

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月21日現在

機関番号：17201

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22780220

研究課題名（和文）時間領域反射法を活用した淡塩水境界位のモニタリング法の構築

研究課題名（英文）Monitoring technique of freshwater/saltwater interface level using time domain reflectometry

研究代表者

伊藤 祐二（ITO YUJI）

佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・研究機関研究員

研究者番号：60526911

研究成果の概要（和文）：沿岸部地下に貯留される淡水の塩化監視技術を構築するために、海水侵入によって生じる淡塩水境界面の位置計測プローブを開発し、その有効性を室内実験によって評価した。円筒容器内に淡塩水境界面を模擬的に作製し、開発した円筒型プローブを容器中央に固定して境界面の位置変動を計測した。実験の結果、観測井戸を模擬したカラムの内部に境界面が明瞭に形成される条件であれば、開発したプローブでその位置変化を計測でき、同プローブを沿岸地下の淡水資源の塩化監視技術として有効に活用できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：To establish a monitoring technique for salinization of freshwater resources stored in a coastal aquifer, a novel probe to measure freshwater/saltwater interface level was developed and the effectiveness of the probe was examined through the laboratory experiment. The interface was hypothetically produced in the experimental column and the level variation was measured by the probe which was set at center of the column. The results showed that the level can be measured with the probe when the interface was produced clearly in the column. We concluded that the developed probe is useful for monitoring the salinization of freshwater resources in a coastal aquifer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学/農村計画学

キーワード：マイクロ波、塩水化、モニタリング、地下水、淡水資源

## 1. 研究開始当初の背景

半島や島嶼地域を含む沿岸部の地下では、一般に海水が楔状に侵入しているため、地域の生活用水や農工業用水として揚水される地下水に海水由来の多量の塩分が混入する問題、いわゆる淡水の塩水化が利水上の大き

な障害となっている（図-1）。現状の地下水利用では、たとえば淡水化プラントによって塩水化した地下水から塩分を除去する処置や地下に海水侵入を阻止するための止水壁を設けて塩水化を抑制する対策が講じられている。しかしながら、地球温暖化が地下淡水資源の塩水化におよぼす影響に加え、近年の



ル製円筒型カラム（内径 7 cm, 高さ 52 cm）の中心部に設置したプローブのロッド根端まで淡水を満たし、その後、カラムの下端からロッドの根端まで塩水をゆっくりと給水した。ロッドの先端から境界面までの距離を  $h_i$  とし、境界面がロッド先端に達したときを  $h_i = 0$  cm, 境界面がロッド根端に達したとき（カラム全部が塩水で満たされたとき）を  $h_i = 48$  cm として TDR で  $h_i$  を計測した。ここでは、TDR で計測した  $h_i$  を  $h_{i,TDR}$  と表示した。一方、カラム内に形成された境界面は目視できないことから、 $h_i$  の上昇幅に応じたカラム容量を予め測定しておき、それと等量の塩水を給水することによって  $h_i$  を逆算し、こうして求めた  $h_i$  を  $h_{i,m}$  と表示した。

### (2) 円筒型プローブ

内径 2.4 cm のステンレス鋼管の内部に、直径 0.5 cm のステンレス鋼ロッドを配し、同軸型プローブを作製した（図-3）。その最大の特徴は、ロッドが外部導体の鋼管によって電氣的にシールドされ、鋼管外へのマイクロ波の漏れが少ない点である。また、各部材の端部には連結用のねじ加工が施してあり、境界位の変動幅に応じたプローブ長の伸縮が可能である。本研究では、同軸ケーブルとの接合部に、30 cm 長の鋼管とロッドを2連結した、全長 63 cm, 感知部長 61.2 cm のプローブを作製した。

### (3) 円筒型プローブを用いた実験

円筒型プローブを用いた実験では、野外計測を想定した2つの条件を設定した。第1の条件では、カラム内に砂を充填し、その中央に鉛直にプローブを配置して埋設した。ここでは、実際の野外観測において沿岸の砂層地盤にプローブを直接挿入した場合を想定し、観測井戸を必要としない条件を模擬した。第2の条件では、砂を充填しなかった。すなわち、観測井戸をカラムで模擬した。以上の2つの実験では、(1)の場合と同様に  $\sigma_{fw} = 0.013 \text{ S m}^{-1}$  の淡水で満たしたカラムの底部から  $\sigma_{sw} = 5.5 \text{ S m}^{-1}$  の塩水を給水することで  $h_i$  の上昇過程を再現し、その過程で TDR により  $h_i$  を測定した。TDR による  $h_i$  の計測値を  $h_{i,TDR}$  と表示した。一方、カラム側面の鉛直方向に多数配置した電気伝導度センサーからカラム内電気伝導度の鉛直分布を求め、それに基づき  $h_i$  を別途評価した。電気伝導度分布から評価した  $h_i$  を  $h_{i,m}$  と表示し、本研究では、実験に供した淡水と塩水の電気伝導度の中間値 ( $2.76 \text{ S m}^{-1}$ ) の位置を  $h_{i,m}$  とした。

## 4. 研究成果

(1) 既存プローブによる淡塩水境界位の計測  
塩水の上層に蒸留水が存在する場合、蒸留

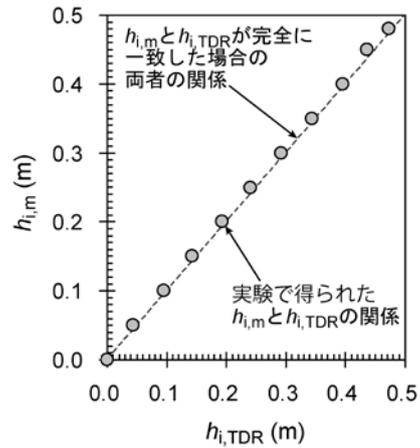


図-5 給水量から求めた淡塩水境界位 ( $h_{i,m}$ ) と既存プローブで測定した淡塩水境界位 ( $h_{i,TDR}$ ) の比較

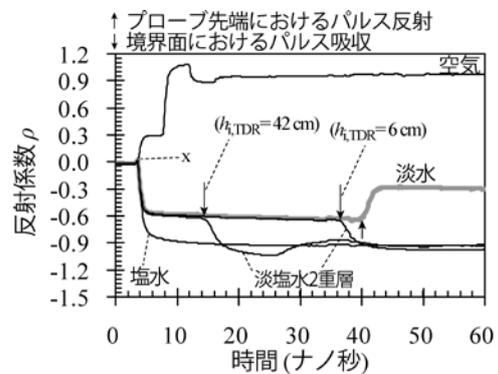


図-6 円筒型プローブで測定したTDR波形

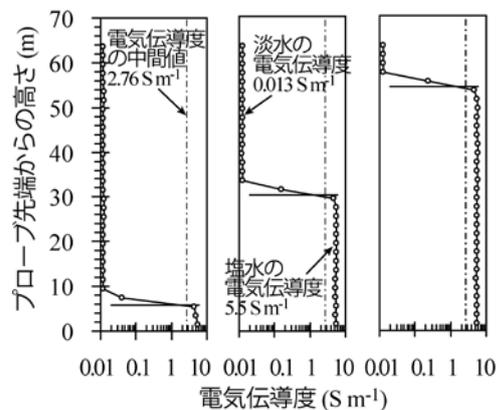


図-7 電気伝導度分布 ( $\circ$ ) と円筒型プローブで測定した淡塩水境界位  $h_{i,TDR}$  (—) の比較

水は非導電性の媒質であるため、ロッドに与えたマイクロ波の電気エネルギーの吸収量は小さい。したがって、そのような条件で得られた TDR 波形では（図-4）、 $h_i = 0$  m の場合に、ロッド先端に対応する位置  $t_2$ （図-4 の下向き矢印）に急峻な立ち上がり点が認められた。他の  $h_i$  条件では、立ち上がり点が認められない代わりに  $\rho$  値の急減点  $t_1$ （図-4 の上向き矢印）が生じ、 $t_1$  値は  $h_i$  が大きくなるにしたが

って小さくなった。TDR 波形から得られた  $h_i$  に基づいて  $h_i$  を推定したところ、その平均推定誤差は 0.8 cm であった (図-5)。現実の沿岸帯水層では上層に位置する淡水が導電性を示すが、上層にエネルギー吸収の小さい蒸留水のような淡水が存在する理想条件では、TDR によって高い精度で  $h_i$  を評価できると考えられる。

## (2) 円筒型プローブによる淡塩水境界位の計測

観測井戸を模擬した円筒カラム内での計測実験では、円筒型プローブで計測した淡塩水 2 重層の TDR 波形は、既存プローブで得られた波形と同様の形状を示した (図-6)。淡塩水 2 重層中では、プローブの根端-先端間において、高導電性の塩水にマイクロ波が吸収されたことを表す反射係数  $\rho$  の急減 (↓) が認められ、その急減点は  $h_i$  が大きいほど図の左方に位置した。円筒型プローブで測定した淡塩水 2 重層の波形 (図-6) は、既存プローブで測定した淡塩水 2 重層の波形 (図-4) と類似したことから、試作した円筒型プローブにより淡塩水 2 重層に対する TDR 波形を計測できることが確認された。電気伝導度の鉛直分布から求めた  $h_{i,m}$  (図-7 の破線とマーカー線の交点) と円筒型プローブで計測した  $h_{i,TDR}$  (図-7 の実線) は、検討した全  $h_i$  条件で淡水-塩水間の電気伝導度の急変領域に位置した。 $h_{i,m}$  に対する  $h_{i,TDR}$  の平均推定誤差は 0.3 cm となり、両者はよく一致したことから (図-8)、開発したプローブは、 $h_i$  変動の計測に適用できるものと考えられる。

砂層内にプローブを直接埋設した場合の実験では、境界面の変動速度が大きい場合に、同プローブと電気伝導度分布に基づく境界位の計測値に誤差が生じた。この誤差は、円筒型プローブ内部の水の流速がその外側の流速よりも大きくなり、電気伝導度の鉛直分布がプローブ内外で異なったために生じたものと考えられる。この問題に対しては、プローブ全長の側面にストレーナーを設置することで改善できるものと考えられる。

以上の結果から、野外観測では、井戸内に形成される淡塩水境界位の変動領域を予め調べ、その領域に境界位の変動幅よりも長い円筒型プローブを設置すれば、淡塩水境界位の時間変化を連続的に観測できるものと考えられる。

## 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 2 件)

- ① 伊藤祐二, 郡山益実, 宮本英揮, 梅谷知弘, 筑紫二郎, マイクロ波を利用した淡

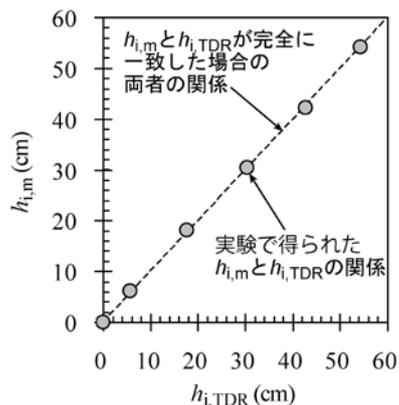


図-8 電気伝導度分布に基づく淡塩水境界位 ( $h_{i,m}$ ) と円筒型プローブで測定した淡塩水境界位 ( $h_{i,TDR}$ ) の比較

水の水位・電気伝導度および淡塩水境界位の計測システム, 水文・水資源学会誌, 査読有, 24 巻, 2011, 170-176.

- ② 伊藤祐二, 宮本英揮, 郡山益実, 筑紫二郎, 瀬口昌洋, マイクロ波のエネルギー吸収特性を利用した淡塩水境界面の計測, 土木学会論文集 B, 査読有, 66 巻, 2010, 189-195.

[学会発表] (計 2 件)

- ① Ito, Y., Yasuda, H., Nakagawa K., Kawai T., and Chikushi J., Time domain reflectometry application to measurements of groundwater level and freshwater/saltwater interface level in sandy layer, ASA・CSSA・SSSA International Annual Meetings, San Antonio, 19 Oct 2011.

- ② 伊藤祐二, 郡山益実, 宮本英揮, 筑紫二郎, 淡塩水境界位計測のための同軸型 TDR プローブの開発, 平成 23 年度 農業農村工学会, 福岡, 2011 年 9 月 6 日.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 淡塩水境界面の測定方法

発明者: 伊藤祐二, 宮本英揮

権利者: 九州大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-182921

出願年月日: 2010 年 8 月 18 日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 祐二 (ITO YUJI)

佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター・

研究機関研究員

研究者番号: 6 0 5 2 6 9 1 1