

## 2種の洪水緩和効果の区別と森林の役割

### Two kinds of effects for storm-runoff mitigation and the role of forest

谷 誠<sup>1\*</sup>

TANI, Makoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学農学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Agriculture, Kyoto University

降雨波形の流出波形へ変換における扁平化は、流域内の貯留量変動からもたらされる。しかし、流域は複数の時間スケールの異なる流出場から構成されるため、降雨の流出場配分と流出場内貯留が区分される。

変動帯で山岳に富む日本では、ハイドログラフは洪水流と基底流が区別され、時間スケールは近似的に2つに分けられる。よって、洪水流への降雨配分が小さければ波形変換に占める基底流の効果が大きく、洪水時の流出波形は扁平化される。また、洪水流への降雨配分が同じであれば、洪水流の貯留変動が大きいほど、洪水波形は扁平化される。

洪水流出場が仮に2つ以上存在するならば、そこで、基底流と洪水流でみられたと同じような降雨配分の問題が生じるであろう。高棹のA層とその飽和による表面流発生モデルはこの概念に立脚する。著者は、小流域の流出解析で、降雨規模が大きくなるほど時間スケールの短い場に移行するとの、高棹モデルの予想するような結果を得ていない。

斜面水文学の観測によれば、洪水流は、選択的流路を含む土壌層内の飽和側方流によって産出され、降雨規模が大きくても強靱であるため、飽和地表面流に移行しにくいようである。この強靱さは、土壌発達過程における樹木根系と排水効果を持つ選択的流路の同時発達によって形成されと考えられる。

以上から、降雨の洪水流出場への配分は森林と関係の薄い地質効果が大きい、洪水流出場での貯留効果は降雨規模の大きい場合でも土壌層が担い続けており、根系による土壌層の急斜面上の維持こそ、森林の最大の役割と考える。

キーワード: 森林影響, 斜面水文学, 降雨流出応答, 洪水緩和, 側方流, 高棹流出モデル

Keywords: forest influences, hillslope hydrology, rainfall runoff response, stormflow mitigation, subsurface flow, Takasao's runoff model

## 山地急斜面における森林根系の崩壊防止力 Collapse prevention force of forest root systems in mountainous steep slopes

北原 曜<sup>1\*</sup>

KITAHARA, Hikaru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 信州大学農学部

<sup>1</sup> Faculty of Agri., Shinshu Univ.

山地における森林根系の崩壊防止機能あるいは斜面安定効果については、これまでは傾斜方向の断面を扱う2次元斜面で安定解析を行うことが多かった。そのため、主として鉛直根が崩壊防止機能の評価対象とされてきた。特に2次元無限長斜面による解析では、すべり面を地表面に平行に設定するため、鉛直根のみを評価対象とし、水平根は全く評価してこなかった。しかし、崩壊は3次元で発生しており、森林斜面を対象とした安定解析では、崩壊縁に多数分布する水平根をきちんと評価することが必要不可欠である。そこで、信大で行われてきたこれまでの研究成果(北原2010)から、水平根の斜面安定効果についてまとめたので報告する。

調査方法は、以下のように行った。崩壊防止力(土壌断面1m<sup>2</sup>あたりの根系の粘着力増強分  $C$ , kN/m<sup>2</sup>)を算出するためには、根系分布調査と根系引き抜き試験が必要である。根系分布調査は、立木間中央に、長さ2m、深さ1m、幅0.7m程度のトレンチを掘削し、出現した根系の分布と根直径を全て測定した。ただし、ササ類根系(地下茎)の調査では、トレンチの深さは0.5m程度とした。一方の引き抜き試験は、種々の直径の根系を引き抜き専用ばさみで引き抜くもので、これにより根直径と引き抜き抵抗力の関係式を作成する。ただし引き抜き抵抗力は、生根の材質を表す引張強度と高い相関にあるため、島津製EZ-Lを用いて様々な樹種の引張強度を測定し、生根の材質との関係も求めた。

その結果、水平根が鉛直根以上に斜面安定効果に重要な役割を担っていること(野毛2002)、ヒノキやカラマツなど人工林内の  $C$  の最弱部は立木間中央にあること(白井2006)、土壌水分が飽和すると  $C$  は7割に低下すること(相馬2006, 岩名2009)、樹種や立木密度により  $C$  は異なること(伴2009)、適期の間伐により立木間中央の  $C$  は2倍程度には上昇すること(今井2009)、などが分かった。またその結果を総合して、3次元欠球型の斜面安定解析から、水平根の斜面安全率に寄与する効果を算出した(相馬2006, 今井2009など)。さらに、ヒノキ幼齢林の  $C$  の時系列変化(永田2010)、コナラなど天然林の  $C$  (矢下2011)、林床のササの  $C$  (野沢2011)、根系の引張強度(牛島2011)、 $C$  最大の立木密度(伴2011)など最新の研究成果を報告する。

例えば、新植造林木の  $C$  は林齢20年まで成長曲線を描き、うっ閉により7kN/m<sup>2</sup>程度で頭打ちとなること、伐採木の  $C$  は、伐採後5年程度で1/10の2kN/m<sup>2</sup>にまで急速に低下すること、そのため新植造林木と伐採木の合計  $C$  は、伐採後7年で最低値1.6kN/m<sup>2</sup>を示すこと、などが明らかとなった。この結果を、伐根の引き抜き試験から得られた北村・難波(1981)と比較すると、最低値の来る時期がかなり早くなること、また危険期はより長いことなどが異なっていた。

コナラとミズナラ天然林の根系分布調査(矢下2011)では、根系本数密度は人工林を含めた従来の調査結果と同様であったが、 $C$  は大きな値を示した。また  $C$  は立木密度と密接に関係していること、引き抜き抵抗力の差が  $C$  の差に大きく影響していた。林床に多く分布するササ類の地下茎の  $C$  はかなり大きく(野沢2011)、従来漠然と考えられていたイメージより崩壊防止機能は高いものと推察された。

キーワード: 根系, 崩壊防止, 山地斜面, 森林, クーロン式, 斜面安定

Keywords: root system, collapse prevention, mountainous slope, forest, Coulomb's equation, slope stability

## 2011年タイ洪水を対象としたチャオプラヤ川全流域の降雨流出氾濫解析 Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of 2011 Thailand Flood in the Chao Phraya River Basin

佐山 敬洋<sup>1\*</sup>, 建部 祐哉<sup>1</sup>, 田中 茂信<sup>1</sup>  
SAYAMA, Takahiro<sup>1\*</sup>, TATEBE Yuya<sup>1</sup>, TANAKA Shigenobu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター  
<sup>1</sup> ICHARM, PWRI

2011年のモンスーン期に降った大量の雨は、タイ・チャオプラヤ川流域で大規模な洪水をもたらした。死者・行方不明者は800名に及び、バンコク北部の都市域でも長期にわたる浸水被害が発生した。さらに、この被害はアユタヤ近郊の工業団地にも及び、サプライチェーンを寸断させ、その影響は直ちに世界に波及した。

この洪水を受け、水災害・リスクマネジメント国際センターでは、緊急対応の洪水シミュレーションを実施した。その目的は、衛星情報を活用しながら大規模洪水の実態を迅速に把握し、広域の浸水がどのように展開するかを大まかに予測することにあった。低平地の大規模洪水を解析するためには降雨流出と洪水氾濫とを分けて取り扱うことはできないため、本解析ではその両者を一体として解析する降雨流出氾濫モデルを用いた。このモデルは2次元の拡散波近似モデルをベースに山地部においては側方の地中流と表面流を、平野部においては鉛直浸透流の影響を考慮するモデルである。

本報では、限られた情報をもとに実施した緊急対応の洪水シミュレーションで予測できたこと・予測し誤ったことについて報告する。また、どのような情報を入手することで予測の精度を向上させることができるのかについて議論する。具体的には、地上観測雨量による衛星観測降雨の補正、蒸発散の考慮、河道断面の詳細な反映、潮位の考慮などいくつかの項目について緊急対応シミュレーションの際に仮定した条件と現地情報に基づいて設定し直した条件とを比較し、それが予測結果に及ぼす影響を評価する。とくに今回の検討結果では、蒸発散の影響を考慮することの重要性が改めて認識されたので、長期間の大規模洪水において蒸発散がもたらす洪水緩和効果、また予測における蒸発散の評価方法についても議論する。

タイ洪水を対象とした洪水予測とその詳細な検証により、モデルで予測できること、優先的にモデルに反映すべき情報、モデルの構造的な問題が明らかになった。同様のアプローチを世界の大規模洪水に繰り返し適用することにより、大規模洪水シミュレーションの技術向上につながる。また、世界で起こる大規模洪水を同じ枠組みでシミュレーションすることにより、大流域スケールの降雨流出氾濫プロセスの解明にもつながるものと考えている。

キーワード: 洪水, 水文, タイ, チャオプラヤ川, 降雨流出氾濫モデル

Keywords: flood, hydrology, Thailand, Chao Phraya River, Rainfall-Runoff-Inundation

## 我が国の水関係ハザードの対する気候変動影響評価 Climate change impact assessment of water related natural hazards in Japan

中北 英一<sup>1\*</sup>  
NAKAKITA, Eiichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 中北英一, <sup>2</sup> 京大革新グループ  
<sup>1</sup>Eiichi Nakakita, <sup>2</sup>Kyoto University's Kakushin group

Under the KAKUSHIN Program, Meteorological Research Institute (MRI) of Japan Meteorological Agency, Disaster Prevention Research Institute (DPRI) of Kyoto University, and International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM) of Public Works Research Institute (PWRI) have been performing climate projections for the near future and for the end of the 21st century using atmospheric models of unprecedented super-high-resolution. The climate change studies have been based on a global 20-km mesh atmospheric general circulation model (GCM); emphasis has been placed on extreme events, including tropical cyclones and heavy precipitation during the East Asian summer monsoon season.

DPRI has been performing "Prediction and evaluation of disaster environment in Japan" with the sub-project title of "Integrated assessment of climate change impacts on watersheds in a disaster environment". One of the important subjects in this sub-project is the interface between GCM and RCM, and various models on natural hazard. For example, MRI slightly changed its GCM and RCM so that they could output hourly rainfall from GCM. It is the typhoon resolving output from the GCM that has realized the impact assessment on Japanese river regime. Namely, GCM with the super-high spatio-temporal resolutions (20 km-1 hour) made it possible to evaluate extreme hazard (ex. Max. discharge) in Japan. (However, we must make sure that this does not mean that we can evaluate the changes in such a high spatial resolution.

Results from typical climate change assessments on disaster environment in Japan will be shown as projections of change in design value. Most of the design value is expected to increase as expectation. This means that we can get approximate projection on changes in return period of extreme events. However, there is a risk that the return period does not have enough accuracy. Also, there is no guarantee that quite extreme events could be properly projected within the limited number of ensembles as GCM output with such a high resolution. On the other hand, the risk management deals with phenomena beyond design hazards. In this sense, it is very important to take into account the result from the worst case scenario, which was produced by a physically based virtual shifts of typhoon track, as one of the forcing for risk management on climate change. Taking into consideration above items, it is very important for climate change adaptation to discriminate more between planning with uncertain design level and risk management with the worst case scenario.

キーワード: 気候変動, 地球温暖化, 豪雨, 台風, 極端現象, 災害  
Keywords: climate change, global warming, heavy rainfall, typhoon, extreme events, disaster

## 中小規模のデータを基にした大規模な洪水予測と洪水防御計画

What should be considered for coping with huge floods when only small to medium size historical data are available?

椎葉 充晴<sup>1\*</sup>

SHIIBA, Michiharu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University

### 想定を超える自然災害の外力

平成 23 年 3 月 11 日、東北地方で巨大地震が発生した。地震の規模を示すマグニチュードは 9.0 で、世界史上、4 番目に巨大なものであった。地震動そのものよりも、それに続いて起こった津波が大きな被害をもたらした。生活基盤、生産基盤も大きな打撃を受けた。

さらに、事態を深刻にしたのは東京電力福島第一原子力発電所の被害である。地震そのものによる損傷もさることながら、津波によって予備のディーゼル発電装置が損傷し、緊急停止後の原子炉の冷却に失敗し、大気中に放射性物質を大量に放出する事故を引き起こしてしまった。

福島原子力発電所を設計したときに想定されていた津波の高さは 5.7 メートルだったのに対し、実際の津波の遡上高は 14 メートル以上であり、設計外力を超える外力があった。また、原子炉冷却のための電源の確保の手段が限られていて、電源ケーブルが敷設されるまでに 8 日程度を要した。想定されていた対策が一重で、災害の多様性に対応するための多重性に欠けていた。

平成 23 年 9 月の台風 12 号による紀伊半島の土砂災害、洪水災害も想像を超えるものであった。紀伊半島南部を流れる熊野川流域は、多雨地帯であり、昭和 34 年の伊勢湾台風がもたらした豪雨は、一部で、総雨量 700 ミリを超え、河口の新宮で、19,000m<sup>3</sup>/sec の流量を記録している。これは我が国で観測された最大の流量であった。台風 12 号による豪雨はこれをはるかに超え、広い範囲で、1,000 ミリを超え、一部では、1,800 ミリを記録した。国土交通省の水位観測装置が壊れたので、洪水ピーク流量の正式な記録は難しいが、25,000m<sup>3</sup>/sec 前後あるいはそれを超えたかも知れない。洪水流量も大きかったが、豪雨によって山腹が深部から崩壊し、多くの犠牲者を出した。

台風 12 号の進度が遅く、豪雨が長時間続いたのが原因であるが、それにして想像を超える量の降雨があった。

河川の治水計画においては、豪雨の規模に限りがあるとは考えないが、歴史的な豪雨資料の解析に基づいて、その規模を確率・統計的に分析して、流域の社会・経済的な規模も勘案して、たとえば、200 年に 1 回はその値を超える超過確率を持つというような規模を基準として、豪雨入力 of 規模を想定して設定し、それに対応した洪水規模を算出して、それに対応する治水施設を設計するという方式がこれまではとられてきた。

このように外力の規模を想定するというやり方には問題があるということ これらの巨大災害は示しているのではないかと。外力の規模を想定するという方式をとると、それを超える規模の外力への対応を考えることの意識が薄くなるのではないかと。

U05-05

会場:国際会議室

時間:5月21日 11:15-11:45

## 豪雨入力と洪水防御シミュレーションの新しい展開

対処する外力の規模を考えないとすると、どのような計画論が構築できるか。巨大外力の物理的、確率的特性を知り、多様な対応策の組み合わせでどのように外力に対処できるかをシミュレーションする技術の開発が鍵になると考えられる。

## 中小規模データから巨大災害をどう予測するか

その場合、水文学には、多様な豪雨を発生させたときに、どのような流域の応答があるかをシミュレーションすることができるかが重要な問題になる。

中小規模のデータしか得られていないときに、大規模豪雨による洪水について、予測することは不可能であるとするのは、短絡的である。中小規模の洪水のデータから大規模豪雨による洪水について予測するために、流れの非線形性と流れ場の構造的な非線形性を把握することが重要である。中小規模の洪水データからわれわれが同定するときに重要なのは、モデルパラメータそのものよりも、流域での流れの非線形性と流れ場の構造的な非線形性の把握である。

キーワード: 大規模洪水, 中小規模洪水, 同定, 非線形性, モデル構造

Keywords: huge floods, small to medium size floods, identification, non-linearity, model structure

## 平成 23 年台風 12 号による熊野川の洪水の分析 Analysis of the heavy flood at the Kumano River basin in 2011

立川 康人<sup>1\*</sup>, キム スンミン<sup>1</sup>, 目野 貴嗣<sup>1</sup>, 椎葉 充晴<sup>1</sup>, 萬 和明<sup>1</sup>  
TACHIKAWA, Yasuto<sup>1\*</sup>, KIM Sunmin<sup>1</sup>, MENO Takashi<sup>1</sup>, SHIIBA Michiharu<sup>1</sup>, YOROZU Kazuaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻

<sup>1</sup>Dept. of Civil and Earth Resources Eng., Graduate School of Engineering, Kyoto University

平成 23 年 8 月 25 日から 9 月 5 日にかけて発生した台風 12 号により紀伊半島の熊野川流域に記録的豪雨がもたらされ、未曾有の大洪水が発生した。このときの熊野川の基準点である相賀地点 (2,251km<sup>2</sup>) の最大流量は、基本高水として設定されている 19,000m<sup>3</sup>/s を大きく上回ったと推定される。既往の観測水位を大きく上回る大洪水であったため、水位流量曲線を用いて推定する流量には不確かさがあることに注意する必要がある。そこで、観測された中規模出水からの未観測大洪水の予測可能性について検討するとともに、降雨流出の観点から熊野川の河川流量を推定した。

以下の手順で分析を進めた。

- 1) 数値地形情報を用いて熊野川流域を対象とする流域地形モデルを構築した。流域地形モデルは、250m 空間分解能の数値地形モデルから作成し、流域斜面は矩形斜面の集合体とする [1][2]。図に構築した流域地形モデルを示す。
- 2) 流れのモデルは土壌層の流れを考慮したキネマティックウェーブモデルとし [3]、分布型流出モデルを構築する [4]。
- 3) 対象流域には複数のダム貯水池が存在するため、ダム地点で流域を分割し、分割流域ごとに流出モデルのパラメータを同定することとする。
- 4) 1990 年以降の 7 つの既往洪水 (1990、1994、1997、2001、2003、2004A、2004B) を対象として、SCE-UA 法 [5] により、各洪水に適合する流出モデルのパラメータを同定した。
- 5) 降雨データとして、電源開発 (株) から提供された地点観測データおよび気象庁による解析雨量、それぞれを用いて、パラメータ同定を行うとともに、それぞれの洪水で得られたパラメータを用いて、それとは異なる洪水の再現計算を実施した。

上記の分析の結果、土壌層に関連する最適パラメータの値に違いが見られるものの、それらを用いて再現した洪水の計算値の違いは極めて小さかった。これは、洪水の再現計算において、土層に保持される雨水が全流出量に占める割合は小さいため、土壌層パラメータの大洪水に対する感度が小さいためであると考えられる。

これらの計算の後、平成 23 年台風 12 号による相賀地点での洪水流量は 23,115 ~ 26,098 m<sup>3</sup>/s と推定された。なお、河川流量は水位流量曲線によって推定されるが、水位流量曲線を作成したときの水位を大きく超える流量を対象とする場合は注意が必要である。既存の水位流量曲線を生かしつつ、流出モデルや河道流モデルを組み合わせた新たな河川流量の推定手法を開発する必要がある。

[1] 椎葉充晴, 市川 温, 榊原哲由, 立川康人: 河川流域地形の新しい数値表現形式, 土木学会論文集, 621/II-47, 1-9, 1999.

[2] 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻水文・水資源学分野: 流域地形情報を基盤とした水文モデル構築システム GeoHyMoS, <http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/geohyomos/geohyomos.html>

[3] 立川康人, 永谷 言, 宝 馨: 飽和・不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発, 水工学論文集, 48, 7-12, 2004.

[4] 市川 温, 村上將道, 立川康人, 椎葉充晴: 流域地形の新たな数値表現形式に基づく流域流出系シミュレーションシステムの開発, 土木学会論文集, 691/II-57, 43-52, 2001.

[5] Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V.K.: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, 158, 265-284, 1994

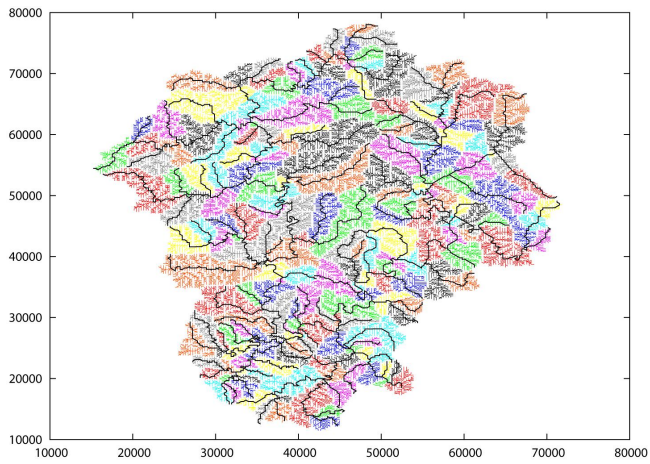
キーワード: 洪水, 熊野川, 台風 12 号, 降雨流出モデル, 流出予測, 基本高水

Keywords: flood, Kumano River, Typhoon 12, rainfall-runoff model, runoff prediction, design flood

U05-06

会場:国際会議室

時間:5月21日 11:45-12:15





## 東北地方太平洋沖地震の際に観測された山地小流域からの流出水量の変化について - 茨城県の無積雪地における流域の場合 -

### Observation of water discharge increase from the forested catchments just after the 2011 Tohoku earthquake.

坪山 良夫<sup>1\*</sup>, 玉井 幸治<sup>1</sup>, 清水貴範<sup>1</sup>, 久保田多余子<sup>2</sup>, 飯田真一<sup>1</sup>, 延廣竜彦<sup>1</sup>, 澤野真治<sup>1</sup>

TSUBOYAMA, Yoshio<sup>1\*</sup>, TAMAI, Koji<sup>1</sup>, SHIMIZU Takanori<sup>1</sup>, KUBOTA Tayoko<sup>2</sup>, IIDA Shin'ichi<sup>1</sup>, NOBUHIRO Tatsuhiko<sup>1</sup>, SAWANO Shinji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 森林総合研究所東北支所

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、茨城県内でも最大で深度6弱の揺れを観測した。森林総合研究所では茨城県内の常陸太田試験地(常陸太田市)、桂試験地(城里町)、筑波試験地(石岡市)の3試験地5流域で量水観測を行っている。地震発生直後、いずれの流域においても急激に水位が4~10cm上昇した。地震発生から3~6時間後に水位は極大となった。これらの流域ではいずれも当時、積雪は無い状態であった。また流域内の斜面での崩壊も認められていない。そのため地震発生直後に見られた流量の増加は、積雪・土砂などの崩落によるものではなく、地震動によって引き起こされたものと考えられる

キーワード: 山地小流域, 東北太平洋沖地震, 流量観測, 茨城県

Keywords: Mountainous watershed, 2011 Tohoku earthquake, Water discharge observation, Ibaraki Prefecture

## 異なる地表面植生条件下におけるDFM法と水収支法から求めた地下水涵養量の定量的把握

### Estimation groundwater recharge using DFM and water budget in different land use

工藤 圭史<sup>1\*</sup>, 嶋田 純<sup>1</sup>, 丸山 篤志<sup>2</sup>, 田中 伸廣<sup>3</sup>

KUDO, Keishi<sup>1\*</sup>, Jun Shimada<sup>1</sup>, Atsushi Maruyama<sup>2</sup>, Nobuhiro Tanaka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 九州沖縄農業研究センター, <sup>3</sup> 熊本県庁

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, <sup>2</sup> Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, <sup>3</sup> Kumamoto prefecture office

水道水源のほぼ100%近くを地下水に依存している熊本地域周辺では、地下水資源の持続的利用に強い関心をもっており、休耕田水張り事業や雨水浸透マス設置補助、涵養域における植林事業など地下水強化に関連する活発な活動を展開している。

日本では地下水資源の持続的利用に対して特定流域の地下水涵養強化を行うために植林を行う事例が多く認められているが、その科学的根拠についてはあまり明確なものは見当たらない。しかし森林植生は、直接流出量を低減させる効果があることが森林の影響評価のための伐採実験などで知られている(Kovner, (1956); 真板, 2005; 真板, 2007; 真板, 2008; Oda et al. (2009))。蒸発散量の観点からは、裸地<草原<森林の順で蒸散量が高くなるため、同じ水文気象条件下においては水収支法の残差項としての地下水涵養量は森林植生の方が相対的に少なくなる可能性が考えられる。Smith (1987)での牧草流域と森林流域の水文学的挙動の比較や下津(1989)での散水実験の結果から草地植生における地下水涵養量が他の植生と比べて大きい可能性を秘めていることがわかるが、蒸発散量などを調べ水収支観測から地下水涵養量を比較した例はあまりない。一方、森林植生に伴う土壌層や風化層の増大は土壌水や地下水の貯留能を増大させるため、この貯留層の発達に乏しい裸地や草原よりも森林域の方が出水時に保持された土壌水が時間をかけて地下水を涵養していることも考えられる。また流域の地下水貯留量は、地質構造と降水量・降水パターンによって変化するため、一概に涵養量の大小をコメントすることはできないため、これらを主眼に置いた調査観測に基づく詳細な研究が必要とされる。

本研究は、この植林による地下水涵養の効果を定量的に把握するために、熊本地域の主要帯水層である阿蘇火砕流堆積物(ASO-3)の涵養域として知られる阿蘇外輪山西麓台地斜面にある、ほぼ同じ規模・標高にある隣接した森林流域と牧草流域を選定し観測研究を開始した。水文気象観測は2011年3月より開始された。そこで今回、異なる地表面条件下における地下水涵養プロセスとその量的差異の解明の一環として、二つの異なるイベント・ハイドログラフの二成分分離から得られた比流量とold waterの割合から河川流出成分を直接流出成分と地下水流出成分に分離して詳細な水収支を行って得られた地下水涵養量と土壌水と降水の同位体比からDisplacement Flow Model(置き換え流モデル)によって得られた地下水涵養量を植生の異なる森林流域と隣接した牧草流域で比較を行った。河川流出成分を直接流出成分と地下水流出成分に分離した詳細な水収支から得られた地下水涵養量は森林流域の方が牧草流域よりも少なかった。一方、Displacement Flow Modelから得られた地下水涵養量は森林流域の方が牧草流域よりも多かった。森林流域の地下水涵養量は詳細な水収支から得られた結果とDisplacement Flow Modelから得られた結果がほぼ一致した。しかし牧草流域の地下水涵養量は詳細な水収支から得られた地下水涵養量のほうがDisplacement Flow Modelから得られた結果よりも多かったが、詳細な水収支側で使われた二成分分離のイベント数や観測期間が短いことによる誤差が大きい可能性がある。したがって、土壌プロフィールを使用したDisplacement Flow Modelから得られた地下水涵養量は妥当な値だと考えられる。地下水涵養量は降水量・降雨強度・地質状態・帯水層構造・土壌層厚など様々な要因で変化するため、表層地質が阿蘇のような火砕流堆積物で構成されている地域では特にこれらの要因が影響をすることが考えられ、長期的な断続観測が必要とされる。また継続観測を行うとともにイベント・ハイドログラフの二成分分離のイベント数を増加することでこれらの観測精度を高め、水収支側からの涵養量を再評価することが今後の課題である。

キーワード: 地下水涵養量, 水収支, 置き換え流モデル, 植生

Keywords: Groundwater recharge, Water budget, Displacement Flow Model, vegetation

## 豪雨・台風に伴う雨量増加が森林集水域の窒素動態に及ぼす影響

### Influence of rainfall increase according to heavy rain and typhoon on nitrogen exports in a forested watershed

篠宮 佳樹<sup>1\*</sup>, 大年邦雄<sup>2</sup>, 横山雄一<sup>3</sup>, 中山健二<sup>3</sup>

SHINOMIYA, Yoshiaki<sup>1\*</sup>, OHDOSHI Kunio<sup>2</sup>, YOKOYAMA Yuichi<sup>3</sup>, NAKAYAMA Kenji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 高知大学, <sup>3</sup> 四電技術コンサルタント

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Kochi University, <sup>3</sup>Yonden Consultants Co., Inc.

森林流域からの窒素流出量に関して、雨量増加に伴い窒素流出量は増大する傾向にある。従って豪雨の頻度増加やスーパー台風の襲来により雨量が多くなると、森林から窒素などの養分や微細土砂の流出が増大すると予想される。その程度によっては河川水質や河川生態系へ影響を及ぼす可能性もある。窒素・微細土砂流出に関する将来予測をより正確に行うため、豪雨・大雨の頻度の高い地域の森林で実際に豪雨・大雨時の渓流水を観測し、その結果から栄養塩の動態を類推することが1つの方法と考えた。本発表では、豪雨の頻度の高い地域の森林集水域（高知県南西部四万十川流域）での観測結果を基に、溶存性無機態窒素の主成分である硝酸について1降雨の雨量や年雨量が増えた場合の動態に関して考察する。高知県の梶原町（YS流域）と津野町（HT流域）で、流出水量を観測するとともに、自動採水器による出水時の連続採水と月1~2回頻度の定期採水を行った。その後、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度等をイオンクロマトグラフ法で分析した。その結果、1) 1降雨の総流出水量と1降雨の硝酸流出量の関係は頭打ち傾向になる。2) 年間の水量（降雨量及び流量）と年間の硝酸流出量とは相関がない。3) HT流域での2011年5月総雨量212mm、同年8月総雨量742mmの台風に伴う出水時にYS流域とほぼ同様の渓流水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度変動（一旦濃度上昇後、顕著な低下、極低濃度の継続）が観察され、YS流域での結果にはある程度普遍性があると考えられた。

キーワード: 豪雨, 台風, 無機態窒素, 森林, 渓流水

Keywords: heavy rain, typhoon, inorganic nitrogen, forest, streamwater

## カンボジア中央部の落葉林における樹液流計測およびバンドパス渦相関法による蒸散量の評価

### Transpiration evaluated by sap flow measurements and bandpass eddy covariance method in a Cambodian deciduous forest

飯田 真一<sup>1\*</sup>, 清水貴範<sup>1</sup>, 玉井幸治<sup>1</sup>, 壁谷直記<sup>2</sup>, 清水晃<sup>2</sup>, Sopal CHANN<sup>3</sup>, Nang KETH<sup>3</sup>

IIDA, Shin'ichi<sup>1\*</sup>, Takanori SHIMIZU<sup>1</sup>, Koji TAMAI<sup>1</sup>, Naoki KABEYA<sup>2</sup>, Akira SHIMIZU<sup>2</sup>, Sopal CHANN<sup>3</sup>, Nang KETH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所水土保全研究領域, <sup>2</sup> 森林総合研究所九州支所, <sup>3</sup> カンボジア国野生生物研究所

<sup>1</sup>Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, <sup>2</sup>Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, <sup>3</sup>Institute of Forest-Wildlife Research and Development, Cambodia

本研究ではカンボジア国中央部クラティエ州に位置する低地落葉林を対象として、樹液流計測 (SFM) に基づいて上層木の蒸散量 (TR\_SFM) を定量的に評価した。本林分では、上層木の他に、林床に下層植生が繁茂している。また、林冠の上下においてバンドパス渦相関法 (BECM) を適用して生態系全体の蒸発散量 (ET) ならびに土壌面を含む下層植生による蒸発散量 (ET<sub>floor</sub>) を評価し、両者の差分としてバンドパス渦相関法による上層木の蒸散量 (TR\_BECM = ET - ET<sub>floor</sub>) を算出した。

TR\_SFM の日積算値は TR\_BECM のそれと良い相関を示し ( $TR_{BECM} = 0.91 \times TR_{SFM}$ ,  $R^2 = 0.79$ )、SFM は本サイトにおいて有効な蒸散計測法である。2010年9月から12月にかけての欠測を除いた2010年6月から2011年5月の一年間において、TR\_SFM は310mmであり、ET = 520mmの60%に相当した。TR\_BECM / ET も50%であることから、下層植生によるETへの寄与は概ね40%~50%であると推定される。したがって、下層植生による蒸発散量は上層木のそれと概ね等しいものと考えられる。

計測地の情報等、詳しくは英文要旨を参照のこと。

キーワード: カンボジア, 低地落葉林, 蒸散, 樹液流, バンドパス渦相関法

Keywords: Cambodia, lowland deciduous forest, transpiration, sap flow, bandpass eddy covariance method

## 森林小流域における部分伐採と皆伐が流出に及ぼす影響 Effect of partial and clear cutting on runoff at forested small watershed

野口 正二<sup>1\*</sup>, 久保田 多余子<sup>1</sup>  
NOGUUCHI, Shoji<sup>1\*</sup>, Tayoko Kubota<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所  
<sup>1</sup> Forestry and Forest Products Research Institute

釜淵試験地(北緯 38 °57′, 東経 140 °16′)は, 最上川の支流である鮭川の二次支流の真室川の支沢, 鶴下田沢の水源流域に位置する。試験地は 1939 年に設置され, 現在は施業履歴の異なる 4 流域(1 - 4 号沢)で構成される。各流域の面積は 1 号沢が 3.06 ha, 2 号沢が 2.48 ha, 3 号沢が 1.53 ha, 4 号沢が 1.12ha である。地質は主として第三紀中新統と考えられる凝灰岩・頁岩質凝灰岩から成り, わずかに礫質凝灰岩・凝灰質頁岩を挟んでいる。年平均気温は約 10℃で, 平均降水量は 2456mm である。3・4 号沢は 1961 年に観測が開始され, 1964 年に 3 号沢では流域の河道沿いを対象として流域の 50%の部分伐採を実施し, 4 号沢では尾根沿いを対象として流域の 50%の部分伐採を実施した。その後, 1970 年に 2 つの流域で皆伐(残りの半分)が実施されている。本研究では, 3, 4 号沢で観測が開始された 1961 年から皆伐後 12 年後の 1981 年の無積雪期を対象とし, 部分伐採および皆伐が流出に及ぼす影響について解析を行った。ハイドログラフから出水の立ち上がりと減水時の変曲点から直接流出量を分離して求めた。ダブルマスカーブを適用した結果, 部分伐採後, 流域の下半分を伐採した 3 号沢で流量の増加は, 流域の上半分を伐採した 4 号沢より大きかった。皆伐後, 両流域においてさらに流量の増加が生じた。森林伐採が直接流出量や流出量に及ぼす影響は, 流域内のどの部分を伐採するかが重要なことが明らかになった。

キーワード: ダブルマスカーブ, 直接流出量, 部分伐採, 皆伐, 釜淵森林理水試験地

Keywords: double mass curve, stormflow, partial cutting, clear cutting, Kamabuchi Experimental Watershed

## ユーラシア大陸における水循環を介した植生・気候相互作用 Biosphere-climate interaction over Eurasia through water cycle

安成 哲三<sup>1\*</sup>

YASUNARI, Tetsuzo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学地球水循環研究センター

<sup>1</sup>Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University

この発表では、ユーラシア大陸における、植生と気候の相互作用の一例として、植生と永久凍土との「共生」系についての我々の研究を紹介する。東シベリアの年降水量は僅か 200~300mm 程度であり、このような気候環境下で大規模な森林帯が存続しているのは、永久凍土の存在が植物の水利用効率を高めるからだと指摘されている。その一方で、この地域の永久凍土は森林帯の存在が太陽光を遮断することでも維持されており、すなわち東シベリア域においては植生-永久凍土間に一種の共生関係が存在する。

そこで、この相互作用を明示的に取り扱ったシミュレーションモデルを構築し、この共生系の環境依存性を探った。このモデルには山火事のサブモデルも組み込み、また植物の根の鉛直分布も実測データを元に取り込んでいる。このシミュレーターは、現気候における山火事後の遷移パターン、すなわち落葉性広葉樹林から針葉樹林への遷移を再現することに成功し、現在の環境条件における出力の妥当性が確認されている。また、4 の温暖化が生じた気候環境下でシミュレーションを行うと、永久凍土の融解が進むことで土壌が乾燥化するために、現在広く優占しているカラマツが減少して、それに代わってより乾燥に強いアカマツが優占し、また森林全体のバイオマスも減少するという結果が得られた。これは、今後見込まれている温暖化が、永久凍土の融解を通じて、東シベリア域の植生の構造を大幅に変化させる可能性を示唆しており、更なる検討を要する重要な課題であることが示唆された。

さらに、東シベリアの夏季降水量変動は、北極域からの水蒸気流入に加え、森林からの蒸発散が重要な役割をしていることも、過去 30 年の水文気候変動解析から明らかになった。

この研究発表は Zhang, Yasunari and Ohta, Env.Res.Lett.(2011) と、渡部 (2012 修士論文) などに基づいている。

キーワード: 気候・植生相互作用, 水循環, ユーラシア大陸

Keywords: biosphere-climate interaction, water cycle, Eurasian continent

## 東シベリアにおける水循環変動と永久凍土生態系の応答

### Response of permafrost ecosystem to changing moisture condition in Eastern Siberia

杉本 敦子<sup>1\*</sup>, Alexandra POPOVA<sup>2</sup>, 上田 哲大<sup>2</sup>, 鄭 峻介<sup>2</sup>, 鷹野 真也<sup>2</sup>, Trofim MAXIMOV<sup>3</sup>

SUGIMOTO, Atsuko<sup>1\*</sup>, Alexandra POPOVA<sup>2</sup>, UETA, Akihiro<sup>2</sup>, TEI, Shunsuke<sup>2</sup>, TAKANO, Shinya<sup>2</sup>, Trofim MAXIMOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究科, <sup>2</sup>北海道大学大学院環境科学院, <sup>3</sup>ロシア科学アカデミー寒冷圏生物学研究所

<sup>1</sup>Environmental Earth Sci, Hokkaido Univ., <sup>2</sup>Environmental Sci. Hokkaido Univ., <sup>3</sup>Inst. Biol Problems of Cryolithozone

東シベリアは世界最大・最深の永久凍土帯上に広大な落葉針葉樹林(タイガ)が広がっている。内陸性の乾燥気候下にあるこの地域の降水量は、平均的には210mmという極めて少ない降水量であることに加え、その年々変動は極めて大きい。生態系はこの大きな年々変動に応答している。

この生態系の重要な機能の一つは、蒸散である。大気水蒸気同位体比は植物が蒸散する水蒸気がこの地域の大气中の水蒸気にとって主要なソースとなっていることを明らかにした。また、カラマツの生長や生産量は、水分環境に依存し、直接的な水分変動の影響、水分環境が栄養塩循環を変化させ生産量を変化させるという間接的な生態系の応答が明らかになってきた。

東シベリアヤクーツクでは2000年から2003年に極端な乾燥になった後、2005年から2007年には極端な湿潤となった。この極端な状況で、水分環境がどのように変化し、またそれに対して生態系がどのように応答したかを紹介する。

キーワード: 永久凍土, タイガ, 生態系, 安定同位体

Keywords: permafrost, taiga, ecosystem, stable isotopes

## 日本の小流域における気候温暖化への蒸発散追従傾向の検出について Annual evapotranspiration increasing in response to the climate warming detected from small forested catchments in Japan

谷 誠<sup>1\*</sup>, 勝山 正則<sup>1</sup>, 小杉 緑子<sup>1</sup>

TANI, Makoto<sup>1\*</sup>, KATSUYAMA, Masanori<sup>1</sup>, Yoshiko Kosugi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学農学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Agriculture, Kyoto University

森林は、背が高いために遮断蒸発が大きく、長期の個体寿命を維持するため乾燥期間の蒸散が大きい。温暖化による大気蒸発要求増加によって森林の蒸発散が大きい特質が維持できるかどうか危惧される。日本では、1990年頃からの温暖化傾向に対して、岡山県竜ノ口山北谷や愛知県白坂の広葉樹林、滋賀県桐生のヒノキ林はいずれも年蒸発散量を増加させてきた(図参照)。しかし、さらなる温暖化には追従できず、立木密度の低下や衰退による蒸発散減少が予測される。瀬戸内などの少雨地帯では、間伐・皆伐の役割が重要になる。また、降雨が蒸発による陸面からの水供給に依存する大陸では、より重大な環境問題を引き起こすであろう。森林総研、東大演習林のデータベースを利用させていただいたことに感謝します。

図: 森林総合研究所の竜ノ口山森林理水試験地の北谷、東京大学演習林の白坂流域、京都大学農学研究科の桐生流域における、年損失量とその地域の年平均気温との長期変化傾向における関係

この図は、偏差積算曲線 (Cumulative anomalies curve) (Lozowski et al., 1989; Ding et al., 2007) によって描かれており、3地点のデータが揃っている1972-99年の平均値に対する偏差積算して(1971年以前は差し引いて)表示している。例えば、勾配が上向きが続く期間は値が大きい(高い)傾向があることを表す。

キーワード: 気候変動, 蒸発散, 森林水文学, 林業, 長期水文観測, 水資源

Keywords: climate change, evapotranspiration, forest hydrology, forestry, long-term hydrological observation, water resource

