堂と本堂の配置が近接し過ぎ

という理由で、平安時代の本堂が存在するのではないかと考えられている。そこで、本探査は、室町時代創建の国宝・本堂に先行したと考えられる平安時代の遺構を確認する為に実施した<sup>\*2(8)</sup>。

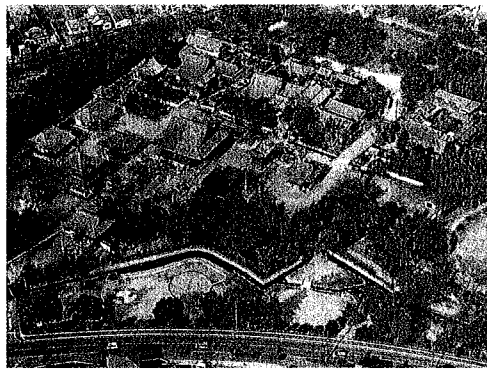


図 5.32: 鶴林寺境内

調査は、現存基壇の造成履歴を明らかにすることを目的として、本堂および太子堂の基壇において、レーダ探査を実施した(測定条件:表 5.4 参照)。測定装置は、G.S.S.I 社製 SIR-2 Radar 探査機であり、400MHz アンテナを使用した。もし、平安時代のお堂があるのであれば、現本堂建立の際、基壇拡張などの工事がおこなわれ、その痕跡が残っていると考えられた。本探査の特徴であるが、探査領域が基壇であった為、作業空間はお堂の床下のみに限られたものであり、作業は常に這いつくばった状態でおこなった(図 5.33)。

表 5.4: 鶴林寺レーダ探査条件

探査領域	面積(東西×南北)	測線条件
本堂	14 × 12m	東西測線: 16 本 南北測線: 20 本
太子堂	6.5 × 8.5m	東西測線: 13 本 南北測線: 9 本

## 探査成果

■本堂 本堂において実施した探査結果を図 5.34,5.35 に示す。図 5.34 は NS17 測線におけるレーダ断面図である。

結果を断面図を見ると、20ns あたりまで顕著な反射は見られない。このことから、基壇上面(探査面)より深さ 20ns(=約 50cm)程度までは、均質な土で構成されていると推定できる。現存基壇の高さも約 50cm 程度である事から、基壇部分は全体がほぼ均質な土で構築されていると考える事ができる。また、基壇拡張といった増築の痕跡と考えられるような反射も、レーダ断面図にはなかった。しかし、20ns あたりで強い反射を捉えている。これは、基壇と地盤の境界面であると考えられる。この付近の深さでは、特徴的な反射パターンが多数見られる。そして、図 5.35 がレーダ断

\*2 この調査の模様は、2001 年 6 月 29 日付けの神戸新聞に掲載。



図 5.33: 鶴林寺：レーダ探査風景

面図において約 20ns あたりに見られた反射を抽出した結果である。結果図（図 5.35）の通り、基壇の地盤となっている面は、基壇の様に均質の土が水平に積み重なってはおらず、変化に富むと解釈される。人為的かどうかは判断できないが、基壇下にはくぼみや溝状の構造を示す土の変化が存在する。

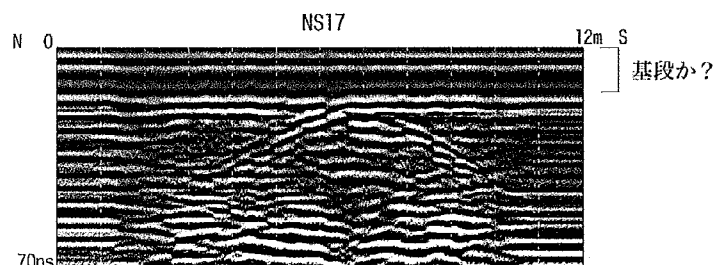


図 5.34: 本堂レーダ断面図 NS17 測線

■太子堂 太子堂において実施した探査結果を図 5.36, 5.37 に示す。図 5.36 は NS5, WE10 測線におけるレーダ断面図である。図 5.37 に示した反射は、約 12-30ns あたりにおいて捉えられたものである。図 5.36 でも見られるように、約 30ns を境にして反射の強さが変化しており、これより深い部分は堂宇建立に関連する可能性が低いと考え、図 5.37 に示さなかった。

そして、領域全体を眺めると、中央部に明確でないながらも、NS4, 6 の 5-6m 地点 WE5, 6 の 3-4m 地点を上面とする台地状の構造を推定できる。そして、南東隅部分より北側および西側に下がる傾斜面が存在する。太子堂の南側は拡張されたという伝聞があり、それに従うならば、建造物基盤の際に、南東部分をにおける台地と傾斜面の間を埋めるような形で整地したのではないかと考えられる。

#### まとめ

金堂基壇については、探査結果と現存基壇の高さ等の情報を基にして解釈した結果、現存基壇はほぼ均質の土で一度に構築されたものであるという判断を下した。拡張の痕跡等を見出す事はできず、室町時代創建の金堂とともに構築されたものであると推測される。よって、もし、室町時代に現存本堂に先立つものがあつたと仮定しても、その建物および基壇は、本調査の結果を見る限り、残されていないと考えられる。太子堂については、南東隅部分において、北および西側へ下がる傾斜面の存在を推定した。これは、過去の地表面であると考えられ、現在はその部分が整地され、平坦

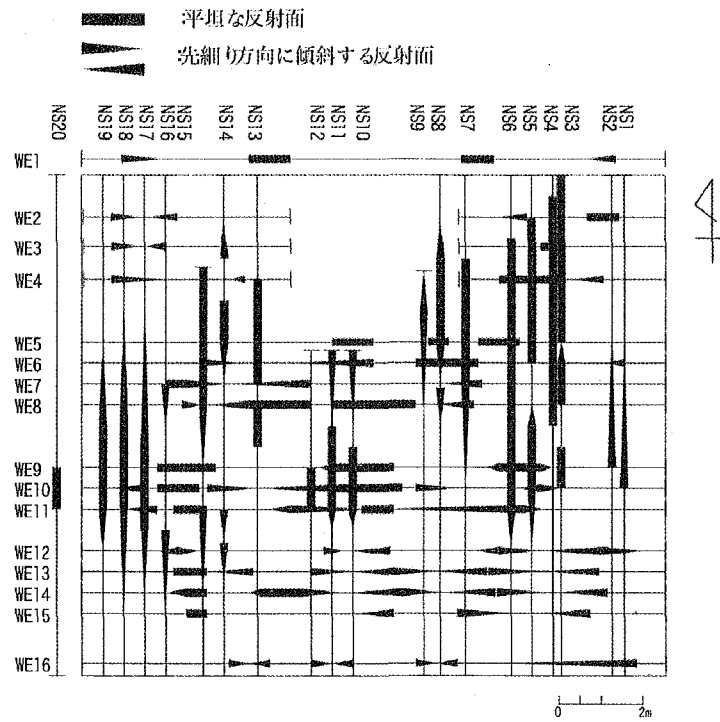


図 5.35: 本堂レーダ探査結果図

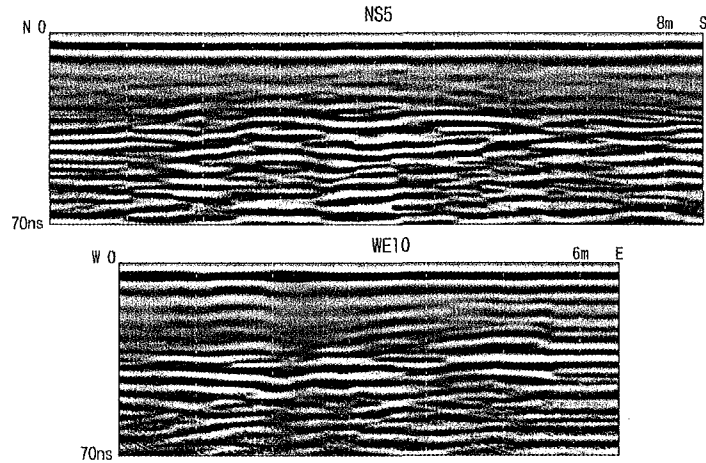


図 5.36: 太子堂レーダ断面図 NS5, WE10 測線

面となっているという推測をおこなう事ができる。そう考えれば、太子堂の南側が後に拡張され、現在の状態になったという仮説を支持できる探査結果である。本調査は、現存の文化財対しての調査であり、発掘のような侵襲的な方法を用いる事はできない。しかし、探査結果と基壇の現状から、鶴林寺本堂基壇の状況を推定する事ができた。

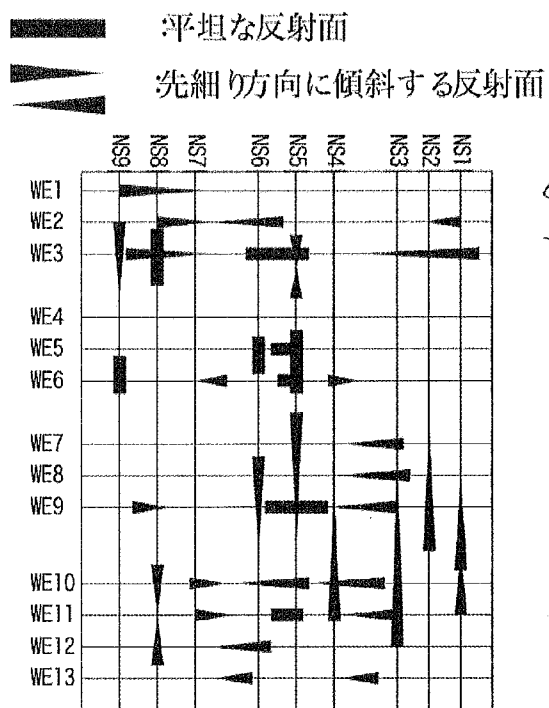


図 5.37: 太子堂レーダ探査結果図

5.5.2 法隆寺-複数アンテナの使用

統合的考古探査 調査票

遺跡情報	
遺跡名称：法隆寺金堂	遺跡所在地-住所：奈良県生駒郡斑鳩町法隆寺
遺跡種類：土壇	-緯度(代表点)：34.61094°
その他：	-経度(代表点)：135.7372°
探査情報	歴史知識
調査日時：200403 調査範囲-名称：金堂仏壇 -規模：NS4×EW8.7m -図版：Horyuji-map.ai 実測探査-レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Horyuji-000.xml 装置：G.S.S.I社製 SIR-2 測定条件：400MHz 測線設定：壇上東西 10 本、壇上南北 43 本 測線配置図：Horyuji-map.ai 探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/400 解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/400s 測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/photo -レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Horyuji-900.xml 装置：G.S.S.I社製 SIR-2 測定条件：900MHz 測線設定：壇上東西 10 本、壇上南北 43 本、壇面 3 本 測線配置図：Horyuji-map.ai 探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/900 解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/900s 測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/photo -レーザ探査 <input checked="" type="checkbox"/> Horyuji-1500.xml 装置：KODEN 製作所社製 KSD-3AM 測定条件：1.5GHz 測線設定：壇上東西 19 本、壇面 3 本 測線配置図：Horyuji-map.ai 探査結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/1500 解析結果：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/1500s 測定風景：T.I.T khlab, kh-nas/site/Horyuji/photo	発掘報告書 <input type="checkbox"/> 参考文献 <input checked="" type="checkbox"/> 法隆寺国家保存委員会・国家法隆寺金堂修理工事報告書、 法隆寺国家保存工事報告書、第 14 巻、 法隆寺国家保存委員会、1956。 その他 ( )
	地理情報
	測量図 <input checked="" type="checkbox"/> 法隆寺国家保存委員会・国家法隆寺金堂修理工事報告書、 法隆寺国家保存工事報告書、第 14 巻、 法隆寺国家保存委員会、1956。 古地図 <input type="checkbox"/> その他 ( )
探査解釈結果	
発掘結果	

図 5.38: 法隆寺土壇調査票

## 調査概要

1993年、世界遺産にも登録された法隆寺は、世界最古の木造建築物としてあまりにも有名な寺院である<sup>(6)</sup>。本調査は、金堂内にある仏壇における亀裂の状態を把握する為に実施された。仏壇の現状は、北側部分において表面から大きな亀裂が確認でき、土壇内部においても亀裂が存在すると予想された(図5.40,5.41)。本探査では、この北側部分を中心にして調査領域を設定し、レーダ探査を実施した(図5.39)。亀裂は、その大きさおよび割れの方向が様々であり、仏壇の状況把握には、三次元的な構造説明が必要とされた。よって、探査領域は仏壇上部のみではなく側面に対しても設定し、あらゆる大きさおよび位置に存在する亀裂を検出する為に、三種類の周波数の違うアンテナ図5.42,5.43を用意して、探査をおこなった。用いた探査システムはG.S.S.I社製SIR-2000システムであり、アンテナは400MHz,900MHz,1.5GHzである。

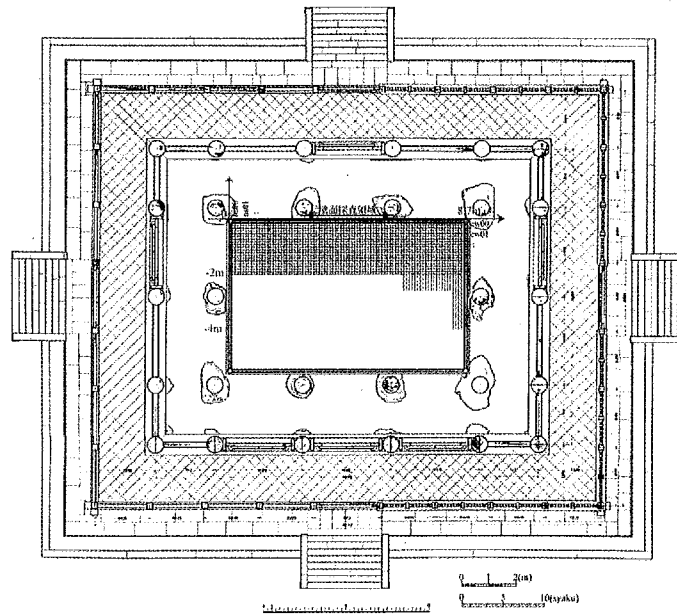


図 5.39: 金堂仏壇探査領域 壇上面：南北最大4m × 東西最大8.7m および北壁面

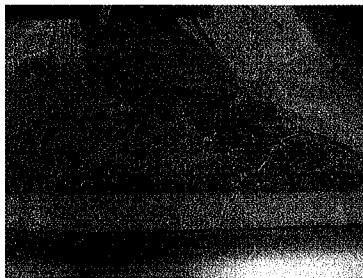


図 5.40: 金堂基壇亀裂

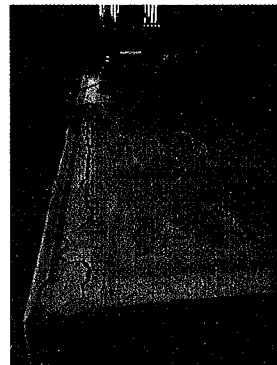


図 5.41: 金堂仏壇亀裂



表 5.5: 法隆寺レーダ探査条件

アンテナ周波数	測線本数	測線間隔
400MHz	壇上東西：10本 壇上南北：43本	20cm 間隔
900MHz	壇上東西：21本 壇上南北：87本 壁面：3本	10cm 間隔
1.5GHz	壇上東西：19本 壁面：3本	10cm 間隔



図 5.42: 壇上探査風景 (900MHz)



図 5.43: 壇壁探査風景 (1.5GHz)

#### 探査成果

探査の結果、いくつかの亀裂の存在状況が明らかになった。そして、本探査土壇の履歴を整理した結果、本探査結果が過去の修復状況を如実に捉えていたことが判明した。

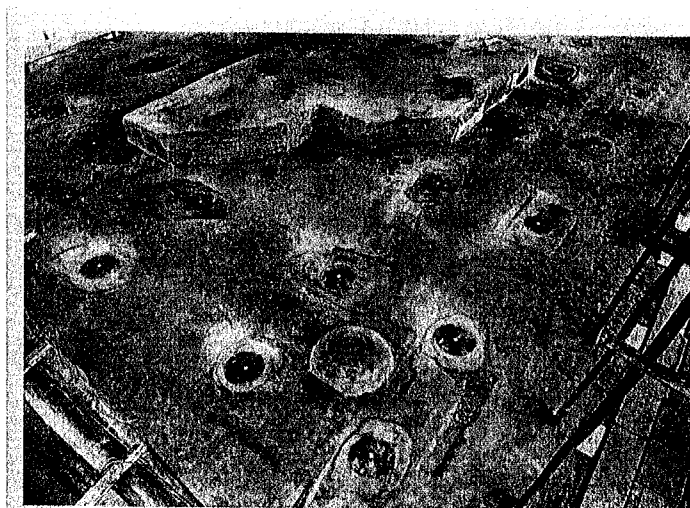
#### 土壇について-歴史情報

まず、土壇の履歴を整理する。法隆寺金堂は 1949(昭和 23)年に火災に遭い、壁画が大きな被害を受けたことは、世間の知るところである(現在毎年火災のあった 1月 26日を中心として「文化財防火 Day」が定められている)。その際に仏壇および金堂基壇の発掘を伴う修理調査がおこなわれている。その報告<sup>(7)</sup>によると、仏壇は消火の水を被って表面の漆喰は殆ど脱離していたが、築土そのものは大きな損傷を受けていなかったようである。しかし、金堂壁画移動の為、仏壇は東北隅から南へ十三尺五寸(約 4.1m)、西へ十四尺一寸五分(約 4.3m)の点を結んだ部分を取り払ったと報告されている。また、西面中央の内陣柱脇にて亀裂が生じており、補修のため同様に取り払っている。仏壇の一部を取り払った状態が図 5.44 である。仏壇自身は多量の石灰を混ぜた土を搗き固め 7層に積み上げ、築かれていた。そして、補修を終えた後の状況が図 5.45 であり、現在に至っている。

#### 探査結果

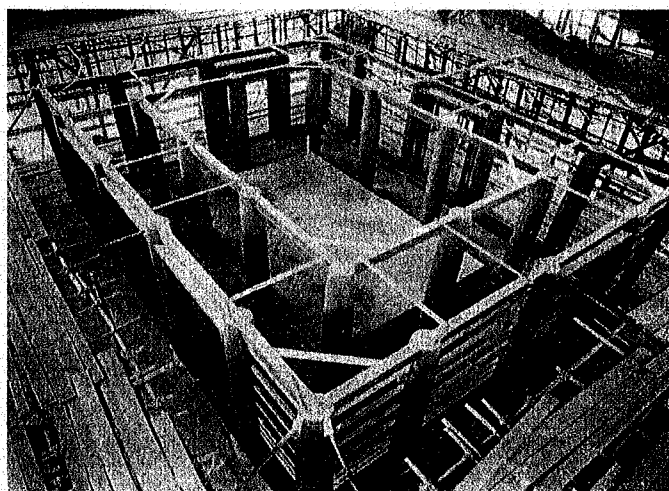
900MHz アンテナ使用時におけるレーダ探査結果のタイムスライス図を図 5.46 に示す。ごく壇上部表面に近い部分の様子である。本結果をみると東側と西側で反射の状況が全く異なることがわかる。西から 4m の北壁から南東に向かい、途中で南へ折れてのびる境界線が鮮明に現れている。これは、昭和の修理の際に取り払った境界線に一致することが、報告写真図 5.44 と比較することで容易に理解できる。このことより、修復の仏壇が過去のものとは異なる状況であると判断することができる。

続いて、亀裂の存在状況であるが、分解能が高い 1.5GHz アンテナを使用した結果が最も様子を捉えたので、その結果を中心に述べる。図 5.47, 5.48 が、亀裂の状況を捉えている。図 5.47 は、仏壇の表面近くの亀裂を捉え、主に東側＝修復部分に特徴的な反射を複数看取できる。細長く直線的であることから、亀裂であると推察される。しかし、東側の状況に比べ、西側ではこの様な直線的な反射分布は確認できず、亀裂の存在は推定できない。



第一圖 礎石概観（北側より撮影）

図 5.44: 仏壇修理前状況 出典：第三六三圖礎石概観<sup>(7)</sup>



第三圖 柱間連絡材取付 其二

図 5.45: 仏壇修理後状況 出典：第二一二圖柱間連絡材取付其二<sup>(7)</sup>

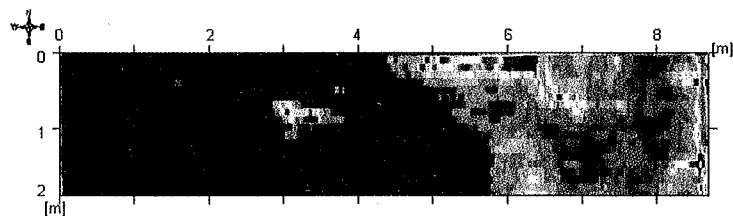


図 5.46: 900MHz タイムスライス図 (Time window=1.5-2.0ns)

同じく 1.5GHz の結果で、さらに深い部分の状況を示すタイムスライス図が図 5.48 である。この結果図では、図 5.47 で見られた亀裂と思われる反射は殆どなくなっている。そのことより、大部分の亀裂は表面で留まっていると推定できる。しかし、6.5m 地点および東壁近くでは北壁よりの直線的な反射分布が存在しており、この二カ所では亀裂が大きいと思われる。

さらに、本調査では仏壇上からだけではなく、壁面からも調査を実施した。1.5GHz アンテナは他のアンテナに比べ、

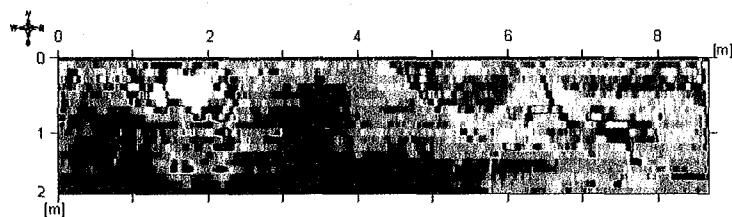


図 5.47: 1.5GHz タイムスライス図 (Time window=1.0-1.2ns)

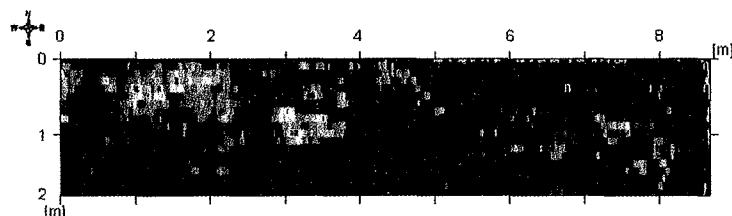


図 5.48: 1.5GHz タイムスライス図 (Time window=2.0-2.4ns)

周波数が高いため、分解能は高いが探査深度が浅い。その為、仏壇の奥部まで探査することが困難である。よって、壁面からも探査を実施し、仏壇下部の構造をも把握しようとしたのである。その結果が図 5.49, 5.49 である。結果を見ると、仏壇の上部および下部の両方とも、東側の浅い部分で大きな反射が存在していることがわかる。つまり、東側の北壁全体の裏に大きな亀裂が存在していると判断されるのである。この境界は、修復時の仏壇取り払いの位置と一致し、修復部分において亀裂が内在していると考えられる。



図 5.49: 壁面 1.5GHz レーダ断面図：基壇より 0.51m 上 図 5.50: 壁面 1.5GHz レーダ断面図：基壇より 0.14m 上

#### まとめ

亀裂が存在している部分は、昭和におこなわれた修理部分に集中していることが本探査で判明した。修理記録という歴史知識と探査結果が融合した結果、以上のような具体的な解釈を導出できた。また、複数周波数のアンテナを使い分けることにより、探査対象に適した機器の選択をおこなった。さらに、亀裂の状況把握の為に、仏壇上面および側面に探査測線を設定することにより、亀裂の規模を詳細に把握することができた。本探査により、統合的考古探査において、結果解釈および機器選択に関し、探査対象に関する情報の重要性を認識することができたと考える。

## 第6章

# 結論

### 6.1 結論

本論文では、「統合的考古探査法」を提案し、その確立に務めた。その方法は、複数の探査法を用いることにより詳細な地下3次元構造をモデル化し、歴史知識および地理情報を用いた文化財解釈をおこなうものである。

まず、第3章において、「物理探査による三次元モデル化」について述べた。各探査法において、三次元構造をモデル化する為に必要となる解析手法を述べ、実際の探査データに適用し評価をおこなった。レーダ探査法では、3次元マイグレーション法による物体の三次元位置推定について述べた。そして、天白遺跡の配石遺構探査データに適用した結果、従来は推定が不可能であった測線間に位置する物体の位置を推定し、配石の状況を把握する事に成功した。電気探査では、地下三次元抵抗率分布解析の方法について述べた。高松塚古墳墳丘内部の抵抗率分布を明らかにし、国宝壁画の保存に意味のある探査成果を提供する事ができた。そして、磁気探査については、探査対象から形状に関する具体的な情報を抽出し、対象文化財の形状を効率よく表現できる文化財モデルを創出した。一例として、窯を対象としたモデルを設定し、寺所窯跡の探査データに適用した。その結果、従来では表現不可能であった窯の詳細な構造が判明した。また、この解析結果は電気・レーダ探査の結果とも一致し、有効性が確かめられた。以上、これら三次元解析手法により、従来に比べ、詳細な地下三次元構造の記述が可能となった。

次に、第4章において、もう1つの構成要素である「歴史・地理情報を導入した解釈」について述べた。探査結果から推定した地下構造モデルを文化財として解釈する為に、歴史知識は必須である。その歴史知識を導入した具体的な解釈例として、探査結果と文献史料・古絵地図・瓦などの情報を用い、遺跡説明をおこなった東大寺丸山西遺跡における調査を示した。そして、地理情報の利用方法として、GIS技術を基盤とした調査成果の視覚的な統合と利用について述べた。利用方法として、地理情報自身の解析から遺跡を推定し、探査による検証をおこなうという新しい調査形態を野古墳群のデータを用い例示した。

そして、第5章において、統合的考古探査法を実施するにあたり、その留意点をチェック項目としてもつ調査票を用いた、実践方法を提示した。この調査票は遺跡情報、探査情報、歴史知識・地理情報、結果情報の項目を持つ。新たに探査を開始する際には、調査票の各項目を埋めるよう努める事により、効率よく統合的考古探査を実施する事ができる。また、過去の探査成果については、如何なる探査方法・解析手法で「地下三次元構造をモデル化」したのか、その探査結果解釈過程においてはどのような「歴史・地理情報を導入」したのかという実施状況を明示し、整理できる仕組みを持っている。さらに、遺跡種ごとに分類した実践例を紹介し、症例集的な統合的考古探査事例集の成立を目指した。

これら筆者の調査してきた実践例は、従来の考古学的な手法だけでは導きだせない成果を挙げ、統合的考古探査法の有効性を実証した結果群である。

以上、本論文をまとめると、統合的考古探査法を実施する際の留意点を列挙できる。

- できる限り複数の探査法を用いた上で、探査対象に適した三次元解析をおこない地下三次元構造をモデル化する

る事。

- 考古学者等の共同調査者から、探査対象に関する歴史知識および地理情報を収集し、解釈に努める事。
- 歴史・地理情報を有効的に探査データ解析にも取り込む事。
- 地理情報を軸として、探査結果や発掘成果等の情報を統合する事。

これら事項に留意して、統合的考古探査法を実践すれば、第5章をはじめとして例示したような調査成果を挙げる事ができる。そして、探査従事者は、本論文を指針として、統合的考古探査をおこなう事ができるようになった。今後、調査事例が蓄積される事によって、従来の考古探査の概念は刷新され、統合的考古探査法が新たな遺跡調査法として定着すると考えられる。

## 6.2 今後の検討課題

本論文において、統合的考古探査を定義し、各遺跡での調査において成果を挙げて来た。しかし、探査結果解釈に用いる歴史・地理情報は膨大な量にのぼる。その為、探査に必要であろう歴史知識のデータベース化とそこに格納されたデータを用いた探査シミュレーションが、今後必要であると考え、これらの設計についての検討が課題である。データベースについては、探査対象を理解し、探査結果を解釈することができるような詳細な歴史・地理情報を格納する事が求められる。本論文で提示した調査票は、21世紀COEプログラムの助成を受け構築中である文化財情報システムとの連携を視野に入れた設計であり、本研究成果のシステムへの導入が課題である。

そして、探査シミュレーションについては、探査対象となる文化財モデルのパラメータ設定が課題である。各探査法において、使用するパラメータは抵抗率であったり、磁化の大きさであったりと、様々である。しかし、それら物性情報について調査された例は、非常に少ない。正確なシミュレーションをおこなうには、これら物性情報の整備が必要である。この両者を整備すれば、より多くの調査者が容易に統合的考古探査法を実践できる様になると考えられる。

## 探査遺跡一覧

筆者は表 6.1 に掲載した遺跡における調査を通じて、本論文の主題である統合的考古探査の必要性を感じ、その適用を実践してきた。

表 6.1: 探査従事遺跡一覧

調査日	遺跡名	所在地	実施探査手法
1999.3-	新宮宮内遺跡	兵庫県揖保郡新宮町	レーダ、電気
1999.6	ホケノ山古墳	奈良県桜井市	レーダ
	勝山古墳	奈良県桜井市	レーダ
	島の山古墳	奈良県磯城郡結崎	レーダ
1999.11-	東大寺丸山西遺跡	奈良県奈良市	レーダ、電気
	周遍寺山古墳	兵庫県加西市	レーダ、電気、磁気
2000.9	角塚古墳	岩手県胆沢町	レーダ、電気
2001.3-	El Zayyan 神殿遺跡	エジプト	レーダ、電気、磁気
2001.7	五塚原古墳	京都府向日市	レーダ、電気、磁気
	寺山古墳	兵庫県加西市	レーダ、電気
	鶴林寺	兵庫県加古川市	レーダ、電気
2001.8	玉手山7号墳	大阪府柏原市	レーダ、電気、磁気
2001.10	窯ヶ根窯跡	岐阜県土岐市	レーダ、電気
2001.11	東谷遺跡	滋賀県高島郡今津町	磁気
2002.6	捨鹿廃寺	兵庫県加東郡東条町	レーダ、電気
2002.8-	天白遺跡	三重県嬉野町	レーダ、磁気
2002.11	吉備塚古墳	奈良県奈良市	レーダ、電気、金属探知
	寺所窯跡	兵庫県中町	磁気、磁化率測定
2002.11-	女鹿山古墳	兵庫県加西市	レーダ、電気、磁気
2003.1	平城京大極殿	奈良県奈良市	電気
2003.3	越部赤松氏屋形跡	兵庫県揖保郡新宮町	レーダ、電気
	コマ塚	兵庫県加西市	レーダ
	亀山古墳	兵庫県加西市	レーダ、磁気
	尚古集成館	鹿児島県鹿児島市	レーダ
2003.5	高松塚古墳	奈良県明日香村	レーダ、電気
2004.3	法隆寺	奈良県生駒郡斑鳩町	レーダ

## 参考文献

- [1] 金田明大, 津村宏臣, 新納泉. 考古学における GIS 入門. 古今書院, 2001.
- [2] 福島県原町市教育委員会. 国史跡 桜井古墳 保存整備事業報告書, 原町市埋蔵文化財調査報告書, 第 31 卷. 福島県原町市教育委員会, 2002.
- [3] 辻秀人他. 大森塚古墳. 1996 年度宮城県遺跡調査報告会資料, 1996.
- [4] 亀井宏行. 電気学と考古学—遺跡探査—. 電気学会誌, Vol. 119, No. 10, pp. 609–612, 1999.
- [5] 亀井宏行, 西村康, 工藤博司, 大野町教育委員会. 岐阜県野古墳群登越古墳の周濠および周辺部の地中レーダ探査. 日本文化財科学会第 10 回大会 研究発表要旨集. 日本文化財科学会, 1993.
- [6] 法隆寺. 法隆寺.
- [7] 法隆寺国宝保存委員会. 国宝法隆寺金堂修理工事報告, 法隆寺国宝保存工事報告書, 第 14 卷. 法隆寺国宝保存委員会, 1956.
- [8] 刀田山鶴林寺. 刀田山 鶴林寺. 675-0031 兵庫県加古川市加古川町北在家 424.
- [9] Hiroyuki Kamei. A new instrument - a three -component fluxgate gradiometer. In *The 28th International Symposium on Archaeometry(ARCHAEOOMETRY '92)*, p. 171, 1992.
- [10] 加東郡教育委員会. 13 捨鹿谷・松ノ下遺跡. 加東郡埋蔵文化財報告 2000 年度年報, 加東郡埋蔵文化財報告, No. 27. 兵庫県加東郡教育委員会, 2001.
- [11] 佐々宏一, 芦田譲, 菅野強. 建設・防災技術者のための物理探査. 森北出版, 1993.
- [12] 赤池弘次. 情報量基準 aic とは何か. 数理科学, Vol. 157, pp. 5–11, 3 1976.
- [13] 今井将史. 磁性体分布のパラメトリック推定に関する研究. Master's thesis, 東京工業大学大学院, 2 2002.
- [14] 森正人. 電気探査における三次元解析とその考古探査への応用に関する研究. PhD thesis, 東京工業大学大学院, 2004.
- [15] 中井正幸. 野古墳群の研究-乾屋敷古墳・モタレ古墳・不動塚古墳の測量調査結果-. 岐阜史学, Vol. 84, pp. 1–20, 5 1991.
- [16] 三重県埋蔵文化財センター編. 三重県一志郡嬉野町天白遺跡. Technical report, 三重県埋蔵文化財センター, 1993.
- [17] 奈良文化財研究所. 埋蔵文化財ニュース「遺跡探査実態調査」, 埋蔵文化財ニュース, 第 98 卷. 奈良文化財研究所, 2000.
- [18] 兵庫県多可郡中町教育委員会. 東山古墳群 ii. 中町教育委員会, 2001.
- [19] 立命館大学文学部. 立命館大学文学部学芸員課程研究報告第 10 冊 五塚原古墳第 1・2 次発掘調査概報. Technical report, 立命館大学文学部, 3 2003.
- [20] 滋賀県教育委員会, 財団法人滋賀県文化財保護協会(編). 東谷遺跡 滋賀県高島郡今津町大共. 滋賀県教育委員会, 2004.
- [21] 吉川真司. 東大寺の古層-東大寺丸山西遺跡考-. 南都佛教, Vol. 78, , 2000.
- [22] 吉川真司. 東大寺成立過程の研究. 平成 10 年度~平成 11 年度科学研究費補助金研究成果報告書, 2001.
- [23] 菱田哲郎. 東大寺丸山西遺跡出土の瓦について. 南都佛教, Vol. 78, , 2000.

- [24] 内田利弘. ABIC 最小化法による最適平滑化拘束の比抵抗 2 次元インバージョン. 物理探査, Vol. 46, No. 2, pp. 105–119, 1993.
- [25] 佐々木裕. 比抵抗垂直探査における 2 次元構造の自動解析 (i). 物理探査, Vol. 34, No. 5, pp. 341–350, 1981.
- [26] 佐々木裕. 比抵抗 2 次元インバージョンの改良. 物理探査, Vol. 41, No. 2, pp. 111–115, 1988.
- [27] 光畑裕司. Single scattering 理論による電気探査法の感度解析. 物理探査, Vol. 44, pp. 71–80, 1991.
- [28] 四谷優介. 統合的考古学データベースの構築とその利用法に関する研究. Master's thesis, 東京工業大学, 2005.
- [29] 村上武, 工藤博司, 吉田等明, 恒川佳隆, 三浦守. 電気探査の自動化とデータ解析の一検討. 自動制御学会東北支部第 160 回研究集会, 1996.



## 業績一覧

### 投稿論文

阿児雄之、亀井宏行（東京工業大学）、菱田哲郎（京都府立大学）、工藤博司（桜小路電機株式会社）、加西市市史編纂室、加西市教育委員会「女鹿山古墳における考古探査-まる？かぎあな？…しかく!?-」、文化財と探査、Vol.5, No.2, p.p.24-32, 2004（印刷中）

阿児雄之、吉田光夫、松田大介、亀井宏行、四谷優介（東京工業大学）、菱田哲郎（京都府立大学）、工藤博司（桜小路電機株式会社）、中町教育委員会「兵庫県中町寺所窠跡の物理探査」、文化財と探査、Vol.5, No.2, p.p.33-41, 2004（印刷中）

阿児雄之「東大寺丸山西遺跡の物理探査」 南都佛教（投稿準備中）

### 国際会議

T.Ako, H.Kamei, Y.Yotsuya(Tokyo Institute of Technology), M.Okita(Tenri University), Board of Education of Ureshino town, "Application of 3D-Migration to GPR survey at the Tenpaku-site, Mie, Japan", The 5th International Conference on Archaeological Prospection, kracow, Poland, 2003.9

### 解説

阿児雄之「東大寺丸山西遺跡における文化財探査」、Vol.3, No.1, p.p.14-21, 2000.9

### 国内会議

阿児雄之、亀井宏行、大竹浩之（東京工業大学）、吉川真司（京都大学）、菱田哲郎（京都府立大学）、工藤博司（桜小路電機株式会社）「東大寺丸山西遺跡の物理探査 II（比抵抗探査）」、日本文化財探査学会第5回大会、P.12-13、2002.6

Atya M.A. (National Research Institute of Astronomy and Geophysics, EGYPT. Tokyo Institute of Technology), Kamei H. (T.I.T), Shabaan F. (NRIAG), Abbas A.M. (NRIAG,T.I.T), Hassaneen A.Gh. (NRIAG), Marukawa Y. (T.I.T), Ako T. (T.I.T) and Kobayashi Y. (Nara University of Education) "Complementary Integrated Geophysical Investigation around Al-Zayyan Temple, Kharga Oases, Al-Wadi Al-Jadeed(New Valley), EGYPT."日本文化財探査学会第19回大会、2002.7

阿児雄之、亀井宏行（東京工業大学）、菱田哲郎（京都府立大学）、加西市市史編纂室、加西市教育委員会、工藤博司（桜小路電機株式会社）「兵庫県加西市女鹿山古墳-まる、しかく、かぎ?-」、日本文化財探査学会第6回大会、P.14-17、2003.6

山口貴史、阿児雄之、亀井宏行（東京工業大学）、工藤博司（桜小路電機有限会社）「電気探査による高松塚古墳  
墳丘内の水分分布モニタリング」日本文化財科学会第 21 回大会、P.56-57、2004.5

#### 調査報告書

阿児雄之「東大寺丸山西遺跡における文化財探査」、東大寺成立過程の研究 平成 10 年度-平成 11 年度科学研究  
費補助金（基盤研究 (C)(2)）研究成果報告書、2001.3

阿児雄之、亀井宏行（東京工業大学）「六 探査の結果」立命館大学文学部学芸員課程研究報告第 10 冊 五塚原  
古墳第 1・2 次発掘調査概報、P.27-32、2003.3

阿児雄之、亀井宏行、大竹浩之（東京工業大学）「第 5 章 磁気探査結果報告」東谷遺跡、滋賀県教育委員会 財  
団法人滋賀県文化財保護協会、P.54-58、2004.3

阿児雄之、亀井宏行「7-4 溶鉱炉跡地レーダ探査結果」薩摩のものづくり研究 薩摩藩集成館事業における反  
射炉・建築・水車・動力・工作機械・紡績技術の総合的研究 平成 14 年度～平成 15 年度科学研究費補助金（特  
定領域研究（2））研究成果報告書、P.131-135、2004.3

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、亀井宏行教授には日々御指導いただきました。深夜や調査先でも御相談にのって頂いた事は、心より感謝申し上げます。理工学系の基礎知識が乏しい私が、本研究を進めることができましたのは、亀井先生の御指導のおかげです。

振り返ってみますと、高校時代は考古学へ憧れ、私立文系のコースで勉強をしていました。しかし、気がつけば奈良教育大学の古文化財科学専攻の第1期生として、自然科学的な手法を学んでいる自分がいました。学部2年生の時であったと記憶しています。日本文化財科学会のポスター発表会場にて、亀井研究室の先輩である森正人さんと偶然隣同士になり、考古探査について様々なことをうかがいました。この出会いが、私を考古探査の研究へと導いてくれたと感謝しています。

その後、森さんのご紹介で桜小路電機有限会社の工藤博司さんと知り合い、多くの遺跡を共に調査することができました。今日の私は、工藤さんと調査をおこなってきた多くの現場で作りに上げられてきたと実感しています。調査先では、地方自治体の関係者の方々、大学の考古学研究室の学生さん、そして、共に汗を流し調査を手伝ってくださった作業員さんから、机上では到底学ぶことのできない知識をいただきました。皆様、ありがとうございます。

そして、亀井研究室では森さん、丸川雄三さん、Pasomphone Hemtavyさん、宮本朋範さんから博士研究の進め方等多くの事を教えて頂きました。森さんからは、電気探査のことを。亀井研究室の皆さんとは、共に遺跡調査に行き頑張りました。松本大輔さん、高哲さんとは寺山古墳へ。奥村亮くんとは埴輪廃寺で泥に足を取られながらレーダ探査を。松田大介くんは磁気探査のエキスパートで天白遺跡や寺所窯跡へ。川喜田裕之くん、渡辺裕昭とは真夏の五塚原古墳へ。大竹浩之くんとは冬の東大寺丸山西遺跡へ。吉田光夫くん、四谷優介くんとは一番多くの遺跡調査に行ったのではでしょうか。多分、家族よりも一緒に寝食を共にしていたかもしれません。新井春樹くん、上村大輔くんとは広大な東大寺丸山西遺跡へ。家永篤くん、山口貴史くんとは高松塚古墳に行きました。そして、Magdy Ahmed Atyaさん、Abbas Mohamed Abbasさんとエジプト調査ができたことは貴重な体験でした。みなさんと一緒に調査をできたことを嬉しく思います。ありがとうございます。

最後になりましたが、私が大学院で研究することを応援し支えてくれた、家族に心から感謝します。