

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20580281

研究課題名（和文）

非破壊的手法である地下流水音探査を用いた鳥取砂丘内のオアシス発生メカニズムの解明

研究課題名（英文）

Mechanism of spring development at Tottori sand dune using the groundwater aeration sound

研究代表者

神近 牧男（KAMICHIKA MAKIO）

鳥取大学・名誉教授

研究者番号：20032310

研究成果の概要（和文）：山陰海岸国立公園内に位置する鳥取砂丘で、地下水が流動する際に発する音波を用い、湧水発生メカニズムの解明を試みた。鳥取大学乾燥地研究センター内の研究用砂丘にて、観測井水位と音圧との関係を求めた。その結果、地下水位が地表面から15mの範囲で、地下流水音圧を用いて地下水位を高精度に推定できた。また、鳥取砂丘オアシス周辺での地下流水音探査の結果、地盤中に火山灰層が分布している地点で地下水位が浅く、また地下水面形状はオアシス発生地点に向けて谷状であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：We investigated the mechanism of spring development at Tottori sand dune in national park of Japan using the groundwater aeration sound (GAS). The dependency of GAS for groundwater level was checked by observation wells at test sand dune in arid land research center, Tottori University. It was clarified that GAS could estimate the groundwater level within 15 m depth. The result of GAS survey around the spring of Tottori sand dune showed that the groundwater level was shallow around the pyroclastic sediment was deposited and the groundwater surface was shaped as a valley.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：農業気象・微気象，地下水

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 鳥取砂丘の学術的重要性

山陰海岸国立公園内に位置する鳥取砂丘は、自然海岸の状態が良く保持されており（大槻ら，1999），古くから風と砂の相互作用や特殊地形の形成史などの多種多様な自然現象に関する知識が蓄積されてきた（大西ら，1961；岡田ら，2002等）。また，砂丘動

植物の生物・生態学的研究（藤木ら，2001；等）や，砂丘内から発掘される縄文遺跡を中心とした考古学的研究も盛んである。

このように学術的に高い価値を有している鳥取砂丘の自然環境は，その自然状態を保全・維持しつつ後世に継承されることが強く望まれている。そのため，鳥取砂丘は海岸砂丘の典型として，一部が天然記念物，及び国立公園特別保護地区に指定されており，砂丘

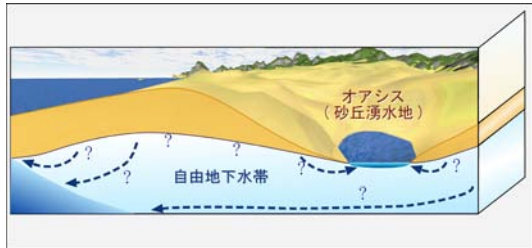


図 1 鳥取砂丘のオアシス  
(降雪時写真と模式図)

内の自然環境に人為的な影響が生じないよう厳しく管理されている。一方、鳥取砂丘には天然記念物及び国立公園の役割として、区内の自然現象がどのようなメカニズムで発生しその景観を保っているのかを解明し、国民へ知識を提供することが法令で義務付けられている。

その鳥取砂丘の貴重な自然現象のひとつとして、オアシスの存在が挙げられる。オアシスとは砂丘内に自然に形成された地下水起源の湧水地のことであり、砂丘中央部に季節を問わず位置していることから、鳥取砂丘の自然景観を形成する因子として重要な役割を担っている(図1)。そのため、このオアシスが如何なるメカニズムで発生しているのかは古くからの学術的関心でもあり、砂丘内の地下水分布や地質分布を解明する試みが行われてきた。しかし、現在に至るまで推測の域を出ずはっきりとした結論が出ていない。

その原因は、鳥取砂丘が前述の通り最高レベルの貴重な自然文化財として管理されているため、地下水位を観測するための井戸等の人工物の設置や大型測器による地下水位探査が事実上不可能なことにある。しかし、急速に飛砂量が減少し草原化が進んでいる砂丘の景観を保全するためにも、何らかの非破壊的手法を用いて砂丘内の地下水位分布を探査し、オアシスの発生メカニズムを解明することが望まれている。

## (2) 地下流水音

近年、農林業にとって重要な役割を果たす地下水環境を、非破壊的に簡便かつ迅速に測定する方法が開発されている。地下水が流動する際に発する微弱な音波を地表面において集音し、その地下流水音をもとに、地下水

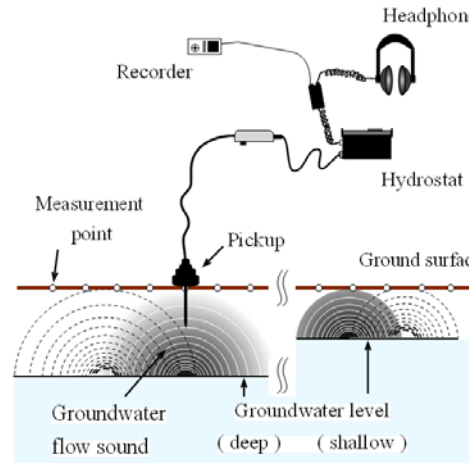


図 2 地下流水音測定の概要

の水みちや通水経路などと呼ばれる周囲と比較して相対的に地下水の集中しやすい流路の分布を得ようとするものである。

この地下流水音は、山腹斜面における地下水の集水地点を敏速に探査することで斜面の崩壊地点を的確に推定しようと開発された技術である(Tada, 2005)。また、地下流水音探査は急傾斜での活動制限下の測定を念頭に開発された技術であるため、測定に要する手順は集音センサを地表面に挿入する非常にシンプルなものである(図2)。そのため自然条件の厳しい環境での野外調査に適している。

一方、地下流水音の音の大きさ等から水位等の地下水環境が推定できる可能性も示唆されており(河合ら, 2006)、実証が期待されている。

## 2. 研究の目的

鳥取砂丘のオアシス発生メカニズムの解明を第一の目的とし、そのための地下流水音探査方法による砂丘の地下水位推定手法の開発を第二の目的とする。具体的な研究内容を以下に記す

(1) 鳥取大学 乾燥地研究センターの実験用砂丘において、地下流水音、地下水位の測定を行い、地下流水音から地下水位を非破壊的に予測出来る手法を確立する。

(2) (1)による成果を用いて鳥取砂丘オアシス周辺の地下水分布を求め、オアシスの発生メカニズムの解明を行う。地下流水音に加えて、非破壊的に探査するために工夫を加えて地盤探査を行い、地下流水音による結果との比較を行う。

## 3. 研究の方法

鳥取大学・乾燥地研究センター内の学術研究用砂丘(500m×500m)内に計40本の観測用井戸を設置した。観測井の設置にあたって

は吸引掘削法（河合，2006）を用い，無水掘削を行った。観測井の掘削後，数日のならし期間において水位計を設置し，地下水位の季節変動を観測した。

設置した観測井の全地点の近傍で，無風時を選び地下流水音を測定した。測定には多田（2006）による地下流水音測定装置を使用した。測定の際の聴音波長域は100-1200Hzとし，低周波の音振動も測定することで地下水の爆気音にターゲットを絞った集音を行った。

得られた地下水位と地下流水音との相関検定を行い，地下流水音を用いた地下水位推定モデルを構築した。

鳥取砂丘の国立公園特別保護地区

(2000m×1000m) 内にて面的な地下流水音測定を行った。研究対象地域には，砂移動調査のために調査杭が100m間隔で設置されており，この杭を目安にGPSによる簡易測量を行いつつ，10m間隔の地下流水音探査を実施した。

地下流水音探査と同地点にて，2次元比抵抗探査を行い，一般的な地盤探査結果による探査方法と地下流水音探査との比較を行った。比抵抗映像法には，一般的な打ち込み電極の使用では砂丘の擾乱を招くため，銀-塩化銀の非分極電極を使用した。

#### 4. 研究成果

図3に，鳥取大学・乾燥地研究センター内の学術研究用砂丘で測定した，地下水位と地下流水音との関係を示す。図は縦軸に地下水位を，横軸に音圧をとっており，測定周波数帯ごとにプロットしている。本結果では，自動車音や水道管等の外音の影響が完全に無視できる11本の観測井を選択しており，それらの年平均地下水位は地表面から約1.0-15.0mと幅がある。また，地下流水音の測定には3種類の周波数帯を用い，全周波数帯とも上限は1200Hzに，下限をそれぞれ100, 200, 400Hzとした。一般に，水流が発生させる音源の周波数は1200Hzが上限とされ，また，

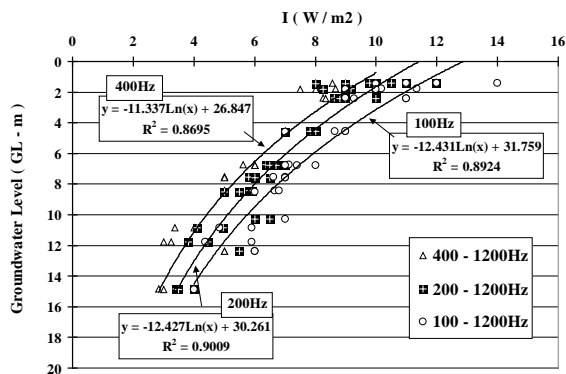


図 3. 砂丘地の地下水位と音圧

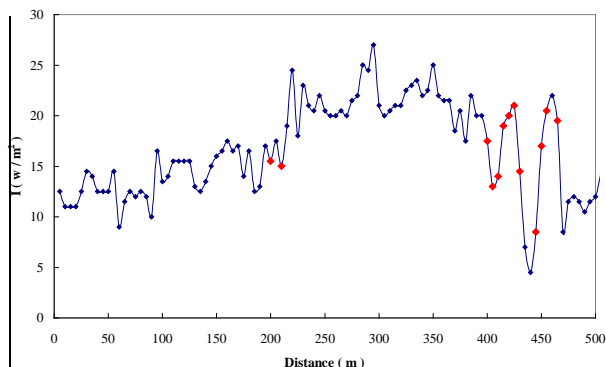


図 4 鳥取砂丘の地下流水音分布

低い周波数ほど風音を捉えやすいことが予備実験により判明している。

図より，地下水位が深いほど音圧が小さく，地下水位が浅いほど音圧が大きいたることが分かる。また，地下流水音と地下水の関係は対数近似した場合，決定係数は全周波数帯で0.85以上と大きなものである。このことから，地下流水音を用いて，高精度で地下水位を推定できることが示された。

また，年間を通した測定において地下水位，地下流水音ともに大きなばらつきは無く，地下流水音による地下水環境の再現性の高さが示された。

図4に鳥取砂丘の国立公園特別保護地区にて観測した地下流水音の測定結果を示す。図は縦軸に音圧を，横軸に距離を示しており，測定は上限を1200Hzに，下限を100Hzとした。なお，図中の赤印は目視で砂丘砂とは異なる火山灰層が分布していた地点である。また，距離88mおよび前後の地点では，センサ針が地下水に直接触れていたため，震動を音圧として取得することが出来ず，本来の値より小さな値を観測したと推定される。

図より，砂丘内で地下水位に大きな違いがあることが分かる。また，図3より得られた相関式を用いて地下水位を推定すると，地表面から0-8mの範囲に地下水面が存在することが推定できる。

図5に，国立公園内砂丘で実施した，2次元比抵抗探査の結果とそこから推定される水文地質境界線を示す。図中の縦軸は標高，横軸は水平距離であり，アイソプレスで比抵抗

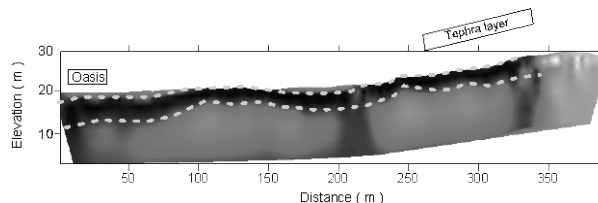


図 5 比抵抗モデルと推定火山灰層

抗を示している。ここで、水平距離 2-30m 付近がオアシス発生点である。図より、比抵抗が 200Ω以下の低比抵抗の物質が水平状態に堆積していることが分かる。例えば、水平距離 50m の地点では深度 2-6m に、水平距離 120m 地点では深度 0-4m に、水平距離 180m では深度 2-6m に、水平距離 300m 地点では深度 0-4m に低比抵抗の物質が存在している。一般的に、吸水した粘土は他の鉱物と比較して低い比抵抗値を有するため、今回検出された低比抵抗物質は大山倉吉層 (DKP) に代表される火山灰層と考えられる。実際、水平距離 270-345m 地点では DKP やローム等の火山灰層が地表面に露出していることを目視にて確認している。また、低比抵抗値堆積物の下部層には、比抵抗値が 800-1200Ωの相対的に高比抵抗層が堆積している。この層は、過去の報告から古砂丘層と判断できる。なお、この火山灰層はオアシスに向かって谷状に傾斜しており、オアシスの発生位置は火山灰層の堆積形状に起因していることが示唆される。

この火山灰層が難透水層の役割を果たしていると仮定すると、図 4 から推定された 0-8m の深度に地下水面が存在するという地下流水音の探査結果は、ほぼ正しいと言える。なお、地下水面が 0m-1m 深と推定された地点は、図 5 中の 100-340m 地点であり、地下水面が 8m 深と推定された地点は、図 5 中の 360m 地点の火山灰層が存在していない地点である。推定された地下水面も、火山灰層の形状と同様にオアシスに向かって傾斜している。このことから、オアシスの発生位置は火山灰層の堆積形状に起因していることが示唆される。

以上の結果をまとめると以下の通りである。1) 地下流水音を用いて砂丘地で地下水面を深度 15m 付近まで推定することが可能である。2) 地下流水音を用いた探査を国立公園内の砂丘で行ったところ、オアシス周辺では地下水位が 0-8m 付近に存在していることが明らかになった。3) 比抵抗映像法探査の結果、オアシス周辺では深度 0-6m 付近に火山灰性堆積物が存在しており、オアシス発生地点に向かって傾斜していることが明らかになった。また、この火山灰性堆積物が難透水層を担っていた場合、地下流水音から推定した地下水深との整合性が見られた。

#### 引用文献：

- (1) 大槻 恭一, 岡田 周平, 神近 牧男, 玉井 重信 : 鳥取砂丘の開発と保全 (小特集 海岸の整備と管理), 農業土木学会誌, 67(12), (1999)
- (2) 大西正巳・近藤正史: 砂丘の生いたち, 大明堂, (1961)
- (3) 岡田 周平, 神近 牧男 : 鳥取砂丘における砂移動と気象因子の関係, 日本砂丘学会誌, 49(1), (2002)
- (4) 藤木 大介, 山中 典和, 玉井 重信 :

鳥取砂丘における植生タイプと埋土種子集団の関係, 日本緑化工学会誌, 26(3), (2001)

- (5) TADA Yasuyuki, (他 6 名) Detection of Collapse Position in Mountainous Slope by Underground Sound Method, Annuals of Disas. Prev. Inst., Kyoto Univ., No. 48 C, 219-229, (2005)
- (6) 河合隆行, 多田泰之, 篠田雅人: 地下流水音を用いた乾燥地における地下水環境測定法, 日本農業気象学会中国四国支部講演会, 2006

#### 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 12 件)

1. 河合 隆行・安田 裕・多田 泰之・松岡 真吾・井上 光弘 : 砂地地盤における地温が浸透に及ぼす影響, 水工学論文集, 第 54 巻, pp. 397-402, 2010, 査読有
2. 多田 泰之: 斜面崩壊発生位置予測技術の最新動向, 緑化工技術, No. 31, pp. 21-48, 2010, 査読無
3. 多田 泰之: 地下流水音探査による崩壊発生場所の予測—一般市民個人からの調査依頼に応えられるユニークな技術—, 地質と調査, 2010 年第 1 号, pp. 39-41, 2010, 査読無
4. 多田 泰之: 地下水の流れる音から山崩れの場所を予測する、森林総合研究所 平成 22 年版研究成果選集, pp. 22-23, 2010, 査読無
5. 多田 泰之: シリーズ「近年の土砂災害」, -2004 年三重県宮川村で発生した土砂災害-, 水利科学, Vol. 53, No. 4 (No. 309), pp. 11-28, 2009, 査読有
6. 高山 成・矢野裕幸・木村礼二・神近牧男: 鳥取砂丘の草原化に対する景観保全活動に伴う植生分布の変遷と砂面変動のモニタリング, ランドスケープ研究, 2, pp. 67-73, 2009, 査読有
7. Takayuki Kawai, Hiroshi Yasuda, Tadaomi Saito, and Yasuyuki Tada, The Influence of Sediment Heterogeneity on Percolation in Sand Dune, Journal of Arid Land Studies, 19-1, pp. 269-272, 2009, 査読有
8. 多田 泰之: 地下水の流れる音から崩壊の場所を予測する, 森林と林業, 2009 年 8 月号, pp. 12-13, 2009, 査読無
9. 多田 泰之: 地下流水音を用いた崩壊発生場所の予測について, 水利科学 Vol. 52, No. 5, pp. 83-115, 2008, 査読有
10. 多田 泰之: 森をはかるシリーズ 山の崩れる場所を探す, 森林科学, No. 53, pp. 57, 2008, 査読無
11. 多田 泰之: 地下水の流れる音から山崩れ

の場所を予測する, 森林総合研究所年報  
研究成果選集 2008, pp. 28-29, 2008, 査  
読無

12. 多田 泰之: 地下水の流れる音から山腹崩  
壊の場所を予測する試み, 山林, No. 1495,  
pp. 34-42, 2008, 査読無

[学会発表] (計 12 件)

1. 河合隆行ほか, 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 年 12 月 4 日, 鳥取
2. 河合隆行ほか: 砂地地盤における地温が  
浸透に及ぼす影響, 第 54 回水工学講演会,  
2010 年 3 月 4 日, 札幌
3. KAWAI T., The shallow groundwater  
exploration with the Groundwater  
Aeration Sound, アジア地域における地  
盤・地下水環境保全のための環境技術～  
次世代の地盤・地下水環境教育と研究の  
アプローチを考える～ 岡山大学国際シ  
ンポジウム招待講演, 2010 年 1 月 14 日,  
岡山
4. 河合隆行: 砂丘地の地質構造と地下水の  
水みちに関する研究, 鳥取大学乾燥地研  
究センター共同研究発表会, 2009 年 12  
月 8 日, 鳥取
5. 河合隆行ほか: 降雪と低温浸透水が鳥取  
砂丘の地下水涵養に及ぼす影響, 2009 年  
度水文・水資源学会, 2009 年 8 月 21 日,  
金沢
6. 河合隆行ほか: 砂丘地の地質構造の不均  
一性が地下水流動に及ぼす影響, 第 56 回  
日本砂丘学会全国大会, 2009 年 8 月 4 日,  
かほく
7. 河合隆行ほか, 砂丘における堆積構造の  
不均一性と土壌水分量の関係, 鳥取大学  
乾燥地研究センター共同研究発表会,  
2008 年 12 月 2 日, 鳥取
8. T. KAWAI et al., The Influence of  
Sediment Heterogeneity on Percolation  
in Sand Dune, 9th International  
Conference on Desert Technologies,  
Nov, 18, 2008, Douz (Tunisia)
9. T. KAWAI et al., A contributing factor  
to soil water movement in dune, Ninth  
International Conference on Dryland  
Development, Nov, 7, 2008, Alexandria  
(Egypt)
10. 河合隆行: 砂丘堆積構造の不均一性が降  
雨浸透に及ぼす影響, 2008 年度水文・水  
資源学会, 2008 年 8 月 27 日, 東京
11. 河合隆行ほか: 砂丘堆積構造物の不均一  
性評価とその影響, 第 55 回日本砂丘学会  
全国大会, 2008 年 7 月 15 日, 大阪
12. 多田泰之ほか: 水みち位置と崩壊幅の関

係に関する考察, 平成 20 年度砂防学会概  
要集, 2008 年 5 月 15 日, 札幌

[図書] (計 2 件)

1. 神近牧男ほか: 鳥取砂丘の歴史 (in 山  
陰海岸国立公園 パークガイド鳥取砂  
丘), 財団法人自然公園財団, 瞬報社写真  
印刷株式会社, 2010, pp. 48 (44-47 担  
当)
2. 神近牧男ほか: 砂丘を知ろうー鳥取砂丘  
検定公式テキストブッカー, 鳥取砂丘検  
定公式テキストブック編集委員会編, 今  
井印刷, 2009, pp. 64 (10-12, 40-47  
担当)

6. 研究組織  
(1) 研究代表者

神近 牧男 (KAMICHIKA MAKIO)  
鳥取大学・名誉教授  
研究者番号: 20032310

(2) 研究分担者

河合 隆行 (KAWAI TAKAYUKI)  
鳥取大学・乾燥地研究センター・プロジェク  
ト研究員  
研究者番号: 20437536

多田 泰之 (TADA YASUYUKI)  
森林総合研究所・水土保持研究領域・研究員  
研究者番号: 40397518