

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26292129

研究課題名(和文) 農地水利用と洪水のシームレス一体型解析モデルの開発

研究課題名(英文) Development of a Seamless DIF (Distributed Water Circulation, Inundation and Flood) Model Combined with Agricultural Water Use and Floods

研究代表者

増本 隆夫 (MASUMOTO, Takao)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門 地域資源工学研究領域・領域長

研究者番号：80165729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：気候変動により生じる両極端現象(渇水と洪水)の増大に焦点をあて、これまで別々に解析してきた農地水利用と氾濫を伴う洪水を同時に連続して解析できる「シームレス一体型解析モデル」を開発した。農地水利用の長期的な解析に対し、各地で頻発する氾濫、早魃等は単発的な短期間現象として単独解析が行われてきたが、広域に渡る極端現象の再現や農地や水利施設群の一体的管理のため両者を連続的に取扱う必要がでてきた。両者を継ぎ目無く追跡可能にしたモデル開発により、水田地帯の持つ洪水防止機能を積極的に活用した大規模災害に対する順応型流域管理や極端に観測データの少ない地域における新たな流域灌漑方策の提案へと展開した。

研究成果の概要(英文)：Focused on extremes (droughts and floods), which are expected to increase in future, a Seamless DIF (Distributed Water Circulation, Inundation and Flood) model to consecutively simulate agricultural water use and floods was developed. In relation to long-term analyses of agricultural water use, events of floods and droughts have been analyzed independently as separate short-term phenomena, although these now cause severe disasters in many places. Yet, the necessity for their replication over their expanded areas and for the integrated basin-scale management of agricultural lands and water use facilities requires us to handle water use and floods continuously. By establishing a model to seamlessly track both, we extended our outcome application to adaptive watershed management against devastating calamities that initiatively utilizes flood prevention functions of paddies and to propose "basin-scale irrigation planning" in the areas applied despite the scarcity of data.

研究分野：農業水文学

キーワード：極端現象 洪水防止機能 順応型流域管理 流域灌漑方策 シームレス解析モデル

1. 研究開始当初の背景

提案する「シームレスモデル」とは継ぎ目のないモデルを意味しているが、これまで長期解析が必要な農地水利用と短期解析としての洪水や氾濫は別々に取り扱われてきた。しかし、気候変動を見据えた将来変動等の予測やその影響評価に対し、巨大化する氾濫や先鋭化する渇水等の現象を長期間（例えば、数十年間）に渡って連続して取り扱う必要性が出てきた。

2. 研究の目的

気候変動により生じる両極端現象（渇水と洪水）の増大に焦点をあて、これまで別々に解析してきた農地水利用と氾濫を伴う洪水を同時に連続して解析できる「シームレス一体型解析モデル」を開発することが主な目的である。加えて、灌漑水利用と洪水を継ぎ目無く追跡可能にすることで、水田地帯の持つ洪水防止機能を積極的に利活用した大規模災害に対する順応型流域管理や極端に観測データの少ない地域における新たな流域灌漑方策の提案へと展開することを目標としている。また、水田地帯における氾濫湛水と収量被害との関係を実験的に示すことにより、水稻の氾濫に対する被害やリスクの評価とともに、水田への氾濫水導入など、洪水貯留機能の積極的な利活用への可能性の探索ができる。さらに、灌漑の開発段階の違う3つの対象流域を比較検討し、氾濫の特徴、農業水利用と氾濫との関係が明らかになる。次いで、気候変動による極端現象の増大に対する農地や灌漑施設への影響評価、対応策としての排水施設等の規模更新や管理の変更等について指針が示される。

3. 研究の方法

(1) シームレス一体型解析モデルの開発ならびに検証のため、3つの対象地域を選定する：(A)鬼怒川流域(灌漑開発が進んだ流域)；(B)チャオプラヤ川流域、タイ(巨大灌漑ダム・灌漑地区を有する流域)；(C)メコン河流域トンレサップ湖周辺流域(未開発かつ新規灌漑開発が盛んだが水文気象データが極端に不足している流域)。次に、抽出した現地に関して、氾濫(A:2015年関東・東北豪雨による鬼怒川氾濫、B:2000年及び2011年メコン河氾濫、C:2011年チャオプラヤ川氾濫)を含む数年間～10年間の解析期間を設定する。対象地域について、関連データ(気象・水文観測、灌漑・排水計画、土地利用、施設情報(貯水池、頭首工、堰)用水系統、河川・排水路等、対象期間内の施設管理情報等)を収集する。加えて、氾濫データを収集し、必要に応じて現地観測を行う。流域を、約1km四方(A)と約10km(B,C)に分割し、分布型水循環モデルと氾濫域の詳細流域分割のプラットフォームを完成させる。また、2003年に設置のトンレサップ湖畔水文気象観測塔での観測を強化更新する。さらに、農

工研圃場内に、湛水深・時間等を制御可能な実験施設を設置し、水稻被害曲線を作成する。

(2) 対象流域における各対象期間に対して分布型水循環モデル(DWCM-AgWU)の適用を行うとともに、モデル中での氾濫水の扱い方法を検討し、超過洪水量の処理、水田洪水貯留メカニズムの組み込み方法を考える。一方、低平地タンクモデルを改良して、水田・都市タンクの河道への複数点接続、水田タンク間の2次元接続・流量計算法、ネットワーク水路の計算方式、氾濫域セルの可変性、計算単位時間の切り替え等の検討とアルゴリズム化を行う。上記両者のアプローチを統合して、シームレス一体型解析モデルのアルゴリズムを検討する。さらに展開し、収集したデータに基づき、A～C地域での解析を順次進め、シームレス一体型解析モデルのプロトタイプを作成する。

(3) 一方、気象等の現地観測は継続しながら、各種GCMによる気候変動実験結果についても入手を行い、開発済みの独自のバイアス補正法により、各実験結果を1～5kmまでダウンスケールを行う。

(4) シームレスモデルを完成させ、対象流域における氾濫解析ならびに長期解析を行う。同時に、開発したモデルを利用して、気候変動対応策としての農地主体流域における水田や農業用施設を利用した氾濫等に対する流域管理方策、特に都市近郊水田地帯の持つ洪水防止機能の積極的利用方策を検討する。また、データが極端に少ない流域(例えば、メコン河流域内のトンレサップ湖周辺流域等)において、「流域灌漑方策」を提案し、各種データの模擬発生を行い、疑似観測データとして利用するなどの対応策を検討する。

4. 研究成果

(1) メコン河流域内のトンレサップ湖内のチョクニアス地点において継続観測を行っている水文気象観測塔の全てのセンサー(降水量・水位・水温(3高度)・水面温度・気温(2高度)・風向・風速(2高度)・相対湿度(2高度)・大気圧・降雨量・全天放射量・上向き短波・下向き及び上向き長波放射、アルベド・放射計機械温度、湖面水位)の更新に加え、濁度等の水質センサーを追加し、全てのデータをARGOSシステムにより自動で衛星によるデータ収集・測位できるシステムへと強化した(写真1)。



(a) 6月(洪水時) (b) 11月(氾濫時)

写真1 長期連続観測施設(トンレサップ湖畔水文気象観測塔)の更新

(2) DWCM-AgWU モデルを基礎として、農業水利用と洪水を同時に解析するのアルゴリズムを開発した。通常時はダム操作、水田水配分、河川の流出等が各サブモデルで計算され、全てのセルで計算が終了すると次の時間ステップに移行する(日単位)。ある地点で洪水発生(河川流量 > 河川通水能力)と判断されると氾濫計算に移行し、発生地点より下流の範囲は氾濫域に分類し、通常時の陽的解法から、バックウォーターの影響を考慮できる陰的解法に切り替える(図1)。

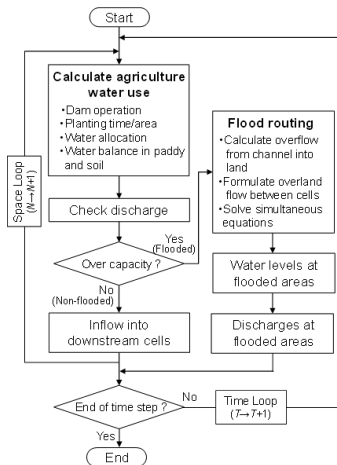


図1 農業水利用と氾濫の同時解析アルゴリズム

図2に計算セルの内部構造ならびに河道セルや水田セル(通常のDWCM-AgWUモデルの分割セル: 1~10km四方)の接続状況を示す。洪水発生時には、河道セル内の河道流は不等流計算を行い、堤防から水田セルへの越流量および水田セル間の表面水移動は両者の水位差を比較してセキの公式で求める。水田セルでは、上下左右の隣接4セルとの間の氾濫流れとして2次元氾濫現象を表現する。氾濫貯留に道路の役割は重要で、低平域の地表面より標高の高い幹線道路等が堤防の役割を果たし、それらで囲まれた地域で洪水が貯留される。道路路線を単純化させてセル枠上に設定し、その機能を発揮させる。

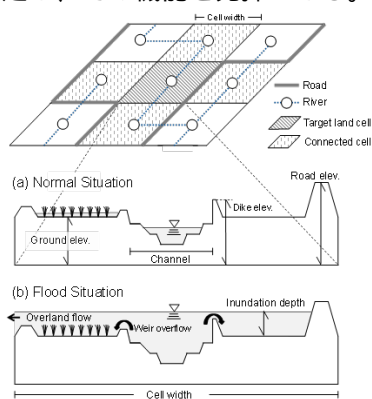


図2 主要な取水施設の位置と広域灌漑地区の分類

タイ国チャオプラヤ川流域で2011年に発生した70年確率規模の大洪水に対して、シムレス一体型解析モデルを適用した。計算

による氾濫面積は約15,000km²となったが、衛星写真より推定された氾濫範囲の約41%に留まっていた。また、洪水貯留量の大きな役割を担った水田域(図3黒枠内)の最大貯留量は約2,700MCMと計算され、衛星写真からの推定貯留量の約70%となった。推定結果の精度向上は今後の課題ではあるが、今回の氾濫や水管理の特徴である、i)下流低平域に甚大な被害が発生したが、氾濫水は広大な水田域に一時貯留され、周辺都市域の被害軽減に大きく寄与した、ii)上流域に灌漑を目的とした複数の大規模ダムを抱え、洪水時には下流の氾濫被害軽減を目的とした操作が求められるなど、農業水利用と洪水処理は密接に関係していた、ことなどをうまく説明できた。

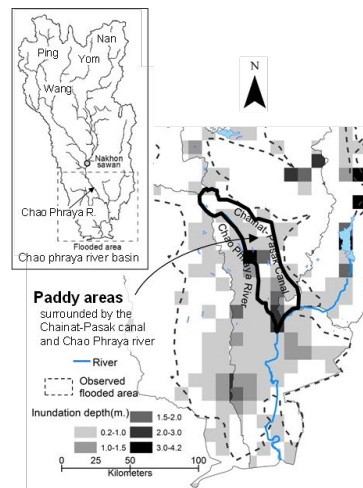


図3 2011年洪水時における最大の氾濫範囲及び浸水深の推定結果

(3) 水稲冠水試験の結果をとりまとめて、水稲被害推定に使用するための減収尺度を策定した。まず、減収尺度を用いた水稲被害の推定手法の検討に関しては、事前の試験として2012年から2014年に実施した3年分の模擬冠水試験結果をまとめ、水稲の減収尺度を策定した(図4)。

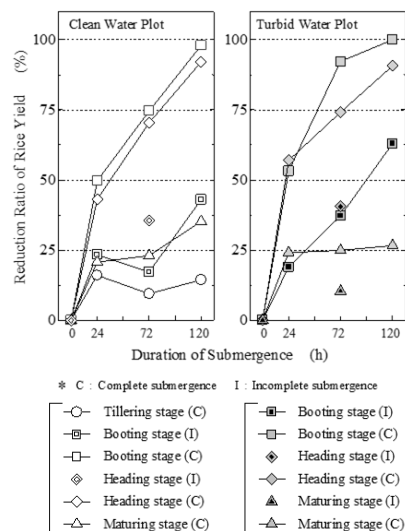


図4 玄米重量と品質の低下に注目した暫定版の水稲減収尺度

この尺度を用いて水稻被害リスクの推定を実施した。減収尺度より、水稻の冠水被害は冠水の発生時期及び、水田水深と草丈の関係によって大きく異なることが明らかになった。そのため、被害推定のためにはこれらの関係を考慮し、尺度を排水解析出力に適用する方法を検討した。そこで、対象地区における豪雨規模と湛水被害面積の関係を水深別に評価した。入力豪雨は2年確率(頻繁に起こりうる規模)~10年確率(排水計画基準)~200年確率(極端規模)の10通りの確率3日雨量で、それぞれ300パターンの降雨波形(1h単位)を設定し、300パターンの豪雨データを排水モデルに入力し、湛水被害発生面積を推定した(水深30cm以上、継続時間24時間以上で被害)。例えば、石川県加賀三湖地区の被害面積をピーク水深別に纏めた(図5)。

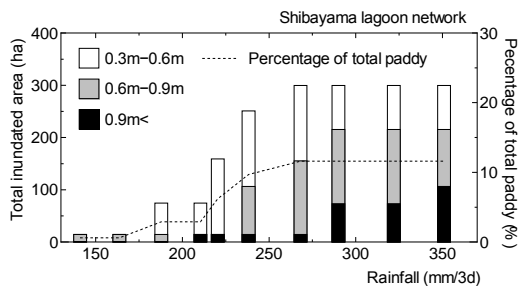


図5 降雨規模と24時間以上の湛水発生面積の関係(色分け:冠水時の最大水深)

広域排水リスクの評価に向けて、気候シナリオから抽出した豪雨イベントの特性と変化傾向を明らかにした。データは現在期間(Present、1981-2005)に対し将来を近未来(NearF、2026-2050)、21世紀半ば(Mid21C、2051-2075)、21世紀末(End21C、2076-2100)に分割した。豪雨の特性を時系列で比較した結果、どのRCPシナリオでも、将来の豪雨の頻発化、規模の強大化、豪雨量の変動係数の上昇、高位RCPシナリオでの極端規模の豪雨発生などの特徴が明らかになった。ただしその変化度合いはシナリオにより異なり、予測の不確実性が示された。そこで、気候予測に見る不確実性を考慮した広域排水リスク評価を実施した。まず、これまで開発してきた豪雨の模擬発生手法(皆川ら、2014)を活用し、気候予測の不確実性を考慮した確率雨量値の強度分布を得た(図6)。

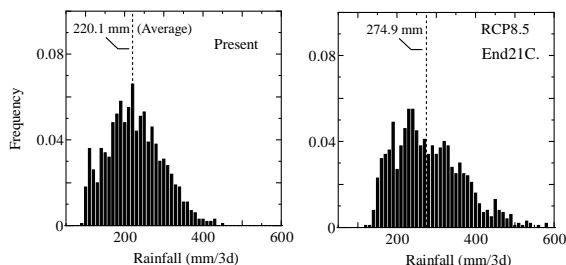


図6 気候シナリオの不確実性を反映させた確率雨量の強度分布とその将来変化(10年確率雨量での比較)

確率分布として得られた雨量値に、降雨波形と発生月の情報を与えて、一連の広域排水リスクの評価法に入力した。その結果、河川水位にみる洪水リスク、水稻減収量を評価した水田被害リスク等において、不確実性を考慮したリスク評価を行った。特に、水田被害リスクでは、雨量の確率年毎に被害量や損失金額を具体的に算定でき、現在から将来にかけての気候変動の影響を考慮したリスクの変動度合いを確率値として評価した(図7)。これにより、従来の決定論的手法では得られなかった平均的な現象から最悪規模までの被害状況とその発生確率を予測でき、さらにそのリスクの時系列変化も評価した。

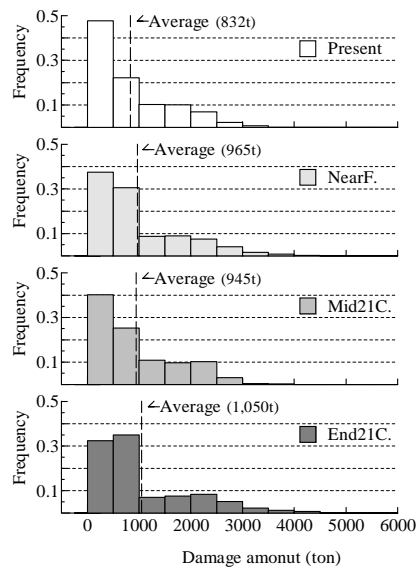


図7 低平水田域における水稻被害リスクの時系列変化(RCP8.5における10年確率での比較)

(4) 気候変動に伴う災害リスクの軽減のために、豪雨に伴う災害や甚大な被害を引き起こす大氾濫に焦点を絞り、洪水危険度の高い低平水田地帯の水田や農業施設が持つ洪水防止機能の考え方や前述のチャオプラヤ川流域の大氾濫の事例のような実際にその機能が運用例を明らかにした。さらに、その機能をマクロに評価する方法を紹介し、実際に発生した氾濫を例に、その機能評価法の妥当性について検討するとともに、超過洪水時にそ

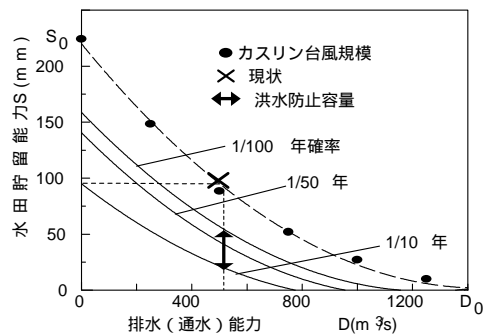


図8 対策としての都市河川に対する水田の洪水貯留能力の評価例(小貝川の例)

の機能を活用する流域管理方法の提案を行った(図8)。特に、検討の中心として、低平水田地帯の大氾濫を焦点に、水田や農業用排水施設が持つ洪水防止機能を積極的に活用する方法を提案した。

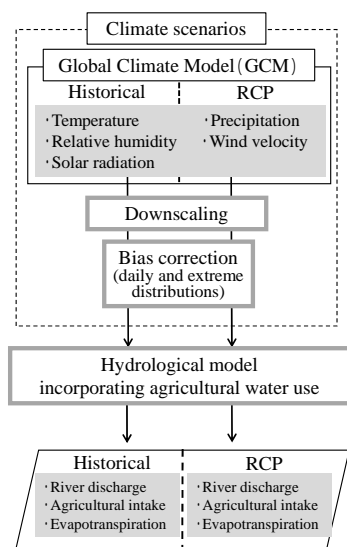


図9 流農業水利用に対する気候変動影響評価法の構成

一方で、メコン河流域の極端に基礎資料が不足しているカンボジア河川灌漑流域への一連のモデルの適応可能性について検討した。ここでは、各種の農地水利用過程を考慮した分布型水循環モデルおよび全球気候モデル出力を利用した農業用水や農業用施設に対する定量的な温暖化影響評価法(図9)を適用することで、灌漑計画を策定するための長期間データを疑似観測データとして提供できることが明らかになり(図10)、一連の方法を「流域灌漑方策」と名付けて提案した。これらの検討により、気候変動影響に対する対応策について、具体的な適応策とその効果の評価方法についてとりまとめた。

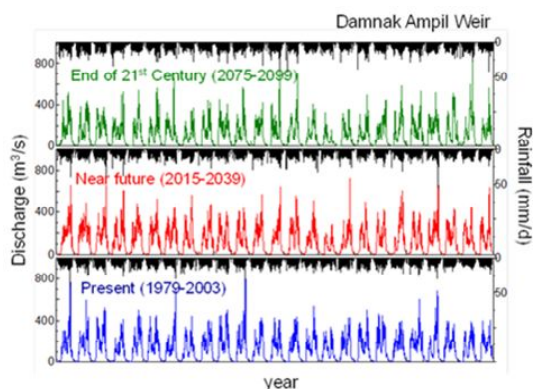


図10 流域灌漑方策による長期疑似観測データの作成結果(Damnak Ampil 堰地点)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計29件)

Vongphet, Jutithep, Takao Masumoto, Hiroki Minakawa and Ryoji Kudo (2017): Modification of DWCM-AgWU

Model Applied to a Paddy-dominant Basin with Large Dams, Irrigation and Drainage, 66(1), pp.60-70, DOI: 10.1002/ird.2013 (査読有)

Kudo, Ryoji, Takeo Yoshida and Takao Masumoto (2017): Nationwide assessment of the impact of climate change on agricultural water resources in Japan using multiple emission scenarios in CMIP5, Hydrological Research Letters, 11(1), pp.31-36 (査読有)

Kudo, Ryoji, Takeo Yoshida, Takao Masumoto (2017): Uncertainty analysis of impacts of climate change on snow processes: Case study of interactions of GCM uncertainty and an impact model, Journal of Hydrology, 548, pp.196-207, doi:10.1016/j.jhydrol.2017.03.007 (査読有)

Yoshida, Takeo, Takao Masumoto, Naoki Horikawa, Ryoji Kudo, Hiroki Minakawa and Norio Nawa (2016): River Basin Scale Analysis on Return Ratio of Diverted Water to Irrigated Paddy Areas, Irrigation and Drainage, 65(S1), pp.31-39, DOI: 10.1002/ird.2040 (査読有)

Masumoto, Takao, Takeo Yoshida and Ryoji Kudo (2016): Basin-Scale Irrigation Planning in Areas with Scarce Data, Irrigation and Drainage, 65(S1), pp.22-30, DOI:10.1002/ird.2032 (査読有)

皆川裕樹・増本隆夫・北川巖(2016): 洪水時の流域管理に向けた水田域の水稻被害推定手法, 農業農村工学会論文集, 303(84-3), pp.I_271-I_279 (査読有)

KUDO, Ryoji, Takao MASUMOTO and Naoki HORIKAWA (2015): Modeling of paddy water management with large reservoirs in northeast Thailand and its application to climate change assessment, Japanese Agricultural Research Quarterly (JARQ), 49(4), pp.363-376 (査読有)

Yoshioka, Yumi, Masumoto, Takao, Maruyama, Kazuhiko and Minakawa, Hiroki (2015): Agricultural water-gate management for operational flood protection in low-lying paddies, Journal Teknologi, 76:17, pp.37-44 (査読有)

VONGPHET, Jutithep, MASUMOTO Takao, MINAKAWA Hiroki (2015): Development of a seamless model to simultaneously simulate agricultural water use and the effects of flooding, Applied Hydrology, 27, pp.29-37 (査読有)

工藤亮治・増本隆夫・堀川直紀・吉田武郎

(2014)大規模貯水池を備えた水田灌漑システムのモデル化による人為的影響を受けた河川流況の再現、水文・水資源学会誌、27(5)、pp.219-232(査読有)
皆川裕樹・増本隆夫・名和規夫・吉田武郎・工藤亮治・北川 巖(2014):水田冠水に伴う水稲被害量を推定するための模擬冠水試験法 試験手法の提案と水稲減収尺度策定の試み、水と土、172、pp.52-58(査読無)

[学会発表](計35件)

皆川裕樹・北川 巖・増本隆夫(2016) 豪雨時の流域管理方策の検討に向けた低平水田域の冠水リスク評価、2016.9.1、平成28年度農業農村工学会大会講演会、概要集5-49(CD-Rom版)、ホテル法華クラブ(宮城県・仙台市)
増本隆夫、皆川裕樹、堀川直紀、Jutithep Vongphet(2015): Utilization of Flood Prevention Function of Paddies as An Adaptive Counter-measure, International Workshop on Non-Structural Adaptations to Flood Management, ICID 26th Euro-Mediterranean Regional Conference and Workshops, "Innovate to Improve Irrigation Performances," 12-15 October 2015, Montpellier, France, pp.1-5(CD-Rom), Montpellier (France)
増本隆夫・Jutithep Vongphet・皆川裕樹・工藤亮治(2015): 水利施設群の一体型管理に向けた旱魃と氾濫の連続解析の試み、2015.9.11、水文・水資源学会2015年度研究発表会、要旨集 pp.96-97、首都大学東京(東京都・八王子市)
皆川裕樹・増本隆夫・Jutithep Vongphet(2015): 低平氾濫域における農業水利用と洪水の同時解析アルゴリズムの検討、2015.9.11、水文・水資源学会2015年度研究発表会、要旨集 pp.90-91、首都大学東京(東京都・八王子市)
増本隆夫・ジュティテップ・ウォンペット・皆川裕樹・工藤亮治(2015): 水循環モデル(DWCM-AgWU)の改良と巨大ダムを有する灌漑主体流域への適用、2015.9.2、平成27年度農業農村工学会大会講演会、講演要旨集 pp.550-551、岡山大学(岡山県・岡山市)
増本隆夫(2015): Water Resources, Floods and Agro-Environment in Monsoon Asia(招待講演), "Next Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia," MARCO Symposium 2015, 26-28 August 2015, Tsukuba, Japan, pp.27-32、筑波国際会議場(茨城県・つくば市)
Vongphet, Jutithep, 増本隆夫, 皆川裕樹, 工藤亮治(2014): Modification of DWCM-AgWU Model Applied to a

Paddy-dominant Basin with Large Dams, 22th International Congress on Irrigation and Drainage, 14-20 Sep. 2014, Gwangju, Korea, "Securing Water for Food and Rural Community under Climate Change," Q.58 R.3.12, pp.1-15(光州市、韓国)
皆川裕樹・増本隆夫・堀川直紀・吉田武郎・工藤亮治・名和規夫(2014): 水稲減収尺度を活用した豪雨に伴う水田冠水被害量の推定手法の提案、2014.8.28、平成26年度農業農村工学会大会講演会、概要集 pp.476-477、朱鷺メッセ(新潟県・新潟市)

[図書](計7件)

Masumoto, Takao(2016): Water Resources, Floods, and the Agro-Environment of Monsoon Asia: description and future applications of the DWCM-AgWU model, NIAES Series No.6, "The Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia", K. Yagi and C. G. Kuo (Editors), NIAES, pp.205-226

6. 研究組織

(1)研究代表者

増本 隆夫(MASUMOTO, Takao)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門 地域資源工学研究領域・領域長
研究者番号: 80165729

(2)研究分担者

皆川 裕樹(MINAKAWA, Hiroki)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門 地域資源工学研究領域・主任研究員
研究者番号: 70527019

(3)連携研究者

桐 博英(KIRI, Hirohide)
国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門 水利工学研究領域・ユニット長
研究者番号: 60360385
堀野 治彦(HORINO, Haruhiko)
大阪府立大学大学院・生命環境科学研究科・教授
研究者番号: 30212202
中村 公人(NAKAMURA, Kimihito)
京都大学大学院・農学研究科・准教授
研究者番号: 30293921