

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：17201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07069

研究課題名(和文) 農業農村の洪水緩和機能の強化を志向したハード・ソフトベストミックスの構築

研究課題名(英文) Development of flood mitigation function on agricultural rural areas with non-structural measures

研究代表者

阿南 光政 (Anan, Mitsumasa)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：80782359

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、農村地域から都市部に至る流域を対象とした洪水予測モデルを構築し、農村が有する洪水緩和機能を定量的に評価することを目的とする。まず複数の水利施設が存在する河川を対象に、個々の水利施設の操作による影響を考慮した1次不定流モデルを構築した。本モデルを用いて都市部と農村部が混在する範囲を対象とした内水氾濫シミュレーションを行った。洪水発生メカニズムを視覚的に表現する手法として、解析結果にVR技術を導入した。洪水発生時における農業水利施設の適切な管理を持続するためには対象者に洪水発生メカニズムを適切に認識してもらうことが洪水緩和機能を強化するうえで重要であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to evaluate the flood mitigation function on agricultural rural areas. A simulation model describing one dimensional unsteady flow was introduced to evaluate the effect of the gate opening of multiple diversion weirs in the river. Numerical simulations of flooding event in agricultural rural areas was performed by using this model. To display the process of the flood event clearly, the VR technology was introduced into the indication of the analysis result. To continue the appropriate management of agricultural water facilities in the case of flood, the importance that the mechanism of the flood runoff was recognized appropriately was clarified and the availability of using VR for outputs of analysis results could be devised.

研究分野：灌漑排水，水理学

キーワード：流出解析 防災 洪水緩和 GIS VR

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国においては全国各地で集中豪雨に伴う洪水被害が頻発している。深刻な自然災害が全国各地に頻発していることを受け、国土交通省では重点政策の中で「防災・減災等国民の安全・安心の確保」を挙げており、主として都市部の種々の防災政策を推進している。しかし、国土の防災を検討する際に、河川の下流部に位置する都市部の対策のみで十分とはいえない。都市部の上流や周辺には農村が存在しており、山間部から農村部や都市部に至る流域全体を対象とした災害対策が重要である。一方で農業農村には周囲の環境にプラスに作用する多くの公益的機能があり、その1つに「洪水緩和機能」が挙げられる。従来の洪水対策はダムや堤防の建設などのハード整備と呼ばれる大型公共事業に頼る傾向にあったが、農村の洪水緩和機能を最大限発揮させ、下流部の都市域に波及させるソフト対策を講じることにより、流域全体の防災に資すると考えられる。しかし近年の農村地域は、農林業の低迷、農業従事者の高齢化および過疎化の進行が著しく、その結果、農地の荒廃化や農業水利施設の維持管理不足が生じている。

2. 研究の目的

本研究では、都市から農村地域に至る流域特性を考慮した流出解析手法を構築し、農村の洪水緩和機能を定量評価することを目的とする。農村地域において土地利用形態の変遷を考慮した流出解析数理モデルを構築するとともに農村部から都市部にかけて洪水被害の予測を行う。さらにこれらの手法を用いて降雨流出シミュレーションを行い、農村から都市に向けた流域全体の洪水被害を防止あるいは軽減に向けた水利施設の維持管理方法を提案することを目指す。

3. 研究の方法

(1) 水利施設の挙動を考慮した河川氾濫解析モデルの構築

水利施設単体の挙動に伴う水位変動は、不等流解析によって求めることができる。一方、対象区間内に堰等が複数存在する場合は、個々の堰の倒伏や起立は相互の流況に影響を及ぼし、水位は時間的および空間的に変化する。そのため、こうしたケースにおける河川水面の追跡を行う場合には不定流解析を行う必要がある。本研究では複数の水利施設の動作に伴う河川の水面を追跡するモデルとしてMIKE 11を導入し、次元不定流解析を行った。本モデルでは、次式で表現される運動方程式および連続の式を用いて不定流解析を行うことができる。

$$\frac{1}{g} \left[ \frac{\partial v}{\partial t} \right] + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{v^2}{2} \right] - S + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |v|}{R^{4/3}} v = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (2)$$

ここで、 $g$ : 重力加速度 ( $m s^{-2}$ )、 $v$ : 断面平均流速 ( $m s^{-1}$ )、 $S$ : 河床勾配、 $h$ : 水深 ( $m$ )、 $n$ : 粗度係数、 $x$ : 区間距離 ( $m$ )、 $t$ : 時間 ( $s$ )、 $R$ : 径深 ( $m$ )、 $A$ : 通水断面積 ( $m^2$ )、 $Q$ : 通過流量 ( $m^3 s^{-1}$ )、 $q$ : 横流入量 ( $m^3 s^{-1} m^{-1}$ ) である。なお、 $x$  軸は上流方向を正となるように設定する。**Fig.1**は河道内における計算格子の模式図を示している。この図に示した通り、流量および水深の格子を交互に設定し、式(1)および(2)を解くことによって時間ごとの水深を求める。

堰地点では、水位計算格子点の水位を用いて流量および越流水深を算定する。洪水の際、堰が転倒を始めると、堰前後の水位は徐々に変化する。**Fig.2**は堰ゲートの倒伏動作のモデル化の概要を示したものである。この図に示した通り、堰地点の計算水位が倒伏開始水位に達した時点において、倒伏動作を開始するよう堰ごとに条件を与えた。倒伏開始から完全倒伏に要する時間を倒伏時間  $t_w(s)$  とし、堰高  $H_w(m)$  を倒伏する速度  $v_w(m s^{-1})$  を次式で与えた。

$$v_w = \frac{H_w}{t_w} \quad (3)$$

式(3)の  $t_w$  を様々に設定することにより、堰の倒伏速度を変化させた。倒伏開始から完全倒伏に至るまでの堰高が刻々と変化し、これに伴って堰の上下流の水位も変動するように設定した。

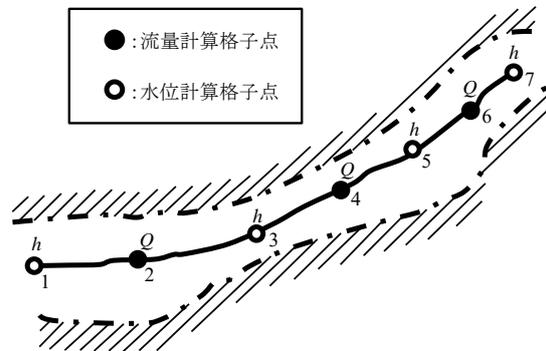


Fig.1 計算格子の概念図

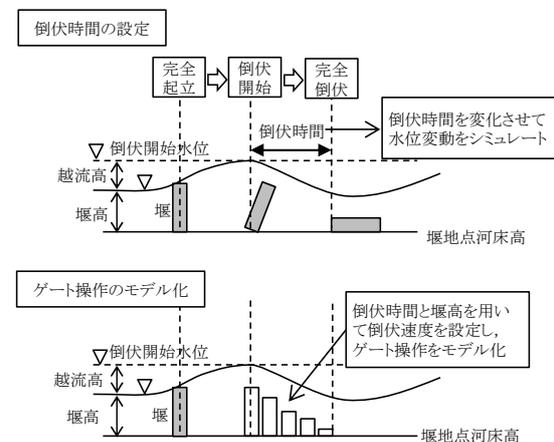


Fig.2 可動堰倒伏のモデル化の概要

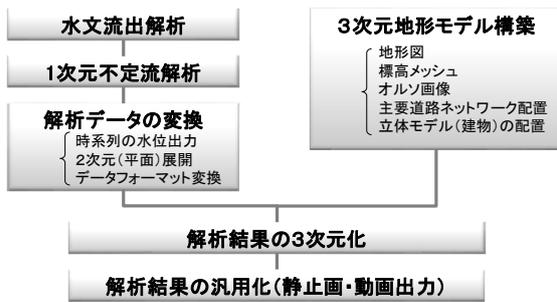


Fig.3 内水氾濫解析結果の可視化手順

#### (2) 洪水被害発生の要因分析

農村地域における土地利用形態の変遷を把握し、降雨流出特性の変化を分析した。まず農地の転用や荒廃化の状況を把握するため、土地改良事業実施直後の土地利用状況について事業当時の事業計画資料、関連機関の営農調査資料、航空写真およびランドサット画像などにより調査分析した。また土地改良事業実施前の状況についても国土地院が公開している戦後直後の航空写真データにより分析し、旧来の流出系統を把握した。さらに降雨特性を評価するために気象庁より解析雨量データを取得した。これらについてGIS上に展開し、土地利用形態の変遷と洪水発生頻度の要因についてオーバーレイ分析を行った。

#### (3) 豪雨に伴う内水氾濫シミュレーション

豪雨に伴う氾濫解析を行う過程として、降雨流出過程をシミュレートする水文流出モデルと、河川水や地表水の流下過程をシミュレートする水理モデルの2つに大別できる。水文流出モデルは対象地域の地形状況、土地利用条件、降雨波形等から判断して適切なモデルを選定することが肝要である。水理モデルは境界条件、水理諸元、水利施設の操作等の諸元をどこまで把握および反映するかによって用いるモデルが決まる。本研究では低平地における集中豪雨時の流出を対象とし、水利施設の操作も考慮した水理現象をシミュレートするため、表面流出モデルと1次元不定流モデルを組み合わせた複合モデルを採用して、内水氾濫シミュレーションを実施した。

#### (4) 解析結果の可視化

洪水発生時において、農村地域の持つ洪水緩和機能が効果的に発現することは、農家や農地のみならず、宅地や道路といった一般市民の生活環境にも効用をもたらす。これらの公益的機能を広く一般市民、地域社会の理解認識を醸成することが、効果を持続的に発現するうえで肝要である。本研究では、湛水被害防止効果を地域により効果的にPRするためのアウトプット(可視化)手法を検討した。本研究におけるアウトプット手法の流れをFig.3に示す。まず不定流モデルを用いて解析

した内水解析結果(1次元)についてGISを用いて平面(2次元)に展開することで、浸水範囲のシミュレーションを行った。さらにこれらの結果を市民により分かりやすく表現する手法として3次元可視化を試みた。3次元空間を扱えるデジタル手法としては高度な機能を有するGISやCAD等が該当するが、本研究では事業効果を動的に表現するツールとして3次元リアルタイムVRソフトウェア(UC-Win/Road, フォーラムエイト)を用いた。まず本研究における解析範囲について地形や構造物の3次元化を試みた。地形構築に用いた5mメッシュ標高は、国土地院のサイトから入手可能なXML形式データであり、これらはGISソフトを用いて汎用GISファイル形式(shpファイル)に変換したうえで、オルソ画像に反映させることで地形条件の3次元化を図った。また主要な河川、クリーク、車道および住宅等の建物については現地状況及びオルソ画像を参考にして、ソフトウェア上で3Dモデルを個別に配置した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 水利施設の挙動を考慮した河川氾濫解析モデルの構築

Fig.4に示した複数の農業用取水堰が存在する河川区間15kmを対象に洪水時の不定流水面追跡を行った。対象区間の上下流端の境界条件には、国土交通省より一般公開されている時間当たりの流量データを用いた。途中区間での河川合流による流入量は、流域面積と比流量を用いて算定した。洪水時の水面追跡結果の一部をFig.5に示す。対象洪水は22時にピークを迎えるが、ピーク洪水到来後、上流から水位が下降し始め、一方、下流側の水位は上昇し続けており、上流側の堰から順次倒伏していく状況を再現することができた。

さらに各水利施設の操作方法が洪水時の水位変動に与える影響を分析するため、堰の倒伏時間を現況から3段階に変化させて、各条件を組み合わせる不定流解析を行った。その結果、倒伏時間の組み合わせによって、水面変動に差異が生じることが確認された。そこで堰の倒伏速度の違いによる水位変動の影響を定量的に評価するため、評価関数を導入した。本研究における数値的指標を示す関数として、計算時刻 $n$ 、計算地点 $j$ における計算水深 $h_{nj}$ (m)を用いて評価関数 $F_e$ を次式で定義し、水位変動に与える影響を評価した。

$$F_e = \frac{1}{M \cdot U} \sum \frac{|h_j^n - h_j^{n-1}|}{h_j^n} \quad (4)$$

ここで、 $U$ は計算時刻総数、 $M$ は計算地点総数である。式(4)は各地点における水位変動率の平均をとったものであるが、ここでは毎正時の不定流解析結果に対して算定した。計算ケースごとに求められる評価関数値を用いて、堰の倒伏速度が水位変動に及ぼす影響を定量的に検証した。

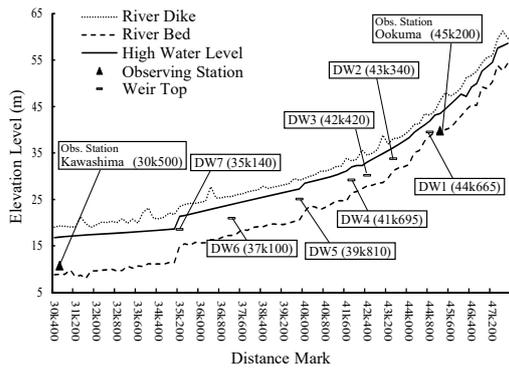


Fig.4 対象区間の河床標高および堰の位置

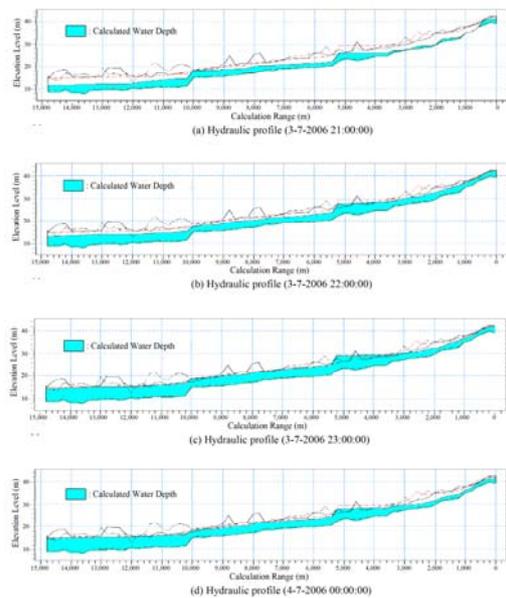


Fig.5 1次元不定流解析による水面追跡結果

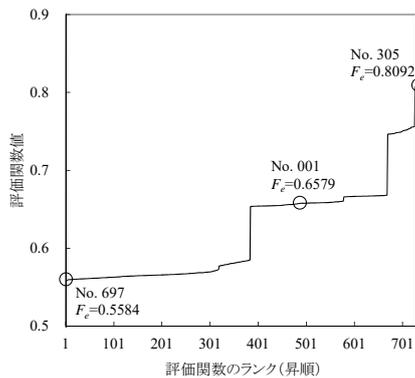


Fig.6 対象区間の河床標高および堰の位置

Table 1 評価関数が最大または最小となる条件

堰	堰の倒伏時間 (min)		
	基本ケース No. 001	評価関数最小 No. 697	評価関数最大 No. 305
DW1	20	20	40
DW2	30	60	15
DW3	20	20	40
DW4	20	40	20
DW5	(固定堰)	(固定堰)	(固定堰)
DW6	40	20	40
DW7	40	20	80
評価関数値	0.6579	0.5584	0.8092

評価関数を用いて水位変動の度合いを評価した結果を Fig. 6 に示す. 評価関数は同一地点における 1 時間当たり水位変動の変動率平均を示しており, 評価関数値が大きくなるほど, 水位変動が生じたと判定できる. 729 ケースの評価関数値は平均で 0.6192 であった. Tab.1 に現況の倒伏条件と, 評価関数が最大および最小となったケースの倒伏条件および評価関数の値を示す. 基本ケースの評価関数値は全ケース平均値よりもやや高い値となっている. 以上の検証により, 本モデルによって個々の水利施設の挙動とその影響をシミュレートすることが可能であることが明らかとなった.

## (2) 洪水被害発生の要因分析

土地利用状況の変化が洪水発生に与える影響を分析するため, GIS を用いて地形条件, 土地利用状況及び洪水時流出量について現況と 1980 年代を比較した. その結果, 現在の土地利用では 1980 年代と比べて 3% の流出量増加がみられた. 水田の施設畑化, 宅地化などが進行したことにより, 30 年余り経過したことで現況では洪水が発生しやすくなっていることが解明された.

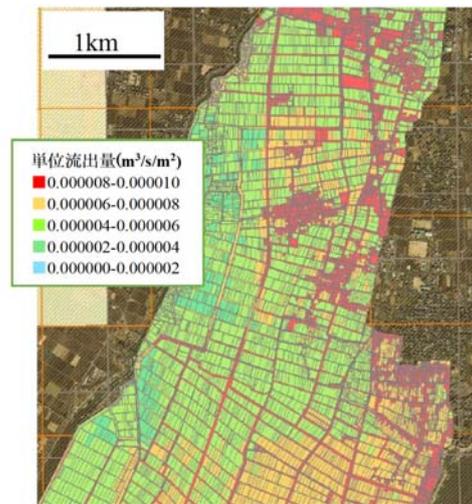


Fig.7 単位流出量の空間分布 (CASE1)

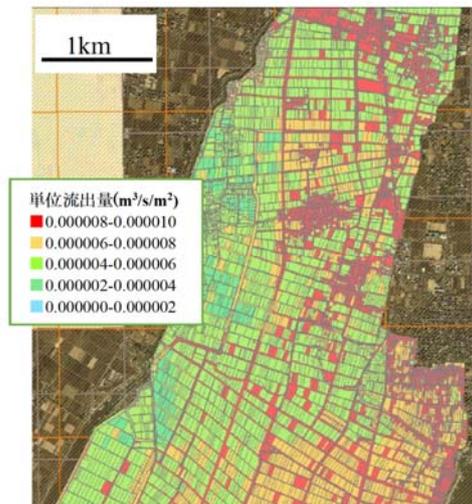


Fig.8 単位流出量の空間分布 (CASE2)

### (3) 豪雨に伴う内水氾濫シミュレーション

2012年7月の北部豪雨時の境界条件を用いて当時の内水位の再現(CASE1)を行うとともに排水ゲートの管理が規定通りに適切に操作されていた場合(CASE2)のシミュレーションを行った。解析期間内における内水位の最大到達水位と河川や水路が溢水したことにより湛水状態となった個所の最大湛水審をTable 2に示す。解析の結果、内水位の最大到達水位は、CASE2において低下し、CASE1と比較すると0.21mの差が生じた。湛水深においても同様の傾向が見られるが、CASE1で0.50mだった水深がCASE2では0.39mで、その差0.11mと到達水位に比べると水深差は小さかった。このことから、CASE2で洪水水位の低下は効果的であったが、湛水エリアの解消には至らなかったことが分かった。しかし一方で最高到達水位が低下したことで、上流側の都市部において湛水被害が解消されたことが分かった。Fig.9およびFig.10はそれぞれのケースの湛水エリアを平面図上に示して可視化したものである。CASE2においても湛水箇所は残っているものの下流側川沿いの農地のみであり、上流側の宅地密集地での湛水は解消されていることが分かる。したがって洪水発生時に適切なゲート管理がなされることで、農地の一時的な湛水は生じるものの、道路等のライフラインの冠水を免れ、さらに人口の多い住宅部の防災に資することができていたことが示された。

Table 2 内水位解析結果の比較

内水位解析結果		CASE1	CASE2	差
到達水位 (m)	最高	3.26	3.05	0.21
	最低	2.47	2.36	0.11
	差	0.79	0.69	0.10
最大湛水深 (m)	最高	0.50	0.39	0.11
	最低	0.00	0.00	0.00
	差	0.50	0.39	0.11



Fig.9 解析結果による湛水範囲図 (CASE1)



Fig.10 解析結果による湛水範囲図 (CASE2)

### (4) 解析結果の可視化

社会・市民への防災意識の醸成、災害発生時の農村地域の防災減災機能のPR手法の1つとして、本研究で実施した豪雨時の氾濫シミュレーション結果についてVR技術を用いて時空間的(4次元)に視覚化を行った。VR空間の一部を画面キャプチャでFig.11およびFig.12に示す。地形条件や湛水範囲を立体的に表現することに加えて、降雨や内水位上昇の時間的および場所的变化についても表現に取り入れることで、湛水の発生過程を可視化した。地形標高は5mメッシュ標高に対して、氾濫解析による計算内水位を反映して着色したことから、従来のハザードマップよりも湛水エリアを細分化して表現することができた。さらに降雨の強弱を合わせて表現したことで、降雨流出と湛水発生の時間的差異や因果関係を可視化することができた。

Photo.1は解析結果についてヘッドマウントディスプレイを使用して疑似体験している様子である。VR技術による可視化は体験者に強いインパクトをもたらす。今後の防災意識の醸成、農村の洪水緩和機能のPRにおいて本研究は非常に有用であると期待している。

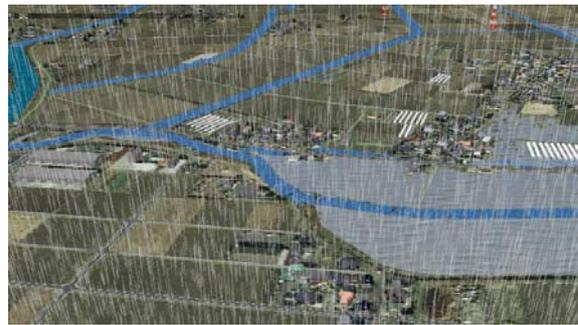


Fig.11 洪水発生過程のVR可視化(降雨時)

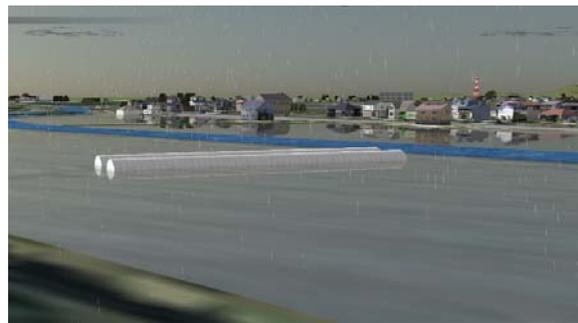


Fig.12 洪水発生過程のVR可視化(農地の湛水)



Photo.1 ヘッドマウントディスプレイを用いた解析結果の視聴と洪水発生の疑似体験

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

1. 弓削こずえ, 濱田耕佑, 阿南光政, 濱上邦彦, Jos C. Van DAM, Joop G. KROES: 干拓農地における水分ストレスの評価と灌漑スケジューリングの最適化, 農業農村工学会論文集, 査読有, 85(2), I\_137-I\_143, 2017
2. 弓削こずえ, 阿南光政: 畑地における作物根の分布と土壌面蒸発の変動を考慮した土壌水分動態解析と消費水量の定量化, 土壌の物理性, 134, 17-24, 2016
3. 阿南光政, 弓削こずえ, 濱田耕佑, 水落二郎: 洪水時における河川の水位変動を抑制する取水堰群の操作, 農業農村工学会論文集, 査読有, 84(2), II\_37-II\_44, 2016

[学会発表] (計 12 件)

1. 天野志桜里, 弓削こずえ, 阿南光政, 濱田耕佑: 少量頻灌漑圃場における土壌水分状態と灌漑スケジューリングの評価, 平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会, 2017 年 11 月 1 日, 福岡県福岡市
2. 木原泰彦, 住吉和彦, 桑原一登, 阿南光政, 弓削こずえ: 低平地域における“田んぼダム”の効果検証. 平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会, 2017 年 11 月 1 日, 福岡県福岡市
3. 木原泰彦, 住吉和彦, 吉松由希恵, 桑原一登, 阿南光政, 弓削こずえ: 低平地域における水路整備事業の効果検証. 平成 29 年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会, 2017 年 11 月 1 日, 福岡県福岡市
4. 阿南光政, 弓削こずえ, 濱田耕佑, 平川晃: 島嶼部畑地灌漑地帯における地下水有効利用の検証, 平成 29 年度農業農村工学会大会講演会, 2017 年 8 月 29 日-9 月 1 日, 神奈川県藤沢市
5. 松尾美咲, 長裕幸, 阿南光政, 佐田俊彦, 佐藤克久, 上村智子, 上野大介: 低臭い嗅ぎガスクロマトグラフィー (GC-0) および臭気指数をもちいた農業用水および堆積物の臭気評価に関する基礎的検討, 平成 29 年度農業農村工学会大会講演会, 2017 年 8 月 29 日-9 月 1 日, 神奈川県藤沢市
6. Yuge K., M. Anan, Y. Oohira, M. Kanayama: Evaluation of applicability of hedge bamboo (*Bambusa multiplex*) to irrigation canal revetment material for environmental consideration, 4th International Conference on Agriculture and Forestry, 24-25 August, 2017, Colombo, Sri Lanka
7. Anan M., K. Yuge, K. Hamada: Optimization of operating agricultural diversion weirs to mitigate flood. 37th IAHR World

Congress, 13-18 August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia

8. Yuge K., M. Anan, K. Hamada: Quantification of irrigation effect on the ground water recharge in crop fields of the subtropical island, Japan. 37th IAHR World Congress, 13-18 August, 2017, Kuala Lumpur, Malaysia
9. 阿南光政, 弓削こずえ, 濱田耕佑, 平川晃: 島尻泥岩分布地域における地下水流動解析と地下ダム計画, 2016 年度土壌物理学会大会, 2016 年 10 月 29 日, 京都府京都市
10. 弓削こずえ, 阿南光政, 濱上邦彦, 濱田耕佑: 干拓地の作物圃場における地下水の塩水化および連続干天による複合ストレス予測, 2016 年度土壌物理学会大会, 2016 年 10 月 29 日, 京都府京都市
11. 阿南光政, 山口和浩, 川畑雅彦: 農業水利施設の劣化予測に関する簡易診断点検手法の検討-潤滑油診断技術を用いた排水機場の劣化予測-, 第 97 回農業農村工学会九州沖縄支部講演会, 2016 年 10 月 20 日-21 日, 鹿児島県鹿児島市
12. 草場篤慶, 弓削こずえ, 阿南光政, 濱田耕佑: 浅埋設暗渠圃場における地下水位および土壌水分状態の変動, 第 97 回農業農村工学会九州沖縄支部講演会, 2016 年 10 月 20 日-21 日, 鹿児島県鹿児島市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿南 光政 (Mitsumasa Anan)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号: 80782359

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし