

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14819

研究課題名(和文) 現地砂礫を活用した環境調和+節水型の畑地かんがい法の展開

研究課題名(英文) Feasibility study on an environmentally conscious and water conservation irrigation method for the agricultural field by using capillary barrier of soil

研究代表者

森井 俊廣 (Morii, Toshihiro)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30231640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：砂層とその下部に礫層を重ねた層状地盤では、土の相対的な保水性の違いによって生じるキャピラリーバリア(CB)機能により、境界面の上部の砂層内で地表面から浸潤してきた水分が捕捉され、集積する。表層部に集積された水分は植生に効率的に利用され、下部層への余分な浸潤が制御されることから、少ないかんがい水での栽培が可能となる。礫層による浸潤水の遮断機能は、逆に、浅層地下水からの毛管水の遮断にも働き、塩分集積を効果的に制御できる可能性を持つ。本研究では、圃場での植栽実験を通して、高い蒸発散条件のもとでのCBの植生生長への効果を明らかにした。あわせて半乾燥地域へのCB農法の適用可能性を現地調査により調べた。

研究成果の概要(英文)：A simple soil layer system which is composed of a finer soil layer underlain by a coarser soil one shows a characteristic property of capillary barrier (CB). Gravel as the coarser soil being embedded in a layer at some shallow depth in a farmland, infiltration water from the soil surface is retained just above an interface between the soil layers due to a physical difference in hydraulic properties of the soils. Vegetables will uptake this soil water sufficiently for their growth even under a scarcity of irrigation water. As the gravel layer cuts upward movement of water from a groundwater, it is expected that the CB soil system will also bring an effective prevention of salinization caused by the salt groundwater. In the study, a practical applicability of water-saving irrigation and soil salinization prevention provided by the CB soil system was investigated based on field planting experiment. A feasibility study of the CB system was also conducted in the semi-arid area of Palestine.

研究分野：農業工学(農業農村工学)，地盤工学

キーワード：土のキャピラリーバリア 節水かんがい 砂礫土 土中水分計測 土の不飽和水分特性 塩分集積 雨水ハーベスティング 乾燥・半乾燥地

1. 研究開始当初の背景

乾燥・半乾燥地域は、太陽エネルギーが豊富で農業生産力は潜在的に大きい。それを制約するのが希少な地表水資源と塩分集積による土壤劣化である。本研究では、現地分布する砂礫材がもつ毛管障壁機能を利用して、少ないかんがい水量で済み、かつ浅層の地下水からの塩分上昇を遮断できる畑地かんがい法を提案し、その実用性を圃場植栽試験で明らかにする。塩分集積による土壤劣化を高い確度で防ぐことができ、かつ自然材料である砂と礫を用いるため、環境負荷が小さく持続的である。現地の農家や農業・環境団体によって効果的な圃場を手軽に造成できる点も、優れて現代的な説得性をもつ。乾燥・半乾燥地域の潜在的食糧生産能力を確実に高めてくれる、有望な手法と期待できる。砂層とその下部に礫層を重ねた層状地盤では、土の相対的な保水性の違いにより、境界面の上部の砂層内で地表面から浸潤してきた水分が捕捉され、集積する(図1)。砂層と礫層の境界面が、上部からの水の浸入を防いで障壁のように機能することから、これを土の毛管障壁あるいはキャピラリーバリア(Capillary barrier: CB)という。表層部に集積された水分は植生に効率的に利用され、下部層への余分な浸潤が制御されることから、少ないかんがい水での栽培が可能となる。礫層による浸潤水の遮断機能は、逆に、浅層地下水からの毛管水の遮断にも働く。これらの優れたCBの機能を利用することにより、乾燥・半乾燥地域を対象に、農業生産性を高める新たな畑地かんがい法を提案し、実用化を図っていくことを全体構想とする。

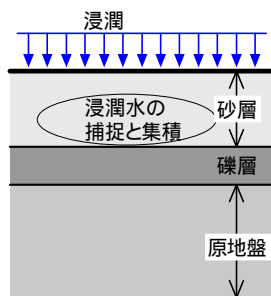


図1 土のキャピラリーバリア機能

水を通しやすい砂と礫を利用して逆に水を遮断・集積する発想は、敬服すべき巧みである。古くは古墳の造営技術に用いられており、長い期間にわたりその性能が持続することが保証されている。古来の知恵を近年の農業が抱える技術問題に適用することにより、あるいは土がもつ潜在的な能力を引き出すことにより、持続性および環境調和性を具体的なものにしていく点を、本研究の斬新性を表す特色としたい。ローテクに備わるタフさは、持続的農業の展開に欠かせない要素である。水平上に敷設したCB層を用いて、乾燥・半乾燥地域における節水かんがい法として展開でき、そのフィージビリティは高いもの

がある。具体化にあたっては、いくつか解決すべき課題がある。つまり、

- a) 乾燥・半乾燥地域における農業への展開に際して、塩分集積への対策が不可欠である。礫層により地下水からの毛管上昇を抑えることができると考えられるため、土壤塩分集積の制御技術としての効果を定量化する必要がある。CBの展開を図る上で、この塩分集積に対する効果は、現実的に欠かせないセールスポイントとなる。
- b) 現地の砂礫材を使うとはいえ、広大な圃場に礫層を敷設するとなると多大な経費がかかる。経済性と工事の簡便さを考えると、根群域の底部に局所的な礫層を敷設するのが現実的である。この場合、局所的な礫敷設による水分の集積機能と作物への効果を定量的に明らかにする必要がある。圃場の低コスト造成も、CBの展開を図る上で欠かせないセールスポイントであるといえる。

ここで、b)で述べた作物の根群域の底部に局所的に礫層を敷設する方法は、実に、日常にみる「植木鉢」(ポット)の植栽技術である。圃場の地表面に、例えば、50cmほどの間隔で深さ30cm程度の植木鉢状の穴を掘削し、そこに礫を落とし再び掘削した砂を埋め戻す作業工程は、機械化に向いている。比較的少ない水、したがって簡便な水供給システムで済むことから、圃場造成の機械化と合わせると、農業団体・法人にとり、農業生産と経営の安定化を図るうえで非常に魅力ある農業技術の一つになると考える。礫層の敷設範囲を植の根群域に見合った大きさ限定するとすると、集積水が側方へ逃げ、植物の利用効率が低下する可能性がある。キーポイントは礫層の敷設範囲の大きさであり、圃場実験と土壤物理学的観点からのメカニズムの検討により、おおよそのフィージビリティを把握する必要がある。これには、加えて、CBの適用が具体的に可能と想定される現地において、実際の工事労力の範囲で現地掘削土から礫材を分離(ふるい分け)でき、かつ埋め戻したのちのCB地盤において、野外条件下で、一定の土中水の保持が担保されるかどうかを調査していくことも必要である。

2. 研究の目的

現地に分布する砂礫材がもつキャピラリーバリア機能を利用して、少ないかんがい水量で済み、かつ浅層の地下水からの塩分上昇を遮断できる畑地かんがい法を提案し、その実用性を圃場植栽試験および圃場計測調査で明らかにする。2年度間の研究期間を対象に、次の研究課題を設定した。

- (1) CBによる節水かんがいおよび塩分集積制御の効果の検討

地下水からの塩分上昇に対するCB層の制御機能を、植栽実験により明らかにする。過酷な蒸発散条件を再現するため、夏のビニールハウス内の実験とする。圃場

にコンテナボックスを埋設・連結し、地下の定水位タンクより模擬地下水を供給する。

(2) 部分埋設した礫層により発揮される CB 機能の検討

実験圃場内に、局所的に敷設する CB 層の直径と敷設深さを実験計画的に変えた複数個のプロットを設置し、点滴かんがいにおける浸潤水の集積状況とロスを計測するとともに、現有の数値解析ソフトを用いて、局所的な CB 層の大きさや埋設深さによる集水効果を定量化する。

(3) CB の適用候補地における可能性調査

3. 研究の方法

(1) CB による節水かんがいおよび塩分集積制御の効果の検討

図 1 に示すように、ビニールハウス内で、原地盤(砂地盤)を 30cm 程度掘削したのち、内寸 L600×W400×H300 のコンテナボックスを直列状に配置し、実験プロットを準備した。コンテナボックスは、下部位置でビニールホースにより連結し、定水位給水ボックスにつないだ。定水位給水ボックスからは、ボールタップを利用して、一定水位の地下水をコンテナボックスに独立に供給できるよう



図 1 地下水上昇制御を調べるための圃場試験

にした。コンテナボックスを設置したのち、底面から厚さ 15cm まで砂を埋め戻し、次いで、図 1 の上段に示す左側の試験区では、厚さ 5cm に礫を敷設し、残りの厚さ 10cm には再び砂を埋め戻した。右側の試験区では、引き続き同じ砂を投入し埋め戻していった。これらの試験区を造成したのち、播種後 10 日経過したミズナを移植した。

(2) 部分敷設 CB における土中水分の保水効果の検討

礫層を根群域程度の深さに敷設することにより、地表面からのかん水を貯留でき、効率的な節水農業が可能になる。しかし、礫層を圃場の全面に敷設するとなると、その工事費用と工事に要する期間は多大なものとなる。このため、礫層の敷設範囲を植物の根群域に見合った大きさ限定することが現実的である。その場合、礫層上部で集積された

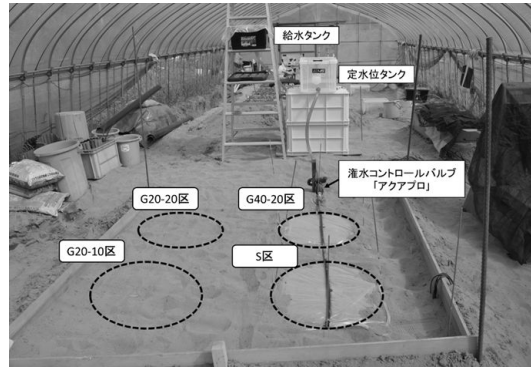


図 2 部分埋設 CB の試験圃場

土中水が側方へ逃げ、植物への利用効率が低下してしまう可能性がある。このような限定された大きさの礫層における土中水分の保水・流動特性を調べるため、図 2 に示すように、直径 20cm および 40cm の礫層を深さ 20cm に敷設し、連続した点滴かんがい条件での土中内の体積含水率を測定した。

(3) CB の適用候補地における可能性調査

2015 年 9 月 3 日から 10 日にかけてパレスチナヨルダン川西岸地区を渡航調査し、Ramallah 市郊外 Baituniya にキャピラリーバリア試験区を設け、自然気象条件下における土壌水分動態の長期計測を開始した(図 3)。現地の土から中礫分の礫をふるい分け、およそ 60cm×120cm 平面、35cm 深さの試験区に、深さ 20cm 位置ならびに 30cm 位置に礫を敷設した。礫を埋設しない対照区とあわせて、計 3 区画の深さ 3 箇所に土壌水分センサーを埋設し、野外条件下で土中水分量をモニターした。現地の土からふるい分けによりを容易に入手できるか、礫層を敷設することにより、降雨量が少ない自然気象条件下でも効果的に土中水分を捕捉できるかどうかについて、土壌水分量の長期モニターにより確認することを、当面の調査目的とした。

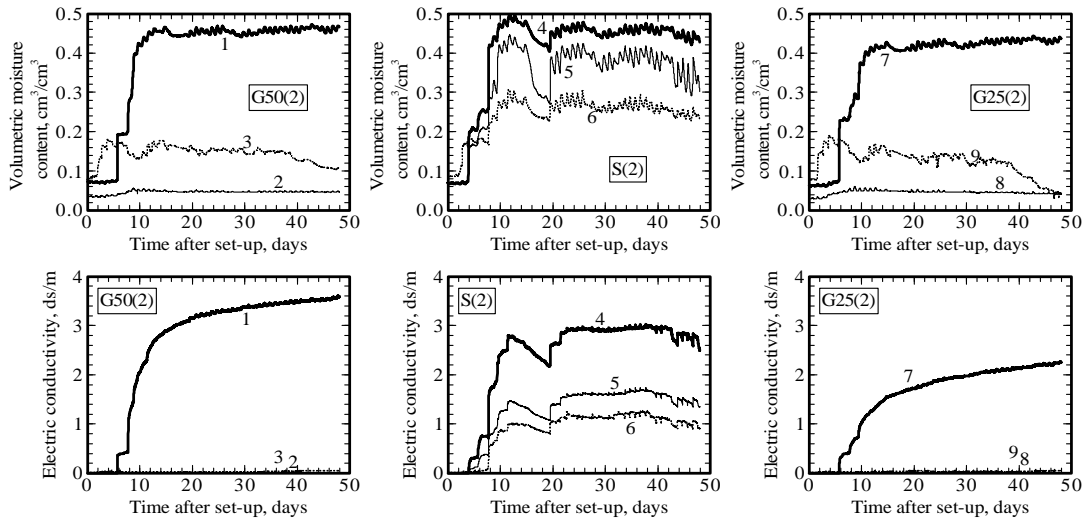


図 3 ラマッラ市に設けた CB 試験区

4. 研究成果

(1) CB による節水かんがいおよび塩分集積制御の効果の検討

試験結果：図 4 に、5TE で測定した体積含水率と電気伝導度 EC の時間変化を示す。すべてのコンテナボックスに地下水が供給されるようになった 1 週間目あたりより、



Note that 1 to 9 indicate numbers of the sensor 5TE embedded in the soil.

図4 圃場地盤中で測定された体積含水率と電気伝導度の変化

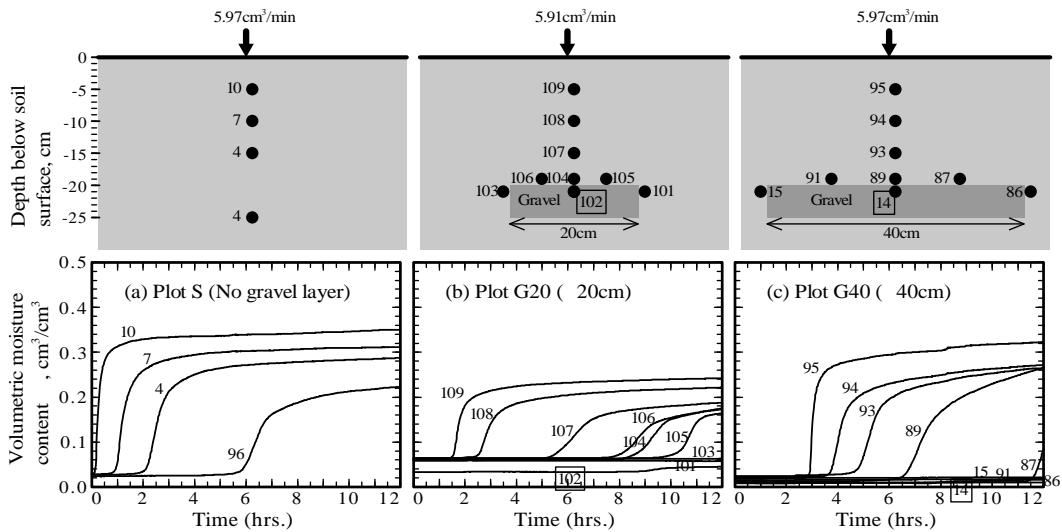


図5 地表点滴かんがい条件下での部分敷設された礫層周辺の土中水分の動き

G25(2)およびG50(2)において、礫層より下の下部砂層で、地下水面からの毛管上昇によりECが急増し、2週間目あたりでほぼ飽和に近い含水状態に達しているのが分かる(G25(2)ではセンサー番号7番、G50(2)ではセンサー番号1番)。しかし礫層内(それぞれセンサー番号8番、2番)では、湿気により多少の微増はあるもののほとんど変化しておらず、ECでみると塩分の侵入(上昇)はまったく認められない。センサー番号9番と3番のECはほとんどゼロを指しており、礫層の上部の増加には、下部砂層から礫層を通過してくるような水分は全く含まれていない、つまり地下水面からの毛管上昇が礫層によって完全に遮断されている。礫層を敷設していない砂層のみのS(2)では、地表かん水の浸潤と地下水面からの毛管上昇によりかなり高い含水状態になっており、ECの変化からいうと、G25(2)とG50(2)に敷設されている礫層より高い位置まで塩分の上昇が生じているのが分かる。これに応じて、中

央の配置Sでは、すべてのミズナが枯死した。
 まとめ：礫層を敷設した実験ヤードで模擬地下水により塩水を供給し、キャピラリーバリアによる塩水の上昇遮断とそれに伴う地表植生への影響を調べた。礫層の敷設により確実に塩水上昇を抑え、地表の植生の塩分障害を除去できることを明らかにした。土のキャピラリーバリアによってもたらされる地表近傍での浸潤水の捕捉と貯留機能、ならびに地下水からの毛管上昇を遮断できる制御機能を利用することにより、塩分集積の少ない効果的な節水かんがい農法の展開が可能であることが明らかとなった。

(2) 部分敷設 CB における土中水分の保水効果の検討

試験結果：地表かん水実験により測定した部分埋設した礫層周辺の体積含水率の時間変化を、図5に示す。G20-10区のような礫層が比較的浅い位置に敷設してある区画では、区画外に水が移動していく速度が速く、水の

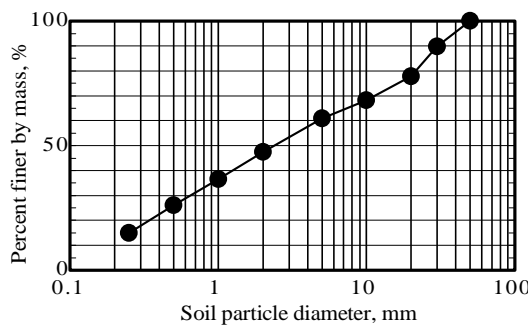
損失が大きい。一方、埋設直径が大きく相対的に深い位置に礫が埋設された G40-20 区で見ると、約 12 時間後に区画外に水が移動し、水の損失が比較的少ないことが分かる。また、G40-20 区の場合は礫層上に水が移動していく速度が遅いため、その分礫層内に水が浸潤するまでに時間を要する。このようにかん水量が多い場合、G40-20 区のように直径が大きい区画の方が礫層上部の砂層における水分保持・貯留効果が高いこといえる。同時に礫の敷設位置を深くすることで砂層に水分を保持しやすくなると考えられる。

まとめ：礫層を根群域程度の深さに敷設することにより、地表面からのかん水を貯留でき、効率的な節水農業が可能になる。しかし、礫層を圃場の全面に敷設するとなると、その工事費用と工事に要する期間は莫大なものとなる。このため、礫層の敷設範囲を植物の根群域に見合った大きさに限定することが現実的となる。その場合、礫層上部で集積された土中水が側方へ逃げ、植物への利用効率が低下してしまう可能性がある。このような限定された大きさの礫層における土中水分の保水・流動特性を調べるため、直径 20cm および 40cm の礫層を深さ 20cm に敷設し、連続した点滴かんがい条件での土中水分の移動を測定した。今回設定した礫層の規模と敷設深さの範囲では、かなり長期の連続したかん水条件でも、効果的に集水が行われる。この

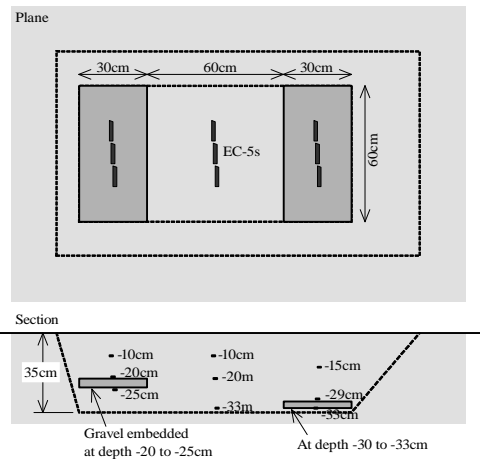
機能は、かん水量とその時間、土の不飽和水分特性あるいは粒度特性、敷設深さと礫層の半径に支配される。本研究の成果は、乾燥・半乾燥地域のかんがい農業の進展に貢献できると期待される。自然材料である砂と礫を用いるため、現地の農家や農業・環境団体によって手軽に造成できかつ環境負荷が小さく持続的である点が、優れて現代的な説得力をもつ。

(3) CB の適用候補地における可能性調査

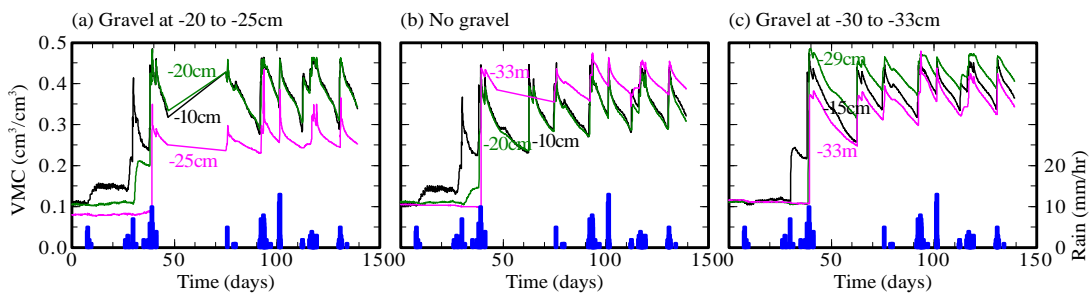
試験結果：図 6 に、2015 年 9 月から 2016 年 2 月にかけての 140 日間にわたる計測結果を示す。横軸に経過時間、縦軸に EC-5 により測定された体積含水率、ならびに第 2 縦軸に雨量計 ECRN50 による時間雨量をまとめている。当該期間は、相対的に雨の多い雨季とされており、計測開始から 30 日目あたりの 10 月下旬頃より土壌水分は全体に高くなってきている。その中で、相対的にはあるが、礫敷設による CB 機能が十分に発揮されているのが分かる。つまり、礫を敷設していない図 6(c)の中央図(b)では、地表水から入ってきた水分は深部にむけて単純に浸潤するだけであるが、深さ 20cm 位置に礫を埋設した小区画(左図(a))では、礫層の直上部で浸潤水が捕捉され、礫層の下部(深さ 25cm 位置)に向けた水分移動はかなり抑制されている。深さ 30cm 位置に礫層を埋設した右図(c)では、左図(a)ほど顕著ではないが、礫層による浸潤



(a) 現地土の粒度



(b) C B 試験区と水分センサーの配置



(c) CB 試験区内の土中水分の変化

図 6 パレスチナの CB 試験区の土の粒度および土中水分量の計測結果

水の捕捉の様子をみることができる。

まとめ：土のキャピラリーバリア機能を利用して節水かんがい，あるいは局所的なウォーターハーベスティングを展開することは，技術的に十分に可能であると考えられる。今後，現地計測データを蓄積し，それらの分析にもとづき，キャピラリーバリアの展開を通して水資源が希少な半乾燥地・荒蕪地の農業振興につなげていきたいと考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- 1) 森井俊広・小林薫・藤巻晴行：土のキャピラリーバリアの社会実装を考える，新潟大学農学部研究報告，69，pp.33-40，2017(査読無)
- 2) 森井俊広・藤巻晴行：土のキャピラリーバリア機能を利用した節水かんがいシステムの開発 - ヨルダン川西岸地区における適用可能性調査 - ，新潟大学農学部研究報告，68，pp.37-41，2016(査読無)
- 3) 小林薫・森井俊広・松元和伸：貝殻を有効利用したキャピラリーバリアによる塩害防止策に関する基礎的研究，土木学会論文集 B3(海洋開発)，71(2)，pp. 874- 879，2015(査読有)
- 4) 森井俊広・鈴木一兄・鈴木哲也・河合隆行：土のキャピラリーバリアの発現メカニズムと実務展開に向けた可能性調査試験，新潟大学農学部研究報告，67(2)，pp.125-132，2015(査読無)

〔学会発表〕(計8件)

- 1) 森井俊広・小林薫・松元和伸・藤巻晴行・井上光弘・竹下祐二：土のキャピラリーバリアの社会実装を考える，平成28年度不飽和土研究会研究発表論文集，2016年12月14-15日，(公財)鉄道総合技術研究所，東京都国分寺市，pp.71-78，2016.
- 2) 森井俊広・藤巻晴行・猪迫耕二：土のキャピラリーバリア機能を利用した小規模雨水ハーベスティングシステムの開発調査，第24回雨水資源化システム学会大会研究発表会講演要旨集，2016年10月29-30日，京都大学農学部，京都府京都市，pp.3-7，2016.
- 3) 森井俊広・藤巻晴行・井上光弘：土のキャピラリーバリア機能を利用した節水かんがいシステムの開発 - ヨルダン川西岸地区における適用可能性調査 - ，平成28年農業農村工学会大会講演会講演要旨集，PDF 6-21，平成28年8月30日-9月2日，ホテル法華クラブ，宮城県仙台市，2016.
- 4) 真柄圭・藤巻晴行・山本定博・井上光弘・森井俊広：砂丘砂キャピラリーバリアにおけるバリア資材により水侵入サクシヨンの相違，日本砂丘学会第62回全国大会研究発表・シンポジウム要旨集，平成28年8月25-26日，島根県農業技術センター，島根県出雲市，pp.22-23，2016.

- 5) 森井俊広・井上光弘・藤巻晴行：礫層を敷設した砂丘圃場におけるキャピラリーバリア効果について，日本砂丘学会第62回全国大会研究発表・シンポジウム要旨集，平成28年8月25-26日，島根県農業技術センター，島根県出雲市，pp.24-25，2016.
- 6) Toshihiro Morii, Haruyuki Fujimaki and Mitsuhiro Inoue: Water Saving Irrigation and Soil Salinization Prevention Provided by Capillary Barrier of Soil, International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng 2016, Jun. 26-29, 2016, Aarhus University, Aarhus, Denmark, pp. 121-127, 2016.
- 7) Tomoyasu Suzuki, Naoyuki Miyatake and Toshihiro Morii: Water Movement and Diversion in Capillary Barrier Soil Layer, Proceedings of the Fourth Japan-Korea Joint Workshop on Unsaturated Soils, 27 Feb. 2016, Okayama University, Okayama, Japan, pp. 105-112, 2016.
- 8) 森井俊広・藤巻晴行・井上光弘：土のキャピラリーバリア機能を利用した効率的な畑地かんがい，平成27年農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.60-61，2015年9月，岡山大学津島キャンパス創立五十年記念館，岡山県岡山市，2015.

〔その他〕

<http://www.agr.niigata-u.ac.jp/~morii/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

森井 俊廣 (MORII, Toshihiro)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：30231640

(2)研究分担者

藤巻 晴行 (FUJIMAKI, Haruyuki)
鳥取大学・乾燥地研究センター・教授
研究者番号：90323253