

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：82114

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560632

研究課題名(和文) アンサンブル降水量予報を用いた新しい洪水予測の開発

研究課題名(英文) Development of new flood forecasting system using ensemble precipitation forecasts

研究代表者

牛山 朋来 (Ushiyama, Tomoki)

独立行政法人土木研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：50466257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年数値天気予報技術が向上しているにもかかわらず、洪水予測に十分生かされていない。そこで、領域アンサンブル予報を用いた洪水予測システムを開発した。近年被害をもたらした2つの台風および1つの梅雨前線に伴う洪水事例に適用し、予測精度を評価した。このシステムはアンサンブルを用いない従来の手法に比べて高精度で洪水予測ができることを確認し、開発した洪水予測システムの適用可能性が大きいことを示した。しかし、予測精度は台風事例では比較的良好なもの、梅雨前線の豪雨の予測は困難であるなど、ばらつきが大きかった。今後現業予測に利用するためにさらなる開発が求められる。

研究成果の概要(英文)：The numerical weather prediction (NWP) has been steadily improved its accuracy. Instead, the quantitative precipitation forecasts (QPF) by NWP are not utilized in flood forecasting yet. We developed a new flood forecasting system utilizing regional ensemble prediction system. We applied this system to two typhoon cases and a Baiu frontal torrential rainfall case which caused flood damages in recent years. The system predicted rainfall and discharge better than conventional methods without ensemble prediction system. This implies it has a potential to realize flood forecasting by NWP. However, the forecast accuracy is highly dependent on applied events. Although, one typhoon case showed acceptable forecast accuracy, the flood forecasting for a Baiu frontal case was low performance. It needs persistent evaluation for the goal of operational application.

研究分野：土木工学、水文学

キーワード：洪水予測 数値天気予報 アンサンブル予報 データ同化 水文流出モデル

1. 研究開始当初の背景

ここ数年の間に、台風・前線・局地的豪雨により日本各地で記録的な大雨がもたらされ、それによる洪水・地滑り・冠水等の被害が続出している。河川急激増水が起こった場合、観測雨量をもとにした水文流出モデルによる計算結果を用いて防災管理が行われる。しかし、降雨から流出応答までの洪水到達時間は都市河川では2~3時間程度であるため、現在の方法では予報リードタイムが十分とは言えず、何らかの対策が求められる。

一方、数値天気予報は数日先までの降水量を予報しており、予報降水量を河川管理に利用できれば、十分な準備期間をもった洪水対策が可能となる。しかし、これまでのところ降水量予報値は精度が不十分であった。

近年数値予報の技術開発と計算機の発達により数値予報の精度が向上し、降水量予報精度も河川管理者が求める精度に近づきつつある。特に注目すべき点は、アンサンブル予報による予報精度の改善である。アンサンブル予報とは、初期値をわずかに変えた多数の予報計算を行い、得られた結果の散らばりも考慮して予報値を得る方法である。気象庁では週間予報や台風予報にアンサンブル予報を導入しているが、これらは空間解像度が粗く(60km)、まだ降水量を議論できるほどの精度はない。しかし、数年後には解像度10km程度のアンサンブル降水量予報が実現する予定である。これを利用するための降水量予報値の評価を行うためには、水文分野からのアプローチが求められている。

海外ではアンサンブル降水予報を用いた流出予報研究が既に行われており、開発が進められている。従って、日本国内でもアンサンブル降水量予報と河川流出モデルを組み合わせた洪水予報実験を行い、今後の開発方向を調査しておくことが、今後の洪水予報開発にとって重要である。

2. 研究の目的

(1) 雨を直接計算できる解像度によるアンサンブル数値予報の開発

洪水予報に必要な精度で降水量を予測できるアンサンブル予報は日本ではまだ運用されていない。従って、それを可能にする雲解像アンサンブル予報を開発する。欧米ではアンサンブル予報を用いた水文予報の研究が既に行われている(Cuo et al. 2011)。しかしながら、降水予報を目的としたアンサンブル予報は未知の部分が多く、確立した方法論も存在しない。また、現状の数値予報における予報降水量の評価も不十分である。従って、

現状の数値予報による降水量予報値の評価、現状の数値予報から数値予報モデルを用いてさらに高解像度の予報(ダウンスケール)を行った降水量予報値の評価、アンサンブル予報を行った場合の降水量予報値の評価、を行い数値予報の高機能化に伴う精度向上について明らかにする。そして、それぞ

れの段階における予報降水量精度の洪水予報に対する有効性について評価を行う。

(2) 降水現象の種類(台風、前線、局地的豪雨)に依存する予報精度の評価

降水現象は、台風・前線・局地的豪雨などの種類があり、それぞれに降水範囲・降水強度・降水持続時間などが異なる。また、降水量予報については降水現象の種類により予測可能性が異なる。つまり、低気圧、前線、台風といった総観規模の現象が支配する現象の場合、母体となる現象の予測ができれば降水予測可能性も大きいものに対して、突発的に起こる局地的集中豪雨の場合は、大規模な現象との結びつきが弱いため予測が難しい。従って、それぞれの降水現象に適した数値予報を行う必要がある。そこで、それぞれの降水現象に適した予報モデルを用いて降水量の予報精度を評価し、予報の実現可能性について調査をおこなう。

(3) 流域面積に対応した予報手法の評価

流出予報を行う河川の流域面積は、都市河川の100 km²程度から利根川などの10000 km²程度までさまざまなスケールの流域面積を持つ。それに従って、それに伴う洪水到達時間も都市河川の2~3時間から利根川などの1~2日の違いがある。従って、それぞれの流域面積の規模に対応した降水の数値予報を行う必要がある。それぞれの規模に対応した流出予報に適した降水量数値予報の方法(アンサンブル手法、モデル解像度、使用する親モデルの種類)などを評価する。

3. 研究の方法

(1) アンサンブル数値予報の開発

流出解析・洪水予報に耐えうる降水量予報値が得られる気象数値予報モデルを開発する。予報モデルは米国国立大気研究センター(NCAR)を始めとする複数の研究機関によって開発されているWRF(Weather Research and Forecasting model)を用いる。これは、日本国内の降水現象の計算にも実績があり(牛山他 2011)、世界でも先進的なモデルの一つである。この数値モデルを用いたアンサンブル予報については、タイムラグアンサンブル予報と局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)を用いる。タイムラグアンサンブル予報は、入手可能な範囲で開始時刻が異なる親モデルの計算値を初期値・境界値として予報する方法である。この場合の親モデルは、気象庁の予報の中で空間解像度が5kmと最も高いメソモデル(MSM)の3時間毎予報値を用いる。この場合予報時間は最大33時間後までとなる。

次に、局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF, Miyoshi and Kunii 2011)を用いた降水予報を行う。こちらも親モデルとしてMSMを用いる。LETKFは、アンサンブルカルマンフィルター(EnKF)の一手法であり、

データ同化とアンサンブル予報を行うための初期値作成を同時に実現する。このアンサンブル予報は、1つの時刻から初期値をわずかに変えた複数の計算を行い、計算結果の散らばりを評価することにより、現在最も精度の高い予報を行うことができる手法である。しかし、大きな計算機資源を必要とするため、本研究では領域を限定して計算を行う。

(2) アンサンブル数値予報を用いた事例解析とモデルおよび手法の評価

開発した気象数値予報モデルを用いて、現実の降水現象を再現するための事例解析を行い、モデルおよび手法の評価を行う。対象となる降水現象（台風、前線、局地的豪雨）によって、適切な手法や予報精度が異なることが考えられるため、それぞれの降水現象について評価を行う。さらに、様々な流域面積を持つ河川について実験を行う必要がある。当面は100 km²程度の河川を対象とする。対象河川は、連携研究者と協議の上決定する。

対象となる降水現象は、親モデルとなるMSMの更新が行われた2009年10月以降のものを用いる。台風は平成23年の台風12号の事例、前線は平成23年の新潟福島豪雨、局地的豪雨は平成22年7月の関東平野の事例を用いることを予定している。

予報結果の評価方法として、予報降水量と気象庁アメダスによる地上雨量計の値を比較することの他、分布型水文流出モデルに予報降水量と地上雨量計の値を導入した結果について比較を行う。予報降水量として、(1)MSMの予報値、(2)ダウンスケールした単独予報の予報値、(3)タイムラグアンサンブルによるアンサンブル平均値および上位メンバーの予報値、(4)LETKFによるアンサンブル平均および上位メンバーの予報値、等が評価対象である。

水文流出計算に用いるモデルは、佐山他による降水流出氾濫(RRI)モデルを用いる。RRIモデルによる流出計算は既に実績があるため運用上の問題は無い。対象として定めた河川流域に対して、上記降水予報によって得られた降水量を与えて流出計算を行い、観測流出量との比較を行う。そして、流出量計算値の精度について議論を行う。

4. 研究成果

(1) 雨を直接計算できる解像度によるアンサンブル数値予報の開発

洪水流出計算を行うため、降水量予報精度を重視したアンサンブル予報システムを開発した。

アンサンブル予報システムはWRF-LETKF(Miyoshi and Kuni i 2011)を用いた。これは、領域モデルWRFとLETKFを組み合わせたものである。LETKF解析手法は、次の式(1)によって表される。

$$\bar{x}_i^a = \bar{x}_i^f + \delta \mathbf{X}_i^f \{ \bar{\mathbf{P}}_i^a (\mathbf{H} \delta \mathbf{X}_i^f)^T \mathbf{R}^{-1} (y_i^o - H(\bar{x}_i^f)) \} \quad (1)$$

第一推定値 \bar{x}_i^f から解析値 \bar{x}_i^a を計算する過程

で、アンサンブル摂動 $\delta \mathbf{X}_i^f$ と解析誤差 $\bar{\mathbf{P}}_i^a$ の大きさと、観測誤差 \mathbf{R} の大きさに応じて、観測値 y_i^o を観測演算子 $H(\bar{x}_i^f)$ で変換した値を同化する。なお、 \mathbf{H} は tangent linear である。この過程では、一つ前のアンサンブル予報によって広がってしまった予報値(第一推定値)を観測値の周りに収束させ、なおかつそれぞれの相関が小さいアンサンブル解析値が得られる。この解析値を初期値として、WRFモデルを用いて時間積分し、9時間後の第一推定値を作成、再度LETKF解析を行う。これを繰り返すことにより、適切なアンサンブル摂動を持つ解析値が得られる。これらを初期値としてアンサンブル予報を行うことにより、様々な場の成長可能性を持つ予報値が得られる。本研究のデータ同化システムのメカニズムとして、このWRF-LETKFを用いる。

今回用いたモデル設定として、WRFモデルの解像度は15kmと3kmの2重ネスティングとした。なお、このシステムでは外側フレームのメソスケール場から内側フレームの対流スケールへの強制力のみを考え、One way ネスティングとした。従って、外側と内側フレームは独立しているため、最初に外側フレームの時間積分とLETKF解析を行って解析値を求め、その後でそれをネスティングする形で内側フレームの時間積分とLETKF解析を行った。

外側フレームは1500km四方の領域を取り、1日程度の気象現象の変化を追える領域とした。内側フレームは375km四方とし、3kmの高解像度モデルにより、降水過程を詳細に再現した。鉛直層は40層とした。外側フレームはKain&Fritsch積雲対流パラメタリゼーションを用い、内側フレームは氷相を含む雲物理過程を計算するLinスキームを採用した。なお、Kain&Fritschスキームは、気象庁で精力的に改善が行われ(成田2008)、日本域に適用された研究があるので、この改善手法を適用した。

LETKFで同化したデータは、1時間毎のPREPBUFR(風、気温、水蒸気量、気圧)、AMEdAS(風、気温、相対湿度)、GPS可降水量である。GPS可降水量の同化方法は、Seko et al.(2013)の方法を用いた。アンサンブルメンバー数は、21または51メンバーとした。

境界条件は気象庁MSMを用いたが、50hPa層と土壌水分量はMSM GPVに含まれないため、NCEP GFS4の値を流用した。

WRFモデルの時間積分の一番初めに与える初期は、それぞれのアンサンブルメンバーが適当な摂動を持つ必要がある。そこで、今回は気象庁週間アンサンブル予報の各メンバーを、外側フレームのWRFモデルを用いて24時間積分し、初期値とした。

このシステムのような1500km程度のスケールで領域アンサンブル予報を行う場合、すべてのアンサンブルメンバーに対して共通の境界条件を用いると、側面境界におけるアンサンブルメンバー間の偏差、すなわちアン

サンプルスプレッドが時間とともに減少し、それが領域内に広がってしまう。すると、式(1)のアンサンブル摂動 δX_i^t が小さくなり、LETKF が第一推定値を信用し過ぎるため、観測データが同化されなくなってしまう。これを避けるためには、モデル領域全域でアンサンブルスプレッドの値をある程度以上に維持する必要がある。

アンサンブルスプレッドを維持するためには、側面境界に摂動を与える手法が一般的に用いられる(Saito et al. 2012)。今回は、作成した最初の各アンサンブルメンバーの初期値に含まれる摂動を、側面境界に与えることにより、アンサンブルスプレッドを維持した。なお、側面境界摂動は、外側フレームのみに与えた。

このようなシステムを、対象となる降雨開始の数日前から LETKF 解析を開始し、適当なタイミングで各アンサンブルメンバーの解析値を初期値として、33 時間予報を行った。なお、33 時間であるのは境界条件となる気象庁 MSM が 33 時間予報まで提供されているためである。

得られたアンサンブル降水量予報を、分布型流出モデル RRI モデルに導入し、対象となる河川流域について、流出予測実験を行った。なお、RRI モデルに与える降水量は、予報値が得られた時刻以前は国交省 C バンドレーダ雨量計の観測値を用い、予報降水量が得られた時間よりも先についてはゼロ降水量を与えた。このような各アンサンブルメンバーの降水量をそのまま RRI モデルに導入し、アンサンブル洪水予測を行った。

(2) アンサンブル数値予報を用いた事例解析とモデルおよび手法の評価

この章では、2 種類の対象事例に関する事例解析結果を紹介する。

(2-1) 2011 年台風第 12 号、第 15 号の事例解析

2011 年台風第 12 号と第 15 号は、ともに関西付近を通過した。第 12 号は非常にゆっくりと四国から中国地方を縦断したため、紀伊半島を中心に多大な降水をもたらし、奈良県上北山観測点の雨量は 8 月 31 日から 9 月 4 日までの雨量は 1,812mm と、9 月の月間降水量の 4 倍以上となった。それによる土砂災害、浸水、河川氾濫等により和歌山奈良三重などで死者 78 名、行方不明者 16 名となる大災害となった。

台風第 15 号は台風第 12 号で被害を受けた直後に襲来した。この台風は南大東島の西海上にしばらく留まり、湿った空気を本州南岸に供給したことから、九州四国南部を中心に 1,000 mm を越える降水量をもたらし、紀伊半島でも三重県大台町宮川で 794 mm に達した。その後、紀伊半島南海上を通過し、関東を縦断して東北沖に抜けた。

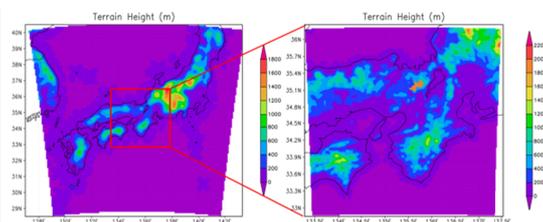


図 1. 台風の子報領域。色は標高を表す。左が外側フレーム、右が内側フレーム。京都府のオレンジ色の部分が日吉ダム流域である。

これらの台風に伴う洪水予測を行い、開発したアンサンブル洪水予測システムの予測精度を検証した。対象流域は、京都府内の日吉ダム流域(流域面積 320km²)とした。図 1 に WRF の計算領域を示す。

台風第 12 号については、主な降水が 9 月 2 日~4 日に降り、特に 3 日に集中した。WRF 予報計算を 8 月 30 日 12UTC から開始し、6 時間毎に LETKF 解析を繰り返した。メンバー数は 21 メンバーで行った。そして、豪雨の 6 時間前の 3 日 03UTC、12 時間前の 2 日 21UTC、18 時間前の 2 日 15UTC の 3 種類の時点から 33 時間予報を行った。予報降水量を RRI モデルに導入して求めた流出予測(12 時間前予報)を図 2 に示す。

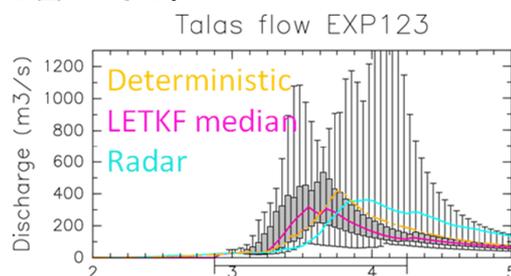


図 2. 台風第 12 号の流出予測。灰色ボックスが 25~75% のアンサンブル予報範囲、縦棒は 0~100% の範囲を示す。ピンク色はアンサンブルメディアン。黄色は決定論的予測、水色はレーダー観測による結果。横軸の下の線の範囲は、雨量の予報期間を表す。

図 2 では、アンサンブルメディアンよりも決定論的予測の方がより観測に近い結果となった。しかし、他の 2 つの予報時刻では決定論的予測のばらつきが大きく、信頼性が低かったのに対して、アンサンブル予測は安定した予報値を示した。従って、アンサンブル予報の方が決定論的予測よりも高い信頼性を持つことがわかった。

なお、この台風第 12 号は、気象庁の予報よりも現実の台風の進行速度が遅かった。そのため、図 2 の予測流量も観測よりも早く現れ、値も過小評価気味であった。

続いて、台風第 15 号の結果を示す。こちら、豪雨発生に対して 12 時間前から 24 時間前の時点での 33 時間予報を行い、流出予測を行った。図 3 に 12 時間前予測の結果を示す。

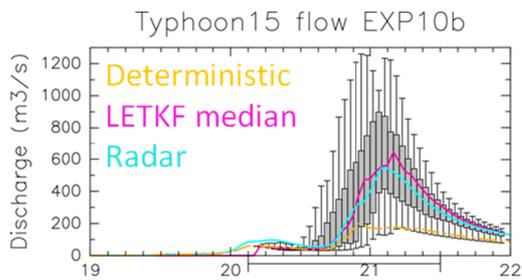


図 3. 台風第 15 号の流出予測。色のレジェンドは図 2 と同じ。

台風第 15 号では、アンサンブルメディアンは観測とよく一致し、予測精度が高かったが、決定論的予測は大きく過小評価した。なお、他の予報時刻では、アンサンブルメディアンと決定論的予測の差は小さく、決定論的予測の方が良い場合もあった。しかし、全体としてアンサンブル予測は安定した予測値を示し、決定論的予測はばらつきがおおきかった。この点は、台風第 12 号の場合と同様である。

(2-2) 2012 年 7 月九州北部豪雨の事例解析
 続いて、梅雨前線に伴う豪雨事例として、2012 年 7 月の九州北部豪雨に伴い、熊本県内で洪水が起きた事例を対象に、予測実験を行った。

この事例は、活発化した梅雨前線の影響で、九州北部で 12 日午前、局地的な豪雨に見舞われ、熊本県阿蘇市一の宮町手野の阿蘇・外輪山麓で土石流が発生。熊本市は中心市街地を流れる白川が氾濫し、避難指示を出した。気象庁によると、熊本県阿蘇市で午前 5 時までの 3 時間に 288・5 ミリ、同県南阿蘇村で午前 6 時 10 分までの 3 時間に 214・5 ミリの降雨量を記録するなど、観測史上最多を更新した。

この事例でも同様に、15 km と 3 km メッシュの 2 重ネスティングによる WRF-LETKF を用いて降水予測を行った。15 km の外側フレームでは、豪雨開始の 10 日以上前の 7 月 1 日 12UTC から計算を開始し、内側フレームでは 7 月 10 日 00UTC から計算を開始した。また、33 時間予報は 10 日 15UTC, 21UTC, 11 日 03UTC, 09UTC 等について行った。なお、メンバー数は 51 メンバーとした。図 4 に計算領域を示す。

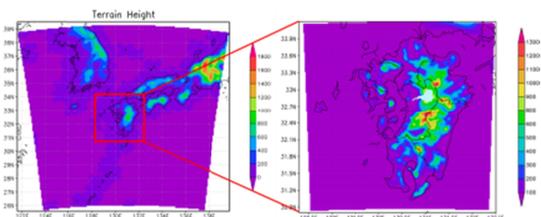


図 4. 梅雨前線事例の予報領域。色は標高を表す。熊本県の白い部分が白川流域である。

台風事例と同様に予報降水量を用いて流出予測を行ったが、梅雨前線事例の場合、予

報降水量は観測に比べて著しく過小評価していた。つまり、アンサンブルメディアンは観測の 1/5 程度であり、最大のメンバーが辛うじて観測値に達していた。これは、メンバー数を 51 にしても変わらなかった。この予報降水量を用いて流出予測を行った場合、最大のアンサンブルメンバーをもってしても観測された洪水流出を再現することができなかった。

降水予報がうまく行かなかった理由として、降水システムの大きさが幅 20 km 程度と小さいため、予報位置がわずかにずれてしまったことが原因の一つであると考えた。そこで、予報の位置ずれを補正するため、9 時間積算降水分布の位置を、最大 45 km の範囲で平行移動し、白川流域内降水量が最も大きくなる位置を探して、予報降水量とした。すると、ある程度予報降水量も大きくなった。これを RRI モデルに導入して計算した結果、アンサンブルメディアンが大きく過小評価する傾向はあるものの、少なくとも最大のアンサンブルメンバーは観測された洪水流出を超え、洪水の可能性を予測できることが示された。図 5 に流出予測結果を示す。これは 24 時間前予測である。

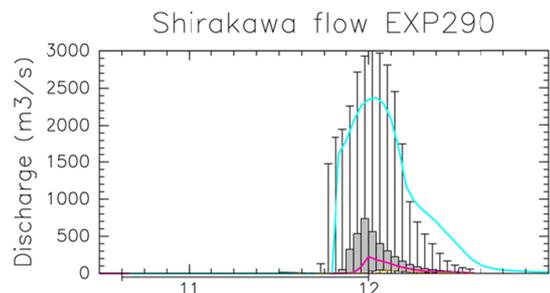


図 5. 梅雨前線事例の流出予測。色のレジェントは図 2,3 と同じ。

以上のように、台風 2 例と梅雨前線 1 例ではあるが、異なる成因を持つ豪雨事例について、アンサンブル洪水予測実験を行い、開発した予測システムの予測可能性について評価した。その結果、台風事例では効果的な予測の可能性が見えたが、梅雨前線による集中豪雨の予測は困難であり、さらなる技術開発が必要であることが示唆された。

< 引用文献 >

牛山朋来・萬矢敦啓・菅野裕也・深見和彦, 2011: 2010 年 7 月 5 日に板橋区で発生した局地的豪雨の数値実験, 水工学論文集第 55 巻.
 Cuo, L, T. C. Pagano, and Q. J. Wang, 2011: A review of quantitative precipitation forecasts and their use in short- to medium-range streamflow forecasting, J. Hydrometeorology, 12, 713-728.
 Miyoshi, T. and M. Kunii, 2011: The local ensemble transform kalman filter

with the weather research and forecasting model: experiments with real observations. Pure Appl. Geophys. DOI 10.1007/s00024-011-0373-4.

成田正巳、2008、Kain-Fritschスキームの改良とパラメータの調整、数値予報課報告・別冊第54号、気象庁予報部、103-111

Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, and T. Miyoshi, 2013, Development of a two-way nested LETKF system for cloud-resolving model, Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II), DOI 10.1007/978-3-642-35088-7_20, pp. 489-507.

Saito, K., H. Seko, M. Kunii, and T. Miyoshi, 2012: Effect of lateral boundary perturbations on the breeding method and the local ensemble transform Kalman filter for mesoscale ensemble prediction. Tellus, 64A, 11594, doi:10.3402/tellusa.v64i0.11594.

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3件)

牛山朋来・佐山敬洋・藤岡奨・建部祐哉・深見和彦・三好建正, アンサンブルカルマンフィルターを用いた2011年台風12号・15号の降雨流出予測実験, 河川技術論文集、査読有、第19巻、2013年319-324. Ushiyama T., T. Sayama, Y. Tatebe, S. Fujioka, K. Fukami, Numerical simulation of 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin by using lagged ensemble rainfall forecasting. J. Hydrometeor., 査読有、Vol 15, No.1, 2014年193-211.

牛山朋来・佐山敬洋・岩見洋一・三好建正, 2011年台風12号・15号を対象としたアンサンブル降雨流出予測実験, 河川技術論文集、査読有、第20巻、2014年455-460.

[学会発表](計9件)

牛山朋来, Rana Muhammad Atif, 佐山敬洋、建部祐哉、藤岡奨、深見和彦, 2010年パキスタン洪水をもたらした豪雨のダウンスケール再現実験、日本気象学会秋季大会、2012年10月5日、札幌

牛山朋来、佐山敬洋、藤岡奨、建部祐哉、深見和彦、三好建正, WRF-LETKFを用いた2011年台風12号・15号の降雨流出予測実験、日本気象学会春季大会 2013年5月18日 東京代々木

牛山朋来、佐山敬洋、藤岡奨、建部祐哉、深見和彦、三好建正, アンサンブルカルマンフィルターを用いた2011年台風12

号・15号の降雨流出予測実験、2013年度河川技術に関するシンポジウム、2013年6月6日、東京

Tomoki Ushiyama, Takahiro Sayama, Susumu Fujioka, Yuya Tatebe, Kazuhiko Fukami, and Takemasa Miyoshi, Ensemble forecasts of rainfall and discharge in Japan for typhoon TALAS and ROKE in 2011 using EnKF. AOGS2013, 2013/6/27, Brisbane, Australia.

牛山朋来、佐山敬洋、岩見洋一、三好建正, WRF-LETKFを用いた2011年台風12号・15号のアンサンブル降雨予報, 第15回非静力学モデルに関するワークショップ、2013年9月26日、札幌

牛山朋来、佐山敬洋、岩見洋一、三好建正, WRF-LETKFを用いた領域アンサンブル予報における側面境界摂動の影響, 日本気象学会秋季大会、2013年11月20日、仙台

T. Ushiyama, T. Sayama, Y. Iwami, and T. Miyoshi, Probabilistic rainfall and streamflow prediction in Japanese small basin using EnKF, EGU General Assembly, 1 May 2014, Vienna

牛山朋来、佐山敬洋、岩見洋一、三好建正, 2011年台風12号・15号を対象としたアンサンブル降雨流出予測実験, 河川技術に関するシンポジウム、2014年6月6日、東京

T. Ushiyama, T. Sayama, and Y. Iwami, WRF-LETKF application for flood forecasting on Kyushu torrential rainfall, the 4th International Symposium on Data Assimilation, 24 Feb. 2015, Kobe.

6. 研究組織

(1)研究代表者

牛山 朋来 (USHIYAMA, Tomoki)

土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター

研究者番号: 50466257

(3)連携研究者

佐山 敬洋 (SAYAMA Takahiro)

土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター

研究者番号: 70402930