

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25年 5月31日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700854

研究課題名（和文）地下流水音を用いた乾燥草原地帯における浅層地下水の探査

研究課題名（英文）The shallow groundwater exploration by Groundwater Aeration Sound in semi-arid grassland

研究代表者

河合 隆行（KAWAI TAKAYUKI）

新潟大学・災害・復興科学研究所・特任助教

研究者番号：20437536

研究成果の概要（和文）：本研究では、自然環境の厳しい乾燥地における簡易な地下水探査手法として、地下水が流動する際に発生する弾性波を用いた新しい調査法を開発した。調査対象地はモンゴル中央部の半乾燥草原地帯であり、既存の浅井戸を用いて地下水位－地下流水音相関を求めた。その結果、地下水位が浅いほど地下流水音は大きく、両者の関係は対数近似できることが明らかとなった。また、地下流水音は帯水層の地質条件の影響を受けることが示唆された。得られた近似式を用いて斜面における地下水分布推定を行ったところ、水文地形学的に地下水位の高まりが推定される地点では推定地下水位も高くなり、かつその周囲では高水分状態を好む植生がみられるなど、妥当な結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

This study provides a new method of groundwater exploration using groundwater aeration sound. The groundwater aeration sound (GAS) is that a kind of elastic wave generated around the vicinity of the saturated / unsaturated boundary. We conducted a survey using the existing wells in the dry grasslands of Mongolia. As the results, there was the logarithmic relationship between the GAS level and groundwater level. In addition, there was a difference in GAS distribution depending on geological conditions. With this relational equation, we investigated the GAS survey to estimate continuous groundwater level on a slope. As a result, we got a valid result on hydrogeology. Moreover, at the point where the groundwater level was shallow, there was much water-loving vegetation.

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	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：地下流水音・自由地下水・半乾燥草原地帯・水資源探査

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

地球上の乾燥・半乾燥地は、全陸域の約40%を占める。これらの中でもユーラシア大陸の約15%を占める草原地帯では遊牧が盛んである。遊牧の際に人間や家畜が利用する水資源の大部分は地下水である。従来、井戸を設置する際は経験的事例に基づいて掘削地点を決定してきたため、場所によっては地下水位が深すぎる、または十分な水量が得られない等の問題を抱えている。また、多くの遊牧民・家畜が少数の井戸に集中し、一部の地域の地下水位の低下、牧草資源の枯渇が問題となってきている。

そのため、各地に利用しやすい浅井戸、つまり、水の汲み上げに多大な労力を必要としない水位があまり深くなく水量の十分な浅井戸を増やす必要がある。しかし、現時点では、広大な面積かつ自然条件の厳しい乾燥地において、これらの条件を満たす地下水環境を探索する技術は確立されていない。迅速かつ簡便に、利便性の高い浅井戸の掘削地点を決定できる手法が希求されている。

2. 研究の目的

乾燥草原地帯で十分な水量を得られる浅井戸をどこに掘削するべきかという問題を解決するため、地表面から簡易に地下水位を推定する技術の開発を行う。また、乾燥地に偏在する地下水の「水みち位置の特定」を試みる。

3. 研究の方法

3-1 地下流水音

地下流水音とは、地下水が流動する際に飽

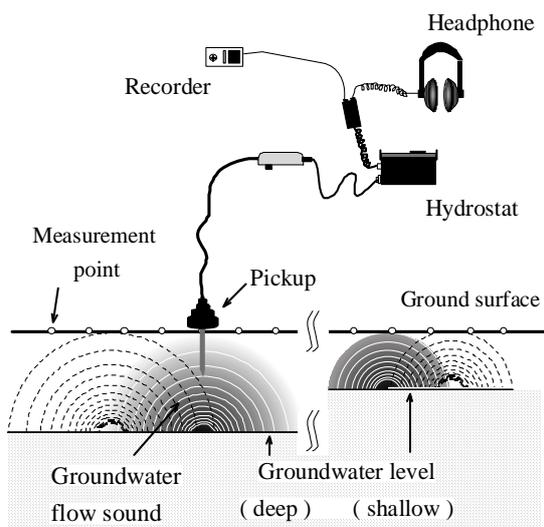


Fig. 1 Measurement of GAS

和—不飽和境界面で発生する弾性波のことである。この弾性波は、飽和水の移動に伴い、不飽和部の間隙空気が移動し間隙水膜を破ることによって発生する。

3-2 地下流水音測定装置と測定方法

地下流水音の測定に用いる装置は、以下の三つで構成されている。1. ピックアップ: 振動を捉えるセンサ部。2. 測定部: ピックアップで捉えた地下流水音を増幅する増幅回路、風等の雑音を遮断するフィルター回路、地下流水音の音圧を指示するレベルメータからなる。フィルター回路ではピックアップで捕らえた流水音のうち特定の周波数帯の音のみを取り出し、野外で発生する雑音に柔軟に対応できる。3. ヘッドホン: 増幅率、周波数帯が調整された地下流水音をリアルタイムで出力する。この地下流水音測定装置は全重量が0.9 kgと非常に軽量であり、携帯性・作業性に優れている。

測定は一人で行い、測線上を一定間隔で聴音する。測定の際には風音防除のためφ0.8×12 cmのステンレス棒をピックアップの先端に取り付け、これを地面に差し込み弾性波を捉える。

3-3 モンゴル半乾燥草原地帯における観測

多田ら(2006)は、日本の花崗岩地帯における斜面崩壊地にて、地下流水音の大きい地点に地下水が集中しやすい水みちがあることを報告している。地下水の移動速度が相対的に遅く、平野が広がる半乾燥草原地帯において地下流水音の特徴を確認し、地下水位と地下流水音との相関を求める。また、得られた関係式を用いて、地下水面が未知の測線において地下水推定調査を行う。

研究対象地はモンゴル国のトゥブ県バヤ

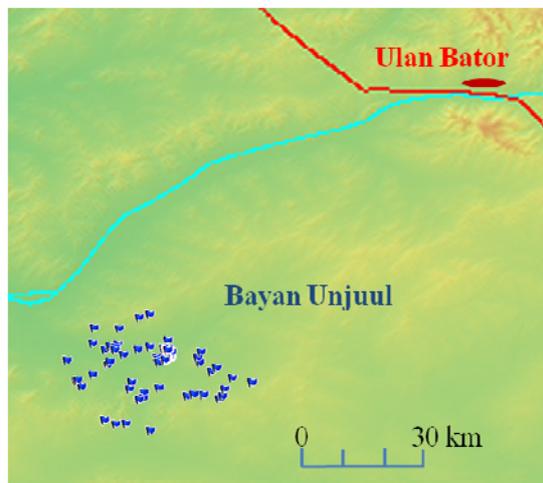


Fig. 2 Shallow well points

ンウンジュール地区 (Fig. 2) である。同地区は首都ワランバートルの南方約 130km 地点にある河川が形成した盆地状の平原地帯であり、半乾燥のステップ気候に属している。

調査期間は、2010 年と 2012 年の夏期、2012 年の冬期の計 3 シーズンである。観測期間中に大きな降水イベントはなかった。

4. 研究成果

4-1 地下水位—地下流水音の関係

バヤンウンジュール地区の地区長と共に、地区内全ての測定可能な浅井戸分布を調査した。その結果、計 83 地点にて、地下水位および水質調査の可能な井戸を得た。測定された地下水位の範囲は 0.2–12.0 m (地表面からの深さ) であった。

井戸の周辺で地下流水音の測定を行い、その中で風や家畜の足音等のノイズ影響がみられないと判断されたデータは 39 点であった。その音圧分布は 220.0–28.3 (無次元) である。得られた地下流水音と地下水位の相関を求めたものを Fig. 3 に示す。

地下水位と地下流水音の関係は、ばらつきはあるものの地下水位が浅いほど地下流水音は大きくなる。すなわち、地表面から地下水位が浅い位置にあると地下流水音が強く、逆に地表面から地下水位が深い位置にあると地下流水音が弱くなる。また、今後事例を増やす必要はあるが、両者の関係は地表面から 9.4m 程度までは成り立つことから、本手法は 10m 程度までの地下水の推定が可能であると考えられる。

測定された地下流水音からおおよその地下水位を推定するための関係式を求めた。両者の関係は自然対数形で近似すると、次の関係式を得ることができた。

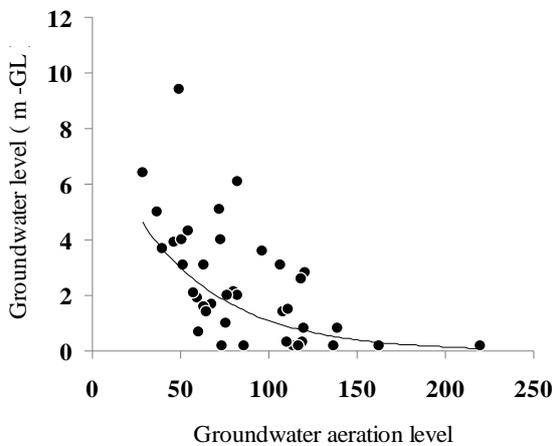


Fig.3 Relation between ground water level and GAS level

$GL=8.1812 \cdot e^{-0.02GASL} \dots (1)$
 推定式の決定係数は 0.56 と高くはないが、およそ 2m の誤差で地下水位を推定できることが示された。

この結果より本手法は、広大な半乾燥草原地帯において任意の地点での地下水位の推定が、「現地でメートル単位の誤差」で推定できるという画期的な手法であることが示された。

次に、井戸で得られたサンプルを用いて、水素・酸素の安定同位体比の測定を行った。その結果、バヤンウンジュール地区の地下水流動は大きく 3 つに分類できることが明らかになった (Fig. 4)。すなわち、1. 流れが相対的に速い花崗岩山体周辺 (Fig. 4 赤色)、2. 流れが相対的に遅い平野部 (Fig. 4 青色)、3. 中間的な変成岩山体周辺 (Fig. 4 黄色) である。分類されたこれらの地区ごとに地下水位—地下流水音関係分布を求めると Fig. 4 下部のように分類された。各地点のデータ数に偏りがあるものの、流れの速い花崗岩山体地区では音の変化率が大きいなどの特徴が見られる。これらのことから、地質条件による地下水流動の差が地下流水音に影響していることが示唆される。

4-2 地下水位推定の妥当性

次に地下水位が全くの未知の地点において測線を設け、地下流水音の連続測定を行った。測線は水平距離が 2069 m、比高が 65.4 m の緩斜面である。地下流水音計測は 50m ごとに行い、得られたデータから (1) 式を用い

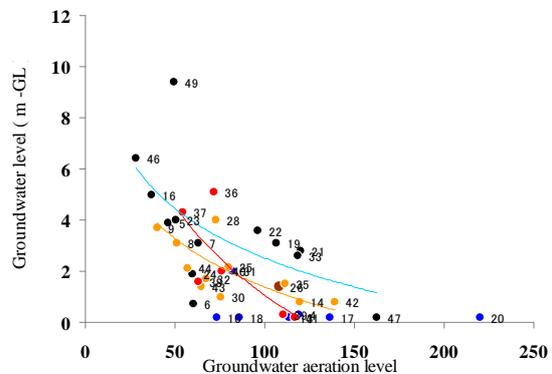
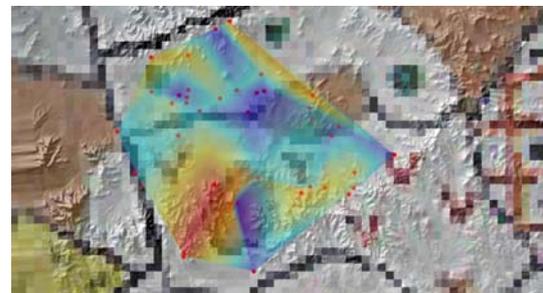


Fig. 4 Distribution of stable isotope and GAS

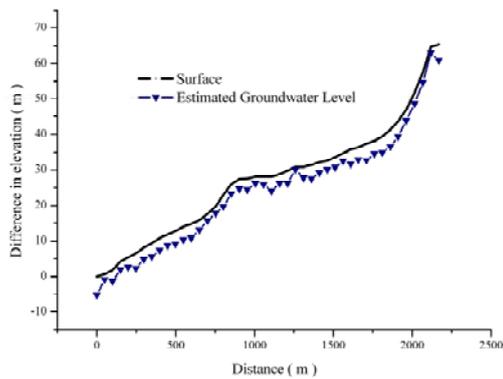


Fig. 5 Slope shape and estimated groundwater level

て推定地下水位を算出した。また、同時に *Achnatherum splendens* という植生の地表面被覆度を得た。この植物は土壌水分の高い土壌を好み、古くからモンゴル人が井戸掘削地点の決定要因に用いていた植物である。

Fig. 5 に測線の地形と推定地下水面を示す。傾斜が緩やかな平野部では地下水位が相対的に深く推定され、斜面頂部では水位は浅く推定されている。また、地形傾斜の遷緩点では相対的に水位が浅く推定されている。これらの結果は水文地形的視点から見て典型的な分布であり、地下流水音による地下水探手法の精度の高さを示唆している。

Fig. 6 に *Achnatherum splendens* の被覆度分布を示す。斜面下部、水平距離の 0-

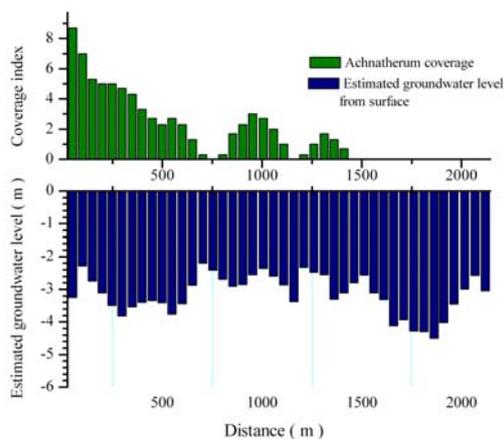


Fig.6 Vegetation coverage index and estimated groundwater level

500 m 付近は推定地下水と関係なく *Achnatherum splendens* が多い。一方、水平距離 800-1100 m 地点や 1300-1400 m では、地下水が浅く推定されている地点で *Achnatherum splendens* の活性が上がっている。この地域で *Achnatherum splendens* が利用できる水は、地下水及びその毛管上層土壌水のみと推定されるため、地下流水音による地下水分布の妥当性が示された。

参考文献

Tada Y., Fujita M., Tsutsumi D., Koyama K., Kawai T., 2006 : Detection of Underground Water Pathways by Underground Hydrosonic Method, Annual Journal of Hydraulic Engineering, No.50, pp.283-288.

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 6 件)

- ① 安田 裕・齊藤忠臣・Khumbulani Dhavu・河合隆行・安養寺久男・Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed, 極乾地エジプトの降水量時系列について, 砂漠研究, 査読有, 20-1, 2010, 35-40
- ② 前田 雄一・河合隆行・小山 敢, 道路を挟んで東西に植栽されたムクゲとハナミズキの生育状況, 樹木医学研究, 査読有, 第 15 巻 4 号, 2011, 147-154
- ③ 安田 裕・Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed・井上知恵・依田清嗣・河合隆行・辻渉・縄田浩志・齊藤忠臣, 乾燥環境下における外来侵入植種メスキートの地下水吸水-日中低下現象による地下水位日変動のダブル・ピーク・パターン, 水文・水資源学会誌, 査読有, 25-5, 2012, 315-321
- ④ 安田 裕・河合隆行・Mohamed Abd Elbasit MOHAMED AHMED・縄田浩志, 乾燥地スーダンにおける降水量時系列の季節変動について, 砂漠研究, 査読有, 22-3, 2012, 357-361
- ⑤ Yasuyuki Tada, Takayuki Kawai, Rryota Tsuchiya, and Ryosuke Makino, A simple new method of groundwater exploration with groundwater aeration sound, Scientific and Educational Journal of Geology, 査読無, No. 24, 2012, 77-84
- ⑥ Takayuki KAWAI, Yasuyuki TADA, Masato SHINODA, Ryota TSUCHIYA, Toshihiro MORII, Tetsuya SUZUKI, and Khuut TSEEDULAM, New Method of Groundwater Exploration by Groundwater Aeration Sound in Arid Land, Scientific and

[学会発表] (計 16 件)

- ① 宮本和則・小山敢・多田泰之・河合隆行・土屋竜太, クロマツ苗木の高温耐性限界, 第 121 回日本森林学会大会, 2010, つくば市
- ② Yasuda H., Tadaomi Saito, Takayuki Kawai, Hisao Anyoji, Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed and Kunio Hattori, Periodical Property of Precipitation Time Series in Egypt, Tottori University International Strategy Project, 4th International Symposium, 2010, Cairo, Egypt
- ③ 河合隆行, 鳥取砂丘における季節性湧水地の発生メカニズムに関する水文地質, 鳥取大学乾燥地研究センター共同研究発表会, 2010, 鳥取市
- ④ 河合隆行, 塩崎一郎, 齊藤忠臣, 多田泰之, 大田将兵, 熊田隆行, 鳥取砂丘に堆積した火山灰層と湧水発生メカニズムの関係, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011, 千葉市
- ⑤ 齊藤忠臣・河合隆行・八木弥生・猪迫耕二・塩崎一郎, 鳥取砂丘湧水の発生・消滅メカニズムに関する研究 — オアシスの水はどこから来てどこへ行くのか? —, 第 57 回日本砂丘学会全国大会, 2011, 宮崎市
- ⑥ 神近牧男・河合隆行・西村正治神近, 風紋発生風洞の製作と砂丘紹介ガイドへの活用, 第 57 回日本砂丘学会全国大会, 2011, 宮崎市
- ⑦ 黒田清一郎・井上光弘・河合隆行・齋藤広隆・吉田勇助・渡邊雅之・竹下祐二・岡智宏, 深層地盤への電磁波探査の適用可能性, 鳥取大学乾燥地研究センター共同研究発表会 2011, 鳥取市
- ⑧ 河合隆行・齊藤忠臣・金久研也・糟谷哲史・塩崎一郎・多田泰之, 鳥取砂丘における地下水の湧出メカニズムと水文地質構造, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012, 千葉市
- ⑨ 齊藤忠臣・糟谷哲史・河合隆行・猪迫耕二・安田裕・塩崎一郎, 水文・同位体分析による鳥取砂丘オアシスの発生消滅メカニズム及び涵養源の解明, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012, 千葉市
- ⑩ 森井俊広・杉崎瑞穂・高橋かほり・古川峻・鈴木哲也・河合隆行, キャピラリーバリアを利用した浅いペイドスゾーンにおける塩水移動の制御, 農業農村工学会, 2012, 札幌市
- ⑪ 森井俊広・河合隆行・小林 薫・松元和伸, 底部 CB 排水層を備えた盛土による汚染廃棄物の貯蔵保管工法の提案, 第 1 回・環境放射能除染研究会, 2012, 福島市
- ⑫ 河合隆行・齊藤忠臣・糟谷哲史・猪迫耕二・多田泰之・森井俊広・塩崎一郎, 地下流水音を用いた不攪乱的手法による鳥取砂丘の地下水探査, 第 58 回日本砂丘学会全国大会, 2012, 徳島市
- ⑬ 糟谷哲史・齊藤忠臣・河合隆行・財原大地・猪迫耕二・安田裕・塩崎一郎, 鳥取砂丘オアシスの発生消滅メカニズムと涵養源の解明, 第 58 回日本砂丘学会全国大会, 2012, 徳島市
- ⑭ 中川 啓 宮崎愛子 河合隆行 安田 裕, 乾燥地における地下水と土壤環境に対する植生の影響～ 外来植種メスキートによる地下水吸水モデルの構築に向けて～, 鳥取大学乾燥地研究センター共同研究発表会, 2012. 12. 2, 鳥取市
- ⑮ Yasuyuki Tada, Takayuki Kawai, Rryota Tsuchiya, and Ryosuke Makino, A simple new method of groundwater exploration with groundwater aeration sound, Geology in Mongol, 2012. 12. 14, Ulaanbaatar, Mongol
- ⑯ Takayuki KAWAI, Yasuyuki TADA, Masato SHINODA, Ryota TSUCHIYA, Toshihiro MORII, Tetsuya SUZUKI, and Khuut TSEEDULAM, New Method of Groundwater Exploration by Groundwater Aeration Sound in Arid Land, Geology in Mongol, 2012. 12. 14, Ulaanbaatar, Mongol

[図書] (計 1 件)

- ① 河合隆行, 他 (鳥取砂丘検定公式テキストブック編集委員会), 鳥取砂丘まるごとハンドブック—鳥取砂丘検定公式テキストブック上級コース対応版—, 今井書店 2012, 26 - 29

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河合 隆行 (KAWAI TAKAYUKI)

新潟大学・災害・復興科学研究所・特任助教
研究者番号: 20437536

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: