

# 水源の森林づくりガイドブック

平成31年3月  
林野庁 治山課

# 水源の森林づくりガイドブック

## 目次

第1章 はじめに .....	1
(1) 本ガイドブックの目的 .....	1
(2) 山地荒廃と復旧の歴史について .....	2
(3) 拡大造林政策と放置山林の増大 .....	3
第2章 水源の森林づくりに関する基本的考え方 .....	4
(1) 本ガイドブックにおける対象とする森林と水源の森林づくりの目的 .....	4
(2) どのような状態の森林を目指すべきか .....	5
第3章 森林が有する公益的機能と水循環の仕組み .....	7
(1) 森林の中の水の動き .....	8
(2) 森林も水を消費する .....	9
(3) 水が浸透する森林土壌の働き .....	11
(4) 緑のダム .....	15
第4章 水源の森林づくりのための森林整備 .....	17
(1) 水源の森林づくりの対象とする森林の状態を確認するためのチェックシート .....	17
(2) 水源の森林づくりの方法・留意点 .....	20
1) 樹木を対象とした作業（森林内を明るくし、森林の遮断蒸発量を減らす） .....	20
2) 林床を対象とした作業（雨水が浸透しやすい森林土壌をつくり、守る） .....	27
3) 獣害対策の作業（全国に広がるシカ対策のための作業） .....	31
4) 林内における道づくり .....	34
第5章 水源の森林づくりに関する事例紹介 .....	37
第6章 資料編 .....	41

## 第1章 はじめに

### (1) 本ガイドブックの目的

森林は、河川の流れや地下水など私たちの生活に欠くことのできない水の循環に深く関係しています。この点において森林のあるべき姿が我が国の法律や計画の中にも位置づけられ、森林の持つ水源涵養機能を高めるために水源の森林づくり活動を行うことが重要であるとされています。

具体的には、森林・林業基本計画（平成28年5月閣議決定）では「ダム上流の重要な水源地等の保安林等については、浸透・保水能力の高い森林土壌を有する森林の維持・造成を推進する」とされ、全国森林計画（平成30年10月閣議決定）では「ダム集水区域や主要な河川の上流に位置する水源地域周辺の森林並びに地域の用水源として重要なため池、湧水地、溪流等の周辺に存する森林は、水源涵養機能の維持増進を図る森林として整備及び保全を推進することとする」とされています。

その他にも、平成26年（2014年）に制定された水循環基本法第14条には、「国及び地方公共団体は、流域における水の貯留・涵養機能の維持及び向上を図るため、雨水浸透能力又は水源涵養能力を有する森林、河川、農地、都市施設等の整備その他必要な施策を講ずるものとする」とあり、森林の水源涵養機能を高めるための取組みの必要性が明記されています。また、各森林には、地域の状況や地形、地質等の諸条件に応じて複数の機能の発揮が期待されますが、中でも水源涵養機能は、多くの森林において発揮が期待される機能です\*。

こうした事情を踏まえ、水源の森林づくりに取り組む多くの皆様が、森林づくりに関する作業と森林の公益的機能の発揮との関係についての理解を深め、水源の森林づくりの活動が適切かつ有益なものとなるように、本ガイドブックを取りまとめました。水源涵養機能の発揮に留意した作業の事例や、各作業に対する理解を深め、現場に合わせた応用を進めるため、最近の森林の研究で明らかになったことや、先進的な取組事例における有用な情報を盛り込んでいるのが特徴です。

まず第1章（本章）で、本ガイドブックの目的と日本の森林の歴史的経緯をご紹介します。次に第2章で、水源の森林づくりの基本的な考え方と望ましい森林の姿を例示しています。第3章では、第2章に係る科学的な根拠を森林内の水の動きに着目して解説しています。第4章では、水源の森林づくりに関する作業の留意点を解説しています。また、どのような作業が必要かを確認するための「森林の状態チェックシート」も掲載しています。先行的な取組事例は第5章に、研究論文やガイドブックなどの文献は第6章で紹介しました。

本ガイドブックが、皆様の水源の森林づくりの活動を、より効果的にするうえで参考になれば幸いです。

\* 「森林と生活に関する世論調査」や「森林資源の循環利用に関する意識・意向調査」等における「森林に期待する役割」として、「水資源を蓄える働き」は昭和55年以降常に上位3位までに入っている。



## (2) 山地荒廃と復旧の歴史について

平成 29 年（2017 年）現在、日本の森林面積は国土面積の 3 分の 2 にあたる約 2,500 万 ha ですが、過去には現代よりも森林が少なく、荒廃していた時期もありました。

時代をさかのぼってみると、幕末に生じた混乱に対応するために、多くの藩が森林を伐採することで資金を調達しました。さらに、明治政府が進めた国有林の民間への払い下げや、民有林の伐採自由化が過剰伐採や乱伐などを引き起こし、これらも森林を荒廃させる原因となりました。

このような問題を受けて、明治 30 年（1897 年）に森林法が制定され、保安林制度の創設などにより、森林の伐採が本格的に規制されることになりました。その後、明治 44 年（1911 年）に「第 1 期森林治水事業」が始まり、荒廃地を復旧し、再生するための取組が計画的に行われるようになるなど、山地の荒廃を防止するための動きが進みました。

しかし、戦中は戦争の拡大に伴い軍需物資として、戦後は復興のために、大量の木材が必要とされました。このような事情で生じた戦中・戦後の森林の大量伐採の結果、日本国内の森林は再び荒廃し、昭和 20 年代から 30 年代にかけて、台風や豪雨により、多くの土砂災害や水害が発生しました。

このような中、昭和 20 年代には、造林事業が公共事業に組み入れられることで、造林が積極的に推進されるようになりました。さらに「森林法」の改正に伴い、森林計画制度が創設されるとともに、民有林の適正伐期齢未満の伐採が許可制になるなど、森林を適正に維持管理するための仕組みが整備されました。



写真：明治期のはげ山



### (3) 拡大造林政策と放置山林の増大

昭和 30 年代以降、石油、ガスへの燃料転換により薪炭需要が低下するとともに高度経済成長の下で建築用材の需要が増大する中、薪炭林などの天然林を人工林に転換する「拡大造林」が進められました。それにより、人里から離れた奥山も含め、非常に広い範囲の森林が人工林へと転換されました。現在では、日本の森林の 4 割に相当する約 1,000 万 ha が人工林となっています。

しかし、昭和 50 年代に入ってから木材需要が頭打ちとなり、木材価格が下落傾向で推移する一方で、人件費や資材等の経営コストが上昇したことから、林業経営の採算性が大幅に悪化し、林業生産活動が停滞するようになりました。そのため森林所有者の林業生産意欲が低下し、さらに山村の過疎化が進むなどして、植えられた森林の間伐が行われず、主伐跡地に再造林が行われず、森林管理が十分に行われないことが課題となってきました。

最近では、国産材の需要が顕著な伸びをみせていますが、それでも林業を取り巻く状況が飛躍的に改善されているとはいえません。森林の管理が十分に行われておらず、水源涵養機能や土壌保全機能など、人にとって役立つ森林の機能が十分に発揮されていない森林もみうけられます。

近年、全国的に非常に大きな自然災害が多発し、問題となっています。平成 29 年 7 月九州北部豪雨、平成 30 年 7 月豪雨や度重なる台風などでは、水害や山地災害により地域住民の生活に大きな影響が出ました。水害や山地災害は、気象、地質や地形などの様々な条件が絡んで発生します。このような水害や山地災害を防止するための一つの手段としても、全国の水源の森林づくりを進めていく必要があります。



写真：間伐が行われなかった森林で生じた風倒木



## 第2章 水源の森林づくりに関する基本的考え方

### (1) 本ガイドブックにおける対象とする森林と水源の森林づくりの目的

日本では、拡大造林後の木材価格の低迷等により、森林に経済的な魅力を感じる人が減ってしまいました。所有者が分からなくなってしまう森林も少なくはありません。このような事情から、手入れをしたくてもできない森林が増え、全国的な問題となっています。

特にアクセスが難しい奥山などは、手入れが行われにくくなっています。しかしこのような奥山は、水源地として重要な役割を果たしています。水源の森林が健全な状態に保たれ、水源涵養機能等を十分に発揮しているかどうかは、川下への水の供給、ひいては水循環にも関わってきます。

このような状況を踏まえ、本ガイドブックにおいては、水道水源林や特に水源涵養機能の向上に対する期待が大きな森林を対象とすることとします。

森林の公益的機能の発揮が期待される保安林を中心にとっても多くの森林が対象となると考えられます。森林の持つ水源涵養機能やその機能を保持するための土壌保全機能は、下流に暮らす人々の暮らしや安全、社会・経済を守るうえで、とても大切なものです。このため、水源涵養機能の維持・向上を1番の目的にして森林づくり活動が行われている森林に限らず、木材生産や景観づくりなどを第1の目的として整備が行われている森林であっても、水源涵養機能の発揮が期待されるのであれば、対象となり得ます。

ただし、実際には、何を目的とし、どのような森林を目指すのかや、森林の状態によって、必要あるいは望ましいと考えられる作業は異なります。このことから、本ガイドブックにおける記述は、対象とするすべての森林において適用されるべきとは限りませんが、水源涵養機能や土壌保全機能の発揮が懸念され、その機能の回復を図るべき水源の森林において、水源涵養機能等の向上を図ることを目的として行う森林づくりの仕方や留意点を確認するために参照いただくことが可能です。

本ガイドブックは、そのような水源の森林づくりにかかわる皆様が、保安林の指定施業要件などの規定事項を踏まえた上で、森林が水源として果たす役割についての理解を深めつつ、水源の森林づくりの作業において活用いただくことを想定しています。



写真：階層構造が発達した溪畔のヒノキ人工林

## (2) どのような状態の森林を目指すべきか

水源の森林づくりでは、どのような状態の森林を目指して作業を進めるべきでしょうか。

平成 28 年 5 月に閣議決定された森林・林業基本計画において、森林の有する多面的機能の発揮に関する目標を定めるに当たり、森林の主な機能ごとに望ましい姿が例示されています。そこでは、水源涵養機能を発揮する森林の望ましい姿は以下のとおりとされています。

下草とともに樹木の根が発達することにより、水を蓄える隙間に富んだ浸透・保水能力の高い森林土壌を有する森林であって、必要に応じて浸透を促進する施設等が整備されている森林

このように、水源の森林においては、浸透・保水能力の高い森林土壌がとても重要です。

森林土壌の状態は、森林ごとに異なります。場所によっては、森林土壌の流出が既に深刻化している場所もあるかもしれません。間伐により森林内を明るくして樹木の下層にある植物（一般に「下層植生」といいますが、本ガイドブックでは以下「下草」とします）が生えやすい環境を作ったとしても、シカの食害によって、作業の効果が十分に発揮されないこともあり得ます。

そのため、森林ごとに、まず、どのような問題があるのかを知り、すぐに実現できる目標と、時間をかけなければ到達できない目標とを分けて考えながら、それぞれの目標実現のために必要な作業を行うことが重要です。

水源の森林づくりとして手を入れるべき森林の状態とは、図 2-1 で示すような森林です。手入れ不足の針葉樹人工林がその代表といえるでしょう。このように立木密度が高く、林内が暗く下草が生えていない森林は、森林土壌が貧弱になりがちです。これに対し、望ましい姿の森林とは、適度な立木密度で、太陽の光が林床に届いているため、下草が豊富で、水を蓄える隙間に富んだ浸透・保水能力の高い森林土壌が保持されている森林です。

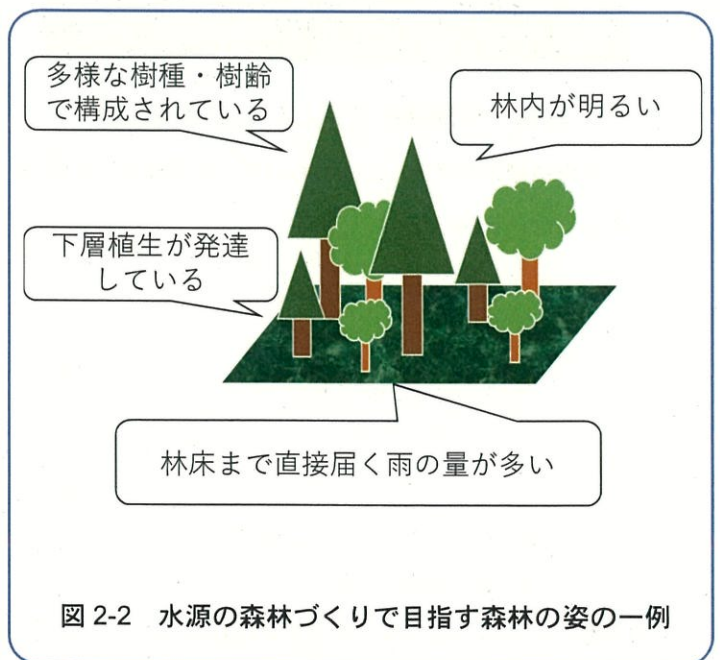
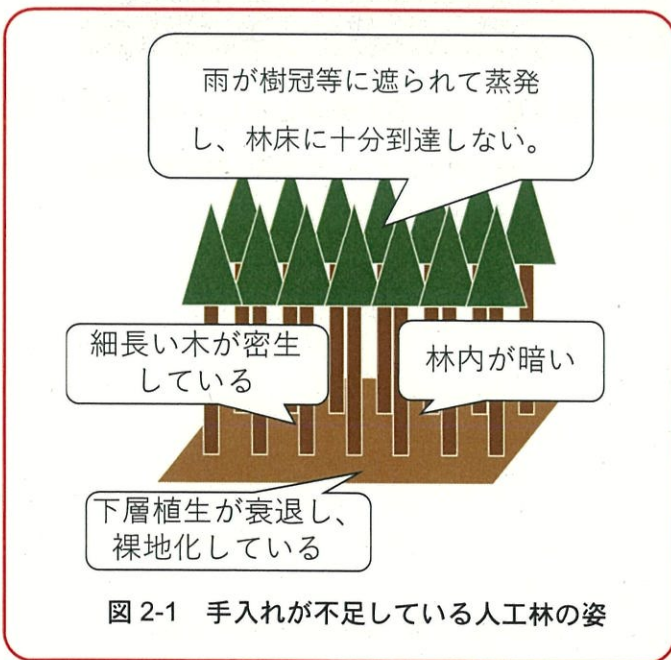




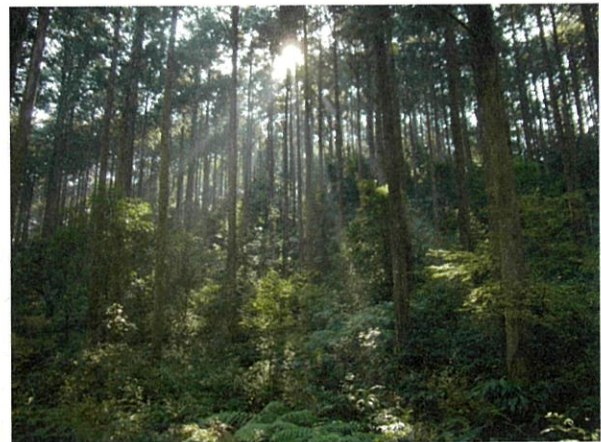
図 2-2 に示すような、広葉樹と針葉樹の、できれば複数樹種で構成された、特に下草の多い森林が、水源の森林づくりで目指す森林の姿の一例です。これは、針葉樹単一の森林だとリター（樹木から落ちた葉や枝の堆積物）が流出しやすく、針葉樹と広葉樹が混在している方が、リターが豊かで流れにくいという調査結果<sup>1</sup>によります。複数の樹種があると、それぞれに根の張り方が異なるために、総合的にみた森林土壌の保持力が高くなることも期待できます。多くの植物種の方が単一樹種の場合に比べ、多様なリターが林床に供給され、それを分解する小動物・昆虫・微生物の種類も増え、林床あるいは地表付近の森林土壌中で活発に活動できるようになり、これが森林土壌の構造を豊かにしてくれます。

また、樹冠と樹冠がこすれ合うことで、やがては「樹冠の譲り合い」（Crown shyness）と呼ばれる隙間が生じ、林内に射し込む光の量が増すと考えられます。林内の明るさが増すと、多くの種類の樹木や下草が生えやすくなります。

このような森林は長い年月をかけてできる森林ですが、そこへ向かう第一歩として、例えば、林床にリターがないのなら、リターが溜まることを目指し、下草が乏しいのであれば、下草が生えることを目指すなど、状況に応じて順次対策をとります。



写真：下層植生に乏しいヒノキ人工林  
林床に植生がほとんど認められず、水源林として望ましくない状態となっています。



写真：低木層・草本層が発達したヒノキ人工林  
適切な間伐の繰り返しにより、低木層・草本層が発達しているヒノキ人工林です。

<sup>1</sup> 具体例としては、和田覚、金子智紀(2012)「V-2 広葉樹の定着と土壌保全機能」(独) 森林総合研究所四国支所『広葉樹林化ハンドブック 2012』、恩田裕一 編 (2008)『人工林荒廃と水・土砂流出の実態』、岩波書店がある。



### 第3章 森林が有する公益的機能と水循環の仕組み

森林は、雨や雪などの降水を貯留したり、河川に流れ込む水の量を調整したりすることで、洪水を緩和し、また、河川の流量を安定させるなどの機能を有しています。また、降水が森林土壌を通過する過程で水質を浄化するという機能も、森林にはあります。これらの機能は、総称して、森林の水源涵養機能と呼ばれています。森林の水源涵養機能は、森林の中での水の動きによって生じています。

水源の森林づくりにおいてどのような作業を行えばよいのかを検討するためには、森林の中での水の動きを知ることが大切です。この章では、作業方法を検討する上で重要な森林内の水の動きと、水源の森林として望ましい森林の状態及びその理由を説明します。



写真：高齡スギ人工林

低木層と草本層が発達しており水源涵養機能が高い状態です。



### (1) 森林の中の水の動き

空から森林に降り注ぐ雨や雪は、樹木の枝葉の生い茂る部分である樹冠や幹に付着するものと、樹冠や幹に付着せずに森林内の地表（林床）に到達する「樹冠通過雨」に分かれます。

樹冠と幹に付着した降水は、そのまま蒸発する「樹冠遮断蒸発」、樹幹を通じて流れて林床に届く「樹幹流」、樹冠から雨滴として林床に落ちる「樹冠滴下雨」の3つに分かれます。樹冠通過雨と樹冠滴下雨を合わせたものを「林内雨」と呼びます。

林内雨及び樹幹流として林床に到達した降水は、森林が健全な状態であれば、多くが森林土壤に浸透します。森林土壤にしみ込んだ水の一部は、樹木や下草の根から吸収されて、植物の成長に用いられます。残りの水は、徐々に深くまで浸透して地下水となり、その一部は河川に流入します。

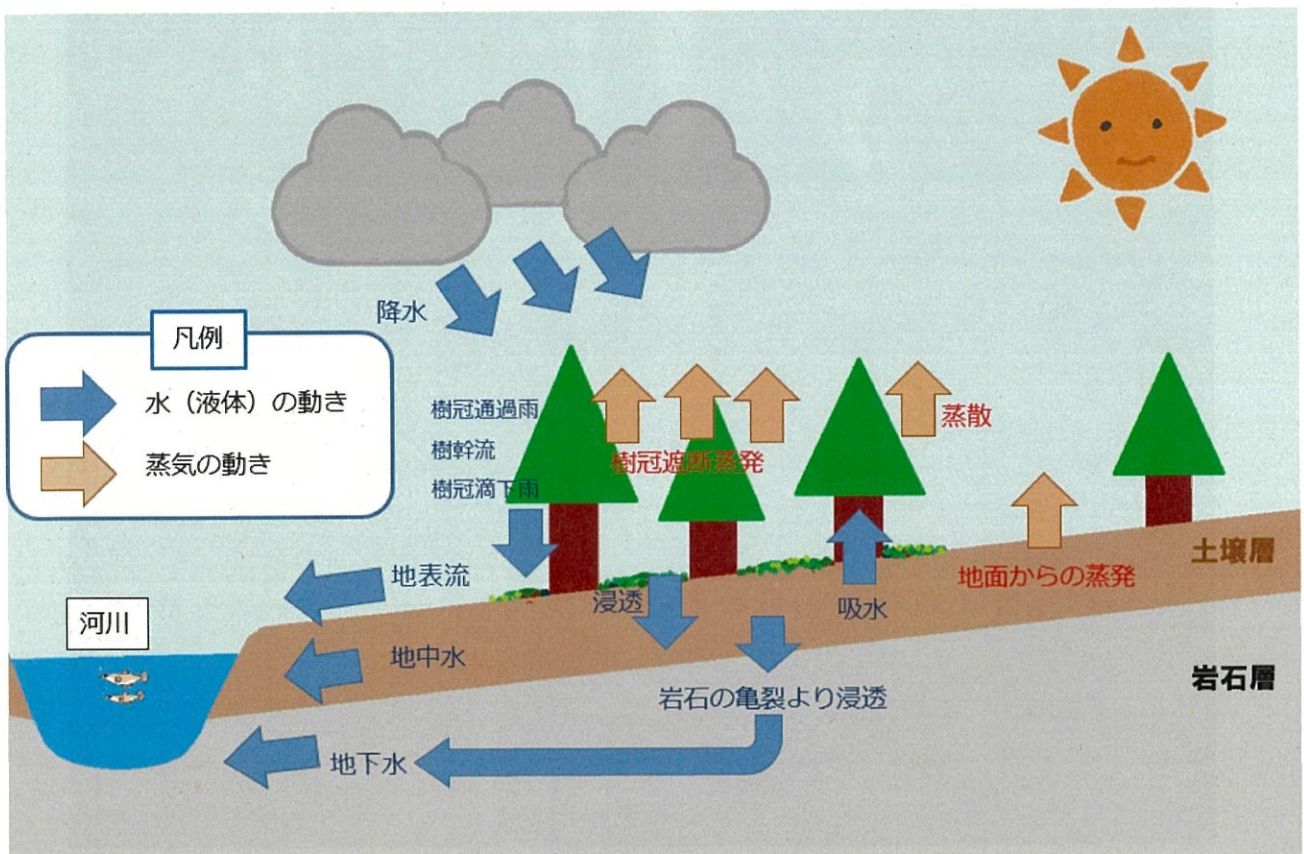


図 3-1 森林内における水の動き

ここで特に重要なのは、森林内の下草やリターに覆われた森林土壤の働きです。農地や住宅地であっても地面に降水が浸透し、下流域に流れるのは同じですが、森林は、その豊かな森林土壤や植物の根系等の働きにより、河川流量を平準化する作用を有しています。さらに、森林土壤に水が浸透する過程で水質を浄化する機能もあります。



## (2) 森林も水を消費する

### 重要ポイント

1. 森林は水を貯めると同時に、水を消費します。
2. 森林が消費する水には、樹木等の蒸散により大気に放出される水と蒸発で失われる水があります。

前ページでみたように、森林に降った雨がすべて森林土壌に浸透して地下水になるわけではありません。大気中に放出されて、地下水や河川の流水にならない水もあるのです。ここでは便宜的に、このような水の動きを「森林が消費する」と考えることにします。

実は、この森林が消費する水の量は、決して少なくありません。

森林の水消費のひとつに、樹木や下草が森林土壌中の水を吸い上げて大気中に放出する蒸散があります。植物は根から森林土壌中の水を吸い、導管を通じてその植物のすみずみに行き渡らせます。この水を利用して植物は生育していますが、余分な水分は最終的に葉の裏にある「気孔」と呼ばれる穴から大気中に水蒸気として放出されます。この作用が「蒸散」です。

もうひとつは、気孔を経由しない蒸発で、これは樹冠や幹に付着した降水がそのまま蒸発する「樹冠遮断蒸発」と、いったん地面に到達した水が林床の表面から蒸発する「地面からの蒸発」があります。

森林が混み合うと、森林が消費する水の量も多くなります。

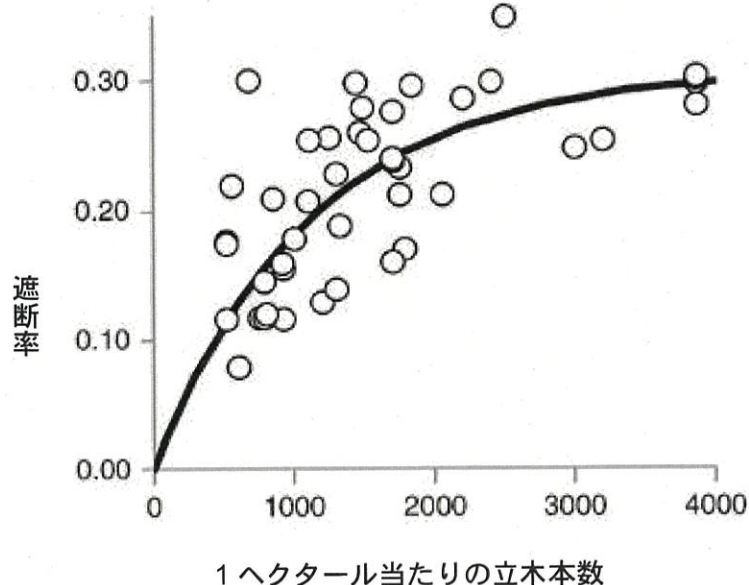
このうち樹冠遮断蒸発によって、どれくらいの水が消費されているのでしょうか。急に雨が降ってきたときには、木陰でしばらくは雨宿りができることから分かります。樹木が受け止める雨水の量は決して少ないものではありません。国土交通省の『平成 30 年版 日本の水資源の現況』によると、日本の年平均降水量は約 1,718mm です。一方、地域や降水日数などによっても異なりますが、日本国内の場合、年 200mm~400mm の樹冠遮断蒸発量の場所が多い<sup>2</sup>といわれています。決して無視できない量の降水が、地面に届かないまま蒸発しているのです。

このような樹冠遮断蒸発により、たくさんの樹木が混みあった森林では、その分、森林に消費される水の量が増えることとなります。

たとえば、日本のスギ・ヒノキ林の場合、1ヘクタール当たり 2,000本の樹木がある森林と 1,000本の樹木がある森林を比較すると、2,000本/haの森林の雨の遮断率（降水量に対する樹冠遮断蒸発量の比率）はおおよそ 24%程度、1,000本の場合にはおおよそ 17%程度になるという調査結果があります。その差は 7%ですが、年間 2,000mmの雨が降ると仮定した場合、地面に到達する雨の量は年間で 140mmもの差となります。

<sup>2</sup> 近藤純正 他 (1992) 「日本の水文気象(2):森林における降雨の遮断蒸発量」水文・水資源学会誌第 5 巻 2 号

この場合、仮に日本の人工林の面積であるおよそ 1,000 万 ha のうち 6 割が過密な人工林であると仮定して換算すると、その差は 84 億 m<sup>3</sup> に及び、2015 年の日本全国的生活用水使用量である約 148 億 m<sup>3</sup> の 6 割近い値に匹敵します。一般的に、森林は水を貯める作用を持つといわれていますが、実際には、このように蒸散と遮断蒸発という形で、森林もたくさん水を消費しています。森林には、いったん貯めた水を蒸発させてしまう作用もあるため、森林が水を貯める作用は、人間にとって常に都合良く働くとは限らないのです。



日本全国のスギ、ヒノキ林を調べたところ、1ヘクタール当たりの立木本数が多いほど、樹冠遮断蒸発量が多いことが明らかになりました。

出典：Hikaru Komatsu, Yoshinori Shinohara, Kyoichi Otsuki (2015) "Models to predict changes in annual runoff with thinning and clearcutting of Japanese cedar and cypress plantations in Japan" Hydrological Process. 29

図 3-2 遮断率と立木本数の関係



### (3) 水が浸透する森林土壌の働き

#### 重要ポイント

1. 森林内に隙間に富んだ森林土壌があることで、多くの雨水をしみ込ませ、貯めることができます。
2. 森林土壌を守るために、林床が落葉や下草などで覆われた状態をつくることが重要です。
3. 林床のリターや下草は雨滴の衝撃エネルギーを和らげ、隙間の多い森林土壌構造を守ります。

リターや下草に覆われている森林土壌には、たくさんの隙間があります。樹幹流や林内雨として林床に届いた降水は、こうした森林土壌の隙間に浸透し、貯留されます。森林土壌の隙間は、空気と水とで満たされています。降雨後には、水の占める割合が高くなり、その分、空気の割合が減ります。森林土壌中にしみ込んだ水の一部は地下水となります。

そのため、森林に浸透する水の量を増やすためには、隙間の多い森林土壌をつくり、維持することがとても大切です。そして、リターや下草は、隙間の多い森林土壌を守る働きをしています。それはどうということなのでしょう？

樹冠が閉鎖した森林では、林内雨の大半が樹冠滴下雨です。樹冠滴下雨は、降水が樹冠に付着して集まり、滴下するため、雨滴の直径が降水に比べて数倍、大きくなります。成熟した単層林では、この雨滴の落下距離は20メートルを超えるため、雨滴が林床に衝突するエネルギーは降水の数十倍にもなります。林床がリターや下草で覆われておらず、土壌表面が露出している場合は、この雨滴衝突エネルギーにより、土の粒が砕かれて細かくなり、それが森林土壌表面の隙間をふさいでしまいます。隙間がふさがっていくと、やがて、雨水が森林土壌中に浸透しにくくなってしまいます。

#### ■地表の様子と比較

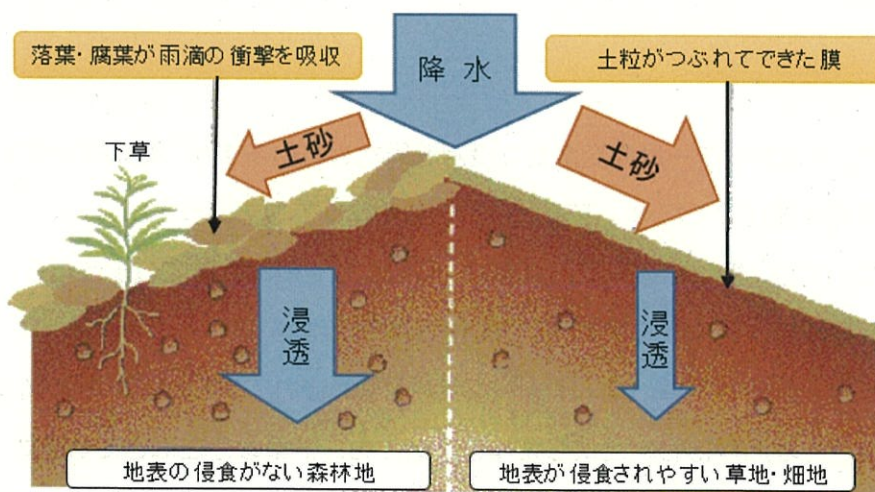


図 3-3 森林土壌の特徴



森林土壌にしみ込まずに林床を流れる水を「地表流」と言います。地表流の移動速度は地下水の移動速度より速く、一気に河川に流入します。地表流が生じると、水源涵養機能の維持に重要な土や落葉なども一緒に流出してしまい、土が大量に流れ込んだ河川が濁る原因にもなります。

実際に森林の中で人工の雨を降らせた際に、どれくらいの量まで林床に水が浸透するのか（浸透能）を調べた実験も行われています。その結果、図 3-4 と図 3-5 で示すように、下草やリターの量が多いほど、浸透能が大きくなることが明らかになっています。

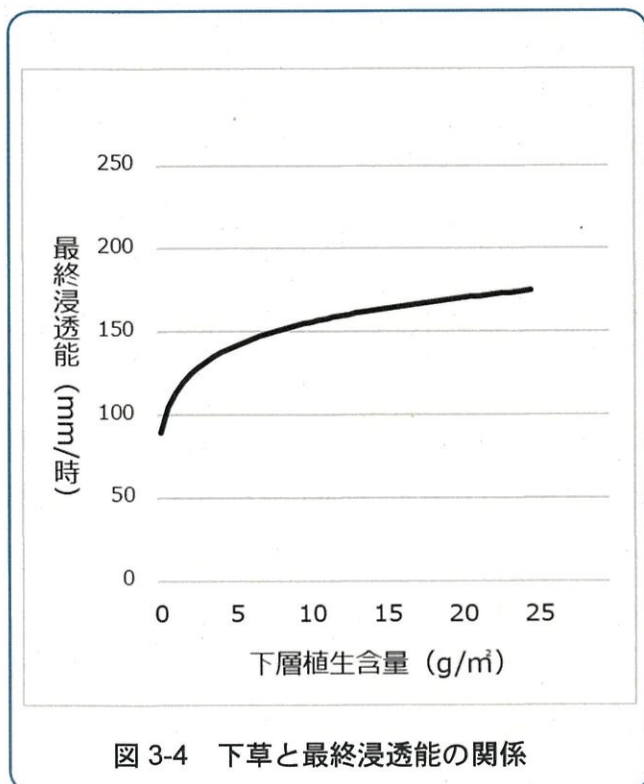


図 3-4 下草と最終浸透能の関係

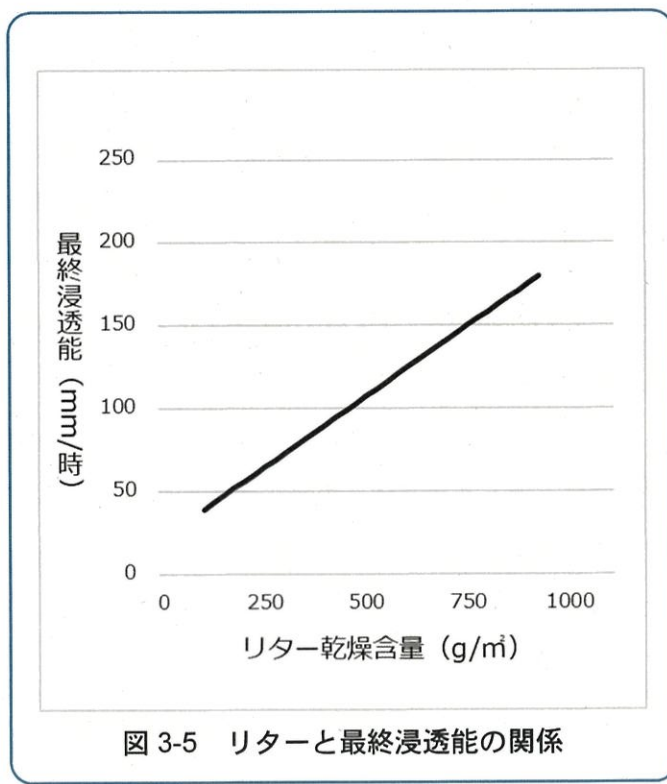


図 3-5 リターと最終浸透能の関係

(図 3-4、図 3-5 出典：恩田裕一 (2014)「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 —減災・森林・水循環—』築地書館、77 ページをもとに作成)

このように、下草やリターは大変重要な役割を果たしていますが、森林内で樹木が混みすぎていると、林床まで光が届かなくなり、下草が育ちにくくなってしまいます。

リターについては、根がある下草と異なり、風によって飛ばされてしまったり、地表流で流されてしまったりするなど、林床から失われやすい側面があります。

しっかりと根を張った下草には、リターや森林土壌が流れて失われることを防ぐ力があります。そのため、リターで地面が覆われた状態を作るためにも、下草の存在はとても重要です。

また、下草は、一年生植物など比較的短い期間で枯れてしまうものもありますが、枯れてしまった

後も、リターとして森林土壌を守り、枯れた根は土壌中に隙間を形成する働きもあります。

下草がササの場合、樹木の実生・稚樹の生育阻害を招いたり、他の林床植物の生育地を奪うなど、林業や生物多様性の観点からマイナスの影響が生じることが懸念されます。しかし、水源涵養機能の観点から見ると、下草がササであっても、雨滴による衝撃を抑え、森林土壌が失われることを防ぐことが期待できます。

なお、リターが林床を覆うようにするためには、森林に生えている樹木が落葉樹でなければならぬというわけではありません。スギやヒノキのような常緑樹であってもリターは発生します。ただし、落葉後、葉が細かくなりやすいヒノキなどの葉は、地表流で流されやすいという側面があります。樹種によってリターの量や大きさは異なり、林床をリターで覆いやすいかどうかについては、樹種によって違いがあります。



写真：ササが林床を被覆するヒノキ人工林

ササが林床を被覆しているため、生物多様性は高いといえませんが、表土は保全されます。



## コラム（その1）：落葉の持つ重要な役割

森林の水源涵養機能は、林床の状態に大きく左右されます。林床に下草が生え、落葉などのリターに覆われていれば、森林土壌に水がしみ込む能力を維持することができます。

では、林床に落葉がある状態とない状態では、どのように水の流れが異なるのでしょうか？

愛知県の森林のA（1.42ha）、B(1.19ha)の2流域において、6年間かけて、落葉の有無による影響を確認する調査が行われました。6年の調査期間のうち、後半の3年間について、B流域における林床の落葉を毎年剥ぎ取りました。その量は3年間でおおよそ44トン分にもなります。6年間、流域末端に設置した堰で流出量を計測したところ、図に示すように、森林が消費する水の量を表す損失量は、落葉を剥ぎ取った後に減少していました。落葉を剥ぎ取った後のBの3年間の比流出量（単位流域面積当たりの流出量）は、落葉を剥ぎ取らなかったと仮定した場合のBの同じ3年間の比流出量の推定値に比べて80.3mmも増えました。

さらに雨が降った後のピーク流出量（瞬間最大流出量）を見ると、Bでは、1時間当たりの流出量が0.4～1.0mmの 때가Aの1.5倍、1mm以上の時はAの1.4倍にも増えました。

これは、落葉が林内雨を遮断することにより、大雨の際などに流れ出す水の量を減らし、洪水を緩和する効果があったことを意味します。なお、通常時や渇水時の水の流れには大きな変化は観測されませんでした。落葉で遮断される水がなくなったことで、地中に浸透する水量は増えてきましたが、一方で、地面からの蒸発が剥ぎ取り前よりも増加した可能性があります。

出典：Mie Gomyo, Koichiro Kuraji (2016) "Effect of the litter layer on runoff and evapotranspiration using the paired watershed method", Journal of Forest Research, Volume 21, Issue 6

五名美江、蔵治光一郎(2016)「リター層が流域スケールの水収支と流出に及ぼす影響」水利科学 No.351

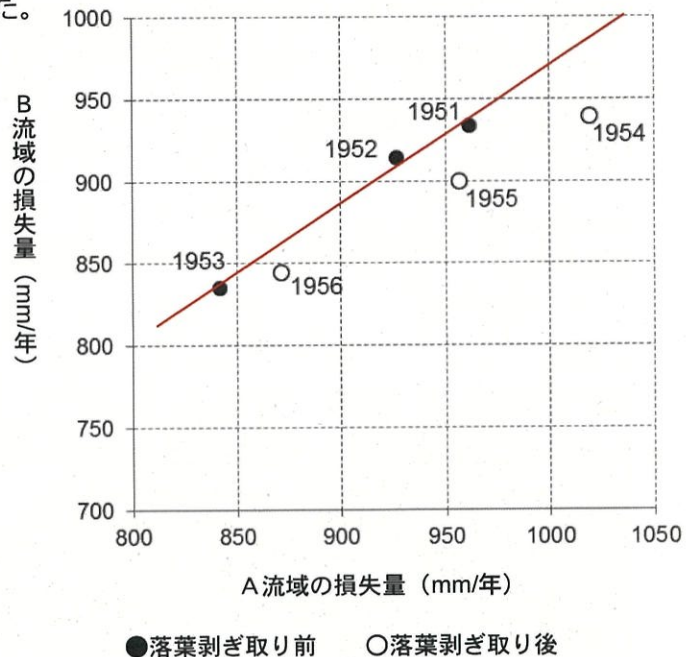


図 落葉の剥ぎ取り前後の年損失量の関係

(赤の斜線は落葉剥ぎ取りを行わない場合の年損失量の推計値。図内の数字は調査年) (出典：五名・蔵治、2016)



#### (4) 緑のダム

##### 重要ポイント

1. 森林が水循環に及ぼす作用は、まるで森林が人間の都合に合わせて河川の水量を調節しているように見えることから、その働きをダムに例えて「緑のダム」と呼びます。
2. 緑のダムの機能を発揮させるには、森林土壌の流亡を防ぐ必要があります。

森林がないはげ山では、雨水は地中に浸透しにくく、地表流になって流れ出てしまいます。日本の降水量には季節によって変動があります。そのため、雨水がすぐに河川に流れてしまうと、雨の多い季節は洪水の危険性が高くなり、雨の少ない季節では水不足が起こる危険性が高くなります。

しかし、隙間の多い森林土壌が保たれている森林では、地表に到達した雨水のほとんどは土の中に浸透していき、そのうち多くは地下水となります。地下水が流れる速さは地表流より遅いので、雨が降ってから河川に流れるまでに時間差ができます。

このように、雨水を土壌中に一時的に貯め、ゆっくりと流出させる森林の働きは、あたかも私たちが利用しやすいように水量調節をしているようにも見えます。このような森林の働きのことを「緑のダム」機能と呼びます。



写真：草本植物が多い広葉樹天然林

下草が育つなどで、隙間の多い森林土壌が保たれている場所では雨水を土の中に浸透させやすくなります。



## コラム（その2）： 森林土壌の持つ洪水緩和機能に限界はあるか

森林が貯めることのできる水の量については、排水口の開いた湯船にたとえられます。

排水口を開いたまま一定の勢いで水を湯船に入れると、時間当たりに入ってくる水の量と出ていく水の量が均衡して、湯船の水位は一定の高さで安定します。時間当たりに入ってくる水の量を増やした場合、水位は一時的に上昇しますが、やがて、再度一定の高さで安定します。湯船の中の水位が高いほど、時間当たりに出ていく水の量が多くなります。どのくらいの水位で安定するのかは、排水口の大きさに左右されます。

時間当たりに入ってくる水の量が増えても、水位が高くなるまで時間がかかるので、時間当たりに出ていく水の量が増えるまでには時間差が生じます。

同じようなことが、森林でも生じています。森林土壌に降雨が浸透し始めてから、河川に流れ出る水の量が増えるまでには時間差があります。そのため、森林には洪水の発生を遅らせる効果があると言えます。

もしも、広大な森林斜面に位置する森林土壌が、地面まですべて水で満たされている状態であると仮定すると、図のステップ B のように、浸透した降雨による水圧がすぐに伝わって地下水を押し出し、地下水由来の水が河川の流量を増やしてしまいます。これは、水道の蛇口につないだホースがあらかじめ水で満たされている場合、蛇口をひねって水を出すことで、ホースの中に水圧が伝わり、瞬間的にホースの先から水が飛び出すことに似ています。

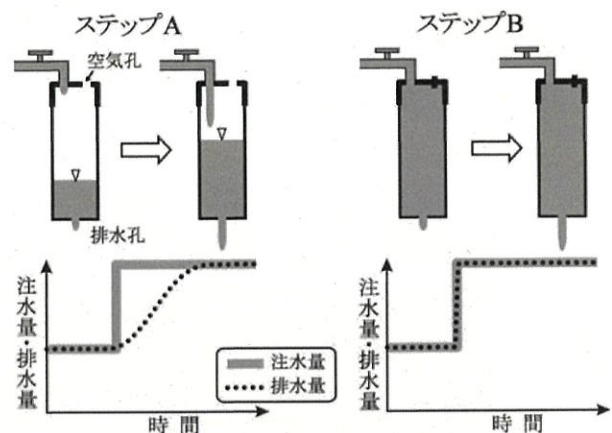


図 注水量変化の排水量変化への伝わり方

(出典：谷、2013)

ただし、そのような大雨は自然現象としてありえない現象です。現実の森林では、水で満たされていない箇所が斜面中のどこかに残り、常にステップ A の状態になりますので、どのような大雨でも森林の洪水緩和機能は発揮されるということが出来ます。

出典：谷誠（2014）「豪雨時に森林が水流出に及ぼす影響をどう評価するか」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダム科学 -減災・森林・水循環-』築地書館

谷誠（2013）「森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか？—その2 森林の取扱いから考える—」森林科学 67, pp.26-31



## 第4章 水源の森林づくりのための森林整備

### (1) 水源の森林づくりの対象とする森林の状態を確認するためのチェックシート

水源の森林づくりを進めるためには、まず、対象地の森林の状態を知ることから始めます。表土流亡など水源涵養機能を損なう現象が見られないか、樹木の本数や樹種はどうか、地面がリターや下草で覆われているかどうか、傾斜度はいかほどか、シカの侵入の有無など、森林の状態を知ること、作業の必要性、改善すべき点や必要な作業内容等を確認します。

どのような作業を行うべきかについては、対象となる森林の条件や状態によって異なり、画一的に示すことはできません。1ヘクタール内にある樹木の本数を何本にすればよいかという点についても、その土地の気候や樹種、それまでの成長の度合いなど様々な事情に左右されます。作業後に、思ったとおりの効果が得られないことや、新たな問題が見つかることもあり得ます。

そのため、一度作業を終えればそれで終わりというわけではなく、継続して森林の状態を確認していくことが望ましいと考えられます。

次ページに水源の森林づくりとしての手入れを行うべき状態かを確認するための目安として、チェックシートを示します。

実際に状態を確認するときは、チェックシートに含まれないその地域ならではの課題があることも考えられますので、チェックシートの事項にかかわらず、広い視点で現状を見る必要があります。



写真：調査枠を設定して立木を測定し、下層植生や地面の状態を観察する

**【着眼点1：森林内の状態】**

<input type="checkbox"/>	林外と比べて、林内が非常に暗い状態にある (林外に比べ明るさがおおむね5分の1以下。雨の多くが樹冠に遮られている。)	樹木対象の作業 20ページへ
--------------------------	---	-------------------

**【着眼点2：樹木の状態】**

<input type="checkbox"/>	木の本数が多くて混み入っている (はっきりしない場合は、相対幹距や林分形状比調査を行ってください。) ※具体的な調査は次ページのコラム参照	樹木対象の作業 20ページへ
<input type="checkbox"/>	木の成長が十分でない (林齢や木の高さのわりに、木の幹が細く、ひよろひよろの状態である。)	樹木対象の作業 20ページへ
<input type="checkbox"/>	獣害がある (シカなどが樹皮を剥ぎとったり、傷つけた痕跡がある。)	獣害対策の作業 31ページへ

**【着眼点3：下草の状態】**

<input type="checkbox"/>	森林内が暗く、下草が少ない	樹木対象の作業 20ページへ
<input type="checkbox"/>	埋土種子が流されてしまって下草が少ない (林内は明るい。森林土壌侵食が激しい。)	林床対象の作業 27ページへ
<input type="checkbox"/>	食害により下草が少ない (林内は明るい。周囲でシカ等による獣害被害が生じている。)	獣害対策の作業 31ページへ

**【着眼点4：林床の状態】**

<input type="checkbox"/>	リターが少ない、あるいは存在せず、地面が露出してしまっている (傾斜が急、あるいは地表流が発生している。)	林床対象の作業 27ページへ
<input type="checkbox"/>	リターがなく、地面に森林土壌流出の跡がある (土柱や、根の露出が生じている。)	林床対象の作業 27ページへ
<input type="checkbox"/>	リターがなく、地面の土の隙間がつぶれて膜で覆われた状態になっている (雨の際に土の中に水がしみ込まず、地表流が発生している。)	林床対象の作業 27ページへ

※ ( ) 内は、上述の状況を確認するためのポイント

※作業時の道づくりの留意点については、34ページの路網整備をご確認ください



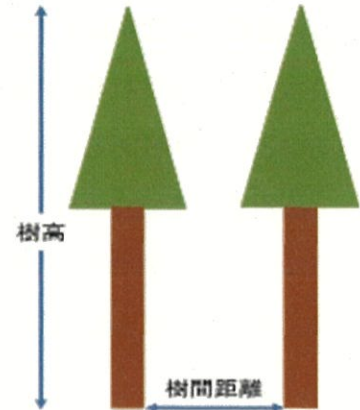
### コラム（その3）：人工林が混みすぎの状態とはどのような状態か

人工林が混みすぎであるというのはどのような状態を指すのでしょうか？

混みすぎかどうかを調べるための調査方法の一例として、人工林では、「相対幹距」の測定が挙げられます。

相対幹距とは、調査区の面積当たりの植栽木の本数から計算できる平均樹間距離と、上層木の樹高との関係の指標で、具体的には以下の計算式で算出することが可能です。

$$\text{相対幹距}(\%) = \sqrt{\frac{\text{調査区面積}(\text{m}^2)}{\text{調査区内の植栽木の本数}(\text{本})}} \times \frac{100}{\text{調査区内の上層木の樹高}(\text{m})}$$



相対幹距では、スギ・ヒノキの人工林では17~20が適切で、14~17となると過密、14未満となると超過密と考えられます。

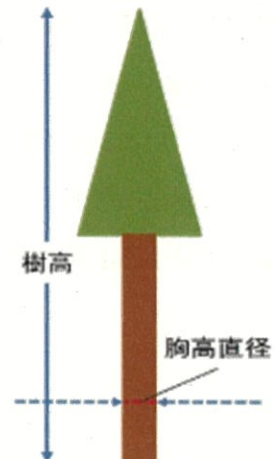
また、森林が混みすぎの状態にあると、樹木が十分な成長ができず、細い木ばかりの状態となりがちです。森林が過密な状態にあるかどうかを、平均樹高と平均胸高直径の関係で調べる指標が「林分形状比」です。具体的には以下の式で示すことができます。

$$\text{林分形状比} = \text{平均樹高}(\text{m}) \div \text{平均胸高直径}(\text{cm}) \times 100$$

スギ・ヒノキ林の場合、林分形状比が75~80以下であれば、風害や雪害に強い森林であると言えます。80を超える場合には、混みすぎであると考えられます。

なお、平均樹高を算出するためにすべての立木の樹高を測るのが難しい場合には、平均胸高直径に最も近い値の樹木の樹高で代用することも考えられます。

相対幹距も林分形状比も、100㎡程度の調査区を設定して調べてみるとよいでしょう。半径5.65mの円を描き、その範囲内を調査区とすると、おおよそ100㎡となります。



参考資料：矢作川森の健康診断実行委員会（2016）『森の健康診断の10年』

東京大学演習林出版局

## (2) 水源の森林づくりの方法・留意点

### 1) 樹木を対象とした作業（森林内を明るくし、森林の消費する水の量を減らす）

樹冠が閉じ、森林の内部が暗い状態では、樹冠遮断蒸発により地面に直接落ちる雨の量も少なくなり、地面に浸透する水の量も少なくなってしまう。地面に浸透しても、樹木が吸収して蒸散により大気に放出される水の量も少なくありません。また、下草が生えなくなり、表土が流出しやすくなるなどの悪影響をもたらすことが懸念されます。

樹冠遮断蒸発や蒸散により森が消費する水を減らし、雨水が浸透しやすい森林土壌を守るという、二つの目的を実現するために、水源の森林づくりでは、森林の内部を明るくすることが重要となります。そのために必要な作業として挙げられるのが、間伐と枝打ちです。

#### ① 間伐

##### ①-1 水源の森林づくりにおける間伐

間伐によってどれだけの光が林内に届くようになるかは、林冠から間伐によって除去された樹冠の面積割合（林冠に生じた空間の割合）に比例します。したがって、下草がしっかりと生えるようにするための間伐では、樹冠をどのくらい除去するかを意識することが重要になります。このときの樹冠の面積は、樹冠を水平面に投影したときの面積（樹冠投影面積）で見ます。すなわち、樹冠を下から見上げたときの面積です。この樹冠投影面積は、樹木の幹の断面積に比例します。したがって、細い木の樹冠投影面積は小さく、太い木の樹冠投影面積は大きくなります。このことは、間伐木を選ぶ際に留意する必要があります。

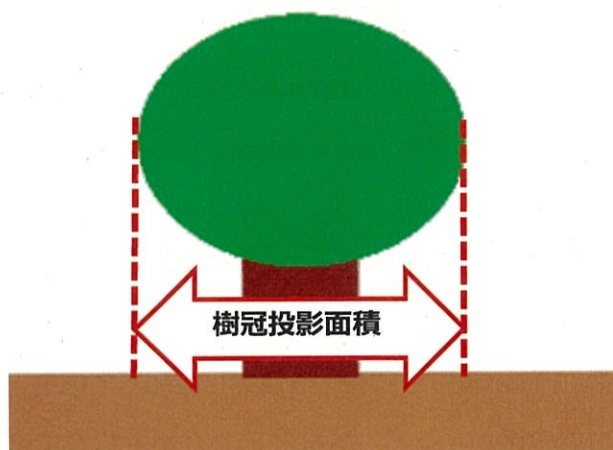


図 4-1 樹冠投影面積の考え方



太い木を間伐すれば、間伐後の空間は大きく空きます。しかし一方で、間伐後の成長が期待できない不健全な木を残しても、自然災害等に対して弱い森林になりかねません。このため、隣り合う木々の生育状況を比較し、長期的に成長の見込める、樹高が高く、樹冠も発達した木（優勢木）が健全に成長を続けられるように間伐することが重要です。そのためには、残すと決めた木の樹冠と競合する樹冠を持つ樹木を間伐木に選びます。こうした樹木は優勢木と競合するだけの大きさであるため、必然的に大きめな樹冠を除去することになります。

なお、保安林の場合には、間伐率の上限が材積率で設定されています。事前に間伐が可能な伐採量を確認するようにしてください。



写真：ヒノキ人工林の間伐後の林冠

間伐では、林冠にどのような空間ができるかを意識して選木するとよいでしょう。できた空間が小さいと、すぐに閉鎖してしまいます。林床を明るくし、その状態を継続させたいのなら、ある程度の大きさの空間をつくる必要があります。

## ①-2 間伐を行う上での留意点

間伐に当たり、正しいチェーンソーの取り扱い方法や安全な伐倒作業を行うためには、適切な知識とそれを実行するための技術を身に付ける必要があります。技能講習や安全教育などを受講し、安全な間伐作業を行うことが大切です。

(技能講習等については、林業・木材製造業労働災害防止協会のHPで公開しています。)

林業・木材製造業労働災害防止協会 web サイト

<http://www.rinsaibou.or.jp/>



写真：チェーンソー講習会（受口、追口づくり）

実際に間伐を行う上での主な留意点等について、以下に紹介します。

### a. 一度にたくさん伐りすぎるのは倒木等の危険あり

間伐が行われていない期間が長い人工林は、過密な状態が長く続いたため幹が細く、倒れやすくなっている危険があります。この状態を解消するためには間伐が必要ですが、森林の樹木の本数を急激に減らしすぎると、風害や雪害等による倒木被害や折損被害が発生しやすくなる問題があります。

台風などで、大量に倒木が発生してしまうと、その部分が皆伐されたような形で樹木が失われて



しまうこともあります。

特に、台風常襲地域など風害が生じる可能性の高い場所や、雪が積もりやすい場所では、あまり多くの樹木を一度に伐採することは望ましいことではありません。望ましい間伐本数は場所によって異なります。間伐は、その地域の気象状況、地形・地質や森林の状態などを考慮して、慎重に行う必要があります。また、間伐後に下草が森林土壌を被覆する状態がどのように変化するかを調べること等により、その森林において望ましい本数を探っていくとよいでしょう。

#### **b. 伐倒する時には要注意**

間伐のような伐倒作業は、森林整備の中でも特に危険を伴う作業です。死亡事故が発生することもあります。そのため、実際の作業の際には細心の注意を払うことが必要です。

間伐を行う際には、かかり木という問題が生じることがあります。かかり木とは、伐倒した木が隣の立木に引っかかり、倒れ切らずに不安定な状態になってしまうことで、過密な森林での伐倒作業で起こりやすい問題です。かかり木が生じると、それを処理するときに事故が発生したり、放置すれば何かの拍子に倒れることで思わぬ事故が発生したりします。

かかり木が生じたときは、けん引器具を使って安全を確保した方向に倒すなど、慎重な処理をしてください。

また、広葉樹は幹がまっすぐではなく、枝が四方に伸びていることから重心が分かりにくく、どちらに倒れるか予測がつきにくいので、伐倒する際には高度な技術が必要となります。さらに、1本1本の形状が異なり、樹種によっても、堅い、粘りがあるなど性質が異なるので注意が必要です。伐倒時に、縦割りが生じたり、倒れるときねじれたり、枝が跳ねるなどの予想外の動きが生じることもあります。



写真：チルホールによるかかり木処理

## コラム（その4）：水源の森林づくりで求められる間伐量

間伐は、混み合った森林において、樹木を間引く作業です。間伐を行うことで、森林内が明るくなるので、樹木は成長しやすくなり、下草も育ちやすくなります。一般的な間伐では、直径や樹冠の大きさなどから長期的に成長の見込める、樹高が高く、樹冠も発達した優勢木を残すように伐採します。

間伐によって森林内の樹木の本数が減ることは良いことばかりではありません。特に、ずっと整備がなされずに、線香林ともいわれるような、成長が悪く細い木ばかりの森などは、風害や雪害などで、とても樹木が倒れやすくなっており、急に木の本数が減ると一時的に倒木の危険性が高まってしまいます。

また、間伐によって急に環境が変わることにより、樹木もストレスを感じ、害虫に対する樹木の抵抗力も低下するといわれています。特に害虫被害については、樹木を枯らしてしまうだけでなく変色やシミなどを生じさせてしまうことから、木材の売値にも大きくかかわります。

そのため、一般的には、間伐は本数で3割程度まで行われることが多いと考えられます。

一方で、水源の森林づくりでは、下草を発達させて、水が浸透しやすいように林床の状態を改善することの優先度が高く、非常に混み合っている森林において、下草が育ちやすい状態になるくらい林床を明るくするという観点でいうと、下図に示すように、本数で3割程度の間伐では不十分であり、4割以上の間伐が必要とされる研究結果もあります。

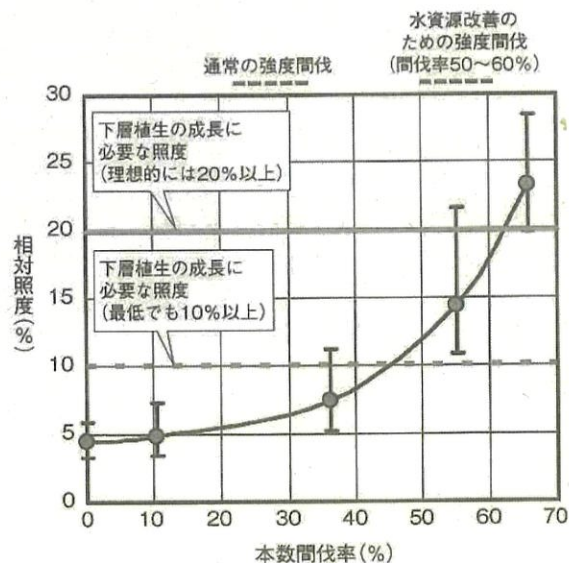


図 相対照度と本数間伐率の関係

出典：恩田裕一（2014）「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』築地書館



## コラム (その5) : 間伐によって、森林が消費する水の量がどのように変化するか

これまで見たとおり、森林は水を貯めるだけでなく、水を消費してしまいます。では、間伐を行い、森林内の環境が変わることで、どのように森林が消費する水の量が変わるのでしょうか。

9 ページに示すように、森林は、間伐を行うことで樹冠遮断蒸発の量が減ることが期待されます。

また、木々は根から吸収した水分を「蒸散」という形で大気中に放出していますので、間伐することで「蒸散」によって消費される水の量が減ることも期待されます。

一方で、森林の内部が明るくなり、地面にまで光が届くようになると、その分、地面からの蒸発量が増えるのではないかと考えられます。地面からの蒸発量の増加量が、森林が消費する水の量の減少量よりも大きければ、間伐は、森林の水を貯める機能にとってマイナスの効果をもたらすかもしれません。

では、間伐を行うことで、蒸散量と地面で蒸発する水の量はどのように変化するのでしょうか。

栃木県佐野市の唐沢山において、本数で 50%の間伐の効果を調べた結果によると、年間の蒸散量は、441.0mm (間伐前) から 272.1mm (間伐後) と約 170mm も減少しました。また、同じ場所で、年間の地面からの蒸発量を測ると 124.0mm (間伐前) から 245.0mm (間伐後) へと約 120mm 増えていました。つまり、樹冠遮断蒸発量の減少量を計算に入れなくても、間伐による地面からの蒸発量の増加量より、森林が蒸散によって消費する水量の減少量が 50mm 多かったこととなります。

間伐により、樹冠遮断蒸発量も減少しますが、それだけではなく、蒸散量と地面からの蒸発量の合計も減少することがわかりました。このことは、間伐による、森林が消費する水量 (樹冠遮断蒸発量及び蒸散量) の減少量は、地面からの蒸発量の増加量よりも大きいということであり、間伐が水源涵養機能の向上に資することがわかりました。

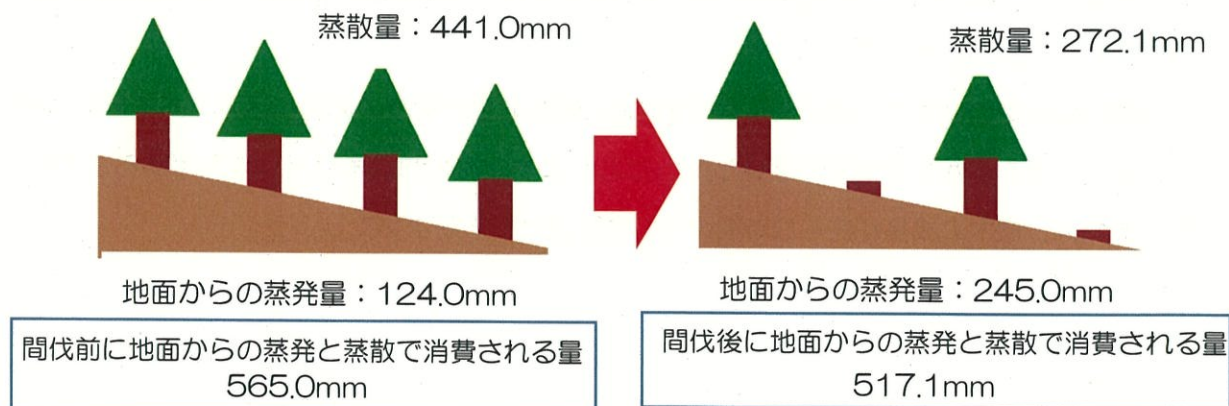


図 : 50%間伐前後での蒸散及び地面からの蒸発による水消費量の違い

出典 : Xinchao Sun et al.(2014)"The effect of strip thinning on tree transpiration in a Japanese cypress",Agricultural and Forest Meteorology 197.

Xinchao Sun et al.(2015)"The effect of strip thinning on forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation",Agricultural and Forest Meteorology 216.

## ② 枝打ち

### ②-1 枝打ちとは

森林内を明るくして、林床に届く雨水を増やす間伐以外の作業として、枝打ちが挙げられます。

枝打ちとは高木の下枝を幹から出たところで切り落とす作業です。スギ・ヒノキの人工林などにおいては、節の少ない良質な木材を生産することが主な目的となる技術ですが、水源の森林づくりにおいても、樹冠遮断蒸発量を減らして地面に直接到達する雨水を増やすほか、林内を明るくしたり、枯れ枝から侵入する病虫害を防止する効果が期待できます。



写真：枝打ちの様子

間伐不足で過密な状態になっている森林では、枝打ちよりも間伐した方が高い効果が得られると考えられますが、間伐本数が多すぎることが懸念される場合で、枝を落とすことで林内が明るくなると期待できる箇所では、枝打ちを併用して調整することが一つの手段となります。

### ②-2 枝打ちを行う上での留意点

枝打ちを行うのであれば、一般的には早春の新芽の吹き出す前頃までと、紅葉の始まる頃から雪の降る頃までの時期が実施に適切な時期となります。実際には、地域的な事情も考慮して行う必要があります。新芽が芽吹く前に樹幹内を水が動き出すため、関東以南では3月より前に作業を行うとよいでしょう。一方、東北や北海道など雪の多い場所では、積雪により春先の作業は難しいため、秋の早いうちに行うこととなります。

新緑の頃以降の樹木の生育が盛んな時期には、細胞分裂や樹液の流動が活発であるため、病原菌の侵入などの悪影響が生じやすいという懸念があります。将来的に木材として利用することを考えるのであれば、樹木の成長が盛んな時期の枝打ちは避けた方がよいでしょう。



## 2) 林床を対象とした作業（雨水が浸透しやすい森林土壌をつくり、守る）

間伐や枝打ちで森林内を明るくすることで、下草の繁茂しやすい環境をつくることができます。

しかし、森林内を明るくするだけでは、水源の森林の整備としては十分ではないかもしれません。

対象となる森林が急傾斜地の場合には特に、雨や風などの影響により、リターが林床に残らずに失われやすいと考えられます。

また、地表流によって、森林土壌中の植物の種（埋土種子）や落葉などが流されてしまうことも懸念されます。すでに埋土種子が失われてしまった場所では、下草は容易に回復しません。このため、森林土壌の流出を止める工事を行い、リターで地面が覆われる状態をつくる必要があります。

### ① 森林土壌流出を防ぐための対策

すでに森林土壌侵食が生じているような場合は、表土の移動を防止するための取り組みが必要です。森林土壌侵食が生じているかどうかについては、林床において土柱が生じていたり、樹木の細根が露出しているかどうかが目印になります。



写真：林床の土柱と段差

雨滴衝撃による表土流亡によって、小石を頭に載せた土柱と落枝の下の段差が生じています。



写真：細根の露出

表土流亡でヒノキの細根が露出しています。雨滴衝撃だけでなく、地表流が発生したと考えられます。

林床にリターがない場合、降雨時に雨水が集中しやすい地形の部分では、地表流により流されてしまっていることも考えられます。

このような、リターや森林土壌の侵食や流出が生じていると疑われる場合には、柵工などの森林土壌を保全するための簡易な工作物を作ることが効果的です。そのための工作物にはさまざまな種類があります。

このような工作物を作る際には、間伐で伐倒した木など、その場にある自然素材を使うことも選択肢の一つです。

### **a.丸太筋工・柵工**

斜面表土の流出を防ぐために、斜面上に、等高線状、あるいは階段状に設置する工作物です。間伐などで伐倒した丸太を使って作ることもできます。

杭を打たずに、等高線に沿って伐倒木を置くだけでも、効果が期待できます。

### **b.伏工**

降雨・凍土などによる表面侵食の防止を図るとともに種子等の流出を防ぐため、裸地面をネットなどで被う工法です。



施工前



柵工および伏工施工後

### **c.土のう積み**

網袋、麻袋などに土砂を詰めて積み上げる工法です。斜面表土の流出を防ぐなど筋工と同様の効果が期待できます。

### **d.リター捕捉工**

このほか、高木があり、リター供給が期待できるような場所では、リターをその場で保持するために、ネットなどで捕捉する方法も有効です。

特に、リター供給が多いのに堆積しないような場所で効果があります。設置後1～2年の森林土壌侵食防止効果が大きいという特徴があります。



## ② 間伐した樹木を森林内に残すことによる森林土壌流出防止

間伐後の樹木については、特に林業経営を目指す森林では、搬出のための道を整備するなどにより林外に丸太を運び出し、木材等として利用することが望ましいと考えられます。しかし、丸太を林外に運び出すことは、搬出用の道の整備を要するなどにより容易ではないこともあります。

このため、特に奥山などでは、間伐で伐った伐倒木をその林内に残す「伐り捨て間伐」が行われることも少なくありません。この伐り捨て間伐は、水源の森林づくりにおいては、決して悪いことではありません。次ページのコラムに示すように、土砂が移動することを防ぐために等高線に沿って置くなど、伐倒木を活用することによって、森林土壌流出を防止することにつながります。



写真：等高線に沿って伐倒木を置くことで森林土壌流出を防止

## ③ 下草や低木の撒種・植栽

森林土壌の流出が進んでしまった森林では、森林土壌中の種子が流されるなどして、いくら間伐等で森林内を明るくしても、下草が思ったように林床を覆わないこともあります。

そのため、草本の種を撒いたり、低木の苗木を植えるなどして、林床が下草で覆われやすくすることが必要な場合があります。その際は、地域の環境に適応して生育しやすい、施工地周辺で採れた植物の種子を使うことが考えられます。

## コラム（その6）：表土流出を防ぐ間伐木の利用の効果

間伐で伐倒した樹木の林内での置き方によっては、森林土壌流出を防ぐことができます。その効果については、置き方によって大きく異なります。間伐木の置き方による森林土壌流出防止効果の違いについて、実験が行われた事例があります。

林床植生の乏しいヒノキ人工林について、本数率で3割間伐したあと、3とおりの伐採木の置き方をして、その影響が調べられました。

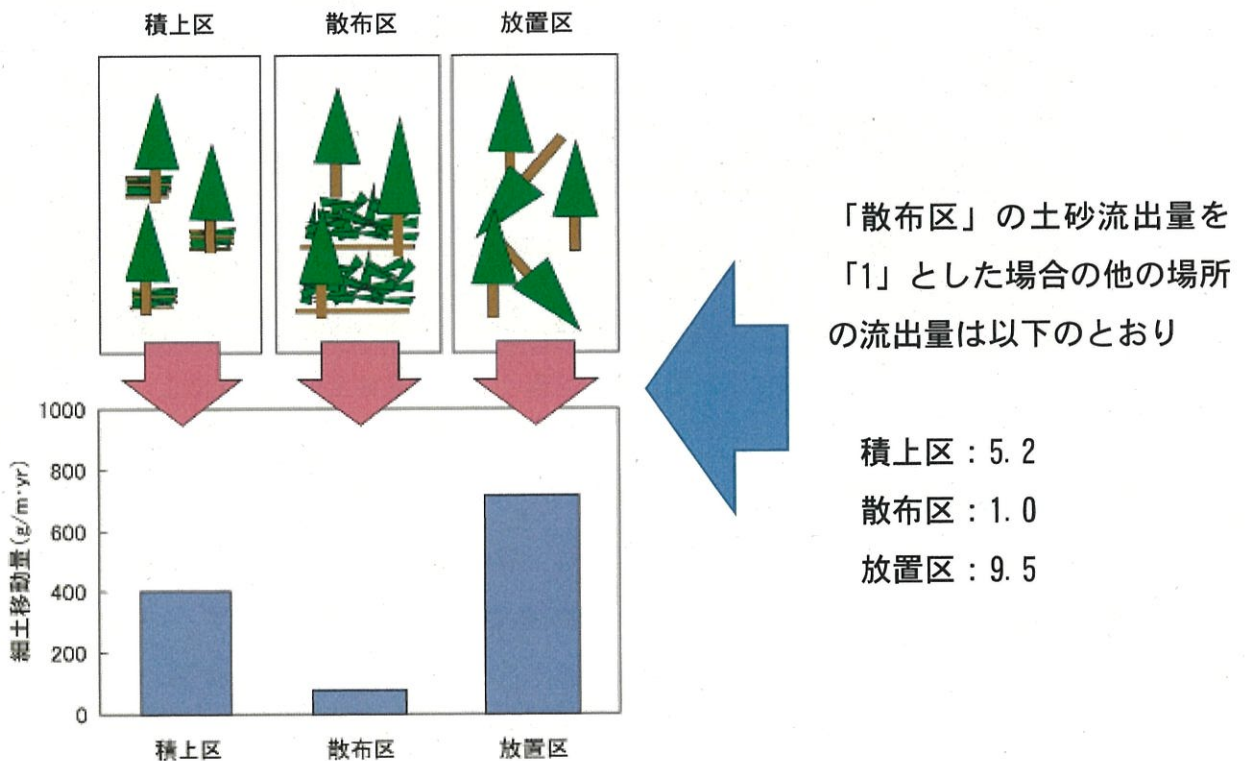
下図の「積上区」とは伐倒木の樹幹から枝葉を払い、玉切った後、枝葉とあわせて林地内に積上げたものです。

「散布区」とは、伐倒木の樹幹から枝葉を払い、樹幹は長いまま等高線方向に地面に置いて、地面には枝葉を散布したものです。

「放置区」では伐倒木をそのまま放置したものです。

その結果、1年間に移動した細土の量は、散布区が最も少なく、放置区のおよそ10分の1でした。

間伐後の樹木については、切ったまま放置するのではなく、切った後の処理の仕方を少し工夫するだけで、森林土壌を守る大きな効果が得られることを示しています。



図：間伐木の処理方法と細土移動量

出典：岐阜県森林研究所（2015）『ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために』2015年改訂版



### 3) 獣害対策の作業（全国に広がるシカ対策のための作業）

#### ① シカの獣害とは

近年、野生鳥獣による森林被害が増加し、全国で6千haの被害が報告されています。その被害面積のうち7割がシカによるものとも言われます。

被害としては、樹木の食害や剥害だけでなく下草を食害する問題も発生しています。シカの侵入により下草が失われると、間伐等で林内を明るくしたとしても、森林土壌を保護するものがなくなってしまうために、森林土壌が失われ、水源の森林としての機能を十分に果たすことができなくなるおそれがあります。

水源の森林づくりのための作業を十分に効果のあるものとするために、シカの存在には十分留意する必要があります。

間伐などの水源の森林づくりの作業を計画する際には、該当の森林だけでなく、周辺におけるシカの被害状況を確認するとよいでしょう。シカの侵入の懸念がある場合には、以下に示すように、具体的なシカ対策を行うようにしてください。



写真：シカの個体密度が高いナラ枯れ跡地

ナラ枯れで林床が明るくなったにもかかわらず、シカの個体密度が高いために林床が裸地化しています。



## ② 具体的なシカ対策

### a. シカの侵入防止（シカ侵入防止ネット、防止柵）

シカの侵入を防止するための柵を設置します。シカ食害の防御策としては最も安定した効果が得られるとともに、広い面積を一斉に守ることができる利点があります。

しかし、倒木の発生などで柵に一部でも穴が開いてしまうと、そこから侵入されてしまい、対策を講じた全範囲が食害されるおそれが生じることから、こまめな維持管理が必要です。

シカはジャンプ力が高い生き物ですので、柵の高さは2m以上が望ましいと考えられます。シカに飛び越えることができないと思わせるくらいの高さを確保することが必要です。



写真：シカ対策ネットの設置

### b. シカが好まない植物（不嗜好性植物）の導入

林床にシカが好まないシキミやアセビなどの種を撒いたり、苗木を植えるなどして、それらを林床に誘導することにより、シカが近寄らないようにする効果があります。

ただし、シカが好まないとされる植物でも場所によっては食べられてしまうこともあるなど、シカが食べる植物は地域によって違いがあるようです。シカが侵入しているにもかかわらず、食べられていない植物があれば、それを利用するとよいでしょう。シカが好まない植物のみが残っている場合には、その場所にシカが侵入している有力な証拠となります。

### c. 継続的な捕獲

シカの個体数を減らすためには、継続的に捕獲を行うことが望ましいといえます。猟銃や罠による狩猟を行うためには狩猟免許が必要ですので、地域の免許保持者等の協力を得ることなどが考えられます。また、効果的に捕獲を行うためには、地域の事情に合った方法を検討する必要があります。

※このほか、シカの対策については、林野庁などが別に詳細な対策についてのマニュアルをまとめています。具体的なマニュアルについては、巻末の資料編をご覧ください。



## コラム（その7）：シカによる影響

地表を覆う下草やリターなどによる林床の被覆率が小さいほど、森林土壌の侵食は大きくなると考えられます。では、シカによって、下草が失われることで、林床にはどのような影響が生じるのでしょうか。

神奈川県東丹沢堂平地区のブナ林において、シカによって下草が衰退した場所と下草が維持されている場所における地表流にどのような影響が生じるのかについて、調査が行われました。

この調査は、調査区を4か所設置し、そのうち、2か所はシカ害を防ぐための植生保護柵の内側に設置し、もう2か所については、植生保護柵がない状態で行われました。

シカの被害が少なく、林床の被覆率が大きい場所では、地表流流出率\*は小さいものでしたが、下草がほぼ失われた場所（No.3）では、地表流流出率は非常に大きいという結果となっています。植生保護柵に守られて下草が残っている場所（No.2）では、安定して地表流流出率は小さいままでした。植生保護柵に守られた場所（No.1）では、調査開始時点では被害が生じていたものの、下草が再生するにつれて、地表流流出率は小さくなっています。

\* 地表流流出率 = 地表流流出量 / 樹冠通過雨

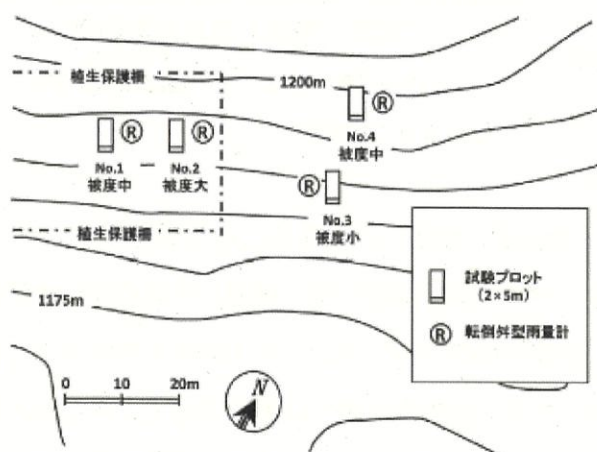


図 試験プロット配置図

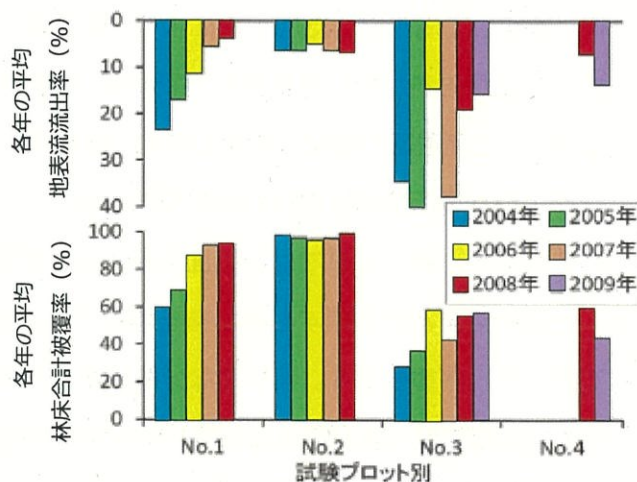


図 林床被覆率と地表流流出率の関係

出典：海 虎、石川 芳治、白木 克繁 他（2012）「ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響」日本森林学会誌 94 巻 4 号

#### 4) 林内における道づくり

森林づくりのためには、作業現場に行くための道づくりが必要となることがあります。林内の道づくりは、樹木の伐採、除根や、路面を作るための切土や盛土など、地形の改変が伴います。その際、土砂流出や濁水の発生などの周辺環境への影響も考慮する必要があります。

自然の地形を活かし、必要最小限の規模とするよう配慮することで、その森林にとって負担が少なく丈夫で長持ちし、維持管理も容易な道を作ることになり、道を作る作業上の安全にもつながります。

このため、実際に道づくりを行うに当たっては、事前に、入念な下調べをしておくといでしょう。道づくりの際には、以下の点に注意する必要があります\*。

##### ① 水対策について

道づくりの際には、道にかかわる水の取り扱いが極めて重要です。

水が集まりやすい場所があると、森林土壌の侵食が大きくなり、場合によっては道そのものが壊れてしまうことがあります。

道づくりの過程で、地中の水が湧き出ることもあり得、そうして湧き出した地下水により、道が崩れてしまうことがあるかもしれません。森林内に道を作る際には、たとえ遠回りになったとしても、水が湧き出ているような場所は避けなければなりません。

そのため、道づくりでは、路面に集まる水や湧水を安全、適切に処理することが重要です。

一か所にまとめて流す必要がある場合には、安全に排水できる箇所（沢、尾根）をあらかじめ決めておくことが重要です。細やかな分散排水のため、路面の横断勾配（道の左右の傾き）を水平にした上で、縦断勾配（道の登降坂角度）を緩やかな波状にする、横断排水溝を設置するなど、きちんと雨水などの排水を行う必要があります。曲線部で分散排水を行う場合には、曲線部上部の入り口部分で行い、曲線内部への雨水の流入は極力避けます。集水した水をゆっくりと流すよう沈砂池を作る場合には、周りを枝条で囲むと、濁水中の土砂流出を防ぐ効果が期待できます。また、横断排水施設の排水先には、岩石や丸太などで水たたきを設置して排水施設が壊れないように工夫することも重要です。

水の流れが発生する降雨時に作業を行うことについては、土砂や濁水が下流へ流出しやすくなるだけでなく、思わぬ事故の原因ともなりますので、できるだけ避けるようにします。

\* 森林施業の実施に当たり作設される森林作業道の留意点を記述しています。林道や林業専用道の作設については、林道規定や林道技術基準等を参照してください。



写真：路網での水対策の例

トレンチ(溝)を掘って、路面に水が滞留しないようにします



## ② 道づくりを避けたほうが良い場所について

傾斜のきつい斜面に道を作ると、山を削ったり盛ったりする量が多くなります。そのため、道づくりの際には、できる限り緩い斜面の場所を選んだほうがよいでしょう。また、道の勾配（道の登降坂角度）が大きいと、土砂の流出が起こりやすくなります。

## ③ 地形改変（切土・盛土）について

道づくりにおいては、「切土」といって斜面や高い地盤を切り取って、平らな場所を作る、また「盛土」といって土を盛ることで、地盤を高くする等の作業を伴います。切土や盛土によって作られた人工的な斜面のことを、「法面（のりめん）」といいます。このような地形改変は、できる限り小さくするように計画を立てることが望ましいです。

法面では森林土壌侵食が生じやすくなるため、対策が必要な場合があります。法面で森林土壌侵食が生じにくくするように、草や低木などで緑化を行うとよいでしょう。

切土については高さを、できる限り小さくすることが望ましく、また、路体については、締固めを適切に行うことで、雨水の浸透を防ぎ、土の軟化を防ぐ効果が期待できます。

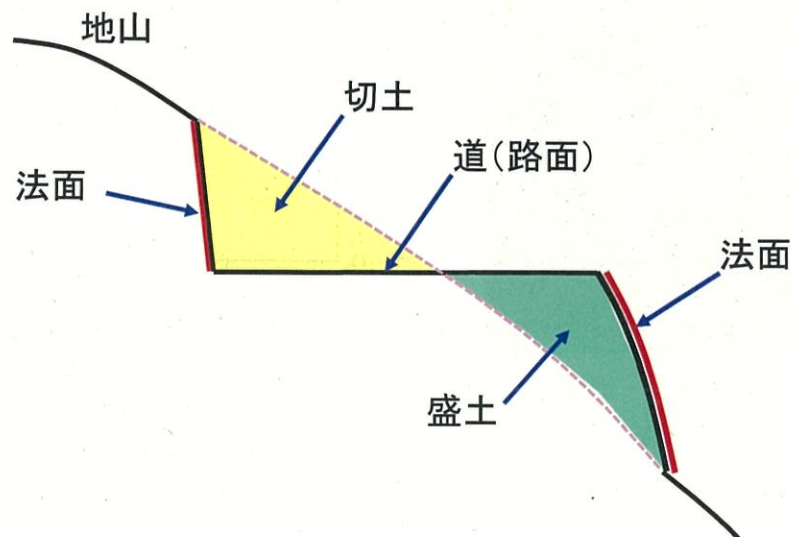


図 4-2 道づくり関連図

## ④ 道の維持管理について

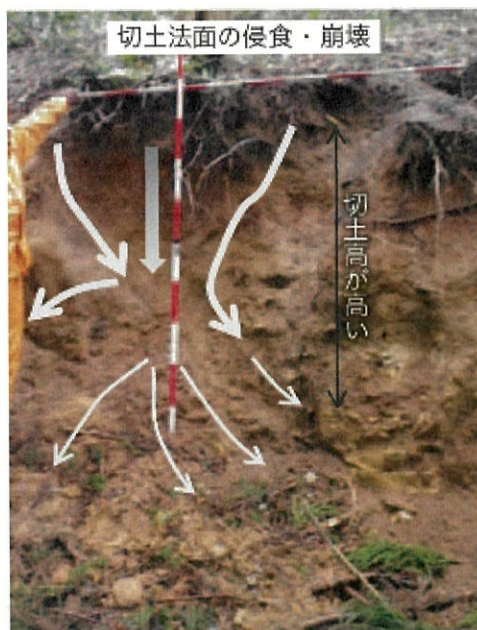
道を作った後は、切土法面などで多少なりとも侵食が発生します。道を長期間、安全に使うためには、侵食で生じた堆積土砂を除去したり、水が大量に集中する箇所を改善するなど、こまめに道をメンテナンスすることが重要です。

## コラム（その8）：崩壊しない道づくり

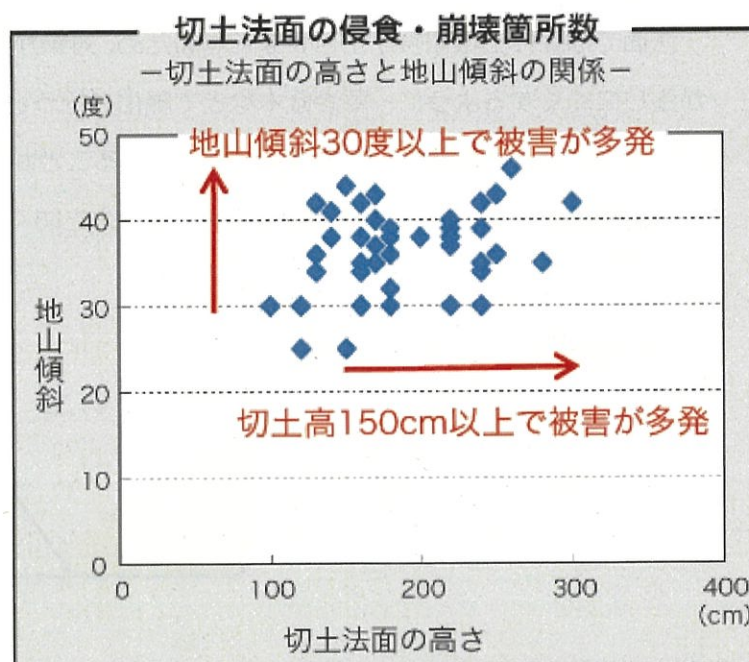
道づくりに当たっては、経済的、能率的であることが求められるのはもちろんのこと、地形の改変を伴うことから、土砂や濁水の流出などによる周辺環境への負荷が少ないことも求められます。

切土法面は、侵食・崩壊を続けることで、大量の土砂発生につながります。切土法面の崩壊箇所を調査した結果によると、崩壊の8割以上が、切土高が150cm以上の場合に起こっています。また、地山傾斜が30°を超えると崩壊が多くみられるようになっています。

道づくりに当たっては、土砂を流出させない道づくりのための対策のひとつとして、傾斜の緩い斜面を選び、切土法面を低くしていくことに留意する必要があります。



写真：切土法面の侵食・崩壊  
(提供：森林総合研究所)



図：切土法面の侵食・崩壊箇所数  
(提供：森林総合研究所)

出典：独立行政法人森林総合研究所・石川県農林総合研究センター林業試験場・岐阜県森林研究所  
(2012)『森林作業道開設の手引き－土砂を流出させない道づくり－』6ページ



## 第5章 水源の森林づくりに関する事例紹介

全国の先駆的な水源の森林づくりの取組事例を4つ紹介します。

### (1) 北海道 道民の森・神居尻地区牧野跡地

場所	北海道石狩郡当別町
取組の主体	北海道
関連情報掲載サイト	<a href="http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sky/suigennomori.htm">http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sky/suigennomori.htm</a>

#### ○水源の森林づくりのいきさつ

当別町（北海道石狩郡）には約314haの牧野跡地があり、これを北海道が買い取って「道民の森」の一部としました。この場所はもともと、「道民の森」神居尻地区及び牧場南地区にそれぞれ隣接していました。この場所の43%に当たる約135haは平成15年まで牧草地として利用されていたため、道有地になってからは「道民の森 神居尻地区 牧野跡地」と呼ばれています。

牧野跡地は、長期間にわたって牧草地として利用されてきたことから、水源涵養機能が低下しているものと考えられました。一方、牧野跡地が位置する当別川流域には、札幌圏における水資源の確保のため、道有林を中心に約21,700haの水源涵養保安林が整備されています。そこで、これらの保安林と一体となって水源地域としての森林機能の回復・維持を図るため、平成20年から、牧野跡地に主に植栽による水源の森林づくりが開始されました。

#### ○水源の森林づくり活動・作業の内容

森林づくりの活動は、企業・団体が5年間の協定を締結して行っています。具体的な活動内容としては、立地条件の改善のための地拵え、郷土樹種を利用した植栽、植栽木の保育のための下刈りなどがあります。5年を超えて活動を行う場合もあり、その時は改めて5年間の実施計画を策定します。また、道民（個人）も植栽を行っており、道が山採りした稚樹を育成した苗木などを使用しています。



植栽地の様子：植栽後、数年経過している区画は、植栽木が大きく成長してきています

#### ○水源の森林づくりの状況・実績等

平成29年度末現在、15の企業・団体と協定を締結し、延べ1万1千人が活動に参加しています。植栽面積は合計で38ha、植栽本数は8万本に達しています。

企業・団体の活動は5年間の全体計画、年度ごとの実施計画書及び実施報告書によって取組の状況を確認しているほか、指定管理者が巡視を行うことにより現場の状況を把握し、必要に応じて企業・団体へ指導・情報提供などを行っています。



## (2) サントリー天然水の森

場所	熊本県上益城郡嘉島町など 15 都府県 21 箇所
取組の主体	サントリーホールディングス株式会社
関連情報掲載サイト	<a href="https://www.suntory.co.jp/eco/forest/">https://www.suntory.co.jp/eco/forest/</a>

### ○水源の森林づくりのいきさつ

地下水を汲み上げて酒類や飲料を製造する企業が、事業を持続可能にするための取組として自社工場が立地する場所の水源涵養エリアを対象に水源の森林づくりを 2003 年から開始しました。

### ○水源の森林づくり活動・作業の内容

「天然水の森」の設置に当たっては、Research (森の特徴・状態・課題の調査)、Plan(森に適した中長期的な活動計画立案)、Do (各専門家による整備作業)、Check (結果の検証)、Action (改善点の抽出、再調査の検討) の R-PDCA サイクルに基づき、まず、水文、地形・地質、気候、植生、土壌、鳥類など、多様な分野の調査を行ったうえで、整備方針 (ビジョン) を立案しています。ビジョンでは、その土地の森林で確認された課題と解決策を整理して、実際に森林整備を行う森林組合等に提示しています。

ビジョンを達成するための課題には、放置人工林対策のほか、シカ害対策や竹林繁茂対策などがあります。特にシカ害は、ほぼすべての「天然水の森」で対策が必要となっており、シカ柵の設置や不嗜好性植物の植栽を行っています。

シカ害が弱い場所では、野鳥が種子を運んでくるため自然に下層植生が発達します。野鳥は害虫を捕食することで、病虫害が広がることも防いでくれます。サントリーは愛鳥活動の一環としてバードサンクチュアリも設置しています。植栽をしなければいけない場合には、地域の遺伝子系統に配慮して、流域内の種苗を用いています。

森林内に作業道を作設する際には、地形や水の流れを極力改変しない丈夫な作業道を作設しています。また、こうした技術が森林組合などに定着するよう、各地へ指導者が出向いて、中堅、若手へと指導を行う人材育成のシステムづくりにも力を入れています。

### ○水源の森林づくりの状況・実績等

森林水文学などの専門家と協力して、水源の森林づくりの効果を測定しています。

当初の「工場で汲み上げる量以上の地下水を生み出す森を育む」という目的は達成され、現在は「工場で汲み上げる量の 2 倍の地下水を生み出す」という新しい目標を立てて取組を広げることとしています。



まず該当の森林の調査を行い、その土地の森林が抱える課題を調べ、その解決策を検討します。



### (3) 東京都水道局「水道水源林」

場所	東京都多摩川上流域
取組の主体	東京都水道局水道水源管理事務所
関連情報掲載サイト	<a href="https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/antei/03.html">https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/antei/03.html</a>

#### ○水源の森林づくりのいきさつ

東京都の水源である多摩川上流域は、明治期には伐倒、開墾、焼き畑などにより一部の森林が荒廃し、下流域の濁水や水質悪化が発生しました。そのまま放置すると東京市民の飲料水の安定供給が困難になることが懸念されたため、1901年に東京府が多摩川上流域の水道水源林の経営に着手しました。

現在、多摩川上流域において、その全域を見据えた森林の育成・管理により、安定した河川流量の確保及び、小河内貯水池（奥多摩湖）の保全を目指して、森林のもつ水源涵養や土砂流出防止などの働きを高めるための活動を行っています。

#### ○水源の森林づくり活動・作業の内容

東京都水道局所有の森林のうち、人工林について地元の造林業者に委託して間伐や枝打などの整備を行っています。さらに、多摩川流域全体を見据えた森林の育成・管理の視点から「多摩川水源森林隊」というボランティア団体を設立し、手入れの行き届かない民有林についても整備を行っています。

水道水源林の手入れを造林業者に依頼する際には、「水源林保全作業標準仕様書」という仕様書を作成し、下刈の際には指定した広葉樹を残すことや、伐倒木は原則として枝を払って玉切りし、移動しないように残存木の根元に横伏せすることなど、水源涵養林として配慮すべき事項を記載するようにしています。



伐倒木の横伏せの様子

間伐の際には、道沿いでない限りは搬出せずに、等高線に合わせて、横伏せを行っています。その際、きちんと枝払いをしたうえで、地面と間伐木の間に隙間が生じないようにすることで、土砂流出防止の効果を高めています。



森林管理単軌道  
(愛称：森レール)

林道などの作業路はあまり敷設せずに、管内 11 路線の森林管理単軌道（愛称：森レール）を敷設することで作業を行っています。森レールの大きなメリットとして、開設時に樹木の伐採や地形の変更などが生じにくいという点が挙げられます。

#### ○水源の森林づくりの状況・実績等

森林づくりの効果は一概には測れませんが、東京都水道局では小河内貯水池の堆砂率を水源林の土砂流出防止効果の指標の一つとしています。建設から 60 周年を迎えた小河内貯水池の堆砂率は 3% 台で、他のダムと比べても極めて低い数値を示しています。



#### (4) 豊田市水源林

場所	愛知県豊田市
取組の主体	豊田市
関連情報掲載サイト	新・豊田市 100 年の森づくり構想 <a href="http://www.city.toyota.aichi.jp/shisei/gyoseikeikaku/sangyo/1024463.html">http://www.city.toyota.aichi.jp/shisei/gyoseikeikaku/sangyo/1024463.html</a>

##### ○水源の森林づくりのいきさつ

豊田市は、現在、市域の約 7 割(約 63,000ha)と森林率が高く、そのうち約 57%に当たる約 35,000ha が人工林です。水道使用量 1 立方メートル(1 トン) 当たり 1 円を積み立て、水道水源保全事業に活用するなど、水源林整備に強い関心を持って取り組んできました。

平成 12 年の東海豪雨において矢作川上流市町村では沢抜けや土石流が発生し、市街地付近が浸水被害を受けたことなどから、流域の森林整備の必要性に対する地域住民の意識が高まっていました。平成 17 年には、周辺 6 町村と合併し、森林整備の取組みが一層広がりました。

##### ○水源の森林づくり活動・作業の内容

市内の森林を目的に応じて、木材生産林、針広混交誘導林、利用天然林、保全天然林というようにゾーニングしたうえで、いずれも水源涵養機能等の公益的機能が発揮されるように整備を行っています。

そのような森林整備を行っていくうえで、林床の明るさの確保が重要でしたが、それまで間伐が行われていない過密林では本数で 2 割程度の間伐ではあまり変わらないという課題がありました。そのため、場所ごとに間伐率を変えて、豊田市における最適な間伐率を調べるための調査を実施しました。

その結果、5~6 割の超強度間伐では風倒被害が発生することや、1,000 本/ha 未満の森林の場合には下層植生のカバー率が概ね 100%になり、1,600 本/ha 以上になると下層植生のカバー率が大幅に下がることも明らかになりました。

実際の森林整備では、立木密度をコントロールするだけでなく、将来の森の姿(目標林型)を目指した施業が不可欠となります。そのための人材育成が必要で、岐阜県立森林文化アカデミーなどと連携しながら、森づくり人材の育成に取り組んでいます。



1,000 本/ha 未満で、下層植生豊かな森林を実現

##### ○水源の森林づくりの状況・実績等

調査の結果に基づき、最適な間伐率として樹木の本数を下層植生が発達する 1 ヘクタール当たり 1,000 本未満の状態を健全ステージと定め、2038 年までに市内のすべての人工林を健全ステージに誘導することを目指す森づくり構想を策定し、取り組みを進めています。



## 第6章 資料編

水源の森林づくりを進めるうえで参考となる既存のマニュアルや手引きなどをご紹介します。

### 【全般】

神奈川県 環境農政局緑政部水源環境保全課『水源林整備の手引き』平成 29 年

### 【森林土壌流出防止】

神奈川県自然環境保全センター『丹沢大山自然再生土壌保全対策マニュアル』平成 20 年

岐阜県森林研究所『ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために』2015 年改訂版

### 【シカ対策】

林野庁『森林における鳥獣被害対策のためのガイド - 森林管理技術者のためのシカ対策の手引き』

平成 24 年

### 【病虫害対策】

一般社団法人 日本森林技術協会『ナラ枯れ被害対策マニュアル 改訂版』平成 27 年 3 月版

### 【作業道整備】

林野庁「森林作業道作設指針」平成 22 年 11 月 17 日 林整整第 656 号 林野庁長官通知

林野庁「森林作業道作設ガイドライン」平成 27 年度版（上記指針を補足するもの）

独立行政法人森林総合研究所・石川県農林総合研究センター林業試験場・岐阜県森林研究所

『森林作業道開設の手引き - 土砂を流出させない道づくり -』2012 年

## 【主要参考文献】

- 恩田裕一 編 (2008) 『人工林荒廃と水・土砂流出の実態』 岩波書店
- 恩田裕一 (2014) 「人工林の放置、荒廃による水流出への影響と、間伐による効果」 蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』 築地書館
- 岐阜県森林研究所 (2015) 『ヒノキ人工林の表土流亡を防ぐために』 2015年改訂版
- 五名美江、蔵治光一郎(2016) 「リター層が流域スケールの水収支と流出に及ぼす影響」 水利科学 No.351
- 近藤純正 他 (1992) 「日本の水文気象(2):森林における降雨の遮断蒸発量」 水文・水資源学会誌第5巻2号
- 谷誠 (2013) 「森林の保水力はなぜ大規模な豪雨時にも発揮されるのか?—その2 森林の取扱いから考える—」 森林科学 67, pp.26-31
- 谷誠 (2014) 「豪雨時に森林が水流出に及ぼす影響をどう評価するか」 蔵治光一郎・保屋野初子編『緑のダムの科学 - 減災・森林・水循環 -』 築地書館
- 独立行政法人森林総合研究所・石川県農林総合研究センター林業試験場・岐阜県森林研究所(2012) 『森林作業道開設の手引き - 土砂を流出させない道づくり -』
- 海 虎、石川 芳治、白木 克繁 他 (2012) 「ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流出率に与える影響」 日本森林学会誌 94 巻 4 号
- 矢作川森の健康診断実行委員会 (2016) 『森の健康診断の10年』 東京大学演習林出版局
- 和田覚、金子智紀(2012) 「V-2 広葉樹の定着と土壌保全機能」(独) 森林総合研究所『広葉樹林化ハンドブック2012』
- Mie Gomyo, Koichiro Kuraji(2016) "Effect of the litter layer on runoff and evapotranspiration using the paired watershed method", Journal of Forest Research ,Volume 21, Issue 6
- Hikaru Komatsu, Yoshinori Shinohara, Kyoichi Otsuki (2015) "Models to predict changes in annual runoff with thinning and clearcutting of Japanese cedar and cypress plantations in Japan" Hydrological Process. 29
- Xinchao Sun et al.(2014)"The effect of strip thinning on tree transpiration in a Japanese cypress",Agricultural and Forest Meteorology 197.
- Xinchao Sun et al.(2015)"The effect of strip thinning on forest floor evaporation in a Japanese cypress plantation",Agricultural and Forest Meteorology 216.

※この他の関連する文献につきましては、別に取りまとめている文献リストでご覧いただけます。