

地中レーダを用いた浅層地下イメージング：序論

七山 太¹⁾・高倉 伸一²⁾・村上 文敏¹⁾・宮田 隆夫³⁾

1. はじめに

地中レーダ(GPR)は、電磁波を地中に放射し、電気物性の異なる物体で反射・屈折する波を捉えて、浅層地下を非破壊かつ短時間でイメージングする高分解能の物理探査法であり、最近では沖積層や第四紀層をターゲットとした地質調査や活断層調査等にも広く活用されつつある。しかし、地質・地形分野における地中レーダ研究に携わる者の数は西欧に比べて圧倒的に少なく、その為、議論も十分に行える状況にはほど遠い。そこで我々は、2007年日本地球惑星連合大会において、“Q227 GPR(地中レーダ)を用いた浅層地下イメージング：現状と課題”と題するスペシャルセッションを共同で企画した。このセッションには地質・地形分野や物理探査分野に限らず、地中レーダを用いた浅層地下イメージング研究に関する15件の発表があり、学際的かつ有意義な議論が行われた。本特集号はこのスペシャルセッションの成果を広く周知する目的を持って、セッション世話人4名によって企画されたものである。

多くの読者もご承知の通り、既に地質ニュースの誌上においては、当時海洋地質部に在籍していた倉本真一氏(現CDEX/JAMSTEC)によってGPR特集号(倉本編, 1999a, b)が編纂されている。この特集号には、地中レーダを用いた土地地質調査、考古学および雪氷学調査、河床部探査実験、活断層調査等の1999年時点におけるGPR研究の到達点が記述されており、我々にとっての邦文の文献として現在も広く愛読されている。ちなみに、本稿は地質ニュースのホームページ(http://www.gsj.jp/Pub/News/c_news.html)のバックナンバーの項目から無料でダウンロード可能である。

我々は本特集号を編纂するにあたり、1999年GPR特集号発行以降、現在に至るまでの“地中レーダを用いた浅層地下イメージングに関する研究動向と現状における研究課題”に関して、若干の整理を試みた。

2. 最近の研究動向について

我々は、“地中レーダを用いた浅層地下イメージングに関する研究動向”を以下に示す4つの分野に区分した。以下に、各分野を本特集号に掲載されている9編の論文との関連性を交えて簡潔に示したい。

・最近の動向1：安全・安心のための調査分野

(概要) 分解能の優れた地中レーダを用い、人工構造物や自然岩盤の状況、地下工事や社会生活の障害となる埋設物の位置を高精度・非破壊・リアルタイムに捉える。

(適用分野) 人工構造物のメンテナンス、鉱山保安、ガス・水道管工事、地雷探査、環境調査(地質汚染)等。

この分野に関して本特集号には、幕内ほかによる「石灰岩露岩地域におけるGPR計測」、および高倉ほかによる「セリサイト鉱山の坑壁での地中レーダ探査」の2編の論文が収録されている。

・最近の動向2：地下水(水分)モニタリング分野

(概要) 地中レーダを利用して、水分と相関の高い電磁波速度(誘電率)の時間変化を空間的・非破壊・リアルタイムにモニタリングする。

(適用分野) 構造物(堤防、ダム、道路)、土壌、岩盤内の水分モニタリング、地下水位面の観測等。

1) 産総研 地質情報研究部門
2) 産総研 地圏資源環境研究部門
3) 神戸大学 大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻

キーワード：地中レーダ, GPR, 浅層地下, イメージング, 研究動向, 課題

この分野に関して本特集号には、佐藤・鹿による「GPRによる地下水動的挙動のモニタリング：トーラ川（モンゴル）流域における実証例」が収録されている。

・ 最近の動向3：地震履歴調査の分野

（概要）大規模掘削調査が困難な都市部において、地中レーダを使用して反射法探査を実施し、表層部付近の微細な活断層の形態・変位量を3次的に捉える。また、地震性隆起・沈降、津波痕跡を地層から読み取る。特に1995年兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）以降は、活断層調査への地中レーダ適用が一般化したと言える。

（適用分野）地殻変動調査、活断層調査、地震履歴調査等の地震地質学・変動地形学の分野。

この分野に関して本特集号には、苦瓜・宮田による「大都市市街地における伏在断層のGPRイメージング法」、および重野ほかによる「地中レーダを用いた湖底津波堆積物のイメージング探査実験」の2編の論文が収録されている。

・ 最近の動向4：地層調査の分野

（概要）地中レーダを使用して、沖積低地、地すべり堆積物、河川氾濫原の浅層地下構造（地層の内部構造）を高分解能で可視化する。

（適用分野）第四紀地質学、地形学、堆積学、土木地質学、土壌学の分野等。

この分野に関して本特集号には、村上ほかによる「地中レーダの海岸平野研究への応用」、田村ほかによる「海浜堆積物の地中レーダ記録」、および吉河ほかによる「地中レーダによる海浜堆積構造と旧汀線の検討」の3編の論文が収録されている。

3. 現状における研究課題について

我々は“地中レーダを用いた浅層地下イメージングに関する現状における研究課題”を4つに整理した。以下に、それぞれの研究課題に関して我々の私見を交えて簡潔に論じてみたい。

・ 研究課題1：測定装置（ハードウェア）に関して

地中レーダの適用範囲を広げるには、利点である分解能や精度をさらに向上させ、問題点である探査深度をいかに克服するかが最大の鍵といえる。また、

測定の効率を高めるということも必要である。これらを実現させるには、測定に関するハードウェアの進展が不可欠である。我々が考えつく技術的な課題として、高周波数から低周波数のアンテナを用いた広帯域測定、深部調査を可能とする連続波測定、広範囲を迅速にカバーする高速測定、装置の小型軽量化、GPSなどを利用した高精度測位、他の探査法との同時測定などを可能とする複合装置の開発などがあげられる。また、多くのユーザーを増やすには、操作が簡単な装置や安価な装置の開発も望まれる。

・ 研究課題2：データ処理（ソフトウェア）に関して

地中レーダの測定は、送信・受信アンテナ間の距離を一定にして移動させるというプロファイル測定が主流である。この方法は時間断面によってリアルタイムで地下をイメージできるという利点がある。現在、プロファイル測定のプロファイル処理については多くのソフトウェアが開発されており、ほとんどの装置に利用されている。一方、調査の目的によっては、時間がかかっても定量的な地下構造のイメージを得たい場合もある。この場合、反射法地震探査のCMP重合を行うようなワイドアングル測定が必要である。現在のワイドアングル測定では、深度断面の計算に必要な電磁波速度を求めることに重点が置かれている。しかし、石油探査などで使用されている反射法では、マイグレーション技術を始めとして優れたデータ処理の方法がいくつも開発されている。この為にはまず電磁波のもつ誘電性や分散性に対処することが必要である。また反射法と地中レーダとでは探査の規模も歴史も大きく異なるという背景はあるものの、反射法を用いるという原理は同じであるので、反射法で開発されたデータ処理の技術を導入したソフトウェアの開発が強く望まれる。

・ 研究課題3：解釈技術（信頼性）に関して

優れた装置で測定し、正確なデータ処理を行い、明瞭な時間断面や深度断面を求めても、それは求められた数値解を表示しただけのものである。調査の最終目的は地下の様子を正確にそして具体的に知ることであるので、得られたデータから地下構造を正しく解釈するという作業が必要である。電磁波を使う地中レーダのデータには、地質や土質のもつ電気物

性の値が反映される。したがって、地質を構成する岩石や土壌の電気物性についての知識があれば、解釈も容易になると考える。電気物性に関する知識を蓄積するには、岩石や土壌のサンプルを対象とした物性測定が確実である。この方法については、本特集号の鈴木・小松による「土質試料の電磁気特性測定」に詳しく書かれている。しかし、対象として測定した既存試料は大地を構成する岩石・土壌の一部に過ぎない。内外の論文を探しても、岩石・土壌の電気物性について詳しく書かれた論文は余り多くはない。特に地中レーダのデータに大きく関わる誘電率については、周波数依存性が大きいことから、あまり測定されていないのが実情である。今後この方面の研究の進展に期待したい。

・ 研究課題4：ケーススタディの蓄積に関して

地中レーダを用いた浅層地下研究は未だ歴史が浅く発展途上にあるので、地質学や地形学を含めた幅広い分野からのフィードバックが今後とも重要と言え

よう。この為には今後も地質・地形分野と物理探査分野の研究者の交流が不可欠であり、今回のスペシャルセッション開催が契機となることが強く望まれる。

謝辞：2007年日本地球惑星連合大会スペシャルセッション“Q227 GPR (地中レーダ)を用いた浅層地下イメージング：現状と課題”にご参加頂いた皆様、本特集号にご寄稿頂いた皆様、ならびに地質ニュース副編集長の吉田朋弘氏に対し、世話人一同、心から感謝いたします。

文 献

- 倉本真一編(1999a)：特集：GPR(地中レーダ)1. 地質ニュース, no.537, 1-67.
 倉本真一編(1999b)：特集：GPR(地中レーダ)2. 地質ニュース, no.538, 7-22.

NANAYAMA Futoshi, TAKAKURA Shinichi, MURAKAMI Fumitoshi and MIYATA Takao (2008) : Shallow underground imaging using Ground- Penetrating Radar: An introduction.

<受付：2007年11月30日>