

筑波大学博士（文学）学位請求論文

西アジア考古学における
物理探査法の応用的研究

辰巳 祐樹

2017年度

目次

図版目次	IV
表目次	VIII
序章	1
第1章 西アジアの景観と集落研究	4
第1節 現代西アジアの景観	6
第1項 地形	6
第2項 気候及び植生	7
第3項 西アジアの物理探査環境	8
第2節 西アジアの初期の歴史	9
第1項 人類の定住	9
第2項 農耕牧畜社会と祭祀的建造物の出現	11
第3項 農耕牧畜社会の拡散	13
第4項 神殿の形成と「中心」・「周辺」の出現	14
第5項 都市国家の発達	16
第3節 西アジア集落研究の課題	18
第1項 空間分析による集落研究	18
第2項 集落研究の課題	20
第2章 考古学研究に用いられる物理探査法	23
第1節 物理探査法の原理と概要	25
第1項 磁気探査	26
第2項 地中レーダー探査	26
第3項 電気抵抗探査	27
第4項 電磁誘導探査	28
第5項 重力探査	29
第6項 弾性波探査	30
第2節 物理探査法を用いた遺跡調査の軌跡	31
第3節 西アジアにおける物理探査法利用の問題	35

第1項	探査法選択の問題	36
第2項	探査成果の提示に関する問題	38
第3章	西アジアの遺跡と物理探査法	39
第1節	西アジア集落研究に適した物理探査法の検討	41
第2節	磁気探査の原理と遺跡調査への利用	44
第1項	磁気	44
第2項	磁化	46
第3項	磁気探査による遺跡調査	49
第3節	地中レーダー探査の原理と遺跡調査への利用	53
第1項	地中における電磁波の伝達	53
第2項	電磁波の反射	54
第3項	電磁波の周波数別の性質	54
第4項	地中レーダー探査による遺跡調査	55
第4節	探査法の有用性を検討するための比較基準	58
第4章	調査事例に基づく物理探査法の適性に関する検討	61
第1節	磁気探査	62
第1項	新石器時代	62
第2項	青銅器時代	64
第3項	鉄器時代	76
第4項	特殊遺構の探査	77
第5項	その他探査成果の概要	82
第6項	その他周辺遺跡など	85
第2節	地中レーダー探査	87
第1項	新石器時代	87
第2項	青銅器時代	88
第3項	その他の探査遺跡	91
第3節	遺構に対する探査性能	92
第5章	物理探査法の適性の比較研究	95
第1節	ハッサンケイフ・ホユック遺跡	96
第1項	磁気探査	96
第2項	地中レーダー探査	98
第3項	各探査と発掘調査成果との比較	98
第4項	物理探査から見た遺構の配置	102

第 5 項	物理探査の有効性と限界	104
第 2 節	カラート・サイド・アハマダン遺跡	107
第 1 項	磁気探査	107
第 2 項	地中レーダー探査	107
第 3 項	各探査と発掘調査成果との比較	108
第 4 項	物理探査から見た遺構の配置	110
第 5 項	物理探査の有効性と限界	111
終章	113
第 1 節	西アジアにおける物理探査法の適切な選択	114
第 1 項	旧石器時代	115
第 2 項	新石器時代	116
第 3 項	銅石器時代以降	117
第 2 節	物理探査法の集落研究への応用	119
第 3 節	物理探査を利用した集落研究の展望	123
図表	124
参考文献	202
付図	222

図版目次

第 1 図	西アジアの地形.....	125
第 2 図	西アジアの気候区分.....	126
第 3 図	西アジアの年間降水量.....	126
第 4 図	オハロ II 遺跡のキャンプ地.....	127
第 5 図	アイン・マラッハ遺跡の恒久的な住居遺構.....	127
第 6 図	ムレイベト遺跡の区画を有する公共建造物.....	128
第 7 図	イエリコ遺跡の大規模構造物.....	128
第 8 図	ギョベックリ・テペ遺跡のエンクロージャー.....	129
第 9 図	ギョベックリ・テペ遺跡の石柱.....	129
第 10 図	テル・ハルーラ遺跡の先土器新石器時代の矩形遺構.....	130
第 11 図	ネヴァル・チョリ遺跡の公共建造物.....	130
第 12 図	ジェルフ・エル・アフマル遺跡の中心に位置する公共建造物.....	131
第 13 図	チャヨニュ遺跡の礫敷きの公共広場.....	131
第 14 図	テル・エル・ケルク遺跡の大規模貯蔵施設.....	132
第 15 図	テル・エル・ケルク遺跡における遺跡規模の変化.....	132
第 16 図	テル・エッサワン遺跡 (Tell es-Sawan) のサマッラ期の遺構.....	133
第 17 図	テル・サビ・アビヤド遺跡の矩形住居及びトロス.....	133
第 18 図	テル・アバダ遺跡の大型建造物.....	134
第 19 図	エリドゥ遺跡の神殿域拡大の様子.....	134
第 20 図	テル・ブラク遺跡の神殿.....	135
第 21 図	テペ・ガウラ遺跡.....	135
第 22 図	都市出現までのプロセス概略.....	136
第 23 図	テル・ブラク遺跡の遺物分布からみた集落の発展.....	136
第 24 図	衛星による遺跡周辺画像.....	137
第 25 図	踏査に基づく集落パターンと中心地理論モデル及びその変換図.....	137
第 26 図	ローマ時代の城砦内外における磁気探査.....	138
第 27 図	集落研究における資料獲得の課題.....	138
第 28 図	キルベト・フェイナン遺跡における電磁誘導探査結果.....	139
第 29 図	キルベト・フェイナン遺跡における電気抵抗探査結果.....	139
第 30 図	磁場のベクトル模式図.....	140
第 31 図	双極子磁場模式図.....	140
第 32 図	地磁気模式図.....	140
第 33 図	緯度による地磁気の差.....	141

第 34 図	地磁気の日周変化.....	141
第 35 図	磁気嵐時の地磁気の変化.....	141
第 36 図	磁気ヒステリシス曲線.....	142
第 37 図	帯磁率の違い.....	142
第 38 図	磁気異常断面模式図.....	143
第 39 図	磁気異常の平面パターン.....	143
第 40 図	表土の有無による磁気探査結果の差異.....	144
第 41 図	窯跡の磁気異常とノイズの大きさ.....	144
第 42 図	窯跡の埋没深度と磁気異常の関係.....	145
第 43 図	陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査範囲.....	146
第 44 図	陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査タイムスライス.....	147
第 45 図	陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査疑似断面図.....	148
第 46 図	唐沢山城御台所における地中レーダー探査結果.....	149
第 47 図	第 4・5 章で言及する磁気探査・地中レーダー探査の実施された遺跡.....	150
第 48 図	キルベト・ベジ遺跡周辺図.....	151
第 49 図	キルベト・ベジ遺跡における磁気異常分布図.....	151
第 50 図	テル・アルビド遺跡の磁気異常分布図.....	152
第 51 図	テル・アルビド遺跡 a 区における磁気異常分布図.....	153
第 52 図	テル・アルビド遺跡 c 区における磁気異常分布図.....	153
第 53 図	テル・アルビド遺跡 e 区における磁気異常分布図.....	154
第 54 図	テル・アルビド遺跡で検出されたヘレニズム期の土坑.....	154
第 55 図	テル・アルビド遺跡で検出されたヘレニズム期の建築遺構.....	155
第 56 図	テル・アルビド遺跡で検出された複合住居.....	155
第 57 図	テル・アル・ラウダ遺跡の地形及び探査前の露出した遺構.....	156
第 58 図	テル・アル・ラウダ遺跡における 2005 年度までの磁気異常分布図....	156
第 59 図	テル・アル・ラウダ遺跡における 2010 年度までの磁気異常分布図....	157
第 60 図	カザネ・ホユック遺跡の磁気探査区.....	158
第 61 図	カザネ・ホユック遺跡 1 区における磁気探査結果.....	159
第 62 図	カザネ・ホユック遺跡 3 区における磁気探査結果.....	160
第 63 図	カザネ・ホユック遺跡 4 区における磁気探査結果.....	160
第 64 図	カザネ・ホユック遺跡 5 区における磁気探査結果.....	161
第 65 図	カザネ・ホユック遺跡 5 区内試掘坑の遺構平面図.....	161
第 66 図	ジャレット・テペ遺跡における磁気探査範囲.....	162
第 67 図	ジャレット・テペ遺跡における電気抵抗探査区の準備状況.....	162
第 68 図	ジャレット・テペ遺跡全体の磁気探査結果.....	163
第 69 図	ジャレット・テペ遺跡の下街における磁気探査結果.....	164

第 70 図	ハルマノレン遺跡の磁気探査成果.....	165
第 71 図	ハルマノレン遺跡の Zone 1 における磁気異常分布図	166
第 72 図	デデメザリ遺跡の探査区地表面の状況	166
第 73 図	デデメザリ遺跡における磁気異常分布図.....	167
第 74 図	デデメザリ遺跡における遺構出土状況	168
第 75 図	テル・エ・スウェイハット遺跡における窯跡周辺の磁気異常分布図...	169
第 76 図	ヤッスホユック遺跡における磁気探査区.....	170
第 77 図	ヤッスホユック遺跡における磁気異常分布図	170
第 78 図	ティトリシュ・ホユック遺跡の地形.....	171
第 79 図	ティトリシュ・ホユック遺跡における磁気異常分布	171
第 80 図	テル・マルディフ遺跡における磁気異常分布図.....	172
第 81 図	テル・フエラ遺跡における磁気異常分布図	173
第 82 図	テル・シェイク・ハマド遺跡における磁気異常分布図.....	174
第 83 図	ギルディ・シャトワン遺跡における磁気異常分布図	175
第 84 図	ギルディ・シャトワン遺跡における磁気探査結果の解釈	176
第 85 図	ギルディ・バザール遺跡及びカラーティ・ディンカ遺跡における磁気探査 範囲及び磁気異常分布図	177
第 86 図	クルド・カブルスタン遺跡における磁気異常分布図	178
第 87 図	ビュクリュカレ遺跡における磁気異常分布図	178
第 88 図	ギョベックリ・テペ遺跡における地中レーダー結果平面図	179
第 89 図	シール遺跡における物理探査結果.....	180
第 90 図	シール遺跡における地中レーダー探査と遺構の平面位置比較図	181
第 91 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の地形及び地中レーダー探査範囲	182
第 92 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の前期青銅器時代の建築遺構	182
第 93 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡における地中レーダー探査結果	183
第 94 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の前期青銅器時代の城壁	183
第 95 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡のイスラーム期の遺構	184
第 96 図	テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡における地中レーダー探査の疑似- 断面図	184
第 97 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡の遠景	185
第 98 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡の半地下式遺構.....	185
第 99 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡における物理探査範囲.....	186
第 100 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡の磁気探査の様子	186
第 101 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡の地中レーダー探査の様子	187

第 102 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡における磁気探査結果.....	188
第 103 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡における地中レーダー探査結果図	189
第 104 図	ハッサンケイフ・ホユック遺跡の地中レーダー探査結果と遺構検出位置 の比較	190
第 105 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡の遠景.....	190
第 106 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡の物理探査区	191
第 107 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡テル頂上部の地表面の状況	191
第 108 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡の南斜面部の地表面の状況	192
第 109 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡における磁気異常分布図.....	193
第 110 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡における地中レーダー探査結果図	194
第 111 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡において検出された石組遺構.....	195
第 112 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡 F トレンチにおける遺構検出状況	196
第 113 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡における地中レーダー探査結果と試 掘結果の比較.....	197
第 114 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡頂上平坦部の地中レーダー疑似断面 図.....	197
第 115 図	カラート・サイド・アハマダン遺跡頂上平坦部の建築遺構壁推定図 .	198

表目次

第 1 表	イギリスにおける各物理探査法の適性	199
第 2 表	日本における各物理探査法の遺構別適性.....	199
第 3 表	高分解能を有する各物理探査法の特徴	200
第 4 表	媒質及びその状態別の 100MHz の比誘電率	200
第 5 表	地中レーダー探査の周波数と探査性能の関係	201

序章

遺跡の発掘調査は過去に暮らしていた人々の貴重な情報を私たちにもたらししてくれるが、遺跡を発掘するという行為は、それまで静かに眠っていた過去の人々の町や墓などを暴き出して破壊する行為でもある。過去の歴史を紐解くには、過去の遺産を破壊しなければならないという二面性を発掘調査は有している。

そのため、20世紀に入る頃から遺跡を保護しつつも遺跡の地下の様子を探る方法が模索され始め、今では遺跡調査法のひとつとして磁気や電磁波の性質を利用した物理探査法が広く活用されている。物理探査法は地中の遺跡を破壊せずに探査する方法であり、同時に発掘調査と比較してはるかに少ない労力や時間で調査が可能であるため、非常に有用な調査方法である。

特に、現在までの人類史の中で度々重要な役割を担ってきた西アジア地域では、近年の政治的、思想的な対立や紛争により、多くの遺跡が破壊されている。そのような状況において、遺跡から過去の情報を引き出し後世へ遺していくことは大きな意味を持つ。この地域には未だ本格的な調査が行われていない遺跡が数多く存在するため、広範の素早い調査に適した物理探査法が有用である。

西アジアでは、遺跡破壊及び時間や労力の観点から、全面発掘調査がなされている遺跡は多くない。むしろ、分布調査や遺物の表面採集調査、試掘調査のみで調査が終了となる遺跡の方がはるかに多い。そのため、遺物研究や集落パターン研究は進んでいるものの、集落内の遺構の分布や規格性、住居遺構の規模の差異や公共的な建造物の存在、あるいは一般の住居に備えられたものではない土器焼成窯や冶金工房などの専門的な側面を有する遺構の存在など、集落構造の情報について明らかになっている遺跡は限られている。

したがって、これらの情報を獲得するといった点においても、遺構のプランや集落内における分布を推定することのできる物理探査は有益なはずである。これまで比較的小規模な遺跡においても全面発掘調査が行われることは少なく、また、大規模な遺跡においても、多くの場合一部が調査されるに留まっている。こうした状況において、物理探査を用いた調査こそが、これまでの調査では解明することのできなかつた遺跡全体の集落構造を知る手がかりとなるのである。

しかしながら、物理探査による遺跡調査は研究者たちから全幅の信頼を得ているわけではなく、むしろ懐疑の目で見られることが多い。原理的には同じである探査法を用いているにもかかわらず、西アジアにおける実際の発掘調査結果に限りなく近い遺跡の推定プラ

ンを得られる探査成果もあれば、全く地中の様子が推定できない、あるいは発掘結果と異なる推定がなされた物理探査結果も報告されている。

こうした差異は、物理探査事例が少ないため未だに探査対象に適切な探査法が用いられず、また、探査結果に対する研究者の解釈の妥当性にも問題があるところに起因しているといえる。

考古学調査に用いられる物理探査法には、磁気探査法、電気抵抗探査法、電磁誘導探査法、地中レーダー探査法など、様々な方法が存在する。本論では、まずこれらの探査法の原理と探査法に触れ、その中から特に完全に非破壊であること、及び短時間で探査が可能であること、西アジアの環境に適していること、そして遺構のプランなどの詳細を推定し得る分解能を有していることを検討する。その上で、磁気探査法と地中レーダー探査法に焦点を絞って物理探査法の適性について論じる。

その際に、物理探査機器の機械的な問題や解析プログラムの問題、また、理論的に推定可能な地中構造について論じるのではないことをあらかじめ言及したい。それらの問題についてはそれぞれの物理探査機器のマニュアル等を読めば事足りるであろう。本研究は、単なる物理探査の原理や理論を追及するものではなく、考古学研究に物理探査を用いる際にどの物理探査法を選択するか、またその探査結果をどのように読み取るかという視点から進めるものである。

本論文は、序章と終章のほか、以下 5 章から構成される。第 1 章「西アジアの景観と集落研究」では、西アジアにおける物理探査の適性について研究する際のバックグラウンドとなる景観と探査対象を明確にするとともに、考古学研究の基盤ともなる集落研究にどのような視角から物理探査を活かすことができるかを、集落研究の課題を踏まえて論じる。適切な物理探査を実施するには、西アジアの探査環境を把握した上で、その環境条件に適した探査法を選び取る必要がある。それに加え、探査対象となる遺構の性質や規模が時代とともにどのように変遷していくのかを整理することは、時代に適した探査法をより正確に検討する基礎となる。また、現在の集落研究では集落構造については十分に明らかにされているとはいえないため、物理探査のもたらす情報がその状況を打ち破ることを示したい。

そうした可能性をもつ物理探査がどのようなものであるかを押さえておくために、第 2 章「考古学研究に用いられる物理探査法」において、まず考古学で用いられる物理探査法の原理と概要について述べ、次に、現在まで物理探査法がどのような経緯で考古学に用いられてきたのか、その歴史を振り返る。しかし、現在の西アジアにおける物理探査結果には、考古学研究に有用な情報をもたらさないものもある。その大きな原因のひとつとして、これまでのヨーロッパ中心の物理探査の利用の歴史の流れに従って、そこでの物理探査法が西アジアにおいて十分な検証のないまま用いられてきたことを指摘する。また、物理探査情報の提示が不十分であるために、探査法の適性を検討することを阻害していることにも言及し、これらを物理探査法の信頼性に関わる問題として提示する。

物理探査結果を信頼性の高い情報として考古学研究に利用するためには、第 2 章で挙げた探査法選択の問題を克服する必要がある。そこで、第 3 章「西アジアの遺跡と物理探査法」では、第 1 章で示した西アジアの景観及び集落内遺構の規模に基づいて、西アジアの集落研究に必要とされている情報の獲得に適した物理探査法を検討し、磁気探査法と地中レーダー探査法が選ばれることを論証する。これらの探査法の原理や、実際の遺跡や遺構に対する調査例を挙げながら、その有効性と限界を検討するために必要となる比較基準を設定する。それに従って第 4 章では、これまでに物理探査と発掘調査双方が行われた例を中心として、磁気探査法と地中レーダー探査法の西アジアの遺跡に対する適性を検討する。

そして、第 5 章「物理探査法の適性の比較研究」では、筆者自ら実施したハッサンケイフ・ホユック遺跡及びカラート・サイド・アハマダン遺跡のそれぞれの同一地点における磁気探査及び地中レーダー探査結果から、両探査法の探査性能を比較する。その際、発掘により検出された遺構と物理探査法により推定された遺構の様相を、双方向から比較することにより、磁気探査法及び地中レーダー探査法の適性をより浮き彫りにする。

終章においては、これらの検討結果をもとに、可能な限り探査地の環境を考慮した上で、西アジアの遺跡では実際にそれぞれの物理探査法によってどのような遺構を推定でき、またどのような遺構の推定に不適當なのかということをもとめる。そして、探査結果を用いる考古学研究者としての観点から、各時代、及び遺構の種類毎に対するそれぞれの探査の適性について論じ、今後の物理探査法を用いた考古学研究の展望を示す。

これまで探査結果の解析者以外には曖昧で不明瞭であった物理探査の解釈結果を、より地中の真実に近づけ、また適切な方法で物理探査を行うことで考古学的に信頼できる資料として確立する。そうして初めて物理探査法は集落構造を知り得る手段となる。物理探査によって考古学的に信頼できる情報を獲得することで、集落パターン研究、遺物研究と比較して、これまで後れを取っていた集落構造の解明が進むこととなる。この情報を集落パターン研究と統合することにより、遺跡の立地や規模からのみではない、地域内におけるそれぞれの遺跡の関係性や役割などにまで踏み込んだ新たな集落研究のステップへと進むことができると考えている。物理探査法を確立させることは、集落研究に新たな光をもたらすものとなるはずである。

第 1 章

西アジアの景観と集落研究

人類の歴史を遡るとき、西アジアは様々な観点から非常に重要な地域であることが分かる。東アフリカを出発した人類が世界へと拡散し、数百万年もの間続いてきた狩猟採集経済から農耕牧畜経済が出現する舞台となったのがこの西アジアである。現代社会に暮らす私たちが当たり前のように用いている文字や、さらに計画化された都市システム、国家システムが史上初めて生まれた地でもある。西アジア史を研究する意義は非常に大きく、西アジアは人類社会の形成プロセスを再構築するためには欠かすことのできない地域である。そのため、人類学、考古学、文献学のみならず、地質学、古環境学、植物学、宗教学など多くの学問分野で研究対象となっている。

現在も西アジア地域に残存する遺跡は、このように様々な学問から注目される地において営まれた人間活動の重要な痕跡である。考古学では、当時の人々が遺した石器などの人工遺物や、食糧とした植物遺存体や動物骨など、様々なモノを分析、研究することで、過去の営みを復元する。その中でも、活動の中心となる集落を研究することは基本であり、同時に最も重要であるといえる。集落内の公共建造物や工房、神殿などの特殊な建造物の存在や規則的な街路の存在は、ひとつの集団としての帰属意識や階層性の存在、また専門化や集権化など、人々の暮らしの根底に存在する情報をもたらし、さらに集落あるいは集落内の建造物の規模や数は、それ自体が活動の盛衰を示す。

しかし、大規模な発掘調査には多大な労力と時間が必要となるため、このような調査はなかなか行われず、集落内全体の構造が明らかになっている遺跡はごく僅かである。そこで、発掘調査に代わり短時間で地中の遺構の様子を探ることのできる物理探査が有用であるといえる。これにより集落研究のレベルをさらに一段引き上げることができると考えている。

本章は、物理探査技術を用いて遺跡を調査する際に重要となる、西アジアの環境や、考古学において研究資料を獲得する上で基礎となる発掘調査とならんで、物理探査技術を積極的に用いる理由を明確にすることを目的とする。本章第 1 節では、これまで開発されてきた種々の物理探査手法から適切な方法を選択する要因となる、現在の西アジアの地質及び自然環境について述べる。また、第 2 節では、物理探査によって得られた地中情報を考古学的に解釈する上での前提となる西アジアの歴史を集落の変遷を中心に概観する。そして、第 3 節では、西アジア考古学における現在の集落研究の課題について論じ、物理探査

を考古学調査に用いる必要性を説く。

西アジアという言葉の指す地域は、西欧諸国から見た際の東方となるオリエント、あるいは中東、中近東などという用語で示されている地域と同義に用いられることも多い。しかし、これらはそれぞれ文化的、経済的背景から当該地域を見た際の、西欧主観となる用語である。したがって、本論では単に地理的な区分である西アジアという用語を用いる。

また、西アジアという語が用いられる場合、地理的には東西はアナトリアからイラン高原あるいはヒンドークシュ山脈まで、また南北はアラビア半島からコーカサス山脈、アルボルズ山脈にまで及ぶ範囲を指すことが多く、さらにアフリカ大陸の一部である現在のエジプト周辺まで含めることもある。しかし本論では、いわゆる「肥沃な三日月地帯」¹、及びその周辺地域、現在の国名でいえば、西はイスラエル、ヨルダン、レバノン、シリア、トルコといった国々が占めている地中海東岸地域、東はイラン・イラクの境界となっているザグロス山脈とその周辺地域まで、南はイラク沿岸部から北はトルコのタウロス山脈周辺までに限定した地域を指して西アジアという用語を用いる。

第1節 現代西アジアの景観

物理探査法では、磁気の性質や電磁波の性質など、探査法によって異なる原理が用いられる。そのため、物理探査の結果や成果は、探査を実施する遺跡の環境がその探査法に適しているか否かによって大きく左右される。その中でも、全ての探査において重要となるのが探査地の地形である。探査機器の設置や走査に適した地形ではない場合や、測定時の障害になるものが多い場合には、それだけ探査にかかる労力は大きくなり、なおかつ正確な探査を実施することは困難になる。

また、磁気探査や電気抵抗探査、地中レーダー探査など、考古学で多用されているほとんどの物理探査において、探査地の土壌の性質や乾湿状態などが、それぞれの探査結果に大きな影響を与える。各物理探査の原理がどのような環境に適しているかについては第2章で後述するが、ここでは物理探査を実施する上で基本となる西アジアの探査環境について概観する。

第1項 地形

西アジアは、アラビアプレートを中心として、ユーラシアプレート、インド・オーストラリアプレート、アフリカプレートに四方を囲まれるように位置づけられ、北西から南東にかけて延びる大山脈地帯を北及び東の境界部として周辺の地域から分け隔てられる(第1図)。この山脈地帯は北から黒海南岸に位置するクゼイアナドル山脈、黒海とカスピ海との間に横たわるコーカサス山脈、カスピ海南岸のアルボルズ山脈、そこから南東に延びるザグロス山脈及びイラン高原などから構成されている。これらは、アフリカプレートとユーラシアプレートの衝突によって形成されたアルプス・ヒマラヤ造山帯の中央部に相当する褶曲山脈地帯で、中生代末から新生代第三紀、現在から7500 - 6500年前頃にユーラシアプレートがアフリカ・アラビアプレートの下に沈み込み、特に2500 - 510万年前頃の中新世以降の活発な地殻の隆起によって形成されたとされている(大津他 1997: 5)。

また、西部には死海、ヨルダン溪谷、ガリラヤ湖、ベカー溪谷などを含む死海地溝帯が存在し、この地溝帯の東西には、南から北に向かって順に、ネゲヴ高地、トランスヨルダン高地、レバノン山脈、アンチレバノン山脈などを含む高地帯が南北に形成されている。これらを境界として、地中海東岸側のレヴァントと呼ばれる地域と、これより東側の沙漠地帯の広がる中央部に分けることができる。死海地溝帯及び高地帯は、500万 - 200万年前の鮮新世以降の地殻の横ずれに伴う沈降、隆起により生まれた。2300万 - 500万年前頃の中新世に、アラビアプレートがアフリカプレートから分離、北上しはじめたものの、鮮新世にスエズ湾周辺の北上が停滞したことによって、紅海の東側が北にずれたことが原因と

なっている。

西アジア南部にはアラビア半島が存在し、ルブアルハリ沙漠、ナフド沙漠などの沙漠地帯が半島の大部分を占めているほか、紅海沿岸にはヒジャーズ山脈などの高山帯が延びている。ただし、本論では、研究対象とする地域を「肥沃な三日月地帯」及びその周辺と定めているため、これ以降、シリア沙漠以南のアラビア半島に存在する遺跡を対象とする物理探査や考古学資料については言及しない。

このような地形に囲まれた中央部、つまり肥沃な三日月地帯からアラビア半島にかかる地域には、北西から南東にかけて緩やかに標高が下がる平坦な台地が主に広がっており、この台地の東端にティグリス川、ユーフラテス川が流れるメソポタミア平原が広がっている。これらアラビア半島を除く西アジア全体にわたるザグロス山脈から地中海にかかる褶曲山脈地帯には、オフィオライトと呼ばれる火成岩の岩体が孤立して分布しており、西アジアで産出する金属鉱物も主にこの褶曲地帯に集中している(久田 2014: 51-58)。しかし、この褶曲地帯を除く大部分では炭酸塩堆積物である石灰岩台地が広がっている。

第2項 気候及び植生

西アジアの気候分布についても、北西から南東に延びる大山脈地帯、また地中海東岸に沿って南北に延びるレバノン山脈、アンチレバノン山脈の存在が大きな影響を与えている。地中海からの偏西風の影響により、低気圧は西から東へと移動するため、この山脈の西麓に降水をもたらす一方でその東方を乾燥させる。そのため、これらの山脈の東西では、緯度の差異がほとんどないにもかかわらず、この地域一帯では降水量に大きな差が生まれ、「肥沃な三日月地帯」と呼ばれるように山脈地帯に沿って気候区分が異なっている。

月毎の平均気温及び平均降水量に基づいたケッペンの気候区分では、温暖で冬季に降水量が多くなる温帯冬雨気候、いわゆる地中海性気候が帯状となって、アナトリア西部及び地中海東岸から「肥沃な三日月地帯」を通過してザグロス山脈に向かって分布していることが示されている(第2図)。また、その南側にはステップ気候帯を挟んで沙漠気候が広がっており、一方、地中海性気候帯の北側のアナトリア東部には冷帯多雨気候が分布している(安間 2014)。

次に地域ごとの特色を見ていきたい(第3図)。まず西アジアの北部にあたるアナトリアからザグロス山脈にかけての山脈地帯では、基本的に年間600mmを超える降水に恵まれ、高地にはエゾマツ、マツ、カシなど豊富な種類の針葉樹林が広がっている。また標高800m以下の地域ではピスタチオやアーモンドなどの低木林も散見できる。さらにより高度が下がった地帯は、イネ科やキク科、またアブラナ科などの様々な植物の生育する草原地帯となっている(中村 2014)。

死海地溝帯に沿って南北に延びる高地帯においても同程度の降水量があり、また同様の

針葉樹を中心とした植生が広がっているが、地中海岸側では特に温暖な地中海性気候に恵まれ、オリーブや常緑の広葉樹林も広がっている。ただし、地溝帯の内側、特に南に向かって標高の下がる地溝帯の深部である死海沿岸では、冬季の平均気温が 10 度前後あるためにアフリカと共通する亜熱帯の植生が存在し、その他の低地部にも湿地が形成されている（大津他 1997）。

以上の西アジアの北部、東部、西部では、年間 400mm 以上の降水量があり、植生も比較的豊富である。ただし、気候区分で触れたように、コーカサス山脈などの存在するアナトリア北東部を除き、降水は冬季に集中し、夏季は非常に乾燥するという明確な乾期、雨期が存在する。気温が上昇して雨期が終わるまでの 4 月頃には様々な種類の花が咲き乱れるものの、その後はキク科やイネ科の植物が広がる。乾期となる夏季にはほとんど降水はなくなり、灌漑用水路等の人為的な水資源確保のための設備がない多くの場所では、立ち枯れた植物が散見できる程度の、ほとんど剥き出しの乾いた大地が広がる。

また、西アジア中央部では年間降水量は数百 mm 程度であり、天水農耕を行うことのできない非常に乾燥した地域となっている。特に降水量が年間 200mm 以下程度の地域では植物はほとんど育たない。ティグリス、ユーフラテス両河川流域やワディ、オアシスの周辺を除くと広大な沙漠地帯が広がっている²。

第 3 項 西アジアの物理探査環境

本章第 1 項、第 2 項から、西アジアでは、基本的に山岳地帯の麓からなだらかな平地が広がり、また夏季には非常に乾燥した草木が育ちにくい気候であることが概観できる。実際に物理探査を行う遺跡の立地や周辺の植生、また、現代における遺跡周辺の土地利用の用途などによって、探査環境が変わるのは当然のことではある。しかしながら、物理探査を行う際に障害となる険しい山岳地帯や、夏季に繁茂する草木が地域全体として少ない。このことから、例えば東アジアや東南アジアの温暖・湿潤な山地の広がる地域と比較した場合、探査機器の設置や走査が容易であるといった点で、西アジアは探査環境として好都合であるといえる。

一方で、石灰岩という非常に帯磁率の小さい堆積岩地帯が広がっていることや、夏季に非常に土壌が乾燥することも、それぞれの物理探査法に大きな影響を与える。この点に関しては、第 2 章で詳しく述べる。

第2節 西アジアの初期の歴史

今から700万年前頃に大型類人猿の祖先と分岐して直立二足歩行を始めた人類の祖先は、その後長い年月をかけて脳容量の拡大とともに石器の製作、火の使用などの技術を生み出し、現生人類へと進化してきた。そして生業や技術、社会などの興亡、変遷を経て、現代社会を形作るに至っている。その過程に存在した過去の人類社会を研究する考古学の歴史は200年程度と比較的新しく、近年では重要視されている理化学的分析方法や調査方法が取り入れられたのはここ100年といったごく最近のことである。

19世紀以降、地質学の発達や進化論、また型式学の概念が融合することによって、考古学は学問として発展を遂げ、様々な議論を経てその方法論が確立されていった。そうして考古学研究が進むことにより、石器時代が磨製石器の出現を境に旧石器時代と新石器時代に分けられるなど、それぞれの時代が石器・土器インダストリーの変化などを中心とした考古学的基準をもとに細分されていった。現在では地域ごとに様々な名称をもってその歴史が区分されており、紀元前の西アジアは、地域によってやや異なる点もあるが、大きく旧石器時代、新石器時代、銅石器時代、青銅器時代、鉄器時代と時代区分されている。これらの時代区分はそれぞれの時代においてさらに細分されている。

物理探査を実施するにあたって、その探査環境が重要であることは前節で述べたが、同様に、その探査対象について理解しておくこともまた欠かすことはできない。西アジアでは、時代の変遷にしたがって主に築かれる遺構も異なっている。その痕跡として現代まで残存するものは、地面を掘り込んだのみの小規模のものから、石材を用いて上部まで堅牢に築かれた大規模な建造物まで多岐にわたる。これらは、西アジアという広い地域的枠組みのなかにおいて、もちろん地域差が存在するものの、それぞれの時代において遺構の材質や規模に一定の共通性が見られる。考古学研究に応用するための物理探査を行うには、まずその研究対象となる時代に見られる遺構の特徴を捉えておく必要がある。したがって、本節では西アジアの各時代の遺跡を対象に、それらがどの時代にどのような性質、規模を有していたのかを概観する。

第1項 人類の定住

人類の可能性があるといわれるものとして、最も古い例にサヘラントロプス・チャデンスの化石が中央アフリカで発見されている。その生存していた年代は今から700万年程度前に遡るといわれているが、頭部以外発見されていない。また、類人猿と人類を分ける基準を四足歩行から直立二足歩行への転換に求めるならば³、東アフリカで大腿骨が発見されたアルディピテクス・カダッバが、現在のところ類人猿から分かれた最初期の人類とし

て有力だと考えられる。

いずれにせよ、これらの猿人を人類とみなすならば、500 万年以上もの時を人類は生きてきたことになる。あるいは、少なくとも 490 万年前には、異論なく人類として認められているアウストラロピテクス・アメネシスが登場しており、長い時間をかけてサルであった頃の樹上生活から、徐々に草原生活に適応する体へと人類は進化してきた。

その後、ホモ・ハビリス、ホモ・エルガスターなどのホモ属が出現し、彼らは道具として石器を製作していたことが明らかになっている⁴。これらの石器は、人類が食糧獲得経済を行っていたことを示す物質的証拠となっており、少なくとも現在から遡って 100 万年以上もの間、さらにホモ・サピエンスが登場して以降も含む非常に長期間、人類は食糧獲得経済を続けてきた。

この食料獲得経済にしたがって、長きにわたって洞窟や炉址が残る季節的なキャンプ地などを移動して生活してきた人類だったが、彼らが定住を始めたのは、旧石器時代の最終期、1 万 3000 年から 1 万年前頃の終末期旧石器時代後葉である。それ以前の終末期旧石器時代にも、稀ではあるがオハロ II 遺跡 (Ohalo II) などの遺跡から浅い堅穴を用いた住居遺構が報告されているが (第 4 図)、これらも定住遺跡ではなく、何度か繰り返し利用されたキャンプ遺跡だといわれている (Nadel and Werker 1999)。また、遺跡のプランを考慮しても、この頃の住居遺構や、遺跡内の構造物の配置などの遺跡全体の構造には大規模なまとまりや明確な企画性はなく、単純に居住地としてスペースを利用していたと考えられる。

終末期旧石器時代の後葉には、レヴァントを中心とした地域において、ナトゥーフ文化が広がっていた。ナトゥーフ文化は、それまでの石器とは異なる加工の施された三日月型細石器の存在が主な指標とされてきた (e.g. Garrod 1932)。現在では資料数の増加に伴い、磨製石器、装飾品、遺跡内埋葬、そして耐久性のある建造物の存在などでナトゥーフ文化はそれまでの文化と区別されている (e.g. Bar-Yosef and Valla 1991)。

この時期には栽培植物や家畜の十分な証拠は確認されておらず、まだ農耕牧畜が行われていたとは考えられない。しかし、石臼などの磨製石器や鎌の存在、また植物調理に関わると考えられている岩盤を穿ったカップマークと呼ばれる遺構が見られることから、食糧としての植物利用、またその調理が、食糧獲得経済の中において以前よりも重要なものになっていたことが窺える。

ナトゥーフ文化の遺跡は洞窟や山岳を利用した傾斜地に立地することが多く、石組みや柱穴のある円形プラン、あるいは楕円形プランの単室住居遺構が一般的に見られる。同一地点に住居が作られ、一時的なキャンプ地としてではなく、住居としての恒久性が意識されており (第 5 図)、住居内には貯蔵穴も備えられている。イエネズミの存在や運搬が困難な大型の磨製石器の利用など、その他様々な物証から、当時は定住的な生活を行っていたと考えられる。そのため、当時の人々は、それ以前の遊動的狩猟採集民ではなく、定住的狩猟採集民としてみなされ、後の新石器時代の初期農耕を営む生活への転換期にあったと

いえる。

また、この時期にはアイン・マラッハ遺跡 (Ain Mallaha) やエル・ワド遺跡 (El-Wad)、ワディ・ハマー27 遺跡 (Wadi Hammeh 27) など大型の遺跡も見つかっており、遺跡内に埋葬された多数の人骨も見つかっている。

しかしながら、ナトゥーフ文化の後期になると住居遺構は縮小し、恒久性も失われた。気候の寒冷化によって⁵、この頃には再び定住性は衰退したといわれている (Bar-Yosef and Valla 1991)。そのためナトゥーフ文化後期の集落から、この後に続く定住集落への直接的な変遷を辿ることは困難である。

ただし、ナトゥーフ文化前期に栄えた集落の様相は、それまでの単純で小規模なキャンプ地とは明確に異なっており、労力をかけて住居を築いた痕跡としてみるができる。これは、間違いなく後の新石器時代へと受け継がれていく西アジアの定住集落の基礎となったといえる。

第 2 項 農耕牧畜社会と祭祀的建造物の出現

西アジアでは、旧石器時代がおおよそ紀元前 1 万年頃に終焉を迎え、続いて新石器時代が始まる。元々新石器時代は磨製石器の出現をもって旧石器時代と分けられていたが、1936 年に G. チャイルドによって、食糧獲得方法が消費から生産へと変化する農耕牧畜の開始の重要性を説かれたことにより、この農耕・牧畜の始まりをもって新石器時代とみなされるようになった (Childe 1951: 59-86)。

しかし、考古学資料として出土する植物の栽培種、及び動物の家畜種が出現するまでに、野生種を育てていた時期 (プレ・ドメスティケーション) が存在するため⁶、食糧生産経済という意味では農耕牧畜の開始を厳密に定めることは困難である。さらに、発掘調査によってもたらされた近年の資料の増加により、これら農耕の開始と牧畜の開始には時間差があり、また西アジア全域で同時的に始まったわけではないことも明らかになっている (Fuller et al. 2011)。その他、「新石器革命」に対して、自然に対する人々の認識の変化が起きたことによって農耕が生まれたとして精神性の変化こそが重要であるというシンボル革命という指摘もなされており (Cauvin 2000)、何をもってして新石器時代と呼ぶかについての議論は交されているが、本論では現在一般的なチャイルドの主張に従った時代区分を用いている。

また、新石器時代は土器の利用を境界としてさらに先土器新石器時代と土器新石器時代に区別される⁷。実際に植物栽培、動物の家畜化が本格的に開始されるのは、先土器新石器時代の後半以降である。

先土器新石器時代の初頭は、レヴァント地域、及びアナトリア地域を中心に集落数は大幅に増加する。旧石器時代には洞窟や山岳斜面に分布していた遺跡がこの頃から平地を中

心に見られるようになり、集落規模も拡大する。定住集落が一般化し、集落内においては、円形プランを持つ石組みの半地下式の住居遺構が普遍的になり、日干しレンガを利用したものや、パーテーションによって内部が区画された建造物も北東シリアのムレイベト遺跡 (Mureybet) で現れている (第 6 図)。

さらに、この頃、南レヴァントのイエリコ遺跡 (Jericho) から、住居遺構に付随する設備とは考えられない大規模な塔あるいは壁といわれる遺構が検出されている (第 7 図)。その機能は明らかではないが、遺構の規模と建設にかかる労力や、個人のものとするには考えられない性質から、既に集落内では組織的な働きがあったと考えられている (Kenyon 1981, Bar-Yosef 1986)。

また、ギョベックリ・テペ遺跡 (Göbekli Tepe) においても非常に大規模な建造物が発見されている (第 8 図)。ギョベックリ・テペ遺跡は水源のない山地上に位置しており、その立地からして他の集落遺跡とは異なっている。遺跡からは直径 10m 以上の円形のエンクロージャーが 20 基以上存在すると見られており (第 4 章第 2 節)、その中央部には人物を象った高さ 5m を超える大規模な石柱が設置されている (第 9 図)。また、壁にはやや小規模の同様の石柱がピラスターのように内部に張り出して設置され、壁に沿って建造物内全周にベンチ状構造物が巡らされている。石柱には様々な野生動物が線刻されており、その動物の種類は遺構毎に集中しているため、遺構を利用していた集団のトーテミズムとシャーマニズムの関連性も指摘されている (Peters and Schmidt 2004)。これらは明らかに他の一般の住居遺構とは異なる公共的な大規模建造物で、祭祀用建造物として考えられており、ギョベックリ・テペ遺跡自体も周辺地域における祭祀センターとして考えられている (e.g. Dietrich et al. 2012)。

先土器新石器時代の後半には、集落数が増加し、10ha を超える非常に大規模な集落が出現する。集落内の住居の構造も大きく変化し、終末期旧石器時代からこれまで継続していた円形プランの半地下式住居は、この時期から矩形プランの地上式住居へと代わっていき、住居遺構内の区画は明確に規則性をもつようになる (第 10 図)。日干しレンガが多用されるようになり、ピゼと呼ばれる泥壁も用いられるようになる。さらに遺構の壁面や床面には石灰や石膏のプラスターが塗られ、非常に精緻な作りになる。劣化した壁面、床面にはプラスターが上塗りされることもあり、住居を恒久的に利用していたことが明らかになっている。

また、公共建造物と思われる遺構はより多くの遺跡で認められるようになる。ギョベックリ・テペ遺跡で見られたものと類似した石柱を中央に配する遺構も、近隣の集落遺跡であるネヴァル・チョリ遺跡 (Nevalı Çori) で検出されている (Hauptman 1993)。この祭祀遺構と思われる公共建造物は、矩形プランの地上式住居が用いられる中、円形プランに近い隅丸方形のプランを保ったままである (第 11 図)。このような祭祀遺構と思われる建造物は、一般的な住居遺構と比較するとより前時代的な要素を保っており、集落内に 1 基程度特別な建物が存在していたといわれている (三宅 2014)。このような公共建造物は、

内周にベンチが巡らされることが特徴で、ユーフラテス川中流域のジェルフ・エル・アマル遺跡 (Jerf el-Ahmar)、南レヴァントのワディ・フェイナン 16 遺跡 (Wadi Feynan) など、先土器新石器時代の中葉に西アジアの広い範囲にわたって類似したものが確認されている (第 12 図)。このように円形でベンチを有した公共建造物は、階層化されていない社会の人間が集まって儀礼を行った場として、階層化された社会に出現する神殿の前段階の祭祀遺構 (Men's house) として捉える解釈もある (Flannery and Marcus 2012: 121-138)。

この他にも、集落内には共同の広場として機能していたと考えられている住居などの建築遺構が存在しないスペースや (第 13 図)、共同で使用していたと考えられている大規模な貯蔵施設の存在も確認されている (第 14 図)。

また、この頃には葬送儀礼が発達していたようである。先土器新石器時代の前半では、集落内のそれぞれの住居の床下に遺体を単体で土葬する一次葬が埋葬方法の基本となっている。しかし後半になると、公共施設と思われる遺構に複数の遺体が合葬されるケースや、頭蓋骨のみを取り外してまとめるケースなど、様々な事例が確認されている (e.g. Cauvin 2000)。

このような例から、当時の人々は、ひとつの集落を基本単位とした共同体に対する高い意識を共有していたことが窺える。その一方で、先土器新石器時代の終末期には、後に所有物の厳重な管理を行うための物資管理システムの基礎となるスタンプ印章も認められる。集落共同体に属する一員として、個人のアイデンティティーが生まれ始めた時代だといえよう。

第 3 項 農耕牧畜社会の拡散

土器新石器時代には、農耕牧畜社会がそれぞれの地域で定着し、土器、パン焼き竈の出現などの技術的發展が進む。この時期の特徴でもある土器製作技術や文様のモチーフからは、時代が進むにつれ、多彩な地域色が認められる一方で、様々な影響を及ぼし合っていたことが窺える。

また、様々な技術が生まれる中、その技術を習得する人間が限定されて、生産活動の分化、つまり専門化が進んでいたことも窺える。大規模な工房址は検出されていないが、土器新石器時代のテル・エル・ケルク遺跡 (Tell el-Kerkh) では、石器製作の道具一式や、紡績に使用する道具一式が副葬品として埋葬遺体に伴っている例が認められる (Tsuneki 2011: 86)。さらに、北メソポタミアのヤリム・テペ I 遺跡 (Yarim tepe) では土器焼成窯も発見されており (Merpert and Munchaev 1971: 11)、この資料も専門化が進んでいたことを裏付けている。

その一方で、この時期の前半には集落が再び縮小した。集落内においては、基本的な建築遺構のつくりに変化はないが、前時代には床面、壁面非常に丁寧に塗布されていたプラ

スターの使用が衰退し、大規模公共建造物も見られなくなる。例えば、北レヴァントに位置するテル・エル・ケルク遺跡では、先土器新石器時代から新石器時代までの集落の居住域が明らかになっているが、先土器新石器時代の後半に巨大化した集落が、土器新石器時代に入ると小型化したことが解明されている（第 15 図）。

しかし、土器新石器時代の後半には、北東部の山脈地帯からティグリス・ユーフラテス流域を伝って、メソポタミア中流域にも集落が認められるようになる。天水農耕を利用した食糧生産によってこれまで「肥沃な三日月地帯」の山岳周辺にのみ定住をしていた人々が、灌漑農耕技術を利用して徐々に西アジア中央部のメソポタミア平原に進出したのである。

彼らはサマッラ土器と呼ばれる精緻な彩文を特徴とする土器を製作し、周壁に囲まれた集落を建設していた。建築遺構は非常に定型化されており、矩形、あるいは T 字形のプランに扶壁をもつ住居が築かれていた（第 16 図）。

一方で、この後に北メソポタミアを中心に各地に広がっていくハラフ文化圏では、ピゼや泥レンガを用いた矩形プランの建造物が西アジア全域の主流となっている中、例えばテル・サビ・アビヤド遺跡（Tell Sabi Abyad）などの多くの遺跡では、トロスと呼ばれる鍵穴形、あるいは円形プランの遺構が築造されていた（第 17 図）。これは屋根にあたる上部に木材を用いずに、泥レンガで持ち送りのドーム状構造をとっていたと考えられている（常木 1994）。ハラフ文化は、農耕牧畜経済が確立し、また精緻な彩文土器が西アジアの広範囲で見つかっていること、そして都市国家の誕生する過渡期に広がっている。これらのことから、権力が集中した首長制社会があったとも考えられているようだが、トロスのような耐久性よりも建設の簡便性が重視された遺構の存在や、天水農耕の南限ともなる北メソポタミア平原地帯を中心とした活動範囲、さらには急増するスタンプ印章、その印影などの状況から、彼らは周辺の交易を担って小規模な集落を営んでいた遊動性の高い定住集団だともいわれている（常木 1997）。

土器新石器時代の西アジアでは、それぞれの集落が小規模になる反面、様々な定住戦略やパイロテクノロジーと呼ばれる熱や火を用いた技術の開発、また交易活動の発達が見られた。この時代は、人々のより広範囲における居住が可能となり、各集団が独自色を発達させ、それらの経済的ネットワークを確立しつつあった時代であったといえよう。

第 4 項 神殿の形成と「中心」・「周辺」の出現

紀元前六千年紀、土器新石器時代に続く銅石器時代前半は、土器新石器時代に見られたパイロテクノロジーや物資管理システムのさらなる発達があり、西アジアの広範囲に斉一的な文化が広がった時代である。これはウバイド文化と呼ばれ、メソポタミア下流域のエリドゥ遺跡から出土した土器型式を中心として編年が作られている（Oates 1960）。その出

土量や編年において古い段階のものが見られるため、従来はメソポタミア下流域がその起源だとされていたが、近年ではメソポタミア中流域にそれまで広がっていたサマッラ土器とウバイド土器の共通性や建築プランの類似性などから、より北方に起源があったとの見方もあり定かではない。

ウバイド文化の起源はともかく、この時期にはメソポタミア流域一帯にウバイド文化が広がっていた。北レヴァントにおいても資料は少ないものの、ウバイド土器が広まっていたことが明らかになっている (e.g. Thuesen 1988, 岩崎・西野編 1991)。

一方でザグロス山脈を隔てたイラン高原では、ウバイド文化の影響はみられるものの独自の文化が展開されており、アナトリアや南レヴァントにおいてもメソポタミア流域とは異なる文化が広がっていた。また、これらの地域では冶金術も発明され、青銅製品が製作されていた。周辺に銅を産出する鉱山が存在していることが、メソポタミア平原ではなく、これら山岳地帯に位置する周辺遺跡で発達した理由だといえる。

これらの地域からは、銅製品のみではなく、炉や坩堝なども工房と思われる遺構内から発見されている。特に南レヴァントでは、ロスト・ワックス法と呼ばれる、熱の特性を利用した技術を用いた非常に精緻な製品も見られる。このような証拠から、銅石器時代には非常に専門的な能力を有した工人が存在していたことが、土器新石器時代よりも決定的になったといえる。

ウバイド文化の集落は、数 ha の規模でメソポタミア流域の河川に沿って展開していたことがロバート・マック・アダムスらの調査によって明らかになっている (Adams and Nissen 1972)。集落内において、建造物は矩形プランに扶壁を持つといった、かつてのメソポタミア中流域のものと類似しているが、ウバイド文化の中心地となるメソポタミア下流域では、中央に大部屋、その両側に小部屋を設けるといった 3 列構造のプランが一般的になる。

また、一般の住居とは異なる大規模な遺構もこの頃から建造されている (第 18 図)。遺構中央付近に供献台あるいは祭壇と思われる基壇が設置された遺構が、拡大を繰り返しながら同一地点に何層にもわたって繰り返し建造されていることが、エリドゥ遺跡 (Eridu) で明らかになっている (第 19 図)。

紀元前五千年紀の銅石器時代の後半には、この建築様式を受け継いだ神殿が各地で建設される。また、これまで数 ha 程度であった遺跡規模が大型化し、遺跡数も急増する。3 列構造のプランはユーフラテス上流域でも広く認められる。

特に神殿を有するメソポタミア下流域のウルク遺跡などの規模は突出して 100ha を超える。このような遺跡からは、新石器時代から既に存在していたスタンプ印章の他に、円筒印章、さらには古拙文字の刻まれた粘土板文書も出土し、行政、経済の主要地として機能していたことも明らかである。この時期には、一部の例外を除き轆轤技術を用いた無文の土器や型作りの土器が大量生産され、南レヴァントを除く西アジア全域に広がっていった。

最古の都市と称されるウルクを中心とするこれらの拡散状況は、「ウルク・エクспанション」と呼ばれ、メソポタミア下流域を「中心」として西アジアの「周辺」との格差社会

に基づいた「ウルク・ワールド・システム」と呼ばれる交易、供給システムがあったと考えられた (Algaze 2005)。現在では「周辺」と呼ばれた地域にも、メソポタミア上流域のテル・ブラク (Tell Brak) (第 20 図) やテペ・ガウラ (Tepe Gawra) (第 21 図)、また南東アナトリアのアスラン・テペなど、独自性をもったセンターが存在していたことなどが明らかになっている。そのため、一概に「中心」による「周辺」の収奪・支配という半集権的なシステムが構築されていたと考えることは危うく、より複雑な関係が存在していたようである (小泉 2002)。

第 5 項 都市国家の発達

紀元前三千年紀には、西アジアの各地で周壁を伴った拠点的な集落が多く成立する。この頃には地域によって様々な発達を遂げ、アナトリアや北メソポタミアでは青銅器時代と呼ばれる時代となる。

メソポタミアでは、銅石器時代に成立したウルクのような大規模な遺跡が各地で見られるようになる。上述したアダムスらの南メソポタミアにおける調査によると、銅石器時代後半の紀元前 3500 年頃に増加した遺跡数は、青銅器時代までに再び減少する一方で、それぞれの遺跡の規模が拡大していく状況が明らかになっている。つまり、これまでの河川に沿った小集落が失われ、拠点的な大集落に人口が集中していったことが分かっている (Adams and Nissen 1972)。

この頃の大規模集落は周壁で集落全体を囲み、周辺を農地、あるいは放牧地として利用した、独立した行政体として機能しており、都市国家と呼ばれる。これらはそれぞれの都市神を核として、都市内の階層の頂点に立つ人間によってその運営がなされていた (川西 1996)。建造物の規模や装飾、また出土遺物の差異や副葬品、さらには文書資料などから、遺跡内では明確な階層性が存在していたことが明らかになっている。銅石器時代から建設されていた神殿はより大型化し、泥レンガを階段状に積み上げたジグuratと呼ばれる遺構も神殿の一部として普遍的に建設されるようになった。また、神殿や一般的な住居などの他に、行政の中心となった宮殿も建設された。

神殿を中心として周囲を大規模な防壁で囲まれた都市は、その中心から延びる主要街路やその周囲に並ぶ住居など、規則性のある集落が建設されている。街路と住居が同心円状に遺跡を巡るものや格子状に広がるものなど、地域によって都市のプランは様々であったが、周囲に居住域が拡大して大型化してきた従来の大規模集落とは異なり、集落全体が計画的に建設された、西アジア型の都市としての一つの形を持つようになる。

紀元前三千年紀後葉にはアッカド帝国が成立し、メソポタミア中流域を中心として周辺国家を征服するなど、より広域を支配する国家が出現する。このような都市の発達は、アモリ人の侵入などの影響で紀元前三千年紀末頃に一度停滞し、大型遺跡の廃棄や遺跡規模

の縮小が見られる。しかし、紀元前二千年紀中葉以降、再び大規模な都市国家群による西アジアでの激しい勢力争いが行われ、紀元前 10 世紀には新アッシリアが誕生し、紀元前 8 世紀には東はレヴァント、西はザグロス山脈までの広大な地域を支配する大帝国となった。その頃にはザグロス山脈の東側においてもメディアなどの大国が成立し、紀元前 6 世紀にはアケメネス朝ペルシャが幹線道路を廻らせて、西アジアのほぼ全域を支配するまでに至った。

都市国家領域の拡大とともに、その権威の象徴となる宮殿の規模は拡大していく。元来その都市の第一の中心的大規模建造物として擁されていた神殿の規模をはるかに上回り、またマリなどでは王宮が都市の中心に位置するようにもなった。特に新アッシリア帝国のホルサバードでは、宮殿のみで数 ha の面積を有している。

このように、青銅器時代に入って都市国家が成立して以降、例外はあるものの、それまでの西アジアの集落遺跡と比較して遺跡の規模が格段に大型化してきた（第 22 図）。そのため、遺跡の全容を捉えることはより難しくなっている。また、当時の社会を復元する手段として文献資料から研究が行えるようになったこともあり、考古学の発掘調査は、数ある遺跡の中でも行政の中心地において、さらには文献資料が得られる宮殿などの行政に関わる特殊な遺構を中心に行われてきた。それゆえに、国家の系譜や国家間の行政的な関係性については明らかになりつつあるものの、宮殿や神殿を有する大規模な遺跡以外の、一般的な集落遺跡や辺境の小規模遺跡の発掘調査は進んでいない。

第3節 西アジア集落研究の課題

序章で触れたように、考古学において、過去の人々の活動の基盤となる集落のあり方やその盛衰について理解することは、地域の歴史を復元していくための最も基本的な作業である。そのため、西アジアの考古学においても集落研究は様々な視角から進められてきた。発掘調査で検出された遺跡内に存在する遺構の分析によって、その遺跡がどのような機能を果たしていたのか、例えば定住集落、キャンプサイト、自然資源獲得のための拠点、あるいは防衛拠点など、そうした集落の基本的な性格が理解される。また、遺跡踏査によって特定地域内の集落の分布を分析し、各時代の盛衰やネットワークを復元するという研究が行われる。しかしながら、集落内の遺構の配置状況などから集落構造を復元するためには、大規模な発掘調査が必要となる。そのような全面発掘をある地域に存在する遺跡の多くで実施することはもとより不可能に近い。そのため、地域研究の際にとられてきたこれまでの遺跡踏査などによる集落パターンの復元研究では、集落内部の様相まで抱えることはできなかった。

本節では、これまでに用いられてきた集落研究を概観する中で、集落研究における課題を提示し、従来の方法では捉えることのできなかつた当時の集落構造に迫るための調査方法として物理探査法が有効性をもつことを示したい。

第1項 空間分析による集落研究

西アジアは、人類史を研究する上で重要な地であるため、西アジア各国による考古学研究のみならず、世界各地の機関による研究も盛んである。そのため、遺跡から多量に出土する土器や石器などの遺物研究は発展しており、その用途の研究や各地域でそれぞれの層位や型式に基づいた細かい編年も作成され、さらにこれらの地域間での相対的位置づけなども進んでいる。

しかし、序章で述べたように、様々な事情によって遺跡の大規模発掘調査は多大な困難を伴っており、調査は神殿や公共施設などに集中し、各遺跡で広範囲にわたって均質的に十分な調査が行われているとは言い難い。また、前節で挙げた遺跡の規模の例からも明らかのように、たとえ一つの遺跡を調査するとしても、多大な労力、時間、費用が必要となり、その全容が発掘調査によって解明されている遺跡はほとんど存在しない。

そのため、遺物研究の進展状況とは異なり、特定の時期や地域の指標となる遺構や集落プランは認識されているものの、ほとんどの遺跡において集落内の遺構の分布状況や、一般の住居遺構とは異なる特別な遺構の割合やその集落内の配置など、集落全体の内部構造は確認されておらず、さらには地域内の集落間ネットワークやそれに関わる各遺跡の社会

的、あるいは経済的意義については発掘調査のみでは解明できていない状況にある。

こうした状況の下、遺跡の踏査を行い、調査が行われた遺跡の情報や分布状況を用いて、それらの遺跡を包括する集落パターンの研究が行われてきた。これにより、周辺地域の文化的、あるいは経済的ネットワークを復元推定することが可能となっている。

集落パターンの研究は、遺跡の情報を地理学からもたらされた地域構造の理論モデルに当てはめて行われる。例えば、農耕集落を核として経済活動などのネットワークを推定する場合には「チューネンモデル」を、また文化要素や人間集団の移動や拡散にはテーフ・ゴージェによる「地域交通論」やヘーゲルスタットによる「空間的拡散研究」が応用できる (Gamble 1987)。

また、ウォルター・クリスタラーの開発した、地域の中心センターとそれに伴う 2 次的なセンター、そして小規模な集落が六角形の領域内外に等間隔に配列されるという「中心地理論」や、遺跡間の距離を割り出すティーセンポリゴン法を用いて遺跡の分布を空間分析することで、文化要素の起源や都市の空間領域を推定するという試みもなされてきた (Hodder and Orton 1976)。特に、コリン・レンフリューがティーセンポリゴン法を応用して提唱した半径 20 マイル (約 40km) 圏の領域を有する「初期国家単位 (Early State Module) 論」は、西アジアの都市国家の統治領域の研究に影響を与えた (Renfrew 1975: 12-21)。

一遺跡におけるその遺跡規模の時期的な変化を遺跡踏査によって辿る試みも行われている。例えば西アジアでは、ジェイソン・ウルらによってテル・ブラク遺跡の遺跡全体及び周辺の遺物の分布状況を分析することによって、銅石器時代における都市の拡大過程が推察可能であることも示されている (第 23 図)。

また、踏査を行わずに遠隔から調査をするリモートセンシング法を用いて、地表面に存在する遺跡内の遺構の形状やその分布状況、また、広い地域の集落分布や周辺地形を確認し、これらの情報に基づいて行う集落パターン研究が近年では盛んに実施されている。リモートセンシング法の一つともいえる空中写真法の有用性が認められて以来 (第 2 章第 2 節)、赤外線フィルムを用いた、あるいは衛星、スペースシャトルから撮影された画像を利用するなど、様々な方法が応用されてきた。西アジアにもこのような方法は応用されており、衛星画像からメソポタミアの遺跡の規模、遺跡の下街の範囲、古代の道路、また河川を確認できることが示されている (第 24 図)。このように衛星画像を空間分析に利用することによって、メソポタミアにおける青銅器時代の遺跡間の関係性や (Wilkinson et al. 2007, Wilkinson et al. 2012)、鉄器時代の新アッシリア帝国による平原の支配状況が明らかにされつつある (Wilkinson et al. 2005)。

第2項 集落研究の課題

前項のように、考古学における集落パターン研究は理論モデルやリモートセンシング法を用いて行われてきた。しかし、理論モデルは、地域内における地形やその他条件の均一性が前提となっている。第1章で見たように、西アジアでは河川や山岳地帯、あるいは水源や食糧といった各種資源などが均一に近い状態で広がっている地域は、シリア沙漠や、あるいは盆地内などのより小規模な地域に限られるため、このような理論モデルの集落パターンは、実際の考古学資料から乖離している。たとえば、ティグリス川の支流であるディヤラ川周辺で行われた中心地理論を適用した集落パターンと実際の集落パターンとの比較研究では、これら両者が大きく異なっており、中心地理論を用いた推定集落パターンが当時の状況をそのまま表しているとはいえないことが示されている（第25図）。

また、遺跡踏査やリモートセンシング法によって獲得された遺跡情報を利用して、理論モデルを用いた空間分析によって集落パターンを研究する場合、用いた遺跡、遺物の情報の正確性が非常に重要となる。ある時期の地域の中心センターや産業の流通の動向などの社会構造を推察する場合、その特定の時期の正確な遺跡規模や、あるいは公共施設や生産施設などといった特定の遺構の有無などといった情報が十分でなければ、理論モデルを用いたとしても誤った結果が返ってくる。特に西アジアの遺跡のほとんどはテルを形成しているが、テルの規模は、様々な時代の遺構が堆積した結果によるものである。発掘が行われていない遺跡の地表面の踏査や、一部の試掘調査のみで遺跡の全容が明らかになっていない遺跡、またリモートセンシング法による情報からは地中構造を知ることが非常に困難である。そのため、これらの方法では特定の時期の遺跡の規模を正確に測定することは困難である。

さらに、このような空間分析をよりミクロな視点で行うことができないことも、大きな課題として残っている。科学的アプローチを重要視したデイヴィッド・クラークによると、集落研究を行う場合、その空間分析レベルは遺構内部のミクロレベル、遺跡内部のセミマクロレベル、遺跡間のマクロレベルに分けられると指摘されている（Clarke 1979）。

各遺跡で検出された遺構や、それらの遺構に伴って遺構内外から出土した遺物からは、遺構に関するミクロレベルの議論を行うことができる。そのため、住居遺構、調理遺構、道具製作遺構、貯蔵遺構、埋葬遺構、その他特殊な遺構など、各地域、時代の遺構の機能が明らかになりつつある。

一方、本節で述べた遺跡の踏査やリモートセンシングを用いた集落パターンの研究によって、マクロレベルの分析については、様々な地域において各遺跡の空間関係性を提示することができている。ただし、これらは遺跡表層部に関するあくまで限定的なものであることに留意する必要がある。人間社会の複雑さは当然集落の規模や集落間の距離だけで測れるものではないと理解されながらも、これまでの集落パターン研究から提示される集落

の関係性は、人間社会における経済的、あるいは政治的なおおまかな枠組みを示すことに留まっていた。つまり、集落パターン研究からのみでは、集落の内部構造の研究に踏み込むことは困難であるため、あくまでマクロレベルの集落間研究に留まる。これにミクロレベルでの集落構造研究を加えて初めて、当時の社会の実状により迫った集落研究に進むことができるのである。

こうした集落研究をさらに進展させるには、地域内における同時期の遺跡のおおよその規模のみならず、集落内の構造や特定の遺構の存在などのさらなる考古学資料の獲得を通じて、研究対象となる地域内の遺跡それぞれのセミマクロレベルの研究をより充実させることが不可欠である。しかし、発掘調査によって地域内それぞれの遺跡の集落内構造を解明することは事実上不可能であり、これまでは全面発掘が行われた限られた遺跡の集落構造が、その地域、時期、文化圏の典型的、あるいは一般的な集落構造としてみなされてきた。その他の遺跡における集落内構造の研究には重きが置かれてこなかったといっても過言ではなく、当時の人々の実態により迫った地域社会の復元には、これまでに得られたごく少数の遺跡の集落内構造の研究成果のみでは不十分であった。

このような状況を打破する方法として、物理探査技術を用いて地中構造を推定する方法が、近年西アジアにおいても行われるようになってきた。これにより、それまでほとんど解明されていなかったいくつかの遺跡の全体像が見えてくるようになっており、西アジア考古学の課題となっていた集落内構造の研究に進展の兆しが表れつつある。物理探査を多くの遺跡で行うことで、その探査結果として遺跡の地中の様子を推定することが可能となり、それぞれの遺跡のセミマクロな視点での理解が深まることが期待できる。それはより広いマクロな視点での社会の研究にも繋がっていくもので、同時にこれまでの集落の規模や遺跡の分布状況の情報に基づいた大まかな政治的、経済的な関係性の解明を超えた、新たな視角からの集落パターンの研究の可能性を拓くものとなる。第 2 章では、物理探査の西アジア考古学への効果的な応用方法を模索するために、物理探査の概要を示し、西アジアにおいて物理探査を行う上での問題を明確にする。

註

- 1 「肥沃な三日月地帯」という語は現在ではエジプトやクウェートなどを含めることもあるが、本論ではブレステッド(J. H. Breasted)によって「Fertile crescent」(Breasted 1916: 100-101)として最初に示された地域を指す。
- 2 北部山脈地帯は年間 1000mm 以上の降水量があり、ゾハリー (D. Zohary) によると、ヨーロッパからシベリアまで広がるポンティック植生区として区分されている (Zohary et al 1993)。同植生区分によると、南西アナトリア、レヴァント地域は地中海岸一帯に広がる地中海植生区、またザグロス山脈を含む、西アジア東部、及び中央部は、中央アジアから広がるイラノ・トゥラニアン植生区として区分されている (藤井 2001)。
- 3 類人猿と人類の違いは考古学的に見れば道具の使用が主たる基準であるが、古人類学的には直立二足歩行、犬歯の退化、臼歯の形態の変化、大脳の容量の変化をもってその指標としている。
- 4 250 万年前頃のオルドヴァンで発見された石器はホモ属によるものかアウストラロピテクス属によるものかはまだ解明されていない。また、330 万年前に遡る石器も発見されており、これらを考慮するとアウストラロピテクス属が石器を製作していた可能性も考えられる。
- 5 約 1 万 6000 年前頃に最終氷期再寒冷期が終わりを迎え、温暖、湿潤な気候へと移行する中、1 万 2900 年頃にヤンガードリアス期と呼ばれる気候の急激に寒冷化する時期があったことが明らかになっている (e.g. 安斎 2012: 51-52)。
- 6 野生種から家畜栽培種へと動植物種が形態変化することをドメスティケーションというが、このように、種に明確な形態変化が生じるまでには時間がかかる。しかし、種は変化していないものの、遺跡から出土する植物種の限定化、大型化、動物種の年齢の性差などが見られることで、それらを人間が管理しているといえるため、この状態をもってプレ・ドメスティケーションと呼ばれる (Weiss et al. 2006)。
- 7 現在は、南レヴァントにおいて土器新石器時代に土器が見られない地域も存在するため、新石器時代を先土器新石器時代、土器新石器時代と呼称せず、前期新石器時代、後期新石器時代とすることもある (e.g. Bartl 2012)。

第 2 章

考古学研究に用いられる物理探査法

物理探査は遺跡の非破壊調査として近年注目を集めており、発掘調査に先立つ事前の予備調査として用いられることが多くなっている。物理探査による予備調査を行うことで、遺跡の性質や遺構の場所を推測でき、発掘調査における過失や無駄な部分の発掘を避けてより正確で丁寧な発掘調査を行えるのである。

また、広範な遺跡全体の規模を確認する場合にも物理探査は用いられる。大規模遺跡を調査するには多大な労力や時間、費用が必要となり、遺跡全体を発掘しようとする数百年以上かかるものもある。さらに、広範な発掘調査を行うことはそれだけ遺跡の破壊をすることにも繋がり、文化財の保存という観点では好ましくない。このような場合、物理探査による予備調査結果とその部分の発掘結果を照らし合わせたデータをもとにその周辺を物理探査することで、同じ性質をもつ遺構の広がりが見え明らかになり、遺跡の規模や性質が推定できるのである。

さらに、物理探査による遺跡の調査は単なる発掘調査の補助に留まらず、さらなる可能性を秘めたものであると筆者は考えている。そのためには、各種の物理探査を調査目的、調査対象に即して的確に実施することで、的確なデータを取得することが何よりも重要である。そうして得られたデータには、再現性のある科学的な地中の情報としての価値が生まれる。それを正確に解釈することによって、考古学的に有用となる情報、資料として捉えることができ、終章でも主張するように、集落研究や地域研究に新たな地平を築くことができる。

本章では、はじめに第 1 節において、はじめに遺跡探査に用いられる物理探査の種類と、それぞれの原理について触れたい。現在利用されている物理探査には様々な種類のものがある。それぞれの探査法がどのような原理を用いたものであるか、また、その原理の違いによって生じる根本的な特性上の利点や、反対に不利である点を挙げ、得られるデータの質的な問題や、遺跡を調査する際の周辺環境がデータに与える影響について明示しておく。

次に、第 2 節において、これらがどのような過程を経て考古学調査に応用されてきたのか、その歴史を振り返る。この過程が、現在の考古学への物理探査の利用のされ方にも大きく関わっていると筆者が考えているためである。この物理探査の考古学への利用の歴史がどのように現在の利用方法に結びつくかについては、本章第 3 節で詳しく述べる。

第 3 節では、それぞれの物理探査が考古学において現在どのように利用されているのか

を述べる。そして、その利用方法に関する問題、また探査結果を探査者あるいはその分析者以外の考古学研究者が受け取る際の問題について指摘する。

第 1 節 物理探査法の原理と概要

今日では、遺跡の調査法として様々な原理を用いた物理探査法が知られている。リモートセンシング法などのように遺跡を遠隔から調査する方法や、遺跡に赴き地表面を走査する方法、また地中に機器を埋設して測定する方法など、物理探査法と一言でいってもそれぞれ調査方法や遺跡に与える損傷度合も異なる。しかし地中に残存する遺構を推定するには、何らかの明確なクロープマーク（第 2 章第 2 節）が存在しない限り、空中からの遠隔調査では不可能であり、実際に現地で調査を行う必要がある。

このような遺跡探査法には、1) 磁気探査、2) 地中レーダー探査、3) 電気抵抗探査、4) 電磁誘導探査、5) 重力探査、6) 弾性波探査などがある。そのなかでも磁気探査、電気抵抗探査、地中レーダー探査が現在の物理探査の主流となっており、また、水中遺跡に対しては音波探査が利用されている。

これらの探査法には、探査対象や探査環境に応じてそれぞれ得手・不得手とするものがある。そのため、探査対象となる遺跡あるいは遺構、またその遺跡の立地状況、さらには周囲の環境などを考慮して用いられるべきである。また、一言で考古学調査のための物理探査といえども、その目的は様々である。遺構、遺物の存在の有無を推定するといったものから、近年では遺構の内部構造にまで及ぶ詳細な形状や、その物性の推定等に用いられることもある。

それぞれの探査法では当然のことながら対象となる遺構以外からの反応も測定するわけであり、探査の結果として得られたデータそのものが遺構の位置、性質等を表すことはない。したがって、探査後にデータを解析する作業が必要となる。さらに、探査で得られたデータを機械的に解析してしまうのみでは、仮に探査の目的とする遺構以外から大きな信号が検出された場合に遺構を誤認するなどといった大きな危険が含まれるため、探査対象や探査環境等を考慮して、データを解析・解釈する必要がある。そのため、西アジアの遺跡において実施されてきた物理探査の調査結果に触れる前に、本節ではそれぞれの探査法を概説する。

なお、第 3 項及び第 4 項は、主に物理探査学会による『物理探査ハンドブック 3』（物理探査学会 1998c: 239-296; 297-398）及び安達一成らによって編纂された『文化財探査とその手法』の「電気探査」（牛島 1999）を参照している。また、第 5 項は『物理探査ハンドブック 4』（物理探査学会 1998d: 431-472）及び『応用地質技術年報』内の野崎京三による「マイクログラビティ探査の現状とその利用」（野崎 1997）、第 6 項は『物理探査ハンドブック 2』（物理探査学会 1998a: 1-152）及び『文化財探査とその手法』の「弾性波探査」（齋藤 1999b: 99-116）を参照している。

第 1 項 磁気探査

磁気探査法とは、地磁気を測定し、その際に検出された磁気異常から地下の磁性体の分布を平面的に探る方法である。磁石に引き寄せられるような鉄製品などはもちろんのこと、熱残留磁化と呼ばれる高温で焼成されその後冷却されて磁化を獲得した物質や、水中でゆっくりと堆積する際に磁化を獲得した土壌、またその他周囲の物質と大きく磁氣的性質の異なる物質は、周囲の磁場とは異なった磁場を有するため、その物質のある地点において磁気異常があらわれる。

磁気の測定は地上で行うため、磁気異常を発する対象物の深度が大きくなるにつれて磁気異常の検出は困難となる。またあくまで地上の磁気異常を平面的に測定する探査法であるため、仮に磁気異常があったとしても、その異常を発する物質の埋没深度等の情報を磁気探査から得ることはできない。

実際に磁力計を用いて遺跡を探査する場合、遺構や遺物に関する磁気異常よりも、地表付近に存在する現代の鉄製品に大きく影響を受ける。そのため、フェンスや鉄塔、地中にパイプの埋まっている環境では磁気探査は適さない。

磁気探査法及び次に挙げる地中レーダー探査法は本論の中心となる探査法であるが、原理の詳細や測定法については第 3 章で述べる。

第 2 項 地中レーダー探査

地下の物体からの電磁波反射を利用した探査法が地中レーダー探査法である。この方法では送信アンテナを用いて地表から地中に電磁波を放射した時点から、受信アンテナがその反射波を捉えるまでの時間を計測することによって地中に存在する不均質な物質の位置を推測する。これらのアンテナを地表の測線に沿って平面上を移動させることで三次元的な計測結果を得ることができる。

主に水分含有率の異なる物質の境界面において電磁波は反射や屈折を起こすため、土質の異なる土層の境界面や、土壌とは異なる物質の存在する箇所では反射波が発生する。電磁波の放射から反射波を受信するまでの時間を記録し、それを地中の電磁波伝達速度と掛け合わせることで土層の境界面あるいは地中の異物（反射面）の深度を計算することができる。この電磁波の性質を利用することで、測線上の地層の疑似断面図やそれを平面的に組み合わせたタイムスライスと呼ばれる深度毎の疑似平面図を作成し、遺構や遺物の存在を推定することができる。

また、1 秒間に 100 回以上もの電磁波の送受信を行うことができるため、他の探査法と比較すると測線上のデータを非常に細かく得ることができ、遺構の位置や大きさのみでなく、

環境にもよるが、ある程度その詳細な形状まで推定することができる。

ただし、地中レーダー探査を用いる際は、探査対象の深度や入手したい情報の精度により周波数を変更する必要がある。もし仮に地中深くを探査したい場合は周波数の低い電磁波を用いるが、電磁波の性質上、周波数を低くすると波長は長くなり分解能が下がり、反対に分解能を高めて精度の高い結果を求めれば探査深度は浅くなる。詳細については後述するが、ここには探査深度と探査分解能の両者を向上させることはできないという問題がある。

また、空中では電磁波の減衰が激しいため、アンテナは基本的に地表から非常に近い位置に設置しなければならず、地表面の凹凸の激しい場所ではアンテナの移動が困難になるため地中レーダー探査には適しているとはいえない。また、地下水位の高い場所や水田跡などでも電磁波の減衰が大きく、さらに目視できる土層などでも誘電率に差がなければ地中レーダー探査ではそれらから受ける反射波が小さいために、反射面、つまり地中内の異物として判別できないという弱点もある。

第 3 項 電気抵抗探査

周囲の土壌と埋蔵物の電気抵抗との差異や、土壌自体の電気抵抗の変化によって、地表付近の測定した電気抵抗が測定場所ごとに異なっている。導電率の著しく高い磁鉄鉱や金属製品などが存在する場合を除き、地中の電気抵抗率は、基本的には含有されている水の量によって変化し、間隙率が小さく含水率が大きいものほど比抵抗は小さくなる。例えば花崗岩のような緻密な岩石は、多孔質の石灰岩に比べて水分含有量が小さく、電気抵抗率が大きい。また土壌に関しても、粘土分の多い土ほど比抵抗は小さく、砂粒が多い土ほど比抵抗は大きくなる。このような電気の性質を利用することにより、地中の間隙率や含水率の異なる岩石、土壌の種類に着目して地下の埋蔵物や地下構造を推定する方法が電気抵抗探査である。

電気抵抗探査は日本においては省略して電気探査と呼ばれることもあるが、本来電気探査には自然電位法、強制分極法、比抵抗法が含まれる。考古学の遺跡探査に一般的に用いられる電気探査が比抵抗法を用いたものである。ここではその方法についての概要を記し、他との混同を防ぐため電気抵抗探査という語を用いている。

電気抵抗探査は古くから行われている物理探査法であり、ウェンナー (Wenner) 法、シュランベルジャー (Schlunberger) 法、ダイポール・ダイポール (Dipole-Dipole) 法などの電極配置法がある。これらの方法では地面に 4 本の電極を刺入し、2 本の電流電極から地中に電流を流し込み、残った 2 本の電位電極で地上の 2 点間に発生する電位差を測定する。これにより、電圧と電流の比から見掛比抵抗が求められる。例えば 2 極法では電流電極間に流し込む電流を I 、電位電極間のポテンシャル (電位) を V 、電極間隔を a とすると、見

掛比抵抗 ρ_a は次式で求められ、この見掛比抵抗値は土壤が均質であればその抵抗率と一致する。

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

ここから得られた見掛比抵抗値で深度毎の比抵抗分布図を作成し、地中の比抵抗の差から地中構造を推定する。この方法では電流の流れやすい地中、つまり地下水位の高い場所や水田などで有効であり、理論的には遺構の位置、大きさ、おおよそのプランを推定することができる。

しかし、土壤の乾湿状態によって測定結果は大きく左右される。先に述べたとおり、水分含有率の小さいものは比抵抗が大きくなる。したがって、土壤が乾燥している地中では電流が流れにくく、そういった場所での調査には不向きである。また、地中の水分含有率に変化を与える天候や測定時間帯などの影響も大きいため、長期間にわたる調査にも適しているとはいえない。

さらに、計測される抵抗値は設置する電極間の平均値であることにも留意しなければならない。電極間隔を短くし、それらを細かく移動させることによってこの問題を解消することはできるが、短時間における探査において、局所的な抵抗率を求めるには不向きであるといえよう。実際の遺跡の多くは様々な性質の土壤が混在しており、また土壤には遺物、その他の異物も多く混入している。このような場所ではそれらの比抵抗がノイズとなり、水分含有率が周囲と大きく異なる物体によって地下構造物が築造されていない限り、そのプランの推定は困難である。

第4項 電磁誘導探査

空中で磁場の方向と強さが変化した際、その変化を妨げる起電力が発生し、また導体中では電流が流れるなど、電界と磁界が互いに誘導作用する。これを電磁誘導と呼び、電磁誘導現象を用いて地中の電気伝導度を測定する方法が電磁誘導探査法である。この探査法は EM 探査法 (Electromagnetic Method)、地上で行う場合は陸上導電率探査法とも呼ばれる。

金属物が地中に埋まっている場合、金属物の存在する地点において局所的に電流が流れやすい状態となっている。原理としてはまず地表面の送信コイルに交流電流を流すことで、その周囲に一次磁場を発生させる。するとこの磁場によって地中に誘導電流が流れ、新たに二次磁場が励起される。その二次磁場の大きさを受信コイルで測定することで、地中の金属物の存在が推定できるという方法である。測線に従ってコイルを移動させ、そこで得

られた測定データを平面分布図化すると、金属がある場合にはその地点や周囲に相対的な磁場異常が見られる。

磁場を発生させる際、その方向によって探査深度は異なる。垂直方向に発生させた場合は、水平方向に発生させた場合と比較すると、探査深度は大きくなる。

この方法は金属物の探知に適しており、磁気を検出するのではなく電気伝導度を測定する方法であるため、磁気探査では検出されない強磁性体ではない青銅などの金属も検出することができる。

しかし、電磁誘導探査は金属製あるいは電気の伝導率の大きく異なる遺構、遺物の検出以外には適しておらず、探査対象は大きく限定される。そのため遺跡探査そのものに用いられるよりも、現代遺物の金属片などを除去するため、あるいは遺跡全体の大まかな地中の異物の位置を確認するために、磁気探査や電気抵抗探査の事前調査として使用されることが多い。

第5項 重力探査

この探査法は、調査範囲内の相対的な重力値の差異から、空洞や密度の高い岩体の分布位置などを推定する方法である。本来重力探査は大規模な資源探査などに用いられ、その際測定される重力値の一単位は 1mGal ($=10^{-5}\text{m/s}^2$) あるいは 0.1mGal である。しかし遺跡に用いる重力探査は、処理対象とする重力値が μGal 単位と小さいため、こちらは特にマイクログラビティ探査とも呼ぶ。

地球には重力があるが、たとえ計測地点の高度が同じだとしても重力値は地下の密度によって異なる。計測点の地中に密度の大きい物質が存在すれば地上の計測点における相対的な重力値は大きくなり、その反対に地下に密度の小さい物質が存在した場合には重力値は小さくなる。

地下の土壌が均質でその中に岩体が存在する場合は、土壌と比較して岩体の方が密度が大きいため、岩体の直上付近にあたる地上で計測された重力値はその周辺の重力値よりも相対的に大きくなる。また反対に、空洞構造が地下に存在する場合は、空洞直上の地上の重力値は周囲と比較すると小さくなる。また、基盤構造と重力値も相似形を示すため、基盤の浅い部分は深い部分に比べ地上の重力値は大きくなり、岩体に基盤が深ければその部分の重力値は相対的に小さくなる。

重力探査ではこの原理を用いて地下の空洞や巨大な石造物を、地上における重力測定値から推定する。

この方法は他の物理探査法が地表からの深度数 m までにしか適用できないことに対し、数十 km まで適用ができるという利点がある。しかし遺構に空洞が残されている場合や遺構が岩や集石などで作られていない限り、周囲の重力値とその部分の重力値との間に大きな

差が生じにくく、その調査対象は限られる。

第6項 弾性波探査

弾性波とは、広義的には音波も含まれるが、この探査法では人工震源から発生させた土壌、遺構などの固体中を伝わる地震波を利用する。そのため、この方法は地震波探査法とも呼ばれる。地震波は地層などの境界で反射や屈折をした後に地表に設置された受振器に到達する。このときにかかる時間や、到達した地震波の振幅から地下構造を探る方法が弾性波探査法である。

物理探査法とは基本的に遺跡を破壊せずに調査する方法である。しかし、弾性波探査では遺跡に振動を与えるため、他の物理探査法と比較すると、探査で与える遺跡への影響についてより注意を払う必要がある。

弾性波探査法には、受振する地震波の性質の違いによって反射法、屈折法と呼ばれる二種類の探査法が存在する。上述したように地震波を地中に与えた場合、地層境界面において屈折及び反射するので、その際の反射波が地上の受振器に到達するまでの時間や振幅を測定する方法が反射法である。

しかし、地震波の入射角がある程度大きくなると屈折波は下層に伝わらず、臨界屈折と呼ばれる境界面に沿って進む波となり、同時にその一部が上昇波となって伝播する。この波を測定する方法が屈折法である。

震源と受振器の位置が離れてしまうと反射波が得られないため、反射法では震源と受振器の両方を測定点ごとに細かく設置しなければならないが、屈折法ではその必要がないため、反射法よりも少ない労力で探査を行うことができる。また、反射法は短い距離で各境界面からの反射波を測定するだけの方法であるため、屈折法よりも微細な地質構造を推定できるが、その反面屈折法よりも各層での伝播速度の推定精度が劣る。このような理由から、埋蔵物や地層の構造を調べるには反射法、その物性を調べるには屈折法が用いられる。

また、どちらの探査法においても調査目的によってS波（縦波）とP波（横波）が使い分けられる。同周波数の場合、S波はP波と比較すると波長が短い性質を持っており、より微細な対象あるいは対象の細部に反射、屈折するために分解能が高い。S波は振幅の減衰が大きく、地中数十mといった深部の探査には向かないというデメリットもあるが、遺跡の探査にはこちらが用いられる。

ただし、他の探査法と比較すると分解能に劣り、調査対象の詳細な情報を得ることは難しいという難点がある。また先に述べたとおり、遺跡に少なからず物理的な影響を与えるため、考古学調査として用いられることは少ない。

第 2 節 物理探査法を用いた遺跡調査の軌跡

物理探査が考古学調査に広く応用されるようになったのは、考古学研究の歴史の中でも比較的最近のことである。現在では、本章第 1 節で挙げたように様々な種類の物理探査法が存在し、それぞれ遺跡調査に対する一定の有効性が認められているが、物理探査を用いた調査方法が確立されるまでは試行錯誤の連続であった。本節では物理探査法が本格的に考古学調査に組み込まれるまでの歴史を概観する。

地中構造の差異を発掘調査を行わずに推定するという点において物理探査の萌芽と呼べるものは、イギリスのリバース (P. Rivers) によって 19 世紀末にはじめて試行された。その方法は、地表面に棒を打ちつけて、その際の反響音の違いから地中構造を探る方法であった。この方法によって地表面からは何も遺構の痕跡の窺えない場所において遺構を推定し、そしてその後検出されたようである。このように地表面における音の反響を利用した調査法は後にアトキンソン (R. Atkinson) によって「ボージング (bosing)」と呼ばれ、物理探査法の一つとして取り上げられたが、この方法は表土や地中の土壌堆積状況に影響されるため、限定された条件下以外では成果が得られず、広く用いられることはなかったようである (Clark 2003)。

20 世紀に入ると、ようやく科学的といえる様々な探査法が試行・確立されるようになる。1920 年代には、ボージングと同じくイギリスにおいてクロフォード (O. G. S. Crawford) やアレン (M. Allen) らによって空中撮影法が開発され、この方法は大規模な遺構の位置を推定する上で有効な遺跡探査法として活用されてきた (Bradford 1957)。この方法を基礎とした、遠隔から遺跡を調査するリモートセンシング法が近年になって注目されている。空中撮影法を発達させた、様々なスペクトルのフィルムや衛星画像等を用いた探査法が、第 1 章第 3 節で挙げたような広範囲の遺跡調査や古代の河川や海岸線の復元などに利用されている。

空中探査法の開発と同時期に、スウェーデンのアーレニウス (O. Arrhenius) らが土壌のリン酸塩濃度を測定することによって、それらを主成分とする人骨・動物骨の存在する地点を推定する方法を開発した。しかし、精度の高い探査成果は得られず、また砂質土壌など排水性のよい条件下では測定が難しいという問題があるため (Craddock et al. 1985)、現在では実用的な考古学調査の方法として用いられていない。

20 世紀半ばには、現在においても有用な遺跡探査法として知られる電気抵抗探査法、及び磁気探査法が考古学調査に適用された。電気抵抗を用いた探査法は 19 世紀末に既に開発されており、地質調査に用いられてきた。考古学に適用できる精度にまで高めた方法が 20 世紀前半になってウェンナー (F. Wenner)、またシュランベルジャー (C. Schlumberger) によって開発されたことで、ようやく実際に考古学調査に応用されるようになったようである (Clark 2003)。

一方の磁気探査に関しても、もともと 19 世紀末から鉄鉱床の探査を目的として、電気探査と同様に地質調査に利用されていた。その後、地磁気や磁化の研究が発展する中で、考古学における磁気の利用として、磁気の測定によってその磁気を帯びた物質の年代を推定する方法である古地磁気年代決定法が注目されていた。

このような中、遺跡探査に磁気の性質を応用したのがエイトケン (M. J. Aitken) とホール (E. Hall) である。それまで用いられていた磁力計は、分解能の低さや測定時間の長さ、また運搬が困難である点など様々な問題を抱えており、遺跡において機器を移動させながら連続的に測定を行うことに適していなかった。これらの問題を補った、水素陽子の才差運動を応用した新たな原理を用いたプロトン磁力計が出現したことで、考古遺物から生じる磁気の測定が可能となった。1958 年にエイトケンらは、ローマ時代のドゥロブリバエ遺跡 (Durobrivae) において、プロトン磁力計を用いた物理探査調査を実施し、実際に磁気異常を示した地点から炉址が発掘調査により実際に検出された。この結果により、遺跡の地表面探査において遺構を磁力計で推定することが可能であることが示されたようである。実際には、廃棄された鉄製品や土坑など、炉址以外にも様々な地点で磁気異常が認められ、探査結果のみから遺構の位置を推定できるほどの成果は得られなかったものの、その後の磁気探査法の開発を促す結果となり (Clark 2003: 16-17)、20 世紀後半には非破壊調査としての物理探査法の存在が考古学にも知られるようになった。

しかし、現在において磁気探査法及び電気抵抗探査法と並んで多用されている地中レーダー探査法の考古学調査への応用は、上述したものと比較すると遅れてスタートしたといえる。電磁波を用いて異物を調査する研究は 20 世紀初頭から行われ、21 世紀には、オーストリアにおいて氷河厚の推定のためにレーダー探査が試用された (Stern 1929)。その後も、周辺の物体との距離を測定するためにレーダー探査機は航空機などに用いられたが、地中に対する本格的なレーダー探査の利用は 1970 年代に入ってからであった。月面調査のための探査法を NASA が開発したことにより (Simmons et al. 1972)、ようやく地中レーダー探査が考古学の遺跡調査手段として実施されるようになった。

地中レーダー探査には地上から地中のプロファイルを推定することができるという他の探査法にはない特性があるにもかかわらず、この方法が考古学に適用されるのがこれほどまでに遅れた最たる理由は、物理探査法の開発がこれまで主にヨーロッパ諸国で行われていたことによる。電磁波の特性上、イギリスなどヨーロッパ諸国の比較的湿潤な地域ではその性能が大きく減少し (第 2 章第 1・2 節)、地中レーダー探査結果の解釈が困難なものとなる。そのため、飛躍的に改良の進む磁気探査法と比較して、考古学調査手段としての地中レーダー探査の有用性がさほど見いだせなかったのかもしれない。レーダーの地中における特性の研究が始まると、ヨーロッパ諸国よりもアメリカや日本において地中レーダー探査法の研究、またそのための機器の開発が進み (Imai et al. 1987, Goodman 1994)、遺跡を対象に様々な探査実験が行われるようになった。

考古学調査における物理探査の有用性が認識されるようになったこの頃には、より高感

度のセシウム磁力計やフラックスゲート磁力傾度計を用いた新たな磁気探査の方法や、電気抵抗探査を応用し、電極を地中に挿入せずに地盤の導電率を測定する電磁誘導探査など、探査法の開発が急速に進展していった。そのほか、これら以外の原理を用いた物理探査法の研究も盛んになり、堆積土壌の帯磁率の差から人間の居住した痕跡を探査する帯磁率測定法や、「ボージング」の性質を科学的に応用した弾性波探査法、さらに水中遺跡への考古学研究の関心が高まると音波探査法など、様々な遺跡探査法が試みられた。また同時に、コンピューターの性能が向上したことにより、探査データの出力法が改良され、データ解析用のソフトウェアが開発されたことも、物理探査法の研究を後押しすることとなった大きな要因ともいわれている (Clark 2003)。

しかしながら、こうした一連の遺跡探査研究の発展は主に各物理学に精通した研究者たちを中心とするものであった。そのため、それぞれの遺跡において実験的に調査が行われることはあっても、一般の考古学研究者に広く浸透することはなかった。その状況が変化したのは 20 世紀の終わりのことであった。1990 年にイギリスの研究者であるクラーク (A. Clark) が『Seeing Beneath the Soil』を著し、これまで生みだされてきた物理探査法を、一般の考古学者にも理解しやすい形で、イギリスを中心とした実際の遺跡での調査法や今後の探査法の展望と併せて紹介した。これにより、物理探査法は世界的なレベルで考古学者たちに認識されるようになったと思われる。

また、ほぼ同時期にドイツの研究者らによって、アッシュール遺跡 (Ashur) などの西アジアの遺跡においても磁気探査や電気抵抗探査が試用された (Becker 1991, Becker et al. 1993)。特にムンバカ遺跡 (Munbaqat) において行われた磁気探査の結果は、地中の状況が鮮明に推定できるものであり (Becker et al. 1994)、以降、西アジアにおいても物理探査の有用性が認識されるようになった。

日本においては、1982 年に日本文化財科学会が設立され、この頃から西村康らを中心とした研究者が様々な探査法を試験的に国内の遺跡調査に導入し始めた。物理探査そのものは、鉱床や地震に備えた地質の調査など古くから研究されており、1948 年には既に物理探査技術協会が設立されていた。考古学者による遺跡調査への応用が注目されるようになると、地質学者と考古学者が連携して遺跡調査における探査法が急速に確立されていった。こうして、物理探査に対して考古学者の懐疑的な視点や、反応は残ったものの、日本考古学研究者にも物理探査を用いた遺跡調査法が広く認知されることとなり、1998 年には日本文化財探査学会が設立された。

20 世紀末頃の考古学における物理探査の発展の方向性として、日本では特に実地の探査実験とその検証に力が注がれていた (e.g. 亀井他 1991, 西村 1995)。その一方で、欧米諸国では調査モデルによる探査理論の構築が進められていった。特に、イギリスでは国内の遺跡の保護と調査に重点が置かれていたためにこれまで豊富に遺跡探査が行われていた。それら自国内を中心とした実践データの蓄積をもとに、先に挙げた『Seeing Beneath the Soil』のように一般の考古学者にも理解しやすい調査対象に応じた探査法やその理論上の結

果パターンを記した書物や実用書が数多く出版され (e.g. David 1995)、考古学者への遺跡探査法の浸透を先導する立場となっていた。

こうして物理探査が広まっていった結果、現在では多くの考古学研究者が実用書に基づいて物理探査を扱えるようになっている。なかでも、方法の利便性や探査精度、また汎用性、つまり探査成果の得られる探査対象物が多いとされている磁気探査、地中レーダー探査、電気抵抗探査、電磁誘導探査が選択的に利用されるようになっている。

第3節 西アジアにおける物理探査法利用の問題

前節で見てきたように、考古学調査に利用するための様々な原理を応用した物理探査技術は一定の完成を迎えている。しかし、遺跡を非破壊かつ短時間で調査できるというメリットが存在するにもかかわらず、物理探査を実施したと報告されている例は少ないのが現状である。西アジアの遺跡は、その規模からして遺跡全体の発掘調査が困難であることが多く、集落の全体構造が把握できる例がほとんどないため、集落内の構造に関する研究が他地域に対して滞っていることは第1章第3節で述べたとおりである。

また、西アジアの多くの地域は、日本を含めた先進地域と比較すると、道路や水路など大規模な土地の改変を伴うインフラなどの整備事業の点において充実しているとは言い難い。第1章第2節で見たように、西アジアの遺跡は水資源、あるいは食糧資源を獲得するという観点から、河川の流域に集中して分布している。そのため、ダム建設を主とした整備事業の結果、多くの遺跡が失われることになる。

さらに、「肥沃な三日月地帯」を中心とする地域においては、古くから様々な人間集団の対立が起こっており、現在においても紛争における戦略的な、あるいは政治的な問題から、遺跡が利用、あるいは破壊されている。紛争によって秩序が失われた政治的に不安定な状況下では、遺跡の盗掘が横行するという問題が生じ、その上、安定した状態に戻ったとしても戦後処理に関わる土地の整備事業によって遺跡がさらに破壊されるといった問題もある。現在においてもこうした問題に対処するために様々な会議が行われ、その深刻さを一般に周知する講演会も開かれている。このような様々な問題によって遺跡が存亡の危機に晒されており、遺跡の研究調査や保護は重要な課題として早急な対応を迫られている。

こうした状況の中で、短時間で遺跡全体の地中の様相を推定できる物理探査による遺跡の調査が特に有用であることは自明である。それにもかかわらず西アジアの遺跡において遺跡の探査が報告されたという例は第4章で挙げるように少ない。物理探査が比較的近年になって広まった調査方法であるため、報告が未だなされていないという問題もあるかもしれない。だが、物理探査を考古学調査に用いることには多くのメリットがあるにもかかわらず、少なくとも物理探査が積極的に実施されていないことは間違いないだろう。では、その原因は一体どこにあるのだろうか。その一因として、これまで行われてきた物理探査の結果及び解釈の理由が不明瞭であり、またその提示された探査結果や解釈が、実際に探査後に実施された発掘調査結果とは異なる場合があることから、物理探査結果の内容が正しく理解されず、また有用性が認識されていない点が大いに影響していると思われる。

第 1 項 探査法選択の問題

本章第 1 節で触れたように、物理探査は原理上それぞれ適する探査対象、探査環境があり、また探査によって得られる情報も異なり、それらを検討したうえで探査法を選択することが遺跡調査方法として適切である。例えばヨーロッパでは、前節で挙げたようにイギリスを中心とした遺跡を対象としてこれまでの探査結果と調査結果が比較検討され、調査対象に応じた適切な探査法によって調査が行われている。ヨーロッパでは、地中海沿岸部を除くその比較的湿度の高い環境や、石を利用した遺構を探査対象にすることから、磁気探査が多用されている。遺跡探査を数多く実施し、考古学者への普及活動も同時に行っているイングリッシュ・ヘリテージ (English Heritage) の出版している実用書でも、磁気探査が最も多くの種類の遺構の探査に適していると示している (第 1 表)。そのほかにもたとえばスロベニアなど、より限定的な遺跡探査事例をもとにして、国内における探査法とそれにより推定が可能な探査対象を明確にしようとした例もある (Mušič 1999)。このような下地にもとづいた上で遺跡調査として物理探査は行われるべきである。実際に、多くの遺跡探査事例がある中でも、磁気探査結果による遺構プランの推定は非常に高い精度を備えた目覚ましい成果を上げている。

例えば、ドイツのライナウブーフ遺跡 (Rainau-Buch) というローマ時代の城砦址で行われた磁気探査の結果では、遺構は砂岩製で、周囲も砂質の粘土からなる土壌だが、城砦内の様々な遺構と城砦外の村の一部が確認されている (第 26 図)。地表面で視認できる遺構 (B) の北側に、やや小さい建造物 (A) が認められ、また粘土製のタイル (C)、西側に並ぶ小屋址 (D) などが明らかになっている。また、四重にめぐらされた濠 (E) や、城砦の入り口 (F)、その他城砦外部において町の通路 (G) やその他遺構も確認されている (von del Osten·Woldenburg et al. 2005)。

このように事例の集成によって、適した物理探査を明確にする動きは日本においても行われている。ただし、日本では、磁気探査よりも地中レーダー探査がより多くの遺構に適しているとされており (第 2 表)、物理探査を行う地域やその他の条件、また、探査目的や探査対象といった何らかの要因、あるいはこれらそれぞれが関わり合った要因によって探査の有用性が異なることが明らかである。

しかしながら、西アジアにおいてはこのような研究はなされないまま、現在も物理探査による遺跡探査が行われているように思われる。もともと 1990 年代には、前節で触れたように、ヨーロッパの研究者らによって、磁気探査や電気抵抗探査が試用されており (e.g. Becker 1991, Becker et al. 1993)、特にムンバカ遺跡 (Munbaqat) において行われた磁気探査の結果では、地中の遺構の構造が推定されるのみならず、同地点で行われた電気抵抗探査の結果と比較してもより鮮明に遺構のプランが示されていた (Becker et al. 1994)。日本やアメリカで比較的良好に用いられる地中レーダー探査の有効性も、やや遅れてではある

が、この頃にテル・エ・スウェイハット遺跡 (Tell es-Sweyhat) においてアメリカの研究者らによって磁気探査、重力探査の有効性と比較されている (Peregrine et al. 1997)。もともとこの遺跡では 1993 年から磁気探査が行われており、それと比較するために地中レーダー探査、重力探査が 1996 年に試験的に用いられた。重力探査及び地中レーダー探査は、テルの下街部において、磁気探査によって墓域の存在が推定されていた地点において行われた。重力探査については、遺構に関する反応が認められたものの、測定に時間を要するという点で、遺跡の探査には適していないと判断された。一方の地中レーダー探査は、テルの下街部の土壌は非常に比誘電率が大きかったため、地中からの反射波を受け取ることができず、テル・エ・スウェイハット遺跡の下街における物理探査には適していないと報告された。

このように、かつては西アジアにおける探査法の比較検討のための試験的な物理探査も行われていた。しかし、これまでの西アジアの考古学研究、遺跡調査の多くが、欧米など地域外の研究者に牽引されてきたために、それぞれの自国で実施され、それぞれの探査対象に対する適性が確立されるほどの十分な遺跡探査が行われてきたとはいえない。それゆえ、上述したような限定的な探査成果をもとにして、これまでに多くの遺跡において成果が上がっているという以外に特に明確な根拠のないままに、他の遺跡の調査にも磁気探査が用いられている例が多い。

また、近年唯一ではあるが、西アジアにおける物理探査の適用例や有用性について、エッペルバウム (L.V. Eppelbaum) によって論じられた研究がある (Eppelbaum 2013)。彼は自らが行ったイスラエルの遺跡の探査結果を中心としたデータから、物理探査の有効性について検討している。しかし、ここでは磁気探査を中心に、電磁誘導探査、重力探査、電気探査などについて言及しているものの、理由は明らかではないが、地中レーダー探査については全く触れていない。

こうした状況をまとめると、物理探査の発信地であるヨーロッパにおいて最も広範に利用できることとされた探査法である磁気探査が西アジアの遺跡でも試験的に利用され、いくつかの遺跡、つまり限られた環境や条件下でその成果が認められたために、その適性を判断することなくそのまま現在まで最も適した探査法として利用されてきたといえる。また、それにしたがって、地中構造を詳細に表していると思われる磁気探査事例の数も増加し、これがさらにこうした一連の探査法選択の問題を考慮しないという点に拍車をかけているといえる。

そのため、西アジアにおける遺跡の探査報告では、遺構のプランが明確に推定できる事例がある反面、探査結果からは地中構造をほとんど推定することができない探査事例も存在している。具体例は第 4 章で取り上げるが、探査対象や探査環境を十分に考慮しない調査によって得られた結果あるいは解釈が、物理探査結果を信用できないものとしている一因であるといえよう。

第 2 項 探査成果の提示に関する問題

前項で挙げた対象や環境に適した探査法選択の問題とは別に、探査結果の提示方法にも問題があると考えられる。実例は第 4 章で明示するが、遺跡の探査成果が報告される際、物理探査の解釈を中心に論じたものでない限り、解釈を加えたものが掲載されるだけの場合が多い。遺構などによるものと考えられる明確な地中の異常に対する 2、3 の解釈に言及し、探査から得られたデータを解析した後に、その言及される部分を恣意的に際立たせて画像化される。これは遺跡の探査データ一つ一つを全て記すことは現実的ではないという紙面の問題や、実際に取得した膨大な測定値を単純に全て提示することが意味をなさないという理由もある。この点が考慮され、別途その遺跡の物理探査の報告をより詳細に行っている例も存在している。

しかし、そのような例外を除けば、このような成果となり得る一部分のみについての言及とその部分を際立たせた解釈を加えた画像のみでは、その作業を行った研究者のバイアスがかかった成果のみが報告されているにすぎない。そのため言及されていない部分の探査結果に関する情報は与えられないままであり、報告者の意図した情報以外を得ることができないのである。その結果、報告を受け取る側からすれば、一部の図示されている箇所以外の成果以外は不明瞭な画像を見せられているのみとなってしまう、その他の部分に含まれているはずの多くの情報には手を出すことができず、見過ごしてしまうという問題に陥っている。こうした現状が、データの蓄積がなされないという側面において西アジアの遺跡における物理探査の進展の足枷になっているといえる。

また、先に触れたように、西アジアの研究者は地域外に所属しているものが多く、時間的な制約や調査権の獲得、不安定な政情などの問題が重なり、簡単に多くの遺跡を調査できるわけではない。そのため、研究者一人で獲得できる遺跡探査の実践データは、先に挙げた欧米や日本と比較するとどうしても劣ってしまう。物理探査において、それぞれの方法に従った反応の計測は各測定機器が自動的に行う。しかし、それらを使用するのは調査者であり、測定時の機器の操作や測定間隔、また探査地の準備などは、その調査者に任されており、それによって探査精度や探査分解能は大きく変わってくる。

物理探査をよりの確に考古学に応用するためには、探査の実践技術を含めた、このようなデータの蓄積が非常に重要である。実際に遺跡において探査を行った際、遺跡、特に西アジアのテル型遺跡は、様々な堆積物によって構成されているため、理論上のモデルどおりに地中構造が推定できることはない。さらに地表面を含む地中の状態、また周囲の環境によって、探査結果も異なるのが常である。それゆえに、研究者、あるいは調査担当者が分散する西アジアの状況では、特にそうした探査時の状況を含めた実践データを研究者間で共有することが望ましいのだが、ここで示した探査結果の提示方法ではそれらの共有が難しくなっている。

第3章

西アジアの遺跡と物理探査法

西アジア考古学の現状を考慮すると、物理探査による遺跡調査は本来なら推奨されるべきである。だが、物理探査による調査結果に対する信頼性を得るためには、少なくとも前章で提示したような問題が存在することから、物理探査が考古学に応用されるようになって数十年の時が経っているが、未だ十分に物理探査が普及しているとはいえない状況である。これらの問題を解決することが、第1章第3節で示したような西アジアにおける集落研究の進展に繋がっていくと筆者は考えている。

そのための第一歩として、可能な限り調査者によるバイアスがかかっていない探査データを用いて西アジアの探査環境・探査対象に応じた物理探査法を示すことが必要となってくる。本章では、集落研究に結びつけるために必要となる遺跡内部のセミマクロレベルの分析に適した物理探査法を示し、その原理及び実際の探査法を明らかにし、これらの問題に対応するために西アジアのより正確な物理探査の検討方法を提示する。

繰り返すことになるが、物理探査の有効性について論じるためには、それぞれの探査法の原理に基づいたうえで、その地域、遺跡、環境、対象に応じた適切な手段をとらなければならない。そのためには、探査法の理論に基づいた検討のみではなく、実践データを収集してそれらを比較検討していくことによって、最適な手法を導き出す必要がある。理論モデルに基づいた探査データのパターン解析や、それに従った探査法の有用性についてはこれまで多く提唱され、実用書としても紹介されてきた。しかし、実際に遺跡という現場で行う物理探査には、その機器操作の困難さや時間的な制約、探査地表面の状況など、様々な要因が現場の数だけ重なり合い、理論モデルでは提示しえない様々な弊害が積みまとう。

また、理論上は、物理探査を用いる際には多様な探査法を併用し、またより精度を高めるために測定間隔を小さくすることが望ましいことは、多くの研究者によって主張されており、物理探査を行う者にとっては自明の理である。しかしながら、現在の西アジアにおける遺跡調査では、特殊な例を除いて、各種探査機器を揃えて現地に持ち運び、十分な時間をかけて精度を追及した探査を行うことは不可能である。

本論では物理探査結果を実際の集落研究に応用することを課題としている。そのため、現場レベルの問題にも重点を置きながら、実際に考古学調査に活用できる現場レベルでの最適な探査法を導き出すことで、西アジアの遺跡調査における物理探査の有用性を示す必要がある。したがって、本章では、はじめに西アジアの集落研究に必要とされている情報

を得るために必要な探査法について検討を行う。そしてそれらの原理に基づいた、探査対象、探査環境に対する得手、不得手を正確に理解し、物理探査で可能であることと不可能であることを明確にする。これらを踏まえた上で、西アジアにおける集落研究に適した物理探査法を確立させるために、探査の成果に影響を与える要因として、これまで議論されてこなかった現場レベルでの物理探査の利用法にも注目して、探査法・成果について検討、比較すべき項目を明らかにする。

第 1 節 西アジア集落研究に適した物理探査法の検討

近年の物理探査機器や実用書の普及、またコンピューター上でのソフトウェアによる解析の簡易化によって、以前とは異なり容易に自身で物理探査を実施することができるようになってきた。また、物理探査を行うことによって多かれ少なかれ遺跡の地中構造の推定の参考となるデータを獲得できる。そのため、近年では比較的遺跡探査を行い状況が生まれている。しかし、探査法の研究ではなく、考古学調査の一環として物理探査を行う場合、その探査対象の推定を行う以前の本質である調査目的、あるいは研究目的を疎かにしてはならない。あくまで物理探査は遺跡調査のための手段であって、それ自体を目的とするべきではないのである。

この点をはき違えることで、調査に対して適切な物理探査法が選択されないこともある。物理探査の実施に際して、探査手方法法が、主に探査対象の存在の推定に適しているか否かによって決定されるべきであるのは当然のことながら、調査目的に合わせて探査精度や分解能についても検討する必要がある。不十分な精度、あるいは分解能で探査を行うと、探査対象の存在を最適に推定できない。それだけではなく、逆に必要以上に過剰な探査を行えば、短時間で調査が可能であるという物理探査のメリットを低減させることにもなりかねない。さらに、遺構の詳細なプランを推定したい場合、たとえ原理上は探査対象に適した方法をとっていたとしても、その分解能が小さい場合は、探査法の特性から必要な情報が得られないのである。

本論は、第 1 章 3 節で提示した西アジアの集落研究の課題に応用するために必要な探査の適性を分析し、その上で集落研究に活かす方法を明らかにすることを目的としている。同節で述べたとおり、クラークによる空間分析レベルの分類に則ると、集落研究は遺構内部のミクロレベル、遺跡内部のセミマクロレベル、遺跡間のマクロレベルに分けられる。そのうち、西アジア考古学の課題として筆者が指摘したのは、遺跡内部のセミマクロレベル及び遺跡間のマクロレベルの部分である（第 27 図）。物理探査を選択するにあたり、セミマクロレベルの分析においては集落内の構造及び遺構のプランを推定することが可能であることが必要条件となり、またマクロレベルにおいては遺構の分布範囲、さらに可能であれば時期を明確にするためにそれらの遺構の層序まで推定できる探査法が望まれる。しかし現在までに開発されている物理探査技術は、地中レーダー探査を除いて全て遺跡の平面的な二次元情報を推定するものであり、また地中レーダー探査を用いたとしてもその地表からの深度は推定できるものの、遺構の層序まで推定することは困難である（第 3 章 3 節参照）。ただ、マクロレベルの分析を行うための情報は、その他の調査方法やセミマクロレベルの情報によって補填することができる。そのため、西アジアの集落研究に対する目的に沿った探査法として、遺構のプランの推定が要求される。

探査環境については、第 1 章第 1 節を振り返ってみたい。地質に関しては、例外はある

ものの、基本的には石灰岩盤上に立地している。また、年間を通しての気候や植生は様々であるが、南レヴァントの死海地溝帯や湾岸地域を除けば、乾期には一貫して降水はなくなり、河川に隣接した低地や地下水位の高い場所でなければ、非常に乾燥した土壌が広がっている。そのため、探査を行う時期が乾期であれば、南レヴァントや湾岸を除く西アジアのほとんどの地域において、基本的な探査環境は類似しているといえよう。

その他に、探査対象についても考慮しなくてはならない。第 1 章第 2 節で概観したように、西アジアの人々は定住を始めて以降、建造物には石や泥を用いている。また、銅石器時代末に神殿が拡大するまで、特殊な大型建造物を除いて部屋の一边が数 m 程度、また壁厚は 1m に満たない程度の建物を利用していた。このことから、青銅器時代以前の遺跡で物理探査を行う場合、遺構のプランまで推定するならばその平面的な分解能は少なくとも 1m 以下が好ましいといえる。

世界的によく用いられている物理探査には磁気探査、電気抵抗探査、地中レーダー探査、電磁誘導探査があると述べたが、これらの条件に見合う探査法は、この時点ですでに磁気探査、及び地中レーダー探査、そして電気抵抗探査に限られる（第 2 章 1 節）。これらの特徴をまとめたものが第 3 表である。しかし、西アジアの乾燥した乾季の環境を考慮すると（第 1 章第 1 節）、電気抵抗探査も適当ではない。原理としては電気抵抗探査も可能であるが、土壌に水分がほとんど含まれない地域においては実際の探査は困難である。水分を土壌に含ませるために地表面を剥いで等間隔で地中に水を流し込む作業が必要となり、非破壊で、また短時間で探査を行うことができない。とはいえ、探査機器の故障を覚悟で雨季に雨中で探査を実施することも現実的ではない。さらに 1m 以下の分解能という点でも、理論的には可能ではあるが実際の探査では非常に難しく、そのためには間隔の細かい電極の移動を必要とする。

例えば、死海の南東 50km 程度に位置するキルベト・フェイナン遺跡 (Khirbet Faynan) で電気抵抗探査及び電磁誘導探査が行われた事例がある (Novo et al. 2012)。この遺跡はフェイナン渓谷の支流が合流する地点に存在する 16ha に及ぶテル型遺跡であり、遺跡周辺は古くから銅を産出する鉱山地帯で、この一帯では鉄器時代に属する小規模な遺跡や城砦、また銅鉱石の加工所、銅の製錬所を備えたキルベト・エンナハス遺跡 (Khirbet en-Nahas) など、冶金に関する考古学的証拠が確認されていた。この遺跡は当時の銅流通センターのような役割を担っていた重要な遺跡として考えられていたが、遺構が確認されていなかったために、電気抵抗探査及び電磁誘導探査が実施された。探査の結果、何らかの遺構に関するであろう異常や遺跡の周壁と考えられる異常が見られたが (28 図)、遺構のおおよその位置を推定することのできる程度に留まり (第 29 図)、そのプランの推定には至っていない。

西アジアにおいても地中構造の推定という点にのみ言及すれば、電気抵抗探査が成功している例もある。現在のシリア内陸部に位置するパルミラ遺跡 (Palmyra) で地表に露出している、または地表直下から検出されるヘレニズム期の居住層の全体構造を把握するため

に、1997年に磁気探査とともに電気抵抗探査が同じ測線間隔(0.5m)で実施されたところ、どちらを用いた場合でも地中の遺構を十分に詳細に推定することができており、むしろ石積みの壁を推定する場合、磁気探査よりも電気抵抗探査の方がより明確に判断できたという事例もある。しかし、電気抵抗探査には磁気探査に要する時間の5倍から10倍の時間がかかっていることも報告されている(Becker and Fassbinder 2001)。したがって、同じ平面的な分解能を求めようとした場合、電気抵抗探査に費やされる労力、時間が大きすぎるため、遺跡全体の物理探査には適せず、磁気探査の方が適しているといえる。その後の1998年にも継続されたパルミラ遺跡の物理探査では、やはり磁気探査が用いられた(Becker and Fassbinder 2001)。

さらに、トルコ東部のジヤレット・テペ遺跡(Ziyaret Tepe)においても、調査地をあらかじめ電気探査の実施が可能な状況にした上で探査が行われ、良好な探査成果が得られている事例もある(Matney and Donkin 2006, Matney et al. 2007: 48, Fig. 22)。しかしながら、探査の準備段階において多大な労力が費やされるのみならず、良好な探査結果を得るために地中に改変が加えられたことから、迅速かつ非破壊のうちに行うことのできる調査という、物理探査ならではのメリットが失われている。この遺跡では磁気探査も同時に行われているため、詳しくは第4章第1節で述べる。

ここまで、西アジアにおける遺跡内部の構造の推定を対象とした遺跡調査に用いる物理探査法として、磁気探査と地中レーダー探査以外の探査法は、その性質上適切ではないことを示してきた。第2節では磁気探査の原理について、また第3節では地中レーダー探査の原理についてより詳しく触れ、その上で、第4節でこれらの物理探査の有用性を比較検討するための項目を決定する。

第2節 磁気探査の原理と遺跡調査への利用

ここでは、磁気探査を実施する上で必要となる基礎的な知識として、その原理についてはじめに述べ、遺構や遺物など考古学的な地中の異物の存在がどのような理由で推定されるかを、第2章1節で示した概要よりさらに詳細に見ていきたい。磁気探査は他の探査法とは異なり、測定機器の位置における地磁気（本節第1項）を含めた磁気を受動的に測定するものであり、周囲と比較して磁気異常が存在したとしても、その要因は考古学に関するもののみではなく様々である。そのため、周囲の磁気の変化や、遺構を構成する物質など、遺跡の地中に存在する物質の有する磁気の性質についても明確にする必要がある。

なお、本節第1・2項までの磁気探査の原理等に関しては、主に『文化財探査とその手法』の「磁気探査」（齋藤 1999a）を参照している。

第1項 磁気

地球には鉄を中心とした磁性体が存在し、その大部分が土壌や岩石の中に含まれている。それらの発する磁気を地磁気と呼ぶが、その原因は現在においても明らかにはなっていない。最も有力とされる説では、地磁気はマントルや核の流れによる相互作用に起因し、地球外核部の金属内部対流と回転により電流が流れ、磁場が発生すると考えられている¹。

磁場は大きさと向きを持ったベクトル量であり、地球上の磁場は一般的に第30図のように表される。地理学的な真北方向の成分の磁気大きさを X 、これに直交する東方向の成分の大きさを Y 、鉛直成分を Z としたときに、 X と Y の両者のベクトルを合わせた H は磁場の水平成分の強さとなり、これを水平分力と呼ぶ。磁針の N 極はこの水平成分の向きを指し、これを磁北と呼び、この磁北と真北とがなす角度 D を偏角、また実際の磁場の向きと水平面とがなす角を伏角 I と呼ぶ。そして、 X 、 Y 、 Z を全て合わせた力が全磁力 F である。つまり

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

という関係になっている。

探査機器には、水平分力 H を測定するもの、全磁力 F を測定するものがあり、これについては後述する。

磁場強度の単位にはテスラ (T)、ガウス (G)、ガンマ (γ) の三種類があるが、日本では

1991年に新計量法が適用され、日本工業規格（JIS）が国際（SI）単位系準拠となり、現在は国際単位系のテスラが用いられている。本論においても、今後磁場強度に言及する際にはテスラを用いる。なお、ほぼ $1\Gamma=10^{-4}$ 、 $1\gamma=10^{-9}$ であるが、遺跡の磁気探査にはナノテスラ（nT）が用いられているため $1\gamma=1\text{nT}$ と換算できる。

磁気を持つ全ての物質の磁場には必ず正と負が存在し、第 31 図で示すような磁力線をもつ。この最小単位を磁気双極子と呼び、理論的にはこの双極子の磁場の大きさは、双極子からの距離の 3 乗に逆比例する。しかし実際に磁気を帯びた物体は、磁気双極子の集合体と考えられるため、距離の 3 乗よりは緩い割合で減少することが多いようである（齋藤 1999a）。

地球の磁場は、同じ地球上であってもその測定場所により異なる。地球はおおよそ第 32 図で示すような主磁場を持つからである。南極付近から北極付近に向かって磁力線が伸びており、この模式図の磁力線からも明らかであるように、両極付近では磁力線の密度が大きいため磁場は強く、赤道付近では密度が小さいため磁場は弱くなるという特徴があり、後に述べる全磁力を測定する探査機器では測定数値が調査場所によって変化する。

第 33 図は 2010 年の地球磁場の全磁力の大きさを示したものであり、(a) はメルカトル図法、(b) は北半球を正距方位図法、(c) は南半球を正距方位図法で表したものである²。両極付近では 65000nT を超える磁場があるが、赤道付近では 35000nT 以下となっている。

また、地磁気は空間的だけでなく時間的にも変動する。短周期のものとして日周変化があり、これは一日を周期として地磁気に変化することを指す。これには上空の電離層が太陽放射により電流を発生させることが起因している。電流には必ず磁場が伴い、毎日 50nT 以下程度の振幅の地磁気の変化が観測されている。第 34 図の (a)、(b) は 2012 年の茨城県における地磁気の日周変化の例である。日周変化は日々同様に起こるものではなく、その変化にはややばらつきがある。

日周変化以外にも、時折磁気嵐と呼ばれる短期的な変化が観測される。こちらも主にフレアなどの太陽活動の影響を受けた電離層の電流に起因するものではあるが、その変化の振幅は大きい。第 35 図にその様子を示すが、磁気嵐が発生している状況下での磁気探査は非常に困難である。また、地磁気脈動と呼ばれる周期の短い磁場変化もあるが、その変化は磁気嵐が発生したときに顕著になる。

年周変化についてはこれまでその原因は解明されていなかった。しかし近年の研究により地中温度の変化により磁場が変動することが明らかになり、年周変化は一年の地中の温度変化に起因する可能性があることも指摘されている（西村他 2010）。

また永年変化は主磁場が数十年以上かけて緩やかに変化するもので、現在の日本では一年におおよそ 0.2 度ずつ偏角が西にずれている³。磁気探査においてこれはほとんど影響を与えないが、他の考古学的研究のための方法として、古地磁気年代測定法にこの磁気の性質が利用されている⁴。

第 2 項 磁化

常温で強磁性を示す物質は少ない。鉄、コバルト、ニッケルなど、またその酸化物などが強磁性体であるが、特に遺跡の磁気探査で見られるのはほとんどが鉄の化合物を含む岩石や土壌である。

強磁性体は外部から磁場を受けると、加えられた磁場の方向に磁化を帯び、その物質自体が磁石のような性質がある。これを誘導磁化という。

誘導磁化の特性を表した曲線は磁気ヒステリシス曲線と呼ばれ、これを第 36 図に示す。磁気ヒステリシス曲線は、横軸に強磁性体に加えた磁場の強さ H を、縦軸に強磁性体に生じた磁化の強さ M を表している。

磁化を持っていない O 点の強磁性物質に磁場を加えると、最初は加えられた磁場に比例して、 O から A に向かって直線的に増加していく。しかし A 点を過ぎてさらに磁場を増加させると、強磁性体の磁化の増加は次第に緩やかになり、最終的にはどれだけ強い磁場を加えても B 点で磁化は増加しなくなる。この B 点のときの磁化を飽和磁化という。

強磁性体が飽和磁化に達する前に磁場を加えるのをやめると、磁化は A から O に向かって直線的に減少していく。しかし、一度飽和磁化をもつと、その後に磁場を減少させても強磁性体の磁化は B から A 、 A から O という筋を辿らず、曲線を描いて C へと減少する。そして外部に全く磁場のない状態でも強磁性体に磁化が存在する状態となり、これを残留磁化という。

また、強磁性体の磁化を完全になくすには外部の磁場をこれまでとは逆方向に加える必要があり、 D 点で初めて強磁性体の磁化は 0 となる。この D 点における周囲の磁場の強さを保磁力という。強磁性体に磁場を加えた場合、この磁気ヒステリシス曲線のようにその磁化の強さが変化するのである。

同じ磁場を加えても物質によって発生する磁化の強さは異なり、これを帯磁率、あるいは磁化率というが、本論では帯磁率と呼ぶ。飽和磁化に達しない程度の比較的弱い磁場を強磁性体に加えた場合、発生した磁化の強さ M は、加えた磁場の強さ H に比例し、帯磁率 χ がその比例係数となって

$$M = \chi H$$

で与えられる。つまり同条件で磁場が加えられた場合、帯磁率の大きい物質ほど磁化も強く、岩石や鉱物によってそれらは異なる（第 37 図）。

帯磁率は上述したとおり物質に固有のものではあるが、その物質のおかれた環境等で異なる。ここでいう物質とは鉄のような元素や、あるいは組成や構造の定まった鉱物のことである。遺跡で見られる強磁性体のほとんどは岩石中、あるいは土壌中に含まれる鉄やそ

の化合物である。

例えば花崗岩の大部分は強磁性体ではなく、強磁性体はほんの数%含まれる程度である。またそれらは決して均質に含まれるわけでもない。そのため、ある花崗岩をサンプルとしてその帯磁率を測定したとしても、その数値をそのまま他の花崗岩の帯磁率として用いることはできない。さらに、理論的な単純計算を行うと、強磁性物質が0.5%含まれる花崗岩と、2%含まれる花崗岩とでは帯磁率に4倍の誤差が生じることとなる。そのため、岩石、土壌の帯磁率の違いはあくまで大まかな傾向として考える必要があるが、次に挙げる熱残留磁化を獲得していない遺構を対象とした磁気探査結果を解釈するときには看過すべきでない点である。

こうした誘導磁化では、周囲の磁場によって強磁性体の磁化の方向や強さが変化する。しかし、一度磁化してしまうと基本的にその方向の変わらない磁化が存在し、堆積残留磁化、熱残留磁化、化学残留磁化、その他落雷による磁化等、様々な要因でそのような不変の磁化は獲得される。これらの磁化の中でも、遺跡の探査に主に関わるものは堆積残留磁化、及び熱残留磁化である。

堆積残留磁化とは、強磁性体が水中で緩やかに堆積する際に得られる磁化のことである。例えば湖底にたまった堆積物の中に含まれる強磁性体は、地磁気によって誘導磁化を獲得する。しかし誘導磁化は、熱残留磁化とは異なり、常に周囲の磁場の方向に沿うものである。湖底表面、つまり水分を多量に含んだ堆積物の中にある状態では、強磁性体の粒子は自由に動くことができる。そのため、地磁気に変化がある限り、絶えずその影響を受けて粒子の方向も地磁気の方に合わせ変化している。

しかし時間とともに、上述した堆積物の上にも新たな堆積物が増えて表面を覆うようになり、これが繰り返されるともとの堆積物は圧縮されて水分が抜けてゆく。そうすると、たとえ地磁気の方に方向が変化したとしても、その中の強磁性体粒子は次第に方向を変えることができなくなっていくが、水分の抜ける際の緩やかな水流によって強磁性体粒子の磁化方向は地磁気の方に沿う。その後より圧縮されて水分がなくなると、地磁気の方に方向が変化したとしても強磁性体粒子は動けなくなり、直前の地磁気の方に固定されることになる。こうして獲得された堆積残留磁化は、次に述べる熱残留磁化と比較すると10分の1から100分の1程度とその強度は小さい。

熱残留磁化は、考古学的な磁気探査の中で最も顕著に表れる磁気異常の原因となっている。誘導磁化により、通常は遺跡の岩石・土壌に含まれる強磁性体は地磁気の影響を受けて磁化されている。しかしこれら強磁性体を熱すると、一定の温度でそれらは常磁性体へと変化する。このときの温度はキュリー温度と呼ばれ、強磁性体それぞれに特有のものである。

多くの物質のキュリー温度は600℃前後であり、少し加熱しただけではキュリー温度を超えない。しかし一度強磁性物質がこの温度を超え、後にこれらが冷却されキュリー温度を初めて下回ったとき、その時に周囲から加えられていた磁場と同方向の磁化を物質自身が

得る。このようにして得られた磁化を、熱残留磁化という。熱残留磁化は地磁気によって得られる誘導磁化よりもはるかに強い。またこの磁化は非常に優れた安定性をもっており、一度熱残留磁化を獲得した物質に対して周囲から磁場を加えてもその影響はほとんど受けないという特徴がある。

例えば地上で岩石に熱を加えると、その岩石内の強磁性体である鉄 Fe は同じく強磁性体であるヘマタイト Fe_2O_3 などの酸化物になる。強磁性体はその温度が上がるにつれ、徐々にその磁化を失っていく。これにさらに熱を加えてヘマタイトのキュリー温度である 675°C に達すると、そこで岩石に含まれていたヘマタイトは完全に磁化を失ってしまう。この後に岩石の温度がキュリー温度以下まで下がると、岩石に含まれる全てのヘマタイトは地磁気方向の熱残留磁化を得て、その岩石は非常に強い磁化を持つことになるのである。そのため、窯跡など一度高温になった遺構、遺物は、周囲の岩石や土壌とは異なった強い磁化を持ち、それが磁気異常として検知されるのである。

ただし、土壌の温度がキュリー温度に達することはなくとも、土壌が被熱した場合と被熱していない場合とでは磁気に相対的な差が現れる。 250°C 以上の被熱では、水底堆積した土壌や風化火山灰中のヘマタイトなどがマグネタイトに変化し、帯磁率や残留磁化強度が増加するために被熱土壌を特定できるとされている（森永 1999）。

実際に焚き火を行って、その際の土壌の温度変化に関する実験もこれまでに行われている。例えば、焚き火による土壌の温度変化で、そのときの残留磁化がどのように変化するかを明らかにするために、日本の旧石器土器時代の遺跡の炉址を想定して、直径約 2m の範囲で 9 時間ほど焚き火が行われ、その 1 日後におき炭を排除するまでおき火の状態が保たれた実験がある（森永他 1989）。この実験では、焚火を行った表土上面ではおよそ 400°C まで温度が上昇するが、表土下 2cm では 100°C 程度、表土下 10cm では 100°C に満たないことが明らかになっており、また上面においてもその温度が 300°C を超えるのは直径 40cm ほどであることも検証されている。

本実験では、焼けていない土壌の残留磁化と比較すると焼けた土壌の残留磁化にはいくつかの相違点が確認され、実際の遺跡から採集した試料からもその磁氣的性質の差が認められたようである。しかし、実際に遺跡で探査を行う場合には、地磁気の変化や周囲の岩石などの別の磁気異常が磁気ノイズとなるため、被熱した部分とそうでない部分の差を検出するのは難しく、磁気探査によって旧石器時代の炉址を推定することは困難だとされている（森永他 1989）。したがって、この実験結果によると、数時間程度の焚き火址では、時代に関わらず燃焼温度が低く、かつ小規模な範囲の被熱遺構を磁気探査によって推定することはほぼ不可能に近いといえる。

しかし一方で、上述した例よりもさらに長い、48 時間連続して行われた焚き火実験の例もある（稲田 1999）。直径 80cm の範囲で焚き火が行われたこの実験では、40 時間程度経過した地表面では 700°C を超え、その直下 2cm の深さでは 600°C 、4cm 下では 500°C 、10cm 下では 200°C を超えるという結果が得られている。また、焚き火を行った地点の地表面には

厚さ 1cm 弱の堅く焼き締まった土壌が遺されていた。実験中は断続的に燃焼が行われ、灰のかき出し等の行為があったことを考慮すれば、この実験の焚き火は縄文時代の地床炉に近いものと考えられている（稲田 1999）。

この実験結果から、焚き火の中心部の表面数 cm はほぼ間違いなく熱残留磁化を得ていたといえよう。もし仮に早い段階でこの被熱部の上部に他の物質が堆積すれば、被熱部の風化作用が抑えられるために熱残留磁化を獲得した強磁性体が残っていると考えらる。その場合は比較的小規模な炉址であっても、熱残留磁化を獲得した明確な磁気異常が認められるはずである。しかしその一方で、遺跡の地表面において現代の恒常的な焚き火址がある場合、それらは熱残留磁化を獲得するために、地中に埋没した遺構を探索する場合、あるいは地表面に露出した遺構を探索する場合でさえも、大きなノイズとなることに注意しなければならない。

第 3 項 磁気探査による遺跡調査

磁気探査に用いられる磁力計にはプロトン磁力計、オーバーハウザ磁力計、スキッド磁力計、セシウム磁力計、ルビジウム磁力計、フラックスゲート磁力計、その他様々なものがあるが、その中でも考古学の調査でこれまで主に用いられてきたものはプロトン磁力計、フラックスゲート磁力計である。

プロトン磁力計とはその名のとおり水素原子核の陽子を用いた磁力計である。プロトンは外部の磁場に対して軸の向きをそろえる性質をもっている。ある場所の磁場の方向にそろったプロトンに、電流によって別の磁場を与えると、プロトンはその場所の磁場と電流による磁場の合成された磁場にそろうことになる。この後に電流を急に遮断すると、プロトンはもとの磁場の向きを軸として歳差運動を始める。この歳差運動によって新たに誘導磁場が生じるが、これはその場所の磁場の全磁力に比例するため、この磁場を測定することで、求める地点の全磁力を測定することができるのである。

一方フラックスゲート磁力計は 2 点のコイルを用いて磁場によって電流に与えられる影響を利用した磁力計である。一次コイルに電流を流すと、外部に磁場のない状態では二次コイルには一次コイルと正負対称の波形をもつ電力が生じる。しかし外部磁場を加えると、その影響により二次コイルに生じる電力の波形にずれが生じる。これを測定することで、外部から与えられた磁場の強さを知ることができる。プロトン磁力計とは異なり、磁場の各成分方向にコイル軸の方向を合わせると、その成分のみの強さを測定することができるため、磁場の 3 成分それぞれを測定することができる。

測定する磁場以外にもこれらには違いがある。全磁力を有効探索深度はプロトン磁力計が地下 3m 程度、フラックスゲート磁力計が 1.5m 程度で、プロトン磁力計の方が地中深くの磁気異常を捉えることができる⁵。しかしながら、フラックスゲート磁力計にはプロトン

磁力計より計測に必要な時間が短く、機器によっては非常に小型で実際の探査が簡便である。実際の探査では、基本的にはプロトン磁力計では探査区内に等間隔に設定した測定点において点的に測定を行い、フラックスゲート磁力計では等間隔に設定した測線上を連続的に測定する。またプロトン磁力計と比較すると、フラックスゲート磁力計は地磁気の日周変化などの周囲の環境の変化による磁気の変動を受けにくく、磁気異常を示す強磁性体の形状をより把握しやすいという利点もある。近年では、より分解能の高いセシウム磁力計の有用性も再評価されつつあり、西アジアを含め、多くの遺跡の探査に用いられている。しかし、他の測定機器と比較した場合、セシウム磁力計は測定機器が他の磁力計よりも高額であるという点や、また、分解能の高さゆえの探査時の人為的誤差を含む測定値の安定性の問題等に対処するために他の機器と比較するとより大型となるという点においてデメリットがある。そのため、調査対象の磁気異常の大きさを考慮するというよりも、むしろ遺跡における取り運びの利便性や、機器の手に入れやすさといった点から、これらの機器は使い分けられている。

第 5 章で述べる磁気探査で筆者が用いた測定器はフラックスゲートグラジオメーター磁力計である。磁気異常とはそもそも観測値から標準値を差し引いたものとして定義されるが、遺跡の探査において、仮に遺跡の深度よりもさらに深部に地質学的異常がある場合、これらも磁気異常として測定されることになる。しかし、測定器の磁気計測部を鉛直に 2 点設置し、それらの差を求めることで地中深くの異常を取り除くことができる。このように上下方向の差を測定する装置がグラジオメーターである。

磁気探査を行いその探査結果を解釈する上で、磁気異常の基本的な表れ方を知っておく必要がある。第 38 図は地下の強磁性体が地磁気による誘導磁化を獲得すると考えた場合の模式図であり、磁北を通る鉛直断面を示している。物体の北側では地磁気のみ磁力線の方向と、誘導磁場の磁力線の方向とが反対になっており、地表面では相反した状態になっている。実際に探査で測定できる磁場の強さはこれらの和であるが、ここでは相互に打ち消し合っているために、磁場は地下に強磁性体がない場合よりも小さくなり、強磁性体の南側では逆になる。

磁気異常パターンが平面的にどのように表れるかをシミュレートされたものが第 39 図である（亀井 2000）。第 39 図 (a) のように地表下 1m に埋まっている花崗岩を、地表面上でグラジオメーターを用いて様々な条件で測定したと仮定した場合のシミュレーション結果である。(b) は日本付近の地磁気下で全磁力を測定したもの、つまり多くの磁気探査で用いられているプロトン磁力計で測定した場合の結果を示し、(c) は鉛直成分、こちらも一般的に用いられるフラックスゲート磁力計で測定した場合の結果である。また、測定地の緯度によって鉛直成分の測定結果にみられる変化もシミュレーションされている。(d) は赤道上を、(e) はロンドン周辺を、(f) は磁北極を測定した場合の結果である。

先述したとおり、強磁性体の磁場は理論的には双極子の形状をなすが、実際にはそれを見ることのできるものは赤道上の例のみであり、緯度が大きくなるにつれて、双極子状パ

ターンは崩れてゆく。日本とほぼ同緯度の西アジアで探査をする場合は正の異常のみならず、負の異常も考慮すべきであるが、より緯度の大きい地域では、ほぼ正の影響のみを見れば、磁性体の中心を推定できることが分かる。

しかし、熱残留磁化を帯びた物質はその残留磁化を獲得した時点での磁場の方向を保っておりこのような誘導磁化は得ない。そのため、大きく地磁気の方角に変動がみられる場合は上述したとおりに磁気異常が現れるわけではないことに留意する必要があるが、磁気探査においては基本的に双極子状の正負の磁気異常パターンに注目して遺構の存在の可能性を考える。

また、上述したように地磁気は常に変動しているため（第 34 図）、長時間をかけて磁気探査を行う場合はその変動に対応しなければならない。一般的には探査地周辺に基準点を設け、時間ごとにその定点で磁気を測定して差を補正する必要がある。

集落遺跡における磁気探査では、帯磁率の差から生じる磁気異常が最も重要であり、土坑や溝、また壁などの遺構の存在する地点で認められる磁気異常のほとんどがこれに由来している。たとえば筆者が日本の貝塚遺跡で行った磁気探査事例でもこれに起因する正の異常が顕著に認められており、後の発掘調査において、その異常の認められた地点で貝層や土坑が検出されている（美浦村教育委員会 2014）。土坑や溝などのある地点で正の磁気異常が認められる一方で、西アジアにおいて建築遺構の材料として用いられるものは、石灰岩を主とした石や泥、あるいは泥レンガである。これらは被熱していない限り、周囲の堆積土と比較した際の帯磁率は通常の土壌よりも小さく、多くの場合、建築遺構からは負の微弱な磁気異常が認められる。ただしこれらは理論的なものであり、周囲の土壌の状況や遺構の建材等、様々な要素次第でこれらは変化するため、その点において注意が必要である。

また、一般的な土壌にも帯磁率が存在し磁気を発しているため（第 37 図）、磁気探査の目的となる対象物の深度は地表面から浅いほど好ましい。被熱していない遺構に関しては、基本的には遺構を構成している材質、あるいは遺構覆土と周辺土壌と帯磁率の差から発生する磁気異常である。当然のことながら探査地の土壌や対象物、またその規模によってこれは左右されるため、正確な探査可能深度を決定することはできない。しかし、表土層が与える磁気異常の影響についての現場における実験も行われており、例えば、紀元前 300 年から 75 年頃のフランスの後期ラ・テーヌ文化の墳墓で実施された調査において（第 40 図）、表土を取り払う前後に実施された磁気探査結果を比較した際、表土を剥いだ後に行われた探査結果の方では（第 45 図 b）、円形の磁気異常（①）及びその中心の磁気異常（②）がより明確になっており、発掘調査によって、この円形の異常の地点から石で囲まれた円形の墳墓が検出され、中心部からはフィブラが発見されている（von del Osten- Woldenburg et al. 2002）。

この他にも、同一遺跡内において、地表面上で行われた磁気探査結果と表土を剥いだ後に行われた探査結果から、数十 cm の土壌堆積でさえ探査結果に大きな差異が見られるとい

う実証結果が得られており (von del Osten・Woldenburg et al. 2006, 亀井他 1991)、遺構の構成材質や覆土の帯磁率の差異から生じる誘導磁化の差を磁気異常として捉える場合、先に挙げた土坑などの例なども含め、地表下 1m 程度が推定可能な深度の限界であるといえよう。

一方、窯跡などの熱残留磁化を帯びた施設については、より地表面から深い地点に存在する対象物に起因する磁気異常も明確に検知することが可能である。磁気異常の減衰パターンのシミュレーション、さらに須恵器窯址から実際に得られた磁気異常と埋没深度との関係から、磁気探査は地表下 1.5m 程度まで可能であるというデータも出ている。(第 41, 42 図)。

ただし、これらの検証で得られた数値はあくまで周囲にノイズとなる異物がない場合で、鉄製品を中心とする強磁性体で構成される物質などが周囲にある場合はその限りではない。現代の建造物のある場所においては、その周囲数メートル離れた地点でさえも、微弱な磁気異常は全て検知することができず、遺構の存在や位置の推定は非常に困難となる (辰巳 2014a)。

一般に、磁気探査は鉄製品や被熱遺構の探査に最も効果を発揮することが知られている。しかし、ここまでの磁気探査の原理を踏まえて明らかであるように、状況によっては、鉄製品や被熱遺構だけではなく、探査対象と周辺土壤に磁氣的性質の差があれば、そうした探査対象にも有効であるといえる。西アジアを含めた日本以外の地域では、むしろそうした土壤や建材の磁氣的性質の差を見出せることから、地中の考古学的特徴を推定するために磁気探査は用いられている。

また、磁気探査の場合には探査対象物の性質のみが地中の推定が可能であるかといった有効性の要因となるのではなく、その深度や周辺環境も地中構造の推定に大きな影響を与え、探査ノイズの原因、あるいは解釈の際の重要な要素として、無視できないものとなる。さらに、実際に探査を行う際には、磁気異常の距離が大きくなるにつれ異常は小さくなるため、地表面から探査機器の距離を一定にする必要や、また磁化の方向性から、磁北を基本とした一定の方位に検出機器を固定する必要もある。こうした観点から、探査が困難な地形であるほど、誤差が大きくなりやすいという問題にも留意しなければならない。これらは探査を行う際の調査者にとっての探査の行いやすさといった探査環境や、調査者の技術、また選択された手法などが大きく影響する。そのため、正確には、これらの点の相互の関わり合いを考慮した上で、磁気探査が調査対象遺跡において地中の推定に可能であるかを検討するべきである。

第3節 地中レーダー探査の原理と遺跡調査への利用

本節では、第2節で磁気探査について述べたのと同様に、地中レーダー探査の原理や実際の調査における地中の推定方法等について詳細に述べる。

なお、本節の第1-3項までの地中レーダー探査の原理等に関しては、主に『物理探査ハンドブック3』（物理探査学会 1998c: 401-421）及び『文化財探査とその手法』の「地中レーダー探査」（荒井他 1999）を参照している。

第1項 地中における電磁波の伝達

地中レーダー探査は、地表面に設置したアンテナから電磁波を地中に向けて放射し、地下の物質に反射した電磁波をアンテナで受信することで地中の状況を推定する物理探査法である。

この電磁波が伝達する速度は媒質の導電率、誘電率、透磁率によって決定する。ただし、海水などの導電率の極端に高い場合を除けば、導電率はほぼ無視することができる。また、土壌や岩石、水など非磁性物質と呼ばれる常磁性及び反磁性物質の比透磁率も1に近く、真空の透磁率にほぼ等しい。

そのため、地中レーダー探査での電磁波速度は、比誘電率にのみ依存する。土壌や地中に埋蔵している媒質の比誘電率を ϵ_r 、真空中の光速を c とすると、電磁波速度 v は

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

で与えられる。

この原理を利用し、送信アンテナが電磁波を放射し、反射波が受信アンテナに到達するまでの時間を計測することで、電磁波を放射して反射波が返ってくるまでの時間を τ とすると、反射面の深度 d は

$$d = \frac{v\tau}{2}$$

として計算上推定することができる。

第 2 項 電磁波の反射

例えば振幅 1 の電磁波が比誘電率 ϵ_1 の媒質と比誘電率 ϵ_2 の媒質の、異なる媒質の境界面で反射する際、反射波の振幅 Γ は次式で与えられる。

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

電磁波が反射する原因は地中に比誘電率の異なる物質が存在するためであり、比誘電率の差が反射波の大きさを決定し、反射波が大きいほど検出が容易となる。金属などの導体は全反射するためにそれが顕著であり、遺構や遺物など土壌とは性質の異なるものでも反射し、また土壌に含まれる水分率が比誘電率を定める大きな要因となる（第 4 表）。土壌に関してのみえば、比誘電率は岩石学的な組成の差異よりも、土壌の水分含有率の差異が大きく影響している。

そのため、周囲の土壌と比較して水分率に変化があるような、土を踏み固めるなどして圧密を与えた床面をもつ遺構、岩体と土壌の境界面、土壌の水分率分布の違い、さらにその他地下の空洞部なども検出することができる。

第 3 項 電磁波の周波数別の性質

電磁波は地中を伝達する際に減衰を受け、この電磁波の減衰は周波数が高くなるほど大きくなる。そのため、低い周波数の電磁波を用いて探査を行うことによって、より地表深くまで電磁波は到達し、反射波を受信することができる。一方で、電磁波の波長が長ければ、規模の小さな反射体を識別することができないため、波長が短いほど探査の分解能は向上する。

周波数と波長は反比例の関係にあるため、探査深度と分解能両者の性能を兼ね備えることはできない（第 5 表）。また、電磁波の波長はアンテナの長さに比例しており、波長の長い、つまり周波数の小さいアンテナほどアンテナは大きくなることも探査を行う上で重要となる。

したがって、地中の情報を可能な限り取得しようとするのならば、低周波から高周波までの中心周波数の異なるアンテナを用意し、全てのアンテナで探査を行うべきである。そうすることで、より詳細かつ探査距離の大きい情報を獲得することができる。しかしこれに費やされる時間や労力を考慮すると現実的ではない。そのため、地中レーダー探査を行う際には、その使用するアンテナを選択する際、探査目的に応じて探査深度をとるか、あ

るいは探査分解能をとるか、探査目的に応じて決定する必要がある。

第4項 地中レーダー探査による遺跡調査

現在行われている地中レーダー探査のほとんどは、地表面上でアンテナを地表面に水平に移動させながら電磁波を送受信し、その機器の走査測線の直下を中心とした放射状の範囲のデータを連続的に取得する方法がとられている。ここ数年で、3DGPR と呼ばれるアンテナの位置情報を正確に計測するシステムが開発されているが（佐藤・高橋 2013, Novo 2008）、コストの問題等もあり、十分に普及していない。そのため、一般的には走査前に探査区に格子状のグリッドを設定し、その軸に平行、また直交した測線上を走査する方法で探査が行われている。また、アンテナと地表面の距離が離れると、その分両者の間隙の空气中で電磁波の大きな減衰が起こるため、できる限り地表に近い位置で測定を行うことが望ましい。

このように測線上を走査して得られた反射波の大きさと伝達時間の数値データは、コンピュータ上で図化することによって視覚的な探査結果の解釈が容易となる疑似断面図が作成される。また、この測線データを平行して何本も取得し、それらの断面データを一定の電磁波の伝達時間で水平に切ることによって、その疑似的な深度のタイムスライスと呼ばれる疑似平面図を作成することができる。

タイムスライスを送信アンテナから受信アンテナまで反射波が到達する時間を計算してそれを時間毎に区切ったものであり、アンテナの設置されている地点からの深度を表したもので、実際のレベルとは異なる。起伏の激しい遺跡の場合、地形に合わせてアンテナのレベルを設定して三次元化し、タイムスライスをより実際のレベルに近づける必要がある。しかし、本論で取り扱う遺跡は西アジアのテル型遺跡であり、基本的に頂上部は平坦、あるいはなだらかな斜面という地形であるため、本研究では行わない。

取得データの一例として、竪穴住居の位置を推定するために実施した茨城県美浦村陸平貝塚遺跡の地中レーダー探査で得られた結果について取り上げる。この調査では、それまでの調査で設定された調査軸にしたがって探査区に X 軸・Y 軸を設定し、測線間隔を 25cm として Y 軸に平行する各測線 L 上で 500MHz アンテナを走査し、合計 81 本の測線データを取得した（第 43 図）。

地中レーダー探査によって得られたタイムスライスの一部を第 44 図に、また各測線上の走査で得られた疑似断面図の一部を第 45 図に示す。各タイムスライスでは反射の大きさを寒暖色のスケールで示し、各疑似断面図ではグレースケールで示している。

各タイムスライスの左部 Y 軸及び上部 X 軸、また各疑似断面図の上部 Y 軸及び測線名に記した X 値は、第 45 図の探査区と同座標を示している。また疑似断面図の右軸は電磁波の伝達時間、左軸は地表面からの深度を示している。本遺跡における電磁波伝達速度はおお

よそ 0.07m/ns であり、タイムスライス及び疑似断面図の深度はこの伝達速度から割り出している。

探査結果は、反射波の平面規模や断面形からいくつかの種類に分類できる。地表直下から地表下 100cm 程度までの深度で、探査区北東隅に明確な反射面を形成していない反射が認められる（第 44 図、第 45 図 L00）。小規模な反射体は疑似断面図では逆 V 字型に近いハイパボラと呼ばれる形で表れ、またある程度の面的な広がりを持つ反射面は直線的な形で表れる。この反射面が定型的または明確な底面も存在しないにもかかわらず地中深くまで何度も認められるため、周囲の土壌とは異なる細かい堆積物が連続的に存在していると推定でき、貝層のような堆積物の差によるものとみなした。これまでのその他の貝層の分布調査や磁気探査結果においてもこの地点に貝層が分布していることが一部で確認され、また推定できており（美浦村教育委員会 2010, 辰巳 2014b）、この反射は貝層によるものとしてほぼ間違いないといえる。

また、X=15-19、Y=4-8、深度 60cm 程度の地点（第 44 図、第 45 図 L67）、及び X=7-11、Y=5-9、深度 80cm 程度の地点（第 44 図、第 45 図 L32・36）において、平面規模が 4m 四方程度の断面形が平坦面を呈する、顕著な反射群が認められ、それぞれ住居底面として推定した。試掘調査の結果からも同一地点、深度から住居が検出されている（辰巳 2016b）。

このように、測線に沿わせて探査を行い、疑似断面図とタイムスライスのデータから反射の規模や深度を推定する方法が探査法として一般的である。その際の測線間隔は、アンテナの分解能を超えない限り、狭い方が分解能は高いが、その分探査時間がかかるため、これも調査目的に合わせて決定する。

考古学に応用される地中レーダー探査には、上述した周波数による探査深度、探査分解能の面から、おおよそ 100MHz から 1GHz を中心周波数としたアンテナが用いられており、多くの遺跡ではこれらは 6m から数十 cm 程度の有効探査深度が得られている。つまり、地中深くに存在と考えられる大規模構造物から、地表面や表土直下の平面規模の小さな遺構や遺物などまで推定することができる。上述したとおり、地中深くまで高分解能で探査することが可能なアンテナは存在しない。そのため、一遺跡においても、比較的表表面から浅い深度の構造物とその構造物に関わる敷地整備のためのより深度の深い基礎工事跡の推定などといった、探査対象が多岐にわたる場合は周波数の異なるアンテナを用いることも必要である。

筆者が栃木県佐野市に所在する唐沢山城御台所跡で行った地中レーダー探査の結果を平面図化したものを第 46 図に示す。この図では暖色系の部分ほど反射の大きい地点を示しており、図の南半分壁の基礎部と推定した反射や石垣によるものと推定した反射などが明確になっている。特に、図中 A、B の一連の反射の大きい部分は石垣が存在していることを示しており、このうち A は 100MHz アンテナを用いた探査結果によるもので、B は 500MHz アンテナを用いたものである。これらを比較すると、B を用いたものの方がより詳細に平面的に示すことができている。

また、100MHz アンテナで探査を実施した C で示した南北に延びる部分には地表下 6m 程度までほとんど顕著な反射波が見られないことに対して、その周辺では盛土と推定できる反射が地表下 1m から 2m 程度まで認められており、当時の道路の痕跡が推定される。この地点では発掘調査は行われていないものの、当時のこの周辺を記録した絵地図によるとこの部分に道路があったことが確認できており、地中レーダー探査成果が裏付けられている。500MHz アンテナを用いた探査で捉えられる電磁波の反射は、この遺跡では最大でも地表下 1.2m 程度の深度の反射までであり（辰巳 2016a）、このような深度まで探査を行うことは不可能である。このように、それぞれの周波数の長所を活用して探査対象に適した探査が行われる必要がある。

地中レーダー探査は、先の磁気探査と比較すると原理的に探査のノイズとなるものは少ない。しかしながら、土壌の乾湿状態によって、電磁波の到達深度や受信する反射波の大きさが変化するため、探査時の土壌の状態が探査結果に大きく影響を与えることになる（第 4 表）。特に、様々な土壌が堆積している場合、土壌が水分を含んでいる状態ではその土層の境界面からの大きい反射波を受け取るようになるが、土壌が乾燥している状態ではそのような反射波は比較的小さくなる。つまり、湿潤な状態では土層の違いが顕著に表れるため、土坑や圧密を受けた住居面などの探査を目的とした探査には適しているが、一方で石や礫の分布状態の推定を目的とした場合は、地表面からの攪乱坑を含む小さな土坑などがノイズとなる。反対に、土壌が乾燥している状態では土層の差異を推定することは難しくなるが、石や礫の分布状態の推定には適しているといえよう。そのため、地域によって地中レーダー探査が有効となる遺構の性質が異なる点を十分に考慮する必要がある。

また、土壌の乾湿状態は電磁波の地中伝達速度にも大きく影響する。例えば筆者がこれまで実施した日本における地中レーダー探査では、電磁波の伝達速度は 0.05-0.08m/ns の範囲に収まるが（e.g. 辰巳 2016a）、第 5 章で実例を挙げるように、本論で研究対象となる西アジアではその伝達速度は 0.1m/ns を超える程度となる。また、対象時期や探査環境が異なっているため、第 4 章での比較検討対象としては取り上げないが、「肥沃な三日月地帯」に囲まれるシリア沙漠に位置するパルミラ遺跡では、さらに土壌が乾燥しているために電磁波の伝達速度は 0.15m/ns を超える結果が出ている（Sakayama 1994: 121）。

さらに、樹木など大きな植物が多く存在している場所では、その根からの反射波を受信してしまい、考古学的な探査の多くの場合、これらはノイズとなってしまう。そのみならず、本来ならばアンテナを地表面に密着、あるいは水平に一定の距離を保って正確に測線上を移動するべきであるにもかかわらず、樹木が平面的な移動の妨げになることや、根の周辺の隆起によって形成される地表面の凹凸により、三次元的な正確な測定の見え方にもなる。そのため、原理の問題だけでなく、アンテナを移動させるという側面での探査環境も、探査の成果に大きく影響を与えることに留意しなければならない。

第4節 探査法の有用性を検討するための比較基準

西アジアにおける最適な探査法を検討するために、ここまでその原理と探査時の問題について述べてきた。その原理からも明らかであるように、磁気探査、地中レーダー探査では、様々な要因や地中の異物が磁気異常を生じさせ、あるいは電磁波の反射、減衰を引き起こす。

遺跡の探査について研究する際、磁気探査においては遺構による磁気異常の大きさが、また地中レーダー探査においては反射波の強度が着目され、その数値データに基づいて、物理探査の適性が判断されることが多い(本章第2・3節)。しかしながら、遺跡によって、地中の堆積物や堆積状況はひとつとして全く同じものは存在せず、そのような観点のみからでは、「現場」としての物理探査の信頼性は判断できない。モデルとしてその情報は有用であるが、それは他の遺跡には適用されない。さらに言えば、一遺跡内でも地表面、地中の状況が異なれば他の範囲にも適用されない。特に、本章2節及び3節で示したように、各探査の原理から考えられるノイズなどの問題以外に、実際の測定時の問題も大きい。磁気探査では地表面の凹凸などの数十cm程度の細かい凹凸などの起伏や、また地中レーダー探査においてはこれに加えて地表面の状態や樹木の根などが、ノイズの大きな要因となることは先述している。このような探査環境については遺跡の探査報告としてはほとんど言及されない部分ではあったが、探査の有効性を検討する際にはこれらを見捨てることはできない。

このように遺跡の探査が「現場」であることを踏まえ、また第2章3節で示したような報告者によって言及されない部分の不透明性に対処するため、本論では以下のように大きく3つの比較基準を設定し、探査の有効性について追及したい。

1. 探査法

磁気探査及び地中レーダー探査による遺跡探査の報告を扱う上で、これらについてより細分し、どのような手法、また機器を用いたかを明示する。例えば磁気探査にはプロトン、セシウム、フラックスゲートなど、用いる機器によってその性能はやや異なる。また、全磁力計を用いて全磁力を測定する方法と、磁気傾度計を用いて周囲との磁場の差異を測定する方法がある。地中レーダー探査においても、用いるアンテナによってその探査精度や深度などが異なるためである。また、これらの物理探査は基本的に一定の測定間隔をもって磁気異常の測定、あるいは電磁波の送受信を行う。その際の測定点の間隔や測線間隔は探査結果の分解能に関わるため、重要視する必要がある。

2. 地下構造物の性質

探査対象となる地下構造物の性質によって、探査成果が大きく異なることは先にも触れ

ている。探査対象となった遺跡で発掘調査が行われている場合は、探査で推定されたものに相当する地下構造物の規模や材質に言及するのは当然のことながら、発掘調査が行われていない場合でも、それに相当するであろう周辺遺跡の類似構造物を参考に言及する。

3. 探査環境

遺跡の立地状況や土壌の性質、また探査時の天候にも注目する。さらに、探査を実施する上で問題となる地表面の状態や、機器の操作に関わる遮蔽物の有無、また周辺の障害物やゴミの状況などにも言及する。

これらの情報を考慮して、各遺跡調査の物理探査の有効性を検討する。報告者によって示された成果に関してその精度や信頼性について論じることに加え、地下構造物の性質や探査環境を踏まえた上で、報告対象とならなかった部分の探査結果、またその他の地中構造物の存在の可能性について検討する。これらを統括して、探査対象となった遺跡において、用いられた探査法で、推定が可能な遺構と不可能な遺構を明確に区別する。

これまでの物理探査の報告例では、それぞれ記載されている情報量に差異があり、基本的な探査法と探査結果のみが報告されている例が多い。そのような事例ではここで掲げた留意点について検討することはできないが、そういった場合は可能な限り周辺情報からそれらを補填することにした。

註

- 1 このような作用による地磁気発生、維持の原理はダイナモ理論と呼ばれ、地磁気の変動にも影響を与えていると考えられる（佐藤 1999, 浜野他 2005）。
- 2 地球の磁場は、世界各地の地磁気観測所等で収集されたデータをもとに作成された国際標準地球磁場（IGRF: International Geomagnetic Reference Field）に定められている。
- 3 この値は地磁気観測所の観測データに基づく。
- 4 現在ではこの手法が考古学の実際の年代推定に用いられることは少ないが、考古古地磁気学として磁気による年代測定、地磁気の詳細な変化や年代補完に関する研究においては現在でも多く行われている（e.g. 中村他 2006, 酒井他 2009）。
- 5 各機器の有効探査深度はあくまで目安であり、磁気異常を検出したい対象となる遺構、遺物や周囲の環境によって大きく異なることに留意する必要がある。

第 4 章

調査事例に基づく物理探査法の適性に関する検討

本章では、これまでに西アジア各地の遺跡で行われた磁気探査及び地中レーダー探査の結果を取り上げ、その成果を第 3 章 4 節で設けた項目に着目して比較する。これらの項目を満たすことができる報告を中心に探査の有効性を比較するが、その資料数は現段階では限られている。また、発掘調査によって検出された遺構と照合できる例も多くはない。そのため、調査概要程度の報告も可能な限り参考にしながら、西アジアの遺跡に対する最適な探査成果について探求していきたい。

第 1 節では磁気探査について、また第 2 節では地中レーダー探査について、集落内の構造を把握すること、あるいは集落全体の地下を推定することを目的として、遺跡の広域を対象として物理探査の実施された遺跡毎にそれぞれ項を設け、その内容を比較及び評価する。なお、比較可能である探査に関する情報が少ない事例や、集落全体の構造ではなく特定の遺構の検知を目的としたものに関しては、別途まとめて取り上げる。本章で取り上げた西アジアの遺跡の位置は第 47 図に示す。

第 1 節 磁気探査

磁気探査は、西アジアで最も多く利用されている物理探査法である。ここでは、新石器時代から鉄器時代までの居住層を対象として実施された探査事例を、主に時代ごとに項を設けて検討する。

第 1 項 新石器時代

キルベト・ベジ遺跡 (Khirbet Bezi)

1. 遺跡の概要

キルベト・ベジ遺跡は、現在のシリア北東部、ハブール川流域に位置する遺跡である。遺跡の比高差は 2m 程度、平面規模はおおよそ 1ha と考えられている小規模のなだらかな傾斜のテル型遺跡である。遺跡の地表面からはハラフ期の土器が採集されているが、発掘調査は行われていない。

遺跡周辺の地域では、大規模な遺跡分布調査及び遺物の表面採集調査が行われており、銅石器時代からヘレニズム時代までの遺構が発掘調査によって確認されているテル・アルビド遺跡 (Tell Arbid) の他に (e.g. Bieliński 1996)、その西側に隣接するテル・アルビド遺跡西丘、ハラフ期を中心とした新石器時代から青銅器時代、鉄器時代などの遺物が採集されたテル・アルビド・アビヤド遺跡 (Tell Arbid Abyad)、また、新石器時代、青銅器時代、鉄器時代の遺物が採集されたキルベト・シャネ遺跡 (Khirbet Shane) といった、比高差の小さい数 ha 程度の平面規模のテル型遺跡が確認された (Menze et al. 2007)。キルベト・ベジ遺跡もこの調査によって確認された遺跡であるが、テル・アルビド遺跡以外では発掘調査は行われていない。

2. 磁気探査の概要

テル・アルビド遺跡西丘、分布調査で確認されたテル・アルビド・アビヤド遺跡、キルベト・シャネ遺跡、そしてキルベト・ベジ遺跡、これら全ての遺跡全面において、ハラフ期の遺構の調査を主目的として 2008 年にシリア・ポーランド・チェコ合同調査隊によって磁気探査が実施された (第 48 図)。本項中の磁気探査の概要、及び結果については、特に本項中で言及をしていない限り、調査者による報告 (Mateiciucova et al. 2009) にすべて基づく。探査の手法は以下のとおりである。

使用機器：セシウム磁力傾度計

測線方向：不明

測線間隔：100cm

測線上データ測定間隔：15cm

探査時期：8月25日 - 9月4日

その他の探査環境については記載されていないが、探査日時から、土壌は乾燥しており、また耕作地が広がっていたとされる。

3. 磁気探査成果

報告されている磁気異常平面分布図はキルベト・ベジ遺跡のみであり（第49図）、詳細な分析方法や解釈の理由については述べられていない。また、報告されている限りその他の遺跡における探査結果については、ハラフ期を対象とした考古学的な成果は得られなかったようである。

キルベト・ベジ遺跡における磁気探査の結果、相対的に-3nTから6nT程度の範囲で異常が認められたようである。遺跡を中心とした4haの探査範囲のうち、遺跡の中央から西側にかけて考古学的な磁気異常が認められ、4基の住居遺構の可能性のある磁気異常が見つかったとされている。また、東側には河岸段丘が存在していたと解釈されている。

テル・アルビド遺跡西丘では、直径1mから5mほどの円形、あるいは楕円形の平面形の異常が5nTから20nTの相対値で80箇所認められたようである。しかし、このような磁気異常は以前にテル・アルビド遺跡の発掘調査で検出されたヘレニズム期の土坑の磁気異常（本章第2項）と類似しているようで、より古い遺構に関すると思われる磁気異常については確認されていない。

キルベト・シャネ遺跡では、テル・アビヤド遺跡西丘で認められたものと同様の磁気異常が検出された他は、現在の耕作地の痕跡のみで、テル・アルビド・アビヤド遺跡においても、現代の耕作痕などに関する磁気異常のみで、考古学的な遺構に関する異常は認められなかったようである。

以上の結果から、この地域における物理探査には地表面の耕作地の影響が大きな問題として立ちはだかつており、遺構を明確に推定することは困難だとしている。

4. 探査法・成果の検討

本探査で明確な遺構のプランの推定に至らなかった理由としては、調査者が述べているとおり、耕作地の問題が最も大きいと考えられる。畝や耕作機の痕が広がっている地表面での磁気探査は土壌に含まれる強磁性体の量が耕作痕や畝の凹凸によって変化し、かつ地表面からの機器の位置が一定しないため、この影響が直接的に磁気異常分布図に表れる。そのため、地中に比較的規模の大きい被熱遺構が存在していない限り、遺構のプランの推定どころか存在の推定すら難しいと考えられる。

また、何層にも遺構が重なっている場合、より下層の遺構の磁気異常のみを検出することは不可能であるため、異常の分布範囲から遺跡規模を推定することはできるものの、やはりプランを推定することは困難である。

そのため、今回のように、既に地表面から目的とする時期より新しい時期の遺物が採集できる場合には、そもそも磁気探査は適さず、タイムスライスとして深度毎に考古学的特徴を捉えることのできる地中レーダー探査を用いるべきであるといえる。地表面の状態等は明らかではないが、報告されている事実から推察する限り、テル・アルビド遺跡西丘やキルベト・シャネ遺跡においてハラフ期を対象とした探査を行うならば、下層の遺構がヘレニズム期の土坑に破壊されていない限り、磁気探査でなく地中レーダー探査の方が適している。

地中レーダー探査でも、周波数の高いアンテナを用いて地表面に凹凸がある場所を探査することは、電磁波の減衰の問題があり困難であるが、周波数の低いアンテナであればやはり地表面付近の深度におけるノイズは大きいものの、他の機器や手法と比較して探査で良好な成果を得られる可能性があると思われる。

また、ハラフ期の遺構のプランを推定対象とする際、遺構の壁厚が 1m を超えることは稀であるため、より狭い測線間隔で探査を行う必要がある。大まかな遺構の分布を調査する上で、測線間隔を大きくすることは探査速度の面で利点があるが、集落内構造を推定するという観点からすれば、分解能が低いといわざるを得ない。第 49 図では、住居遺構と考えられている磁気異常がどの部分を指しているかは明確ではないため、その点について指摘することはできない。しかし、第 49 図及び異常値の範囲から判断する限り、耕作地の影響は数 nT 程度しかないように見られ、何らかの異常が探査区の中央部から北西部に広がっていることは明らかである。キルベト・ベジ遺跡の探査では、測線間隔を狭くすればより明瞭に考古学的な磁気異常が確認できると思われる。

第 2 項 青銅器時代

テル・アルビド遺跡 (Tell Arbid)

1. 遺跡の概要

テル・アルビド遺跡は現在のシリア北東部、ハブール川流域に位置する遺跡で、前項のテル・アビヤド西丘に隣接するテル型遺跡である (第 47 図)。テルの規模としては、面積が 16ha、比高差 30m を測る。本遺跡の発掘調査は 1996 年から 2010 年にかけて、主にシリア・ポーランド合同調査隊によって行われた。テルの最下文化層はまだ明らかではなく、土器新石器時代までさかのぼるとも考えられているが、少なくとも紀元前三千年紀初頭から紀元前二千年紀中頃まで、前期青銅器時代から中期青銅器時代の間主に居住されている

たことが明らかになっている。また、その当時の下街の存在や規模はまだ明らかにはなっていないが、テルの西裾に広がる平坦部からはヘレニズム時代の遺構も検出されている (e.g. Bieliński 2002)。

青銅器時代の遺構は、一部が上層の遺構に破壊されているものの比較的残存状態がよく、表土直下から地表下 50cm 程度の深度で広く検出されている。一部の遺構の床面には礫やレンガのタイルが敷かれているが、神殿などの大型建造物を除けば、ほとんどの建築遺構は泥レンガを建材としており、2 列から 3 列に泥レンガを並べた壁幅 1m 程度の矩形の複合住居である (e.g. Bieliński 1996)。

2. 磁気探査の概要

本遺跡はその規模から全面を発掘することは困難であり、それに代わってテルの周辺を含めた青銅器時代の居住層の範囲や、頂上部の遺構の位置の推定を行うための磁気探査の試験的な導入が、第 50 図で示される範囲で行われた (Herbich 2004, Bieliński 2005)。本遺跡において磁気探査の利用が適しているかどうかを判断するために、テルの斜面部から裾部にかけての西側 (a 区)、東側 (b 区)、北側 (c 区)、中心部の西側 (d 区)、南側 (e 区) というように探査区を分けて遺跡の広域でそれぞれ地点ごとに探査が行われた。ただし、A 区では 1996 年から 2002 年まで発掘が行われており、ヘレニズム期の遺構が鉄器時代、青銅器時代の文化層の上から検出されており、それらによって青銅器時代の遺構は破壊されていた。この範囲ではヘレニズム期の遺構を含めた遺跡の範囲を推定することを目的として探査が行われた。また c 区は現代の道路によって分断されているため、探査区が南区と北区に分けられている。このうち南区では、発掘調査によって検出された青銅器時代の遺構の延長を確認する目的で探査が行われた。これらすべての探査区においてとられた探査法等は以下のとおりである。

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：南北平行 1 軸

測線間隔：50cm

測線上データ測定間隔：25cm

探査時期：8 月 18 - 28 日

その他の探査環境として、探査時期から考慮すると比較的乾燥しており、草木も少なかったと予想できる。その点においては機器の走査は比較的容易であったと考えられる。ただし、探査区 a の一部、b 区、c 区の北側部分には耕作地が広がっていたと報告されている (Herbich 2004)。また、地形からは、c 区、d 区、e 区には部分的に非常に急勾配の部分が見られる。また、テルの南斜面、及び北西には大規模な現代の建造物や、西斜面には墓地が築かれており、北西から南東方向へテルの南西斜面を横切る小道やテルの裾を廻る道路

なども存在する (e.g. Bieliński 1997)。このように現代の構造物が多く目立つため、探査結果を解釈する際には、これらの点を考慮する必要がある。

3. 磁気探査成果

遺跡全体を通じた磁気異常分布は第 50 図に示しているが、a 区、c 区、e 区における磁気異常分布図についてはより詳細なものも報告されているので (第 51 - 54 図)、そちらを用いて成果の紹介、及び後の検討を行う。これらの図中の各グリッドは 20m×20m である。ここで挙げる成果は、特に言及がない部分においては磁気探査報告 (Herbich 2004) に依拠している。

まず、a 区については、平面形が直径 1.5m から 5m 程度の楕円形の 5nT から 30nT ほどの相対的な磁気異常が、探査区中央、特に中央の F - G5 グリッド、また H9 - 10 グリッドの範囲で集中して認められる (第 51 図)。発掘調査による検証は行われていないが、それらの規模から、それまでに発掘調査によって検出されたヘレニズム期の土坑 (第 55 図) による磁気異常だと推定されている。この土坑は発掘調査によって確認されているものでは直径 1.1 - 2.5m 程度の大きさで、これらは切り合っているものもあるため、全てが同時期に営まれたものではないようである (Bieliński 2003)。テル・アビヤド西丘において実施された磁気探査結果で認められた異常の多くもこれにあたる (本節第 1 項)。

a 区では遺構に関わる明確な異常は他にほとんど認められないものの、他に一箇所、C9 グリッドに平面形が直線的な異常が認められている。これも発掘調査によって検出されたヘレニズム期の建築遺構である可能性が考えられている (第 55 図)。この遺構の壁は泥レンガを用いて幅 1m 程度に作られており (Bieliński 2003)、地表直下から検出されているようである。

その他に a 区全体に認められる線状の異常は耕作の跡で、E - H5、E - H8、E - H11 グリッドに見られる異常は、耕作地の境界であると考えられており、これらは地表面でも確認できるものである。土坑以外の考古学に関するであろう磁気異常が認められた C9 グリッド周辺は、残念ながら現代の鉄製品が投棄されていたようで、その他に遺構と解釈される考古学的な異常は認識できない。

b 区では (第 50 図)、遺跡に関係すると思われる異常は探査区中央部に認められる楕円形の異常と、南西部に見られる南北に延びる異常のみで、前者は土坑に起因するものだと考えられている。それ以外の平行に延びる異常は、耕作によるもの、また探査区南部に点々と見られる異常は金属製品によるものと推定されている。

c 区では、南区において矩形の磁気異常が特に F5 グリッドで明瞭に認められており、これらは青銅器時代の建築遺構による磁気異常であると推定された (第 52 図)。その他に顕著に認められる E4 - G6 グリッドに延びる異常は、テルの斜面に沿って形成された道路のものである。

一方の北区の磁気探査結果からは、現代の耕作の跡や道路に起因する異常が認められる。

しかし、遺跡に関連すると考えられる磁気異常は認められず、遺構の存在は推定されていない。

d区では(第50図)、特に防御施設の存在を確かめるために行われたが、発掘調査においても、磁気探査の結果からもそのような遺構の存在は確認されなかった。地表面の傾斜に沿った磁気異常以外に、探査区南東隅にやや大きな磁気異常が認められるものの、遺構に関すると思われる明確な磁気異常は検出されていない。

e区では、探査区中央のB2グリッドからD2グリッドにかけて、幅4mほどで顕著に見られる大規模な磁気異常が存在し、やや不明瞭ではあるが、E2グリッドまで延びていることが確認できる。また、C1-2グリッドでは、この磁気異常に隣接するように矩形の磁気異常が見られ、これらは壁とそれに接した建造物だと推定されている。その他に、A3-B4グリッドに矩形の磁気異常が認められており、これも遺構に関するものだと推定されている。

4. 探査法・成果の検討

探査の主目的が地中の遺構の確認、またその範囲の推定という点で、各探査区において地中に存在すると予想されていた遺構の規模、地表面からの深度に対して、磁気の測定間隔は適当であったといえる。しかし、発掘調査では多くの部分で地表下から遺構が検出されているのに対して、磁気探査の全体的な成果としては十分な結果が得られたとはいえない。

その問題としては、テル周縁部の探査では現代の耕作の跡があった点と、遺構の多くが泥レンガで建築されていたために、遺構に起因する異常が小さい点であったと考えられる。a区、b区、c区北区においては、実際の遺構の有無にかかわらず耕作地の影響が顕著であり、またc区南区、d区、e区においては耕作の影響はなく遺構に関するであろう磁気異常も認められているものの、建築遺構のプランと思われる矩形あるいは直線形の異常が明確に見て取れる箇所は一部に限られている。しかし、a区で認められた直径1mを超える土坑や、e区で壁と推定されたような幅4mの壁と推定された大規模な遺構は明確に確認できる。探査後の発掘結果からも、今回の磁気探査区内ではないが、その東側において、神殿に隣接して建設された約4mの幅をもつ泥レンガの壁(Great Wall)が検出されており(Bieliński 2012, 2013)、磁気探査で推定されたものとこれが一連の遺構、あるいは少なくとも同様の遺構と考えられる。

また、e区B4グリッドの南側に隣接する発掘区(Area W)の北端では、磁気探査で見られた異常と同じ軸を有する複合住居が、探査前年度の発掘調査によって、地表直下から検出されている(Bieliński 2004)。この点の整合性については触れられていないが、位置関係からは磁気探査で認められたB4南東端の異常の延長がこれにあたりと考えて間違いない(第56図)。しかし、発掘調査ではその一部がより新しい時期の幅2m程度のピゼ壁によって破壊されているにもかかわらず、探査結果からはピゼ壁が存在すると推測される

位置にそれに類する磁気異常が認められないことは、磁気探査の成果を検討する上で注意すべきであろう。

探査結果の報告では、それぞれの遺構によると推定される異常の相対値については、ヘレニズム期の土坑以外に触れられていない。ただ、地表直下から検出された泥レンガ製の遺構の幅 1m 程度の壁部から、 $\pm 5\text{nT}$ 以上の相対異常値が、また規模や深度に差異があるため正確な検証を行うことができないが、直径数 m の土坑から、 $+5\text{nT}$ 以上の相対異常値が計測されている。一方で、たとえ地表直下に存在していたとしても、ピゼ壁からは明確な磁気異常は認められない可能性がある。

また、今回の探査地の場合は、地表面の耕作の影響や斜面の勾配に起因する磁気異常は数 nT 程度であった。したがって、探査地がこのような条件の場合、表土直下に遺構がない限り、泥レンガやピゼを用いた小規模な遺構のプランの推定は磁気探査を用いたとしても難しいであろう。

テル・アル・ラウダ遺跡 (Tell al-Rawda)

1. 遺跡の概要

テル・アル・ラウダ遺跡は、現在のシリア中央部、ハマの東方 80km に位置するテル型遺跡である。年間降水量が 200mm 程度と、天水農耕の限界のステップ地帯に立地するこの遺跡は、なだらかな斜面と広大な頂上の平坦部をもち、現在では遺跡を迂回するようにワジが南から北へと延びている。テル・アル・ラウダ遺跡の形成された地はもともとこのワジの河床に位置していたため、遺跡の周辺域を含め、排水性の高いシルト土壌が堆積している。フランス・シリア共同調査隊により 2002 年から 2010 年にかけて発掘調査が行われ (Castel and Awad 2016)、発掘調査の結果、主として紀元前 2500 年頃から 2200 年頃までの前期青銅器時代に居住された遺跡であることが明らかになっている。

2. 磁気探査の概要

テル全域において、前期青銅器時代の石灰岩を建材として用いた建築遺構の一部が地表面に露出しており (第 56 図)、遺跡放棄後の後世の土地の改変等もほとんど行われておらず (Gondet and Castel 2004)、この遺跡は一部を除いてほとんど攪乱を受けていないことが調査開始時から明らかになっていた。そのため、集落の全体構造を解明する上で物理探査が適していると判断され、2003 年から 2005 年、また 2010 年の秋季に磁気探査が実施された。探査の詳細について報告されているのは、現代の建造物周辺を除くテルの北半を中心として調査された時点の結果であるが (Gondet and Castel 2004)、2005 年にはテルの外縁部 (Castel et al. 2008)、さらに 2010 年にはテルの外縁部の南側の延長部分及び西側延長部分、テルの頂上部のそれまで行われていなかった南西部分などでも磁気探査が実施され (Castel et al. 2014)、テルの頂上部、斜面、下街を含むテルの外縁など、遺跡のほぼ

全域において探査が行われた。2003年から2005年までと、2010年では別の調査者によって探査が実施され、探査機器や測定方法も以下のように異なる。

2003-2005 年度

使用機器：セシウム磁力傾度計

測線方向：（一部を除いて）南北方向一軸

測線間隔：1m

測線上データ測定間隔：不明

2010 年度

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：東西方向一軸

測線間隔：50cm

測線上データ測定間隔：約 10cm

その他の探査環境として、テルの頂上部や周辺部には現代の建造物がいくつか建設されており、また一部耕作地となっている部分もある。また、地表面には遺構に用いられた石灰岩が散在しているものの、土壌は非常に乾燥しており、斜面を除いて平坦である（Gondet and Castel 2004）。

また、この遺跡では 2010 年に周壁外のごく一部で 250MHz アンテナと 500MHz アンテナを用いた地中レーダー探査も試験的に実施された（Castel et al. 2014）。この調査では、集落の周壁外のワジの河床、また、住居遺構の床面といった箇所において数本の測線上の地点で探査が行われたのみであった。そのため、遺構の推定という観点から地表面での探査結果の検証はなされていない。しかし、500MHz アンテナを用いて住居の床面上で行われた探査結果からは、地表下 90cm から 100cm 程度の深度で明確な面的反射が認められている（Castel et al. 2014）。

3. 磁気探査結果

探査の結果、明確な磁気異常が認められ（第 58 図）、テルを廻る周壁、テルの中央を中心として幾何学的に延びる街路、頂上部の住居などの遺構、またテルの東側に広がる下街などが推定された（Gondet and Castel 2004）。集落の周壁は、円形に全体を囲むように建設されており、基礎に石灰岩、上部に泥レンガを建材として用いた 2 重の壁、及び 2 重の周溝を持っていたことが発掘調査によって確認されている（Castel et al. 2005）。また、周壁の一部では門と推定された部分（Gondet and Castel 2004）も認められる（第 58 図 a）。

またテルに巡らされた街路は、この時期の典型的な都市の構造と同じように、テルの中央を中心として同心円状に延び、また、中心から放射状に延びていると推定されている

(Gondet and Castel 2004)。しかし、これらの中心から放射状に伸びる街路の中心部から外縁部への伸び方に差異があることも磁気探査の結果より指摘されている (Gondet and Castel 2004)。

そのほかに周壁内に密集して立ち並ぶ矩形の住居や、神殿などが推定されている (第 58 図 b・c)。住居の一部は発掘調査により検出されており、地表直下から幅 1m の建材に石灰が用いられた住居群が検出されている (e.g. Castel et al. 2008, Castel et al. 2014)。

また、テルの外縁においては、平面形が直線形、あるいは矩形の磁気異常も認められる。テルの東側に位置するものは、周壁の門を通過して直接中心部へと続く下街と推定されている (Gondet and Castel 2004)。

一方の北西部では、直線形、あるいは矩形の磁気異常はテルの中心から伸びる街路や周壁の門の軸とは異なる。これらの遺構の規模や磁気異常の認められない空間が存在することから、テルの中心や東側に見られるような通常の住居ではなく、農作物倉庫の可能性が指摘されている (Gondet 2009)。

その他に、テルの外縁の南東に、堤防に平行するような水路らしき磁気異常が認められることが (第 59 図)、2010 年の磁気探査結果から推定されている (Castel et al. 2014)。

4. 探査法・成果の検討

テル・アル・ラウダ遺跡では、テルの中心部を除いて建築遺構のプランが磁気探査によってある程度推定可能であるといえる。しかし、遺構に起因すると考えられるそれぞれの磁気異常についての言及は、その平面規模に関する点以外、例えば磁気異常の相対値等の報告や、あるいは発掘によって検出された遺構との正確な位置関係については検証されていない。2010 年までの探査結果が統合された磁気異常図には磁気異常相対値のカラーコントラストのスケールが掲載されているものの (Castel et al. 2014)、カラーコントラストに対して磁気相対値の幅が大きすぎるため、遺構に起因すると考えられる磁気異常分布地点のおおよその異常値を知ることは困難である¹。

また、磁気異常分布図には報告者によって言及されていない様々な磁気異常が認められる。それらについてはおそらく前期青銅器時代の遺構に関するものではないためだと推察している。こうした探査結果の提示方法であるため、周囲の地形や地表面の状況などを含めた磁気探査の成果についての検討は難しい。

ただし、探査の報告書とは別に発表されたテル・アル・ラウダ遺跡とテル・シェイラト遺跡 (Tell Sheirat) の探査結果を用いた都市構造に関する研究の論文では、テル・アル・ラウダ遺跡の磁気異常のカラーコントラストのスケールを伴った磁気異常分布図が掲載されている (Gondet and Benech 2009: Fig. 2, 3)。その分布図と、磁気探査成果として出された第 58 図で示した磁気異常分布図にはほぼ差異はないように見受けられる。そこから、地表面に露出している、あるいは地表面直下から検出されるテル・アル・ラウダ遺跡の石灰岩を主材料とした建築遺構からは、 $\pm 3\text{nT}$ 程度の相対的な磁気異常が認められることが分

かる。さらに、一部が露出しており神殿と言及された磁気異常については、その遺構の外壁にあたる部分は明らかに $\pm 3\text{nT}$ を超えていることも見て取れる。

その一方で、東側を除くテルの外縁部では、特に言及はされていないが耕作地の影響と思われる磁気異常、また土坑の影響と思われる磁気異常が全体的に認められる。しかしそのような中でも、前期青銅器時代の建築遺構と考えられている平面形が直線形、あるいは矩形の磁気異常もいくつか散見できるため、これらの埋没深度や地表面の状況等は明らかではないが、仮にこれらが遺跡に関する石灰岩を利用した遺構である場合、地表面に何らかの改変があったとしても、全体的な遺構の範囲はある程度把握できることもあり得るといえる。

テル・アル・ラウダ遺跡の探査成果からは、磁気探査によって、集落の全体的なプランを明瞭に推定できることが明らかになった。各遺構の規模まで明瞭になっている部分は地表面に露出している部分がほとんどであるが、このようにほとんど遺跡の廃棄後に地表が改変されていない場合、それら露出している部分の磁気異常の検出パターンに類似した磁気異常から、住居などの建築遺構の内部区画まで推定できる箇所も少なくない。そのため、遺構のどの箇所がそれぞれの程度の正の異常、負の異常を示しているかは定かではないが、遺構の外壁と比較してより規模が小さく磁気異常も相対的に小さいと思われる遺構の内壁に起因する磁気異常も十分に検知できているといえる。測定間隔をより密にすることで、これらの平面形がより明確に推定でき、それぞれの遺構の構造についてさえもより詳細に論じることができる。

また、500MHz アンテナを用いた際の地中レーダー探査の結果として、探査面から 100cm 程度までの深度において、明確で平坦な反射面が認められるという成果が上がっている。発掘調査は行われていないため、これがどのような地中構造からの反射であるかは明らかになっていないが、その深度や規模、また反射波の大きさ、波形などから、少なくとも岩石や金属によるものでないことは間違いない。これらのことから、地表面において地中レーダー探査を行ったと仮定した場合、探査面の状況や地中を構成する物質が異なるため単純な試算はできないものの、おおよそ同程度、すなわち地中 1m 近くまでの遺構面などの、考古学的な地中の異物の反射を捉えることができると考えられる。しかし、深度が 1.5m 以上になるとほとんど反射波は捉えられていない。遺構のプランを推定するという論点からは外れるが、これらの探査結果は、西アジアにおける地中レーダー探査を用いた場合の探査深度の限界を知る上でのひとつの事例となり得る。

カザネ・ホユック遺跡 (Kazane Höyük)

1. 遺跡の概要

カザネ・ホユック遺跡は、南東アナトリア、バリーフ川流域に位置するテル型遺跡である。テルは面積 12ha、比高差 20m の規模を誇る長方形プランを呈し (第 60 図)、紀元前

三千年紀の遺構がテルの一部の地表面に露出している。

トルコ政府による、ダム開発によって被害を受ける遺跡を対象とした調査の一環として1992年から発掘調査が開始された。この調査によって、紀元前六千年紀の土器新石器時代から中期青銅器時代にかけて居住され、紀元前三千年紀の後半には周辺地域の中心都市として機能していたことが明らかになっている（Creekmore 2008）。基本的に遺構壁には石灰岩と泥レンガが用いられる。一辺数十 cm の石灰岩が並べられた後、より細かい石灰岩でその隙間を埋めるように基礎は作られ、その上部に泥レンガが積み上げられている。また、一部の遺構には床面に礫が敷き詰められる場合もある。

2. 磁気探査の概要

テルの上部では部分的に発掘調査が行われていたが、遺構の広がりやテル全体の状況は把握できていなかった。そのため、遺構の密度や街路の延び方といった遺跡全体の集落構造や、火を用いた工房、火災を受けた遺構の確認などを目的として、2003年から2005年にかけて磁気探査が実施された。探査はテルの上部で1区から5区の5地点で行われ（第60図）、その一部が発掘調査により検証されている。探査法、結果、及び検証結果については、調査者による報告（Creekmore 2010）に基づく。探査法や各探査区の地表面の状況は以下のとおりである。

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：南北平行1軸

測線間隔：100cm

測線上データ測定間隔：12.5cm

探査環境については、全ての探査区において畝や灌漑用水路などの耕作の影響が見られる。また、1区、2区、5区には、電線用の鉄塔やフェンス、火焚き場など、磁気探査のノイズとなる現代の構造物が存在するが、これらの位置は各探査解釈図に示されている。その他に、2区及び3区には乾燥した下草の存在も指摘されている（Creekmore 2010）。これがどの程度のものであったのか、また、探査前の下草に対する処理については報告されていないが、地表面の状況として報告されていることから、本論では、測定時に機器の移動の妨げにならない程度の草として、除草などの処理はされなかったとみなす。

3. 磁気探査の結果

カザネ・ホユック遺跡では、それぞれの探査区の磁気異常分布図と、検出されている遺構の位置を含めたその解釈図が報告されている。ここでは探査区ごとにそれらの報告された探査結果を見ていきたい（第61 - 65図）。

1区では、複数の矩形の平面形の磁気異常が認められており（第61図 a）、これらの相対

値は -1nT から -20nT の範囲内の値を示している。磁気探査以前に行われた発掘調査の結果との照合から、これらの異常の位置からは石灰石を基礎に用いた遺構壁が検出されているため、この異常が同様のものに起因しているとみなされ、探査区の広域にわたって広がる建築遺構の存在が推定されている（第 61 図 b）。

これらの建築遺構に起因すると考えられた負の磁気異常の大きさは様々である。その違いについて、相対的に微弱な異常に関しては、より地中深くに存在しているか、石灰岩とは異なる建材が用いられた可能性が指摘された。検証の結果、少なくとも試掘調査が行われた地点ではそれが実証されており（Creekmore 2008）、数 nT の負の異常によって遺構の存在が指摘された地点において、地下 1m の深度で残存していた石灰岩の遺構壁が検出されている。また、たとえ地表下 1m から検出された幅 50cm 程度の建築遺構の壁であっても、遺構として推定され得る負の磁気異常が認められている。

相対的な磁気異常が 12nT を超える、大きな異常が認められる F5、C7、E7 グリッドにおいても、磁気探査結果との比較のための試掘調査が実施された。これらのグリッドでは、大きな正の磁気異常が認められる地点で火災を受けた泥レンガの遺構壁が検出されており、この探査区においては、泥レンガであっても被熱していれば他とは異なる明確な磁気異常が認められることが明らかになっている。

さらに、建築遺構の壁部よりも微弱ではあるが、例えば A6 グリッドから D2 グリッドまで延びるような直線的な $+5\text{nT}$ までの正の磁気異常も見られ、これらも既に検出されているものとの位置的な比較によって、街路であることが明らかになっている。これらの遺構群は、遺跡の長軸と同じく、北西 - 南東方向に軸をもっている。しかし、現代の耕作痕などもまたこの軸に沿っており、地表面の耕作痕に起因する磁気異常も、1 区全域において認められており（第 61 図 a 中矢印）、考古学的な遺構に平行あるいは直交している。それゆえ、街路のように微弱な異常は耕作の影響による磁気異常に消され、北東 - 南西方向に本来延びていであろう街路の磁気異常がほとんど認められないことが指摘されている。

2 区では、現代のものに関するノイズが多く認められている。探査区の中でも特にフェンスの北側でノイズは大きく、地表面で視認できる火焚き場による磁気異常（第 3 章第 2 節）や、平面的に点的、かつ相対的異常値の大きい磁気異常が多く認められる（第 62 図）。これらは -40nT から $+60\text{nT}$ までの大きな磁気異常を示しており、後者の異常も、鉄製の物体がある場合によく見られるものであり、一般的にノイズとして捉えられるものである。しかし、これらの異常にはそのような単なるノイズとしての可能性もある一方で、B5 - 6 グリッドや、D5 グリッドといった異常の認められない部分を取り囲むように異常が集中していることから、パン焼き施設などの部屋の周囲に作られた炉址や竈跡の可能性についても指摘されている。

また、フェンスの南側では上述した異常は比較的少ない。しかし、1 区と比較して地表面の耕作痕の影響によるノイズが大きいため、遺構と同定できるような明確な遺構はほとんど見られないようである。

3区では、2区と同様に耕作地によるノイズが大きい(第6図)。また、2区で見られたものと類似した点的な磁気異常が散見される。その一方で、+2nT から+5nT の直線的な磁気異常が認められるようで、これらも遺構壁として考えられている。ただし、磁気異常の相対値が1区の石灰岩製の遺構とは異なるため、完全な石灰岩製ではなく、他の建材を混ぜて建築されたものだと推定されている。その他、B3、B4グリッドに認められる点的な磁気異常については、その異常の大きさや根拠は示されていないが、竈跡の可能性が指摘されている。

その後、推定された遺構の存在を検証するために、試掘坑が設けられた(Creekmore 2008)。しかし、推定された位置から壁は検出されず、その内部の負の磁気異常が認められている位置から、石灰岩が集中して検出されたのみであった。

4区では、耕作の影響が大きく、視認できる集積やそれに類するであろう異常以外はほとんど認められない(第64図)。地表下1m程度の石灰岩を用いた遺構の基礎が存在する可能性が指摘されるに留まっている。

5区においても、2区、3区、4区と比較すると小さいとはいえ、耕作による磁気異常の影響が広く認められる(第65図)。ただ、南西-北東方向の直線形として認められる異常は耕作に関するものである可能性が高いと考えられているが、比較的明瞭に認められるその他の磁気異常も存在する。

±50nT の範囲の磁気異常が探査区内において点々と確認できるが、これは住居内外の炉や竈などの火を利用した遺構の可能性があると指摘されており、その理由として、ジャレット・テベ遺跡における竈跡から類似した値の磁気異常が検出されていることが挙げられている。遺構の壁部に起因すると考えられる磁気異常は明瞭には認められないが、これらが火を利用した遺構であるという仮定に基づいて、屋外にあった場合は、この一帯にパイロテクノロジーを利用した製品、例えば土器などが製作されたスペースが存在する可能性が、また、屋内にあったとすれば密集した住居の各家庭で用いられた燃焼遺構であるという可能性が提示されている。

最も建造物の可能性が高いと考えられているものは、B3-4グリッドに認められる矩形の磁気異常である。これらは+2nT から+6nT の正の異常を示しており、3区の磁気異常分布図で認められた正の磁気異常を有する遺構壁と同様に、石灰岩以外のものが建材として利用された建築遺構だと推定された。しかしながら、この地点における試掘調査の結果、地表下1mから2mの深度で3層に及ぶ建築遺構の壁は検出されたものの、推定された遺構に相当する遺構は存在しなかったことが明らかになった(Creekmore 2008)。さらに、試掘坑の南端では直径1mに満たないパン焼き竈が地表下1m程度の深度から検出されているが、磁気異常分布図にはこれに相当する遺構は認められていない。このことから、先に挙げた5区で散見される大きな異常が同様の遺構であるならば、地表下1mより浅い地中にこれらが存在するか、あるいは、より被熱した大型の燃焼遺構である可能性を指摘している。

4. 探査法・成果の検討

カザネ・ホユック遺跡における磁気探査は、地表面の状態が探査成果に大きな影響を与えた事例だといえる。正確な値は報告されていないものの、全体を通して地表面の耕作に関する磁気異常は $\pm 10\text{nT}$ を測ることが見て取れ、 $\pm 10\text{nT}$ を超える被熱遺構と考えられたものを除くと、考古学的な磁気異常をはるかに超えている。そのため、大規模な遺構の存在や、一部の遺構の存在を推定することは可能ではあるが、全面的な集落内の遺構のプランを詳細に推定するために磁気探査を用いることは不適切であるといえる。測定間隔などの探査精度や分解能を上げれば、既に異常が認められている遺構のプランは明瞭にはなるが、微弱な異常を検出することはできない。

また、磁気探査結果の解釈にも大きな問題があるといえる。考古学的な特徴を持つと考えられた遺構の多くは、耕作痕の起伏に起因する磁気異常よりも小さいことから、単純な地表面の凹凸や地形の傾斜が、遺構に関連する磁気異常よりも探査結果に大きな影響を与えることは明らかである。そのため、耕作方向に平行しない微弱な異常が平面形で直線を呈している場合に、全て住居などの矩形の建築遺構として解釈してしまうことは、危険である。実際に、3区及び5区の、正の異常を有する石灰岩以外の建材を用いた建造物の壁が存在すると推定された地点においては、それに対応する遺構は検出されていない。ノイズが大きい場合、それらによって異常分布の平面形が何らかの幾何学的な形を呈しているように見られることは少なくない。さらに、探査区全体を通して認められる、相対値の大きい、地点的な磁気異常の多くを被熱遺構の可能性があると指摘しているが、その平面形と磁気異常値からは、土坑や鉄製品など、原因として様々な可能性があることにも留意しなければならない(第3章第2節)。

このような解釈の問題がある一方で、地表面に近い深度で残存している石灰岩を建材とした遺構の推定はほぼ正確に行われている。カザネ・ホユック遺跡における石灰岩製の遺構はその深度や規模にもよるが、確認されている限り全て負の異常を示し、また、少なくとも1区の試掘調査の行われた地点においては、地表面から1mの深度に存在する場合でさえ、数nTの負の異常が認められることが示されている。

また、5区の地表下1m程度でパン焼き竈が検出された地点では、地表面ではそれに起因するであろう明確な異常が認められないことに注目すべきである。同じ遺構面からは石灰岩を用いた壁も検出されているが、それに関連するであろう異常も磁気異常分布図からは認められない。1区では同程度の深度に石灰岩を用いた遺構が残存していても、微弱ではあるが負の異常が検出されている。それにもかかわらず、この地点において正の異常が認められていることから、これらの遺構の検出面よりもさらに地表面に近い深度において、試掘時には注目されなかった程度の何らかの後世の異物が存在した、あるいは土器片や竈の建材片が存在した、あるいは地表の耕作痕の起伏がより大きかったなどといった、様々な理由による磁気異常が存在したと考えられる。今回の例からその理由を決定することはできないが、磁気探査結果を解釈する上で、また磁気探査の有効性を検討する上では見逃し

てはいけない事例である。

第3項 鉄器時代

ジヤレット・テペ遺跡 (Ziyaret Tepe)

1. 遺跡の概要

ジヤレット・テペ遺跡はトルコ南東部、ティグリス川上流域の台地上に位置し、数百 m 先にティグリス川を臨むテル型遺跡である。アメリカ・トルコ合同調査隊が中心となって 1997 年から 2010 年にかけて実施された調査の結果、主に紀元前 3000 年頃の前期青銅器時代から紀元前 7 世紀の新アッシリア期にかけて居住されたことが明らかになっている。居住開始当時の集落は 5ha 程度の規模であったが、紀元前二千年紀後葉にアッシリア帝国が拡張していく際の拠点として大型化した。

この遺跡では、発掘調査によって確認されている限り、遺跡のほぼ全域にわたって地表下数十 cm 程度の深度から新アッシリア期の遺構が検出されている。この時期の遺構の建築材として、中庭や浴場には焼成したレンガのタイルや礫のモザイクが用いられている例がいくつか確認されており (Matney et al. 2002 他)、その他に大型の石材が住居の基壇などに用いられる例も見られる (Matney et al. 2011)。しかし、基本的には泥レンガを用いて住居壁が築かれており、その床面はタイルや礫は用いられず、単に踏み固められているだけのものが主流となっている (Matney et al. 2002 他)。

2. 磁気探査の概要

ジヤレット・テペ遺跡では、主に遺跡の下街全体の集落構造を把握するために、1998 年から 2009 年にかけて、テルの頂上部を除いた全域において磁気探査が行われた (第 66 図)。また、2004 年からは、断続的に電気抵抗探査もテルの南西に広がる下街において実施された。

電気抵抗探査の結果からは、下街に設けられた城門など、いくつかの遺構の位置の推定が行われており、その後の発掘調査の結果との比較から、その推定精度が高いことを示す結果が得られている (Matney et al. 2005, Matney et al. 2007 他)。しかし、第 3 章でも述べたとおり、電気抵抗探査は西アジアには適しておらず、ジヤレット・テペ遺跡においても、電気抵抗探査を行う前の事前準備として第 67 図のように探査区内では地表面を剥ぎ、1m 間隔で地中を穿孔し、その中に水を注入するといった作業が行われている (Matney and Donkin 2006)。物理探査の最大の特徴である非破壊の範囲内での遺跡調査や、調査速度、労力の節約の観点からして、やはり西アジアにおける探査法として電気抵抗探査は適当ではないといえる。

磁気探査に関しては、全体の磁気異常分布図はまだ発表されていないが、全て以下の方法で行われたようである (Matney et al. 2011)。

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：南北平行 1 軸

測線間隔：100cm

測線上データ測定間隔：6.25cm

3. 磁気探査の結果

2003 年までに行われた磁気探査による磁気異常分布図の概要 (第 69 図) では、周壁 (①) 及び城門 (②)、また遺跡の内外を廻る街路 (③) が推定されている (Matney 2006)。また、2009 年に実施された磁気探査の一部の磁気異常分布図では (第 70 図)、小道や耕作痕などの影響はあるものの (A、B)、周壁 (C) 及び泥レンガの壁が推定されている (D、E、F)。

4. 探査法・成果の検討

全体としては、調査者も述べているように (Matney 2006) 泥レンガの遺構壁が崩れているため、こうした遺跡において磁気探査によって地中の遺構を推定することは難しいようである。相対磁気異常値のスケールが示されていないため異常の大きさは明らかではないが、全体にノイズのように磁気異常が広がっている点は注意すべきである。調査者によるとこれらの異常は崩れた泥レンガの影響によるものとされている。2003 年までの全体図では、言及はされていないがおそらく探査区によって磁気異常の相対的なスケールが異なっており、全体をひとつの磁気異常分布図としてみることはできない。そのため、これらが広がっている範囲と周壁の境界などの関係性について図示された磁気異常の大きさから検討することはできない。

また、遺跡全域を探査するという点では、測線間隔は 1m として妥当だと考えられるが、第 75 図のように遺構のプランの推定を目的として探査を行うにはこの間隔は不十分であるといえる。遺構が推定された根拠等も明らかではないため、最終的な報告を待ちたいところである。

第 4 項 特殊遺構の探査

本節では、ここまで集落全体の構造を推定するために行われた磁気探査の手法、環境、結果、そして地中構造の推定例を取り上げ、遺構や探査環境に起因する磁気異常の相対的な大きさから、それぞれの探査地における磁気探査の有効性について検討してきた。これ

らの他にも、情報は限られているものの、探査結果の解釈のみではなく探査環境や実際の磁気異常値などが提示されている例がいくつか存在する。

本項では、集落構造の解明に直接的に結びつくものではないが、住居以外の特定の遺構に対する探査事例、及びその検証例に触れ、磁気探査の有効性について検討する材料としたい。

ハルマノレン遺跡 (Harmanoren)

これまでに挙げた、西アジアの集落構造の調査を目的とした探査事例の他に、埋葬遺体の位置を推定する際に磁気探査が用いられた例もある。現在のトルコ南部、南西アナトリアに位置するハルマノレン遺跡では、発掘調査により紀元前 2500 年頃の前期青銅器時代の土器棺と、それを支える石が地表下 50 - 80cm 程度の深度で出土しており、それらの埋葬位置の推定が可能であるかを検証するとともに、埋葬範囲を推定することを目的に磁気探査が実施され、探査後に一部が発掘調査により検証された (Büyüksaraç et al. 2006)。探査法は以下のとおりである。

使用機器：プロトン全磁力計

測線方向：南北一方向

測線間隔：200cm

測線上データ測定間隔：200cm

探査法に関して、磁気異常の測定間隔は、出土していた土器棺が 80 - 250cm 程度の大きさであったため、その位置を推定する上では十分だと判断されて大きく設定されている。また、探査日時は定かではないが、1994 年の 1 シーズンで行われている。その際、日周変化による地磁気の変動を考慮して、定点において毎分磁気の測定が行われている。その変動をもとに探査区内の測定値が補正された。地表面の様子などといった探査時の周辺環境については特に言及はされていないが、探査地の地形や写真から判断すると (Büyüksaraç et al. 2006)、概ね平坦で草木等の障害も存在しない乾燥している状態であったと推察できる。

探査の結果、相対的に 10nT 以上の明確な磁気異常が数ヶ所で検出された (第 71 図上)。副葬品としての土器や、土器棺が熱残留磁化を獲得しているため、それらの異常が認められた位置に土器棺が存在すると推定され、後に発掘調査が行われた結果、推定された地点から複数の土器棺、及び土器棺の破片が出土した。これらは残念ながら盗掘などにより攪乱を受け、土器棺の一部が破壊されていたものの、その推定位置がおおよそ正確であることも検証されている (Büyüksaraç et al. 2006)。厳密に正確な位置を特定するには至っていないが、土器棺に起因すると考えられる磁気異常を全て捉えることができている (第 76

図下)。

この調査ではおおよそその土器棺の位置を推定することが目的であり、測線間隔は 2m と幅広く分解能の低い探査法であったことが、推定位置に誤差を生じさせた原因だと考えられる。そのため、焼失住居や窯跡のような平面規模が大きい施設ではなくとも、このような地表面から 80cm 程度までの熱残留磁化を獲得した物質の場合、点的な位置の推定に磁気探査が有効であることが示されている。また、より測定間隔を密にし、測定点を増やすことで正確に推定できる可能性もある。

しかしその一方で、遺構のプランを正確に推定するには少なくとも今回の探査結果からは不可能であるといえる。測定間隔の広さに起因する分解能の低さが大きな問題となっていることは間違いないが、それ以外にも何らかの理由があるのかもしれない。他の遺構が検出されていないため、その理由を検討することができないが、盗掘坑を含む土坑から生じるであろう異常を今回の探査結果から読み取ることができない。そのため、土器棺の密集する場所において、熱残留磁化を受けていない遺構のプランを推定することは難しいといえよう。

また、土器棺が出土した地点の磁気異常の多くは 10nT 程度の相対的な異常だが、中には 30nT を超える異常が認められる地点もある (第 72 図 a・b)。この問題については特に言及されていないが、他の土器棺の埋葬されていた地点とは明らかに異なるため、この異常は土器棺以外の何らかの異物に起因すると考えられる。例えば a の地点では、第 71 図で認められるように、実際に付近で出土している土器棺の場所、方向とは一致していないことも、それを裏付けることができる。解釈を行う場合には、異常の大きさや平面的な検出パターンについてもより丁寧に読み解かなければならない。

デデメザリ遺跡 (Dedemezari)

ハルマノレン遺跡の探査と同じく、埋葬遺構の位置の推定を目的として、トルコ西部、アフィヨンカラヒサールの東 30km に位置する紀元前 2000 年頃の中期青銅器時代のデデメザリ遺跡においても磁気探査が行われている (Arısoy 2007、Büyüksaraç et al. 2008)。この遺跡では発掘調査の前後に磁気探査が行われており、一部の磁気探査結果が発掘調査により検証されている (Arısoy et al. 2007、koçak et al. 2007)。探査法は以下のとおりである。

使用機器：プロトン全磁力計

測線方向：南北一方向

測線間隔：50cm

測線上データ測定間隔：20cm

探査は 2005 年、2006 年の 2 シーズンにわたって行われた。探査時の環境等については

言及されていないが、探査地の地形や写真から判断すると (Büyüksaraç et al. 2008)、耕作地として利用されていた痕跡のようなものも地表には見えるが、概ね平坦で草木等の障害も存在しない乾燥した状態であったと推察できる (第 73 図)。

磁気探査の結果、相対的に 20nT 程度の点的な磁気異常が 100 箇所を超える多くの地点で認められており、これらの磁気異常が埋葬に関わるものと推定されている² (第 74 図)。探査区の一部で発掘調査が実施された結果、推定された地点において、第 75 図のように地表直下の非常に浅い深度から、石造墓、土器棺、また堆積岩の岩盤を掘り抜いた土壌墓が検出されたようである (Arısoy et al. 2007)。しかし、発掘された遺構の平面図及び詳細な報告はされていないため、磁気探査による推定が、どの程度の精度であったのかは定かではない。

遺構の正確な地点に関する問題の他に、その平面形が楕円形、円形と差異があることから、土器棺墓と土壌墓の判別を磁気探査結果から推定できる可能性があるとの指摘がある。また、水路の可能性があると考えられている微弱な磁気異常も不明瞭ではあるが認められるようである (Büyüksaraç et al. 2008)。これらに該当する箇所は明示されているわけではなく、発掘調査による検証も報告されていないため、残念ながらその可能性や有効性について検討することはできない。

その他に、磁気探査結果と発掘結果との比較検証ができないために正確性の検討はできないが、この遺跡では、土器棺よりも石材を利用した墓からの方が大きい磁気異常が検出されるという報告がある (Arısoy et al. 2007)。これらの点については、この場で検討を行うことはできないが、他の探査事例における検討材料となり得るという点で、興味深い事例である。

テル・エ・スウェイハット遺跡 (Tell es-Sweyhat)

テル・エ・スウェイハット遺跡は、西アジアにおいて比較的早い段階で物理探査が行われた遺跡である (第 2 章 2 節)。現在のシリアとトルコの国境付近、ユーフラテス河の東岸 65km の平野部に位置するテル型遺跡で、中央のテルは面積 5 - 6ha、比高差 15m を測り、周囲に広がる下街を含めると 30ha の規模を誇る (Zettler 1996)。前期青銅器時代に主に居住された遺跡で、下街では地表直下から石積みの遺構が検出されている。1993 年及び 1995 年に磁気探査が下街の一部で実施された (Peregrine et al. 1997)。1993 年にテルの東側の下街で行われた磁気探査結果から窯跡が推定され、その地点において紀元前三千年紀後半から二千年紀前半の窯跡がその後の試掘調査によって検出されている (Peregrine 1996、Peregrine et al. 1997)。この探査の際に採られた方法は次のとおりである³。

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：南北方向一軸

測線間隔：50cm

測線上データ測定間隔：50cm

磁気探査及び試掘調査の結果から（第 75 図）、通常地表直下付近から検出される石積み遺構壁の相対的な磁気異常値が 5nT 程度であったことが分かっている。また、その一方で、窯からは相対値が 65nT を超える大きな異常が検出されたことも示されている（Peregrine et al. 1997）。

ヤッスホユック遺跡（Yassihöyük）

ヤッスホユック遺跡は中央アナトリアに位置し、比高差 13m、おおよそ 30ha の平面規模を有するテル型遺跡である。物理探査以前の遺物の表面採集調査や探査後の発掘調査によって、紀元前三千年紀前半の前期青銅器時代から紀元前一千年紀の後期鉄器時代までの居住層が確認されており、2007 年からテルの頂上部全域で磁気探査が行われ（第 76 図）、また、2011 年から現在まで、部分的に地中レーダー探査も行われている（Kumagai 2008, Fukuda et al. 2013）。

本遺跡の磁気探査は以下の機器、方法を用いて実施された。

使用機器：フラックスゲート磁力傾度計

測線方向：南北方向一軸

測線間隔：100cm

測線上データ測定間隔：12.5cm

磁気探査の結果、テルの頂上部で 50×40m 四方の矩形の大きな磁気異常が広がっていることが明らかになった（第 77 図①）。磁気異常の正確な相対値は示されていないが、スケールによると、テル全体に広がっている小道（②）や散らばった鉄線の異常（③）よりも大きい異常が示されており、発掘調査の結果、前期青銅器時代の火災を受けた泥レンガ製の宮殿址が地表下数十 cm の深度で見つかっている。この上層には、中期青銅器時代の壁の基礎石や、後期鉄器時代の幅 1m 以上の石組みの壁が広がる文化層も確認されており、これらに相当する磁気異常は磁気探査では確認できない。火災を受けた泥レンガによる大きな磁気異常のみならず、耕作痕等の影響によってこれらの異常が見られないのだと考えられる。

第 5 項 その他探査成果の概要

これまでは遺構の相対的な磁気異常が明確に示されている探査事例に対して、測定方法や遺跡の状態から磁気探査の有用性を評価してきた。第 3 章でも述べたとおり、探査によって得られた相対的な磁気異常値などの情報を示したものは少ない。その一方で、こうした詳細な検証を行うことのできる事例の他に、実際の地中の構造を磁気探査結果から正確に推定できていると考えられる事例も多く存在する。

本項では、磁気探査結果についてのデータが少ないため、実際の探査法の検討材料として扱うことはできないものの、遺跡の規模や集落内の遺構の分布状況などが磁気探査によって明らかになった成果例について、簡単ではあるが触れる。これらの探査事例では、個々の遺構や推定結果に対する磁気異常値などは示されていないが、遺跡の立地や、検出された遺構の材質や規模といった点に着目した際の磁気探査の有効性を示すものとなり得よう。

ティトリシュ・ホユック遺跡 (Titriş Höyük)

ティトリシュ・ホユック遺跡は、南西アナトリアのユーフラテス川上流域の、石灰岩台地に囲まれた平原に位置するテル型遺跡である。遺跡は中央のテル部分とその東西及び北側を囲む下街部分で構成されており、36ha の規模を有している。また、遺跡の下街の外縁を取り囲むワジや、南側に広がる耕作地帯を挟んだ外周には、遺跡を取り囲むように小規模な集落の存在も確認されている (Algaze et al. 2001)。

1991 年から 1999 年にかけて調査が行われた遺跡で、主に紀元前 2600 年から 2100 年頃の前期青銅器時代に居住されたことが分かっており、当時の交易路の途上に位置する小型の地域センターとして機能していたことが明らかになっている (Algaze et al. 2001 他)。磁気探査は、1992 年から 1994 年にかけて、中心のテルを除いた下街において、フラックスゲート磁力傾度計を用いて実施された。探査地の環境として、遺跡周辺には現代の建造物や耕作地、また草木が広がるものの、傾斜はなだらかで、探査時の障害となるものは報告されていない (第 78 図)。

磁気異常分布図では黒色の部分が相対的に正の異常、白色の部分が負の異常で示されている (第 79 図)。発掘調査によって、おおよそ遺跡の傾斜に沿って地表直下から地表下 1m 程度の深さで遺構が検出されており、住居や周壁の基礎は石灰岩を用いて、また街路は土器片を敷き詰めて建設されていたことが明らかになっていた。そのため負の異常が認められる部分に壁の基礎部が存在し、また、街路からは正の異常が表れると解釈された。これらの遺構が存在すると推定された地点における試掘によって、それらの正確性が確認されている (Algaze and Misir 1995)。

こうした解釈の結果、遺跡の軸に沿って下街を貫く街路と、そこから各住居区へと分岐するより細い街路、また住居や窯の存在などが明らかになっており (Algaze and Misir 1995)、さらに住居区の区画や住居内の区画までも探査結果から推定されている (Nishimura 2008)。

テル・マルディフ遺跡 (Tel Mardikh)

現在のシリア北西部に位置するテル・マルディフ遺跡においても、磁気探査が行われた報告がある。この遺跡は、一時的にアッカド王国の侵略、支配を受けたものの、主に紀元前 2400 年から紀元前 1600 年頃まで、周辺地域の大規模なセンターとして機能していたが、最終的にはヒッタイト帝国によって破壊されている。磁気探査は、アクロポリスの周りに広がる周壁に囲まれた下街において大規模に実施されたようで (Ramazzotti 2008)、遺跡に関わる磁気異常として、周壁や泥レンガで築かれた複合建築遺構、またこれよりも大規模な遺構に起因すると思われる異常も認められたようである (Ramazzotti 2008, Ranazotti 2009)。その他、建築時の位置を保った遺構か崩れて散ったものかは明らかではないが、探査区に散在する大型の被熱した玄武岩から大きな異常が検出されたようである (Ramazzotti 2008)。

磁気探査についてはこうした解釈結果がわずかに紹介されているのみで、その他の探査内容については示されていない。磁気異常分布図からは (第 80 図)、下街の遺構のプランを推定することができないことは確かである。被熱した玄武岩の存在がその要因の一つであることは間違いない。

テル・マルディフ遺跡では、磁気探査結果との比較のために、磁気探査が実施された一部の地点で試験的に電気抵抗探査、及び地中レーダー探査が試験的に実施される予定であったが (Ramazzotti 2009)、物理探査の内容は残念ながら磁気探査を含めて未だ報告されていない。今後の詳細な探査結果及び遺構との関連についての報告を待ちたいところである。

テル・フエラ遺跡 (Tell Chuera)

テル・フエラ遺跡はバリーフ川流域に位置する 80ha の規模を有する大規模なテル型遺跡で、主に前期青銅器時代に居住されていたことが明らかになっている。この遺跡ではテルのほぼ全域にわたって磁気探査が実施され (第 81 図)、個々の遺構に起因する磁気異常の大きさなどの磁気探査の詳細についてはまだ報告されていないが、建造物群や街路、また大きく内外 2 条に廻る周壁のプランが確認されている (Meyer 2016)。

発掘調査と磁気探査の結果から、この遺跡ではもともとはその中心部のみが利用され、外側の周壁は築かれておらず、のちに都市の規模の拡大に伴って新たに外側の周壁が築か

れたことが明らかになった。

テル・シェイク・ハマド遺跡 (Tell Sheikh Hamad)

テル・シェイク・ハマド遺跡は、ハブール川流域に位置し、銅石器時代からローマ時代まで何度も利用された遺跡である。特に新アッシリア期の居住層が広く残されており、磁気探査によって当時の大規模な建造物の存在が明らかになっているようである (Kühne 2016)。磁気探査の詳細については報告されていないが、計画性のある都市の設計構造が街路から窺える (第 82 図)。

クナラ遺跡 (Kunara)

クナラ遺跡は、イラク・クルディスタン自治区のシャフリゾール平原へと流れるタンジヤロ川上流域に位置し、2011 年からフランス・スレイマニヤ合同調査隊により調査が行われているテル型遺跡である。新石器時代から中期青銅器時代までの遺物が確認され、発掘調査に先駆けて磁気探査が下街で行われた (Kepinski and Tenu 2016)。

磁気探査の結果、直線的な平面形の磁気異常が平行している様子が 60m×30m 規模の範囲で確認され、中庭を有する大規模な建造物の存在が推定された。その他にも被熱した遺構だと考えられた磁気異常なども認められた。

発掘調査では、この平行する磁気異常が認められた地点から、前期青銅器時代に築かれた幅 1.2-1.7m 程度の壁が地表下数十 cm の深度から検出されている。ただし、この大規模遺構の周囲からは幅 50cm ほどの一般の住居遺構が検出されているが、磁気探査ではそのように解釈された磁気異常は認められなかったようである。

ギルディ・シャトワン遺跡 (Gird-i Shatwan)

イラク・クルディスタン自治区シャフリゾール平原の北縁部に位置するギルディ・シャトワン遺跡においても、2015 年にセシウム全磁力計を用いた磁気探査が行われた (Mühl and Fassbinder 2016)。ここでは 35m×25m の矩形の建造物及び、その基壇となる 55×38m の泥レンガの基礎部、また 3m 四方の矩形の土坑の存在が磁気探査により推定されている (第 83・84 図)。

ただし、これらの調査報告は探査結果の解釈のみであり、発掘調査による磁気探査結果の検証も行われていない。そのため本論では参考程度に言及するに留め、今後の報告を待ちたい。

ギルディ・バザール遺跡 (Gird-i Bazar)

イラク・クルディスタン自治区では、ペシュダール平原の南東に位置するギルディ・バザール遺跡においてもセシウム全磁力計を用いた磁気探査が行われている (第 86 図)。測定間隔は $25 \times 50\text{cm}$ で、探査結果からは建造物の存在が推定され、この地点からは高さ 1m を超えて残存する石壁が検出されている (Pulhan and Blaylock 2016)。詳しくは記されていないが、報告された磁気異常分布図 (同図中 D) から考えると、おそらくこの遺構は $\pm 10\text{nT}$ を超える異常を示しているようである (①)。また、発掘調査により高さ 1m ほど残存する長軸 1.5m を超えるであろう土器焼成窯が検出されており、この地点の磁気異常は、少なくとも $+20\text{nT}$ を超えるようである (②)。

カラーティ・ディンカ遺跡 (Qalat-i Dinka)

前述したギルディ・バザール遺跡の西方 1km に位置するカラーティ・ディンカ遺跡においても、同様の機器及び手法を用いて磁気探査が行われた。探査の行われたテルの斜面は耕作地となっているようであるが、探査の行われた夏季にはトラクターなどによる耕作痕はなかったようである (Pulhan and Blaylock 2016)。

探査の結果、被熱した建物群の範囲が推定されているが、その遺構の個別のプランは明瞭ではない (第 85 図 D・E)。発掘調査による検証は行われておらず、今後の報告を待ちたい。

クルド・カブルスタン遺跡 (Kurd Qaburstan)

イラク・クルディスタン自治区のエルビル平原の大規模な中期青銅器時代の遺跡であるクルド・カブルスタン遺跡でも磁気探査が行われ (第 86 図)、また一部では電気抵抗探査も行われた。周壁とそれに付随して 20m 間隔で設置された遺構に起因すると考えられた磁気異常が認められるようである (Schwartz et al. 2016)。

第 6 項 その他周辺遺跡など

先述したヤッスホユック遺跡の近隣の、中央アナトリアに位置するテル型遺跡のカマン・カレホユック遺跡 (Kaman-Kalehöyük) の周辺や (Kumagai et al. 2006)、ハジュトゥルル・ホユック遺跡 (Hacıtuğrul Höyük) (Yamashita et al. 2013)、ビュクリュカレ遺跡 (Büklükale) においても磁気探査が行われている。ビュクリュカレ遺跡においては、2008 年に下街で実施された磁気探査の結果 (第 87 図)、遺跡の北側を囲うように、ケースメー

トウォールと呼ばれる通路を挟んで平行に二重構造の周壁の存在、また、この周壁に付随して矩形の塔が等間隔で建設されていることも明らかになっている (Matsumura 2010)。

また、詳細は報告されていないが、シール遺跡 (Shir) (Bartl 2008)、テル・トゥエイニ遺跡 (Tell Toueini) においても磁気探査が実施されているようである (Al-Maqdissi et al 2016)。シール遺跡では、磁気探査の他に地中レーダー探査も実施されており、地中レーダー探査の概要については次節で触れる。

第2節 地中レーダー探査

地中レーダー探査は、近年まで磁気探査が西アジアにおける主な物理探査法として用いられてきたためにその利用は試験的なものに留まっており（第2章2・3節）、磁気探査と比較すると、実施事例や、詳細な報告がなされている例がまだまだ少ない。そのため、本節では探査成果の概要のみに触れられている事例に対しても、可能な限りそれらの手法の有用性を検討する。

第1項 新石器時代

ギョベックリ・テペ遺跡 (Göbekli Tepe)

ギョベックリ・テペ遺跡は、南東アナトリアの丘陵地帯の丘陵上に位置しており、付近には河川は流れていない。1995年から発掘調査が開始され、人物を象ったと考えられている石柱が中央部及び壁内部に配置された直径10m以上の石積みの円形の半地下式建造物がいくつも検出されており、通常集落遺跡ではなく、先土器新石器時代に営まれた祭祀センターであると考えられている (Schmidt 2003)。

ここでは2003年から2012年にかけて地中レーダー探査が行われ (Becker et al. 2014)、発掘調査により検出された巨石を用いたエンクロージャーがテル全域に広がり、少なくとも20基のエンクロージャーが存在すると推定されている (Dietrich et al. 2012)。また、幅15mを測る道路の存在も推定されており、2012年に行われた電気抵抗探査の結果でもこの道路の推定された地点では地山をおよそ8mも掘り込んだと推定された反応が見られ、これらは同一の大規模な道路の存在を示すと考えられている (Becker et al. 2014)。ただし、探査の具体的な方法や探査環境、また結果の詳細に関しては報告されていない。

提示された地中レーダー探査の成果図は、地表下50cm (第88図) のタイムスライスであり、ギョベックリ・テペ遺跡におけるレーダーの地中伝達速度は不明だが、少なくともこれらの深度において、円形遺構及び道路と推定された反射が認められる。しかし、電気抵抗探査の結果では、道路の存在が推定された地点では、地表下3m程度の深度に地山である岩盤が存在し、道路はさらにその深度から8mも掘り込まれている。したがって、レーダーの反射が見られた地中の物体は、電気抵抗探査で道路面と考えられた岩盤の底面ではあり得ない。地中レーダー探査の断面図からより丁寧に探査結果を読み解く必要がある。

また、探査成果図からは、径10mをはるかに超える大規模な遺構と考えられる反射は確かに認められるものの、それ以外の反射は不明瞭である。探査データを検討していないため、より浅い地点、あるいはより深い地点で20基を超えるとされるエンクロージャーから

の反射の平面分布が確認されている可能性は十分あるが、少なくとも地表下 50cm の深度では正確に遺構を捉えられていないといえる。その理由として最も妥当だと考えられるものは、地表面及び地中にある岩石の存在である。地中レーダー探査前にどのような探査環境の整備を行ったのかは言及されていないが、ギョベクリ・テペ遺跡では遺構の一部が地表面に露出しており、さらに礫から岩までの様々な大きさの石が散乱している。成果図で反射が認められないわけではなく、様々な反射体が存在しているからこそ不明瞭な結果となったのであろう。

シール遺跡 (Shir)

シール遺跡は、現在のシリア西部にあるハマの北西 12km、オロンテス川の支流沿いに位置するテル型遺跡である。2005 年に遺跡が発見され、2006 年から 2010 年まで発掘調査が行われた。調査によって、主に紀元前七千年紀の土器新石器時代に栄えた遺跡であることが明らかになり、数十 cm 程度の基礎石上に、泥レンガやピゼを用いた壁を有し、床面に石灰プラスターが貼られた矩形遺構などが検出されている (Bartl 2009)。

2006 年に遺跡の広範囲で磁気探査及び地中レーダー探査が行われており (第 89 図)、探査法や探査結果の詳細については報告されていないため、方法や適性について検討することはできないが、数少ない地中レーダー探査事例のひとつとしてここに挙げておきたい。

物理探査後の試掘調査によると、地中レーダー探査によるレーダー反射が認められた地点において建築遺構が検出された地点もあれば、石を用いた大型建築遺構が推定された場所からはそれに相当する遺構は検出されず、灰と焼土の混じった土坑が検出されたのみの地点もあったようである (Bartl 2008)。また、地中レーダー探査で遺構の存在が推定された地点周辺から遺構が検出されたものの、正確には捉えられていないような例もある (第 90 図)。この場合は石材を用いた遺構壁からの反射は明瞭に認められるので、探査精度あるいは解析プロセスに問題があると考えられる。

第 2 項 青銅器時代

テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡 (Tell Qubr Abu al-'Atiq)

1. 遺跡の概要

テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡は、ユーフラテス河中流域河岸、現在のシリア共和国ディレ・ゾールに位置するテル型遺跡である (第 91 図)。遺跡はテルとその下街から構成されており、地山からの比高差 26m にも及ぶテルからは河川対岸を見渡すことができる。この遺跡は 2005 年から 2007 年にかけて実施されたシリア・スペイン合同調査隊の

調査により、テルとその下街を併せると 6ha の規模を有し、主に前期青銅器時代に居住されていた都市遺跡として考えられていた (Fenollós et al 2009)。

2008 年から 2010 年までの数度にわたる発掘調査により、下街からは幅 1m を測る泥レンガ壁で構成される建築遺構が検出され、紀元前 2600 年頃の前期青銅器時代の居住層が下街に広がっていたことが明らかになった。また、下街の一部及びテルの頂上部からは紀元前 13 世紀頃の後期青銅器時代の中期アッシリア時代の文化層が、さらに表土直下に泥レンガの床面と石組の壁が広がるイスラーム時代の文化層が検出された (Fenollós et al. 2009・2011)。

2. 探査の概要

それまでの調査を受け、本遺跡では前期青銅器時代の集落及び居住範囲を推定するために 2009 年に地中レーダー探査が実施された (Novo et al. 2014)。本遺跡の青銅器時代の住居遺構壁は、石膏を含む礫岩質の地山上に、玄武岩や石膏、石灰岩で 2 段に構築された基礎上に築造されており (第 92 図)、また地山は地表下 1m 程度で検出されることが明らかになっていた。また、一部の地表面には泥レンガが及び玄武岩を用いた壁が露出している。そのため、地表下 1.5m 程度までを探査対象として以下の手法で地中レーダー探査が行われた。

中心周波数：250MHz

測線方向：南北一軸方向

測線間隔：50cm、ロープ使用

測線上データ測定間隔：5cm、オドメーター使用

探査時期：7 月 (乾季)

また、その他の探査環境については述べられていないが、探査地の地形図及び探査風景写真 (Novo et al. 2014: Fig. 2)、また探査時期などを考慮すると、探査地はほぼ平坦で、地表面には礫が散在しているが草や低木はほとんど生えていないと推察できる。

3. 地中レーダー探査成果

地中レーダー探査の結果、幅 6m、直径 400m にも及ぶ円形の周壁と推定される構造物が下街全体を囲んでおり、遺跡の都市全体の平面規模は 12ha にも及ぶことが示された (第 93 図)。また、地表下約 50cm の地中レーダータイムスライスマップ、衛星画像、及び地形図を組み合わせることで、調査者らは遺跡の周囲を円形に廻る周壁、主だった数基の建築遺構及び街路のプランが推定できると述べ、特にこの周壁を考古学的な成果の最たるものとして掲げている (Novo et al. 2014)。

4. 探査法・成果の検討

本探査の成果からは、調査者が探査結果から推定している点のみならず、建築遺構の一部と考えられる反射の分布密度及びそれぞれの建築遺構の平面規模の比較から、本遺跡内における土地利用に差異があった可能性が指摘できる。地中レーダー探査結果の疑似断面図が提示されておらず、地表下 50cm 未満の電磁波反射の状態は明らかではないため、遺跡放棄後の部分的な土地改変による遺構の分布密度や残存状況の変化は考慮すべきである。ただし、そういった問題を差し引いたとしても、周壁内北東部では、住居遺構と考えられる長辺が 5m に満たない程度の反射が密集していることに対し、この部分と街路を挟む南東部では同様の反射が点在していることが窺える。さらに中央部においては、一辺が少なくとも 10m を超える遺構壁と推定される反射が存在していると考えられる。

また、本遺跡では、地中レーダー探査により周壁と推定された地点周辺の発掘調査も後に実施された (Fenollós et al. 2011)。その結果、周壁の推定地点から玄武岩と泥レンガで構成された幅 6m の周壁と考えられる遺構が検出されており (第 94 図)、探査結果の解釈と合致した。その一方で、地中レーダー探査範囲内において、探査結果からは推定できなかったにもかかわらず、幅 1m 程度の壁をもつ遺構が密集して検出された。

このような実際の地中構造と推定結果の差は、遺構の材質に拠るところが大きいといえよう。本遺跡の堆積土は粘土質であり、電磁波到達時間が 20ns 以上の深度においては電磁波の減衰が大きいといわれている (Fenollós et al. 2011)。一部の遺構の反射が視覚的に示されてはいるものの、石材など明確に周囲の堆積物と異なる物体が存在しない限り、土壌の差異や泥レンガ壁のみの推定は困難であると考えられる。

また、幅 1m の建築壁が発掘調査で検出されており、地表面に露出している部分も多く、衛星画像ではそれらが明らかになっている。それに反して、地中レーダー探査ではそれらの反応がほとんど認められなかったようである。また、イスラーム期の遺構の反射も認められなかったようである (第 95 図)。

この問題は、そのアンテナの波長の長さ、つまり分解能、及び探査測線間隔の密度に起因するといえる。一般的に電磁波は周波数の大きさと波長の長さが反比例し、中心周波数 250MHz のアンテナを用いた場合、たとえ異物が地中に存在していたとしても、その分解能は測定点を中心として約 50cm 四方程度である。そのため、幅 1m 程度の異物は、各測線で連続する明確な反射体としてその異物を捉えられなかったと考えられる。また、中心周波数が低いために地表面の反射波が全体的なノイズとなり (第 96 図)、直下の反射波が捉えられなかったことも大きな要因である。

第3項 その他の探査遺跡

地中レーダー探査が発掘調査と比較された報告は非常に少ないが、磁気探査よりも深い地中を探査できるとして、近年ビュクリュカレ遺跡やヤッスホユック遺跡で 200MHz アンテナを用いた地中レーダー探査が取り入れられている (Fukuda et al. 2013)。今後の発掘結果と比較した詳細な報告を待ちたいところである。

第3節 遺構に対する探査性能

本章では、これまでに実施されてきた磁気探査及び地中レーダー探査の結果と解釈について触れ、調査対象に対する探査法や解釈についての有効性、妥当性について述べた。本節ではこれらを個々の遺跡での調査事例としてではなく、遺構別にまとめる。なお、壁の残存状態についてはほとんど記載されていないが、地表からの深度と平面幅については記しておきたい。

まず磁気探査について、探査環境の問題として、耕作痕のノイズが非常に大きいようである。これは全体的に±数 nT 程度だが、カザネ・ホユック遺跡のように 10nT を超える場合もある。また、ジャレット・テペ遺跡では斜面において何らかのノイズのような影響が認められる。特に言及はされていないが、おそらく探査機器の振動等に関するものと思われる。

建物遺構の建材にピゼが用いられた場合、地表直下から約 50cm の深度までで 2m 程度の幅を有する壁面であっても、明確な異常は認められない。しかし、泥レンガならば地表直下であれば幅 1m ほどの壁から+5nT 程度の磁気異常が認められており、火災を受けた場合は+12nT と非常に大きい異常を示す。壁の基礎部の 50cm 四方程度の石灰岩のみ残存している場合、地表からの深度が 1m でも数 nT の負の磁気異常が認められる。

また、建材以外では、土坑、土器棺、土器焼成窯で大きな異常が認められている。土坑では直径 1m 以上のもので+5nT 以上、土器棺では器高 80cm 以上のもので+10nT 以上の磁気異常が認められる。なお、規模等は不明だが、石棺墓、土壙墓で 20nT を超える異常が認められるようである。土器焼成窯は直径 1.5m の垂直炎式のものが高さ 1m 程度残存していたもので、+65nT の異常が認められている。

その他、ノイズの大きい地点の地表下 1m において発掘調査によりパン焼き竈が検出されている事例もあるが、明確な異常は認められなかったようである。

使用機器については分解能の高いセシウム磁力計を使用すれば明確な磁気異常が認められなかったピゼ壁やパン焼き竈などからも磁気異常が検知される可能性はあるが、耕作痕などを含めた現場のノイズが大きいため、実際には必要がないと思われる。

解釈に関しては、土坑などの円形の遺構に関してはその形や大きさが推定されているものはないが、直線的なプランをもつものに関しては明確に推定されている。ただし、地表面のノイズが大きい場合は比較的異常の大きな石灰岩製の基礎石のプランでさえ推定できない。

また、土器棺のように焼失住居や窯跡のような平面規模の大きい施設ではなくとも、地表面から 80cm 程度までの熱残留磁化を獲得した物質の場合、点的な位置の推定に磁気探査が有効である。このように熱残留磁化を獲得していれば確実に磁気異常が認められ、異常の地点は明確であるが、大規模な土坑も同様の磁気異常を示すため、そうした可能性も考

えなければならぬといえる。

次に地中レーダー探査については、中心周波数 **250MHz** アンテナを使用した際、地表下 **1m** 程度の石組の幅 **6m** の周壁は明らかに捕捉できるが、地表直下の **1m** 幅の泥レンガ壁を捉えられていない。先にも述べたが、これは波長の長さに起因すると思われる。また、発掘調査は行われていないが、**500MHz** アンテナを用いて住居の床面上で行われた探査結果からは、地表下 **90cm** から **100cm** 程度の深度で明確な面的な反射が認められている。

註

- 1 その他、2005年までの磁気異常分布図と2010年の磁気異常分布図に行われた解析プロセスが異なっており (Castel et al. 2014)、これらの磁気異常分布図はそれらの異常値の整合がとれていない。こうした理由から、両者は位置的な関係を示したものとしてみ捉え、本論では2005年までの図と2010年までの図を別途掲載している。
- 2 第74図のArea1-3で認められる南北測線方向の磁気異常は、地中に存在する遺構や遺物に関する磁気異常ではなく、測定機器の磁北に対する方向や上下方向の角度、また地表面からの高さが各測線ごとに異なる場合に発生するものである (第3章第2節)。解析時にこれらを補正することは可能で、この場合も、2007年、2008年に出版された両報告の最終的な解析結果では調査者によって補正がかけられている (Arısoy et al. 2007、Büyüksaraç et al. 2008)。しかし、仮に測線方向に平行する遺跡の磁気異常がある場合にはその本来必要である異常も補正されるため、可能な限り探査時に避けなくてはならないものである。
- 3 1993年には、測定間隔、探査者、探査時間など様々な条件を変えて探査が試みられている (Peregrine et al. 1997)。具体的なそれぞれの探査結果は示されていないが、日中に測定機器の温度が上昇することによって、測定値が大きく変わることが言及されている。ただし、この測定値の変化は時間の経過とともに推移しており、探査区内の平均的な磁気と、その探査区内において異常として認められる磁気の相対的な差は変化しない。したがって、磁気探査結果としては影響が出るものではないようである。

第 5 章

物理探査法の適性の比較研究

ここまで、磁気探査及び地中レーダー探査を用いて西アジアの遺跡の地中構造を調査する場合に、測定方法、探査環境などの違いによって、遺構の分布範囲、あるいは遺構のプランといった、どの程度のレベルの集落構造の推定が可能であるかを明らかにしてきた。その結果として、推定対象となる遺構の規模や材質によって、必要とされる測定方法や、各探査の限界が明示された。しかし、同一地点で磁気探査と地中レーダー探査が実施され、その各結果が報告された例は西アジアにおいてこれまで存在しない。

そのため、本章では、磁気探査及び地中レーダー探査を前章で導き出された最適な測定方法を用い、可能な限り探査環境を整えて、同一探査区で両探査法を併用して筆者自身が実施した探査事例を示す。第 4 章で探査適性の検討対象とした物理探査事例では、同一地点において磁気探査法と地中レーダー探査法が併用されたものはなかったため、それぞれの探査法の適性を検討することはできたものの、これらの探査法のうち、探査対象遺構に対してどちらがより適性の高い探査法であるかを検討することは難しかった。それに対し、同一地点においてほぼ同一の探査環境のもとで磁気探査及び地中レーダー探査を用いることによって、遺構に対する探査性能についてより具体的に論じることが可能となる。

第 1 節では、新石器時代のハッサンケイフ・ホユック遺跡 (Hasankeyf Höyük)、第 2 節では、鉄器時代のカラート・サイド・アハマダン遺跡 (Qalat Said Ahmadan) における両探査法によって得られた探査結果を比較、考察することによって、それぞれの遺跡、及びそこから検出された遺構に対する各探査法の適性をより明確にする。

第1節 ハッサンケイフ・ホユック遺跡

ハッサンケイフ・ホユック遺跡は、現在のトルコ南東部のティグリス川上流域に位置するテル型遺跡で、遺跡の南側はティグリス川に隣接している。テルの傾斜はなだらかで、150m×120m程度の円形の平面形を呈しており、比高差は8mを測る（第97図）。

テルの発掘調査は、2011年から日本・トルコ合同調査隊によって行われている。鉄器時代以降の土坑による攪乱が散見されるものの、それらを除けば、地表直下から先土器新石器時代の居住層がテルの頂上部周辺に広がっていることが発掘調査により明らかになっている（Miyake et al. 2012, 三宅他 2015）。

検出された基本的な遺構は、石灰岩を中心に用いた石積みの壁部をもつ半地下式の円形プランの住居を中心とする建物である（第98図）。その平面規模は直径5-6m程度で、壁の基礎部には数十センチ四方の大型の石が用いられており、上部は拳大程度の石が密に積み重ねられ、内面には粘土が貼られている。また、最上層からは矩形プランの建造物も検出されており、円形プランから矩形プランへの移行期に居住されていたことが明らかになっている。このような住居の壁際には床下埋葬も多く確認されている。また、テルの中心部には、9m四方程度のより大型の矩形の遺構（Str. 3）も検出されており、その床面に垂直に立てた状態の板石が出土していることや、この遺構の床面には他の半地下式遺構には付随しない、水路状の石列が検出されていることなどからも、これが公共建造物として機能していたと考えられている（三宅他 2014）。また、この遺構の直下からは、内壁に沿う形で敷石上に設けられたプラットフォームを有する大型の円形遺構も検出されており、新石器時代の他遺跡で検出されているベンチを有する公共建造物と同様の性格を有する遺構であったと想定されている（第1章第2節）。この遺構が他の円形住居とは異なる構造を持つことから、この場所には公共建造物と考えられる特殊な建造物が連続的に建築されていたと考えられている（三宅他 2015）。

その他にも、半地下式の石造の住居とは異なり、より規模の小さい径2-3mほどの粘土壁を有する円形遺構や土坑も検出されており、これらは貯蔵用の遺構と考えられている。これら小型の円形遺構は、大型の遺構に付随する場合や、小型円形遺構のみで密集している場合も認められ、後者の場合は世帯ごとの貯蔵施設ではなく、より大きな単位の貯蔵空間であった可能性も指摘されている（三宅他 2015: 24）。

第1項 磁気探査

ハッサンケイフ・ホユック遺跡における磁気探査は、2013年8月から同年9月にかけて行った。探査目的は、新石器時代に属する円形遺構の遺跡内での配置、またこれらの遺構

を中心とした集落規模、さらに発掘調査では未検出の新たな遺構の存在の有無を探索により推定するとともに、集落の全体像を推定することであった。

探索はハッサンケイフ・ホユック遺跡の中央部に、南北 120m、東西 140m の範囲で実施した（第 99 図）。ハッサンケイフ・ホユック遺跡では頂上部を中心に直径 140m ほどの区域がフェンスで外部から保護されており、フェンス周辺ではその影響により正確な探索結果が得られないため探索を行っていない。なお、フェンスの北側は農道、南側は河川へと下る急斜面となっている。しかし西側及び東側は現在耕作地として用いられており探索が可能であった。そのため集落の範囲を推定するために、頂上部を中心に南北幅 40m でさらに西側へ 60m、東側へ 40m 調査区を東西に延ばしてフェンス外においてもベルト状に探索を行った。

探索区はほぼ磁北を軸として設定された発掘調査区に合わせて、20×20m 単位で 1 区画を設定し、南北軸に沿って測線を定め、ジグザグ方向に測線上を探索した。南北方向では 12.5cm 毎に 1 点、東西方向では 50cm 毎に 1 点測定した。

なお、地表に落ちている鉄釘などの現代遺物は磁気探索時のノイズとなるため、探索範囲設定後に周辺を清掃し、地表面上に視認できる、あるいは数 cm 地表面を掘り下げて確認できるものは除去した。発掘に用いられている鉄杭や、磁気異常を示すが視覚的に確認できない異物は除去せずにそのまま探索を行った。

今回行った磁気探索には Geoscan Research 社製のフラックスゲートグラジオメーター FM256 を用い（第 100 図）、探索データの解析には同じく Geoscan Research 社製の Geoplot 3.0 を使用した。また、本報告に記載している探索結果の平面図化には、Golden Software 社の Surfer 10 を用いている。

遺跡を囲むフェンス内部の地表面の傾斜は非常になだらかであり、また、探索の障害となる草木などはなかった（同図）。本遺跡の地表面にはもともと遺構の建材として用いられていたであろう石灰岩や砂岩などの岩石が散在していたが、今回用いた磁気探索機器は地中レーダー探索のようにレーダーの送受信アンテナを地表面に設置して走査する必要がなく、片手で持ち運びながらその動線上で測定する機器であるため、それらは除去せずに探索を行った。一部に現代の石積みが見られたが、それらはできる限り避けずに本来の測線に従って機器の走査を行った。

第 2 章第 3 節では、連続して測定を行う磁気探索時には、走査に伴う機器の前後上下の揺れに伴うノイズや、設定した測定位置と実際に磁気を測定する位置の誤差に留意する必要があると述べた。しかし、ハッサンケイフ・ホユック遺跡では、このように磁気探索に適した探索環境であるため、機器の移動に伴うノイズや、磁気測定位置のずれから生じる誤差は小さいといえる。

第 2 項 地中レーダー探査

地中レーダー探査は、磁気探査の翌年 2014 年 8 月に、磁気探査と同じ遺跡の中央部及びその西側部、また新たにテルの北側に 40×40m の探査区を設定して実施した。測線は磁気探査と同一測線上で、探査方向も磁気探査と同様の南北ジグザグに測定した。測線上の測定方法は、タイムラン方式で一定速度で走査し、測線上 2m 毎に測定予定地点と実際の測定点の位置補正を手動で行った。

事前準備として、磁気探査時と同じく探査範囲設定後に周辺を清掃した。さらに、地表面に散在する大小の石は磁気探査時にはほとんど問題にはならなかったが、地中レーダー探査ではアンテナの移動の障害となるため、探査前にできる限り探査区外へ取り除いた（第 101 図）。この作業には、磁気探査にかかる探査区の事前準備と比較するとやや多く時間を費やすこととなった。

地中レーダー探査には Sensors & Software 社製 PulseEKKO_Pro 500MHz を用い（同図）、解析には同じく Sensors & Software 社製 EKKO_Project を使用した。地中レーダー探査では、可能な限り地表とアンテナを密着させる必要があるため、現代の石積みは障害となる地点では探査は行わなかった。また、地中に下部が埋没し上部が露出している状態の石が点在しており、探査区の事前準備でもそれらを取り除くことができなかった地点も多くあったが、今回用いたアンテナは、送受信アンテナを合わせても幅 30cm、奥行き 60cm 程度の大きさであったため、このような障害が設定した探査測線上にある場合は、設定した測線に正確に沿わずに、測線間隔である 50cm 以内の範囲ならば測線を迂回して探査を実施した。そのため、位置的な誤差については磁気探査と比較すると大きいことが予想された。

第 3 項 各探査と発掘調査成果との比較

磁気探査結果による磁気異常平面分布図を第 102 図に示す。本図では磁気異常の相対値を $\pm 5\text{nT}$ のグレースケールで示しており、正の異常を白色、負の異常を黒色とし、そのコントラストの強いものほど大きな磁気異常を表している。また、未探査区、及び相対磁場が $\pm 10\text{nT}$ 以上の地点は青色で表している。理論的には、600 度以上で被熱し、熱残留磁化を獲得した遺構が地表直下に残存する場合もこのような青色部分に含まれることになる。しかし、発掘調査で検出された被熱している比較的残存状態の良い遺構からはこのような大きい異常は認められなかったため、点在するこれらの青色部は焼成遺構ではなく、鉄杭、鉄釘などによるノイズと解釈できる。それゆえ、青色部を中心とした同心円状の異常は、鉄製品等に起因するものと考えられる。

鉄片以外で最も顕著な異常はA、Bの東西に延びる異常だが、これは地表からも確認できる石垣で、比較的近年に築造されたものと思われる。異常値は+2 - +8nT程度で、西側フェンス外では石垣としては認識できないが異常は続いており、地表面がやや盛り上がり所々に石が露出しているため、土砂に埋もれているが地下では石垣が続いていると推測できる。また、探査区東端部に見られる北西から南東に延びる直線的な帯状の異常(C)は、現代の耕作の痕だと考えられる。この耕作痕はトラクターによるもので、比高差10cmを越えない程度のもので全面に広がっていたが、この磁気異常は±2nTを超えない程度であった。

以上の3箇所の異常に関しては近年のものだが、それ以外の異常に関しては、遺跡の発掘調査で確認されている新石器時代、または鉄器時代に属するものだと考えられる。なかでも、頂上部を中心に広がる平面的に小規模な異常群(D)は、-2nTを越えない程度の相対値を示し、新石器時代の遺構によるものと思われる。本遺跡からは新石器時代の遺構が何重にも切り合っており検出されているため、磁気探査による頂上部での遺構のプランの確認は困難である。しかし、EやFなど、所々で径5m程度の半円から四分円程度の平面形を成す負の異常の並びを確認できるため、これらの異常の集中を新石器時代の円形の半地下式住居遺構の集中と捉えてよいと思われる。

しかし、発掘区とその外周部とでは高低差ができるために、発掘区の外周部では磁気探査では遺構に関する異常値が現れない。したがって、発掘によって既に検出されている遺構と磁気異常分布から推定される遺構のプランを比較することはできないが、この探査結果からは、正確な個々の遺構のプランを推定することが難しいことは明らかである。

また、この異常の分布範囲内でも、遺跡のテルの中央から北側では、負の輪郭をもたない+5nT程度の正の異常が点在している。そのため、これらは壁を持たない土坑と考えることができ、新石器時代の半地下式遺構とは異なるものだとはいえる。

これらの遺構や土坑に起因すると思われる異常は中央からテルの裾に向かうと見られなくなるが、現時点では遺構が頂上部のみに築かれたことを示すというより、むしろ遺構の上層に厚い土砂の堆積があるために異常を検知できていないと捉えたほうがよい。なぜなら、発掘調査において地表下数十cmからこれらの遺構を検出していることを考慮すれば、磁気異常の認められる箇所に残存しているであろう遺構はどれも地表からの深度が比較的浅いにも関わらず、-2nTといった僅かな相対異常が認められるに留まっているからである。

また、探査区西端付近でも点在する異常が認められる(G)。これらの異常は+10nTまでの正の異常であり、これよりさらに西には巨大な石灰岩が点々と露出しているため、これらの異常は自然の石灰岩によるものと捉えられる。

これまで示した磁気異常とは性質の異なる平面規模の大きな異常もテルの裾付近で認められる。Hは径20mほどの円弧と直線を組み合わせたようなプランを呈している-2nTを越えない負の異常で、またIやJについても明確なプランを有していないが同程度の異常値を示す。これらは概して新石器時代の遺構集中の確認できる地点ではなく、それらよりも斜面を下ったところに位置しており、もし新石器時代の円形遺構が上層の厚い堆積層によ

って墳丘斜面では確認できないとするのならば、これらの遺構は比較的上層にあると考えられる。そのため、これらの中でも異常 H は、より新しい時代の遺構の可能性が高いと思われるが、詳細は不明である。

その他に地中の遺構ではないが、2013年度の発掘調査で出土した石柱と考えられる板石の安置されている地点では、相対値として -200nT を超える負の異常が認められたことも特筆しておく。

地中レーダー探査結果の全体的な平面図を第 103 図に示す。反射体の平面位置は、反射の大きい地点を暖色系、反射の小さい地点を寒色系とするカラースケールで示されている。本図は地中のレーダー伝達速度を 0.1m/ns として深度換算した地表下 50cm から 100cm のタイムスライスであるが、取得した地中レーダー探査データの参考資料として、深度をより細分した地表直下からの探査区中央部のタイムスライス及び、本論で言及する反射体が存在する地点の疑似断面図の一部を付図として添付する。付図のタイムスライスではカラースケールで、疑似断面図ではグレースケールで反射の大きさを示す。

なお、本遺跡の探査結果から得られた疑似断面図では、第 3 章第 3 節で例示した日本の陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査結果のような土壌の境界面と推定できる水平な反射面は確認できない(辰巳 2016b)。その他に、L9 区に認められる反射体は地上に積み上げられた岩石からの反射によるもので、地中の構造を表したものではないことをあらかじめ述べておく。

この結果からは、直径 2 - 5m 程度の環形の反射が、遺跡の中央部を中心に互いに重なり合うように明確に認められる。これらの反射体は、重なり合って四分円程度になっているものも含めれば少なくとも 57 箇所を確認でき、磁気探査によって得られた磁気異常分布図において認められた D の異常群とほぼ同様の分布を示している。

この反射体と発掘区内において検出されている遺構の位置を比較すると、これらは新石器時代の円形の半地下式遺構の延長に合致していることが確認できる(第 104 図)。したがって、反射体のプラン及び規模から、これらの反射体は発掘調査によって検出される円形の半地下式遺構であると推定でき、これらが密集して多数残存しているといえる。しかし、この遺構の床面に相当する水平な反射は疑似断面図においても全く認められず、壁部のみが反射していることには注目すべきである。

また、中央の発掘区より北側においては、反射体が散在することは確認できるものの、明確な半地下式遺構のプランが推定できるものは少ない。この点については、磁気探査結果との比較検討から、この地点には土坑が多く、これらの土坑の攪乱によって半地下式遺構の一部が破壊されていることが推定できる。床の硬化面や泥レンガが地中レーダー探査では明確な反射体として認められないことから、これら土坑内の堆積土等との境界面においても反射は確認できないのであろう。

さらに、この地中レーダー探査によって円形遺構と推定できる地点と、 $+10\text{nT}$ 以上の正の異常を比較すると、磁気探査のみからは窺えなかった解釈が可能となる。例えば磁気異

常分布図の I14 区に、中心が+10 nT を超える大きな磁気異常が認められるが、その地点では地中レーダー探査で推定できる円形遺構が認められないことが確認できる。これと同様の状況が、D-I 区の中心が+10nT を超える磁気異常の認められる地点においても指摘できる。このことから、これらの磁気異常は土坑によるもので、この様相は、土坑によって円形遺構が破壊されていると想定できる。そのため、中心が+10nT 以上の相対磁気異常値を示す地点にも土坑が存在すると考えられ、また反対に、ハッサンケイフ・ホユック遺跡においても土坑が+10nT を超える異常値を示す場合があることが指摘できる。

また、平面形が環形のこれらの一連の反射の平面形よりも一回り規模の大きい5×7mの円形あるいは矩形のプランの反射も、中央部のやや北西側に一箇所認められる。反射の地表面からの深度は半地下式住居遺構のものと同程度であり、規模やプランとしても、本遺跡で検出されている半地下式遺構より新しい段階において建築される矩形の半地下式遺構に類似している。この反射体は住居遺構が集中している地点からはやや離れているため、確実にそれに比定することはできず、別の時期の遺構に起因する反射である場合も考慮すべきだが、磁気探査で想定された範囲よりも広い範囲まで、比較的地表下から浅い深度にこのような新石器時代の遺構が広がっている可能性も考えられる。

円形の半地下式遺構の他に、帯状に連続した大きい反射体が中央部の南裾に認められ、また中央部の南西（J6 - K8 区付近）にも矩形、及び直線形に連続した大きい反射体が認められる。南裾に認められるものに関しては、以前に発掘されていた試掘坑から石組の遺構が検出されておりこれに関連するものと考えられ、地中レーダー探査では、ここからさらに西側に向かって石と思われる反射体が帯状に延びていることが推定できる。ティグリス川に面する遺跡の南側にのみこの反射が捉えられているため、河岸に堤防、あるいは土止めのような遺構が築かれた可能性が想定できる。これは石壁のような明確な反射波が捉えられているわけではないため、現状ではテルの南裾で見られるように高く石を積み上げられたものではないと推定できるが、もともとはこれらが一連の遺構であった可能性もある。

西側のものに関しては、どのような構造物が地中に存在するのかが明らかではない。しかし、この地点は磁気異常 H の地点と合致することが確認できる。前述したように、地中レーダー探査では、地表直下においては地表面からの反射波の影響によって正確な反射波を受信することができないが、磁気探査で顕著な異常が認められ、地中レーダー探査でもこの地点からの反射波が確認できることから、比較的地表下に近い深度に石材を用いた何らかの遺構が残存していることが推定できる。この構造物も南裾の構造物に関連するものであるかもしれないが、明確なプランを有するわけではないため、可能性があるといった程度に留めておく。

その他点在するプランが明らかではない反射体は定かではないが、本遺跡においては地中レーダー探査では土壌の差異が認められないので、点的な強い金属からの反射体を除いて、おそらく遺構の一部、あるいは石灰岩の集石等と考えられるが、この点については定かではない。

ここまで、磁気探査及び地中レーダー探査の結果、磁気異常の認められた点、顕著なレーダー反射波が表れた点について、ハッサンケイフ・ホユック遺跡で検出されている遺構に関連付けて述べてきた。しかし、本遺跡で検出されているにもかかわらず、物理探査結果からは言及できなかった遺構も存在するため、これらについても言及する。

ハッサンケイフ・ホユック遺跡では、テルのほぼ中央に位置する大型の矩形遺構をはじめとして、他の円形遺構においても床下埋葬の存在が壁際に多く確認されているが、これに相当するような磁気異常やレーダー反射を確認することはできない。磁気探査結果では、先述したように密集した円形遺構の掘り込みや遺構壁、またさらに上層からの掘り込みによるものと考えられる様々な磁気異常が複雑に重なり合っているため、一遺構に起因する磁気異常を判別することは不可能であるためである。地中レーダー探査結果については、埋葬のための土坑が確認できない理由は異なる土壌の境界面では大きな反射波が確認できないためであるといえる。さらに、主に遺跡の中央部に設定された発掘区外の円形住居遺構の床下にも、同様に床下埋葬が行われていたとするならば、円形遺構の壁部であると推定できる反射面付近の一部に大きな反射が認められるはずであるが、それは確認できない。発掘調査による検証はできていないが、土壌と人骨との境界面からの反射波も、少なくとも岩石と土壌の境界面に見られるほど大きいものではないことが指摘できる。

また、住居と考えられる円形遺構の他に、より小さな貯蔵庫の可能性が指摘される遺構も発掘調査によって検出されているが、これを物理探査結果からより大型の住居と考えられている遺構と明確に区別することはできない。これらの小型の円形遺構は粘土の貼られた床面下に敷石が認められることも少なくないとされているが（三宅他 2015）、石材の集中によるものと推定できる反射体は数ヶ所で認められるものの、均一な反射面が円形遺構の反射に付随するような例は確認できない。磁気探査結果においてこれらの小型円形遺構が捉えられないのは、大型円形遺構が明確に認められない理由と同様であろう。

しかし、遺構の平面規模のみの点からは、直径 5m 程度のものから直径 2m 程度のものまで地中レーダー探査によってある程度推定できる。テルの頂上中央部から北側は、先述したように遺構が多く破壊された可能性が高く、これら小型の円形遺構の存在を明確に推定することはできないが、南側では発掘グリッドの H9 区から I14 区（同図）までの範囲で直径 5m 程度の住居と想定されている円形遺構と切り合うように均一に分布していることがわかる。

第 4 項 物理探査から見た遺構の配置

第 3 項では、発掘調査によって検出された遺構と磁気探査結果、また地中レーダー探査結果から得られた磁気異常分布図及びスライスマップの平面位置の比較から、それぞれの遺構に対する各物理探査の適性について述べた。探査深度の問題や、複雑に遺構が切り合

っている状況、あるいは破壊されている状況において遺構の平面形や規模等に関する正確な推定は困難であったものの、特に地中レーダー探査では、実際に検出された壁幅数十 cm 程の遺構の延長と物理探査結果による遺構の推定地点が整合するという平面的な正確性を検証できた。

本項では、これらの物理探査結果から、集落内でそれぞれの遺構がどのように配置していたのかを可能な限り推定し、物理探査結果から見たハッサンケイフ・ホユック遺跡の集落構造についてまとめる。なお、両探査結果の比較によると、本遺跡で主に検出される半地下式円形遺構の平面形や規模は地中レーダー探査の方がより明確に推定できることが検証されたため、主に地中レーダー探査結果をもとに論じる。

まず、本遺跡では少なくともテルの頂上よりやや南側を中心とした直径 60m 程度の範囲において、円形遺構の壁が接するほどの密度で遺構が集中的に構築されていたことが指摘できる。この様相を正確に示すことのできる探査深度が限られているため、その同時期性、あるいは時期差に関して言及することはできないが、これらの遺構は、一方の遺構が完全にもう一方の遺構を破壊しているというよりも、むしろ一方の遺構がもう一方の遺構壁の一部を利用して構築されたと考えられる距離であり、完全に円形遺構が他の円形遺構を切っていると推定される反射波の例は、少なくとも地表下 50 - 100cm の深度では認められない。

つまり、円形遺構と推定できるにもかかわらず、その反射波が平面形において完全に断絶している I9 区や I13 区に認められる反射の周囲には、他の円形遺構の存在も認められないのである。したがって、これらの遺構はより上層からの土坑等による攪乱を受けたため破壊されたと想定できる。

このことから、この限られた一定の深度においては、これらの接した関係にある円形遺構は、同時期に構築されたか、あるいは長くとも一方が廃棄されたことを確認できる程度の時期差で構築されたと想定できる。地中レーダー反射波のタイムスライスが層序を示すものではないため、中心から離れた孤立して認められる数基の円形遺構についてはこの同時期性について指摘することはできないが、遺跡の中央に密集する 50 基以上の円形遺構は比較的短期間に構築されたと想定できる。

また、G10 区から H11 区の一部では、地中レーダー探査結果のみからは円形遺構の存在が確認できず、この結果のみからではこの区域がオープンスペースと考えられる可能性もある。しかし、磁気異常分図によると、磁気異常の平面規模や異常値が大小様々に認められ、特に点的な正の異常が密に認められるため、この地点を遺構がなかった区域とみなすのではなく、発掘区の北側と同様に、土坑などによる上層からの攪乱が激しいために円形遺構を確認できないと捉える方が妥当であろう。

また、遺跡の頂上部から検出された大規模な矩形遺構 (Str.3) に平面形が類似する遺構として考えられる反射が唯一 E7 区に認められる。ここでは明確にその壁のプランが推定できるため、上部からの攪乱をほとんど受けていないといえる。それにもかかわらず、床面

に相当する内部からは反射面が確認できない。仮にこれが「Str. 3」と同様の性格を持つ遺構であれば、攪乱を受けていない状況では敷石からの反射波が少なからず認められるはずである。したがって、この遺構はその平面規模は大きく矩形の平面形を呈するものの、その属する時代は定かではないが、少なくとも「Str. 3」と同じ性格の建造物ではないと捉えられる。

これらの物理探査結果から推定し得る遺構の配置についてまとめると、ハッサンケイフ・ホユック遺跡は、先土器新石器時代の他の遺跡で見られるように（第1章2節）、集落の中心位置に公共建造物を有し、周辺に住居や貯蔵施設を配するような構造であったことが窺える。公共建造物を中心としたこれらの住居や貯蔵施設の配置には特別な規則性があったわけではないようであるが、少なくとも短期間に50基を超える住居や貯蔵施設が密集して構築されていたことが窺える。この時期には中心の公共施設の他にはオープンスペースなどの特別な遺構が集落内には存在しなかったようである。また、住居が壁を共有する、あるいは放棄された壁を再利用するように築かれたことも特徴といえる。

第5項 物理探査の有効性と限界

本項では、磁気探査と地中レーダー探査を用いることによって得られたそれぞれの成果と問題から、新石器時代の遺跡に対するそれぞれの探査の有効性と限界について述べたい。

まず、本遺跡における磁気探査結果からは、集落内での遺構に関連するであろう磁気異常の分布域を推定することはできたが、遺跡中央部の地表面には耕作痕はなく、磁気探査環境としては好条件ではあったにもかかわらず、個々の遺構の正確なプランを推定することはできなかった。その理由としては、地表直下付近においても石灰岩を中心とした建材の磁気異常が -2nT 程度と微弱であったことと、平面規模の小さい半地下式住居遺構や土坑が複雑に切り合って存在していたことが大きい。前者の建材に関しては、第4章で見た青銅器時代以降の事例よりも建材が小さく、基礎部にのみ大型のものが用いられたことで周囲の土壌に対する磁気異常が比較的小さかったといえる。

後者は、円形の半地下式住居が廃棄された後にそれ自体が土坑のように別の堆積土で覆われるため、平面規模も小さく、また微弱な相対磁気異常が複雑に重なり合うことで、明確なプランを推定するには至らなかった。

ハッサンケイフ・ホユック遺跡では、耕作痕の影響は $\pm 2\text{nT}$ 以内と比較的小さかった。しかし、探査環境により問題がある遺跡では、磁気探査ではこれらの遺構のプランだけでなく、遺構の分布範囲を推定することさえも難しいと思われる。ただ、大型の石柱がある場合には、きわめて大きな磁気異常が認められるため、この種の公共建造物と思われる遺構の有無やその数の推定は可能であるといえる。

また、熱残留磁化を獲得したと思われる大きさの磁気異常も今回の探査では認められな

かった。熱残留磁化を獲得するに至らない程度の燃焼温度であったのか、被熱部分が風化してしまったのかは定かではないが、それゆえ、第 3 章で挙げた焚き火実験の例はあるものの、実際にはこの時期の炉址の探査にも適していないといえる。

一方、地中レーダー探査では、円形の半地下式住居遺構は磁気探査結果と比較すると非常に明瞭に遺構のプランを示すことが確認できた。こちらの場合は磁気探査とは異なり、石材と土壌との主に水分含有率の差に基づく比誘電率の差（第 4 表）から反射波の大きさを決定するためである。その平面位置も今回の測線間隔は 50cm であったが、発掘調査によって検出された数十 cm 程度の遺構壁に合致した、非常に高い精度で推定できる結果が得られた。したがって、遺構の残存状態がよければ、500MHz アンテナによる地中レーダー探査では、測線間隔 50cm で平面規模の大小や、小部屋などの区画の有無まで推定することが可能であろう。時期は異なるが、石材を用いている限りセルプランやグリルプランと呼ばれる遺構の判別や、T 字形や三列構造の遺構などの推定も可能であると思われる。

このような遺構の正確なプランの推定には、地中レーダー探査の方が磁気探査よりも圧倒的に有効であるといえ、上層からの攪乱等がない限りは、ほぼ正確に集落全体の構造を推定できる。しかし、今回使用した中心周波数 500MHz のアンテナでは、地表直下から 30cm までと、地表下およそ 1m 以下の深度では、たとえ石材を利用した遺構であっても、その存在の推定はできない。地表直下では地表面の反射のリングングが、また深部ではレーダーの減衰が大きいためである。そのため、今回得られた探査成果を含め、500MHz アンテナで正確に推定できる集落構造は、-30cm から-1m の深度に限られるという点を注意しなければならない。

また、地中レーダー探査が磁気探査よりも半地下式住居の推定に適性がある反面、堆積土と住居床面や土坑との境界面からの明確な反射波は認められない。第 3 章で述べたように、様々な土壌が堆積している場合、土壌が水分を含んだ状態では土層の境界面からの大きい反射波を受け取ることになるが、土壌が乾燥した状態ではそのような反射波は比較的小さくなるという結果が、湿潤な地域である日本の陸平貝塚遺跡での探査結果（辰巳 2016b）と比較すると顕著に表れる。

そのため、明確なプランが認められない地点においても反射面が散見される場合、上部からの攪乱等によって石材を用いた遺構が破壊されている可能性を考えて探査結果を丁寧に解釈しなければならない。しかし、今回のように磁気探査と併用することによってこの様子がより確実性をもって推定できる。

その他の反射に関しては、大きな反射が認められるものの、正確な平面形が分からない結果となった。これは反射波が小さいという理由ではなく、遺構壁を構成していた石材が大きく崩れ、周囲に散ってしまったために反射体の平面位置が特定できないからであると考えられる。断面図においても、岩石などの点的な反射体に見られるハイパボラが複数重なっており、その本来の正確な位置を推定することは困難であった。したがって、上部まで比較的大きな石材で構築された遺構からは明瞭に反射波が認められる反面、それが激し

く破壊されている場合には崩れた石材にも大きな反射が認められるため、おおよそのプランは推定できるものの、正確には推定できないといえる。

第2節 カラート・サイド・アハマダン遺跡

カラート・サイド・アハマダン遺跡は、現在のイラク・クルディスタン自治区、ザグロス山麓のペシュダール平原に位置する遺跡であり（第105図）、ザブ川支流がその裾を流れるテル型遺跡である。2015年から2016年までの調査により、紀元前7500 - 700年頃の新石器時代から鉄器時代にかけての様々な時期に利用された遺跡であることが明らかになっている（Tsuneki et al. 2015, Tsuneki et al. 2016）。

第1項 磁気探査

カラート・サイド・アハマダン遺跡では、地表下1.2m程度までの深度にある集落構造の推定を主目的として、2014年夏季にテルの南側斜面部及び頂上平坦部に探査区を設定し、磁気探査、及び地中レーダー探査を実施した（第106図）。

テルの北東斜面部は現在の村落によって一部破壊されており、西斜面部には現代のゴミ捨て場として利用されている大きな窪みが存在している。こうした状況は磁気探査、地中レーダー探査のどちらにも好ましくなく、遺構の推定は極めて困難であるため、これらの地区では探査は実施しなかった。

一方、南斜面部には草木はほとんど生えておらず、現代の耕作痕も認められず、機器の移動や測定にも適しているといえた。また、頂上平坦部には草が生えており、現代のゴミ捨て場となっている窪地が散見されたが（第107図）、除草作業、及び地表面上の視認が可能な限りの現代の空き缶などのゴミの撤去作業を行った後に探査を実施した。

磁気探査には Geoscan 社製フラックスゲート FM256 を用い、磁北軸に沿った遺跡のグリッドに沿って、斜面部、頂上平坦部のどちらも南北ジグザグ方向で実施した（第108図）。

斜面部及び頂上部の両探査区において、東西の測定間隔、つまり測線間隔は50cm、また測線上のデータ取得間隔として南北方向で12.5cm毎に1点測定した。

また、探査データの解析には Geoscan Research 社製の Geoplot 3.0 を使用し、探査結果はグレースケールで磁気異常分布の相対値を示している。また、本報告に記載している探査結果の平面図化には、Golden Software 社の Surfer 10 を用いている。

第2項 地中レーダー探査

地中レーダー探査は、上述した磁気探査と同じ探査区、及び同一測線上で行った。探査時のアンテナの走査方向は、一般的に平坦な場所では測線をジグザグに移動するものであ

るが、今回の探査ではテルの南側斜面部には急傾斜があったため、この探査区での測線方向はテルの裾部から頂上部へ向かう南北への一定方向のみとし、頂上部では南北ジグザグ方向で実施した。

測線上の測定方法は、ハッサンケイフ・ホユック遺跡と同様のタイムラン形式で一定速度で走査し、測線上 2m 毎に場所の補正を行った。

地中レーダー探査には Sensors & Software 社製 PulseEKKO_Pro 500MHz を用い、解析には同じく Sensors & Software 社製 EKKO_Project を使用した。

第 3 項 各探査と発掘調査成果との比較

本遺跡の磁気探査結果と地中レーダー探査結果では、磁気異常分布とレーダーの強反射体の平面位置において対応している点が多く認められる。また、両探査は並行して実施されたため、本項ではそれぞれの反応を比較しながら地中の遺構について検討する。

磁気探査結果による磁気異常分布図を第 109 図に示す。本図ではテルの頂上平坦部では $\pm 5\text{nT}$ のグレースケール、斜面部では $\pm 10\text{nT}$ のグレースケールで相対異常値を表している。また、地中レーダー探査結果によるレーダー反射平面図を、反射の大きい地点を黒色とするグレースケールで第 110 図に示す。本図は地中のレーダー伝達速度を 0.115m/ns として深度換算した地表下 50cm から 100cm の全体的なタイムスライスであるが、深度をより細分した地表直下からのタイムスライスを参考資料として付図に示す。付図のタイムスライスでも第 110 図と同様にグレースケールで反射の大きさを示している。

テルの南側斜面部で実施した磁気探査結果からは、斜面裾部の探査区の南端にかかる位置において、テルを廻るように南側斜面部に帯状の磁気異常が認められた。この異常はテルの裾部を廻るように広がっているように見られる。また、探査区の北側、試掘坑 D 区北端にかかる位置においても同様の磁気異常が認められた。これらはそれぞれ -3nT 程度、 -5nT を超えない程度の異常だが、探査区の西側に集中して認められる現代の鉄製品によると考えられる磁気異常を除けば、この南面部においては相対的に最も大きい磁気異常である。しかし、これらの異常のうち斜面の北側に認められるものは、探査区の北東には続いておらず、斜面裾部に認められるものも、探査区外に広がっている可能性はあるものの、明確にテルを廻っているとまでは言い難い。

地中レーダー探査の結果からも、地表下約 50cm の深度において、磁気探査と同様に斜面裾部においてレーダーの反射面が斜面に沿ってテルを廻るように帯状に認められる(第 110 図)。これは 6m 程度の間隔をもって二重に廻っているようで、さらに、その北側 10m 程度の地点においても同様の反射体が認められる。これらの反射帯の平面位置は同年度に発掘調査が実施された試掘坑 D 区南端や、A 区の南側を通っていると窺える。一方で、磁気探査結果で探査区北側に認められていた磁気異常の存在する地点においては、地中レーダー

探査では何も認められていない。

発掘結果からは、D 区の南端に、先史時代の堆積の縁辺を切り取るように、ステップを有する紀元前 8 - 7 世紀頃の大規模な石組遺構が検出されている（第 111 図 a・b）。ステップ最上段は地表下 1m 程度から検出されているが、その深度ではレーダーの減衰が大きく地中レーダー探査ではその反射は認められない。しかし、遺構の規模及び平面位置を考慮すると、D 区南側に位置するステップ上段部とレーダー反射帯の一つの位置が対応しており、この遺構はテルの南側全体を囲っているものと推定できる。斜面南東部でこの反射が明確に認められるのは、表土の堆積は東斜面の方がより小さいという、遺構の深度の差によると考えられる。

A 区の南側を通るように認められる反射帯も、発掘調査によって検出された地表下 50cm の集石遺構（第 111 図 c）と同様のものとして考えることができる。これは約 30 - 40cm 四方の石を用いた 1 - 2 列程度の集石で、発掘調査ではその規模の小ささから周壁とは考えられていないが、地中レーダー探査結果からは、少なくともこのような遺構が断続的にではあるがテルを廻っていると推定でき、さらにその南側にも類似した遺構が廻っていると考えられる。

また、磁気探査で異常が認められたにもかかわらず、地中レーダー探査で明確な反射の認められなかった地点に隣接する D 区北側では、地表下 30cm 程度の表土直下から鉄器時代に大規模な掘削があったことが明らかになっている（Tsuneki 2015: fig. 5. 1）。D 区の土壌堆積状況と同様に、この地点も大規模な土壌の改変が行われたと予想でき、磁気探査で認められた磁気異常はこれに関連するものなのかもしれない。

その他、発掘調査では B 区及び C 区において鉄器時代以前の遺構や遺物が確認されている（Tsuneki et al. 2015）。しかし、地表面からこれらの遺構までの深度の問題から、物理探査では推定できなかった。

テル頂上部においても、磁気探査では様々な磁気異常が認められた（第 109 図）。しかし、その多くが数十 nT を超える、平面的に点的な磁気異常であり、これらは鉄製品などの近年の廃棄物であると推定でき、探査前には地表面に廃棄物が散見されたことから、遺跡に関するものとは考え難い。その他に建造物の壁部と考えられる平面的に直線形を成す磁気異常も -7 - -3nT 程度で認められるものの、先に挙げた磁気異常が大きいため、明確なプランは推定できない。少なくとも、南東方向に軸を有する建造物が存在することが磁気探査結果から推定できる。

また、地中レーダー探査では、直線形の平面形を成す、顕著な反射が地表下 50cm 程度の深度で全域に散見された（第 110 図）。これらの位置に遺構壁の基礎石と考えられる大型の石が存在すると推定できた。これらの反射の位置の一部は磁気探査で壁部と考えられる位置に対応するが、ほとんどが磁気探査では明確な異常として捉えられなかった地点に認められる。

2015 年の発掘調査の結果、地中レーダー探査の解釈によって遺構が存在すると推定され

た試掘坑内（F トレンチ）の全地点において、紀元前 8 - 7 世紀に比定される鉄器時代の幅 1m を超える石積みの厚い壁を持つ建築遺構が検出された（第 112 図）。テル頂上部の遺構の残存状態が良好ではないようで、探査結果のみからは明確なプランは窺えないが、この探査結果を踏まえ、頂上平坦部には、その大部分を占めるように鉄器時代の大型建造物が建設されていたことが推定できた（Tsuneki et al. 2016）。

この発掘された遺構壁と地中レーダー探査結果を照らし合わせたものが第 113 図であり、その断面図の一部を第 114 図に示す。発掘調査では、頂上部において地表直下から地表下 30cm 程度までの深度でイスラーム期の遺構が検出されているが、タイムスライス及び疑似断面図からもわかるように、それらはほとんど特徴のある反射波となっていない。これは、地表面における反射波のリングングが大きいことによるもので、より高い周波数のアンテナを用いなければ反映されない。そのため、疑似断面図において、発掘調査により検出された壁と同程度の深度で認められる反射波は、この遺構壁と同様のものと推定できる。

第 4 項 物理探査から見た遺構の配置

ここでは、ハッサンケイフ・ホユック遺跡と同じく、物理探査結果から得られた情報を用いて、カラート・サイド・アハマダン遺跡の遺構の配置から、本遺跡の性格について論じる。本遺跡では、物理探査後にその結果に基づいて探査区の一部が発掘され、その結果として探査結果から推定したような石組の壁が検出されたこと、またその発掘結果を踏まえて、頂上部平坦部に大規模な遺構が存在すると推定できることは前項で述べており、まずは、その際に触れたテル頂上部に存在する遺構について改めてその構造をできる限り明らかにする。

前項で推定した、鉄器時代の幅 1m 以上の厚みを持つ壁と同様の大きさの反射波の確認できる平面位置から、この遺構がどのように広がるかを推定したものが第 115 図である。ここから、少なくともこの遺構の西側は、現在のテルの頂上部西端まで広がっていることが推定できる。また、東側についてもその頂上部の外縁付近まで遺構が広がっていることが想定できる。南北にどの程度まで広がるかは、現代の大型のゴミ穴が設けられていたこともあり、本結果からは論じることはできないが、この一連の壁は、小さく見積もっても 40 × 30m の平面規模を誇る、非常に巨大な遺構であったことが推定できる。また、その平面規模のみならず、これ程の規模を誇りながら、その遺構内部で推定できる壁が少ないことも興味深い。つまり、この遺構はその外形のみでなく、一部屋、あるいは内部の通路の規模も大きいことが想定できる。

これらの点を踏まえると、これが単なる複合住居施設などではなく、何らかの巨大な公共建造物であったことが想定できる。また、この遺構の発掘調査によって出土した土器は紀元前 8 - 7 世紀の新アッシリア時代のものと考えられており、テルの南斜面に見られた石

組遺構と同時代である可能性が高いと考えられる。そのため、次に本遺跡の斜面で認められた磁気異常及びレーダー反射体から推定した本遺跡の斜面の利用状況を振り返ってみたい。

前項において、斜面部で実施した磁気探査結果及び地中レーダー結果と、発掘調査によって検出されたステップを有する大規模な石組遺構の上段部と帯状のレーダー反射体の位置が合致していることから、この大規模な遺構がテルの南側を囲っていることはほぼ確定である。また、そのさらに南側を廻る反射帯も、発掘調査によって検出された集石遺構と同様のものと想定された。後者の遺構は周壁としてではなく土止めのような機能を持っていたと推定されているが、物理探査結果から、少なくともこの集石遺構も断続的にテルを廻っていることは確実で、さらにこれに類似した遺構がその外側を廻っている可能性も指摘した。

この地中レーダー探査によって認められた、石組遺構の上部と推定された反射体は、テルの傾斜変換線に沿っており、テルの北側で破壊されていることを除けば、そのままテル全体を廻る可能性が高そうである。物理探査範囲はテルの南斜面のみであったため、はっきりとそのように断定するのは早急であるが、仮にこれらの遺構がテル全体を回っていた場合、カラート・サイド・アハマダン遺跡は、少なくとも直径 180m ほどの巨大な周壁に囲まれていることになる。

以上のように、地中レーダー探査の結果、カラート・サイド・アハマダン遺跡には、40×30m を超える頂上部全体を覆うほどの大規模な矩形の公共建造物が築かれ、その周囲、少なくとも南側を周壁で囲われた遺跡であることが明らかになった。発掘調査に物理探査法を併用することで、本遺跡が、単なる集落遺跡ではない何らかの重要な意味を持っていた公共的な遺跡であったと推定することができた。遺跡の機能として推定できるのは、紀元前9-7世紀に当地域で争っていたアッシリアとメディアの前衛基地である可能性であるが、それ以上の推測は、将来の発掘調査等を待ちたい。

第5項 物理探査の有効性と限界

カラート・サイド・アハマダン遺跡が頂上に大規模建造物と数重に廻らされた石積み遺構を有する特殊な遺跡であると推定できたことが、物理探査を遺跡調査に応用した重要な考古学的な成果といえよう。しかし、上述したように探査結果には問題の残る部分もいくつかあった。ここでは、発掘結果と比較した2種類の物理探査の成果や問題から、クルディスタンのテル型遺跡における物理探査のケーススタディとして、両探査の有効性や限界についてまとめたい。

石材を用いた遺構に対して、磁気探査では地表下約 50 cm 程度の深度に存在する 30 - 40 cm 四方以上の石を用いた建造物の磁気異常は明確に検知できた。しかし、周辺の廃棄物な

どによる磁気ノイズの影響が大きく、正確なプランまで推定することは困難であった。測線間隔などの探査精度や探査機器の分解能を向上させたとしても、廃棄物の除去を徹底しなければより良い成果は得られない。また、地表から深い地点では同様の遺構からの異常は認められなくなり、石材を用いた遺構の探査の場合、南斜面部の例から、少なくとも 500 MHz アンテナを用いた地中レーダー探査より探査限界は浅いといえる。

地中レーダー探査では、石材を用いた遺構から明確な反射が見て取れ、少なくとも 50 cm の深度ではそのプランも明確に推定できた。しかしながら、500 MHz アンテナを用いた場合は、地表下 1 m 以下に存在する石積み遺構からの反射は見取れず、さらに探査深度を求めるには、探査分解能は下がるものの、より低周波数のアンテナを用いる必要がある。

一方で、磁気探査で異常が認められたにもかかわらず、地中レーダー探査では反射が確認できなかった南斜面の D 区北端周辺のような箇所もある。また、探査区全体を通して、土層の差異は地中レーダー探査ではほとんど捉えられていなかったため、堆積土壌の差異から土坑の推定を行うことは不可能だといえる。したがって、丁寧に固められた面を持たない限り、泥レンガやピゼ壁などの検出も困難となり得る。

また、頂上平坦部では磁気探査では様々な磁気異常が存在したため、正確な遺構のプランを推定することはできなかったが、地中レーダー探査では、廃棄物や散乱した石などを除いては、ノイズとなる反射は認められなかった。それにもかかわらず、遺構が存在すると推測される地点からも反射が認められず、これは、上述した堆積土の差異に対する両探査の特徴が明瞭に表れた結果であり、テルの頂上平坦部は後世の土坑等により大きく攪乱を受けているためと解釈できる。このように、磁気探査を行う際には堆積土壌の差異が顕著に認められるため、土坑などの検出に適している一方、表土からの攪乱坑の影響も大きい。こうした、攪乱を受けた遺構や攪乱坑そのものに対してどのように解釈するかということも、物理探査の課題となるであろう。

終章

ここまで、西アジアの集落研究に活かすために各物理探査法の特徴を検討し、様々な遺構に対する適性を明らかにしてきた。本章では、結論として西アジアの各時代、各遺構に対する適切な物理探査法を第 1 節で提示し、今後の遺跡調査のための基盤としたい。加えて、第 2 節では物理探査法を遺跡調査に応用する利点を論じ、そのための具体的な探査法を、遺跡の考古学的な情報の有無や遺跡の堆積状況にしたがってまとめる。そして、第 3 節では物理探査結果が本研究を通じて研究資料として信頼を高めることで、集落研究の新たな展望が開けることを提言し、本論の結びとしたい。

第1節 西アジアにおける物理探査法の適切な選択

西アジアの遺跡においてこれまでに実施された物理探査事例、また筆者自身による物理探査事例から、適切な探査を行う上で重要となる点を本節ではまとめておく。各時代、各遺構に対する個々の探査法とその有効性に触れる前に、まずは西アジアの物理探査に共通する問題点を挙げる。

これまでに西アジアで実施されてきた探査事例のほとんどは磁気探査であったが、西アジアにおいて、磁気探査では遺構に起因する磁気異常と比較して、現代の耕作痕に起因する磁気異常、つまり地表の凹凸の影響が非常に大きい。そのため、探査地の地表面の状況に応じて探査法を選択する必要がある。探査結果が芳しくない要因のほとんどが、この磁気探査への耕作地の影響であり、耕作痕による規則的な異常が目立つ探査結果が多い。火災を受けた遺構や周壁、大型の石灰岩を建材とした遺構以外の全ての遺構に基づく磁気異常が、耕作痕と同程度あるいはそれ以下の大きさである。

磁気探査にあたって、探査機器にはフラックスゲート磁力計とセシウム磁力計が多く用いられてきた。セシウム磁力計はフラックスゲート磁力計の約10分の1の磁気異常値を測定できる分解能を誇るが、地表面の僅かな凹凸がそれを大きく上回るノイズを生み出しているため、実際には機器の差は微々たるものであるといえる。むしろ、探査中の地面からセンサーまでの距離の差が大きなノイズとなっており、凹凸の激しい地面においても常に安定性が求められるような探査の工夫が必要である。こうした場所で物理探査を適切に行う場合、地中レーダー探査のアンテナの移動にも地表の凹凸は悪影響を与える。遺跡が耕作地となっている場合、探査結果の解釈時にはその影響を踏まえて探査データから遺構の反応を読み解く必要がある。

また、磁気探査と地中レーダー探査では堆積土の影響の表れ方が全く異なることも、データの解釈時には念頭に置かなければならない。磁気探査では土壌の差異が非常に顕著に表れ、地中レーダー探査ではほぼ全くと言っても過言ではないほど表れない。そのため、探査対象の材質のみならず、探査対象に対する上層からの攪乱が予想されるときにも、目的に応じた探査法を選択する必要がある。

なお、遺構の細部を推定しようとする場合、その限界深度は磁気探査と地中レーダー探査のどちらも地表下およそ1m程度であるため、遺構のプランが明確になったとしても、堆積の状況によっては必ずしもその層全体の構造を推定できるわけではないことは先にも述べている。物理探査法にそのような限界があることを念頭におきつつ、本論で提示した議論をもとに、西アジアにおける物理探査に適切な手法をまとめたい。

第1項 旧石器時代

これまで西アジアの旧石器時代の遺跡に対する物理探査は報告されていなかった。旧石器時代の人々は、その終末期に入るまで遺跡としてもほとんど遺構の残らないキャンプ地や洞窟遺跡を利用する遊動的な生活を送っていた。この場合痕跡として残るのはほぼ石器製作址と焚き火址に限られ、終末期になって堅穴住居址や土坑、集石などが登場する。

地中レーダー探査では、西アジアの環境では局所的な堆積土壌の差異は認めることはできず、また被熱遺構の推定事例も存在しない。そのため、堆積土壌の差異を明瞭に示し、かつ熱残留磁化を獲得した遺構にも明確な反応を示す磁気探査法が、堅穴住居址、土坑、焚き火址の探査に適しているといえる。地表面に岩石や鉄製品などが存在しておらず、また耕作地にもなっていない探査ノイズのほとんどないような場所では、土坑を検出することも可能であるといえる。しかし、小規模な土坑の相対磁気異常値は、鉄製品はいうまでもなく耕作地の畝や耕作機の痕に起因する相対磁気異常値を下回るため、このような探査ノイズが広がっている地点では遺構の推定は不可能である。そのため、探査環境によっては現在まで開発されてきた物理探査法ではこれらの分布を推定することができない。

また、長時間の焚き火址は熱残留磁化を獲得することを示したが（第3章第2節）、それは焚き火の中心地表面のみであり、風雨にさらされることで熱残留磁化の痕跡が失われる。そのため、オープンスペースの焚き火址の磁気探査は現実的に不可能である。

一方、終末期旧石器時代に見られる恒久的な堅穴住居のうち、主に石灰岩を用いて周囲の基礎を築いたものについては、周囲とは明らかに異なる負の異常が顕著に認められ、磁気探査でそのプランの推定が可能である。しかし、砂岩などのより帯磁率の大きい他の石材を用いていた場合は、遺構の正確なプランまで推定することは難しい。

石灰岩を用いていない場合でも、地表下数十 cm よりも深い深度に遺構が存在する場合は、500MHz アンテナを用いた地中レーダー探査により遺構のプランが正確に推定できる。より浅い深度の場合は、検証は行っていないが、より周波数の高いアンテナを用いることで可能になるといえよう。

石材を用いて恒久的な住居を築いていない場合は、その規模や柱穴の存在により、理論的には磁気異常が表れるといえ、実際に日本においても堅穴住居址で微弱な磁気異常が認められることが示されてきた（亀井他 1991）。しかし西アジアのこれまでの探査事例において、石材を用いていない堅穴住居と特定し得るほどの明確なプランを示す磁気異常は認められず、このような遺構が存在したとしてもその磁気異常と土坑の磁気異常の判別は困難である。そのため、物理探査法による旧石器時代の石材を利用しない遺構プランの推定は不可能である。探査ノイズのない環境下において遺構が密集している場合に、その範囲を推定できる可能性がある程度であろう。

第2項 新石器時代

新石器時代になると、旧石器時代とは異なり壁を有するより堅牢な恒常性のある住居が築かれ、物理探査でそのプランの推定が可能となる。先土器新石器時代前半（PPNA）には石組の半地下式住居が主流となり、このような住居の場合、磁気探査、地中レーダー探査の両者によってその集落の存在を推定することができる。

磁気探査では、住居内の堆積土の磁気異常の影響が大きく、不規則に重なり合っている遺構のプランを個々に判別することはできないが、遺構の分布範囲を推定することが可能である。また、石灰岩製の石柱からは非常に顕著な磁気異常が認められるため、これらの位置を推定するといった限定した用途にも利用できる。

この時期の半地下式遺構の探査には地中レーダー探査がより適している。中心周波数500MHzのアンテナを用いれば、幅数十センチ程度の壁も50cm間隔の測線を設定して走査することで、ほぼ正確にその位置と形が推定できる。これは住居内の堆積土や床面からの反射ではなく、壁の石材からの反射によるものである。より測線間隔を狭めて精密に探査を実施することにより、さらに遺構のプランが明瞭になると考えられる。しかし、中心周波数250MHzのアンテナでは、おそらく正確な形を推定することは難しいと思われる。

石材を遺構の建材に利用した集落では、地中レーダー探査を用いることで、オープンスペース、礫敷遺構、石敷遺構、多様なプランの建築遺構、またこれらの遺跡内における分布状況も明らかになる。ただし、住居が掘り込み式であることや、特に西アジアの場合には、土層の境界面が地中レーダー探査では確認できないため、層位毎に住居の利用時期を分けることができないことには留意しなければならない。また、住居床面や土坑から判別できるほどのレーダー反射は認められないため、地中レーダー探査結果を解釈する際には、その地点をオープンスペースとして誤認しないように注意する必要がある。

先土器新石器時代後半（PPNB）以降は矩形の住居が主流となるが、その多くがピゼや泥レンガを利用した壁をもつため、物理探査を用いる際は磁気探査法が妥当かと思われる。ただし、磁気探査を用いた場合、幅2mのピゼ壁が地表直下から50cmの深度に存在するとしても、明確な磁気異常は認められない。そのため、ピゼを主に利用している遺構を磁気探査と地中レーダー探査で推定することはほぼ不可能といえる。

また、幅1mの泥レンガ壁が地表直下に存在する場合、+5nT程度の磁気異常が認められるため、そのプランの推定に磁気探査を利用することができる。その際、泥レンガ壁の磁気異常は耕作痕などの周囲のノイズと比較して微弱であるため、ノイズのない探査環境を十分に整えなければ、遺構に起因する磁気異常として解釈することは難しい。したがって、おおよその遺構プランや規模を推定する以上に詳細な平面分解能を有する推定、たとえばこの時期から多様化する住居内区画などの遺構内部の正確な推定には磁気探査は適しているとはいえない。また、プランが矩形の遺構の場合には推定が容易であるが、トロスなど

の円形の遺構の推定はより難しい。泥レンガ壁が火災を受けている場合、より深い地表下 1m の深度でも遺構に関する磁気異常が十分に認められるため、泥レンガ壁の推定は容易になる。

先土器新石器時代には、床面や壁面を非常に丁寧にプラスターで塗り固めた遺構も存在する。床面が分厚く塗り固められていることや、石灰などをプラスターに利用していることから、磁気探査及び地中レーダー探査でプラスターを利用した遺構の推定を行える可能性もある。

その他にパン焼き竈も新石器時代から出現するが、磁気探査によるパン焼き竈の推定は難しく、地中レーダー探査による検証例もない。一方、この時期の後半に出現する土器焼成窯は熱残留磁化を獲得しており、そこからは+数十 nT といった非常に大きい磁気異常が認められるため、磁気探査による土器焼成窯の推定は容易である。しかし、熱残留磁化を獲得した磁気異常が非常に大きいために、窯址よりも広い範囲で異常を示し、正確なプランまでは推定できない。

第 3 項 銅石器時代以降

銅石器時代以降には遺跡の規模がさらに拡大し、建造物も大きく堅牢になるため、それに伴い集落全体のプランや各遺構のプランがより詳細に推定できるようになる。探査法の選択において探査対象の遺構の材質が重要であることは言うまでもないが、遺跡の堆積状況や探査環境も非常に重要になってくる。建材に利用されるのは基本的に泥レンガと石灰岩であるが、主に泥レンガが利用されている場合、これまで同様に地中レーダー探査は不適切である。主に石灰岩が用いられている場合は、磁気探査よりも地中レーダー探査の方が精度の観点からより好ましい。

堆積状況を考慮して探査法を選択する場合、探査対象の文化層の上部に他の文化層がある際には地中レーダー探査を利用すべきである。土層の境界面をレーダー反射波から確認することはできないが、探査地がほぼ一様の堆積状況である場合、遺構面はある程度の判別が可能である。周壁などの巨大な遺構であれば中心周波数 250MHz のアンテナを用いてもプランを推定することができるが、幅 1m 以下の壁のプランを捉えるには 250MHz のアンテナでは不可能であり、より高い周波数のアンテナが必要となる。

その一方で、地表面に遺構が露出しているような場合や、地表直下に遺構が存在する場合、また地上に岩石などの障害物が存在する場合には磁気探査が適している。地中レーダー探査では、アンテナの走査性の問題に加え、アンテナから放射されるレーダーの地表面での反射波が大きくノイズとなる問題がある。中心周波数が 250MHz や 500MHz のアンテナでは地表直下の遺構からの反射を正確に確認することはできない。地表直下に遺構が存在し、操作性に問題のない場合は、1GHz などの 500MHz を超える高周波アンテナで実験

すべきである。

上層からの攪乱坑がある場合、ノイズとなる磁気異常が大きいためその地点を対象とする遺構プランの推定は不可能となる。したがって、攪乱坑により遺構が破壊されている状況では地中レーダー探査を用いるべきである。

また、焼失住居などの被熱遺構については、磁気探査ではその存在を明確にとらえることができるが、磁気異常が大きすぎるために遺構内部の細かなプランなどまで推定することは困難である。そのため、被熱遺構の存在を確認する場合には磁気探査法が最適であるが、岩石を建築材とする被熱遺構の正確なプランを推定するためには地中レーダー探査法がふさわしい。その他、土坑からは顕著な磁気異常が捉えられることから、土壇墓の墓域の推定にも磁気探査が有効であると考えられる。

第2節 物理探査法の集落研究への応用

それぞれの物理探査法は、探査環境、探査対象によってそれぞれ捉え得る遺構の適性が異なっているために、遺跡調査に物理探査法を用いる場合にはそれぞれの特性を考慮した上で実施しなければ有効な遺跡調査法とはならないことを本論では強調してきた。そして、探査対象とする遺跡の周辺環境や、検出されると想定できる遺構の推定に最適な探査法を選択するために、本論では西アジアでの遺跡の物理探査に最も適していると考えられる磁気探査と地中レーダー探査の適性を詳細に比較、検討してきた。

しかし、第5章のハッサンケイフ・ホユック遺跡や、カラート・サイド・アハマダン遺跡での探査の併用事例から、実際に一遺跡を対象として物理探査を行う場合には、そこに残存しているであろう全ての遺構の探査に適する調査法があり得ないことも、より明確になった。例えば、ハッサンケイフ・ホユック遺跡では、主に壁材に粘土と石が利用される円形の半地下式遺構が遺跡の頂上部を中心に全体的に均一に広がっていることが明らかになった。しかし、仮に地中レーダー探査法のみを利用した場合、土坑の攪乱によりその大部分を失った遺構の存在する地点においては、散乱する石材以外からの明確なレーダー反射波を受信することができず、疑似断面図やタイムスライスではあたかも遺構が存在しないオープンスペースが存在するように捉えられる可能性がある。各探査法の適性を把握していれば、そのような誤った解釈がなされることは少ないが、反射波が認められなかった場合、実際にその場所には石材を利用した遺構が存在しなかったのか、あるいは土坑などによる攪乱により本来存在していた遺構が破壊されてしまったのかを判断するのは非常に困難になる。磁気探査法を併用したことで、その地点に多くの土坑に起因すると推定できる磁気異常を捉えることができ、地中レーダー探査の結果がオープンスペースを示しているわけではないことが推定できたのである。

こうした例に見られるように、各探査法を単独で用いるのみでは、正確な集落構造を解明するには限界があることも理解しておかなければならない。それぞれに長短がある様々な探査法を併用することによって、互いの探査法の弱点を補完し合いながら、遺跡の地中の実状にさらに迫ることができるのである。多様な物理探査法を用いて一遺跡全体の調査を行うことは、集落構造を明らかにするという点で、考古学研究にとって非常に重要なことである。そうした結果を総合することによって、集落に見られる遺構の規模やその分布状況から、当時の社会の不平等性や権力の集中化など様々な社会的側面にアプローチするための資料を得ることができる。

さらに、物理探査法は、大規模な遺跡全体のほぼ同一時期の集落構造を視覚化する上では、発掘調査を含め、現在まで開発、応用されてきたどの調査方法よりも優れていると筆者は主張したい。リモートセンシングによる航空写真や衛星画像は、地表面に露出した遺構に対してはその全体像の視覚化に非常に有効であるが、地中に存在する遺構についての

情報は得られない。近年の超短波を用いた技術でも地表直下が捉えられるのみであり、また、その平面分解能は 10m にも及ばないため、遺構のプランを映し出すことはできない。また発掘調査では、堆積土によって保護されていた遺構は、発掘により一度露出させてしまうと、調査中に既掘部分から風化、崩壊が進行してしまう。そのため、遺跡全体の遺構を検出直後の残存状態のまま保存しておくことは非常に困難であり、大規模な遺跡全体を当時に近い構造のまま視覚的に捉えることは、現実的には不可能である。これに対して物理探査では、地中の様相を物理信号として短時間で捉えることができるため、例えば本論で挙げたテル・アル・ラウダ遺跡（第 58 図）やテル・フェラ遺跡（第 81 図）などの探査事例のように、ある一つの時期の集落全体像を画像として残すことができるという他の調査法にはない大きなメリットがある。それによって捉えられる大規模な集落の全体像は、圧倒的な迫力とともに大きな学術的可能性を私たちの眼前に示すのである。

大規模な遺跡での集落構造の把握などに高い有効性を発揮する物理探査だが、考古学研究に物理探査を応用する場合、いくつかの留意点がある。第一に、物理探査結果として得られるものは探査機器が受け取る物理信号情報であり、例えば磁気探査結果を解析して図化した磁気異常平面分布図をそのまま遺構のプランであると解釈することは決してあってはならない。そのため、全く考古学的な情報がない状況で、遺跡と推測される地点において物理探査を実施する場合には極めて慎重な態度が必要となる。第二に、探査法選択の問題にも関わるが、地中にどのような遺構が存在するかをあらかじめある程度予測できなければ、最適な探査法を用いることができない。こうした留意点を解決する方法は、物理探査を遺跡調査に応用する際に考古学的な情報を揃えておくことに尽きる。

物理探査を実施する遺跡に関して、遺物の表面採集調査などによって、あらかじめ文化層が推測されていれば、ある程度適切な物理探査が可能となる。第 1 章第 2 節で述べたように、西アジアの初期の遺構は、例外や地域差はあるが時代の移り変わりにしたがって大きく変遷する。したがって、遺跡毎の文化層が明らかになれば、そこに存在すると推測される遺構の規模、材質、性格に合わせた物理探査を行うことができる。この場合、どの程度の堆積の下に探査対象とする文化層が存在するかはあらかじめ分からないため、まず疑似深度毎に地中の構造を探ることのできる探査法を、調査対象とした遺跡全域に広く用いる。地中レーダー探査法を用いる場合、周波数の違いによる探査可能深度と分解能の関係から（第 4 表）、いくつかの異なる周波数のアンテナを使用して試験的に探査することで文化層の深度を決定できる。

その結果、前項でまとめたように時代性や地域性に合った探査法を検討することにより、高い信頼性のある探査結果が得られるものと思われる。ここで得られた地中構造のデータは、探査対象としている文化層のものであると断定することはできないが、周辺の遺跡で実施された探査データや今後実施される探査データ、そして最も確実なのは試掘などの発掘調査結果と照合し、総合的に比較検討を加えていくことが重要となろう。

探査対象となる文化層が上層からの攪乱を受けたか否かによっても、集落構造を物理探

査によって推定する難易度は大きく変わってくる。ハッサンケイフ・ホユック遺跡やカールト・サイド・アハマダン遺跡の例にもあったように、探査対象とする文化層へ達する攪乱等によって、集落や遺構の全容を推定する作業は大きな影響を被る。しかし、たとえ複数の文化層が堆積している場合でも、遺構の性格が大きく異なり、かつ地中レーダーによる探査が可能であれば、これらの文化層を明確に区別することができる。

物理探査の集落研究への応用には様々な制約と有効性が内包されているが、物理探査が最も有効性を発揮するのは、たとえ一部であろうとも発掘調査が組み合わされている場合である。既に一部が試掘されている遺跡で物理探査が実施される場合、試掘によってどの時代の遺構がどの程度の深度に存在しているか、遺構の材質や規模がいかなるものであるかなど、探査に必要な情報を検討した上で、最適な物理探査法を選択することができる。さらには、第 5 章で見たように、遺構の一部が発掘されることによって、検出された遺構とそれに引き続く遺構が残されていると思われる地点の物理探査結果を比較検討することができる。そのため、実際に発掘された遺構と物理探査結果に表れる「遺構」を直接対照することができるのである。発掘調査と物理探査を総合することによって、明確な根拠に基づいて全体の集落構造について議論することが可能となるのである。このようにして得られた調査結果は、同地域、同時代の他の遺跡において物理探査を実施する際の探査法、解釈方法の指標にもなる。このように物理探査法の応用が進み、物理探査と発掘調査を併用した指標となる事例が一つの地域で増加することによって、もはや発掘調査を実施せずとも限りなく実態に近い、物理探査結果のみによる集落構造研究を行える日が来るかもしれない。

物理探査結果によってある地域全体の一つ一つの遺跡の集落構造を復元し、そうしたデータに基づいて地域研究を行うことを筆者は目指している。これまでの地域研究では、地域内の全遺跡において全面発掘を行うことは実質不可能であるため、基本的には文字どおり地表面から観察できるデータである遺跡の大小や位置関係のみに基づいて、地域の歴史的発展に関する議論を進めていかざるを得なかった。このような表層的な集落パターン研究は、物理探査による集落構造の研究によって大きく変換できる可能性を秘めている。各遺跡、各遺構に最適な物理探査法を応用し、適切な解釈を進めていくことは、発掘調査に取って代わるとはいわないまでも、これまで発掘調査でしか成し得なかった集落構造を明らかにする唯一の方法である。地表面からの一定の深度における遺構のプランを映し出すという点では、時には発掘調査を超えるほど、集落構造についての情報を得ることもある。物理探査によって、住居の規模やその分布状況、神殿や宮殿、倉庫などの公共施設、また土器焼成窯や冶金工房などといった多様な遺構の配置が推定できるようになれば、集落内での人々の活動の詳細を捉え、集落構造を復元する蓋然性ははるかに高くなる。つまり、物理探査法の進展は、これまで発掘調査以外の方法では知り得なかった地域社会を理解するための、非常に大切なツールとなる。地域内の全ての遺跡に対して多様な物理探査法を実施することが、各遺跡における集落構造を把握し、個々の集落の性格を捉える重要な方法

となる。その上で、地域内にある遺跡間の関係を論じることができれば、地域研究をより深化させることに貢献できるのである。

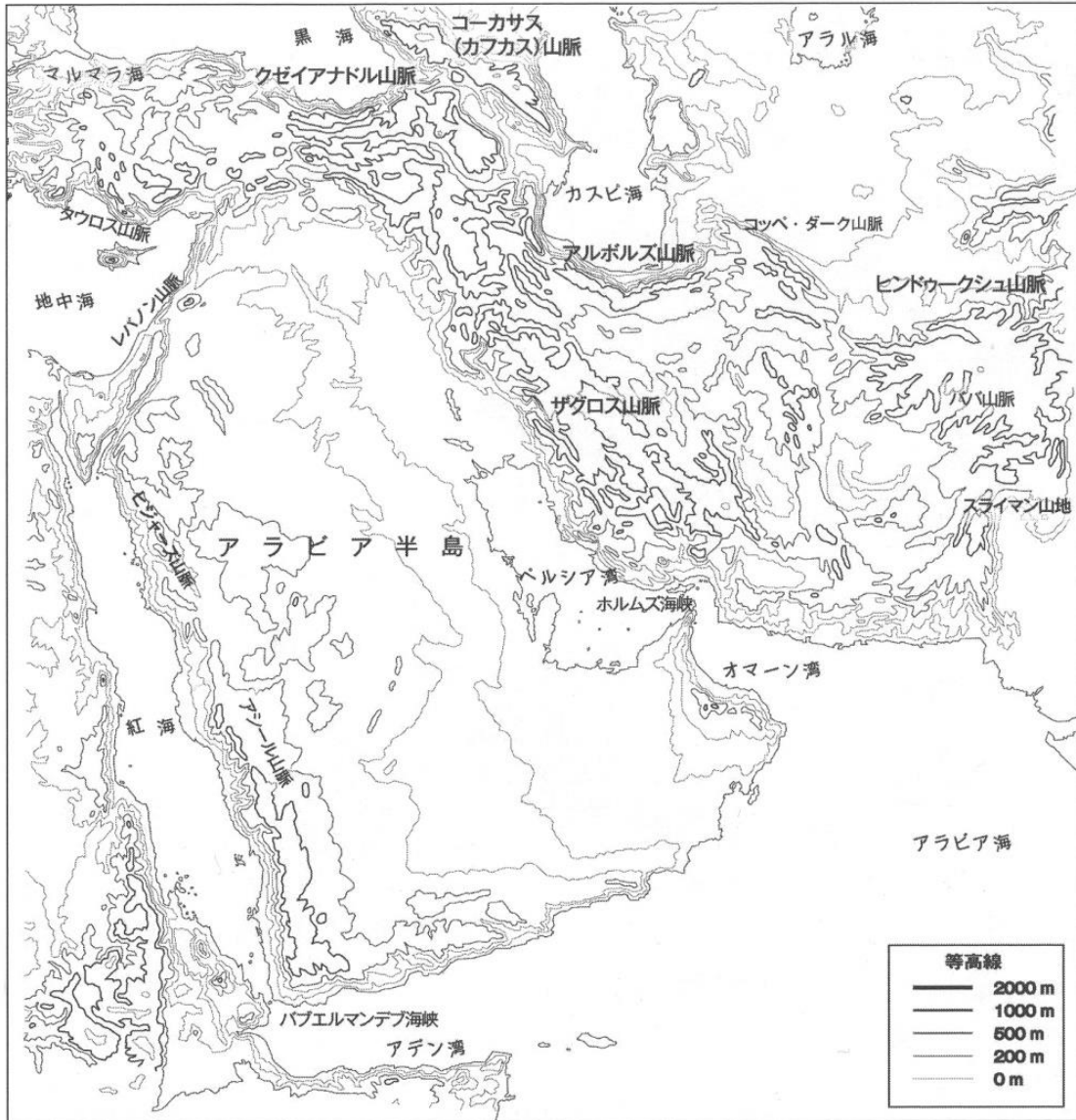
第3節 物理探査を利用した集落研究の展望

より適切な物理探査法を選び取る、あるいはより適切に探査結果を解釈することが、物理探査への信頼性を獲得する一助となる。物理探査結果が確固とした考古学資料として扱われることで、なかなか手の届かなかつた遺跡の集落構造研究を進展させることができる。本論は、そのための第一歩として、物理探査技術者ではなく西アジアをフィールドとする考古学者にとって、物理探査法を信用足り得る調査方法として見直す契機にするために執筆した。

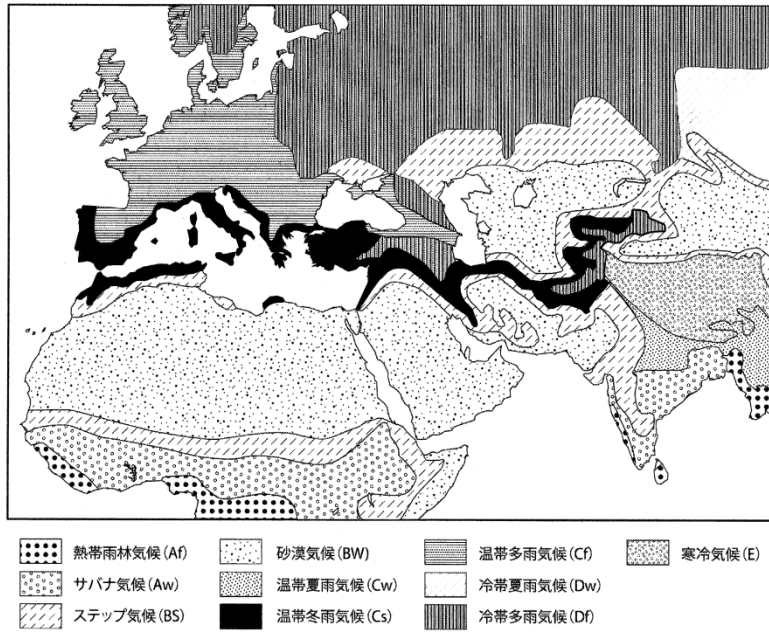
磁気探査では、地表直下に石材を利用した遺構が存在する場合、その遺跡全体の構造が明らかになっている事例は知られているが、本研究によって、地中レーダー探査においてもより深い地点において遺構プランをほぼ正確に推定することが可能であること、また磁気探査、地中レーダー探査の両探査法に関して、現場や目的に応じた探査法とその限界を明確に示すことができた。

しかし、物理探査事例が全般的にまだまだ不足していることや、筆者自身が西アジアでの磁気探査と地中レーダー探査の比較実践を数多く行えなかつたことから、パン焼き竈やプラスター貼りの床面など、物理探査の有効性を明確にし得なかつた遺構もいまだ多く残されている。物理探査のみで、発掘調査と同様なレベルで遺構の詳細な性格を把握でき、遺構間の関係性のあり方が解明できるとは思わない。しかし今後、方法上の不確かな点を一つ一つ改善していき、物理探査には可能なことと不可能なことがあるという明確な限界を踏まえた上で、信頼に足り得る考古学資料として物理探査結果が扱われる日が来るかもしれない。前述したように、ある時点での集落構造の把握に物理探査は発掘調査よりも威力を発揮することもあり、また地域研究の場では、これまでの表層的な集落パターンの研究をはるかに乗り越えた別次元の研究を切り拓く可能性を秘めている。何度も述べるが、物理探査法は発掘調査と比較して現場で必要となる労力や時間がはるかに少ない。発掘調査は、その不可逆性から一枚一枚の薄皮を剥がすように行われ、非常に丁寧に時間をかけて遺跡からひとつひとつの遺構が検出される。それに対して物理探査法による遺跡調査は、比較的短い時間で全体構造を見通せるという大きな利点をもった調査研究法である。発掘調査や、集落間研究の手法である遺跡踏査や遺物の表面採集調査、リモートセンシングなどでは成し得なかつた、いわゆる集落研究に必要となる集落構造に迫ることができる。それは、家屋の規模や特殊な遺構の有無などから集落内の人々の階層性などといった個々の集落の社会的な側面を解き明かすのみならず、集落間関係にまで及ぶ、一つの地域社会の研究全体に繋がっていく。

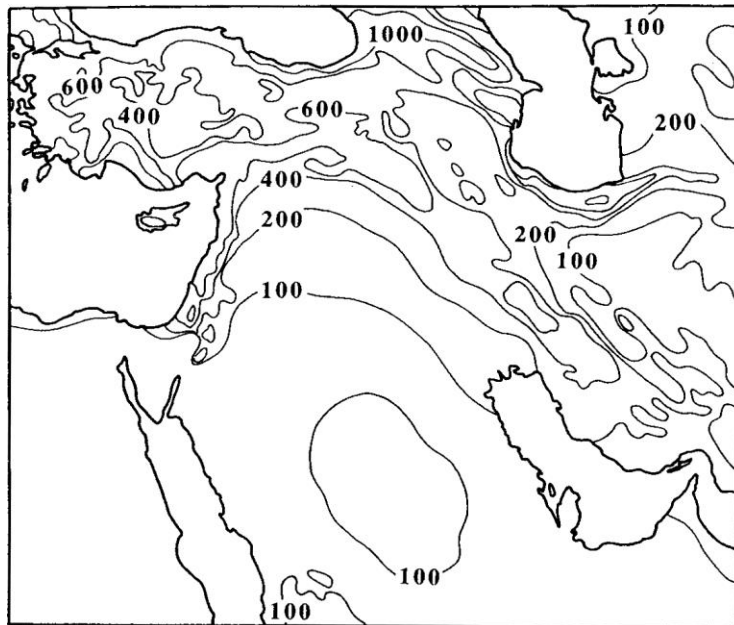
图表



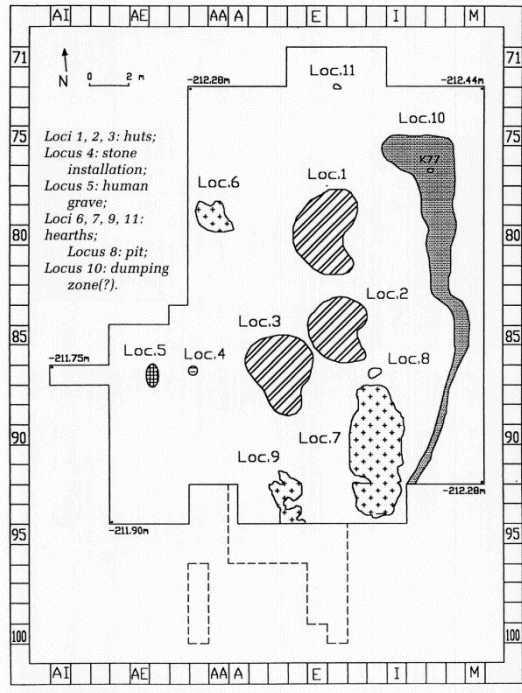
第1図 西アジアの地形 (久田 2014: 47, 図2)



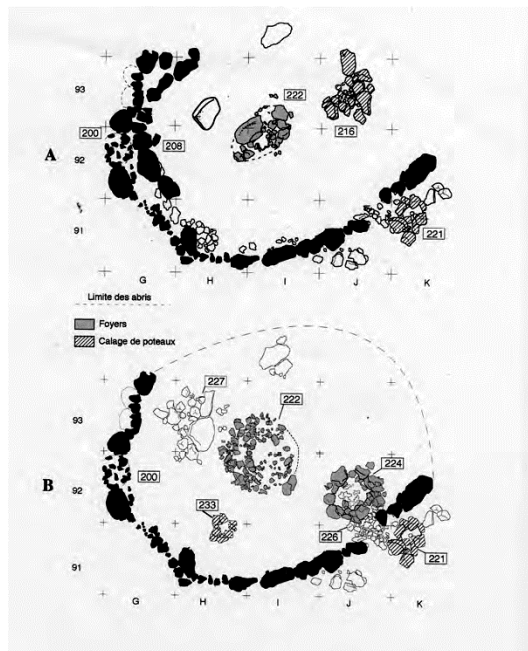
第 2 図 西アジアの気候区分 (安間 2014: 14, 図 2)



第 3 図 西アジアの年間降水量 (単位は mm) (大津他 2007: 6, 図 2)

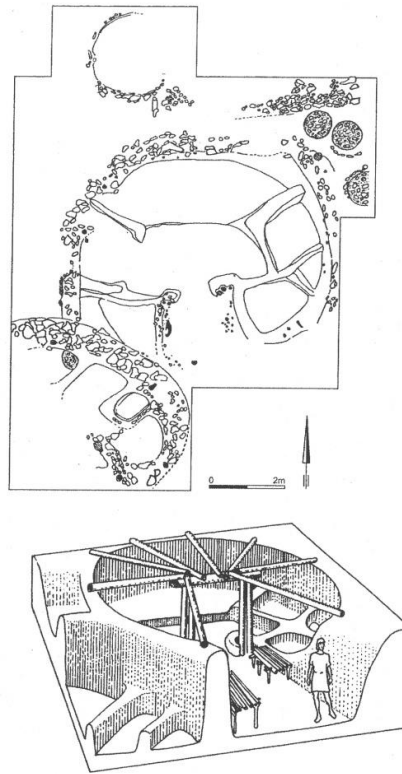


第4図 オハロ II 遺跡のキャンプ地 (Nadel and Werker 1999: 757)



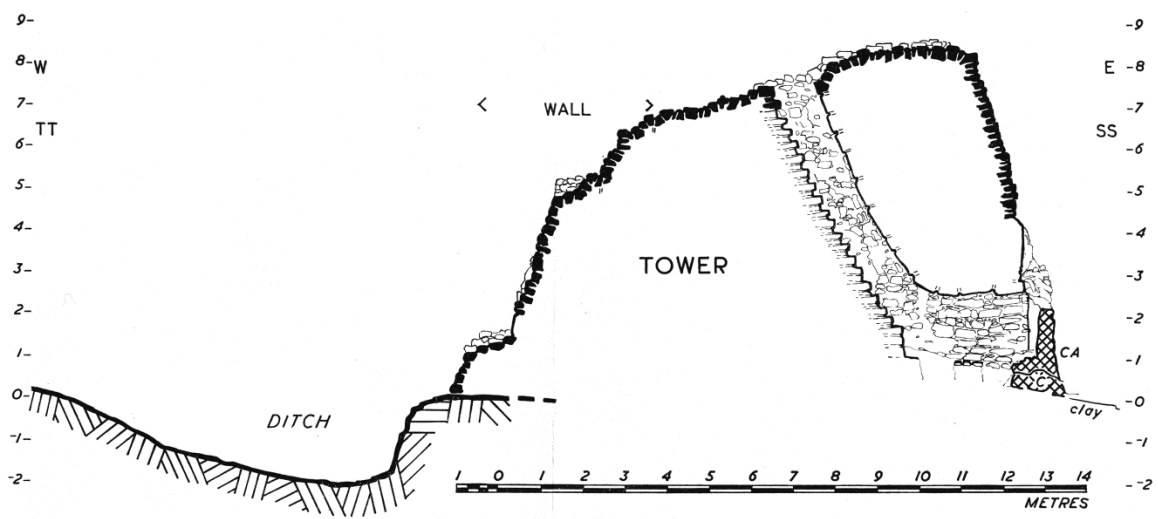
A: 下層住居 B: 上層住居

第5図 アイン・マラッハ遺跡の恒久的な住居遺構 (Samuelian 2006: fig. 2)



上：遺構平面図 下：復元推定図

第6図 ムレイベト遺跡の区画を有する公共建造物
 (Akkermans and Schwarty 2003: 51, fig. 3. 4)



第7図 イェリコ遺跡の大規模構造物 (Kenyon 1981, pl. 244)



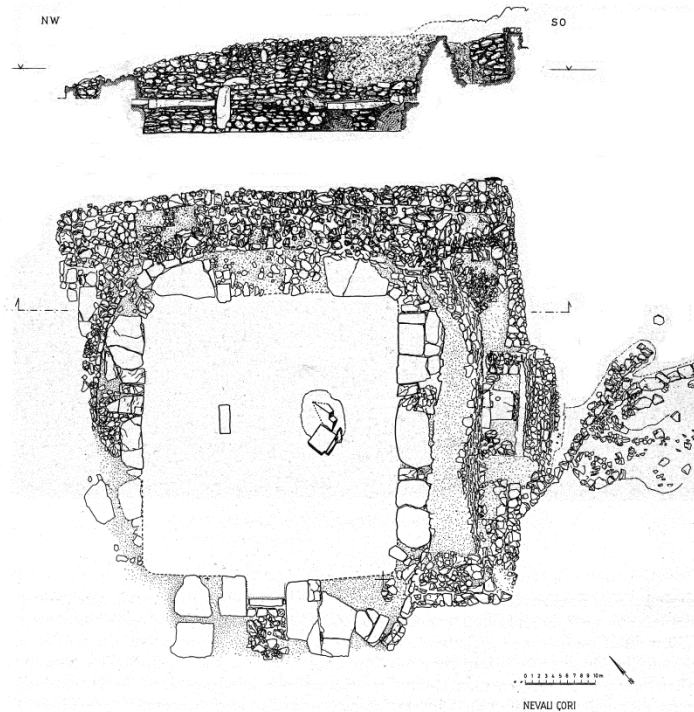
第8図 ギョベックリ・テペ遺跡のエンクロージャー (Dietrich et al. 2012: 677, fig. 2)



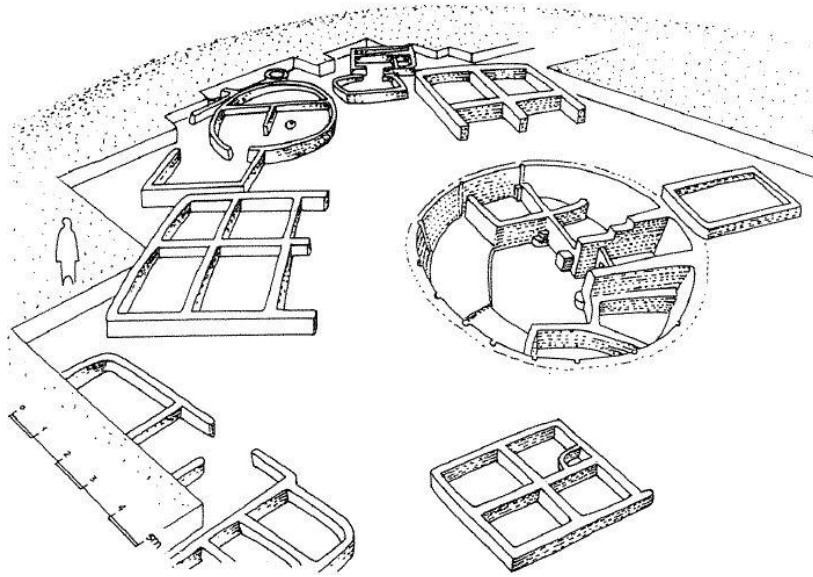
第9図 ギョベックリ・テペ遺跡の石柱 (Schmidt 2003: 7, fig. 10)



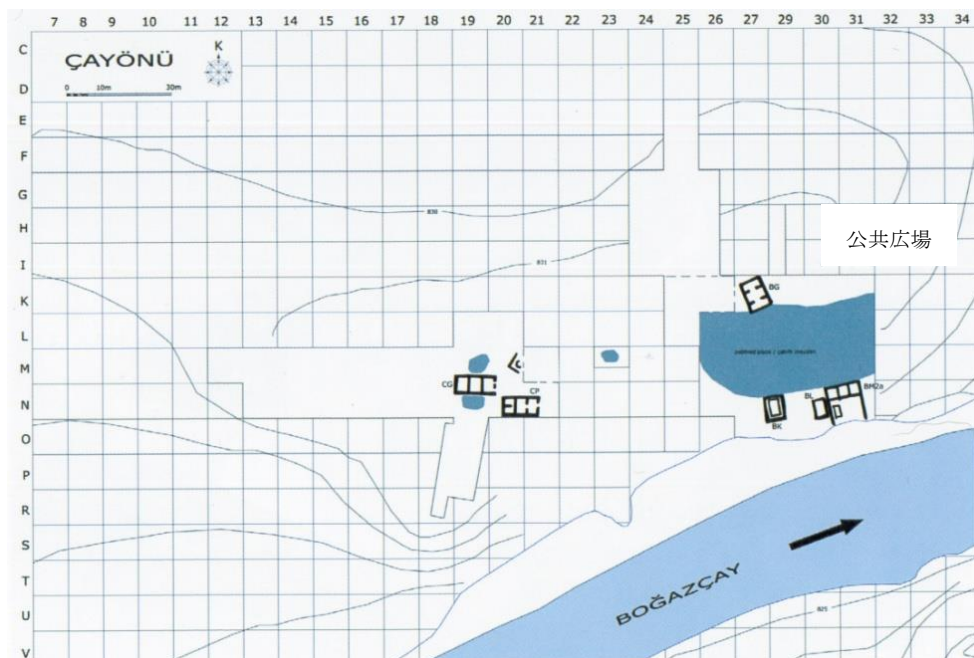
第 10 図 テル・ハルーラ遺跡の先土器新石器時代の矩形遺構
 (Molist et al. 2012: 28, fig. 1)



第 11 図 ネヴァル・チョリ遺跡の公共建造物 (Hauptman 1993: 49, abb. 9)



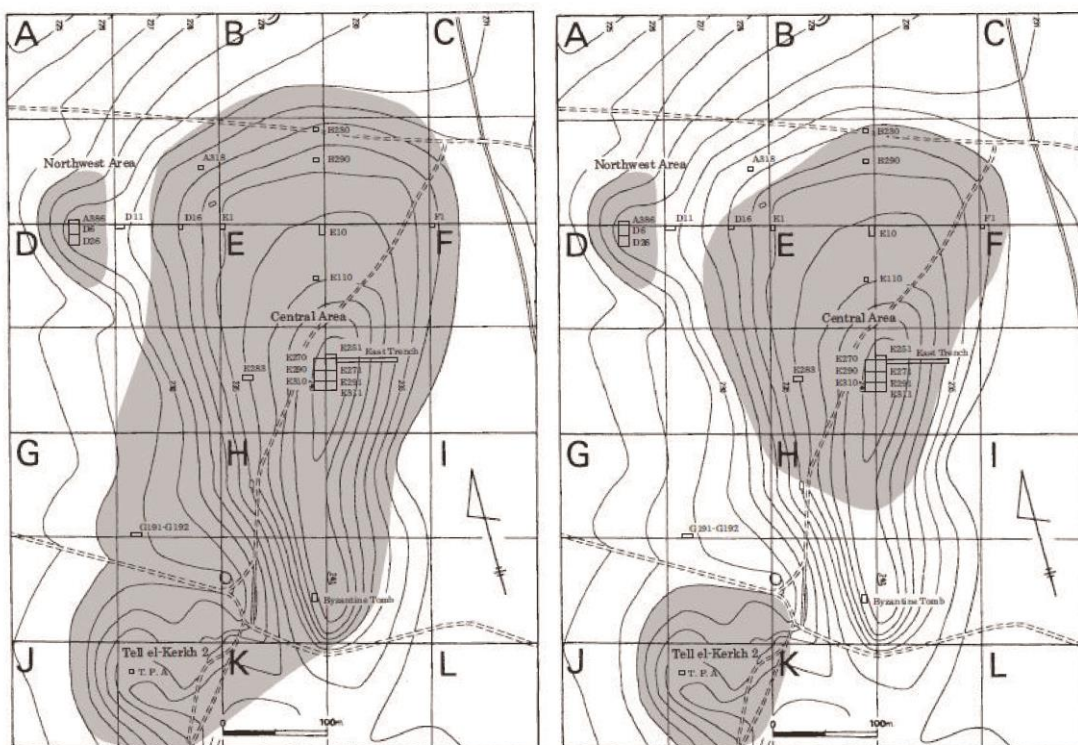
第12図 ジェルフ・エル・アフマル遺跡の中心に位置する公共建造物
(Stordeur 2012: 3, fig. 3)



第13図 チャヨニユ遺跡の礫敷きの公共広場 (Erim-Özdoğan 2011: 254, fig. 33)



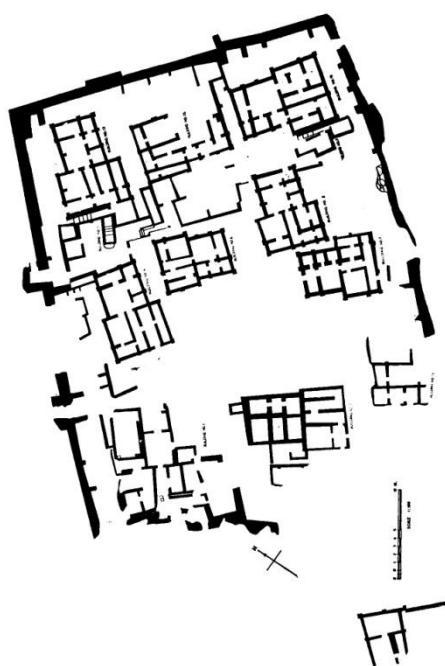
第14図 テル・エル・ケルク遺跡の大規模貯蔵施設 (Tsuneki 2016: 61, fig. 1)



先土器新石器時代終末期

土器新石器時代初期

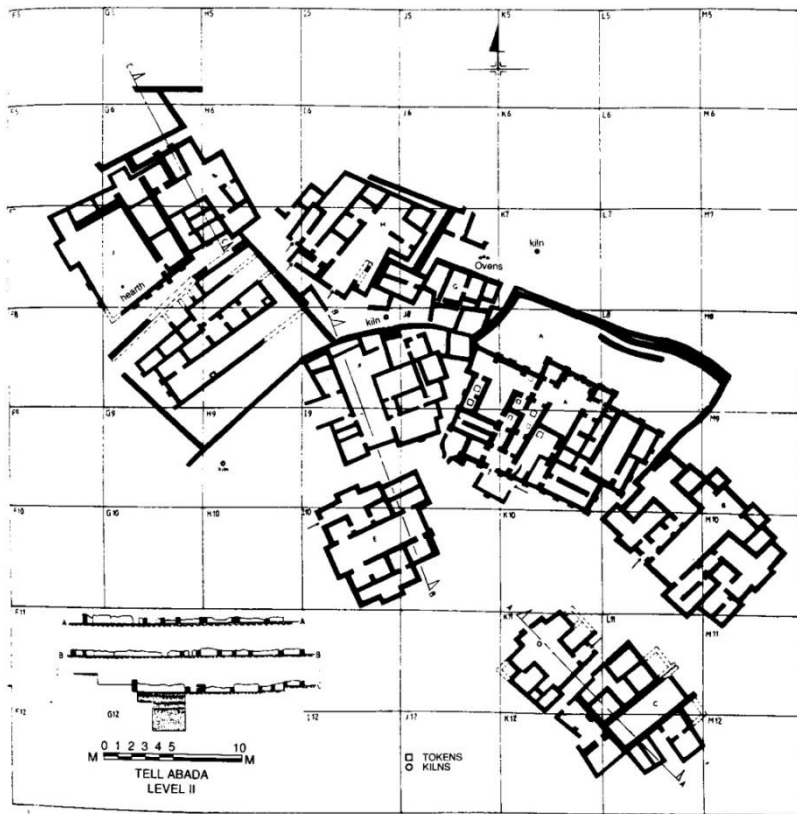
第15図 テル・エル・ケルク遺跡における遺跡規模の変化 (Tsuneki 2012: 57-58, fig. 9-2, 9-3)



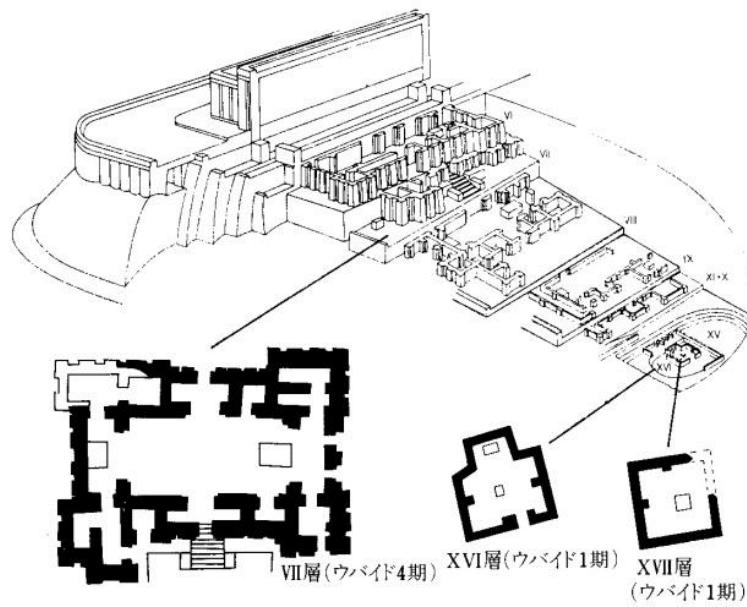
第 16 図 テル・エッサワン遺跡 (Tell es-Sawan) のサマッラ期の遺構
(Yasin 1970: pl. 1)



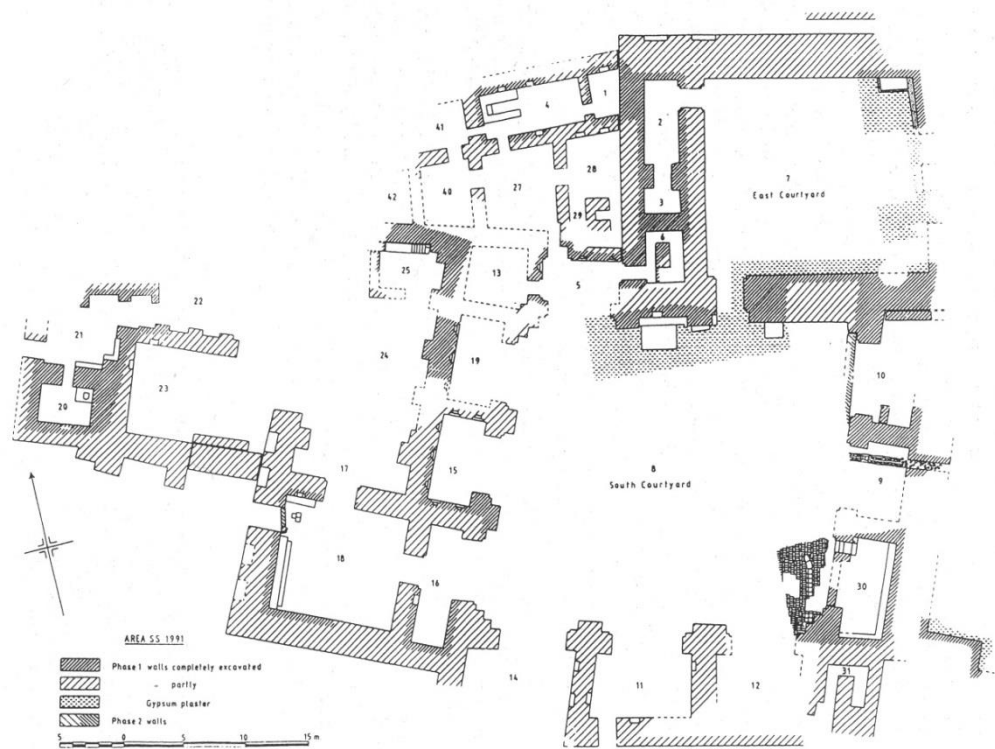
第 17 図 テル・サビ・アビヤド遺跡の矩形住居及びトロス
(Akkerman 2016: 68, fig. 2. 26)



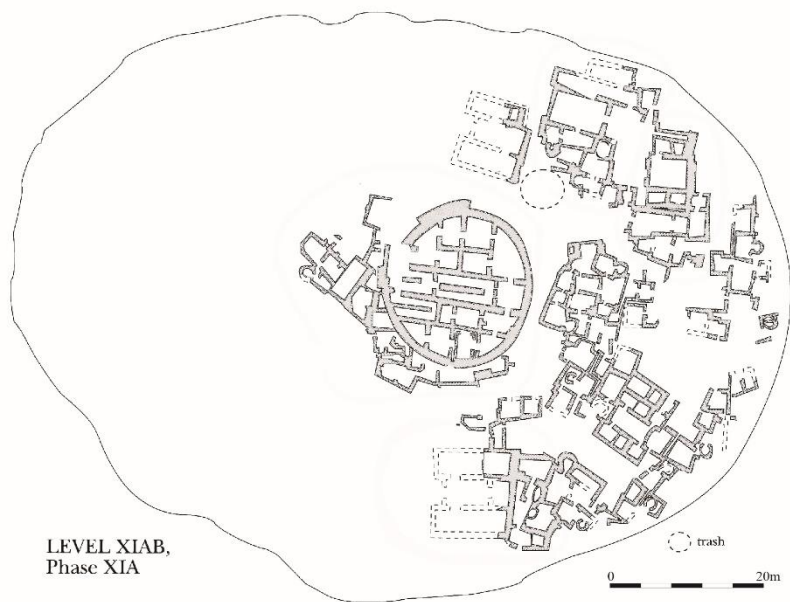
第 18 図 テル・アバダ遺跡の大型建造物 (Jasim 1985: fig. 13)



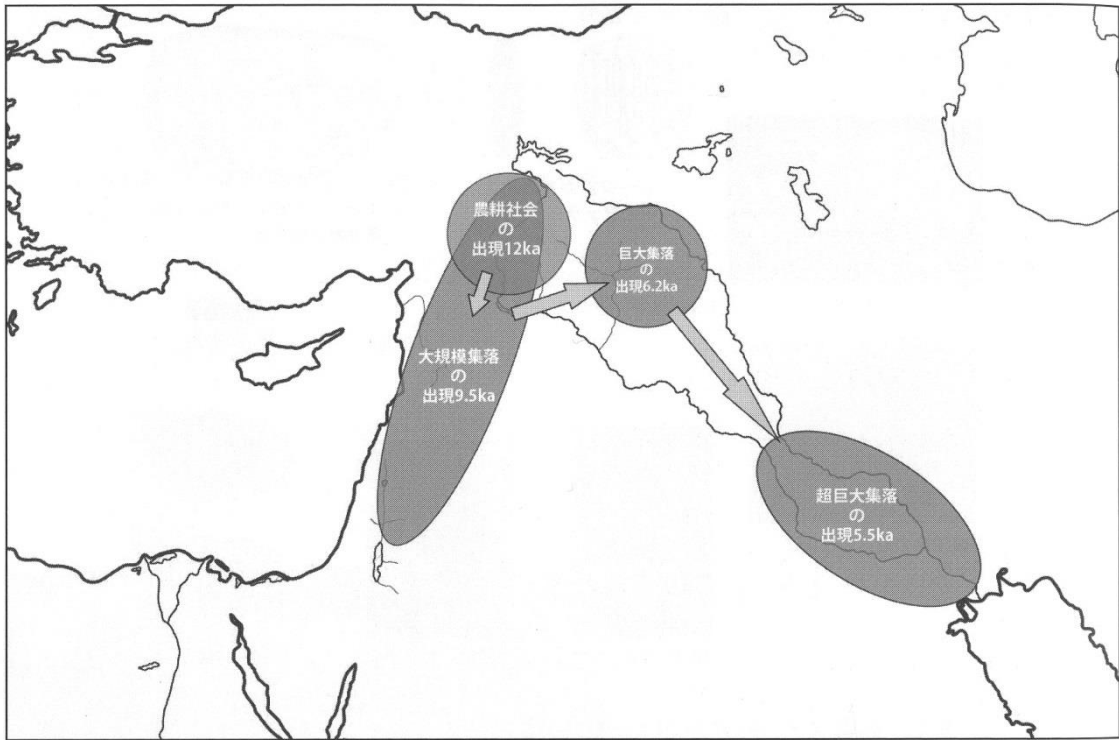
第 19 図 エリドゥ遺跡の神殿域拡大の様子 (常木 1997: 102, 図 41)



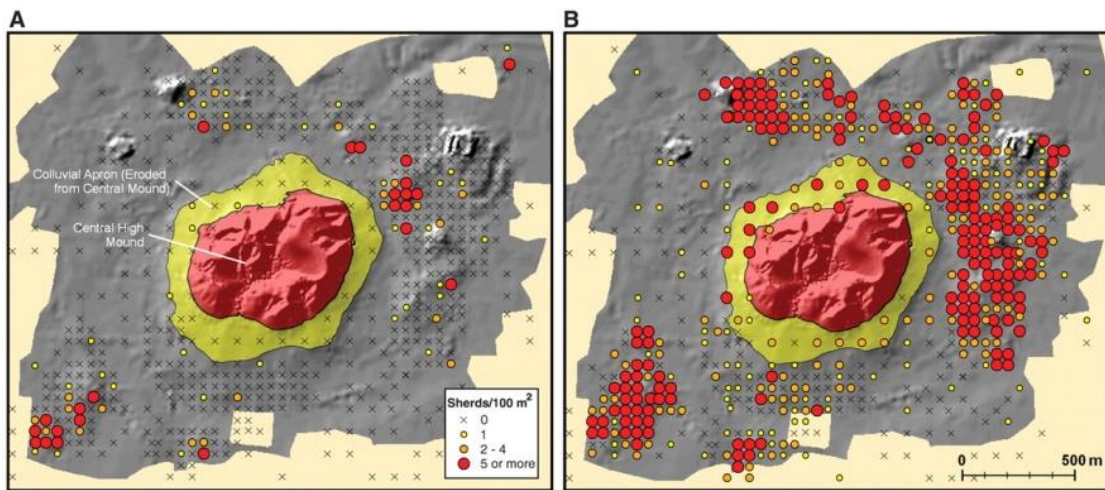
第 20 図 テル・ブラク遺跡の神殿 (Oates 1993: 156, fig. 1)



第 21 図 テペ・ガウラ遺跡 (Rothman 2009: 206, fig. A. 23)



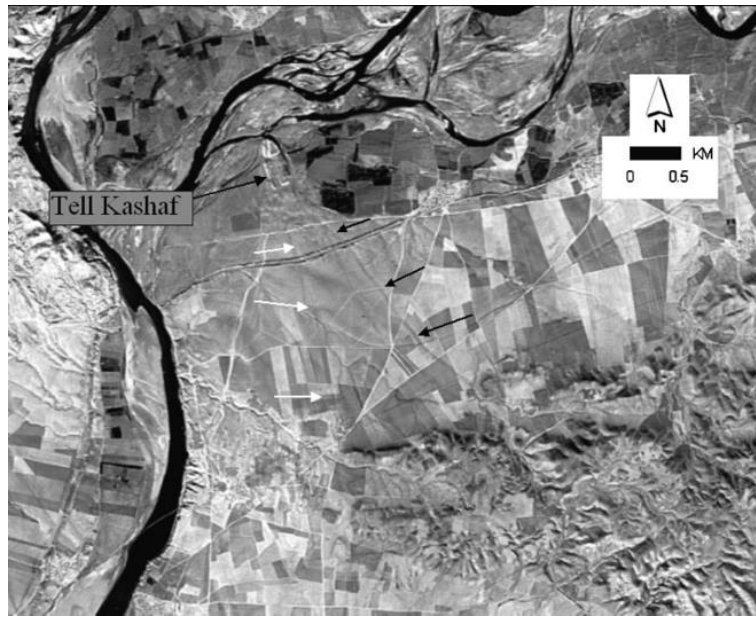
第 22 図 都市出現までのプロセス概略 (常木 2014: 172, 図 12)



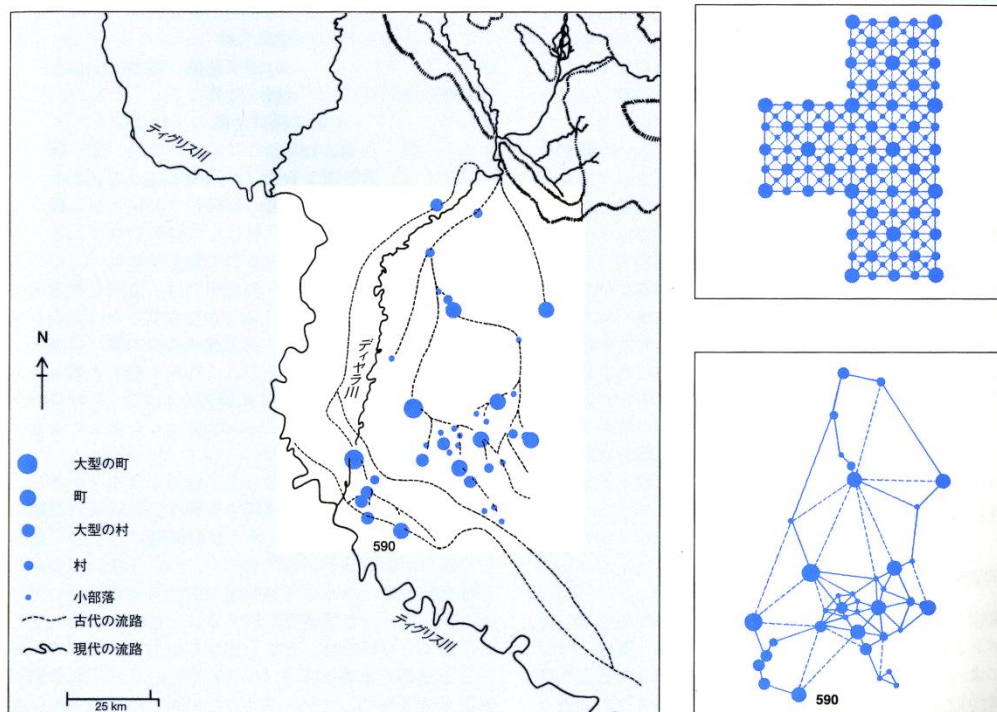
後期銅石器時代 2 期

後期銅石器時代 3 - 4 期

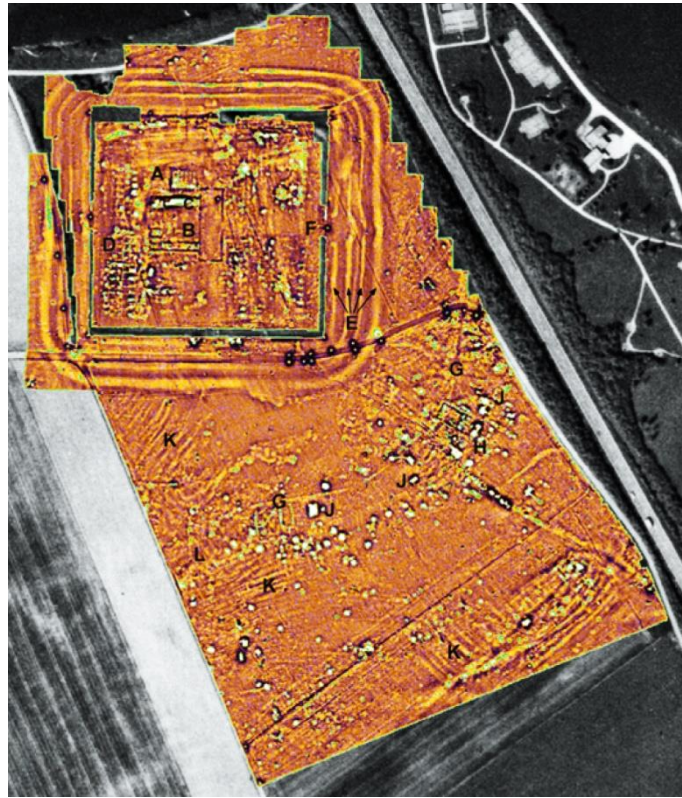
第 23 図 テル・ブラク遺跡の遺物分布からみた集落の発展 (Ur et al. 2007: 1188, fig. 1)



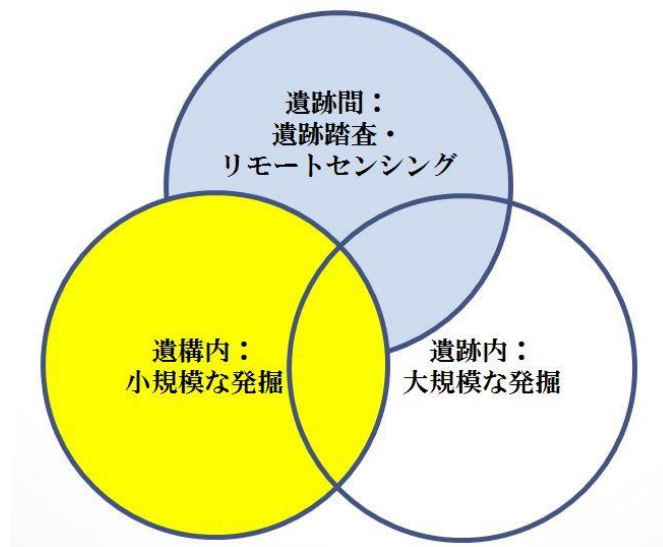
第 24 図 衛星による遺跡周辺画像 (矢印で示された場所は古代の道路を示す)
 (Altaweel 2005: 154, fig. 2)



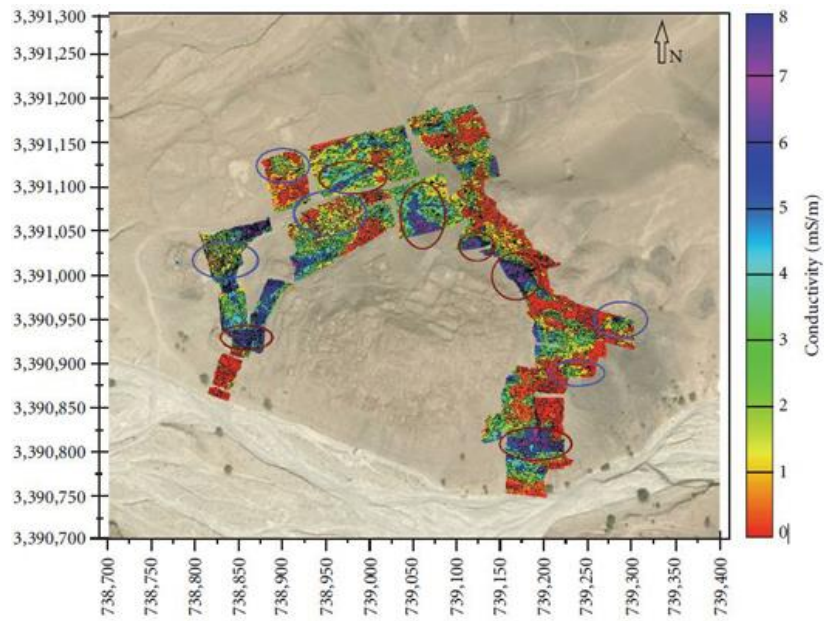
第 25 図 踏査に基づく集落パターン (左) と中心地理論モデル及びその変換図 (右)
 (レンフルー・バーン 2007: 185)



第 26 図 ローマ時代の城砦内外における磁気探査
 (Von del Osten-Woldenburg et al. 2005: 4, fig. 3)

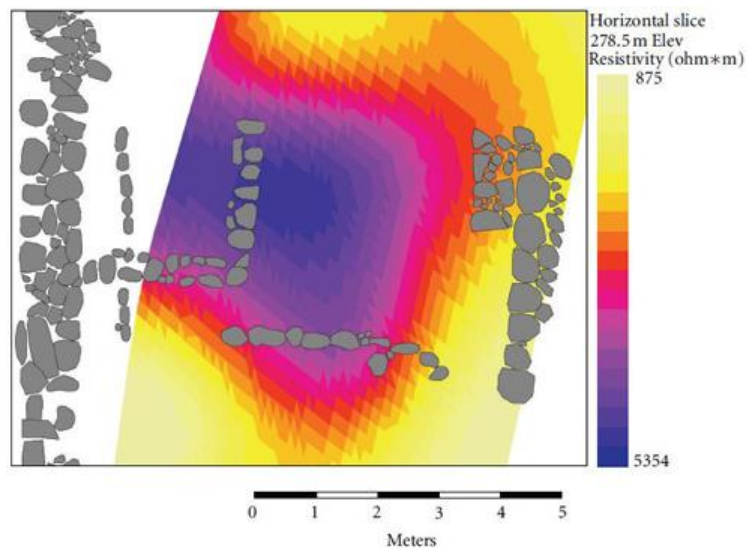


第 27 図 集落研究における資料獲得の課題

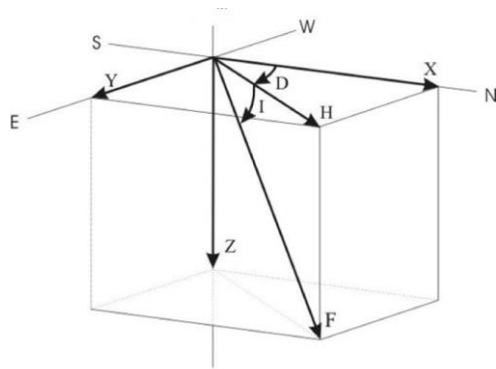


図中の円で囲まれた部分が地中の異物を示していると考えられた地点

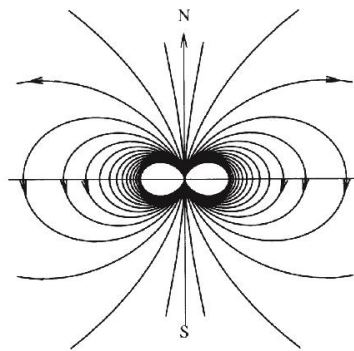
第 28 図 キルベト・フェイナン遺跡における電磁誘導探査結果
(Novo et al 2012: 3, fig. 3)



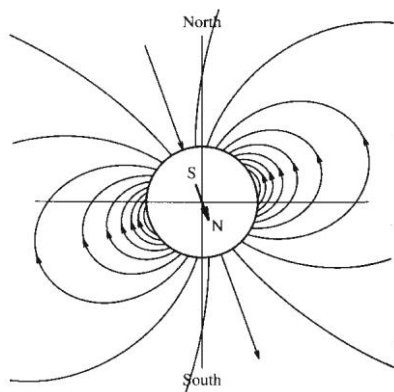
第 29 図 キルベト・フェイナン遺跡における電気抵抗探査結果
(Novo et al 2012: 5, fig. 6)



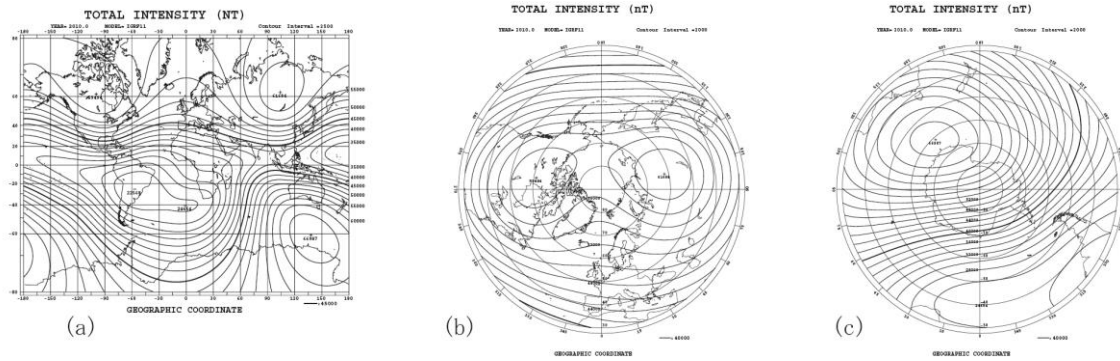
第 30 図 磁場のベクトル模式図



第 31 図 双極子磁場模式図 (齋藤 1999a: 70, 図 1-3-3 より一部改変)



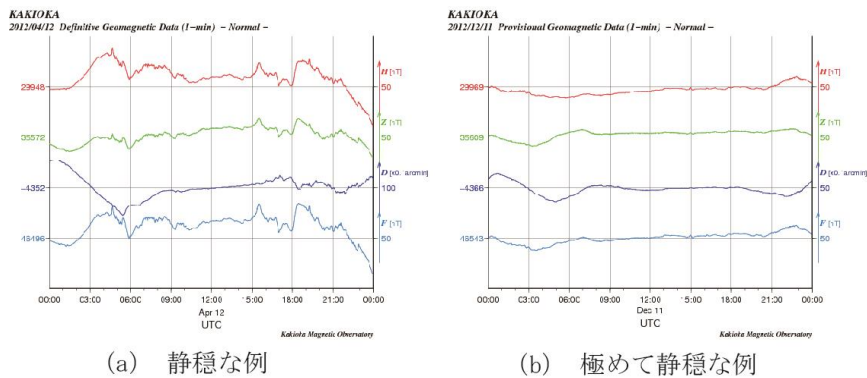
第 32 図 地磁気模式図 (齋藤 1999a: 66, 図 1-3-2)



(a) メルカトル図法 (b) 正距方位図法 (北半球) (c) 正距方位図法 (南半球)

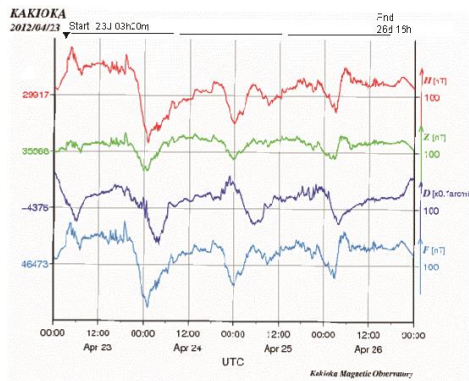
第 33 図 緯度による地磁気の差

(京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センターによる)

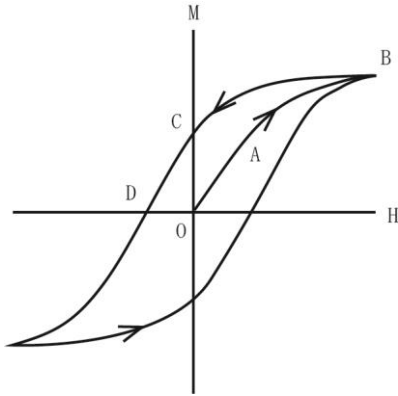


(a) 静穏な例 (b) 極めて静穏な例

第 34 図 地磁気の日周変化 (地磁気観測所データに基づく)



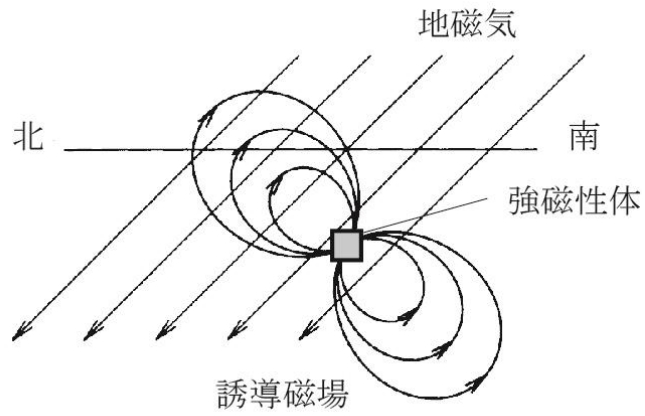
第 35 図 磁気嵐時の地磁気の変化 (地磁気観測所データに基づく)



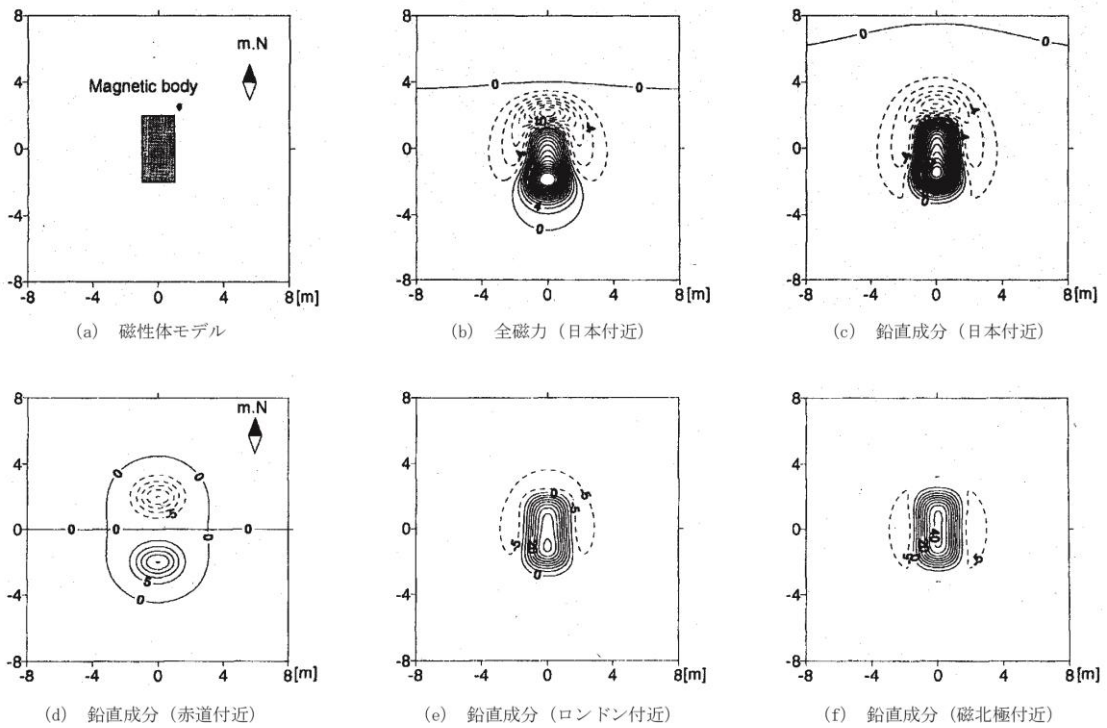
第 36 図 磁気ヒステリシス曲線

帯磁率 / 4π (SI)			10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
火成岩	超苦鉄質	蛇紋岩						
	苦鉄質	玄武岩						
		はんれい岩						
	硅長質	安山岩						
		閃緑岩						
		花崗岩						
変成岩	片麻岩							
	片岩							
堆積岩	砂岩							
	頁岩							
	石灰岩							
鉱石	磁鉄鉱							
	磁硫鉄鉱							
	黄鉄鉱							
	方鉛鉱							

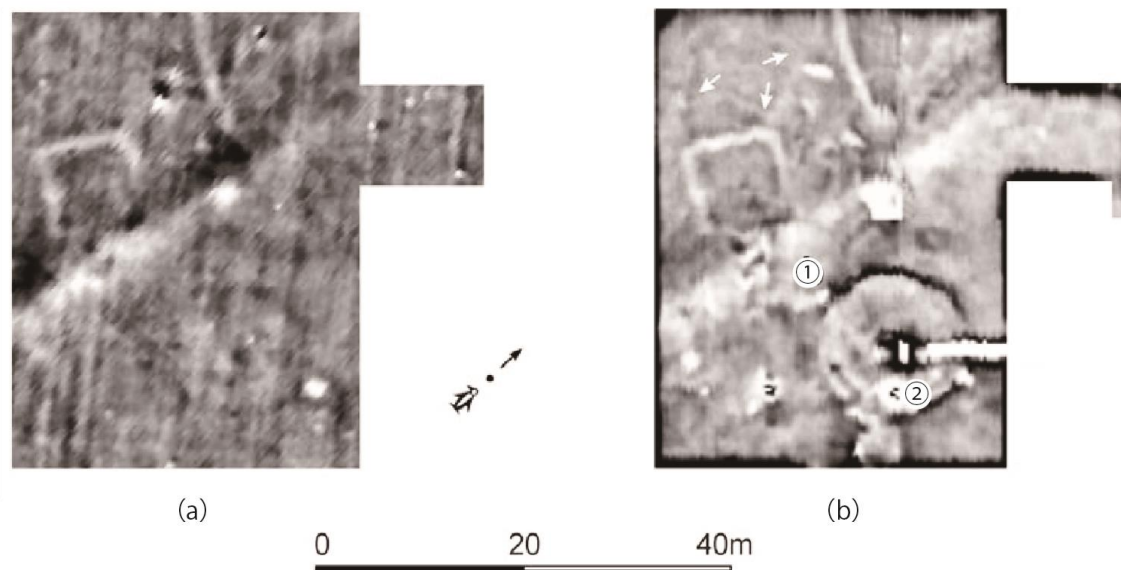
第 37 図 帯磁率の違い (大熊 1998: 480, 図 9.7)



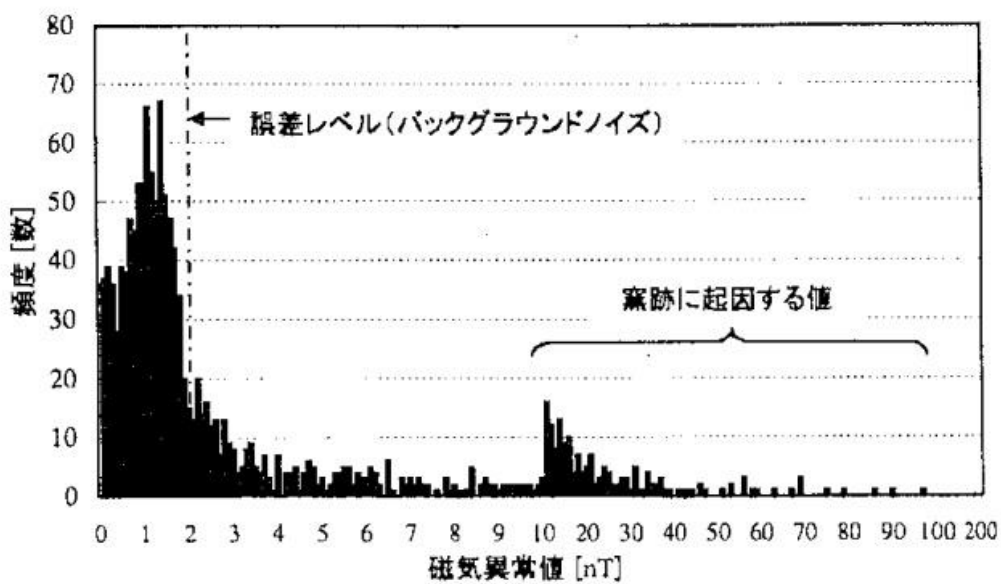
第 38 図 磁気異常断面模式図



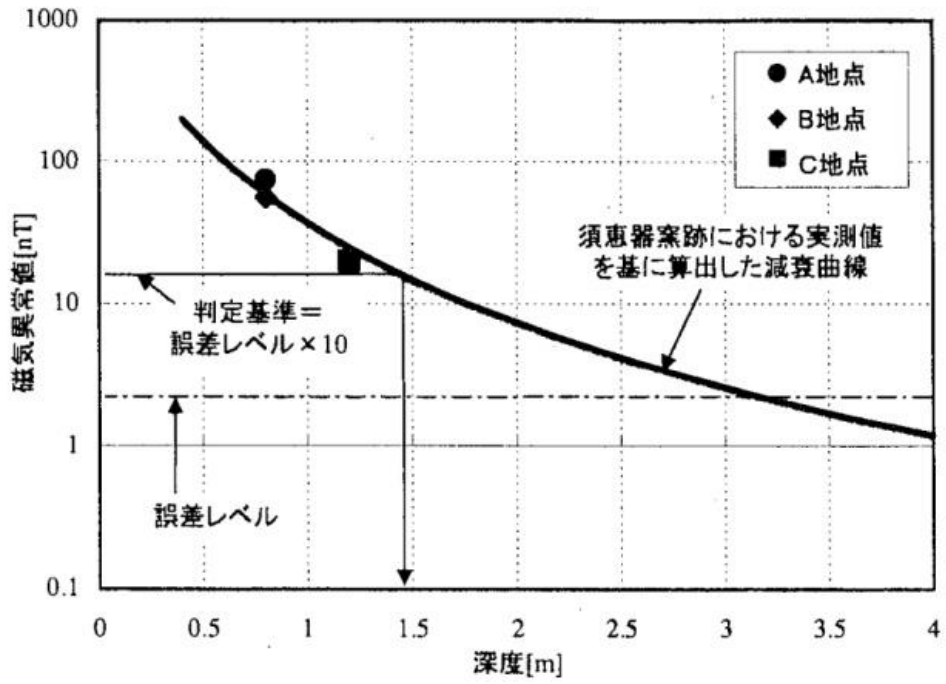
第 39 図 磁気異常の平面パターン (亀井 2000: 9, fig. 5)



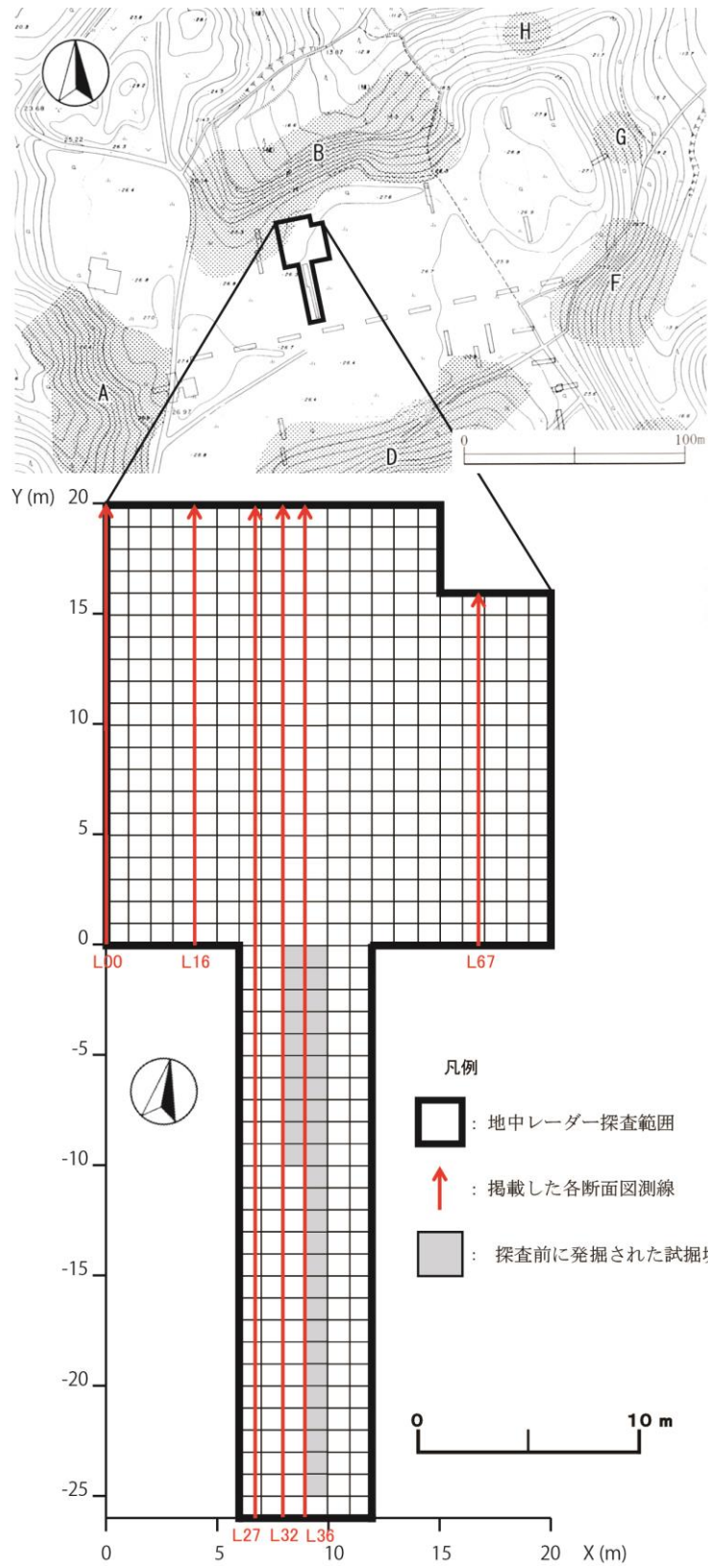
第 40 図 表土の有無による磁気探査結果の差異
 (Von del Osten-Woldenburg et al. 2002: 466, fig. 2 より一部改変)



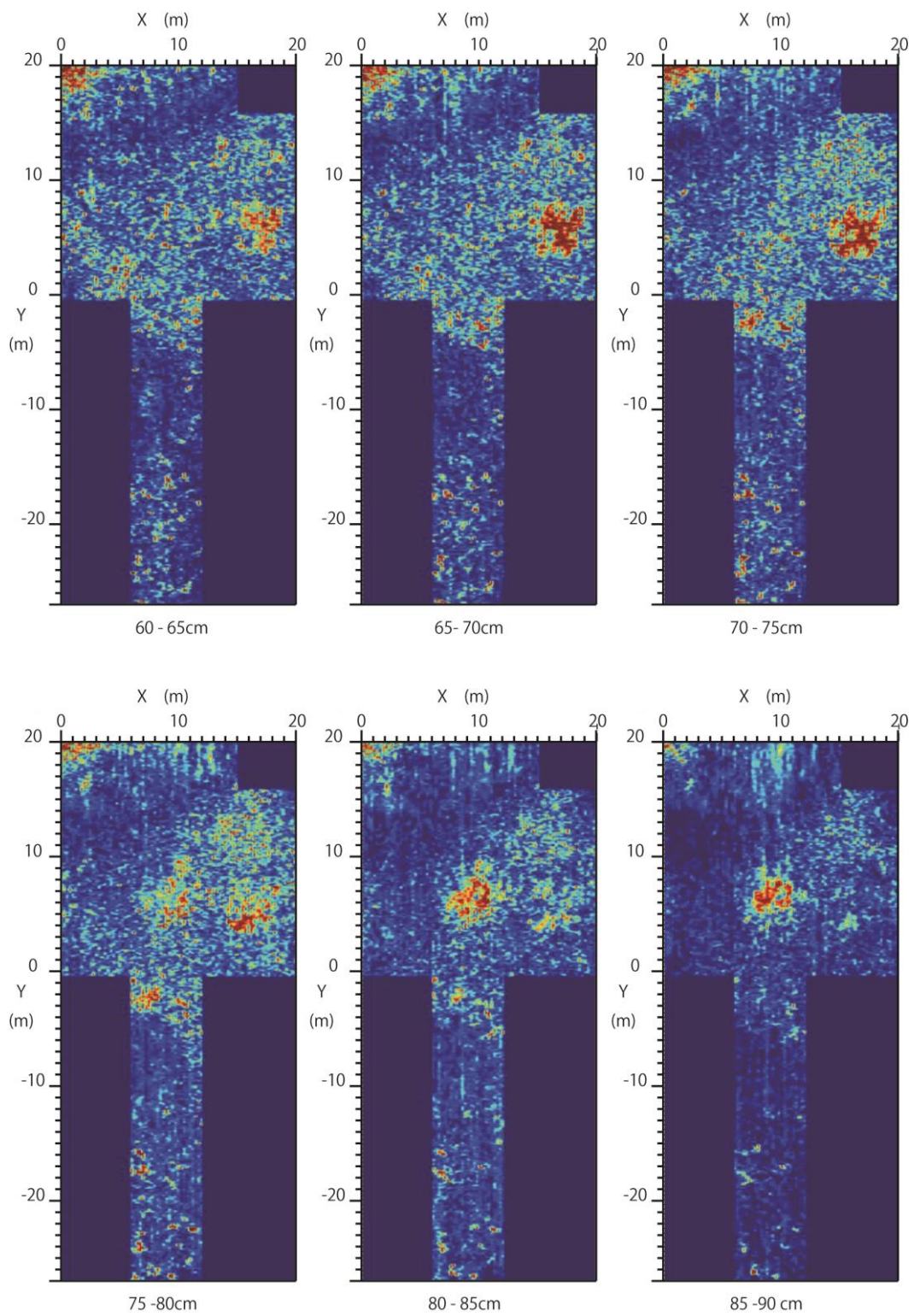
第 41 図 窯跡の磁気異常とノイズの大きさ (高瀬他 2001: 117, 図 3)



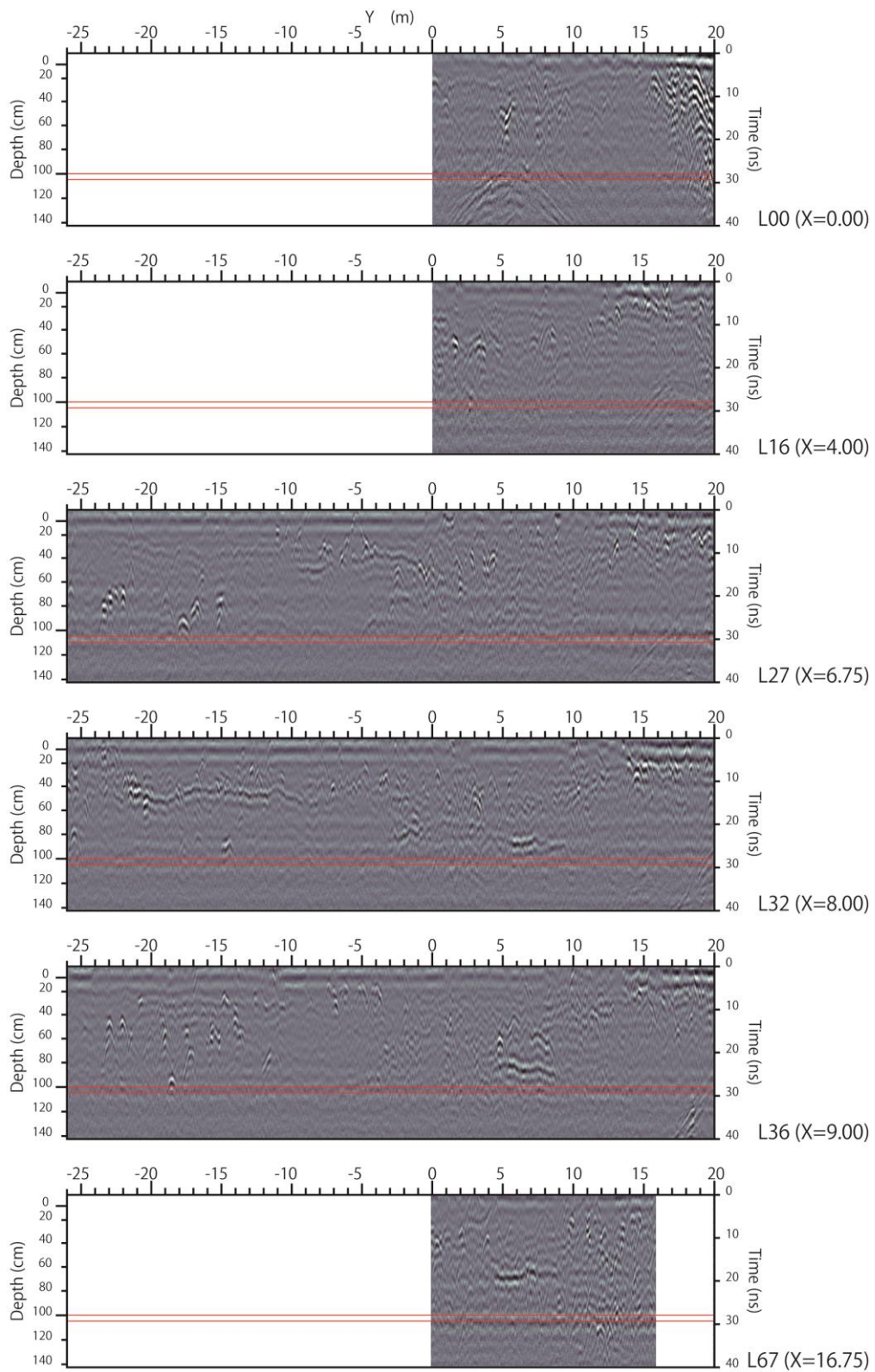
第 42 図 窯跡の埋没深度と磁気異常の関係 (高瀬他 2001: 112, 図 2)



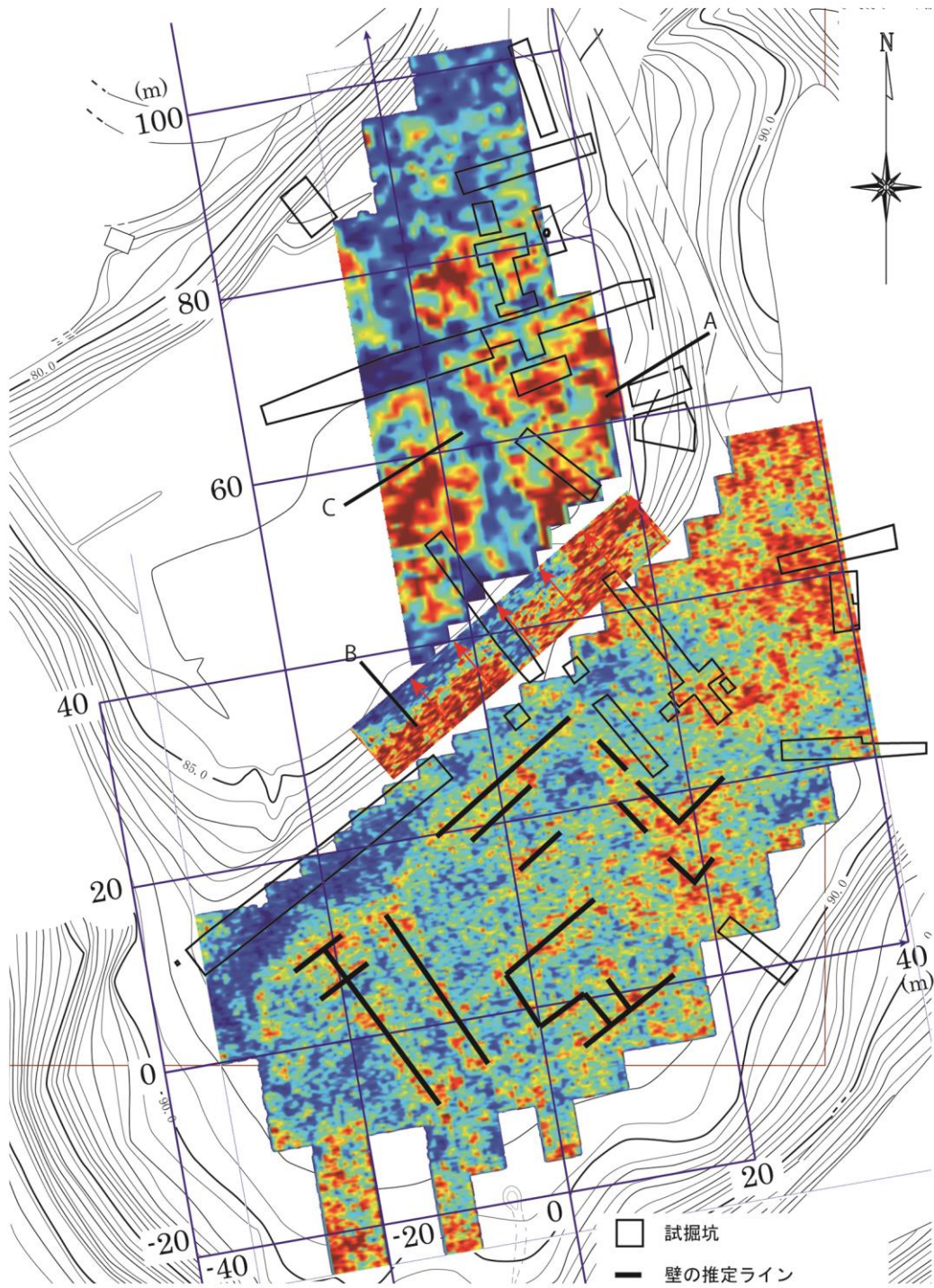
第 43 図 陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査範囲 (辰巳 2016b: 41, 第 18 図)



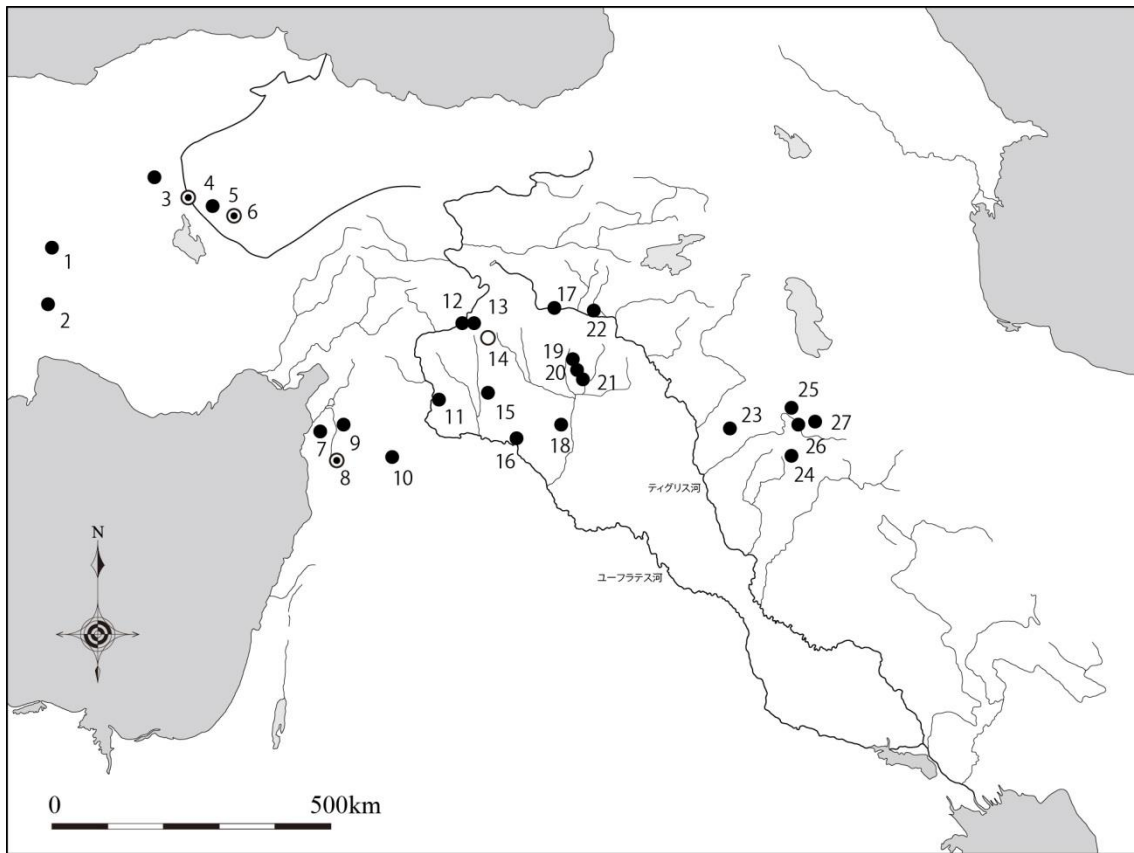
第 44 図 陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査タイムスライス
 (辰巳 2016b: 44, 第 21 図)



第 45 図 陸平貝塚遺跡における地中レーダー探査疑似断面図
(辰巳 2016b: 46, 第 23 図)



第 46 図 唐沢山城御台所における地中レーダー探査結果 (辰巳 2016a: 68, 第 4 図)



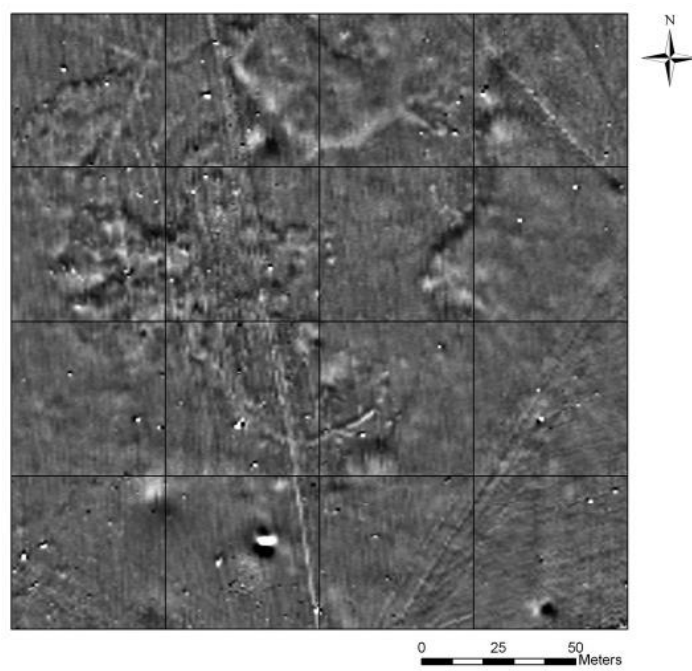
● : 磁気探査 ○ : 地中レーダー探査 ◎ : 両探査

- 1. デデメザリ 2. ハルマノレン 3. ハジュトウルル・ホユック 4. ビュクリュカレ
- 5. カマン・カレホユック 6. ヤッサホユック 7. テル・トゥエイニ 8. シール
- 9. テル・マルディフ 10. テル・アル・ラウダ 11. テル・エ・スウェイハット
- 12. ティトリシュ・ホユック 13. カザネ・ホユック 14. ギョベックリ・テペ
- 15. テル・フエラ 16. テル・クブル・アル・アラティーク 17. ジヤレット・テペ
- 18. テル・シェイク・ハマド 19. キルベト・シャネ 20. キルベト・ベジ
- 21. テル・アルビド 22. ハッサンケイフ・ホユック 23. クルド・カブルスタン
- 24. クナラ 25. カラート・サイド・アハマダン 26. カラーティ・ディンカ
- 27. ギルディ・バザール

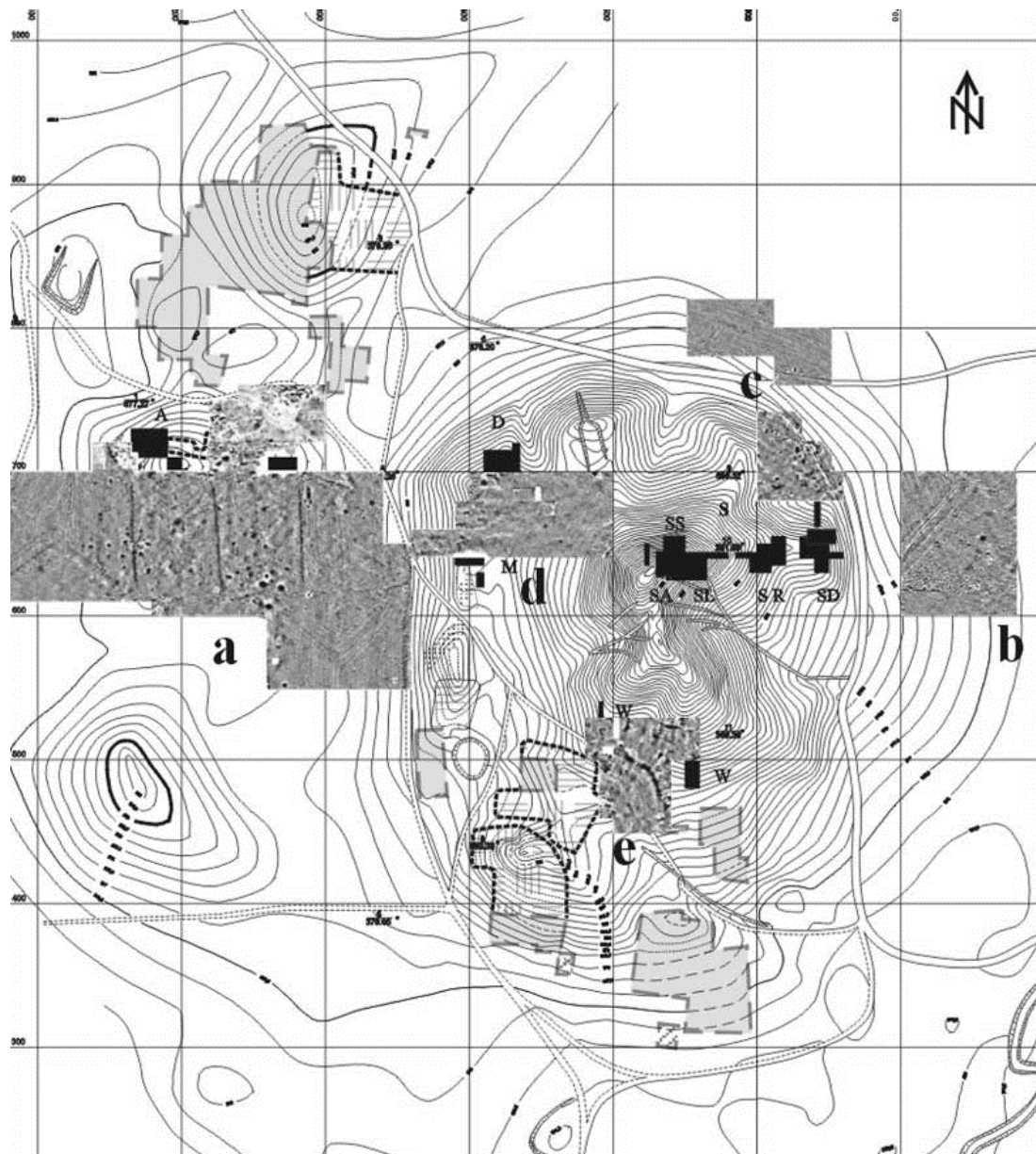
第 47 図 第 4・5 章で言及する磁気探査・地中レーダー探査の実施された遺跡



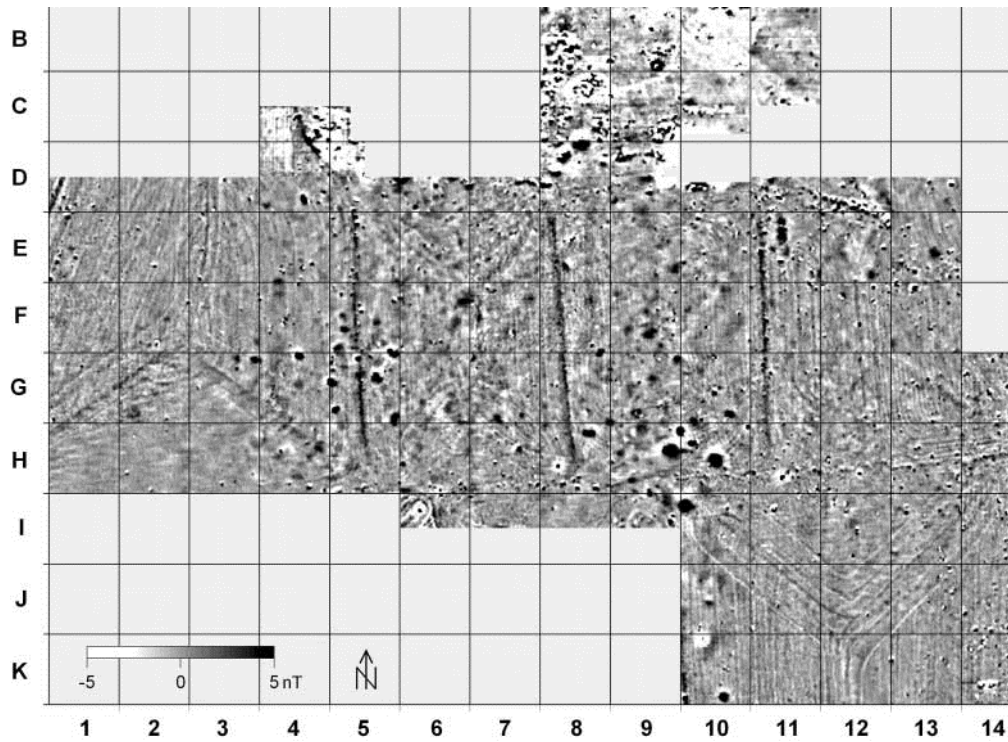
第 48 図 キルベト・ベジ遺跡周辺図 (Mateiciucova et al. 2009: 112, fig. 2)



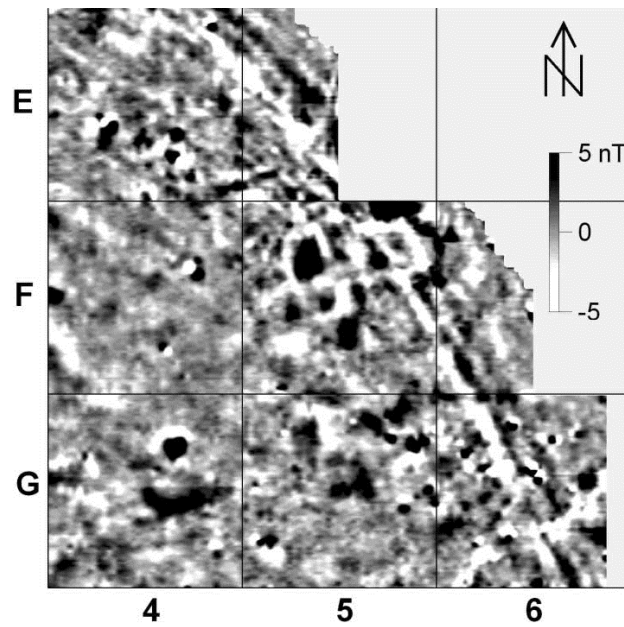
第 49 図 キルベト・ベジ遺跡における磁気異常分布図
(Mateiciucova et al. 2009: 113, fig. 3)



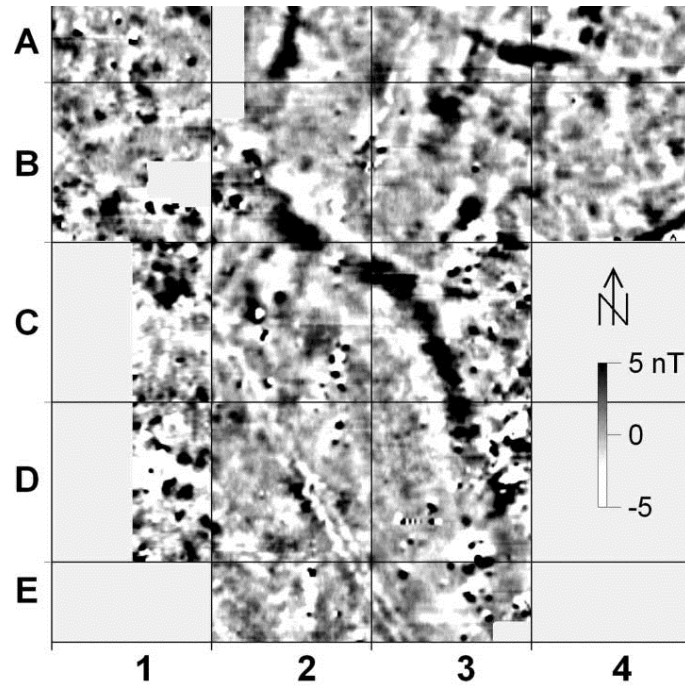
第 50 図 テル・アルビド遺跡の磁気異常分布図 (図中 a-e はそれぞれ探査区を示す)
 (Herbich 2004: 491, fig. 1)



第 51 図 テル・アルビド遺跡 a 区における磁気異常分布図 (Herbich 2004: 492, fig. 2)



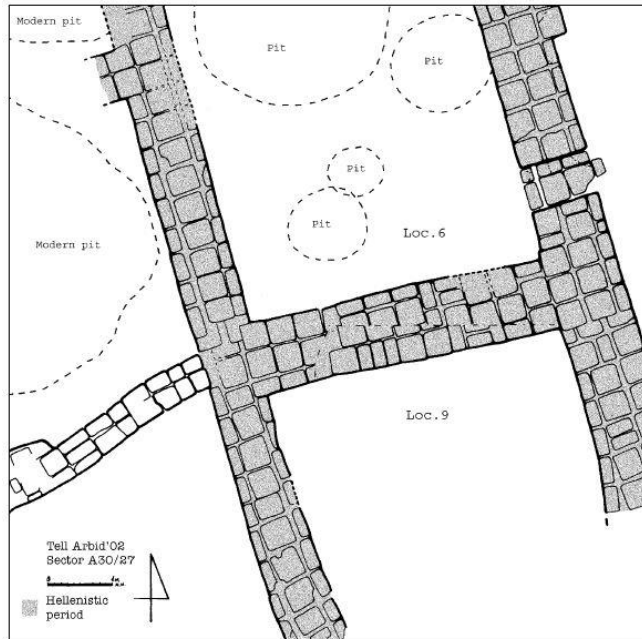
第 52 図 テル・アルビド遺跡 c 区における磁気異常分布図 (Herbich 2004: 494, fig. 3)



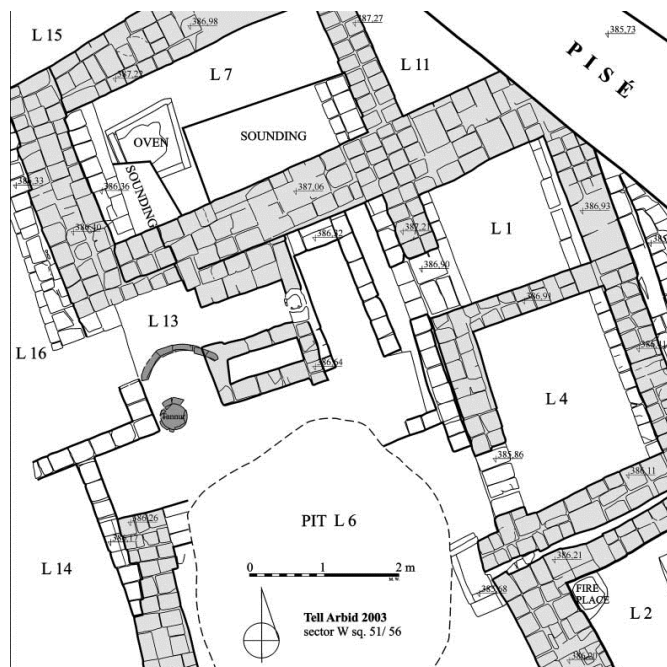
第 53 図 テル・アルビド遺跡 e 区における磁気異常分布図 (Herbich 2004: 495, fig. 4)



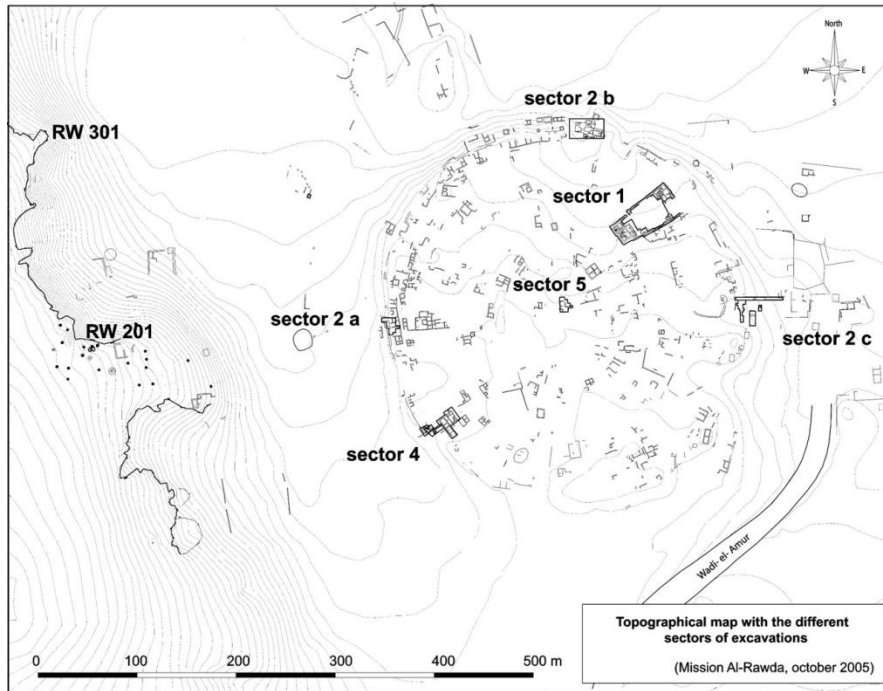
第 54 図 テル・アルビド遺跡で検出されたヘレニズム期の土坑 (Bieliński 2002: 303, fig. 2)



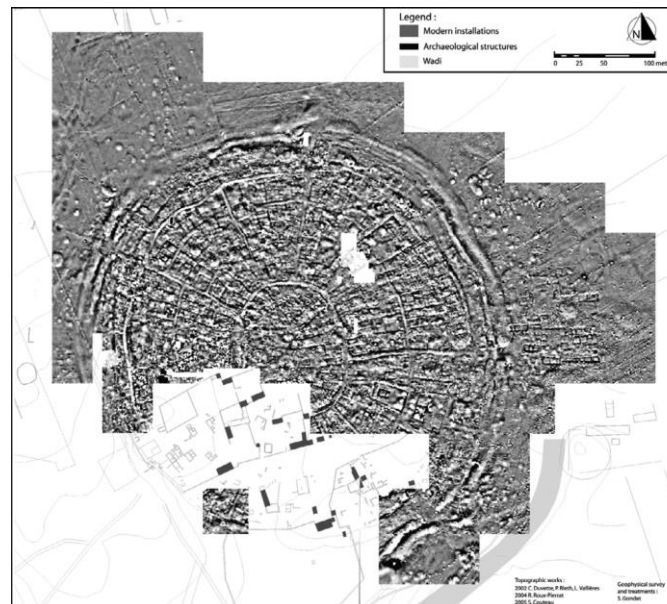
第 55 図 テル・アルビド遺跡で検出されたヘレニズム期の建築遺構
(Bieliński 2002: 304, fig. 3)



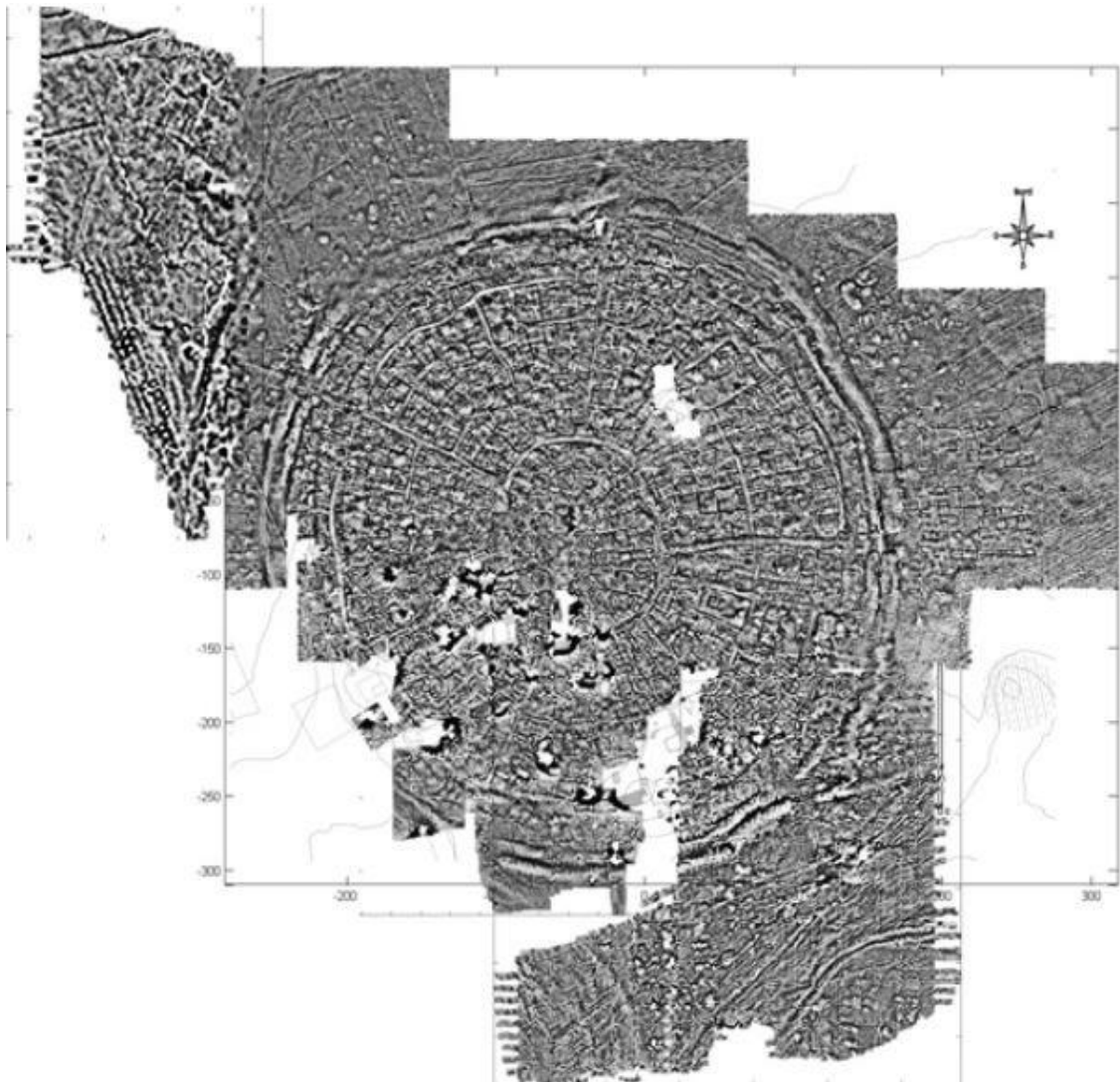
第 56 図 テル・アルビド遺跡で検出された複合住居 (Bieliński 2003: 350, fig. 16)



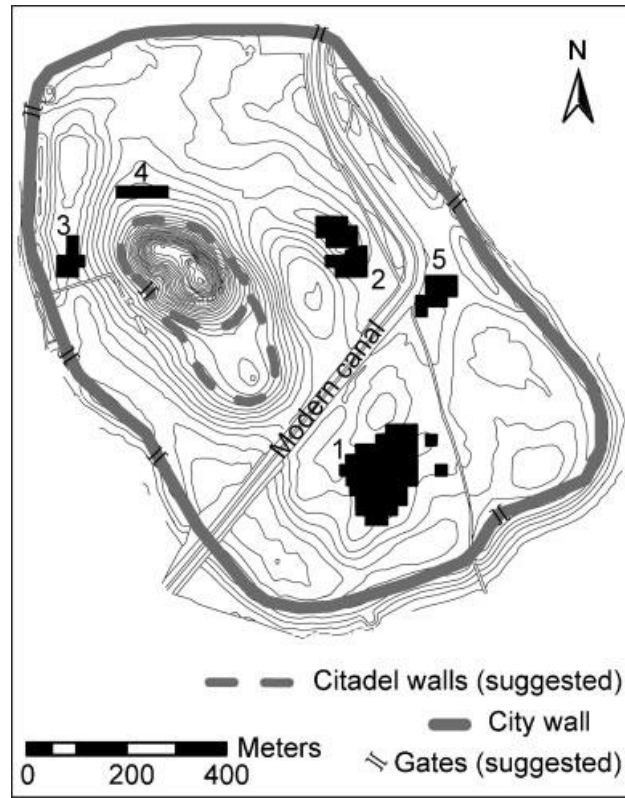
第 57 図 テル・アル・ラウダ遺跡の地形及び探査前の露出した遺構
 (Castel and Peltenburg 2007: 606, fig. 5)



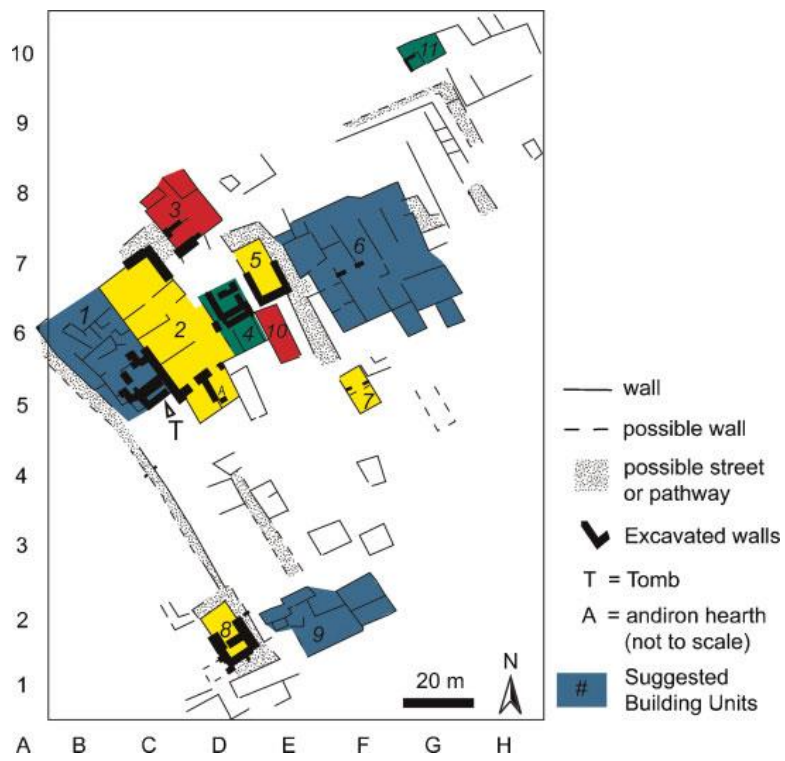
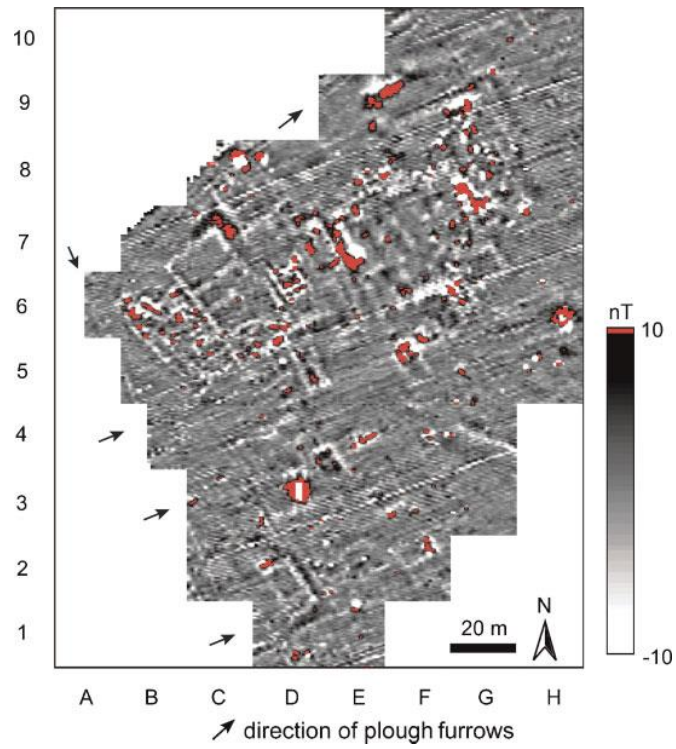
第 58 図 テル・アル・ラウダ遺跡における 2005 年度までの磁気異常分布図
 (Castel and Peltenburg 2007: 605, fig. 4 より一部改変)



第 59 図 テル・アル・ラウダ遺跡における 2010 年度までの磁気異常分布図
(Castel et al. 2014: 41, fig. 24)



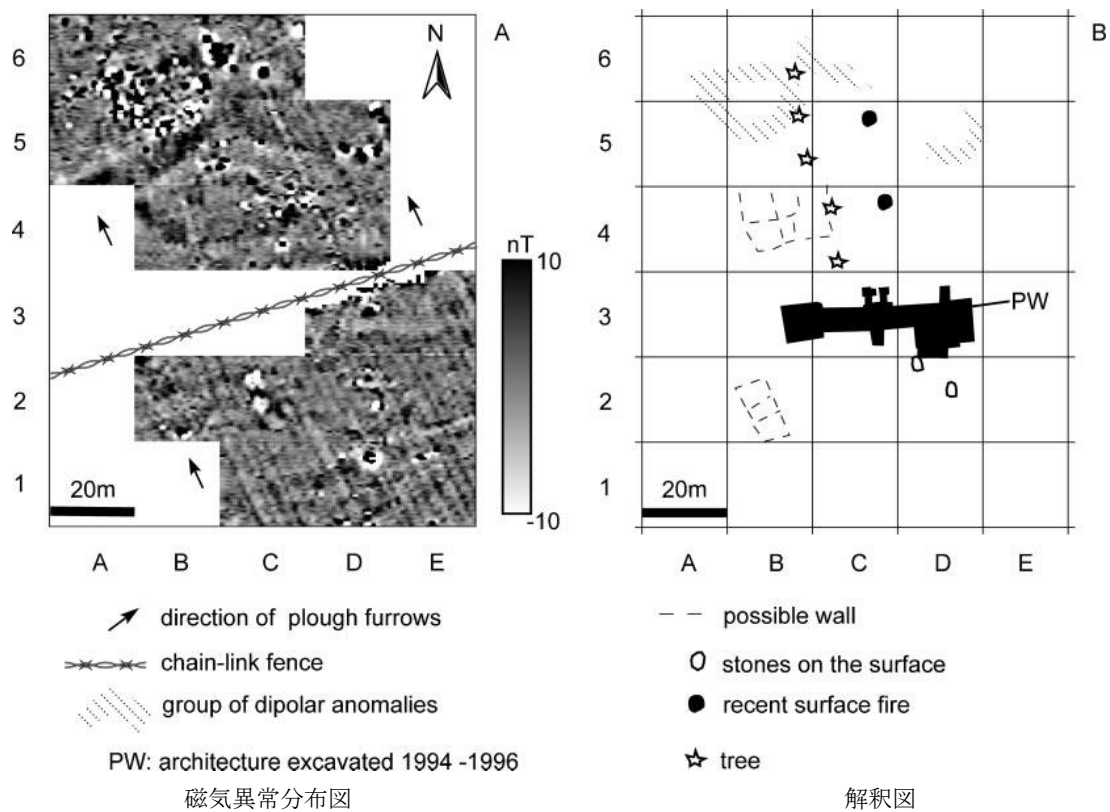
第 60 図 カザネ・ホユック遺跡の磁気探査区 (Creekmore 2010: 74, fig. 2)



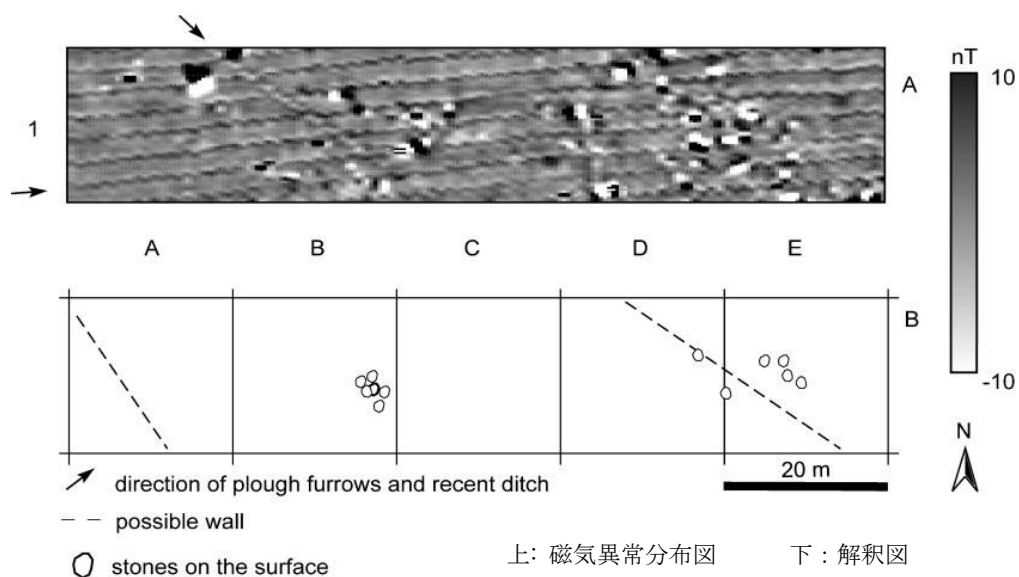
上: 磁気異常分布図

下: 解釈図

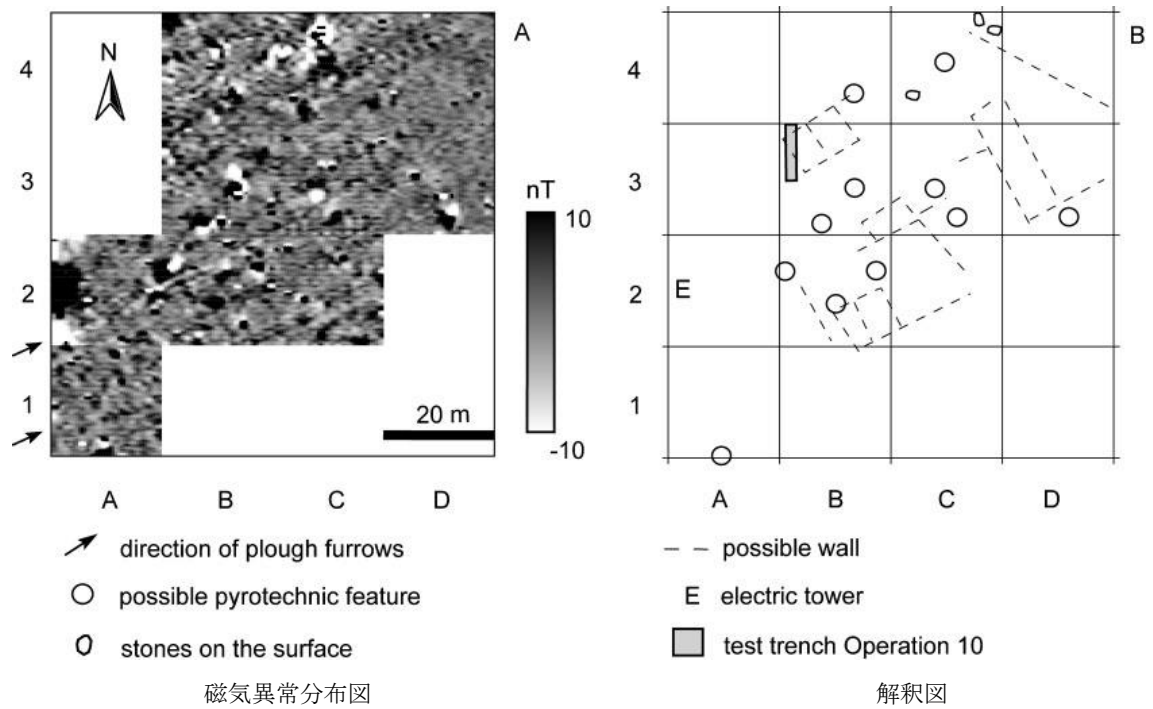
第 61 図 カザネ・ホック遺跡 1 区における磁気探査結果
(上: Creekmore 2010: 77, fig. 3 / 下: ibid: 79, fig. 5)



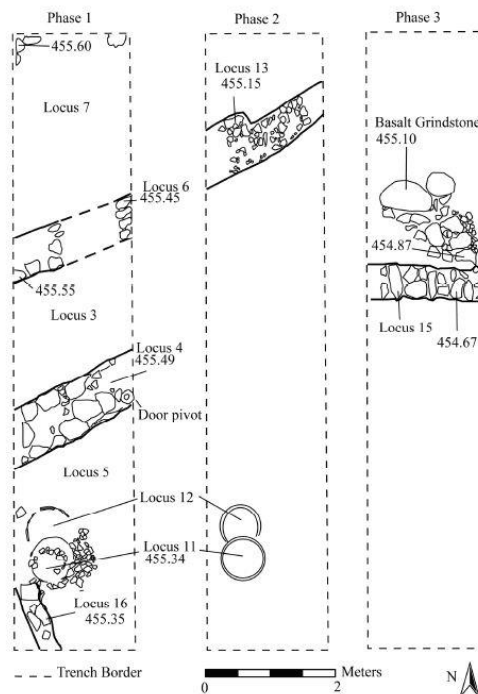
第 62 図 カザネ・ホック遺跡 3 区における磁気探査結果 (Creekmore 2010: 82, fig. 8)



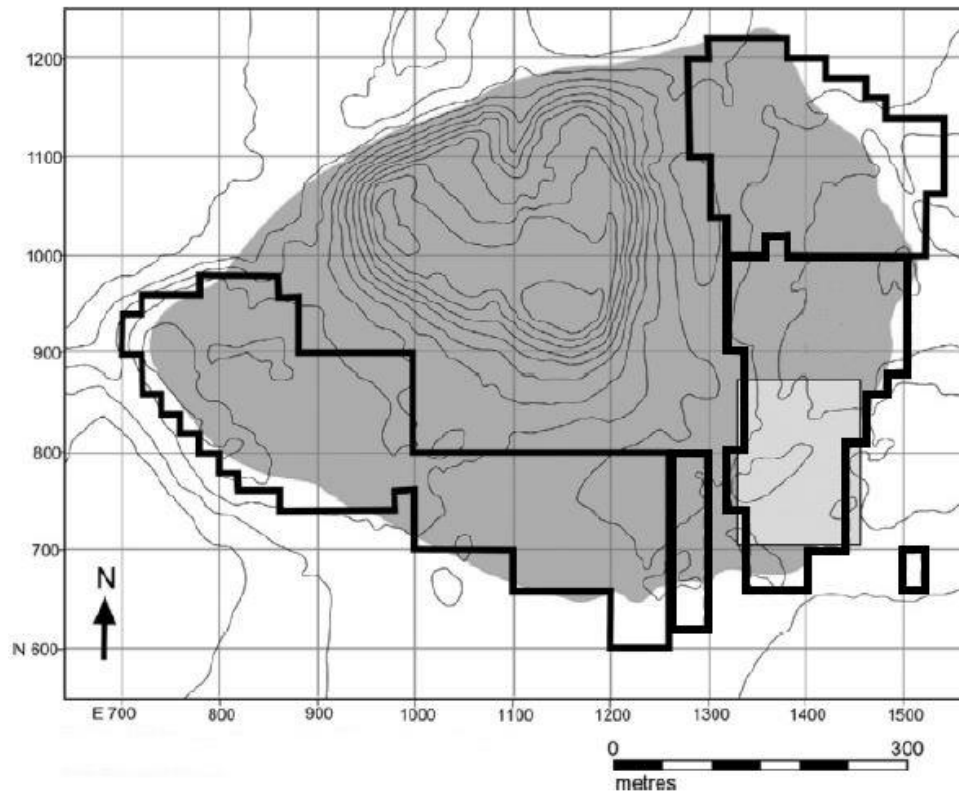
第 63 図 カザネ・ホック遺跡 4 区における磁気探査結果 (Creekmore 2010: 84, fig. 10)



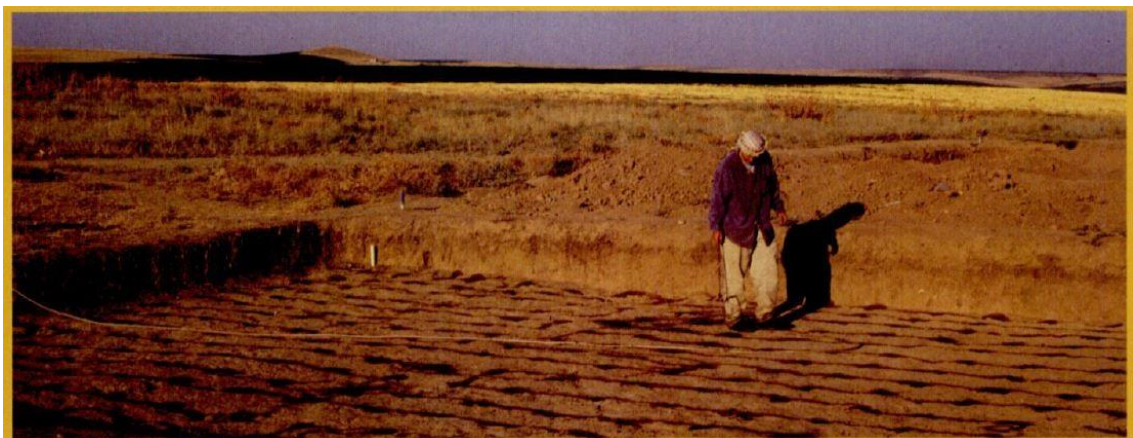
第 64 図 カザネ・ホック遺跡 5 区における磁気探査結果 (Creekmore 2010: 85, fig. 11)



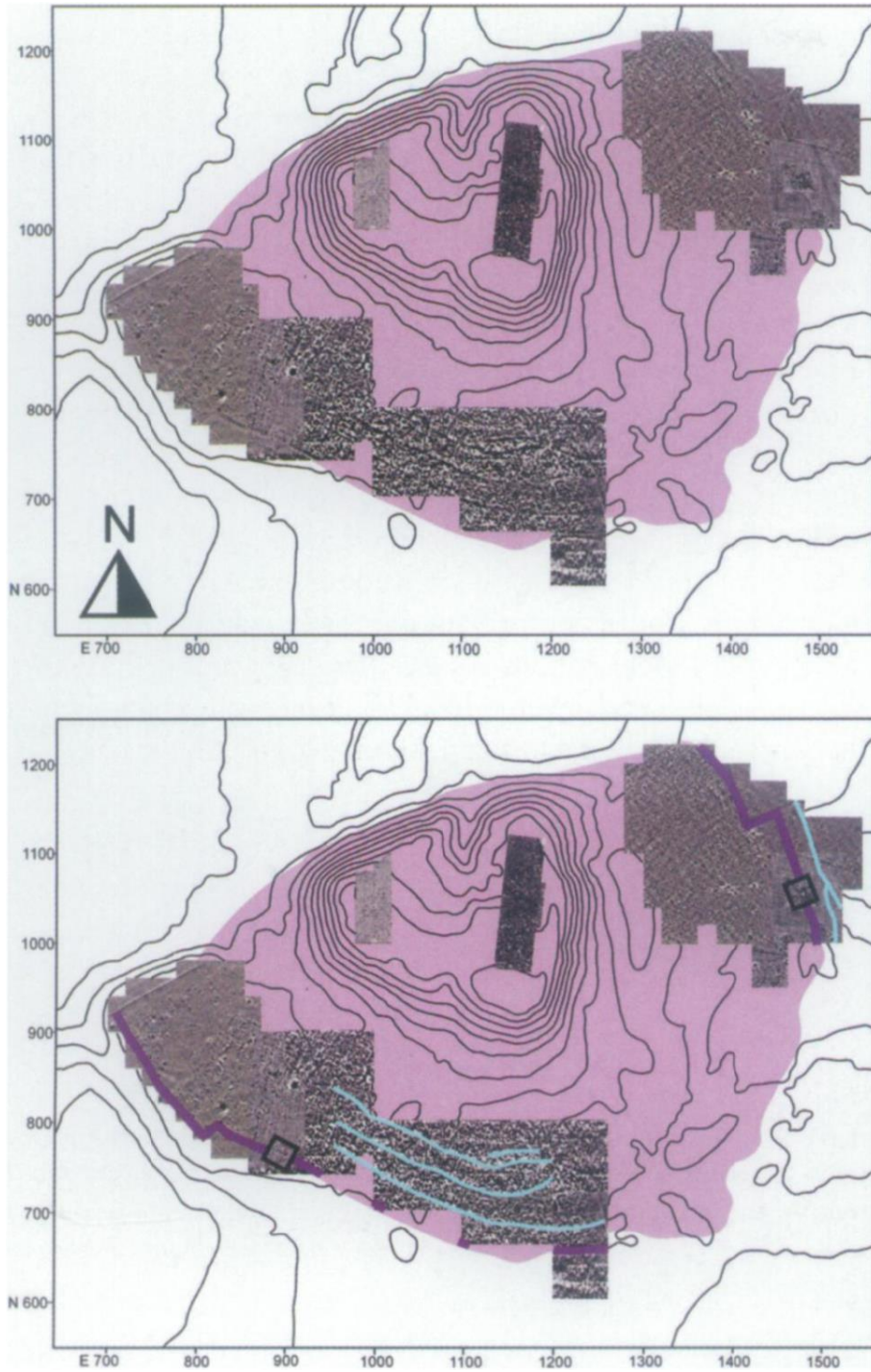
第 65 図 カザネ・ホック遺跡 5 区内試掘坑の遺構平面図 (Creekmore 2008: 467, fig. 5. 32)



第 66 図 ジヤレット・テペ遺跡における磁気探査範囲
 (Matney et al. 2011: 112, fig. 18 より一部改変)

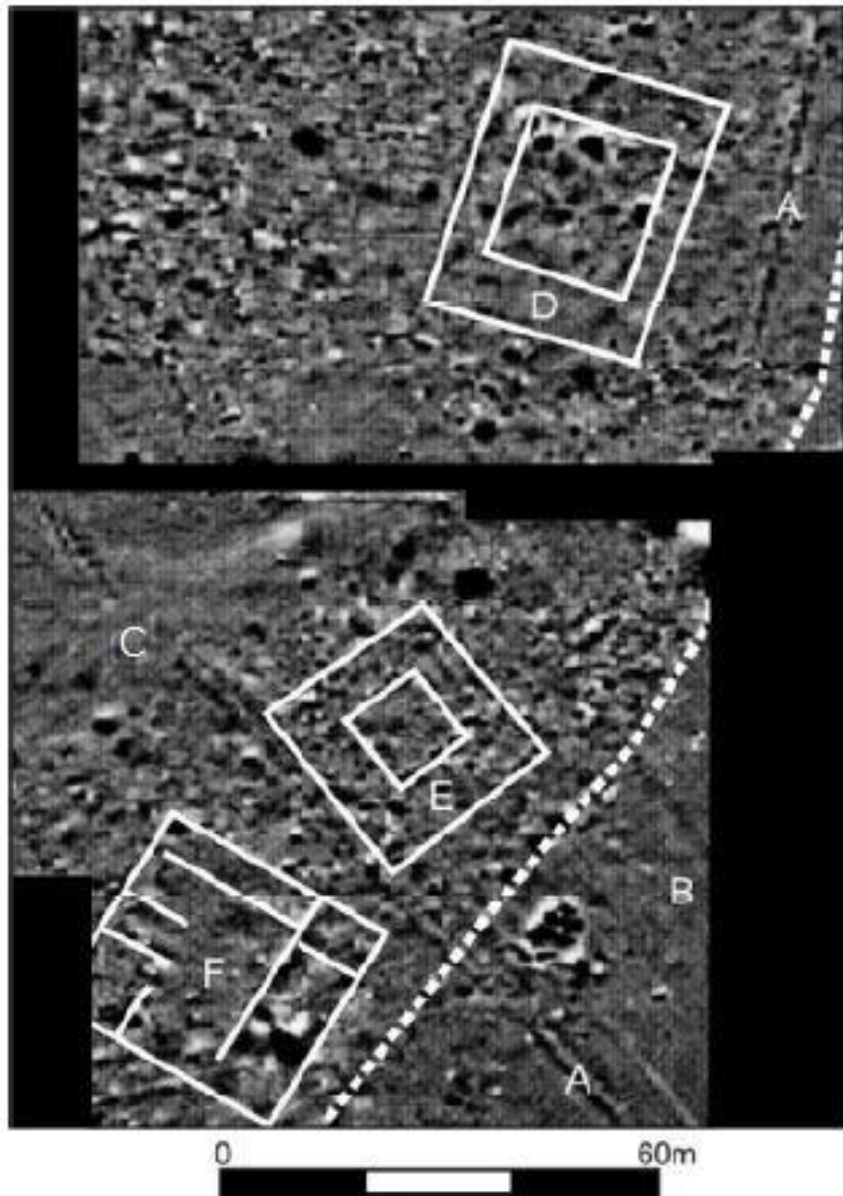


第 67 図 ジヤレット・テペ遺跡における電気抵抗探査区の準備状況
 (Matney and Donkin 2006: 23)

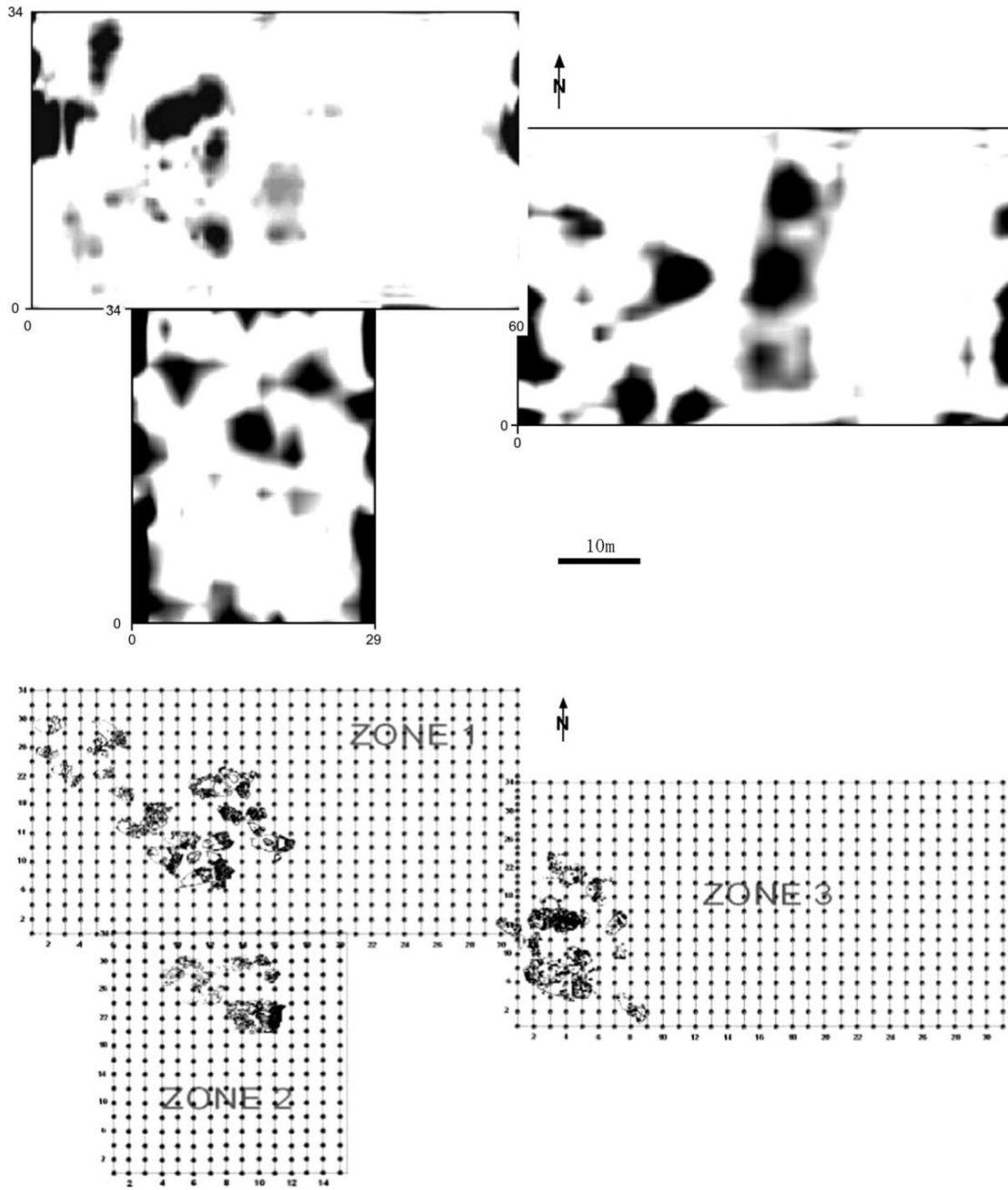


上: 磁気異常分布図 下: 周壁、門、街路の解釈図

第 68 図 ジャレット・テペ遺跡全体の磁気探査結果 (Matney and Donkin 2006: 15)

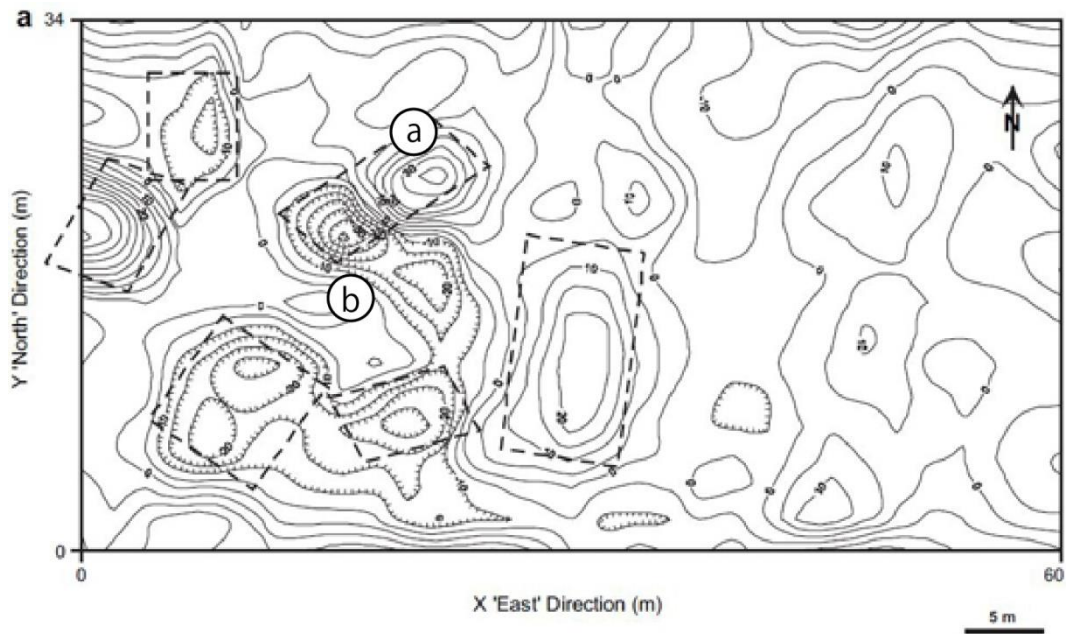


第 69 図 ジヤレット・テペ遺跡の下街における磁気探査結果
 (Matney et al. 2011: 112, fig. 19 より一部改変)



上：磁気異常分布図解釈成果 下：同地点における発掘成果

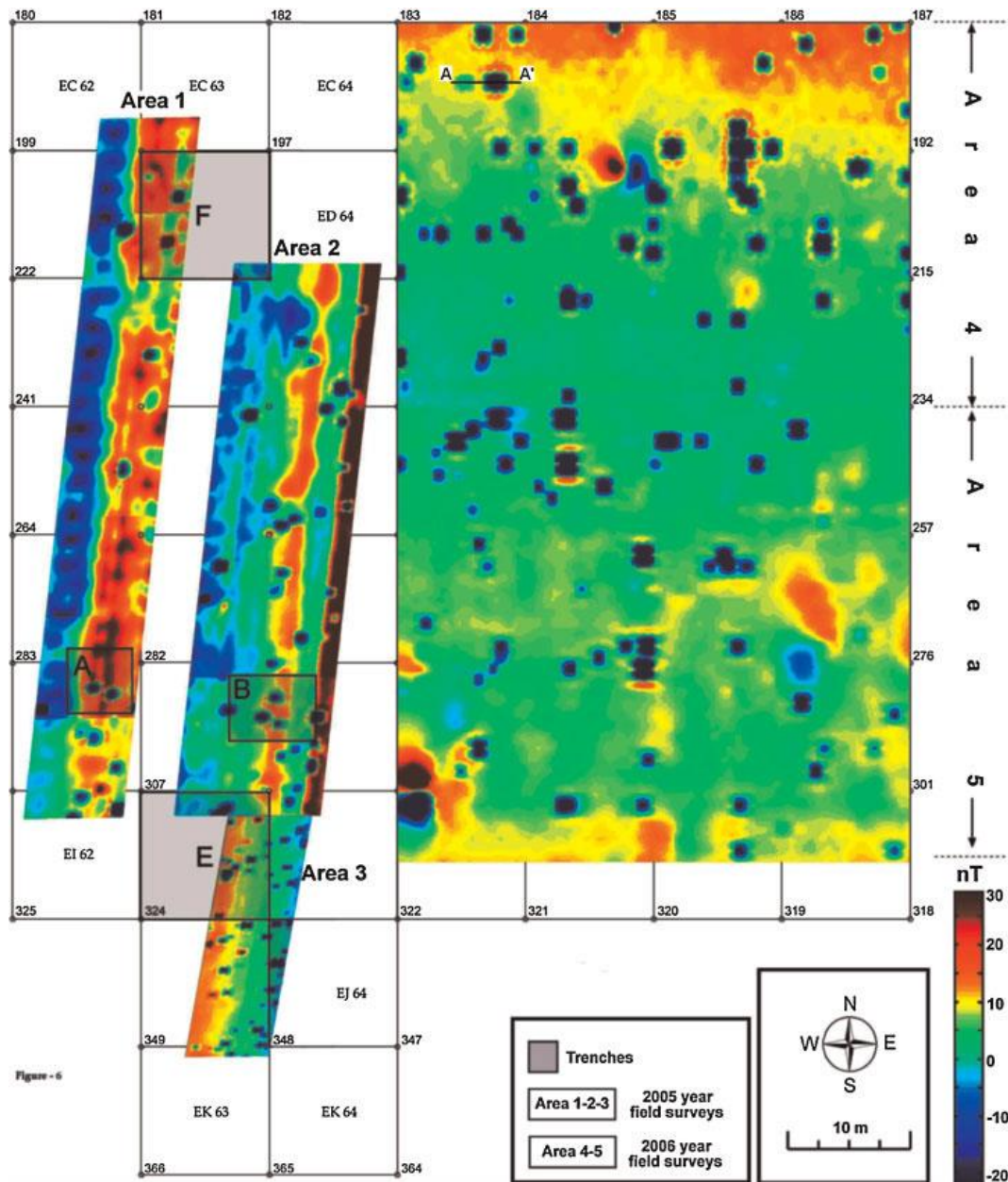
第 70 図 ハルマノレン遺跡の磁気探査成果 (Büyüksaraç et al. 2006: 919, fig.9)



第 71 図 ハルマノレン遺跡の Zone 1 における磁気異常分布図
 (Büyüksaraç et al. 2006: 914, fig. 4a より作成)



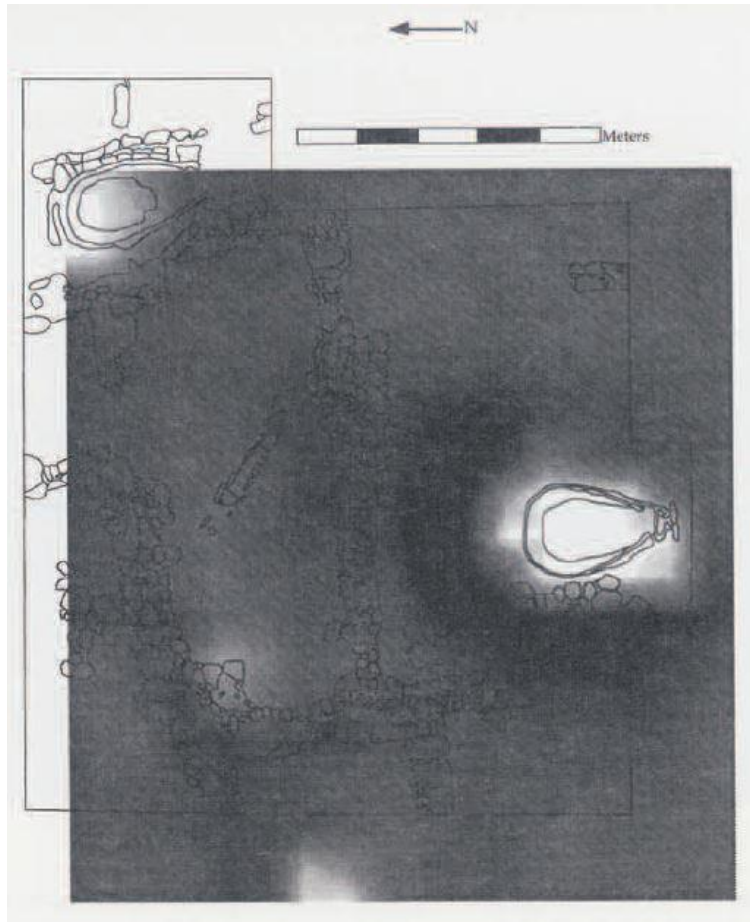
第 72 図 デデメザリ遺跡の探査区地表面の状況 (第 79 図 Trench F 周辺)
 (Koçak et al. 2007: fig. 4)



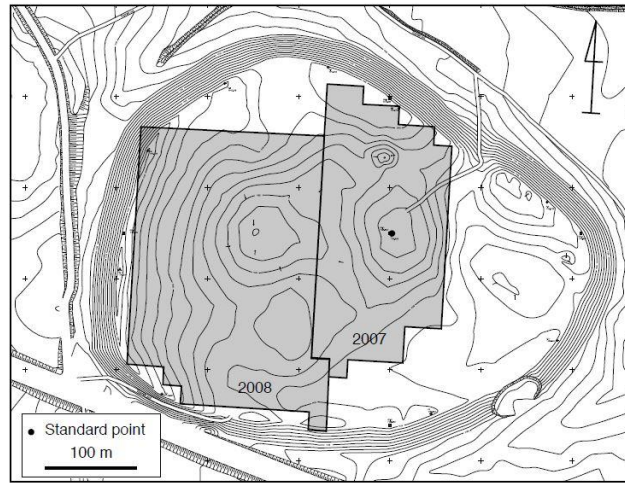
第 73 図 デデメザリ遺跡における磁気異常分布図
 (Büyüksaraç et al. 2008: 274, fig. 6)



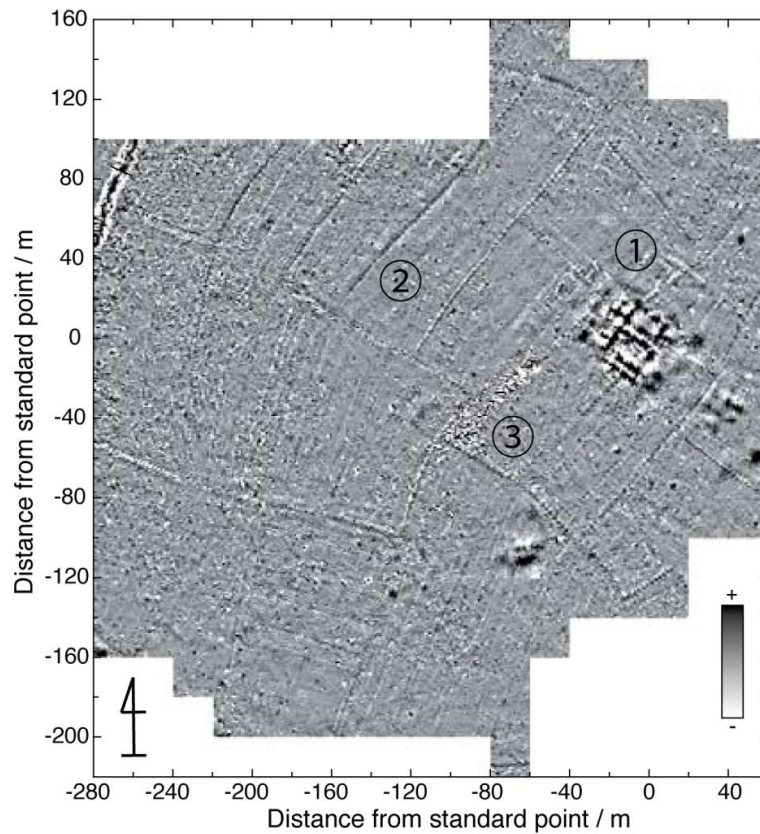
第 74 図　　デデメザリ遺跡における遺構出土状況（第 79 図 Trench A）
（Arisoy et al. 2007: 1481, fig. 8）



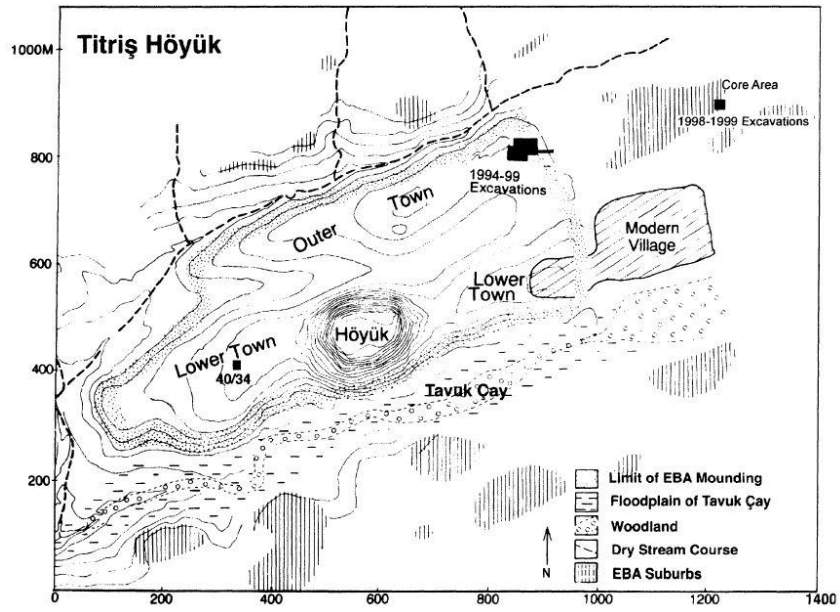
第 75 図 テル・エ・スウェイハット遺跡における窯跡周辺の磁気異常分布図
及び検出された窯跡 (Peregrine 1996: 30-31, fig. 1, 2)



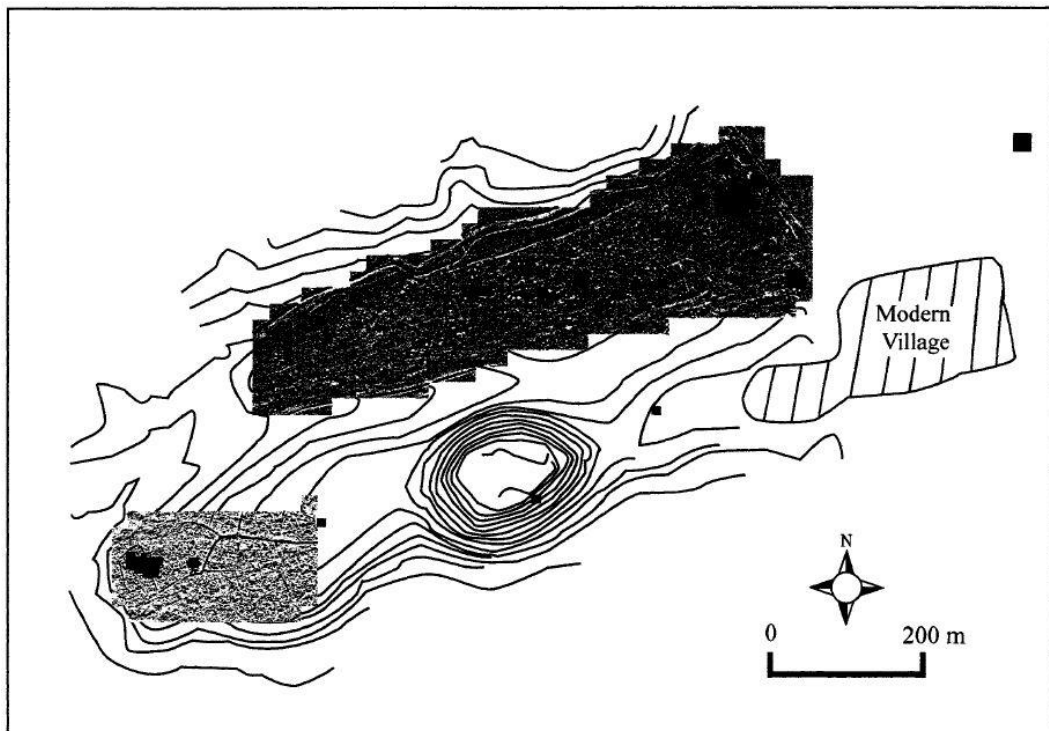
第 76 図 ヤスホユック遺跡における磁気探査区
(Kumagai et al. 2011: 171, fig. 1)



第 77 図 ヤスホユック遺跡における磁気異常分布図
(Kumagai et al. 2011: 172, fig. 3 より一部改変)



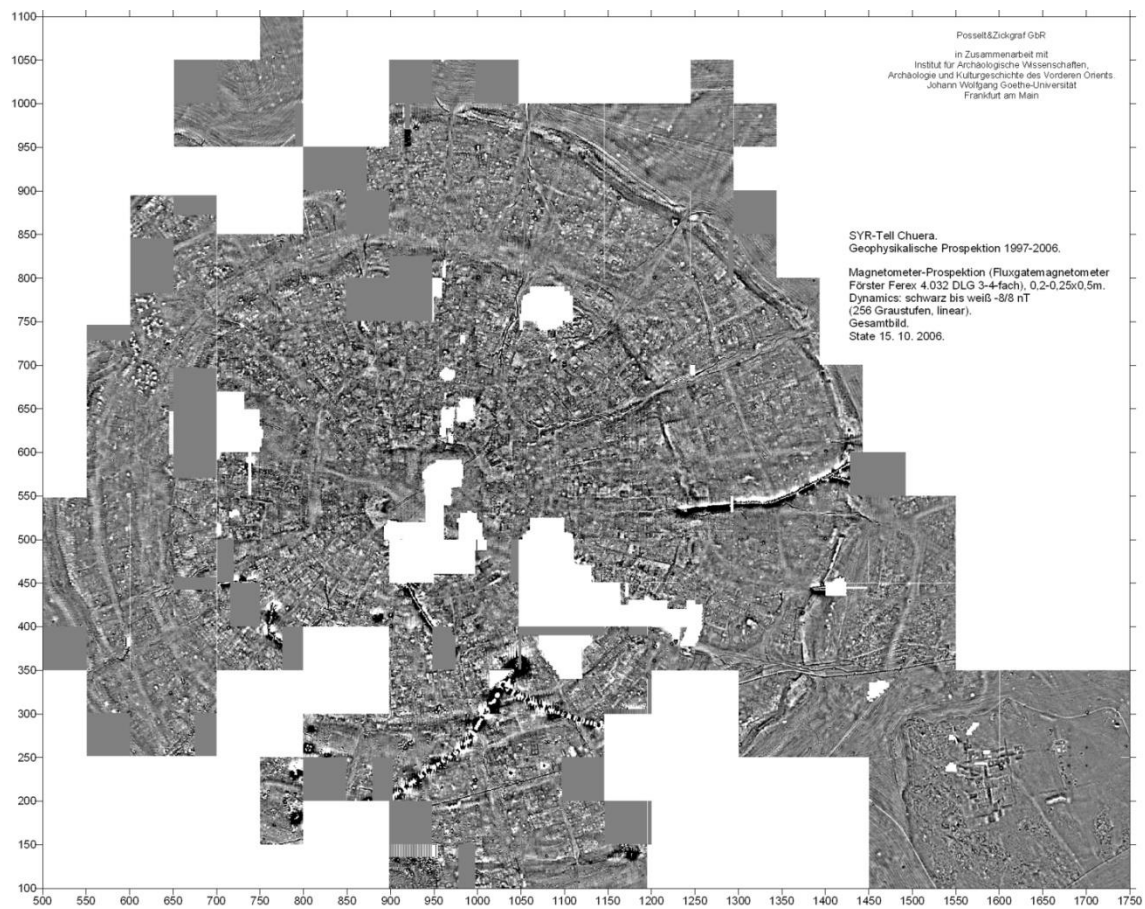
第 78 図 ティトリシュ・ホユック遺跡の地形 (Algaze et al. 2001: 82, fig. 1)



第 79 図 ティトリシュ・ホユック遺跡における磁気異常分布 (Nishimura 2008: 217, fig. 4)



第 80 図 テル・マルディフ遺跡における磁気異常分布図
(Ramazotti 2009: 12, fig. 7)



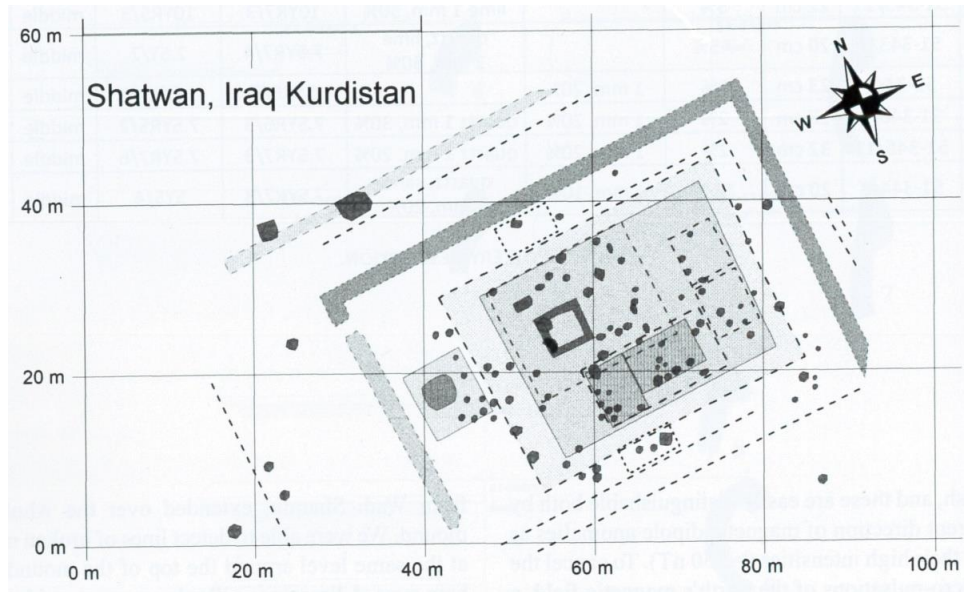
第 81 図 テル・フエラ遺跡における磁気異常分布図 (Meyer 2016: 288, fig. 2)



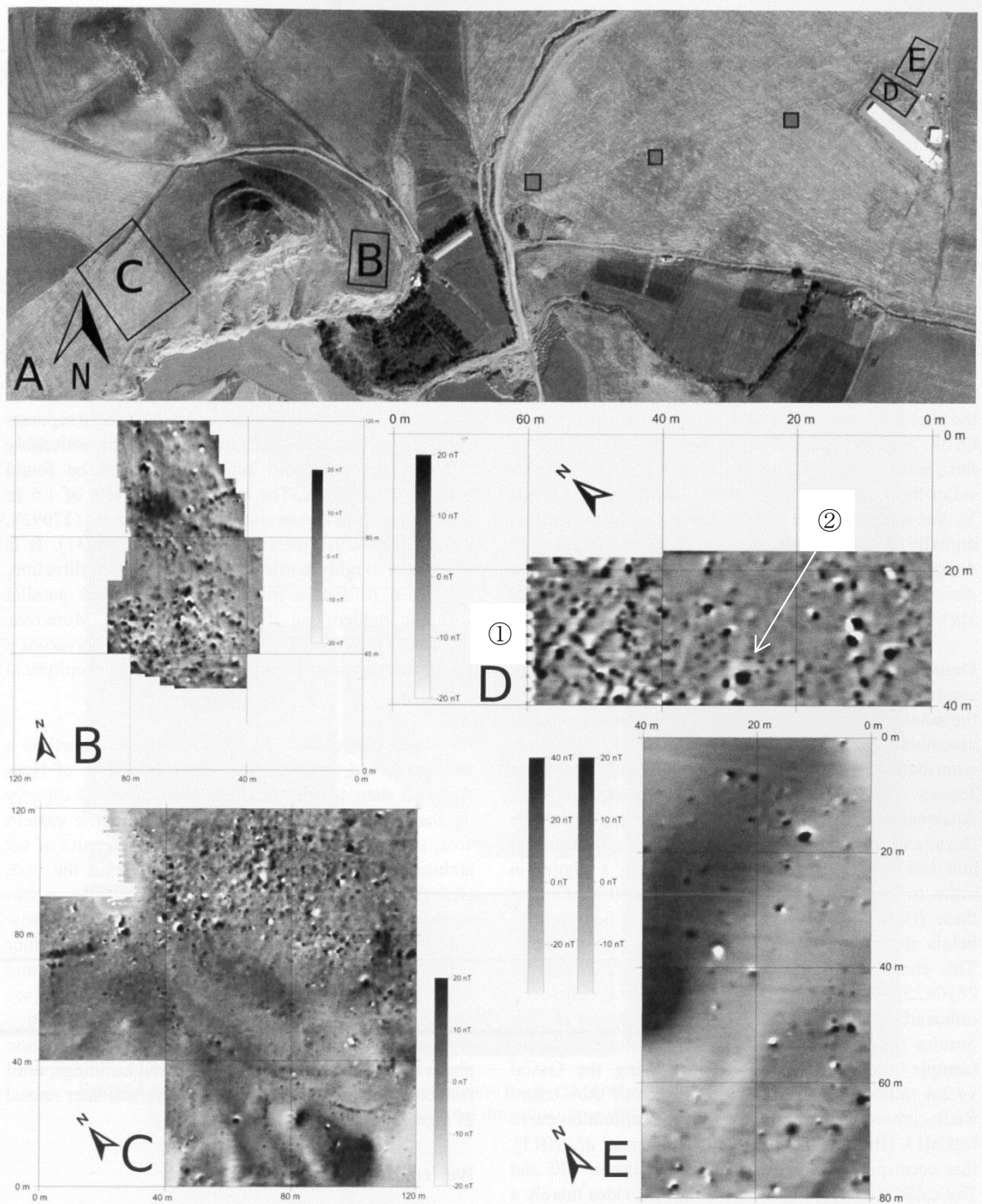
第82図 テル・シェイク・ハマド遺跡における磁気異常分布図(Kühne 2016: 123, fig. 7)



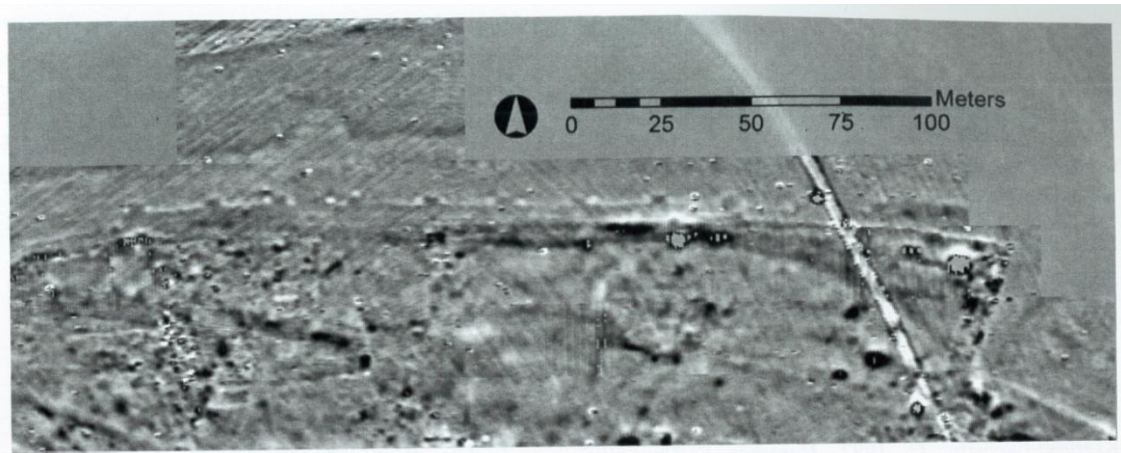
第 83 図　ギルディ・シャトワン遺跡における磁気異常分布図
(Mühl and Fassbinder 2016: 247, fig. 8)



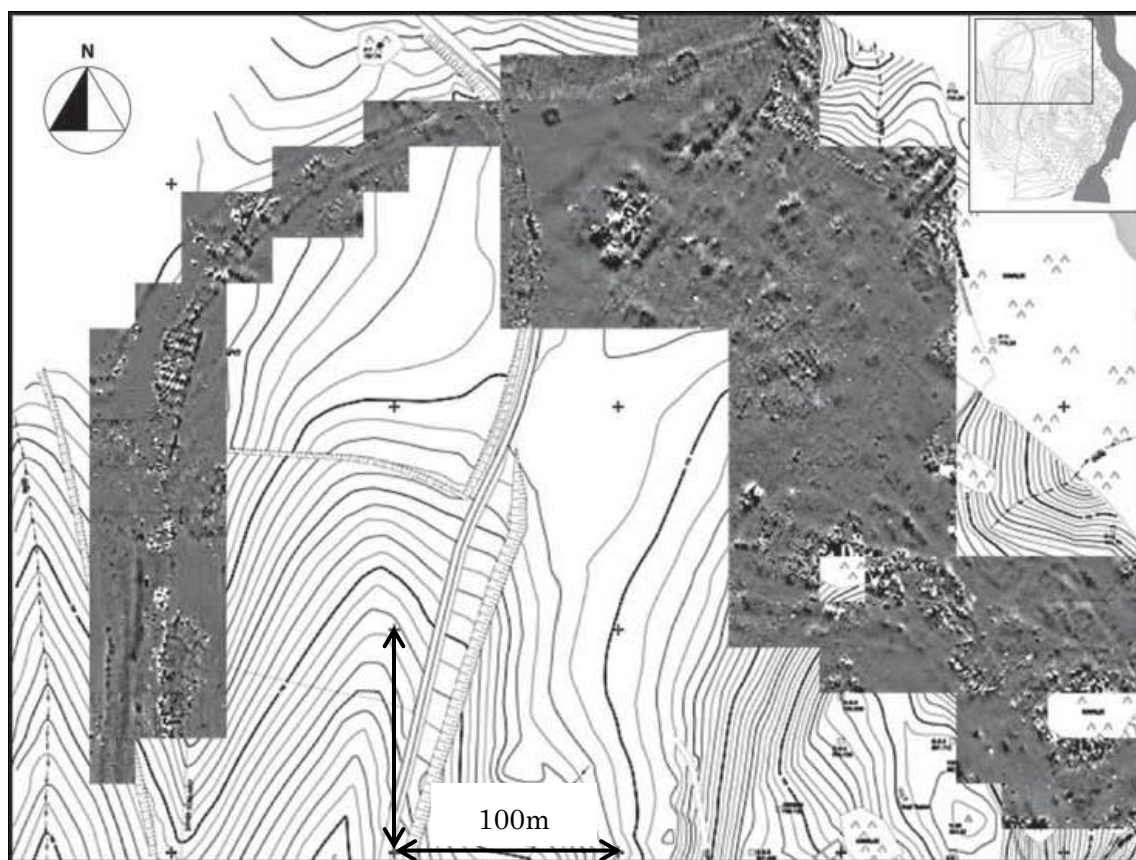
第 84 図 ギルディ・シャトワン遺跡における磁気探査結果の解釈
 (Mühl and Fassbinder 2016: 246, fig. 7)



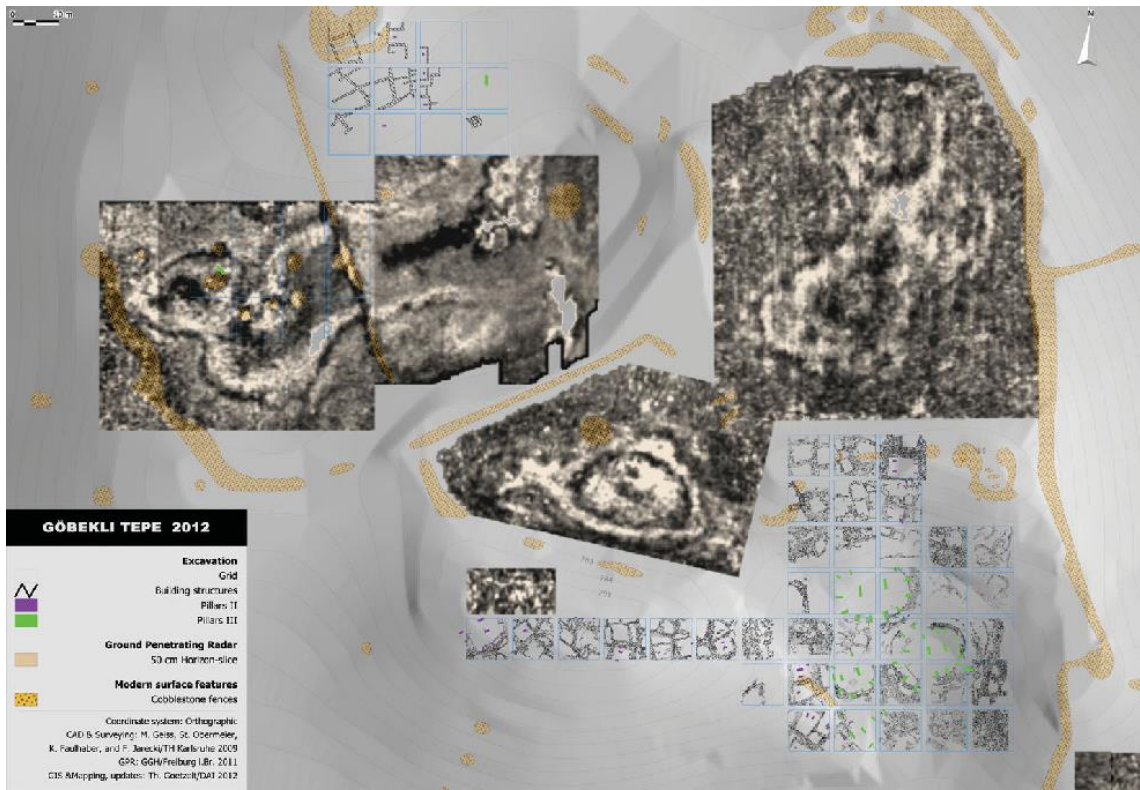
第 85 図 ギルディ・バザール遺跡及びカラーティ・ディンカ遺跡における磁気探査範囲 (A) 及び磁気異常分布図 (B・C : カラーティ・ディンカ遺跡, D・E : ギルディ・バザール遺跡) (Pulhan and Blaylock 2016: 367, fig. 3 より一部改変)



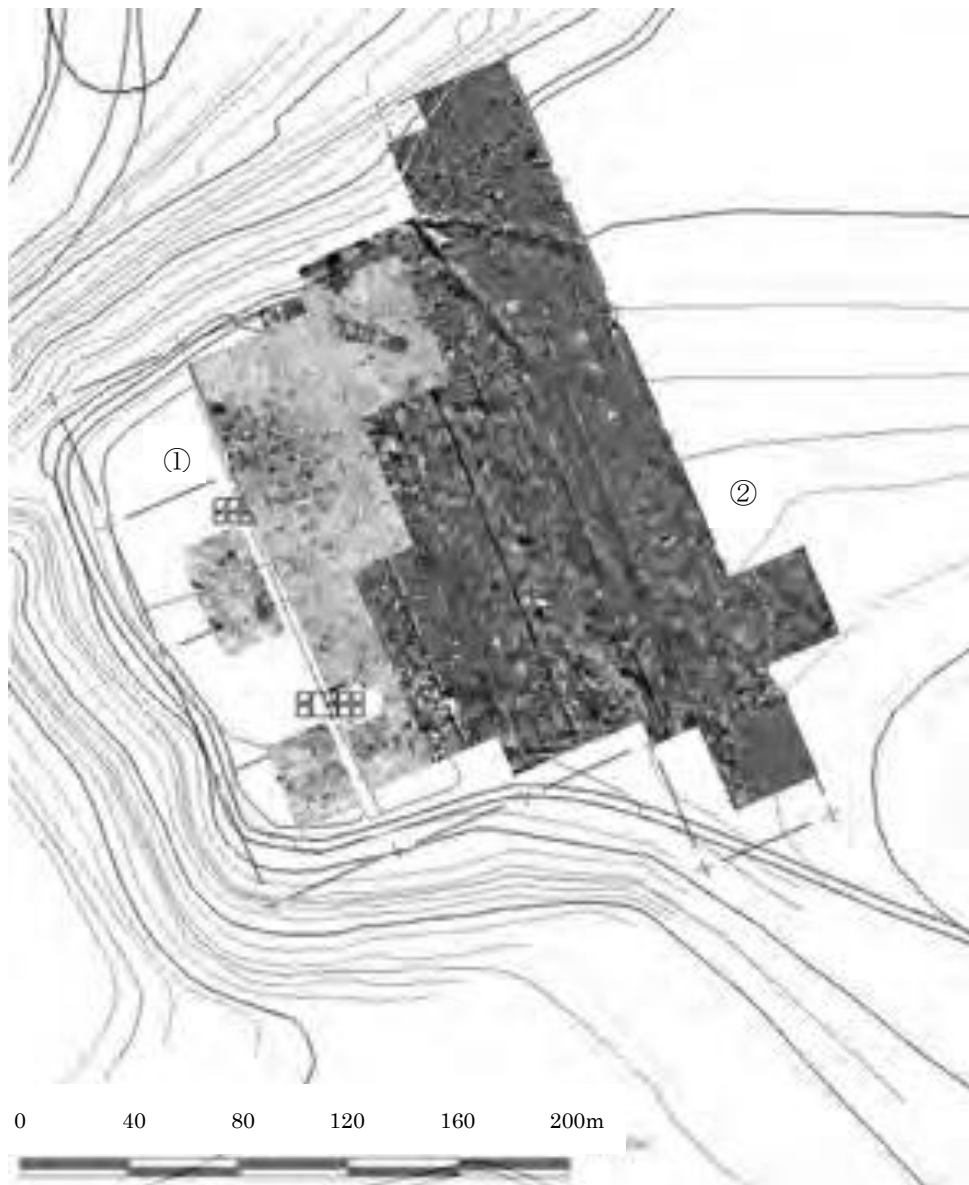
第 86 図 クルド・カブルスタン遺跡における磁気異常分布図
 (Schwartz 2016: 399, fig. 17)



第 87 図 ビュクリュカレ遺跡における磁気異常分布図 (Matsumura 2010: 420, fig. 11)

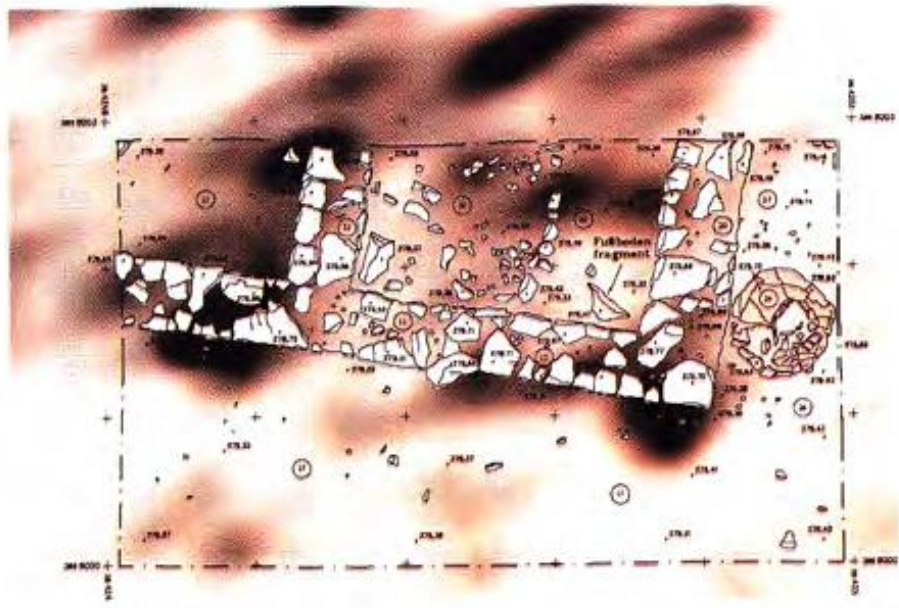
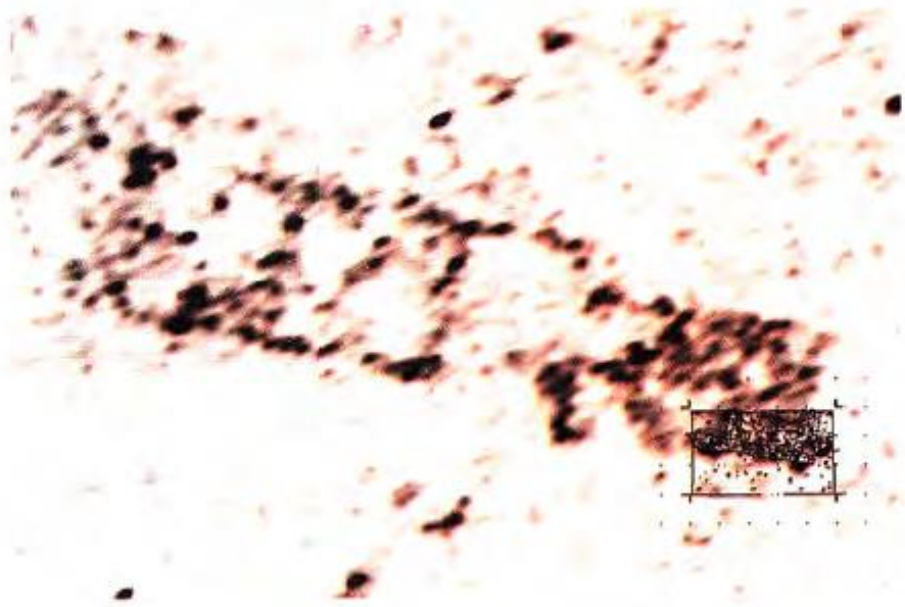


第 88 図 ギョベクリ・テペ遺跡における地中レーダー結果平面図
 (Dietrich et al. 2012: 678, fig. 3)

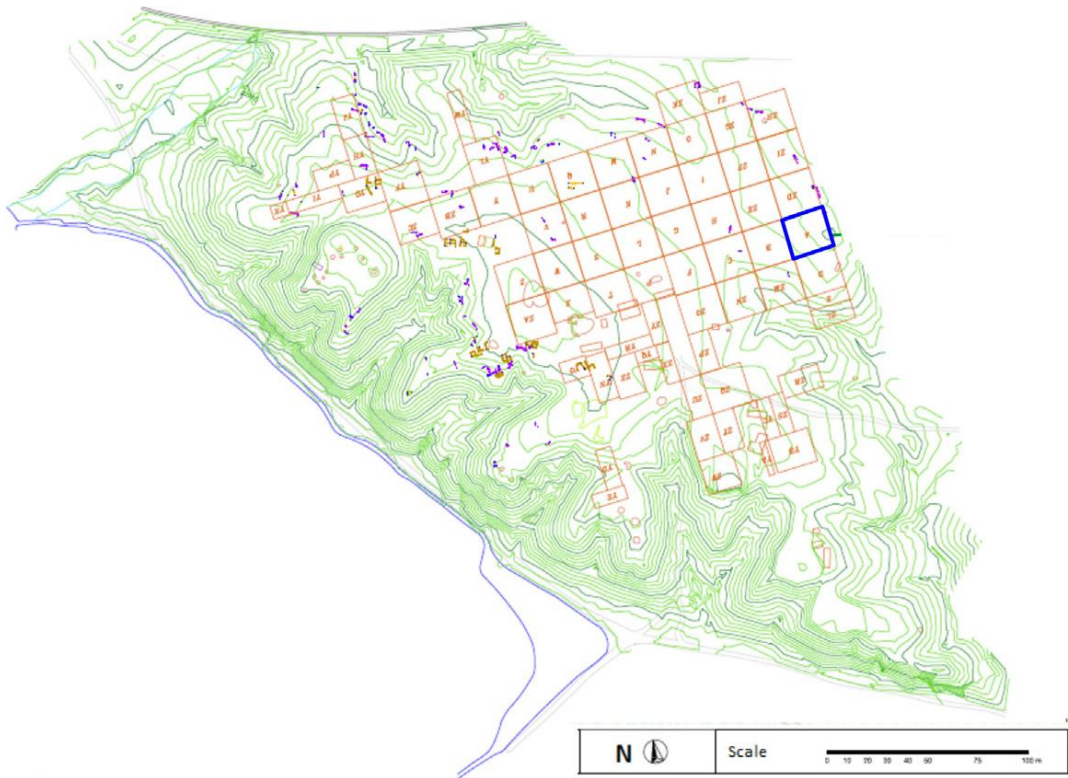


①：地中レーダー探査（地表下 50 - 80cm） ②：磁気探査

第 89 図 シール遺跡における物理探査結果 (Bartl 2009: 147, abb. 11)



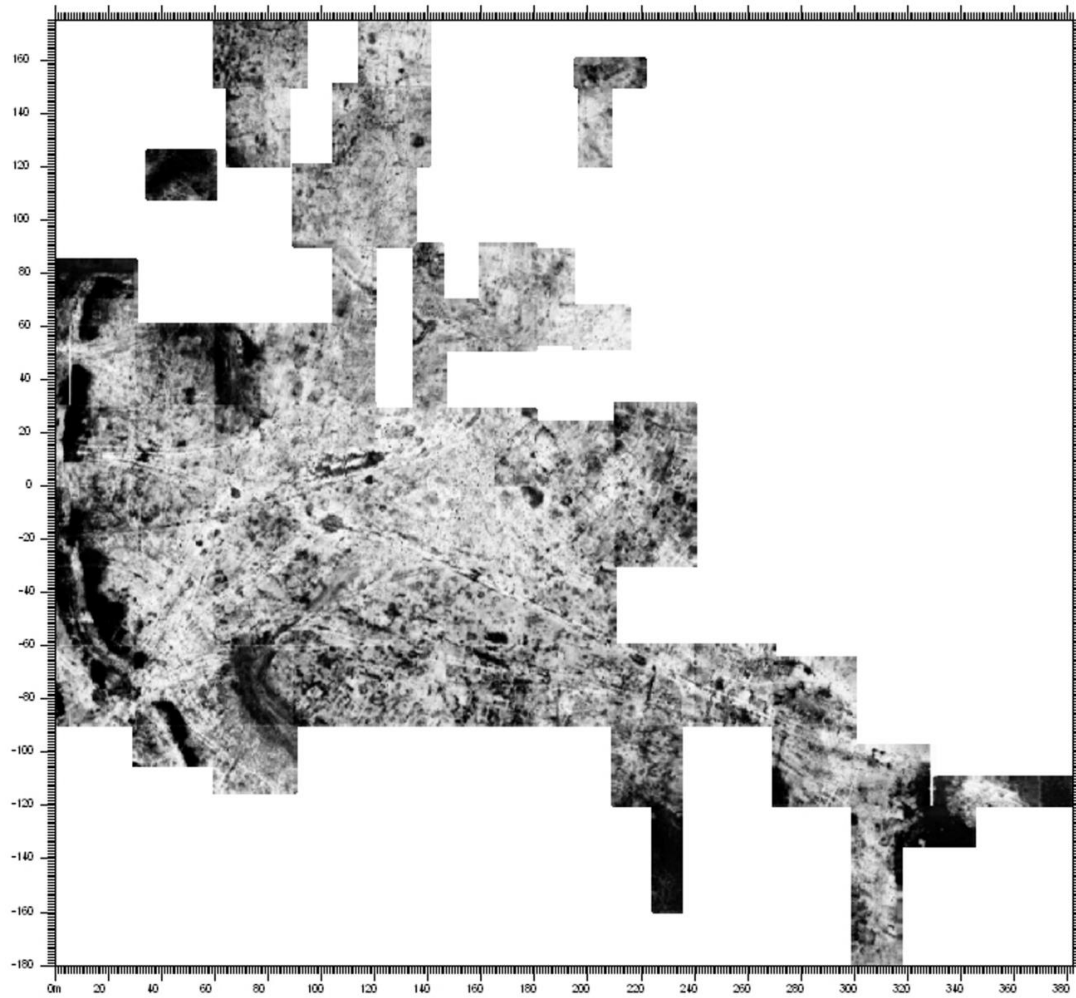
第 90 図 シール遺跡における地中レーダー探査と遺構の平面位置比較図
 (Bartl 2008: 69, fig. 15)



第 91 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の地形及び地中レーダー探査範囲
(Novo et al. 2014: 577, fig. 2)



第 92 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の前期青銅器時代の建築遺構
(Novo et al. 2014: 576, fig. 1)



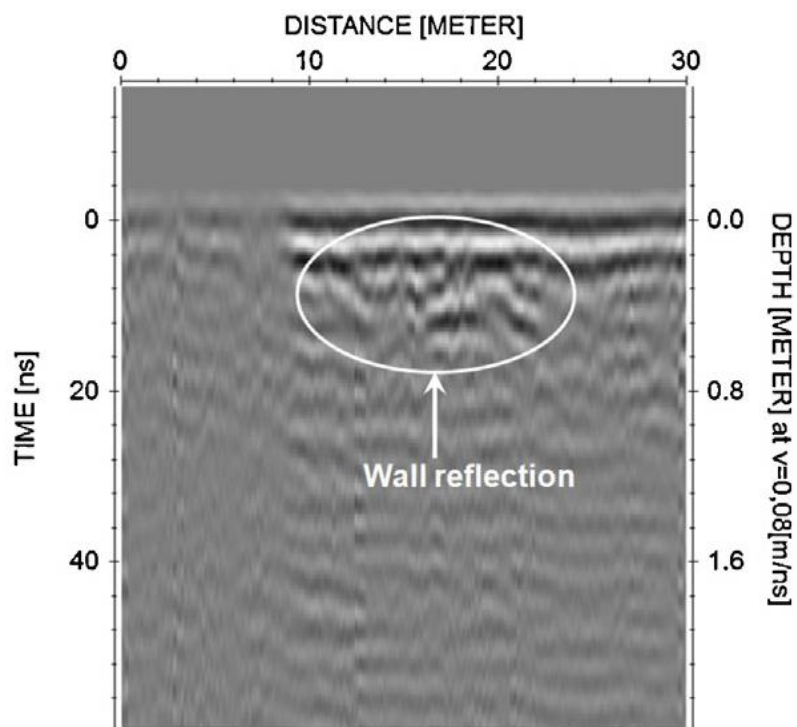
第 93 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡における地中レーダー探査結果
(Novo et al. 2014: 578, fig. 3 (A))



第 94 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡の前期青銅器時代の城壁
(Fenolos et al. 2011: 277 fig. 10)



第 95 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡のイスラーム期の遺構
(Fenolos et al. 2011: 277, fig. 9)



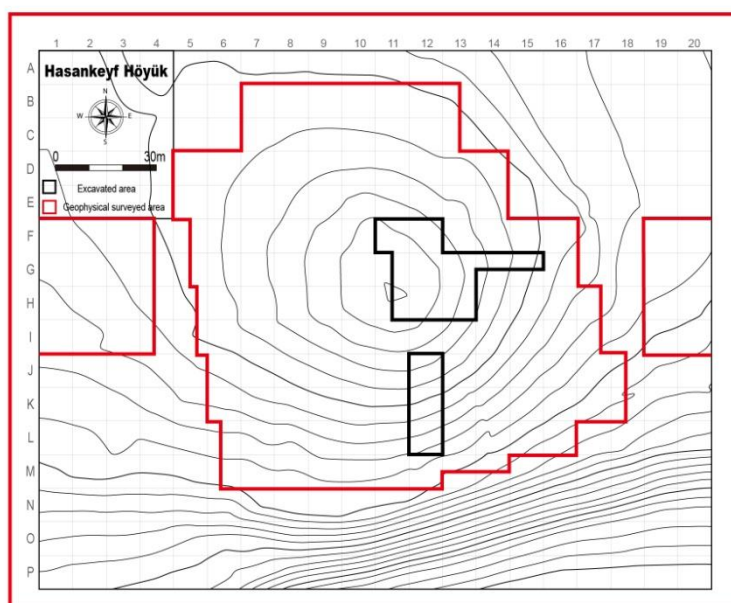
第 96 図 テル・クブル・アブ・アラティーク遺跡における地中
レーダー探査の疑似断面図 (Novo et al. 2014: 577, fig. 2)



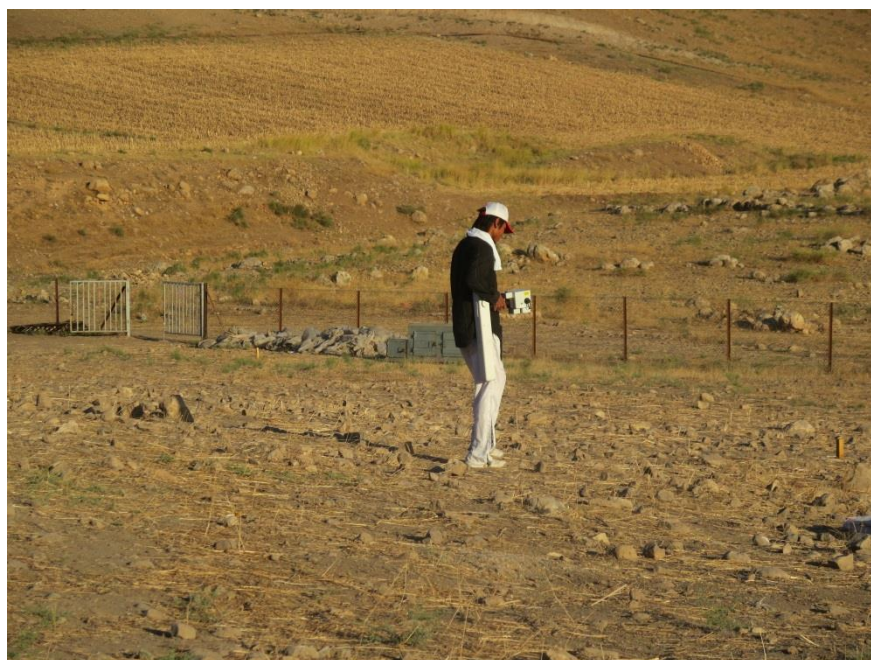
第 97 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡の遠景



第 98 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡の半地下式遺構



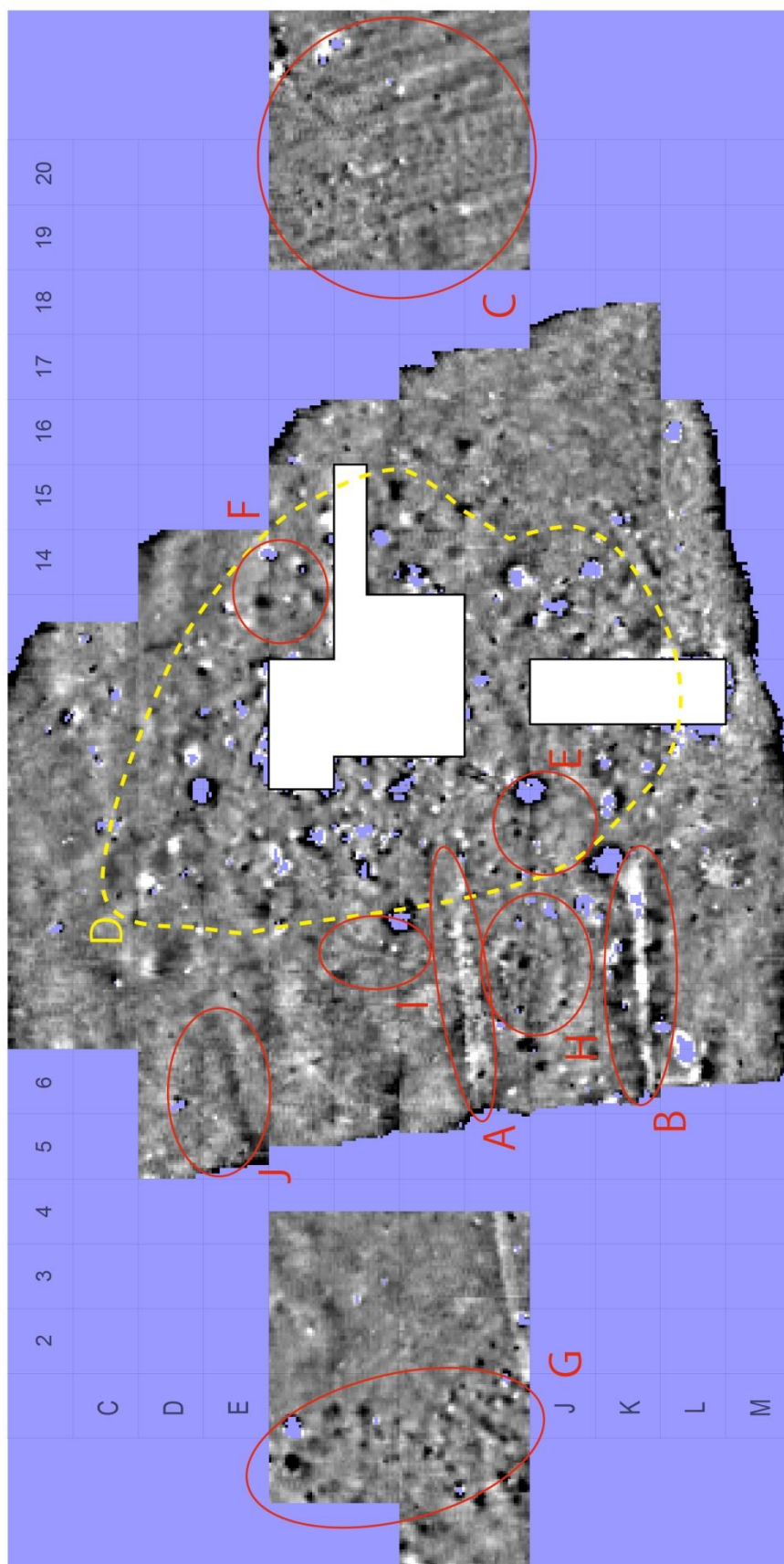
第 99 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡における物理探査範囲
(等高線は 1m 間隔)



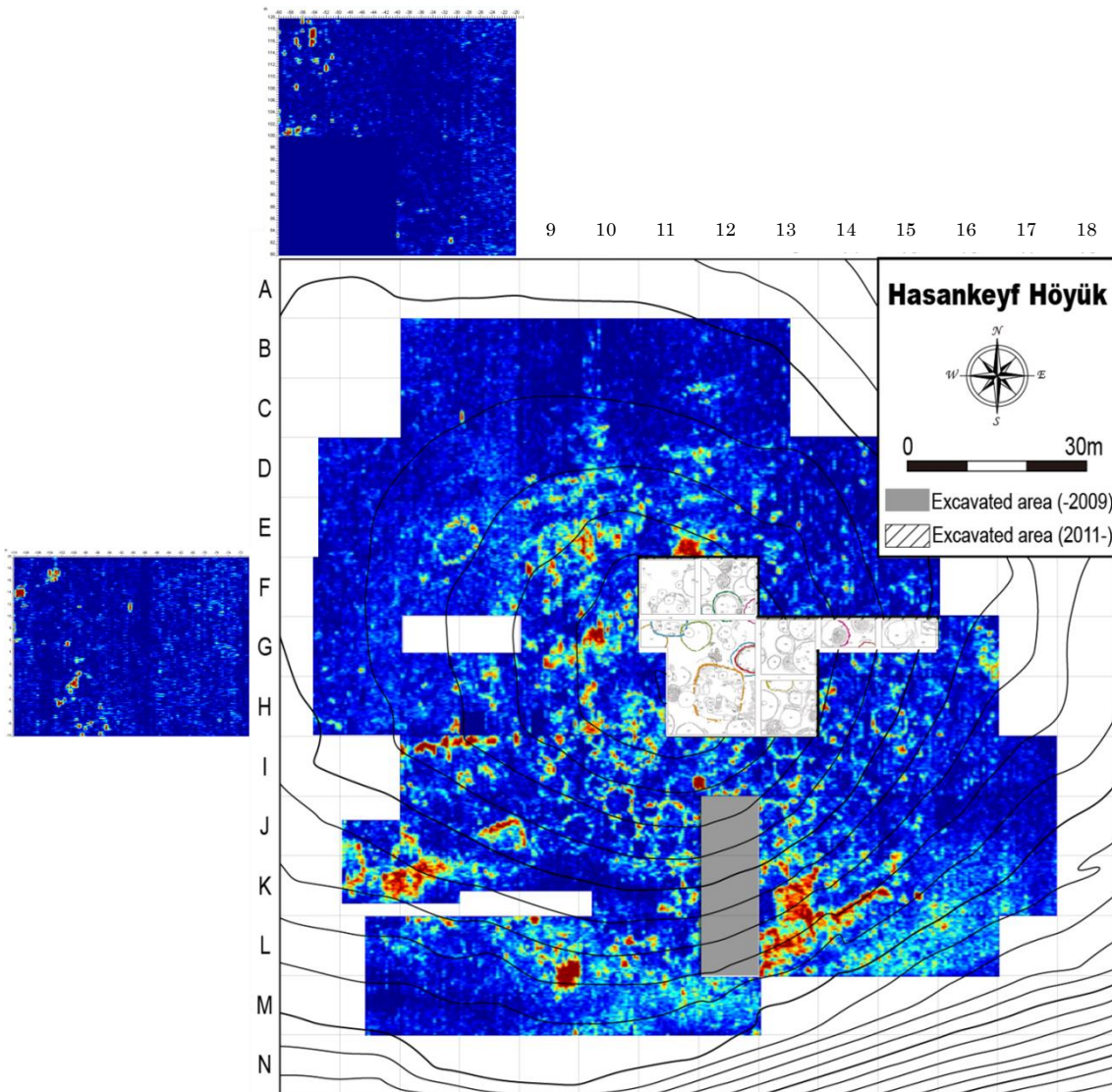
第 100 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡の磁気探査の様子



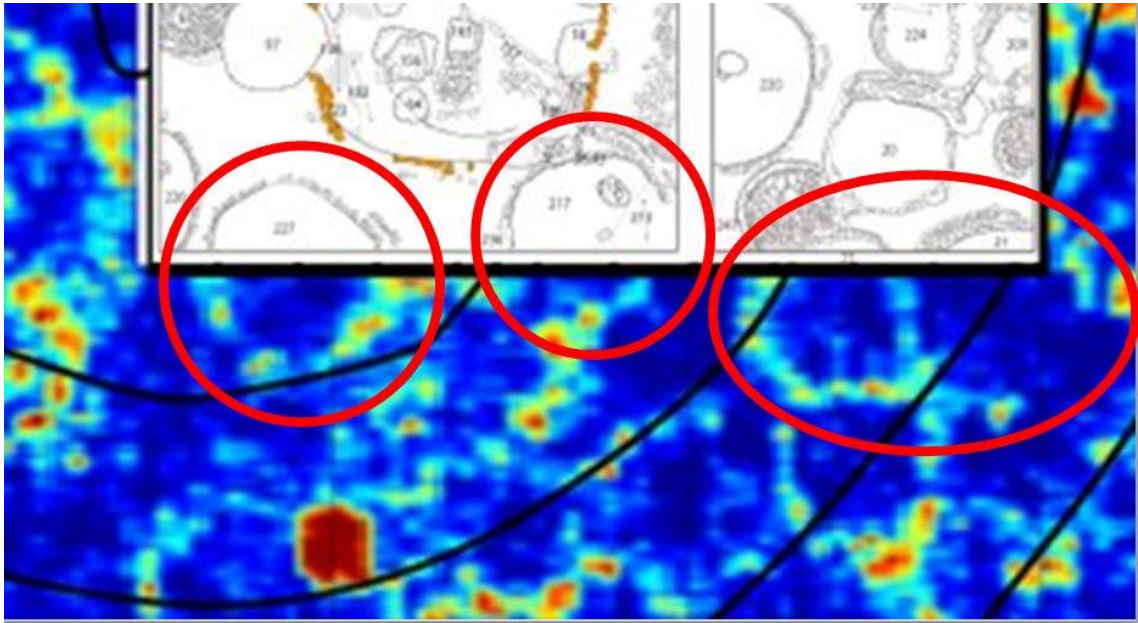
第 101 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡の地中レーダー探査の様子



第102図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡における磁気探査結果



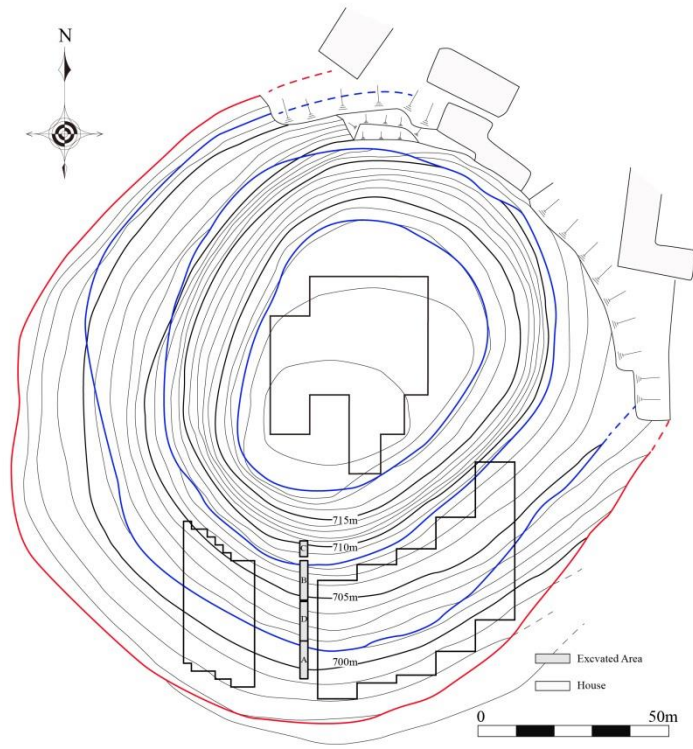
第 103 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡における地中レーダー探査結果図
(地表下 50 - 100cm)



第 104 図 ハッサンケイフ・ホユック遺跡の地中レーダー探査結果と
遺構検出位置の比較



第 105 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡の遠景



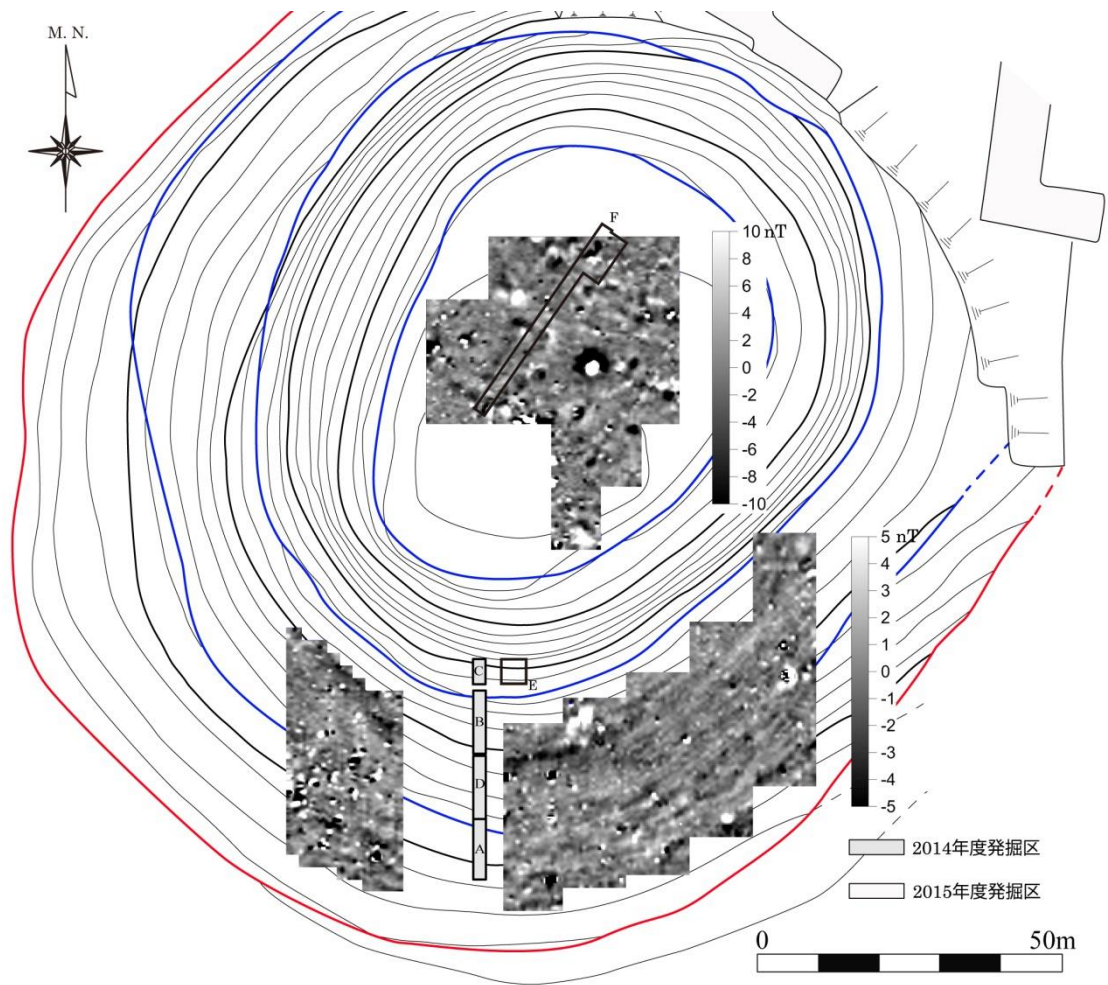
第 106 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡の物理探査区



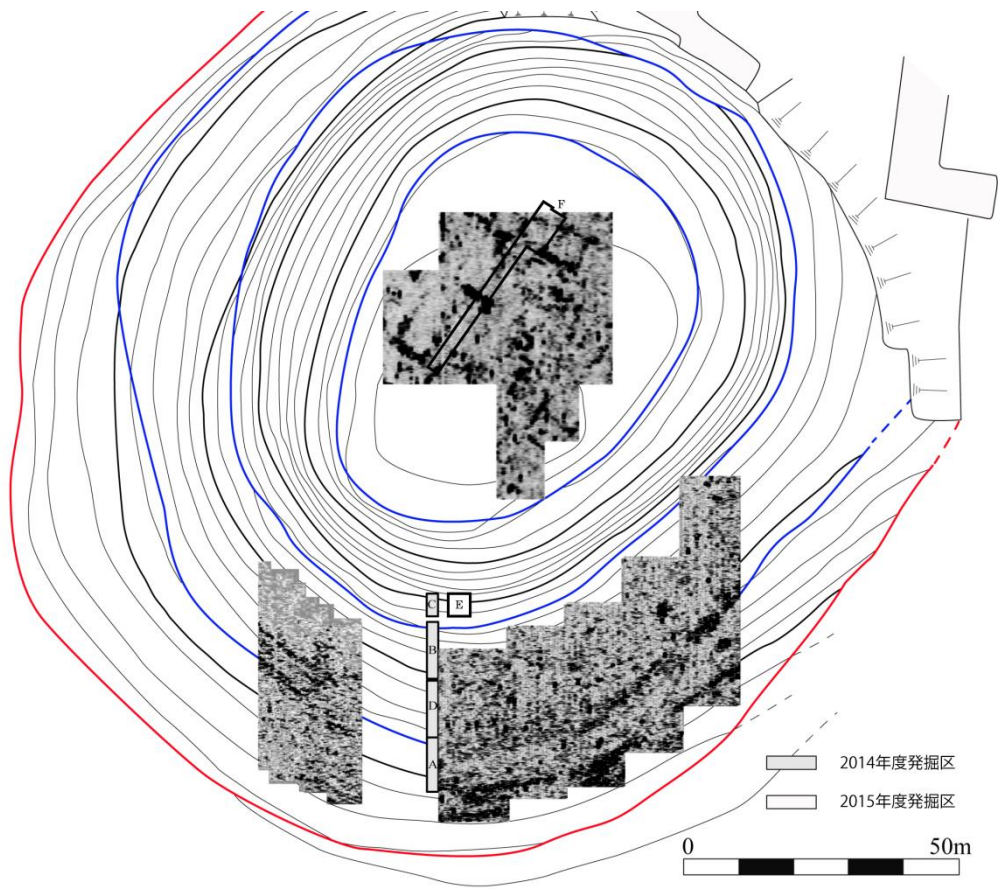
第 107 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡テル頂上部の地表面の状況



第 108 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡の南斜面部の地表面の状況



第 109 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡における磁気異常分布図
 (Tatsumi 2017: 106, fig. より一部改変)



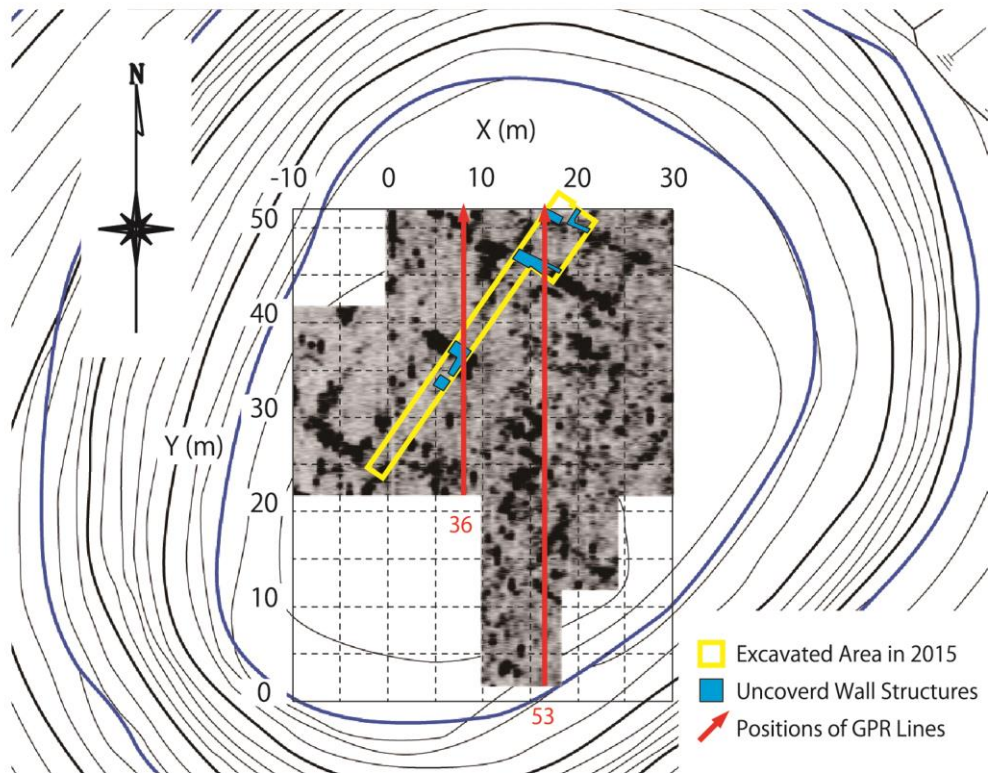
第 110 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡における地中レーダー探査結果図（地表下 50 - 100cm）（Tatsumi 2017: 106, fig.6 より一部改変）



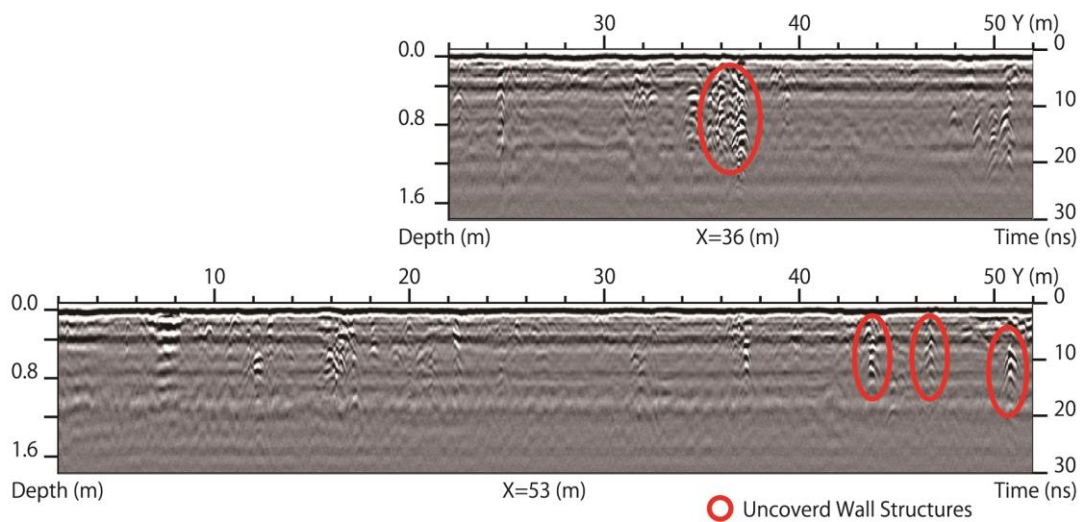
第 111 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡において検出された石組遺構
 (a: Nishiyama 2015: 34, fig. 7. 4 / b: ibid: 32, fig. 7. 2 / c: ibid: 32, fig. 7. 3)



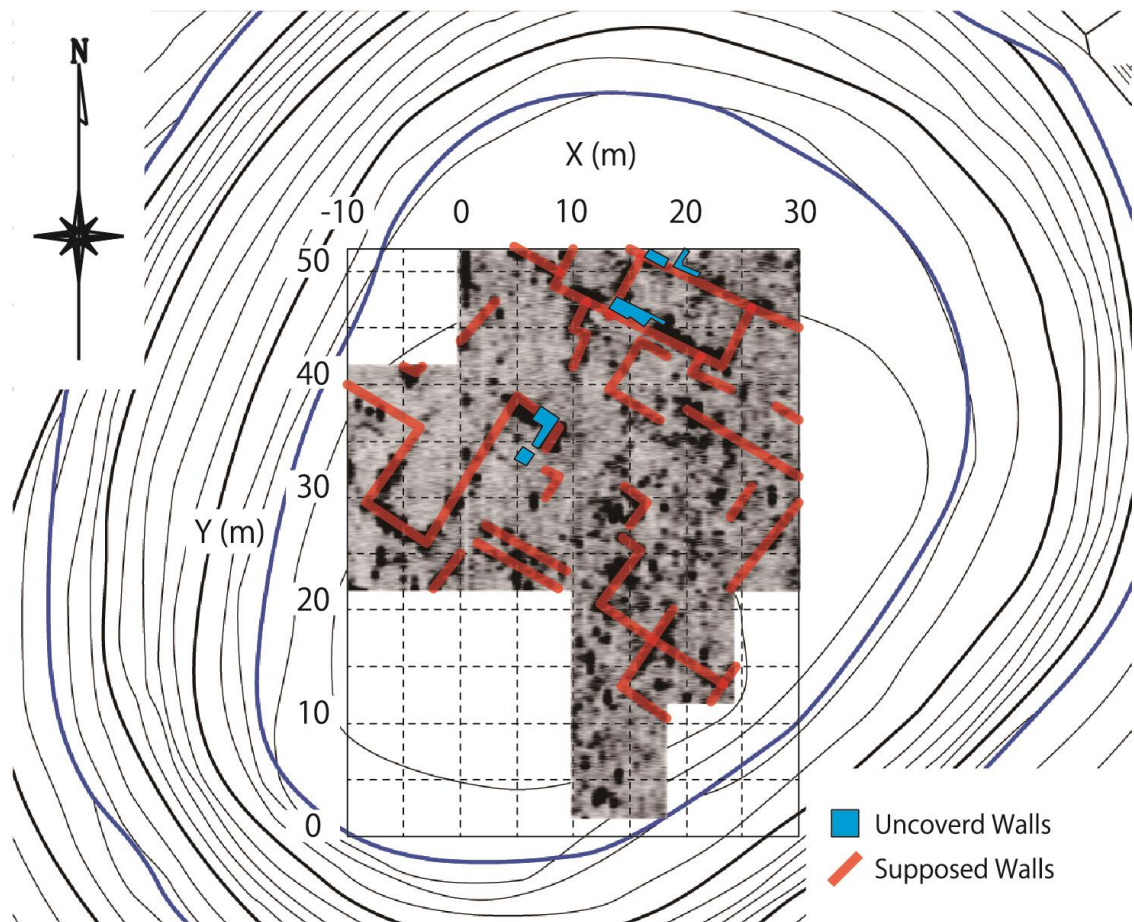
第 112 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡 F トレンチにおける遺構検出状況
(Nishiyama 2016: 105, fig. 3. 1)



第 113 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡における
 地中レーダー探査結果と試掘結果の比較 (Tatsumi 2016: 115, fig. 5. 1)



第 114 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡頂上平坦部の
 地中レーダー疑似断面図 (Tatsumi 2016: 115, fig. 5. 2)



第 115 図 カラート・サイド・アハマダン遺跡頂上平坦部の
建築遺構壁推定図 (Tatsumi 2016: 116, fig. 5. 3)

第1表 イギリスにおける各物理探査法の適性 (David et al. 2008: 14, Table. 3)

遺構の種類	磁気探査	電気抵抗探査	地中レーダー探査
遺構の分布範囲	◎	—	×
遺物の分布範囲	◎	◎	×
直径 2m 以上の土坑	◎	○	◎
直径 2m 以下の土坑	◎		○
直径 0.5m 以上の柱穴	○	—	○
幅 2m 以上の溝状遺構	◎	○	
幅 2m 以下の溝状遺構	◎	○	—
水路	○	○	◎
道路	○	○	
炉	◎	×	×
窯		×	
石材を用いた基礎		◎	◎
レンガを用いた基礎	○	◎	◎
粘土を叩き締めた床面		○	—
石敷きの床面		◎	◎

※ ◎: 非常に有効 ○: 有効 —: 他の探査法が望ましい ×: 無効

第2表 日本における各物理探査法の遺構別適性
(物理探査学会 1998 e: 1229, 表 8.3 より作成)

遺構の種類	主な遺構・遺物の種類	主な適用探査法
掘り込み状遺構	柱穴、土坑、溝状遺構	地中レーダー探査
	竪穴式住居、水路、古墳の周溝、環濠	地中レーダー探査、電気抵抗探査
叩き締め跡	道路、建物の基壇、古墳の石室被覆	地中レーダー探査、電気抵抗探査
石造・配石遺構	石列、石室、石垣、礫敷	地中レーダー探査、電気抵抗探査
空洞状遺構	甕棺墓、石棺墓、古墳埋葬主体部、横穴墓	地中レーダー探査、電気抵抗探査
貝塚	貝層、地点貝塚	地中レーダー探査、電気抵抗探査
焼成遺構	窯、炉、製鉄炉	磁気探査

第3表 高分解能を有する各物理探査法の特徴

探査法	原理	長所	短所
磁気探査	磁気の測定	探査速度に優れ、雨天の影響を受けにくい。	地中以外からも磁気ノイズを受け、市街地や電波塔付近での探査は困難である。
電気抵抗探査	電気抵抗差の測定	水分率の高い地点で精度の高い信号が得られる。	水分率の低い地点での探査は困難であり、平面分解能を求めると長時間の作業を要する。
地中レーダー探査	電磁波反射の測定	周波数により、平面分解能や探査距離を選択できる。	起伏の大きい地表面での探査は困難である。

第4表 媒質及びその状態別の100MHzの比誘電率
(Daniels 1996: 168, table 1 より一部改変)

媒質	比誘電率	
	乾燥	湿潤
空気	1	
真水	81	
花崗岩	7	
石灰岩	8	
砂岩	5 - 10	
砂	4 - 6	20 - 30
砂質土壌	4 - 6	15 - 30
ローム質土壌	4 - 6	10 - 20
粘土質土壌	4 - 6	10 - 15
粘土	10 - 40	

第 5 表 地中レーダー探査の周波数と探査性能の関係

周波数	低周波数	高周波数
波長	長	短
減衰量	小	大
分解能	低	高
探査距離	大	小

参考文献

- Adams, R. M. and H. J. Nissen, 1972: *The Uruk Countryside: the Natural Setting of Urban Societies*, Chicago, University of Chicago Press.
- Aitken, M. J., G. Webster and A. Rees, 1958: "Magnetic Prospecting," *Antiquity* 32: 270-271.
- Akkermans, P. M. M. G., O. Nieuwenhuyse, H. Huigens and M. Brüning (eds.), 2014: *Excavations at Late Neolithic Tell Sabi Abyad, Syria: The 1994-1999 Field Seasons*, New York, Berghahn Books.
- Akkermans, P. M. M. G. and G. M. Schwartz, 2003: *The Archaeology of Syria*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Algaze, G., 2005: *The Uruk World System: The Dynamics of Expansion of Early Mesopotamian Civilization*, 2nd edition, Chicago, University of Chicago Press.
- Algaze, G., B. Brenties, A. B. Knapp, P. L. Kohl, W. R. Kotter, C. C. Lamberg-Karlovsky, G. M. Schwartz, H. Weiss, R. J. Wenke, R. P. Wright and A. Zagarell, 1989: "The Uruk Expansion: Cross-Cultural Exchange in Early Mesopotamian Civilization," *Current Anthropology* 30 (5): 571-608.
- Algaze, G., G. Dinçkan, B. Hartenberger, T. Matney, J. Pournelle, L. Rainville and R. Vallet, 2001: "Research at Titriş Höyük in Southeastern Turkey, the 1999 Season." *Anatolica* 27: 23-106.
- Algaze, G. and A. Mısır, 1992: "Şanlıurfa Museum/University of California Excavations and Surveys at Titriş Höyük 1991," *Kazı Sonuçları Toplantısı* 14 (1): 155-174.
- 1993: "Şanlıurfa Museum/University of California Excavations and Surveys at Titriş Höyük 1992," *Kazı Sonuçları Toplantısı* 15 (1): 153-170.
- 1995: "Şanlıurfa Museum/University of California Excavations and Surveys at Titriş Höyük 1994," *Kazı Sonuçları Toplantısı* 17 (1): 107-120.
- Al-Maqdissi, M., M. Badawi and E. Ishaq, 2016: "Tell Toueini (*Lattakia*)," in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp. 174-180.
- Altaweel, M., 2005: "The Use of ASTER Satellite Imagery in Archaeological Contexts," *Archaeological Prospection* 12 (3): 151-166.
- Annan, A. P., 2002: "GPR-History, Trends and Future Developments," *Subsurface Sensing Technologies and Applications* 3 (4): 253-270.
- Arısoy, M. Ö., Ö. Koçak, A. Büyüksaraç and F. Bilim, 2007: "Images of Buried Graves in Bayat, Afyon (Turkey) from High-Resolution Magnetic Data and Their Comparison with Preliminary Excavations," *Journal of Archaeological Science* 34 (9): 1473-1484.
- Banning, E. B. and M. Chazan, 2006: "Domesticating Space Construction, Community, and Cosmology in the Late Prehistoric Near East," *Neo-Lithics* 1 (6): 47-114.

- Bar-Yosef, O., 1986: "The walls of Jericho: An Alternative Interpretation," *Current Anthropology* 27 (2): 157-162.
- Bar-Yosef, O. and F. R. Valla (eds.), 1991: *The Natufian Culture in the Levant. International Monographs in Prehistory*, Archaeological Series 1, Michigan, Ann Arbor.
- Bartl, K., 2012: "The Northern Levant," in D. T. Potts (ed.), *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East I*, New Jersey, Wiley-Blackwell, pp. 375-395.
- 2014: "Shir, Syrien Siedlung und Umland des 7. Jts. v. Chr. in der Nördlichen Levante," *E-Forschungsberichte* 2014 (1): 115-119.
- 2016: "Shir (Hama)," in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp. 72-75.
- Bartl, K., A. Haidar, O. Nieuwenhuys and D. Rokitta-Krumnow, 2008: "Šir-Einneolithischer Fundplatz am Mittleren Orontes. Vorläufiger Bericht über die Ergebnisse der Testkampagne Herbst 2005 und Grabungskampagne Frühjahr 2006," *Zeitschrift für Orient-Archäologie* 1, Berlin and New York, Walter de Gruyter, pp. 54-88.
- Bartl, K., M. Hijazi and J. Ramadan, 2009: "Die Spätneolithische Siedlung Shir/Westsyrien. Vorläufiger Bericht über die Ergebnisse der Grabungskampagnen Herbst 2006 und Frühjahr 2007," *Zeitschrift für Orient-Archäologie* 2: 140-161.
- Bartl, K. and J. Ramadan, 2008: "The Late Neolithic Site of Shir. Third Season of Excavations in 2007," *Chronique Arché en Syrie* 3: 63-73.
- Becker, H., 1991: "Zur Magnetischen Prospektion in Assur Testmessung, 1989," *Mitteilungen der Deutschen Orient Gesellschaft* 123: 123-131.
- 1995: "From Nanotesla to Picotesla: A New Window for Magnetic Prospecting in Archaeology," *Archaeological Prospection* 2 (4): 217-228.
- Becker, J., L. Clare, O. Dietrich, Ç. Köksal-Schmidt, A. Merbach, J. Notroff, S. Pant, J. Peters, N. Pöllath and K. Schmidt, 2014: *Göbekli Tepe-Newsletter 2014*, Deutsches Archäologisches Institut Press.
- Becker, H. and J. W. E. Fassbinder, 2001: "Combined Caesium Magnetometry and Resistivity Survey in Palmyra (Syria) 1997 and 1998," *Monuments and Sites* 6: 76-80.
- Becker, H., J. Fassbinder and H. G. Jansen, 1993: "Magnetische Prospektion in der Untersiedlung von Troia 1992," *Studia Troica* 3: 117-134.
- Becker, H., J. W. Fassbinder and F. Chouker, 1994: "Magnetische und Elektrische Prospektion in Munbāqa/Elakte 1993," *Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft zu Berlin* 126: 65-80.
- 1999: "Magnetic and Resistivity Prospection in Munbaqa-Ekalte (Syria) 1993," *Archaeological Prospection, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege* 108: 120-122.

- 2001: “Magnetic and Resistivity Prospection in Munbaqa-Ekalte (Syria) 1993,” *Monuments and Sites* 6: 41-42.
- Benech, C., 2007: “New Approach to the Study of City Planning and Domestic Dwellings in the Ancient Near East,” *Archaeological Prospection* 14(2): 87-103.
- Bieliński, P., 1996: “Preliminary Report on the First Season of Syro-Polish Excavations on Tell Arbid,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 8: 203-211.
- 1997: “Tell Arbid. Second Campaign of Syro-Polish Excavations,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 9: 212-223.
- 2002: “Tell Arbid. The Seventh Season of Excavations Preliminary Report,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 14: 301-314.
- 2003: “Tell Arbid: The 2003 Campaign of Polish-Syrian Excavations, Preliminary Report,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 15: 335-353.
- 2005: “Tell Arbid: Report on the Syrian-Polish Explorations in 2005. The Tenth Season,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 17: 451-471.
- 2006: “Tell Arbid Preliminary Report on the Eleventh Season of Polish-Syrian Explorations (2006),” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 18: 549-561.
- 2009: “Tell Arbid 2008-2009 Preliminary Report on the Results of the Thirteenth and Fourteenth Seasons of Polish–Syrian Excavations,” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 21: 511-536.
- 2010: “Primarily Results of the Fifteenth Field Season of Joint Polish-Syrian Explorations on Tell Arbid (2010),” *Polish Archaeology in the Mediterranean* 22: 351-370.
- Blau, S., T. Denham, P. Magee, A. Biggins, J. Robinson and S. Jasim, 2013: Seeing through the Dunes: Geophysical Investigations at Muweilah, An Iron Age Site in the United Arab Emirates, *Journal of Field Archaeology* 27 (2): 117-129.
- Breasted, J. H., 1916: *Ancient Times: A History of The Early World*, Boston, Ginn.
- Büyüksaraç, A., M. Ö. Arisoy, Ö. Bektaş, Ö. Koçak and T. Çay, 2008: “Determination of Grave Locations in Dedemezari Necropolis (Western Turkey) Using Magnetic Field Derivatives,” *Archaeological Prospection* 15 (4): 267-283.
- Büyüksaraç, A., F. Bilim, A. Ateş and Ö. Bektaş, 2006: “Investigation of Magnetic Surveying Data of Buried Grave Jars in Harmanoren Necropolis (Turkey) Using Linear Transformations and Analytic Signal,” *Journal of Archaeological Sciences* 33 (7): 910-920.
- Castel, C., D. Archambault, N. Awad, O. Barge, T. Boudier, J. Brochier, A. Cury, S. Gondet, L. Herveux, F. Isnard, L. Martin, P. Quenet, S. Sanz and E. Villa, 2008: “Rapport préliminaire sur les Activités de la Mission Archéologique Franco-Syrienne dans la Micro-Région d'Al-Rawda (Shamiyeh): Quatrième et Cinquième Campagnes (2005 et 2006),” *Akkadica* 129 (1): 5-54.
- Castel, C. and N. Awad, 2016: “Tell Al-Rawda (Hama),” in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of*

- Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp.135-138.
- Castel, C., N.Awad, J.É. Brochier, C. Calastrenc, S. Couteau, L. Herveux, V. Kudlek, F. Laliberté, A. Pélissier, P. Quenet, E. Régagnon and S. Sanz, 2014: "Rapport Préliminaire sur les Activités de la Mission Archéologique Franco-Syrienne dans la Micro-Région d'Al-Rawda, Travaux 2007- 2010 (Part.1)," *Akkadica* 135 (2): 1-54.
- Castel, C. and E. Peltenburg, 2007: "Urbanism on the Margins Third Millennium BC Al-Rawda in the Arid Zone of Syria," *Antiquity* 81 (313): 601-616.
- Cauvin, J., 2000: *The Birth of the Gods and the Origins of Agriculture*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Chaves Yates, C. J., 2014: "*Beyond the Mound Locating Complexity in Northern Mesopotamia during the Second Urban Revolution*," Doctoral dissertation, Boston University.
- Childe, V. G., 1951: *Man Makes Himself (2nd edition)*, New York, The New American Library.
- Clark, O. A. and A. Clark, 2003: *Seeing Beneath the Soil: Prospecting Methods in Archaeology*, Routledge.
- Clarke, D. L., 1979: *Analytical Archaeologists: Collected Papers of David L. Clarke*, London and New York, Academic Press.
- Conyers, L. B. and J. Leckebusch, 2010: "Geophysical Archaeology Research Agendas for the Future Some Ground-penetrating Radar Examples," *Archaeological Prospection* 17 (2): 117-123.
- Creekmore, A. T., 2008: *Kazane Höyük and Urban Life Histories in Third Millennium Upper Mesopotamia*, Doctoral dissertation, Northwestern University.
- 2010: "The Structure of Upper Mesopotamian Cities Insight from Fluxgate Gradiometer Survey at Kazane Höyük, Southeastern Turkey," *Archaeological Prospection* 17 (2): 73-88.
- Curry, A., 2014: "Kurdistan Offers an Open Window on the Ancient Fertile Crescent," *Science* 344 (6179): 18-19.
- Daniels, D. J. 1996: "Surface-penetrating Radar," *Electronics and Communication Engineering Journal* 8 (4): 165-182.
- David, A., 1995: *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation*, English Heritage Publishing, London.
- David, A., N. Linford and P. Linford, 2008: *Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation 2nd edition*, English Heritage Publishing.
- Dietrich, O., M. Heun, J. Notroff, K. Schmidt and M. Zarnkow, 2012: "The Role of Cult and Feasting in the Emergence of Neolithic Communities. New Evidence from Göbekli Tepe, South-eastern Turkey," *Antiquity* 86 (333): 674-695.
- Eppelbaum, L. V., 2013: "Potential Geophysical Fields—Inexpensive Effective Interpretation Tool at Archaeological Sites in the Near East," *Izv. Acad. Sci. Azerb. Rep., Ser. Earth Sciences* 3: 23-42.

- Erim-Özdoğan, A., 2011: "Çayönü," in M. Özdoğan, N. Başgelen and P. Kuniholm (eds.), *The Neolithic in Turkey, New Excavations and New Research, The Tigris Basin*, İstanbul, Archaeology and Art Publications, pp.185-269.
- Fassbinder, J. W. E., H. Stanjekt and H. Vali, 1990: "Occurrence of Magnetic Bacteria in Soil," *Nature* 343 (6254): 161-163.
- Fenollós, M., L. Juan, S. al-Shbib, I. Márquez Rowe and F. Caramelo, 2009: "IV Campaña del Proyecto Arqueológico Medio Éufrates Sirio, Sondeos en Tall Qabr Abu al-‘Atiq: de los Orígenes de la Ciudad al Período Asirio Medio," *Excavaciones en el Exterior* 9: 191-199.
- Fenollós, J.L.M., S. al-Shbib, I. M. Rowe and F. Caramelo, 2010: "Tell Qubr Abu al-‘Atiq: From an Early Dynastic City to a Middle Assyrian Fort 5th Season Report of the Proyecto Arqueológico Medio Éufrates Sirio (2009)," *Aula Orientalis* 28: 73-84.
- Fenollós, J. L. M., I. M. Rowe, F. Caramelo and Y. al-Abdallah, 2011: "Tell Qubr Abu al-‘Atiq: A Middle Assyrian Fort in the Gorge of Khanuqa 6th Season Report of the Proyecto Arqueológico Medio Éufrates Sirio (2010)," *Aula Orientalis* 29: 267-278.
- Finlayson, B., S. J. Mithen, M. Najjar, S. Smith, D. Maričević, N. Pankhurst and L. Yeomans, 2011: "Architecture, Sedentism and Social Complexity at Pre-Pottery Neolithic A WF16, Southern Jordan," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (20): 8183-8188.
- Flannery, K. and J. Marcus, 2012: *The Creation of Inequality: How Our Prehistoric Ancestors Set the Stage for Monarchy, Slavery and Empire*, Cambridge, Harvard University Press.
- Frangipane, M., H. Hauptmann, M. Liverani, P. Matthiae and M. Mellink (eds.), 1993: *Between the Rivers and over the Mountains: Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palmiera Dedicata*, Roma, Dipartimento di Scienze Storiche Archaeologiche e Antropologiche dell' Antichita, Università di Roma "La Sapienza."
- Fukuda, K., K. Kashima, H. Tsumura, N. Momohara, K. Shiraishi, I. Nakai and S. Omura, 2004: "Geophysical Survey on the Karum of Kültepe "Kaniš": City Wall of the Karum," *Anatolian Archaeology studies* 8: 147-152.
- Fukuda, K., K. Kumagai and K. Kashima 2013: "Geophysical Survey at Yassihöyük" *Anatolian Archaeological Studies* 18: 9-14.
- Fuller, D. Q., G. Willcox and R. G. Allaby, 2011: "Cultivation and Domestication Had Multiple Origins: Arguments against the Core Area Hypothesis for the Origins of Agriculture in the Near East," *World Archaeology* 43 (4): 628-652.
- Gaffney, C., 2008: "Detecting Trends in the Prediction of the Buried Past, a Review of Geophysical Techniques in Archaeology," *Archaeometry* 50 (2): 313-336.
- Gamble, C., 1987: "Archaeology, Geography and Time," *Progress in Human Geography* 11 (2): 227-246.
- Garrod, D. A. E., 1932: "A New Mesolithic Industry: The Natufian of Palestine," *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland* 62: 257-269.

- Gondet, S. and C. Benech, 2009: "Application of the Space Syntax to the Study of City Planning from Syrian Late Bronze Age Circular Cities," *ArcheoSciences, Revue d'Archéométrie* 33 (suppl.): 217-219.
- Gondet, S. and C. Castel, 2004: "Prospection Géophysique à Al-Rawda et Urbanisme en Syrie au Bronze Ancien," *Paléorient* 30 (2): 93-110.
- Goodman, D., Y. Nishimura and J. D. Rogers, 1995: "GPR Time Slices in Archaeological Prospection," *Archaeological Prospection* 2 (2): 85-90.
- Goring-Morris, A. N., 1996: "The early Natufian Occupation at El Wad, Mt. Carmel Reconsidered," *Nature et Culture, Études et Recherches Archéologiques de l'Université de Liège* 68: 417-428.
- Heske, I. and M. Posselt, 2009: "Archaeology and Landscape Features in Magnetometer Data," *ArcheoSciences, Revue d'Archéométrie* 33 (suppl.): 137-139.
- Hauptmann, H., 1993: "Ein Kultgebäude in Nevalı Çori," in M. Frangipane, H. Hauptmann, M. Liverani, P. Matthiae and M. Mellink (eds.), *Between the Rivers and over the Mountains: Archaeologica Anatolica et Mesopotamica Alba Palmiera Dedicata*, Roma, Dipartimento di Scienze Storiche Archaeologiche e Antropologiche dell' Antichità, Università di Roma "La Sapienza" pp. 37-69.
- Herbich, T., 2004: "Geophysical Survey, 2004," *Polish Archaeology in the Mediterranean* 16: 490-496.
- Hodder, I. (ed.), 2010: *Religion in the Emergence of Civilization Çatalhöyük as a Case Study*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hodder, I. and C. Orton, 1976: *Spatial Analysis in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Imai, T., T. Sakayama and T. Kanemori, 1987: "Use of Ground-probing Radar and Resistivity Surveys for Archaeological Investigations," *Geophysics* 52 (2): 137-150.
- Jasim, S. A., 1985: *The Ubaid period in Iraq: Part I, Recent Excavations in the Hamrin Region*, British Archaeology Reports International Series 267, Oxford, British Archaeology Reports.
- Kamei, H., M. H. Atya, T. F. Abdallatif, M. Mori and P. Hemthavy, 2002: "Ground-penetrating Radar and Magnetic Survey to the West of Al-Zayyan Temple, Kharga Oasis, Al-Wadi Al-Jadeed (New Valley), Egypt," *Archaeological Prospection* 9 (2): 93-104.
- Kanjou, Y. and A. Tsuneki (eds.), 2016: *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology.
- Karavul, C., Z. Dedebali, A. Keskinsezer, G. Beyhan and A. Demirkol, 2010: "Magnetic and Electrical Resistivity Image Survey in a Buried Adramytteion Ancient City in Western Anatolia, Turkey," *International Journal of the Physical Sciences* 5 (6): 876-883.
- Kenyon, K. T., 1981: *Excavations at Jericho: The Architecture and Stratigraphy of the Tell 3*, London, British School of Archaeology in Jerusalem.

- Kepinski, C. and A. Tenu, 2016: "Two seasons of excavations at Kunara (Upper Tanjaro): An Early and Middle Bronze Age city," in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 139-145.
- King, J. A., B. W. Bevan and R. J. Hurry, 1993: "The Reliability of Geophysical Surveys at Historic-Period Cemeteries, An Example from the Plains Cemetery, Mechanicsville, Maryland," *Historical Archaeology* 27 (3): 4-16.
- Koçak, O., M. Uyumezb, T. Cayc, A. Ilaslib and F. Iscanc, 2007: *An Important Middle Bronze Age Cemetery at West-Central Anatria Dede Mezari*, in *21th International Comité International de la Photogrammétrie Architecturale Symposium Abstract*.
- Kopanias, K. and J. MacGinnis (eds.), 2016: *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Archaeopress Archaeology.
- Kumagai, K., 2008: "A Preliminary Magnetic Survey at Yassihöyük," *Anatolian Archaeological Studies*, 17: 171-174.
- Kumagai, K., K. Fukuda and I. Nakai, 2006: "A Brief Report on a Magnetic Survey of the Area Surrounding Kaman-Kalehöyük in 2005," *Anatolian Archaeological Studies*, 15: 203-206.
- Kvamme, K. L., 2003: "Geophysical Surveys as Landscape Archaeology," *American Antiquity* 68 (3): 435-457.
- Kühne, H., 2016: "Tell Sheikh Hamad/Dur-Katlimmu/Magdalû (Dei ez-Zor)," in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp. 119-126.
- Linck, R., T. Busche, S. Buckreuss, J. W. E. Fassbinder and S. Seren, 2013: "Possibilities of Archaeological Prospection by High-resolution X-band Satellite Radararchaeological Prospection," *Archaeological Prospection* 20 (2): 97-108.
- Linford, N. A. and M. G. Canti, 2001: "Geophysical Evidence for Fires in Antiquity Preliminary Results from an Experimental Study, Paper Given at the EGS XXIV General Assembly in The Hague, April 1999," *Archaeological Prospection* 8: 211-225.
- Linford, N., P. Linford, L. Martin and A. Payne, 2007: "Recent Results from the English Heritage Caesium Magnetometer System in Comparison with Recent Fluxgate Gradiometers," *Archaeological Prospection* 14 (3): 151-166.
- Mateiciucová, I., P. Milo, T. Tencer and M. Vlach, 2009: "Geophysical Survey at Archaeological Sites in Northeastern Syria," *ArcheoSciences, Revue d'Archéométrie* 33 (suppl.): 111-113.
- Matney, T. 1998: "Preliminary Report on the First Season of Work at Ziyaret Tepe in Diyarbakir Province," *Anatolica* 24: 7-30.
- Matney, T. and G. Algaze, 1995: "Urban Development at Mid-Late Early Bronze Age Titriş Höyük in Southeastern Anatolia," *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 299/300: 33-52.

- Matney, T. and A. Bauer, 2000: "The Third Season of Archaeological Survey at Ziyaret Tepe in Diyarbakir Province," *Anatolica* 26: 119-128.
- Matney, T. and A. Donkin, 2006: "Mapping the Past: An Archaeogeophysical Case Study from Southeastern Turkey," *Near Eastern Archaeology* 69 (1): 12-26.
- Matney, T., T. Greenfield, B. Hartenberger, A. Keskin, K. Köroğlu, J. D. A. MacGinnis, W. Monroe, L. Rainville, M. Shepperson, T. Vorderstrasse and D. Wicke, 2009: "Excavations at Ziyaret Tepe, 2007-2008," *Anatolica* 35: 37-84.
- Matney, T., T. Greenfield, B. Hartenberger, C. Jalbrzikowski, K. Köroğlu, J. MacGinnis, A. Marsh, M. W. Monroe, M. Rosenzweig, K. Sauer and D. Wicke, 2011: "Excavations at Ziyaret Tepe, Diyarbakir Province, Turkey, 2009-2010 Seasons," *Anatolica* 37: 67-114.
- Matney, T., T. Greenfield, K. Köroğlu, J. MacGinnis, L. Proctor, M. Rosenzweig and D. Wicke, 2015: "Excavations at Ziyaret Tepe, Diyarbakir Province, Turkey, 2011-2014 Seasons," *Anatolica* 41: 125-176.
- Matney, T., J. D. A. MacGinnis, H. McDonald, K. Nicoll, L. Rainville, M. Roaf, M. L. Smith and D. Stein, 2003: "Archaeological Investigations at Ziyaret Tepe, 2002," *Anatolica* 29: 175-221.
- Matney, T., L. Rainville, T. Demko, S. Kayser, K. Köroğlu, H. McDonald, J. D. A. MacGinnis, K. Nicoll, S. Parpola, M. Reimann, M. Roaf, P. Schmidt and J. Szuchman, 2005: "Archaeological Investigations at Ziyaret Tepe, 2003-2004," *Anatolica* 31: 19-68.
- Matney, T., L. Rainville, K. Köroğlu, A. Keskin, T. Vorderstrasse, N. Ö. Fındık and A. Donkin, 2007: "Report on Excavations at Ziyaret Tepe, 2006 Season," *Anatolica* 33: 23-74.
- Matney, T., M. Roaf, J. D. A. MacGinnis and H. McDonald, 2002: "Archaeological Excavations at Ziyaret Tepe, 2000 and 2001," *Anatolica* 28: 47-89.
- Matney, T. and L. Somers, 1999: "The Second Season of Work at Ziyaret Tepe in the Diyarbakir Province: Preliminary Report," *Anatolica* 25: 203-19.
- Matsumura, K., 2010: "Büklükale Kazısı 2009," *Kazı sonuçları toplantısı* 32 (4): 411-420.
- Matsumura, K., 2011: "Büklükale Kazısı 2010," *Kazı sonuçları toplantısı* 33 (4): 421-436
- Menze, B. H. and J. Ur, 2007: "Classification of Multispectral ASTER Imagery in Archaeological Settlement Survey in the Near East," in M. E. Schaepman, S. Liang, N. E. Groot and M. Kneubühler (eds.), *Proceeding of the 10th International Symposium on Physical Measurements and Signature in Remote Sensing, Switzerland: Davos. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36: 244-249.
- Merpert N. Y. and R. M. Munchaev, 1971: "Excavations at Yarim Tepe 1970: Second Preliminary Report," *Sumer* 27: 9-22.
- Meyer, J. W., 2014: "The Round Cities: Foundation and Development, a View from Tell Chuera," *Syria: Revue d'Art Oriental et d'Archéologie* 91: 13-25.

- 2016: “Tell Chuera (Raqqā),” in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp. 287-292.
- Mithen, S. J., B. Finlayson, S. Smith, E. Jenkins, M. Najjar and D. Maričević, 2011: “An 11600 Year-old Communal Structure from the Neolithic of Southern Jordan,” *Antiquity* 85 (328): 350-364.
- Miyake, Y., Maeda, O., Tanno, K., Hongo, H. and C. Y. Gündem, 2012: “New Excavations at Hasankeyf Höyük, a 10th Millennium Cal. BC Site on the Upper Tigris, Southeast Anatolia,” *Neo-Lithics* 1 (12): 3-7.
- Molist, M., F. Borrell, X. Crop and A. Gomez, 2012: “Tell Halula (Euphrates Valley, Syria), Preliminary Results of the 2010-11 Seasons,” *Chronique Archéologique en Syrie* 6: 25-30.
- Morinaga, H., H. Inokuchi, H. Yamashita, A. Ono and T. Inada, 1999: “Magnetic Detection of Heated Soils at Paleolithic Sites in Japan,” *Geoarchaeology* 14 (5): 377-399.
- Mušič, B., 1999: “Geophysical Prospecting in Slovenia an Overview with Some Observatons Related to the Natural Environment,” *Arheološki Vestnik* 50: 349-405.
- Mühl, S. and J. Fassbinder, 2016: “Magnetic Investigations in the Shahrizor Plain: Revealing the Unseen in Survey Prospections,” in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 241-248.
- Nadel, D. and E. Werker, 1999: “The Oldest Ever Brush Hut Plant Remains from Ohalo II, Jordan Valley, Israel (19,000 BP),” *Antiquity* 73 (282): 755-764.
- Nishimura Y., 2008: *North Mesopotamian Urban Space: A Reconstruction of Household Activities and City Layout at Tigris Höyük in the Third Millennium B. C.*, Doctoral dissertation, University of California.
- Nishiyama, S., 2015: “Operation A and D,” in A. Tsuneki, K. Rasheed, S. A. Saber, S. Nishiyama, R. Anma, B. B. Ismail, A. Hasegawa, Y. Tatsumi, Y. Miyauchi, S. Jammo, M. Makino and Y. Kudo, “Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq Kurdistan: First Interim Report (2014 season),” *Al-Rafidan* 36: 31-38.
- 2016: “Operation F: Hilltop Investigation,” in A. Tsuneki, K. Rasheed, S.A. Saber, S. Nishiyama, N. Watanabe, T. Greenfield, B.B. Ismail, Y. Tatsumi and M. Minami, “Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq-Kurdistan: Second Interim Report (2015 Season),” *Al-Rafidan* 37: 104-111.
- Novo, A., M. Grasmueck, D. Viggiano and H. Lorenzo, 2008: “3D GPR in Archaeology: What Can Be Gained from Dense Data Acquisition and Processing,” *12th International Conference on Ground Penetrating Radar*: 16-19.
- Novo, A., M. Solla, J. M. Fenollós and H. Lorenzo, 2014: “Searching for the Remains of an Early Bronze Age City at Tell Qubr Abu Al-’Atiq (Syria) through Archaeological Investigations and GPR Imaging,” *Journal of Cultural Heritage* 15 (5): 575-579.
- Novo, A., M. L. Vincent and T. E. Levy, 2012: “Geophysical Surveys at Khirbat Faynan, an Ancient

- Mound Site in Southern Jordan,” *International Journal of Geophysics* 2012.
- Oates, J., 1960: “Ur and Eridu, the Prehistory,” *Iraq* 22: 32-50.
- 1993: “Excavations at Tell Brak 1992–93,” *Iraq* 55: 155-199.
- 2005: Archaeology in Mesopotamia: Digging Deeper at Tell Brak, *Proceedings of the British Academy* 131: 1-39.
- Özdoğan, M., N. Başgelen and P. Kuniholm (eds.), 2011: *The Neolithic in Turkey, New Excavations and New Research, the Tigris Basin*, İstanbul, Archaeology and Art Publications.
- Peregrine, P. N., 1996: “Geomagnetic Mapping at Tell es-Sweyhat,” *Expedition* 38 (1): 30-33.
- Peregrine, P. N., A. Bell, M. Braithwaite and M. D. Danti, 1997: “Geomagnetic Mapping of the Outer Town,” *Science and Archaeology* 14: 73-82.
- Peters, J. and K. Schmidt, 2004: “Animals in the Symbolic World of Pre-Pottery Neolithic Göbekli Tepe, South-eastern Turkey: A Preliminary Assessment,” *Anthropozoologica* 39 (1): 179-218.
- Pfälzner, P. and P. Sconzo, 2016: “From the Banks of the Upper Tigris River to the Zagros Highlands. The First Season (2013) of the Tübingen Eastern Habur Archaeological Survey (2016),” in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 323-332.
- Price, T. D. and G. M. Feinman (eds.), 2010: *Pathways to Power. New Perspectives on the Emergence of Social Inequality*, New York, Springer.
- Radner, K., A. Aşandulesei, J. Fassbinder, T. Greenfield, J. Herr, J. Kreppner and A. Squitieri, 2016: “In the Neo-Assyrian Border March of the Palace Herald: Geophysical Survey and Salvage Excavations at Gird-Bazar and Qalat-i Dinka (Peshdar Plain Project 2015),” in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 353-367.
- Ramazzotti, M., 2008: “An Integrated Analysis for the Urban Settlement Reconstruction. The Topographic, Mathematical and Geophysical Frame of Tell Mardikh, Ancient Ebla,” in H. Kühne, R. M. Czichon and F. J. Kreppner (eds.), *Proceedings of the 4th International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East, Volume 1: The Reconstruction of Environment: Natural Resources and Human Interrelations through Time, Art History: Visual Communication*, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, pp.191-205.
- Ramazzotti, M., 2009: *Dall’automazione del Record Geomagnetico alla Scoperta del Tempio della Rocca (2400–2350 Ac Circa)*, *Archeomatica* 0 (1): 12-14.
- Ramazzotti, M., 2010: “The Ebla Archaeological Park. Natural, Archaeological and Artificial Italian Portrait of the Ancient Syrian Capital,” in P. Matthiae, F. Pinnock, L. Nigro, N. Marchetti (eds.), *Proceedings of the 6th International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East. Volume 2: Excavations, Surveys and Restorations: Reports in Recent Field Archaeology in the Near East*, Wiesbaden, Harrassowitz Verlag, pp. 581-597.

- Renfrew, C., 1975: "Trade as Action at a Distance: Questions of Integration and Communication," in J. A. Sabloff and C. C. Lamberg-Karlovsky (eds.), *Ancient Civilization and Trade*, Albuquerque, University of New Mexico Press, pp. 3-59.
- Rothman, M. S., 2002: *Tepe Gawra: The Evolution of a Small, Prehistoric Center in Northern Iraq*, Philadelphia, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology.
- Rothman, M. S., R. Ergeç, N. Miller, J. Weber and G. Kozbe, 1998: "Yarim Höyük and the Uruk Expansion (Part1)," *Anatolica* 24: 65-99.
- Sakayama, T. 1994: "An Investigation of Underground Tombs by Ground-Probing Radar in the Southeast Necropolis," in T. Higuchi and T. Izumi (eds.), *Tombs A and C, Southeast Necropolis, Palmyra Syria 1990-1992*, Nara, Research Center for Silk Roadology, pp. 117-126.
- Sala, R., E. Garcia and R. Tamba, 2012: "Archaeological Geophysics: From Basics to New Perspectives," I. Ollich-Castanyer (ed.), *Archaeology, New Approaches in Theory and Techniques*, InTech pp. 133-166.
- Sambuella, L., L. V. Soccoa and L. Brecciarolib, 1999: "Acquisition and Processing of Electric, Magnetic and GPR Data on A Roman Site (Victimulae, Salussola, Biella)," *Journal of Applied Geophysics* 41 (2), 189-204.
- Samuelian, N., H. Khalaily and F. R. Valla, 2006: "Final Natufian Architecture at Eynan (Ain Mallaha). Approaching the Diversity behind Uniformity," *Domesticating Space*, Berlin, Ex Oriente, pp. 35-42.
- Sarris, A., R. K. Dunn, J. L. Rife, N. Papadopoulos, E. Kokkinou and C. Mundigler, 2007: "Geological and Geophysical Investigations in the Roman Cemetery at Kenchreai (Korinthia) Greece," *Archaeological Prospection* 14 (1): 1-23.
- Schmidt, K., 2003, "The 2003 Campaign at Göbekli Tepe (southeastern Turkey)," *Neo-Lithics* 2(3): 3-8.
- Schwartz, G., 2016: "Kurd Qaburstan, A Second Millennium BC Urban Site: First Results of the Johns Hopkins Project," in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 385-402.
- Schwartz, G., 2016: "Kurd Qaburstan, A Second Millennium BC Urban Site: First Results of the Johns Hopkins Project," in K. Kopanias and J. MacGinnis (eds.), *The Archaeology of the Kurdistan Region of Iraq and Adjacent Regions*, Oxford, Archaeopress, pp. 385-402.
- Silliman, S. H., P. Farnsworth and K. G. Lightfoot, 2000: "Magnetometer Prospecting in Historical Archaeology Evaluating Survey Options at a 19th-Century Rancho Site in California," *Historical Archaeology* 34 (2): 89-109.
- Stordeur, D., 2000: "New Discoveries in Architecture and Symbolism at Jerf el-Ahmar (Syria), 1997-1999," *Neo-Lithics* 1(0): 1-4.
- Suleiman, A. and O. P. Nieuwenhuys, 1999, "A Note on the Hassuna Samarra Site of Tell Boueid II (Syria)," *Neo-Lithics* 1 (99): 1-2.

- Tatsumi, Y., 2015: "Geophysical Surveys at Qalat Said Ahmadan," in A. Tsuneki, K. Rasheed, S. A. Saber, S. Nishiyama, R. Anma, B. B. Ismail, A. Hasegawa, Y. Tatsumi, Y. Miyauchi, S. Jammo, M. Makino and Y. Kudo, "Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq Kurdistan: First Interim Report (2014 season)," *Al-Rafidan* 36: 40-46.
- 2016: "A New Interpretation of GPR Results Based on Excavations at Qalat Said Ahmadan," in A. Tsuneki, K. Rasheed, S.A. Saber, S. Nishiyama, N. Watanabe, T. Greenfield, B.B. Ismail, Y. Tatsumi and M. Minami, "Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq-Kurdistan: Second Interim Report (2015 Season)," *Al-Rafidan* 37: 114-116.
- Thuesen, I., 1988: *Hama Fouilles et Recherches de la Fondation Carlsberg 1931-1938: I. The Pre- and Protohistoric Periods*, København, Nationalmuseet.
- Trow, R. 2015: *Temples in Antis in the Bronze and Iron Ages of the Levant an Archaeological Case Study of Ritual and Religion in the Ancient Near East*, Doctoral dissertation, University of Liverpool.
- Tsokas, G. N., A. Sarris, M. Pappa, M. Bessios, C. B. Papazachos, P. Tsourlos and A. Giannopoulos 1997: "A Large-Scale Magnetic Survey in Makrygialos (Pieria), Greece. *Archaeological Prospection* 4 (3): 123-137.
- Tsuneki, A., 2011: "A Glimpse of Human Life from The Neolithic Cemetery at Tell el-Kerkh, Northwest Syria," *Documenta Praehistorica* 38: 83-95.
- 2012: "Tell el-Kerkh as a Neolithic Mega Site," *Orient* 47: 29-65.
- 2015: "Operation B," in A. Tsuneki, K. Rasheed, S. A. Saber, S. Nishiyama, R. Anma, B. B. Ismail, A. Hasegawa, Y. Tatsumi, Y. Miyauchi, S. Jammo, M. Makino and Y. Kudo, "Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq Kurdistan: First Interim Report (2014 season)," *Al-Rafidan* 36: 12-28.
- Tsuneki, A., 2016: "*Tell el-Kerkh (Idlib)*," in Y. Kanjou and A. Tsuneki (eds.), *A History of Syria in One Hundred Sites*, Archaeopress Archaeology, pp. 61-64.
- Tsuneki, A. K. Rasheed, S. A. Saber, S. Nishiyama, R. Anma, B.B. Ismail, A. Hasegawa, Y. Tatsumi, Y. Miyauchi, S. Jammo, M. Makino and Y. Kudo, 2015: "Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq-Kurdistan: First Interim Report (2014 Season)," *Al-Rāfidān* 36: 1-50.
- Tsuneki, A., K. Rasheed, S. A. Saber, S. Nishiyama, N. Watanabe, T. Greenfield, B. B. Ismail, Y. Tatsumi and M. Minami, 2016: "Excavations at Qalat Said Ahmadan, Slemani, Iraq-Kurdistan: Second Interim Report (2015 Season)," *Al-Rāfidān* 37: 89-142.
- Ur, J. 2003: "CORONA Satellite Photography and Ancient Road Networks a Northern Mesopotamian Case Study," *Antiquity* 77 (295): 102-115.
- Ur, J., L. de Jong, J. Giraud, J. F. Osborne and J. MacGinnis, 2013: "Ancient Cities and Landscapes in the Kurdistan Region of Iraq: The Erbil Plain Archaeological Survey 2012 season," *Iraq* 75: 89-117.

- Ur, J., P. Karsgaard and J. Oates, 2007: "Early Urban Development in the Near East," *Science* 317 (5842): 1188.
- Urban, T. M., J. F. Leon, S. W. Manning and K. D. Fisher, 2014: "High Resolution GPR Mapping of Late Bronze Age Architecture at Kalavassos-Ayios Dhimitrios, Cyprus," *Journal of Applied Geophysics* 107: 129-136.
- Urban, T. M., Y. M. Rowan and M. M. Kersel, 2014: "Ground-penetrating Radar Investigations at Marj Rabba, a Chalcolithic site in the Lower Galilee of Israel," *Journal of Archaeological Science* 46: 96-106.
- Urban, T. M., C. Vella, E. Bocancea, C. A. Tuttle and S. E. Alcock, 2014: "A Geophysical Investigation of A Newly Discovered Early Bronze Age Site Near Petra, Jordan," *Journal of Archaeological Science* 42: 260-272.
- Urbini, S., L. Cafarella, M. Marchetti, P. Chiarucci and D. Bonini, 2007: "Fast Geophysical Prospecting Applied to Archaeology Results at "Villa ai Cavallacci" (Albano Laziale, Rome) Site," *Annals of Geophysics* 50 (3): 291-299.
- Weiss, E., M. E. Kislev and A. Hartmann, 2006: "Autonomous Cultivation before Domestication," *Science* 312: 1608-1610.
- Weiss, H., 1994: "Archaeology in Syria," *American Journal of Archaeology* 98 (1): 101-158.
- Weymouth, J. W. and R. Huggins, 1985: "Geophysical Surveying of Archaeological Sites," in G. Rapp and J. A. Gifford (eds.), *Archaeological Geology*, Yale University Press, pp. 191-236.
- Wilkinson, T. J., N. Galiatsatos, D. Lawrence, A. Ricci, R. Dunford and G. Philip, 2012: "Late Chalcolithic and Early Bronze Age Landscapes of Settlement and Mobility in the Middle Euphrates a Reassessment," *Levant* 44 (2): 139-185.
- Wilkinson, T. J., 1994: "The Structure and Dynamics of Dry-farming States in Upper Mesopotamia," *Current Anthropology* 35 (5): 483-520.
- Wilkinson, T. J., J. H. Christiansen, J. Ur, M. Widell and M. Altaweel, 2007: "Urbanization within A Dynamic Environment Modeling Bronze Age Communities in Upper Mesopotamia." *American Anthropologist* 109 (1): 52-68.
- Wilkinson, T. J., J. Ur, E. B. Wilkinson and M. Altaweel, 2005: "Landscape and Settlement in the Neo-Assyrian Empire," *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 340: 23-56.
- Willcox, G., 2013: "The Roots of Cultivation in Southwestern Asia.," *Science* 341 (6141): 39-40.
- Yamashita, M., H. Tsumura, Y. S. Hayakawa and M. Metin, 2013: "Archaeological Surveys at Hacituğrul Höyük in Central Anatolia," *Anatolian Archaeological Studies* 18: 37-41.
- Yasin, W., 1970: "Excavations at Tell es-Sawwan, 1969, Report on the Sixth Season's Excavations," *Sumer* 26: 3-20.
- Yoffee, N. and J. J. Clark (eds.), 1973: *Early Stages in the Evolution of Mesopotamian Civilization Soviet Excavations in Northern Iraq*, University of Arizona Press.

- Zettler, R. L., 1996: "Tell es-Sweyhat, 1989-1995," *Expedition* 38 (1): 14-29.
- Zettler, R. L., 1997: *Subsistence and Settlement in a Marginal Environment Tell Es-Sweyhat, 1989-1995 Preliminary Report*, Museum Applied Science Center for Archaeology 14, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology.
- Zohary, D., M. Hopf and E. Weiss, 2012: *Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in South-west Asia, Europe and the Mediterranean Basin 4th edition*, Oxford, Oxford University Press.
- von Frese, R. R. B. and V. E. Noble, 1984: "Magnetometry for Archaeological Exploration of Historical Sites." *Historical Archaeology* 18 (2): 38-53.
- von der Osten-Woldenburg, H., 2005: "Applications of Ground-Penetrating Radar, Magnetic and Electrical Mapping, and Electromagnetic Induction Methods in Archaeological Investigations" in D. K. Butler (ed.), *Near-Surface Geophysics*, Society of Exploration Geophysicists, pp. 621-626.
- von der Osten-Woldenburg, H., C. Bronu, R. Walter, 2006: "New Archaeological Discoveries through Magnetic Gradiometry: The Early Celtic Settlement on Mont Lassois, France," *The Leading Edge* 25 (1): 46-49.
- von der Osten-Woldenburg, B. Chaume and W. Reinhard, 2002: "Magnetic Imaging of a Late Bronze Age Tumulus in France before and during Excavation," *The Leading Edge* 21 (5): 465-466.
- 會田信行 1980 「下総台地西部に分布する縄文時代中期住居址内炉址焼土の考古地磁気」『第四紀研究』19号(4) 311-316頁.
- 會田信行 2009 「旧石器時代の考古地磁気学研究的現状と課題」東海大学考古学教室開設20周年記念論文集編集委員会編『日々の考古学』25-37頁.
- 足立和成・中條利一郎・西村康編著 1999 『文化財探査の手法とその実際』真陽社.
- 阿児雄之・亀井宏行・大竹浩之 2004 「磁気探査結果報告」滋賀県教育委員会事務局文化財保護課・財団法人滋賀県文化財保護協会編『東谷遺跡』54-58頁.
- 荒井郁男・鈴木務・富澤良行 1999 「地中レーダー探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 1-32頁.
- 安齋正人 2012 『気候変動の考古学』同成社.
- 安間了 2014 「西アジアの自然環境」筑波大学西アジア文明研究センター編『西アジア文明学への招待』悠書館 12-31頁.
- 池田榮史 2008 「考古学研究者による物理探査の模索」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立60周年記念事業実行委員会 355-359頁.
- 稲田孝司 1999 「被熱遺構探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 175-194頁.
- 岩崎卓也・西野元編 1991 『筑波大学シリア考古学調査団報告 1: エル・ルージュ盆地における考古学

- 的調査Ⅰ』筑波大学歴史・人類学系.
- 岩崎卓也・西野元編 1992 『筑波大学シリア考古学調査団報告 2: エル・ルージュ盆地における考古学的調査Ⅱ』筑波大学歴史・人類学系.
- 牛島恵輔 1999 「電気探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 33-64 頁.
- 大熊茂雄 1998 「地磁気と岩石磁性」物理探査学会『物理探査ハンドブック 手法編 8 章—12 章 (431~630)』477-480 頁.
- 大津忠彦・常木晃・西秋良宏 1997 『西アジアの考古学』同成社.
- 金田明大 2008 「考古学研究・埋蔵文化財保護に物理探査を役立たせるために」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会 365-373 頁.
- 金田明大・西村 康編 2007 「遺跡探査の実際」『埋蔵文化財ニュース』127 号 奈良文化財研究所埋蔵文化センター.
- 亀井宏行 1994 「考古学における情報処理—遺跡探査の現場から—」『情報処理』35 号 (3) 193-202 頁
 —— 1999a 「文化財探査技術の総合的検討」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 161-172 頁.
 —— 1999b 「電気学と考古学—遺跡探査—」『電気学会誌』119 号 (10) 609-612 頁.
 —— 1999c 「遺跡の磁気・レーダ探査」静岡県袋井市教育委員会編『石ノ形古墳』静岡県袋井市教育委員会 207-212 頁.
 —— 2000 「考古遺跡の磁気探査」『日本応用磁気学会誌』24 号 (1) 5-12 頁.
- 亀井宏行・河原健一郎・本田誠彦 2008 「遺跡探査と電気探査—表面電位法の開発—」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会 341-345 頁.
- 亀井宏行・浜島多加志・西村康・川野邊渉 1991 「住居跡の磁気探査に関する一考察」『考古学と自然科学』24 号 1-11 頁.
- 川西宏幸 1996 「都市の類型と変容」金関 恕・川西宏幸編『講座 文明と環境 第 4 巻 都市と文明』朝倉書店 270-290 頁.
 —— 2000 「土器生産の変容と地域社会の圏域 総括にかえて」『西アジア考古学』1 号 61-71 頁.
- 小泉龍人 2002 「ウルク・ワールド・システムの彼方」『西アジア考古学』3 号 67-73 頁.
 —— 2013 「都市論再考—古代西アジアの都市化議論を検証する—」『ラーフィダーン』34 号 83-116 頁.
- 北郷泰道 2008 「西都原古墳群における整備・活用のための物理探査」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会 375-380 頁.
- 齋藤正徳 1999a 「磁気探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 65-82 頁.
 —— 1999b 「弾性波探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 99-116 頁.
- 酒井英男 1994 「古地磁気年代測定法の考古学・人類学への応用」『名古屋大学加速器質量分析計業績報

- 告書』5号 24-29頁.
- 酒井英男・小林剛・山田剛士・田中保士 1993 「石川県珠洲市大島家遺跡における登り窯の磁気探査」
富山大学人文学部考古学研究室・石川考古学研究会編『珠洲大島窯』富山大学人文学部考古学研究室 67-75頁.
- 酒井英男・竹内侑子・泉吉紀・中村俊夫 2009 「石川県能登町の行延窯跡と河々谷ミソメ窯跡における考古地磁気・放射性炭素年代の研究」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』20号 117-123頁.
- 酒井英男・山田剛士・張忠良・田中保士 1994「珠洲市クロバタケ窯址における半地下式窯の磁気探査」
珠洲市教育委員会・富山大学考古学研究室編『珠洲寺家クロバタケ窯』富山大学考古学研究室 107-113頁.
- 坂山利彦 1991 「各種物理探査による遺跡調査例」『物理探査』44号 412-418頁.
- 佐久埋蔵文化財調査センター編 1990 『長土呂遺跡群聖原遺跡 I』佐久市教育委員会.
- 佐藤哲也 1999 「ダイナモ理論—磁場発生と逆転のメカニズム—」『プラズマ・核融合学会誌』75号(1) 7-16頁.
- 佐藤源之 2008 「GPRによる遺跡調査」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立60周年記念事業実行委員会 341-345頁.
- 佐藤源之・高橋一徳 2013 「墳丘の地中レーダによる遺跡調査 第12回地下電磁計測ワークショップ「復興・遺跡調査」」『電子情報通信学会技術研究報告』113号(309) 93-98頁.
- 下釜和也 2015 「西アジア・メソポタミアの都市文明と神殿 関雄二編『古代文明アンデスと西アジア 神殿と権力の生成』朝日新聞出版 87-122頁.
- 重点領域研究『遺跡探査法の開発研究』総括班編 1995 『文部省科学研究費補助金重点領域研究『遺跡探査』第3回研究成果検討会議論文集』重点領域研究遺跡探査事務局.
- 珠洲市教育委員会・富山大学考古学研究室編 1994 『珠洲寺家クロバタケ窯』富山大学考古学研究室.
- 鈴木敬一 1995 「電磁波による物理探査」『可視化情報』15号(56) 23-29頁.
- 鈴木敬一・鳥居健太郎・吉川 猛・河村知徳・井上敬資 2013 「物理探査学会 65周年特別セッション「物理探査の10年後を考える」」『物理探査』66号(4) 253-260頁.
- 高瀬尚人・峠 美穂 2001 「磁気探査の窯跡調査への適用性について」『応用地質技術年報』21号 115-122頁.
- 辰巳祐樹 2014a 「考古学調査における磁気探査の有効性の再検討—陸平貝塚の調査事例をもとに—」
『筑波大学 先史学・考古学研究』筑波大学考古学フォーラム 25号 67-80頁.
- 2014b 「陸平貝塚における磁気探査」美浦村教育委員会編『陸平貝塚—調査研究報告書7 2012年度確認調査の成果—』美浦村教育委員会 41-48頁.
- 2016a 「磁気探査及び地中レーダー探査」佐野市教育委員会『史跡唐沢山城跡保存活用計画書』63-72頁.
- 2016b 「陸平貝塚におけるレーダー探査」『陸平貝塚—調査研究報告8 2014年度確認調査の成果—』美浦村教育委員会 40-47頁.

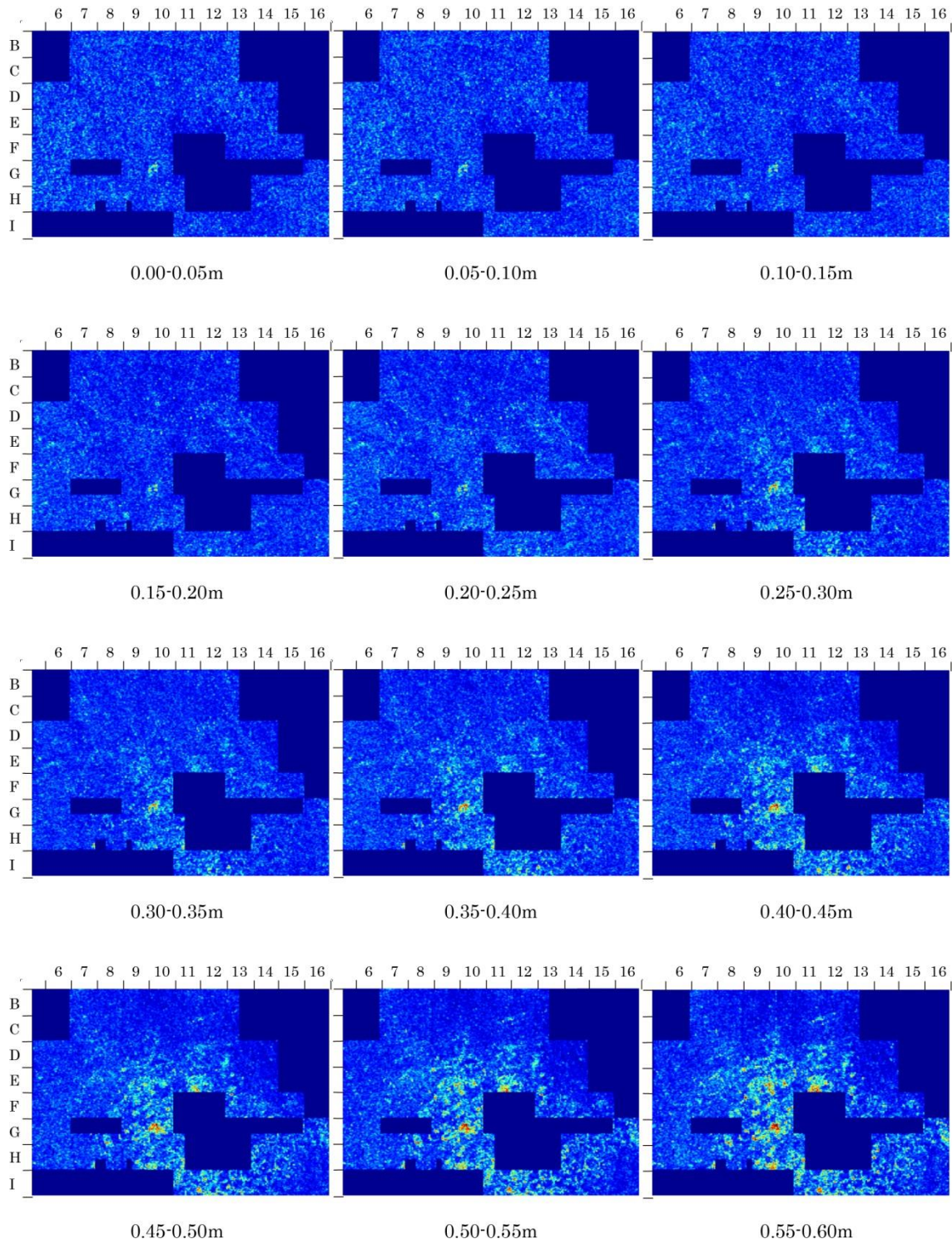
- 2017 「カラート・サイド・アハマダン遺跡における地中探査」 西山伸一・常木晃・渡部展也・辰巳祐樹 「西アジアのテル型遺跡に関する フィールド調査の技術的革新と展望—イラク・クルディスタンの調査事例から—」『西アジア考古学』18号 104-107頁.
- 田中保士 2008a 「遺跡の調査と保全(特集 自然保護・世界遺産)」『地質と調査2008』3号 36-41頁.
—— 2008b 「考古探査による考古地盤の分析」『考古学ジャーナル』580号 53-54頁.
- 谷口陽子 2014 「西アジアの文化遺産をまもる」 筑波大学西アジア文明研究センター編 『西アジア文明学への招待』 悠書館 240-259頁.
- 谷本親伯・國井仁彦・大友譲・小宮国盛 1999 「エジプト大スフィンクス修復・保存調査への電気探査の応用」『土木学会論文集』631号 13-23頁.
- ダメルジ, ムアイヤッド S. B. 1987 『メソポタミア建築序説: 門と扉の建築術』高世富夫・岡田保良編 訳 国士館大学イラク古代文化研究所.
- 筑波大学西アジア文明研究センター編 2014 『西アジア文明学への招待』 悠書館.
- 常木 晃 1994 「ハラフ期のいわゆるトロスについて」岩崎卓也先生退官記念論文集編集委員会編『日本と世界の考古学 現代考古学の展開 岩崎卓也先生退官記念論文集』雄山閣 403-421頁.
—— 1997 「農耕社会の展開」大津忠彦・常木 晃・西秋良宏編『西アジアの考古学』同成社 73-104頁.
—— 2014 「都市文明へ」筑波大学西アジア文明研究センター編 『西アジア文明学への招待』悠書館 158-175頁.
- 常木 晃・西山伸一・A. サーベル・長谷川敦章・辰巳祐樹・宮内優子 2015 「肥沃な三日月地帯東部の新石器化・都市化—イラク・クルディスタン、カラート・サイド・アハマダン遺跡調査(2014年)」『平成26年度 考古学が語る古代オリエント:第22回西アジア発掘調査報告会報告集』日本西アジア考古学会 26-33頁.
- 常木 晃・西山伸一・A. サーベル・渡部展也 2016 「肥沃な三日月地帯東部の新石器化・都市化—イラク・クルディスタン、カラート・サイド・アハマダン遺跡調査(2015年)」『平成27年度 考古学が語る古代オリエント:第23回西アジア発掘調査報告会報告集』日本西アジア考古学会 30-37頁.
- 寺村裕史 2014 『景観考古学の方法と実践』同成社.
- 富山大学人文学部考古学研究室・石川考古学研究会編 1993 『珠洲大畠窯』富山大学人文学部考古学研究室.
- 中條利一郎 1999 「その他の物理・化学解析」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 133-146頁.
- 中村 徹 2014 「西アジアの植生」 筑波大学西アジア文明研究センター編 『西アジア文明学への招待』 悠書館 32-45頁.
- 中村俊夫・酒井英男・広岡公夫 2006 「窯址の14C年代と考古地磁気年代の比較」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』17号 141-148頁.
- 奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター 2000 「遺跡探査実態調査」『埋蔵文化財ニュース』98号

- 1-80 頁.
- 西秋良宏 2000 「工業の専門化と社会の複雑化—西アジア古代都市出現期の土器生産」『西アジア考古学』1号 1-9 頁.
- 西アジア考古学講義ノート編集委員会編 2013 『西アジア考古学講義ノート』日本西アジア考古学会.
- 西口和彦 2008 「文化財保護行政と遺跡探査」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会 361-363 頁.
- 西谷忠師 1991 「秋田・岩手地域における遺跡の考古地磁気学的研究」『秋田大学鉱山学部資源地学研究施設報告』56号 161-173 頁.
- 西村三治・有田真・森山多加志・橋本雅彦・菅原政志・石田憲久・長谷川浩 2010 「全磁力観測における年周変動調査」『地磁気観測所テクニカルレポート』7巻1・2号 9-13 頁.
- 西村 康 1995 「集落・埋納遺跡の探査」重点領域研究『遺跡探査法の開発研究』総括班編『文部省科学研究費補助金重点領域研究『遺跡探査』第3回研究成果検討会議論文集』重点領域研究『遺跡探査』事務局 21-35 頁.
- 1999a 「集落・寺院・官衙の探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 233-242 頁.
- 1999b 「窯址探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 243-254 頁.
- 1999c 「文化財探査作業の一般的指針」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 287-292 頁.
- 2008 「日本における遺跡探査抄史」物理探査学会編『最新の物理探査適用事例集』物理探査学会創立 60 周年記念事業実行委員会 333-340 頁.
- 西村 康・齋藤正徳・亀井宏行・荒井郁男・寺町康昌 1994 「地中を見る—遺跡探査—」『電子情報通信学会誌』77号(7) 713-720 頁.
- 西山伸一・常木晃・渡部展也・辰巳祐樹 2017 「西アジアのテル型遺跡に関する フィールド調査の技術的革新と展望—イラク・クルディスタンの調査事例から—」『西アジア考古学』18号 99-116 頁.
- 浜島多加志・西村 康・川野邊渉 1989 「遺跡探査法の再検討」『考古学と自然科学』21号(4) 45-56 頁.
- 野崎京三 1997 「マイクログラビティ探査の現状とその利用」『応用地質技術年報』19号 35-60 頁.
- 浜野洋三・柳澤孝寿・山岸保子 2005 「地磁気ダイナモとマントルダイナミクス」『地学雑誌』114号(2) 142-150 頁.
- 久田健一郎 2014 「西アジアの大地形と地質」筑波大学西アジア文明研究センター編『西アジア文明学への招待』悠書館 46-59 頁.
- 広岡公夫 1977 「考古地磁気および第四紀古地磁気研究の最近の動向」『第四紀研究』15号(4) 200-203 頁.
- 藤井 純夫 2001 『ムギとヒツジの考古学』同成社.
- 物理探査学会 1998a 『物理探査ハンドブック 1』.

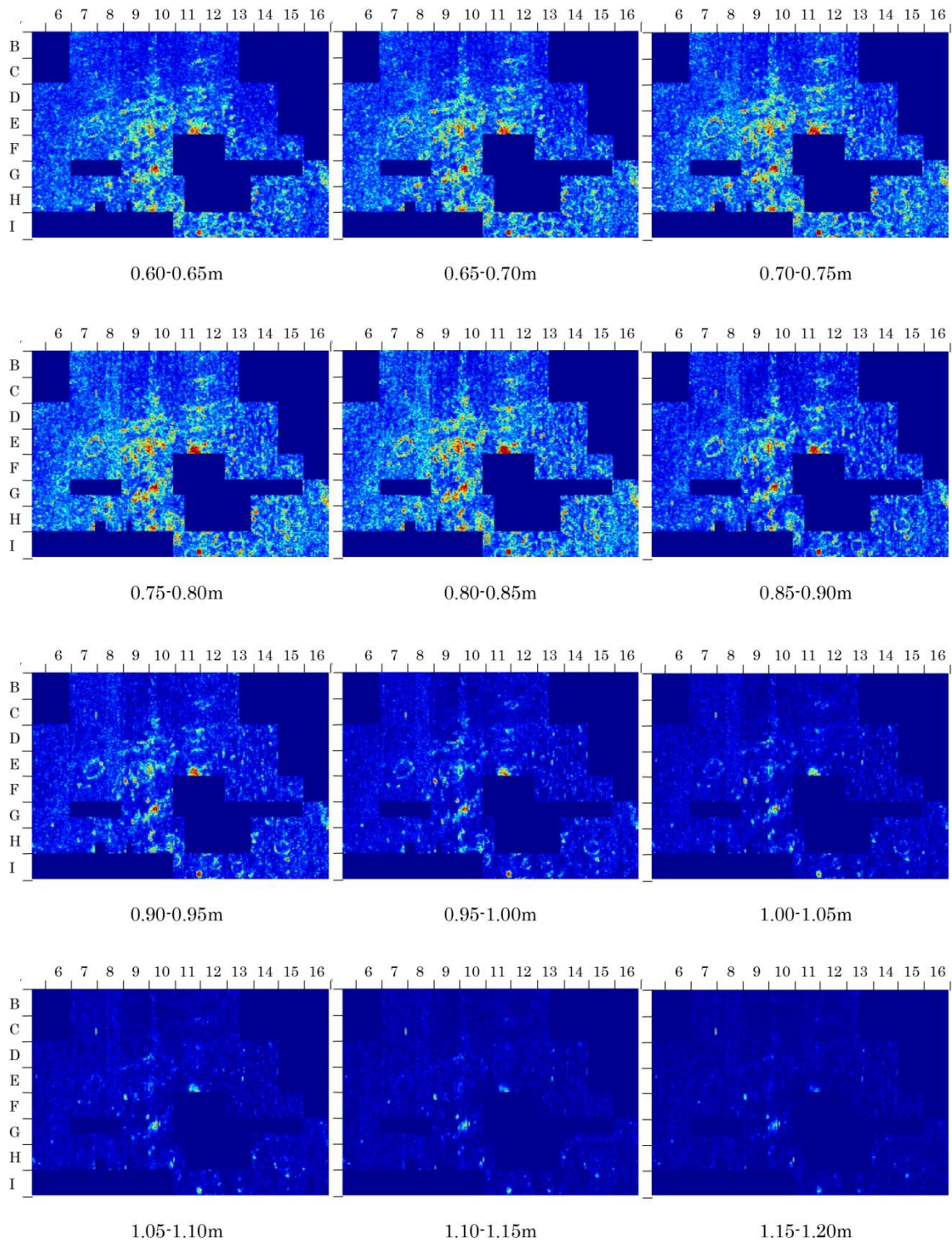
- 1998b 『物理探査ハンドブック 2』.
- 1998c 『物理探査ハンドブック 3』.
- 1998d 『物理探査ハンドブック 4』.
- 1998e 『物理探査ハンドブック 7』.
- 三浦定俊 1999 「光学的探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』 真陽社 117-132 頁.
- 美浦村教育委員会 2009 『陸平貝塚—調査研究報告書 3 自然科学分野調査の成果—』.
- 2010 『陸平貝塚—調査研究報告書 4 1987 年度確認調査の成果—』.
- 2012 『陸平貝塚—調査研究報告書 6 2010 年度確認調査の成果—』.
- 2014 『陸平貝塚—調査研究報告書 7 2012 年度確認調査の成果—』.
- 2016 『陸平貝塚—調査研究報告書 8 2014 年度確認調査の成果—』.
- 三宅 裕 2014 「西アジアの石器時代—農耕・牧畜と社会の関係」筑波大学西アジア文明研究センター編『西アジア文明学への招待』悠書館 90-105 頁.
- 2015 「西アジアにおける神殿の出現—新石器時代の公共建造物をめぐって」関雄二編『古代文明アンデスと西アジア 神殿と権力の生成』朝日新聞出版 41-86 頁.
- 三宅 裕・前田 修・A. ウルチャム 2012 「初期定住集落の姿を探る—トルコ、ハッサンケイフ・ホユック 2011 年度の調査—」『平成 23 年度 考古学が語る古代オリエント:第 19 回西アジア発掘調査報告会報告集』 日本西アジア考古学会 34-39 頁.
- 2013 「初期定住集落の姿を探る—トルコ、ハッサンケイフ・ホユック 2012 年度の調査—」『平成 24 年度 考古学が語る古代オリエント:第 20 回西アジア発掘調査報告会報告集』 日本西アジア考古学会 26-32 頁.
- 2014 「初期定住集落の姿を探る—トルコ、ハッサンケイフ・ホユック 2012 年度の調査—」『平成 25 年度 考古学が語る古代オリエント:第 21 回西アジア発掘調査報告会報告集』 日本西アジア考古学会 22-27 頁.
- 2015 「初期定住集落の姿を探る—トルコ、ハッサンケイフ・ホユック 2014 年度の調査—」『平成 26 年度 考古学が語る古代オリエント:第 22 回西アジア発掘調査報告会報告集』 日本西アジア考古学会 20-25 頁.
- 宮崎県教育庁文化財課・東憲章編 2012 『特別史跡西都原古墳群 地中探査・地下マップ制作事業報告書(1)』宮崎県教育委員会.
- 宮崎県立西都原考古博物館・東憲章編 2007 『西都原古墳群 男狭穂塚女狭穂塚陵墓参考地 地中探査事業報告書』宮崎県教育委員会.
- 村井俊治・木全敬蔵編 1991 『図説 ハイテク考古学』河出書房新社.
- 森永速男 1999 「磁性解析」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』 真陽社 83-98 頁.
- 森永速男・井口博夫・山下秀樹・久保弘幸・藤田淳・安川克己 1989 「古地磁気学的手法による先土器遺跡の炉址検出法の開発とその有効性」『第四世紀研究』28 号 (3) 171-183 頁.

- 山口芳雄 1999 「ハイテク遺跡探査」『電子情報通信学会誌』82号 70-72頁.
- レンフルー, コリン・P. バーン 2007 『考古学—理論・方法・実践』池田裕・常木晃・三宅裕監修・訳
松本健速・前田修訳 東洋書林.
- 和田晴吾 1999 「古墳探査」安達一成・中條利一郎・西村康編『文化財探査とその手法』真陽社 195-232
頁.
- 渡辺広勝 1993 「地中レーダーによる遺跡調査」『写真測量とリモートセンシング』32号(4) 32-35頁.
- 渡辺芳郎・金田明大 2009 「鹿児島県日置市美山苗代川窯跡群の調査 分布調査・測量調査・物理探査の
成果から」『金大考古= The Archaeological Journal of Kanazawa University』65号 1-27頁.

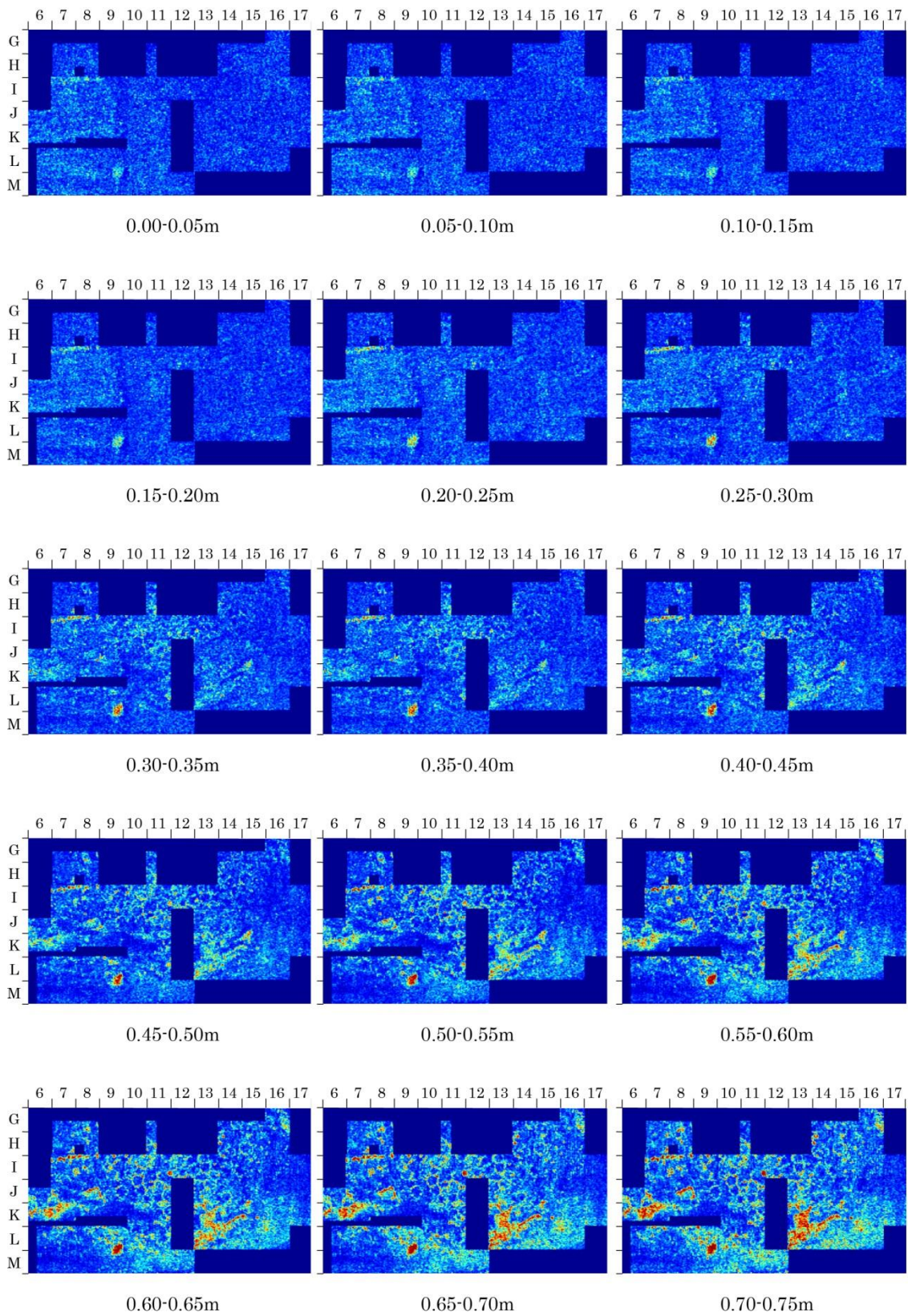
付図



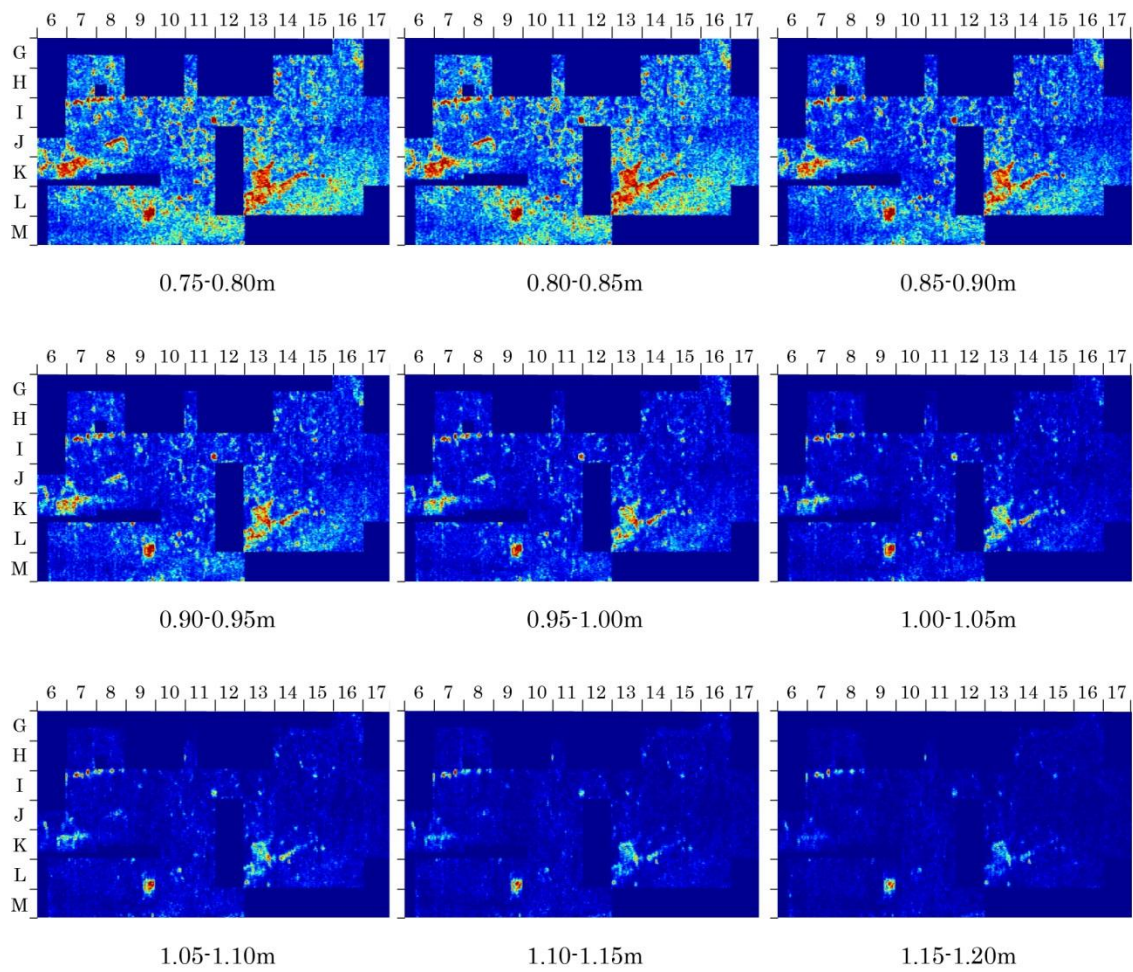
付図 1.1 ハッサンケイフ・ホユック遺跡中央部北側タイムスライス（地表下 0.00 - 0.60m）



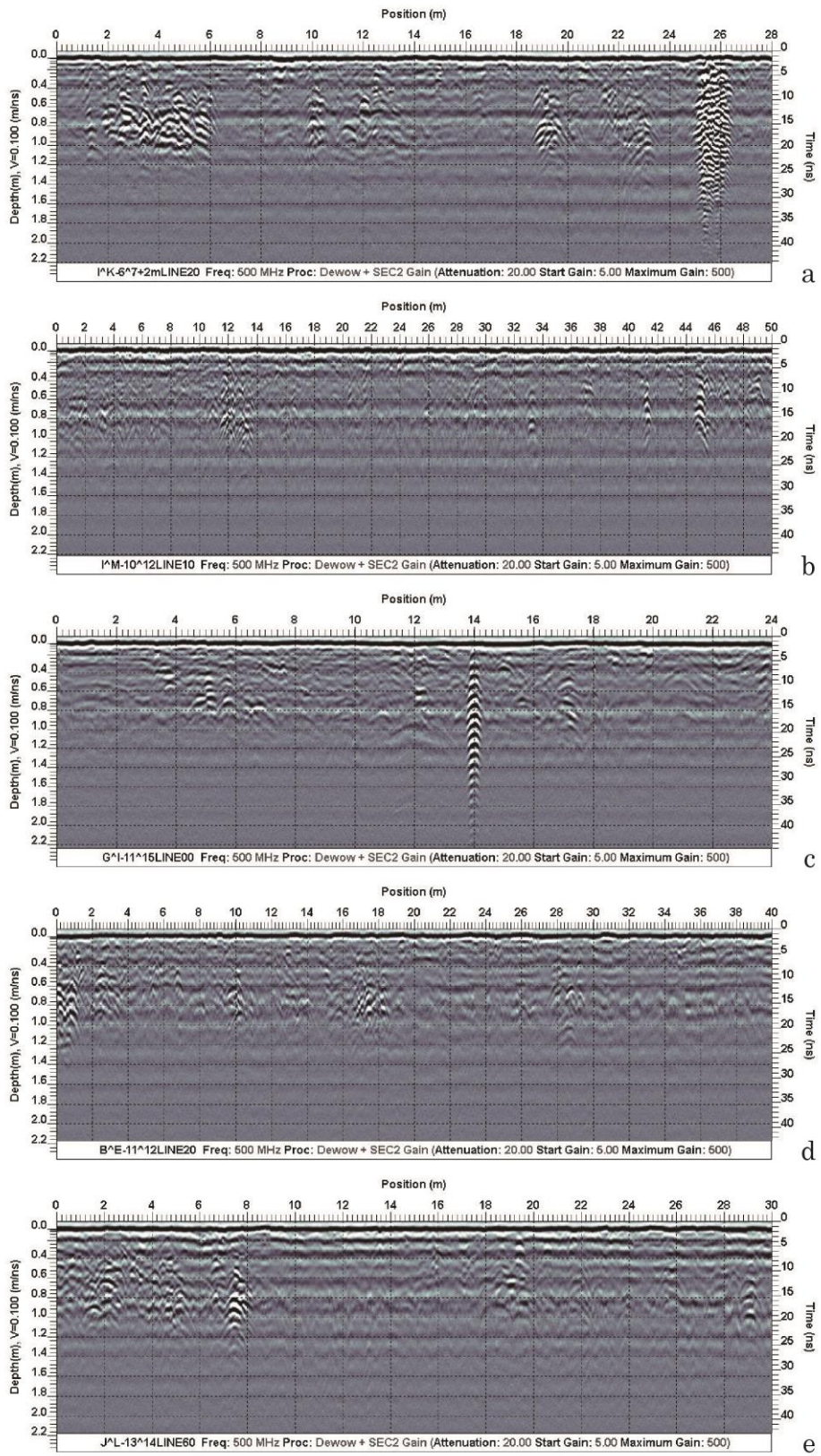
付図 1.2 ハッサンケイフ・ホユック遺跡中央部北側タイムスライス (地表下 0.60 - 1.20m)



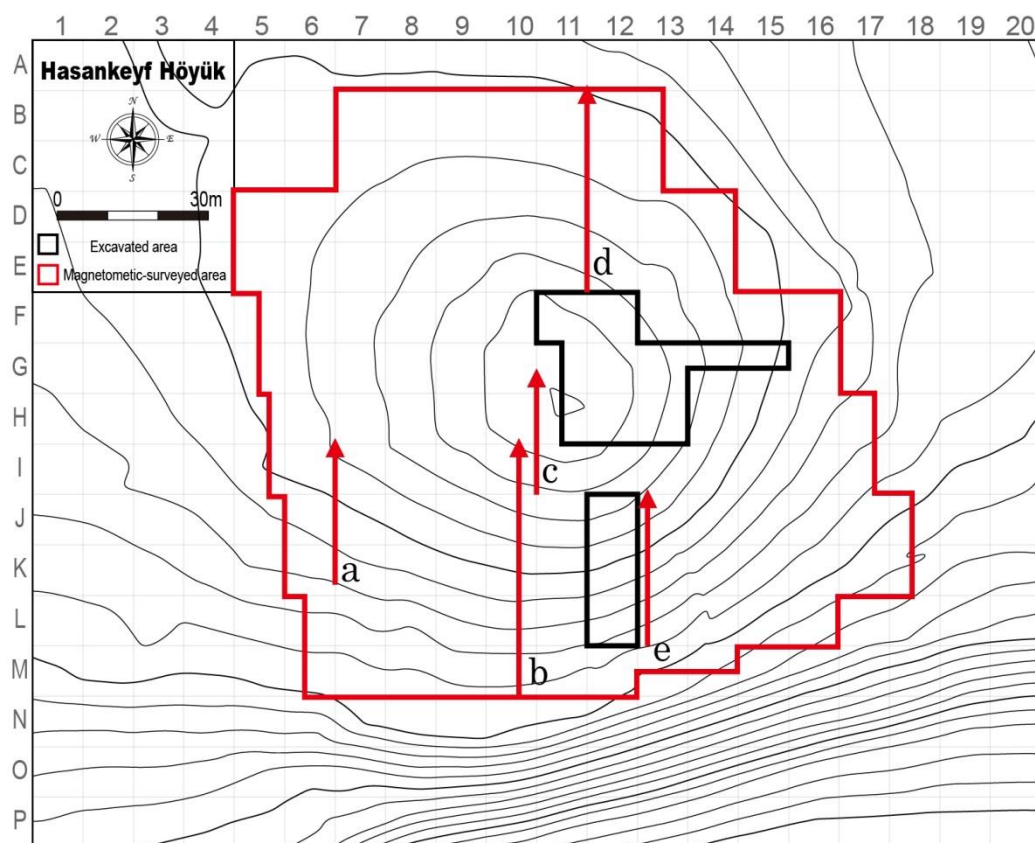
付図 2.1 ハッサンケイフ・ホヌック遺跡中央部南側タイムスライス (地表下 0.00 - 0.75m)



付図 2.2 ハッサンケイフ・ホユック遺跡中央部南側タイムスライス (地表下 0.75 - 1.20m)

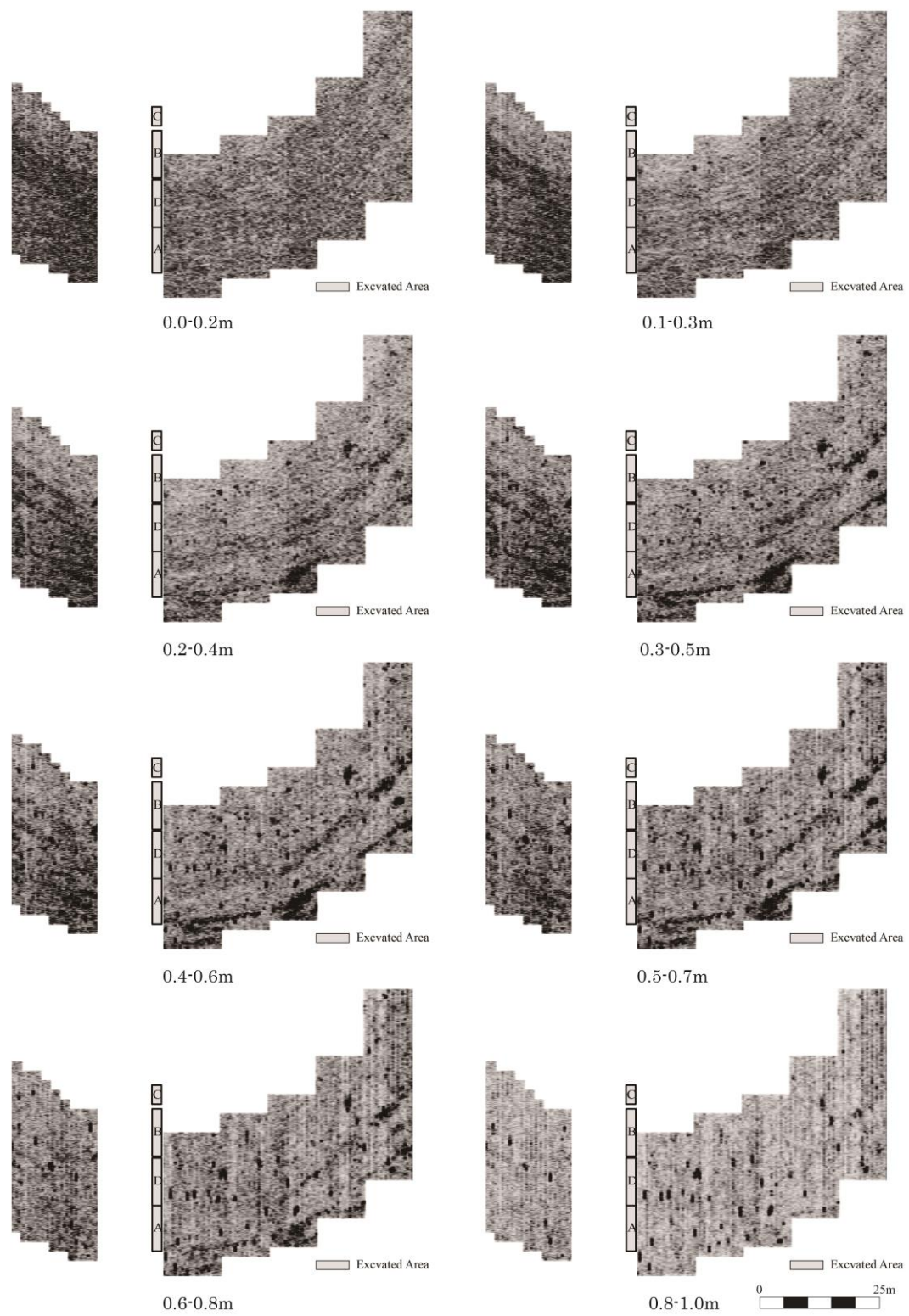


付図3 ハッサンケイフ・ホユック遺跡中央部地中レーダー疑似断面図

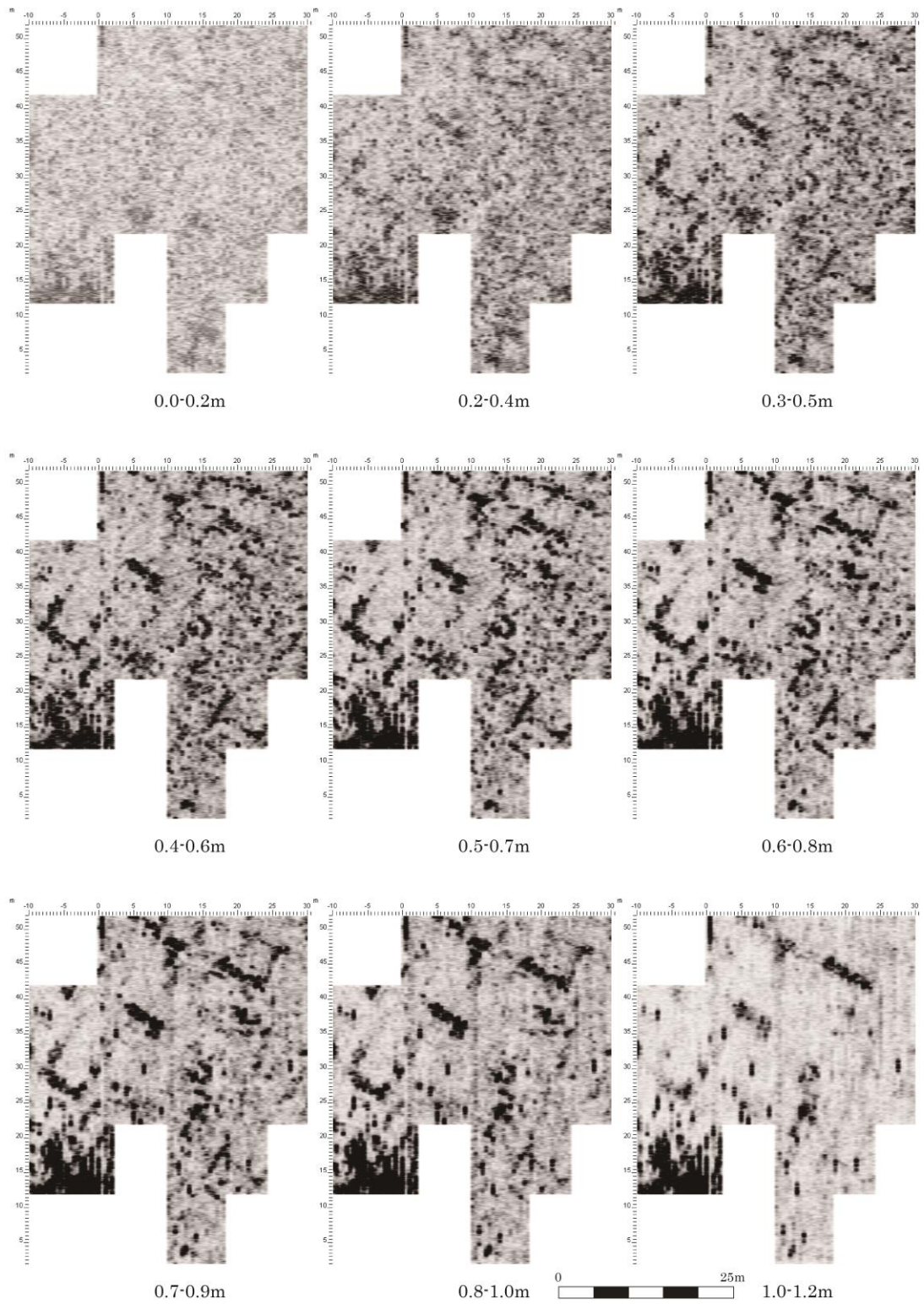


付図4 付図3で提示した各疑似断面図測線の平面位置*

※ 疑似断面図内の測線の位置情報（図中「Position」）は、全て本図の測線南端を 0m としている。また、それぞれの測線は、本論第5章第1節で言及した円形半地下式遺構と推定できる反射体の密集地点 (b, c)、テルの南西側及び南側に認められる反射体の存在する地点 (a, b, d)、またテルの北部の円形半地下式遺構の反射が明確に認められない地点 (e) を通る。



付図5 カラート・サイド・アハマダン遺跡南側斜面部タイムスライス
(地表下 0.0 - 1.0m, Tatsumi 2015: 44, Fig. 10.3)



付図6 カラート・サイド・アハマダン遺跡頂上平坦部タイムスライス
 (地表下 0.0 - 1.0m, Tatsumi 2015: 45, Fig. 10.4)