

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月1日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21380150

研究課題名（和文） 分布型水循環モデルを用いた灌漑用水と排水に対する温暖化影響評価と将来対策

研究課題名（英文） Impact Assessment of Global Warming on Irrigation and Drainage and Future Countermeasures using a Distributed Water Circulation Model

研究代表者

増本 隆夫（MASUMOTO TAKAO）

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・上席研究員

研究者番号：80165729

研究成果の概要（和文）：気候変動に伴って増大すると予想される両極端現象（渇水と洪水）に焦点をあて、灌漑用水と排水に対する温暖化の影響評価を行うとともに、貯水池の管理や水田の持つ洪水防止機能をうまく利用した適応策について検討した。ここでは、多様な農業水利用形態を考慮できる分布型水循環モデルを用いることで、対象とする流域の任意の地点と時間において、流量としての農業水利用可能量だけでなく、水田を主体とした農地における作期別の灌漑水量の変化や作付時期・作付面積への影響度合いを調べた。さらに、温暖化による降雨パターン変化と水利施設規模の決定基準となる内部降雨波形の模擬発生法を開発した。

研究成果の概要（英文）：Focused on extremes (droughts and floods), which are expected to increase in future, impact assessment of global warming on agricultural water use and drainage are carried out and countermeasures against those were evaluated by utilizing water management of reservoir operation and flood prevention function of paddies. In this approach, this water circulation model turned out to estimate the cropping area of rice paddies, the water requirements of paddy fields, at any location and time in the basin, as well as water availability as runoff amounts. In addition, the change of rainfall amounts in different durations due to global warming were examined, so that a systematic generation method for internal rainfall patterns was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	12,400,000	3,720,000	16,120,000

研究分野：農業水文、水資源工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土工学・農村計画学

キーワード：気候変動、農業水利用、分布型水循環モデル、用水配分・管理モデル、灌漑・排水、影響評価、適応策

1. 研究開始当初の背景

「地球温暖化」など先端科学は、農業用水や農地水利用にも重大な影響を及ぼし得るが、科学的な温暖化実験が主体の研究においては、気候変動と水田稲作等の人間活動が相

互にどのように影響し合うかには関心が示されていない。

2. 研究の目的

温暖化によって変化が大きいと予想され

る両極端現象（渇水と洪水）に焦点をあて、灌漑用水と排水に対する温暖化の影響評価を行うとともに、貯水池の管理や水田の持つ洪水防止機能を利用した対応策について検討する。ここでは、多様な農業水利用形態を考慮できる分布型水循環モデルを用いることで、対象とする流域の任意の地点と時間において、流量としての農業水利用可能量だけでなく、水田を主体とした農地における作期別の灌漑水量の変化や作付時期・作付面積への影響度合いを調べ、さらに、温暖化により降雨パターンがどのように変化するかを検討し、農業用施設の規模決定の基準となる降雨量や降雨波形をどのように与えたらよいかの指針を提示することを目的にしている。

3. 研究の方法

(1) 研究対象流域として、(A) 豪雪地帯を背後に有し、広い灌漑地区を流域内に持つ関川流域、ならびに (B) 低平域の排水管理が不可欠な加賀三湖地区を抽出する。次に、両流域の関連データ（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、対象期間内の施設管理情報等）を収集すると同時に、現地観測（流量観測、用水路の配分流量等）を行う。さらに、流域を 0.01° メッシュ（約 1km 四方）に分割し分布型水循環モデルのプラットフォームを完成させる。そこでは、これまで開発してきた農地水利用を考慮できる農地水循環モデルの改良を行う。改良要素は、a) 積雪融雪モデル、b) 貯水池操作モデル、c) 灌漑用水配分モデルであり、それらを統合モデルに実装させる。また、排水モデルとして低平地タンクモデルを構築・実装する。同時に、気候モデル（MIROC）による温暖化実験結果を 1km の解像度にダウンスケール結果（現在、近未来、将来）を抽出し分析する。そこでは、ダウンスケールとバイアス補正を行った気候値を利用する一連の手順を提示する。

(2) 上記の統合モデルを利用して、気候変動が農業水利用や農業施設に与える影響評価の方法を開発するとともに、関川流域での具体的な影響評価を行う。一方、低平地排水に関連する豪雨の模擬発生法とそれを利用した影響評価法について検討する。

(3) 最後に、上記両流域を例に、気候変動適応策としての貯水池の新たな運用曲線の提案、配水・水管理モデルによる新たな圃場水管理方策の提案とその効果の評価等を行う。一方、低平農地における適応策として、現存施設の管理などや全国を対象にした適応策の必要性の調査など、ソフト的な対策について検討する。また、水田の持つ洪水防止機能を利活用した気候変動適応策を検討する。

4. 研究成果

(1) 用水の配水路網を自動的に発生させるアルゴリズムを開発するとともに、河川取水、用水配分、河川への再流入等にもみられる水田灌漑地区における水循環過程を組み込んだ用水配分・管理モデルを開発し、それを実装した分布型の流域水循環モデルを提案した。その特徴を纏めると、以下ようになる。

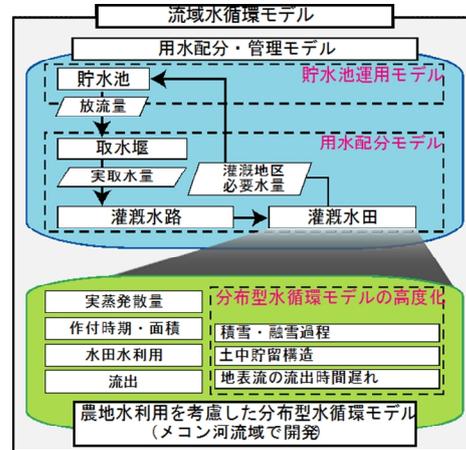


図1 用水配分・管理モデルを統合した分布型水循環モデルの構造

- ① 貯水池運用、頭首工から灌漑地区への取水や水配分等の人為的な水循環過程を表す用水配分・管理モデルを分布型水循環モデルの基幹部分として組み込むことにより、複数メッシュに跨がる広域な灌漑水田主体流域の水循環を表現できる。さらに、熱収支法に基づいた積雪水当量・融雪量推定モデルを各分割メッシュに導入した（図1）。
- ② 用水配分モデルでは、取水地点での実取水量および灌漑地区内の水田供給水量を推定し、取水施設があるメッシュにおける河川流量、最大施設容量、灌漑地区必要水量の最も小さい量を実取水量とする。取水された水は灌漑地区内で配分され、その時間的・空間的配分過程は流出過程とは独立して扱う。

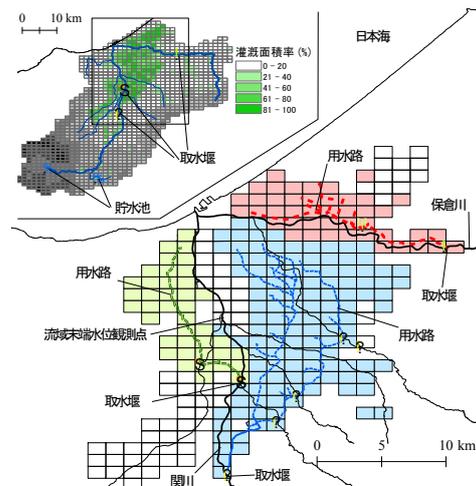


図2 主要な取水施設の位置と広域灌漑地区の分類

③ 農業水利施設データベース（日本水工図鑑）から抽出した灌漑農地と水利施設等から灌漑地区を判別するアルゴリズムを作成し、各施設からの受益メッシュ群を判定する（図2）。さらに、群内の利水条件を取水地点や幹線・支線水路からの距離およびメッシュ平均標高等から判断し、取水された用水をメッシュ内の灌漑水田に配分する。

④ 用水配分・管理モデルを実装した分布型水循環モデルを用いると、流域の水循環が任意地点で時系列的に精度良く表現された。

(2) 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を開発した（図3）。この評価法には以下のような特徴がある。

① 影響評価法の構成要素の一つである全球気候モデル出力値のバイアス補正法について、各種気候要素の日分布と20年間の年日最大値の分布を観測値に一致させる方式を開発提案した。

② 例えば、灌漑主体の関川流域への適用例では、河川流量（取水可能量）に対して、将来（2046～2065年、2081～2100年）、年最大日流量が増加すること、取水地点で4～5月の融雪流量の減少や、水利権水量を下回る流量が現在には無い5、6月にも発生することが予測された。

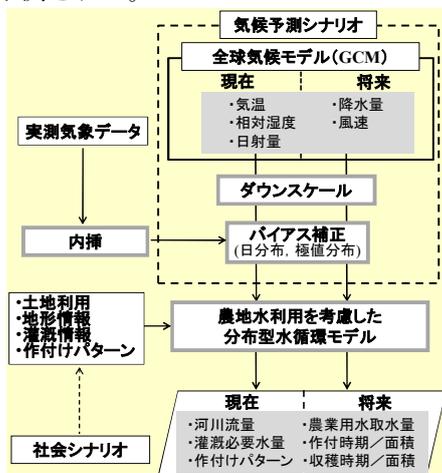


図3 農地水利用に対する温暖化影響評価法の構成

③ 灌漑用水を供給する笹ヶ峰ダムでは、冬季貯水量の増加が予想され、反対にダム流入量となる融雪流出量の減少から春先の貯水量の減少がみられる。また、板倉頭首工の平均的な取水量には大きな影響はみられないものの、少雪年には5～6月の取水量が現在よりも減少すると予測される。その結果、図4の例に示すとおり、代かき期に水田域への供給水量が減少し、特に灌漑地区下流部で用水不均衡が起き易くなることが分かった。

④ この影響評価法を用いると、これまで定

性的にのみ行われてきた農地水利用等への影響評価は、主要水利施設における取水量、水田への供給水量、水稻の作付時期・面積、収穫時期・面積、水田等からの実蒸発散量など、具体的な評価結果や情報の出力として実現される。また、対応策の評価手法としても利用できる。

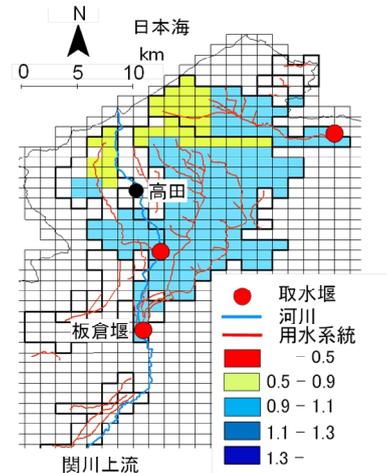


図4 現在気候に対する将来の水田供給水量の変化率（現在[1981-2000年]に対する21世紀末[2081-2100年]の比率、例えば、代かき時期5月の予測例）

(3) 一方、低平地排水に関しては、温暖化実験の結果から各年に発生する最大規模の雨を抽出して、雨量と波形の分析を行い、豪雨とその内部波形を模擬発生させる方法を開発した（図5）。

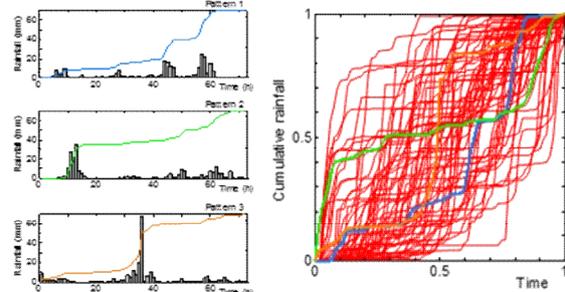


図5 長時間豪雨からの短時間内部波形の模擬発生法

さらに、豪雨に対する低平農地地域の湛水解析モデルを構築し、それに上記の方式により模擬発生を行った様々な豪雨を入力して湛水リスクがどのように変化するかを明らかにした。ここでは、水稻の減収に関連する水田の湛水時間を指標とし、農地被害の発生リスクとして評価した。まず、解析結果より各水田の湛水時間（水深30cm以上）を集計し、それぞれの平均湛水時間を求める。それを現在と将来で比較し、各水田の平均湛水時間の増加時間を予測した（図6）。これより、雨量の増加に対して脆弱な水田地区が推定でき、特に潟周辺や干拓により造成された低標高

部の水田において湛水時間が増加することが予測された。

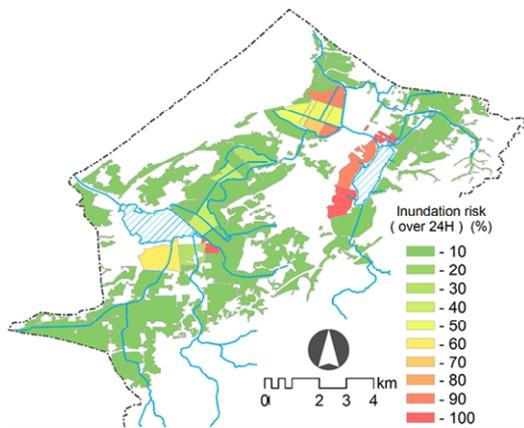


図 6 将来の気候変動に伴う各水田の平均湛水時間の増加予測

(4) 関川流域における前述の温暖化影響に対処するための適応策を検討した。そこでは、ダム貯水池モデルの改良、ダム管理規定の見直し、水利権前倒し、節水灌漑、発電放流を優先しない管理等の検討を行った。これらが今後の温暖化適応策になることも確認した。特に、温暖化実験により、近未来（2046～2065年）や21世紀末（2081～2100年）では、ともに笹ヶ峰ダムの渇水の頻度と強度は増加することが明らかになった。そこで、貯水池の運用方法の改善による渇水の軽減効果を算定した（図7）。その結果、21世紀末では、運用方法の改善のみで予測される渇水の頻度と強度を現在の水準まで減少させることができることが分かった。一方で、近未来では、運用方法の改善の効果はあるものの、渇水の頻度や強度の現在水準までへの減少のためには、さらに追加の方法、例えば新たな水源の確保や取水方法の変更等との併用が必要となってくることが明らかになった。

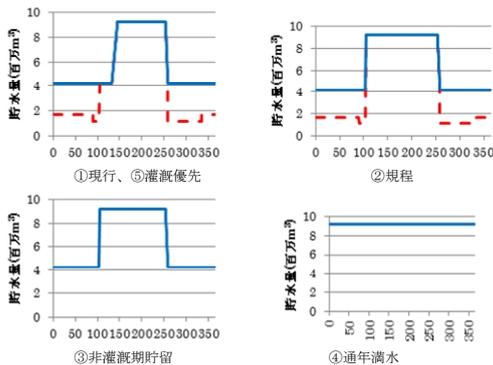


図 7 5つの運用方法における期別有効貯水量及び期別上限貯水量

一方、圃場、水路、灌漑地区の各レベルにおける水管理としての対応策についても提案を行った。近未来（2046～2065年）の20年間を対象にした結果、圃場レベルの節水に

よる水田供給水量は地区全体で減少するものの、配水優先度が低い地区末端の水田において供給水量が減少し、節水等の対策では灌漑地区の末端水田における供給水量の増大には貢献しないことが分かった。他方、チェックゲートの導入や番水により灌漑地区内の灌漑効率を向上させる方策や頭首工取水量を調整する対策を実施すれば、末端への灌漑供給が増加することが分かった。さらに、灌漑効率の向上によって配水優先度が低い水田や地区全体の水田供給水量が増加した。このように、開発を行ってきた農業水利用を考慮した分布型水循環モデルが農業に関する水利用や灌漑施設への気候変動影響予測だけでなく、対応策の効果の評価にも利用できることが明らかになった。

(5) 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実際にその機能が運用された事例を明らかにした。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、超過洪水時にその機能を利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利活用する方法を提案した。

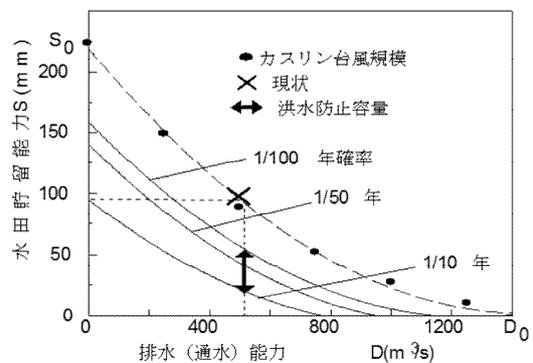


図 8 対策としての都市河川に対する水田の洪水貯留能力の評価例（小貝川の例）

さらに、ここで気候変動に対する適応策検討の一環として、2011年に発生したタイ国チャオプラヤ川大氾濫と米国ミシシッピ川氾濫について現地調査を実施するとともに農地と氾濫との関係について考察した。例えば、対象とした水田地帯全体での最大氾濫量は3,660MCM（平均氾濫水深1.68m）と推定でき、タイ国全土での最大洪水氾濫量は10,000MCMとされており、対象の水田地帯は氾濫水の貯留や氾濫水の遅延化に大きく貢献し、下流バンコクの氾濫被害を軽減したと判断できた。

同時に、メコン河流域の東北タイの大規模ダムによる広域灌漑地区、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。そこでは、提案した気候変動影響評価法を適用することで、灌漑計画を策定するための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9)、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ることができた。

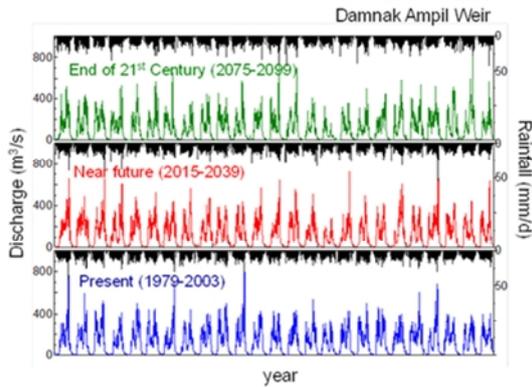


図9 流域灌漑方策による長期疑似観測データの作成結果 (Damnak Ampil 堰地点)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計32件)

- ① Minakawa, Hiroki & Takao Masumoto (2013) Variability in Intensity of Heavy Rainfall due to Climate Change and its Impact on Paddy Inundation in Low-lying Areas of Japan, Irrigation and Drainage, 査読有, (in print)
- ② 工藤亮治・増本隆夫・堀川直紀・吉田武郎 (2013) 気候変動と水資源開発がナムグム川流域の水循環に与える複合的影響の評価、農業農村工学会論文集、査読有、283、pp. 57-66
- ③ 工藤亮治・増本隆夫・吉田武郎・堀川直紀 (2012) 気候変動が灌漑主体流域における農業水利用に与える影響の定量的評価法、農業農村工学会論文集、査読有、277、pp. 31-42
- ④ 吉田武郎・増本隆夫・工藤亮治・谷口智之・堀川直紀 (2012) 広域水田灌漑地区の用水配分・管理モデルの実装による流域水循環のモデル化、農業農村工学会論文集、査読有、277、pp. 9-19
- ⑤ 吉田武郎・増本隆夫・堀川直紀・工藤亮治 (2012) 暖地積雪流域における積雪・融雪モデルの構築と分布型水循環モデルへの統合、農業農村工学会論文集、査読有、277、pp. 21-29
- ⑥ 増本隆夫・石田 聡 (2011) 気候変動が

水・土地資源に及ぼす影響評価と対策技術の開発研究、農業農村工学会誌、査読有、79(12)、pp. 15-18

- ⑦ 長井薫・渡邊雅彦・井原昭彦・増本隆夫・吉田武郎 (2011) データが極端に少ない地域における新たな流域灌漑方策、農業農村工学会誌、査読有、79(4)、pp. 15-18
- ⑧ 増本隆夫 (2010) 気候変動下の災害軽減に向けた水田の洪水防止機能の利活用、農業農村工学会誌、査読有、78(9)、pp. 11-14
- ⑨ 皆川裕樹・増本隆夫 (2010) 実降雨データと温暖化実験データにみる金沢周辺の豪雨の強度変化の発生分布、応用水文、査読有、22、pp. 1-10
- ⑩ 増本隆夫 (2010) 地球温暖化が流域水循環・食料生産に及ぼす影響、農業農村工学会誌、査読有、78(1)、pp. 15-19

[学会発表] (計80件)

- ① 増本隆夫・VONGPHET Jutitthep・皆川裕樹・堀川直紀 (2012) 2011年チャオピヤ川大氾濫における水田貯留の果たした役割、水文・水資源学会2012年度研究発表会要旨集、2012年9月26日~28日、広島市
- ② 増本隆夫 (2012) 水田灌漑主体流域中の気候変動影響評価法及其運用[水田灌漑主体流域における気候変動影響評価法とその活用]、先進農業技術因應気候変動中日検討會論文集(農田水利會聯合會編)(招待講演)、2012年12月18日、Taipei, Taiwan
- ③ Masumoto, Takao (2012) Model of Climate Change Impact Assessment on Irrigation Facilities in the Mekong, Seminar on the Guideline on Climate Change Adaptation Measures for Irrigation Systems, Nov. 2012, (招待講演), 2012年11月26日~27日, Bangkok, Thailand
- ④ Masumoto, Takao (2012) Climate change adaptation plan for agricultural water resources and production infra, Korean-Japan Joint Symposium "The Strategy of Agricultural Production Infra Improvement after 4 Major Rivers Restoration Project of South Korea (招待講演)、2012年5月22日, Seoul, Korea
- ⑤ Masumoto, Takao, Hiroki Minakawa, Ryoji Kudo, Takeo Yoshida and Naoki Horikawa (2012) Adaptive Disaster Management Using Flood Prevention Functions of Paddies and Irrigation/ Drainage Facilities in Monsoon Asia, Workshop on "Adaptive Flood Management", 63th IEC Meeting and 7th Asian Regional Conference, 24-30 June 2012, 2012年6月26日, Adelaide, Australia

- ⑥ Takao Masumoto, Ryoji Kudo, Takeo Yoshida, Naoki Horikawa (2011) Impact assessment method of climate change on agricultural water use by using a distributed water circulation model, PAWEES 2011 International Conference, 2011年10月27日, Taipei, Taiwan
- ⑦ Masumoto, Takao, Takeo Yoshida, Ryoji Kudo and Naoki Horikawa (2011) データの極端に少ない地域における温暖化影響評価と流域灌漑、平成23年度農業農村工学学会大会講演会、2011年9月8日、福岡市
- ⑧ Masumoto, Takao (2011) 気候変動と水田の水利用、第19回日本雨水資源化システム学会シンポジウム「雨水の循環～利用の工夫～」(日本雨水資源化システム学会)「(招待講演)」、2011年11月6日、松山市
- ⑨ Masumoto, Takao, Ryoji Kudo, Takeo Yoshida and Naoki Horikawa (2010) Impact Assessment of Climate Change on Irrigation by a Distributed Water Circulation Model, XVIIth World Congress of the Intl. Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), 2010年6月15日, Quebec, Canada
- ⑩ Masumoto, Takao, Ryoji Kudo, Takeo Yoshida and Naoki Horikawa (2010) Impact Assessment of Climate Change on Agricultural Water Use Utilizing a Distributed Water Circulation Model, The 5th Conference of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW), 2010年11月9日, Hanoi, Vietnam

[図書] (計7件)

- ① 皆川裕樹・増本隆夫 (2012) 2. 温暖化に伴う降水量と内部波形変化の予測と低平地排水への影響、丸山利輔・早瀬吉雄・瀧本裕士・能登史和・吉田匡編著「農業用水を核とした健全な水循環—地球温暖化を前提とした手取川流域の事例—」、石川県立大出版会、pp. 23-32
- ② 皆川裕樹・増本隆夫 (2012) 地球温暖化により豪雨や農地の洪水リスクは増加するのか、丸山利輔編著「手取川流域の明日を目指して一人々の生活を支える水循環—」、石川県立大出版会、pp. 34-38
- ③ 増本隆夫 (2011) : 地球温暖化が農業水利用に及ぼす影響評価、農業新技術シリーズ「農業・農村環境の保全と持続的農業を支える新技術」、第3巻、農研機構発行、農林統計出版 : pp. 228-231
- ④ 増本隆夫 (2010) アジア地域における洪水環境と洪水を活用した作物栽培、「湿地環境と作物」(坂上潤一・中園幹生・島村

聡・伊藤治・石澤公明編著)、養賢堂、pp. 220-235

- ⑤ Masumoto, T., T. Taniguchi, N. Horikawa, T. Yoshida and K. Shimizu (2009) Development of a distributed water circulation model for assessing human interaction in agricultural water use, M. Taniguchi, W.C. Burnett, Y. Fukushima, M. Haigh & Y. Umezawa (Eds.), "From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management", pp. 195-201: Taylor and Francis

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増本 隆夫 (MASUMOTO TAKAO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・上席研究員

研究者番号 : 8 0 1 6 5 7 2 9

(2) 研究分担者

堀川 直紀 (HORIKAWA NAOKI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・主任研究員

研究者番号 : 7 0 4 4 2 7 9 6

吉田 武郎 (YOSHIDA TAKEO)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・研究員

研究者番号 : 8 0 4 1 4 4 4 9

皆川 裕樹 (MINAKAWA HIROKI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・研究員

研究者番号 : 7 0 5 2 7 0 1 9

(3) 連携研究者

西森 基貴 (NISHIMORI MOTOKI)

独立行政法人農業環境技術研究所・主任研究員

研究者番号 : 4 0 2 8 2 3 0 5

楠 昌司 (KUSUNOKI SHOJI)

気象庁気象研究所・室長

研究者番号 : 5 0 3 7 0 3 2 5

栗原 和夫 (KURIHARA KAZUO)

気象庁気象研究所・室長

研究者番号 : 7 0 3 5 4 4 8 8

大楽 浩司 (DAIRAKU KOJI)

独立行政法人防災科学研究所・主任研究員

研究者番号 : 3 0 3 9 1 1 2 1

工藤 亮治 (KUDO RYOJI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究所・水利工学研究領域・特別研究員

研究者番号 : 4 0 6 0 0 8 0 4