

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05883

研究課題名（和文）海域 - 大気 - 沿岸農地連続系におけるスケールギャップを考慮した潮風害予測手法の構築

研究課題名（英文）Prediction of salty wind damage from sea to coastal agricultural field

研究代表者

弓削 こずえ（Yuge, Kouze）

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：70341287

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：潮風害とは、海域で風によって巻き上げられた海塩粒子が陸域に輸送され、農地の作物体に付着して塩害が発生する現象であり、沿岸農地の生産性に深刻な影響を及ぼしている。潮風害の発生は風向や風速などの風況に大きな影響を受ける。本研究は、潮風害の要因となる海域から陸域に輸送される海塩粒子の挙動を明らかにするために、海域から農地における風況を予測し、潮風害による農地の生産性への影響を評価することを目的とする。沿岸農地における複雑な風況を予測するためのシミュレーションモデルを構築し、風洞を用いた再現実験を行った。また、作物体に付着した塩分が降雨や灌漑によって農地土壌面に移動した後の輸送現象を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沿岸農地は津波や高潮による海水の湛水、地下部からの海水の浸入および潮風の流入など、塩害のリスクが極めて高い。この中でも、潮風による被害は視認することが難しい現象であり、沿岸農地の生産性に深刻な影響を及ぼしている。潮風害を支配する主要な要因は風向や風速などの風況であるが、農地では作物群落の影響によって風の擾乱が生じるため、潮風害の予測が難しく、効果的な対策を講じることが困難である。本研究では複雑な風況を精度よく予測するシミュレーションモデルを構築することができた。また、潮風害防止対策として広く用いられている散水灌漑後の塩分の輸送現象を明らかにし、農地の生産性への影響を評価することができた。

研究成果の概要（英文）：Salty wind damage is serious problem on the yield of coastal agricultural fields. It is necessary to clarify the wind condition in coastal agricultural fields for prediction of salty wind damage and protection of crops against the salty wind damage. The aim of this study was to predict the wind conditions and evaluate the effect of salty wind damage on agricultural yield in coastal agricultural field. A numerical model was developed to clarify complicated wind conditions from sea to coastal agricultural fields. Wind tunnel experiment was performed to evaluate the spatial distribution of wind velocity around crop canopy. To protect crop against salty wind damage, sprinkler irrigation is performed after strong wind in the coastal agricultural fields. To clarify its effect and the salt movement in coastal agricultural field after irrigation, field observation was performed in several coastal agricultural fields to evaluate salt stress.

研究分野：灌漑工学

キーワード：塩害 土壌水分 CFD 蒸発散 栽培管理用水

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界の農地の 20%以上が塩害によって収量が低下している。降雨の少ない乾燥地で特に塩害のリスクが高いことが知られているが、沿岸農地でも塩害によって農業生産に深刻な影響が生じている。沿岸農地における塩害の要因として、高潮や津波によって農地表面に塩分が流入したり、地下水に塩水が浸入することに加え、潮風害が挙げられる。潮風害は、海域で風によって巻き上げられた海塩粒子が作物圃場に輸送され、作物体に付着して発生するものである。潮風害の発生は風向や風速などの風況に大きな影響を受けるが、作物圃場においては作物群落によって風況が乱れるため、輸送された海塩粒子の挙動は複雑なものとなる。このため、潮風害の予測や効果的な防止策を講じることが困難である。

2. 研究の目的

本研究は、潮風害の要因となる海域から陸域に輸送される海塩粒子の挙動を明らかにするために、海域から農地における風況を予測し、潮風害による農地の生産性への影響を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 沿岸農地における風況の解明

本研究では、農地における海塩粒子の輸送現象を解明するために、風洞を用いた再現実験を行った (Fig.1)。風洞内に作物群落の模型を設置し、群落の上流および下流部で風速分布を測定した。

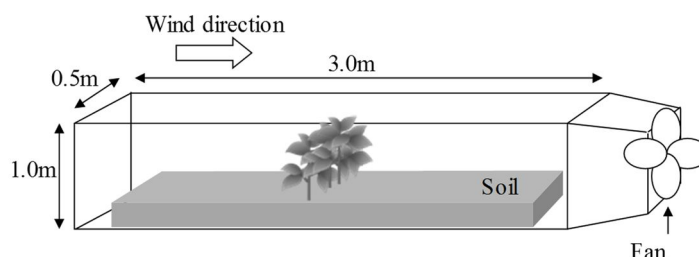


Fig.1 風洞を用いた再現実験の模式図

作物群落による風の擾乱を明らかにするため、次式で表現される連続の式と Navie-Stokes の運動方程式を用いて二次現場における気流解析を行った。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial z} \right) - C_m S \sqrt{u^2 + v^2} u \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial z} \right) - C_m S \sqrt{u^2 + v^2} v \tag{3}$$

ここで、 u, v : 風速の水平および鉛直成分 ($m \cdot s^{-1}$)、 ρ : 空気の密度 ($g \cdot m^{-3}$)、 p : 空気の圧力 ($g \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$)、 K_a : 乱流拡散係数 ($m^2 \cdot s^{-1}$)、 C_m : 群落内の抵抗係数、 S : 葉面積密度 ($m^2 \cdot m^{-3}$)である。 K_a は、次式で求めることができる。

$$K_a = \lambda_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \tag{4}$$

式(4)のパラメータ λ_m は、群落の内外ごとに定められる。

本研究では，MAC法 (McKee et al., 2008) を使い，スタッガード格子系において式 (2) および (3) を解いた．

$$u_{i+\frac{1}{2},k,l+1} = u_{i+\frac{1}{2},k,l} + \Delta t L_{i+\frac{1}{2},k,l} - \frac{\Delta t}{h} (P_{i+1,k,l} - P_{i,k,l}) - C_m S V_{i+\frac{1}{2},k,l} u_{i+\frac{1}{2},k,l} \quad (5)$$

$$v_{i,k+\frac{1}{2},l+1} = v_{i,k+\frac{1}{2},l} + \Delta t M_{i,k+\frac{1}{2},l} - \frac{\Delta t}{h} (P_{i,k+1,l} - P_{i,k,l}) - C_m S V_{i,k+\frac{1}{2},l} v_{i,k+\frac{1}{2},l} \quad (6)$$

ここで， $P=p/\rho$ である． $L_{i+\frac{1}{2},k,l}$ ， $M_{i,k+\frac{1}{2},l}$ ， $V_{i,k,l}$ は次式で定義する．

$$\begin{aligned} & L_{i+\frac{1}{2},k,l} \\ &= -\frac{1}{h} \left\{ \left(\frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} + u_{i+\frac{3}{2},k,l}}{2} \right)^2 - \left(\frac{u_{i-\frac{1}{2},k,l} + u_{i+\frac{1}{2},k,l}}{2} \right)^2 \right\} \\ & - \frac{1}{h} \left(\frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} + u_{i+\frac{1}{2},k+1,l}}{2} \cdot \frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} + v_{i+1,k+\frac{1}{2},l}}{2} - \frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} + u_{i+\frac{1}{2},k-1,l}}{2} \cdot \frac{v_{i,k-\frac{1}{2},l} + v_{i+1,k-\frac{1}{2},l}}{2} \right) \\ & + \frac{1}{h} \left(K_{a\ i+1,k,l} \frac{u_{i+\frac{3}{2},k,l} - u_{i+\frac{1}{2},k,l}}{h} - K_{a\ i,k,l} \frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} - u_{i-\frac{1}{2},k,l}}{h} \right) \\ & + \frac{1}{h} \left(\frac{K_{a\ i,k+1,l} + K_{a\ i+1,k+1,l} + K_{a\ i+1,k,l} + K_{a\ i,k,l}}{4} \cdot \frac{u_{i+\frac{1}{2},k+1,l} - u_{i+\frac{1}{2},k,l}}{h} \right. \\ & \left. - \frac{K_{a\ i,k,l} + K_{a\ i+1,k,l} + K_{a\ i+1,k-1,l} + K_{a\ i,k-1,l}}{4} \cdot \frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} - u_{i+\frac{1}{2},k-1,l}}{h} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & M_{i+\frac{1}{2},k,l} \\ &= -\frac{1}{h} \left(\frac{u_{i+\frac{1}{2},k,l} + u_{i+\frac{1}{2},k+1,l}}{2} \cdot \frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} + v_{i+1,k+\frac{1}{2},l}}{2} - \frac{u_{i-\frac{1}{2},k+1,l} + u_{i-\frac{1}{2},k,l}}{2} \cdot \frac{v_{i-1,k+\frac{1}{2},l} + v_{i,k+\frac{1}{2},l}}{2} \right) \\ & - \frac{1}{h} \left\{ \left(\frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} + v_{i,k+\frac{3}{2},l}}{2} \right)^2 - \left(\frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} + v_{i,k-\frac{1}{2},l}}{2} \right)^2 \right\} \\ & + \frac{1}{h} \left(\frac{K_{a\ i,k+1,l} + K_{a\ i+1,k+1,l} + K_{a\ i+1,k,l} + K_{a\ i,k,l}}{4} \cdot \frac{v_{i+1,k+\frac{1}{2},l} - v_{i,k+\frac{1}{2},l}}{h} \right. \\ & \left. - \frac{K_{a\ i-1,k+1,l} + K_{a\ i,k+1,l} + K_{a\ i,k,l} + K_{a\ i-1,k,l}}{4} \cdot \frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} - v_{i-1,k+\frac{1}{2},l}}{h} \right) \\ & + \frac{1}{h} \left(K_{a\ i,k+1,l} \frac{v_{i,k+\frac{3}{2},l} - v_{i,k+\frac{1}{2},l}}{h} - K_{a\ i,k,l} \frac{v_{i,k+\frac{1}{2},l} - v_{i,k-\frac{1}{2},l}}{h} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$V_{i,k,l} = \sqrt{u_{i,k,l}^2 + v_{i,k,l}^2} \quad (9)$$

式(1)については、次式のように表現される。

$$\frac{1}{h} \left(u_{i+\frac{1}{2},k,l+1} - u_{i-\frac{1}{2},k,l+1} + v_{i,k+\frac{1}{2},l+1} - v_{i,k-\frac{1}{2},l+1} \right) = 0 \quad (10)$$

式(5), (6)および(10)を用い, P を求めるために次式を導入した。

$$P_{i,k,l+1} = \frac{1}{4} \left(P_{i+1,k,l} + P_{i-1,k,l} + P_{i,k+1,l} + P_{i,k-1,l} - h^2 R_{i,k,l} \right) \quad (11)$$

式(11)の $R_{i,k,l}$ は次式で定義した。

$$R_{i,k,l} = \frac{D_{i,k,l}}{\Delta t} + \frac{1}{h} \left(L_{i+\frac{1}{2},k,l} - L_{i-\frac{1}{2},k,l} + M_{i,k+\frac{1}{2},l} - M_{i,k-\frac{1}{2},l} \right) - \frac{C_m S}{h \Delta t} \left(V_{i+\frac{1}{2},k,l} u_{i+\frac{1}{2},k,l} - V_{i-\frac{1}{2},k,l} u_{i-\frac{1}{2},k,l} + V_{i,k+\frac{1}{2},l} v_{i,k+\frac{1}{2},l} - V_{i,k-\frac{1}{2},l} v_{i,k-\frac{1}{2},l} \right) \quad (12)$$

スタaggerド格子系における土壌面の速度の境界条件は Fig.2 に示した通り設定した。

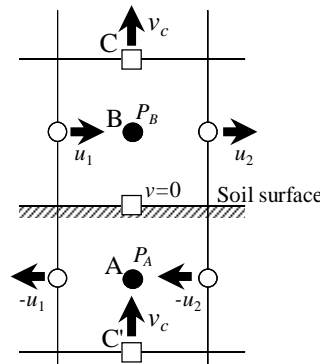


Fig.2 土壌面における速度の境界条件

(2) 沿岸農地土壌中における塩分動態の評価

沿岸農地では、潮風によって輸送され作物体に付着した塩分を除去するために、スプリンクラーなどで散水し、潮風害を防止する手法が採られるケースが多い。こうした対策を講じた場合、塩分は作物体から土壌中に移動して蓄積し、圃場の生産性に深刻な影響を及ぼすことが考えられる。大分県の沿岸部に位置する複数の作物圃場において、土壌中の水分状態および EC を観測し、潮風に暴露された後の農地の生産性の状態を評価した。また、潮風後の土壌中の塩分の輸送状態を予測するため、HYDRUS 2D/3D (Šimůnek et al., 2008) を用いてシミュレーションモデルを構築した。

4. 研究成果

Fig.3 は風洞実験で測定した作物群落の上流および下流部の風速の鉛直分布である。この図に示した通り、群落の上流部の風速分布は対数則に従った分布となっているが、下流部では作物群落の影響によって乱れが生じていた。こうした複雑な作物圃場における風況を式(1)~(3)によって推定した。Fig.4 は風洞内の風速の空間分布の予測結果である。この図に示した通り、作物群落下流側で生じる風の乱れを再現することができた。

Fig.5 は沿岸部に位置するシロネギ圃場で測定した EC の経時変化を示している。強風後、灌漑が実施されたり、降雨が発生すると、土壌中の EC が上昇する現象がみられ、特に、比較的浅

い層において増加が顕著であった。この結果から、強風が頻発し、潮風害を防止するための灌漑が頻繁に行われると、土壌中の EC が高い水準になる恐れがあると推察される。

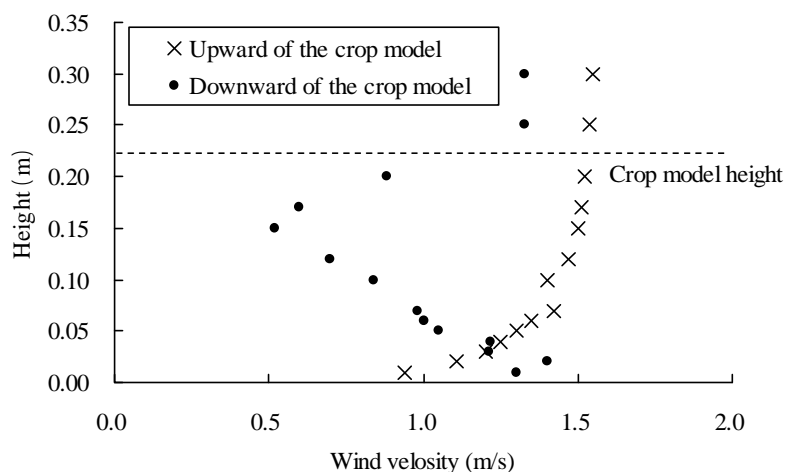


Fig.3 風洞内における風速の鉛直分布

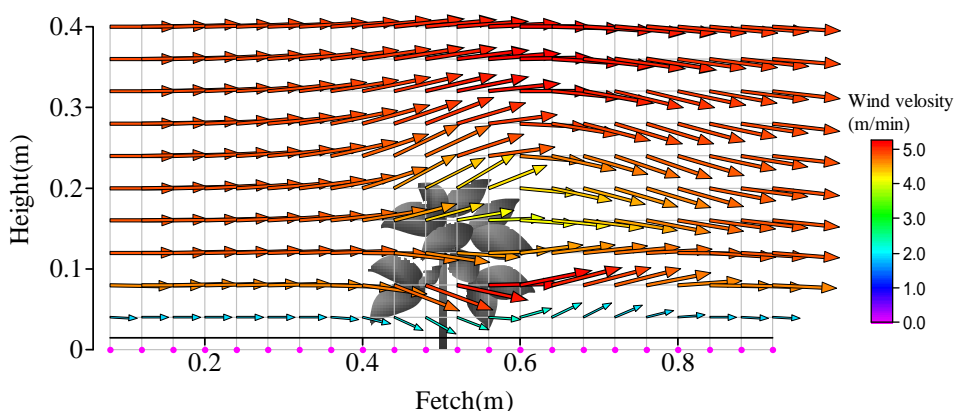


Fig.4 作物群落周辺の風速の空間分布の予測結果

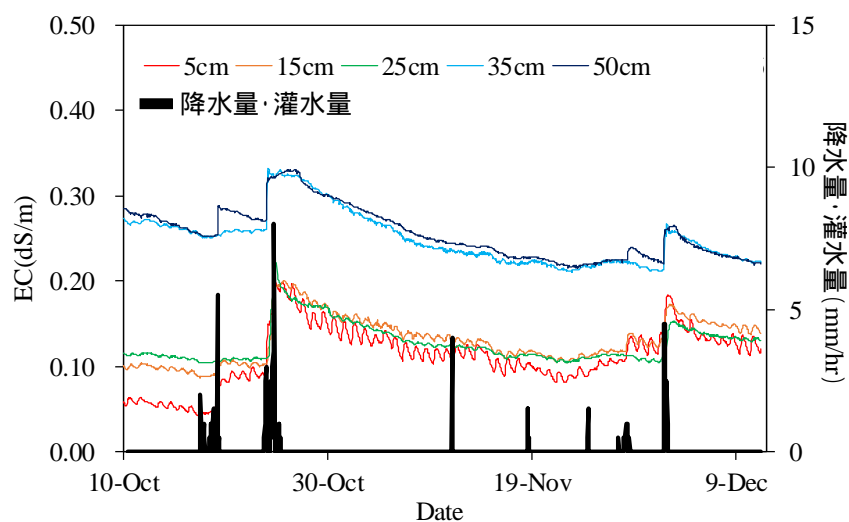


Fig.5 沿岸農地における土壌中のECの経時変化

引用文献

McKee, S., Tomé, M. F., Ferreira, V. G., Cuminato, J. A., Castelo, A., Sousa, F. S., and Mangiavacchi, N.: The MAC method. *Comput. Fluids*, 2008, 37, 907–930.

Šimůnek, J., van Genuchten, M.Th. and Šejna, M. (2008) : Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages and related codes, *Vadose Zone Journal*, 7(2), 587-600.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 阿南光政, 弓削こずえ, 坂田徹	4. 巻 25(2)
2. 論文標題 地下ダムを水源とする畑地灌漑地帯における地下水分布の推定と貯水機能の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 雨水資源化システム学会誌	6. 最初と最後の頁 17-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 弓削こずえ, 阿南光政, 平嶋雄太	4. 巻 309
2. 論文標題 少量頻繁灌漑圃場における水管理実態と消費水量の評価 畑地用水計画の高度化に向けた土壌水分動態解析の適用例	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 I_239-I_249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuge K., M. Anan	4. 巻 11(1)
2. 論文標題 Evaluation of the effect of wind velocity and soil moisture condition on soil erosion in andosol agricultural fields (Model Experiment)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 弓削こずえ, 阿南光政, 平嶋雄太	4. 巻 310
2. 論文標題 イチゴ栽培ビニルハウスにおける水消費環境と土壌水分動態の評価 気象データを用いた消費水量推定方法の精度向上に向けて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農業農村工学会論文集	6. 最初と最後の頁 _155- _164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yuge K., M. Anan, T. Sakata
2. 発表標題 Groundwater analysis in the irrigated farming area of a subtropical island with the subsurface dam
3. 学会等名 38th IAHR World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Anan M., K. Yuge
2. 発表標題 Evaluation of the flood mitigation function of agricultural infrastructures in low-lying rural areas
3. 学会等名 38th IAHR World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂田徹, 阿南光政, 弓削こずえ
2. 発表標題 地下ダムを水源とした畑作地帯における地下水賦存量と用水需要の評価
3. 学会等名 令和元年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 弓削こずえ, 阿南光政
2. 発表標題 畑地における風食防止を目的とした灌漑スケジューリングの最適化
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天野志桜里, 弓削こずえ, 阿南光政
2. 発表標題 少量頻繁灌漑圃場における灌漑スケジューリングおよび節水効果の評価
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 右川紗弥加, 弓削こずえ, 阿南光政, 住吉和彦, 吉松由希恵
2. 発表標題 GISを用いた低平地農村地域における土地利用と洪水緩和機能の関係解明
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 住吉和彦, 吉松由希恵, 諸岡弘文, 阿南光政, 弓削こずえ
2. 発表標題 低平地域における水路整備事業の効果検討(川副南里千地区)
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 弓削こずえ, 阿南光政, 平嶋雄太
2. 発表標題 ミニトマト栽培ビニルハウスにおける土壌水分状態と気象環境の評価
3. 学会等名 第69回 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿南光政, 弓削こずえ, 平川晃
2. 発表標題 島嶼部畑地灌漑地帯における地下水流動モデル構築と農業用水資源の評価
3. 学会等名 第69回 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 弓削こずえ, 阿南光政, 平川晃, 藤木豊
2. 発表標題 土寄せされたシロネギ圃場における土壌水分状態と消費水量の評価
3. 学会等名 令和2年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	阿南 光政 (Anan Mitsumasa) (80782359)	佐賀大学・農学部・准教授 (17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------