

● 電磁探査手法を用いた地下水の塩淡境界深度の測定

資源循環工学研究領域 水資源工学担当研究員 吉本周平

1. はじめに

小さな島々や半島などでは、地下に淡水が海水に浮かぶようにして存在しているところがあります。このような地下水を有効に利用するためには、淡水と塩水の境界（塩淡境界）の深さを調べて、淡水の量を明らかにする必要があります。しかし、塩淡境界の分布を調べることは容易ではありません。

そこで、私たちは、島や沿岸部全体の塩淡境界の形を効率的に把握するために、電磁探査という物理探査手法を用いて、塩淡境界の深さ推定する方法を開発しました。

2. 電磁探査の基礎的な原理

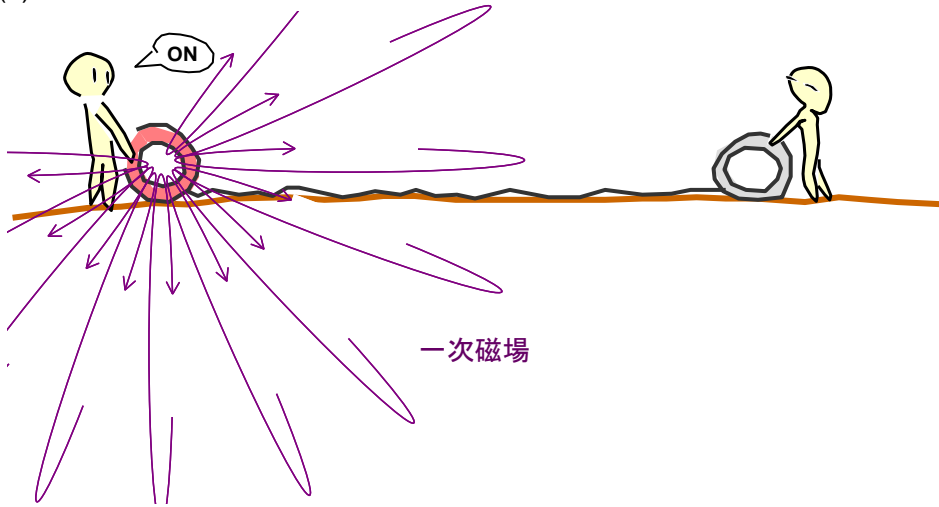
地盤は、構成される地質や含まれる水分の量、空洞の有無などによって、電気を通しやすさが変わります。例えば、同じ砂質の地層でも、カラカラの乾燥状態と水分でみたされている飽和状態を比較すれば飽和状態のほうが電気を通しやすいですし、その水分が海水のように塩分を含みイオンを豊富に溶かし込んでいけば更に電気を通しやすくなります。また、空気はほとんど電気を通さないので、多数の空洞がある地盤は電気を通しにくくなります。

このような地盤の電気を通しやすさを測定するために、電磁探査法が用いられています。電磁探査法は、電流の周りに発生する磁場（図1）を利用した測定法で、送信用と受信用のふたつのコイルを使用します。測定原理については、図2で簡単に説明しています。地盤の導電率（電気を通しやすさ）が小さいと、一次磁場によって発生する渦電流および二次磁場が小さくなり、受信コイルで発生する電圧も小さくなります。逆に、地盤の導電率が大きいと、渦電流が大きくなり、受信コイルで発生する電圧も大きくなります。

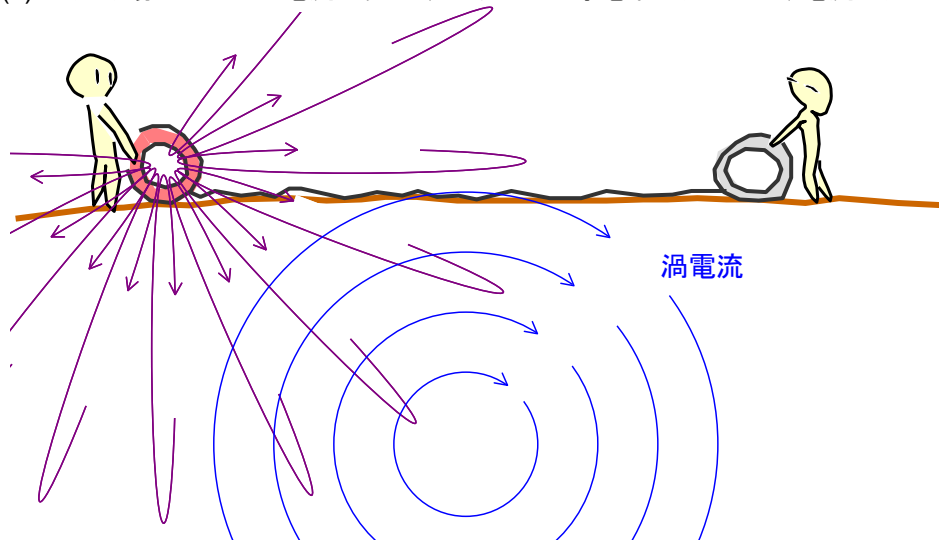


図1 電流の周りに発生する磁場（右ねじの法則）

(a) 送信コイルに電流を流すと、一次磁場が発生する



(b) 一次磁場によって渦電流が発生する(地盤の導電率が大きいと、電流は大きい)



(c) 電流場によって発生した二次磁場を、受信コイルに発生した電流で検知する

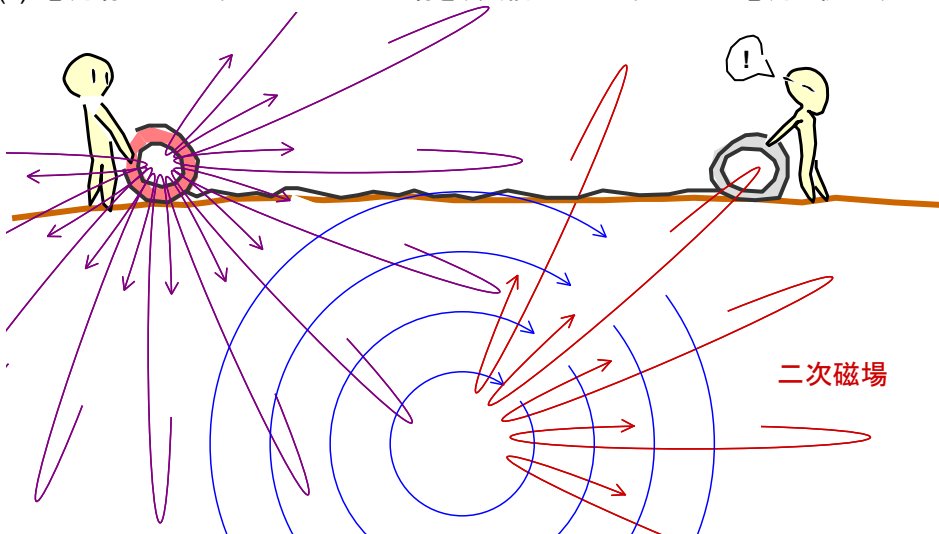


図2 電磁探査法の基本的な原理の説明

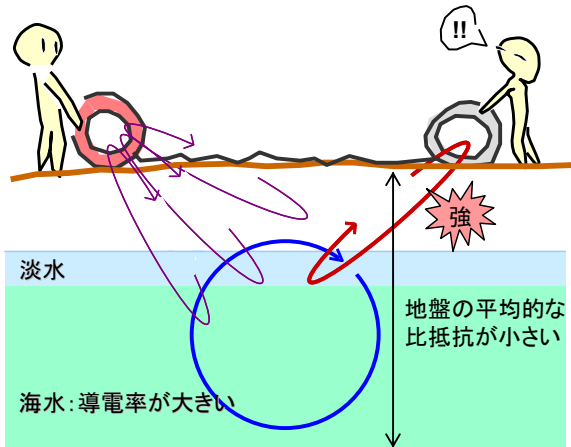
3. ループ・ループ法による塩淡境界深度の測定

塩淡境界深度の分布を把握するために、送信用・受信用のふたつのループコイルを使用した電磁探査手法（ループ・ループ法）を適用します。ループコイルの間隔を変えることで、対象とする地盤の深度を調節することができます。

塩淡境界が浅くて淡水が薄い地点では、地盤の平均的な導電率が大きいため、受信コイルで発生する電圧は大きくなります（図3(a)）。一方、塩淡境界が深く、淡水が厚い地点では、導電率は比較的小さく、受信コイルの電圧は小さくなります（図3(b)）。受信コイルの電圧値からは、地盤の平均的な見かけの導電率が自動的に計算されます。

地盤の構造や地下水面の深度に大きな変化がなければ、地盤の平均的な導電率に影響を与えるのは塩淡境界深度のみとなります。このため、ボーリング孔など塩淡境界を直接観測できる地点で見かけ導電率と塩淡境界深度の関係（図4）を予め明らかにしておけば、コイル間隔を一定に保ち移動しながら測定することで塩淡境界の分布を把握することが可能になります。

(a) 塩淡境界が浅く、淡水が薄い帯水層では、導電率が大きく、二次磁場による応答が大きい



(b) 塩淡境界が深く、淡水が厚い帯水層では、導電率が小さく、二次磁場による応答が小さい

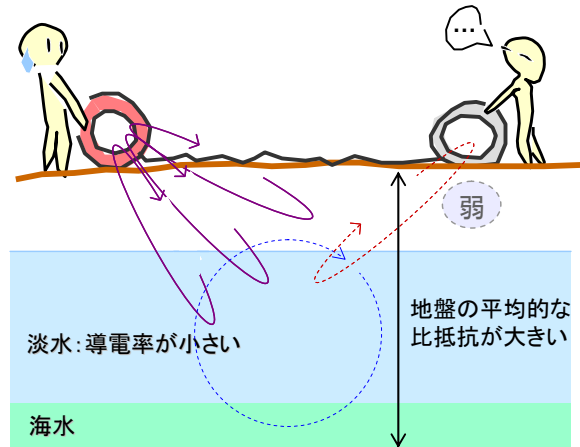


図3 塩淡境界の深度による電磁探査の応答の違い

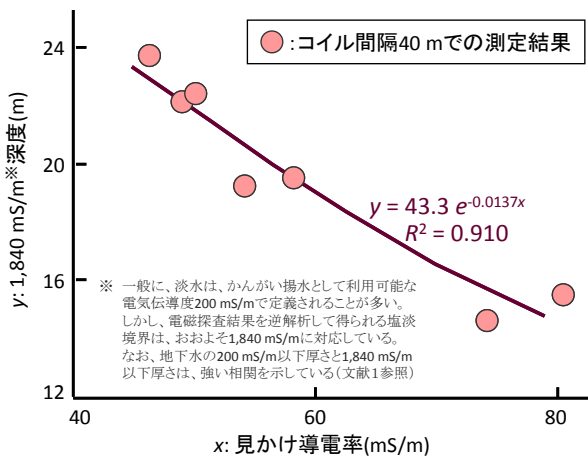


図4 見かけ導電率と塩淡境界深度の関係



図5 測定風景（マーシャル諸島・マジロ）

4. 離島の淡水レンズへの適用

淡水レンズは、島嶼部や半島部に存在する地下水資源で、地下の帯水層中を淡水が海水にレンズ状で浮かぶようにして存在しています。離島では、淡水レンズは重要な農業用・生活用水源ですが、賦存量に限りがあり、過剰に揚水すると淡水域が縮小して揚水井が使えなくなり、さらには、一旦帯水層が塩水化すると容易には淡水に戻らない可能性があります。このため、淡水レンズを地下水資源として活用するためには、どのくらいの量の淡水が存在して、どのくらいの量を使うことができるか、予め評価する必要があります。

私たちは、南西諸島の多良間島とマーシャル諸島共和国のマジュロ環礁・ローラ島を対象に、ループ・ループ法を用いて淡水レンズの賦存量を評価しました。電磁探査の機材は、Geonics 社製の EM34-3 を使用しました（図 5）。測定結果を図 6 および図 7 に示します。これらの結果は、観測井などでの実測結果や、過去の調査結果とよく整合しています。

電磁探査法を用いた塩淡境界深度の測定手法は、短時間に多数の地点で測定が可能であるという利点があるため、特に潮汐の影響を受けやすい島嶼や沿岸部での面的な調査には非常に有用です。今後は、島嶼における淡水レンズ賦存量だけでなく、沿岸部における塩水浸入状況の調査などにも活用が期待されます。

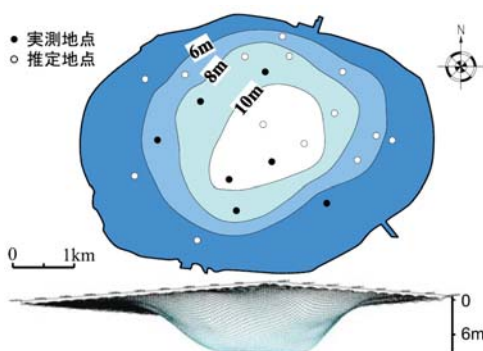


図 6 多良間島での塩淡境界測定結果

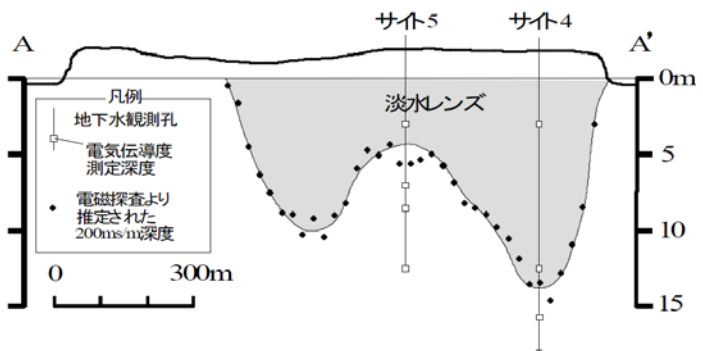


図 7 マーシャル諸島・マジュロでの測定結果

引用文献

石田 聡・土原健雄・吉本周平・皆川裕樹・増本隆夫・今泉眞之（2011）沖縄県多良間島における淡水レンズ賦存量の推定．農業農村工学会論文集 **79**(3), 157-168

石田 聡・吉本周平・小林 勤・幸田和久・土原健雄・万福裕造（2011）マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における地下水の塩水化について．地盤工学会誌 **58**(5), 113-116