

# びわ湖 視点

## 論 点

**森を巡る水を科学する**  
森林は滋賀県の陸地の約60%を占めており、琵琶湖へ流れ込む河川の水源地となっています。降水として森林域にもたらされた水は、一部は蒸発・蒸散によって大気へ返され、残りの水が下流域へと流します。このような水の循環を調べる学問を水文学（すいもんがく）と言います。あまり聞きなれない学問名だと思いますが、水文学の視点で森林を眺めてみると、森林の様々な働きとそれらのつながりが見えてきます。

まずイメージしやすいものとして、雨が林床に到達し、ふかふかの森林土壤に保持されることによって、大雨時には大きな出水を抑え、逆に無降雨時には下流域に水をゆっくり供給する働きがあります。また樹木は二酸化炭素と水を使って光合成を行うことから、森林内の水利用は二酸化炭素吸収にも密接に関わっています。他にも、水が下流域へ流出する際には、土砂や窒素・リンなどの栄養塩を運ぶ働きもします。

このように、森林の様々な働きや炭素・窒素などの物質動態には「水」が関わっており、水を介したそれらのつながりがあります。水文学は、単に水循環を調べるにとどまらず、森林と環境の関わりを知り、森林の様々な働きを読み解く上で重要です。

滋賀県の森林では、京都大学が中心となり、当センターも参画して、水文学の視点で森林の働きを調べる野外観測を行っています。滋賀県で行われた代表的な研究の一つに、砂防工事（植林）の効果を調べたものがあります。滋賀県では明治期まで田上山地などではげ山が広がっており、水・土砂の流出が激しかった歴史があります。そのため、砂防工事として植林が行われました。はげ山の流域と森林の成長段階の異なる複数流域に量水堰（写真1）を設置し、植林の効果が詳細に調べられています。その結果、森林の成長に従って徐々に水と土砂の流出が抑えられ、水を下流域へゆっくりと供給する働きが明らかとなっています。

他にも、森林が二酸化炭素を吸収する働きを調べる研究が行われています。これには、森林の上空まで階段やはしごでアクセス可能な観測タワーに分析装置を設置し計測する方法が用いられています（写真2）。森林の二酸化炭素吸収速度を計測・推定する方法は複数存在しますが、今までのところ、この観測タワーを利用した方法が最も確実な計測手法とされています。

またこの計測手法では、樹木の蒸散速度と雨水の蒸発速度も測ることができます。樹木も生きており光合成・蒸散を行いま



写真1 量水堰（大篠原流域）。プール部分の水位を計測し、流出水量へと換算する。



写真2 超音波風速温度計（左）とCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O分析計（右）（京都大学・桐生水文試験地）。この二つの分析計を利用して、CO<sub>2</sub>吸収速度と蒸発・蒸散速度を計測する。

ですので、水を消費します。蒸発と蒸散は水資源の面ではマイナスに作用するため、水資源管理の上で重要な情報となります。

森林は成長と枯死を繰り返す動的な存在であり、その間に水循環が変化する可能性もあります。また、極端な少雨は樹木にとってストレスとなり、逆に大きな雨では根こそぎ斜面が崩壊することもあるなど、森林の働きにも限界が存在することにも注意が必要です。将来の気候変動下における森林の水循環を予測するためには、現在までの気候変動の中で、水循環にどのような変化が起きているのかを知る必要があります。現在私たちは、数十年継続して続けられている観測のデータを利用して、森林や気候の変化が水循環に及ぼす影響を調べています。

そのため、こうして見てきた森林の様々な働きとその将来予測は、短期間の野外観測で明らかになるものではありません。森林も気候も変わっていく中で森を巡る水にどのような変化が起きるのか、注意深く観測を続けています。

総合解析部門 鶴田 健二

# びわ湖みらい

L B E R I N E W S

センターニュース

No.36 2022/12



滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター  
Lake Biwa Environmental Research Institute

## トピックス

### 滋賀県政150周年記念 琵琶湖の観測・調査のあゆみ



大津臨湖実験所（現在の京都大学生態学研究センター）  
撮影（1922年頃）\*



滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター  
撮影（2021年）

滋賀県は、1872年（明治5年）に滋賀県と犬上郡が合併し現在の県域となって成立しました。今年2022年（令和4年）は滋賀県が誕生してから150年の節目を迎えます。そのような節目の年にあたり、琵琶湖の観測・調査のあゆみを簡単に振り返ってみたいと思います。

滋賀県が誕生したころ、今から約150年前、1874年（明治7年）に国が鳥居川（瀬田の唐橋西側）に量水標を設置しました。これが琵琶湖の水位観測の始まりです。

次に、滋賀県政150周年ですので、県が実施した最初の観測・調査の記録ということで言いますと、県誕生の約40年後の1915年（大正4年）、水産試験場が琵琶湖の3か所で水温の横断観測を実施したという記録が残されています。

その後、琵琶湖水が水道水源として利用されるようになると、飲み水としての観点から、それぞれ浄水施設の管理者が水質調査を始めています。しかしながら、こうした調査は琵琶湖そのものの環境の状況を科学的にとらえようという目的のものではありませんでした。

大きな転機となったのが、今から約50年前、1966年（昭和41年）に報告された「琵琶湖生物資源調査」です。水質からプランクトン、水産資源まで様々な分野で総合的な調査が行われました。この調査結果は、赤潮が大発生する前、琵琶湖の水質・生態系がどのようなものであったかを知ることができます。

\* 京都大学生態学研究センターの共同利用・共同研究資料を利用

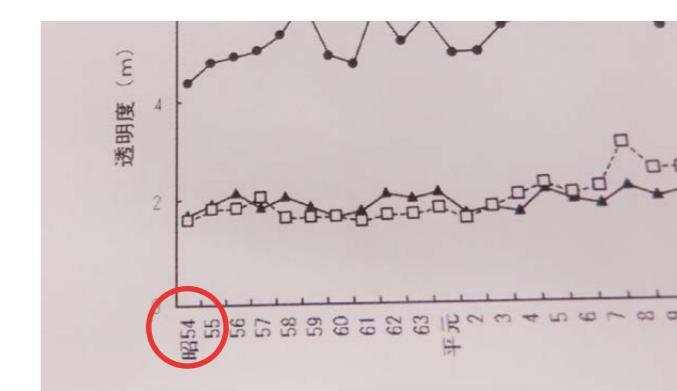


写真2 透明度のグラフ（琵琶湖水質調査報告書より）

管理部 白川 貴章



Mother Lake

LBERI

#### ■編集後記

最近災害のニュースを見て、家の備えはどうなっていたかと持ち出し用鞄を家探しすることができました。買って終わ

#### ■編集・発行

滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター  
Lake Biwa Environmental Research Institute

## 研究最前線 RESEARCH FRONT LINE

# 森-川-湖の土砂のつながり

## 湖岸地形の変化からみた川と琵琶湖のつながり

国土の約7割が山地からなるわが国では、山地斜面の侵食などにより大量の土砂が生産され、河川に流れ込みます。これらの土砂は、洪水時に氾濫と堆積を繰り返しながら河口や海岸域へ運ばれ、現在の平野や河口デルタを形成してきました。そのため、かつては河床上昇と洪水氾濫をどう防ぐかが問題でしたが、一方で、豊富な土砂供給と土砂移動が砂浜、浅瀬、干潟、潟湖などを生み出し、多様な沿岸生態系を維持してきました。

わが国では、高度経済成長が始まった1950年代後半以降、河川上流域に治水、利水、発電などを目的としたダムなどの河川横断構造物が多数建設されるようになりました。これらは、土砂の移動を不連続にし、河川横断構造物の上流側には大量の土砂が堆積する一方、下流側では流下する土砂が減少するようになりました。その結果、河川横断構造物が本来もっていた機能が低下とともに、下流域では河床低下や河口や海岸の砂浜が浸食される問題が顕在化してきました。

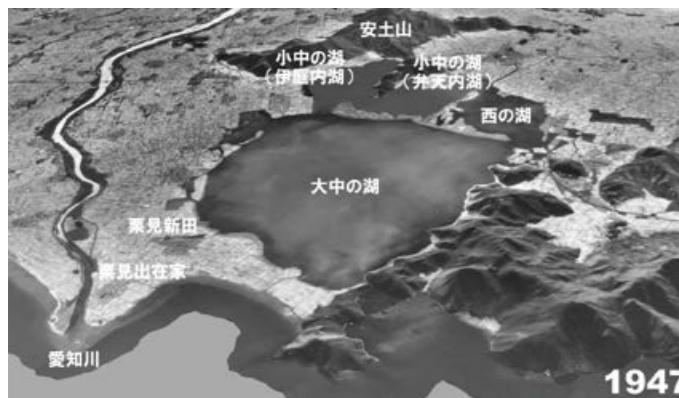


図1 1947年の空中写真による西の湖周辺の3次元鳥瞰図  
国土地理院の空中写真（1947年、米軍撮影）を加工して作成。  
ただし、小中の湖干拓地を仮想的に水域として処理

琵琶湖に目を向けると、明治時代から昭和初期の琵琶湖の周りには、大小40余りの内湖と呼ばれる潟湖（ラグーン）があつたことが知られています。特に現存する最大の内湖である西の湖周辺には、大中の湖、小中の湖、さらに少し離れて津田内湖と、大きな内湖が存在していました。内湖の形成には、河川から運ばれた土砂や沿岸流で運ばれた土砂の堆積が大きく関係しており、西の湖周辺の内湖は、愛知川などから運ばれた土砂が堆積して、琵琶湖の一部が隔てられて形成したと考えられます（図1）。

過去100年間に、愛知川では上流から運ばれてきた多量の土砂が河口付近に堆積し、湖岸線が湖側へ前進する傾向にありました。そのため、当センターでは、森-川-湖の土砂のつながり再生に関する調査研究を進めています。

1970年代には後退傾向に転じました。愛知川が過去から現在

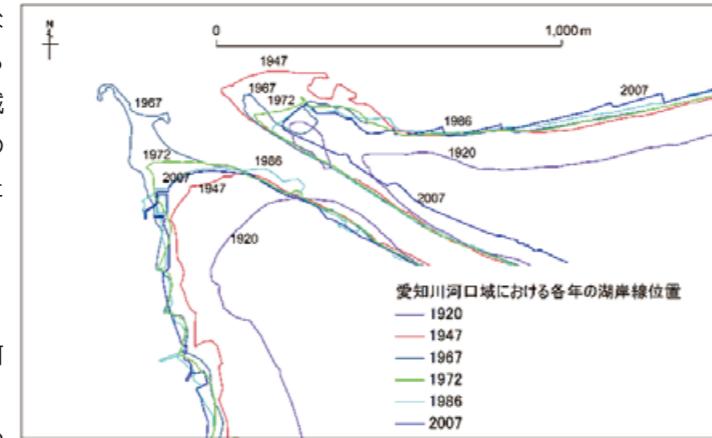


図2 過去の地形図および空中写真から読み取った湖岸線

1920年代は国土地理院1/25000旧版地形図、1947年は国土地理院の空中写真（米軍撮影）、1967、1972年は国土地理院の空中写真、1986、2007年は独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所の空中写真を利用して作成

までに土砂を運び堆積する様子は、河口域の地形変化をみると間接的にわかります（図2）。時代による平均水位の違いなどに注意が必要ですが、過去の地図や空中写真を並べると、湖岸線変化の大まかな傾向を読み取ることができます。愛知川河口部の湖岸線は、1947年までは湖側に前進し、その後、右岸側（北側）では陸側に後退し始めます。左岸側（南側）の湖岸線は、少なくとも1967年までは湖側に前進を続け、その後は後退しました。湖岸線の前進には、主に1900年代以降の長期的な水位低下と愛知川から運ばれた土砂による堆積が寄与しています。後退には、主に愛知川からの土砂供給の減少や砂利採取などが関係していると考えられます。

上流からの土砂供給が多くなると、急激な土砂堆積と河床上昇を引き起こし、洪水氾濫が起こりやすくなる可能性がありますから、土砂供給の減少は、私たちには安心、安全な暮らしをもたらす面があります。一方、土砂供給が少なすぎると、河道内で水の流れる部分である濁筋が固定化され、深掘れによる河岸侵食などの新たな治水上の問題を引き起こす可能性があります。

また、河川は、水、栄養、土砂、生物を下流へ運び、回遊魚などは下流から上流へ移動します。近年の愛知川上流からの土砂供給の減少は、愛知川自体の河床環境にも影響を与えています。そのため、当センターでは、森-川-湖の土砂のつながり再生に関する調査研究を進めています。

総合解析部門 東 善広

## 森(山)から川へ土砂はどのくらい出てくるの? —森の下草が守る山からの土砂流出—

琵琶湖に流入する河川の多くは、大雨により川の流れの勢いが増すと、川の色は茶色くなり、山や河岸の土砂を削り琵琶湖に運んでいきます。明治時代には殖産興業のために、エネルギーの薪が必要となり、山の木々は現在のレベルより少ない状態となり、森川里湖のつながりは途切れてしまいました。その結果、大雨が降った時の川の洪水や土砂災害は現在よりも厳しい状態になっていました。今から約140年前（明治12年）、その状態を見かねた近江商人の塚本定次、正之が巨費を投じて森-川-湖のつながりを改善することを目指して、山に植林をはじめました。こうした先人の地道な努力が実り、琵琶湖流域は、今、私たちが知る様に森の緑が豊かな景観になり、森川里湖がつながるようになりました。つまり、豊かな森により洪水や土砂流出の被害が減り、また、水田を潤す水も安定するようになりました。

実は、森に木々があるだけでは土砂流出抑制効果の力は十分發揮できず「森の下草」があることが重要であることが研究によりわかつてきました。例として、流域面積の約100km<sup>2</sup>の花崗岩地質の森の斜面からの土砂流出量を見て見ます。

まずは森の下草が十分にある良い状態の森林における土砂流出を計算して見ます。3日間で300mmの大雨では1,600m<sup>3</sup>すなわち2,900t(10tダンプカー290台分)ぐらいの土砂が出ます。近年、起こるようになった3日間で600mmの超大雨では約8,000m<sup>3</sup>すなわち14,400t(10tダンプカー1,440台分)ぐらいのたくさんの土砂がでできます。これは災害レベルの土砂量です（図3）。

次に、森に下草がない悪い状態の森林における土砂流出を計算して見ます。3日間で300mmの大雨で約60,000m<sup>3</sup>の108,000t(10tダンプカー1万800台分)もの土砂が出ます。もはや土砂災害の状態です。さらに、3日間で600mmの超大雨では、なんと300,000m<sup>3</sup>すなわち540,000t(10tダンプカー5万4000台分)もの土砂流出になると予測されます（図4）。あちらこちらで土砂災害に巻き込まれてしまう最悪の状況です。このように「森の下草」の有無は、3日間で600mmの超大雨の時に「10tダンプカー5万4000台分」の土砂が山から川に流出するリスクを「10tダンプカー1440台分」に減災する効果があると推測できるのです。このような自然を基盤とした解決策は「NbS(Nature-based Solutions)」、自然環境が有する機能を社会における様々な課題解決に利用しようとする考え方には「グリーンインフラ(GI: Green Infrastructure)」と呼ばれてい

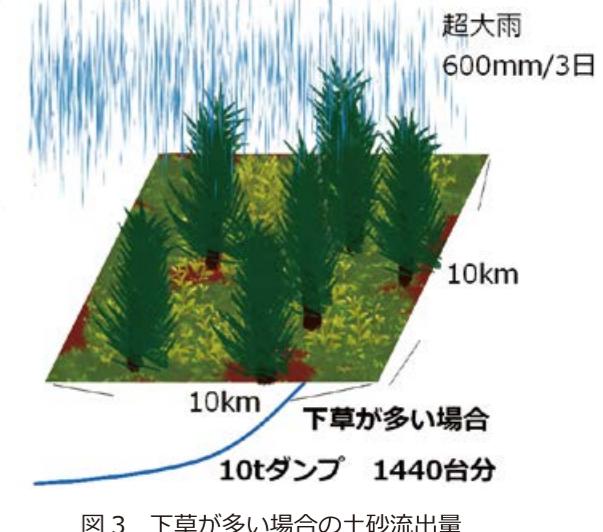


図3 下草が多い場合の土砂流出量

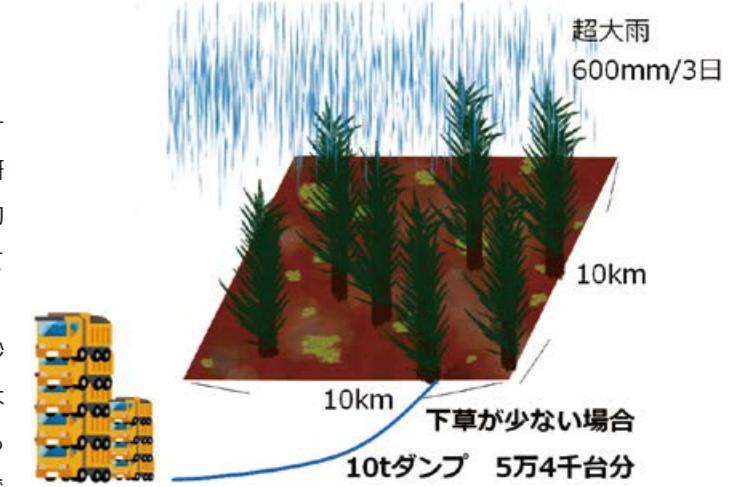


図4 下草が少ない場合の土砂流出量

ます。さらに、グリーンインフラ機能の中でも、こうした自然の持つ防災減災効果は「Eco-DRR(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction)」と呼ばれて、気候変動条約や生物多様性条約で世界的に注目されています。森の下草を守るために間伐やシカ食害対策などは、結果的に土砂災害防止につながっていると考えられます。

難しそうな話なのですが、滋賀県の人々は既にEco-DRR効果をうまく使いこなしてきました。例えば、田んぼの法面、農業水路の法面、道路の法面、里山の道など、斜面に草を生やして管理してきました。これらの斜面や道路などの草地は、土砂流出や崩壊を防ぐ上記同様の効果が見込まれます。こうした場所の定期的な草刈は、適度な密度で適度な草地の状態を持続的に保つことができます。そのため、滋賀県の各所で見られる、自治会などによる斜面などの草刈は、Eco-DRR効果を維持するという最先端の見方で見れば、環境を守る最適な活動になっていると考えられるのです。

総合解析部門 水野 敏明