

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2011～2015

課題番号：23404014

研究課題名(和文) 乾燥環境下における外来植種の排他的侵入特性と地下水文系のヘテロ性との関連

研究課題名(英文) Relationship between the exclusive invasion of alien vegetation, mesquite and heterogeneity of sub-surface zone in arid environment

研究代表者

安田 裕 (Yasuda, Hiroshi)

鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授

研究者番号：60136538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：スーダンでの現地調査、国内解析を実施してきた。数カ所において、メスキート群落内でボーリングを行い、観測井を設置した。日照時間に応答したメスキートの地下水からの吸水が観測され、晴天時の正午頃には日中低下現象(Midday depression)も見られた。根長は樹高の10倍ほどであった。ニューラル・ネットワークによる地下水吸水の数値モデルが開発された。発芽試験では、メスキートは迅速に根を伸長させることが示された(2cm/day)。リモセンにより、メスキートの分布域を判別し降雨量・土壌水分などの水環境との関連を解析した。メスキートの侵入・拡散に対し、地下水の存在がきわめて有意である。

研究成果の概要(英文)：Field survey in Sudan and analysis in Japan have been performed since 2011. In Sudan, observation wells were constructed at several mesquite bushes. Corresponding to solar radiation, water uptake by mesquite was observed. Decline of groundwater table due to the midday depression was indicated around the noon time. The root length was 10 times of the height of shrub. A numerical simulation model for groundwater uptake was developed. Experiments on germination were conducted at Arid Land Research Center and rapid root extension was observed (2 cm/day). Analysis of mesquite spread covering area by remote sensing indicated that high density of mesquite depends on specific soil moisture range region. The mesquite spread can be simulated by a biological spreading simulation model. Existence of groundwater is apparently significant for intrusion and spread of mesquite.

研究分野：水工学

キーワード：地下水 乾燥地 外来侵入種 メスキート

(1) 研究開始当初の背景

北アフリカにおいて、砂漠化防止の手法として、FAO等の国際機関により導入された耐乾性樹種であるメスキートは、防砂林として期待通りの成果を示した。しかし、一方で耐乾性の強さ故に、農地・村落地などに侵入し在来種を駆逐し、地下水源を収奪する外来種として大きな問題となっていた。メスキートが乾燥地で侵入・拡散するための水源は地下水であるが、メスキートと地下水の相互関係についての研究はほとんどなされていない状態であった。

(2) 研究の目的

乾燥環境下で在来植生を駆逐する外来植種メスキートの排他的侵入特性と地下水文系のヘテロ性(heterogeneity)との関係を工学・農学・理学を融合した広範な観点から定量的に評価するために、以下の3つの取組みを行う。

メスキート侵入地での地下水文系(土壌水・地下水)のヘテロ(不均一)性の評価。

メスキート生理・生態特性評価：発芽・根の伸長・吸水性

マクロスケール経年侵入・定着特性評価：衛星画像によるメスキート分布域の評価と降水量・気温等気象・水文時系列との関連。

(3) 研究の方法

メスキートの経年的侵入・伝播と降水量時系列の関連

フィールドスケール

・メスキート群落地の成長・縮小・伝播の観測

マクロスケール

・降水量時系列解析

・衛星画像によるマクロスケールのメスキート群落の抽出

上記のフィールドスケール調査により実証を行う。

・衛星画像による表層土壌水分評価

メスキートは雨期に土壌水分の高い場所に伝播し、根を伸張し地下水を吸水して乾期も枯死しないものと思われる。

メスキートの土中水吸水機構

国内実験

水分ストレスと根の伸張

土壌水分分布と根の伸張

根の伸張の解析

現地調査

対象地区

1) ナイル川伏流地下水領域

ハルツーム・バハリ地区にある College

of Water and Environmental Engineering,  
Sudan University of Science and Technology  
敷地内農地

2) ナイル川支流ワジ領域 Al Rawakeeb  
メスキート群落侵入過程

調査項目

土中水流動機構調査

地下水・土壌水が雨期・乾期を通じてどのように変化をしているか調査する。

地下水・土壌水分

気象：降水量・気温・風向・風速・日照量

既存井戸に加えてボーリングにより観測井さく井実施

(4) 研究成果

メスキートと地下水の関係

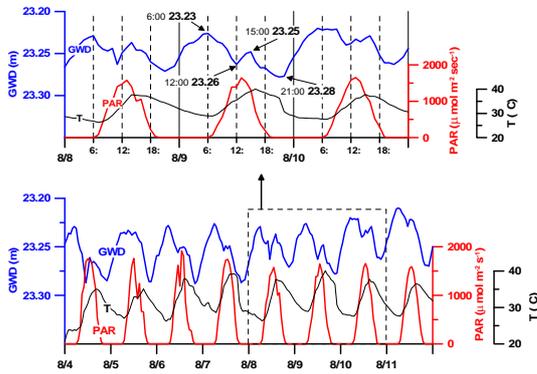
メスキートは地下深くに根を伸長させて、地下水を吸水すると言われていた。しかし、どのような時間スケールで根を伸長させ、どのくらいの空間スケールの深さに達しているかは明白ではなかった。スーダン・ハルツーム



**A mesquite stand at Al Kadaru, Khartoum. Surrounding soil is completely dry. Mesquites can survive by water uptake from deep aquifer.**

ム・アルカダルでの現地調査では、樹高 2-3m のメスキートが 23m 深の地下水を吸水していることが示された。これは樹高のおよそ 10 倍の深さにまで根を伸長させていたことになる。

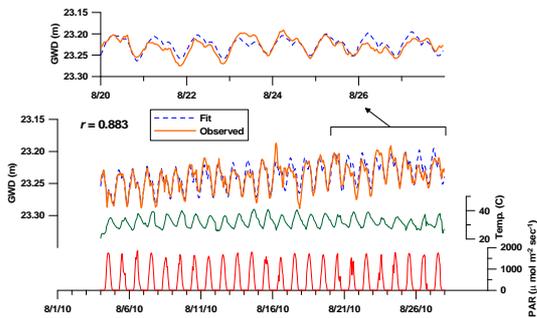
メスキートの吸水特性には日中低下現象 (midday depression) が見られた。日射量が最大となる正午前後に、根による吸水が低下し、地下水位が一時的に回復している。これは乾燥環境下における消耗を防止する生態戦略である。



Groundwater level fluctuation at Al Kadaru, Khartoum

While the height of mesquite shrub is 2-3 m, root reaches groundwater table at 23 m depth. During daytime water level declined due to solar radiation. Around the midday, groundwater level recovered due to the midday depression.

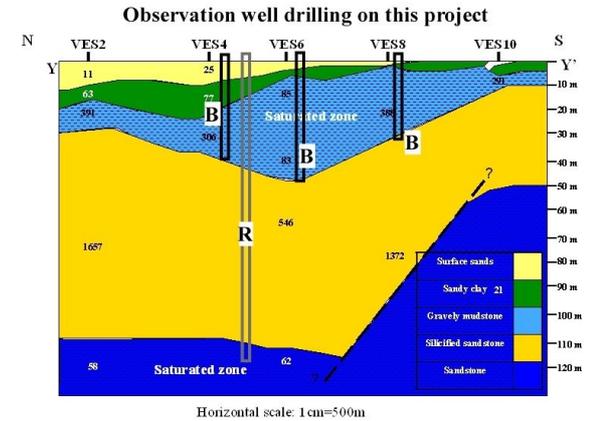
この地下水位の変化を数値シミュレーションすべく、Artificial Neural Network を用いたモデルを構築した。midday depression を考慮した根の吸水に関するダイナミックモデルは存在しないので、Artificial Neural Network を適用した。



Numerical simulation of groundwater table fluctuation by the Artificial Neural Network.

The model follows up observed results. Temporal recoveries by the midday depression are also well reconstructed.

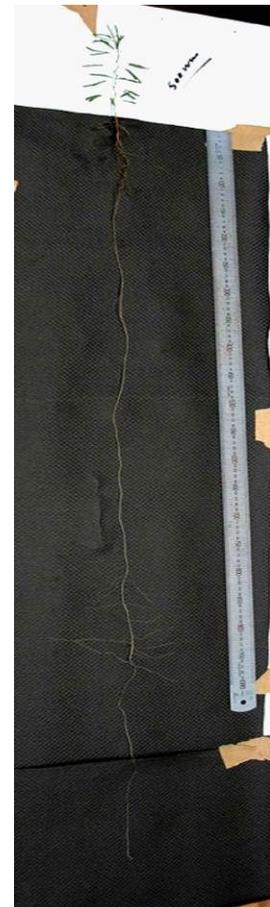
また、ワジ流域である Al Rawakeeb では観測井設置に先立ち、ハルツーム大学理学部地質学科との共同により、物理探査が行われた。現地には 100m 深に Nubia Aquifer があるが、100m 深にまでメスキート根が達しているとは考えにくい。ワジ流域ということなので、浅層に高水分域があり、30m 深観測井では、雨季には水位が確認されていた。しかし、乾期の終了期には、地下水位は観測されなくなる (dry hole)。メスキートが、このような浅層からどのように吸水しているかは定かではない。同位体分析では、メスキートは雨水、表流水、土壌水を吸っているとされた。



Geological cross section of Al Rawakeeb (result of geophysical survey)

B: Well boring in this project, R: Reuse of previous well.

発芽特性  
鳥取大学乾燥地研究センターで実施された実験では、メスキートは発芽後 90 日間に 1m 根を伸長させていた。1日に 2cm のスピードで根を伸長させていたことになる。この時の苗の高さは 10cm ほどであり、植生高の 10 倍が根長であったことになり、上記のスーダンにおける現地調査の結果、樹高 2-3m に対し、根が 23m 深に達していたことと一致していた。また、メスキートの発芽については特定の水分が必要であることが示され、降雨強度との関係が論じられた。

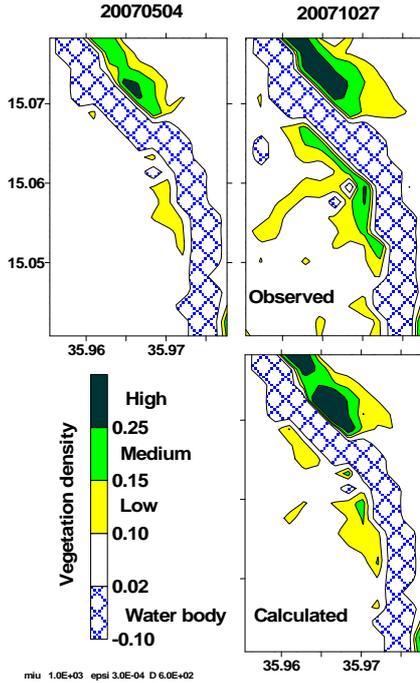


Root extension of mesquite.

45 days after the germination, the root extended to 1 m depth. Mesquite extends roots rapidly (2 cm/day).

メスキートの空間的拡散

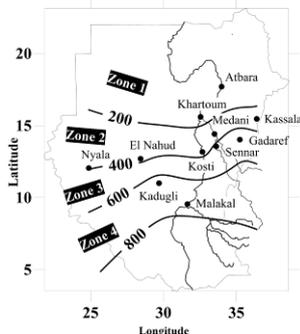
リモートセンシング画像からメスキートの拡散特性を解析した。バイオマスを表す拡散方程式(Fisher equation)と水の移動・拡散を表す方程式を連立させ、雨季・乾期の季節変動に伴う侵入特性を再現した。



**Numerical simulation of mesquite spread.**  
**After the rainy season, mesquite spread.** The numerical result (calculated) shows good fit.

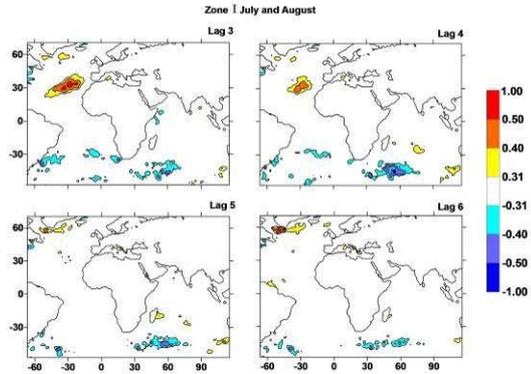
降雨特性

スーダン(スーダン・南スーダン)全土 11カ所の降雨観測所の月雨量データを入手し、その降雨特性を解明した。北部は極乾状態であり、雨季は年 2-3 ヶ月に限定されている。南部は多雨であり乾期は限定的であった。周期解析を行い、卓越周期を抽出し、フーリエ級数による近似を行った。検出された卓越周期に対応する周波数の最適組み合わせには赤池情報量基準(AIC)を適用した。さらに、全球海面温



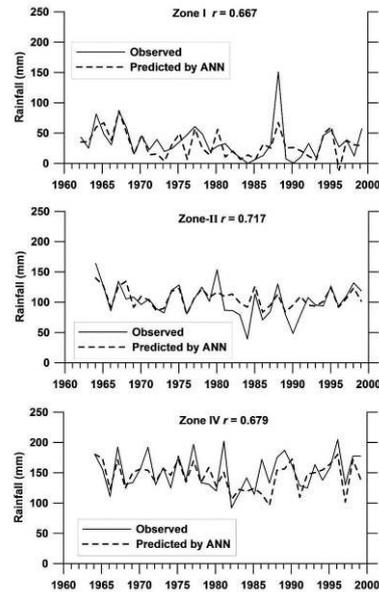
Distribution of annual rainfall over Sudan.

度(Global Sea Surface Temperature: GSST)とのテレコネクションを求めたところ、有意な高相関を持つ海域が抽出された。これらの海域との数か月のラグを持つテレコネクションをモデル化し、雨季降雨量の予測を行った。



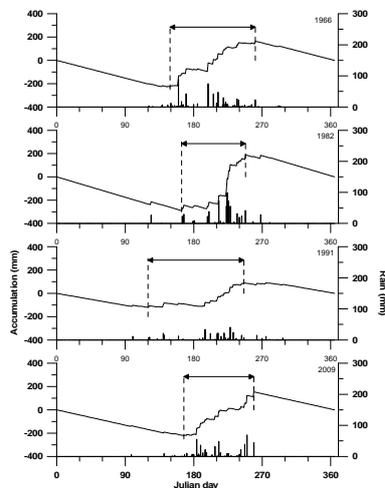
**Teleconnection of rainfall with global SST.**

また、全球海面温度(Global Sea Surface Temperature: GSST)とのテレコネクションも同定された。有意高相関を持つ GSST とのリンクを用いて、雨季降雨量の予測が行われた。数か月前の SST から雨季降雨量の予測が可能であることが示された。

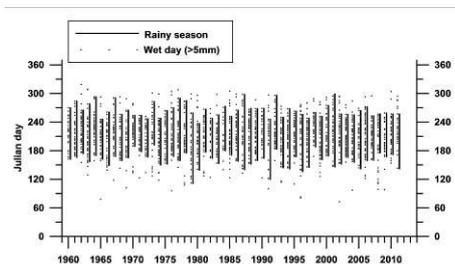


**Prediction of rainfall during the rainy season using the teleconnection.**

また、スーダン中東部ガダーリフの日雨量を解析し、積算降雨量を用いて雨季の開始・終了を同定した。同定された雨季は日雨量 5mm 以下の期間とほぼ同一であった。雨季の開始・終了は経年変動が大きく、天水農業に大きな影響を及ぼしている。



**Identification of the rainy season.**



**Identified rainy season and wet day (rainfall > 5 mm).**

(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 14 件)

Tadaomi Saito, Hiroshi Yasuda, Hideki Saganuma, Koji Inosako, Yukuo Abe and Toshinori Kojima, Predicting Soil Infiltration and Horizon Thickness for a Large-Scale Water Balance Model in an Arid Environment. *Water* 8(3), 96; doi: 10.3390/w8030096. 10 March 2016. (査読あり)

中川 啓・長浦善之・細川土佐男・齋藤雅彦・安田 裕、植生の吸水が土壤中の化学種分布に及ぼす影響、土木学会論文誌 B1(水工学) Vol.72, No.4, I\_259-I\_264, 2016.3. (査読あり)

T. Saito, H. Yasuda, M. Sakurai, K. Acharya, S. Sueki, K. Inosako, K. Yoda, H. Fujimaki, M. A. M. Abd Elbasit, A. M. Eldoma, and H. Nawata. Monitoring of Stem Water Content of Native and Invasive Trees in Arid Environments Using GS3 Soil Moisture Sensors. *Vadose Zone Journal* doi: 10.2136/vzj2015.04.0061. Vol. 15, Iss. 3,

Chakraborty, S., Yasuda, H., Chakraborty, A., Nabeta H., Kawai, T., Ishiyama S., The Nile and Recent Changes in its Basin Environment: Evidences from Literature. *Journal of Resources and Ecology* 6:345-352 2015. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2015.05.008 Sep. 2015. (査読あり)

Hoshino B., H. Nawata, K. Kai, H. Yasuda, K. Baba, S. Ganzorig, Suriga, M. Karina, T. Purevsuren, M. Hahimoto, K. Kawashima, J. Noda, K. Hagiwara and Y. Shibata, Comparative Characteristics of the Home Ranges of Domestic and Wild Animals in Arid and Semi-Arid

Afro-Eurasian Watering Places as Hot Spots for Pasture Degradation. *Journal of Arid Land Studies*. 24(1): 51-56. 2014

K. Yoda, W. Tsuji, T. Inoue, T. Saito, M. A. E., Mohamed Ahmed M Eldoma, M. K. Magzoub, B. Hoshino, H. Nawata, H. Yasuda. Evaluation of the effect of a rain pulse on the initial growth of Prosopis seedlings. *Arid Land Research and Management*. 0: 1-12. Doi: 10.1080/15324982.2014.943376 2014 Apr 2015. (査読あり)

Hyungjun Lee, 安田 裕\*, 石山 俊, 縄田 浩志, Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed. ナイル川中流域ガダーリフの降水量時系列. *水文・水資源学会誌* 27 (1): 29-33 Jan. 2014. (査読あり)

H. Yasuda, M. A. M. Abd Elbasit, K. Yoda, R. Berndtsson, T. Kawai, H. Nawata, A. M. Ibrahim, T. Inoue, W. Tsuji, T. E. Gamri, and T. Saito. Diurnal Fluctuation of Groundwater Levels Caused by the Invasive Alien Mesquite Plant. *Arid Land Research and Management*. 28:242-246, 2014. DOI: 10.1080/15324982.2013.819824. Jan.2014 (査読あり)

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周期特性について. *沙漠研究* 22-3, 363-367 (2012 Sep.) (査読あり)

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. *沙漠研究* 22-3, 357-361 (2012 Sep.) (査読あり)

安田 裕, Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed, 井上知恵, 依田清嗣, 河合隆行, 辻涉, 縄田浩志, 齋藤忠臣. 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* 第 25(5): 315 - 321. Sep. 2012. (査読あり)

Yoda, K., Mohamed Ahmed, M. A. E., Hoshino, B., Nawata, H., and Yasuda, H. 2012 Root system development of Prosopis seedling under different soil moisture conditions. *Journal of Arid Land Studies*. 22(1): 13-16. June 2012 (査読あり)

M. A. M. Abd Elbasit, Yasuda, H., Yoda, K., Eldoma, A., M. Nawata, H., Hoshino, B., Magzoub M., K., 2012 Mesquite (Prosopis Spp.) water uptake under simulated drought conditions. *Journal of Arid Land Studies* 22 (1): 5-8, (June 2012) (査読あり)

B. Hoshino, A. Karamalla, M. A. M. Abd Elbasit, K. Manayeva, K. Yoda, M. Suliman, M. Elgamri, H. Nawata, H. Yasuda. Evaluating the Invasion Strategic of Mesquite (Prosopis juliflora) in Eastern Sudan Using Remotely Sensed Technique. *Journal of Arid Land Studies*, 22 (1): 1-4. June 2012. (査読あり)

[学会発表] (計 11 件)

Hiroshi Yasuda, The role of Mesquite on desertification control. "The First International Environment Conference on the Implementation of Green Belt Khartoum State" 13 March, 2016, Coral Hotel, Khartoum, Sudan. [招待講演]

安田 裕, 齋藤忠臣, 依田清嗣. 乾燥地スーダンにおける外来侵入植生の地下水吸水について、第 70 回農業農村工学会中国四国支部講演会、広島 YMCA 国際文化センター。2015.10.7

依田清胤, 宮脇亮, 縄田浩志, 安田裕, 辻涉. 外来侵略性樹種メスキートの種子膨潤過程における乾燥耐性の評価 第 62 回日本生態学会大会 (ESJ62) 鹿児島、鹿児島大学、2015.03.19

依田清胤, 宮脇亮, 辻涉, 齋藤忠臣, 井上知恵,

安田裕 2014 外来侵略性樹種メスキートの種子膨潤過程における乾燥耐性の評価 鳥取大学乾燥地研究センター平成 26 年度共同研究発表会、鳥取大学乾燥地研究センター、2014.12.07.

Kiyotsugu Yoda, Wataru Tsuji, Tomoe Inoue, Tadaomi Saito, Mohamed A. M. Abd Elbasit, Ahmed M. Eldoma, Magzoub K. Magzoub, Buho Hoshino, Hiroshi Nawata, Hiroshi Yasuda. Evaluation of the ecological role of seed gum in the germination of Prosopis under drought stress conditions. 2nd International Conference on Arid Land Studies. 11 September 2014. Samarkand Davlat University, Samarkand, Uzbekistan

依田清胤、宮脇亮、辻涉、齋藤忠臣、M.A.Elbasit、A.M.Eldoma、星野弘方、縄田浩志、井上知恵、安田裕 2014 侵略性マメ科低木メスキートの降雨パルスに対する発芽・実生成長応答特性の評価 日本沙漠学会第 25 回学術大会 横浜、東京都市大学、2014.06.01

安田 裕、依田清胤、齋藤忠臣、石山俊、縄田浩志、Mohamed, A. M., Abd, Elbasit (2014). 外来侵入植種メスキートの地下水吸水 日本沙漠学会 第 25 回学術大会 講演要旨集 pp. 17-18. 横浜 東京都市大学 2014.05.31

Yasuda Hiroshi. Dynamics of Groundwater Use by Plants in Arid Environments. Mesquite (Prosopis spp.) Water Uptake under Different Simulated Drought Conditions. Risk Societies, Edge Environments: Ecosystems and Livelihoods in the Balance. Oct. 23, 2013. The Research Institute for Humanity and Nature. Kyoto. [招待講演]

H. Yasuda, K. Yoda, S. N. Panda, Mohamed A. M. Abd Elbasit, J. Huang. Dynamics of Groundwater Use by Plants in Arid Environments. The 2nd Annual Pacific Rim Energy & Sustainability Conference. Aug 29, 2013. Hiroshima, KKR Hiroshima, Japan.

中川 啓、細川土佐男、安田 裕. 植生の水利用を考慮した土壌中の反応輸送シミュレーション. 日本地下水学会春季講演会千葉県松戸市 千葉大松戸キャンパス 2013.05.18

Hiroshi Yasuda, Keynote: Hydrology in Arid Environments, International Symposium on Dryland Research & Development, Ministry of Environment, Khartoum, Sudan, 11 June 2012. [招待講演]

[図書](計 5 件)

依田清胤 2014 コラム 3.2 メスキートの根 縄田浩志・篠田謙一編著「砂漠誌 人間・動物・植物が水を分かち合う知恵」国立科学博物館叢書 15、(pp.210 211)、東海大学出版部(査読あり)

依田清胤、星野弘方 2014 3.5 砂漠に広がる外来樹種メスキート 縄田浩志・篠田謙一編著「砂漠誌 人間・動物・植物が水を分かち合う知恵」国立科学博物館叢書 15、(pp.173 179)、東海大学出版部(査読あり)

安田裕、依田清胤 地下水系と植生の水利用との関係 砂漠誌 人間・動物・植物が水を分かち合う知恵 pp.104-114 縄田浩志・篠田謙一著 国立科学博物館叢書 15 東海大学出版部 ISBN 978-4-486-02012-7. Apr. 2014 (査読あり)

Mohamed A. M. Abd Elbasit, Abdelbagi M. Ali, and Hiroshi Yasuda: Environment, People and Development, Experiences from desert ecosystems. Indigenous Water Saving Technologies in Arid and Semi-Arid Regions, Examples from Sudan, Ed: Mahesh Kumar Gaur and P.C. Moharana, ISBN:

978-93-81450-79-6. New India Publishing Agency, New Delhi, India. 2014. (査読あり)

安田裕、Mohamed A. M. Abd Elbasit メスキートの地下水吸水 外来植物メスキート アラブのなりの生態系 4 pp. 103-119. 星野弘方・縄田浩志 ISBN978-4-653-04214-3. Dec. 2013. 臨川書店(査読あり)

【産業財産権】 出願状況(計 0 件) 取得状況(計 0 件)

【その他】

ホームページ等

<http://aquaenviron.web.fc2.com/mesquite/mesquite.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安田 裕 (Yasuda, Hiroshi)  
鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授  
研究者番号: 60136538

### (2) 研究分担者

中川 啓 (NAKAGAWA Kei)  
長崎大学・水産環境科学総合研究科・教授  
研究者番号: 90315135

星野 弘方 (HOSHINO Buho)  
酪農学園大学・農食環境学群・教授  
研究者番号: 80438366

縄田 浩志 (NAWATA Hiroshi)  
秋田大学・国際資源学部・教授  
研究者番号: 30397848

依田 清胤 (YODA Kiyotsugu)  
石巻専修大学・理工学部・教授  
研究者番号: 30254832

齋藤 忠臣 (SAITO Tadaomi)  
鳥取大学・農学部・准教授  
研究者番号: 70515824

西山 浩司 (NISHIYAMA Koji)  
九州大学・工学研究院・助教  
研究者番号: 20264070

辻 涉 (TSUJI Wataru)  
鳥取大学・農学部・助教  
研究者番号: 60423258

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

石山 俊 (ISHIYAMA Shun)  
総合地球環境学研究所研究部・研究員  
研究者番号: 10508865

Mohamed Abd Elbasit Mohamed Ahmed  
鳥取大学・乾燥地研究センター・研究員  
研究者番号: 90569170