



文と写真●玉井 幸治 Tamai Koji

研究ディレクター

4号木堰堤

現地で調達されたヒバ被害木によって「昭和29年」に施工された。倒木(中央)によってゆがみが生じているものの、まだ健在である。

山道を歩いていて、溪流に設けられた小さなダムのようなものを見かけたことはありませんか？ それはもしかしたら、通称「治山ダム」と呼ばれている「治山堰堤」かもしれません。治山堰堤には、斜面崩壊が発生したときに流下する土砂を堰堤の上流側に留め、下流に被害を及ぼさないようにする役割のものと、上流側での山腹崩壊を防ぐ役割のものの2種類があります。

青 森県五所川原市の飯詰山国有林にある坪毛沢はその昔、豪雨による山腹崩壊を繰り返し、下流に被害を与える暴れ沢として恐れられていました。そのため大正5年～昭和33年の間に11基の木製治山堰堤が設けられました。これらは「坪毛沢木堰堤群」と呼ばれ、林野庁の「後世に伝えるべき治山（よみがえる緑）」に選定されています。当時、コンクリート堰堤に必要な硬い石材を現地で調達できなかったことから、現地のヒバ被害木を用いて設けられました。

ス ギは植栽されてから20年ほどは根系の発達が不十分なため、山腹崩壊を防ぐ力が強くありません。そのため坪毛沢では、根系が十分に発達するまでの間、11基の木製治山堰堤が、山腹崩壊防止機能を補強する役割を担っていました。

現 在では、坪毛沢の山腹斜面は立派なスギで覆われています。それは、まだスギが小さかった時期に山腹崩壊が発生しなかった結果です。大正5年に設けられた木堰堤の中には、すでに流亡したものや、高さ数十センチほどの部分しか残っていないものもあり、いま坪毛沢の木堰堤群はその役割を終えつつあります。♥

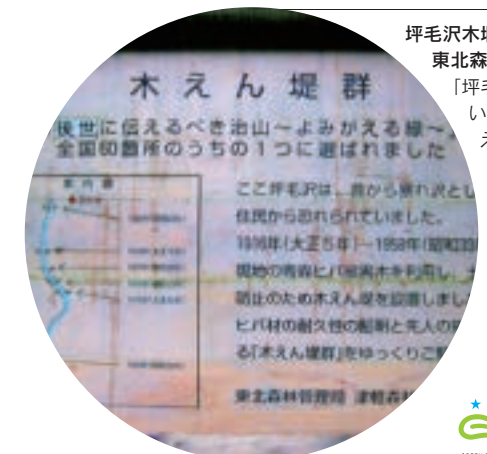
3号木堰堤部材の劣化状況の調査

長年の水や土砂による摩耗のため、ヒバ材は先端が細くとなり、部材の一部は流亡している。



坪毛沢木堰堤群を紹介する東北森林管理局の看板

「坪毛沢木堰堤群」はいまでは、後世に伝えるべき林業遺産としての役割を果たしている。



季刊 森林総研

Forestry & Forest Products
Research Institute
No.63 2023

特集●

雨と森林 水の流れを追いかける

巻頭鼎談●空もようと科学を伝えること

気象キャスター
気象予報士・防災士

熊谷 琴葉 ×

飯田 真一
初山 寛樹

森林防災研究領域

森林防災研究領域



Kumagai Kotoha

熊谷 琴葉
気象キャスター
気象予報士・防災士



Iida Shin'ichi

飯田 真一
森林防災研究領域



Momiyama Hiroki

初山 寛樹
森林防災研究領域

ていだん
巻頭●鼎談

空もようと科学を伝えること

東日本放送の気象キャスターとして活躍されている

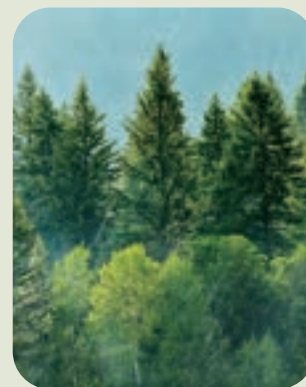
気象予報士・防災士の熊谷 琴葉さんと、

森林が果たす水循環への役割を研究する飯田 真一 主任研究員、

初山 寛樹 研究員に、科学を伝えることをめぐってお話していただきました。

土浦市「小町の館」にて Photo by Godo Keiko

飯田●熊谷さんは、いま宮城県の放送局で気象キャスターとしてご活躍されていますが、宮城に勤務されることになった経緯は？
熊谷●NHKの連続テレビ小説『おかえりモネ』*が始まる1年ほど前から気象予報士の勉強を始めていたんです。それで「よし！この夏に絶対資格を取るぞっ」と誓った夏がモネが放送された年でした。モネは気象予報士試験に3回挑戦して資格を取るのですが、私は絶対負けたくないと思い、2回で取りました！（笑）モネの影響を受けたわけではないのですが、ちょうど資格を取ったあとに宮城でキャスターの募集があつて、それに応募して選んでいただきました。
飯田●そもそも、熊谷さんが気象予報士を目指すと思うたきっかけは？
熊谷●自然が大好きというのがいちばん大きいんです。幼い頃に九州の田舎に住んでいて、生き物を採集したり、空を見上げたり、山や川で遊ぶのが当たり前の場所で育ちました。高校生になって小型河川エビの研究を始め、学会などで発表したり、毎週小学校で自然科学の出張授業を行ったりした経験から、科学を人に伝えることに魅力を感じるようになりました。その後大学生のときのコロナ禍のステイホームで、ふと手にしたのが気象予報士の本で、勉強を始めたのがこれのすごく面白くてはまってしまいました。このとき、気象キャスターは気象という科学を伝える仕事だと気付き、初めて夢ができました。そこからは無我夢中で走り、今に至ります（笑）。
飯田●私も子どもの頃に自然が大好きで、気



表紙写真
eric1513 / iStock

特集写真提供：
P.6、11 観測システム：飯田 真一
P.7 牛乳パックの転倒ます型雨量計：
熊谷 琴葉
P.8 特集扉：larsmagnusson / iStock

編集協力：
岩谷 忠幸
オフィス気象キャスター株式会社

特集担当●
玉井 幸治

編集委員●
片岡 厚（編集委員長）
佐藤 重穂
齋藤 隆実
服部 友香子
大木 文明

ていだん
巻頭●鼎談

空もようと科学を伝えること

熊谷 琴葉 気象キャスター 気象予報士・防災士

× **飯田 真一** 森林防災研究領域
初山 寛樹 森林防災研究領域 ……………3

特集●

雨と森林

水の流れを追いかける

……………8

研究の森から●

降雨時の河川には
“新しい水”と“古い水”のどちらが多いか？ ……………14
久保田 多余子（森林防災研究領域）

極端な豪雨で森林からどれくらい
栄養分は出ていくのか？ ……………16
篠宮 佳樹（震災復興・放射性物質研究拠点）

森林講座瓦版●

大気からの窒素流入が多い森林の渓流水 ……………18
小林 政広（立地環境研究領域）

インフォメーション● ……………19

自然探訪●

つばけさわ もくえんていぐん
坪毛沢 木堰堤群……………20
玉井 幸治（研究ディレクター）



◀誌面アンケート
ご回答いただいた先着
30名様に木製タグ付
きストラップとバッグ
を進呈いたします。

上記 QR コードからアクセスできる誌面
アンケートでご感想やご要望をお寄せ
ください。はがきや FAX の場合は右
記の広報普及科へ。ご協力いただいた
先着 30 名様に木製タグ付きストラッ
プとエコバッグをセットで進呈します。



季刊「森林総研」 2023（令和5）年12月15日発行

編集●国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 広報誌編集委員会

発行●国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 企画部広報普及科

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地 TEL.029-829-8373

FAX.029-873-0844

URL <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ffpri.html>

企画制作・デザイン●栗山淳編集室

印刷●昭栄印刷株式会社

©本誌掲載記事及び写真の無断転載を禁じます。



飯田 真一 (いいだ しんいち)

1975年茨城県常総市生まれ。2003年筑波大学大学院一貫制博士課程地球科学研究科修了。博士(理学)。筑波大学地球科学系準研究員、名古屋大学大学院生命農学研究科CREST研究員を経て、2006年森林総合研究所採用。2018年水文・水資源学会論文賞受賞。日本水文科学会編集委員会委員長。専門は生態水文学。分担執筆した著書に『水文科学』(共立出版)、『Forest-Water Interactions』(Springer)など。

巻頭●鼎談

森林の研究でも、わかっていないことがまだまだあって、確信を持って言えないことがたくさんあります。

熊谷 ● そうですね！
飯田 ● 地球上の水循環を扱うのが水文学で、大気の中の水蒸気を扱うのが気象学ですね。広く見るとつながってる研究分野といえますね。そういえば私の大学時代の水文学研究室のすぐ横が気象学・気候学の研究室でした。ところで、天気予報の原稿はご自分で書かれるのでしょうか？
熊谷 ● 自分で書きます。原稿にする前のノートご覧になりますか？
初山 ● すごい厚さですね！
熊谷 ● これで2カ月分です。毎日、見開きに1日分をまとめて、前日の予報から天気がどう変化しているかをチェックするんです。
初山 ● 私たちも実験でノートを書いたりするんですが、どちらかというとまとめというよりは、データなどの記録が趣旨ですね。
熊谷 ● まず東アジアのスケールから現況を見ていきます。天気図や衛星画像、偏西風のごきから大気の大気な流れを把握します。その後全国のアメダスの気温・日照・風などを見て、最後に私の予報範囲である宮城の実況を把握します。

アジア全体から見る必要があるのですかね？
熊谷 ● 宮城の天気だけなら、東アジアのスケールからやらなくても予報できないわけではありません。でも、そのスケールから状況を見ておくことで、自分の中に「なぜこの予報なのか」ということの確信が持てて、そこまで視聴者に伝えるわけではなくても、伝わり方がちがうのではないかと思います。
飯田 ● 気象予報士が自分なりに気象庁のデータを解釈した結果が、気象庁の天気予報とちがうということもありうるんですか？
熊谷 ● あくまでデータの解釈のちがいという範囲では、そういうこともありえます。天気予報の根拠となるデータは気象庁が発表しているわけですが、「気象庁が晴れと言ってます」とただ伝えているわけではなくて、「こういう理由だから晴れます」あるいは、「もしかしたら小雨がばらつきます」と私自身がデータを読み取ったうえで、自信を持って伝えるようにしています。
初山 ● モデルの値と現場での体感がずれているときにはどうされてるのでしょうか？
熊谷 ● たとえば南の地域にだけ雨を強く予想しているモデルの画面を視聴者に見せようと思っていたものの、本番直前になって北部の様子がおかしくなってきた場合は、口頭で「南の地域中心になっていますが北部でも低気圧が発達するおそれがあります」と言葉で付けたすようにしています。



熊谷琴葉さんの原稿ノート

熊谷 琴葉 (くまがい ことば)

2000年熊本県球磨郡生まれ。早稲田大学政治経済学部経済学科卒業。気象予報士、防災士、防災危機管理者。幼少より川の生きものを中心に自然が大好きで、高校時代は川に入り、小型河川エビの研究をしていた。研究発表の経験などから「科学」を人に伝えることに興味を持つ。コロナ禍をきっかけに気象予報士の勉強を始め、2021年大学3年生のときに独学で合格。2023年4月よりkhb東日本放送「チャージ！」に出演中。

巻頭●鼎談

東アジアのスケールから状況を見ることで、確信が持てて、伝わり方がちがうんじゃないかなと……

がついたら、この道に入っていました(笑)。ちなみに『おかえりモネ』では、主人公が森林の洪水緩和機能を高めるために、樹皮での雨水貯留量を評価しようと観測するドラマ展開があつて、最終的には定量的評価ができずに終わってしまったのですが、じつは、このストーリーに採用された研究は、私の主要な研究テーマの一つです。
熊谷 ● そうなんですね！
飯田 ● 地球上の水循環を扱うのが水文学で、大気の中の水蒸気を扱うのが気象学ですね。広く見るとつながってる研究分野といえますね。そういえば私の大学時代の水文学研究室のすぐ横が気象学・気候学の研究室でした。ところで、天気予報の原稿はご自分で書かれるのでしょうか？
熊谷 ● 自分で書きます。原稿にする前のノートご覧になりますか？
初山 ● すごい厚さですね！
熊谷 ● これで2カ月分です。毎日、見開きに1日分をまとめて、前日の予報から天気がどう変化しているかをチェックするんです。
初山 ● 私たちも実験でノートを書いたりするんですが、どちらかというとまとめというよりは、データなどの記録が趣旨ですね。
熊谷 ● まず東アジアのスケールから現況を見ていきます。天気図や衛星画像、偏西風のごきから大気の大気な流れを把握します。その後全国のアメダスの気温・日照・風などを見て、最後に私の予報範囲である宮城の実況を把握します。

次に予報に入ります。さまざまな高度の気温や気圧、湿度などが書かれている予報資料を見ます。これもまずは東アジアのスケールからです。トラフやリッジ*がどこからいつごろ進んでくるのか、暖気がどのように流れ込むかなどを予報資料から解析していきます。その後日本全体を見て、全国の予報のポイントをおさえ、そしてようやく宮城の詳しい予報にうつります。ここまでで、「きょうは何を伝えるべきか」がわかります。それを軸において、天気予報のコーナーの流れを組み立て、原稿に落とし込んでいきます。ただ天気は刻々と変化していますので、実況や予報データも細かく更新されます。本番の直前までさまざまなデータを確認して原稿の言葉を少し変えたりしながら本番に臨んでいます。
初山 ● たいへんな作業ですね。何分ぐらいの原稿にまとめるんでしょう？
熊谷 ● 1日2回の出演で2分と5分です。その短い時間のために6時間ほどかけてつくっています。どんな画面を使うか下図を描いて、それをCGの方に発注したりもします。
初山 ● 2分と5分では、伝える内容にちがいがありそうですね。
熊谷 ● 2分のときは屋上で行うので、現在の空の様子などの実況を体感を交えて伝え、今夜と明日の天気を視聴者の方が瞬時にわかるようにまとめます。5分の場合は、季節の小ネタやトピックを入れたり、たまに局の外に取材に出て、季節の花とか風物を紹介したり、天気の詳しい解説をしたりしています。
初山 ● 身近な天気を知るためにも、やはり東

*Key Words 遮断蒸発

森林に降る雨の一部は、地面に到達することなく、蒸発して大気にもどっていく。これを遮断蒸発という。林冠部の葉に付着した水や、樹皮などの樹体に貯留された水からの蒸発が考えられる。(▶P.8～特集参照)

*Key Words 森に降る雨水のうごき

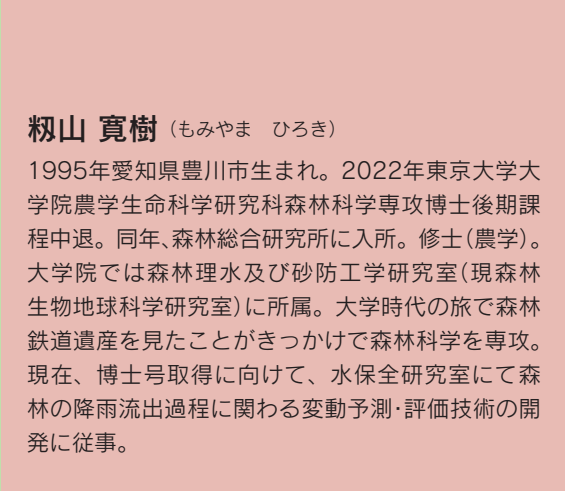
森林に降る雨は、樹木の葉にあたるもの、葉や枝のすきまを通過して地面まで到達するもの、あるいは葉や枝からしたたり落ちるもの、木の幹を伝って地面に行くものなど、いくつかの経路がある(▶P.10参照)。

*Key Words トラフ、リッジ

気象用語で、トラフは、気圧の谷間。リッジは気圧の尾根のこと。トラフとリッジを確認することで、その後の低気圧の発達などを予測することができる。

*Key Words 『おかえりモネ』

2021年に放送されたNHK連続テレビ小説。宮城県の気仙沼出身のヒロインが、天気予報を通じて人びとの役に立とうと気象予報士をめざし、さまざまな経験ののち気象予報士となって地元に貢献する物語。



巻頭●鼎談

私の一言で視聴者の行動を変えてしまうことの責任もありますし、それはすごいやりがいでもあります。

達したりすると、予報で出そうと思っていた今夜の雨雲の予想が実況と差が出てしまうこともあります。そうした自然現象の捉えがたさは、怖さでもあるし、魅力でもあったりするわけですが……水文学では、いちばんの面白さ、魅力というのはどの辺りでしょう？

飯田●それは、やはり根源的なところで雨として降ってきた水が循環しているという現象がじつに面白いなど。地球上で人間が使える淡水ってものすごく少ないんです。そのごくわずかな水が、生きものにとつてなくてはならないものとしてきちんと循環しているシステムというのが、ほんとうにすばらしい。

粕山●たとえば畑になるか、水田になるかというのは、土地の水分状態にもよるわけですね。雨の多い少ないで建物の形も変わります。そうした身近なところで人間の営みを左右してしまう。森林に降る雨という微気象から、地球規模の循環にまでさまざまな形で生活に関わってくるというのが水文学の魅力でしょう。

飯田●熊谷さんは気象キャスターをされていてやりがいを感じるのはどの辺りですか？

熊谷●些細なことですけど、たとえば「熊谷予報士が明日は雨って言っていたから洋服はこっちにしよう」など、私の一言で視聴者の行動を変えてしまう。それは責任でもありますし、大きなやりがいでもあります。

飯田●観測のときの私たちの行動もかなり影響を受けてますね。明日雨の予報なら調査に行くのやめようって思います（笑）。

粕山●では、いちばんの苦労は何でしょう？

熊谷●それは「苦労をしていることを顔に出してはいけない」ということ（笑）。

飯田●なるほど！ 宮城の予報をされてますが、地域としてはどんな特徴がありますか？

熊谷●宮城は風向きによって、天気が大きく変わるんです。むずかしさもあるのですが、いつかその風を読めるようになったら、もっと宮城の人に寄り添った気象キャスターになれるのかなと思っています。

粕山●住民の方たちとのコミュニケーションも必要ですね。

熊谷●そうですね。もつと多くの市町村をまわって現場を見たいと思っています。仙台市内を歩きまわるのは大好きで、自分の足で歩いてみて、ここの川はこう曲がってるだとか、用水路がここに走ってるのか、この辺りの住宅は災害時に注意が必要だななど、心に留めておくようにしています。天気予報を伝える時に実際に場所を知ってるのと知らないのでは伝え方も変わってくると思うんです。

飯田●2019年には、宮城県の丸森町で大洪水の被害がありました。

熊谷●気象災害自体の発生を抑えることはできませんが、予報することはできるので、そこから人の命が助かることにつながってほしいと願っています。宮城に限ったことではないので、それぞれの県特有の川のうごきだったり、山とか地形は、これからも勉強を続けていきたいと思っています。

粕山●気象予報士だけでなく防災士としてのご活躍にも期待しています！

熊谷●ありがとうございます！



転倒ます型雨量計の前で熊谷さん(右)に観測システムについて説明する飯田主任研究員(左)と粕山研究員(中央)

熊谷さんが牛乳パックを使って小学生たちとつくれた転倒ます型雨量計。



*Key Words
転倒ます型雨量計

ふたつのますがシーソーのような構造になって付いていて、片方のますに定量(写真のタイプでは15.7mL)の雨が入ると鹿威しのように転倒して水を排出し、もう片方に雨水が入るように傾く。転倒の回数を測ることで雨量を計測する仕組みになっている。

複雑な自然現象を一般の方にわかりやすく伝えることが大事な使命なのだろうと思います。

が、若干モデルの性能がよくなるんです。データをどう評価するかということなんです。この辺りの判断がなかなかむずかしい……。

飯田●粕山さんのように水のうごきを川の流れまで持っていくとすると、遮断蒸発だけではない他の水のうごきもたくさん絡んでくるわけです。そのとき、遮断蒸発の一部分のモデルを調整したほうが全体のうごきを把握しやすいということだと思いますが、一部分だけに注目してもよいのか検討が必要です。

粕山●そうですね。森林での実際のさまざまな水のうごきを反映できることは大事ですから。

飯田●鼎談の前に観測システムを見学していただきましたが、熊谷さんいかがでしたか？

熊谷●遮断蒸発のことは初めて知ったので勉強になりました。個人的には、私は転倒ます型雨量計*がすごく好きなので（笑）、雨量計を見せていただけたのがとてもうれしかったです。気象予報士の勉強を始めた時に仕組みを見て、さすが「カタッ」と傾いて雨量を測るのがとても可愛いなと（笑）。去年このままが傾く楽しさを子どもたちに知ってもらい、雨量計を身近に感じて欲しいという思いから、身近な物で転倒ます型雨量計を作ることとに挑戦しました。本物の仕組みから勉強し、牛乳パックで作ることに成功し、小学生向けの講座を開きました（笑）。子どもたちにとっては水遊び感覚だったようで、とても好評でした。

飯田●そういう視点でとても大事だなと思います。むずかしく考えたり教えたりするだけじゃなくて、まず仕組みが可愛いっていう

ところがいいですね。それで、それを子どもたちにちゃんと伝えるという、そういう姿勢が大事なんだろうなと、しみじみ思います。「面白い」「楽しい」という感覚がないと、研究してわかったことも、一般の人たちにうまく伝えられないと思うんです。自分の行った調査で、「よしっ」って思えるような結果がでた時に、その面白さを一般の人たち、とくに小学生や中学生ぐらいの若い人にどうやって伝えるのか、そこはしっかり考えていかないといけないと思っています。

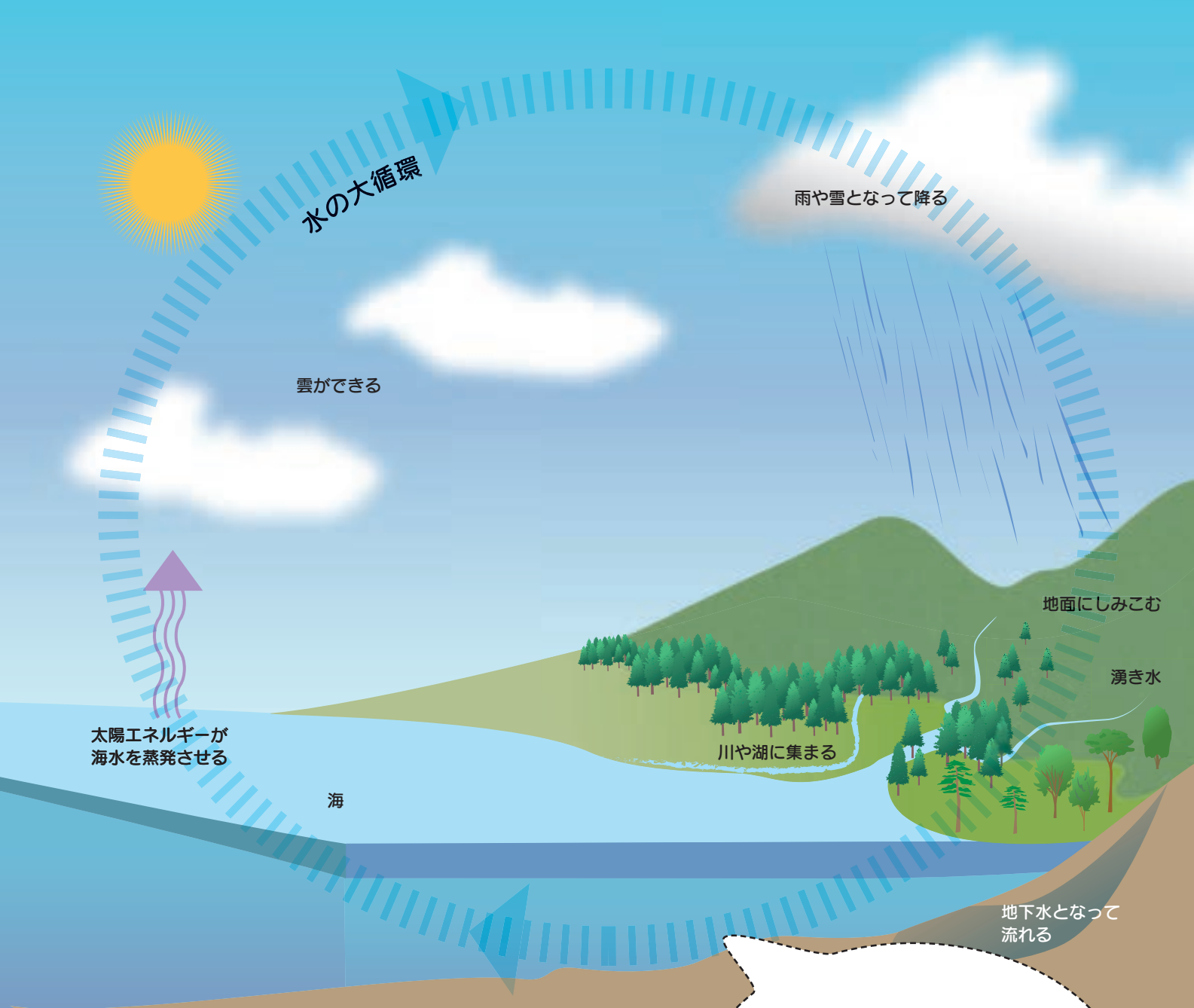
研究して得られた成果は最終的に論文として掲載されることで完結してしまうことが多いわけですが、その論文で何をどのように社会に伝え、役立たせるのかというところまで、なかなかたどり着かない。私は試験地で観測したことに基づいて論文を書きますが、では「他の場所でもおなじか？」と問われるとそれは断言できないわけです。その辺りをどうわかりやすく一般の方に伝えるのかというのは、ほんとうに悩ましいところです。

粕山●気象キャスターの仕事というのは、わかりにくい複雑な自然現象を一般の方にわかりやすく伝えることが大事な使命なのだろうと思います。近年は豪雨も多く危険が差し迫った時に人々にどのように伝えるのか、もしかししたら外れるかもしれないけれど、言わなくてはいけないことがあるわけですね。

熊谷●予想モデルと実況とを見比べて、ちがいをどう解釈するかという点では、天気予報もおなじで、日々悩ましいことの連続です。放送直前に雨脚が強まり出して急に雨雲が発



森林に降った雨の観測システム（茨城県千代田苗畑）



特集 大気と海洋を舞台とした水の大循環

海から蒸発した水蒸気が上空で冷やされると、水や氷の小さな粒になって雲ができる。水や氷の粒が集まって雨や雪となって降る。森など陸地に降った雨は大地を流れ、小河川から大河川へと集まりながら海へと還っていく。

水の大循環は、太陽の熱エネルギーや地球の自転、極地方と熱帯との温度差など、さまざまな要因によって引き起こされている。そして、これらの環境の中で多様に進化してきた生物もまた、水循環の一部となっている。海洋圏、大気圏、生物圏をめぐる水循環のダイナミズムこそが、自然生態系の命綱だ。

特集

雨と森林

水の流れを追いかける

この大循環のうち、大気中での水の移動をあつかう学問が「気象学」、地表・河川や地中などでの水の移動をあつかう学問が「水文学」です。水文学の中でも、特に

地表に降った雨や雪は、小さな流れがしだいに集まって河川となり、また地中では地下水の流れとなって、やがて海へと至ります。海水は蒸発して雲となり、再び雨や雪となって地表に降ります。これが「水の大循環」です。

地球は、水の惑星といわれるほど、豊富な水におおわれた星です。宇宙から見ると、表面の70%をおおう海洋など水域の青と大気に浮かぶ雲の白さが織りなす色のコントラストが、太陽系の中でもひとときその美しさを際立たせています。

水の大循環

雨は、めぐみでもあり、また、ときにいのちを脅かす猛威ともなります。

森林に降った雨は、森に貯えられることで、水源としての役割を果たしてくれます。

大地に潤いをもたらし、多くの生きものや作物を養ってくれますが、ときに土砂災害や川の氾濫を引き起こす元凶ともなります。

森林に降った雨は、どのような道筋を経て、集まり、川の流れとなり、海へと還っていくのでしょうか？最新の研究を踏まえつつ、水の流れを追いかけてみましょう。

文責＝編集部 監修＝玉井 幸治 飯田 真一

特集

雨と森林

水の流れを追いかける



特集

雨と森林 水の流れを追いかける

森林に降った雨の観測システム

樋型雨量計：樋型の受水器で樹冠通過雨*を集め、ホースで誘導して転倒ます型流量計で測定している。

漏斗型雨量計：樹冠通過雨は林内のばらつきが大きい。漏斗型雨量計でばらつき具合を把握している。

樹幹流測定システム：幹に青いマットを巻いて樹幹流を集め、転倒ます型雨量計で計量している。ここでは、転倒ます型雨量計を流量計として利用している。

* 樹冠通過雨
「直達雨」と「滴下雨」を合わせたもの。

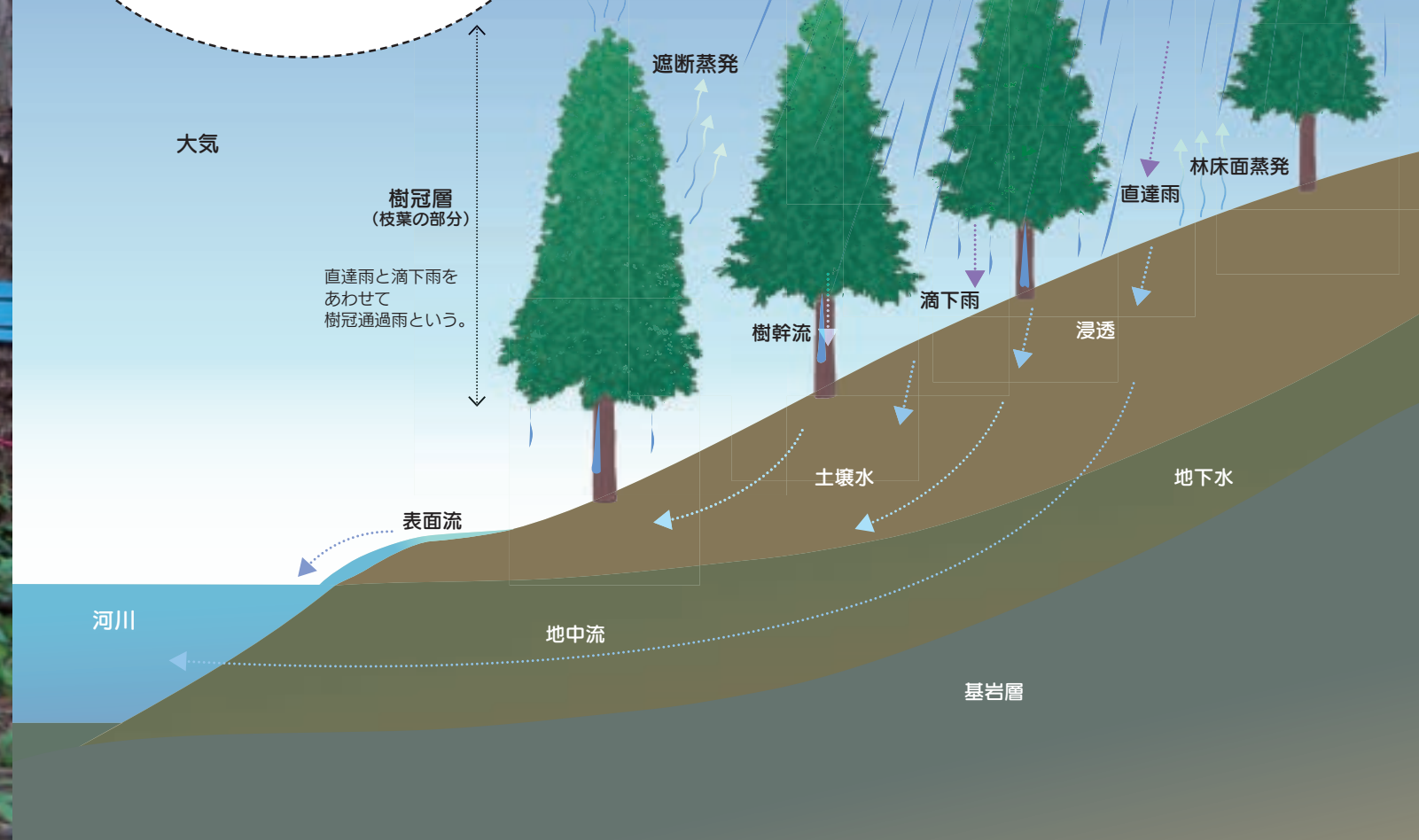
森林流域での水の移動で特徴的な現象が、枝葉や樹皮に付着したあと林床に到達することなく大気へと蒸発する「遮断蒸発」です。これまでの調査によると、降雨量に占める遮断蒸発量の割合は10～30%とされています。遮断蒸発は、降雨中と降雨後の両方で発生しますが、どちらも日射量が少なく、湿度が高い条件で水が蒸発しにくい環境です。それにも関わらず、降雨量の10～30%の水が蒸発するのは、いったいどういうメカニズムが働いているのでしょうか？じつは、この現象については、いまだに解明されていない点が多く残されています。とはいえ、研究者の地道な調査によって、降雨中の遮断蒸発について、いくつかの考え方が提案されるようになりました。そのうちの1つは樹冠層の形や構造によって、付着した雨水の蒸発しやすさが増減するということです。これは空気の流れる方が樹冠層の特徴に大きく左右されるた

遮断蒸発とは、どんな現象か？

このように森林に降った雨は、さまざまな経路をたどって、河川と大気へと移動していきます。どれくらいの量の水がどの経路をへて移動するのかは、森林の状態（木の種類や本数の多さ）、日の当たりやすさや地形などによって大きくちがってきます。

森林の水源涵養機能

大雨が降った時の急激な増水を抑える（洪水緩和）、しばらく雨が降らなくても流出が途絶えないようにする（水資源貯留）、おいしい水を作り出す（水質浄化）など、森林から河川に流れ出る水量や時期、水質に関わる働きを「水源涵養機能」という。雨水の流れを追いかけることは、これらさまざまな機能への理解を深める。



森林に降った雨のさまざまな経路

雨水の70～90%は、「直達雨」「滴下雨」「樹幹流」となって林床に達する。これらの雨は、「表面流」「地中流」となって、河川へとたどり着くが、一部は林床から蒸発して直接大気にもどる「林床面蒸発」や、根から吸収されて樹体を通して葉から大気にもどる「蒸

散」がある。森に降った雨の中で、未解明の経路が「遮断蒸発」だ。これは、雨が林床に達することなく、樹木に接触したあと大気へともどる経路で、雨量の10～30%にもほる。

森林での水のうごきを対象とする学問が「森林水文学」で、森林総合研究所が得意とする研究分野です。おもに森林による水源涵養機能への影響を明らかにすることが命題の一つといってよいでしょう。

森林流域に降り注ぐ雨や雪は、さまざまな経路をへて河川へと流れこみます。では、どのような経路が考えられるのでしょうか？

森林に降った雨の一部は、枝葉の隙間を通過して林床（森林内の地面のこと）にまで到達します。これを「直達雨」といいます。森林に降る雨のほとんどは、林床に到達する前にいちど樹木の枝葉や樹皮に付着します。付着した雨水はさらに3つの経路に分かれます。1つめが枝葉から林床へと滴り落ちる「滴下雨」、2つめが樹の幹の表面を根元へと流れ下る「樹幹流」、そして3つめが林床に到達することなく大気へと蒸発する「遮断蒸発」です。すなわち、林床へ達するのは「直達雨」と「滴下雨」、そして「樹幹流」で、雨水の70～90%ほどになります。

これらの林床に到達した雨は、地表面を流下する「表面流」、いったん地中に浸透して流れる「地中流」となって河川へ流出します。一方、樹木の根から吸収されて葉から大気へともどっていく「蒸散」や、林床から蒸発する「林床面蒸発」で大気へともどっていく水もあります。

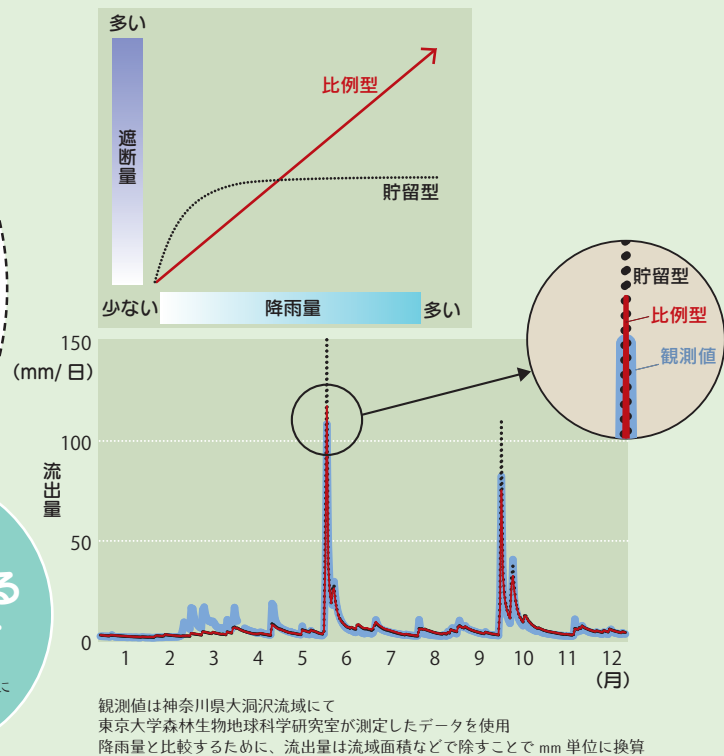
雨と森林 水の流れを追いかける



河川の流出量の再現では、地形分布を考慮して水はけの良さしを把握することが重要だ。この鳥観図では、地形指標で水はけの程度を評価している。谷部では値が大きく（色が濃く）、水が集まりやすいことがわかる。

モデルによる アプローチ

Momiyama et al. (2023) に
基づく



観測値は神奈川県大洞沢流域にて
東京大学森林生物地球科学研究室が測定したデータを使用
降雨量と比較するために、流出量は流域面積などで除すことで mm 単位に換算

観測結果とモデル研究

実際に測定された流出量とよく合うように調整が可能なモデルでは、遮断蒸発量が降雨量の増加に伴って比例して大きくなるという設定を取り入れることが重要であった。一方、12ページに見るように、観測によるアプローチでは、遮断蒸発量は降雨量の増加によって大きくなるものの、ある段階で頭打ちになることもわかっている。遮断蒸発量の実態については、未解明なことも多く、今後の研究に大きな期待がかかっている。



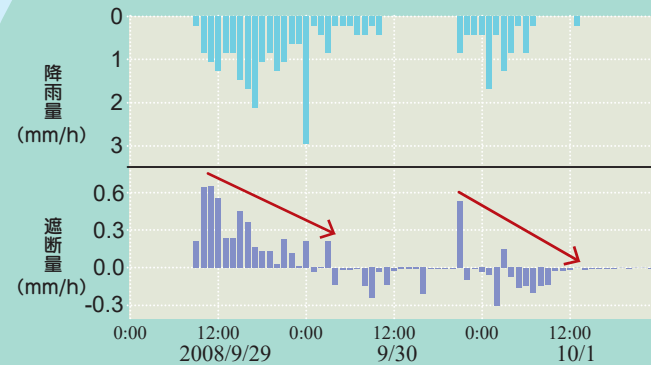
▶ 註：2022 年プレスリリース「植物細胞壁は葉から吸収された水でもできている」参照。

解明の口へ向けて

このように、降雨量と遮断蒸発量には関係性がありますが、その特徴は研究事例によって異なる場合があります。この原因を明らかにするためには、今後も継続的な調査観測を続け、遮断蒸発の発生メカニズムを解明する必要があります。

近年、「雨水の一部が樹体に吸収され、細胞壁の形成に利用されている」という現象も発見されました「▼註」。この現象が遮断蒸発と関係しているのかどうかも、検証・検討を行っていく必要があります。

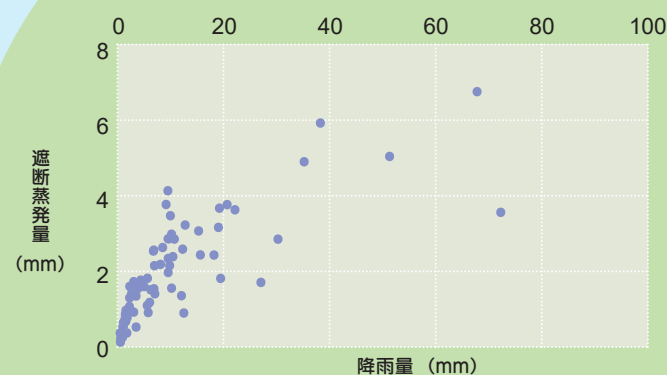
森林流域での水のうごきには、いまだに未知の課題がたくさんあります。もちろん、日々新しい発見もあります。森林総合研究所では、こうした未知の課題が解明される日が来るまで、地道な観測調査、研究に挑戦しつづけています。



ある 1 時間に降った雨のうち、林床に到達していない雨水（遅れて林床に到達、あるいは樹体に貯留、または蒸発したものを含む）を遮断量として計測すると、降雨開始直後から中盤に高いが、降雨がつづくと減少することがわかった。

観測による アプローチ

Iida et al. (2017) に基づく

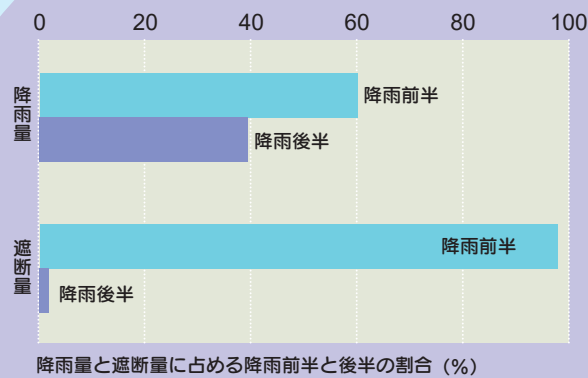


降雨量が 50mm を超えてくると遮断蒸発量は増加しにくい傾向にあり、計測を行った 3 年間の最大値は 6.7mm であることがわかった。

遮断蒸発について現在までにわかっていること

これらのことから、遮断蒸発量の発生メカニズムは、森林に降った雨水が直ちに蒸発するのではなく、いったんスギに付着して貯留された後で徐々に蒸発していると考えられる。

溜まった水の深さで表す降雨量と比較するために、遮断蒸発量などの水量は面積などで除すことで mm 単位に換算



20 回超の降雨について調査したところ、前半と後半で降雨量の差は大きくないものの、遮断蒸発量のほとんどは、降雨前半の遮断量であることがわかった。



スギの葉を水に浸し、どれくらい水を貯留できるか調べたところ
0.7~1.5mm だった

木全体では、4.4~7.2mm 分の雨水を貯留できる

樹皮全体でどれくらい水を貯留できるか調べたところ
3.7~5.7mm だった

スギの葉と樹皮を水に浸して付着可能な水の量を求め、スギ林全体で枝葉や樹皮が貯留できる雨量に換算したところ 7.2mm にも達し、計測された遮断蒸発量の最大値 6.7mm に近い値を示した。

観測とモデルの両方からアプローチ

めであると考えられています。また、雨粒が枝葉にぶつかって、より小さな雨粒となることで蒸発がしやすくなるという考え方もあります。これらが複合的に働いているとも考えられます。これからの検証が待たれるところです。

一方、降雨後にも遮断蒸発が発生します。これは、付着した雨水が樹体のどこかに貯留されていて、降雨後の日射量の増加と湿度の低下に伴って大気へと蒸発していくと考えられます。

一方、森林内での水のうごきを再現す

研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

小学生の頃、テレビ番組で野生動物を調査している研究者を見て、やってみたいと思ったのがきっかけでしょうか。

Q2. 影響を受けた本や人など

動物児童文学者の椋鳩十さんの名作選いろいろ。小学校の国語の教科書で読んだのが最初で、森と生きものと人との関わりに関心を持つきっかけになった気がします。

Q3. いまホットなマイテーマは？

陸域の水蒸気の約6割が植物の気孔から蒸散された水であることが最近わかりました。葉にあるほんの数ミクロンの小さな気孔の開閉に地球規模の炭素と水を動かす力があることに関心を持ち、年輪の炭素同位体比（炭素）を使って過去の蒸散量（水）を復元することを始めています。

Q4. 若い人へ

普段の何気ない会話の中に研究のヒントがたくさんあったと思っています。オンラインの会議や在宅勤務が増えても、研究室やその枠を超えた人たちとのコミュニケーションを大切にすることが良いのではないかと思います。



久保田 多余子 Kubota Tayoko

森林防災研究領域

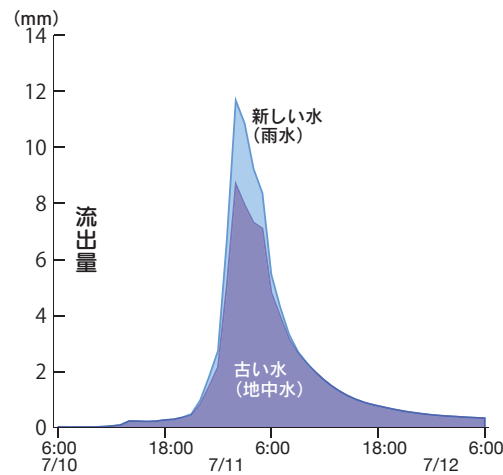


図2 “新しい水”と“古い水”を分離すると
2002年7月10～12日にかけての河川水のハイドログラフを電気伝導度を用いて“新しい水”と“古い水”に分離すると、流出量の多くを“古い水”が占めていた。

が各地で行われました。すると、世界中のあらゆる流域において、降雨中の河川水の大部分を“古い水”が占め、“新しい水”はわずかであることがわかりました。この結果はそれまでの定説を覆すもので、地中にあつた水が降雨中に速やかにかつ多量に流出するメカニズムを説明することが大きな課題となりました。

降雨中の河川水を構成している水

そのメカニズムを明らかにするため、森林総研では河川水のイオン濃度の変化を調べました。そして、降雨前から地中にあつた“古い水”が土壌層の水（土壌水）なのか、その下の風化した岩石層に浸透した水（地下水）なのかを区別し、より精密な分析を行いました。

塩化物イオン濃度を縦軸に、ナトリウムイオン濃度を横軸にとると、河川水の水質は各構成成分の水質に囲まれたグラフになります。この事例では河川水の水質は雨の降り始めでは地下水に近い濃度でしたが、流量が増えるにつれて土

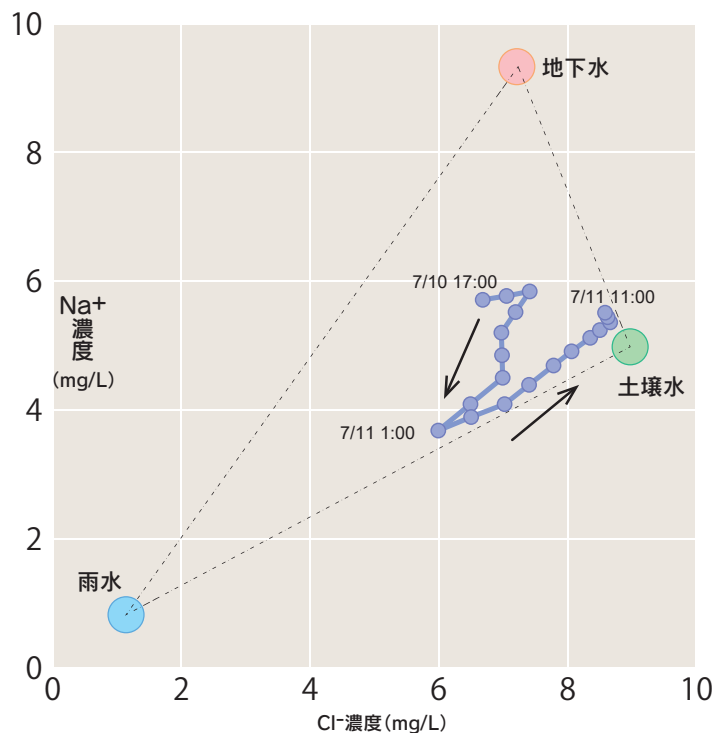


図3 降雨中の河川水に含まれる構成成分の変化
雨水、土壌水、地下水のCl⁻濃度とNa⁺濃度の比率のちがいを、河川水に含まれる水の構成成分の変化を調べた。2002年7月10～11日にかけて徹夜で採水。

壌水に近づきました。このことから、“古い水”は主に土壌水であることがわかりました。森林の土壌にはさまざまな大きさのすき間（孔隙）があり、水は小さな孔隙ではゆっくり移動しますが、パイプと呼ばれる大きな孔隙（根の腐った跡や小動物の通路）では速やかに移動します。飽和した土壌層の水の一部はパイプを通して速やかに河川に流出すると考えられます。そして、飽和域が広がると、地中のパイプがつながって、“古い水”が効率良く排水されるのでしよう。さらなる検証を続けたいと思います。

降雨時の河川には “新しい水”と“古い水”の どちらが多いか？

河川の増水は、雨水によるもの？

森林の土壌は透水性が高く、雨水の多くを地中に浸透させることができます。このため森林では、舗装道路のように雨水が地表面を流れるようなことはなかなか起こりません。しかし、台風のようなときに雨が降り続き土壌層が水であふれて（飽和して）しまうと、後からそこに降る雨は地中に浸透することができずに、地表面を流れ始めます。そして、飽和域が広がると、地表面を流下する雨水の量も増え、河川が増水すると考えられてきました。

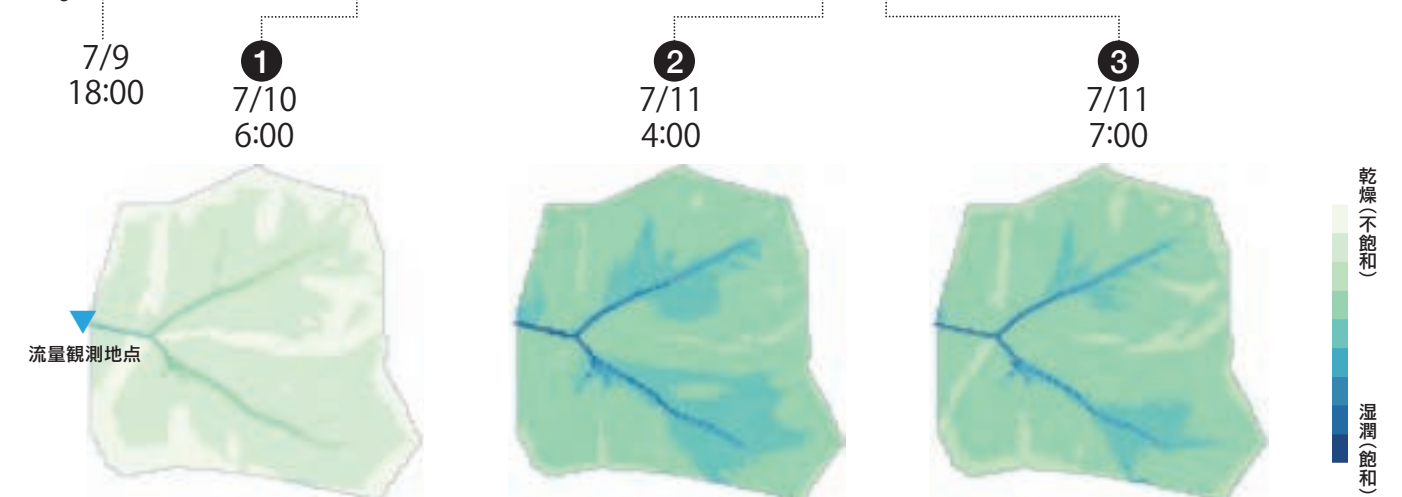
“新しい水”と“古い水”のどちらが多い？

河川の流量の時間変化を表すグラフのことをハイドログラフといいます。降雨によって河川の流量は、しだいに増えますが、それを構成している水は、雨の降り始めから終わりまで変化することはないのでしょうか？ もし降雨量が増えるとともに、直接地表面を流れ下る雨水の量が増えるのであれば、河川水を構成しているのは、ほとんどが雨水であるはずです。

そこで、雨水と地中に浸透した水で水質が異なることを利用して、降雨によって新たに流域に流れこんだ水を“新しい水”（雨水）、降雨前から地中にあつた水を“古い水”（地中水）として区別し、それらが河川水の何割を占めるのかを調べる研究



図1 台風の降雨による雨量と流量、湿潤状態の変化
2002年の台風第6号による7月9～11日にかけての雨量（棒グラフ）と流量（折線グラフ）、その時の試験地の湿潤状態の変化（下段流域図）、そして量水堰からの流出量のちがいを示す写真。これらの観測によって、飽和域に降った雨が地表面を流下するために河川が増水したと考えられてきた。茨城県常陸太田市の試験地における観測データ。



研究者の横顔

Q1. なぜ研究者に？

実家は農家でも林業家でもありませんでしたが、田舎のほうに住んでいたせいか、山や自然や農林業に目が向き、大学は農学部林学科に進みました。公務員になると思っていましたが、所属研究室の3人の教官と接するうち、研究者になってみたいという気持ちが湧いてきたのがきっかけです。



篠宮 佳樹 Shinomiya Yoshiki

震災復興・放射性物質研究拠点

Q2. 影響を受けた本や人など

影響を受けた人は、大学時代の研究室の教授塚本良則先生、助教授太田猛彦先生、助手窪田順平先生の3人です。どんな影響を受けたのかと問われても明確には説明できないのですが、研究というものを意識したのはこの3人の先生方の影響だと思います。影響を受けた本は、三浦綾子の「道ありき」と山岡荘八の「徳川家康」です。科学の話とは離れてしましますが、研究職として仕事をずっと続けてこられた理由の1つは、これらの本が私自身の心の持ち様に影響を与えたからだだと思います。

Q3. いまホットなマイテーマは？

極端に大きな雨が降ったときの栄養分の流出は日本全国どの森林でも同じなのか調べてみたいと思っています。また、栄養分といってもカルシウムやカリウム、リンなどもあります。下流域の河川や海ではマイクロプラスチックや農薬、市販の葉などの混入が問題になっているようです。森林流域から流出するさまざまな栄養分や成分の流出実態を調査してみたい気がします。

Q4. 若い人へ

私からアドバイスするとしたら、「あきらめないで、面白いと思う事をやり続ける」です。若いころなかなか研究テーマを見つけられず、研究職をやめようと思ったことがありました。けれど同僚の協力があって、高知県と茨城県のいずれでも渓流水を10年間採集続けることができ、それで論文を仕上げることができました。

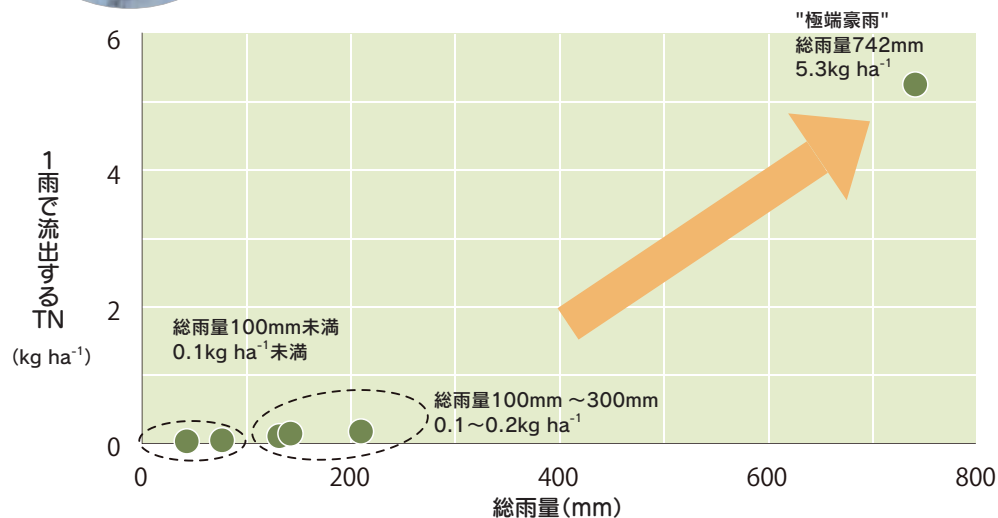


図1 雨の大きさと森林から出ていく栄養分（TN）の関係

1回の「極端豪雨」で栄養分(TN)は1ヘクタール当たり約5kg出ていた。これは、国内の平均的な森林から1年間に出去いく1ヘクタール当たりの栄養分(TN)に匹敵する。

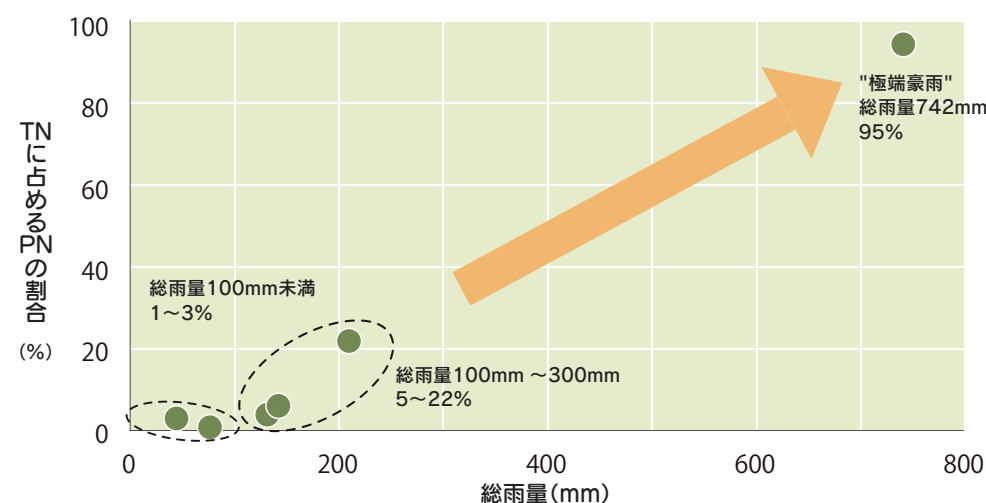


図2 雨の大きさと森林から出ていく栄養分の質との関係

「極端豪雨」では、水に溶けている栄養分(DN)ではなく、濁りに含まれる栄養分(PN)が圧倒的に多くなる。

極端な豪雨で森林からどれくらい栄養分は出ていくのか？

水にまつわる森と川、海のつながり

森林は清浄な水を提供してくれます。森林から出ていく水は、カルシウムなどのミネラルを含み、窒素などの栄養分が少ないことから、飲み水にも適しています。栄養分が多すぎると水は汚れ、生物が棲めなくなります。ですから、川や海に入ってくる水の栄養分を調べることは、とても大切です。

森林から出ていく栄養分が少ないことや、雨が降って増水した時に栄養分が多く出ていくことは、これまでの研究からわかっています。最近は気候変動によって、想像を超えるような極端な大雨が降るようになってきました。たとえば、1回で1000ミリに達するような大雨です。こ

のような極端な大雨が降ったとき、森林から下流の川や海へは、どれくらいの栄養分が流れ出ていくのでしょうか？

降雨時の溪流に含まれる栄養分を調べる

そこで、雨が降ったときに森林から出ていく栄養分（水に溶けている窒素をDN、濁りに含まれる窒素をPN、DNとPNを合計した窒素をTNと記します）を、できるだけ大きな雨について調べることにチャレンジしました（写真1～写真4）。これまでの観測では、総雨量400ミリを超えるものはありません。2011年7月、既往の観測を超える、総雨量742ミリ（以降、「極端豪雨」と記します）の増水時のデータを採用することができました。気象庁の過去の気象

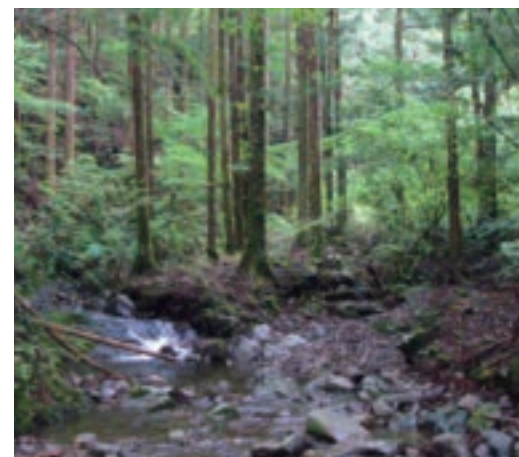


写真1 調査地の森林と溪流

調査は、高知県の四万十川の上流部にある、常緑樹を主とする森林で行った。調査地の広さは73ヘクタール、標高は470～830メートル。



写真2 溪流の流量の観測

調査地のいちばん下流に堰を設け、水位を常時計測することで流量が計算できる。



写真4 自動採水器の採水部分

自動採水器から伸びるチューブの先端に採水口がある。採水口が濁流に流れないようしっかりと固定してある。



写真3 渓流水の採取方法

台風のときでも危険を冒さずに水を採取できる自動採水器を使い、2時間間隔で1リットルの渓流水を24本採取した。

将来のトラブルに備える

極端に大きな雨が降ると、森林から出ていく栄養分が量的に増えるだけでなく、質的にも変化することがわかりました。テレビのニュースを見ても、今後も気候変動の影響で、極端に大きな雨が降るだろうと想像されます。気候変動に適應するため、森林から出ていく栄養分の量的・質的变化が下流の川や海の栄養状況、そこに棲む生物に影響を与えないか、考えておくことが重要です。

大きな雨が降った後に調査地に行くと、安全な場所に置いておいたはずの自動採水器が流されていたり、記録装置が水に浸かっていたなど、大きな失敗を何回も経験してきました。大雨が降ったときの流量は、私の想像をはるかに超えて増えているのです。これらの失敗から、流量データを欠測させないこと、水サンプルを確実に採取することが大事という教訓を得ました。これからも安全に気をつけて、確実な調査を続けていきたいと思っています。

窒素は、樹木をはじめとする森林の生き物が、からだをつくって成長するために欠かすことのできない栄養分です。

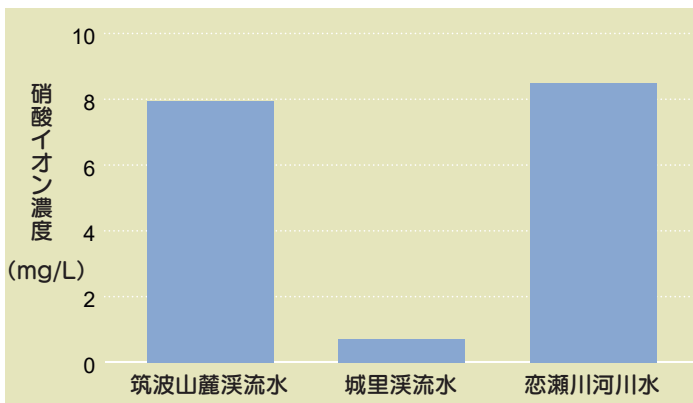
通常の森林において窒素は土壌と樹木の間で循環しているものの、たいていは不足気味の元素で、森林外に流出する量もわずかです。しかし、人間活動によって大気に排出された窒素化合物が、長年にわたり多量に流入した大都市周辺の森林では、渓流水中の窒素（大部分は硝酸イオン）の濃度が高くなるという異変が起きています。これは、森林生態系が必要とする量を大きく上まわる窒素の流入によって窒素の循環が乱され、使い切れなくなった窒素が流出している状態で、森林の「窒素飽和」と呼ばれています。

窒素の流入が多く窒素飽和化している茨城県の筑波山麓の森林と、窒素の流入が少なく窒素飽和化していない同じ茨城県の城里の森林の渓流水中の硝酸イオン濃度を比較すると、筑波山麓では城里の



小林 政広 Kobayashi Masahiro
立地環境研究領域

大気からの窒素流入が多い森林の渓流水



窒素飽和化している筑波山麓の森林と窒素飽和化していない城里の森林の渓流水、筑波山麓の森林の下流の恋瀬川の河川水の硝酸イオン濃度（2018年の毎月の値の平均）

約10倍の高濃度で、筑波山麓の渓流の下流にあたる恋瀬川本流とほぼ同じ高いレベルにあることがわかりました。恋瀬川は富栄養化が問題となっている霞ヶ浦に注ぐ河川の一つです。

森林からの渓流水には本来、下流の農業生産等により河川に負荷される窒素を希釈する働きが期待されます。しかしこの調査から、筑波山麓の森林ではその働きが十分に発揮できていないことが示唆され、今後とも注意深く監視を続けることが必要と考えられます。

（2022年7月8日の公開講座から）

令和5年度 森林講座のお知らせ



1月18日(木曜日) オンライン開催

「ビッグデータで調べる国立公園の人気スポット」

小黑 芳生（森林植生研究領域）

国立公園にはいろいろな名所がありますが、どんなところが人気なのでしょう？ ビッグデータを使って研究所から出ずに調べてみました。遠方の方でもご参加いただけます。お楽しみに！



奄美群島国立公園内のマングローブ 原生林(奄美大島・住用)

HP : <https://www.ffpri.affrc.go.jp/tmk/index.html>

E-mail : shinrinkouza@ffpri.affrc.go.jp

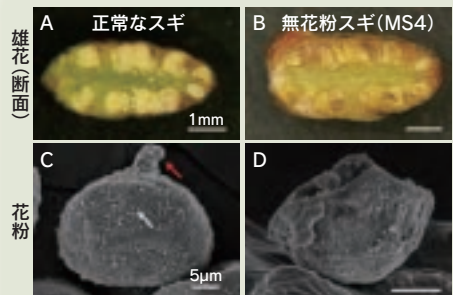


▲森林講座申込み

森林総合研究所プレスリリース

●無花粉スギの原因遺伝子を新たに特定―花粉症対策を加速―

スギ花粉症患者は年々増加し、いまや日本人の約4割が罹患しているともいわれ、深刻な社会問題となっています。このスギ花粉症への対策として期待されているのが、花粉発生源を減少させる無花粉スギへの植え替えです。無花粉スギとは、花粉の形成に異常が生じることで花粉を飛散させないスギのことです。無花粉スギの遺伝子を特定することができれば、無花粉スギの苗木の生産効率を高めることが期待できます。無花粉スギの遺伝子はこれまでMS1からMS4までの4つの存在が知られていましたが、MS1以外の遺伝子の正体は特定できていませんでした。今回、森林総合研究所、新潟大学、東京大学、新潟県森林研究所の研究グループは、新たにMS4の特定に成功しました。MS4は、花粉壁の生成に関わる酵素を合成する遺伝子



正常なスギの雄花(左側)では多くの粉状の花粉が確認できるが(A)、MS4タイプの無花粉スギ(右側)では確認できない(B)。また、花粉を電子顕微鏡で観察すると、正常なスギは楕円体にパピラと呼ばれる突起(赤い矢印)のついた特徴的な形が観察されるが(C)、無花粉スギでは粒子がつぶれており、飛散する能力がないと考えられる(D)。

で、この遺伝子のわずか1つの塩基が変異することで花粉が成熟する直前に異常が生じて無花粉になることが明らかになりました。現在、無花粉スギは、MS1の雌花に有花粉のスギをかけあわせることで種子を得て苗木を生産していますが、さらにMS4を使用する選択肢が増えたことで、新しい無花粉スギの育種や生産の増大につながると想定され、花粉症対策への貢献が期待できます。

（本研究成果は、Open Journal of Forestry (OJF)に掲載されました）

●大雪による倒木の危険性評価のための着雪モデルを開発―比較的温暖な積雪地での着雪量の推定精度が向上―

大雪による倒木は、木材生産に対する経済損失のみならず、送電設備の被害による停電や道路の通行止め、鉄道の運休などのライフラインの障害を引き起こします。大雪による倒木の危険性を評価するには、時々刻々と変化する樹木の着雪量(降雪によりスギに付着する雪の量)を把握することが重要です。

森林総合研究所と富山県農林水産総合技術センター森林研究所、同農林水産公社の研究グループは、新潟県において着雪量を測定し、気象データからスギへの着雪量を推定する着雪モデルを新たに開発しました。これは、大雪による倒木の危険性を評価して「見える化」するツールとしての活用



スギを用いた着雪の野外実験の様子 (撮影：勝島隆史)

や、倒木予防のための雪に強い森林づくりの実現につながる成果です。

樹木への着雪量を推定する従来のモデルは、寒冷なカナダの北方林でのデータをもとに開発されており、気温0℃前後における雪の性質の変化を考慮できていませんでした。研究グループは、新潟県においてスギを用いた樹木の着雪の野外実験を行い、着雪の成長や落下の過程に及ぼす気象の影響を調査しました。実験から、気温-3～0℃での降雪は樹木に付着しやすいこと、0℃以上での気温や日射量に比例して着雪の融解

による落下量が多くなること等を明らかにしました。そして、このような野外実験から得られた知見をもとに、気象データからスギへの着雪量を推定する着雪モデルを新たに開発しました。これにより、本州以南の中山間地のような積雪地としては比較的温暖な地域における着雪量の推定精度の大幅な向上を図りました。

（本研究成果は、2023年6月14日に「Ecological Processes」誌オンライン公開されました）

2023年度公開講演会



講演の様子は、YouTube「森林総研チャンネル」で公開しています。



◀持続可能な開発目標 (SDGs)

森林総合研究所は、森林・林業・木材産業等の幅広い研究を通して、国連の持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に積極的に貢献しています。該当する目標と記事のページ数は、左記の通りです。

プレスリリース等の最新情報はこちらから→

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/index-r.html>

お問い合わせ
森林総合研究所
企画部 広報普及科 広報係
TEL 029-829-8372
Email kouho@ffpri.affrc.go.jp

