

氏名	いずみ よしのり 泉 吉紀
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	富理工博甲第104号
学位授与年月日	平成28年3月23日
専攻名	理工学教育部(地球生命環境科学専攻)
学位授与の要件	富山大学学位規則第3条第3項該当
学位論文題目	レーダによる雪氷および地中の構造の計測とその応用 研究
論文審査委員 (主査)	清水 正明 酒井 英男 堀川 恵司

レーダによる雪氷および地中の構造の計測とその応用研究

Investigation of the internal structure of snow and underground with ground penetrating radar

地球生命環境科学専攻
泉 吉紀

非破壊の調査法である物理探査において、地中レーダ（Ground penetrating radar : GPR）は、浅層での探査に利用されている。本研究では、物性が比較的一様な雪氷を媒体とする研究により GPR 探査の有用性を高め、雪氷および地中の浅部構造に関する応用研究を行った。

1.積雪構造と雪氷が関係する自然災害の研究

人工雪で GPR 反応を検討後、富山県立山の室堂等での融雪期の雪を研究した。積雪深 5m までの広範囲の堆積構造が求まり、吹きだまり、融雪の開始や水みちの形成過程など、雪氷学の重要な事象が明らかになった。低温室での研究を併用する GPR 探査は雪崩の研究でも活用が期待される。

長野県北部地震（2011 年 3 月）の際、新潟県津南町で雪崩と土砂崩壊が同時に発生し、土中の雪が融雪による二次土砂崩壊につながる為、その研究が必要とされた。土中の雪氷でのモデル実験を基に、GPR 探査により崩壊土中の雪の検出に成功し、掘削で検証した。その後の継続探査から、崩壊土の雪は 1 年以上も残ると示され、融雪に伴う土砂崩壊の対策に、有用な研究法が開発できた。

積雪地の火山噴火では、噴出物が雪を融かして堆積物と混合する融雪泥流が発生する。岐阜県の焼岳で紀元前後の噴火で生じた火砕流起源の火山堆積物を研究した結果、探査により融雪泥流を判別でき、更に角礫の熱残留磁化から、融雪泥流の発生過程が判明した。GPR 探査と磁化調査の併用は、積雪地での火山噴火による融雪泥流やハザードマップの研究でも活用できる。

2.土木分野での GPR の新たな利用

地震時の震動や液状化による構造物の被災は多い。港湾空港技術研究所の大規模震動発生装置と、小樽市で実施された人工地震を利用して研究を行った。地震動による堤防被害の研究では、震動後の堤防内に多くの亀裂の GPR 反応を認め、人工地震では、液状化による地中の緩

みや噴砂の反応が示された。探査結果は掘削で確認され、地震時の構造物や地中の破壊と液化の研究における GPR の有用性が証明された。

研究が殆ど無い河床での GPR 探査を富山市の神通川流域で行い、河床面と数 m 深部までの堆積状況が把握できた。GPR は、洪水時の土砂移動等、河川工学でも活用が期待される。旧神通川流域の今市遺跡で見つかった洪水堆積物では、磁化の研究で年代が求められ、神通川で大正 3 年に起きた氾濫被害痕と判明した。堆積物の磁化による、洪水や河床の年代研究が可能となった。

3.遺跡と文化財での GPR 探査の研究

GPR 探査は考古学でも有用で、発掘との比較から探査法の改良にもつながる。富山県高岡市の史跡“前田利長墓所”の探査では、推測されていた御廟内の空洞や区画構造は認められず、土盛による段築の基壇と貼石の構造が示された。周囲の土塁や堀跡も確認でき、前田墓所に関する重要な情報が得られた。発掘が制限される史跡では、GPR 探査と一部掘削を併せる研究が必須である。

殆ど例の無い壁面からの探査を建築研究所の擁壁試験体で行い、有用性の確認と方法の改良後、富山県・黒部川で江戸時代にかけてられた日本 3 大奇橋の一つ“愛本刎橋”跡の調査に適用した。

岩盤からの探査で刎木の埋込み跡が認められ、文化財科学の貴重な成果となった。また史跡・高岡城跡では、築城時の遺構である本丸土橋において、石垣の探査を行い、土橋は堀を作る際に残されたのではなく、一旦堀を掘削後に構築されたこと、複数の施工等の重要な知見が得られた。壁面からの探査は、考古学でも活用できる研究法となる。

特別天然記念物・魚津埋没林の指定地では、GPR 探査により、深度 2.5-3m の地中に多くの埋没林の存在を明らかにできた。更に天然記念物指定地外で、探査結果を基に掘削した結果、樹根を検出し、GPR が埋没林の研究に有用と確認された。魚津埋没林の発見は 26 年ぶりであるが、採取した樹根は予察的に約 3 千年前の 14C 年代を示し、従来の年代観とは大きく異なっており、今後の魚津埋没林の研究を発展させる成果が得られた。

本研究では、非破壊の地中レーダ探査の有用性を、雪氷を対象とした実験と野外調査で高め、そして雪氷と地中の浅部構造に関する課題に適用し、多くの重要な成果を得ることができた。

【学位論文審査の結果の要旨】 地球生命環境科学専攻 2016年3月修了 泉吉紀

当審査委員会は、申請論文「レーダによる雪氷および地中の構造の計測とその応用研究」を査読し、2016年2月19日の学位論文公聴会で精細な質疑応答を行った。以下に審査結果の概要を記す。

非破壊の調査法である物理探査において、地中レーダ（Ground penetrating radar: GPR）は、浅層での探査に利用されている。申請者は、物性が比較的一様な雪氷を媒体とする研究により GPR 探査の有用性を高め、雪氷と地中浅部の構造に関する応用研究を行った。

1. 積雪構造および雪氷が関係する自然災害の研究

人工雪を用いた実験で GPR による反応を検討後、立山室堂等における融雪期の雪を研究した結果、積雪深 5m までの広範囲の構造が解析された。更に、融雪過程や水みち形成を含めて、雪氷学の重要な事象の三次元構造が求められる等、低温室での実験を併用した、雪氷学に有用な GPR の研究法が開発された。

積雪期の地震により雪崩と土砂崩壊が生じる複合災害では、被災後に土中の雪の融雪に伴う二次的な土砂災害が懸念されている。長野県北部地震（2011年3月）の際に新潟県津南町で起きた雪崩と土砂崩壊の災害地において、土中の雪に関する実験を踏まえて GPR 探査を行った結果、崩壊土の 1m 以上深部に雪を検出し、掘削により雪の存在を検証した。その後の探査から、崩壊土中の雪は 1 年以上も残ることも明らかになった。GPR 探査が融雪による土砂災害対策の為の有効な調査法となることが示された。

積雪地の火山噴火では、噴出物が雪を融かして甚大な融雪泥流の被害が発生する。申請者は、岐阜県・焼岳で火砕流が起源となった堆積層について、融雪泥流起源の堆積物を GPR で判別し、更に磁化調査から、その発生過程と分布を明らかにした。GPR 探査と磁化調査の併用は、積雪地の火山噴火に伴う融雪泥流やハザードマップの研究でも、今後の活用が期待される。

2. 土木分野での GPR の新たな利用

地震時の震動や液状化による建造物の被害は多い。申請者は、国土交通省・港湾空港技術研究所の大型震動発生装置と人工地震を用いて研究を行った。地震動による堤防被害の実験では、堤防内部に生じた亀裂が GPR で検出でき、人工地震で生じた地中の液状化跡や噴砂も GPR で認められた。探査結果は掘削で確認され、地震による建造物や地下の破壊状況の調査での GPR の有用性が証明された。また従来、研究が殆ど無い河床堆積物の探査を富山市の河川で行い、河床面と数 m 深部までの堆積状況が把握できた。洪水時の土砂移動等、河川工学での GPR の有用性を明らかにした。

3. 遺跡と文化財での GPR 探査の研究

GPR 探査は考古学でも利用が期待されている。申請者は、富山県高岡市の史跡“前田利長墓所”の探査を行い、御廟内には伝承されている空間や上下段の境界は無く、基壇と貼石からなる構造であることを明らかにした。その周囲の土塁や堀の跡も確認し、文化財研究の重要な成果となった。発掘が制限される史跡では、GPR 探査と一部掘削を併せる研究が必須の調査方法となる。

また GPR の新規研究として壁面からの探査を考え、建築研究所の擁壁での実験を踏まえて、黒部川に数百年前に構築された“愛本刎橋:日本3大奇橋”跡の調査に適用した。岩盤の壁面から探査を行い、明治期の工事跡と共に、その奥に、刎木の埋込跡を見つける成果を得た。史跡・高岡城跡では、築城時の遺構として重要な本丸土橋について、石垣から探査を行い、土橋は堀の掘削時に残されたのではなく、掘削後に構築されたことや、複数の施工跡等の重要な知見を得た。申請者が考えた壁面からの GPR 調査は、新たな探査の研究法として今後の利用が期待される。

更に、申請者は、特別天然記念物・魚津埋没林の指定地において、GPR 研究により、深度 2.5-3.5m の地中に、未確認の多くの埋没林が存在することを明らかにした。そして一部地域で、探査結果を基に掘削を行った結果、26年ぶりに埋没林の樹根が発見された。しかし、その予察的な 14C 年代は

約3千年前を示し、従来の年代観（約1500年前）と大きく異なった。GPR探査および年代と土壌物性の調査結果は、特別天然記念物・魚津埋没林の研究を飛躍させる成果となっている。

申請者は、非破壊の地中レーダ探査の有用性を、雪氷を対象とした実験と野外調査で高め、雪氷および地中の浅部構造に関する諸研究で多くの重要な成果を挙げた。また、当該技術手法の雪氷・地震・火山等の複合災害での有用性、河川工学、考古学等の学際分野での応用、新たな手法開発を含めて、今後の発展を期待できる成果も多い。

以上の成果に鑑み、当審査委員会は、本論文が博士の学位を授与するに値するものと認め、合格と判定した。