

戦略的国際科学技術協力推進事業
日本－米国 研究交流
研究課題
「地中レーダ(GPR)による高精度地下 3 次元可視化」

研究終了報告書

研究交流期間 平成 2 0 年 1 月～平成 2 3 年 3 月

研究代表者：佐藤 源之
(東北大学 東北アジア研究センター、教授)

1. 研究・交流の目的

本研究は、地中レーダ(GPR:Ground Penetrating Radar) のシステム開発により、建物や道路、橋、トンネル、ダムなどの構造物の高精度 3 次元計測技術、並びに壁面内部の可視化技術の確立を目的とする。具体的には、日本側の有する地雷探査用 GPR 装置の技術と米国側の有する 4 次元計測可能な RLPS (回転レーザポジショニング装置) 付き GPR 装置の技術を元に、不整合表面にも対応可能な、①地下計測用小型 GPR システム及び②構造物検査用小型 GPR システムの開発を目指す。

本共同研究で日米が交流を通じて相互的に取り組むことで、適応性が高く自由な位置での壁面、物体内部可視化技術の進展が期待される。

2. 研究・交流の方法

本研究はマイアミ大学グループが基本的に開発を行った 3 次元地下可視化システムである 3D GPR を導入し、地中レーダ(GPR)計測の経験が豊富な東北大学グループが多方面の応用を行う事でその可能性を追求した。

システム導入に当たり、東北大学メンバーがマイアミ大学に滞在し、システムの基本動作を習得した後、マイアミ大学研究者が東北大学に滞在し、システムの動作検証を行った。

両グループは、それぞれ独自に多くの目的に対してシステムの応用を展開したが、東北大学が準備した模擬地雷をマイアミ大学の敷地に埋設し、共同での評価試験も実施した。

研究開始時には、安全・安心分野での応用を主として考えていた。人道的地雷検知技術については、上記実験でも一応の成果が上げられたが、同時に実施していた別の研究で小型 GPR の実用化が進んだため、本研究では不整地での高度な GPR 利用に、やや目的を修正した。

特に墳丘などの上部での遺跡調査など、従来ではイメージングが極めて難しい対象へ、本システムを数多く適用し、多くの成功例を示すことができた。東北大学では宮崎県西都原古墳、埼玉県さきたま古墳において、遺跡を目的とした 3DGPR 計測を行った。これらの計測も、上記の結果を利用し、従来より低い周波数の地中レーダを利用することで、電波がより地下深部まで浸透する性質を利用しながら、3DGPR 計測により、精度の高い画像化を実現した。

また環境問題への応用をめざしエジプトでの実験を行い、地下水流動のモニタリングが可能なことを実証した。

宮崎県西都原古墳では地下 1.5m から 3m に存在する地下式墓地の形状を明瞭に画像することに成功した。また墳丘の頂上部の、従来の地中レーダでは計測が難しい状況で 3DGPR 計測を実施し、古墳頂点から 2m ならびに 3m 付近に存在する 2 つの石室を発見することに成功したなど、多彩な成果をあげるに至った。

3. 研究・交流実施体制

3. 1 日本側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) 佐藤 源之	東北大学	教授	工学博士	総括
渡辺 学	東北大学	助教	博士（理学）	実験総括
横田裕也	東北大学	助教	博士（工学）	実験総括
Andrey Klovov	東北大学	教育研究支援者	Ph. D	信号処理
Zhao Weijun	東北大学	教育研究支援者	Ph. D	信号処理
城戸 隆	東北大学	産学官連携支援者	工学博士	シテム設計
Mahmoud Gaba lla	東北大学	大学院博士課程 学生	修士	実験ならびに応 用解析
Ahmed Gaber	東北大学	大学院博士課程 学生	修士	実験ならびに応 用解析
松本 正芳	東北大学	大学院博士課程 学生	修士	実験ならびに応 用解析
Khamis Kabeel Ali Mansour	東北大学	大学院博士課程 学生	修士	実験ならびに応 用解析
Chen Siwei (陳 思偉)	東北大学	大学院博士課程 学生	修士	実験ならびに応 用解析
Zhang Yongxi (張 栄喜)	東北大学	研究所等研究生	学士	実験ならびに応 用解析

3. 2 相手国側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) Mark Grasmue ck	マイアミ大学	助教授	Ph.D	総括
David Viggiano	マイアミ大学	ポスドク研究員	Ph.D	処理ソフトウエ ア
Juerg Hunziker	マイアミ大学	大学院学生	修士	ハードウェア
Pierpaolo	マイアミ大学	大学院学生	修士	システム評価

4. 研究成果

4. 1 研究成果の自己評価

- ☒ 計画以上の成果がでた ☐ 計画通りの成果がでた
☐ 計画とは異なるが有益な成果がでた ☐ 計画ほどの成果はでなかった
☐ いずれでもない

4. 2 研究成果の自己評価の根拠

- 東北大学における 3D GPR に必要な最低限のハードウェア整備が終了し、基本的なデータ取得とデータ表示に成功した。東北大学では 3DGPR のシステムの導入により、従来と同一の地中レーダを利用した場合、3DGPR の導入により格段に小さな埋設物を精密に計測可能なことを実証した。従来、埋設物の検知精度は使用する周波数帯域で決定されるレンジ分解能が重要なパラメータと考えられてきたが、実際の計測では計測位置によって決まるアジマス分解能が極めて重要な事を示しており、地中レーダにこうした概念を導入することに成功した。
- 東北大学とマイアミ大学が協同で実施した地雷検知実験については、中心周波数 500MHz の GPR 装置を利用した計測によっても、直径 8cm 程度の PMN-2 型模擬地雷の検知に成功し、形状を明瞭に判断できることを示した。従来、対人型地雷は 1GHz-3GHz 程度の帯域を利用しなければ形状判断が難しかったのに対し、位置制御の精度を向上させることにより、非常に鮮明なイメージングが可能となることを実証できた。学術的には、周波数帯域で決まるレンジ方向の分解能がレーダの画像化精度を決めると考えられてきたが、アンテナ走査に伴う、アジマス方向の精度向上が、レーダの画像化精度に大きく影響していることを見いだした物であり、従来とは異なる新たな知見である。
- 更に、東北大学では宮崎県西都原古墳、埼玉県さきたま古墳において、遺跡を目的とした 3DGPR 計測を行った。これらの計測も、上記の結果を利用し、従来より低い周波数の地中レーダを利用することで、電波がより地下深部まで浸透する性質を利用しながら、3DGPR 計測により、精度の高い画像化を実現した。この結果、宮崎県西都原古墳では地下 1.5m から 3m に存在する地下式墓地の形状を明瞭に画像することに成功した。また墳丘の頂上部の、従来の地中レーダでは計測が難しい状況で 3DGPR 計測を実施し、古墳頂点から 2m ならびに 3m 付近に存在する 2 つの石室を発見することに成功した。
- 本研究の成果を東北大学ではガス管など埋設管の立体的な計測に応用できることを示した。
- 本研究の成果を東北大学では樹木の根の形状計測に利用できることを示した。これは、樹木の地表部だけではなく地中部のバイオマス定量評価につながる新しい提案である。
- 東北大学ではさきたま古墳での計測を引き続き行っているほか、奈良・明日香村での計測を行い、開発した手法を社会的貢献に利用することを積極的に試みている。
- 本研究を通じて、高精度な位置情報を利用できる地中レーダ装置により、これまでの地中レーダ計測では実現できなかった極めて明瞭な地下の可視化が可能であることを広く示すことができた。NHK テレビでの放映から、技術の応用の申し入れが来るなど、研究の広がりにつながっている。
- 一方、今回利用している装置は、非常に効果であり、また操作にも極めて専門的な技術を要する上、計測時間も通常の計測よりかかるという問題点が明らかになっている。極めて高品質のデータを得るための代償とも言えるが、本技術をより一般的に活用するためには技術のダウンサイジングが求められており、科学研究費補助金での計測を予定している。

5. 交流成果

5. 1 交流成果の自己評価

- ☐ 計画以上の交流成果がでた ☒ 計画通りの交流成果がでた
☐ 計画ほどの交流が行われなかったが成果はでた
☐ 計画ほど交流成果がでなかった
☐ いずれでもない

5. 2 交流成果の自己評価の根拠

- 研究者同士は、互いの研究機関を相互訪問し、研究グループとしての交流を深めた。共同実験を通じ、学生を含めた研究交流を深めた。
- 国際会議での共同論文発表を数件行った。
- 2009年3月に開催した安全・安心セミナー 電磁波で拓く安全・安心のためのセンシング技術では、我が国における電波技術による安全・安心分野での利用について俯瞰的な講演が行われた。
- 2009年10月に実施した第10回 地下電磁計測ワークショップでは、我々の開発した3DGPRを含め、最新の地中レーダー技術に関する情報交換が行われた。
- 相互訪問により、互いの研究ループにおける発展的な研究活動についての理解が深まり、更に次の研究への進展について準備を開始している。

5. 3 交流成果の補足

6. 主な論文発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	Mahmoud Gaballah, Mark Grasmueck, and Motoyuki Sato, High Resolution 3D GPR Applied to Archaeology for Characterizing Accurate Subsurface Structure, Processing of the 119th SEGJ Conference, The Society of Exploration Geophysics Japan, (2008)]	
論文	M. Sato, A. Gaber, Y. Yokota, M. Grasmueck and P. Marchesini, "CCD Camera and IGPS Tracking of Geophysical Sensors for Visualization of Buried Explosive Devices". Proceeding of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), IEEE Xplore, 974 p, 2010.	
論文	佐藤 源之、電波科学による減災:地中レーダによる地雷検知から見えること, 信号処理シンポジウム, 奈良, 2011 年 11 月	招待 講演