未定稿

今後変更が加わる
可能性があります

【解説資料】
林地における水資源涵養量（貯留機能）の簡易評価手法

－企業等の森林整備活動を支えるために－

令和 7年 11月
林野庁森林整備部治山課

公開版の解説資料とエクセル計算ツールは、林野庁のウェブサイトに**令和8年3月**に公開予定です。

目次

はじめに 3

1章 森林の公益的機能と森林づくり活動の必要性 9

1.1 森林を守ることの重要性 10

1.2 森林づくり活動の重要性 21

1.3 水に関する世界での動き 28

1.4 水資源涵養量とは 33

2章 林地からの直接流出量を算定する 39

2.1 2章の位置づけ 40

2.2 林地の直接流出量の算出方法 45

2.3 林地と裸地の比較（直接流出） 58

3章 林地からの蒸発散量を算定する 64

3.1 3章の位置づけ 65

3.2 蒸発散モデル 68

3.3 モデル計算値の検証 80

4章 林地の水資源涵養量 92

4.1 エクセル計算ツールの紹介 93

4.2 水資源涵養量の取り扱い 99

おわりに 107

謝辞 108

参考文献 109

用語説明 111

Q&A 115

はじめに

本資料の目的

森林は、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化防止、林産物の供給など、社会に寄与する多面的な機能※を有する。これら機能を安定的に発揮するためには、継続的な森林の保全管理が不可欠である。森林管理では公的主体に加え、企業等を含む多様な主体による森林づくり活動の推進がいま必要とされている。

近年、SDGs※や地球温暖化防止への関心の高まりに加え、企業に対して自然環境への影響や依存の把握と情報開示を促す国際的な枠組であるTNFD※（自然関連財務情報開示タスクフォース）の動きを踏まえ、森林づくり活動に参画する企業数が増加してきている。

本資料は、こうした企業等によるウォーターポジティブへの取組をさらに促進するため、**森林づくり活動による水資源涵養量**※を、**企業自らが簡易かつ定量的に評価**可能となる手法を策定し、提示することを目的とする。

※本手法は、概ね100ha以下の比較的狭域な森林を対象とし、企業等が実施する森林づくり活動の効果を、水源涵養機能のうち**水資源貯留機能**に特化して、個別の森林サイトごとに定量的に把握し、**“見える化”するための実務的ツール**として位置づけている。その性質上、流域単位や全国規模におけるマクロ的な評価には適さないことに留意が必要である。

※末尾の用語説明に解説あり

森林が持つ**多面的機能※の発揮**
⇒継続的な森林管理が必要

↓

企業等による森林づくり活動の増加
気候変動, SDGs※, CSR※ 等を背景に

↓

企業等の情報開示への世界的流れ
TNFD※, CDP, VWB※ 等が後押し

↓

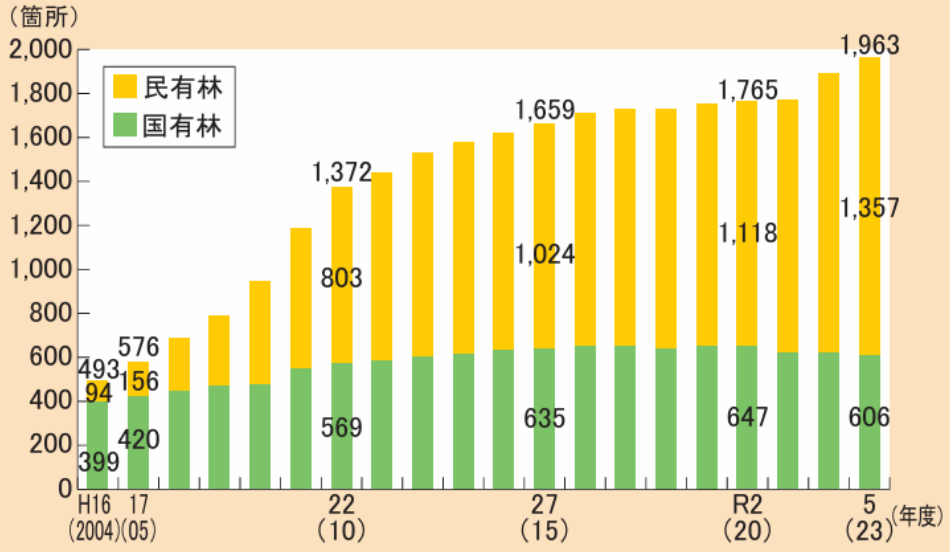
企業等の対外発信ニーズの高まり
定量評価できる指標が必要

↓

簡易な水資源涵養量※の算定法を構築
専門家でなくとも計算できる

企業の森林づくり活動が増加傾向に

資料Ⅰ－23　企業による森林づくり活動の実施箇所数の推移



注：民有林の数値については、企業等が森林づくり活動を行う森林の設定箇所数。国有林の数値については、「法人の森林」の契約数及び「社会貢献の森」制度による協定箇所数。

資料：林野庁森林利用課・経営企画課・業務課調べ。

出典：令和6年度 森林・林業白書

企業による森林づくり活動は、CSR※や自然資本保全の一環として拡大し、全国で広がりをみせている。

- CSR※活動や自然資本保全の取組として、森林づくりに関わる企業が着実に増加。
- 森林づくり活動の実施箇所数は平成16年度以降増加傾向にあり、特に令和4～5年度にかけて急増し、全国で1,900箇所超に拡大している。
- 顧客・地域住民・NPOとの協働により、地域社会との信頼関係を構築している。自社所有の森林を教育・体験学習の場として活用する事例も増加。
- 植林や下刈り、間伐など多様な活動を通じて地域の森林管理を支援。民有林・国有林双方で活動が広がり、全国的な取り組みへと発展してきている。
- 森林の多面的機能※を持続的に発揮させるために公的主体に加えて、企業等多様な主体による森林づくり活動を一層促進する必要がある。

※末尾の用語説明に解説あり

企業の情報開示に関する世界の動き

近年、国際社会ではSDGsの達成に向けた取組みが広がり、企業にも持続可能性に配慮した行動が求められている。企業活動の評価指標としてESG投資（環境・社会・ガバナンス）が注目され、投資家や消費者は企業の環境配慮や社会貢献の度合いを重視する傾向を強めている。さらに、企業が自然環境への影響や依存度を把握し、財務情報として開示することを促す国際的な枠組みとして、令和５年9月にTNFD情報開示提言が公表された。

●TNFD※（自然関連財務情報開示タスクフォース）の提言（令和5年9月）

・ 企業は企業活動における自然資本への依存度・影響度を定量評価すること
・ 生態系サービスへの影響やリスク・機会を評価し、情報開示すること
・ サプライチェーンを含む事業活動全体の見直しを促進させていくこと
・ 投資家による投資判断基準として、これら情報を開示することが重要に

●水資源を巡る新たな企業責任

・ Water Positive※：利用水量以上を地域に還元するとともに、質の改善・向上を重視
・ Water Stewardship※ ：自社に限らず、流域全体を対象にステークホルダーと協働
・ これまでのCSR※活動から、経営戦略・事業価値向上の取り組みへと変化

●国際的な共通ルールの整備

・ 世界資源機構（WRI）において VWB※ / VWBA※ が策定される
・ 水資源保全の効果を国際的に比較可能な形で算定する枠組みが構築されている
・ グローバル企業を先駆けに、算定を導入・運用する企業が増えている

●今後の展望

・ 情報開示は温室効果ガス排出だけでなく、生物多様性・自然資本・水資源へと拡大
・ 国際的な標準化と実効性ある企業行動が求められるように
・ 持続可能な社会実現に向けた企業の役割が一層重要に

※末尾の用語説明に解説あり

水源涵養機能を評価する手法構築の必要性

背景①：森林の機能を安定的に発揮させるためには継続的な森林の保全管理が不可欠

👉国や自治体等の公的主体だけでなく、企業等を含む**多様な主体による森林(もり)づくり活動の推進**が必要。

背景②：森林(もり)づくりに取組む企業の増加

👉CSR活動だけでなく、森林づくりを自然資本に関する取組みとして捉え、関与する企業が増加傾向に。

👉地域住民、NPOとの協働、企業の所有林を活用した地域貢献など多様な取組が増えてきている。

背景③：SDGsやTNFDなど世界的な水セキュリティへの関心の高まり

👉水資源保全の効果を算定するVWBAの策定と運用が開始

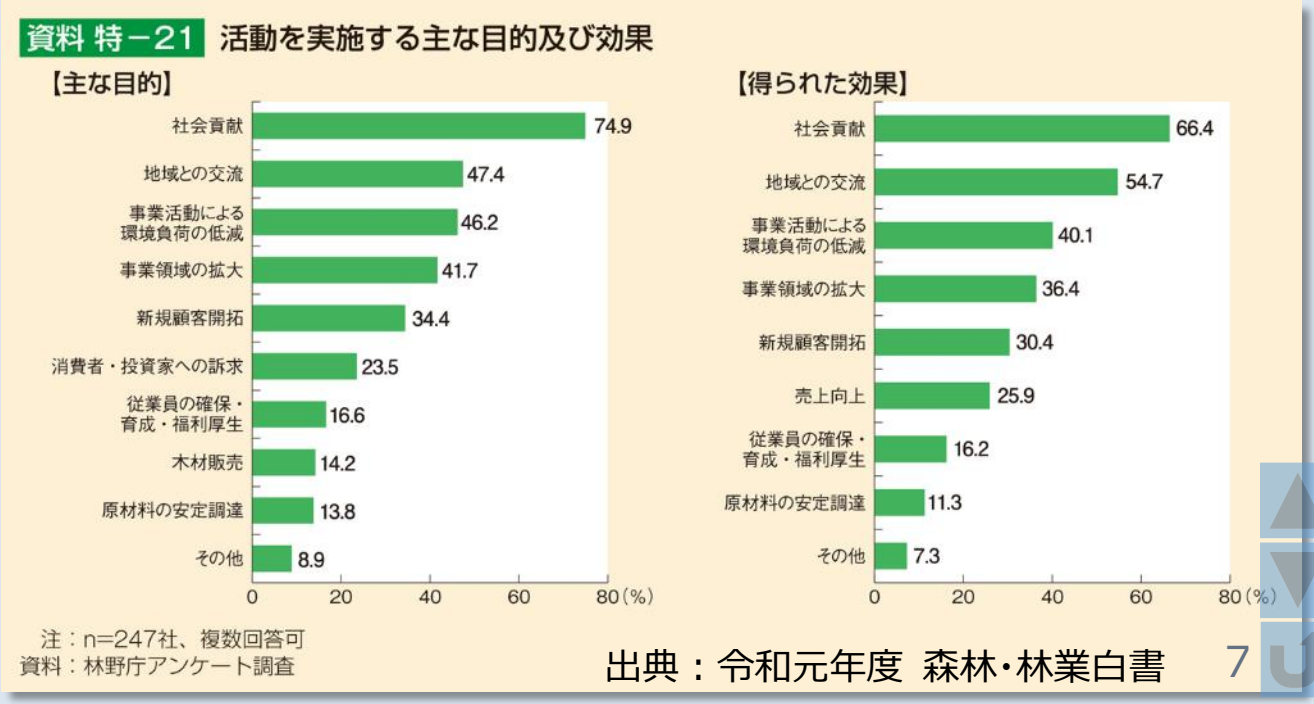
👉**国内企業等が森林の水源涵養機能を定量化し、またその量を開示することに積極的に。**

森林(もり)づくり活動の実施動機

✓ 社会貢献が最も多い

✓ 地域交流、環境負荷の低減、事業領域の拡大

- これらの背景を踏まえ、森林の機能を持続的に発揮させるために公的主体に加えて、企業等多様な主体による森林づくり活動を一層促進する。
- そのために、**森林づくりの取組みがもたらす具体な涵養効果を定量的**に示す手法を構築するニーズが高まっている。
- 水文学の知見や研究成果を踏まえつつ、専門家でなくとも利用できる**簡易な水源涵養機能の定量評価手法**を提示し、企業等の多様な主体による森林づくりを促進していく。



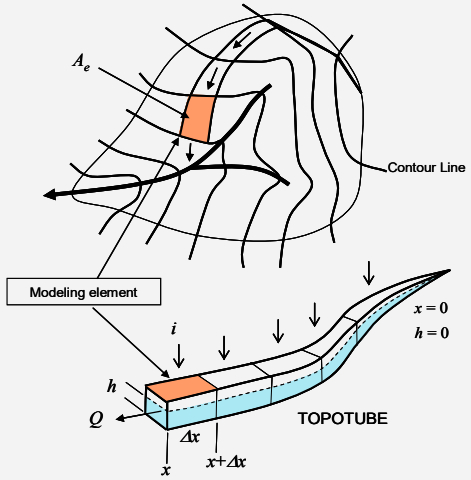
出典：令和元年度 森林・林業白書

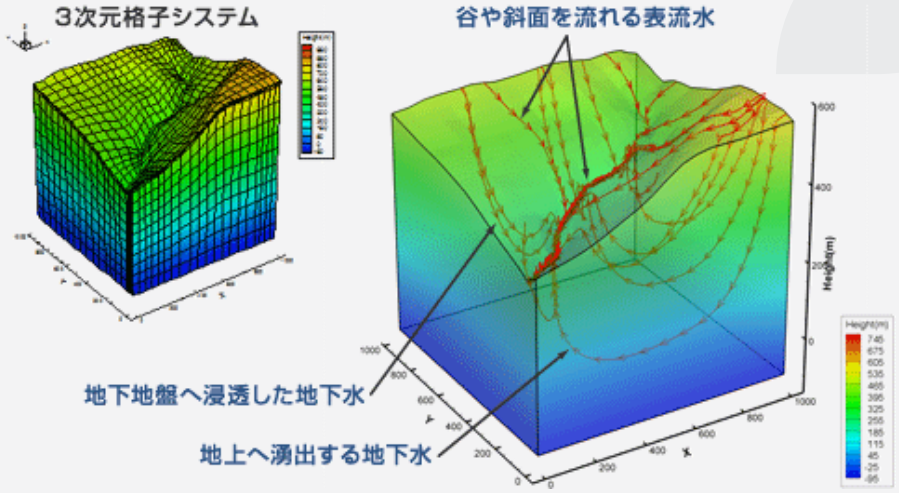
簡易な評価手法が求められる

(株)地圏環境テクノロジーHP
より引用（GETFLOWS）

現在の水文学による涵養量の評価手法は**分布型モデル**と呼ばれる**複雑なモデルが主流**で、場所ごとのデータ取得が必要となる。

精度を犠牲にせず簡易で、非専門家であっても結果が得られる評価方法のニーズが高い。





水源涵養効果の簡易評価手法

- 専門知識不要。一般の人でも評価ができる。

評価結果の活用

- 企業や自治体が森林整備活動の効果を対外的に共有。

森林（もり）づくり活動の拡大

- 多様な主体による活動の促進

1. 森林（しんりん）の公益的機能と森林（もり）づくり活動の必要性

1.1 森林を守ることの重要性

- 森林はなぜ重要で、森林を保全する理由は何か？
- 森林が発揮する多面的機能の１つ、水源涵養機能には３つの働きがある。それら機能の発揮には森林土壌の存在が不可欠。
- 森林土壌を保全することが、森林維持において重要
- 大小さまざまな孔隙（すきま）が、保水性と透水性という一見相反する機能を両立させる

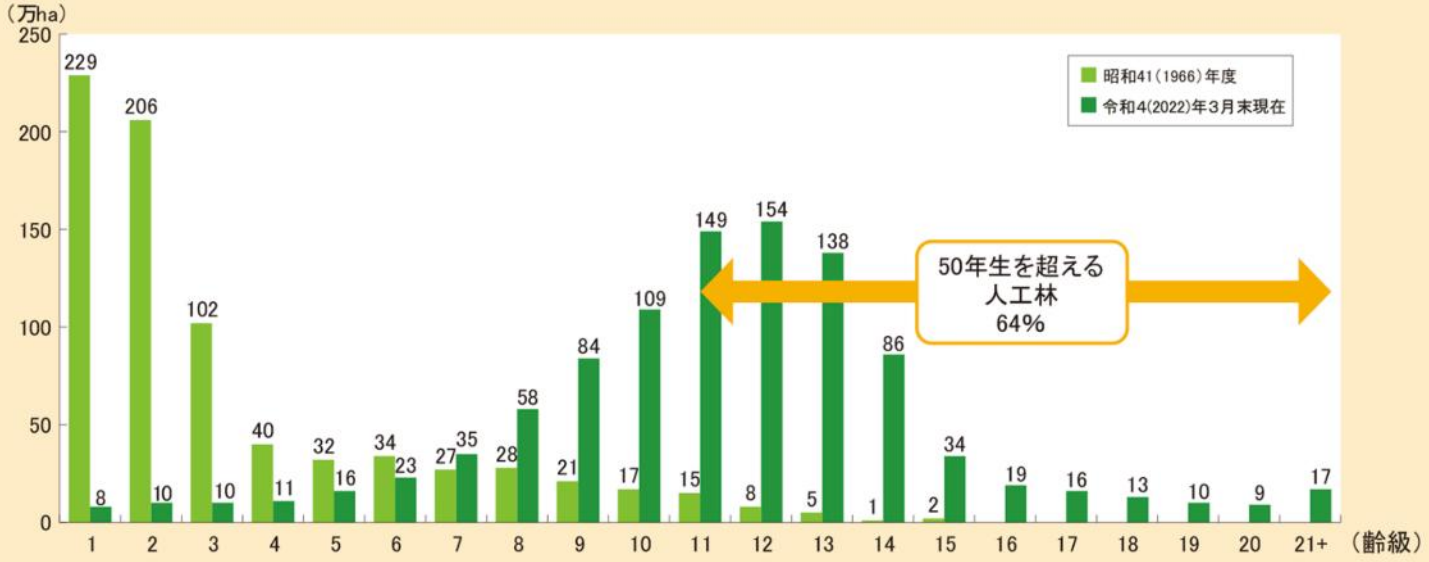
我が国の森林の現況

我が国の森林面積はほぼ横ばいで推移し、令和４年３月末時点で2,502万ha、国土面積の約３分の２が森林である。森林の約４割は人工林で、終戦直後や高度経済成長期に造林されたものが多く、約６割が50年生を超え、本格的な利用期を迎えている（資料Ⅰ－1）。

森林蓄積は人工林を中心に年々増加し、森林資源現況調査によると、令和４年３月末時点で約56億㎥、このうち人工林が約35億㎥と約６割を占める。所有形態別にみると、森林面積の57％が私有林、12％が公有林、31％が国有林となっている（資料Ⅰ－２）。私有林は、総人工林面積の64％、総人工林蓄積の72％を占めている。

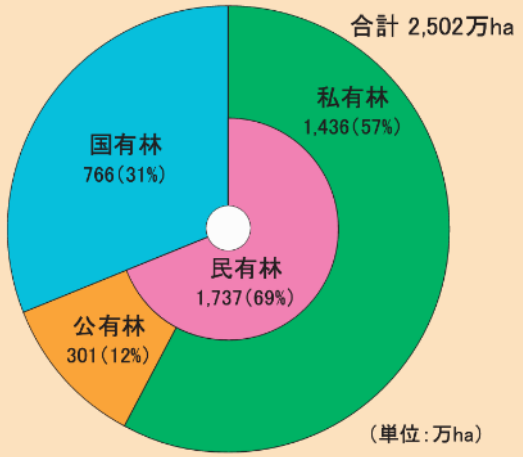
出典：令和6年度 森林･林業白書

資料Ⅰ－１　人工林の齢級構成の変化



注：「齢級」は、林齢を５年の幅でくくった単位。苗木を植栽した年を１年生として、１～５年生を１齢級と数える。
資料：林野庁「森林資源の現況」（令和４(2022)年３月31日現在）、林野庁「日本の森林資源」（昭和43(1968)年４月）

資料Ⅰ－２　森林面積の内訳



注１：令和４(2022)年３月31日時点の数値。
　２：計の不一致は四捨五入による。
資料：林野庁「森林資源の現況(令和４年３月31日現在)」

森林が発揮する機能

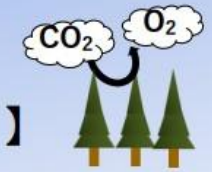
森林が発揮する多面的機能は、日本学術会議の答申において下記の８種類で分類されている。
国土の保全、水源の涵養、地球温暖化の防止、生物多様性の保全、木材等の林産物供給などの多面的機能の発揮を通じて我々の生活に様々な恩恵をもたらす「緑の社会資本」ともいわれる。

土砂災害防止／土壌保全
- 表面侵食防止【28.3兆円】
- 表層崩壊防止【 8.4兆円】等

水源涵養（かん）
- 洪水緩和　【6.5兆円】
- 水資源貯留【8.7兆円】
- 水質浄化　【14.6兆円】 等

保健・レクリエーション
- 保養【2.3兆円】
- 行楽、スポーツ、療養

地球環境保全
- 二酸化炭素吸収 【1.2兆円】
- 化石燃料代替エネルギー【0.2兆円】



物質生産
- 木材（建築材、燃料材等）
- 食料（きのこ、山菜等）　等

生物多様性保全
- 遺伝子保全　・生物種保全
- 生態系保全

快適環境形成
- 気候緩和　　・大気浄化
- 快適生活環境形成

文化
- 景観、風致　・教育　・宗教、祭礼
- 芸術　・伝統文化　・地域の多様性

資料：日本学術会議答申「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的機能の評価について」及び同関連付属資料（平成13年11月）
注：【　】内の金額は、森林の多面的機能のうち、物理的な機能を中心に貨幣評価が可能な一部の機能について評価（年間）したもの。
いずれの評価方法も、一定の仮定の範囲においての数字であり、その適用に当たっては注意が必要。

災害から国土を守る森林

1．森林は国土を保全する資源である

我が国は国土の約3分の2を森林で覆われ、森林は多面的な機能※（土砂災害防止、水源涵養、生物多様性など）を有する国土保全資源である。

2．森林による表層崩壊の防止機能※

ネット効果：地表に近い土中で樹木の根が水平に張り巡らされ、ネットのように土砂の移動を抑える。

杭（くい）効果：垂直方向に伸びた根が基盤岩や硬い地層に達し、杭のように斜面を固定し、崩壊時の抵抗力となる。

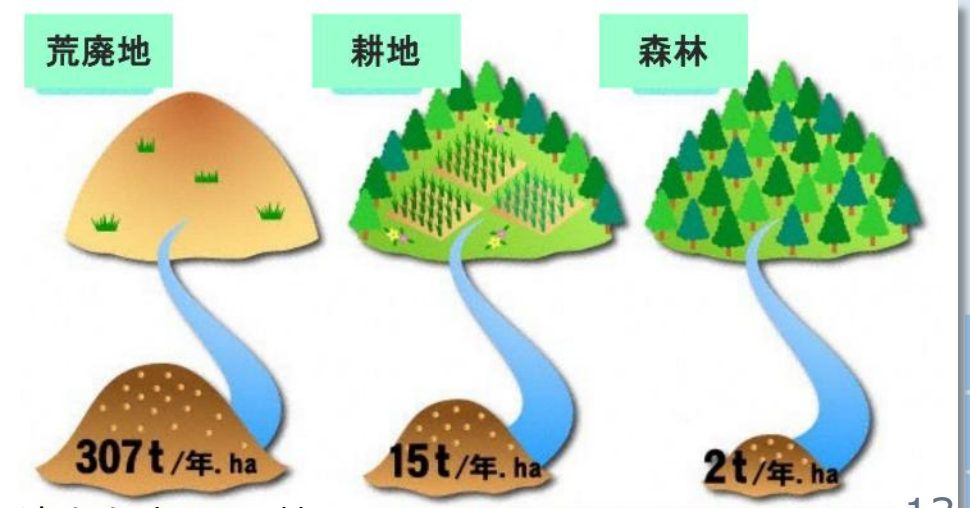
3．森林による侵食防止機能※

枝や落葉が地面を覆い、土壌の浸食や流出を防ぐ。森林からの流出土砂量は荒廃地の1/150。濁水の発生も抑制。

※樹木根系の限界

樹木の根系は一般的に1～2ｍの表層土までに存在し、それよりも深い深度には達さない。そのため、すべり面が深い位置に生ずる深層崩壊は森林で防ぐことはできない。

林野庁治山課「森林の根系が持つ表層崩壊防止機能」より引用
https://www.maff.go.jp/j/pr/annual/pdf/hyosouhoukai.pdf



流出土砂量の比較　※資料：丸山岩三「森林水文」実践林業大学（1970）

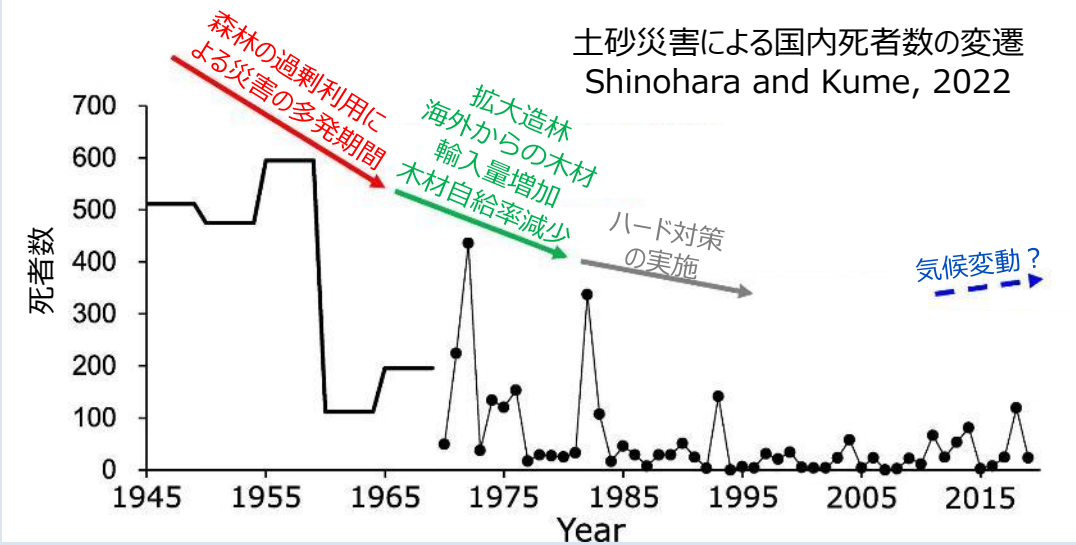
※末尾の用語説明に解説あり

森林と土砂災害

- 戦後から一貫して国内での土砂災害発生件数は減少している。その理由として過剰利用で劣化した森林の質が向上してきたことが挙げられる。
- しかし、近年、放置された人工林やシカによる食害など、森林の質低下がみられ、**これまでのように土砂災害防止機能※を発揮できなくなった森林**が一部で生じている。

※末尾の用語説明に解説あり

- 森林が土砂災害防止機能を発揮するためには、間伐により適正な本数密度を管理するとともに、伐採においても主伐後は再造林する、または択伐や漸伐により前生稚樹や母樹の確保を図り、天然更新で針広混交林や広葉樹林へ誘導する等、進めていくことが重要である。



シカによる食害

写真：山梨県森林総合研究所・廣瀬満氏提供

人工林の荒廃

写真：名古屋大学 五味高志

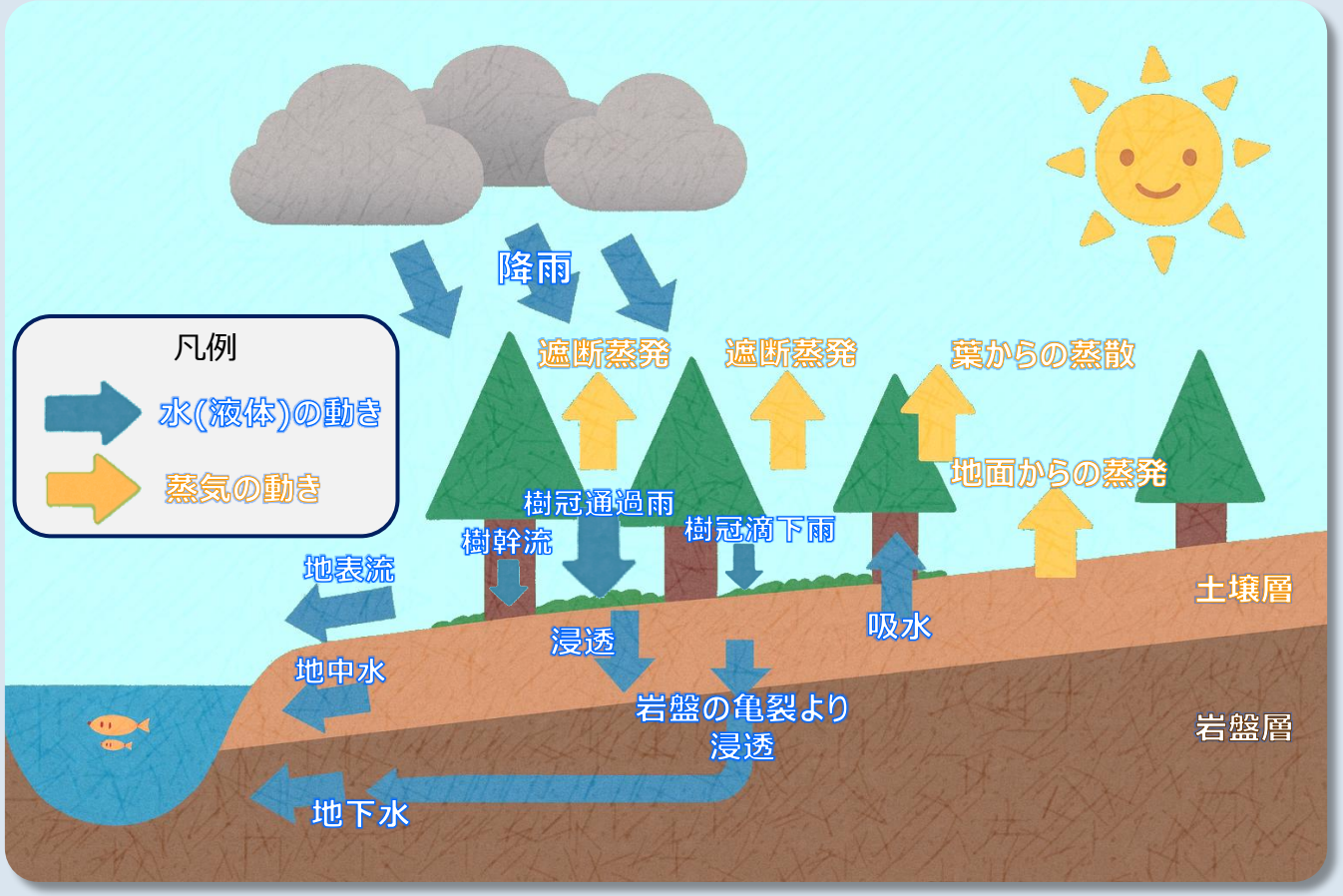
降雨と森林の関わり

森林に降る雨は、樹木のすきまを通り、林床に直接到達する「樹冠通過雨」と、樹冠（葉）や幹に一度付着する水、の２通りに分かれる。
さらに付着した水は、蒸発して大気に戻る「遮断蒸発」、水が幹を伝い林床に達する「樹幹流」、雨滴として林床に落ちる「樹冠滴下雨」の３つに分類される。

林床に達した雨水は、土壌層に一時的に貯留され、植物の成長に用いられる。さらに、岩盤の亀裂からしみこんだ水はゆっくりと時間をかけて岩盤中を移動し、長い期間岩盤内に貯留、濾過される。

森林で降雨がこのような動きとなるのは、森林土壌が存在するためで、地表の落葉や下草が雨水の落下衝撃を和らげ、地表流の発生を抑制し、土壌の侵食を防いでいる。

森林流域では右図のような水移動過程を経て、結果として**洪水緩和**や**水資源貯留**、**水質浄化**がもたらされる。これら森林の働きをまとめて「**森林の水源涵養機能**」と呼ぶ。



水源涵養機能：３種の機能

水源涵養機能は３つの主な働き「**洪水緩和**」「**水資源貯留**」「**水質浄化**」を有する。

本資料では特にこの機能を掘り下げる

洪水緩和機能	水資源貯留機能	水質浄化機能
おもに雨水が森林土壌中に浸透し、地中流となって流出する過程を経ることで、洪水流出のピーク流量が低下し、またピーク発生までの時間を遅らせる。森林がない場合に比べると、山地斜面に降った雨が河川に流出するまでの時間を遅らせる作用がある。 さらに、洪水の減水部を緩やかにする機能も有する。	無降雨日に河川流量が比較的多く確保される機能。言い換えれば、森林があることによって安定な河川流量が得られる機能。 一般にわが国の河川は急流で貯水ダムの容量も小さく、洪水流の大部分は短時間に海へ流出する傾向にある。森林は洪水流出を遅らせ、無効流量を減少させ、利用可能な水量を増加させ、水資源確保の点で有益な機能を提供している。	森林を通過する雨水の水質が改善され、あるいは清澄なまま維持される機能。 これらは、森林土壌層での汚濁物質濾過、土壌の緩衝作用、土壌鉱物の化学的風化、飽和帯での脱窒作用、さらにはA0 層（落葉落枝及びその腐植層）や林床植生の表面侵食防止効果等によって達成される。

出典：「地球環境･人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」（答申）平成13 年11 月 日本学術会議

森林と土壌

https://www.rinya.maff.go.jp/form/pdf/k39.pdf

３つの主な働き：**洪水緩和、水資源貯留、水質浄化**

これらは **森林土壌** の存在によりもたらされる

- **はげ山（裸地）** ＝**土壌**が希薄
  降雨が速やかに流出する
  洪水時：雨の多くが流出する
  渇水時：流れる水がない

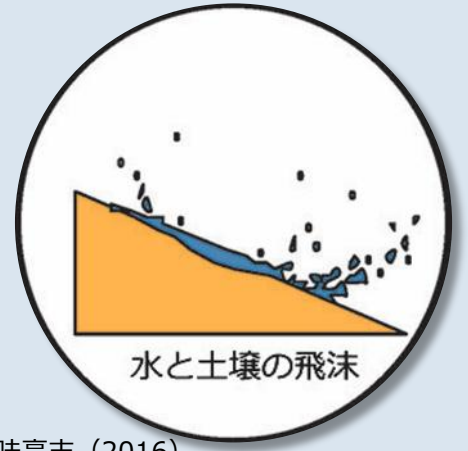
- **森林**
  一度、**森林土壌**に雨が浸透し、ゆっくり水が流れてくる
  洪水時：流出する水が少ない
  渇水時：土壌に蓄えられた水が流れる

愛知県瀬戸市萩殿町一帯

森林土壌の大切な役割

- 森林の水資源を考える場合、遮断蒸発や樹木の蒸散のような森林そのものの役割が重要だが、その基盤である「森林土壌」も密接に関連する。特に林床の植生状態、根系の発達、それに伴う土壌構造の変化など「**森林土壌の状態**」が水土保全機能を考える上で重要となる。
- 水源涵養機能は森林土壌および岩盤への雨水の浸透と貯留によって発揮される。土壌層の状態が重要で、例えば土壌層の厚さが違えば水流出特性が変化する。
- 単に土壌があれば水源涵養機能が保持されるわけではない。地表面を下層植生や落ち葉が覆っている場合、雨水は土壌中へ浸透するが、裸地化している場合は浸透しにくくなる。
- その理由として、土壌は細かい粒子の集合体（**団粒構造**）で構成されるが、表土が露出すると雨滴が直接衝突して団粒構造が破壊される。そして破壊で生じた細かい土粒子が土壌表面で目詰まりし、水が浸透しにくい薄い層（クラスト層）が形成されるためである。
- 森林土壌が保水性や透水性を発揮できるのは、土の**団粒構造**があるから。
団粒構造は森林土壌に特有で、以下の特徴を有する。

雨滴侵食



図：五味高志（2016）より引用

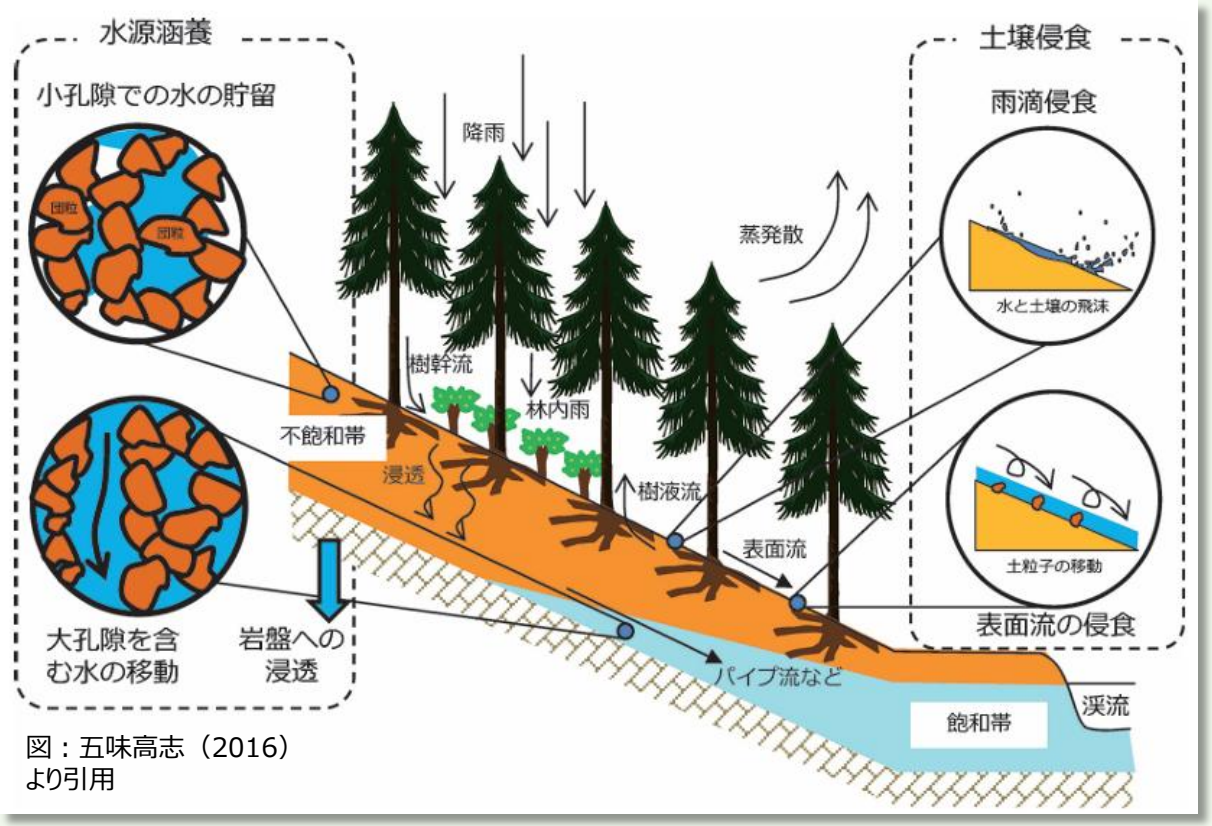
- **団粒とは**
  土壌中の細かい鉱物粒子や有機物、微生物が結びつき、大きな「かたまり（団粒）」を形成した状態
- **通気性・排水性の向上**
  団粒の間にはすきま（孔隙）が多く、空気や水が通りやすい。
- **保水性の確保**
  団粒の内部や表面に水を保持する力がある。
- **根が生育しやすい**
  土が柔らかく、根が伸びやすい。
- **侵食に強い**
  表層の土が風や水で流されにくくなる。
- **微生物のすみかになる**
  団粒の孔隙に微生物が住みやすく、養分循環が活発となる。

団粒構造イメージ

補足説明スライド
専門家向け

大小の孔隙（こうげき）に富むことの重要性

- 土壌中に水を蓄えるためには、土壌の小さなすきま（孔隙（こうげき））が重要になる。
  この隙間は団粒と団粒の間に存在し、水が貯留される「場」となる。
- 森林土壌中の小さなすきま（孔隙）は水を強く保持する（図の左上の丸）。
  逆に水の移動時には小孔隙での速度は遅く、水を運ぶ働きは低い。
- 土壌中には小さな孔隙のみならず、大きなすきま（孔隙）も存在する。大きな孔隙はマクロポアやパイプ、水みちと呼ばれる（図の左下の丸）。
- 「水みち」は主に植物根の枯死、ミミズやモグラなどの小動物や昆虫が穴を空けたすきまなどで形成される。
- **小孔隙は保水力に優れる**
  小孔隙がおもに水を保持し貯留する。孔隙に貯留される水の量は、降雨が継続している間も時間変動し、バッファの役割を果たす。バッファ機能により洪水流量の時間変化が均され、ピーク流量が低下し、流出の平準化効果が発揮される。谷（2017）
- **大孔隙により雨水が速やかに排水される**
  降雨時にパイプ状の水みちを通して水がすばやく排水される。特に斜面下部に水が集まり地下水が過度に上昇することを抑制し、斜面が不安定化することを防ぐ。



図：五味高志（2016）より引用

森林を森林として維持・管理することの重要性

森林は水・土・大気・生物多様性といった自然環境の基盤を支える、社会に不可欠なインフラである。しかし、適切な手入れが行われなければ、森林はその機能を失い、土壌の流出や水資源の劣化、生態系の破壊といった深刻な影響を引き起こす。

かつて我が国では、過剰な伐採や燃料採取などにより全国的に「ハゲ山」が広がり、洪水や山崩れ、干ばつといった災害が頻発していた。また、近年では再造林の放棄や山火事による森林喪失があり、森林消失の歴史や現代のリスクから学ぶことは重要である。

カスリーン台風（1947）の被害状況

伊勢湾台風（1959）の被害状況

森林を森林として維持・管理するとは、間伐や植栽、下層植生の保全などを通じ、森林の健全な構造と機能を守ることを意味する。これにより、**水源涵養**、**土砂災害防止**、**CO_2吸収**、**生物多様性保全**などの多面的機能が維持され、持続可能な環境を将来世代に残すことができる。

森林の管理は、過去の失敗を繰り返さず、未来の安全と豊かさを支えるための「**自然資本への投資**」であり、地域と社会全体のレジリエンスを高める取り組みである。

1.2 森林(もり)づくり活動の重要性

- 近年、企業の森林(もり)づくり活動は増加傾向に。
- 企業が森林整備活動に取り組んで得られること。
  社員・企業内の意識向上・エンゲージメント強化
  企業ブランディング・広報への効果
  地域社会・自治体との関係構築
  環境的メリット・達成感
- 森林づくり活動に携わる企業が増えていくためにやるべきこと。

森林整備が必要な理由

森林の多面的機能が発揮されるためには、**間伐**や主伐後の**再造林**といった森林整備により「**健全な森林**」を育てていくことが必要。

■**健全な森林**とは

- 二酸化炭素の吸収力が高い
- 雨水を地盤に浸透させ、水源を涵養して流出を緩和する
- 土砂災害を防ぐ（土壌を健全に保つ効果）
- 木材やキノコなどの林産物を安定的に供給できる
- 植える→育てる→収穫する→使う→植える というサイクル（**森林資源の循環利用**）がバランスのとれた状態で、持続可能に保たれること

そのためには、**間伐**や**再造林**（植林）といった森林の整備が不可欠。

■**間伐**の重要性

間伐とは、森林の成長に応じて樹木の一部を伐採し、過密な本数を調整する伐採施業をいう。

間伐をしないと

- 過密なまま放置され樹木の成長が阻害され、形質不良を招く。
- 光が地表まで届かず、林床に下草や植物が生えない状態となる。

間伐をすることで

- 樹木は健全に成長し、木材の価値が向上する。
- 光が地表に届き、下層植生が発達し、森林の多面的機能が高まる。

森林資源の循環利用

間伐の重要性

間伐 → 樹木の成長促進 / 下層植生の繁茂 →

- ■風雪害や病虫害に強い健全な森林に
- ■森林吸収量の確保・強化
- ■表土流出の防止
- ■生物多様性の保全

間伐が遅れた人工林
（イメージ）

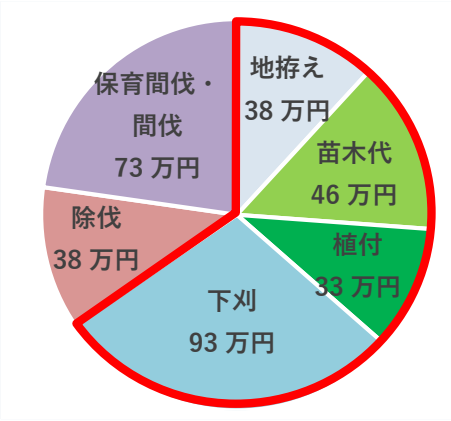
適切に管理された人工林
（イメージ）

再造林を推進するために

- 収穫する（伐る）→使う→植える→育てる というサイクル（森林資源の循環利用）を維持するためには、伐採後の再造林（植林）推進が必須である。
- 再造林を推進するに当たっては、エリートツリー等の苗木の活用、コンテナ苗を活用した伐採と造林の一貫作業システムの導入等により造林コストの低減を図るとともに、植栽木の食害など野生鳥獣被害への対策が重要である。

再造林コスト

- 約７割が初期費用（下図の赤い範囲）。
- 低コスト化に向けて、伐採・造林の「一貫作業システム」の導入等が必要。



注：Ｒ６標準単価より作成
　　スギ3000本/ha植栽、下刈５回、除伐２回、
　　保育間伐１回、搬出間伐（50～60m³/ha）１回
※シカ防護柵等の獣害対策費用を除く

エリートツリー等の活用

- 成長量、材質、花粉量が一定の基準を満たす個体をエリートツリー等（特定母樹）に指定。
- 下刈り回数の低減など造林コストの低減、収穫期間の短縮に期待。

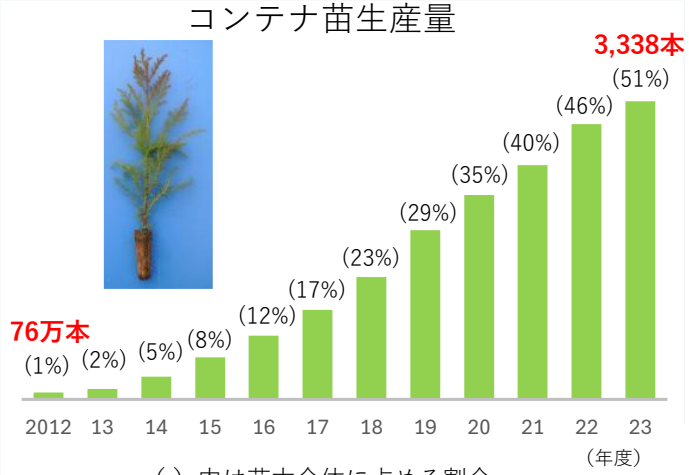
優れた
初期成長

従来品種

エリートツリー

コンテナ苗の生産拡大

- 春や秋の植栽適期以外でも高い活着率が見込める「コンテナ苗」を活用することにより、植栽適期が拡がる。
- これにより伐採と並行又は連続して植栽を行う「一貫作業システム」の普及を図ることが可能となるほか、熟練者でなくとも植栽作業の労力の削減を図ることが可能となる。



（ ）内は苗木全体に占める割合
※林野庁業務資料

企業が森林整備活動で得られること

1．社員・企業内の意識向上・エンゲージメント強化

体験を通じた理解の深化、自分の言葉で語れるようになる
社会貢献活動を通じた愛社精神の醸成
社員同士や顧客とのコミュニケーション促進の場となる

2．企業ブランディング・広報への効果

企業イメージ向上や商品販売につながる
CSR活動の一環として顧客・社会からの信頼獲得
マスコミに取り上げられやすくなる

3．地域社会・自治体との関係構築

地域課題に貢献し、自治体・森林組合等との信頼関係構築
地域に根ざした活動で地域住民や消費者との関係強化

4．環境的メリット・達成感

森林の多面的機能（水源涵養、土砂災害防止、CO_2吸収、生物多様性保全など）への理解と満足感、達成感

携わる企業を増やしていくために

1．制度の整備と支援の充実

自治体や国による支援制度の分かりやすさ・簡素化
整備協定の期間や事務手続きの柔軟性向上（企業論理に合致するよう短期～中期設定）
森林づくり活動を希望する企業と自治体、森林所有者等をつなぐ相談窓口の設置

2．活動の「きっかけ作り」

幅広い層が参加しやすいイベントや導入支援施策
地域や企業規模に応じた柔軟な選択肢の用意
小規模企業や複数企業合同での参画を可能にする仕組み

3．活動の評価指標の整備・可視化

公的な指標や表彰制度
水源涵養の効果をわかりやすく数値化
外部に説明しやすい仕組みづくり

本資料はこの部分に
フォーカスしています

4．広報・教育の強化

森林活動の意義や機能（CO_2以外の水源涵養機能）の見える化
「なぜ森を守るのか」が消費者に伝わるメッセージの発信
経営層や社員が活動の重要性を理解しやすい情報の提供

森林づくり活動を推進していく

多面的機能が高く発揮される健全な森林

- 二酸化炭素の吸収力が高い
- 雨水を吸収し、**地下水を涵養**し、流出を遅らせて**流出を緩和**する
- **斜面崩壊を防ぐ**
  樹木根系によるネット効果と杭効果
- **土壌流出を防ぐ**
  地表土砂の流出と濁水の発生を防止
- 木材、キノコなどの林産物を安定供給

森林を健全に維持するための循環利用

- 収穫する（伐る） → 使う →植える → 育てる、循環利用のバランスがとれていること
- 再造林、下刈り、除伐、間伐などの**適切な整備が循環利用を支える**
- 人工林が老齢化した場合は、主伐 → 再植林による若返りも大切

企業等の森林づくり活動を推進

- 公的主体だけでなく、企業など多様な主体による森林づくり活動を一層促進する
- 森林づくりの取組みがもたらす効果を、企業が定量的に示せる指標へのニーズ高まり
- 専門家でなくとも利用できる**簡易な水源涵養機能の定量評価手法**を提示する

参考情報

1. **森林×企業ガイドブック**
   森林と企業をつなぐ手法や事例を紹介したガイドブックです。

2. **森ナビ・ネット**
   森林づくりを始めたい企業等の相談窓口となる「森づくりコーディネーター」やエリア別の相談窓口、事例報告等を掲載した情報サイト です。

3. **森林×ACTチャレンジ（顕彰制度）**
   森林づくり活動などを通じて、カーボンニュートラルの実現や生物多様性保全に貢献している企業等の取組やその価値を、多くの人々に知ってもらい、企業等の更なるチャレンジを後押しするための顕彰制度です。

4. **森林づくり全国推進会議（様々な企業・団体からなる会議体）**
   森林づくりを通じたSDGsやカーボンニュートラルの実現に取り組む企業・団体の輪を拡げるとともに、各企業・団体による具体的な森林づくりを展開します。

5. **国有林を活用した森林づくり**
   協定や分収林制度により、企業等が国有林を活用できる仕組みです。

1.3 水に関する世界での動き

- TNFDなど、投資家向けの情報を企業が開示するよう求める世界的な動きが活発化。
- VWBという水の量的効果を算定する方法が標準として確立されている。
- VWB指標の１つとして使われる「カーブナンバー法」に着目し、活用する。

水資源に関する企業責任と国際ルール化への動き

1. **水資源を巡る新たな企業責任の認識**
   水資源は社会・産業活動に不可欠な資源であり、企業はその利用に伴う責任を果たすことが求められる。近年は単なる節水にとどまらず、**地域社会や流域全体の水資源の持続性**に企業が貢献する姿勢そのものが重視されている。

2. **CSRから経営戦略へ**
   従来は社会貢献活動（CSR）の一環として行われていた「水源保全」や「環境教育」などの取組みが、現在では**企業価値や事業継続性に直結する戦略課題**へと位置づけがかわる。特に**Water Positive**「使用水量を超える還元」や**Water Stewardship**「流域全体のステークホルダー協働」が重視され、企業の評判や投資判断にも影響を及ぼすようになる。

3. **グローバル化と投資家の要請**
   国際的なサプライチェーンを持つ企業では、各国の規制や地域ごとの水資源課題に直面し、**共通の評価基準や報告枠組み**が求められるようになった。また、ESG投資の拡大により、投資家が企業に対して水リスクや水資源管理の透明性を強く要請する動きも加速している。

4. **国際的な共通ルールの整備**
   こうした流れを受け、世界的には「Alliance for Water Stewardship（**AWS**）」や「**CDP** Water Security」など、国際的な認証・報告制度が整備されてきた。さらに**TNFD**（自然関連財務情報開示タスクフォース）などの枠組みの中で、**水資源に関する情報開示やリスク評価を企業に求める動き**が進展している。結果として、各企業の自主的な活動だったものが、**国際的に共通したルールや基準に基づいた取り組み**へと進化している。

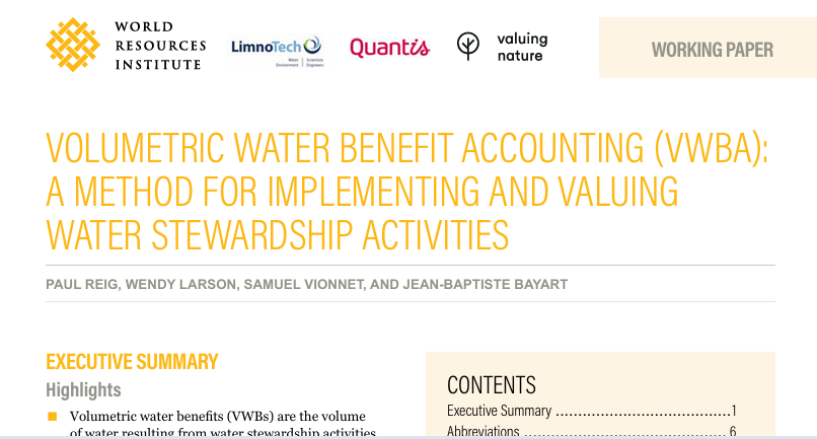
1．企業責任の認識
↓
2．経営戦略への統合
↓
3．投資家からの要請
↓
4．共通ルールの整備

VWB（水の量的効果）とは

- 国際ルール策定の流れで作られたのが**VWB** （水の量的効果）
  Volumetric **W**ater **B**enefit（VWB）は世界資源機構（WRI）が2019年に出版したガイダンスがベースとなる。
- CEO Water Mandateが作成したNbSガイドにもVWBは採用され、現在はWater Stewardshipにおける事実上の標準規格となっている。
- VWBを使ったウォーター・スチュワードシップの流れ
  1. 流域の状況を理解し、関係者（パートナー）とともに共有する水課題を特定する。
  2. ウォーター・スチュワードシップ（WS）の活動計画を策定し、パートナーとVWB配分を決定する。
  3. 必要なデータを収集し、VWBを計算する。

世界資源研究所レポート **2019年8月**

Water Stewardshipで使える
水の量的効果 VWB 算定方法を規定


WORLD RESOURCES INSTITUTE
LimnoTech
Quantis
valuing nature
WORKING PAPER

VOLUMETRIC WATER BENEFIT ACCOUNTING (VWBA): A METHOD FOR IMPLEMENTING AND VALUING WATER STEWARDSHIP ACTIVITIES

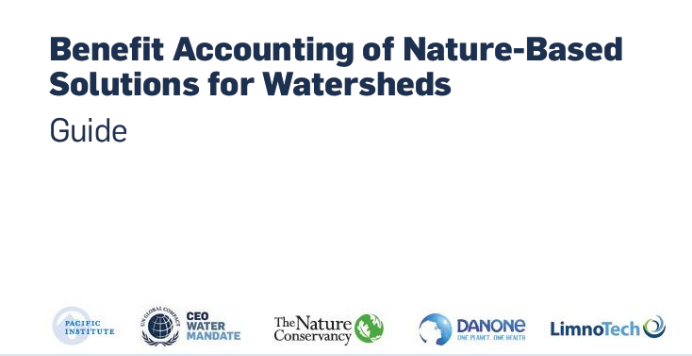
PAUL REIG, WENDY LARSON, SAMUEL VIONNET, AND JEAN-BAPTISTE BAYART

EXECUTIVE SUMMARY
Highlights
- Volumetric water benefits (VWBs) are the volume of water resulting from water stewardship activities

CONTENTS
Executive Summary 1
Abbreviations 6

CEO Water Mandate **2021年3月**

NbS による量的効果の算定方法を規定するガイドを刊行。水についてはVWBを採用


Benefit Accounting of Nature-Based Solutions for Watersheds
Guide

PACIFIC INSTITUTE
CEO WATER MANDATE
The Nature Conservancy
DANONE
LimnoTech

採用企業

飲料メーカー
DIAGEO, PEPSICOなど

IT企業
Microsoft, Apple
Google, META など

VWBの特徴

- VWBでは企業等による**水保全活動あり/なしの差を評価**する。すべての指標は差の形式で徹底する。森林の存在そのものが直接の評価対象となるわけではない。
- ただし、プロジェクトの前提事項として伐採の抑止等、森林が維持される前提を有しているかの確認がなされる。
- VWB指標として用意されるもののうち、森林に関連するのは次の５つ。
  - ・A-1：カーブナンバー法
  - ・A-4：集水・浸透法
  - ・A-5：流出低減法（集水量法）
  - ・A-7：涵養法
  - ・A-8：ハイドログラフ法

本資料では
「**A-1：カーブナンバー法**」
を採用する。

カーブナンバー法の詳細および採用した理由についてはスライド47, 48で説明

<VWBを用いた評価手順>

1. 流域の状況を理解し、関係者（パートナー）とともに共有する水課題を特定する。
2. Water Stewardship（WS）の活動計画を策定し、パートナーとVWB配分を決定する。
3. 必要なデータを収集し、VWBを計算する。

<VWB指標及び計算方法>

WS活動の種類ごとに推奨されるVWB指標とその計算方法が提示されている。
WS活動は多岐にわたるため、以下のような工夫を行ってもよい。

- 信頼性が高く、十分に文書化された別の方法が利用できる場合はその利用も可。
- 初期段階のプロジェクト評価や費用便益分析などでは、単純な推定値を使用する。
- 組織のWS活動に関連した報告を行う際は、より詳細で複雑な推定値や測定値を使用する。

<VWBを用いた検討事項>

以下の5点を明確に定義、報告すること。

1. VWBの対象
2. VWBによる社会的・経済的・環境的利益
3. VWBを算出する基準年とその後の予定
4. 活動期間中の維持管理費とその資金や資源の調達計画
5. VWBの利用目的と対象流域内若しくは国際基準を満たす水質基準

VWB指標と計算方法のリスト

VWB: Volumetric Water Benefit：水の量的効果指標とその計算方法を示す。

分類	Water Stewardship 活動	VWB指標	計算方法	附録番号
土地の保全と修復	土地の保全（保全・保存）	流出回避	カーブナンバー法	A-1
	土地被覆の修復	流出低減		
水供給の信頼性	水需要の少ない農業への転換	取水低減 または 消費低減	取水法 または 消費法	A-2
	水利用効率を高める施策	取水低減	取水法	
	漏水対策			
	消費者の水利用効率を高める施策			
	水の再利用			
	農作物の灌漑用水の新規確保	供給水量	供給水量法	A-3
	雨水回収	涵養増加	集水・浸透法	A-4
水アクセス	飲料水供給へのアクセス	供給水量	供給水量法	A-3

分類	Water Stewardship 活動	VWB指標	計算方法	附録番号
水　質	農業の最適管理手法(BMPs)	流出低減	カーブナンバー法	A-1
	洪水流出の管理	集水量	流出低減法	A-5
	湿地処理システム	浄水量	浄水量法	A-6
	汚水処理施設			
水生生息地の回復	湿地の保全	涵養維持	涵養法	A-7
	湿地の回復と造成	涵養増加		
	河川水を保持する法的取引	取水低減	取水法	A-2
	水流遮蔽物の除去	流況改善	ハイドログラフ法	A-8
	ダムの再稼働			
	遊水地/排水機構の再構築	目的に応じて	A-7参照	A-7
水統治	水統治による直接的関与、一般的な水管理	WS活動と同じもの		A-9
保全活動	より長期的な視点でWS成果をもたらす活動	WS活動と同じもの		A-10

Reig et al. (2019), Table G.3.3.1を和訳 https://www.wri.org/publication/volumetric-water-benefit-accounting

1.4 水資源涵養量とは

- 「水源涵養機能」という言葉はよく聞くが、「水資源涵養量」とは何か？
- 「機能」ではなく「量」にフォーカスする。
- 涵養「量」を定量評価することで、さまざまな主体の森林（もり）づくり活動に役立ててもらうのが目的。

なにを定量化するのか

※末尾の用語説明に解説あり

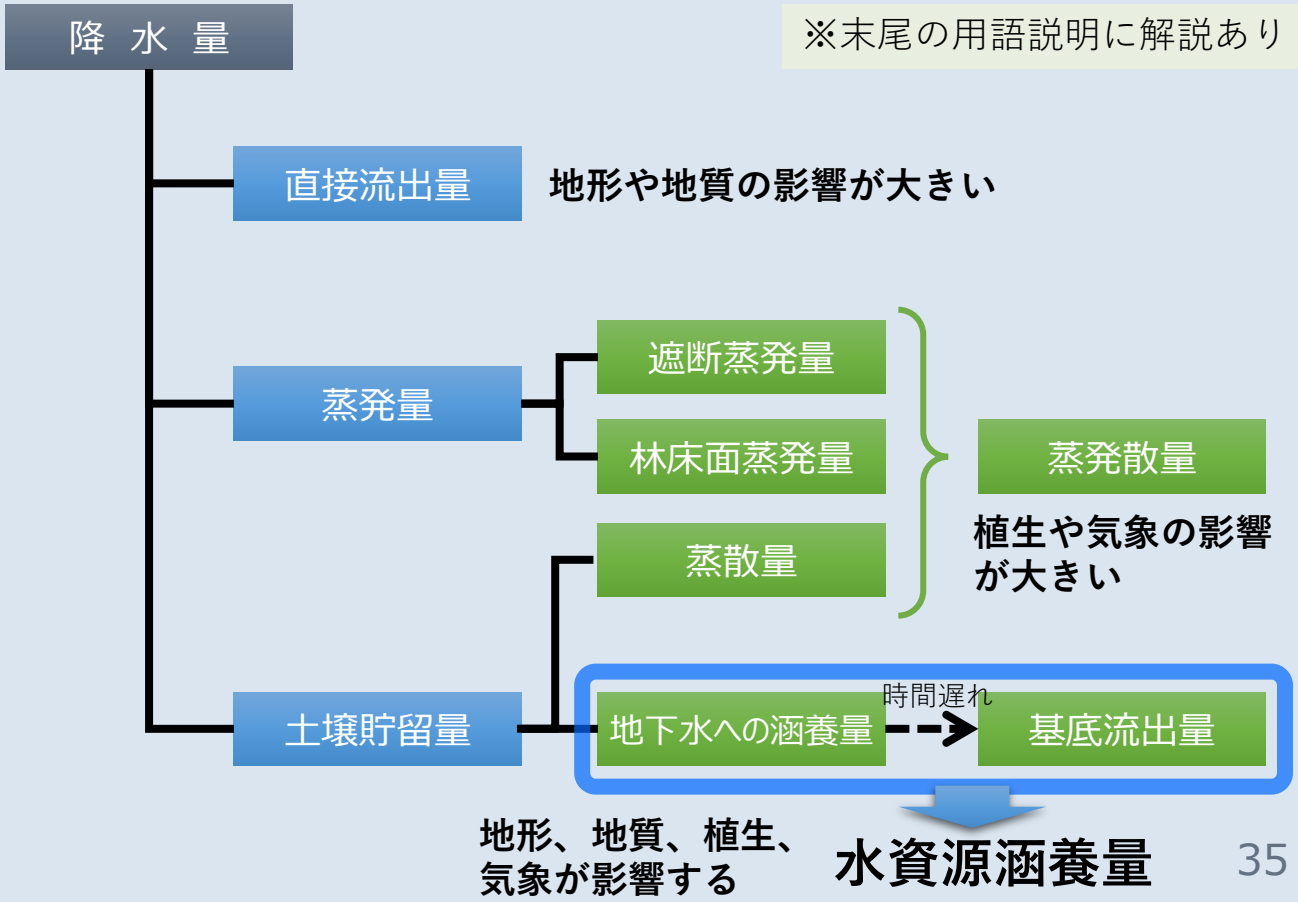
- TNFD※等においては、企業活動の自然資本への依存・影響（負荷）を定量的に把握し、自然資本を保全・回復するための対応状況（投資・管理等）を開示することが求められている。森林の水源涵養機能は、自然資本の恩恵（生態系サービス）の一つであり、森林によって発揮される機能の量を定量化することが重要であるという考え方に基づき、本資料では、こうした生態系サービスの一つである水源涵養機能の一指標として、新たに「**水資源涵養量**※」を定義する。
- 水資源涵養量とは、地域の生活や産業活動において利用可能な地下水の供給源となる水量である。この水量を確保するためには、まず、水資源涵養量の全体量（右図中央の大きなしずく）を守ることが最も重要である。そのためには、森林を健全な状態に保つことで風水害や気象害などで森林が失われることを防ぎ、水源涵養機能の主役ともいうべき「森林土壌」を維持し続けることが重要となり、本評価手法は、林地が健全に維持され、土壌が保全されることによって涵養される地下水量を定量的に評価することを目的としている。
- なお、本評価手法を用いて、森林整備、例えば間伐前後の水資源涵養量の変化量を計算することは可能であるが、その量は水資源涵養量の全体量（右図中央の大きなしずく）と比べて相対的に小さい量（右図右上の小さなしずく）となり、森林整備の効果に対する評価は、本評価手法の意図するところではないことに留意が必要である。
- 森林は水を育むと同時に、水の消費者でもある。放置された過密な森林では蒸発散量が過大となり、水資源涵養量が減少しやすい。間伐等により適正な密度とすることで、蒸発散量を抑え、水資源涵養量を補うことができる。水資源涵養量を安定的に維持するためには、森林を適切な密度で整備・保全していくことが重要である。

水資源涵養量の定義

- 「水資源涵養量」という用語は本資料独自である。その定義を記す。

水資源涵養量：森林流域で地下水を涵養し、基底流出に貢献しうる水量

- 「水資源涵養量」は右図における「**地下水への涵養量**」である。森林土壌に一度貯留され、その後時間をかけて基底流出となる。
- 基底流出になるまでの時間は地質・地形等で異なる。基底流出として河川に流出する水（河川水）と、流出する前に山体に蓄えられた地下水の両方が資源として利用可能な水となる。
- 降水の分配先として、他に「直接流出量」と「蒸発散量」がある。直接流出量の大小はおもに地形や地質の影響を受ける。蒸発散量の大小は森林の種類や葉の量、気象の影響を受けやすい。
- 水資源涵養量は、すべての要因（地形、地質、植生、気象）が影響した結果、その量が定まる。直接流出しなかった水、蒸発しなかった水が土壌に貯留される。

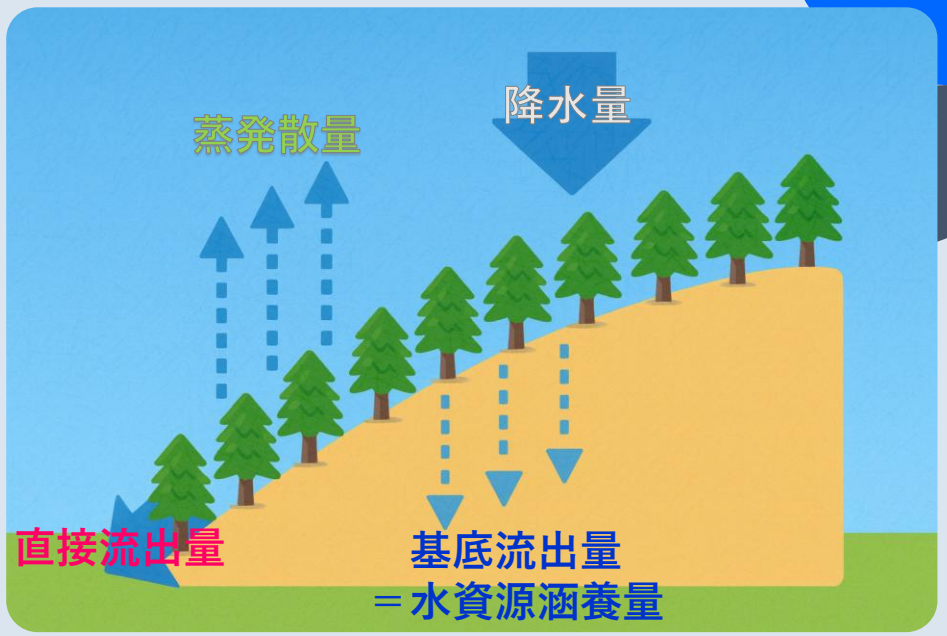


水資源涵養量の式

以下の組合せで構成する水収支式を想定し、それら各項の差引きで水資源涵養量を算定する。

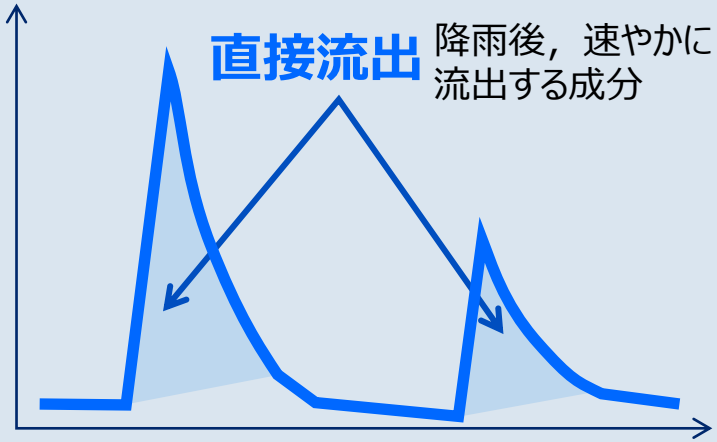
降水量 ＝ **直接流出量** ＋ **基底流出量** ＋ 蒸発散量※

基底流出量 ＝ **水資源涵養量** ＝ 降水量 －（**直接流出量** ＋ 蒸発散量※）



2章：直接流出量

カーブナンバー法を使って、直接流出量を求める。



3章：蒸発散量 ＝遮断蒸発量※ ＋蒸散量

蒸発散モデルを使って、遮断蒸発量※と蒸散量を求める。

※今回のモデルでは林床面蒸発量は考慮しない。

補足説明スライド
専門家向け

降水量の分配過程とその関与因子

※末尾の用語説明に解説あり

降水が分配される過程を右フローに詳しく記載する。

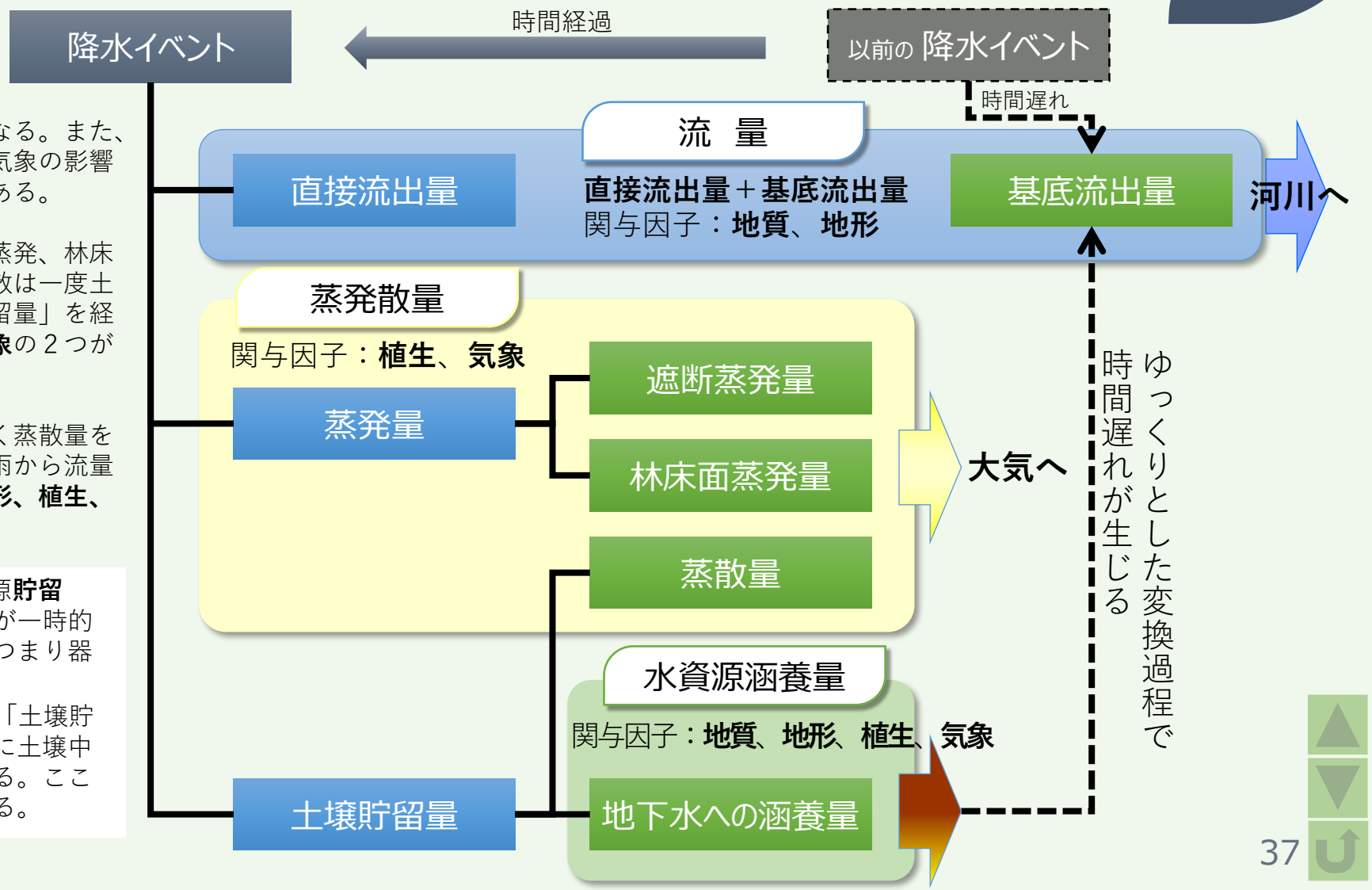
河川流量は直接流出量と基底流出量から構成される。直接流出は文字通り雨がすばやく河川に流出するものだが、基底流出はゆっくりとした流出過程で、そのときの降水イベントからの寄与は少なく、それ以前の降水イベントに由来する水が主となる。また、直接流出の流出過程における関与因子として植生と気象の影響度は小さく、**地質、地形**の２つが主たる関与因子である。

蒸発散量は樹冠にトラップされ蒸発する樹冠遮断蒸発、林床からの蒸発と蒸散の３種類で構成される。なお、蒸散は一度土壌に浸透した水が根から吸水されるため、「土壌貯留量」を経由したルートとなる。関与因子としては、**植生、気象**の２つが主となる。

水資源涵養量は、土壌貯留量から根に吸われていく蒸散量を除いた残り水量となる。水資源涵養量の定量化は降雨から流量と蒸発散量を差引く形となる。そのため、**地質、地形、植生、気象**、すべての因子が関与することになる。

※水資源貯留機能を量に換算した用語として「水資源**貯留**量」がある。水資源**貯留**量は、森林土壌や地盤層が一時的に蓄えることができるポテンシャル（最大）量、つまり器の大きさを意味する。

右図の分配フローで、水資源貯留量といわずに「土壌貯留量」としているのは、器の大きさではなく実際に土壌中に貯留されている水量という意図があるためである。ここではあえて「土壌貯留量」という用語を用いている。



補足説明スライド
専門家向け

他事例との比較

- 本資料では、降水量から直接流出量と蒸発散量を除いた残りの水すべてを**水資源涵養量**とみなす。
  水収支式では以下となり、本資料独自の定義となる。

水資源涵養量 ＝ 降水量 － （直接流出量 ＋ 蒸発散量）

- 山梨県では「やまなし水政策ビジョン」を公開し、その中で県独自の水収支解析を実施している。県が提示する水収支の構成は右図のようであり、上の式と同じではないことがわかる。
- 本資料で定義する「**直接流出量**」は、山梨県の表面流出量のすべてと中間流出量のすべてまたは一部を足しあわせたものに該当する。
- **蒸発散量**以外の項については、考え方や区分の方法、呼称などさまざまな形式が存在し、専門家のあいだでも定型分類が定まっていないのが実情である。

降水量	単位：百万 m³/年	11,668
├ 蒸発散量		2,687（23%）
└ 水資源量		8,981（77%）
├ 表面流出量		683（ 6%）
└ 地下浸透量		8,298（71%）
├ 中間流出量		3,753（32%）
└ 地下水涵養量		4,545（39%）

やまなし水政策ビジョン（平成25年6月）

収支割合(%)から判断すると、本資料で定義する「直接流出量」は、山梨県の表面流出量のすべてと中間流出量のすべてまたは一部をあわせたものに該当。

※末尾の用語説明に解説あり

2. 林地からの直接流出量を算定する

※本資料で提示する手法では、２章 流出量の算定 においては森林の情報は考慮されない。なお、３章で取り上げる蒸発散量の算定において林分データを用いる。森林が森林として維持されることを前提として、林地の物理的特性（地質）の違いに基づいて水流出過程を評価する手法、であることを踏まえ、２章以降では「森林」のかわりに「林地」という表現を用いる。

2.1 2章の位置づけ

水資源涵養量 = 降水量 − (直接流出量 + 蒸発散量)

- 降水量から「直接流出量」と「蒸発散量」を差し引いた残りの水量を「水資源涵養量」と定義する。
- 直接流出には「表面流出」と「速い流出」の2種がある
- 林地で「表面流」はほぼ発生せず、土壌流出が生じない。濁水がほとんど発生しないのは森林土壌が存在するから。

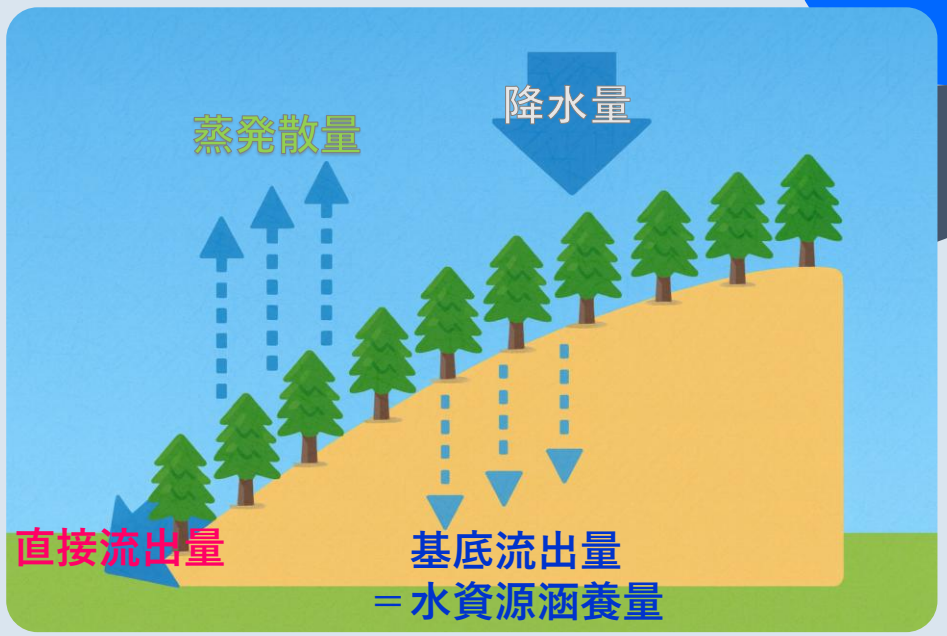
水資源涵養量の式

２章では**直接流出量**について詳しく説明する

水資源涵養量 ＝降水量－（**直接流出量** ＋ 蒸発散量）

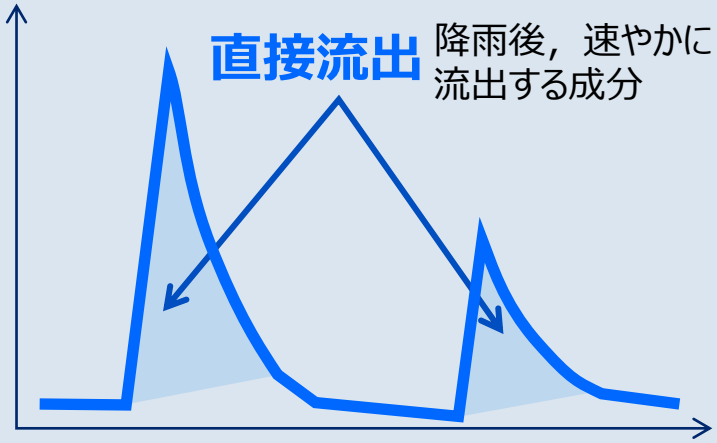
２章
森林土壌が重要で樹木
による影響は大きくない

３章
樹木の状態が重要で
それにより大きく変化する



２章：直接流出量

カーブナンバー法を使って、直接流出量を求める。



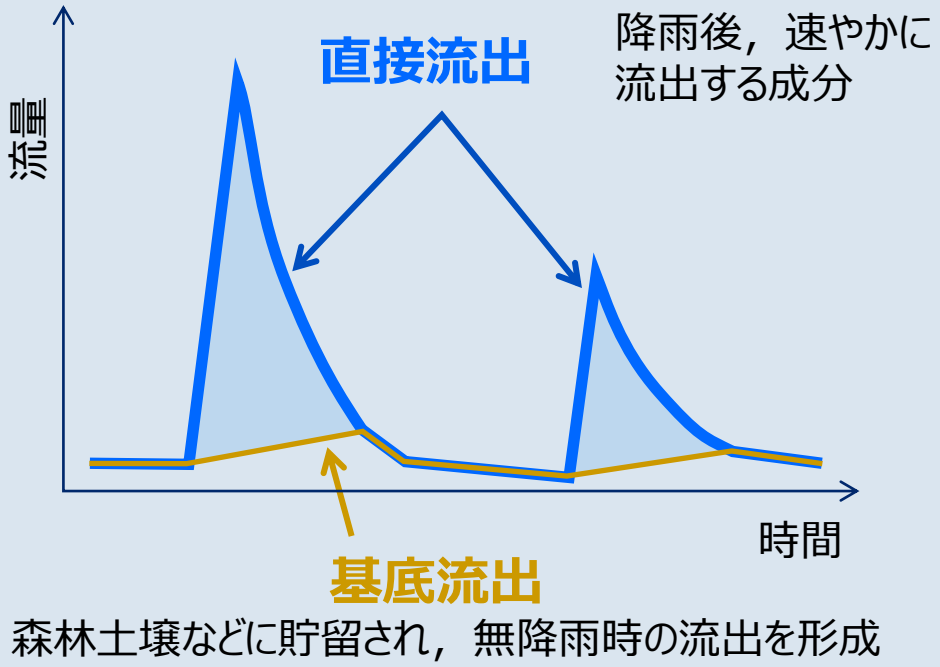
３章：蒸発散量＝遮断蒸発量＋蒸散量

蒸発散モデルを使って、遮断蒸発量と蒸散量を求める。

※末尾の用語説明に解説あり

直接流出と基底流出

- 河川を流れる流量は、**直接流出**と**基底流出**から構成される。
- 直接流出は、降雨後速やかに流出する水で、流出のピークを形作る成分となる。
- 直接流出は、表面流出と速い流出から構成されるが、森林土壌がある場合は、表面流出はほとんど発生しないことから、裸地と比べ直接流出量が減少する。
- 直接流出とならなかった水は、地表や樹幹、葉から蒸発する、根から吸水され蒸散に使われる、基底流出成分となる、のいずれかに利用される。
- つまり、**森林土壌が存在**することで、
  ・**直接流出が減少**し、
  ・**基底流出が増加**する、
  １つめを洪水緩和機能と呼び、２つめを水資源貯留機能と呼んでいる。



※末尾の用語説明に解説あり

直接流出とは

直接流出とは、降った雨が**地表面や浅い土層を通りすぐに河川へ流れ込む水**のこと。

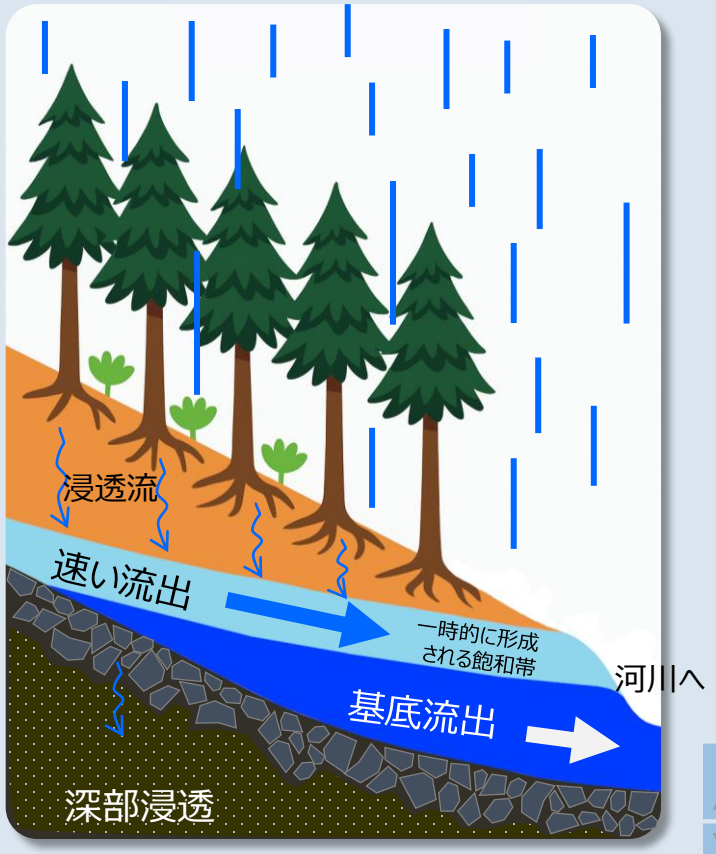
直接流出は「**表面流出**」と「**速い流出**」の２つから構成される。

1．表面流出（Surface flow）
- 雨が地面を覆うようにして河川へ向かう流れ。
- 地表が飽和したり、浸透能力を超える強い雨のときに発生。
- 林地は落葉層や高い浸透能があり、発生はまれ。

2．速い流出（Subsurface flow）
- 土層中の浅い層を速い速度で移動し、河川へ流れる水流れ。
- 林地での主要な直接流出成分となる。

山地での降雨流出の内訳は、直接流出のほかに基底流出と蒸発散がある（スライド41参照）。

基底流出（Baseflow）は、**遅い流出**とも呼ばれ、以下の特徴を有する。
- 土層内を比較的長い時間をかけて移動し、河川に流入する。
- 長期的な河川流量の維持に寄与する。



林地と直接流出の関係

項目	内容
直接流出の特徴	・降水後すぐに渓流・河川へと流入する水 ・ピーク流量の多くを形成することから、防災上重要となる ・林地の有無や状態により、直接流出の量やタイミングが大きく変わる
直接流出の主な経路	**表面流出**＋**速い流出**
林地の役割	林地流域では、 ・落葉や落枝が水を受け止め、 ・土壌が団粒構造で通水性が高く、 ・根が水を吸収することから、 👉 **表面流出**はほとんど発生せず、**速い流出**が主要な直接流出成分 👉 森林土壌が**表面流出**を抑制、土壌の流出を防ぎ、濁水の発生頻度を低下させる
裸地との比較	・裸地からの直接流出量と林地の直接流出量を比較することで、林地がどれぐらい **表面流出** を減じているかを定量化できる 👉 林地による濁水抑制への寄与度がわかる

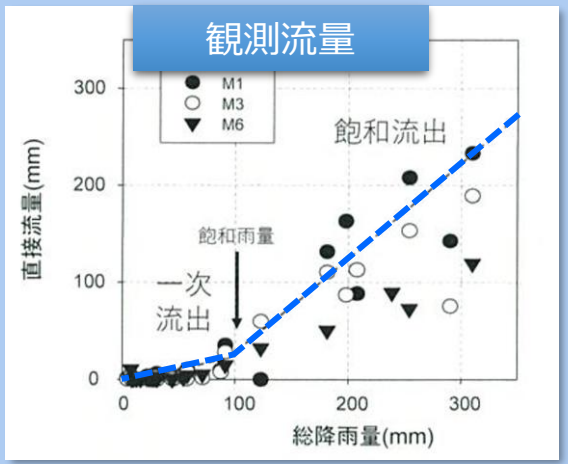
2.2 林地の直接流出量の算出方法

- 水資源涵養量の算出に必要となる「直接流出量」を求める方法を構築する。
- 「直接流出量」の算定にカーブナンバー（CN）法を使う。
- 我が国の林地向けにカーブナンバーCN値を設定する。
- 我が国での流量観測データを用い地質別のCN値を提示。
- 年降水量を入力データとして、カーブナンバー法で直接流出量に変換する。

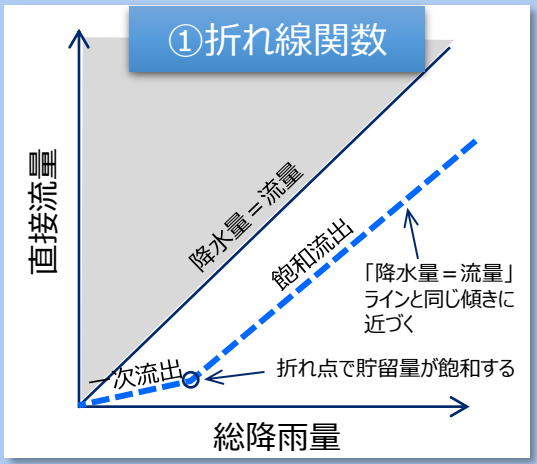
流出解析手法の紹介

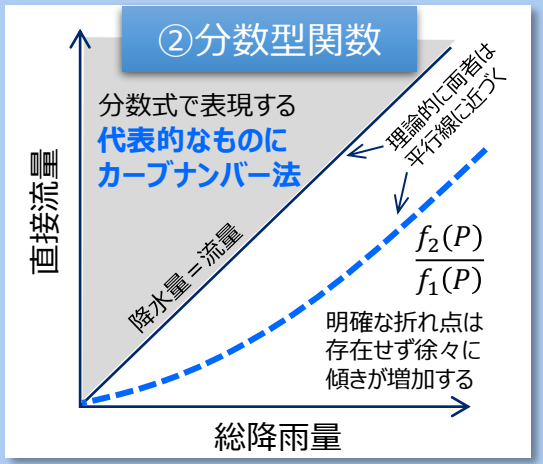
※末尾の用語説明に解説あり

降水が流出に変換される過程は、２つの段階があると考えられている。
下図で「**一次流出**」とされている範囲（折れ線 ---- 左側）では、降雨は流域内に一時的に貯留されるため流出割合が低い。
一方、降雨量がある値を超えると流域の貯留量が飽和し、降雨が流出に転じる割合が上昇し「**飽和流出**」に移行する。
このとき、折れ線 ---- 右側の傾きは大きくなり「降水量＝流量」ラインと同じ傾きに近づいていく。

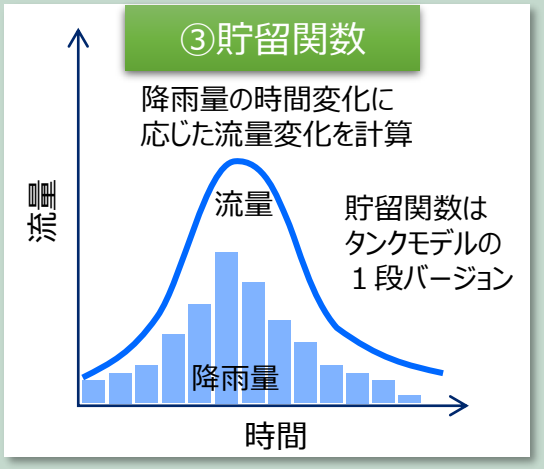


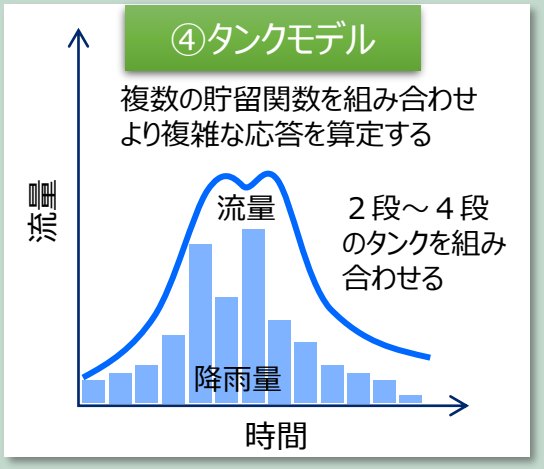
森林水文学入門（2022）p.148 より引用

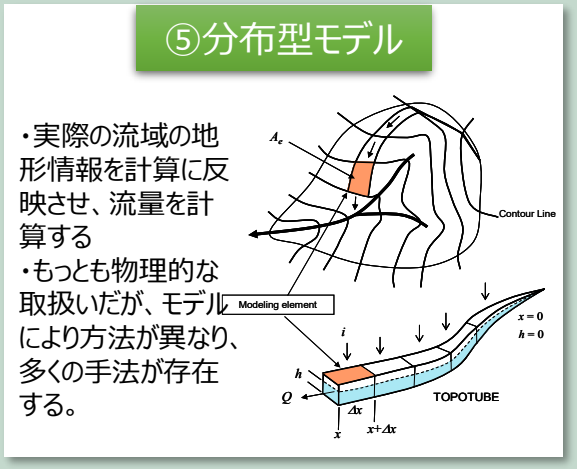




ピーク流量または総流出量を求める手法







流量の時間変化を求める手法

- 降雨に対する流量応答の検討は当初、折れ線関数から始まり、その後、数式（分数型関数）表現となり、さらに流量の時間変化を追うために時間関数へと変遷してきた。
- 本資料の目的に照らせば**降雨の何割が流出して流域外に出ていく**かを知りたいのであり、**流量の時間変化までを把握する必要がない。**
- 左図下段は流量の時間関数が得られる手法で、精緻ではあるが専門家向けの内容である。
- 左図上段の方法が本資料の目的に見合った方法といえる。

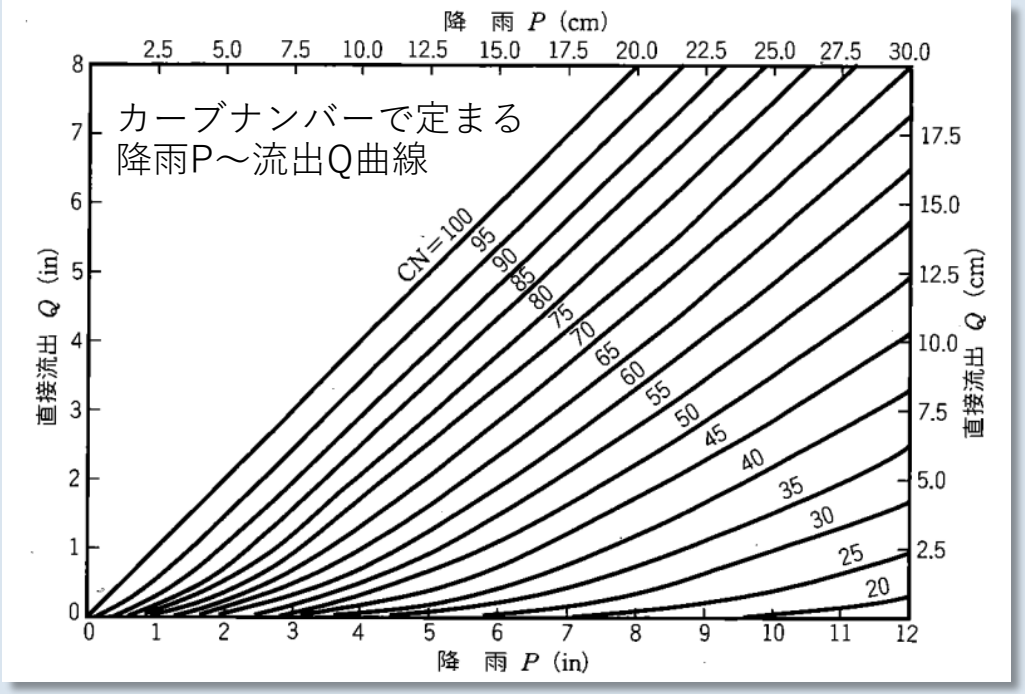
カーブナンバー法

※末尾の用語説明に解説あり

本資料では流出解析手法として、**カーブナンバー法を採用**する。
カーブナンバー法は、アメリカ農務省が開発した②分数型関数の１種

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Q : 降水～流出イベントの積算流出量[mm]
P : 降水～流出イベントの積算降水量[mm]
S : 最大貯留量[mm]　(S >0 かつ S >= $P - Q$)
CN: Curve Number, カーブナンバー値



水村和正著（1998）『水圏水文学』山海堂より引用

アメリカ農務省が設定したCN値

植生	林床被覆	カーブナンバーCN			
		A	B	C	D
裸地		77	86	91	94
森林	一部	45	66	77	83
	概ね	36	60	73	79
	全体	30	55	70	77

A~Dは水文土壌分類でアメリカ独自の分類

日本向けのカーブナンバー値はまだない
→日本向けのCN値を調べ設定する必要がある

補足説明スライド
専門家向け

流出解析にカーブナンバー法を選定した理由

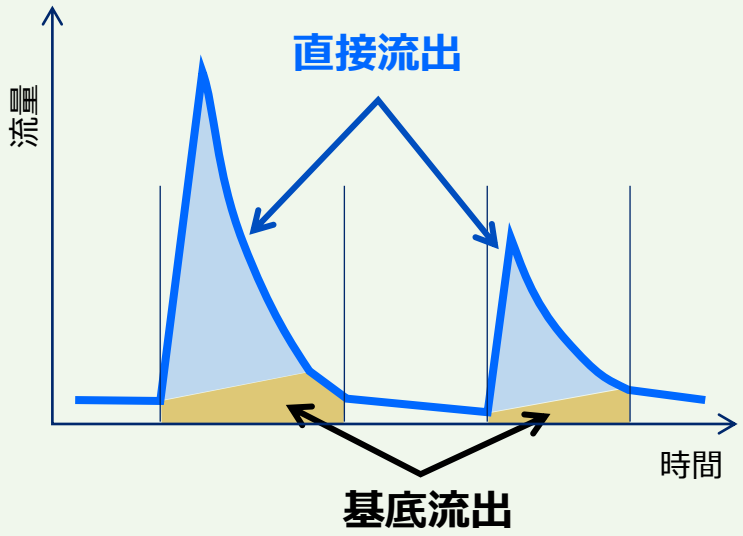
流出解析手法には、①折れ線関数、②分数型関数、③貯留関数、④タンクモデル、⑤分布型モデルなどがある。カーブナンバー法は、②分数型関数の１つに相当するが、これらの中から選定した理由を以下に述べる。

● カーブナンバー法のメリット

- 知りたい情報は**降水の何割が流出として流域外に出ていく**か、という積算（累積）値であり、**流量の時間変化までを把握する必要はない**。そのため、流量の時間変化を追跡する手法である③～⑤を、積極的に採用する必要がない。また、ピーク流量ではなく積算流量が知りたいので、①と②の手法で欲しい情報が直接得られる。
- カーブナンバー法（②分数型関数に相当）は流出解析に特化した式形を持ち、**パラメータはCN値１つ**に限定される。①折れ線関数に比べ取り扱いが容易である。なおかつ、流量関数としての必要要件を満たしている。

● カーブナンバー法の留意点

- カーブナンバー法は期間中のすべての流出量を算出しているので「直接流出量」に加え「基底流出量」も含まれた流出量が算定される。
- 厳密に「直接流出量」とするには基底流出の分離を行い、除外する必要があるが、簡便さのため基底流出は含めたままで取り扱う。そのため、規模の小さな流出イベントでは基底流出を無視しえず誤差が大きくなる。



● その他の理由

- 水の量的効果を算定するための国際規格であるVWB（Volumetric Water Benefit）の中で、カーブナンバー法が指標の１つとして採用されており、TNFD対応で情報開示を行おうとする企業との親和性がよいと判断した。

日本版カーブナンバーの設定手順１

日本でカーブナンバー法を利用するために、日本向けのカーブナンバー値を設定する。
カーブナンバーを設定するためには、国内の試験地等で観測された降水～流出イベントのデータが必要となる。

１．国内19の林地流域で観測された165年分のデータを収集

森林総研理水試験地15流域と文献でデータが公開されている４流域、**通算165年分**の**日降水量**および**日流量**データを収集した。
これらのデータは、林地における降雨と流出の関係を把握し、我が国の林地向けにカーブナンバー値を決定するために活用する。

森林総合研究所・理水試験地15流域のデータ

試験地名	地質	観測地点 降水量	観測地点 流量	集計期間
定山渓	石英斑岩（第三紀層）	気象露場	時雨1の沢 時雨2の沢	2008～2017
釜淵	凝灰岩・頁岩質凝灰岩（第三紀層）	基地露場	1号沢 2号沢 3号沢	2007～2016
竜ノ口山	主に古生層堆積岩、一部火成岩	露場	南谷 北谷	2006～2015
去川	頁岩優勢で砂岩、石灰岩、礫岩を含む（中生層）	気象観測露場	1号沢 2号沢 3号沢	1996～2005
小川ブナ保護林	主に変成岩（中生層）一部花崗岩	気象露場	小川	2001～2005
常陸太田	緑色片岩（中生層）	基地露場	HA HV	2006～2012
筑波	黒雲母片麻岩（中・古生層）一部花崗岩	A地点	流域末端	1979～1987
鹿北	結晶片岩（中生層）	雨量計	WS2	2000～2008

文献公開されている４流域のデータ

著者名	流域名	地質	観測地点 降水量	観測地点 流量	集計期間
篠原ら	御手洗水	緑色片岩、蛇紋岩（中生層）	東尾根	流域末端	2003～2007
東大演習林	穴の宮	花崗岩	気象観測露場	流域末端	2007～2016
	白坂	花崗岩	気象観測露場	白坂本谷	2012～2021
	丸山沢	凝灰岩（第四紀層）	東郷ダム	流域末端	2004～2007

森林総合研究所の長期理水試験地

常陸太田試験地の気象露場

ここで収集された流域面積がすべて100ha未満であること、また代表的流域面積という概念(Gomi et al., 2002)を踏まえて対象面積の上限を100haとする。
100ha以上の流域については複数に小分けし、それぞれ100ha以下で個別に評価を行うことを前提とする。

日本版カーブナンバーの設定手順２

２．日降水量、日流量をイベント単位で区切り、イベントごとの積算値に変換

- 収集した日降水量 P および日流量 Q のデータに基き次のルールで降水～流出イベント単位に区切る。

イベント開始日：日降水量20mm以上※となった日
イベント終了日：開始日流量を下回った日の前日

- イベント開始日～終了日までの降水量および流量をそれぞれ積算する。

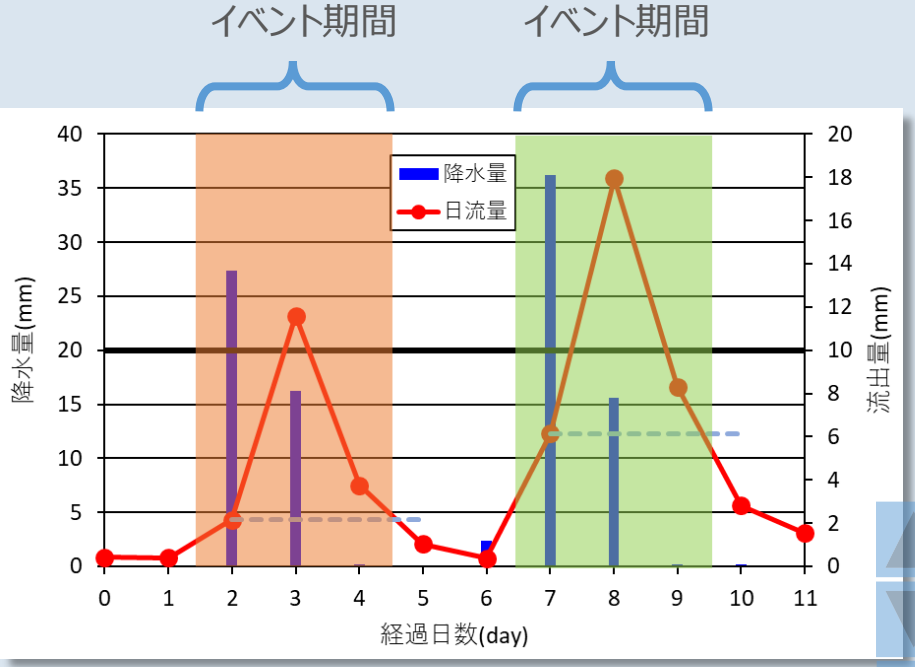
※日降水量20mm以上をしきい値としたことについて
　イベント開始とみなす日降水量は20mmとした。スライド48で記載したようにカーブナンバー法は実際には基底流出量を含む計算となっていて、小規模な降水イベントでは直接流出と基底流出が同等程度となり、直接流出の推定誤差が大きくなってしまう。そのため、一定レベル以上の降水イベントを対象とするため、何通りかの降水量しきい値を検討した上で、20mmを採用した。

日	降水量(mm)	日流量(mm)
0	0	0.4
1	0	0.4
2	27.4	2.2
3	16.2	11.6
4	0.2	3.7
5	0	1.0
6	2.4	0.4
7	36.2	6.2
8	15.6	18.0
9	0.2	8.3
10	0.2	2.8
11	0	1.5

積算流量 mm/event	積算降水量 mm/event
17.5	43.8

積算流量 mm/event	積算降水量 mm/event
32.5	52.0

総数3499の降水～流出イベントが得られた



日本版カーブナンバーの設定手順３

３．降水～流出イベントごとの積算降水量P～積算流出量Qから対応するCN値を算定

カーブナンバー法の式を変形して得られる次式にPおよびQの値を代入し、両者の関係に該当するカーブナンバー（CN）値を得る。

$$CN = \frac{1000}{10 + 0.1969P + 0.3937Q - 0.3937\sqrt{Q^2 + 1.25PQ}}$$

（PおよびQの単位mm/event）

カーブナンバー法の前提条件である下式を満たすか確認し、降水～流出イベントの絞り込みを行った。イベントによっては、積算降水量より積算流出量が多くなってしまう場合があるため。

最大貯留量S >0 かつ $S >= P - Q$

当初 3499個あった降水～流出イベントが **3166 イベント**に絞られた。最終的に上のCN式を使って 3166個 のカーブナンバー（CN）値が得られた。

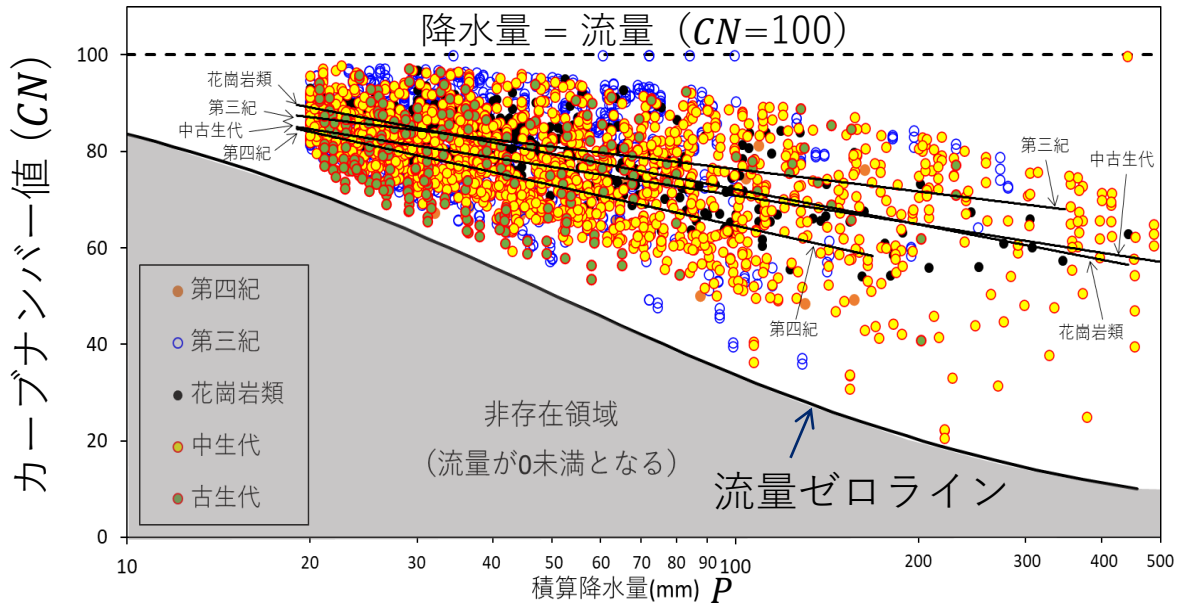
計算表の一例

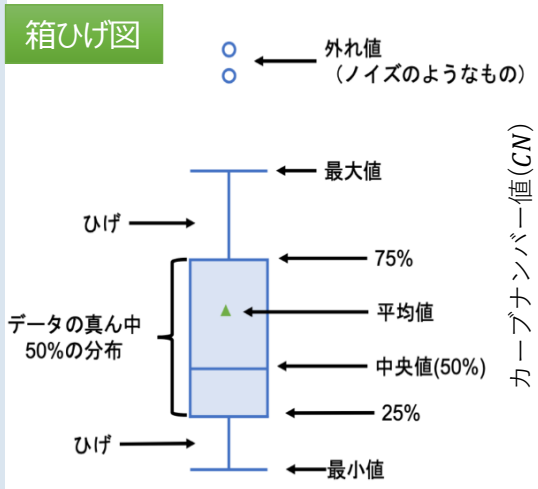
期間	積算降水量	積算流出量	CN値	S	$P-Q$
1/6-10	40.0	11.3	84	49.86	28.7
3/11	22.0	3.6	86	40.22	18.4
3/24-26	52.5	9.5	74	90.42	43.0
5/6-7	31.5	5.3	82	56.66	26.2
5/17	22.5	2.3	83	51.88	20.2
6/8-10	75.5	11.2	64	145.73	64.3
6/22-26	81.0	21.6	71	105.98	59.4
7/10-22	276.0	146.2	61	162.55	129.8
8/23-24	31.5	5.4	82	56.05	26.1
8/30-31	49.0	7.8	74	90.99	41.2

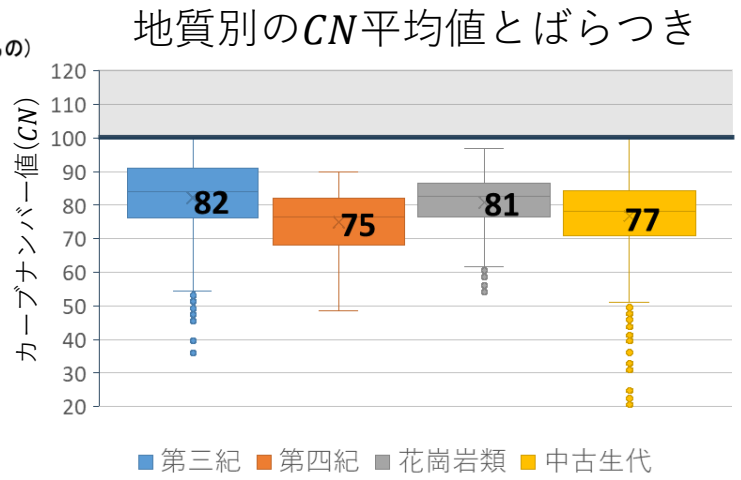
地質別の降水～流出イベント数および
イベントから得られたカーブナンバー個数

中古生代	第三紀	第四紀	花崗岩類
1765	889	42	470
総数 **3166**			

日本版カーブナンバーの設定手順４







４．地質別にCN値を決定する

👈 **3166降水～流出イベント**
算定されたCN値をプロットした（N=3166）。

- 積算降水量Pが大きくなるとCN値が小さな値となる傾向がみられる。
- 地質別では花崗岩類(●) が最もばらつきが少ない。
- 地質ごとのCN平均値として以下が得られる。
  第三紀＝82（最大）第四紀＝75（最小）
  花崗岩類＝81　　中古生代＝77
- CN値は積算降水量Pへの依存がみられることから、降水量に応じた下記の対数式でCN値を決定することとする。

対数式によるCN 回帰式

中古生代	$CN = -19.70 \log_{10} P + 110.24$
第三紀	$CN = -15.42 \log_{10} P + 107.15$
第四紀	$CN = -27.84 \log_{10} P + 120.27$
花崗岩類	$CN = -24.27 \log_{10} P + 120.71$

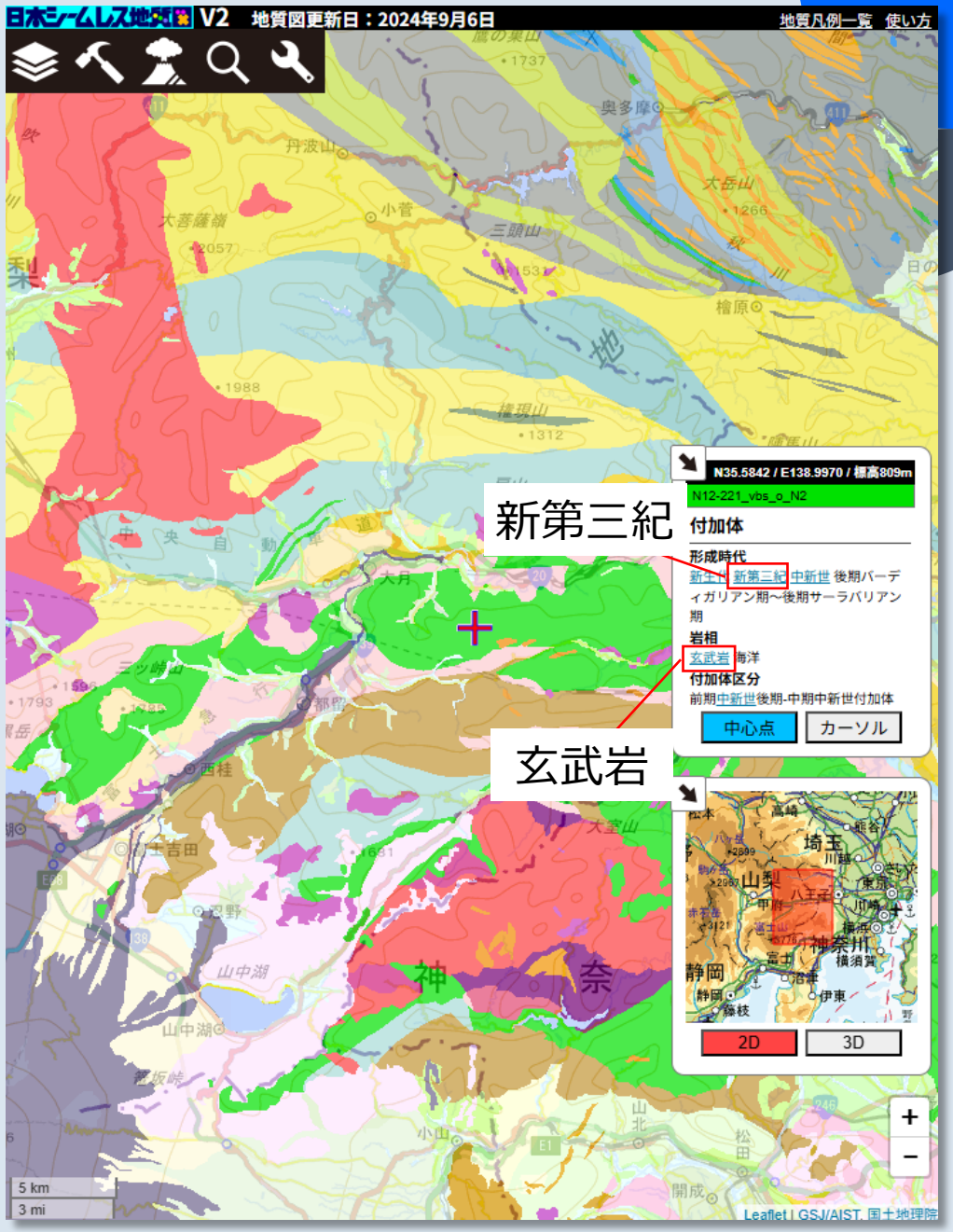
- 地質別には第三紀がもっとも大きなCN値（直接流出量が多い）となる傾向で、第四紀がもっとも小さなCN値となりやすい傾向。

シームレス地質図

- 対象地の地質情報については、例えば産総研のシームレス地質図等を参照して決定する。
  https://gbank.gsj.jp/seamless/

- 以下の手順で地質区分を定めるとよい。

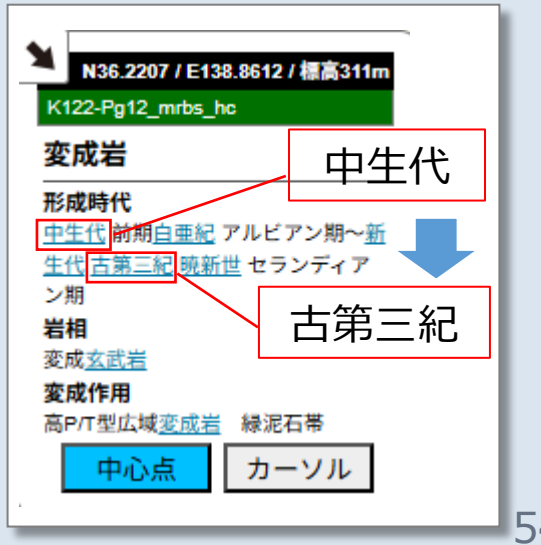
  1. 対象地域を中央の✚マーカーに重ねる。
  2. 凡例ボックスで形成時代を確認する。
     右の例では「**第三紀**」に該当。
  3. 岩相を確認する。右の例では「**玄武岩**」。
  4. 岩相が花崗岩ではないので形成時代である「**第三紀**」を採用する。
  5. 岩相が花崗岩（花崗閃緑岩含む）の場合は、形成時代に関わらず「**花崗岩**」を採用する。



地質区分について

- 水文応答の違いを反映する空間区分として、地質区分でデータを分類した。
- **中古生代、第三紀、第四紀、花崗岩類**の４区分
- 虫明ら(1981) が流出応答の分類時に用いた区分を参考にしている。虫明は古生層、中生層、第三紀、第四紀、花崗岩の５区分。
- 当初は岩相区分（泥岩、安山岩等）を試みたが、付加体や火成岩流域での観測データが不足したため、形成時代による区分を採用した。
- 地質区分の判断には産総研のシームレス地質図等を参照することを想定
https://gbank.gsj.jp/seamless
- シームレス地質図の岩相区分では「**花崗岩**」と「**花崗閃緑岩**」の２種が存在するが、花崗閃緑岩も「**花崗岩類**」の区分に含める。

- 形成時代区分を基本とはするが、花崗岩流域の水文応答は特徴的であることが知られる。また、収集された水文データに花崗岩流域の数が多いことも踏まえ、花崗岩のみ特だしで区分に追加した。
- 対象流域内に複数の岩相区分が存在する場合がある。その場合は、代表的な地点における区分を採用するが、迷う場合はより流出量が多くなる区分を採用する。積算降水量が30～90mmの範囲のとき、流出量が多い順に以下の並びとなる。
第三紀 → 花崗岩類 → 中古生代 → 第四紀
- さまざまな岩が混在する場合、形成時代の範囲が長期に渡る場合がある。時代区分を時代をまたぐ例として、「**中生代**」～「**古第三紀**」などと表示される場合がある。その場合、より詳細な形成時代を確定させることが望ましいが、それが難しい場合は、上と同じくより流出量が多くなる区分を採用する。



補足説明スライド
専門家向け

カーブナンバーCN 値の降水量依存について

- 収集した**3166**イベントごとに算定されたCN値を縦軸、積算降水量Pを横軸としてプロットした図を右に示す。
- 図凡例は地質別マーカーとなっている。地質別のCN値平均を算定するのが最もシンプルな「地質別CN値」の決め方となる。

カーブナンバーCN値（地質別平均）	
第三紀	第四紀
82	**75**
花崗岩類	中・古生層
81	**77**

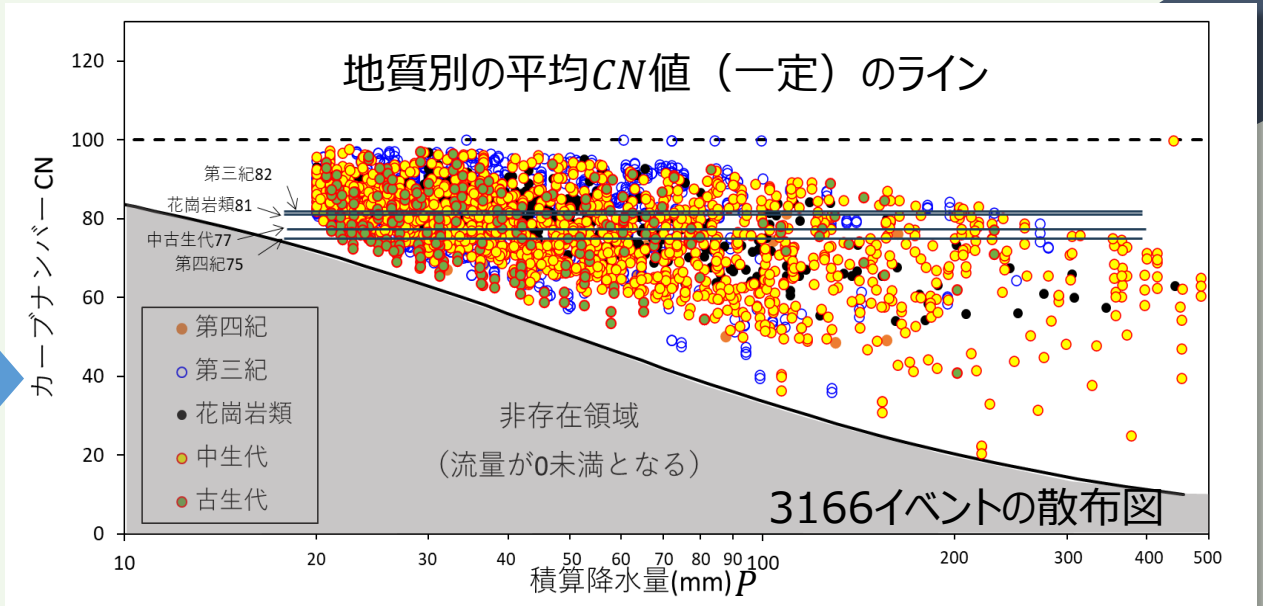
CN値を一定値とした場合

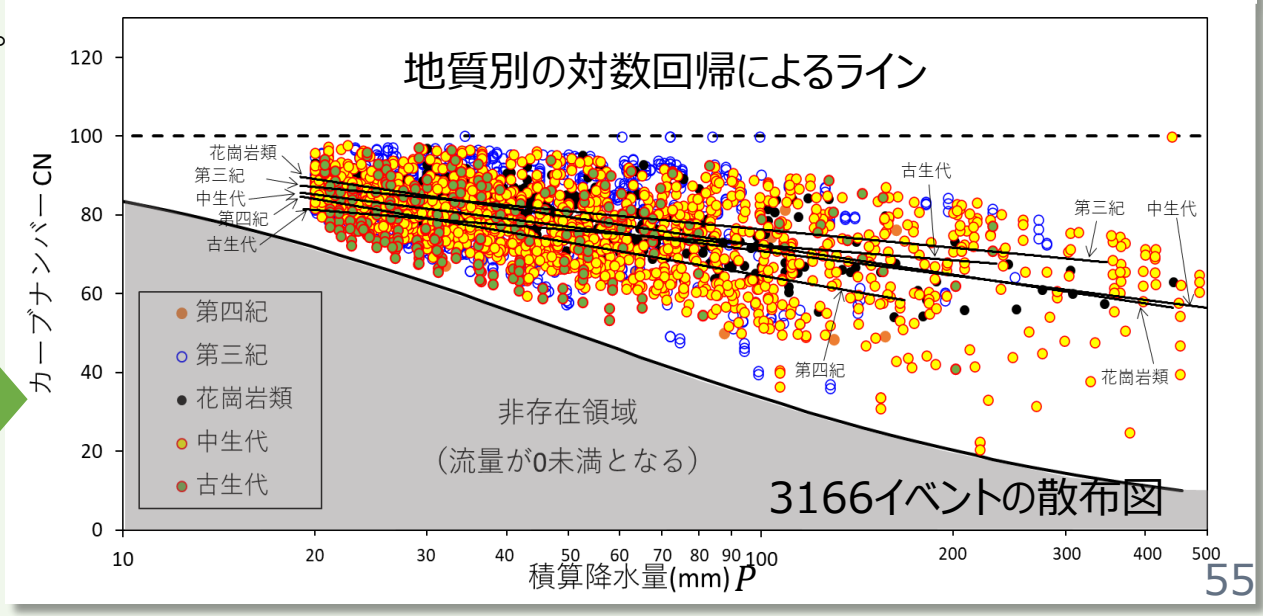
- 右図で CN値は明らかな積算降水量Pへの依存性を示す。すなわち、 P が大きくなると CN 値は小さな値となる傾向がある。
- CN値を平均値（一定値、右上図の水平線）とした場合、Pが100mm超でもCN値は低下せず、流出量を過大評価する。
- CN値を一定値とせず、降水量依存とさせるため、右下図の**対数式**を使う。以下は各地質別に回帰させた対数式である。

中古生層	$CN = -19.70 \log_{10} P + 110.24$
第三紀	$CN = -15.42 \log_{10} P + 107.15$
第四紀	$CN = -27.84 \log_{10} P + 120.27$
花崗岩類	$CN = -24.27 \log_{10} P + 120.71$

CN値を降水量に依存させた場合

- 数式が煩雑なため、エクセル計算ツールを配布し、ユーザーが計算をしなくてもよい形とする。





補足説明スライド
専門家向け

飽和流出と地質の関係

- スライド46で述べた飽和流出（降った雨の100%が流出する状態）の概念について、飽和流出へ転換する限界値と地質に関連があることを、指摘する文献を紹介する。
- 「森林科学」2007, 文永堂出版、p.90~91の記述を抜粋する。

　降り始めからの連続雨量が大きくなり、流域に貯留される水量の上限まで水が貯留されると、降った雨が100%流出する段階となる。～中略～　この限界値は、連続雨量と直接流出量の関係を図に描き、直接流出率が100%となる雨量によって示されることになる（図3-18）。
　この限界値は主に地質（とそれに対応した傾斜や土壌の深さ、深部浸透量の割合など）によっていると考えられ、樹種や林齢など森林の属性による影響は少ない。いくつかの観測から、第三紀層や中古生層の地質である流域では流出率が100%になる連続雨量が比較的小さく、風化花崗岩流域ではその限界がより大きいといった結果が得られている。

- 右の図3-18では、流域B ● で引かれた補助線において、「100%流出するときの傾き」と同じ傾きの線があり、飽和流出に至る限界値が連続雨量125mm付近と読み取れる。なお、その他の流域では飽和流出へ転換する連続雨量の限界値は出現していないようにみえる。
- 飽和流出へ転換する限界値（となる連続雨量）の大きさは、地質との相関がみられることが上記引用で指摘されている。ここでは、第三紀層と中古生層といった地質時代で限界値が比較的小さいこと、風化花崗岩では大きいとされている。

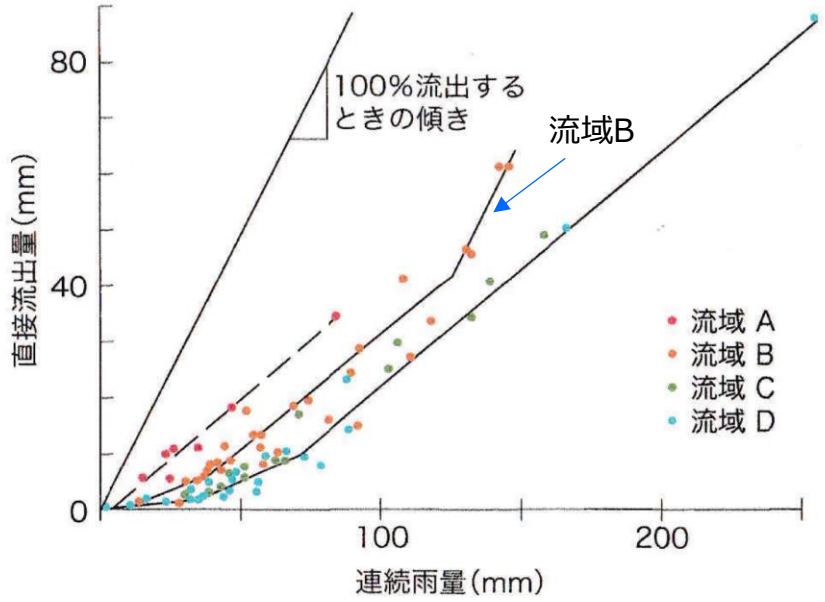


図3-18　山地小流域における連続雨量と直接流出量の関係
流域A～D：流域面積10ha以下の風化花崗岩山地にある流域．流域A：植生が少なく土壌層も発達していない流域で，直接流出率が高い．流域B，C，D：森林流域で，流域Aより直接流出率が低い．流域B：連続雨量130mmを越えると直接流出率が100%になる関係が現れている．（福嶌義宏，1993）

「森林科学」2007, 文永堂出版、p.91より

補足説明スライド
専門家向け

地質別の傾向を比較

- 虫明ら(1981) は流域規模100km²程度の水源山地河川を対象として地質と流出の関係を調べ、流出を考慮するための実用的な地質区分を提示した。以下の５分類である。

  古生層 中生層 第三紀 第四紀 花崗岩類

- 虫明が分類の基本として、形成時代を採用した理由は下記である。

  「噴出岩や堆積岩は、一般に古期の岩石ほど固結度が高く、時代の経過に応じて地殻変動や熱作用などによる変質の程度が同じと考えられるので、地質時代の大区分を分類の基準とする。」

- 上記の根拠として虫明の流況曲線では形成時代が古いほど渇水流量[mm/日]が少ない傾向がみてとれる（右図の右端付近）。

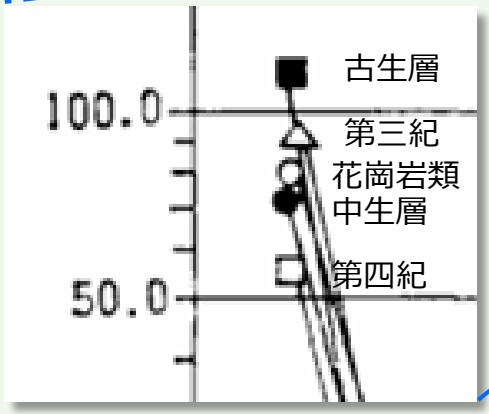
- 虫明の年最大日流量の地質別ならび順をみると、以下の順となる（右図の左端）。

  古生層→第三紀→花崗岩類→中生層→第四紀

- カーブナンバー法では、CN値が大きいほど流出量は多くなる。本資料で算定されたCN値の大きさによる並び順（右表）は

  第三紀→花崗岩類→中古生代→第四紀

  であり、その並び順は虫明と概ね一致する。

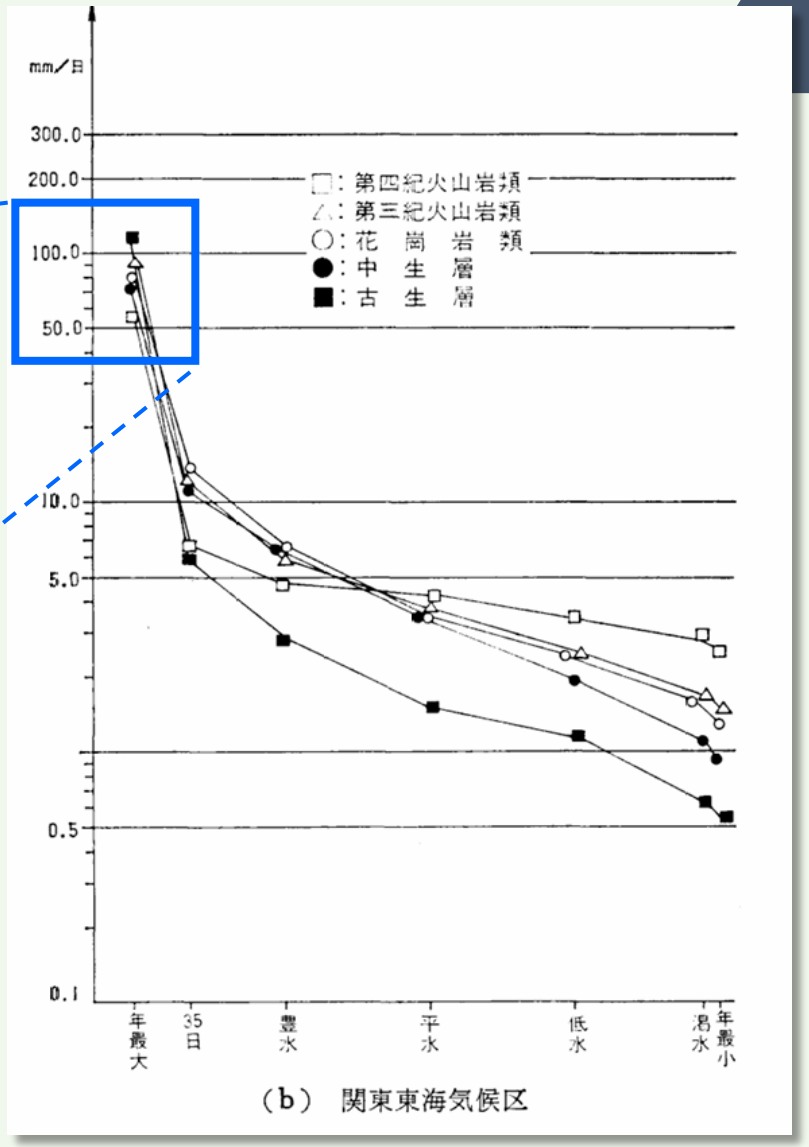


虫明による年最大日流量の多い順

カーブナンバー値	
第三紀	82
花崗岩類	81
中古生代	77
第四紀	75

カーブナンバー法による流量の多い順

地質別にみた流況曲線（虫明ら1981）



2.3 林地と裸地の比較（直接流出）

- 林地が開発等により裸地化すると、直接流出量が増えて水資源涵養量が減少する。
- 林地と裸地を比較することで、林地を森林として維持したときの効果、すなわち林地による表面流出の抑制量を近似的に評価できる。
- 表面流出が抑制されることで、土壌流出を防ぎ、 濁水防止効果をもたらす。

本スライドの内容は調整中です。

裸地の直接流出

- 裸地の直接流出は、表面流出が多くを占め、速い流出は林地に比べ大きく減少する。
- 表面流出はその過程で地中を通過する水量は相対的に少ないことから、カーブナンバー法や貯留関数法といった流出関数を使わずとも、降水量に対する一定比率である程度推定できると判断した。
- 既往報告書※で、裸地での降雨分配は、蒸発が約40%、降雨直後の表面流出約55%、貯留約5%とされ、その上で、裸地における貯留量10%が採用されている。
- **裸地からの年間直接流出として年降水量比0.50**を採用する。この場合、年間の水収支で直接流出50%＋蒸発40%＝90%となり、貯留10%と釣り合う。

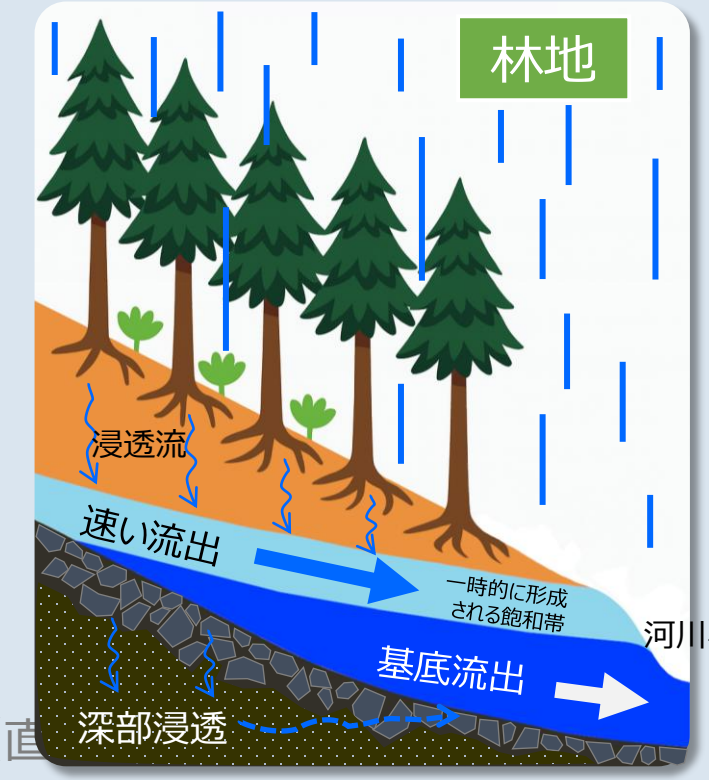
※本資料における裸地

本資料で取り上げる「裸地」は、写真のような不毛岩石地と呼ばれる**森林土壌が失われた状態**を想定している。

主伐（皆伐）直後で地表にまだ森林土壌が残っている状態とは異なる点に留意されたい。

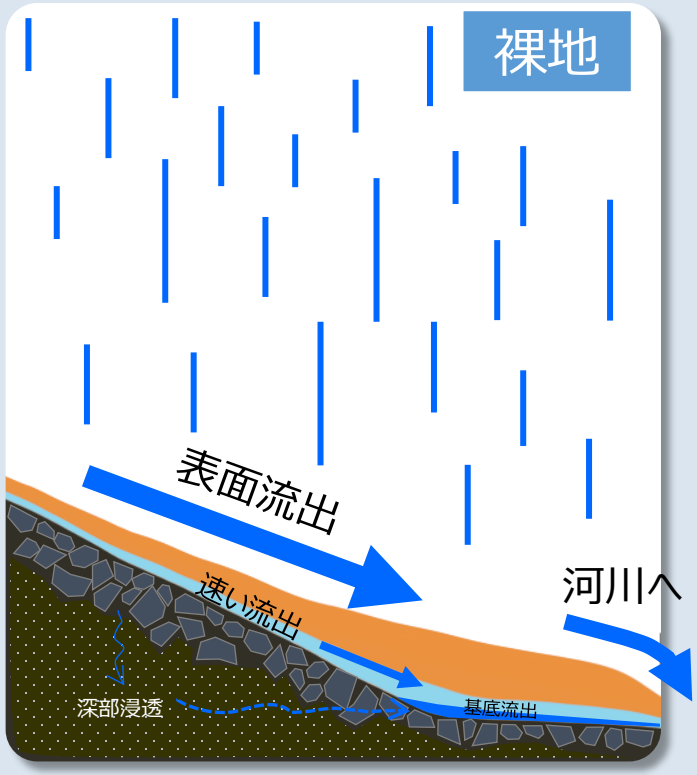
林地で発生する直接流出のイメージ

・速い流出が中心
・表面流出はほとんど発生しない



裸地で発生する直接流出のイメージ

・表面流出が中心
・速い流出は林地に比べると大幅に減少

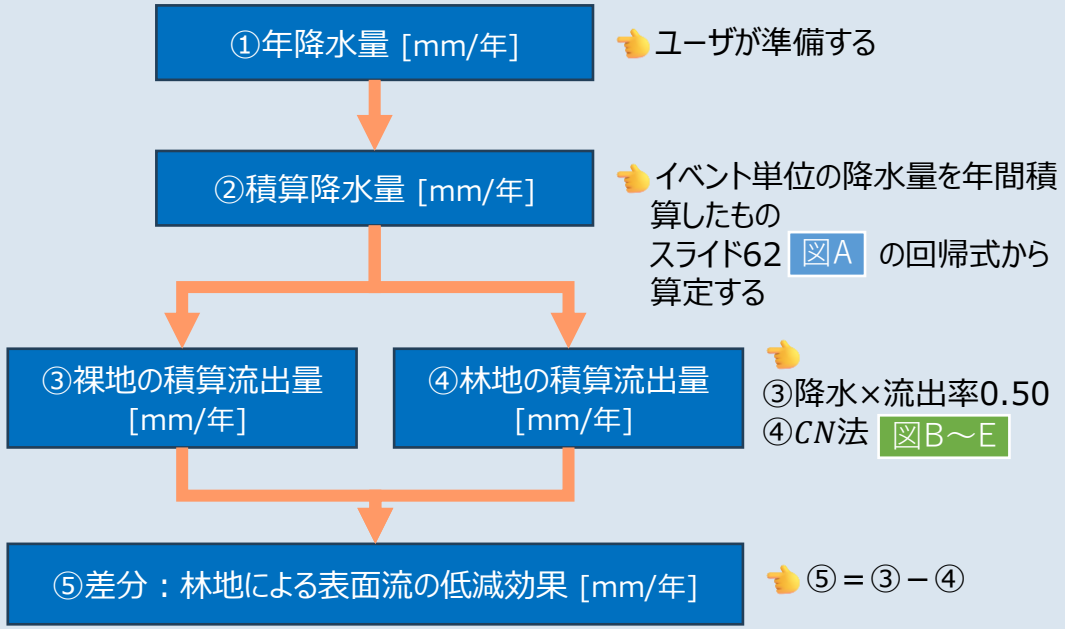


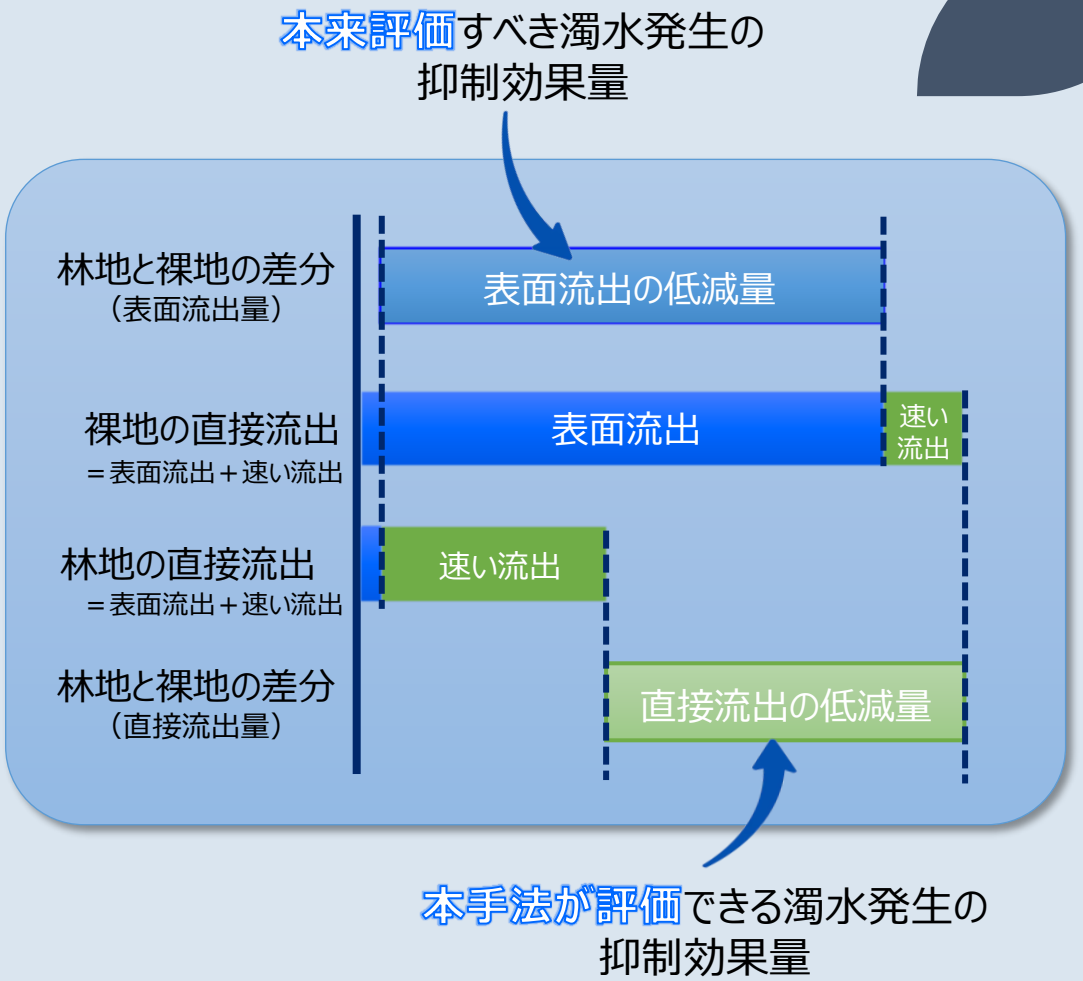
※地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価に関する調査研究報告書、平成13年11月

林地と裸地の比較

林地を適切に管理することで発揮される表面流出の低減効果を算出する

- 林地と裸地の直接流出量を計算する。手順は下左図フローのとおり。
  - ・裸地からの直接流出は降水量比0.50を使う。
  - ・林地はカーブナンバー（CN）法を使う。スライド62 図B～E 式
- 林地と裸地の直接流出の違いは、おもに表面流出の違いに起因する。ただし、直接流出量の低減量には右図のように「速い流出」が含まれていることから、本来の表面流出量の差とは異なる。直接流出量の低減量も濁水の発生を抑制する効果量とみなすことはできるが、近似的（控えめ）な評価値となる。





本手法では表面流出そのものではなく、直接流出を評価しているので「速い流出」も含まれる。
そのため、林地と裸地の差分量は上に示す本来の量と比べると控えめな量となる。

林地と裸地の直接流出量の比較

● 観測年降水量データを使い、直接流出量を算出した例を示す。計算条件は以下である。

1-2. 地質区分	中古生代

直接流出量は「**地質区分**」と「**年降水量**」を指定すれば計算できる。

● **裸地からの直接流出量③**
①年降水量×0.50として直接流出量③を算定する。

● **林地からの直接流出量④**
①年降水量から 図A スライド62 により②積算降水量を算定し、カーブナンバー法 図E スライド62 で直接流出量④を算定する。

● 林地による表面流の低減効果量（⑤）は、**493～620mm**の範囲で、降水量比率で34.1～36.5%となる。
つまり、裸地は林地に比べて年降水量の３割～４割弱程度、直接流出量が多い。

年	① 年降水量 [mm/年]	②積算降水量 [mm/年] 図A の式	直接流出量 [mm/年] ③裸地 ＝①×流出率0.50	直接流出量 [mm/年] ④林地 CN法 図E の式	差分 ⑤＝③－④ [mm/年]	年降水量比 ⑤/①×100
2006	1,814	1,036	907	288	620	34.1 %
2007	1,418	779	709	198	511	36.1 %
2008	1,353	737	677	183	493	36.5 %
2009	1,456	804	728	206	521	35.8 %
2010	1,609	903	804	241	563	35.0 %
2011	1,354	738	677	183	494	36.5 %
2012	1,565	874	783	231	551	35.2 %

観測された**年降水量**

年降水量から年単位の直接流出量を算出する

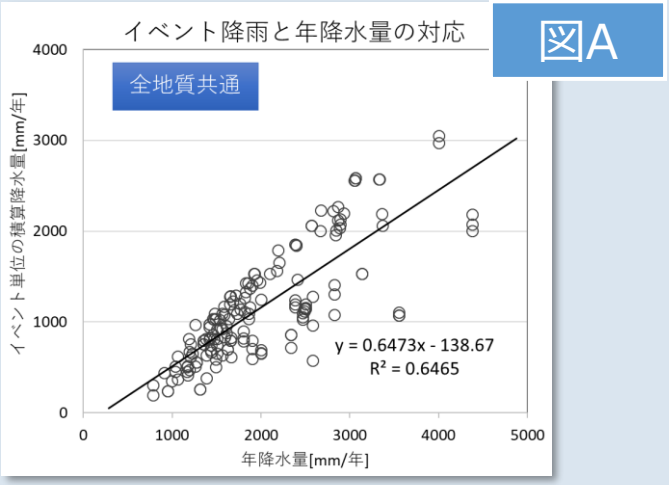
カーブナンバー法は降水～流出イベント単位で直接流出量を推定する手法だが、ユーザーがイベント単位に降水量データを準備するのは現実的に困難である。

本手法では、イベント単位の降水量と年降水量の関係性を整理し、年降水量のうち降水～流出イベントに実際に寄与する降水量を推定する回帰式を構築した。さらに、地質別に作成した 図B~E の流出量曲線を用いて、イベント単位の流出量を年単位の積算流出量に変換するようにした。これにより、ユーザーは年降水量を入力するだけで、年単位の直接流出量の算出が可能となる。

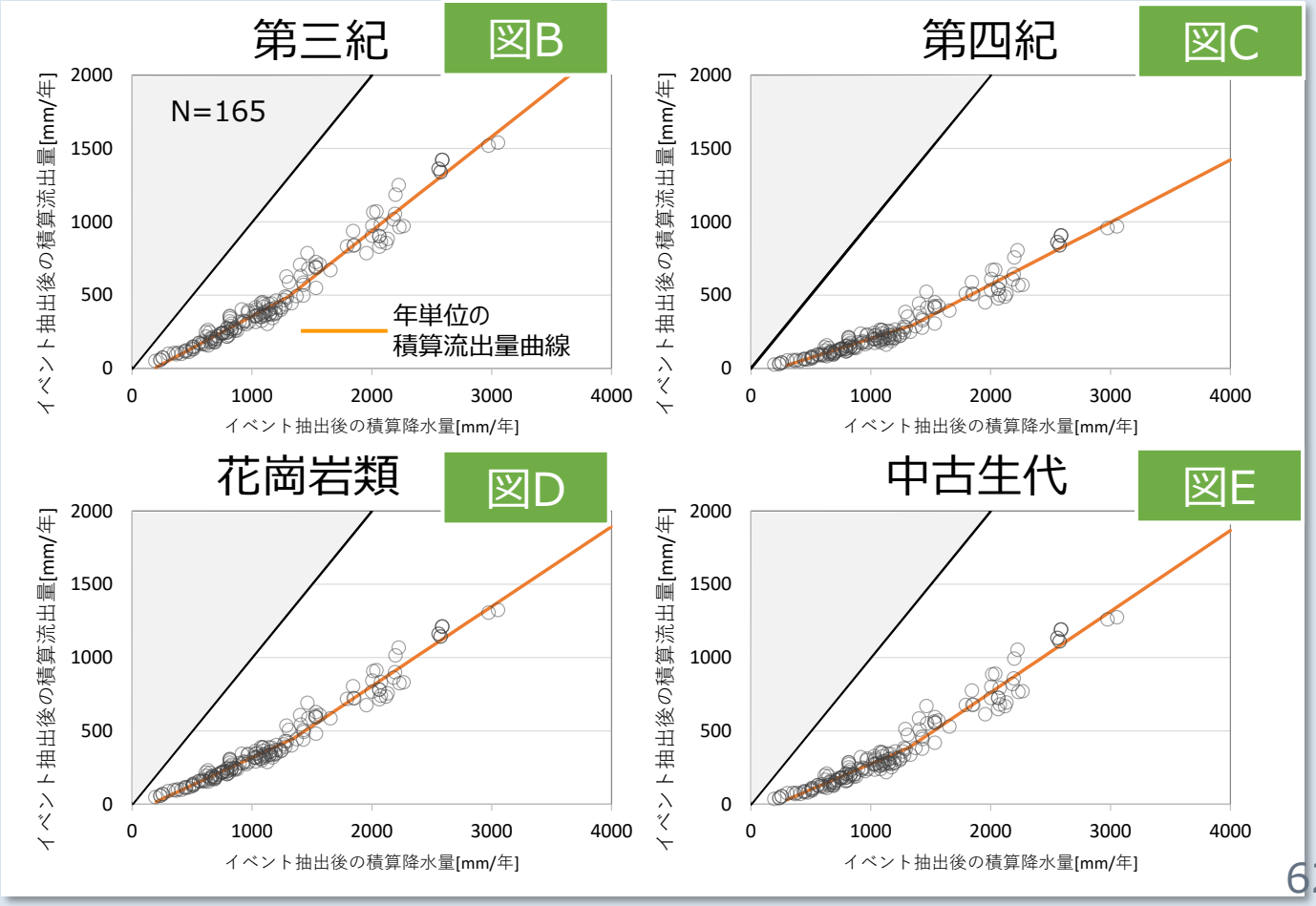
エクセル計算ツールの内部での計算過程

①年降水量 [mm/年]をユーザーが入力する。
② 図A の回帰式から、年降水量を降水～流出イベントに寄与する降水量のみの年積算降水量に変換する。
③地質別に用意した 図B~E の流出量曲線から、イベントごとの流出量を年間積算した年積算流出量に変換する。

年降水量をイベント降水の年積算量に変換する回帰線



地質別の流出量曲線
年積算降水量を年積算流出量に変換



補足説明スライド
専門家向け

流出量曲線の詳細

スライド62の流出量曲線の導出について詳細を記す。

1．収集した**165年分, 3166**の降水～流出イベントを対象に次の計算を行った。

(1) 3166のイベント降水量Pを地質別の対数式に与えて、3166のCN値を得る。

中古生層	$CN = -19.70 \log_{10} P + 110.24$
第三紀層	$CN = -15.42 \log_{10} P + 107.15$
第四紀層	$CN = -27.84 \log_{10} P + 120.27$
花崗岩	$CN = -24.27 \log_{10} P + 120.71$

(2) 3166のCN値から各Sを求め、PとSからCN式を使ってイベント流出量Qを3166通り算定する。

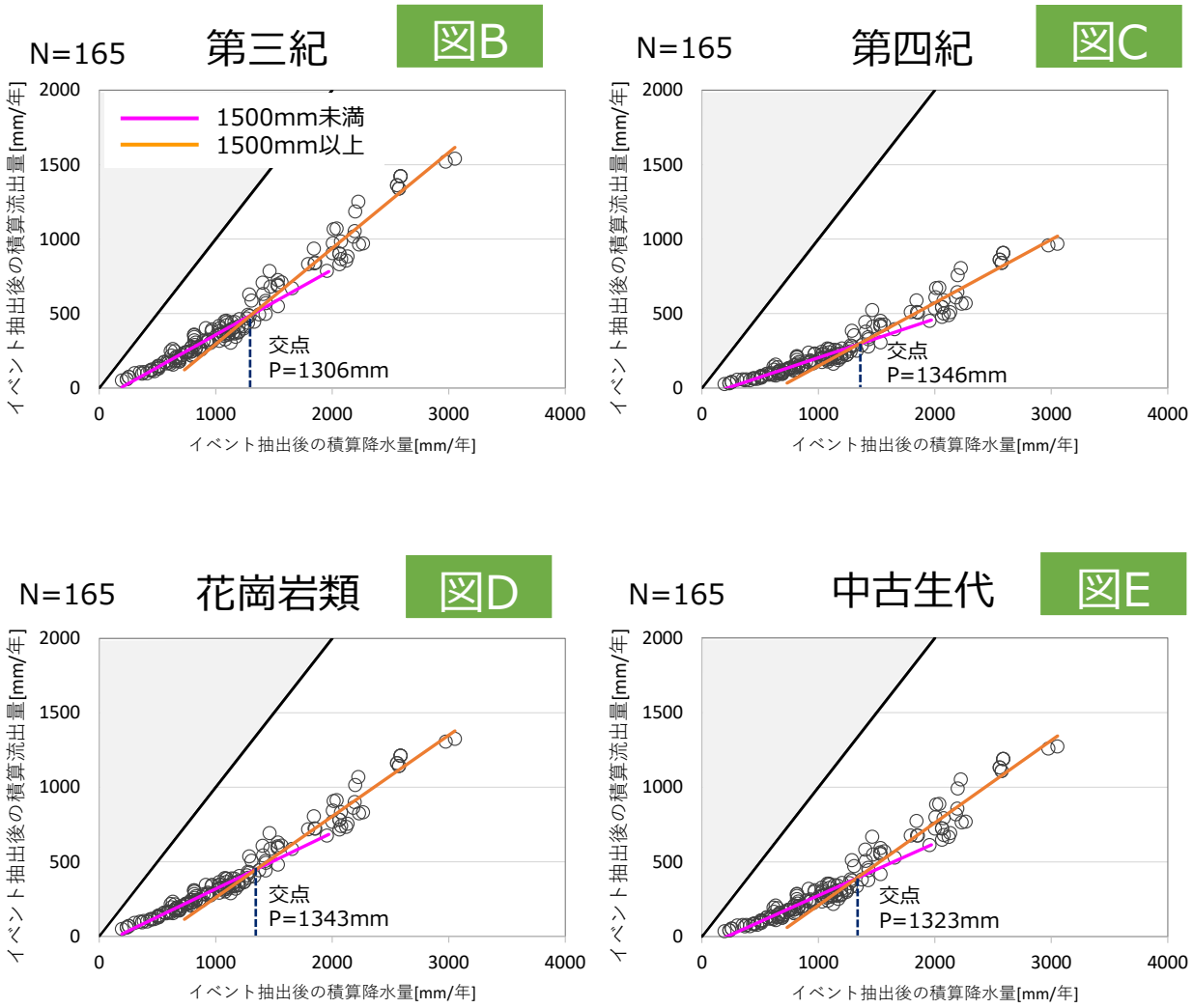
$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

2．各流域、各観測年に発生したイベント降水量 P を１年間積算する。収集データ165年で **165個**の「イベント抽出後の積算降水量[mm/年]」が算定される。同様に(2)で求めたイベント流出量Qを１年間積算し、「イベント抽出後の積算流出量[mm/年]」とする。

3．地質別に165年分の散布図（**N=165**）を作成 図B~E

4．各散布図で２種類の回帰線を作成する。
- ：イベント抽出後の積算降水量が1500mm未満の範囲での線形近似
- ：イベント抽出後の積算降水量が1500mm以上の範囲での線形近似

5．流出量曲線は、 と の両者を、その交点で切り替える形で構成する。



3. 林地からの蒸発散量を算定する

3.1 3章の位置づけ

水資源涵養量 = 降水量 – (直接流出量 + 蒸発散量)

- 降水量から「直接流出量」と「蒸発散量」を差し引いた残りの水量を「水資源涵養量」と定義する。
- 蒸発散量は「遮断蒸発量」と「蒸散量」から構成される。
- 気温などの気象情報と林地の情報から「遮断蒸発量」と「蒸散量」を算定する。

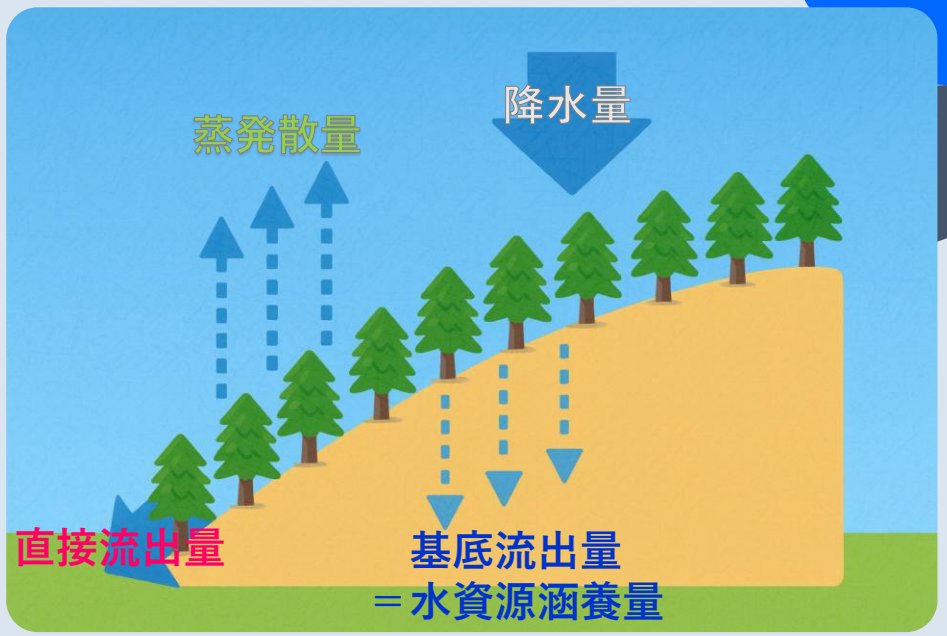
水資源涵養量の式

３章では蒸発散量について詳しく説明する

水資源涵養量 ＝降水量－（**直接流出量** ＋ 蒸発散量）

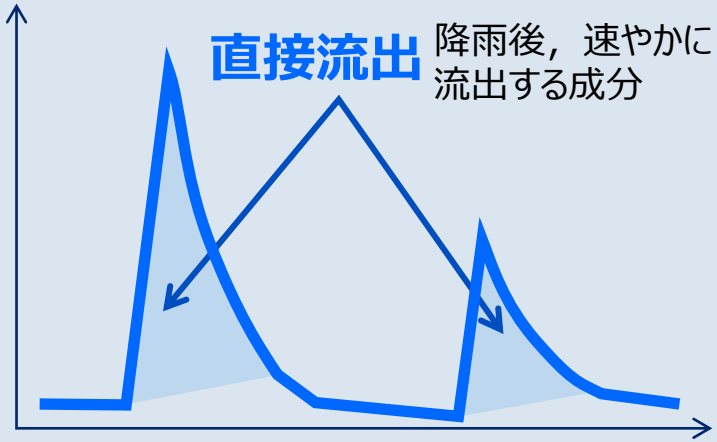
２章
森林土壌が重要で樹木による影響は大きくない

３章
樹木の状態が重要でそれにより大きく変化する



２章：直接流出量

カーブナンバー法を使って、直接流出量を求める。

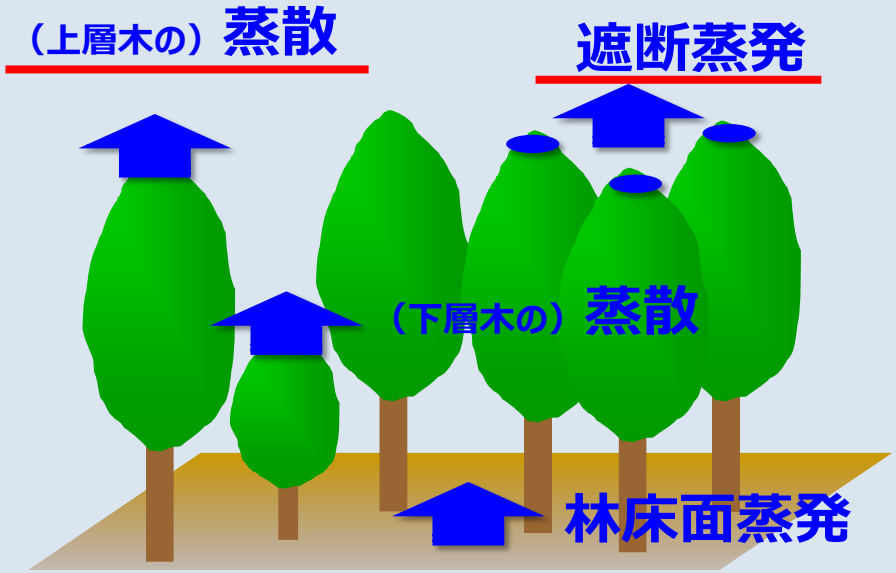


３章：蒸発散量＝遮断蒸発量＋蒸散量

蒸発散モデルを使って、遮断蒸発量と蒸散量を求める。

蒸発散モデルの作成方針

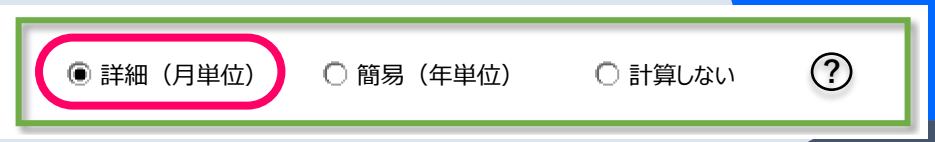
- これまでの森林水文学の知見を基に、**蒸発散モデル**を構築する。
- 遮断と蒸散による降水の損失量を定量評価し、林地から岩盤地下部に供給される水量を推定する。
- モデルは**【詳細】**と**【簡易】**の２種類を用意する。基本的にユーザーが林地情報を用意し、**【詳細】**モードで計算することを想定する。**【簡易】**モードは指定された地域で想定される最低限の水資源涵養量を算定するように調整されたオプショナルなモードである。
- **【詳細】**モードの特徴
  - **月単位**で計算する。
  - 月降水量と月平均気温を気象データとしてユーザーが準備する。
  - 林地情報が必要。**針/広区分**、**常緑/落葉区分**、**立木密度**、**胸高直径**（きょうこう）、**樹高**（広葉樹の場合）を入力値としてユーザーが準備する。間伐等の施業を実施した場合は、施業に応じた樹木情報とする。
  - **上層木の蒸散**と**遮断蒸発** を対象とし、下層木の蒸散および林床面蒸発はモデル評価に含めない。
- **【簡易】**モードの特徴
  - **年単位**で計算する。
  - 東北、関東などの地方を指定すると、年蒸発散量が算定される。
  - **気象データ（降水量や気温）をユーザーが準備する必要がない。**
  - **林地情報をユーザーが準備する必要がない。**
  - 地方別にあらかじめ気象データと林地情報をシステム側で用意しており、それらを使い蒸発散量を推定する。
  - 不用意に水資源涵養量が大きな値とならないように、その地方で**想定される最大の蒸発散量を与えるようモデルを調整。**



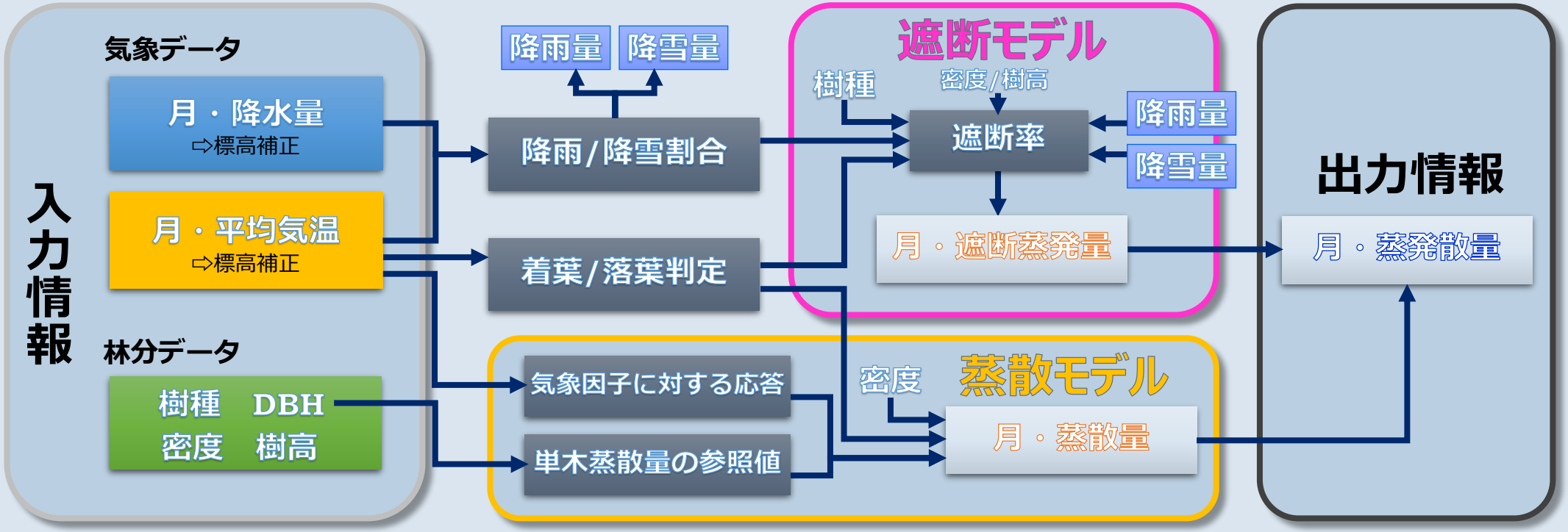
3.2 蒸発散モデル

- 森林水文学の知見を基に、「蒸発散モデル」を構築した。【詳細】と【簡易】の２種類がある。
- 【詳細】モードは月単位の計算。気象データとして、月降水量と月平均気温、林地情報を必要とする。
- 林地情報は、針葉樹/広葉樹区分、常緑/落葉区分、立木密度、胸高直径（きょうこう）、樹高（広葉樹のみ）を考慮。
- オプションの【簡易】モードは気象と林地情報不要だが、保守的な設計であり、大きな蒸発散量となるよう調整。

蒸発散モデル【詳細】



- 蒸発散モデルには**【詳細】【簡易】**の２種類がある。
- スライド69～74で**【詳細】モード**を解説する。 **【簡易】モード**の解説はスライド75～77に記載。
- **【詳細】**モードは **遮断モデル** と **蒸散モデル** の２つから構成される。
- **入力情報**として、月単位の気温・降水データと林分情報（樹種、DBH※、密度、樹高）をユーザーが準備する。
- **出力情報**として、月単位の 蒸散量 と 遮断蒸発量 が計算される。 ※DBH: 胸高直径（きょうこう）、Diameter Breast Heightの略
- モデル全体の組み立ては、Komatsu, 2020を参考とした。



遮断モデル：遮断率 r

遮断量 I_C は、降水量 P に遮断率 r を乗じて得る。

$$I_c = r \times P \quad \text{（遮断量の式）}$$

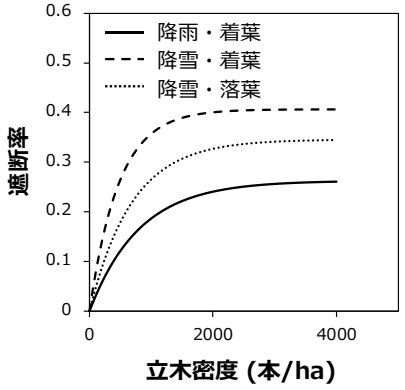
I_c：遮断量，　P：降水量，　r：遮断率

遮断率 r は針葉樹、広葉樹で式が異なる
針葉樹林：立木密度
広葉樹林：樹高

- 遮断率 r の算定は Komatsu et al., 2015 及び Inokoshi et al., 2023の方法による。
- 針/広別、着/落葉別、降雨/降雪別に以下の式で遮断率 r を決定する。

参考文献はスライドの最後にまとめて掲載

針葉樹林の遮断率



$$r = k_1\{1 - \exp(-k_2 N)\}$$

k_1 [unitless] および k_2[ha]：係数

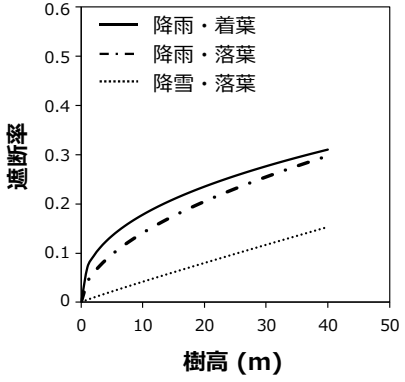
N [本/ha]：立木密度

係数k_1, k_2は下表による

			k_1	k_2
針葉樹	着葉期	降雨	0.263	1.24 x 10^{-3}
		降雪	0.406	2.11 x 10^{-3}
	落葉期	降雨※/降雪	0.346	1.46 x 10^{-3}

※原著論文にはない項目で本資料独自に追加

広葉樹林の遮断率



$$r = \left(\frac{H}{j_1}\right)^{j_2}$$

j_1 [m]：係数

j_2 [unitless]：係数

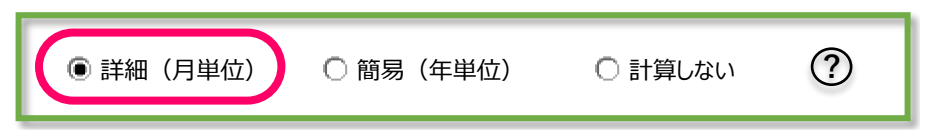
H [m]：樹高

係数j_1, j_2は下表による

			j_1	j_2
広葉樹	着葉期	降雨/降雪※	743	0.401
	落葉期	降雨	380	0.539
		降雪	293	0.941

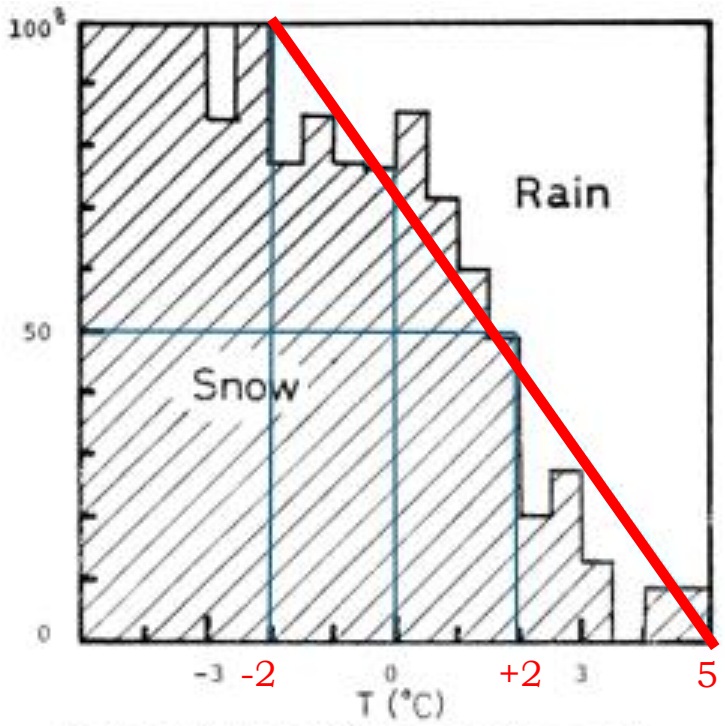
※原著論文にはない項目で本資料独自に追加

遮断モデル：降雨/降雪の割合



- ユーザーが準備した降水量をそのときの気温に基づき、雨と雪に配分する。
- 月平均気温に基づき月降雨量と月降雪量に按分する。
- 太田（1989）が提示する右図に基づく。
  気温が－2～＋5°Cの範囲で雨と雪が混在する。
- 太田（1989）の図から回帰線（赤）を定め、
  この線に基づく降雨/降雪割合を採用する。
- 降雨と降雪それぞれの状態に振り分けた後、
  スライド70 の遮断率 rのパラメータ（k_1, k_2, j_1, j_2）を使って、遮断量を算定する。

気温	雨/雪
＋5°C以上	すべて雨
－2～＋5°C	雨と雪が混在する 降雨/降雪割合は右の 赤ラインで決定する
－2°C以下	すべて雪



太田（1989）に赤ライン加筆

気温(°C)	降雪割合(%)
5	0
4	14
3	29
2	43
1	57
0	71
-1	86
-2	100

参考文献はスライドの
最後にまとめて掲載

遮断モデル：着葉/落葉判定

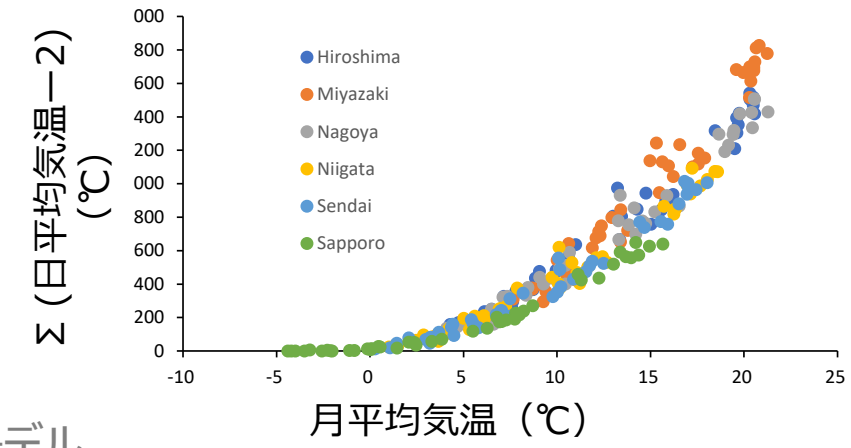
- 着葉期間と落葉期間に応じて遮断量の計算式を変更する。
- 着葉/落葉の判定には有効積算温度（ Nagai et al., 2015 ）を用いる。
- 判定は日単位で行う。月平均気温を各月15日に割り当て、月間を内挿補間して日気温を設定する。
- 下表に示す有効積算温度により展葉日と落葉日をそれぞれ決め、着葉期間、落葉期間を設定する。
- 月平均気温を12か月＝1年分入力すると、エクセル計算ツールにより自動で判定される。

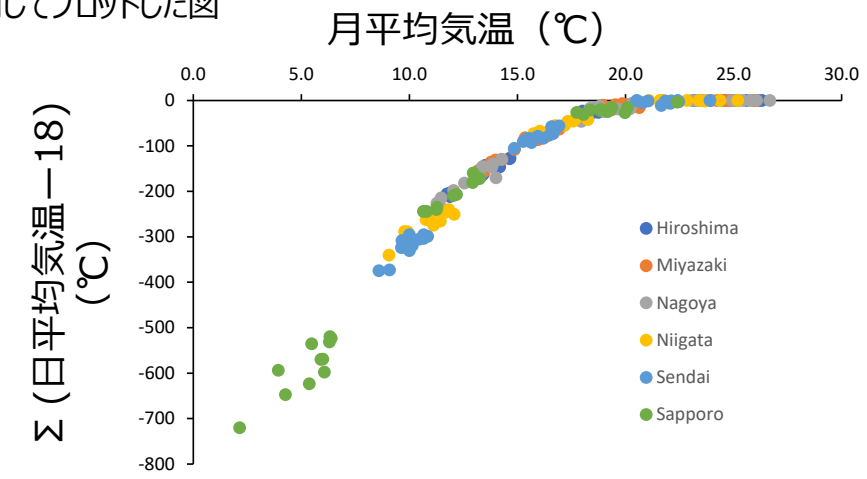
	積算開始日	有効積算温度℃	判定基準※
落葉の判断	9月1日	日平均気温－18℃	積算値が－200℃に達する日
着葉の判断	1月1日	日平均気温－2℃	積算値が＋200℃に達する日

※Nagai et al., 2015, Fig.4 からの読み取り値

参考文献はスライドの最後にまとめて掲載

Nagai et al., 2015 の有効積算温度を、札幌，仙台，新潟，名古屋，広島，宮崎の気温データに適用してプロットした図





蒸散モデル：簡易 Tsurutaの式

- 蒸散量Q_t の算定には、Tsuruta et al. (2019)が提案する式を簡易化したものを用いる。
- Tsurutaの式は、樹液流計測法を使いヒノキ林で構築された単木蒸散量の推定式である。
- **樹木**パラメータ部分 ☐ を胸高直径DBHで代替し、**気象**パラメータ部分 ☐ は月平均気温T_aで代替する。

Tsurutaの式

樹木 **気象**

$$Q_t = \boxed{Q_{tref}} \cdot \boxed{f_1(D) \cdot f_2(R_S) \cdot D}$$

Q_t：単木蒸散量 [cm³/day]

Q_{tref}：単木蒸散量の参照値 [cm³/day]
（大気飽差が1 [kPa]のときの単木蒸散量）

D：大気飽差 [kPa]

R_S：日射量 [W/m²]

樹木項Q_{tref}は、胸高直径データから林分あたりの推定が可能

$$Q_{tref} = 849DBH - 7350$$

気象項は月平均気温 T_aにより代替が可能

$$f(T_a) = 0.0244T_a + 0.4361$$

簡易Tsurutaの式

樹木 **気象**

$$Q_t = \boxed{Q_{tref}} \cdot \boxed{f(T_a)}$$

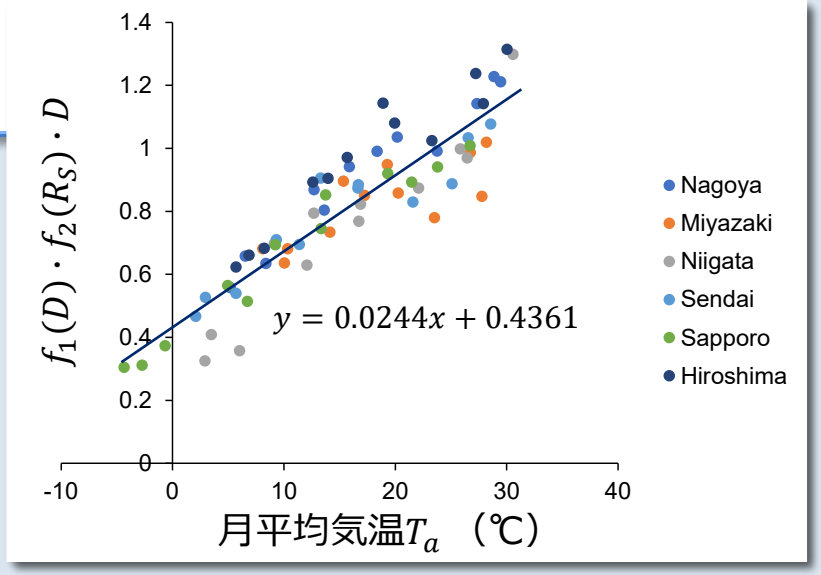
T_a：月平均気温 [℃]

$$f(T_a) = 0.0244T_a + 0.4361$$

$$Q_{tref} = 849DBH - 7350$$

DBH：胸高直径 [cm]

Tsurutaの式から得られる蒸散量 Q_t は樹木１本あたりの量であり、本数密度を乗じることで１haあたりの蒸散量に換算される。



👈Tsurutaの式に含まれる$f_1(D) \cdot f_2(R_S) \cdot D$の項を縦軸、月平均気温 T_aを横軸にプロット。札幌、仙台、新潟、名古屋、広島、宮崎のデータを利用した。両者には正の相関がみられる。

補足説明スライド
専門家向け

蒸散モデル：ヒノキ林以外への応用

ヒノキ以外の広葉樹・針葉樹についても、蒸散モデルは『簡易Tsurutaの式』を適用する

- オリジナルのTsurutaの式は、簡略化されたPenman-Monteith式（P-M式）に基づき構築されている。
- P-M式は、空気力学的コンダクタンス>>群落コンダクタンスの条件下では、下記の簡略化が可能である。

（簡略化されたP-M式） $E = \dfrac{\rho C_p D g_c}{\lambda \gamma}$

ここで、
E：蒸発散量、ρ：空気密度、 C_p：定圧比熱、D：飽差、λ：蒸発潜熱、γ：乾湿計定数、 g_c：群落コンダクタンス

①針葉樹林では、この条件がよくあてはまることが知られて、簡略化されたP-M式がよく用いられること。

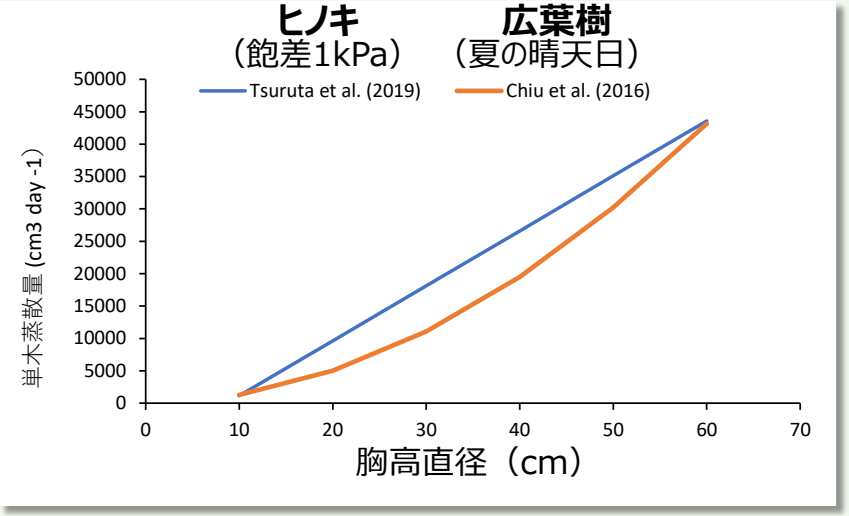
②Kume et al. (2015）は、簡略化されたP-M式の適用条件として、針葉樹林・広葉樹林の違いよりも、 g_cの大きさが重要であることを指摘していること。（g_cが小さい場合は、森林タイプによらずあてはまる。）

③実際に、広葉樹林に簡略化されたP-M式を当てはめた事例があること。（小松, 2019）

④簡略化されたP-M式を用いた場合、ヒノキとスギの蒸散特性は大きく変わらないことが報告されていること。（Komatsu et al., 2014）

⑤下図でChiu et al. (2016) が報告する常緑広葉樹林の夏の晴天日の胸高直径～単木蒸散量の関係 ―― は、Tsuruta et al. (2019) のヒノキ・飽差1kPa時の関係 ―― と大きく変わらないこと。

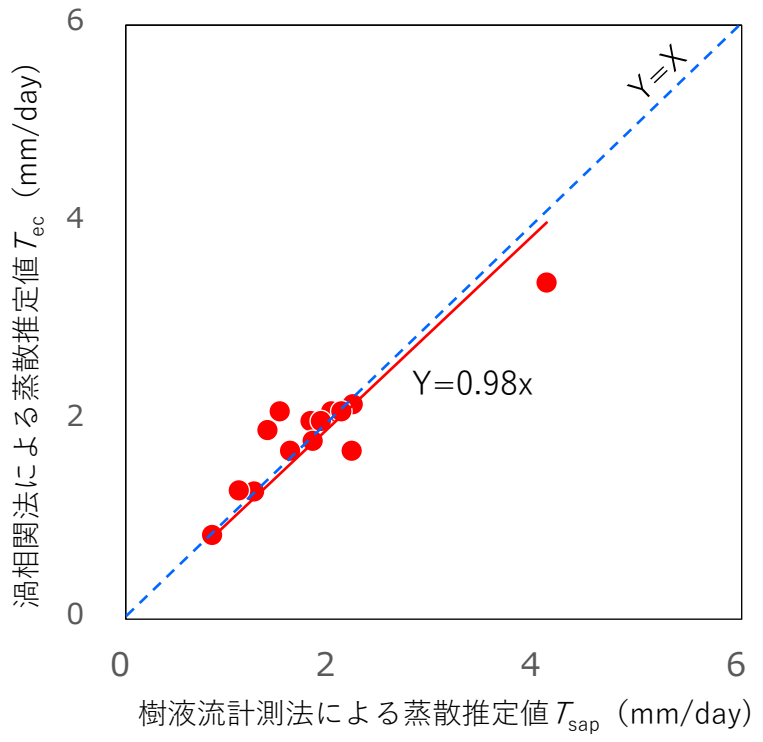
以上①～⑤より、森林タイプによらず**蒸散モデルはすべて簡易Tsurutaの式を適用することとした。**



補足説明スライド
専門家向け

蒸散モデル：樹液流計測法による蒸散推定値について

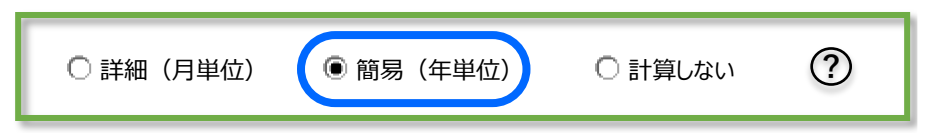
- 蒸散モデルで用いる Tsurutaの式は、樹液流計測法を使った単木蒸散量の推定式である。
- 既往の研究では樹液流計測法による蒸散推定値は、渦相関法による蒸散推定値の６～８割であるとも報告され（Cammalleri et al., 2013; Oishi et al., 2008; Williams et al., 2004）、環境条件による差異が存在する可能性が指摘されている。
- 右図は北米・欧州・アジア・アフリカ・オセアニア・豪州での25の研究データによる、森林の樹液流計測法による蒸散推定値 T_{sap}と渦相関法による蒸散推定値 T_{ec}をプロットしたものである（Wang et al., In preparation）
- 右図で T_{sap}と T_{ec}は統計的に有意な差を示さず、両者の蒸散推定値はほぼ一致している。これは、スケールや測定原理が異なるにもかかわらず、森林蒸散量の評価における両手法の互換性が高いことを示している。
- 以上より、本ツールでは樹液流計測から得られる蒸散推定値を用いることにした。ただし、今後研究の進展とともにより正確な蒸散量の評価方法を検討していくことも必要である。



Wang et al., In preparation

参考文献はスライドの最後にまとめて掲載

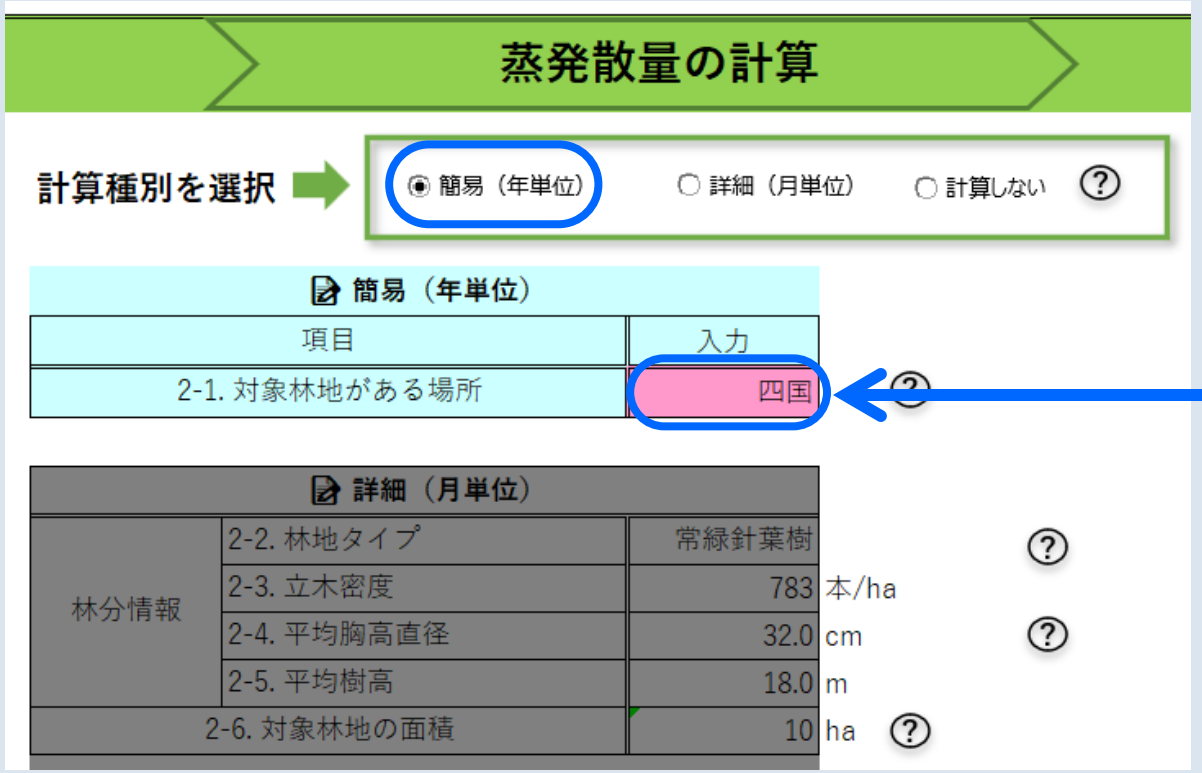
蒸発散モデル【簡易】とは



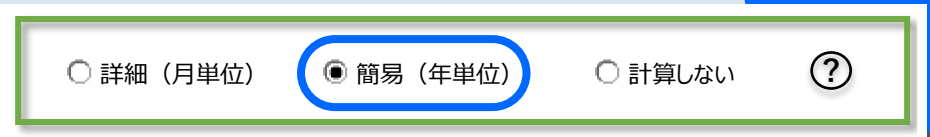
- 蒸発散モデル**【詳細】**で必要とされるデータ（密度や胸高直径等）を、非専門家が準備するのは簡単とはいえない。
- 森林が存在する地域（東北、関東など）を指定し、当該地方の森林と気温情報を用いて、非常に簡易に蒸発散量を計算する**【簡易】**モードを用意した。
- 全国を１１地方に区分：北海道、東北、関東甲信、東海、北陸、近畿、中国、四国、九州北部、九州南部・奄美、沖縄
- **【簡易】**モードでは、**保守的な値**が算定されるよう調整した。すなわち、選択された地方で**想定されるもっとも大きな蒸発散量**を出力する。差引きで得られる**水資源涵養量**はそれに応じて**小さめの値**となる。
  1. エクセル計算ツールの計算種別で【簡易（年単位）】を選択する。
  2. 入力項目（ピンク色セル）**2-1.対象林地がある場所**で地方を選択する。この項目以外の入力セルはグレーアウトしている。

北海道	東北	関東甲信	東海	北陸	近畿	中国	四国	九州北	九州南	沖縄
	青森	東京	静岡	新潟	京都	鳥取	香川	山口	宮崎	
	秋田	栃木	岐阜	富山	大阪	島根	愛媛	福岡	鹿児島	
	岩手	群馬	三重	石川	兵庫	岡山	徳島	大分		
	山形	埼玉	愛知	福井	奈良	広島	高知	佐賀		
	宮城	茨城			滋賀			熊本		
	福島	千葉			和歌山			長崎		
		神奈川								
		長野								
		山梨								

11地方から選択



蒸発散モデル【簡易】の構築



【簡易】モードではその地方で**想定されるもっとも大きな年蒸発散量**を与えるものとする。

- ユーザーが「地方（関東、近畿など）」を指定することを前提とする。
- **気象データ：**気象庁観測データから、各地方観測所での1991～2020年の30年間月平均降水量と月平均気温を用いる。
- **立木密度と胸高直径：**下表の組合せ（７パターン）を用意する。
- ７パターンそれぞれで**蒸発散モデル【詳細】**を使い、各地方の月平均降水量と平均気温に基づく蒸発散量を算定する。
- もっとも大きな蒸発散量を、**蒸発散モデル【簡易】**の採用値とする。確定値とするので、都度計算する必要はない。

A. 立木密度と胸高直径の組合せ

パターン	立木密度(本/ha)	胸高直径(cm)
a	500	58
b	1000	36
c	1500	27
d	2000	22
e	2500	19
f	3000	16
g	3500	15

※樹種は蒸発散量の多いスギを想定し、立木密度から収量比数0.90として胸高直径を求めた。

気象データの観測所諸元

気象庁観測所		標高(m)	年降水量(mm)	年平均気温(℃)
北海道	旭川	119.8	1104.5	7.2
東北	米沢	245.0	1437.7	11.4
関東	青梅	155.0	1563.4	14.3
東海	関ヶ原	130.0	2181.9	14.5
北陸	八尾	124.0	2577.3	13.6
近畿	奈良	102.1	1365.2	15.7
中国	津山	145.7	1413.5	14.0
四国	四国中央	75.0	1444.5	16.4
九州北部	日田	82.9	1876.3	15.8
九州南部・奄美	大口	175.0	2799.8	15.6
沖縄	糸数	186.0	2028.9	21.5

※気象庁：過去の気象データ検索より
『年・月ごとの平年値』データをダウンロードして使用

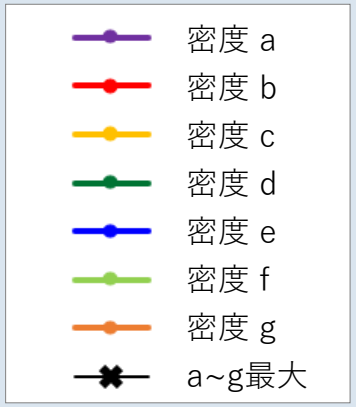
蒸発散モデル【簡易】で採用する値

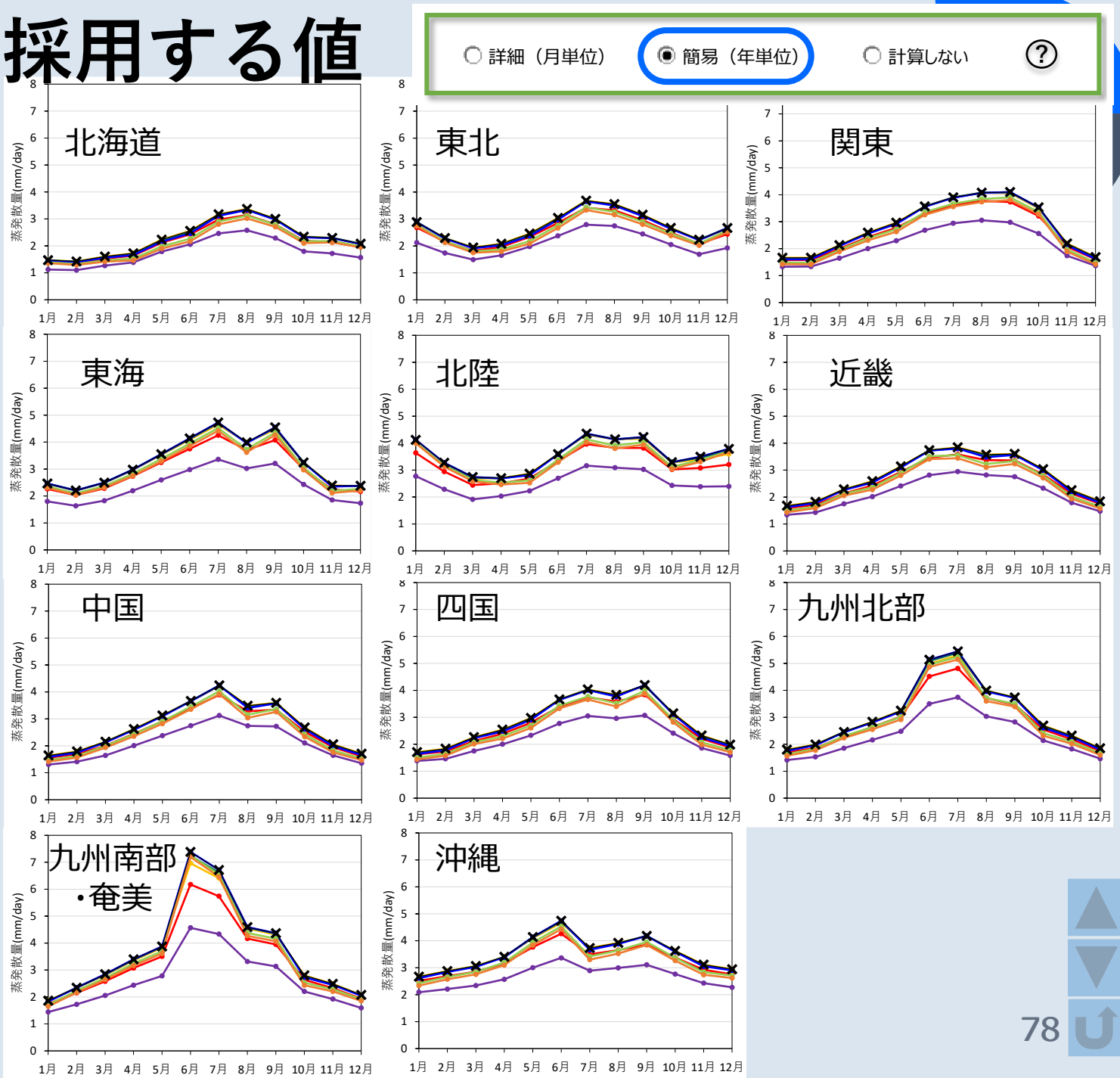
- 北海道から沖縄まで11地方を対象として **蒸発散モデル【詳細】(密度・直径 a~g７通り)** を使って蒸発散量を計算した。
- 密度と直径の具体な数値はスライド76参照。

【簡易】モードでは保守的な方針を採用し（不用意に水資源涵養量が大きな値で算定されないように）、もっとも蒸発散量が大きくなる**密度・直径**による蒸発散量を採用する。

右図のプロット**x**を採用する 👉

密度a~gの詳細は
スライド76に記載





補足説明スライド
専門家向け

気象データの標高補正

- 気象データとして近隣の気象観測所（アメダスなど）による観測値を使うが、対象地と気象観測所では標高が異なる場合が多い。
- 標高が異なる箇所について、降水量と気温の補正式を使い観測データを補正する。
- エクセル計算ツールにそれぞれの標高を与えれば、自動で計算される。

降雨の標高補正式

$$P = \alpha(h - h_a) + P_a$$

P：補正後の降雨 [mm]

α：増加率 [mm/m]（$\alpha = CP_a$）$C = 4.7 \times 10^{-4}$

h：対象林分の標高 [m]

h_a：観測地点の標高 [m]

P_a：観測地点の降雨 [mm]

気温の標高補正式

$$T = T_a - 0.0065(h - h_a)$$

T：補正後の平均気温 [℃]

T_a：観測所での平均気温 [℃]

エクセル計算ツール

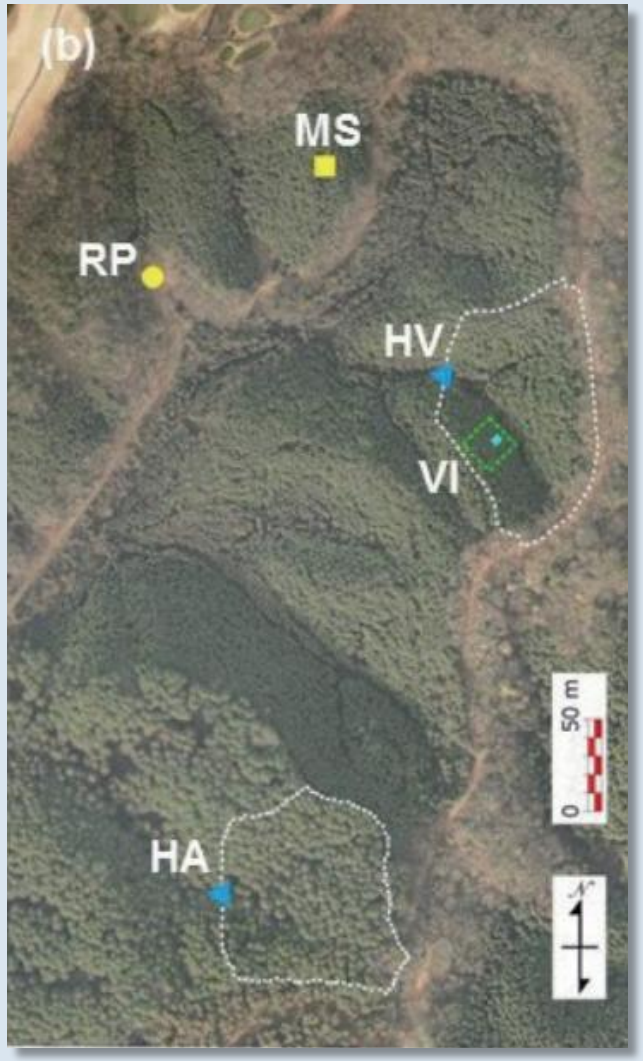
入力セクション

項目		入力
年降水量(mm)		1418
地質区分		中古生層
標高(m)	降水量の標高補正をしますか？	はい
	降水量観測点の標高(m)	325
	対象流域の標高(m)	450
標高補正後の年降水量(mm/年)		1501
年間のイベント積算降水量(mm/年)		806

3.3 モデル計算値の検証

- 実際の流域を対象に「カーブナンバー法」及び「蒸発散モデル」を使った計算例を提示する。
- カーブナンバー法で直接流出量を、蒸発散モデルで遮断蒸発量と蒸散量を計算する。
- 水資源涵養量は観測値と比べると【詳細】モードでは過大に、【簡易】モードでは過小な値であった。
- 過大・過小とも１～２割の範囲であり、本ツールの利用においては許容可能なレベルと判断する。

検証に用いる試験地



森林総合研究所の**常陸太田試験地**（茨城県北部）での観測データと計算ツールによる計算値とを比較、検証する。

場所：茨城県北部、久慈川水系支流（茂宮川）
植生：**ヒノキ林**（河岸のみスギあり）

検証期間、流域は以下とする。

期間：**2006～2012年**
対象流域：**HA流域**
（HV流域では伐採履歴があるため除外）

常陸太田試験地・本流域の諸元

流域面積 (ha)	15.7
標高 (m)	290～390
地質	中古生層（黒雲母片麻岩）
土壌	褐色森林土
植生	スギ・ヒノキの人工林
平均気温 (˚C)	12.4*
年降水量 (mm)	1425**, 1685*

*2006～2012年の平均値
**1981～1997年の平均値

https://www2.ffpri.go.jp/labs/fwdb/sites/hitachioota.htm

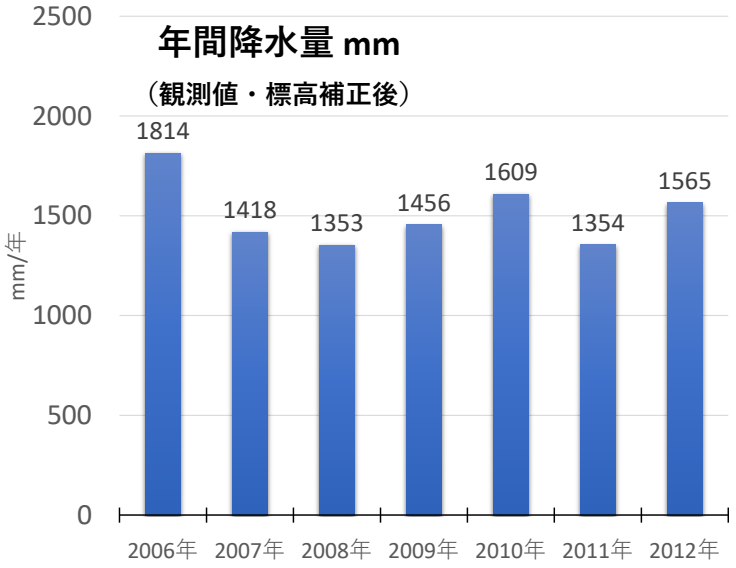
末端堰

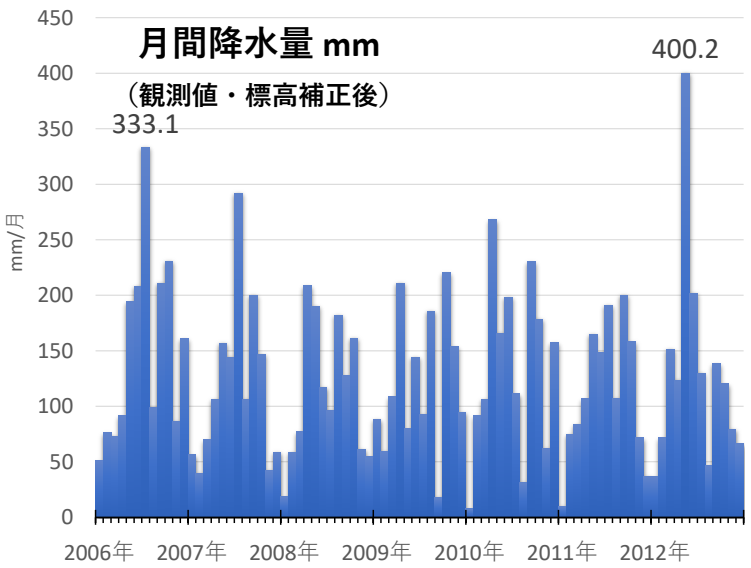
気象露場

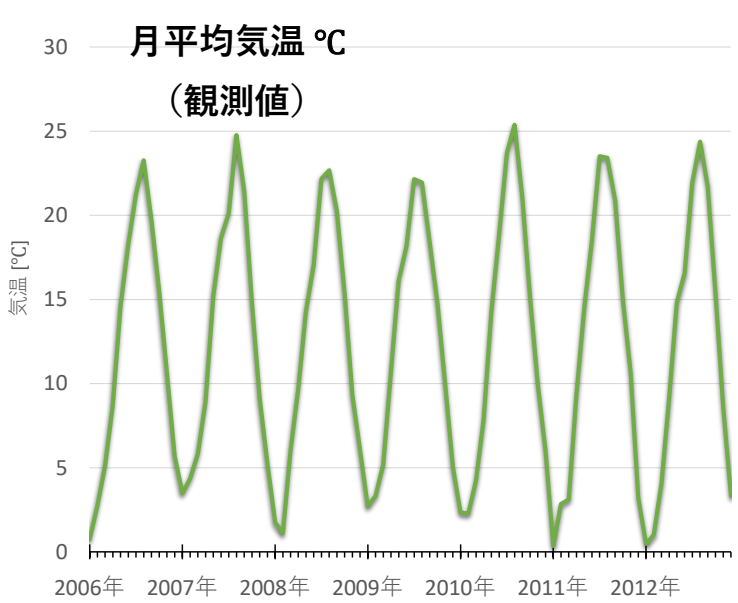
Kubota et al., 2018

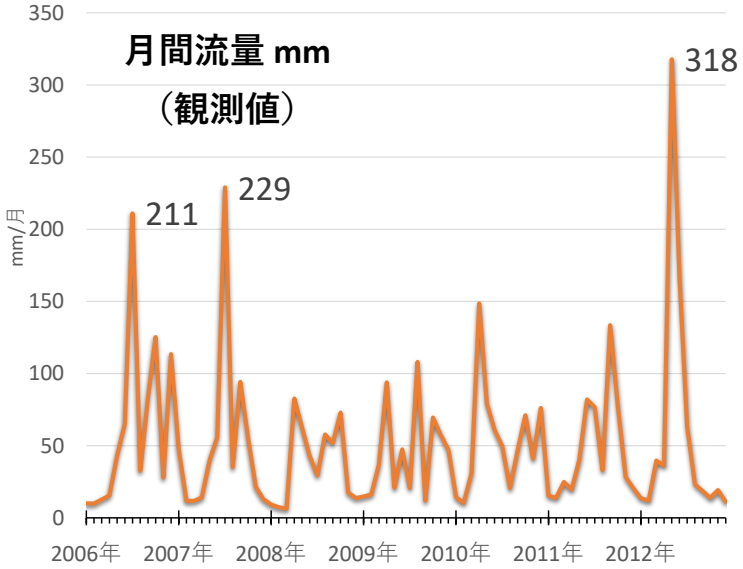
観測データ・常陸太田試験地

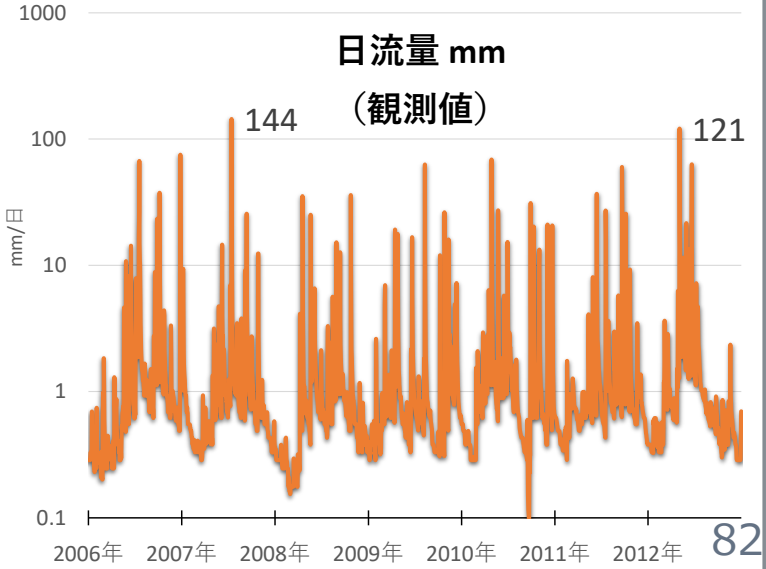
- 2006～2012年の７年分の観測データを示す。
- 年降水量は1350～1810mmの範囲、月降水量は2012年5月に400mm/日を記録。
- 月平均気温は0～25°C。
- 日流量の最大値は2007年7月に144mm/日、2012年5月に121mm/日を記録。











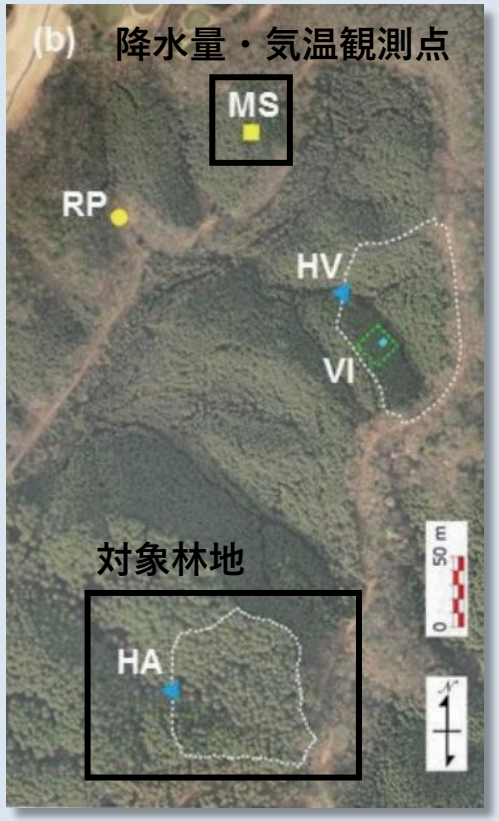
計算ツールの準備：常陸太田試験地

- 常陸太田試験地を対象にエクセル計算ツールを使い、水資源涵養量を計算する。
- 【簡易】モードで入力するのは「関東」地方のみである。
- 【詳細】モードでは、林地タイプ、立木密度、平均胸高直径、雨/雪分離、標高補正と月の平均気温、月降水量を指定する。
- **計算は１年ごと**に行う。
  下記は2006年について設定した内容である。同様に 2007, 2008, ・・2012年と設定する。
  数年程度であれば樹木の成長は考慮せず、年ごとに気温と降水量データを変えるだけでよい。

■計算ツールへの入力例（2006年度のデータ）

	項目	入力
共通	年降水量(mm)	1814.3
	地質区分	中古生代
	降水量の標高補正	しない※
	対象林地の面積(ha)	0.84
【簡易】モード	対象林地がある場所	関東
【詳細】モード	林地タイプ	常緑針葉樹
	立木密度(本/ha)	783
	平均胸高直径(cm)	32
	降水量を降雨と降雪に分離	する
	気温の標高補正	しない※
	月平均気温・月降水量	右表

年	月	平均気温(°C)	降水量(mm)
2006	4	8.7	91.6
	5	14.6	194.0
	6	18.2	208.2
	7	21.3	333.1
	8	23.3	98.8
	9	19.7	211.0
	10	15.5	230.4
	11	10.6	86.3
	12	5.7	160.8
2007	1	0.7	51.1
	2	2.7	76.0
	3	5.1	73.0

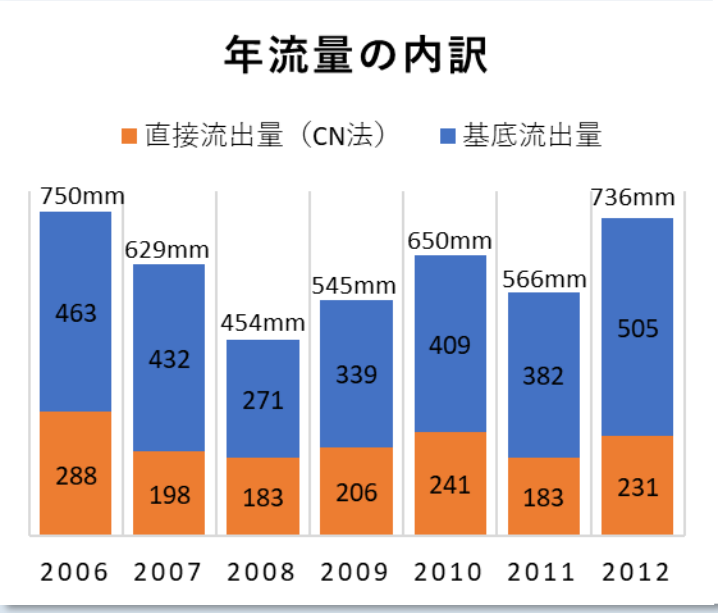


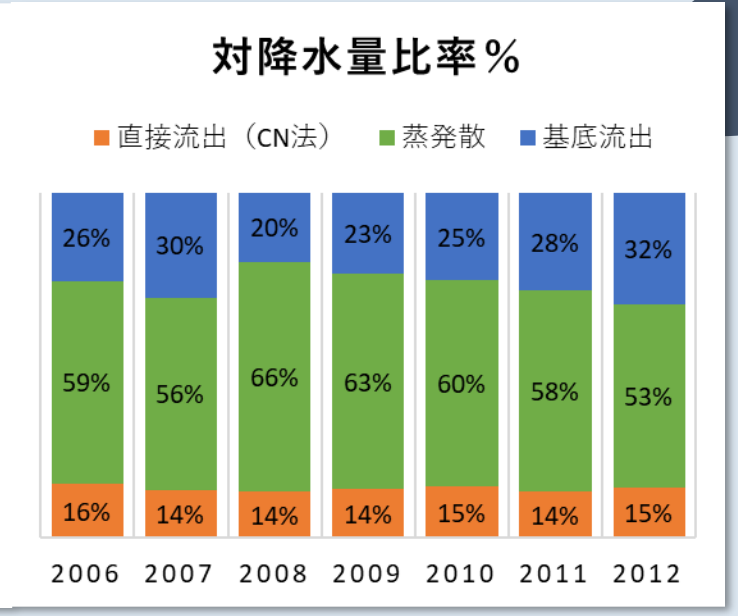
※降水量・気温観測点は図のMS位置であり、対象林地との標高差が小さいため、標高補正は行わない。

計算ツール：直接流出量

【簡易】【詳細】モードとも直接流出の計算部分は同じである。

- 2006～2012年の７年間の **①降水量**を基にして、カーブナンバー（CN）法を使って、**③直接流出量（CN法）**を計算した。
- **②観測流量**から **③直接流出量（CN法）**を差引いて、**④基底流出量**とした。
- **①降水量**から **②観測流量** を差引いて得られる **⑤蒸発散量（観測）** は降水量比率でみると**53～66%**である。
- 直接流出率は降水量比率で**14～16%**、基底流出率は**20～32%**の範囲となった。





基底流出量は直接流出量の２倍程度となった。
カーブナンバー法で算定された直接流出量は十分に**現実的な水文応答**であると判断できる。

年	①降水量 mm	②観測流量 mm	③直接流出量（CN法）mm	④基底流出量 ＝②－③ mm	直接流出率 ＝③/① x100%	基底流出率 ＝④/① x100%	⑤蒸発散量（観測） ＝①－② mm	蒸発散率 ＝⑤/①
2006	1814	750	288	463	16%	26%	1064	59%
2007	1418	629	198	432	14%	30%	789	56%
2008	1353	454	183	271	14%	20%	899	66%
2009	1456	545	206	339	14%	23%	910	63%
2010	1609	650	241	409	15%	25%	958	60%
2011	1354	566	183	382	14%	28%	788	58%
2012	1565	736	231	505	15%	32%	829	53%

計算ツール【詳細】：蒸発散量と水資源涵養量

- 蒸発散モデル**【詳細】**で **③蒸発散量**を計算した。
- **①年降水量** から **②直接流出量（CN法）** と **③蒸発散量【詳細】**を差引き、**④水資源涵養量** とした。
- 蒸発散量の降水量比率を比較する。

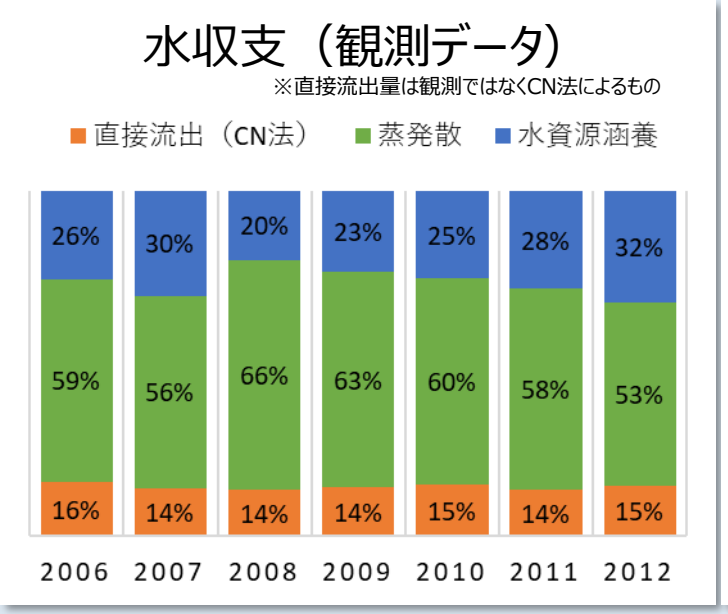
  観測データ：**53～66%**
  計算ツール：**40～48%**

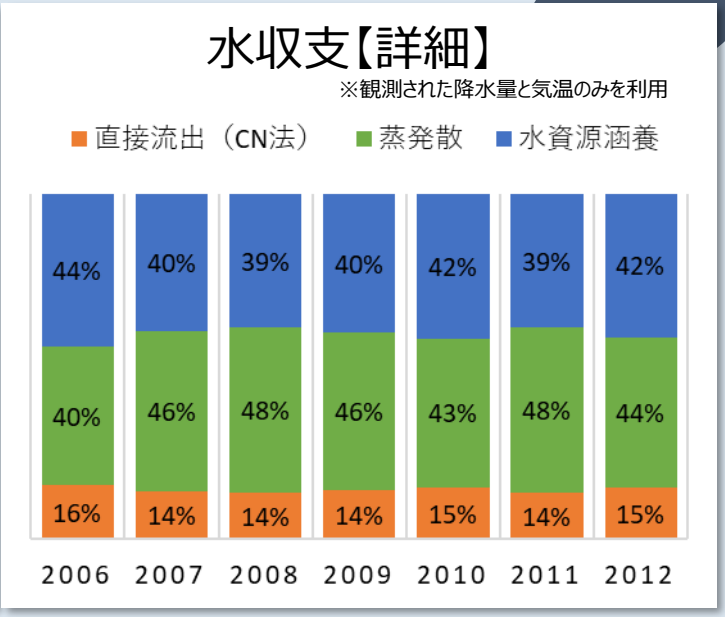
  ツール値は観測値より **9～19%** 小さい（毎年比較）。
- 計算ツールによる水資源涵養量と観測データから求まる基底流出量を比較する。

  観測データ：**20～32%**
  計算ツール：**39～44%**

  ツール値は観測値より**10～19%**大きい（毎年比較）。

ツールで計算される水資源涵養量は**1～2割過大**評価となるが、本ツールの利用においては**許容可能**なレベルと判断する。





年	①降水量 mm	②直接流出量（CN法）mm	③蒸発散量【詳細】mm	④水資源涵養量＝①－②－③ mm	直接流出率＝②/①	蒸発散率＝③/①	水資源涵養率＝(①－②－③)/①
2006	1814	288	722	805	16%	40%	44%
2007	1418	198	657	563	14%	46%	40%
2008	1353	183	644	526	14%	48%	39%
2009	1456	206	664	585	14%	46%	40%
2010	1609	241	693	675	15%	43%	42%
2011	1354	183	646	524	14%	48%	39%
2012	1565	231	683	651	15%	44%	42%

観測値との比較検証結果から、本手法は水資源涵養量が1～2割程度過大となる可能性があり、利用する上での留意点となる。
スライド105 留意事項2に、この点について詳細を記載しているので参照されたい。

計算ツール【簡易】：蒸発散量と水資源涵養量

- 蒸発散モデル**【簡易】**で **③蒸発散量**を計算した。
- 蒸発散量の降水量比率を比較する。

  観測データ：**53～66%**
  計算ツール：**61～73%**

  ツール値は観測値より**2～15%** 大きい（毎年比較）。
- 水資源涵養量と観測データの基底流出量を比較する。

  観測データ：**20～32%**
  計算ツール：**13～24%**

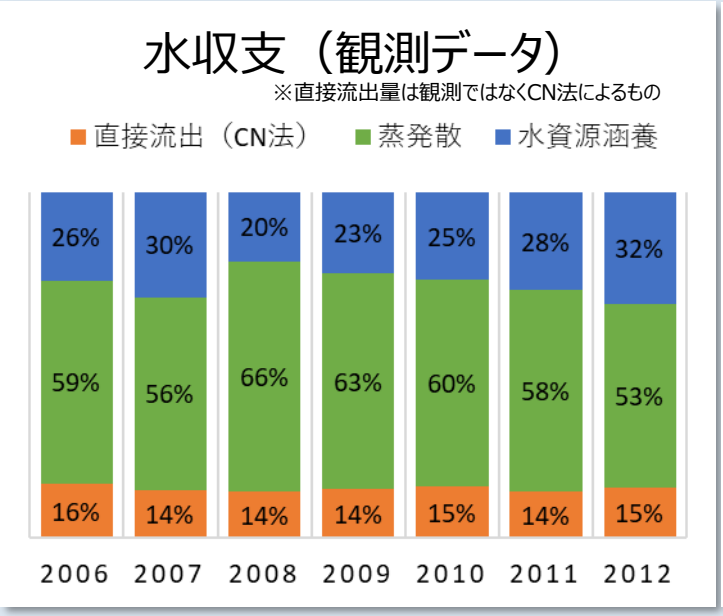
  ツール値は観測値より**2～15%** 小さい（毎年比較）。
- **【簡易】**と**【詳細】**の水資源涵養量を比較する。

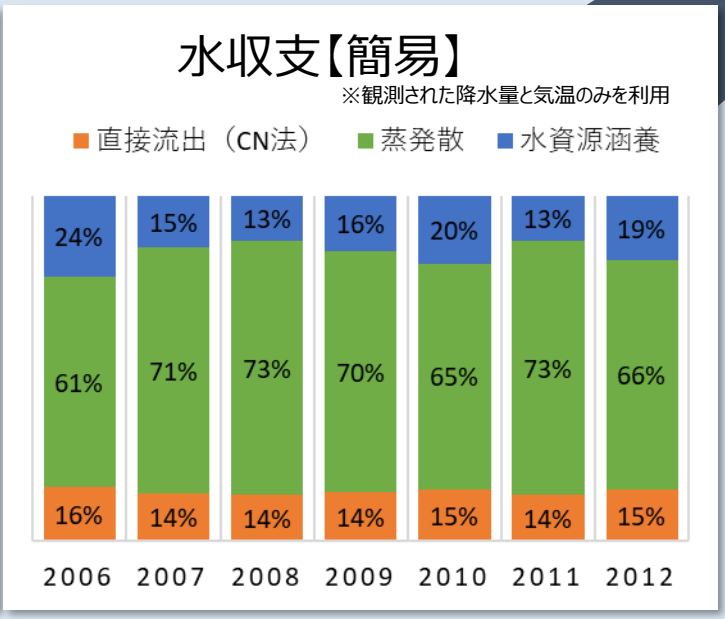
  【詳細】：**39～44%**
  【簡易】：**13～24%**

  【簡易】は**【詳細】**より**20～26%** 小さい（毎年比較）。

【簡易】モードは蒸発散量を観測値より過大に評価し、**【詳細】**は過小に評価した。観測値は**【簡易】**と**【詳細】**のあいだに位置する。

【簡易】モードは**【詳細】**に比べ蒸発散量が**21～25%**大きく、逆に水資源涵養量は**20～25%**小さい。





年	①降水量 mm	②直接流出量（CN法）mm	③蒸発散量【簡易】mm	④水資源涵養量＝①－②－③ mm	直接流出率＝②/①	蒸発散率＝③/①	水資源涵養率＝(①－②－③)/①
2006	1814	288	1099	427	16%	61%	24%
2007	1418	198	1006	214	14%	71%	15%
2008	1353	183	991	179	14%	73%	13%
2009	1456	206	1015	234	14%	70%	16%
2010	1609	241	1051	317	15%	65%	20%
2011	1354	183	991	179	14%	73%	13%
2012	1565	231	1041	293	15%	66%	19%

補足説明スライド
専門家向け

計算ツール【詳細】による月単位の蒸散と遮断

常陸太田試験地

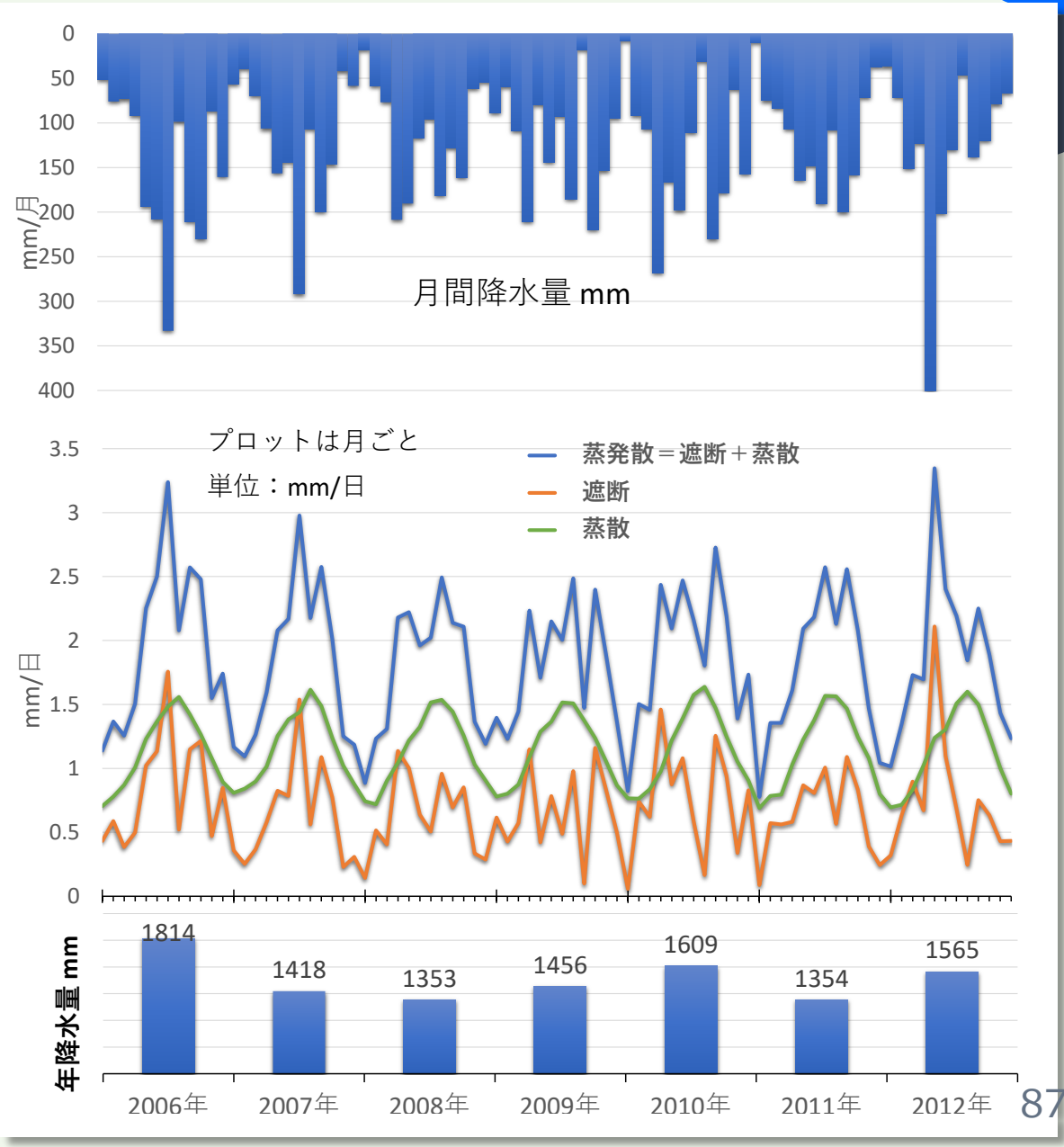
- 今回の試験地では**蒸散**量が**遮断蒸発**量より多い。
- **蒸散**は年による変化が少なく概ね安定した水量および月変化を示す。**蒸散**の計算式には降水量が含まれておらず、その増減の影響を受けない。
- **遮断蒸発**は降水量の多寡に応じた変化が激しい。月降水量が大きいとそのピークに合わせ**遮断蒸発**量もピークを形成する。逆に少雨の月は大きく水量が減じる。
- **蒸発散**＝**遮断蒸発**＋**蒸散**であることから、上記２つの特徴を併せ持つ。**蒸発散**曲線の変化傾向として、夏季ピークの平均高さは年降水量の増減傾向（右図最下段棒グラフの凹凸）と概ね一致する。なお2012年５月は月降水量が400mmに達し（期間中最大）、**遮断蒸発**が高いピークを形成した影響で**蒸発散**のピークも高いものとなっている。

遮断蒸発パラメータ　入力データ：降水量、気温、立木密度

着葉/落葉	雨/雪	遮断率 r	k_1	k_2	密度[本/ha]
着葉のみ	降雨	0.163	0.263	0.00124	783
	降雪	0.328	0.406	0.00211	783

蒸散パラメータ　入力データ：気温、胸高直径、立木密度

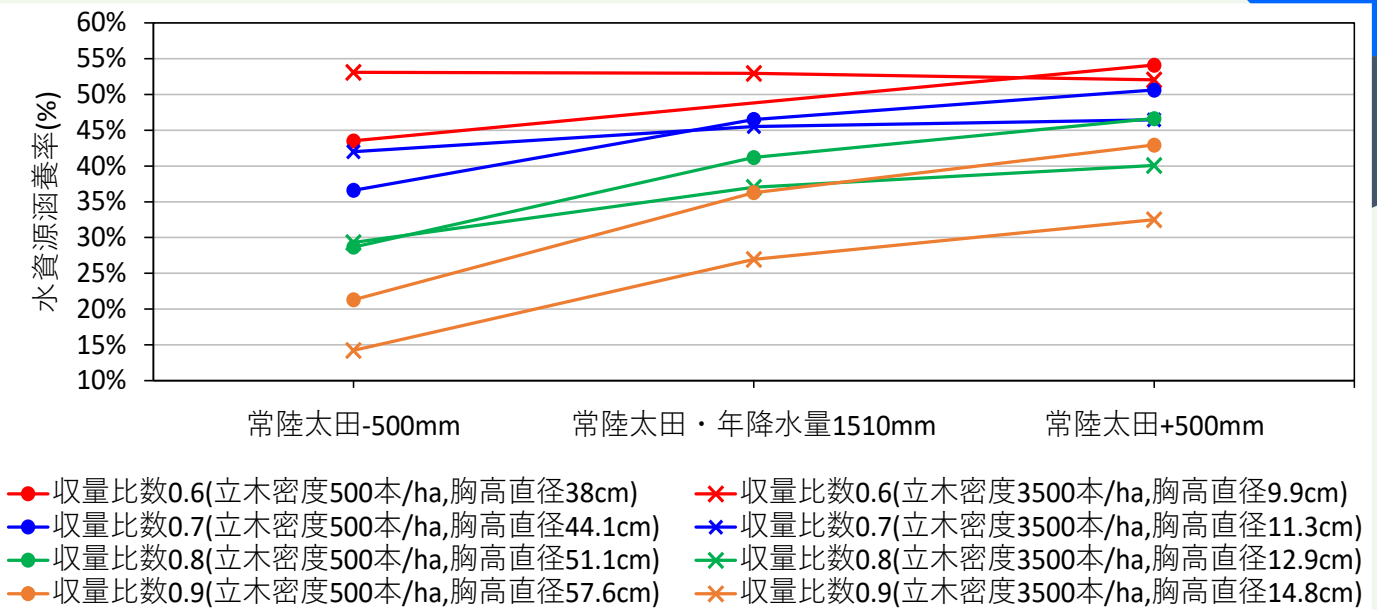
DBH cm	Q_{tref} cm^3/day	流域面積ha	密度 本/ha	本数
32.0	19818	0.84	783	658

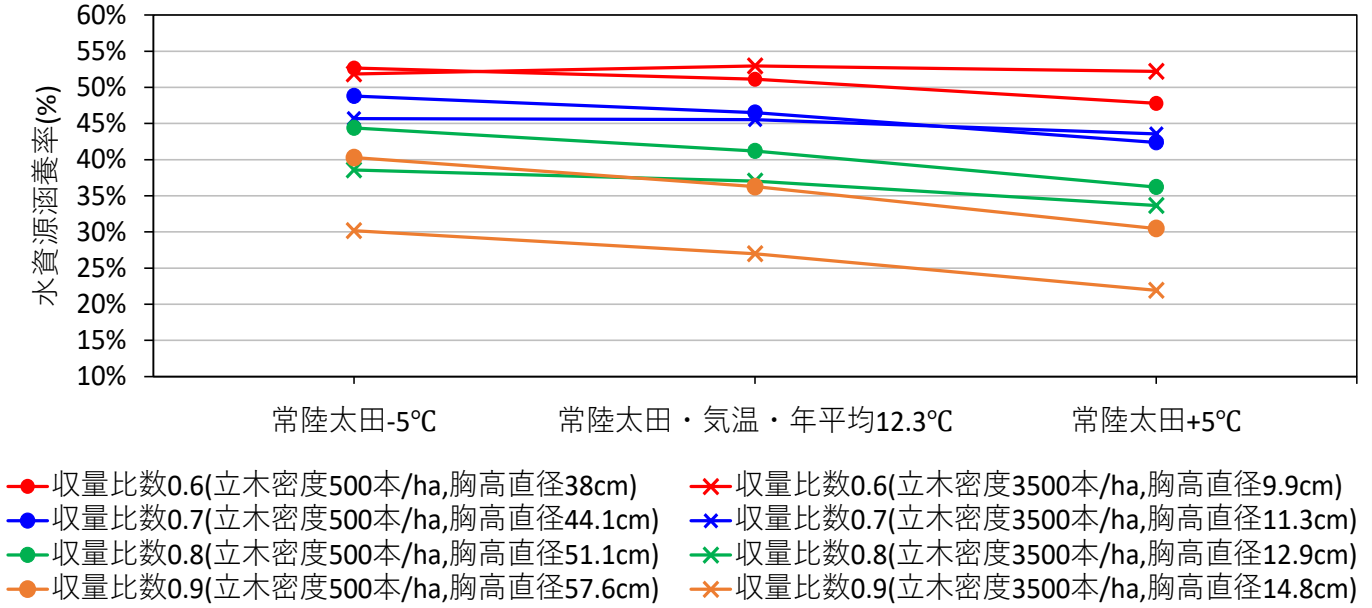


補足説明スライド
専門家向け

モデルの感度分析

- 蒸発散モデル【詳細】でパラメータの影響度を検証するため、感度分析を実施した。
- 常陸太田試験地の観測値をベースとし、年降水量を±500mm、平均気温を±5℃の幅で増減させた（右図の横軸）。
- 立木密度・２段階　500, 3500 本/ha
  収量比数・４段階　0.6, 0.7, 0.8, 0.9
  胸高直径は上記の値を基に密度関数で決定
- 収量比数が0.6の林分での涵養率は50%超と非常に高い。逆に収量比数が0.9の林分は涵養率が低い。**密度管理が必要となる理由**である。
- 降水量の増加に伴い、収量比数が高い森林では涵養率が増加する。収量比数0.6と低い森林は降水量増減の影響を受けない。
- 気温の上昇に伴い、収量比数が高い森林では涵養率が低下する。収量比数0.6と低い森林は気温上下の影響を受けにくい。
- 森林が密になり樹木本数が増えると、涵養率は降水・気温変化の影響を受けやすい。**気象の影響を受けにくいのは密度管理された森林で安定した高い涵養率を維持している。**





補足説明スライド

林分情報の取得方法：１. プロット調査

- エクセル計算ツールの【詳細】モードで蒸発散量を求めるには、林分情報の入力が必要となる。
- 入力する林分情報は次の４つである。

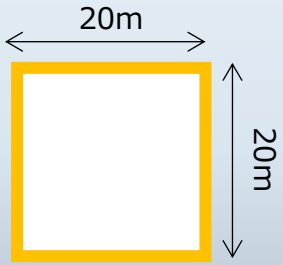
林地タイプ	常緑針葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、落葉広葉樹
立木密度	活動区域の１haあたりの立木本数
平均胸高直径（きょうこう）	活動区域内にある立木の胸高直径の平均値 ※胸高とは、人の胸の高さの目安で、山側に立って木の根元から1.2mの高さ（北海道では1.3m）
平均樹高（広葉樹のみ）	活動区域内にある立木の樹高の平均値

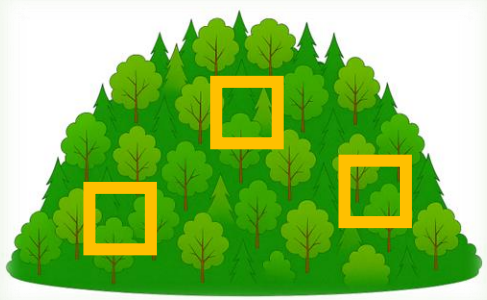
- 活動区域内のすべての立木を調査すれば精度の高いデータを取得できるが、非常に手間がかかるため、標本調査の一種であるプロット調査をするのが一般的である。
- プロット調査とは、活動区域内の平均的な林相と思われる箇所にプロットを設定し、その中のすべての立木を調査して得られた情報から区域全体の状況を推測する手法。
- 例えば、活動区域１haに対し、20m×20mのプロットを３カ所程度設け、各プロットで得られた林分情報（立木密度、平均胸高直径、平均樹高等）の平均値を区域全体の代表値とする、といったものである。
- 林分状況に応じ、小径木は調査対象外として差し支えない（国有林の収穫調査業務では、胸高直径10cm以上の立木を対象）。

【立木密度の計算式】 **プロット面積あたりの立木本数 ÷ プロット面積 ＝ 立木密度**

【立木密度の計算例】 **20** 本 ÷ **0.04** ha ＝ **500** 本/ha

※20m×20mの場合





補足説明スライド

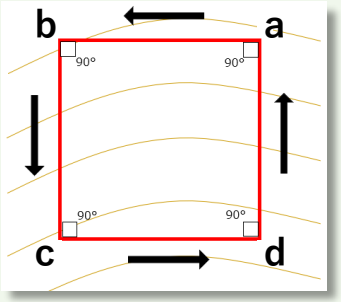
林分情報の取得方法：2. プロットの設定

【設定の方法】

方形プロットの場合
- **a** → **b** かつ **a** → **d** が見通せる箇所 **a** に杭を打つ。

面積を決めている場合
- **b** の方位を決め、傾斜角を測って、斜距離を逆算し、**b** に杭を打つ。
- **b** に移動し、以下同様に**c**、**d** を決定し、周囲をテープ等で明示する。

面積を決めていない場合
- **a** に杭を打ち、 **b** の方位及び傾斜角、斜距離を測る。
- **b** に移動し、以下同様に**c**、**d** を決定し、周囲をテープ等で明示する。
- 方位及び斜距離、傾斜角から測った面積を求める。

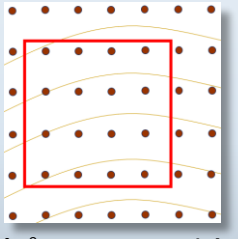


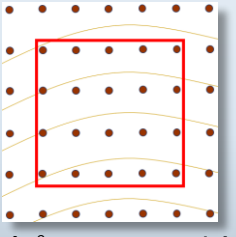
【プロットの面積】
10m×10m（0.01ha）などの小さいプロットではばらつきが大きいため、20m×20m（0.04ha）のプロットを１haあたり３箇所以上設定することが望ましい。

【使用する道具】
- ポケットコンパス、巻尺、杭、ポール、テープ等
  または
- コンパス機能付きレーザ距離計、杭、ポール、テープ等

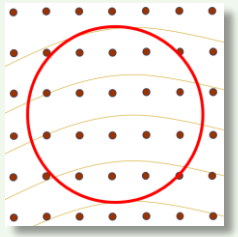
【プロット設定の留意点】
- **プロットを設置する位置**
  設置位置の良否によって調査精度に影響するので、立木の大小（樹高、胸高直径）や立木密度（本／ha）が、林分を代表する**標準的（平均的）**と思われる位置に設定する。
- **林縁効果を考慮する**
  林縁効果とは、プロットの境界に位置する木がプロット内に含まれるか否かが調査結果に与える影響のことで、プロット面積が小さいほど１本の木の加除の影響は大きい。

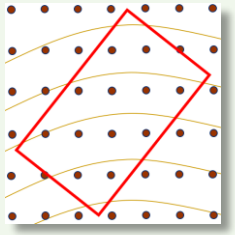
例）プロットAとBは同じ面積だが、設定する位置によって含まれる立木に20－16＝４本の差が生じる。この結果を活動区域全体に拡大すると、立木本数が過多もしくは過少に推定される。


（プロットA、16本）


（プロットB、20本）

- 平均的な箇所の選定には、Googleマップ等の衛星画像が活用できる。
- 面積は水平投影面積で測定する。
- 正方形だけでなく円形や長方形でプロットを設定してもよい。





補足説明スライド

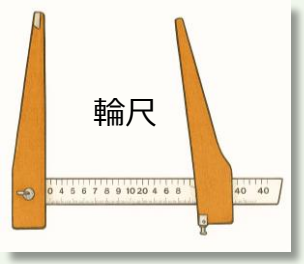
林分情報の取得方法：３. 胸高直径（きょうこう）・樹高

【胸高直径（きょうこう）を測るポイント】

- 山側に立ち、木の根元から1.2~1.3m（胸の高さ）での太さ（直径）を測る。
- 二重計上を避けるため、測った木には木材チョークまたはナンバーテープ等で印を付ける。

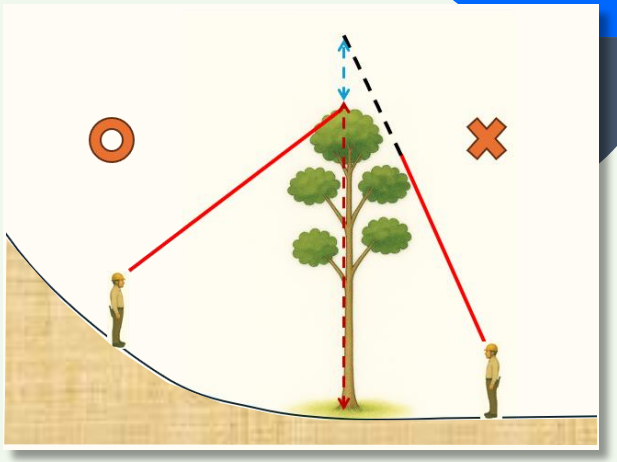
【使用する道具】

- 輪尺、または直径巻尺
- 木材チョーク、またはナンバーテープ・ガンタッカー



【樹高を測るポイント】

- 樹木の頂端を確実に見定めるために、立木から十分離れ、斜面上部から測る。



【使用する道具】

- ブルーメライス
- 検測桿
  - ・10m程度の低木向き
  - ・２人組で使用する
- 超音波測高器（例：バーテックス）
- レーザー測高器

※1 近年の森林計測技術の発展により、地上レーザスキャナーやUAV（ドローン等）が開発され、上記の作業が省力化されつつある。

※2 農林水産省公式 **YouTube maffchannel** では、森林計測・調査の簡単な概要を動画で紹介している。リンク：**スマート林業オンライン講座【２－１ 森林計測・調査】**

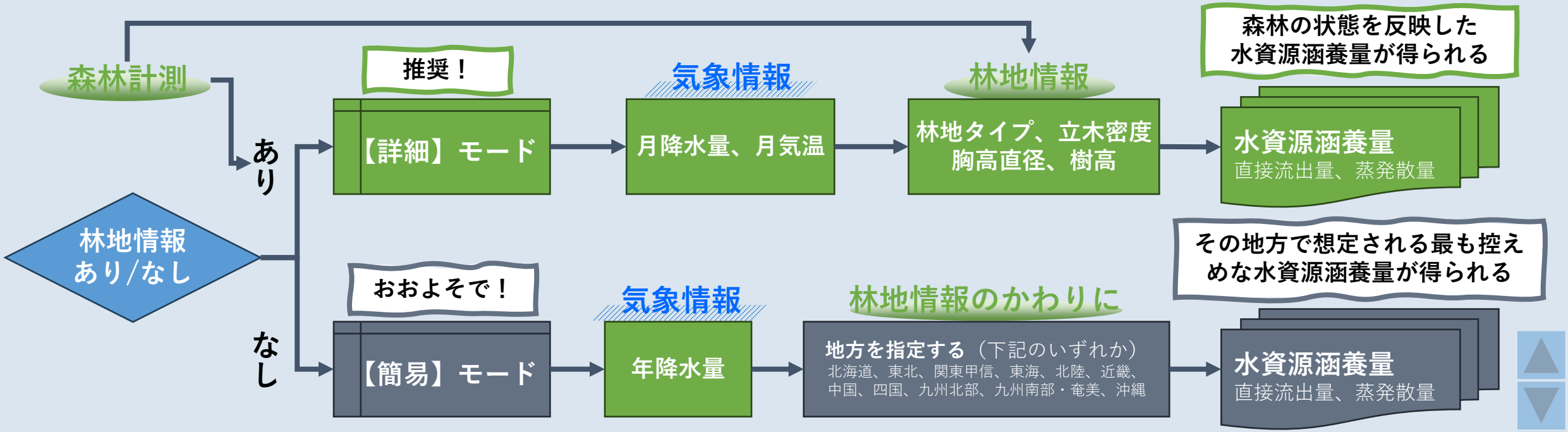
4. 林地の水資源涵養量

4.1 エクセル計算ツールの紹介

- 「カーブナンバー法」及び「蒸発散モデル」による計算に対応したエクセルファイルを作成・公開する。
- 必要なデータをセルに入力すると、自動で各種条件にあわせて、計算が実行され、水資源涵養量が算定される。
- 直接流出量の計算では、降水量データと地質区分を入力する。
- 蒸発散量の計算【詳細】モードでは、林地情報と気象データを入力する。

エクセル計算ツールの概要

- 【詳細】モードと【簡易】モードの２種類がある。
- 【詳細】では林地情報（立木密度や胸高直径など）を与え、森林の状態を反映した水資源涵養量が算定される。
- 【簡易】は林地情報は不要で、森林がある地方と年降水量を指定する。指定された地方で林地がある場合に想定される最も控えめな水資源涵養量が算定される。おおよその水量を知りたい場合に利用する。



エクセル計算ツールのダウンロード

- エクセル計算ツールと本資料は、林野庁のウェブサイトに公開し、ダウンロードできるようになります。
- **2026年3月**に公開予定です。

このページはイメージです。
実際に掲載されるページは調整中です。

- エクセル計算ツールはWindows上での動作を想定して作成しました。またExcel 2016より古いバージョンでは一部機能・関数が制限される可能性があります。
- Macでの動作を確認しましたが、検証は部分的なものに留まります。
- エクセルファイルにはマクロが含まれます。ダウンロード後にセキュリティ解除をすることで、正しく動作するようになります。
  詳しくは配布時の資料をご確認ください。

計算ツール・入力セクション

- 入力セクションは３つにわかれ、それぞれ以下を入力する。
  ① **直接流出量の計算セクション**：年降水量、地質区分、観測点の標高を入力する。
  ② **蒸発散量の計算セクション**：【詳細】【簡易】の別を選択する。
  【詳細】を選んだ場合は、その下で林地タイプ、立木密度、胸高直径、樹高、気温と雪の計算条件を指定する。
  【簡易】を選んだ場合は、年降水量と地質区分を指定し、その下で対象林地がある地方を選択する。
  ③**【詳細】を選んだ場合**のみ記入するセクション：月別の平均気温と降水量を入力する。
- 標高補正や降雨/降雪分離は、個別にする or しないを指定できる。

ユーザー入力欄
自動計算欄

林地の水資源涵養量計算ツール Ver.1.0 2025.11　このシートは入力セル以外のセルが保護されています。

1 直接流出量の計算

ユーザー入力セル
自動計算セル

年降水量と地質

項目		入力	
1-1. 年降水量		1814.3	mm/年
1-2. 地質区分		中古生代	
標高	1-3. 降水量の標高補正をしますか？	はい	
	1-4. 降水量観測点の標高	325	m
	1-5. 対象林地の標高	380	m
1-6. 標高補正後の年降水量		1861.2	mm/年
1-7. 年間のイベント積算降水量		1066.1	mm/年

気象庁ダウンロード
シームレス地質図
アメダス地図
地理院地図

2 蒸発散量の計算

計算種別を選択 ◉ 詳細（月単位）　○ 簡易（年単位）　○ 計算しない

簡易（年単位）

項目	入力
2-1. 対象林地がある場所	関東甲信(東京、栃木、群馬、埼玉、茨城、千葉、神奈川、長野、山梨)

詳細（月単位）

林分情報	2-2. 林地タイプ	常緑針葉樹	
	2-3. 立木密度	783	本/ha
	2-4. 平均胸高直径	32	cm
	2-5. 平均樹高	18	m
2-6. 対象林地の面積		0.84	ha

気温補正と雪の処理

2-7. 降水量を降雨と降雪に分離しますか？		はい	
標高	2-8. 気温の標高補正をしますか？	いいえ	
	2-9. 気温観測点の標高	325	m
	2-10. 対象林地の標高	325	m

アメダス地図
地理院地図

3 蒸発散量(詳細モード

計算開始年・月

	2006	年	4 月

気象情報

入力					有効積算温度
年	月	平均気温(℃)	降水量(mm/月)	着葉1/落葉0	
2006年	4月	8.7	91.6	1.0	
2006年	5月	14.6	194	1.0	
2006年	6月	18.2	208.2	1.0	
2006年	7月	21.3	333.1	1.0	
2006年	8月	23.3	98.8	1.0	
2006年	9月	19.7	211	1.0	
2006年	10月	15.5	230.4	1.0	
2006年	11月	10.6	86.3	1.0	
2006年	12月	5.7	160.8	1.0	
2007年	1月	0.7	51.1	1.0	
2007年	2月	2.7	76	1.0	
2007年	3月	5.1	73	1.0	

計算ツール出力・直接流出量

- ユーザー入力は以下の項目
  - ・年降水量 [mm]
  - ・地質区分[４区分から選択]
  - ・標高補正をする[はい/いいえ]
    - ・降水量観測点標高[m]
    - ・対象地標高[m]
- 計算結果は以下の項目
  - ・標高補正後の年降水量[mm]
  - ・年イベント積算降水量[mm]
  - ・林地の年直接流出量[mm]
  - ・裸地の年直接流出量[mm]
  - ・林地と裸地の差分量[mm]
- **直接流出量の算定は、林地がある場合/ない場合**、のいずれかとなる。
  針葉樹・広葉樹など林地種類による違いは、直接流出量の算定には反映されない。
  ３章の蒸発散量において考慮する。

林地の水資源涵養量計算ツール

? Ver.1.0 2025.11

直接流出量の計算

?

?をクリックすると用語説明がポップする。

ユーザー入力セル
自動計算セル

入力セクション

年降水量と地質

項目		入力		
1-1. 年降水量		1814.3	mm/年	?
1-2. 地質区分		中古生代		?
標高	1-3. 降水量の標高補正をしますか？	はい		?
標高	1-4. 降水量観測点の標高	325	m	?
標高	1-5. 対象林地の標高	380	m	?
1-6. 標高補正後の年降水量		1861.2	mm/年	?
1-7. 年間のイベント積算降水量		1066.1	mm/年	?

気象庁ダウンロード
シームレス地質図
アメダス地図
地理院地図

シームレス地質図、アメダスへのリンクも用意。

計算結果セクション

▼ 計算結果 ▼

1-8. 林地：年間の直接流出量	298.2	mm/年	?
1-9. 裸地：年間の直接流出量	930.6	mm/年	?
1-10. 差分：裸地－林地	632.4	mm/年	?
1-11. 対象林地の面積	0.84	ha	?
1-12. 林地：年間の直接流出量	2,505	m^3/年	?
1-13. 裸地：年間の直接流出量	7,817	m^3/年	?
1-14. 差分：裸地－林地	5,312	m^3/年	?

イベント降水量に対する

面積を記入すると水量換算
m^3が算出されます

年降水量1814.3 mm のときの直接流出量
林地：298.2 mm
裸地：930.6 mm
差分：632.4 mm

計算ツール出力・蒸発散量、水資源涵養量

- 数値表は年単位と月単位のセクションにわかれる。
- グラフは自動更新され、年単位は棒グラフ、月単位は折れ線グラフで描画される。
- **蒸発散量のみ月単位で計算**される。
  直接流出量と水資源涵養量は年あたりの計算であり、月単位の値は月降水量に基づき月按分したもの。

月単位

▼ 計算結果まとめ （月単位）▼

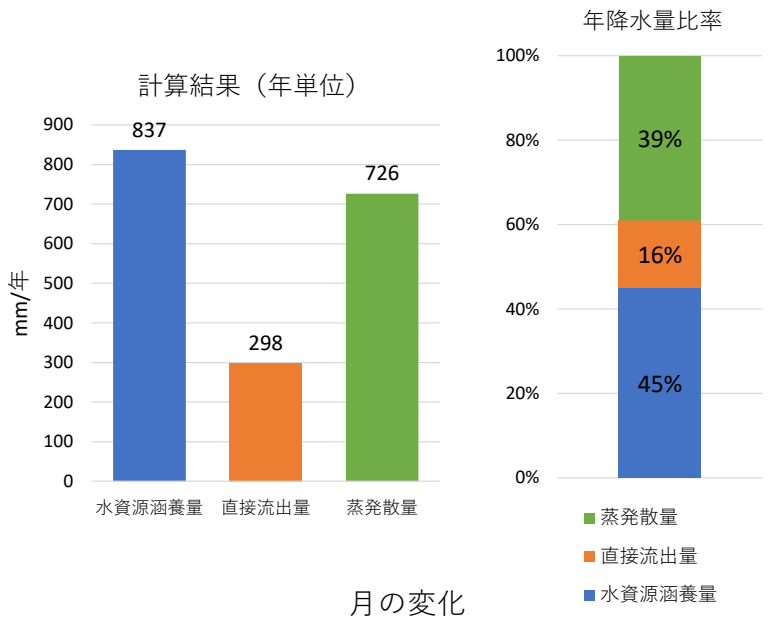
気象データ					直接流出量※1	直接流出のうち融雪量※2	蒸発散量(mm/月)			水資源涵養量
年	月	平均気温(℃)	降雨量(mm/月)	降雪量(mm/月)	(mm/月)		蒸散＋遮断	蒸散量	遮断量	(mm/月)
2006年	4月	8.3	94.0	0.0	15.1	0.0	45.1	29.8	15.4	33.8
2006年	5月	14.2	199.0	0.0	31.9	0.0	70.2	37.7	32.5	96.9
2006年	6月	17.8	213.6	0.0	34.2	0.0	75.5	40.6	34.9	103.9
2006年	7月	20.9	341.7	0.0	54.8	0.0	101.4	45.6	55.8	185.6
2006年	8月	22.9	101.4	0.0	16.2	0.0	64.5	47.9	16.6	20.6
2006年	9月	19.3	216.5	0.0	34.7	0.0	77.6	42.3	35.4	104.1
2006年	10月	15.1	236.4	0.0	37.9	0.0	77.4	38.8	38.6	121.1
2006年	11月	10.2	88.5	0.0	14.2	0.0	46.4	31.9	14.5	27.9
2006年	12月	5.3	165.0	0.0	26.4	0.0	54.2	27.2	27.0	84.3
2007年	1月	0.3	17.5	34.9	8.4	5.6	35.7	21.4	14.3	8.3
2007年	2月	2.3	48.4	29.6	12.5	4.7	39.0	21.4	17.6	26.4
2007年	3月	4.7	72.1	2.8	12.0	0.4	39.2	26.5	12.7	23.7

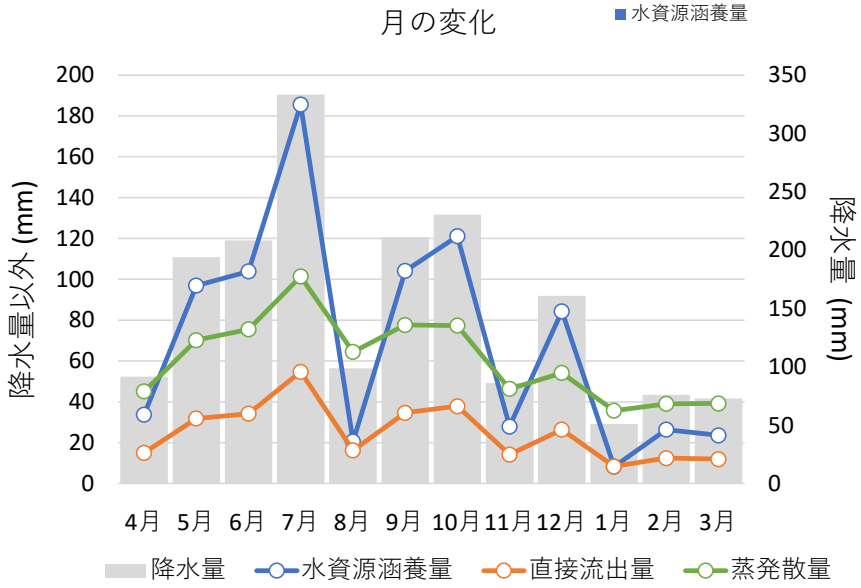
年単位

▼ 計算結果まとめ （年単位 mm/年）▼ ?

	降水量	直接流出量	蒸発散量	水資源涵養量
年間	1861.2	298.2	726.3	836.7
	100%	16%	39%	45%

※直接流出量と水資源涵養量は年あたりで計算。ここでは月別降水量を基に月按分している。





4.2 水資源涵養量の取扱い

- 算定された水資源涵養量は例えば、林地と裸地の水量比較に用いることができる。
- 用意した試験地データでは、林地は裸地の４倍の水資源を涵養する結果が得られた。
- 蒸発散モデルは【詳細】と【簡易】の２種類がある。
  【詳細】は林地情報を与え、林相に応じた効果を算定する。
- 【簡易】は林地情報が不要で非常に簡易に計算できるが、
  【詳細】に比べ小さな水資源涵養量となるよう調整している。

エクセルによる計算例（詳細モード）基本となるモード

ユーザー入力欄

自動計算欄

直接流出量の計算

年降水量と地質

項目		入力	
1-1. 年降水量		1814.3	mm/年
1-2. 地質区分		中古生代	
標高	1-3. 降水量の標高補正をしますか？	はい	
	1-4. 降水量観測点の標高	325	m
	1-5. 対象林地の標高	380	m
1-6. 標高補正後の年降水量		1861.2	mm/年
1-7. 年間のイベント積算降水量		1066.1	mm/年

▼ 計算結果 ▼

1-8. 林地：年間の直接流出量	298.2	mm/年
1-9. 裸地：年間の直接流出量	930.6	mm/年
1-10. 差分：裸地－林地	632.4	mm/年
1-11. 対象林地の面積	0.84	ha
1-12. 林地：年間の直接流出量	2,505	m^3/年
1-13. 裸地：年間の直接流出量	7,817	m^3/年
1-14. 差分：裸地－林地	5,312	m^3/年

蒸発散量の計算

計算種別を選択 ○ 簡易（年単位） ◉ 詳細（月単位） ○ 計算しない

詳細（月単位）

林分情報	2-2. 林地タイプ	常緑針葉樹	
	2-3. 立木密度	783	本/ha
	2-4. 平均胸高直径	32	cm
	2-5. 平均樹高	18	m
2-6. 対象林地の面積		0.84	ha

気温補正と雪の処理

2-7. 降水量を降雨と降雪に分離しますか？		はい	
標高	2-8. 気温の標高補正をしますか？	はい	
	2-9. 気温観測点の標高	325	m
	2-10. 対象林地の標高	380	m

▼ 計算結果 ▼

林地の場合	2-11. 年蒸発散量	726.3	mm/年
	2-12. 水資源涵養量	836.7	mm/年
裸地の場合	2-13. 水資源涵養量	186.1	mm/年
2-14. 差分：林地－裸地		650.6	mm/年
2-15. 対象林地の面積		0.84	ha
林地の場合	2-16. 年蒸発散量	6,101	m^3/年
	2-17. 水資源涵養量	7,028	m^3/年
裸地の場合	2-18. 水資源涵養量	1,563	m^3/年
2-19. 差分：林地－裸地		5,465	m^3/年

▼ 計算結果まとめ （年単位 mm/年）▼

	降水量	直接流出量	蒸発散量	水資源涵養量
年間	1861.2	298.2	726.3	836.7
	100%	16%	39%	45%

蒸発散量(詳細モード・月単位)の計算

計算開始年・月

	2006 年	4 月	

気象情報

入力

年	月	平均気温(℃)	降水量(mm/月)	着葉1/落葉0
2006年	4月	8.7	91.6	1.0
2006年	5月	14.6	194	1.0
2006年	6月	18.2	208.2	1.0
2006年	7月	21.3	333.1	1.0
2006年	8月	23.3	98.8	1.0
2006年	9月	19.7	211	1.0
2006年	10月	15.5	230.4	1.0
2006年	11月	10.6	86.3	1.0
2006年	12月	5.7	160.8	1.0
2007年	1月	0.7	51.1	1.0
2007年	2月	2.7	76	1.0
2007年	3月	5.1	73	1.0

▼ 計算結果まとめ （月単位）▼

気象データ					直接流出量※1	直接流出のうち融雪量※2	蒸発散量(mm/月)			水資源涵養量
年	月	平均気温(℃)	降雨量(mm/月)	降雪量(mm/月)	(mm/月)		蒸散＋遮断	蒸散量	遮断量	(mm/月)
2006年	4月	8.3	94.0	0.0	15.1	0.0	45.1	29.8	15.4	33.8
2006年	5月	14.2	199.0	0.0	31.9	0.0	70.2	37.7	32.5	96.9
2006年	6月	17.8	213.6	0.0	34.2	0.0	75.5	40.6	34.9	103.9
2006年	7月	20.9	341.7	0.0	54.8	0.0	101.4	45.6	55.8	185.6
2006年	8月	22.9	101.4	0.0	16.2	0.0	64.5	47.9	16.6	20.6
2006年	9月	19.3	216.5	0.0	34.7	0.0	77.6	42.3	35.4	104.1
2006年	10月	15.1	236.4	0.0	37.9	0.0	77.4	38.8	38.6	121.1
2006年	11月	10.2	88.5	0.0	14.2	0.0	46.4	31.9	14.5	27.9
2006年	12月	5.3	165.0	0.0	26.4	0.0	54.2	27.2	27.0	84.3
2007年	1月	0.3	17.5	34.9	8.4	5.6	35.7	21.4	14.3	8.3
2007年	2月	2.3	48.4	29.6	12.5	4.7	39.0	21.4	17.6	26.4
2007年	3月	4.7	72.1	2.8	12.0	0.4	39.2	26.5	12.7	23.7

※ここでの裸地は不毛岩石地と呼ばれる森林土壌が失われた状態を想定しています。
※2019年度の一般家庭における1人当たりの生活用水使用量は年間約100m³です。
（出典：令和4年版　水資源の利用状況　国土交通省 水管理・国土保全局 水資源部）

エクセルによる計算例（簡易モード）

ユーザー入力欄
自動計算欄

オプショナルなモード

直接流出量の計算

年降水量と地質

項目		入力	
1-1. 年降水量		1814.3	mm/年
1-2. 地質区分		中古生代	
標高	1-3. 降水量の標高補正をしますか？	はい	
	1-4. 降水量観測点の標高	325	m
	1-5. 対象林地の標高	380	m
1-6. 標高補正後の年降水量		1861.2	mm/年
1-7. 年間のイベント積算降水量		1066.1	mm/年

▼ 計算結果 ▼

1-8. 林地：年間の直接流出量	298.2	mm/年
1-9. 裸地：年間の直接流出量	930.6	mm/年
1-10. 差分：裸地－林地	632.4	mm/年
1-11. 対象林地の面積	0.84	ha
1-12. 林地：年間の直接流出量	2,505	m^3/年
1-13. 裸地：年間の直接流出量	7,817	m^3/年
1-14. 差分：裸地－林地	5,312	m^3/年

蒸発散量の計算

計算種別を選択 ○ 詳細（月単位） ● 簡易（年単位） ○ 計算しない

簡易（年単位）

項目	入力
2-1. 対象林地がある場所	関東甲信(東京、栃木、群馬、埼玉、茨城、千葉、神奈川、長野、山梨)

▼ 計算結果 ▼

林地の場合	2-11. 年蒸発散量	1110.3	mm/年
	2-12. 水資源涵養量	452.7	mm/年
裸地の場合	2-13. 水資源涵養量	186.1	mm/年
2-14. 差分：林地－裸地		266.6	mm/年
2-15. 対象林地の面積		0.84	ha
林地の場合	2-16. 年蒸発散量	9,326	m^3/年
	2-17. 水資源涵養量	3,803	m^3/年
裸地の場合	2-18. 水資源涵養量	1,563	m^3/年
2-19. 差分：林地－裸地		2,239	m^3/年

▼ 計算結果まとめ （年単位 mm/年）▼

	降水量	直接流出量	蒸発散量	水資源涵養量
年間	1861.2	298.2	1110.3	452.7
	100%	16%	60%	24%

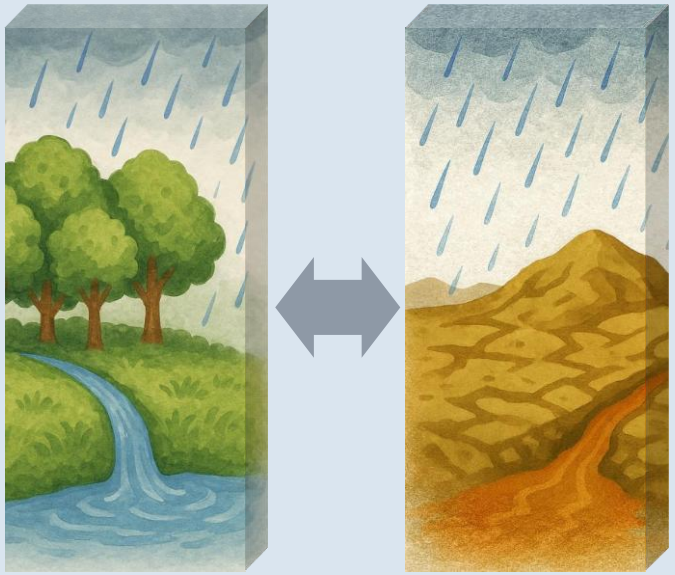
※ここでの裸地は不毛岩石地と呼ばれる森林土壌が失われた状態を想定しています。
※2019年度の一般家庭における1人当たりの生活用水使用量は年間約100m^3です。
（出典：令和4年版　水資源の利用状況　国土交通省 水管理・国土保全局 水資源部）

林地と裸地の比較

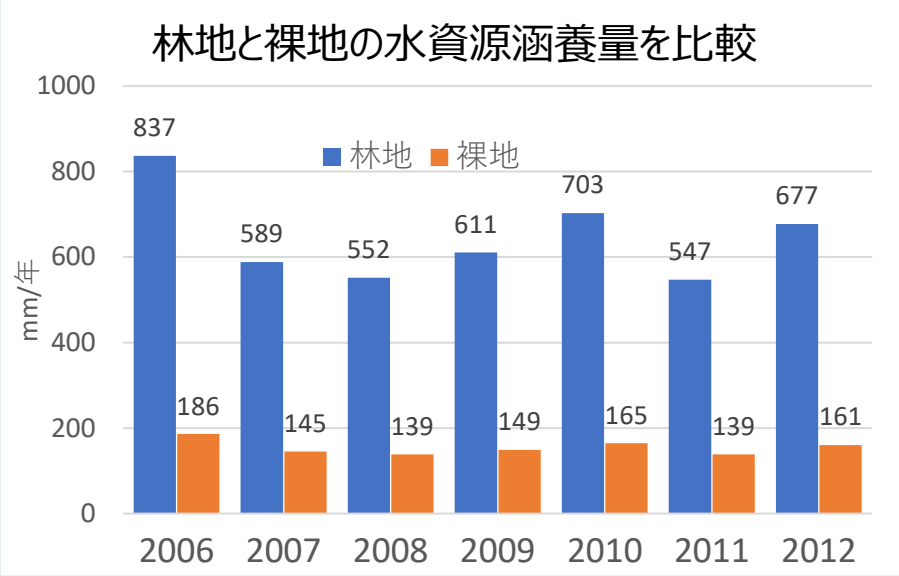
本スライドの内容は調整中です。

- 常陸太田試験地の観測データを対象に、エクセル計算ツール【詳細】で得られる水資源涵養量を林地と仮想裸地で比較する。
- 既往報告書※において用いられた裸地における貯留量10%を採用し、**裸地の水資源涵養量は降水量比0.10**とする。
- 2006～2012年の７年間で**林地は裸地の約４倍の水資源を涵養**している結果となった。
- 林地が開発等により失われ、**裸地化すると水資源涵養量は約1/4となる**。森林づくり活動等により、林地を林地として維持する効果が水量として評価された数値である。

※地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価に関する調査研究報告書、平成13年11月



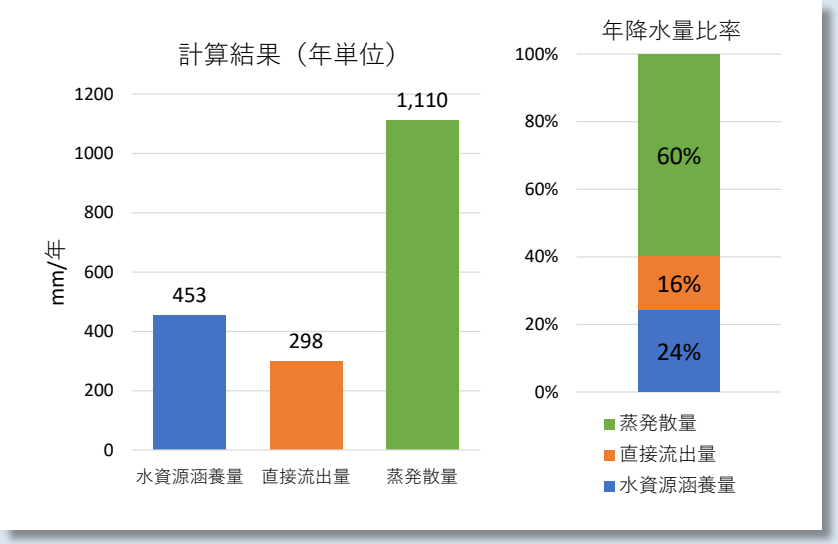
年	年降水量 [mm/年]	水資源涵養量 [mm/年]	
		林地	裸地
2006	1814	837	186
2007	1418	589	145
2008	1353	552	139
2009	1456	611	149
2010	1609	703	165
2011	1354	547	139
2012	1565	677	161



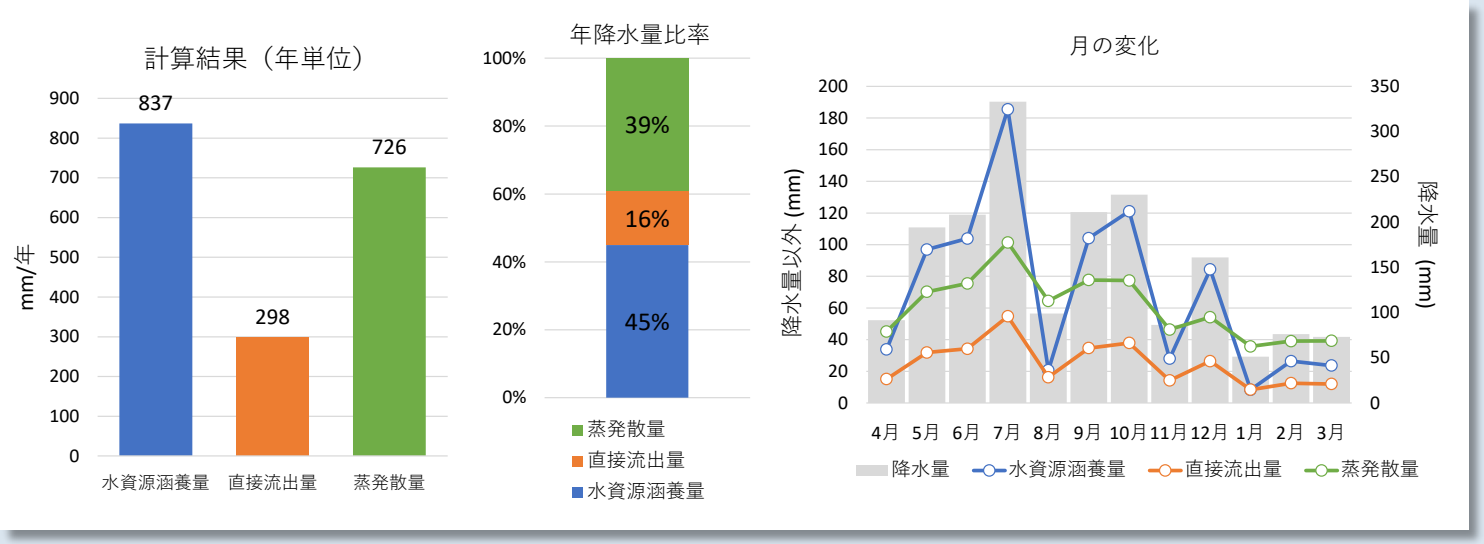
【詳細】と【簡易】の使い分け

- **【詳細】**モードは計算が**月単位**で、現在の森林水文学をベースとした数式・モデルを採用する。蒸散量を過小評価する可能性もある（言い換えれば、水資源涵養量を過大に評価する）が、実際の林地情報を使い計算することで、林相を反映することができるモードとなっている。**【詳細】モードによる計算が基本**と考えている。
- **【簡易】**モードは計算が**年単位**で、ユーザーが林地情報を準備しなくてよい。計算内容は**【詳細】**モードと同じ構成だが、蒸発散の計算で必要となる気象データと林地情報はシステム側であらかじめ用意したものに限定される。用意した林地情報は選択された地方における最も大きな蒸発散量となるデータを選んでおり、**控えめな水資源涵養量となるよう調整**している。
- **【簡易】**モードは控えめな水資源涵養量となるよう調整されていることから、**【詳細】**モードはより大きな水資源涵養量が算定される。林分の計測を行い**【詳細】**モードで計算することを推奨するが、林分計測までは行わず、**【簡易】**モードで概算水量を知るだけとするかはユーザー個々の事情で判断されたい。

蒸発散量を【簡易】(年単位)で計算



蒸発散量を【詳細】(月単位)で計算



この涵養量を今後どう使うか

- 本資料では水源涵養機能の１指標として、**水資源涵養量**を定義し、その簡易な計算方法とエクセル計算ツールを提供している。
- 水資源涵養量は「流域内で涵養される地下水量で、基底流出に貢献しうる水量」、すなわち、地域の生活や産業活動において利用可能な地下水の供給源となる水量である。
- 水資源涵養量は、企業や自治体が森林（もり）づくり活動の効果を定量的に把握するための指標となる。森林保全の環境的意義を数値で示すことで、企業価値の向上やステークホルダーへの説明責任の履行に貢献し、企業が事業活動で依存する水資源への貢献活動として、本指標は企業のTNFDレポートやサステナビリティレポートなどに活用できる。
- また、水消費量を開示した上で、その改善に資する取組として、水資源涵養量を示すことも有効である。これは、使用量を超える水の還元（Water positive）や流域全体のステークホルダーとの協働（Water stewardship）につながるものである。
- さらに、自治体では森林環境譲与税等を活用した森林整備効果の評価指標として、施策立案にも活用できるのではないか。
- 水資源涵養量は、海外の投資家へも発信できるよう、国際的な枠組みを参考にしながら作成した。VWBA（Volumetric Water Benefit Accounting）で用いられるCN（カーブナンバー）法を、日本の地質や降水特性に応じ独自にアレンジしている。
- 国際的な評価法に準じた手法を採用することで、海外においても受け入れやすい指標になることを目指した。また、解説資料は日本語と英語の両言語で公開する。

水資源涵養量に関する留意事項#1

水資源涵養量を利用するにあたって、留意すべき事項を述べる。

１．蒸発散量に関すること

国内では特に広葉樹林における蒸発散量（蒸散量、遮断蒸発量）の計測値が不足している。提案する遮断蒸発モデルは海外のデータも利用し、蒸散モデルはヒノキで構築されたモデルをすべての樹種に拡大適用している。今後国内で広葉樹の蒸発散量データが蓄積されれば、精度検証を行い見直しをしていくことが望ましい。

また、本手法では樹液流計測法に基づく蒸散量を取り扱っているが、樹液流計測法は実際の蒸散量を過小評価するという指摘があり、他の方法で得られた蒸発散量と比較することが望まれる。現時点で林床面蒸発も考慮していないが、考慮すれば蒸発散量はさらに増え、水資源涵養量が減少する。将来、精度を高めるために手法のアップデートを行うと、同じ条件でも水資源涵養量が減少する可能性がある。

２．過大な涵養量となる場合があること

観測値との比較検証結果から、**水資源涵養量が1～2割程度過大となる場合がある**ことがわかった。この誤差は、１で述べた蒸発散量の過小評価が影響している可能性があるが、簡易さを優先したツールであること、企業等による活動の環境的意義を把握するという目的に照らせば許容される誤差範囲と判断している。ただし、評価結果を活用する際には、この傾向を踏まえた**補足説明を添えることが望ましい。**

特にTNFDレポート等で本手法を引用する場合には、活動の環境的意義を示す参考値であること、過大評価の可能性があること、そして手法の前提や限界を明示することが、透明性と誠実性の観点から重要である。

水資源涵養量に関する留意事項#2

３．適用できる森林面積

本手法の適用面積は100haが上限となる。森林面積が100ha以上ある場合は複数に小分けし、それぞれ100ha以下の区域で個別に評価を行うなどの工夫が必要である。下限面積は特にない。

４．林地と裸地の比較について

本ツールで想定する裸地は樹木、下層植生、落葉落枝、伐根のいずれも存在しない裸地を想定している。森林の伐採直後、上層木だけがなくなった状態の土地被覆とは異なる点に留意されたい。

現時点で本ツールでは裸地の水資源涵養量は年降水量比0.10と仮定し、裸地の直接流出は年降水量比0.50を仮定し算出している。裸地に関する流量データが少なく、信頼できるカーブナンバー値を求められない事情も背景にある。林地については水資源涵養量の算定に蒸発散モデルを使っていることと比べ、年降水量比で得る裸地の水資源涵養量が同程度の精度を有するとは考えにくく、裸地の精度は粗い点に留意されたい。

５．森林の洪水緩和機能は対象外となる

森林が発揮する機能である洪水緩和機能は、ピーク流量の低減や遅れ時間などが重要な要素だが、本ツールではピーク低減や遅れ時間は評価されていない。

おわりに

本資料では、林地の水源涵養機能を「見える化」するため、林地の直接流出量・蒸発散量の簡易な算定方法を提示し、それらを基に水資源涵養量を定量的に評価する手法を紹介した。

計算を実行するエクセルファイルを作成・公開し、非専門家でも計算可能で、内外への説明や施策立案に活用できるものとしている。企業や自治体、地域団体等が自らの森林整備活動の効果を数値で把握するために活用いただきたい。

林地の水源涵養機能は、洪水緩和や水資源の安定供給、水質保全といった多面的価値をもたらし、持続可能な社会の基盤を支える。こうした機能を維持・保全していくためには、機能を定量評価し共有することで、森林保全活動に携わる人々の輪を広げ、将来世代に豊かな自然資本を引き継いでいくことができる。

本手法が、より多くの主体による森林（もり）づくりの促進と、水資源の持続的な保全に貢献することを期待する。

謝辞：検討委員会

本資料の内容は、令和5～7年度の山地保全調査事業（林野庁治山課）にて検討、作成されました。
また事業では【森林の水源涵養機能における簡易的定量評価手法に関する検討委員会】が立ち上げられ、下記の委員の方々のご指導をいただきました。
この場をお借りしてお礼申し上げます。

委員長	五味高志	名古屋大学大学院生命農学研究科	R5, 6, 7
委　員	久保田多余子	森林総合研究所 水流出管理担当チーム	R7
	篠原慶規	宮崎大学農学部 森林環境持続性科学領域	R5, 6, 7
	白木克繁	東京農工大学農学研究院自然環境保全学部門	R5, 6, 7
	瀬田玄通	サントリーホールディングス株式会社 サステナビリティ経営推進本部	R5, 6, 7
	玉井幸治	森林総合研究所 象害・防災林研究室	R5, 6, 7

所属は令和7年11月時点

参考文献

マウスクリックで文献サイトを開く

Cammalleri C., Rallo G., Agnese C., Ciraolo G., Minacapilli M., Provenzano G., 2013. Combined use of eddy covariance and sap flow techniques for partition of ET fluxes and water stress assessment in an irrigated olive orchard. Agricultural Water Management, Soil and Irrigation Sustainability Practices 120, 89–97.

CEO Water Mandate (2021): Benefit Accounting of Nature-Based Solutions for Watersheds

Chiu, C., Komatsu, H., Katayama, A., Otsuki, K. (2016) Scaling-up from tree to stand transpiration for a warm-temperate multi-specific broadleaved forest with a wide variation in stem diameter, Jour. Forest Research, 21, 161-169.

Gomi, T., Sidle, R.C., Richardson, J.S. (2002) Understanding Processes and Downstream Linkages of Headwater Systems, BioScience, Vol.52, Issue 10, p.905–916.

五味高志（2016）：森林土壌と水土保全機能、森林科学、77、p.10-13

Inokoshi, S., Gomi, T., Chiu, C. W., Onda, Y., Hashimoto, A., Zhang, Y., & Saitoh, T. M. (2023). A watershed-scale evapotranspiration model considering forest type, stand parameters, and climate factors. Forest Ecology and Management, 547, 121387.

Komatsu H, Shinohara Y, Kumagai T, Kume T, Tsuruta K, Xiang Y, Ichihashi R, Tateishi M, Shimizu T, Miyazawa Y, Nogata M, Laplace S, Han T, Chiu CW, Ogura A, Saito T, Otsuki K. (2014) A model relating transpiration for Japanese cedar and cypress plantations with stand structure. Forest Ecology and Management 334, 301-312.

Komatsu, H., Shinohara, Y., & Otsuki, K. (2015). Models to predict changes in annual runoff with thinning and clearcutting of Japanese cedar and cypress plantations in Japan. Hydrological Processes, 29(24), 5120-5134.

Komatsu, H. (2019). Modeling evapotranspiration changes with managing forests in Japan 森林管理による蒸発散変化のモデル化 -日本の森林を対象として- 小松 光. Cabinet Office, Government of Japan, Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), "Enhancement of Societal Resiliency Against Natural Disasters".

Komatsu, H. (2020)： Vol.475, No.1, 118395. Modeling evapotranspiration changes with managing Japanese cedar and cypress plantations, Forest Ecology and Managementvailable online.

Kubota, T., Tsuboyama, Y., Nobuhiro, T. (2018): Effects of thinning on canopy interception loss, evapotranspiration, and runoff in a small headwater Chamaecyparis obtusa catchment in Hitachi Ohta Experimental Watershed in Japan, Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute, 17(1), 63-73

Kume T, Laplace S, Komatsu H, Chu C-R. (2015) Transpiration in response to wind speed: can apparent leaf-type differences between conifer and broadleaf trees be a practical indicator? ,Trees, 29, 605-612.

参考文献

マウスクリックで文献サイトを開く

水村和正（1998）：水圏水文学，山海堂，pp.253.

虫明功臣・高橋裕・安藤義久（1981）日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果, Effect of Basin Geology on River-flow Regime in Mountainous Areas of Japan, 土木学会論文報告集, 309, 51-62.

Nagai S, Saitoh TM, Nasahara KN Suzuki R. (2015) Spatio-temporal distribution of the timing of start and end of growing season along vertical and horizontal gradients in Japan. International Journal of Biometeorology 59; 47–54.

National Engineering Handbook Part 630 (2004)：Hydrology Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes.

National Engineering Handbook Part 630 (2009)：Hydrology Chapter 7 Hydrologic Soil Groups

太田岳史. (1989)：気温および降水量による山地積雪水量の経時変化の推定，雪氷, 51(1), 37-48.

Oishi A.C., Oren R., Stoy P.C., 2008. Estimating components of forest evapotranspiration: A footprint approach for scaling sap flux measurements. Agricultural and Forest Meteorology 148, 1719–1732.

Reig, P., Larson, W., Vionnet, S. and Bayart., J.B. (2019): “Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA): A Method for Implementing and Valuing Water Stewardship Activities.” Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.

Rozza, J., Richter, B., Larson, W., Redder, T., Vigerstol, K., Bowen, P. (2013): Corporate Water Stewardship: Achieving a Sustainable Balance, J. of Management and Sustainability; Vol. 3, No. 4, p.41-52.

Shinohara, Y. and Kume, T. (2022) Changes in the factors contributing to the reduction of landslide fatalities between 1945 and 2019 in Japan. Science of the total environment, 827, 154392.

Susan, L.N., Arnold, J., Kiniry, J.R. Williams, J.R. (2011): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009, Texas Water Resources Institute

谷誠（2017）：森林斜面の洪水緩和効果はどのように評価できるのか、北海道の自然（北海道自然保護協会会誌）、55、p.41-50.

Tsuruta, K., Komatsu, H., Kume, T., Otsuki, K., Kosugi, Y., & Kosugi, K. I. (2019). Relationship between stem diameter and transpiration for Japanese cypress trees: Implications for estimating canopy transpiration. Ecohydrology, 12(5), e2097.

Williams, D.G., Cable, W., Hultine, K., Hoedjes, J.C.B., Yepez, E.A., Simonneaux, V., Er-Raki, S., Boulet, G., de Bruin, H.A.R., Chehbouni, A., Hartogensis, O.K., Timouk, F., 2004. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. Agricultural and Forest Meteorology 125, 241–258.

WWFジャパン(2022): ICT業界における水戦略：ウォーター・スチュワードシップの取り組みを始めるためのステップ

山田正, 日比野忠史, 荒木隆, & 中津川誠. (1995). 山地流域での降雨特性に関する統計的解析. 土木学会論文集, (527), 1-13.

用語説明（水循環）

CSR（Corporate Social Responsibility ）
企業の社会的責任とは、企業が利益追求だけでなく、社会や環境への配慮を含めた責任ある行動を行うべきだとする考え方です。

SDGs（Sustainable Development Goals）
国連が定めた「持続可能な開発目標」です。2030年までに貧困や格差、環境問題など世界共通の課題を解決するための17の目標と169のターゲットを示しています。

TNFD（Taskforce on Nature-related Financial Disclosures）
企業や投資家が自然資本や生物多様性に関連するリスク・機会を把握し、情報を開示するための国際的枠組みです。環境への影響や依存を可視化して、持続可能な経営や投資判断に役立てます。

VWB（Volumetric Water Benefit）
水資源管理の効果を、体積（立方メートルなど）で定量的に測る指標です。節水や水質改善、地下水補給などの取り組み量を数値化して評価します。

VWBA（Volumetric Water Benefit Accounting）
VWBの考え方を使って、水資源関連の取り組みの効果を体系的に記録・管理する手法です。複数の施策を合計して、全体的な水資源への貢献度を把握できます。

ウォーター・ポジティブ（Water Positive）
企業や施設が使用した水の量よりも多くの水を自然に戻す、または補充することを目指す考え方です。水の利用で環境に正の効果を与える状態を指します。

ウォーター・スチュワードシップ（Water Stewardship）
企業や団体が、地域や流域の利害関係者と協力しながら、持続可能な水利用を推進する責任ある取り組みです。水質保全や公平な配分、流域環境の保護などを含みます。

用語説明（森林）

水源涵養機能

森林の土壌が、降水を貯留し、河川へ流れ込む水の量を平準化して洪水を緩和するとともに、川の流量を安定させる機能のこといいます。また、雨水が森林土壌を通過することにより、水質が浄化されます。水源涵養機能は３つの主な働き「洪水緩和機能」「水資源貯留機能」「水質浄化機能」から構成されます。３つの働きの具体内容については、スライド16を参照してください。

水資源涵養量

本資料で独自に定義した水源涵養機能の定量化指標の１つです。森林流域に降った雨水が地下水を涵養し、基底流出に貢献しうるだろう水量を簡易に定量化します。次の収支式に基づきます。詳細はスライド35～36を参照してください。
水資源涵養量＝降水量ー（直接流出量＋蒸発散量）

土砂災害防止機能/土壌保全機能

森林の下層植生や落枝落葉が地表の浸食を抑制するとともに、森林の樹木が根を張り巡らすことによって土砂の崩壊を防ぎます。土砂災害防止/土壌保全機能には２つの主な働き「表面侵食防止」「土砂崩壊防止」があります。

表面侵食防止機能

樹木の樹冠や下草、落葉等が土壌を雨滴から保護することで土壌が地表の水分を吸収する能力を確保し、地表を流れる水による侵食を防ぐ機能をいいます。

土砂崩壊防止機能

樹木の根が土壌中に広く深く張り巡らされることで、あたかも杭やネットのように土や岩石等を固定し、表土層の崩壊を防ぐ機能をいいます。

森林の多面的機能

森林は、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化の防止、生物多様性の保全、木材等の林産物供給などの多面的機能を有し、その発揮を通じて我々の生活に様々な恩恵をもたらします。多面的機能の一部、貨幣評価できるものだけでもその恩恵は年間70兆円に達すると試算されます 。

用語説明（水文）

遮断蒸発（canopy interception loss）
降った雨や雪が森林の葉や枝、幹などに一時的に留まり、そこから大気中へ水分として蒸発する現象です。本資料（ツール）で取り扱う林地からの蒸発量は遮断蒸発のみで、林床面からの蒸発は含まれていません。

蒸散（transpiration）
樹木や下草などの植物が、根から吸い上げた水分を葉の気孔から水蒸気として放出する現象です。光合成や温度調節の過程で生じる現象で、降雨中にも蒸散は生じていることが知られています。

蒸発散（evapotranspiration）
遮断蒸発と蒸散を合わせたもので、降った雨のうち森林から大気中へ戻っていく水の総量を表します。森林の水循環や気候に大きく関わる重要なプロセスです。

表面流出（surface flow）
雨水が地面や落葉層にしみ込まず、地表面を流れて沢や谷筋へ向かう流れをいいます。地表がすでに水で飽和している場合や、強い雨で浸透能力を超えた場合に発生します。裸地では地表が締め固められ表面流が発生しやすくなります。

直接流出（direct flow）
降雨後すぐに河川や沢に流れ込む水の総称で、「表面流出」に加えて、地表に近い浅い土層や風化岩中を通り短時間で沢や谷筋に流れる地下水「速い流出」も含まれます。山地での出水や洪水の主な原因となります。

速い流出（浅い地中流出、subsurface flow）
降った雨が地表にしみ込み、地表近くの土層や風化した岩層の中を比較的早く移動する水の流れです。谷沿いや斜面下部に集まりやすく、山地では、この流れが出水の立ち上がりを長引かせる要因になります。

遅い流出（基底流出、base flow）
雨水が長い時間をかけて深い地層や岩盤中の割れ目を通って移動する地下水で、基底流出とも呼ばれます。降雨から数週間～数年後に流出することもあり、湧水や渓流への安定した水の供給源となります。山地においては、渇水期においても川の水量を保つ役割を果たし、「水資源貯留機能」と関連する地下水流れです。

用語説明（流出解析）　（4/4）

一次流出と飽和流出
流域での流出過程を２段階に分けた時のそれぞれの呼称。「一次流出」は、降雨が流域内に一時的に貯留されるため、流出割合が比較的低い段階のことをいいます。「飽和流出」は流域の貯留量が飽和し流出に転じる雨水の割合が高まる段階です。詳細はスライド46を参照してください。

折れ線関数
降雨～流量関係について「一次流出」と「飽和流出」それぞれの段階を２つの直線、折れ線で表現したものです。「飽和流出」における直線の傾きは「一次流出」より大きくなり、「降水量＝流量」ラインと同じ傾きに近づきます。

分数型関数
降雨～流量関係を折れ線でなく分数式で表現したものです。流量Qは降雨Pの関数であり、また降雨量が大きくなると次第に降雨量＝流量に近づいていきます。その特徴を定式化する際に、分数式 $Q/P = f_2(P)/f_1(P)$ で $P \to \infty$のとき $f_1(P) = f_2(P)$ として $Q = P$ が成り立ちます。カーブナンバー法は分数型関数の１つです。スライド46～47を参照ください。

カーブナンバー法
アメリカの農務省で開発された降雨～流量関数です。上記の「分数型関数」となります。アメリカでは森林に限らず、都市部や農地など降雨流出の検討でよく使われ、簡易かつ便利なことから広く利用されています。詳細はスライド47を参照してください。

カーブナンバー値
カーブナンバー法はパラメータを１つ持ちます。本資料ではCN値と呼んでいます。アメリカでは種々のカーブナンバー値が設定ずみのためただちに計算できますが、日本は設定例がないことから、本資料で検討を行いました。

貯留関数
降雨～流量の時系列関係を計算する数式。折れ線関数や分数型関数と異なるのは、 流量の時間応答を算定できる点です。

タンクモデル
降雨～流量の時系列関係を計算する数式。貯留関数１つをタンクに見立て、複数のタンク（貯留関数）を接続して、流量計算を行います。貯留関数よりも複雑な応答を生成できますが、パラメータが増えることから同定の難易度が高まります。

分布型モデル
水の移動過程を含んだ現実を反映させた数値モデルのことをいいます。「分布型」の意味は、極力現実の条件を反映するように地形や土層厚さ、透水能、降雨強度といった物理量の空間的な分布を考慮する点に由来します。データ準備の労力が大きく、計算量も多いことから専門家向けの計算ツールです。

Q & A （背景）

Question：

水資源涵養量という指標が作られた背景を教えてください。

Answer：

近年、SDGsやESG投資の広がりに伴い、CSR活動等として森林（もり）づくりに取り組む企業が増えています。生物多様性の損失・自然資本の劣化は、事業継続性を脅かすリスクとして認識され始め、その対応が企業経営に組み込まれてきています。投資家・消費者・規制当局からの情報開示要請の強まりもあり、日本企業においてもその対応が加速しています。

企業による自然環境への配慮を、投資家が評価できるようにするため、企業情報開示の国際的枠組みであるTNFD提言が令和5年に出されました。我が国でも令和5年1月に内閣府令により非財務情報の開示が義務化されています。林野庁では令和7年4月に「森林に関するTNFD情報開示の手引き」を公表しました。

令和４年11月に内閣官房水循環政策本部に「企業の健全な水循環の取組に関する有識者会議」が設置されました。有識者会議は、企業の森林づくりによる水資源への貢献を投資家等に分かりやすく伝えるために、涵養量を定量的に評価する手法が重要、との提言を出しています。

これを受けて、企業や自治体等の多様な主体による森林づくりの取組が一層促進されるよう、林野庁では令和５年度より新たな定量評価手法の策定に取り組んできました。森林の機能を持続的に発揮させるためには公的主体に加えて、企業等多様な主体による森林づくり活動を一層促進していく必要があります。そうした目的で成果をとりまとめたのが、この水資源涵養量となります。

Question：

水資源涵養量は、水資源に関して先行する国際的な評価の枠組みを意識した内容になっているのですか？

Answer：

昨今、企業は森林についてCO_2、水、生物多様性など様々な情報を発信する必要に迫られています。水資源涵養量という指標は、森林づくり活動による水資源への貢献を定量化するだけでなく、海外の投資家へも発信できるよう、国際的な枠組みを参考にしながら作成しました。

具体には世界資源機構が提唱するVWBA（Volumetric Water Benefit Accounting）を参照し、アメリカで広く用いられるCN（カーブナンバー）法を、日本の地質や降水特性に応じて独自にアレンジしています。

TNFDでは、非財務情報の開示は認証機関の審査を受ける必要がありますが、国際的な評価法に準じた手法を採用することで、海外においても受け入れやすい指標になることを期待しています。そのため、解説資料は日本語と英語の両言語で公開しています。

Q＆A （活用方法、クレジット化） （2/6）

Question：この手法の利用者や活用場面として、どのようなケースが想定されますか？

Answer：本手法は、TNFDレポートや環境報告書、CSR活動報告など、対外的に森林（もり）づくり活動の成果を発信しようとする企業を主な利用者として想定しています。公式なレポートに限らず、企業のウェブサイトや株主向け資料、広報活動など、さまざまな場面での活用が可能です。これにより、森林づくりに取り組む企業の裾野を広げることを目指しています。

　また、企業だけでなく、森林環境譲与税を活用して森林整備を進める自治体においても、住民への説明や地域の取組みの可視化に役立つと考えられます。

Question：この手法を活用した企業の具体的な事例やモデルケースはありますか？

Answer：「水資源涵養量の算出」までについては、森林総合研究所の理水試験地である常陸太田試験地のデータを使い算出・検証を行いました。

　算出された水資源涵養量を使い、具体にレポートを作成して発信する、という部分は2025年11月時点で、まだ具体な活用例はない状態です。みなさんによる積極的な活用をお願いします。

Question：TNFD対応を検討しています。水資源涵養量は、我々が利用する「水インフラへの供給量」と同じと考えてよいのでしょうか？

Answer：「水資源涵養量」は水インフラに供給されるだろう水量をその中に含みます。本手法では直接流出と蒸発散量を分離し、基底流出量相当を水資源涵養量としています。水資源涵養量は渇水対策や地下水保全の“潜在力”を把握するにおいて有効です。

Question：水資源涵養量を、CO_2のようにクレジット化し、取引ができる仕組みがあるといいのですが。

Answer：現時点では、水資源涵養量をクレジット化して取引する仕組みを作る準備はしていません。

　炭素クレジットでは、森林整備による生物多様性や水資源への貢献など、炭素以外の環境的価値を「非炭素プレミアム価値」として評価する事例があり、令和７年３月に「森林吸収系J-クレジットの非炭素プレミアム価値を訴求するための手引き」が林野庁から公開されています。

　手引きの中では、森林整備を通じた生物多様性の保全や水源涵養機能の発揮、地域経済への貢献など、森林の多面的機能による付加価値を明示することで、森林吸収系J-クレジット価格に反映されることが期待されています。水資源涵養量がこうした付加価値の一つとして今後評価されるようになる可能性は十分にあると考えます。

Q & A （水資源涵養量） （3/6）

Question：算定される水資源涵養量は実際の水文過程を反映したものでしょうか？

Answer：本手法は流量を求めるパートと蒸発散量を求めるパートの２つから構成されます。流量パートは、実務で広く用いられるカーブナンバー法を採用し、シンプルな入力データで迅速に計算できる利点があります。一方で、蒸発散パートでは、最新の分布型モデルで採用される手法をベースに、それを簡易化した形で導入しています。
　両パートを組合せて水資源涵養量を算出するため、全体としては簡易な手法に位置づけられます。高度な専門知識や詳細なデータがなくても活用できる、実務向けの評価ツールとしてご理解いただければと思います。

Question：林地と裸地の比較ができるのですか？

Answer：エクセル計算ツールでは林地と裸地の場合、それぞれの水資源涵養量の差を推計しています。なお、裸地については水資源涵養量は降水量比0.10を、直接流出量は降水量比0.50を用いて計算しています。
　また、ここでの裸地は樹木、下層植生、落葉落枝、伐根のいずれも存在しない裸地を想定しています。森林の伐採直後、上層木だけがなくなった状態の土地とは異なるのでご注意ください。

Question：どのような森林（針葉樹/広葉樹、林齢など）の水資源涵養量が大きくなりますか？

Answer：森林の状態（針広区分、林齢、密度、胸高直径、樹高等）は蒸発散量を変化させ、水資源涵養量にも影響を与えます。その影響量はケースバイケースのため、樹種や林齢で一律に大小を判断できるものではありません。また、これまでの研究で針葉樹と広葉樹の間で保水力に明確な差があるとするデータは得られておらず、適切に管理された人工林においても水源涵養機能は十分に発揮されている、と考えられます。

Question：この方法で地域別の水資源涵養量を比較できますか？

Answer：「詳細」モードでは、流域の雨量や気温を与えるので、地域別に値を比較できます。ただ、地域間の差を抽出することを目的としたツールではなく、あくまで企業等が自らの森林づくり活動の効果を定量把握するのが目的です。
　なお「簡易」モードはその地域で想定される最低限の涵養量が算出されています。地域の代表値を算出しているわけではありません。

Question： 面積1,000ha程度の森林の水資源涵養量を評価することはできますか？

Answer：本手法の適用範囲は100ha程度が上限です。カーブナンバーのパラメータ算定に使用した流域データがすべて100ha未満であること、また代表的流域面積という概念があり、それを踏まえた上での広さが100haとなります。100ha以上の流域については複数に小分けし、それぞれ100ha以下の区域で個別に評価を行うなどの工夫が必要です。

Question：積極的に森林整備をしている場合と、そうでない場合で、水資源涵養量の値があまり変わらない可能性がありますか？

Answer：森林整備をした場合としなかった場合で比較したとき、水資源涵養量の大きさはあまり変わらないときがあります。本手法では地質、降雨、気温、林相データに基づき評価します。森林整備後の森林の状態や林床植生の繋茂状況等が森林の水循環にも影響します。そのため条件によっては、水資源涵養量が変わらない可能性があります。
　森林を整備することで、土壌浸透能が向上し、表面侵食を防止し、保水力の維持・向上が図られます。水資源涵養量の値だけではなく、森林を森林として維持するという観点から、間伐や下刈りによって土壌が保全されるという整備活動の重要性を示していく必要があります。

Q & A （水文）

Question：「水資源涵養量」とは地下水へ涵養される水量だけを指すのですか？

Answer：いいえ、「水資源涵養量」は地下水への涵養だけでなく、土壌中や岩盤内に一時的に貯留された水を含む、森林が保有・調整する水の全体量を指します。「涵養」とは単に「地下水を育む」だけでなく、「水をためて、ゆっくりと自然に放出する力」も含んでいます。
　水資源涵養量には私たちが生活や産業で活用可能な、時間をかけて河川へ流出する水と、地下水として山体に蓄えられる水、その両方が含まれます。

Question：森林土壌の働きは単に水を“しみ込ませる”だけですか？

Answer：森林土壌は単なる「スポンジ」ではなく、以下の複雑な水文機能を持ちます。
・小孔隙が保水性を高め、降雨時のピーク流量を抑える。
・大孔隙（水みち）が透水性を確保し、過剰な水を速やかに排水。
・団粒構造により空気と水の通り道を両立させる。
・根系の浸透促進・水吸収により土壌の含水状態を調整する。
などです。そのため、森林土壌は涵養量の核心を担うグリーンインフラといえます。スライド18～19も参照ください。

Question：この方法で洪水緩和機能は評価されていますか？

Answer：洪水緩和機能はピーク流量の低減が大事な要因の１つですが、本手法でピーク低減は評価されません。

Question：水資源涵養量は現地で直接測定することができないと思いますが、定量的な評価は可能なのでしょうか？

Answer：「正確な観測」は難しくても、簡易的な推定モデルを用いることで（本資料では年降水量、地質区分と林分情報を利用します）、地域ごとの相対的な違いと森林の効果を数値で把握することができます。涵養量を簡易かつ定量的に推定する仕組みを構築することで、カーボン・オフセットの「炭素吸収量」にならい、“測れる価値”として水資源量を取り扱うことが目的です。

Question：森林の水資源涵養量は固定的で変わらないもの、というイメージを持っていましたが、この手法では降水量によって涵養量が変化するようです。こうした変動があっても指標として問題はないのですか？

Answer：固定的で変わらないとのイメージは、森林が持つポテンシャル（器の大きさ）としての水資源涵養量を想定しているからだと思います。しかしながら、森林の状態（例：樹種構成、林齢、立木密度）や地域の気温、降雪量、着葉・落葉期の違い等により植物の遮断蒸発や蒸散に変化がもたらされます。それに応じて水資源涵養量も地域ごとに変わります。だからこそ「整備」や「放置」が水資源に与える影響を定量化する必要がある、との考えから、この指標を策定しています。
　水資源涵養量は、降水量の多寡によって大きさが増減します。少雨の年は涵養量が少なくなります。水資源涵養量がポテンシャル（器の大きさ）であれば、降水量の影響を受けないのが本来です。ここでは、その年の降水量と気温、森林状態に応じた水資源涵養量が算定される、という点に留意してください。

Q & A （降雨/降雪、着葉/落葉） （5/6）

Question：降水と降雨は違うのですか？

Answer：はい。降水と降雨は似た言葉ですが、気象学的には異なります。降水は雨、雪、雹などのすべての形態を含みますが、降雨はその中で雨だけに限定される、つまり雪などは含みません。

なお、工学分野ではあまり厳密に区分せず降水の意味で、降雨を使っている場合もあります。

Question：降雨量はどういうデータを用意するのですか？

Answer：降水量（簡易モードはmm/年、詳細モードはmm/月）を用意してください。降雨でなく降水です。エクセル計算ツールでは、気温データに基づき降水を降雨と降雪に切り分け、降雪は気温に応じた融雪計算を行い、部分的に流出するもしくは積雪するようになっています。地域の気候変動の影響や長期的傾向を踏まえたい場合は、過去10年間の年降水量の平均値を用いることもあるでしょう。通常年、多雨年、寡雨年などシナリオを立てて、降水量を用意する場合もあるかと思います。

本手法ではユーザーの目的や状況に応じた柔軟な運用を可能としており、活動実態や地域特性に応じて降水量データを選定してください。

Question：現地の観測データでなく、アメダスデータを使えばよいですか？

Answer：現地で降水量を観測している場合は、その観測データを用いるのがよいです。現地で観測しているケースは多くはないと思いますので、そのときは気象庁の公開データを使ってください。エクセル計算ツールに、気象庁のダウンロードページへのリンクを用意しています。

Question：気温の標高補正とはなんですか？

Answer： 気温は標高の影響を強く受けます。気象観測所の標高と対象域の標高はずれていることが多いので、標高差による気温の変化を計算式で補正します。エクセル計算ツールでは自動で計算します。

Question：なぜ落葉を考慮するのですか？

Answer：蒸発散量は樹木の葉が関係する現象です。葉に付着した雨が蒸発し（遮断蒸発と呼ぶ）、根から吸い上げた水が、葉で光合成する際に空気中に放出されます（蒸散と呼ぶ）。落葉樹で冬季に葉が落ちると、これら葉で生じる活動が起こらないので、それを計算に反映させるためです。

また、春に葉が開き始めると（着葉と呼んでいます）蒸散活動が再開されます。したがって、落葉と着葉の２時期を特定し、落葉期間を指定することで計算に反映させています。

Question：落葉期間をどうやって決めたらよいですか？

Answer：落葉や着葉は温度によって概ね決まります。積算温度といわれる日平均気温を毎日足していく指標が１つの目安となります。エクセル計算ツールではNagai et al. 2015が提示した有効積算温度を指標として、落葉日と着葉日を自動で判定し、係数に反映させています。

Question：有効積算温度とはなんですか？

Answer： Nagai et al. 2015が提示した有効積算温度は以下の形です。

	積算開始日	積算する温度	判定めやす
落葉の判断	9月1日	日平均気温－18°C	積算値が－200°Cに達する日
着葉の判断	1月1日	日平均気温－2°C	積算値が＋200°Cに達する日

例えば9/1, 9/2, 9/3 の日平均気温が26, 27, 24°C のとき、各気温から18 °C ずつ引いた 8+9+6=23°C が9/3時点の積算温度となります。これを9, 10, 11月と毎日積算していき－200°Cとなった日を落葉日と判定します。

なお、判定めやすの－200°Cと＋200°CはNagai e al., 2015 のFig.4 から読み取った値です。

Q & A （森林計測）

Question：林地情報はなにを準備するのですか？

Answer：まず前提として【簡易】モードでは林地情報は不要です。
【詳細】モードのとき、林地情報が必要となります。

入力データとして、樹種、胸高（きょうこう）直径、本数密度、樹高の４つを用意します。

樹種　常緑針葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、落葉広葉樹の４区分
胸高直径　対象林分を代表する平均的な胸高直径
本数密度　対象林分の面積あたり樹木本数
樹高　対象林分を代表する平均的な樹高

なお、樹高は広葉樹の場合のみ必要で、針葉樹では不要です。

対象とする**林地の面積**は両モードともに必要となります。

Question：対象となる林地範囲はどう決めるのがよいですか？

Answer：森林づくり活動を行っている森林の範囲としてください。
また、Q&A（水資源涵養量）に記載されている面積の上限100haを超えない範囲とし、100ha超の場合は区域を分割する等の対応が必要です。

Question：胸高（きょうこう）直径とは何ですか？

Answer：胸高直径は、人の胸の高さ（木の根元から約1.2～1.3m）で測った幹の太さ（直径）のことです。森林分野では樹木の成長度のめやすとしています。

Question：胸高直径や樹高はすべての木を測る必要がありますか？

Answer：すべての木を測る必要はありません。林分を代表する値がわかればよいです。森林計測では、全数調査である「毎木調査」と部分調査である「プロット調査」があります。ここでのデータはプロット調査で十分です。

Question：プロット調査（部分調査）について簡単に教えてください。

Answer：林分全体の代表性がある調査区（プロット）を設定し、調査区内での樹木の胸高直径や樹高を測定します。毎木調査に比べると、全数を測らないので労力が少なく済みます。広い林分で毎木調査をするのは困難なため、プロット調査がよく用いられます。代表性が重要で、プロットの設定場所や大きさを誤ると、実態とかけ離れた結果になる場合があります。

Question：プロット調査の具体的な方法を教えてください。

Answer：典型的なプロット調査の方法を記します。

1. 調査区（プロット）の設定

面積：0.01～0.1ha程度。半径5.64mの円形プロット＝0.01ha
20×20mの正方形プロット＝0.04ha など

形状：円形プロット：境界が明確で設置しやすい。
正方形プロット：測量しやすく、区画整理や林道沿いで使いやすい。

配置：樹種や大きさに偏りがでないよう、林分を代表する位置に設定します。範囲が広い場合や針葉樹/広葉樹など林相が異なる場合は、複数のプロットを設定してください。

2. プロット内の樹木計測

胸高直径、樹高：プロット内のすべての樹木を測定します。
樹種：すべての樹木を分類（例：常緑針葉樹、落葉広葉樹など）します。

3. データ整理

プロット内で得られた各樹木の胸高直径、樹高の平均値を算定します。
樹木本数は面積換算して1haあたりの本数（本/ha）とします。
広い林地や調査対象木の樹種が多い場合は、系統的に複数プロットを配置し、精度を確保するのが望ましいです。