

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360219

研究課題名（和文）地球温暖化時における河川流量変化の予測と対応策に関する検討

研究課題名（英文）Study on Projection of River Discharge under Global Warming and Adaptation Measures

研究代表者

立川 康人（TACHIKAWA YASUTO）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40227088

研究成果の概要（和文）：地球温暖化によって水災害の発生や水資源が変化する可能性のある流域を検出することを目的とし、日本列島全域を対象とする分布型流出モデルを構築して、将来の河川流量の変化を分析した。流出計算の入力データは、気象庁気象研究所の全球20km格子大気モデルによって計算された気候推計情報である。主要な分析結果として以下を得た。1) 時間最大流量、日渇水流量、月平均流量について、明瞭な変化が見られる流域が存在した。2) 上記の変化は大きな地域性が見られた。3) 21世紀末ではその変化が明瞭となる傾向にあった。

研究成果の概要（英文）：The impact of climate change on river discharge in Japanese basins is analyzed by feeding future climate projection data into a distributed rainfall-runoff model. The projection data used were simulated by a high resolution general circulation model developed by Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency. The main findings are as follows: 1) clear changes of hourly flood peak discharge, daily drought discharge and monthly discharge were detected; 2) the degree of the changes differs according to location; 3) the changes become clearer in the end of 21<sup>st</sup> century experiment.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
総計	5,700,000	1,710,000	7,410,000

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、適応策、流出モデル、洪水、渇水、河川流況

## 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ている。本研究グループの分析によれば、空間分解能20km、時間分解能1時間の降水量データが得られれば、数千km<sup>2</sup>の流域の河川流量を十分再現することができる。気象庁気象研究所の温暖化実験気象データはこの条件を満たしている。洪水ピーク流量を1時間単位で分析する必要のあるわが国の河川流域において、こうした大気大循環モデルによって計算される降水量や蒸発散

量を流出予測モデルの入力として、意味のある河川流出シミュレーションを実施することが可能となってきた。

提供される温暖化時の水文気象予測情報を、流出予測モデルを用いて河川流量に変換すれば、直接、河川流量の変化を分析することができる。従来、温暖化時の治水・利水リスク評価は、降水量から得た統計量の変化を分析することに焦点が当てられてきたが、河川流量を得ることで、温暖化が当該流域の治水や利水にどう影響する可能性があるかをより直接的に分析することができる。特にわ

が国のように、水工施設が高度に流況を制御している河川流域においては、河川流量を分析することによって、はじめて、治水施設の能力や管理施策が将来にわたって有効であるかを分析することができる。この成果を温暖化予測研究に結びつけて、対応策に寄与する分析を実施する準備が整ってきた。

## 2. 研究の目的

気象庁気象研究所によって提供される温暖化実験気象水文データ（現気候実験（1979-2003）、近未来気候実験（2015-2039）、21世紀末気候実験（2075-2099）の合計75年間）を用いて、1kmの空間分解能で日本の全河川流域を対象とする河川流量予測計算を実施し、温暖化時の流量変化の可能性を空間的に示す。次に、変化が検出された流域を対象として、本研究グループが構築してきた詳細分布型流出予測モデルを適用し、治水安全度・利水安全度の変化可能性およびダムによる流水制御の変化可能性を数値シミュレーションにより分析する。

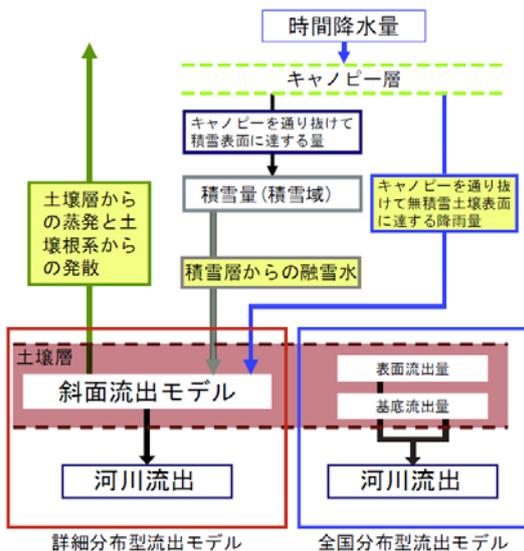


図1: 気象研究所から提供されるデータと流出モデルとの関係

## 3. 研究の方法

### (1) 日本全域を対象とした温暖化時の流量変動予測

日本全域を1kmグリッドで表現する水文予測モデルを開発する。このモデルは1km分解能で日本全国の河川流量を追跡する分布型流出モデルとする。このモデルへの入力、気象研究所から提供される水文気象データのうち、気象研究所の気候モデルが出力する空間分解能20km、時間分解能1日の表面流出量と地中流出量とを用いる(図1)。現気候実験、近未来気候実験、21世紀末気候実験の合計75年間、日本全流域を対象とする河川流

量計算を実施し、流域および1kmのグリッドごとに、河川流量計算によって得られる河川流量を25年毎の3期間毎に分析し、3期間の流量変化を抽出する。その結果を地図上にまとめて日本全河川流域の流量の変化可能性の空間分布図を作成する。

### (2) 温暖化の影響が現れる可能性のある流域を対象とする詳細分布型流出予測モデルの構築と流量変動予測

(1)で検出される流域を対象として、ダム操作を導入した250m空間分解能の詳細分布型流出予測モデルを構築する。これを用いて温暖化実験気象水文データを用いた75年間の連続計算を行い、温暖化による流況変化がどのような影響を及ぼす可能性があるか、流域の着目してより詳細に分析する。

## 4. 研究成果

### (1) 時間流量の変化の分析

全国分布型流出モデルによる現在気候実験、近未来気候実験、21世紀末気候実験の3期間合計75年分の流出計算を1km空間分解能で実施し、約4kmごとに1時間平均値の流出計算結果を記録した。

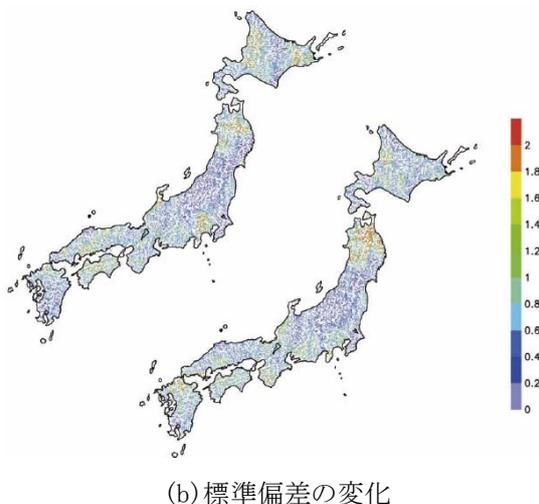
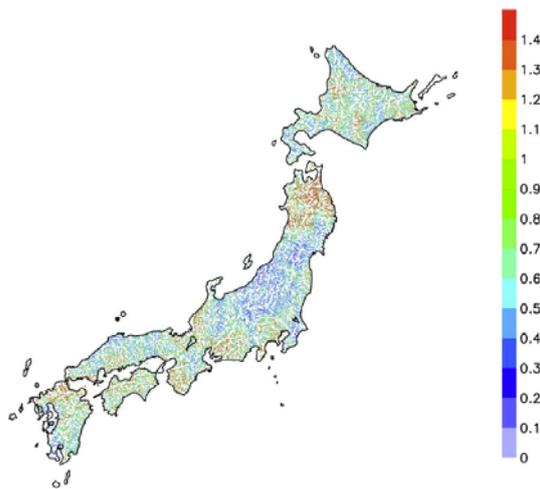


図2: 年最大時間流量の変化



(a) 現在気候実験に対する近未来気候実験の変化比率



(b) 現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化比率

図 3 : 100 年確率年最大時間流量の変化

これらのデータから全国の各地点で年最大時間流量を取り出し、洪水の発生強度・頻度の変化を分析した。図 2 は、実験期間ごとにすべての地点で年最大時間流量の平均値と標準偏差を計算し、その変化の空間分布を示したものである。それぞれ現在気候実験に対する近未来気候実験の変化比率、現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化比率である。全体的な特徴として、北海道、東北地方北部、近畿地方南部、四国地方、九州地方北部で年最大時間流量の平均値が大きくなり、東北地方中・南部の日本海側や北信越地方では小さくなる傾向がある。この地域は一般に年最大流量が融雪期に発生し、温暖化の進行に伴って積雪・融雪量が減少するため年最大流量が小さくなる傾向にある。

こうした変化の兆候は近未来気候実験に現れ、21 世紀末気候実験ではこの傾向がより明瞭となる。一般に年最大流量の平均値が大きくなる地点ほど、その標準偏差も大きくなる。これは同じ再現期間であれば、それに対応する確率年最大流量がより大きくなることを意味しており、そうした流域では洪水リスクが増大する可能性があることを示唆している。

次に、計算結果を残した約 4km ごとのすべての地点で、実験ごとに年最大時間流量に対して一般化極値 (GEV) 分布を当てはめた。母数の推定には PWM 法を用いた。適合度の指標として SLSC (標準最小 2 乗規準) を計算した。SLSC が 0.06 以上を示す地点もあるが、ほとんどの地点で 0.02~0.04 程度である。COR の値も 0.98 以上の地点が多く、概ね適合度は高い。図 3 は、当てはめた GEV 分布を用いて期間ごとに再現期間 100 年の年最大時間流量を求め、その変化比率を示した図である。年最大時間流量の標準偏差の変化比率とほぼ同様の空間分布パターンを示しており、北海道、東北地方北部、近畿地方南部、四国地方、九州地方北部で 100 年確率年最大時間流量が大きくなり、東北地方中・南部や北信越地方でその値が小さくなっている。その傾向は 21 世紀末気候実験でより明瞭に表れる傾向にあることがわかった。

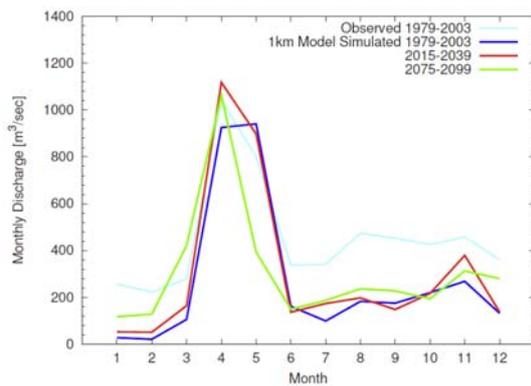
#### (2) 月流量の変化の分析

融雪流出の変化に着目し、月流量の変化を分析した。図 4 に石狩川流域 (石狩大橋地点 12,697km<sup>2</sup>)、最上川流域 (砂越地点 6,750km<sup>2</sup>) の各期間平均の月流量の計算値を示す。現在気候実験の期間に対しては、観測月平均流量を合わせて示す。現在気候実験の期間の観測月平均流量と計算月平均流量とを比較すると、月変化のパターンはよく対応している。石狩川流域では 21 世紀末実験の 5 月の河川流量が大きく減少し、1 月から 4 月の流量が増加する。これに伴い、現在気候実験では 5 月に表れていた最大月流量が近未来実験、21 世紀末実験では 4 月に発生し流量も増加する。最上川流域では、21 世紀末気候実験の 4 月の河川流量が大きく減少し、1 月から 3 月の流量が増大して明瞭な月流量の変化が見られなくなる。

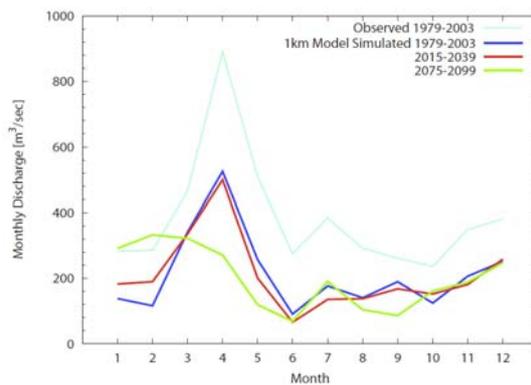
北海道では 4 月の月降水量に大きな変化はないが、21 世紀末実験では降雪量が大きく減少するため、4 月の降雨量が増加する。この結果、石狩川流域では 4 月に発生する洪水ピーク流量が増大する結果となった。一方で、東北地方中・南部の月流量は、温暖化の進行に伴い、すべての月で積雪・融雪量が減少する。最上川流域では 21 世紀末気候実験において 3 月に月平均気温が約 2 度となり、3 月中に融雪の発生がほぼ終了する。そのため観

測値および現在気候実験では4月に月流量が最大となるが、21世紀末実験では1月から3月の流量が増加し、4月の流量が大きく減少する。

このように積雪域では温暖化の進行に伴い、1月から3月の流量の増加がみられる。また最上川流域など気温変化が積雪・融雪に大きく影響する流域では流量の平滑化が見られる。このように、積雪・融雪が卓越する流域では月流量パターンが大きく変化し、その変化の仕方も地域によって大きく異なることが分かった。



(a) 石狩川流域(石狩大橋地点)



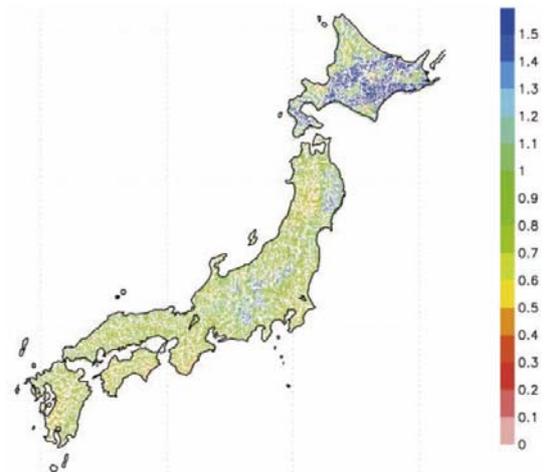
(b) 最上川流域(砂越地点)

図4：北日本の代表的地点での月流量の変化

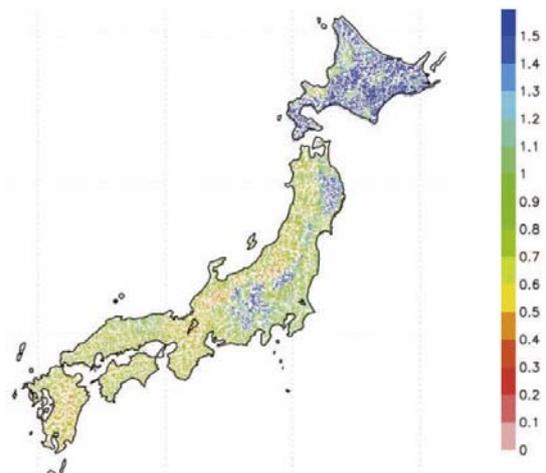
### (3) 日流量の変化の分析

日本全域の温暖化シミュレーション結果から日流量を算定し、渇水流量(年間の日流量を上位から並べて355番目の日流量)に着目して渇水リスクの変化を分析した。現在気候実験、近未来気候実験、21世紀末気候実験における毎年の渇水流量を取り出し、期間ごとに平均値を求めてその変化比率を求めた結果を図5に示す。全体的な特徴として、西日本で渇水流量が減少、東北北部や北海道で増加し、その傾向は21世紀末気候実験でより明瞭になることがわかる。

次に、それぞれの実験の25年間のすべての地点での渇水流量に下限値がゼロであるワイブル分布を当てはめた。母数の推定にはPWM法を用いた。適合度の指標としてSLSCを算定した結果は、一部で0.07以上となる地点が現れたが、ほとんどの地点で0.03~0.05であり、適合度は高かった。



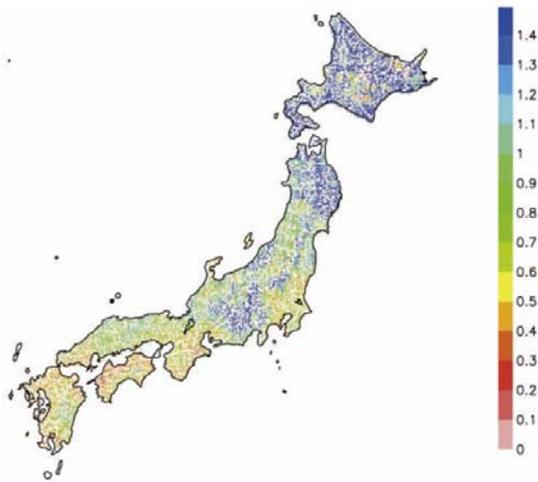
(a) 現在気候実験に対する近未来気候実験の変化比率



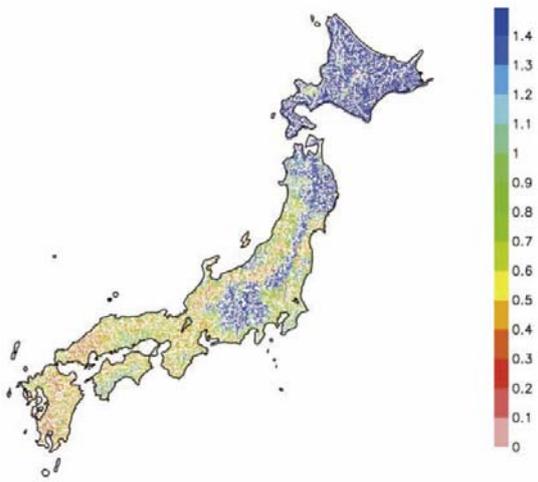
(b) 現在気候実験に対する21世紀末気候実験の変化比率

図5：渇水流量の平均値の変化

当てはめたワイブル分布を用いて10年確率の渇水流量を求め、その変化比率を得た結果を図6に示す。西日本では、近未来気候実験、21世紀末気候実験ともに渇水流量が現在気候実験よりも減少し、逆に北海道、東北地方北部、中部地方の一部の地域では将来の渇水流量が現在気候実験よりも増加する。その傾向は21世紀末気候実験でより明瞭に表れる傾向にあることがわかった。



(a) 現在気候実験に対する近未来気候実験の変化比率



(b) 現在気候実験に対する 21 世紀末気候実験の変化比率

図 6 : 10 年確率渇水流量の変化

#### (4) 利根川上流域における詳細分布型モデルの適用と流況制御の効果

利根川上流域を対象とし、できるだけ実際の河川流量を再現することができるように、流域内の 7 つの多目的ダムによる流況制御効果を導入した 250m 空間分解能の詳細分布型流出モデルを構築した。次にこの詳細分布型流出モデルを用い、日本全国の流出計算を実施したのと同様、気象研究所による気候推計情報を用いて、75 年分の連続計算を実施し、流況の変化を分析した。

図 7 は利根大堰地点において、それぞれの実験 25 年毎に一年の同日の日流量を平均し、上位から並べ直したものであり、ダム貯水池による流況制御を導入した場合と導入しない自然状況の場合を示している。冬期の融雪量の変化とダム貯水池による流況の安定化の効果が出て、250 日目以降の将来の流量は

増加する傾向にあることが分かる。図 8 は同地点においてダム貯水池による流況制御を導入した場合の期間毎の平均日流量と最小日流量、その地点での取水量を示している。これによれば、近未来気候実験、21 世紀末気候実験において最小日流量が取水量を下回る日数が増加する傾向にあることが分かった。これは温暖化により融雪量のピークが早期化することに起因している。年間の流量には将来に渡っても大きな変化はないため、ダム操作ルールを変更するなどによって対応することが有効であることが分かる。

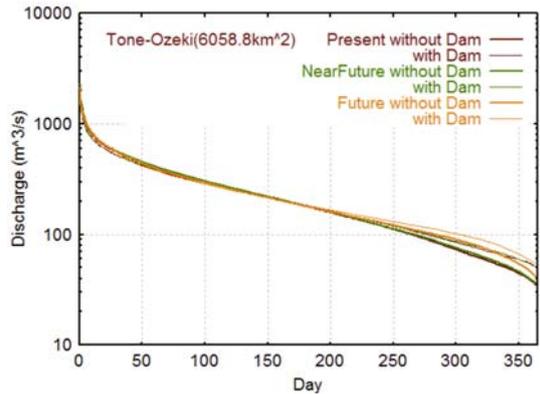


図 7 : 利根大堰地点での流況曲線

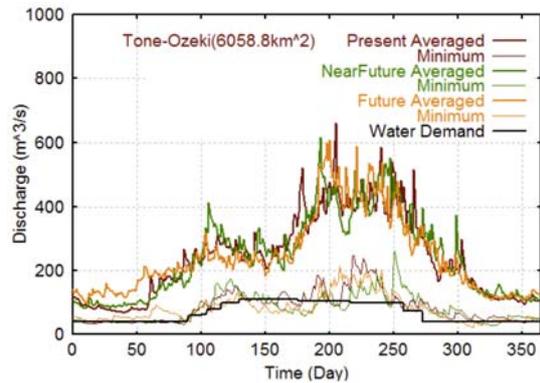


図 8 : 利根大堰地点での平均流量

#### (5) まとめ

日本列島全域を対象とする流出シミュレーションにより、主要な結果として以下を得た。1) 時間最大流量、日渇水流量、月平均流量について、明瞭な変化が見られる流域が存在した。2) 上記の変化は大きな地域性が見られた。3) 21 世紀末ではその変化が明瞭となる傾向にあった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 立川康人, 滝野晶平, 市川温, 椎葉 亮  
晴: 地球温暖化が最上川・吉野川流域の

- 河川流況に及ぼす影響について, 水工学論文集, 53 卷, pp. 475-480, 2009, 査読有.
- ② 立川康人: 河川流量の将来推計に必要なとなる大気モデルの時空間スケールと精度について, 水循環・貯留と浸透, 71 卷, pp. 24-27, 2009, 査読無.
  - ③ K. Takara, S. Kim, Y. Tachikawa, and E. Nakakita, Assessing climate change impact on water resources in the Tone River basin, Japan, using super-high-resolution atmospheric model output, Journal of Disaster Research, Vol. 4, pp. 12-23, 2009, 査読有.
  - ④ S. Kim, Y. Tachikawa, E. Nakakita and K. Takara: Reconsideration of reservoir operations under climate change: case study with Yagisawa Dam, Japan, Annual Journal of Hydraulic Eng., JSCE, Vol. 53, pp. 597-611, 2009, 査読有.
  - ⑤ S. Kim, Y. Tachikawa, E. Nakakita and K. Takara: Hydrologic evaluation on the AGCM20 output using observed river discharge data, Hydrological Research Letters, Vol. 4, pp.35-39, 2010, 査読有.
  - ⑥ 滝野晶平, 立川康人, 椎葉充晴, 山口千裕, 萬 和明: 地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計, 水工学論文集, 54 卷, pp. 475-480, 2010, 査読有.
  - ⑦ Y. Tachikawa: Impact of climate change on river flow regimes in Japanese catchments using GCM hydrologic projections and a distributed rainfall-runoff model, Water resources and water related disasters under climate change, the text of 19th IHP training course in 2009, International Hydrological Programme, UNESCO, pp. 47-58, 2009, 査読無.
  - ⑧ Y. Tachikawa and K. Yorozu: Impact analysis of climate change on water resources in Japan and Thailand using a GCM hydrologic projections and a distributed rainfall-runoff model, Proc. of 2009 AIT-KU Joint Symposium on Human Security Engineering, Bangkok, Thailand, pp. 149-156, 2009, 査読無.
  - ⑨ 立川康人, 滝野晶平, 萬 和明, キムスンミン, 椎葉充晴: 気候変化が日本の洪水発生に及ぼす影響の推定, 京都大学防災研究所年報, Vol. 53, pp. 23-36, 2010, 査読無.
  - ⑩ Y. Tachikawa, S. Takino, Y. Fujioka, K. Yorozu, S. Kim, and M. Shiiba: Projection of river discharge of Japanese river basins under climate change scenario, Proc. of the 5th Conference of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources

(APHW), pp. 139-145, 2010, 査読無.

- ⑪ 立川康人, 滝野晶平, 藤岡優子, 萬 和明, キムスンミン, 椎葉充晴: 気候変化が日本の河川流況に及ぼす影響の予測, 土木学会論文集, 67(1), pp.1-15, 2011, 査読有.
- ⑫ S. Kim, Y. Tachikawa, E. Nakakita, K. Yorozu and M. Shiiba: Climate change impact on river flow of the tone river basin, Japan, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 55, pp. S\_85-S\_90, 2011, 査読有.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 立川康人, 滝野晶平, 市川 温・椎葉充晴: 地球温暖化が最上川・吉野川流域の河川流況に及ぼす影響について, 土木学会水工学講演会, 2009 年 3 月 4 日, 芝浦工業大学.
- ② 滝野晶平, 山口千裕, 立川康人, 椎葉充晴, 地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計, 土木学会年次学術講演会, 2009 年 9 月 3 日, 福岡大学.
- ③ 立川康人, 滝野晶平, 山口千裕, 椎葉充晴: 地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計, 自然災害学会, 2009 年 9 月 29 日, 京大会館.
- ④ 滝野晶平, 立川康人, 椎葉充晴, 山口千裕, 萬 和明: 地球温暖化に伴う日本の河川流況変化の推計, 水工学講演会, 2010 年 3 月 5 日, 北海道大学.
- ⑤ Y. Tachikawa: Estimation of change of river flow in Japan under climate change and adaptive measures for resilient society, Disaster Prevention Seminar, May 24, 2010, Seoul, Korea.

[その他]

ホームページ

日本全国分布型流出モデルのプログラム:  
<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・准教授  
 研究者番号: 40227088

### (2) 研究分担者

椎葉 充晴 (SHIIBA MICHIHARU)  
 京都大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号: 90026352  
 キム スンミン (KIM SUNMIN)  
 京都大学・大学院工学研究科・講師  
 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