

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23246089

研究課題名(和文) 気候変動による東南アジアの河川流量変化顕著域の検出とその影響評価・適応について

研究課題名(英文) Detection of climate change impacts on streamflow in Southeast Asia

研究代表者

立川 康人 (Tachikawa, Yasuto)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40227088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,700,000円、(間接経費) 6,210,000円

研究成果の概要(和文)：気象庁気象研究所などによって提供された複数の温暖化気候推計情報を用い、東南アジア域を対象として高空間分解能の河川流量予測計算を実施して、地球温暖化時の河川流量の変化可能性を空間的に分析するとともに、その変化の統計的有意性を分析し、東南アジアの河川流量変化顕著域を検出した。その結果、イラワジ川流域では、用いたすべてのGCMで年平均流量や年最大流量が有意に増加することを見出した。また、陸面水文モデルに植物成長モデルを組み合わせた結合モデルを構築して、タイの21世紀末の灌漑要求水量を推定した。

研究成果の概要(英文)：Using several GCM outputs developed by the Meteorological Research Institute in Japan and so on, streamflow in the Southeast Asian region was projected using a distributed river flow routing model with the kinematic wave flow approximation. The projected streamflow was analyzed spatially and statistically, and catchments with changing streamflow regime were detected. It was found that the annual mean flow and the annual maximum flow at the Irrawaddy River basin showed significant increase. Future irrigation water demand in Thailand was also estimated by a land surface model coupled with a crop growth scheme using MRI GCM output.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：地球温暖化 気候変動 東南アジア 河川流量 水災害 水資源 洪水 渇水

1. 研究開始当初の背景

全球大気大循環モデルの進展により、全球モデルが出力する気象・水文情報の空間分解能が著しく向上した。従来、温暖化による影響評価研究は、数 10 万 km² 以上の大陸大河川を対象とした日単位より長い時間スケールでの分析が主であり、水循環の変化傾向を捉えることはできたが、実際の水工計画で必要となる時空間分解能での分析は困難であった。しかし、超高解像度の大気大循環モデルの出現により、実際の河川現場を想定して地球温暖化による影響評価研究を実施し、その適応を考えることができるようになってきた。東南アジアの河川流域に目を向ければ、河川整備の水準は日本の河川流域に及ばない流域が大半である。そのため、地球温暖化による流量変化が治水、利水、農業生産に与える影響は、日本の河川流域以上に東南アジア域において深刻である可能性がある。

2. 研究の目的

そこで、気象庁気象研究所によって提供される温暖化気候推計情報を用いて、東南アジア域を対象として高空間分解能の河川流量予測計算を実施し、地球温暖化時の流量変化の可能性を空間的に示す流量変化マップを作成するとともに、その変化の統計的有意性を分析し、将来、注意を要する可能性のある河川流域を検出することを目的とした。次に、検出された流域を対象として、詳細分布型流出モデルを構築しより詳細な水循環変化と水災害リスクを分析するとともに、陸面過程モデルに植物成長モデルを組み合わせて灌漑要求水量の将来変化を予測し、作物収量の変化を予測することを目的とした。

3. 研究の方法

以下の項目を設定して研究を進めた。

(1) 気候推計情報の確率・統計的補正手法の開発：気候推計情報に含まれる降水データには、対象とする時間スケールや地域によって異なるバイアスが含まれる。そこで、気候推計情報と観測データの違いを補正するバイアス補正手法を開発した。

(2) 気候変化による東南アジア域の河川流量変化顕著域の診断：東南アジア域を約 10km グリッドで表現する自然流況の河川流量予測モデルを開発し、気候推計情報（現在気候実験：1979 年～2003 年、近未来気候実験：2015 年～2039 年、21 世紀末気候実験：2075 年～2099 年の合計 75 年間）を用いて、河川流量の連続計算を実施した。次に三期ごとの流量の変化を空間的に図示するとともにその変化の統計的有意性を分析し、地球温暖化の影響が顕著に現れる可能性のある河川流域を検出した。

(3) 変化顕著流域を対象とする詳細分布型流出予測モデルの構築と河川流量分析：(2)

で検出された流域を対象として、流況制御の影響を導入した詳細分布型流出予測モデルを構築して、より詳細な水循環変化と水災害リスクを分析した。

(4) 流量変化が治水・利水・食料生産に及ぼす影響の分析：水災害リスクがどのように変化する可能性があるかを、タイのチャオプラヤ川流域を対象として分析した。また、陸面過程モデルに植物成長モデルを組み合わせた結合モデルを開発し、気象研究所の温暖化気候推計情報を用いて 21 世紀末の灌漑要求水量を予測した。

4. 研究成果

研究方法で設定した項目ごとに研究成果をまとめる。

(1) 気候推計情報の確率・統計的補正手法の開発：気象研究所の 20km 空間分解能の GCM (MRI-AGCM3.2S) は世界最高の空間分解能を持ち、流域スケールの水循環解析に極めて有効であるが、異なる境界条件や降水スキームによるアンサンブル計算は計算負荷が高いため実行不可能であった。そこで、アンサンブル計算が実施された 60km 分解能モデル (MRI-AGCM3.2H) の降水データを 20km にダウンスケーリングする手法を開発した。この手法は降水の空間相関構造を考慮するために対象となる 20km 格子の日降水量とその格子に隣接する 60km 格子の日降水量の重回帰モデルを構成することに特徴がある。図 1 は提案した手法によって 60km 格子の日降水量データからダウンスケーリングした 20km 格子の降水量と APHR_JP による日降水観測データを比較した結果であり、適切な結果が得られた。

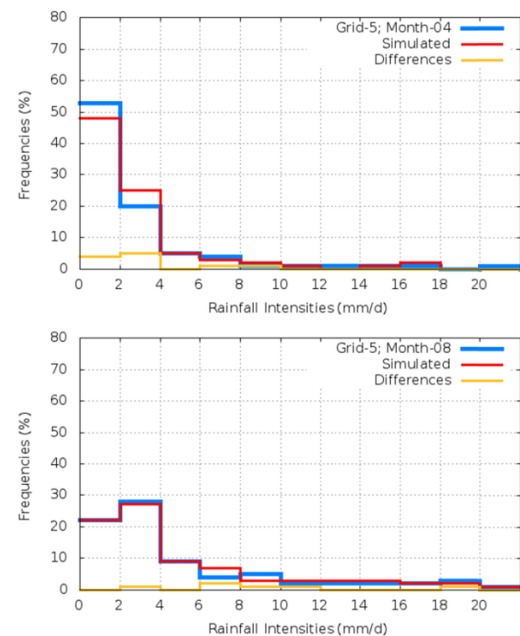


図 1: ダウンスケールした日降水量 (赤線) と 20km 分解能の日観測降水量 (青線) との比較。関東を対象とし上が 4 月、下が 9 月の場合。

(2) 気候変化による東南アジア域の河川流量変化顕著域の診断：インドシナ半島全体を対象とする約 10km 空間分解能の河道流追跡モデルを用い、気象研究所の MRI-AGCM3.2S、境界条件の異なる複数の MRI-AGCM3.2H、東京大学大気海洋研究所の MIROC5(140km 分解能モデル)による流出量データを用いて現在気候実験、近未来気候実験、将来気候実験の合計 75 年間の河川流量計算を実施し、それぞれの GCM を用いた場合の年平均流量、年最大流量、年最小流量の変化を約 10km 空間分解能で分析した。また、現在気候実験、近未来気候実験、将来気候実験でのそれらの年平均値の変化の有意性を統計的に分析した。

図 2、3、4 の左図は MRI-AGCM3.2S を用いた場合の現在気候実験 25 年間と 21 世紀末気候実験 25 年間のそれぞれの期間の年平均流量、年最大日流量、年最小日流量の平均値の比率を示したものである。右図はマン・ホイットニー-U 検定を用いてそれぞれ 25 年間の年平均流量、年最大流量、年最小流量のサンプルの差を分析した結果であり、緑色の地点が 5% 有意水準で変化が有意となった。イラワジ川流域では年平均流量や年最大流量が増加する可能性があることが分かった。この傾向は本研究で用いた他の GCM を用いた場合も同様の結果であった。

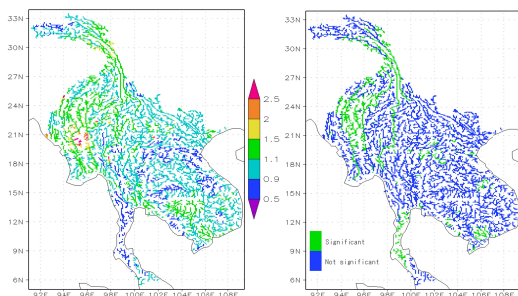


図 2: MRI-AGCM3.2S を用いて得た年平均流量の現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化率 (左)。変化が 5% 有意水準で有意となる領域を緑色で示す (右)。

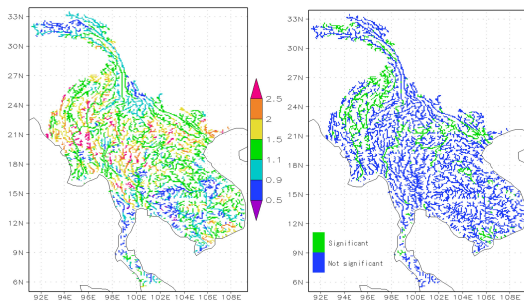


図 3: MRI-AGCM3.2S を用いて得た年最大日流量の現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化率 (左)。変化が 5% 有意水準で有意となる領域を緑色で示す (右)。

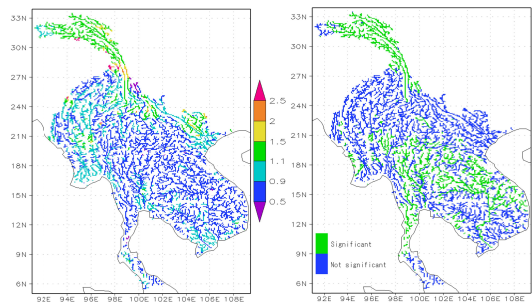


図 4: MRI-AGCM3.2S を用いて得た年最小日流量の現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化率 (左)。変化が 5% 有意水準で有意となる領域を緑色で示す (右)。

(3) 変化顕著流域を対象とする詳細分布型流出モデルの構築と河川流量の詳細分析：インドシナ半島全体を対象とした流量シミュレーションにより、イラワジ川流域で顕著な流量変化があることを見出した。そこで、イラワジ川流域を対象とする 1km 分解能の河川流量追跡モデルを構築するとともに、水文データを入手した一部の流域を対象として分布型流出モデルを構築した。

2011 年に大洪水が発生したチャオプラヤ川について、ダムによる流況制御効果を考慮した 1km 分解能の河川流量追跡モデルを構築し、降水量と蒸発散量にバイアス補正を施して地球温暖化時の流量シミュレーションを実施した。また、チャオプラヤ川流域のパサック川流域では年流量が減少する傾向が顕著であったため、パサック川流域を対象とした分布型流出モデルを構築し、パサックダムの貯水量の長期的な変化を推計して、この地域の水資源の将来的な変化を分析した。図 5 にタイのチャオプラヤ川流域とパサック川流域を示す。この流域では 21 世紀末気候実験と現在気候実験の年降水量の平均値の差は 21mm であり、蒸発散量の差は 46mm であった。結果として流出高が 197mm から 172mm に減少し、蒸発散量の増加によって河川流量、すなわち表流水による水資源の減少が見られた流域であった。

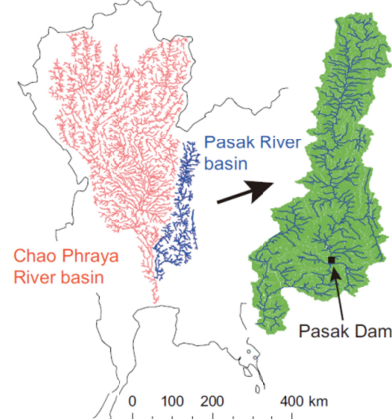


図 5: チャオプラヤ川(赤)とパサック川(青)

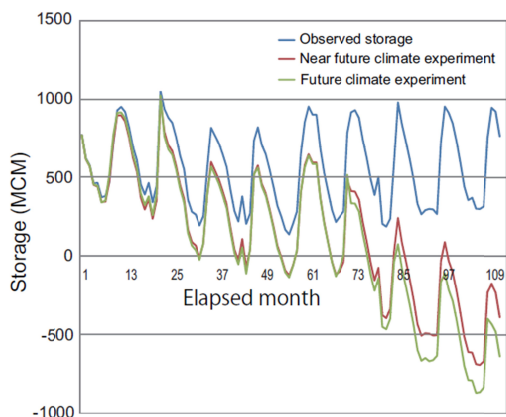


図 6: 温暖化時のパサックダム貯水量の変化

図 6 は月ごとに補正したダム流量を用いてパサックダムの貯水量の変化を分析した例である。将来にわたって放流量が変化しないという条件のもとでは近未来気候実験や 21 世紀末気候実験では、現状と同じ放流を長期にわたって実施することは困難となることがわかった。また、貯水量が現行のルールカーブを満たすように操作すると、近未来気候実験と 21 世紀末気候実験の年平均放流量は、現在気候実験と比較してそれぞれ 4.8%、6.1% 減少させねばならないという結果を得た。

(4) 流量変化が治水・利水・食料生産に及ぼす影響の分析：温暖化が治水・利水に及ぼす影響は、上記の(2)と(3)の河川流量の将来変化の予測を通して分析した。さらに食料生産におよぼす影響を分析するために、作物成長を表現するモデルである SWIM および ORYZA2000 を改良したスキーム(水稲モデル)を陸面水文過程モデル SiBUC に組み込んだ結合モデルを開発し、タイ国全域に適用して水稲の成長を考慮した灌漑要求水量を推定した。灌漑要求水量とは、灌漑水田において最適な作物成長のために維持すべき湛水深を下回った場合に供給源を考慮せずにモデル上で追加する水分量、すなわち、最適な作物成長のために灌漑を通して提供される理想的な供給水量を意味する。

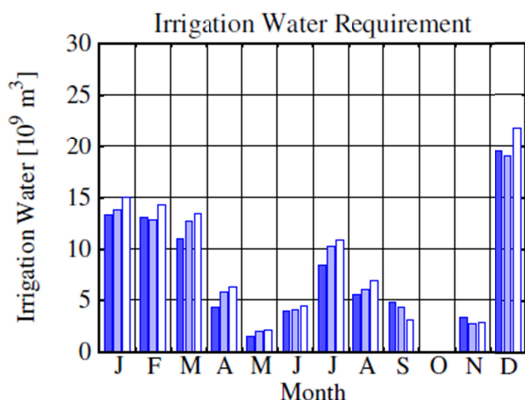


図 7: 作物成長モデルとして水稲モデルを用いた場合の現在気候実験における灌漑要求水量の年平均値

結合モデルを用いて推定した灌漑要求水量の月別の将来変化を図 7 に示す。月ごとに現在気候実験、近未来気候実験、21 世紀末気候実験での推定結果を示しており、特に乾期の 12 月から 4 月にかけて増加が見られた。また、図 8 は現在気候実験における年平均灌漑要求水量のタイ全土の空間分布図である。タイの中央部に位置するチャオプラヤ川東側での灌漑要求水量が大きい。この地域は将来の河川流量の減少の可能性が予測されたパサック川流域に位置する領域にある。この地域での将来的な水資源の逼迫の可能性が示唆された。

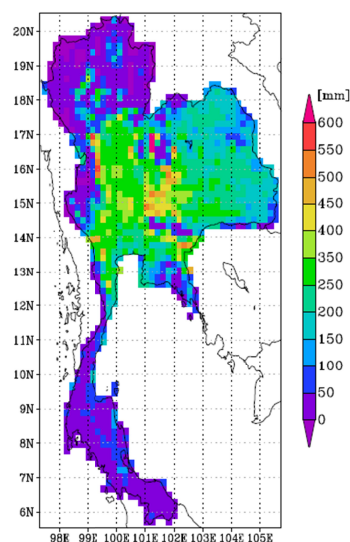


図 8: 現在気候実験における灌漑要求水量の年平均値

今後は、新たな GCM アンサンブル出力データを用いて多数の流量予測計算を実施し、流量変化の確率的な分析を実施することが重要と考えている。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 13 件)

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Statistical analysis of river discharge projected using the MRI-AGCM3.2S dataset in Indochina Peninsula, IAHS Red Book, Publ. 363, in press, 査読有.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Prediction of water resources in the Chao Phraya River Basin, Thailand, IAHS Red Book, Publ. 363, in press, 査読有.

Kim, S., E. Nakakita, Y. Tachikawa, M. Shiiba and M. Inoue: Statistical downscaling of precipitation with a formatted regression frame, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 70, No.

4, I_901-I_906, 2014, 査読有.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, K. Yorozu : Changes in river discharge in the Indochina Peninsula region projected using MRI-AGCM and MIROC5 datasets, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 70, No. 4, pp. I_115-I_120, 2014, 査読有.

萬和明, 松原拓也, 立川康人, 椎葉充晴: 陸面過程モデルへの2種類の作物成長モデルの結合と灌漑要求水量の将来変化推定, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 70, No. 4, pp. I_571-I_576, 2014, 査読有.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: An integrated distributed hydrological model incorporating dam operation and inundation effect; Case study for the Thai 2011 Flood, Proc. of the 2nd EIT International Conference on Water Resources Engineering, pp. 1-10, Chiang Rai, Thailand, Sept. 2013, 査読無.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Development of a flow routing model including inundation effect for the extreme flood in the Chao Phraya River Basin, Thailand 2011, Journal of Disaster Research, 8(3), pp. 415-423, 2013, 査読有.

立川康人, 藤田勇樹, 椎葉充晴, 萬和明, キム スンミン: 気候変化によるタイ国パサック川流域の水資源変化の予測, 土木学会論文集, B1(水工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_445-I_450, 2013, 査読有.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: River discharge projection in Indochina Peninsula under a changing climate using the MRI-AGCM3.2s dataset, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 69, No. 4, pp. I_37-I_42, 2013, 査読有.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Developing a regional distributed hydrological model for water resources assessment and its application to the Chao Phraya River basin, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 69, No. 4, pp. I_43-I_48, 2013, 査読有.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba : Preliminary results of river flow simulation for indochina peninsula region under climate change, Proc. of the 2nd International Conference on Wwater Resources (ICWR2012), CD, 329, Langkawi, Malaysia, Nov. 2012, 査読無.

Wichakul, S., Y. Tachikawa : Thailand flood 2011 and developing of flood prediction tool, Proc. of the 2nd International Conference on Wwater Resources (ICWR2012) , CD, 330, Langkawi, Malaysia, November 2012, 査読無.

P. B. Hunumbura and Y. Tachikawa: River discharge projection under climate change in the Chao Phraya River Basin, Thailand, using the MRI-GCM3.1S dataset, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 90A, pp. 137-150, 2012, DOI:10.2151/jmsj.2012-A07, 査読有.

[学会発表](計20件)

Kim, S., E. Nakakita, Y. Tachikawa, M. Shiiba and M. Inoue : Statistical downscaling of precipitation with a formatted regression frame, 水工学講演会, 神戸大学工学研究科, 2104年3月4-6日.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, K. Yorozu : Changes in river discharge in the Indochina Peninsula region projected using MRI-AGCM and MIROC5 datasets, 水工学講演会, 神戸大学工学研究科, 2104年3月4-6日.

萬和明, 松原拓也, 立川康人, 椎葉充晴: 陸面過程モデルへの2種類の作物成長モデルの結合と灌漑要求水量の将来変化推定, 水工学講演会, 神戸大学工学研究科, 2104年3月4-6日.

D. T. Duong, Y. Tachikawa, M. Shiiba : Projection of Stream Flow in Indochina Peninsula Using the MRI-AGCM3.2S Dataset, The 6th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, APHW2013, August 19-21, 2013, Korea University, Seoul.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu : Development of a regional hydrological model including inundation effect of the extreme flood in the Chao Phraya River Basin, Thailand, The 6th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, APHW2013, August 19-21, 2013, Korea University, Seoul.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Statistical Analysis of Projected River Discharge using the MRI-AGCM3.2S Dataset in Indochina Peninsula Region, 水文・水資源学会, 2013年9月26日, 神戸大学百年記念館.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu : Development of a regional hydrological model including inundation effect of the extreme flood

in the Chao Phraya River Basin, Thailand, 水文・水資源学会, 2013年9月26日, 神戸大学百年記念館.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Projection of stream flow in Indochina Peninsula using the MRI-AGCM3.2S dataset, The 6th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER), Koblenz, Germany, June 3-7, 2013.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Development of a Regional Distributed Hydrological Model for Evaluating Impacts of a Changing Climate on Water Resources in the Chao Phraya River Basin, Thailand, The 6th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER), Koblenz, Germany, June 3-7, 2013.

立川康人, 藤田勇樹, 椎葉充晴, 萬和明, キム スンミン: 気候変化によるタイ国パサック川流域の水資源変化の予測, 水工学講演会, 名城大学天白キャンパス, 2103年3月5-7日.

森 信治, Kim Sunmin, 萬和明, 立川康人, 椎葉充晴: 気候モデルのアンサンブル降水出力に対するバイアス補正の影響分析, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5日, 名古屋大学.

松原拓也, 萬和明, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴: 水稻を対象に開発された作物モデルの陸面過程モデルへの導入, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5日, 名古屋大学.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba: Processing topographic data for hydrological models using scale-free gridded river network dataset, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年09月05日, 名古屋大学.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, K. Yorozu: Developing of distributed hydrological model for thailand flood 2011 and future situation of flood in hao praya river basin under the impact of climate change, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5日, 名古屋大学.

松原拓也, 萬和明, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴: 水稻を対象に開発された作物モデルの陸面過程モデルへの導入, 水文・水資源学会, 2012年9月27日, 広島市西区民文化センター.

Duong, D. T., Y. Tachikawa, M. Shiiba: Processing topographic data for hydrological models using scale-free gridded river network dataset, 水文・水資源学会, 2012年9月27日, 広島市西

区民文化センター.

Wichakul, S., Y. Tachikawa, M. Shiiba, Y. Yorozu: Developing of distributed hydrological model for Thailand flood 2011 and future situation of flood in Chao Praya River basin under the impact of climate change, 水文・水資源学会, 2012年9月27日, 広島市西区民文化センター.

森 信治, Kim Sunmin, 萬和明, 立川康人, 椎葉充晴: 気候モデルのアンサンブル降水出力に対するバイアス補正の影響分析, 水文・水資源学会, 2012年9月27日, 広島市西区民文化センター.

井上雅隆, S. Kim, 萬和明, 立川康人, 椎葉充晴: マルチスケール気候モデルの降水出力に対する統計的ダウンスケーリング, 水文・水資源学会, 2011年8月31日, 京都大学防災研究所.

Tachikawa, Y.: Rainfall Runoff Model 1K-DHM with MRI-GCM output, The 2nd CSEAS-KASEAS Joint International Symposium, Oct. 28, 2011, 京都大学東南アジア研究所.

Yorozu, K.: Rice production estimation with a combined hydrologic and plant growth model, The 2nd CSEAS-KASEAS Joint International Symposium, Oct. 28, 2011, 京都大学東南アジア研究所.

井上雅隆, S. Kim, 萬和明, 立川康人, 椎葉充晴: マルチスケール気候モデルの降水出力に対する統計的ダウンスケーリング, 土木学会第66回年次学術講演会, 2011年9月8日, 愛媛大学.

〔その他〕

ホームページ (河川流量計算に用いた計算機プログラムと解説書の公開)

<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

立川 康人 (TACHIKAWA, Yasuto)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40227088

(2) 研究分担者

キム スンミン (KIM, SUNMIN)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 10546013

萬 和明 (YOROZU, Kazuaki)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 90554212

椎葉 充晴 (SHIIBA MICHIHARU)
京都大学・大学院工学研究科・名誉教授
研究者番号: 90026352