

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：84604

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24240111

研究課題名(和文) マルチチャンネル機器を利用した高速遺跡探査技術の開発

研究課題名(英文) Development of quick archaeological prospection methods by Multi-channel equipment.

研究代表者

金田 明大 (KANEDA, Akihiro)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・室長

研究者番号：20290934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：遺跡探査は我が国においてその有効性が認識されつつあるが、計測に時間がかかることが課題である。より迅速、高精度の計測をおこなうため、複数のセンサーを用いた機器による探査手法の検討をおこなった。地中レーダー探査では、礎石の形状確認などその有効性を確認でき、実際に遺跡において複数回の実践をおこなった。また日本の遺跡の環境に合わせた補助器具の改良などをおこなった。磁気探査でも同様の研究を進め、試験をおこなったが、実際の遺跡での利用が課題として残る。その他、電磁探査、電気探査、ハイパースペクトル画像などによる遺跡での試行をおこなった。

研究成果の概要(英文)：Archaeological prospection methods are one of the effective methods for archaeological studies. It have been recognized in Japan nowadays. However, they have some problems to utilize for rescue archaeology. In order to carry out measurement more quickly and highly accurately, we investigated the prpspection method using equipment using multiple sensors. We determined to GPR, Magnetic, Electromagnetic, resistivity, hyperspectral images, etc. We showed the effectiveness of the these methods on the sites.

研究分野：考古学

キーワード：遺跡探査 アレイ式 マルチチャンネル 地中レーダー 磁気探査 電磁探査

## 1. 研究開始当初の背景

物理的手法により地中の遺構の情報を取得する遺跡探査は、その確立に日本の研究者の成果が大きく寄与してきた。しかし、近年、欧州を中心とする複数の国々では、探査技術が遺跡調査の有効な手法として認識が深まり、利用の制度化による研究の進展や成果の蓄積が著しい。日本においても効果の浸透により実践と成果が急増しつつあるが、利用方法や人材不足などの課題も存在する。

発掘調査に比べ、人・時間・予算のコストが少なく、また遺跡の改変を伴わないという点で探査技術は有効であるが、遺跡の研究や保護に活用するためには、広範囲の多様な遺跡をより迅速かつ精緻に探査する必要がある。海外の例として、データの取得間隔を狭くして高解像度を得つつ、迅速な探査の実施を主眼に、マルチチャンネルあるいはアレイ式と呼称される複数のセンサーにより同時計測をおこなう手法が開発され、成果をあげている。

我が国においては、石や煉瓦といった明瞭な反応を示す物質で構成された遺構が少ないこと、木材による痕跡や土壌の差異をとらえることが必要であること、土地の区画が細かく分割されている地域が多いこと、水田などの軟弱な土壌の部分が多く存在すること、樹木や建物などにより、正確な位置決定に主に使用される RTK-GPS が必ずしも良好に使用できないこと、といった地域特有の課題が存在しており、既存の機器を導入・利用するだけでは不十分である。

このため、マルチチャンネル機器を導入し、日本の遺跡に合わせた機器の走査手法や作業行程の改良を通じ、非破壊的手法により精緻かつ迅速な遺跡の情報を得るための研究が必要と考えた。

## 2. 研究の目的

日本における遺跡探査は、非破壊的手法による遺跡情報の取得方法として導入が進んでいる。研究の進展と類例の増加により、遺跡範囲の把握、建物配置や古墳の内外施設の解明など、日本およびアジア圏における利用が大きく進展し、研究は実験的な段階から実用化段階に進んでいる。反面、広域の迅速な探査は従来センサー単体の人力による方法では限界がある。

本研究では、マルチチャンネルによる地中レーダーおよび磁気探査機を利用した高速遺跡探査技術の開発をおこなう。イタリアの研究例では数十分の一の時間・労力の短縮例が示されたが、日本においては遺構が異質な土の差異として把握され、石造建築物中心の海外例に比べ困難が予想され、独自の研究が必要である。東日本大震災をはじめ、迅速な文化財調査手法としての遺跡探査の必要性が高まっており、これらに寄与する研究を推進する。

## 3. 研究の方法

### (1) マルチチャンネル地中レーダーによる日本の遺跡条件に適合した探査法の開発

地中レーダー (GPR) は土と土の差異の認識が必要な日本の遺跡において柱穴の確認といった詳細な遺跡情報の取得が可能であり、遺跡探査の有効性を広げた。このため、利用頻度が極めて高く、また深さ方向の情報の取得が可能であることから、発掘調査や遺構の保全に効果的な技術である。反面、実用化に向けた更なる課題として、迅速化と位置精度の向上があげられる。現在日本国内で実施している探査手法は単独のアンテナを 0.5m 間隔で一本毎に人力によって走査する方法であり、作業者の体力や、走査の数倍の時間を要する測線設定が迅速化の阻害要因になっている。迅速化のため、測線を交互に走査することによる走査測線上での位置記録のずれや視認や距離計による人為的な誤差に起因する計測時の位置精度の悪さが本来取得できている情報を評価できていない原因と考えた。これらの問題を解決するため、並列にアンテナを複数配置したマルチチャンネル地中レーダーの導入をおこなう。これを用いることで、等間隔のアンテナを安定的に走査することが可能になり、また測線間のずれを大幅に解消することが可能である。

しかし、地形の凹凸や効果的な測線の展開など、従来の機器をただ運用するだけでは、遺跡の情報を十分に把握できないことが予想され、安定した走査を可能とする治具の開発などが必要となった。これに対してレーダー用そりの作成と改良など、これらの向上に努める。連携研究者は長年走査方法の改良や機器の開発の経験があり、申請者と共同でこれらの作業をおこなう。

### (2) 複数機器による位置精度の向上と汎用的な記録法の開発

位置精度向上のために既に導入しているネットワーク型 RTK-GPS や赤外線追尾式トータルステーションに加え、小範囲用位置決定システムなどを活用することで mm 精度での位置決定を可能とする。海外例は GPS による位置決定が主であるが、日本をはじめ東アジア各地においては森林や市街地内での探査が必要なことも多く、GPS による位置決定が難しい環境にも対応する必要があり、複数の位置決定手段を選択できる状況にあることが望ましい。

現状においては NMEA 等、GPS に対応したフォーマットによる位置情報の取得と利用がおこなわれているが、他の機器でも同様に利用が可能で、互換性を伴う汎用的な記録法の開発を目標に当該年度より検討を開始する。これには、時間による位置合わせが最も簡便であり、有力な方法であるが、計測に関する研究者との連携も含めて検討をおこなう。

### (3) 走査方法の改良と実践

走査の機械化をはかるため、不整地走行車やワイヤージャッキによる巻き上げにより走査の機械化と迅速化を達成する。これらの実験を既存の機器および借用により実施し、多様な条件において有効な機器を選定し、その利用についての情報と実績を蓄積する。

当該年度から導入が期待されている東日本大震災罹災地についても、その有効性を検証する為、関連する自治体・大学との連携のもと積極的に実地試験をおこなう。

### (4) マルチチャンネル磁気探査機器の導入と探査法の開発

磁気探査はヨーロッパを中心に利用が進んでいる探査技術であり、数多くの実績がある。反面、日本においては主な対象を窠業生産遺跡や鉄製品の確認といったものに限定的におこなうことが多い。これらは土壌条件など、日本の遺跡を取り巻く環境に依存していると考えられてきた。

しかし、平城宮東大溝における探査実験では大溝をはじめ複数の遺構による異常部が確認されている。また、備前南大窠、美山薩摩焼窠での探査では、連房式登窠の構造を考えることが可能な詳細な情報取得ができることが明らかになった。今後、日本においても多様な遺跡に積極的に導入が期待される。既存の調査においては比較的範囲が狭い対象への探査が中心であり、作業の迅速化や測点の高密度化はそれほど意識されていなかったが、今後、多様な遺跡への利用を進め、その有効性を高めるためにはこれらの側面に着目した研究と実践が必要である。

このため、磁力計を2～4台と複数配置したマルチチャンネル磁力計を導入し、遺跡への実践と有効性の検証をおこなう。位置精度については地中レーダーと同様、複数の位置決定手段を利用して向上をはかる。

### (5) 探査の実践と方法の改良

実用化を視野に入れた研究においては、技術は机上だけではなく、実践を通じて洗練する必要がある。

申請者は平城宮・京を中心に、各地の依頼に応じて探査を年間数十件実施しており、その性格も多種多様に及ぶ。これらは、個々の遺跡の保護に向けた事由に対する解決策を生み出すだけでなく、各地の土壌をはじめとする探査条件の共有や遺跡の性格に応じた探査方法の洗練のための研究としての側面を必ず組み込んでおり、本研究の実践についても同様に多様なフィールドで行うことが可能である。

探査の試験については若手研究者や大学院生・大学生を中心に補助者として協業し、新たな発想による探査の効率化をはかると共に、次世代の研究者を養成する。

### (6) 研究会・WSの開催

遺跡探査に興味のある、また必要のある自治体研究者、学生を中心とした研究会およびワークショップを開催し、技術の周知と利用の促進をはかる。

### (7) 出版物の刊行

技術の普及については、出版物の刊行の果たす役割も大きい。今まで申請者は地理情報システム (GIS) および三次元計測についての解説書を出版してきた。探査については既に解説書が存在するが、文化財研究側からの視点による出版物の刊行を期待する声が文化庁をはじめ強く存在することも事実である。このため、研究会やワークショップの成果もあわせて普及目的の書籍と事例集を刊行する準備をおこないたい。

## 4. 研究成果

### (1) マルチチャンネル地中レーダーによる日本の遺跡条件に適した探査法の開発

遺跡に実績のあるマルチチャンネル地中レーダーについて導入をおこなった。試験的な探査により、従来の成果と比較しても迅速かつ詳細なデータの取得が可能であることがわかり、有効性を実証できた。反面、機材の大型化により、そのままでは日本の遺跡においては対象が制限されるなど、克服すべき課題も明らかとなった。



図1) 地中レーダー試験 (東大寺西塔)

これを受けて、(2) および(3) の検討により、日本の狭く複雑な地割や植生の発達している箇所でも利用可能なそりなどの補助移動器具と GPS による位置情報決定により、高速化と迅速化をはかった。

### (2) 複数機器による位置精度の向上と汎用的な記録法の開発

位置精度の手段として、RTK-GPS、TotalstationそしてSLAMの利用を試みた。

この内、RTK-GPS については高精度で詳細な記録が可能であることが明瞭となり、実際に現地における作業を複数回おこない、その実用性を評価することができた。また、機器の導入コスト削減手段として廉価型のRTK-GPSの導入試験をおこない、従来の測量用GPSと比べても、探査には十分な精度を有



図 2) RTK-GPS の利用

していることを明らかにした。これについても試験をおこない、利用可能な手法として提案が可能であることを示した。

Totalstation については対応している機材を導入しているが、日本へのローカライズによるデータ出力の問題で現状有効には動いていない。メーカーの対応を進めているが、研究期間中には達成できなかった。

SLAM については、小型カメラによる SfM 手法でのトラッキングを検証し、利用が可能であることを示した。後処理スタティック解析による位置情報とそれの探査データへのリンクが可能となれば、利用が可能になると考える。また、LiDAR によるトラッキングも試みているが、実用化まではいたらなかった。

### (3) 走査方法の改良と実践

複数のアンテナを使用するため、探査機材は大きくならざるを得ない。欧州などにおいては、多チャンネルの地中レーダーは車により牽引する方法で探査をおこなうことが一般的であるが、これは、広大な牧草地など広い土地の区画と平坦な地形が対象地として多いことがあげられる。

反面、日本においては、水田や畑などが小規模で複雑に区画された場所が多く、またこれらの場所は車の走行が難しいことが多い。このため、これらの環境に対応した小回りのきく機器への改良が必要と考えた。また、遺構が主に木製であることから、遺構の識別は基盤となる土層と柱が腐朽したり、また立てるため、抜き取るために掘られた穴の中の土層との対比によっておこなわれるため、より



図 3) GPR 用そりの製作と試験

安定して地表に密接する機材を開発する必要があった。このため、従来のレーダー探査でも実績のあるそりを複数製作、改良した。

### (4) マルチチャンネル磁気探査機器の導入と探査法の開発

マルチチャンネルの磁気探査機を導入し、試験をおこなった。研究の途中で、複数のプローブを制御可能なシステムの有効性が確認できたため、当初の予定を変更して、これらのセンサーの試験もおこなった。



図 4) 磁気探査試験風景

### (5) 探査の実践と方法の改良

これらの開発機器による実証試験を平城宮、東大寺、宮滝遺跡、五塚原古墳、井寺古墳、小坂大塚古墳、塚原古墳群、鞠智城などの各遺跡で試験をおこない、その都度成果の評価と、機材や操作方法の改良を実施した。

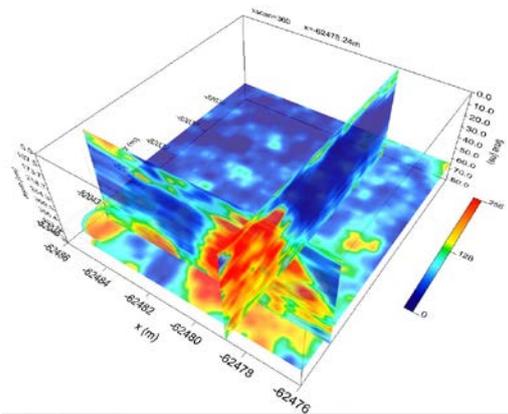


図 5) 井寺古墳の探査成果



図 6) 三深度電磁探査機の試験

また、電磁探査機、比抵抗探査、マルチスペクトルカメラによる判読といった手法のテストをおこない、成果について比較をおこなった。

#### (6) 研究会・WS の開催

当初予定していた大規模な研究会の開催はできなかったが、鞠智城において実地の作業を含めて熊本県下および周辺自治体の職員および学生の参加によるワークショップをおこなった。

#### (7) 出版物の刊行

普及のための書籍として、『地中レーダーを応用した遺跡探査』（東北大学出版会）、『遺跡をさぐり、しらべ、いかすー奈文研 60 年の軌跡と展望ー』（クバプロ）といった解説書を執筆、刊行した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

①金田 明大 地中を覗くー遺跡の物理探査 月刊測量 査読無  
巻 : 2016-3 ページ : 28-29

② Akihiro KANEDA, Kazuhiko Nishiguchi, Yama NAWABI, Yoshiro WATANABE.  
Archaeological prospection of kiln sites in the Samurai era.  
Archaeologia Polona 査読有  
巻 : 2015-53 ページ : 299-303

③ 金田 明大 アレイ式探査機による遺跡探査迅速化の試行 日本文化財科学学会第 30 回大会研究発表要旨集 査読有  
巻 : 2013-30 ページ : 113-114

〔学会発表〕(計 11 件)

① Akihiro Kaneda, Kazuhiko Nishiguchi, Yama Nawabi,

Yoshiro Watanabe  
Archaeological prospection of kiln sites in the Samurai era.  
International Society for Archaeological Prospection  
Warsaw National University  
2015-09-13

② Fumito. Chiba, Shin. Yokoyama, Akihiro. Kaneda, Koichi. Konno  
DEVELOPMENT OF NETWORK-TYPE ARCHAEOLOGICAL INVESTIGATION SYSTEM  
The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences  
中国科技大学 2015-08-31

③ 金田 明大 ナワビ矢麻 西口和彦 石松智子 長江真和 複数探査手法を用いた可児市大萱古墳跡弥七田窯の検討 日本文化財科学会 東京学芸大学 2015-07-11

④ 金田 明大 ナワビアハammad 矢麻 今城未知 レーダー探査を用いた千葉県山武市・大堤権現塚古墳、旭ノ岡古墳の調査・研究 日本文化財科学会 東京学芸大学 2015-07-11

⑤ 金田 明大 遺跡をみる、まもる沢山の目けいはんな情報通信フェア 2014 けいはんなプラザ 2014-11-08

⑥ 金田 明大 長江真和 西口和彦 ナワビ矢麻 今城未知 可児市大萱古墳跡における探査と発掘の連携 日本文化財科学会 奈良教育大学 2014-07-05 - 2014-07-06

⑦ 金田 明大 ナワビ矢麻 今城未知 九十九里地域における古墳のレーダー探査 日本文化財科学会 奈良教育大学 2014-07-05 - 2014-07-06

⑧ 金田 明大 アレイ式探査機による遺跡探査迅速化の試行 日本文化財科学会 弘前大学 2013-07-07

⑨ 金田 明大 震災復興に伴う遺跡調査への計測技術の利用に向けて デジタル写真測量利用促進の会 DP ユーザー会 日本測量会館 2013-04-15

⑩ 金田 明大 土の中の文化財を測るー日本の遺跡調査と測量・計測技術のこれからー第 30 回地理空間情報イブニング・セミナー 日本測量協会測量会館 2012-11-06

⑪ 金田 明大 掘らずに土の中をみるー遺跡探査の応用と成果ー 奈良文化財研究所 創立 60 周年記念特別講演会 遺跡をさぐり、しらべ、いかす 一橋大学一ツ橋講堂

〔図書〕（計 3 件）

①佐藤 源之・金田 明大・高橋 一徳 東北大学出版会 地中レーダーを応用した遺跡探査 GPR の原理と利用、2016、196

②金田 明大 奈良文化財研究所、埋蔵文化財ニュース vol. 152 災害時における奈良文化財研究所の支援、2013、32

③金田 明大 遺跡をさがり、しらべ、いかすー奈文研 60 年の軌跡と展望ー クバプロ 2013、179

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金田 明大 (KANEDA, Akihiro)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・遺跡・調査技術研究室長

研究者番号： 20290934

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

西村 康 (Yasushi, Nishimura)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員

研究者番号： 80000488

山口 欧志 (Yamaguchi, Hiroshi)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・アソシエイトフェロー

研究者番号： 50508364

### (4) 研究協力者

西口 和彦 (Nishiguchi, Kazuhiko)

中村 亜希子 (Nakamura, Akiko)

石松 智子 (Ishimatu, Tomoko)

八尾 純子 (Yao, Junko)