

地形・土壌・植生の入れ子構造的発達をふまえた

流域水流出特性の変動予測

Prediction of catchment runoff changes based on elucidating a nested structure consisting of the developments of topography, soil and vegetation

谷 誠 (TANI MAKOTO)

京都大学・農学研究科・教授



研究の概要

降雨流出応答に対する流域条件の影響は、流出場における地形・土壌・植生の時間入れ子構造的な発達・変化を通じて現れる。そこで、そのプロセスの観測・調査に基づきモデル化するとともに、流域間での水文データの比較解析を行い、流域条件の流出への影響を予測する。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：森林保水力・斜面流出機構・崩壊輪廻・生態系水循環・比較水文学

1. 研究開始当初の背景

流域管理、治水計画においては、人間影響の及ばない地形・地質と影響のある土壌・植生などの流域条件の影響を区別して定量化することが求められる。しかし、流域条件が大きく変化した場合や、観測データのない流域の流出を予測することはむずかしい。その困難の根源的な原因は、流域条件のそれぞれが独自の時間スケールをもって変化・発達してきたことを考慮してこなかったことにある。IAHS（国際水文学協会）でも、「Panta Rhei（万物は流転する）」を掲げて、これに取り組み姿勢をみせている。

2. 研究の目的

流域条件には、人間の影響を受けない十萬～百万年スケールの山岳隆起、基盤岩の風化・侵食による地形形成、人間利用の影響を受ける十～百年スケールの植生の成長・枯死に加え、その中間の土壌層の発達にかかわる千～万年スケールの変化がある（図1参照）。そこで本研究の目的は、それらの時間スケールに応じた変化・発達をふまえ、流域条件の流出影響を予測することとした。

3. 研究の方法

樹液流やタワーフラックス観測による蒸発散量推定、土壌・基岩層における水量・水質変動の詳細な探査・観測、宇宙線核種などを利用した土壌生成・侵食速度推定、降雨流出過程にかかわるモデル開発、樹木根の土壌補

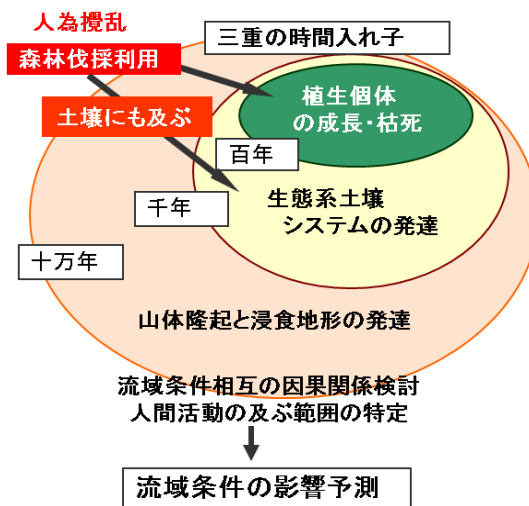


図1 入れ子構造的発達の概念

強効果の実験など、水文学・地形学・生態学・砂防学にかかわる学際的な研究を展開する。

4. これまでの成果

植生変化の蒸発散影響については、季節変化や年々変化の影響を、土壌から植物を通じて大気に輸送される水輸送を扱うモデルのパラメータとして評価する（Kosugi et al., 2013）とともに、森林水文試験地の長期データから成長による蒸発散量変化の抽出を行った。

地下の流出経路の観測調査を実施、その結果から、土壌層と風化基岩層を通じ、また、不飽和帯（負圧の土壌水）と地下水帯（正圧）のへだてなく、圧力水頭の連続した流出場で

の水圧伝播が流出応答変動をコントロールしていることが明らかになった (Katsura et al., 2014)。

観測結果を基にして、不飽和帯と地下水帯を通じた圧力水頭の連続の場を対象とした、降雨流出応答解析手法を開発し、土壌の厚さや物理性の洪水ピークへの影響を評価した (図2) (Tani, 2013)。

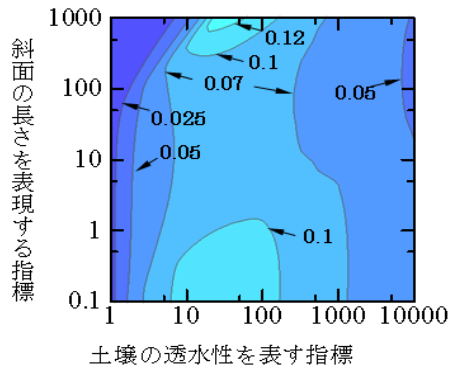


図2 洪水ピーク緩和指標の地形土壌条件に対する関係(Tani, 2013)

以上の観測とモデル化の結果は、植物や土壌・基岩の流出場の実態把握及びその降雨流出応答特性への影響評価を可能にする方法を提起している。しかし、流出場における流出機構と降雨流出応答の因果関係は、直接的ではなく、土壌層発達などの長い時間スケールの変化履歴の結果に基づくから、その因果関係を見出すには、その変化・発達過程そのものの分析が必要である。

そこで、土壌層発達と崩壊の繰り返しのシミュレーション手法の開発とそれに必要な調査を実施した。土壌層成達は2つの要素によって支えられる。すなわち、土壌層内の間隙水圧を低下させる効率的な排水と樹木根系による土壌補強である。そこで、パイプ状水みちの排水効果を考慮した土壌層内の圧力水頭分布(Tani, 2013)、根の補強効果の実験によって得られた補強効果のマップ (阿辻・北原, 2013) を使って、土壌層発達崩壊モデルにして、シミュレーション手法を開発している。

現時点のシミュレーションは試行段階であるが、その結果検証のため、宇宙線核種を利用し、ゼロ次谷での土壌生成の速度、斜面上で削剥されて河川へ供給される土砂流出の速度を推定するとともに (松四, 2014)、現地の土壌層厚さの空間分布を調査した。

その結果、長期侵食過程には、尾根から始まる拡散移動的な土壌移動、雨水の集中する凹地形部での崩壊の両者が組み合わせられるとの知見が得られた。

このような土壌層の発達・侵食における知見から、「流域条件と降雨流出応答特性の因果関係がこうなるはずだ」との演繹的な説明を行うことが可能になる。たとえば、地中の流出場の発達過程を通じて、山岳隆起速度や

土壌層の厚さが流出特性と因果関係があることが推察されてきた。

他方、多くの流域水文データの比較から得られる帰納的な情報も重要である。本研究では、地質や人間による森林利用影響の履歴が異なる小流域の比較、全国の多数の流域比較などを行い、流出への影響がプロセス解明からの演繹的な推定と矛盾しない結果が得られた。

5. 今後の計画

観測面では、流域の空間スケールの違いが流出量・水質変動に及ぼす影響を評価するとともに、発達過程が流域条件や流出経路に及ぼす影響を明らかにする。

また、モデルでは、植生の成長・伐採にともなう蒸発散量変化のシミュレーション、土壌層発達・崩壊のシミュレーションを行う。

以上の解析に、流域間の流出特性の比較研究を加えることにより、流域条件の何が、またどのような変化が、流出にどのような影響を与えるのかを明らかにしたい。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

阿辻雅言・北原曜・小野裕：林分における崩壊防止力二次元分布図の構築、中部森林研究 61、9-12、2013。

Katsura S., Kosugi K., Yamakawa Y., Mizuyama T.: Field evidence of groundwater ridging in a slope of a granite watershed without the capillary fringe effect. *J. Hydrol.* 511, 703-718, 2014.

Kosugi, Y., Takanashi, S., Ueyama, M., Ohkubo, S., Tanaka, H., Matsumoto, K., Yoshifuji, N., Ataka, M., Sakabe A.: Determination of the gas exchange phenology in an evergreen coniferous forest from 7 years of eddy covariance flux data using an extended big-leaf analysis. *Ecol. Res.* 28, 373-385, 2013.

松四雄騎・松崎浩之・千木良雅弘：宇宙線生成核種による山地流域からの長期的土砂生産量の推定、応用地質 54、272-280、2014。

Tani M.: A paradigm shift in stormflow predictions for active tectonic regions with large-magnitude storms: generalisation of catchment observations by hydraulic sensitivity analysis and insight into soil-layer evolution, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 4453-4470, 2013.

京都大学、代表者個人のホームページに、成果の一部を掲載している。

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2013_1/140106_2.htm

<https://sites.google.com/site/guchenghomup/ejitanimakoto/>