

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：11601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760388

研究課題名(和文) 河川の高頻度流量観測データを用いた流域の雨水貯留量変動および貯留能の推定

研究課題名(英文) Estimating watershed-scale storage change and storage capacity based on high-frequency river discharge monitoring data

研究代表者

横尾 善之(Yokoo, Yoshiyuki)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：90398503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、Kirchner (2009)が提案した雨水貯留変動量推定法にHino & Hasebe (1984)のフィルター分離法を組み合わせることで、降雨流出過程が複雑な流域においても流域スケールの雨水貯留変動量が推定できるかどうかについて検討した。その結果、流域スケールの雨水貯留変動量をKirchner (2009)の手法よりも精度良く推定できることが判明した。さらに、本研究が改良した雨水貯留変動量の推定法を用いると、タイ北部および日本の流域内の土砂災害発生ポテンシャルの推定や福島県内の下水処理場の集水域内におけるCs-137の貯留・流出機構の推定に応用できる可能性が高いことがわかった。

研究成果の概要(英文)：The present study attempted to incorporate the method for estimating watershed-scale storage change suggested by Kirchner (2009) with the filtering method for hydrograph separation suggested by Hino and Hasebe (1984), so that we can apply the Kirchner's storage change estimation method even in watersheds with complex rainfall-storage-discharge processes. The result showed that the incorporation allowed better estimation of watershed-scale storage change in such watersheds, compared to the original method in Kirchner (2009). Our improved method also succeeded identifying dominant rainfall-storage-discharge processes within a watershed. In addition, this study found that our improved method is applicable in estimating slope-failure potential both in Japan and Thailand as well as storage-discharge mechanism of Cs-137 in drainage areas of sewage systems in Fukushima prefecture.

研究分野：流域水文学

キーワード：貯留量 河川流量 成分分離 土砂災害 逆推定 降雨流出 モデリング システム

1. 研究開始当初の背景

流域全体に貯留されている水の量(貯留量)は、鉛直下向きにどこまで地下水が存在するのかについて測定することができないため、正確に知ることができない。しかし、その変動量については、降水量から蒸発散量および流域から流出する河川流量を差し引いたものとして計算することができる。降水量や河川流量は直接的に測定することができるものの、蒸発散量は流域スケールで測定することはできず、推定するほかはない。降水量や河川流量には測定誤差が、蒸発散量には推定誤差があるため、それらから計算される貯留量の変動量もまた誤差を含む。このため、流域スケールの降水の貯留・流出現象のうち、貯留量に注目した研究は少なかった。

この状況が長く続いた後、Kirchner (2009) は流域から流出する河川流量データから流域スケールの雨水貯留量の変動量を推定する方法を提案した。この方法は、夜間・無降雨の時間帯に限定すれば河川流量は流域スケールの雨水貯留量のみ依存すると近似できると仮定し、夜間・無降雨時の河川流量データのみを用いて流域スケールの雨水貯留変動量を推定するものである。河川流量データを選択的に利用することで、蒸発散量を推定することなく雨水貯留量の変動量の推定を可能とするこの手法は、世界的に注目されていた。しかし、イギリスの降雨流出過程が比較的単純な流域を対象にその有効性を主張した Kirchner (2009)の手法は、日本の降雨流出過程が複雑な流域では推定された雨水貯留変動量の推定値が物理的に妥当な値にならない問題が筆者らの研究によって分かっていた(横尾ら, 2012)。この問題は、河川流量の逓減係数を流量の大きさに場合分けして決定することで軽減されることを Teuling *et al.* (2010) が報告しているが、本質的な解決に繋がらなかった。

この問題の本質的な解決には、河川流量データの特性に応じて場合分けした上で Kirchner (2009)の手法を適用する必要があると著者は考え、その方法を模索していた。

2. 研究の目的

本研究は、全国的に蓄積されつつある河川の毎時の流量観測データを用いて、流域スケールの雨水貯留量の変動および貯留量を推定することを目的とし、水資源の有効利用や洪水・土砂災害に資する科学的知見の発信を目指している。「貯留量変動を算出するにはまず流域スケールの蒸発散量推定が不可欠」という従来の常識を覆した Kirchner (2009)の手法を採用することで本研究はこれを実現する。この手法を多くの流域に適用するにはまだ3つの課題(降雨流出過程の主要プロセスが3つ以上ある流域での適用性、流域面積の大きい流域への適用性、蒸発散量が大きくなる温帯および熱帯気候下の流域への適用性)があるが、これらの解決法を提案し、

温帯・熱帯気候下の多くの流域で貯留量変動および貯留量を定量的に推定し、さらに流域の貯留量の地理的決定要因を探ることが本研究の主眼である。

3. 研究の方法

(1) 貯留変動量推定法の改良

著者は、「河川流量データの特性に応じて場合分け」する方法として、のフィルター分離法(Hino & Hasebe, 1984)が最適であるとの結論に達した。これにより、河川流量データをフィルター分離法で成分分離した上で、Kirchner (2009)の貯留量変動量推定法を適用することで、流域スケールの雨水貯留量の変動量を推定した。

(2) 改良新手法の妥当性の確認

著者は、上記(1)の手法で推定した雨水貯留量変動量を推定値の変動、土壌雨量指数との比較、水収支の3つの観点でその妥当性を評価した。

(3) 改良新手法の応用

上記(1)および(2)で改良を重ねた貯留量を応用し、下水汚泥中のCs-137の変動から下水処理場の集水域内におけるCs-137の貯留・流出特性を推定した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

本研究は予備研究として、まず Hino & Hasebe (1984)のフィルター分離手法を用いて、地域の貯留・流出機構の違いを表現できること(西山・横尾, 2013)、Hino & Hasebe (1984)のフィルター分離手法と Kirchner (2009)の雨水貯留量推定法を接続できることを確認した(岡崎ら, 2013)。

次に、Hino & Hasebe (1984)のフィルター分離手法と Kirchner (2009)の雨水貯留量推定法を接続した手法は、横尾ら (2012)が示した不自然な貯留量変動がないこと、流域内の複数の主要な貯留・流出関係を表現できることを示した(Kobayashi & Yokoo, 2013)。また、タイ北部および日本の流域に改良した本手法を適用し、本手法で推定した雨水貯留量変動量は土砂災害のポテンシャル評価にも利用できることを確認した(Yokoo *et al.*, 2014; 小林・横尾, 2014)。

さらに、Hino & Hasebe (1984)のフィルター分離手法と Kirchner (2009)の雨水貯留量推定法を接続する際には、成分分離後に推定する成分別の貯留量と河川流量の関係は線形関係を仮定する方がよいことを確認した(千葉・横尾, 2015)。

これらに加えて、成分分離後の流量ならびに推定した成分別の雨水貯留量データを利用して、流域内の主要な降雨流出機構を推定して降雨流出モデルを決定論的に導く方法論を提案した(芳賀ら, 2014; 菅野・横尾, 2015)。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

本研究のように、降雨流出過程が複雑な流域には適用できないという Kirchner (2009) の雨水貯留変動量推定法が抱える大きな問題についてフィルター分離法 (Hino & Hasebe, 1984) を組み合わせることで本質的に解決した例は本研究以外にない。このため、Kirchner (2009) の手法の応用研究例としては、世界的に大きくリードした研究成果を挙げたと言える。この点において、今後の降雨の貯留・流出過程の理論研究およびモデリング研究に本研究が与える影響は大きく、その応用や利用促進が期待される。なお、本研究の成果の一部をまとめた Kobayashi & Yokoo (2013) は「平成 26 年度水文・水資源学会論文奨励賞」の受賞対象論文となった。

(3) 今後の展望

本研究の成果は、雨水の貯留・流出機構に関して、主要なプロセスを抽出した結果に立脚して流域スケールの雨水貯留量の変動を推定可能とし、決定論的にモデル構築を可能とした点に大きな価値があると言える。このようなアプローチは、ある未知のシステムからの出力データに基づいてそのシステムの機構を逆推定できるようにするものであり、応用範囲は広い。

具体的な応用例として、著者は、2011 年に発生した福島第一原子力発電所の事故に伴って降下した放射性物質が下水処理場の集水域に集まるプロセスの逆推定に利用した。その結果、放射性物質が下水処理場に到達するまでの動態を推定し、放射性物質の動態モデルに組み込むべき知見を得ることができた (三浦・横尾, 2014; 鹿野・横尾, 205)。

降雨の貯留・流出機構のモデリング研究の発展に寄与する研究としてスタートした本研究は、上述の放射性物質の動態以外にも多くの応用が期待できたため、著者は降雨の貯留・流出機構のモデリング研究に加えて、その応用の可能性についても追及する意向である。

< 引用文献 (5 . に記載の文献は除く) >

Kirchner, J. W. (2009), Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward, *Water Resources Research*, Vol.45, W02429, DOI: 10.1029/2008WR006912.

Teuling, A. J., Lehner, I., Kirchner, J. W. and Seneviratne, S. I. (2010), Catchments as simple dynamical systems: Experience from a Swiss prealpine catchment, *Water Resources Research*, Vol.46, W10502, DOI:

10.1029/2009WR008777.

横尾善之, 小林秀平, 川崎雅俊 (2012), 日本の山地流域における貯留量変化および貯留能の推定に向けた基礎的検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 68 巻, pp. I_475-I_480.

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 13 件)

千葉宇彦, 横尾善之 (2015), 流域スケールの雨水貯留量の推定法を利用した降雨流出過程のスケール依存性の検討, 東北地域災害科学研究, 第 51 巻, 183-188, 査読無.

鹿野雄大, 横尾善之 (2015), 下水処理場の集水域における Cs-137 の流出過程の推定, 東北地域災害科学研究, 第 51 巻, 189-194, 査読無.

菅野裕嗣, 横尾善之 (2015), 降雨流出過程における主要プロセス数の推定, 東北地域災害科学研究, 第 51 巻, 195-200, 査読無.

藤元大季, 横尾善之 (2015), 裏磐梯毘沙門沼の上流域における雨水の貯留・流出過程の推定, 東北地域災害科学研究, 第 51 巻, 201-206, 査読無.

廣瀬将也, 横尾善之 (2015), 裏磐梯毘沙門沼への流入表流水の起源推定に向けた水質データ解析, 東北地域災害科学研究, 第 51 巻, 207-212. 査読無.

千葉宇彦, 横尾善之 (2015), 流域スケールの雨水貯留量推定法の理論的修正とその効果, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, I_289-I_294, 査読有.

芳賀健大朗, 小林秀平, 横尾善之 (2014), 河川流量の成分分離を利用した降雨流出モデルの構造およびパラメータの推定, 東北地域災害科学研究, 第 50 巻, 103-108, 査読無.

三浦尚也, 横尾善之 (2014), 脱水汚泥中の Cs-137 の変動特性モデリング, 東北地域災害科学研究, 第 50 巻, 217-222, 査読無.

小林秀平, 横尾善之 (2014), 土壌雨量指数と流域スケールの雨水貯留量の推定値との関係, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_349-I_354, 査読有.

Yokoo, Y., Wattanakarn, C., Wattanakarn, S., Semcharoen, V., Promasakha na Sakolnakhon, K., Soralump, S. (2014), Storage under the 2011 Chao Phraya river flood: An interpretation of watershed-scale storage changes at two neighboring mountainous watersheds in northern Thailand, *Hydrological Research Letters*, 8, 1-8, DOI: 10.3178/hrl.8.1, 査読有.

Kobayashi, S., Yokoo, Y. (2013), Estimating watershed-scale storage changes from hourly discharge data in mountainous humid watersheds: toward a new way of dominant process modeling, *Hydrological Research Letters*, 7, 97-103, DOI: 10.3178/hrl.7.97, 査読有.

西山光, 横尾善之 (2013), 降雨流出過程の地域性に関する研究, 東北地域災害科学研究, 第 49 巻, 145-150, 査読無.

岡崎聡史, 小林秀平, 横尾善之 (2013), 流域スケールの雨水貯留量の推定法に関する研究, 東北地域災害科学研究, 第 49 巻, 163-168, 査読無.

[学会発表](計 15 件)

千葉宇彦, 横尾善之: 流域スケールの雨水貯留量推定法の理論的修正とその効果, 第 59 回 土木学会水工学講演会, 早稲田大学(東京都新宿区), 2015 年 3 月 11 日.

菅野裕嗣, 横尾善之: 降雨流出過程における主要プロセス数の推定, 平成 26 年度 東北地域災害科学研究集会, 山形大学(山形県鶴岡市), 2015 年 1 月 10 日.

千葉宇彦, 横尾善之: 流域スケールの雨水貯留量の推定法を利用した降雨流出過程のスケール依存性の検討, 平成 26 年度 東北地域災害科学研究集会, 山形大学(山形県鶴岡市), 2015 年 1 月 10 日.

廣瀬将也, 横尾善之: 裏磐梯毘沙門沼への流入表流水の起源推定に向けた水質データ解析, 平成 26 年度 東北地域災害科学研究集会, 山形大学(山形県鶴岡市), 2015 年 1 月 10 日.

藤元大季, 横尾善之: 裏磐梯毘沙門沼の上流域における雨水の貯留・流出過程の推定, 平成 26 年度 東北地域災害科学研究集会, 山形大学(山形県鶴岡市),

2015 年 1 月 10 日.

鹿野雄大, 横尾善之: 下水処理場の集水域における Cs-137 の流出過程の推定, 平成 26 年度 東北地域災害科学研究集会, 山形大学(山形県鶴岡市), 2015 年 1 月 9 日.

Yokoo, Y.: Estimating Watershed-scale Storage Only from Observed Discharge Data, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, Royton Sapporo Hotel (Sapporo, Japan), July 29, 2014.

小林秀平, 横尾善之: 土壌雨量指数と流域スケールの雨水貯留量の推定値との関係, 第 58 回 土木学会水工学講演会, 神戸大学(兵庫県神戸市), 2014 年 3 月 5 日.

芳賀健大朗, 小林秀平, 横尾善之: 河川流量の成分分離を利用した降雨流出モデルの構造およびパラメータの推定, 平成 25 年度 東北地域災害科学研究集会, 秋田大学(秋田県秋田市), 2014 年 1 月 8 日.

三浦尚也, 横尾善之: 脱水汚泥中の Cs-137 の変動特性モデリング, 平成 25 年度 東北地域災害科学研究集会, 秋田大学(秋田県秋田市), 2014 年 1 月 8 日.

小林秀平, 横尾善之: 成分分離を利用した流域の貯流量変動および貯留容量の推定法の検討, 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, 神戸大学(兵庫県神戸市), 2013 年 9 月 26 日.

渡辺泰世, 横尾善之: 過去 30 年間の裏磐梯桧原湖の表流水量データの解析, 水文・水資源学会 2013 年度研究発表会, 神戸大学(兵庫県神戸市), 2013 年 9 月 25 日.

横尾善之: 水文データに基づく降雨流出過程の分類と同定に向けて, 第 124 回 日本森林学会大会, 岩手大学(岩手県盛岡市), 2013 年 3 月 27 日.

西山光, 横尾善之: 降雨流出過程の地域性に関する研究, 平成 24 年度 東北地域災害科学研究集会, 弘前大学(青森県弘前市), 2012 年 12 月 27 日.

岡崎聡史, 小林秀平, 横尾善之: 流域スケールの雨水貯留量の推定法に関する研究, 平成 24 年度 東北地域災害科学研究集会, 弘前大学(青森県弘前市), 2012 年 12 月 27 日.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

横尾 善之 (Yokoo, Yoshiyuki)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号： 90398503