

令和5年度 山地保全調査
森林の水源涵養機能における簡易的定量評価手法
に関する検討調査委託事業

報 告 書

【本 編】

令和6年3月

林野庁治山課

目次

1. 業務概要.....	1
2. 森林による水源涵養量の簡易評価手法の提案に向けた検討.....	5
2.1 水に関する日本国内の企業や研究に基づく分析.....	5
2.1.1 日本企業等が利用している涵養定数.....	5
2.1.2 水文学的な方法.....	8
2.1.3 文献の収集.....	10
2.1.4 文献の分析.....	12
2.1.5 簡易評価指標を考えるにあたって.....	26
2.1.6 まとめ.....	28
2.2 水に関する世界の企業や国際枠組み等に基づく分析.....	29
2.2.1 TNFD と水に関する国際的な枠組み.....	29
2.2.2 ウォーター・ポジティブ目標.....	30
2.2.3 ウォーター・スチュワードシップ (WS).....	30
2.2.4 Water Replenishment (水の還元).....	31
2.2.5 水の量的効果の算出とその活用・VWBA.....	32
2.3 VWBA と VWB.....	33
2.3.1 VWBA.....	33
2.3.2 VWB.....	35
2.3.3 参考文献.....	47
2.4 日本の飲料メーカーによる VWB 算定事例.....	48
2.4.1 日本コカ・コーラによる VWB 算定事例.....	48
2.4.2 サントリーによる VWB 算定事例.....	51
2.5 日本における動きー流域マネジメント (内閣官房).....	53
2.5.1 流域マネジメントの概要.....	53
2.5.2 流域マネジメントの事例紹介.....	56
2.5.3 手引きで紹介されている収集情報項目.....	59
2.6 本事業で目指す簡易指標の構成.....	61
2.6.1 これまでに把握された内容の考察.....	61
2.6.2 簡易指標の構成について.....	63
2.6.3 1階部分の評価ー森林の存在そのもの・森林保全活動.....	64
2.6.4 2階部分の評価ー森林の水源涵養機能を定量評価・VWB 指標の活用.....	65
2.6.5 3階部分の評価ー水文学的な方法で蒸発散、涵養量を計算.....	69
2.7 カーブナンバー法について.....	70
2.7.1 カーブナンバー法の土壌分類について.....	70
2.7.2 カーブナンバー法の日本向けアレンジについて.....	72
2.7.3 カーブナンバー法に否定的なアメリカの水文専門家の意見.....	73
3. 水源涵養量の簡易評価手法の普及方法の検討.....	76

3.1 仕組みや要因等の分析・検討	76
3.1.1 企業等による森林管理への関わり事例.....	76
3.1.2 企業等による森林管理へのかかわり	78
3.1.3 自治体へのヒアリング	80
3.1.4 企業等へのヒアリング	84
3.1.5 企業等が森林管理にかかわることが容易となる仕組みや要因	90
3.2 効果的な普及方法の検討.....	91
3.2.1 効果的な普及にあたり求められる評価手法の方向性.....	91
3.2.2 効果的な普及方法の検討.....	92
4. 検討会の開催	96
5. 報告書のとりまとめ.....	97

1. 業務概要

(1) 概要

件名	令和5年度 山地保全調査 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調査委託事業
期間	令和5（2023）年8月9日～令和6（2024）年3月22日
発注者	林野庁森林整備部治山課
受注者	国土防災技術株式会社 東京支店 支店長 山田泰弘 埼玉県さいたま市浦和区北浦和2-12-11 TEL: 048-833-0427、FAX: 048-833-0429
担当者	大野亮一（管理）、佐藤重貴夫、吉島由子、赤松哲也、加藤昭広

(2) 業務目的

我が国は、国土の約3分の2を森林が占める世界有数の森林国である。森林は、国土の保全、水源の涵養、地球温暖化の防止、木材を始めとする林産物の供給等の多面的機能を有しており、国民生活の安定向上及び国民経済の健全な発展に大きく貢献している。

近年、我が国の森林資源が充実する中で、森林の多面的機能を持続的に発揮していくためには、森林の適正な整備・保全を推進する必要があるとともに、このような機能のメカニズムや効果等が解明され、国民の理解醸成を促進させていくことが重要である。

森林の多面的機能の一つである水源涵養機能についても、そのメカニズムの解明や効果の定量化に向けて鋭意取り組まれており、メカニズムの複雑さゆえに精密な水源涵養量の算定には至らないまでも、近年は新たな研究成果が蓄積され、流出モデルの構築やシミュレーションの実施等により水源涵養機能の評価を実施するなど、社会実装に向けた動きも活発になってきている。

一方で、近年においては豪雨をもたらす前線や大型の台風の影響により激甚な土砂災害や洪水被害が発生しており、森林の水源涵養機能や土壌保全機能等の多面的機能の発揮に対する期待がより一層高まる一方で、その効果が理解されず懐疑的にみられている一面も否定できない。

また、近年ではNPOや企業等の多様な主体により、植林・間伐・保育などの森林づくり活動が行われている。さらにSDGsやESG投資の流れが拡大する中、企業の社会的責任（CSR）活動として、森林づくりに関わろうとする企業等が増加しており、顧客、地域住民、NPO等との協働、基金等を通じた支援、企業の所有森林を活用した地域貢献など多様な取組が行われている。

こうした企業等の多様な主体による森林づくりを促進させるためにも、森林づくりの取組により森林等にもたらす効果等について定量的に示すことが可能となることで、企業等による多様な森林づくりの取組が一層促進されることが期待される。

このような状況を踏まえ、国内の森林の状態や森林の多面的機能について広く適切な認知に資するよう、本事業においては森林の多面的機能の一つである水源涵養機能に着目して、これまで蓄積された知見や研究成果等を踏まえて、森林による水源涵養量の簡易な定量評価手法に係る検討を行い、その結果を整理する。

(3) 業務数量

業務数量一覧を表 1.1 に示す。

表 1.1 業務数量一覧

項目		数量	仕様書の対応項目番号	報告書対応目次
(1) 森林による水源涵養量の簡易評価手法の提案に向けた検討	ア. 文献調査及びヒアリングによる事例収集・分析	1 式	4.(1)ア	2.1~ 2.5
	イ. 自治体・企業・研究機関等が開発・利用する手法の収集・分析	1 式	4.(1)イ	2.1~ 2.4
	ウ. ア、イと既往研究成果に基づき、手法の構成要素を選定	1 式	4.(1)ウ	2.6~ 2.7
(2) 水源涵養量の簡易評価手法の普及方法の検討	ア. 文献調査・ヒアリングによる仕組みや要因の分析・検討	1 式	4.(2)ア	3.1
	イ. アを踏まえた効果的な普及方法の検討・提案	1 式	4.(2)イ	3.2
(3) 検討会の開催	4名以上の有識者からなる検討委員会を開催する。	2 回	4.(3)	4.
(4) 報告書のとりまとめ	(1)(2)及び(3)について、報告書にとりまとめる。	1 式	4.(4)	5.

(4) 業務フロー

本業務における業務フローを図 1.1 に示す。

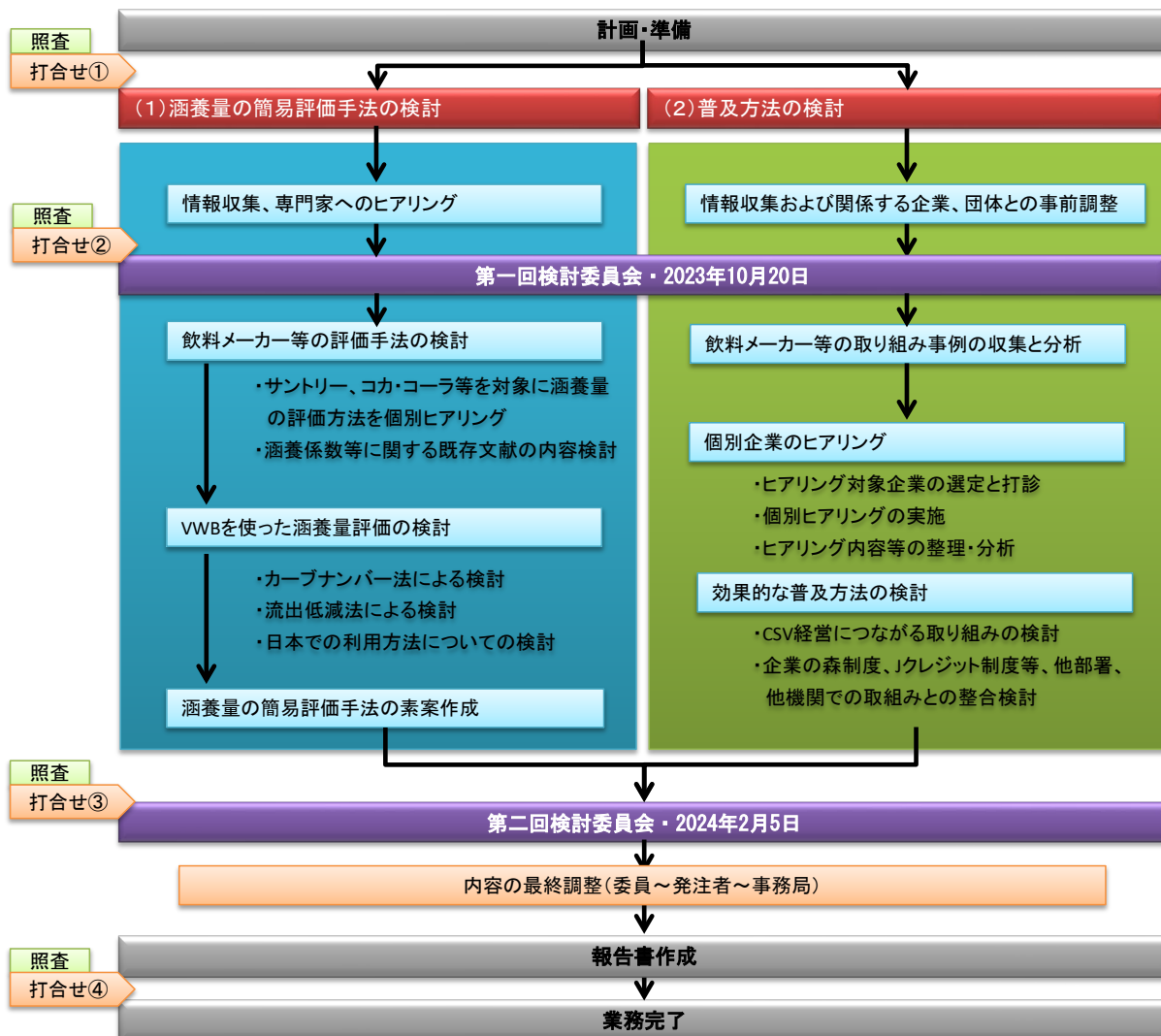


図 1.1 業務フロー

(5) 業務工程

本業務における工程を示す。

業務内容	令和6年 2024年						令和6年 2024年			備考
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
(0) 計画準備		—								
(1) 森林による水源涵養量の簡易評価手法の提案に向けた検討										
① 飲料メーカー等の評価手法の検討		—	—	—	—	—				
② 水文学的アプローチの検討					—	—	—			
③ 涵養量の簡易評価手法の素案作成							—	—	—	
(2) 水源涵養量の簡易評価手法の普及方法の検討										
① 飲料メーカー等の取組み事例の収集分析				—	—	—	—			
② 個別企業のヒアリング							—	—	—	
③ 効果的な普及方法の検討						—	—	—	—	
④ 普及啓発のためのアウトプットイメージ検討							—	—	—	
(3) 検討委員会の開催				●				●		2回
(4) 報告書のとりまとめ						—	—	—	—	
打合せ・協議		●	●	●		●		●		4回以上

履行期限：令和6年3月22日

2. 森林による水源涵養量の簡易評価手法の提案に向けた検討

(仕様書)

自治体等の担当者自らが実施する水源涵養量評価に活用されることを想定して、森林管理の効果を簡易かつ概算的に評価・提示することが可能となるよう、以下ア～ウの取組の実施結果等を踏まえ、森林による水源涵養量の簡易評価手法に向けた検討を行い、その結果を整理する。なお、結果の整理に当たっては、本年度の本事業調査による検討結果及び妥当性や適応範囲、汎用性等を踏まえた上で、自治体等で活用可能な森林による水源涵養量の簡易評価手法について検討・提案（次年度（令和6年度）の実施を想定）に繋がるよう整理することに留意すること。

- ア 文献調査及びヒアリングにより、企業等による水源涵養機能に着目した森林管理の事例収集（取組内容、目的・ニーズ、経緯、課題、課題解決方策等）・分析を行う。
- イ 自治体・企業・研究機関等において、開発・利用されている森林による水源涵養量の算定・評価手法等の事例を収集し整理するとともに、その実用性や課題等について分析を行う。
- ウ 森林による水源涵養量算定に係る既往研究成果等の収集・整理を行うとともに、上記ア・イの分析結果等を踏まえ、森林による水源涵養量簡易評価手法において林相や立木密度など考慮すべき要素の選定に向けた検討を行う。

2.1 水に関する日本国内の企業や研究に基づく分析

2.1の要点

- 日本企業、自治体が利用する『涵養定数』
 - ・簡易評価手法の1つとして『涵養定数』による方法がすでに複数の企業や自治体で利用されている。
 - ・森林で使われる『涵養定数』の値は幅があり、0.05～0.5の範囲。
- 水源涵養量の簡易評価手法について
 - ・水文学的な方法で簡易評価手法の候補となるのは「流況曲線」「成分分離法」「タンクモデル」の3種類。『涵養定数』と比較するとどれも流量観測値が必要であり、簡易とはいえない。
 - ・『涵養定数』を全国で利用してもらうためには、数値の設定根拠をどうとるか、そして、数値を設定する構成要因をどう選定するか、といった課題をクリアする必要がある。

2.1.1 日本企業等が利用している涵養定数

日本国内で企業等が水源涵養機能をどう評価しているか、サントリーホールディングス株式会社（以下、サントリー社）、日本コカ・コーラ株式会社（以下、コカ・コーラ社）にヒアリングするとともに、その他に自治体等の事例を収集・整理した。なお、ヒアリング内容の具体は第3章に記載している。

大手飲料メーカーであるサントリー、コカ・コーラ、キリン各社はいずれも水源の森活動に取り組んでいる。各社とも、「水が重要な経営資源である」との認識でSDGsが提唱されるよりも前からこうした取り組みに着手していた。

以下の式はコカ・コーラがウェブで開示している水源涵養率（Replenish 率）の算定式である。

コカ・コーラによる
水源涵養率の定義式

$$\text{水源涵養率(Replenish 率)}(\%) = \frac{\text{面積}(\text{ha}) \times 10,000 \times \text{降水量}(\text{m}) \times \text{涵養効果}}{\text{生産量}(\text{k}\ell)} \times 100$$

飲料メーカーの多くは自社が使用する水量と同等量以上の水を水源の森等の整備により自然に戻す、ことを目標として設定している。したがって、上記の水源涵養率で100%以上を達成することが各社の活動目標である。なお、熊本県の地下水保全条例では県内企業に対して利用水量の1割涵養が目標値として設定され、涵養の目標は必ずしも100%とは限らない。

上式中に『涵養効果』がある。本資料では「涵養定数」と呼ぶことにするが、水文学的な定義としては森林が降水量のうちどれぐらいを水源地に涵養しているか、に相当する。

涵養定数の値は一般には公開していない企業が多い。情報を集めた範囲で判明しているものを表 2.1 にまとめた。緑地や畑地を除き森林に限定すると涵養定数は0.05～0.5の範囲である。つまり、森林は降水の1～5割を水源に涵養している、と想定していることになる。

国内で用いられる森林による涵養定数は0.05～0.5の範囲と、かなりばらつきがある。

表 2.1 国内企業や自治体が設定する涵養定数

(涵養定数：森林が降水量比でどれぐらい地下水涵養しているかを示す係数)

組織名	涵養定数	備考
コカ・コーラ	0.05/0.10	公開資料より (2.4.1 に詳細)
味の素	不明	独自で森林涵養率を設定
サントリー	0.1	事務局による推測値 (試算 1 を参照)
アサヒ	0.3	事務局による推測値 (試算 2 を参照)
熊本県* 緑地	0.7	
〃 畑地	0.7	
〃 涵養林整備	0.5	山地部以外
〃 涵養林整備	0.2	山地部

* 熊本県の重点地域（熊本地域）における地下水涵養の措置による推定涵養量の算定方法より企業等が利用する水量の1割涵養を目標値として設定

試算 1：サントリー

サントリーでの涵養量の算定は分布型水文モデル「GETFLOWS」を用いて行っている (2.4.2)。そのため一律な涵養定数で評価されるものではない。それを踏まえ、ここではあえて公開されている水量データから換算される涵養定数を算定した。

工場の水源涵養エリアで、工場がくみ上げる以上の地下水を涵養する、という条件では

7,000ha の水源林整備が必要、との試算が書籍『水を守りに、森へ』（山田健著、筑摩書房）に記載されている。試算は 2008 年頃のため、一部数値は現在異なるかもしれないが、2015 年のサントリー食品インターナショナルの水使用量が 1,071 万 m³（ウェブ情報）、森林面積 7,000ha と年間降水量 1,500mm→1.5m の仮定に基づく涵養定数 R は次式で算定される。

$$\text{涵養定数} : R = \frac{1071}{7000 \times 1.5} = \underline{0.102}$$

涵養定数は 0.1 となり降水量の 1 割を森林が涵養している、とみなすことができる。

試算 2 : アサヒ

アサヒは独自の水文モデル（1km メッシュ）を構築しており、水涵養量は水文モデルで算定していると思われる。ここではウェブで収集できる情報として、「アサヒの森」による水涵養量 1,101 万 m³/年（2021 年）、「アサヒの森」管理面積 2,467ha を使い、「アサヒの森」が位置する広島県庄原市の年降水量は概ね 1,500mm であることから、下式により涵養定数 R 相当を算定した。

$$\text{涵養定数} : R = \frac{1101}{2467 \times 1.5} = \underline{0.298}$$

涵養定数は 0.3 で降水量の 3 割を森林が涵養している、という設定と推測される。

なお、水文学的知見に照らせば、熊本県が用いている涵養定数 0.5（山地部以外）はかなり大きな値である。降雨の半分を消失量（蒸発散量）とみなせば、それ以外の水すべてが涵養に回っている状態といえる。熊本県地下水保全条例では企業が涵養すべき達成目標は使用水量の 10%とされ、100%ではなく余裕があるのに加えて、このように大きな涵養定数が採用され、全体に涵養しやすく、企業が取り組みやすい設定で構成されている。市条例を施行し企業活動に制約を課す側面もあり、行政的な判断で設定が大きめとなっている可能性も否めない。

企業や自治体を用いている涵養定数などの簡易指標値は、純粹に科学的知見だけに基づき設定されるとは限らない、ということだろう。

日本コカ・コーラ社とサントリー社が算定する涵養量（VWB）の具体は、2.4.1 と 2.4.2 に詳細を記載している。

2.1.2 水文学的な方法

降水量、蒸発散量、直接流出量など、対象流域における水文諸量を専門的な方法で特定し、最終的に深部浸透量をそれらの差し引きにより推定する。

涵養量の推定を行う場合、本来このような水文学的な方法がもっとも理想的である。

蒸発散量や直接流出などの水文諸量を特定するための方法としては、タンクモデルや貯留関数のように数式やプログラムを使うため、一定程度の専門知識が求められる。水収支法をより高度化したものとして、対象流域の水文素過程をモデル化した地下水シミュレーションがある。

水文学的な方法に該当する文献は、p.13 の表 2.2 に掲載された文献番号(1), (2), (4)~(6), (11)~(13)である。これらの文献では基底流出の変化について検討を加えるため、タンクモデル等何らかの手法で基底流出を特定し、その変化を考察している。詳細は該当文献の概要を記載した別冊資料を参照されたい。

涵養定数による方法に比べ、水文学的な方法はより科学的でエビデンスレベルが高いが、難易度も高い。例えば、タンクモデルを実際に使うとすれば、計算ツール、解説書、マニュアル等の準備が必須であり、専門家でない場合、独自に算定するには困難を伴うことが想定される。

水文学的な方法を用いる場合、対象流域の流量データが存在することが前提（必須条件）となる。

また簡易指標という観点も踏まえると、地下水シミュレーションのように難易度の高い方法は候補から外れることから、水文学的な方法で候補となる手法は、以下3種程度と考える。

水文学的な方法を使う場合の簡易手法候補の検討

●前提条件

- ・時系列の流量データが存在する。

●候補となる手法

- | | |
|-------------------------|--------|
| (1) 流況曲線 | もっとも簡易 |
| (2) 成分分離 | 少し専門的 |
| (3) タンクモデル（若しくは AI モデル） | かなり専門的 |

(1) 流況曲線

1年分の日流量を、横軸を日として流量の大きい順に並べたグラフ。

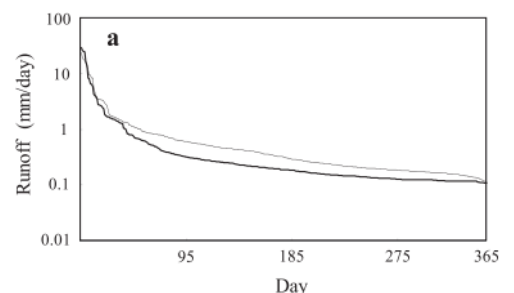
流況指標が以下定義で設定される。

豊水流量：1年を通じて95日はこれを下回らない流量

平水流量：1年を通じて185日はこれを下回らない流量

低水流量：1年を通じて275日はこれを下回らない流量

渇水流量：1年を通じて355日はこれを下回らない流量



(2) 成分分離

流量データを直接流出成分と基底（地下水）流出成分に分解する手法で、成分分離と呼ぶ。成分分離を行うための道具（ツール）としては、流量比による方法、フィルター分離法、タンクモデルが挙げられる。

難易度がもっとも低い流量比による方法の解説図を図 2.1 に示す。

流量比による方法は簡易だが、流出ハイドログラフをそれぞれ時間帯で区切る必要がある。したがって、表面流出と地下水流出が同じ時間帯に重複して流出するような形式の分離は行えない。その場合は、フィルター分離法やタンクモデルを用いる必要がある。

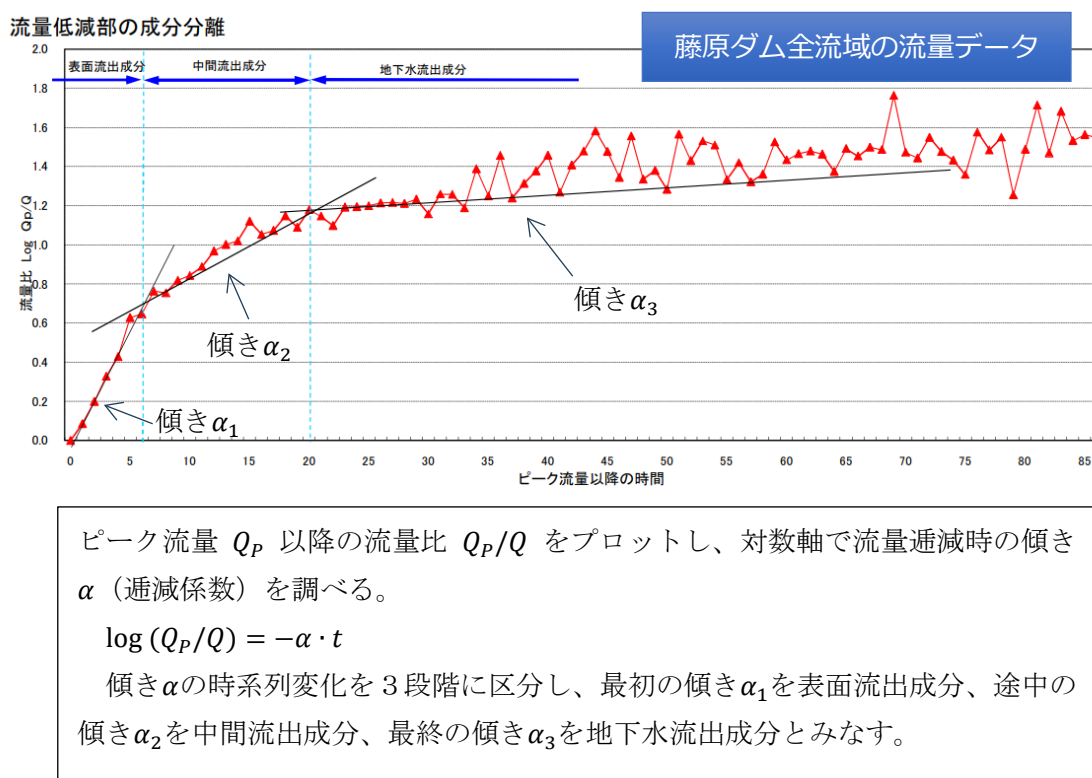


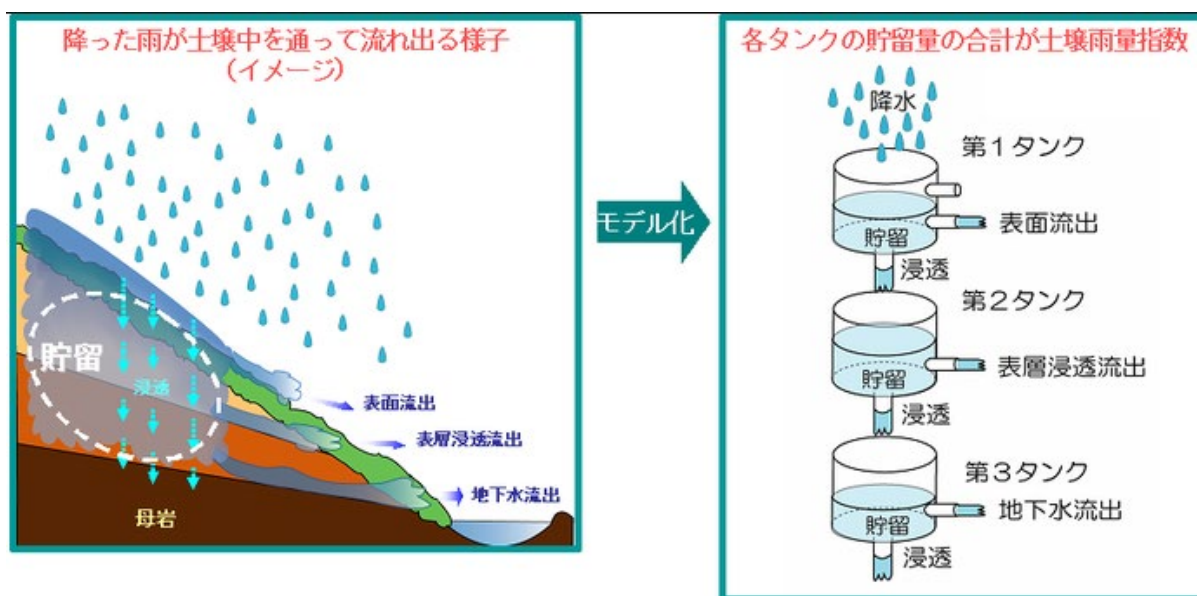
図 2.1 流量比による成分分離（平成 10 年 9 月洪水・国交省資料に加筆）

(3) タンクモデル

タンクモデルは水文素過程を表現したタンクを配置し、複数タンクを組み合わせたり、パラメータ等を自由に付与することができるため、さまざまな種類が存在する。タンクが 1 つだけのモデルは通常は貯留関数と呼ばれ、タンクモデルに分類されることは少ない。2～3 個のタンクを縦連結するケースが多く、パラメータは 10～20 個程度が多い。気象庁が利用する土壌雨量指数はタンク 3 つを使ったタンクモデルで、11 個のパラメータを有する。

いずれにせよ、簡易的な指標ということを考えると、タンクモデルはやや専門性が高いため今

回の目的には不向きと考えられる。



<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/dojoshisu.html> (気象庁 HP より)

図 2.2 雨が土壌中に貯まっていく様子とタンクモデル

2.1.3 文献の収集

水源涵養に関する研究で、本業務の目的に照らして有用と思われる以下の 25 本の文献を収集し、リスト化した。

- (1) 藏本康平, 篠原慶規, 小松光, 大槻恭一 (2010) : 森林回復が流出に及ぼす影響-地質の異なる 2 流域における検討-, 水文・水資源学会誌, 23, pp32-42
- (2) Masanori Katsuyama, Keitaro Fukushima, Naoko Tokuchi (2008) : Comparison of Rainfall-Runoff Characteristics in Forested Catchments Underlain by Granitic and Sedimentary Rock with Various Forest Age (花崗岩と堆積岩の下層にある森林集水域における降雨流出特性の森林年代別比較) , Hydrological Research Letters, 2, pp14-17
- (3) Kathleen Farley Wolf, Esteban Jobbágy, Robert B. Jackson (2005) : Effects of Afforestation on Water Yield: A Global Synthesis With Implications for Policy (植林が水収量に及ぼす影響: 政策への影響を含む世界的な統合) , Global Change Biology, 11, pp1565-1576
- (4) 真板英一, 鈴木雅一, 太田猛彦 (2005) : 新第三紀層流域における 70 年生スギ・ヒノキ林伐採による年流量の変化, 日本森林学会誌, 87, pp124-132
- (5) 服部重昭, 志水俊夫, 荒木誠, 小杉賢一郎, 竹内郁雄 (2001) : 森林の水源かん養機能に関する研究の現状と機能の維持・向上のための森林整備のあり方 (I) , 水利科学, 45, pp1-40
- (6) 芳賀弘和, 大槻恭一, 小川滋 (2002) : 広島県江田島流域での山火事後約 20 年間における基底流出の変化, 水文・水資源学会誌, 15, pp584-593
- (7) 湯川典子, 恩田裕一 (1995) : ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(I)散水型

浸透計による野外実験, 日本林学会誌, 77, pp224-231

- (8) 辻村真貴, 恩田裕一, 原田大路 (2006) : 荒廃したヒノキ林における降雨流出に及ぼすホートン地表流の影響, 水文・水資源学会誌, 19, pp17-24
- (9) 小松光, 井手淳一郎, 篠原慶規, 芳賀弘和, 藤山洋介, 宮野岳明, 丸野亮子, 智和正明, 久米朋宣, 東直子, 大槻恭一 (2007) : 非管理針葉樹人工林の蒸発散量, 水利科学, 51, pp107-127
- (10) 鶴田健二, 久米朋宣, 小松光, 東直子, 熊谷朝臣, 大槻恭一 (2008) : ヒノキ単木の樹高と蒸散量の関係, 水文・水資源学会誌, 21, pp414-422
- (11) 藤枝基久, 野口正二, 小川真由美 (1996) : 森林流域における土地被覆変化が水文環境に与える影響 -皆伐・トラクタ集材を例にして-, 日本林学会誌, 78, pp43-49
- (12) T. P. Burt, W. T. Swank (1992) : Flow frequency responses to hardwood-to-grass conversion and subsequent succession, HYDROLOGICAL PROCESSES, 6, pp179-188
- (13) J W Hornbeck, C W Martin, C Eagar (1997) : Summary of water yield experiments at Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire, Canadian journal of forest research, 27, pp2043-2052
- (14) 岸原信義, 田中洋二 (1975) : 流域の理水特性に関する研究(VII) 流況係数と流域の地形・地質との関連について, 日本林学会誌, 57, pp245-254
- (15) 藤枝基久, 志水俊夫, 金城勝, 寺園隆一 (1995) : 沖縄本島の水源地帯における水文環境, 日本林学会誌, 77, pp145-152
- (16) 志水俊夫 (1980) : 山地流域における湧水量と表層地質・傾斜・植生との関係, 林業試験場研究報告, 310, pp109-128
- (17) 地頭菌隆, 竹下敬司 (1987) : 山地河川の流況と流域条件との関係解析 (2), 鹿児島大学農学部演習林報告, 15, pp15-38
- (18) 地頭菌隆, 竹下敬司 (1988) : 山地河川の流況と流域条件との関係解析 (3), 鹿児島大学農学部演習林報告, 16, pp61-81
- (19) 加藤祐子, 恩田裕一, 水山高久, 小杉賢一朗, 吉川愛, 辻村真貴, 秦耕二, 岡本正男 (2000) : 揖斐川上流の地質の異なる流域における流出の遅れ時間の違い, 砂防学会誌, 53, 38-43
- (20) Hikaru Komatsu, Nobuaki Tanaka, Tomonori Kume (2007) : Do coniferous forests evaporate more water than broad-leaved forests in Japan?, Journal of Hydrology, 336, pp361-375
- (21) 久田善純 (2017) : 間伐が森林の水源かん養機能に及ぼす効果の検証に取り組んでいます, 森林のたより-岐阜県の森林・林業-, 769, pp14
- (22) 久田善純 (2020) : 間伐が森林の水源かん養機能に及ぼす効果の検証(その 2), 森林のたより-岐阜県の森林・林業-, 807, pp13
- (23) 太田猛彦 (1991) : 森林の水源涵養機能と森林施業のあり方私論, 水利科学, 34, pp1-33
- (24) 福嶋義宏 (1987) : 花崗岩山地における山腹植栽の流出に与える影響, 水利科学, 31, pp17-34
- (25) 中野秀章, 山村烈也 (1986) : 治山工施工と森林の成立に伴う流況変化, 信州大学農学部演習林報告, 23, pp165-179

2.1.4 文献の分析

(1) 地質・地形・植生・森林管理による違い

(i) 地質

森林管理による流出の制御可能性は、地質によって異なる。第四紀火山岩類が最も水源涵養機能が高い。次いで第三紀火山岩類や花崗岩、第三紀層が高く、中・古生層や変成岩類は低い傾向がある（文献(1)(2)(14)(15)(16)(17)(19)）。

(ii) 地形

地形と地質は密接な関係がある。中・古生層地帯では急傾斜の流域が多く、地質的にも地形的にも保水力及び流出の持続性が劣る。一方、第四紀火山岩類地帯では緩傾斜の流域が多いため、保水性及び流出の持続性が良好である。第三紀火山岩類や花崗岩類地帯はその中間の傾斜の流域が多く、中古生層地帯と大きな差はないものの、地質的に保水性や流出の持続性が優れているため、流況曲線における渇水流量の値が高い流域が多い（文献(16)(18)）。

(iii) 植生

日本では、米国の研究事例を基に、針葉樹林は広葉樹林よりも多くの水を蒸発させるという考えが一般的である。しかし、各地域における観測所や気象条件には左右されずに針葉樹林の年間蒸発散量は広葉樹林と同じ、若しくはそれより低くなった（文献(20)）。

(iv) 森林の回復に伴う変化

文献(1)~文献(23)について、森林の存在・成長が流量及び基底流量にもたらした増減について、わかるものに関して文献別に調べ、表にまとめた（表 2.2）。

森林が存在・成長することで、流量及び基底流量ともに一部で増加した文献も見られるが、減少する文献の方が圧倒的に多い。森林の存在により蒸発散量が増加するため、流出率^{*}は基本的に低下する、というのが現在の水文学の基本的な認識である。

※用語解説

一定期間にある地点の川の断面を流れ去った全水量を、その地点におけるその期間の川の流出量といい、流出量をその地点までの流域面積で割った値を流出高という。流出高は mm 単位で表わすことが多い。流出高 mm を流域の平均降水量 mm で除した比率を流出率という。

表 2.2 森林の存在・成長による流量及び基底流量の増減（文献別）

文献	試験地		流量増	流量減	基底流量増	基底流量減	
(1) 図 3、図 6	1	竜の口（岡山県） 南谷			○	○	
	2	白坂（愛知県）	変化なし		変化なし		
(2)	護摩壇山（奈良県）					○	
(3)	世界 26 流域(主に S.Africa, New Z.)			○			
(4)	袋山沢（千葉県）			○		○	
(5) 表Ⅲ-7	2-1	釜淵（山形県）	1 号沢	○		○	
	2-2		2 号沢		○		○
	3-1	宝川（群馬県）	本流	○		○	
	3-2		初沢		○	○	
	4-1	常陸太田（茨城県）	本流		○		
	4-2		本流		○		○
	7-1	穴の宮（愛知県）			○		
	7-2	東山（愛知県）		○			
	7-3	白坂（愛知県）		○			○
	10-1	竜の口	南谷（※(1)と重複）		○		○
	10-2		北谷		○		○
	14-2	去川（宮崎県）	Ⅱ号沢		○	変化なし	
(6)	江田島町（広島県）					○	
(7)	浸透能計測が目的						
(8)							
(9)	非管理林での蒸発散量計測が目的						
(10)	樹高の違いによる蒸散量計測が目的						
(11)	常陸太田（※(5)と重複）			○		○	
(12)	コウイータ（アメリカ）			○		○	
(13)	アメリカ北東部の 4 流域					○	
(14)	流況係数と関連する流域特性を検討するのが目的						
(15)	沖縄本島の水源地帯における水文環境・流出特性を検討するのが目的						
(16)	植生による湧水流量の違いは比較しているが、明確な関係は認められず						
(17)	流域地質が流況に及ぼす影響について検討するのが目的						
(18)	流域の地形・地質と流況の関係について検討するのが目的						
(19)	地質ごとの流出の遅れ時間の違いを明らかにするのが目的						
(20)	宮崎・高松・東京気象観測所			○			
(21)	間伐による地表面到達雨量の変化を検討するのが目的						
(22)	間伐による土壌水分率の変化を検討するのが目的						
(23)	コウイータ（※(12)と重複）			○			

(v) 森林管理に伴う変化

- 伐採することで蒸発散が減少し、年流量及び基底流量が増加する（文献(4)）。
- 伐採や除草を行い植生の再成長を抑制すれば、伐採後の流量増加は20年以上続く（文献(13)）。
- 伐採よりも山火事など林地表面が変化するようなイベントの方が、年流出率が大きく増加する（文献(5)）。つまり、伐採だけでなく、地表と土壌の両方の状態を変化させなければ、森林伐採の影響は大きくならない（文献(11)）。
- 林床被覆のない裸地では強い降雨で土壌クラスト（裸地の土壌表面に存在する難透水性の皮膜）が形成され、浸透能が低下し Horton 地表面流が発生しやすくなる（文献(7)(8)）。
- 非管理林は管理林よりも立木密度が高く LAI（単位面積当たりの葉面積）も大きく、樹冠貯留量が増加し、遮断率が大きくなる。遮断蒸発が増え流出量が小さくなる（文献(9)）。
- ヒノキ林の場合、LAI は林齢 15 年（樹高 6m）まで増加し、その後は一定若しくは緩やかに減少していく（文献(10)）。
- 草原の除草直後は総流量が増えるが、その後、自然植生が増えると徐々に減少する（文献(12)）。

(2) 文献(5) 服部らが集めたデータの分析

文献(5) 服部ら（2001）は、湧水地域上流の森林整備のための指針策定を目指して、長期水文・気象データ、研究成果及び現地調査について整理を行った。その中で、北海道から沖縄県までの16試験流域における森林状態の変化による流況変化が掲載されている（表 2.3）。

(i) 服部らの表 2.3 に関する考察

- 降水量が多い流域ほど流出率は大きくなる（図 2.3）。
- 年平均気温が高いほど年消失量は多くなる。また、森林状態の方が伐採後の状態よりも年消失量が大きい（図 2.4）。
- 森林蓄積が大きい流域ほど年消失量は多くなる（図 2.5）。
→言い換えると、森林蓄積が大きいほど、年流出量は少なくなる。
- 皆伐後の流出率は伐採前と比較して増加するが、トラクタ集材や山火事など林地表面が変化するようなイベントの場合には、流出率はより大きな増加傾向を示す。

表 2.3 水収支・流況総括表 (文献(5)服部ら 2001 より引用)

試験地	流域名	流域面積 (ha)	林 況	森林蓄積 (m ³ /ha)	年平均気温 (°C)	期 間	統計年数	降水量 (mm)	消失量 (mm)	流出率 (%)	豊水量 (mm d)	平水量 (mm d)	低水量 (mm d)	渇水量 (mm d)	流況係数 (豊水/渇水)
1 定山溪	時雨1の沢	1.99	自然放置	181 (1997)	8.2	1991~1998	8	1252.9	407.6	67.5	1.58	0.59	0.26	0.06	26.33
2 釜淵	1号沢	3.06	自然放置全期間	62 (1942)	9.9	1939~1990	52 (50)	2423.4	456.0	81.2	5.45	2.02	0.81	0.08	68.13
			自然放置前10年	317 (1979)		1939~1948	10	2477.6	519.1	79.0	5.12	1.65	0.64	0.08	64.00
	2号沢	2.48	自然放置後10年	61 (1942)		1981~1990	10 (9)	2317.2	399.4	82.8	5.46	2.09	0.85	0.16	34.13
			自然放置			1939~1946	8	2402.3	513.1	78.6	4.83	1.50	0.59	0.09	53.67
			皆伐後			1947~1959	13	2465.9	340.9	86.2	6.19	2.22	1.01	0.17	36.41
			階段工・植栽 (全期間)			1960~1990	31 (21)	2405.1	239.9	90.0	6.60	2.30	0.99	0.21	31.43
			階段工・植栽 (前10年間)			1960~1969	10 (6)	2576.8	238.4	90.8	7.39	2.58	1.16	0.24	30.79
			階段工・植栽 (後10年間)			1981~1990	10 (6)	2387.5	264.2	88.9	5.97	2.02	0.85	0.19	31.42
3 宝川	本流	1905.66	試験前伐採放置	160 (1935)	8.3	1938~1959	22	2891.3<	-	79.5	9.05	2.74	1.10	0.48	18.85
			部分伐採・放置 (全期間)			1960~1990	31 (27)	3257.7<	-	91.6	8.67	2.80	1.16	0.57	15.21
	初沢	117.90	部分伐採・放置 (前10年間)			1960~1969	10 (7)	2899.8<	-	75.5	8.74	2.89	1.32	0.60	14.57
			部分伐採・放置 (後10年間)			1981~1990	10 (9)	3485.6<	-	106.2	10.53	3.53	1.35	0.64	16.45
			自然放置	160 (1935)		1938~1947	10 (9)	1784.8<	-	45.3	3.93	1.47	0.85	0.23	17.09
			50%択伐採			1948~1960	13 (11)	1712.3<	-	63.5	5.00	1.99	1.06	0.38	13.16
			皆伐後 (全期間)			1961~1990	30 (24)	1820.6<	-	49.2	4.85	1.78	1.01	0.38	12.76
			皆伐後 (前10年間)			1961~1970	10	1771.8<	-	47.5	4.39	1.65	0.94	0.34	12.91
			皆伐後 (後10年間)			1981~1990	10 (6)	1805.3<	-	47.4	5.27	1.87	1.00	0.35	15.06
4 太田	本流	I期 II期	自然放置 (広葉樹)	130 (1915)	12.3	1906~1915	10 (6)	1582.4	665.7	57.9	-	-	-	-	-
			皆伐・植栽			1916~1919	4 (3)	1484.9	523.1	64.8	-	-	-	-	-
			自然放置 (針葉樹)	250 (1985)		1980~1984	5 (3)	1255.5	514.0	59.1	1.93	1.23	0.81	0.59	3.27
			皆伐・トラクター集材			1985~1990	6	1602.0	427.4	73.3	3.04	1.93	1.18	0.68	4.47
5 筑波	筑波	3.78	自然放置	65 (1993)	13.8	1979~1987	9 (8)	1338.3	747.9	44.1	1.93	1.38	1.03	0.82	2.35
6 袋山沢	A流域 B流域 C流域	0.80 0.43 2.02	自然放置	678 (1991)	14.0	1994~1995	2	1959.0	1212.6	38.1	?	?	?	?	?
			自然放置	553 (1991)		1994~1995	2	1959.0	1270.6	35.1	?	?	?	?	?
			自然放置	614 (1991)		1994~1995	2	1959.0	1226.1	37.4	?	?	?	?	?
7 愛知	穴の宮	13.90	自然放置・砂防植栽 (全期間)	80.8 (1990)	15.4	1930~1991	62	1634.3	646.1	60.5	?	?	?	?	?
			自然放置・砂防植栽 (前10年間)			1930~1939	10	1586.6	585.0	63.1	?	?	?	?	?
	東山	106.70	自然放置・砂防植栽 (後10年間)			1982~1991	10	1627.7	658.9	59.5	?	?	?	?	?
			自然放置全期間	145.3 (1990)		1930~1991	62	1833.2	813.1	55.6	?	?	?	?	?
	白坂	88.50	自然放置前10年間			1930~1939	10	1830.6	847.4	53.7	?	?	?	?	?
			自然放置後10年間			1982~1991	10	1601.7	716.5	55.3	?	?	?	?	?
			自然放置全期間	277.5 (1990)		1930~1991	62	1869.4	858.4	54.1	2.82	1.69	1.12	0.73	3.86
			自然放置前10年間			1930~1939	10	1833.8	884.8	51.8	2.52	1.59	1.15	0.80	3.15
			自然放置後10年間			1982~1991	10	1913.4	877.3	54.1	2.94	1.62	1.03	0.59	4.98
8 桐生	桐生	5.99	山腹工施工・マツ枯れ全期間	?	12.6	1972~1981	10	1671.8	734.8	56.0	?	?	?	?	?
9 ぬたの	ぬたの	30.60	自然放置	376 (1997)	12.7	1988~1996	9 (4)	2454.3	807.7	67.1	?	?	?	?	?
10 竜の口	南谷	22.60	自然放置	134.3 (1938)	14.2	1937~1943	7	1152.9	860.0	25.4	0.37	0.17	0.11	0.07	5.29
			伐採後放置	83.9 (1995)		1944~1958	15	1222.4	796.4	34.8	0.67	0.30	0.19	0.12	5.58
	北谷	17.30	山火事・クロマツ植栽			1959~1980	22 (21)	1258.1	813.5	35.3	0.60	0.29	0.19	0.13	4.62
			クロマツ全滅			1981~1990	10 (9)	1150.0	693.6	39.7	0.63	0.30	0.20	0.13	4.85
			自然放置	157.2 (1938)		1937~1943	7	1152.9	841.1	27.0	0.34	0.15	0.11	0.06	5.67
			伐採後放置全期間	158.4 (1995)		1944~1990	47 (45)	1224.9	763.8	37.6	0.54	0.21	0.13	0.08	6.75
			伐採後放置前10年間			1944~1953	10	1243.3	733.2	41.0	0.70	0.29	0.17	0.10	7.00
			伐採後放置後10年間			1981~1990	10 (9)	1150.0	722.3	37.2	0.46	0.16	0.10	0.06	7.67
11 江田島	A B C	10.60 19.20 17.40	自然放置	12.8 (1993)	15.0	1981~1998	18 (7)	1461.6	699.5	52.1	2.09	1.19	0.72	0.42	4.98
			焼失後植生回復・自然放置	14.9 (1993)		1981~1998	18 (7)	1353.3	381.1	71.8	2.52	1.31	0.78	0.36	7.00
			焼失後植生回復・自然放置	27.6 (1995)		1981~1998	18 (9)	1405.5	315.6	77.5	2.97	1.55	0.85	0.41	7.24
12 大洲	山林地 畑地造成	21.00 11.70	自然放置	?	15.5	1985~1994	10	1741.0	786.7	54.8	2.40	1.30	0.85	0.49	4.90
						1985~1994	10	1686.6	782.4	53.6	?	?	?	?	?
13 大藪	大藪	41.00	植栽後育林下木植栽	139 (1985) 232 (1997)	12.9	1985~1997	13 (12)	2486.1	596.7	76.0	5.17	3.11	1.88	1.27	4.07
14 去川	I号沢 II号沢 III号沢	6.55 9.17 8.18	皆伐後針葉樹植栽	164 (1997)	13.2	1967~1986	20	2838.0	1020.0	64.1	3.88	1.63	0.75	0.27	14.37
			自然放置	214 (1997)		1967~1981	15 (14)	2740.0	1065.3	61.1	3.73	1.51	0.70	0.32	11.66
			部分伐採後放置			1982~1986	5	2999.8	1146.0	61.8	4.51	1.77	0.68	0.32	14.09
			皆伐後植栽	134 (1997)		1967~1986	20	2838.0	922.0	67.5	4.23	1.77	0.85	0.40	10.58
15 高隈	1号沢	43.42	自然放置	?	14.4	1985~1997	13 (9)	2989.6	953.8	68.1	6.54	4.04	2.15	1.22	5.36
16 沖繩	南明治山 辺土名	24.75 40.63	自然放置	292.8 (1995)	21.6	1983~1998	16 (11)	1884.1	1115.5	40.8	1.54	0.88	0.49	0.25	6.16
			自然放置	257.4 (1999)		1987~1998	12 (7)	2742.0	1058.9	61.4	3.97	2.34	1.48	0.83	4.78

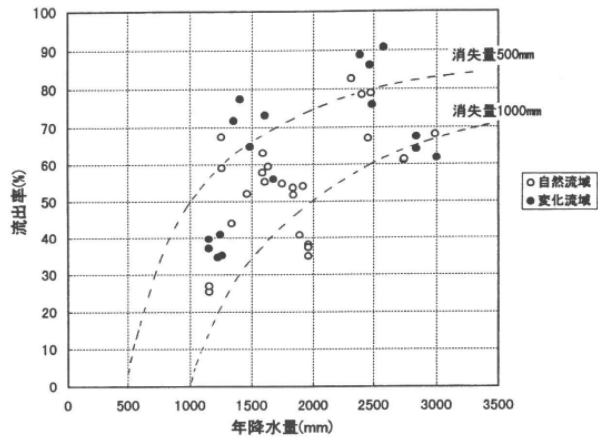


図 2.3 流出率と年降水量との関係 (文献(5)より引用)

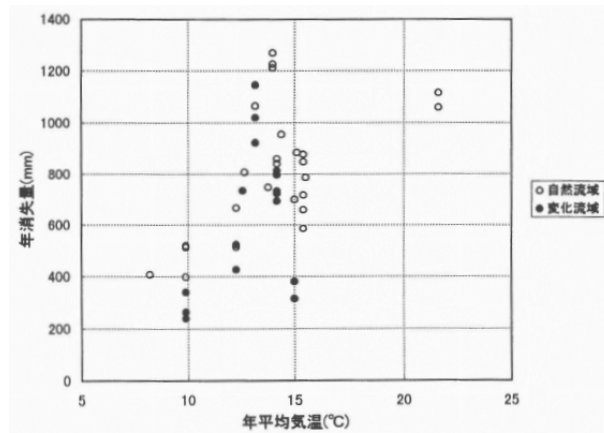


図 2.4 年消失量と年平均気温との関係 (文献(5)より引用)

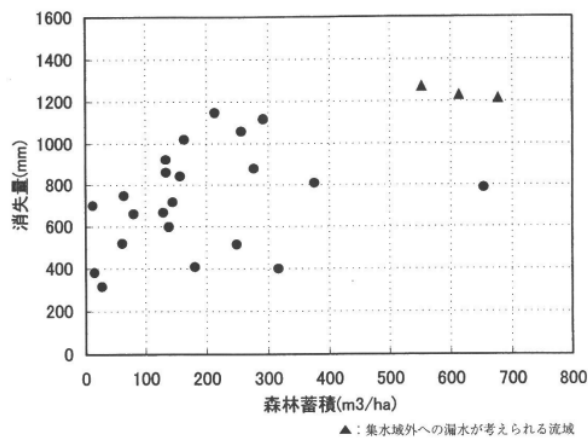


図 2.5 年消失量と森林蓄積との関係 (文献(5)より引用)

(ii) 流況曲線からいえること

表 2.3 のデータから流況曲線を作成した。流況曲線より判断できることを示す。

なお、流況に関する用語定義は以下である。

・流況指標：

豊水流量：1年を通じて95日はこれを下回らない流量

平水流量：1年を通じて185日はこれを下回らない流量

低水流量：1年を通じて275日はこれを下回らない流量

渇水流量：1年を通じて355日はこれを下回らない流量

・流況係数：豊水流量/渇水流量

(a) 皆伐直後と自然放置時の2時期比較

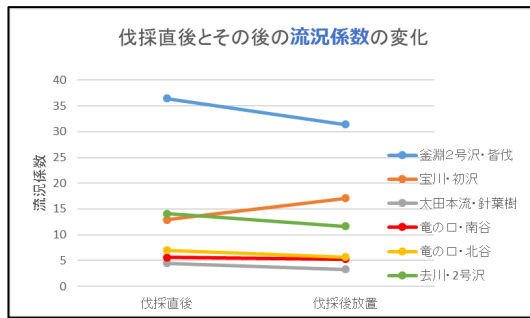
皆伐直後と、その後自然放置された時の2時期について比較可能なデータの流況曲線を作成した(図 2.6)。表 2.3 において流況指標は豊水流量(95日)から提示されているため、95日以降の流況曲線が作成できる。2時期の流況曲線を作成したのち、95日以降の両折れ線の面積差を計測し、年間流量差(mm/年)とした。面積差は(伐採直後-自然放置時)で正負を考慮し、曲線が交差する場合は正負相殺により面積を算定した。

- ・ 伐採直後に比べて自然放置された全ての試験地で、豊水流量が減少した。渇水量も減少しており、増加した試験地は認められない。
- ・ 2時期の年間流量差は、34~148mm/年(伐採直後よりも自然放置時の年間流量がより少なくなる)結果で、森林の回復に伴い試験地で観測される流量は減少する。
- ・ 宝川初沢を除く他の5試験地では流況係数(豊水/渇水)が減少傾向にあり、森林の回復によって流況曲線の傾きが寝てくる(水利用が安定する)傾向がみえる。
- ・ 宝川初沢を除く他の5試験地では年間降水量が減少しているため、豊水量の減少につながり、流況係数が減少した可能性もある。

(b) 自然放置時の前10年と後10年の2時期比較

20年以上自然放置された試験地において前10年と、後10年の比較が可能なデータについて流況曲線を作成した(図 2.7)。

- ・ 2時期の年間流量差で見ると、マイナス(前10年より後10年の年間流量がより多い)が3試験地(釜淵1号沢-76mm/年、宝川初沢-65mm/年、愛知白坂-3mm/年)、流量差がプラス(前10年より後10年の年間流量がより少ない)が2試験地(釜淵2号沢143mm/年、竜の口北谷31mm/年)となった。
- ・ 森林の成長に伴い試験地で観測される流量が増加した試験地が存在する。
- ・ 流況係数は釜淵1号沢以外の試験地で増加し、自然放置で10年以上が経過すると流況曲線の傾きが立ってくる(水利用が不安定化する)傾向がみられた。
- ・ 愛知白坂では平水流量を境として、流況曲線が交差逆転している。



流況係数 =
 $\frac{\text{豊水流量}}{\text{渇水流量}}$

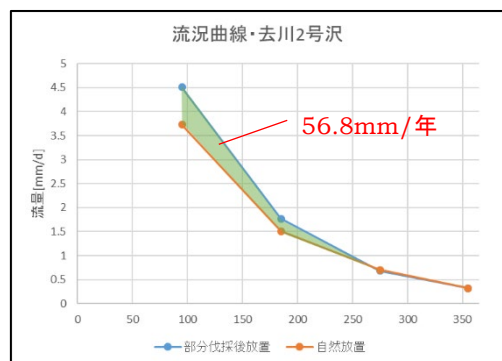
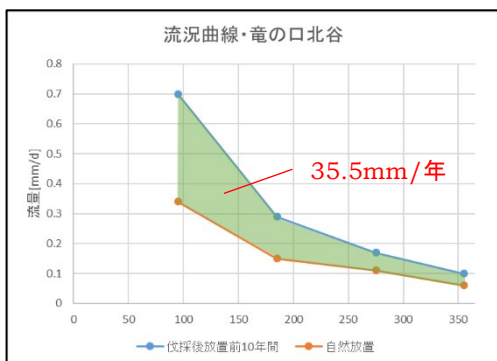
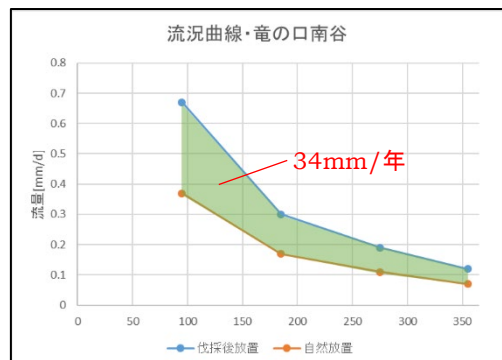
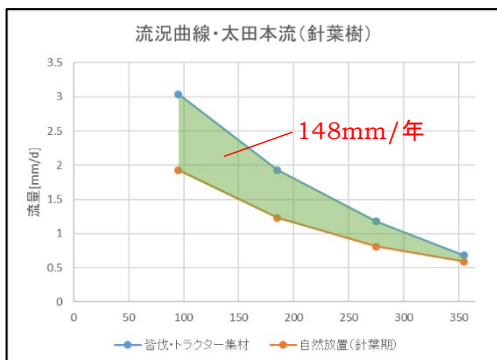
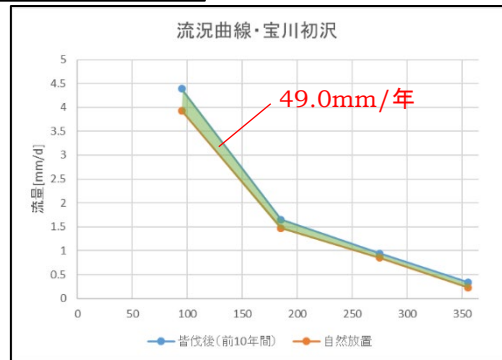
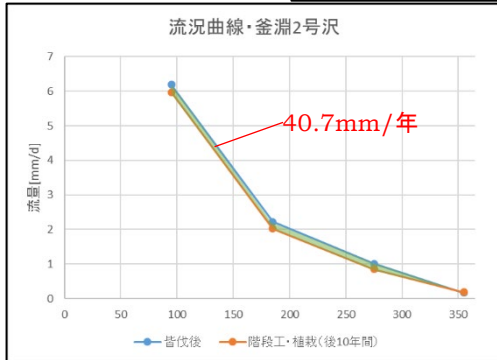


図 2.6 皆伐直後と自然放置時の流況曲線比較
 (赤字は調節量の増減 (緑色部分の面積))

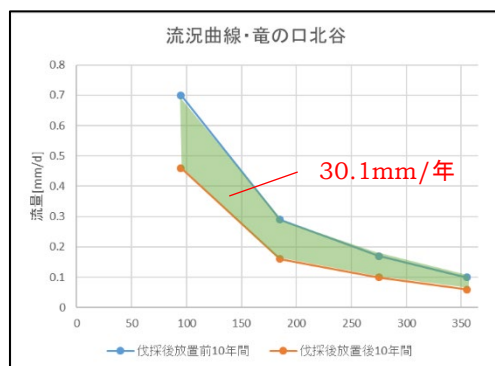
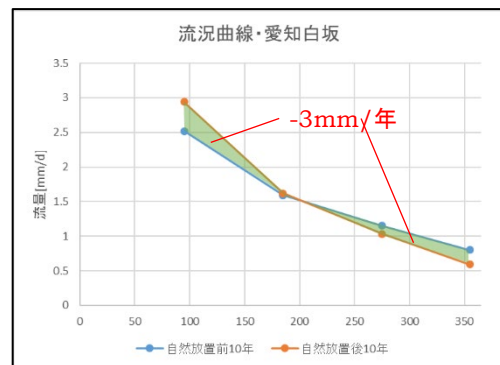
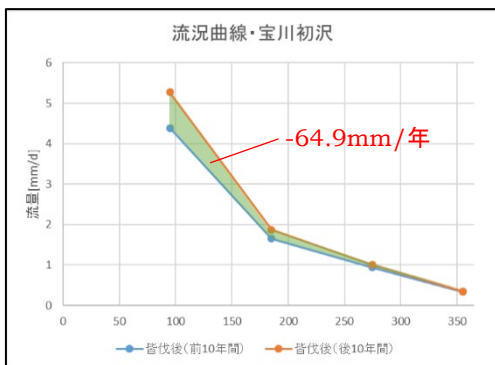
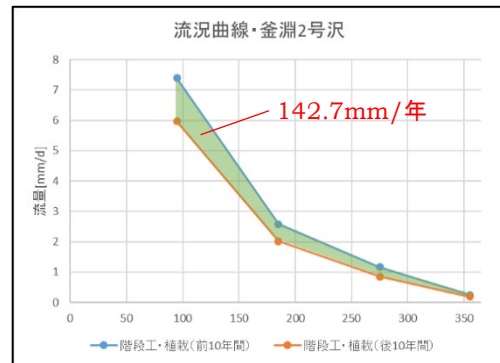
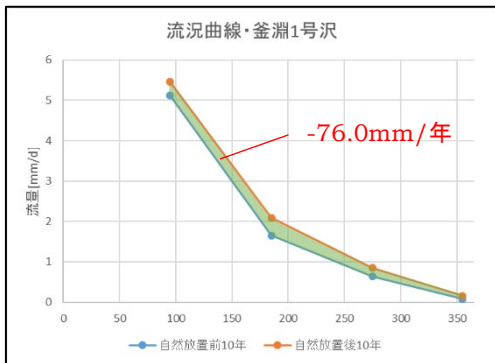
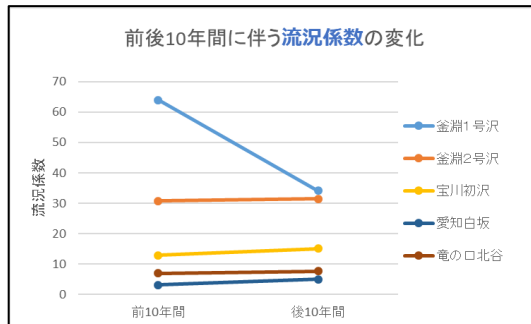


図 2.7 自然放置時の前 10 年と後 10 年の流況曲線比較
(赤字は調節量の増減 (緑色部分の面積))

(3) 文献(23) 太田が提案する水源涵養を考慮した森林施業法

(i) 太田が提案する森林の水源涵養機能

太田（1991）は森林の水源涵養機能は、次の3機能から成り立つと主張する。

- ・洪水緩和機能：ピーク流量や洪水時の総流量を低下させること
- ・渇水緩和機能（水資源貯留機能）：流出遅延や基底流量を増加させること
- ・水質浄化機能：水質を形成する物質の濃度を低下させること

※備考

太田（1991）の中では「渇水緩和機能」との呼称が用いられ、本資料で引用する表等においてもその表記ままとしている。その後、太田が座長を務める学会の資料（2001）¹では「渇水緩和機能」ではなく、呼び方が「水資源貯留機能」に変更されている。現時点での呼び方は「水資源貯留機能」である点に留意されたい。

(ii) 水源涵養機能発揮のために望ましい森林

これら3つの機能を踏まえ、森林が水源涵養機能を発揮するのに望ましい森林像を太田がまとめたのが表 2.4 である。3つの機能にほぼ共通する森林要件は、**森林土壌層を維持・発達させ、深い根系を有すること**である。

表 2.4 森林の水源涵養機能を構成する3機能の発揮に望ましい森林像（文献(23)）

サブ機能	洪水緩和機能	渇水緩和機能	水質浄化機能
望ましい水文学的条件	土層への浸透量が多い 土層の貯留量が多い 降雨遮断量が多い (蒸散量が多い)	土層(深部)への浸透量が多い 土層(深部)での貯留量が多い 降雨遮断量が少ない 蒸散量が少ない	土層への浸透量が多い 土層との接触機会が多い 物質の分解速度が速い
具体的な形質	土壌の孔隙構造が発達している 大きな孔隙が深くまで連続している 単位面積当りの雨滴付着量が多い (単位面積当りの蒸発散量が多い)	土壌の孔隙構造が発達している 大きな孔隙が深くまで連続している 単位面積当りの雨滴付着量が少ない 単位面積当りの蒸発散量が少ない	土壌の孔隙構造が発達している 腐植が多く、土壌生物活動が活発である 森林生態系としてバランスのとれた形質
望ましい森林像	土壌を維持発達させ、深い根系網を持つ(その様な樹種) 葉量が多く、樹冠のうっぺい度大きい 降雨遮断量の多い樹種 (蒸散量の多い樹種) 樹冠の凹凸の多い樹種 成長が旺盛である	土壌を維持発達させ、深い根系網を持つ(その様な樹種) 葉量が少なく、樹冠のうっぺい度も小さい 降雨遮断量の少ない樹種 蒸散量の少ない樹種 樹冠の凹凸の少ない樹種 高齢で、適度な成長である 人工林ではやや強度の除伐・間伐・枝打ち等が行われている	土壌を維持発達させ、豊かな根系網を持つ(その様な樹種) 多様な樹種からなる安定な森林生態系が維持されている 人工林では適正な除伐・間伐・枝打ち等が行われている

太田（1991）の考えによる水源涵養機能の発揮に望ましい森林像は次のようになる。

- 1) 森林土壌層を維持し、孔隙構造を発達させ、深い根系を有するために**樹体が大きくなければ**ならない。そして、林分全体の葉量を少なくするために、**樹冠が粗な高齢林を主体とした方**

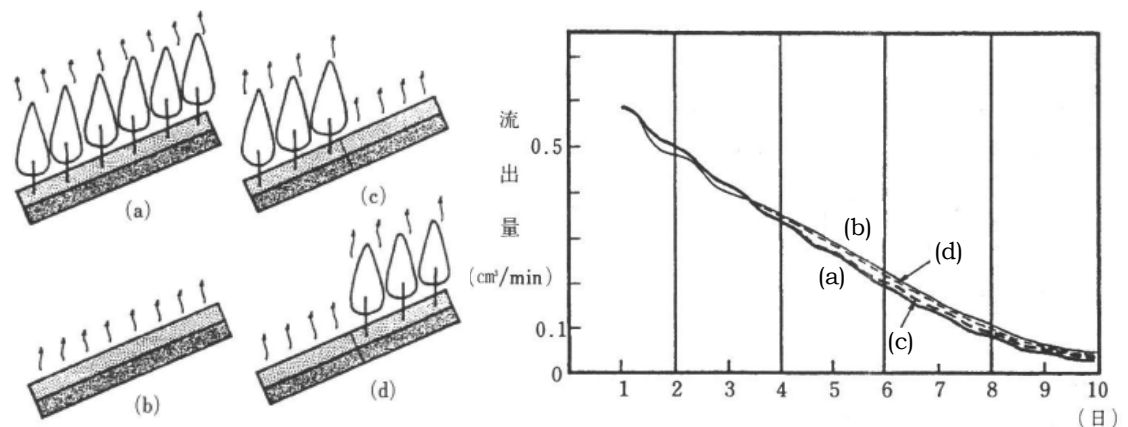
¹ 地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について（答申）、平成13年11月、日本学術会議

が良い。

- 2) 遮断量、蒸散量の少ない樹種が望まれ、全体の林型は凹凸がない方が良い。
- 3) 人為的な葉量制限である除伐、間伐、枝打ち、下刈り等がやや強度に繰り返し行われていることが理想（人工林だと特に）。
- 4) 裸地・荒廃地や森林土壌の貧弱な地域では、森林土壌の形成・発達を促す森林づくりを目指すことが最優先である。

太田（1991）の論文要旨は以下の通りで、その見解によれば、基底流出量を増大させるには、森林による蒸発散量を減らす必要がある。

- 1) 森林の水源涵養機能の本質は、森林土壌層による浸透水の貯留効果、流出遅延効果及び深部浸透機会の増大効果である。
- 2) 森林土壌層の存在を前提とするとき、それ以上の洪水緩和効果はいままで期待されてきたほどには見込めない。
- 3) 森林の渇水緩和（水資源貯留）機能には2つの意味がある。流量調節作用による利用可能流量の増大機能と基底流出量の増大機能である。
- 4) 後者の機能が現代求められている一般的な水源涵養機能であり、それは林分の蒸発散量のコントロール、すなわち、葉量のコントロールによって生み出される。
- 5) 蒸発散の基底流出量への影響は斜面下部や河道沿いの森林で大きい（図 2.8）ので、そこでの葉量のコントロールが重要である。
- 6) 水源涵養機能林の施業には、森林土壌層の維持を前提とする経済林施業の手法が生かせるが、より手数がかかる。
- 7) 森林の多様な機能は総合的に発揮されるべきであり、森林の管理にはその見地からの公共投資を必要とする。



出所：太田，1986より引用

図 2.8 蒸発散の基底流出量への影響は斜面下部や河道沿いの森林で大きい
(a)~(d)のモデル斜面を比較検討して・文献(23))

(4) 文献(24) 福鳶が行った山腹植栽の経年変化による流出特性の比較

(i) 比較した流出特性

滋賀県の大戸川沿いにおいて、山腹植栽後の経過年数が異なる 5 流域（裸地、川向 A、川向 B、若女、桐生）を対象に、同じ雨を与えて水循環タンクモデル（図 2.9）によって基底流量 Q'_b 、直接流量 Q_d 、蒸発散量 E を求めた。経過年数を横軸、年降水量に占める基底流量、直接流量、蒸発散量の割合を縦軸にとったものが図 2.10 である。

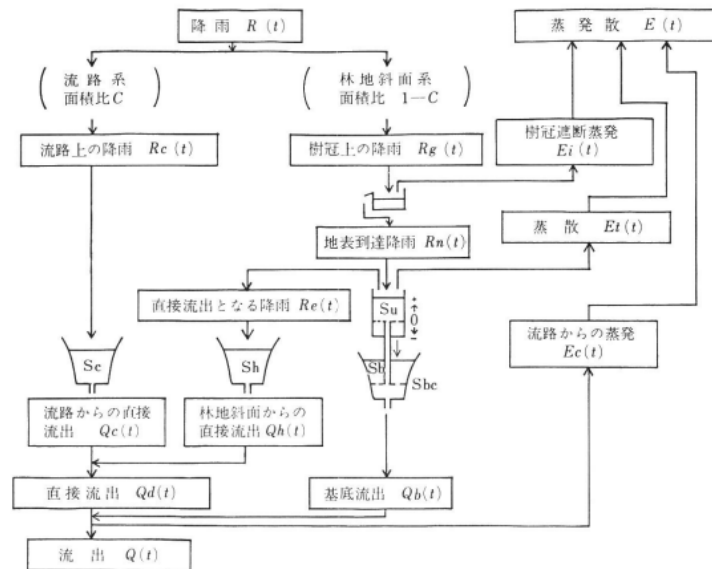
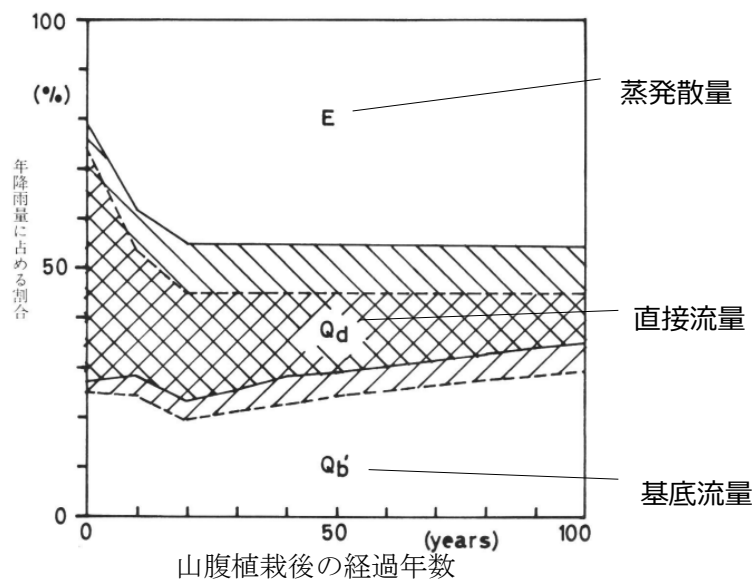


図 2.9 水循環タンクモデル



右斜線 : 若女 1983 年と 1985 年の時間雨量を 1 年間与えたときの直接流量（両者はほぼ重なる）
 左斜線 : 若女 1984 年の時間雨量を 1 年間与えたときの直接流量

図 2.10 年降水量に占める基底流量 Q'_b 、直接流量 Q_d 、蒸発散量 E の割合

(ii) 図 2.10 からいえること

- 1) 裸地状態（経過年数 0 年）での直接流量は大きい、蒸発散量が少ないため、基底流量はそこまで小さくはない。
- 2) 植栽後 0 年から 20 年程度まで森林が成長し蒸発散量が増加する影響で、基底流量が減少していく。
- 3) 20 年以上が経過すると、森林の成長が一段落し蒸発散量が一定に落ち着く。水源涵養機能が発現し直接流量成分が基底流量成分に転化していき、植栽後 40～50 年を境目に基底流量成分が裸地状態の時を上回る。
- 4) 植栽後 0 年（裸地）と 100 年経過後の 2 時点と比較すると、森林の成長により基底流量成分は 5～8%増加している。

(5) 文献(25) 中野らが検討した荒廃地での治山工施工と森林の造成による流況への影響

(i) 検討内容

アメリカ合衆国のテネシー州ヘンダーソン内の試験流域では、1941 年～1960 年まで水文観測が行われており、各月・各年の降水量や流量、基底流量、直接流量が報告された。1941 年時点では放棄された畑地と荒廃地が 50%を占めており、1945 年まで放置されていた。1945 年末に治山工事、1946 年春から樹木植栽が行われ、1950 年にはほぼ全域に森林が復旧し、1961 年には流域の大半がうっ閉林で覆われた。治山工事施工の 5 年前からうっ閉成立までの 20 年間の年降水量及び年流出率・年直接流出率・年基底流出率の経年変化を図 2.11 に示す。

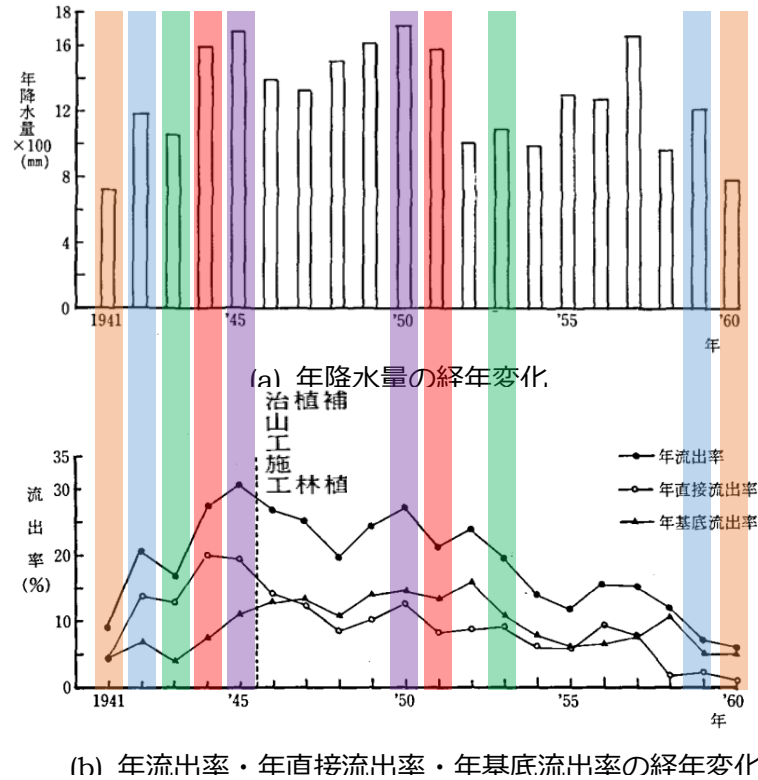


図 2.11 年降水量及び年流出率・年直接流出率・年基底流出率の経年変化

(ii) 図 2.11 からいえること

図 2.11 内で、治山事業における植栽の前・後で年降水量が近い年をペアとし、同じ色でハッチングし、年基底流出率を比較する(表 2.5)。植栽後は、前・後半で幼齢林期(1946~1953年)とうっ閉林期(1954~1960年)に分けることができる。幼齢林期の基底流出率は、4~6%程増加がみられた。一方、うっ閉林期は基底流出量が減少し始める(図 2.12)。1959、1960年は植栽前と比べ、基底流出率の大きな増加は見られない。

表 2.5 年降水量が近い年での年基底流出率の比較

図中色	治山植栽施工前		治山植栽施工後		増減(%)
	年	年基底流出率(%)	年	年基底流出率(%)	
茶色	1941	4	1960	5	+1
水色	1942	7	1959	5	-2
緑色	1943	4	1953	10	+6
赤色	1944	8	1951	14	+6
紫色	1945	11	1950	15	+4

1949~1952 に年 80~100mm の基底流出量の増加がみられる。平均年降水量 1280mm なので、
 $100\text{mm}/1280\text{mm} \div 8\%$
 $80\text{mm}/1280\text{mm} \div 6\%$
 流出率換算で 6~8% の増加となる。

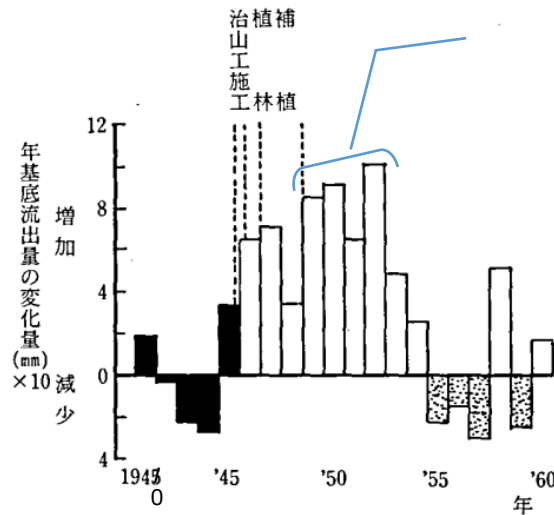


図 2.12 年基底流出率の経年変化（1940 年を基準とする）

(6) 森林水文学からみた水源涵養機能

収集した文献等の分析を踏まえ、森林水文学のこれまでの知見を要約すると、森林の水源涵養機能は以下のように位置づけられる。

- 森林の水源涵養機能は、洪水緩和機能、水資源貯留機能（以前は渴水緩和機能と呼称）、水質浄化機能の 3 種類がある。
- 森林土壌には浸透水の貯留機能があり、洪水緩和機能と降水の深部への浸透量を増やす効果を有する。
- その一方で、森林は光合成に伴う蒸散、葉・樹幹等の遮断物による蒸発があり、裸地と比べると森林が存在することで消失水量（蒸発散量）が増える。
- 蒸散と蒸発による消失のトータルを合算すると、一般的な森林では消失量が深部浸透増加量よりも多い。したがって、本質的には森林が存在すると流域からの流出量は減少する。
- 蒸発散量をコントロールし減少させれば、森林による基底流量を増加させる（涵養する）ことができる。
- 森林の水資源貯留機能は、基本的に流況係数（豊水流量/渴水流量）を小さくする、つまり流況曲線の傾きを水平に近づける機能。渴水流量（渴水期の流量絶対値）を増加させる機能ではない。
- そのため、水資源貯留機能のうち、特に利用可能流量の増大機能を生かすには、流出流量の絶対値は増えないという特徴を踏まえ、デザインされた利水計画が必要となる。
- 太田（1991）は、水源涵養機能を増進させるため、森林の活動レベルを抑制する施業（高齢林化、葉量の低下）を推奨している。

2.1.5 簡易評価指標を考えるにあたって

水源涵養機能の簡易評価指標としては、すでに企業や自治体で利用されている涵養定数が存在する。これを方法 A) とすると、サントリー等が実施している水文学的な手法を使う方法 B) の 2 通りがある。

A) すでに飲料メーカー等で使われている「涵養定数」を追認する。

定数が 0.10 の場合、森林整備により降水の 1 割を水源地に涵養したことになる

B) 水文学的な方法による涵養機能の定量評価

タンクモデル、成分分離法、流況曲線等、水文学で確立された方法を使った涵養機能の定量評価

ポイント 1 : 「涵養定数」を使う場合、どう科学的根拠をつけるべきか？

熊本県の設定（涵養定数 0.5）でみるように、スコリアという特殊土壌条件や場合によっては行政判断による調整（？）が入る場合もある中で、涵養定数の設定根拠を水文学でどう提示するか？

一般に蒸発散 5 割とされる中で、涵養定数 0.5 は現実的にとりうる最大値である。涵養定数 0.6 や 0.7 という数字は非現実的である。

日本の典型的な水文データとして、文献(1)、文献(24)、文献(25)を取り上げると、森林回復に伴う**基底流量の増分は年雨量の 2~8% の範囲**であり、10%→0.1 に満たない。また、基底流量が 8% まで増加するのは、裸地や荒廃地と森林地との比較時であり、森林の回復前・後を比較した文献(1)では 2~3% の増加率となっている。

表 2.13 森林の存在による基底流出率の増加

文献と該当図		基底流出率の増加程度	備考
文献(1) 藏本ら	本資料 図 2.14 p.27	2~3 %	図から目視読み取り 森林の回復前・後の比較
文献(24) 福寫	本資料 図 2.10 p. 22	6~8 %	図から目視読み取り 裸地と森林地との比較
文献(25) 中野ら	本資料 図 2.11 p.24	5~8 %	図表から算定 荒廃流域と森林地との比較

水文学の視点からみれば、国内の森林を整備することによる涵養定数は 0.10 でも過大であり、0.02~0.08 が適正值となる。とはいえ p.6 の表 2.1 でまとめたように、すでに先行する国内企業や自治体では 0.10 以上の涵養定数が使われており、0.10 未満の簡易指標との整合をどうとるか、という課題が残る。

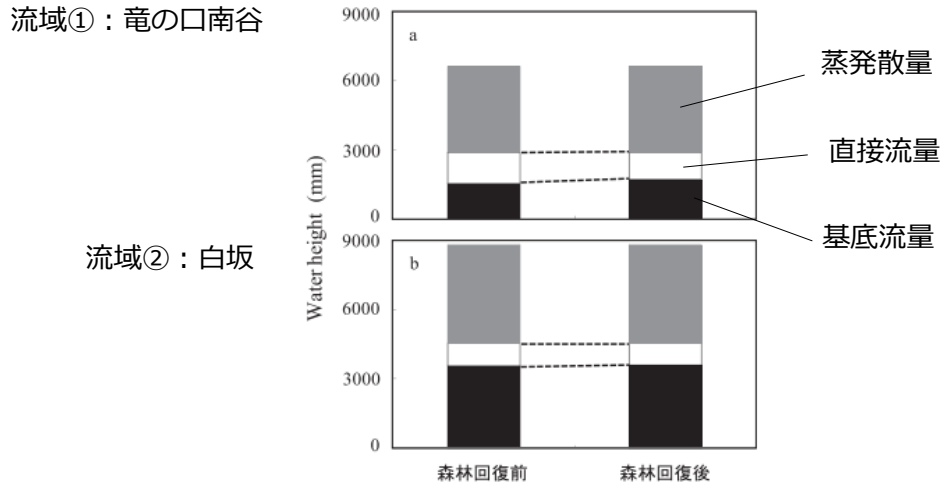


図 2.14 森林回復前後の直接流量、基底流量、蒸発散量（文献(1)）

現在実際に使われる涵養定数が 0.1～0.5 の範囲であり、これを鷹揚に追認するのであれば、水文学で定義されるもの、これまでの研究とは異なる取り扱いが必要となってくるだろう。

ポイント 2：「涵養定数」を使う場合、どう使いわけをするか？

涵養定数は一律の一定値として提示するか。一律でなく、幾通りかの場合分けをして、割り当て表を作ることできるが、どう提示するのが望ましいか。

熊本県の地下水保全条例は、山地部と山地部以外で涵養定数の値を切り替えている。山地部以外で定数 0.5 を採用しているのは、平坦地を想定しているためと思われる。

表 2.6 熊本県の地下水保全条例による涵養定数

	涵養定数	備考
熊本県* 緑地	0.7	
〃 畑地	0.7	
〃 涵養林整備	0.5	山地部以外
〃 涵養林整備	0.2	山地部

* 熊本県の地下水保全条例：利用水量の 1 割涵養を目標値として設定

このように、涵養定数を決めるための要因として何を選定し、どう構成するかという問題が浮上する。熊本県のように傾斜を 1 つの要因として涵養定数を切り替える方法がある。傾斜は勾配 ($\tan \theta$) の支配影響が強いので、涵養定数 0.1～0.5 の範囲で傾斜按分した一例として表 2.7 を示す。

表 2.7 傾斜別に設定した涵養定数の一例

傾斜	涵養定数
35° 以上	0.1
25~35° 未満	0.2
15~25° 未満	0.3
1~15° 未満	0.4
1° 未満	0.5

参考までに地質要因を重ねた一例が表 2.8 である。

これらはいくまで例として示しているだけで、根拠を伴うものではないが、涵養定数を使う場合はどのような要因、区分を持たせるかという点も検討を行う必要がある。

表 2.8 傾斜別・地質別に設定した涵養定数の一例

傾斜	涵養定数		
	花崗岩	古生層・第三紀層	変成岩
35° 以上	0.1	0.1	0.1
25~35° 未満	0.2		
15~25° 未満	0.3		
1~15° 未満	0.4	0.2	
1° 未満	0.5	0.3	0.2

2.1.6 まとめ

以上みてきたように、簡易評価手法の1つとして涵養定数を使う方法の実績が既に企業や自治体である。しかし、全国で利用するために涵養定数の数値根拠をどうとるか、そして、数値を設定する構成要因をどう選定するか、という部分が容易でないことがわかった。

次節(2.2)では、涵養量評価に関する世界での動向を調べる。その結果、世界で先行して広く使われている方法が存在することがわかった。その方法を日本向けにアレンジすることで、日本のグローバル企業にも使いやすい指標となることから、2.2 から 2.7 では世界の動向を踏まえた検討を行う。

2.2 水に関する世界の企業や国際枠組み等に基づく分析

2.2 の要点

●水に関する世界的な動き

- ・自然環境や生物多様性を重視する企業を、投資家が見分けられるように企業情報開示の枠組み（TNFD）が2023年に策定され、広まっている。
- ・自然環境のうち、水については **Water Positive, Water Stewardship** という概念が誕生。
- ・**Water Positive** は利用する水の量と質について、利用する水量と同等以上を地域に還元し、かつその質も担保または向上させること。
- ・**Water Stewardship** は自らが利用・調達する水だけを対象とするのではなく、他者とも協働し、流域全体を対象に水保全活動を計画・実行すること。
- ・世界資源機構より **VWB, VWBA** という水の量的効果算出の共通ルールが策定・運用されている。
- ・グローバル企業はこれらの枠組みに正面から取り組まざるを得ない状況。

2.2.1 TNFD と水に関する国際的な枠組み

サントリー瀬田委員のプレゼン資料（2023.10.20 第1回委員会）にあるように、TNFD（Taskforce on Nature-related Financial Disclosures）といった自然に関する国際的な「情報開示」の枠組みに、水に関する「規格」、「目標設定と進捗管理」が組込まれ、水評価のための世界的なフレームワークが出来上がっている。

TNFD が対象とするのは水だけでなく植物、昆虫や自然界全体であるが、手のつけやすい水から取組みを開始した日本企業が多い。水との関わりが強い医薬・食品・農業・ICT エレクトロニクス業界は、これら枠組みによる取組みと情報開示から逃れることはできない。

以下、右上に **SUNTORY** と記載のある図は、すべて瀬田委員が2023.10.20 第1回委員会でプレゼンに使われた資料を引用し、一部改変したものである。

■ 主要な水分野の団体による統一的な枠組み構築

SUNTORY

自然関連の枠組み開発と連携しながら、水の枠組みの統合が進む



2.2.2 ウォーター・ポジティブ目標

TNFD 及び付随する枠組みからの要請に基づき、ネイチャー・ポジティブの水版であるウォーター・ポジティブ目標を掲げる企業が増えている。ウォーター・ポジティブとは、企業活動で使用（消費）する水量よりも多い水を地域に還元することをいう。

飲料メーカーのみならず、データセンター等で冷却水を多量に使用する ICT 企業からも多くの参加がみられる。

企業に相次ぐウォーター・ポジティブ目標

SUNTORY

Company	Goal	Year disclosed	
Suntory	By 2030, replenish more than 100% of water used in at least 50% of our owned plants globally, including all those in highly water-stressed areas, through local water source conservation efforts.	Jan, 2022	自社工場の 50%以上で 使用量の 100%還元
Coca Cola	By 2030, Replenish 100% of our water use where it matters the most (local regeneration, watershed replenishment and community resilience)	Mar, 2021	重要箇所における 使用量の 100%還元
PEPSICO	Replenishing back into the local watershed more than 100% of the water we use	Aug, 2021	使用量の 100%還元
Cargill	By 2030, Restore 600 billion liters of water in priority watersheds	July, 2020	優先流域において 6 千 億リットルを還元
Heineken	By 2030, fully balance within the local watershed every litre of water used in our products in areas that are water stressed.	Mar, 2019	水ストレスのかる箇所 で使用量をすべて還元
Keurig	Replenish 100% of water used for its beverages in the Company's highest water-risk operating communities by 2030	Mar, 2022	水リスクの高い箇所 で使用量の 100%還元
Microsoft	By 2030, we will be water positive, replenishing more water than we use.	Sep, 2020	使用量以上を還元
intel	By 2030, achieve net positive water use by returning and restoring more water freshwater than we consume	May, 2020	2030 年までに水収支 プラスを達成
Google	Working to reduce, replenish and restore water across our offices and data centers. Replenishing more water than we consume by 2030.	Sep, 2021	2030 年までに 消費量以上を還元
Meta	Restoring More Water Than We Consume by 2030.	Aug, 2021	2030 年までに 消費量以上を還元

流域の水資源保全へ、ウォーターポジティブ目標を掲げる企業が相次ぐ

2.2.3 ウォーター・スチュワードシップ (WS)

例えば自社の工場内で水の浄化、再利用を行うことは、水管理（ウォーター・マネージメント）である。これに対して、自社の工場外、他者の管轄範囲も含め流域スケールで、水の取扱いについて行動を起こすことをウォーター・スチュワードシップと呼ぶ。

同じ水資源を共有する他の水利用者と連携、協力をして水の保全活動などを行う。

Water Stewardship は **WS** と略称で記載されることも多い。

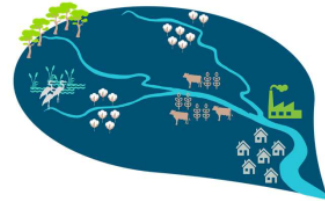
ウォーター・マネジメント



自社の敷地内に焦点を当てた以下の取り組み:

- ・水質汚染・水使用量の削減対応
- ・内部ガバナンス
- ・法令遵守
- ・すべての労働者が水、衛生設備、衛生施設を十分に利用できるようにすること

ウォーター・ステewardシップ



ウォーター・マネジメントから発展した以下の取り組み:

- ・データ収集、計画、同じ水資源を共有する他の水利用者との連携や協力を伴う行動。
- ・他の水関連利害関係者とのサイトによる共同行動
- ・流域の水計画やその他の地域的合意との調整
- ・自社の敷地を超えた流域のスケールの状況に基づく活動

Alliance for Water Stewardshipによる講演資料を一部改変

COPYRIGHT © SUNTORY HOLDINGS LIMITED. ALL RIGHTS RESERVED. 27

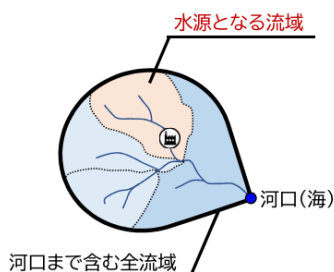
2. 2. 4 Water Replenishment (水の還元)

Water Replenishment (水の還元) とは、企業等の主体者が使用した水量と同量以上の水を流域に戻すことをいう。その定量化のための手法などが後述の VWB となる。ウォーター・ポジティブを達成するための具体的な内容であり、ウォーター・ステewardシップにおける基本目標となる。

Water Replenishment(水の還元)の定義

<p>水の還元の定義*</p> <p><small>* CEO Water Mandateガイドブック</small></p>	<p>以下の方法で使用した水と同量の水を水源となる流域に人為的に戻すこと</p> <ul style="list-style-type: none"> - 地域社会やステークホルダーと共有する、地域の水課題に取り組むこと - 企業のウォーター・ステewardシップの先進事例と一致すること - 入手可能な最善の情報と流域の状況に基づいていること - そして流域の水賦存量、水質、アクセシビリティに測定可能なプラスの影響を与えること
--	--

《水の還元の対象となる場所》



《ウォーター・ステewardシップの事例》



生態系や人間が利用可能な水を流域内で維持し、増やすことを目指す

COPYRIGHT © SUNTORY HOLDINGS LIMITED. ALL RIGHTS RESERVED. 29

2.2.5 水の量的効果の算出とその活用・VWBA

Reigら（2019、2.3.3の文献2、世界資源機構から出版）が作成した**VWBA**ガイド（2019）は、水の量的効果の算出方法とその活用を定義したものであり、ウォーター・スチュワードシップにおけるデファクトスタンダード（事実上の標準）になりつつある。

「利用可能な水」の量的効果の算出方法 –デファクトスタンダード化の動向–



SUNTORY

**流域保全活動の投資評価や便益評価へのニーズを背景に、
食品業界を超えて様々な業界に採用が加速**

VWB と VWBA の詳細については、次節 2.3 で詳しく説明する。

2.3 VWBA と VWB

2.3 の要点

● Volumetric Water Benefit (水の量的効果) と VWBA

- ・世界資源機構より VWB, VWBA という水の量的効果算出の共通ルールが策定・運用されている。
- ・水保全活動がもたらす効果を『水の量的効果』として具体的に算定する方法が VWB。
- ・主だった VWB 指標として、A-1~A-10 の 10 種がある。表 2.9 参照 (p.36)。
- ・VWB 活用時の方針やルールを定めたのが VWBA。VWB Accounting の略。

● 森林に関連する VWB 指標

- ・『水の量的効果』を算出する VWB 指標は 10 種あるが、そのうち森林に関連するものは表 2.10 に示す 5 種。さらに水源涵養機能の評価に使える指標は以下の 2 種。
 - ・ A-1 : カーブナンバー法
 - ・ A-5 : 流出低減法
- ・ A-5 : 流出低減法は、低減率 (→2.1 で『涵養定数』と呼んでいたものと実質同じ) をどう設定するか、という部分のハードルが高い。
- ・ A-1 : カーブナンバー法は、アメリカを中心に世界的に広く利用されている。

2.3.1 VWBA

ウォーター・スチュワードシップ (WS) と関連する形で水の量的効果の算出手法 (VWB) 若しくは非量的な効果の評価方法を一定のルール下で整理したのが、世界資源機構が提唱する VWBA (Volumetric Water Benefit Accounting) である。VWBA は企業が VWB の活用をするための考え方や方法を規定した枠組みである。

VWBA は以下の 3 点を提供する。

1. 水の量的効果を算出する **VWB** 指標
2. 非量的なアウトプットを測定するための補完的指標
3. 社会的・経済的・環境的效果を生み出し、水課題の解決につながる **WS** 活動

VWB (Volumetric Water Benefit) は、「水の量的な効果」と訳され、ウォーター・スチュワードシップ活動に関連して得られる有益な水量評価のための手法である。

2019 年に世界資源機構が刊行した VWBA のワーキングペーパー (下左の表紙) は以下の内容で構成される。

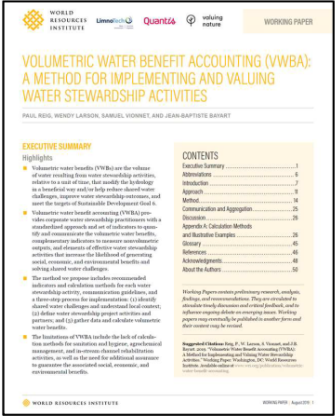
<指針>

- ・ VWBA は、企業の意思決定により適用される。
- ・ VWBA の策定にあたっては世界中の企業、NGO、プログラム、政府機関、学術機関など、主要な利害関係者と協議の上、開発された。
- ・ VWBA の策定では、公表されている科学的エビデンス、経験、及び先進的な取組み例を参照

している。

Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA)

SUNTORY

	<p>水の量的な効果 Volumetric Water Benefit</p>	<p>ウォーター・スチュワードシップ活動に帰結して、単位時間に得られる水量のことで、水文を有益な方向に変化させるもの</p>
<p>ワーキングペーパーの構成</p>	<ul style="list-style-type: none">● ウォーター・スチュワードシップ活動ごとに推奨される指標と計算方法● ステークホルダーとのコミュニケーションガイド● 実施のためのプロセス<ol style="list-style-type: none">1. 水に関する共通の課題を特定し、地域の状況を理解する2. ウォーター・スチュワードシップ・プロジェクトの活動とパートナーを定義する3. データを収集し、水の量的な効果を計算する	

< VWBA が求める手順 >

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. 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。

< 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。2.3.2 に詳細を記述した。

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。

< 検討事項 >

以下の 5 点を明確に定義、報告する。

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

< 補完的指標 >

VWB は、水の量に関する指標以外として補完的指標がある。

例) 廃水処理施設に投資した場合の VWB は、汚染物質負荷の削減量（これが補完的指標）によ

る測定も可能であり、利害関係者間で処理水改善の理解を深めるのに役立つ。

<注意点>

- 企業は水の使用量やリスクの程度、流域の状況を理解し、WS 目標やターゲットを明確に定義する。
- 現時点では、衛生管理、農薬管理、河道内改修活動に関する手法が整備されていない。
- 水量を提示するだけでは水課題が軽減される保証はなく、水課題の解決には量的な利益以外の活動が必要な場合もある。VWBA は組織の WS 戦略や目標の一部であり、WS 活動において VWB を設定し、活動の進捗を報告するために使用する。
- 修復/回復の WS で用いられる指標では、望ましい結果がただちに得られないことがある。
- 降水量の違いやその他要因で VWB は毎年変動する。そのため、長期平均の VWB を報告するのが望ましい。
- 水の還元・水収支等の目標達成に関心がある企業のために、算出された VWB 指標を位置情報とともに開示すると良い。これにより、算定された VWB と現地状況との関連性を検討し、現地で水文的に判断されるのとは正反対の結果となる VWB（例えば流出量減少に対して流出量増加）があった場合に、いずれかを参照しない、などの対応ができる。

2.3.2 VWB

(1) VWB の特徴

VWB は水保全活動を定量化するための指標とその算定方法である。

VWB の特徴を以下にまとめた。

- VWB は企業等による水保全活動のプロジェクトあり/なしの差を評価する。すべての指標が差の形式で徹底している。プロジェクト後を単体で評価することはない。
- VWB では森林の存在そのものは評価対象ではない。ただし、VWB 算定時の前提事項として伐採の抑止等、森林が維持されるプロジェクトであるかの確認がなされる。
- VWB 指標で森林に関連しそうなものは、以下の5つである。
 - 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

表 2.9 Water Stewardship (WS) 活動/アクティビティと対応する VWB 指標

文献 2 (2.3.3) : Reig et al. (2019) Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA): A Method for Implementing and Valuing Water Stewardship Activities Table G.3.3.1.

<https://www.wri.org/publication/volumetric-water-benefit-accounting>

サントリー邦訳を一部改

分類	WS アクティビティ	VWB 指標	計算方法	付録番号
土地の保全と修復	土地の保全 (保全・保存)	流出回避		
	土地被覆の修復	流出低減	カーブナンバー法	A-1
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			
	漏水対策			
	消費者の水利用効率を高める施策	取水低減	取水法	
	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
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			
水生生態地の回復	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	付録 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

(2) 具体的な VWB 指標の紹介

10 種類ある VWB 指標のうち、森林評価に関連する手法を抜粋し、表 2.10 にまとめた。

表 2.10 表 2.9 の VWB 指標のうち森林に適用できるもの

計算方法	式
A-1 Curve Number method カーブナンバー法	$VWB = Q_{\text{baseline}} - Q_{\text{with-project}}$ $Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}, \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$
	<p>パラメータ：</p> <p>Q：累積流量[mm]、P：累積降水量[mm]、CN：カーブナンバー カーブナンバーCNは、土地の種類や土地被覆特性により 1～100 の範囲で設定する。事業実施前と実施時それぞれに対してCNを設定する。</p>
A-4 Capture and Infiltration method 集水・浸透法	$VWB = \text{Recharge}_{\text{with-project}} - \text{Recharge}_{\text{baseline}}$ $\text{Recharge} = \text{捕捉量} - \text{蒸発量} - \text{取水量}$ $\text{捕捉量} = \min(\text{利用可能な供給量}, \text{貯留可能量})$ $\text{利用可能な供給量} = \text{流域面積} \times \text{流出係数} \times \text{年間降水量}$ $\text{貯留可能量} = \text{設計貯留容量} \times \text{容量一杯になった回数}$
	<p>パラメータ：</p> <p>流域面積、流出係数、降水量、設計貯留容量、容量一杯になった回数</p>
A-5 Runoff method Reduction 流出低減法 (集水量法) コカ・コーラ が採用した方法	$VWB = \Delta K \times \text{供給量}$ $\text{供給量} = \text{年平均降水量} \times \text{流域面積} \times \text{流出係数}$
	<p>パラメータ：</p> <p>ΔK：流出低減率（プロジェクト前・後の流出係数の差） 流域面積、流出係数、降水量、</p>
A-7 Recharge method 涵養法	$VWB = \text{Recharge}_{\text{with-project}} - \text{Recharge}_{\text{baseline}}$ $\text{Recharge} = (\text{湿地の表面積}) \times (\text{土質に基づく浸透能}) \times (\text{湿地が氾濫している時間})$
	<p>パラメータ：</p> <p>湿地の表面積、土質に基づく浸透能、湿地が氾濫している時間</p>
A-8 Hydrograph method ハイドログラフ法	$VWB = \text{ハイドログラフ}_{(\text{日単位})} \text{の差の足し合わせ}$ $\text{ハイドログラフ}_{(\text{日単位})} \text{の差} = \text{Flow}_{\text{baseline}} - \text{Flow}_{\text{with-project}}$
	<p>モニタリング：</p> <p>流量観測データ（プロジェクト前・後）</p> <p>パラメータ：（水理モデルを使いハイドロを推定する場合） マンニングの粗度係数等、使用する水理モデルによる</p>

(i) A-1 : カーブナンバー法

カーブナンバー法は SCS 法 (Soil Conservation Service、合衆国土壌保全局) と呼ばれ、土地被覆・土地利用・土壌に基づき、カーブナンバー CN (1~100) を決定し、累積流量を推定する経験的手法である。

カーブナンバー法で流量 Q は(1)式であらわされる。

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \dots(1) \quad \text{ただし、} P \geq 0.2S$$

Q : 累積流量[L]、 P : 累積降水量[L]、 S : 最大貯留量[L]

最大貯留量 S は(2)式で求められる。 S は土壌、土地利用、土地管理、斜面の変化に依存するが、カーブナンバーがそれら特徴を表現するパラメータとなる。

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \dots(2) \quad Q、P、S \text{ の単位が mm の場合}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \dots(2)' \quad Q、P、S \text{ の単位が inch の場合 (オリジナル文献)}$$

CN : カーブナンバー

$CN=1$ では最大貯留量 S が最大値 25146mm となり、すべての降雨を貯留できる大容量のため流量はゼロとなる。 $CN=100$ では最大貯留量 S が 0 となり、降雨を貯留できずすべての雨はそのまま流量となる。そうした配分をカーブナンバー CN が調整する。

下図はアメリカ西部の森林地帯でのカーブナンバー想定図である。地表面の被覆率によってカーブナンバーは大きく異なる。なお、被覆率は落葉樹の割合を考慮して設定する。カシ/ポプラ樹林帯での、カーブナンバーは 23~80 の範囲となる。また、カーブナンバー法では HSG と呼ばれる土壌分類 A~D で、地盤の状態が CN に反映される (表 2.11)。

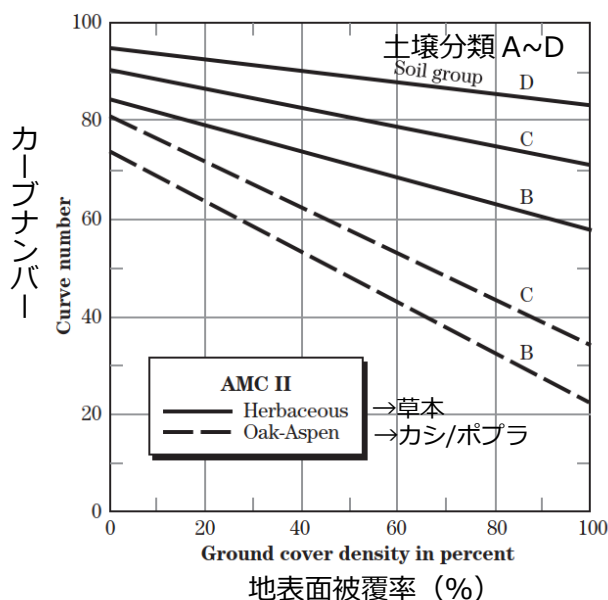


図 2.15 アメリカ西部の森林地帯で想定されるカーブナンバー (2.3.3 文献 10 より引用)

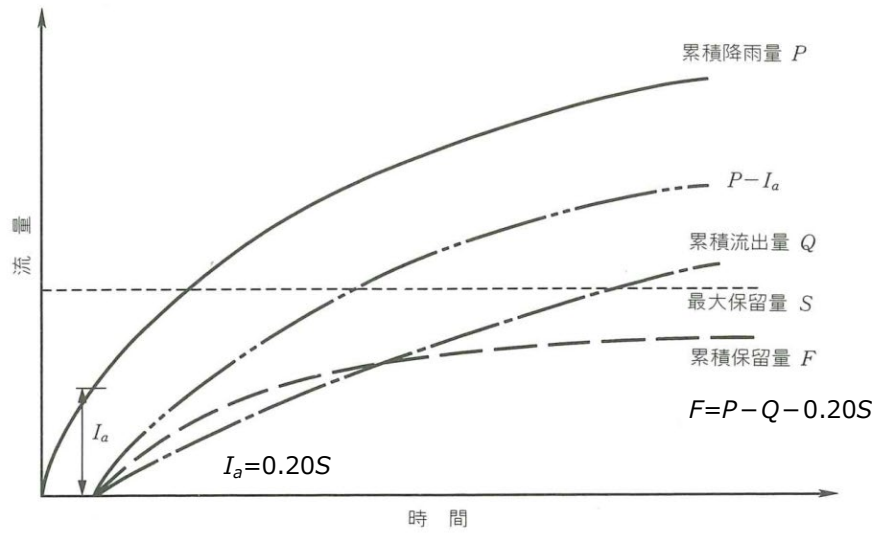


図 2.16 カーブナンバー法による時系列の P 、 Q 、 S (2.3.3 文献 11 より引用)

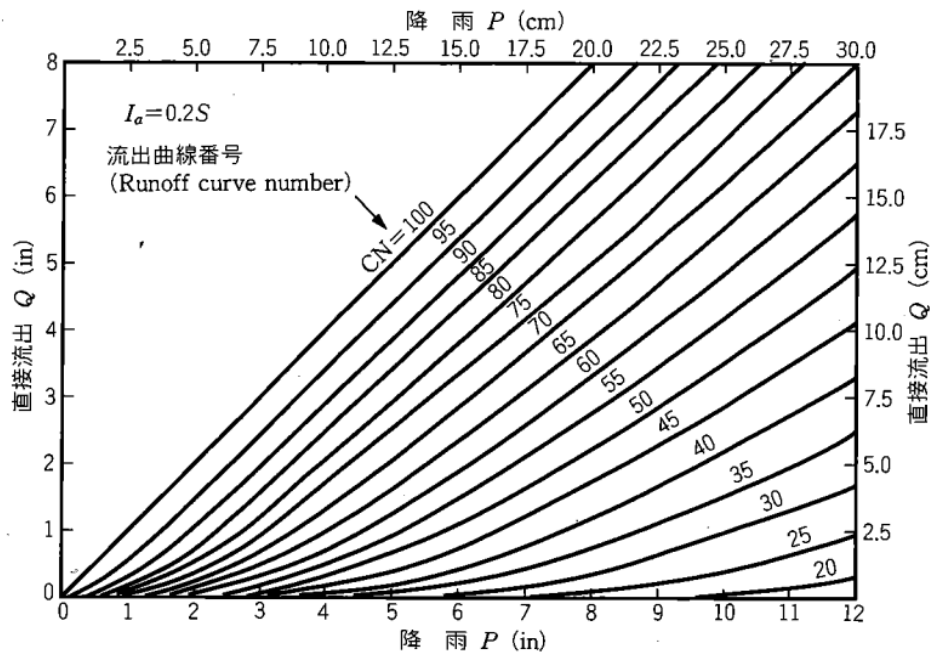


図 2.17 カーブナンバー法で算出される $Q-P$ 図 (2.3.3 文献 11 より引用)

表 2.11 土地被覆と土壤分類 (HSG) から設定するカーブナンバー
(2.3.3 文献 10 Table 9-1 を部分改)

植生	林床被覆 状況	土壤分類 (HSG, Hydrologic Soil Group)			
		A	B	C	D
森林	一部	45	66	77	83
	概ね	36	60	73	79
	全体	30	55	70	77

一部：林床に落葉落枝がない部分が林床面積の半分以上
概ね：林床面積の半分以上が落葉落枝に覆われている
全体：林床全体が落葉落枝に覆われている

表 2.12 土壤分類 (HSG) の判定表
(2.3.3 文献 12 Table 7-1 を和訳)

不透水層 までの深さ ※1	HWL※2 まで の深さ	K _{sat} 深度	「K _{sat} 深度」範囲で の飽和透水係数 μm/s	土壤分類 (HSG) ※3
50 cm 未満	—	—	—	D
50~100 cm	60 cm 未満	0~60 cm	40.0 より大きい	A/D
			10.0~40.0 以下	B/D
			1.0~10.0 以下	C/D
			1.0 以下	D
	60 cm 以上	0~50 cm	40.0 より大きい	A
			10.0~40.0 以下	B
			1.0~10.0 以下	C
			1.0 以下	D
100 cm 以上	60 cm 未満	0~100 cm	10.0 より大きい	A/D
			4.0~10.0 以下	B/D
			0.40~4.0 以下	C/D
			0.40 以下	D
	60~100 cm	0~50 cm	40.0 より大きい	A
			10.0~40.0 以下	B
			1.0~10.0 以下	C
			1.0 以下	D
100 cm 以上	0~100 cm	10.0 より大きい	A	
		4.0~10.0 以下	B	
		0.40~4.0 以下	C	
		0.40 以下	D	

μm/s = 10⁻⁶m/s

※1 不透水層の定義：飽和透水係数 K_{sat} が 0.01μm/s 未満の層。

※2 HWL：年間を通じての最高水位。

※3 2つの土壤分類が記載されている場合、地下水面 (HWL) が 60 cm 未満に形成されるなら D 適用となる。地下水の排水が可能ならば D 以外の適用も可能である。

カーブナンバーを使ったグリーンインフラ効果の計算例 (2.3.3 文献 15 より和訳引用)

舗装された駐車場のカーブナンバー (CN) は 98 相当である。

1.5 エーカー (6070m²) の駐車場で 100 年確率雨量 191.3mm は調整池に排水される設計となっている。駐車場に設置されたグリーンインフラ (植栽帯) による保水効果 (捕捉水量) を考慮し、駐車場のカーブナンバーを再計算する。

ステップ 1 : (1)式及び(2)式を使い雨量 191.3 mm に対する累積流量 Q [mm] を算出する。

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} = \frac{(191.3 - 0.2 \times 5.18)^2}{191.3 + 0.8 \times 5.18} = 185.2 \text{ [mm]}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{98} - 254 = 5.18 \text{ [mm]}$$

ステップ 2 : グリーンインフラによる捕捉水量 T_V (Capture Volume) を算出する。

$$T_V = 1.5 \times 0.95 \times \frac{43560}{12} = 5173 \text{ [ft}^3\text{]} = 146.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

↑ ↑ ↑
面積エーカ 流出率 単位調整 (インチ、フィート)

ステップ 3 : 捕捉水量 T_V [m³] を面積で割って、水高 [mm] に換算する。

$$Q_{removed} = \frac{146.5 \text{ [m}^3\text{]}}{6070 \text{ [m}^2\text{]}} \times 1000 = 24.1 \text{ [mm]}$$

ステップ 4 : グリーンインフラによる保水効果を考慮した調整後流量 Q_{adj} [mm] を算出。

$$Q_{adj} = Q - Q_{removed} = 185.2 - 24.1 = 161.1 \text{ [mm]}$$

ステップ 5 : 調整後流量 Q_{adj} [mm] に対応する調整後カーブナンバーを算出する。

$$CN_{adj} = \frac{1000}{10 + 0.1969P + 0.3937Q_{adj} - 0.3937\sqrt{Q_{adj}^2 + 1.25PQ_{adj}}} \quad (\text{mm の場合})$$

$$= \frac{1000}{10 + 0.1969 \times 191.3 + 0.3937 \times 161.1 - 0.3937\sqrt{161.1^2 + 1.25 \times 191.3 \times 161.1}}$$

$$= 90$$

駐車場に設置されたグリーンインフラ (植栽帯) による流量調整能力は約 24mm で、これを見込んだ駐車場のカーブナンバーは 98→90 に調整される。

(ii) A-4 : 集水・浸透法

集水・浸透法は、雨水をコントロールする構造物等 (例 : 側溝、井戸、堰堤、ダムなど) の効果を評価する指標である。構造物が捕捉する雨水 = **捕捉量** から、蒸発量と取水量を差し引くことで算出される。

$$\text{VWB} = \text{Recharge}_{\text{With-project}} - \text{Recharge}_{\text{Baseline}}$$

$$\text{Recharge} = \text{捕捉量} - \text{蒸発量} - \text{取水量}$$

捕捉量 = min(利用可能な供給量、貯留可能量)

利用可能な供給量 = 流域面積 × 流出係数 × 年間降水量

貯留可能量 = 設計貯留容量 × 容量一杯になった回数

捕捉量は**利用可能な供給量**と**貯留可能量**のうちより小さい値を採用する。これは、貯留可能量よりも雨水が少ない場合を見越した措置である。

集水・浸透法を森林整備に関連して利用する機会が少ないと思われるが、浸透促進工や遊水地など人工構造物を整備した場合に利用できる。

(iii) A-5 : 流出低減法 (集水量法)

流出低減法 (Runoff Reduction method) は、集水量法 (Volume Captured method) とも呼ばれ、流域に供給された雨水が流出するのをどれだけ減じるか定量化する手法である。

流出低減法は基本的に雨水が直接河道に流れ去ることを抑制・低減させる、その低減量を計測する **VWB** 指標となる。**WS** によるさまざまな活動が対象であり河川流出の減少に主眼を置く。流量の減少量そのものを効果としているため、減少量のうち蒸発散量がどれぐらいかという部分は考慮されない。

$$\mathbf{VWB} = \mathbf{Volume\ captured} = \mathbf{Supply\ volume} * \mathbf{Runoff\ reduction\ factor\ (\%)}$$

算定は以下の2段階に分けられる。

1. **供給水量**の算定 (Supply volume)
2. **集水量** (Volume captured、流出低減量) の算定

供給水量の算定は次式による。

供給水量 = 年平均降水量 × 流域面積 × 流出係数

流出係数はいわゆる直接流出率で土地被覆等に依存する。

集水量 (Volume captured、流出低減量) の算定は次式による。

集水量 (Volume captured、流出低減量) = **供給水量** × **流出低減率**

流出低減率には、Hirschman 2008 (2.3.3 文献 13) 及び 2018 (2.3.3 文献 14) に記載されている値を参考に設定する。

アメリカ合衆国では、Stormwater Management (雨水管理) として、歩道沿いの植栽帯や住宅周辺の緑化帯など都市部のグリーンインフラによる流出低減を評価し (例えば表 2.13)、開発計画の申請時にクレジットとして申告することを義務づけている州が多い。そのため州や市などの自治体ごとに Stormwater Management Manual が制定されている。ウェブ検索すると、

Pennsylvania や Nashville のマニュアルがよくヒットする。ただ、おもに開発計画に関連した情報のため、森林に関する流出低減については記載がみあたらない。

表 2.13 グリーンインフラによる直接流出カット率
(2.3.3 文献 15 Table 3 を和訳引用)

Table 3 Green Infrastructure Practices Runoff Reduction Credit Percentages

グリーンインフラ	レベル 1 デザイン				レベル 2 デザイン			
1. 植栽平坦地 (バイオリテンション)	60%				80%			
2. 都市部の植栽平坦地 (植込み等)	40%				対象外			
3. 透水性舗装	40%				80%			
4. 浸透トレンチ	50%				90%			
5. 浄化遊水池	40%				60%			
6. 雨水調整池	25%				対象外			
7. 植生水路	10/20%				20/30%			
8. 浸透促進帯	施設規模による 50~75%							
9. 植林 (土壌分類 A, B, C, D 別)	96%	94%	92%	90%	98%	97%	96%	95%
10. 雨水貯留枡	施設規模による 0~90%							
11. 屋上緑化	施設規模による 40~60%							

森林に係る設定では「植林 (Site Reforestation)」という項目が、Hirschman 2008 (2.3.3 文献 13) の Appendix E に記載されている (表 2.14 に詳細を記述)。

これは植林木の 1 本 1 本が発揮する流出低減量 (落葉樹=0.17m³、常緑樹 0.28m³) を規定したもので、植林本数に応じて VWB を計上するための規定と思われる。既存の森林に対して適用することはできず、汎用的とはいえない。

表 2.14 植林による流出低減効果
(2.3.3 文献 13 の Appendix E-1 を和訳)

表 E-1 植林による流出低減効果
<p>概要： 樹木は降雨を遮断し、蒸発散量を増加させ、土壌浸透率を高める。草地または裸地に植林することでこれら機能の発揮が期待される。大規模開発地及び小規模開発地での植林については、下記に記す一定条件を満たせば適格とみなされ、樹木（単木または樹木群）が発揮する流出低減量を評価することができる。</p>
<p>計算方法： 植林エリアでは、森林の一般的な流出係数の 2 倍程度の流出係数を設定する。これは、植林木が成長し、水文的效果を発揮するまでに数十年かかる可能性を見込んだため。植林にあわせて土壌改良を実施する場合、森林被覆率を調整できる。（土壌回復基準の取り扱いについては、表 E-2 を参照）。 適格とみなされる単木または樹木群が発揮する流出低減量は、落葉樹の場合 $6 \text{ ft}^3 (0.17 \text{ m}^3)$、常緑樹で $10 \text{ ft}^3 (0.28 \text{ m}^3)$ とする。</p>
<p>適格とみなせる植林の条件：面積 1 エーカー以上（4047 m²、63.6 m 四方）の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・植林の最小連続面積が 5000 ft²（465 m²、21.6 m 四方）より大きいこと。 ・植林地を自然林状態で維持するための長期管理計画があり、地域の審査機関に提出していること。 ・将来開発や洪水対策等で、植林地での伐採行為等が生じないよう、永続的な地役権（行為制限）で保全されていること。 ・10 年内の林冠うっ閉率が 75%以上に達する（計画である）こと。 ・植林計画は、地域の森林管理局または保全当局の承認を受けていること。 ・植林の契約書に、少なくとも 3 シーズンに渡っての森林の適切な維持と枯死再植栽が保証されていること。 ・すべての植栽図面及び ESC 計画に植林範囲が記載され、計画期間中に図面等が破棄されないこと。※ESC→おそらく Environmental Site Construction <p>適格とみなせる個別樹木の条件：面積 1 エーカー未満（4047m²、63.6m 四方）の場合</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小規模な植林範囲で適格とする樹木は、ポット苗、コンテナ苗等で十分な量の土壌とともに植え付けされ、将来の成長と生存が見込める樹木で、直径 2 インチ（5 cm）未満、樹種は地域の在来種とする。
<p>樹木による流出低減量は、以下の論文データに基づき設定した。 Portland BES. 2003. Stormwater Management Manual. City of Portland. Portland, Oregon. PA DEP. 2006. Pennsylvania Stormwater Manual. Department of Environmental Protection. Harrisburg, PA Cappiella, K., T. Wright and T. Schueler. 2005. Urban Watershed Forestry Manual. Part 1. Methods for increasing forest cover in a watershed. USDA Forest Service. Newton Square, PA. Cappiella, K., T. Schueler, and T. Wright. 2005. Urban Watershed Forestry Manual. Part 2: Conserving and Planting Trees at Development Sites. USDA Forest Service, Newtown Square, PA.</p>

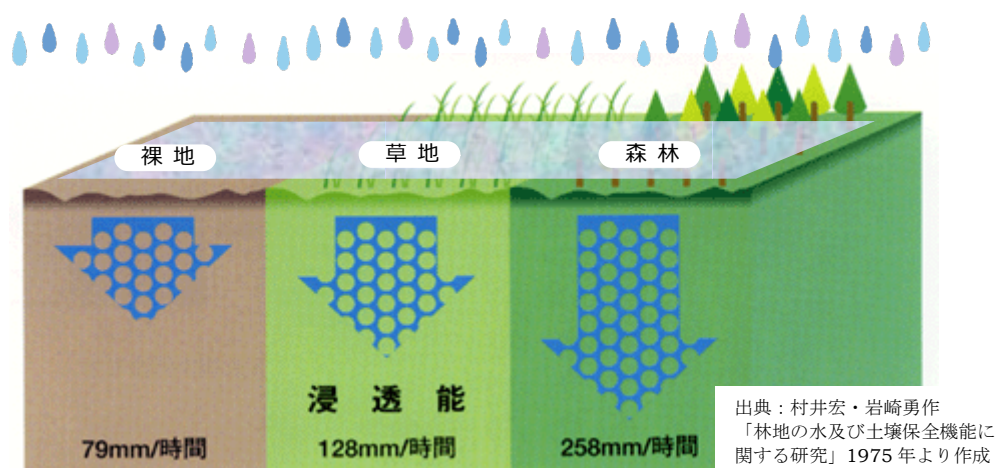
(iv) A-7 : 涵養法

涵養法は、湛水域とその浸透能に基づいて計算される VWB 指標である。

$$\mathbf{VWB = Volume\ recharged = Wetland\ surface\ area * Infiltration\ rate * Duration\ of\ inundation}$$

$$\mathbf{VWB = 涵養量 (Volume\ Recharged) = (湛水面積) \times (浸透能) \times (湛水期間)}$$

湛水域では降雨やその流出水が捕捉され、水が地盤内に浸透し帯水層が涵養される。このときの涵養量は上式で得られる。



林野庁ウェブページ「水を育む森林のはなし」より抜粋・一部加工
https://www.rinya.maff.go.jp/j/suigen/suigen/con_1.html

図 2.18 涵養法による涵養のイメージ

涵養法は湿地などの典型的な湛水域だけでなく、さまざまなケースに応用が可能である。

例えば、氾濫原プロジェクトにおける VWB 指標の算定で、涵養量は（氾濫原で想定される平均湛水深さ×湛水面積×平均氾濫回数）として計算ができる。あるいは、水路プロジェクトの VWB 指標の算定では、主要な生物種に生息地を提供するのに必要な最小流量と、その最小流量を上回って生息地が提供される期間（例：回遊魚の産卵期間）として評価することもできる。

(v) A-8 : ハイドログラフ法

ハイドログラフは、特定地点を通過する流量で時間に伴い変化する。ハイドログラフ法は、ある地点でプロジェクトの前・後におけるハイドログラフをそれぞれ特定し、その差を例えば1年分足し合わせる等して水量に換算する手法である。なお、VWBではハイドログラフの時間単位は日 (day) を基本的に想定している。

VWB = ハイドログラフ (日単位) の差 の足し合わせ

$$\text{ハイドログラフ (日単位) の差} = \text{Flow}_{\text{baseline}} - \text{Flow}_{\text{with-project}}$$

ハイドログラフをどう算定するか、については次の2通りの方法が提示されている。

● ハイドログラフの算定方法
流量観測による
流量をシミュレートできる水理モデルによる (観測値がない場合)

a) 観測による方法はシンプルである。プロジェクトの前・後それぞれの流量を観測し、ハイドログラフを得て、その差を足し合わせる。

b) 水理モデルによる方法は、プロジェクトの前・後それぞれを水理モデルで算定する場合、プロジェクト後は観測流量とし、プロジェクト前のみ水理モデルによる流量を使うなど、組立てはいろいろとある。

なお、2.3.3 文献2ではハイドログラフ前・後の差は正值になることも負値になることもあるが、差の絶対値を積算するとされている。負値の場合は積算時素直に減算する考え方もあると思われるが、どのような理由で絶対値処理をするのかは明記されていない。

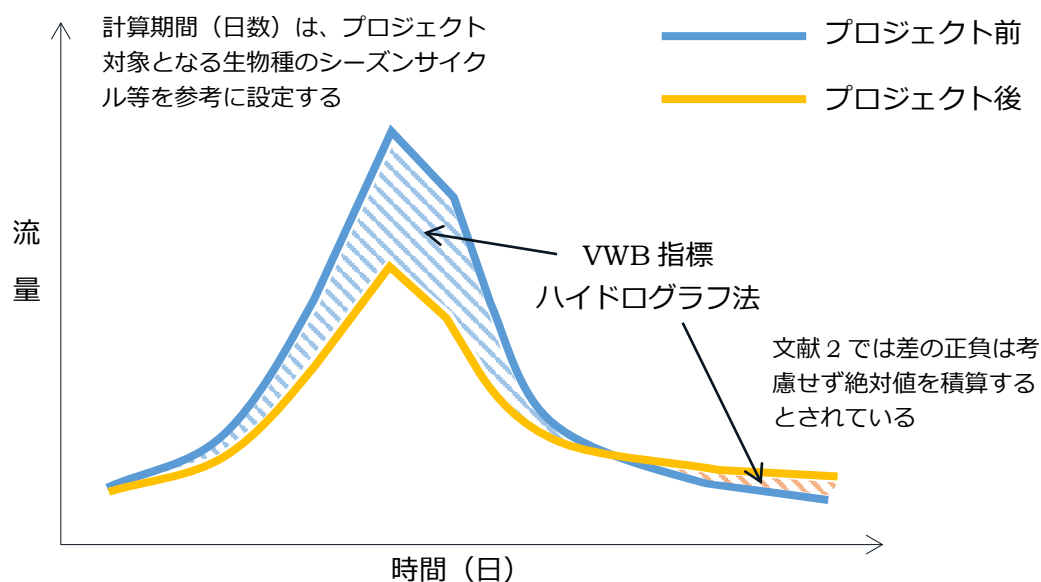


図 2.19 ハイドログラフ法による VWB 指標

2.3.3 参考文献

1. Susan L Neitsch, Jeff Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams (2011): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009, Texas Water Resources Institute, <https://hdl.handle.net/1969.1/128050>
2. Reig, P., W. Larson, S. Vionnet, and J.B. Bayart. (2019): “Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA): A Method for Implementing and Valuing Water Stewardship Activities.” Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at <https://www.wri.org/publication/volumetric-water-benefit-accounting>.
3. LimnoTech (2015): Quantifying Replenish Benefits in Community Water Partnership Projects
4. 山口県 農林水産部 森林企画課(2009): やまぐち森林づくり県民税関連事業評価報告書, <https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/65292.pdf>
5. 公益社団法人日本河川協会 (2007): 防災調節池等技術基準(案) 解説と設計実例
6. Joe Rozza, Brian Richter, Wendy Larson, Todd Redder, Kari Vigerstol, Paul Bowen (2013): Corporate Water Stewardship: Achieving a Sustainable Balance, Journal of Management and Sustainability, 3, pp41-52.
7. CEO Water Mandate (2021): Benefit Accounting of Nature-Based Solutions for Watersheds
8. 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, <https://www.wwf.or.jp/activities/data/20230801sustainable03.pdf>
9. CEO Water Mandate (2021): Volumetric Water Benefit Accounting (VWBA): A Practical Guide to Implementing Water Replenishment Targets https://ceowatermandate.org/wp-content/uploads/2021/01/VWBA_Guidebook_F_Web.pdf
10. National Engineering Handbook Part 630 (2004) : Hydrology Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes.
11. 水村和正 (1998) : 水圏水文学、山海堂、pp.253.
12. National Engineering Handbook Part 630 (2009) : Hydrology Chapter 7 Hydrologic Soil Groups
13. Hirschman, D., K. Collins, and T. Schueler. (2008): “The Runoff Reduction Method.” Technical Memorandum. Center for Watershed Protection Inc. and Chesapeake Stormwater Network.
14. Hirschman, D., J. Hathaway, K. Lindow, and T. Schueler. (2018): “Updating the Runoff Reduction Method”, City of Nashville, June 2018
15. Metropolitan Nashville–Davidson County(2021) : Stormwater Management Manual, Volume 5–Low Impact Development

2.4 日本の飲料メーカーによる VWB 算定事例

2.4 の要点

●日本コカ・コーラの VWB 算定

- ・ A-5：流出低減法を使い、VWB（森林の水源涵養量）を算出。
- ・ 低減率の設定方法は、日本国内の文献を参照して 0.05/0.1 を採用。
- ・ VWB の指針に従い、プロジェクトのなし/ありの変化を追跡している。日本法人が検討した結果についてアトランタ本社による照査があり、世界基準でチェックされる。
- ・ 同社担当者へのヒアリングで、他国のコカ・コーラではカーブナンバー法を使い VWB 算定をしている国が多く、日本でも可能であるならばカーブナンバー法を使いたいが、国内利用実績が無く、使えていない状況。

●サントリーによる VWB 算定

- ・ サントリーは水文学的手法を用いた独自の涵養量算定を行っている。
- ・ プロジェクトのなし/ありの追跡がされていないため、現時点では VWB に適合しないと同社自身が認識。
- ・ 涵養量の算定手法は水文学的手法で、分布型水文モデル「GETFLOWS」を用いている。
- ・ 算定された具体的な涵養量等の数値は公開しておらず、Water Replenishment 率（水の還元率）を公開している。

2.4.1 日本コカ・コーラによる VWB 算定事例

日本コカ・コーラ（株）の VWB 算定は、2.3.3 文献 3、LimnoTech の資料に詳述されている。なお、当該資料内では VWB (Volumetric Water Benefit) ではなく、Water Quantity Benefits と呼称しているが、実質同じものである。また、文献 3 には日本だけでなくコカ・コーラ社の全世界での取組み内容が記載されている。

(1) VWB の算定方法ー日本コカ・コーラ

文献 3 より、日本コカ・コーラの取組み内容を抜粋した。

1. 表 2.15 に示す地域について、同社による森林整備あるいは森林保全活動がなければ、その土地が開発されたと推定される面積を対象に水の量的効果（VWB）を計算する。

表 2.15 日本コカ・コーラによる森林整備/保全地域とその面積（2.3.3 文献 3 より引用）

Location	Area (ha)	Agreement End Date
1. Mt. Shirahata, Sapporo @ Hokkaido	26	2060
2. Uji @ Kyoto	106	2020
3. Hongo @ Hiroshima	713	2020
4. Tosu @ Saga	17	2035
5. Daisen @ Tottori	427	2020
6. Ono @ Hyogo	10	2018
7. Aiso @ Shiga	11	2017
8. Ena @ Gifu	140	2020
9. Atugi @ Kanagawa	700	2020
10. Nanto @ Toyama	6.3	2023
11. Komatsu, Saijyo @ Ehime	100	2020
12. Yokomine-ji, Saijyo @ Ehime	2	2020
13. Myounokuchi, Saijyo @ Ehime	46	2020
14. Ojahara, Ebino @ Miyazaki	243	2020
15. Marunuma, Katashina @ Gunma	946.46	2020
TOTAL	3,494	

2. 開発スケジュールは、プロジェクト対象域近辺でのこれまでの開発パターンを参考とし、森林整備と保全のタイミングに照らし、いつ、どの範囲で便益が発生するかを決定した（表 2.16、表 2.17）。

表 2.16 各年で森林整備された面積（2.3.3 文献3 より引用）

（単位：ha）

Site	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Mt. Shirahata, Sapporo @ Hokkaido	26	26	26	16	16	5	5
2. Uji @ Kyoto	79	53	35	35	35	35	35
3. Hongo @ Hiroshima	713	713	713	624	446	178	178
4. Tosu @ Saga	17	17	14	14	10	3	3
5. Daisen @ Tottori	427	427	256	256	85	85	85
6. Ono @ Hyogo	10	10	10	7	7	4	4
7. Aiso @ Shiga	11	11	8	8	5	5	5
8. Ena @ Gifu	112	84	28	28	28	28	28
9. Atugi @ Kanagawa	670	585	470	140	140	140	140
10. Nanto @ Toyama	6.3	6.3	6.3	4.3	4.3	2.3	2.3
11. Komatsu, Saijyo @ Ehime	100	100	100	85	70	40	40
12. Yokomine-ji, Saijyo @ Ehime	2	2	2	1	1	0	0
13. Myounokuchi, Saijyo @ Ehime	46	46	46	39	32	18	18
14. Ojahara, Ebino @ Miyazaki	243	243	243	207	170	97	97
15. Marunuma, Katashina @ Gunma	946.5	946.5	946.5	946.5	946.5	946.5	946.5

表 2.17 各年で森林保全された面積（2.3.3 文献3 より引用）

（単位：ha）

Site	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Mt. Shirahata, Sapporo @ Hokkaido	0	0	0	10	10	21	21
2. Uji @ Kyoto	27	53	71	71	71	71	71
3. Hongo @ Hiroshima	0	0	0	89	267	535	535
4. Tosu @ Saga	0	0	3	3	7	14	14
5. Daisen @ Tottori	0	0	171	171	342	342	342
6. Ono @ Hyogo	0	0	0	3	3	6	6
7. Aiso @ Shiga	0	0	3	3	6	6	6
8. Ena @ Gifu	28	56	112	112	112	112	112
9. Atugi @ Kanagawa	30	115	230	560	560	560	560
10. Nanto @ Toyama	0	0	0	2	2	4	4
11. Komatsu, Saijyo @ Ehime	0	0	0	15	30	60	60
12. Yokomine-ji, Saijyo @ Ehime	0	0	0	1	1	2	2
13. Myounokuchi, Saijyo @ Ehime	0	0	0	7	14	28	28
14. Ojahara, Ebino @ Miyazaki	0	0	0	36	73	146	146
15. Marunuma, Katashina @ Gunma	0	0	0	0	0	0	0

3. VWB 指標の算定には『A-5 Runoff Reduction method (流出低減法)』を採用。

$$\text{集水量 (Volume captured、流出低減量)} = \text{供給水量} \times \text{流出低減率}$$

「プロジェクトあり」と「プロジェクトなし」の年間流出係数の差を ΔK とし、供給水量は年間降水量(m/yr)そのものとする。VWB 指標を以下の式で算定する。

$$\text{VWB(m/yr)} = \Delta K \times \text{年間降水量(m/yr)}$$

ΔK は、森林整備及び森林保全活動による植生状態の変化を反映したものである。

森林整備の場合： $\Delta K = 0.05$
森林保全の場合： $\Delta K = 0.10$

森林整備の ΔK は保守的な値として 0.05 に設定した。これは、やまぐち森林づくり県民税関連事業評価報告書(2009) (2.3.3 文献 4) に記載されている ΔK (0.06~0.08) を参考とした。

森林保全による ΔK は、防災調節池等技術基準(案) (2.3.3 文献 5) に基づき、保守的な値の 0.1 に設定した。

4. 水高で算定されたVWB(m/yr)に面積を乗じて水量に換算する。

$$\text{VWB(m}^3\text{)} = \text{VWB(m/yr)} \times \text{整備/保全面積(m}^2\text{)}$$

(2) 算定された VWB—日本コカ・コーラ

3.1 の方法により算定された VWB を表 2.18 に示す。

同社の日本国内での水源保全活動により、年間 4000~5800 メガリットルの水量が保全されている計算となる。

表 2.18 日本コカ・コーラ社が算定した VWB 指標 (A-5 流出低減法による)

Year	Total Benefit (ML/yr)	Adjusted for TCCC Cost Share (ML/yr)
2015	4,036	4,036
2016	4,463	4,463
2017	4,952	4,952
2018	5,441	5,441
2019	5,867	5,867
Ultimate Benefit:	5,867	5,867

2.4.2 サントリーによる VWB 算定事例

(1) VWB の算定方法—サントリー

サントリーは世界で VWB が制定されるより前から、地下水涵養量の計算を独自に実施していた。そのため、現時点でサントリーの算定は VWB に完全に準拠するものでない（プロジェクトのあり/なし評価となっていない）が、今後、VWB が規定する形式に調整していく予定である。

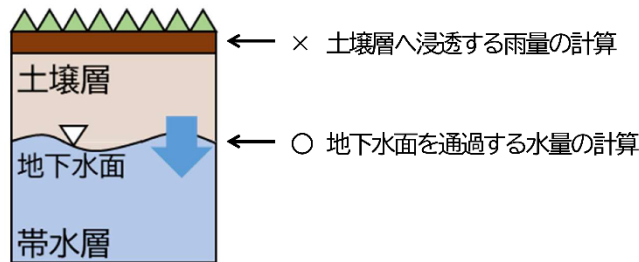
サントリーでは、地下水の挙動を水理シミュレーションで再現した上で、地盤内地下水面に涵養される降水量を計算フラックスより算定する。下図は瀬田委員のプレゼン資料である。

定義通りの地下水涵養量を計算する

SUNTORY

涵養とは、地下水の貯留量を増加させる地下水面に達する下方流である

Recharge is defined, herein, as the downward flow of water reaching the water table, adding to groundwater storage.
(Healy (2010) Estimating groundwater recharge, p.3, Cambridge University Press.)



地下水面をモデルで再現し、確からしさを検証して涵養量を計算

COPYRIGHT © SUNTORY HOLDINGS LIMITED. ALL RIGHTS RESERVED. 12

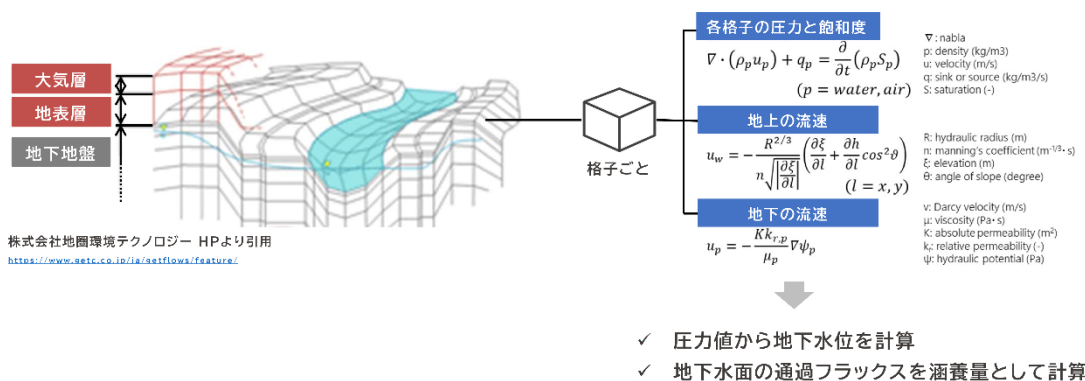
使用するシミュレーションモデル -GETFLOWS-

SUNTORY

GETFLOWSの特長

- 地表水と地下水の流れを切れ目なく一体化して解析できる
- 流体の質量・熱量保存則に沿って厳密に解析できる

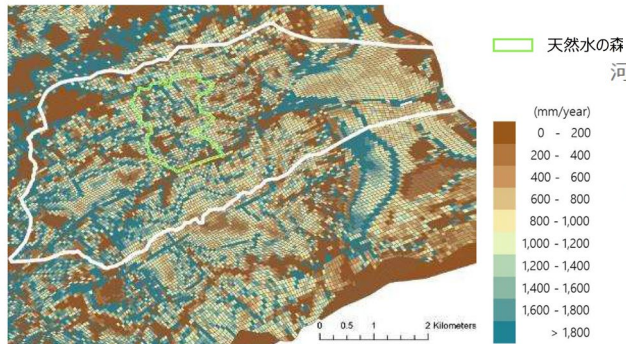
計算の特長



COPYRIGHT © SUNTORY HOLDINGS LIMITED. ALL RIGHTS RESERVED. 13

－涵養量の計算－

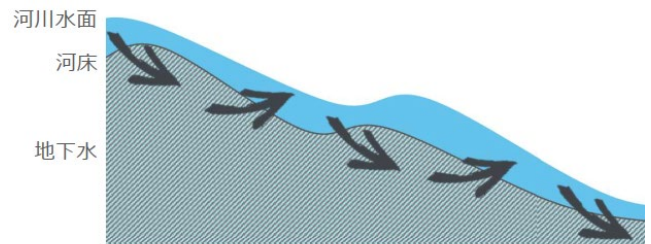
下図の天然水の森範囲でのグリッド涵養量を積算すると当該森林における涵養量となる。



各グリッドからの年間地下水涵養量

－ダブルカウントの排除－

涵養で一度カウントされた水が再びカウントされないようリターンフローを除外する



河床等では涵養と湧出が連続して発生するため下向きフラックスとして過大評価している

サントリーの計算方法は独自であり、VWB が提示する A-1~A-10 のどの方法にも合致しない。水理シミュレーションモデルを使い、フラックス（水流れ）を計算しているという部分でいえば、『A-8：ハイドログラフ法』の応用版ともいえるだろう。

(2) 算定された VWB－サントリー

現時点では公開された VWB 情報はない。

2.5 日本における動き－流域マネジメント（内閣官房水循環政策本部事務局）

2.5 の要点

●日本版の Water Stewardship－流域マネジメント

- ・日本においても、Water Stewardship と同様の概念として「流域マネジメント」が提唱されている。
- ・流域マネジメントとは、流域のさまざまな主体が連携して活動し、水循環に関する課題を解決し、持続可能な水資源の管理を目指す取り組みをいう。
- ・内閣官房水循環政策本部事務局が平成 30 年 7 月に最初の「流域マネジメントの手引」を公表、令和 6 年 1 月に改定版が刊行された。
- ・改定版では本編のほかに、人材育成編、地下水編、連携体制編、事例集と冊子が充実した。

内閣官房水循環政策本部事務局では水循環に関する課題解決のために、流域のさまざまな主体が連携して活動できるよう『流域マネジメントの手引き』を作成した。

流域マネジメントは日本版のウォーター・スチュワードシップ（Water Stewardship）である。事業者等が自らの関与する地域だけに関わるのではなく、流域全体に目を向け他の事業者との連携を行いながら水に関する活動を行うためのアウトラインを提示する。

2.5.1 流域マネジメントの概要

(1) 流域マネジメントとは

内閣官房水循環政策本部事務局が推進する「流域マネジメント」は、流域における様々な主体が連携して、水循環に関する課題を解決し、持続可能な水資源の管理を目指す取り組みである。

具体的には、森林、河川、農地、都市、湖沼、沿岸域等において、人の営みと水量、水質、水と関わる自然環境を良好な状態に保つ、または改善することを目的とする。

流域マネジメントの手引き 改定版



令和 6 年 1 月

 内閣官房 水循環政策本部事務局



図 2.20 健全な水循環構築のイメージ (『流域マネジメントの手引き』図表 1.1)

(2) 流域マネジメントの必要性

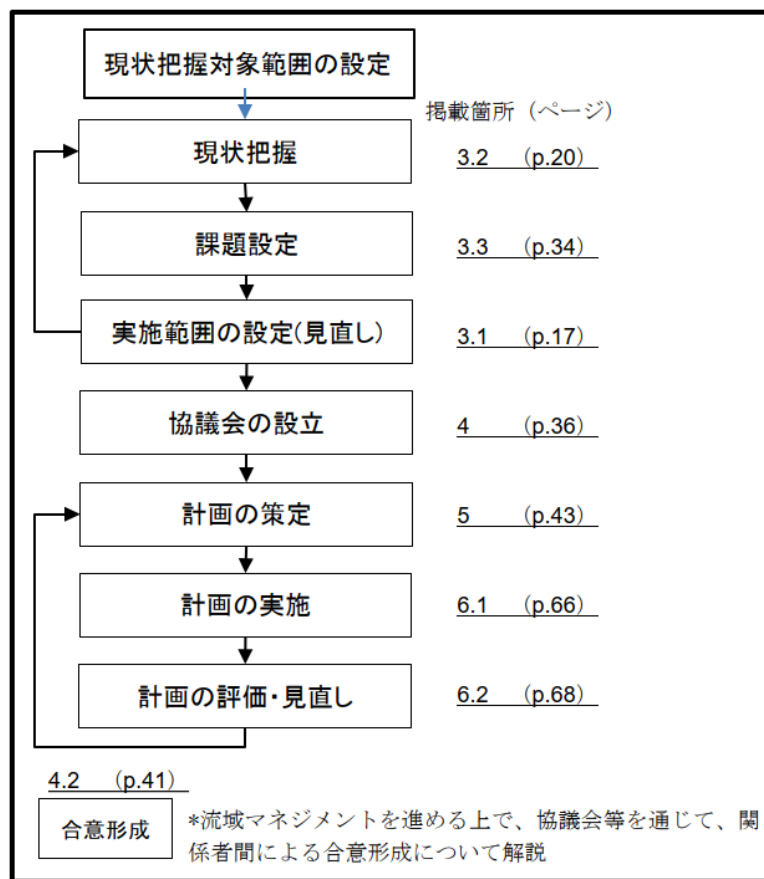
近年、気候変動や人口増加、都市化などの影響により、水資源に関する課題が複雑化している。洪水や渇水、水質汚染、生態系の破壊など、流域全体で様々な問題が発生しており、これらの課題を解決するために行政機関だけでなく、事業者、団体、住民など、流域に関わる全ての主体が連携して取り組むことが必要である。

(3) 流域マネジメントの進め方

流域マネジメントを進めるためのフロー図を表 2.19 に示す。

進め方の特徴として関係者を束ねる協議会を設置する点が挙げられる。協議会は、流域に関わる様々な主体が参加する組織であり、流域における水循環に関する情報共有や課題解決に向けた議論の場となる。

表 2.19 流域マネジメントを進めるための基本的な流れ（手引き・図表 2.1）



※問題が顕在化している場合は、現状把握や課題の設定は不要となる場合があります。

(4) 流域マネジメントの具体的な取組み

流域マネジメントの具体的な取組みとしては、以下のようなものが挙げられる。

- 水循環に関する情報の収集・共有
- 流域水循環協議会を作る
- 流域水循環計画の策定
- 流域水循環計画の実施
 - 洪水・渇水対策
 - 水質保全対策
 - 生態系保全対策
 - 水資源の効率的な利用
- 資金確保と企業連携
- 流域住民への普及啓発

2.5.2 流域マネジメントの事例紹介

流域マネジメントは、全国各地で様々な地域で取り組みが進んでいる。水循環政策本部事務局が作成した『流域マネジメントの事例集』には13ケースの事例が掲載されている。

そのうちの2ケースを紹介する。

表 2.20 流域マネジメントの活動事例

多様な主体の連携事例	
Case 01	熊本地域（熊本県）
Case 02	大野市（福井県）
Case 03	岡崎市（愛知県）
Case 04	安曇野市（長野県）
Case 05	錦江湾（鹿児島県）
普及啓発の事例	
Case 06	四万十川流域（高知県）
Case 07	秦野市（神奈川県）
課題解決の事例	
Case 08	高松市（香川県）
Case 09	都城盆地（宮崎県・鹿児島県）
計画策定の事例	
Case 10	八王子市（東京都）
Case 11	印旛沼流域（千葉県）
Case 12	福島県
Case 13	宮城県

(1) Case01：熊本地域



① 熊本地域における協働の地下水保全の概念図。熊本地域の地下水を守り抜くため、県民・企業・大学・行政などさまざまな主体が連携・協働して取り組んでいる

くまもとの地下水を次世代につなぐ

Case01 は、熊本地域における地下水保全のための事例を詳述している。地域住民、ビジネスコミュニティ、政府機関が連携し、地下水資源の持続可能な利用と保護に取り組んでいる。水消費の抑制と地下水の質の維持を目指すために、様々なプロジェクトやイニシアチブを立ち上げ、地域コミュニティの積極的な参加と異なるセクター間の連携を構築した。

ハブとなる役割が公益社団法人くまもと地下水財団である。地下水資源の効果的な管理と保護を行っている。また、住民の意識向上と教育活動が環境保全と資源管理の成功に不可欠であることも強調されている。

(2) Case12 : 福島県

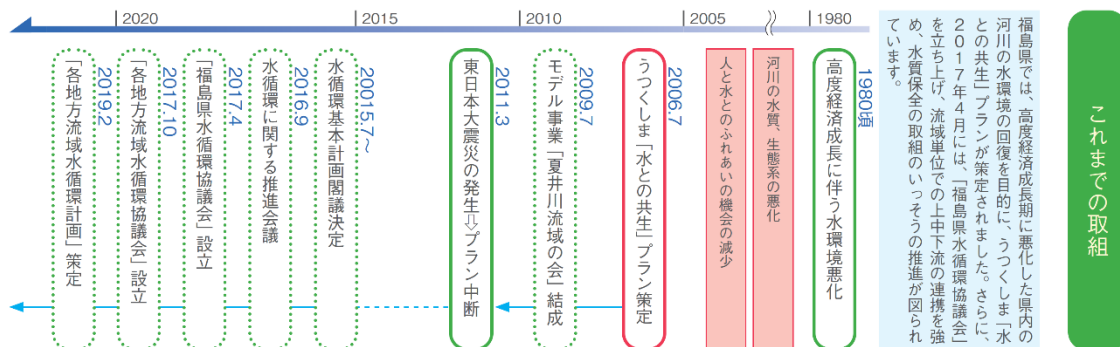
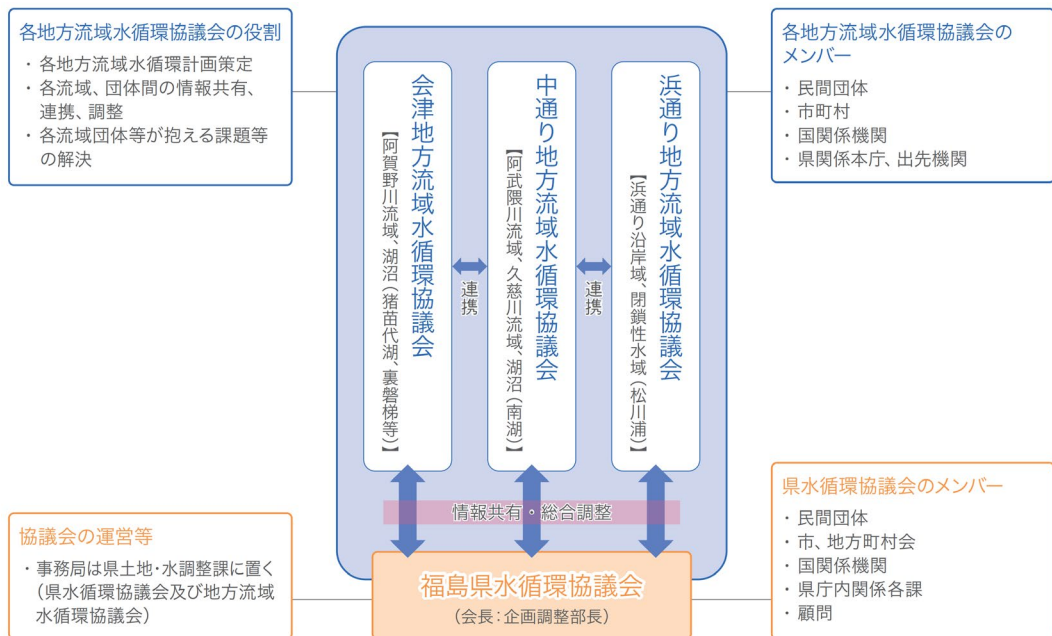
Case12 は福島県における水循環への取り組みを詳細に紹介している。福島県の各地域の水系や流域の特性、それらを踏まえた地域固有の水循環計画の策定について触れている。これらの計画は情報共有、地域間の連携、さまざまな関係者間の調整が必要である。また、水質保全活動、環境教育プログラム、河川環境の維持と改善の取り組みが具体的に示され、これらが地域コミュニティとどのように連携しているかが詳述されている。

さらに、水循環協議会の役割を強調し、その活動が地域の持続可能性にどう貢献しているかを解説する。福島県の実例は、水循環計画が地域の自然環境や人々の生活に与える影響を深く理解するためのものであり、これらの取り組みは県全体の環境保全と持続可能な発展を目指す大きなフレームワークの一部として位置づけられる。福島県のアプローチは、他の地域や自治体にとっても参考になるモデルである。

これまでの取組

熊本地域 11 市町村は、地下水盆を共有し、清れつて豊富な地下水の恵みに支えられてきました。地下水位の低下や湧水量の減少が表面化して以来、地下水保全の機運が高まり、今では住民・企業・行政などの多様な主体が連携した取組を進めています。





2.5.3 手引きで紹介されている収集情報項目

手引きには地域の水循環過程を知るために収集すべき情報がリストで整理されている。リストを引用する形で紹介する。自然特性、社会特性から法令まで幅広い情報がリストされている。

表 2.21 現状把握のために収集する情報項目（1）
（流域マネジメントの手引 R6.1 版、図表 3.4 を引用）

情報項目		課題分野		都市型水害・地下水水位低下	閉鎖性水域の水質	水インフラの維持管理	地下水の水量水質	森林の水源涵養
		渇水	洪水					
自然特性	水文・気象情報	・降水量	○	○	○	○	○	○
		・気温	○			○		○
		・河川流量	○	○	○	○		○
		・表流水の水質（BOD, COD 等）	○				○	
		・地下水の水質（硝酸性窒素、テトラクロロエチレン等）						○
		・浸水・渇水等による被害の記録	○	○	○		○	○
		・水資源賦存量	○		○	○	○	○
		・年間水収支等	○	○	○	○	○	○
	水理地質特性	・地形	○	○	○	○	○	○
		・地質	○	○	○		○	○
		・地層	○		○		○	○
		・地下水の流れ	○		○	○	○	○
		・地下水位（季節的变化、経年変化）	○		○		○	○
		・湧水量	○		○	○	○	○
	生態系	・地盤沈下等	○	○	○		○	○
・水辺の生態系		○		○	○		○	
社会特性	土地利用等の状況等	・外来生物の分布・生息状況等		○		○		○
		・土地利用	○	○	○	○	○	○
		・土地利用関連計画	○	○	○	○	○	○
	人口・産業の状況	・農地、森林の管理状況等	○	○	○	○	○	○
		・人口	○	○	○	○	○	○
		・世帯数	○	○	○	○	○	○
		・年齢構成	○			○	○	○
		・産業別の事業者数	○	○	○	○	○	○
		・従業員数	○	○	○	○	○	○
・工業出荷額等	○	○	○	○	○	○		

※対応している項目に「○」を付記

表 2.22 現状把握のために収集する情報項目（2）

（流域マネジメントの手引 R6.1 版、図表 3.5 を引用）

情報項目		課題分野	渇水	洪水	都市型水害・地下水位低下	閉鎖性水域の水質	水インフラの維持管理	地下水の水量水質	森林の水涵養
社会特性	水利用の動向	・農業用水	○		○	○	○	○	
		・水道給水状況	○		○	○	○	○	○
		・工業用水	○		○	○	○	○	○
		・用途別の地下水採取量	○		○	○	○	○	○
		・その他の用水	○		○	○	○	○	○
		・下水処理再生水利用状況	○			○	○		
		・雨水利用状況等	○		○	○	○	○	
	上下水道、河川や水路の整備状況	・河川、水路の整備	○	○	○	○	○	○	
		・維持管理状況	○	○	○	○	○	○	
		・水道の整備状況	○		○	○	○	○	
		・下水道の整備状況			○	○	○		
		・整備計画	○	○	○	○	○	○	○
		・汚水処理人口普及率	○		○	○	○		
		・上下水道事業の運営状況	○		○	○	○	○	
		・雨水貯留、浸透施設の普及状況	○	○	○	○	○	○	
	・災害時に利用可能な水源等	○	○	○		○	○		
	地域の水文化	・水に関わる歴史・文化	○	○	○	○	○	○	○
		・地域住民の水との関わり	○	○	○	○	○	○	○
		・関心度	○	○	○	○	○	○	○
		・地域住民による水環境改善の取組状況等	○	○	○	○	○	○	○
法令等	条例・計画	・水循環	○	○	○	○	○	○	○
		・水質	○		○	○	○	○	
		・森林	○	○	○	○	○	○	○
		・河川	○	○	○	○			
		・まちづくり	○	○	○	○	○	○	
		・生物	○	○	○	○			○

※対応している項目に「○」を付記

2.6 本事業で目指す簡易指標の構成

2.6 の要点

●水源涵養機能の簡易評価手法の構成について

- ・森林の存在を定性評価する1階部分と、森林による定量効果を評価する2階部分、さらに水文学的手法で蒸発散を考慮する3階部分の3段構成とする。
- ・定性評価の1階については、表 2.21 (p.65) に示す水量、水質、炭素、生物多様性、環境、社会経済といった多様な項目に関して、その機能の有・無を示す形式とする。
- ・定量評価する2階では、世界で先行する VWB 指標を採用する。
→ VWB 以外を用いると、グローバル企業にとって使えない指標となる。
- ・VWB のうち流出低減法は、低減率を設定するハードルが高い。カーブナンバー法を日本向けにアレンジして採用する。
- ・水文学的方法で涵養量、蒸発散量を評価する3階は、気象データ（降水量、気温、湿度、日射量）から、蒸発散量を推定するアプローチを採用し、間伐等の伐採効果を取り込むことが可能となる。

2.6.1 これまでに把握された内容の考察

水の還元 (Water Replenishment)

- ウォーター・ポジティブ（企業活動で使用（消費）する水量より多い水を地域に還元する）に象徴されるように、企業は水の流域（地域）還元（Water Replenishment）を目標として設定することが多い。
- したがって、指標に期待されるのは還元水量を算定する手法を提示すること。VWB による還元水量は、基本的には森林があった場合に直接流出が低減する、その低減流量をもって還元量とするのが、森林整備・保全の定量評価方法として適すると考えられる。
- 低減流量の内訳は、降水を地盤深部に浸透させる量と、樹木の蒸散や地表面蒸発で大気中に戻った水量の両方である。蒸発散は地盤に戻した水ではないが、VWB では地域への還元（Water Replenishment）と位置づけ、これを還元量に含めている。本事業で策定する指標においても還元水量から蒸発散を除外する、という措置はしなくてよいのではないか。

プロジェクトのあり/なし

- VWB はプロジェクトのあり/なしの差を評価するのが基本である。ただ、あり/なしの具体をどう設定するかは特に指定されていない。森林に関しては基本的に裸地であった時と、森林がある場合の比較が基本となるだろう。考え方としては、開発圧力から森林を守り、保全することによる効果を VWB 指標で定量化するという形になる。
なし → プロジェクトがなく、現存する森林が開発され将来裸地化する。
あり → プロジェクトにより森林が保全され、将来も維持される。
- VWB であり/なしの設定は、森林整備あるいは森林保全活動の対象となる（プロジェクトがなければその土地が開発されたであろう）面積と時期を推定することが求められる。

- コカ・コーラ社の例（2.4.1）をみても、プロジェクト対象域付近でのこれまでの開発パターンを参考としつつ、自ら実施する森林整備と保全のタイミングに照らし、いつ、どの範囲で便益（VWB）が発生するかを決定している。

A-1:カーブナンバー法

- カーブナンバー法は、森林土壌の状態（主に透水性→土壌分類 A~D）、林床被覆の状態（落葉落枝の存在、Poor; Fair; Good）が反映され、大きく結果が変わる。そのため、森林の状態に応じた多様な VWB 算定ができる点が強みである。
- カーブナンバー法を使う場合、日本における森林のカーブナンバー割当表をどう決定するかが課題であり、アメリカで設定された割当表をそのまま流用するのか、オリジナルを作成するのか。若しくは、完全オリジナルを策定することも不可能ではないが、文献調査と場合によっては独自観測等が必要となることも想定され、相応の時間を要する（1年間では厳しい）。
- カーブナンバー割当表を日本向けにアレンジする場合、ベースはアメリカのものを使い、日本の森林や日本での観測データとの突合せを行い、最大値や最小値の範囲（引き延ばし/縮みを加える）のレベルを調整するのであれば1年間でも検討可能と考えられる。
- 森林整備と森林保全の違いをどう設定するかが課題。

VWB 指標の通常手順で算定される低減量を、森林保全による値と位置付け、森林整備の場合はその 1/2 とする、等の概算程度の設定であれば可能。

なお、森林保全でなく森林整備となるケースでは、将来にわたって開発圧力から森林を守ることが担保されない（できない）場合が該当すると想定。

A-5:流出低減法

- 流出低減法は流出低減率を決めればよく、もっともシンプルな算定法だが低減率をどう決めるかは課題である。アメリカの各州や自治体が刊行する **Stormwater Management Manual** では、グリーンインフラ（路側帯の緑化や植込みなど）による雨水の直接流出低減率は提示されているが、一定規模以上の森林が発揮する低減率は見当たらず、そのまま使用できる指標等は海外文献においても提示されていない。
- 流出低減率を樹種や林分種類などで細かく分類・提示できれば良いが、森林分野での先行事例が無く、新たに設定していくことになり難易度が高い。また、低減率を一律値、例えば 0.05 とした場合は、どんな林分であっても 0.05 の低減率のみとなりプロジェクトや各森林空間での差異がでないことから、不公平感が発生する可能性がある。
- 森林整備と森林保全の違いについて、コカ・コーラ社は流出低減率で違いを設定している。森林保全の低減率がより大きい。

森林整備の流出低減率： $\Delta K = 0.05$

森林保全の流出低減率： $\Delta K = 0.10$

2.6.2 簡易指標の構成について

2.1 でみたように、簡易評価手法の1つとして、既に国内企業や自治体で『涵養定数（低減率）』を使う方法が実践されている。しかし、全国で広く利用してもらうために『涵養定数（低減率）』の数値根拠をどう採るか、そして、数値を設定する構成要因をどう選定するか、という部分は容易でない。

2.2 から 2.3 で、涵養量評価に関する世界の動向を調べた。水循環、流域環境を意識した企業活動を促すために、世界では VWB、VWBA という評価の枠組みが広く普及している。日本コカ・コーラ社にヒアリングを行った結果、日本のグローバル企業が涵養量を発信する場合、VWB 等の世界基準に則らないと発信内容を受け取ってもらえないこともわかった。

VWB、VWBA という世界資源機構が策定した水に関連するグローバルな指標が存在し、コカ・コーラやサントリーといった海外展開する日本企業はこれらに準じた水保全活動の評価を既に始めている。国内で使われている涵養定数による評価方法は、VWB 指標の A-5：流出低減法と実質的に同じやり方である。こうした世界の動向や国内での動きを踏まえ、日本における涵養量評価指標を構築する上で、何らかの形で森林に関連する VWB 指標を取込む、若しくは VWB との関連性に触れられる（ユーザーに伝えられる）形式とすべきであろう。

具体的にどの VWB 指標をどういう形で取り込むかについては、2.6.1 の考察内容を踏まえ以下のように考える。

- カーブナンバー法を使う場合は、その効果量は直接流出の低減量であり、流域からでていく水量の減少量を評価している。
- カーブナンバー法では、土壌透水能と林床被覆率に応じた流出低減率が個別に設定される。森林に適用するに当たってはカーブナンバー法と流出低減法は、実質的に同じものといって良い。
- カーブナンバー法では式中に存在する雨量の違いも反映される。雨量、土壌透水能、被覆率といった構成要因が自然に組み込まれている。
- 以上より簡易指標の策定にあたっては、VWB 指標の1つであるカーブナンバー法を日本向けにアレンジしていく方針がよいのではないかと考える。

以上の考察より、カーブナンバー法を日本向けにアレンジする、という基本方針とする。

さらに第1回委員会（2023.10.20）、第2回委員会（2024.2.5）の2回の委員会討議を経て、図 2.23 に示す3階建ての構成を想定する。

図 2.23 は本事業が目指す森林による水源涵養量の簡易評価手法の構成である。

- 1階：森林の存在を定性的に評価する。
- 2階：森林の存在を定量的に評価する。VWB 指標であるカーブナンバー法を活用。
- 3階：蒸発散、涵養量を水文学的方法で計算する。間伐等の施業効果を個別に評価する。

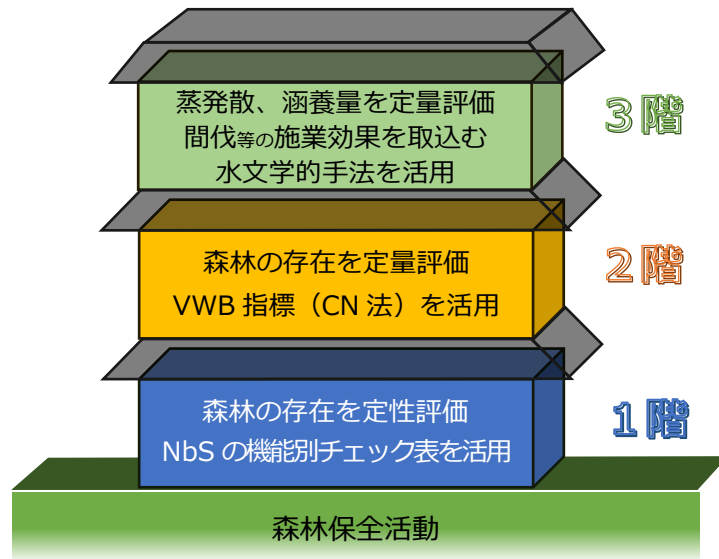


図 2.23 森林保全活動の簡易評価の構成

本事業がターゲットとする「涵養量の簡易評価手法」は定量的なものを意図しており、字義どおり及び、簡易さを考慮すると2階部分が簡易指標に相当する。ここでは2階の指標を補完する形で1階部分の簡易な定性評価を用意し、それに加えてより詳細な3階の定量評価部分を追加した形である。

1階部分は定量評価に至らない簡易な機能リストを作成する。森林活動に取り組み始めた企業や自治体が手軽に自らの活動を外向きに発信することを意図したものである。

3階部分は2階の定量評価をさらに掘り下げたもので、涵養量だけでなく、**VWB 指標** (の多く) では対象外とされる蒸発散量も水文学的手法により評価し、間伐等の森林整備から主伐等の施業内容まで踏込んだものとする。

1階、2階、3階、個別具体的内容を、以下説明する。

2.6.3 1階部分の評価－森林の存在そのもの・森林保全活動

表 2.21 は 2.3.3 文献7 (Benefit Accounting of Nature-Based Solutions for Watersheds、流域での NBS による利点) の掲載表を和訳したものである。

NBS (Nature-Based Solutions、自然ベースの解決策) がもたらす利点をリスト化したもので、自然全般を対象としていて必ずしも森林に限ったものではないが、表 2.21 に記載された利点の多くはそのまま森林保全・整備活動にも当てはめることができる。

なお、2.3.3 文献7で NBS の定義は『社会的課題に効果的かつ適応的に対処し、同時に人間の幸福と生物多様性の利益を提供する、自然または改変された生態系を保全し、持続可能な形で管理・復元するための活動』となっている。

前提として、1階部分の評価は森林の存在そのもの、森林が保全されることによる利点を見出しリスト化することであることから、表 2.21 に記載された利点の該当項目をピックアップすれ

ば良い。水量だけでなく、水質、炭素、生物多様性/環境、社会経済といったテーマ別の利点のうち、自らの森林保全活動が該当するものをチェック(✓)し、それらが森林保全または森林整備がもたらす効果とする。

表 2.21 流域での NBS 活動がもたらす利点
(2.3.3 の文献 7、Table 4 を和訳、右端列は独自追加)

テーマ	利点	該当例
水量	1. 表面流、表面侵食の低減/回避	✓
	2. 地表水貯留の改善/維持	✓
	3. 地下水涵養と貯留の改善/維持	✓
	4. 流況の改善/維持	✓
	5. 洪水防止、洪水軽減機能の改善/維持 (内陸及び沿岸)	✓
水質	6. 地表水の水質改善/維持	✓
	7. 地下水の水質改善/維持	—
炭素	8. 炭素隔離の改善/維持	—
	9. 二酸化炭素排出量の削減	✓
生物多様性 /環境	10. 陸上生息地の利用可能性と品質の改善/増加	✓
	11. 水生生息地の利用可能性と品質の改善/維持	—
	12. 陸上生息地の接続性の改善/維持	—
	13. 水生生息地の接続性の改善/維持	—
	14. 在来の花粉媒介者に対するサポート改善/維持	✓
	15. 自然による害虫駆除の改善/維持	✓
	16. 在来植物種の豊富さと多様性の増加/維持	✓
17. 在来動物種の豊富さと多様性の増加/維持	✓	
社会経済	18. 気候適応と緩和の改善/維持	✓
	19. 生計機会の改善/維持	—
	20. 人間の健康改善/維持	✓
	21. 農業/農業生産高の改善/維持	—
	22. 宗教的/精神的な環境の拡大/維持	—
	23. 微気候規制の強化/維持	✓
	24. 教育・科学学習機会の改善/維持	✓
	25. 食料安全性の向上/維持	—
	26. レクリエーション/観光機会の改善/維持	✓
	27. 不動産/土地価格の増加/維持	—

2.6.4 2階部分の評価—森林の水源涵養機能を定量評価・VWB 指標の活用

表 2.21 の利点 1～5 に関連するアクティビティとその計算方法 (VWB) を表 2.22 に示す。

表 2.22 のうち 1 行目と 2 行目、土地の保全 (森林・草原)、土地の修復・管理の 2 項目は、森林保全・整備がもたらす効果とみなせる。VWB 指標としては、流況調整と流出低減に該当し、対応する計算手法は A-1:カーブナンバー法である。

これらはもちろんカーブナンバー法で計算できるが、内容としては流出低減を評価したものであり、A-5:流出低減法でも計算することができる。

A-1:カーブナンバー法、または A-5:流出低減法を使った算定例を表 2.23 に、またカーブナンバー法による具体的な計算数値を表 2.24、表 2.25、表 2.26 に示す。

表 2.22 水量に関わる利点とアクティビティ、計算方法 (2.3.3 文献7、Table 5 を和訳)

利点 (表 2.21 より)	アクティビティ	事例	VWB 指標	計算方法
1. 表面流、表面侵食の低減/回避	土地の保全 (森林・草原)	土地変更の抑制	流況調整	A-1:カーブナンバー法
	土地の修復・管理	在来植生の導入・復元	流出低減	A-1:カーブナンバー法
5. 洪水防止、洪水軽減機能の改善/維持	農業経営	農業 NBS (例:被覆性作物等による植生バッファ)	流出低減	A-1:カーブナンバー法
2. 地表水貯留の改善/維持	湿地の造成 (人工的または自然誘導)	水質改善システムの構築 湿地浄化や雨水処理浄化	水質改善量	A-6:水質改善法
	都市緑地造成、湿地造成	雨水貯留 (調整池、レインガーデン等)	集水量	A-5:集水量法
	土地、湿地の修復	侵入種の除去、攻撃的在来種の除去	蒸発散量の減少	A-2:取水法 or 消費法
3. 地下水涵養と貯留の改善/維持	湿地の保全	湿地変更の抑制	涵養量の維持	A-7:涵養法
	都市緑地創出 農業創出	雨水による帯水層涵養	涵養量の増加	A-4:集水・浸透法 A-7:涵養法
4. 流況の改善/維持	河川再生	河川資源の保全・抑制	取水量、消費量の抑制	A-2:取水法 or 消費法
	川、湿地、湖、マングローブ、河口の修復	流路内の障害物除去	流況改善	A-8:ハイドログラフ法
	土地、湿地の回復	侵入種の除去、攻撃的在来種の除去	蒸発散量の減少	A-2:取水法 or 消費法
5. 洪水防止、洪水軽減機能の改善/維持	湿地、川、湖の修復と管理	水文的接続の再構築 氾濫原、湿地への導水等	集水・浸透量の増加	A-4:集水・浸透法

表 2.23 森林の VWB 計算方法の例示

A-1:カーブナンバー法						A-5:流出低減法																																					
<p>●森林のカーブナンバーの設定方法を提示する。 例えば 2.3.3 文献 10 から作成した表 2.11。</p> <p>表 2.11 土地被覆と土壌分類 (HSG) から設定するカーブナンバー (文献 10 Table 9-1 を部分改)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">植生</th> <th rowspan="2">林床被覆状況</th> <th colspan="4">土壌分類(HSG, Hydrologic Soil Group)</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">森林</td> <td>一部</td> <td>45</td> <td>66</td> <td>77</td> <td>83</td> </tr> <tr> <td>概ね</td> <td>36</td> <td>60</td> <td>73</td> <td>79</td> </tr> <tr> <td>全体</td> <td>30</td> <td>55</td> <td>70</td> <td>77</td> </tr> </tbody> </table> <p>一部: 林床に落葉落枝がない部分が林床面積の半分以上 概ね: 林床面積の半分以上が落葉落枝に覆われている 全体: 林床全体が落葉落枝に覆われている</p> <p>●森林が伐採され、裸地化したときのカーブナンバー CN の設定法を提示する。下記は文献 10 より抜粋</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>裸地の CN</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>77</td> <td>86</td> <td>91</td> <td>94</td> </tr> </tbody> </table> <p>●森林ありの CN (例 30)、裸地の CN (例 77) それぞれの流量 Q を(1)式で計算し、その流量差[mm or m³]を森林による調整量とする。</p>						植生	林床被覆状況	土壌分類(HSG, Hydrologic Soil Group)				A	B	C	D	森林	一部	45	66	77	83	概ね	36	60	73	79	全体	30	55	70	77	裸地の CN	A	B	C	D		77	86	91	94	<p>●森林のあり/なしによる流出低減率ΔKを提示する。 流出低減率 0.05~0.10 程度を想定。 数値根拠をどこから採るかは今後の対応とする。</p> <p>●年間降水量 P [mm]に流出低減率ΔKを乗じて、年間流出低減水量ΔQ [mm]が算定される。ΔQに流域面積を乗じて、流出低減水量ΔQ [m³]を算出する。</p> <p>●年間流出低減水量ΔQ [m³]を、森林が存在することによる水量効果とする。</p> <p>基本的にコカ・コーラの算定法と同じとなる。 計算例としては、3.1.1. (p.48) を参照。</p>	
植生	林床被覆状況	土壌分類(HSG, Hydrologic Soil Group)																																									
		A	B	C	D																																						
森林	一部	45	66	77	83																																						
	概ね	36	60	73	79																																						
	全体	30	55	70	77																																						
裸地の CN	A	B	C	D																																							
	77	86	91	94																																							
$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \dots(1) \quad \text{ただし、} P \geq 0.2S$ $S = \frac{25400}{CN} - 254Q: \text{累積流量[mm]、} P: \text{累積降水量[mm]}$ <p style="text-align: right;">S:最大貯留量[mm]</p>																																											

表 2.24 A-1:カーブナンバー法による裸地→森林転換時の流量低減 (年雨量 1500mm)

植生	林床被覆状況	カーブナンバー CN				年雨量 1500 mm に対する流量 Q [mm]			
		A	B	C	D	A	B	C	D
裸地		77	86	91	94	1413	1451	1470	1481
森林	一部	45	66	77	83	1183	1354	1413	1439
	概ね	36	60	73	79	1068	1314	1393	1422
	全体	30	55	70	77	967	1277	1377	1413
$Q_{裸地} - Q_{森林}$		流量低減率				裸地からの流量低減 [mm]			
VWB 試算	一部	16%	7%	4%	3%	230	97	57	42
	概ね	24%	9%	5%	4%	345	137	77	59
	全体	32%	12%	6%	5%	446	174	93	68

土壌分類 **A, B, C, D** については、表 2.12 (p.40) を参照
 一部：林床に落葉落枝がない部分が林床面積の半分以上
 概ね：林床面積の半分以上が落葉落枝に覆われている
 全体：林床全体が落葉落枝に覆われている

表 2.25 A-1:カーブナンバー法による裸地→森林転換時の流量低減 (年雨量 2000mm)

植生	林床被覆状況	カーブナンバー CN				年雨量 2000 mm に対する流量 Q [mm]			
		A	B	C	D	A	B	C	D
裸地		表 2.24 と同じ				1912	1951	1970	1981
森林	一部	表 2.24 と同じ				1670	1851	1912	1939
	概ね					1544	1810	1892	1921
	全体					1431	1771	1875	1912
$Q_{裸地} - Q_{森林}$		流量低減率				裸地からの流量低減 [mm]			
VWB 試算	一部	13%	5%	3%	2%	242	100	58	42
	概ね	19%	7%	4%	3%	368	141	78	60
	全体	25%	9%	5%	3%	481	180	95	69

表 2.26 A-1:カーブナンバー法による裸地→森林転換時の流量低減 (年雨量 2500mm)

植生	林床被覆状況	カーブナンバー CN				年雨量 2500 mm に対する流量 Q [mm]			
		A	B	C	D	A	B	C	D
裸地		表 2.24 と同じ				2411	2451	2470	2481
森林	一部	表 2.24 と同じ				2163	2350	2411	2439
	概ね					2029	2308	2391	2421
	全体					1907	2267	2374	2411
$Q_{裸地} - Q_{森林}$		流量低減率				裸地からの流量低減 [mm]			
VWB 試算	一部	10%	4%	2%	2%	248	101	59	42
	概ね	16%	6%	3%	2%	382	143	79	60
	全体	21%	8%	4%	3%	504	184	96	70

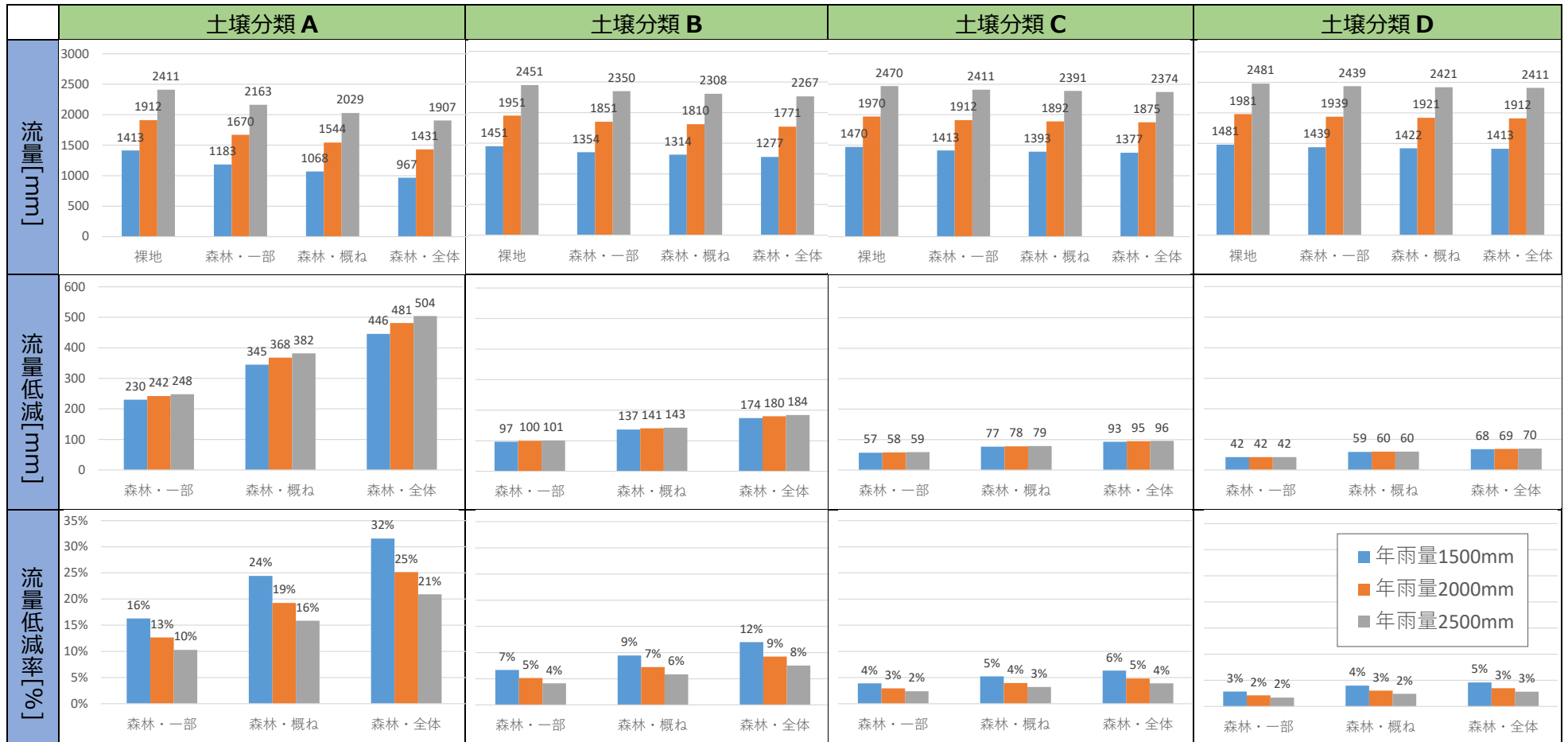


図 2.24 A-1:カーブナンバー法による裸地→森林転換時の流量低減 (表 2.24～表 2.26 の図化)

なお、林床被覆に関する以下の記述は、原典文献の林床被覆に関する記述をやや意識している。

一部：林床に落葉落枝がない部分が林床面積の半分以上

概ね：林床面積の半分以上が落葉落枝に覆われている

全体：林床全体が落葉落枝に覆われている

2.3.3 の文献 10 Table 9-1 での林床被覆に関する原典記述

Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed, but not burned, and some forest litter covers the soil.

Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

(graze: 放牧、brush: 低木、叢林)

2.6.5 3階部分の評価－水文学的な方法で蒸発散、涵養量を計算

3階部分は2024.2.5の第2回委員会において、五味委員長から提案があった内容である。委員会で五味委員長から、蒸発散量を評価する定量化の方法については、「我々水文学専門家の中にすでにイメージがあります」という発言があり、その場で篠原委員もそれに同意する旨の意志表明があった。

その後、篠原委員から事務局あてに提示頂いたイメージ骨子を以下に記載する。

■参考論文

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

篠原委員の提案は、上記の参考論文 Komatsu (2020) の論文内容に基づき、気象データ（降水量、気温、湿度、日射量）から、蒸発散量を推定するアプローチである。

間伐や主伐等により森林の状態に変化が生じた際に、

- 遮断蒸発の変化量は、立木密度の変化量から算出される。
- 蒸散の変化量は、辺材面積の変化量から算出される。
- 辺材面積は、胸高直径と立木密度から得られる。
- 以上より立木密度と胸高直径の変化を追跡すれば、蒸発散の変化量（＝水資源の変化量）を算出することが可能。

2/5の委員会開催後に、森林総研で玉井委員（2/5欠席）との打合せを行い、玉井委員からは篠原委員の提案内容について同意する旨のコメントを頂いた。

また、五味委員長からは、次年度（令和6年度）に水文を専門とする委員で、3階部分のアウトラインを作成する旨の発言を頂いており、3階の技術的な組立てに関しては、令和6年度に先生方に策定頂く方針である。

事務局では、先生方に策定頂く3階部分の内容を理解・把握し、対象地の選定、データ収集等を令和6年度に担当する見込みである。

Komatsu (2020) の論文全体は資料編に掲載した。

2.7 カーブナンバー法について

2.7の要点

●カーブナンバー法の生い立ち

- ・1954年に米の公法 83-566として策定された。米の土壤保全局（SCS）が開発。その後、米森林局が承認し、森林でも使われるように。
- ・60～70年代に都市部など多様な土地利用でも使われるようになる。

●カーブナンバー法の日本向けアレンジ

- ・アメリカ版のカーブナンバー割当表を日本向けに再構築する。
- ・日本の流出データを収集し、表中に割り当ててカーブナンバーを決定していく。
- ・浸透能（横軸）や被覆率（縦軸）といった構成要因は完全に踏襲するのではなく、地質別の浸透能を縦軸とするなど柔軟に設定する。

●カーブナンバー法に対する否定的な指摘

- ・アメリカの水文専門家がカーブナンバー法のデメリットを指摘している。
- ・これまでアメリカで永く広く使われているが、特に適用対象として不適切なケースでは過大設計をもたらすムダな事業費の温床となっているというもの。
- ・簡易指標にあっては精度を犠牲にする側面があり、これをもって不採用とはしない。適用対象を明示しつつ慎重に取り組んでいく。

2.7.1 カーブナンバー法の土壤分類について

SCS（合衆国土壤保全局）の土壤分類 A~D の詳細は 40 ページの表 2.11 に示した。

分類 A~D は、地下水面までの深度、飽和透水係数、不透水層深度を決める必要があり、あまり簡易とはいえない。基本的にこれらは地盤や土壤の浸透能を評価した係数であり、地盤の浸透しやすさを反映したものであれば、他の指標としても問題はないだろう。

例ではあるが、治山分野で従来利用されている治山技術基準・総則編（H21）、p.73 の表-19、遅滞係数を代替として使うのも一案である。

治山技術基準の遅滞係数は地目（地被状態）による区分が採用されている。

カーブナンバー法を利用するに当たっては浸透能の違いが反映されることを念頭に、区分項目は透水係数といった個別項目に拘らず、日本の土壤を4段階に区分することを念頭に項目を再構築してもよい、と考える。

洪水到達時間 (t) = 流入時間 (t₁) + 流下時間 (t₂)

1 流入時間 (t₁)

流入時間は、流路に達するまでの斜面の形状や面積の大小、地表面、勾配、地被状態、流下距離、降雨強度など多くの要素に支配される。治山事業の計画、設計には、経験的な値か次のカーベイ式で求めた値を用いる。

$$t_1 = (2/3 \times 3.28 \times L_1 \times nd / \sqrt{S})^{0.467} \dots\dots\dots (7.5.2)$$

t₁ : 山腹流下時間 (min)

3.28 : メートルをフィートに換算する係数

L₁ : 流域内最遠点から流路に到達するまでの距離 (m)

S : 平均勾配 (S = H / L₁)

H : 標高差 (m)

nd : 遅滞係数 (表-19参考)

表-19 遅滞係数 (nd)

地 被 状 態	nd	
不透水面	0.02) 分類 D
よく締まった裸地 (なめらか)	0.10	
裸地 (普通の粗さ)	0.20) 分類 C
疎草地及び耕地	0.20	
牧草地または普通の草地	0.40	— 分類 B
森林 (落葉林)	0.60) 分類 A
森林 (落葉林、落葉等堆積地)	0.80	
森林 (針葉樹林)	0.80	
密 草 地	0.80	

図 2.25 治山技術基準解説に掲載されている遅滞係数—流域の地被状態等を反映した係数

2.7.2 カーブナンバー法の日本向けアレンジについて

カーブナンバー法を日本向けにアレンジしていくときの考え方を整理した。

- 国内文献の各種流域データを収集し、ベースとなるアメリカ版のカーブナンバー表に割り当て、具体的な日本版のカーブナンバー（数値）を決定していくイメージである。
- 縦軸要因（アメリカ版では地被状態の違いを反映）をどう仮定するか。日本では地被はほぼ植生で覆われており、地被レベルでの区分は不適當と思われる。
- 縦軸に樹種、樹齡、林分密度等、森林状態を反映させた要因とすることで、森林評価に適するカーブナンバーとなるのではないか。
- 横軸要因はアメリカ版では浸透能の違いを反映した土壌分類だが、日本版ではおもに地質による浸透能の違いをベースとするとよいのではないか。
- 裸地のデータサイトが十分に得られるかどうか（不安要素）。
- 森林整備による効果（除伐、間伐、本数調整伐等）をカーブナンバーに反映させることは難しい。伐採等の評価は3階部分の評価で行うものとする。

アメリカ	土壌分類	A	B	C	D
林床被覆の状態	日本向けの新たな分類	地質・土壌特性等による分類			
	Poor	45 流域 E	66 流域 C	77	83 流域 H
	Fair	36 流域 D	60	73 流域 B	79
	Good	30 流域 A	55 流域 F	70 流域 I	77 流域 G
Bare Soil	裸地	77 サイト J	86	91	94 サイト K

図 2.26 カーブナンバー法を日本向けにアレンジする場合の作業イメージ

2.7.3 カーブナンバー法に否定的なアメリカの水文専門家の意見

アメリカでは長くカーブナンバー法が実務で利用されてきている。長く広く使われているために、その弊害を指摘する専門家もいる。

瀬田委員より紹介いただいた、下記資料（2010年）の内容概略を記す。

■資料名

Severe Limitations of the SCS Curve Number Relationship Between Rainfall and Forest Runoff: Small, Mountainous, Forested Watersheds in the Eastern United States

カーブナンバー法の厳しい制約：アメリカ東部の森林流域で降雨量を流量に変換するにあたって

Steven C. McCutcheon, Ph.D., P.E. D.WRE and Negussie Tedela, Ph.D.
The University of Georgia
April 30, 2010

■カーブナンバー法の歴史

- 1954年に公法 83-566 として策定
→農地及び牧草地等で利用する暫定的な手法であったはず。査読もされていない。
→森林局が承認し、森林でも使われる
- 1963年にエンジニアリングハンドブックに掲載される
- 1972年に都市での土地利用にも使われ始める
- SCS と NRCS の技術者から限界の指摘はあったが、ほとんど無視された。
SCS : Soil Conservation Service (土壌保全局)
NRCS : Natural Resources Conservation Service (自然資源保全局)
- 広く使われ、かつ誤用されている手法。年間最大 20 億ドルほどの過剰設計である可能性がある。

■著者らの訴えること

○現状の認識

- カーブナンバー法は洪水流出の推定法として、広く使用されている。
- ただし、制約が十分に理解されておらず、多くの誤解、誤用が生じている。
- カーブナンバー法の実際の精度、誤差について定まったものがない。

○森林流域で利用するには

- カーブナンバーを決定する手順の精度を検証すべき。
- カーブナンバー法を使って流量を計算する際の適用性を検証すべき。
- これまでとは異なるカーブナンバーの決定方法を使うべき。

■カーブナンバー法の制約

○理論の組み立てについて

- 降雨量から標準的な流量またはおよその流量に変換する。
- 推定するのはピーク流量ではなく流出水の総量。
- 浸透能や浸透速度の予測には適用できない。
- 融雪には適用不可である。
- 表で提示されるカーブナンバーは2年確率洪水に相当する。実際の設計は10年、25年、50年、100年であり相違する。
- 根拠資料の不足、それゆえに降雨を流量に変換する理論の分析ができない。
※訳注：式形の導出過程がわからない、説明できない、という意味
- 50年間利用されているが、いまだ手順に疑念が残る。また、簡略化された方法であっても基本的な部分及び理論的な問題を内包する。
- 先行降雨による土壌水分が先行流量を形成するが、2001年にこの考えが廃止された。
- 流量が13mm未満の場合、不正確となる。
- カーブナンバーが40未満では使用できない。カーブナンバーの実用的な適用範囲は40～98。
- 初期貯留量 $I_a=0.2S$ が成立しない場合は、あらたなカーブナンバーを構築しなければならない。
- 流域面積の上限設定がなく、技術的に確立もできない。
- 森林流域に適用する場合の公式な方法が確立されていない。

○カーブナンバーの推定とそれに利用しているデータについて

- 表で提示されているカーブナンバーの数値に疑義がある。
- 数式とその係数、パラメータ導出に使用されたデータに一貫性がない。
- パラメータ導出におけるデータの不一致と、表で提示されるカーブナンバーの品質を定義できないので偏りがある。
- 統計的な独立性と参考にしたデータ期間が十分かどうか疑問が残る。
- 初期貯留量 I_a は、非常に変動的かつ不確定なパラメータである。

○水文学の力学に背く

- 洪水のピーク形成に関しては降水強度、ハイエトグラフやその変動の仕方が強く影響するが、そうならない。
- 融雪について、降雪量→累積流量（または累積流出高）の式が提案されている。
※訳注：そんなことあり得ないだろう、という意と思われる。
- 浸透能を評価しない。カーブナンバー法で地下水（流域貯留量）は評価項目の一つだが、地下水涵養や蒸発散等の要素が評価されているわけではない。
- 長期にわたる蒸発散損失が評価されない。

■ 著者らが 10 の森林流域のデータで検証した結果

- 毎年の流出推定が必要
 - ・流域応答は年により変わるため、1つのカーブナンバーが適用できる期間は限られる。
 - ・次の場合はカーブナンバーの見直し・再調整をする必要がある。
 - ・ 森林の成長期及び休眠期を区分し、それに合わせたカーブナンバーの調整
 - ・ 森林の伐採前・後でのカーブナンバーの調整
- 個別の検証をせずにカーブナンバーを設計に使うことには問題がある可能性。
- その不確実性は合理式と同等レベルといえる。
- NRCS はカーブナンバー法を政策決定や規制判断等に使うことを推奨しない。
- 森林流域の流出予測には推奨されない。
- カーブナンバー法の不確実性と限界にどう対処するかについては、大学で検証を進めるとともに、教育訓練を進めていく。
- カーブナンバー法に替わる簡素なアプローチが必要である。

■ (著者らが考える) 今後どうすべきか

- 変動飽和域概念 (variable saturated concept) またはその他の適切な水文学の基本原則に基づき、流れ方程式を再導出する。
- カーブナンバーに替わる簡素化された手法を最新の GIS 及びリモートセンシング手法に適応させる。
- ピアレビューと科学的根拠の確立
- NRCS 及び ASCE と協力し、適用可能性の検証と最新の実践的な手法を確立する。

McCutcheon らが作成した資料の全体は、資料編に掲載した。

■ カーブナンバー法の否定的な指摘に対する考え方

McCutcheon らが作成した資料巻末の付録には、TOPMODEL (分布型水文モデル) を使った流出シミュレーションの例が紹介されている。McCutcheon らが今後すべきことに書いてある「流れ方程式を再構築」した場合、今度はその方程式を解くこととなる。水文学的には正しいアプローチであり、科学の進展という意味ではよいが、その見地で突き詰めると (サントリー社が採用する) 分布型水文モデルの採用に行き着く。もっとも複雑な評価手法であり、簡易からは遠ざかってしまう。

McCutcheon らがカーブナンバー法に対し指摘する内容は概ねそのとおりといえるが、簡易法は精度を犠牲とするから簡易なのであり、受け入れざるを得ない部分と考える。カーブナンバー法は、流出低減率だけを設定する流出低減法ほど簡易ではなく、土壌浸透能と被覆率の2つのパラメータに基づく算定となっていて、ほどほどの簡易な手法といえるのではないか。

これらの指摘を持って、カーブナンバー法を不採用とはしない。カーブナンバー法の適用が不適切となる事例もあると考えられることから、適用範囲を明示できるよう整理しつつ、慎重に取り扱うものとする。

3. 水源涵養量の簡易評価手法の普及方法の検討

(仕様書)

上記(1)で提案した評価手法が自治体の担当者等により広く活用されることで、企業等が積極的に森林管理の取組に関わりやすくするため、以下ア～イを実施する。なお、実施に当たっては、本年度に実施した検討結果を踏まえた上で、上記(1)で提案された森林による水源涵養量の簡易評価手法の解説書(本体・概要版)作成(次年度(令和6年度)の実施を想定)に繋がるよう整理することに留意すること。

- ア これまで自治体と企業等の連携により実施された森林管理の取組事例について、文献調査及びヒアリングを行い、自治体と企業等の連携により森林管理に関わることが容易となった仕組みや要因等について分析・検討を行う。
- イ 上記アの結果等を踏まえ、森林による水源涵養量の簡易評価手法の効果的な普及方法について検討し提案を行う。

第3章の要点

- **企業等による森林管理への関わり事例の収集・分析**
 - ・ 各都道府県に「企業の森づくり」サポート制度あり。CO₂認証制度も活用されている。
 - ・ 参画動機は社会貢献活動など対外アピール目的が多い。
- **企業等が森林管理に参画することが容易となる仕組み**
 - ・ 自治体制度の充実、経営層に対するPR、参画できる選択肢が多いこと
 - ・ わかりやすく、他者(消費者など)に発信しやすいこと
 - ・ 人材育成や鹿対策等に活用できる基金制度があれば、出資する企業も
- **企業・自治体等が求める簡易評価手法**
 - ・ 簡便で、一定程度以上の科学性が担保され、投資家などへの説明が可能なもの
 - ・ 先行する世界的なフレームワークと乖離しないこと(VWBなど)
- **効果的な普及方法**
 - ・ 都道府県の「企業の森づくり」サポート制度等の中で扱えること。
 - ・ 簡易であること
 - ・ 表彰制度とセットにすること(森林×脱炭素チャレンジなど)

3.1 仕組みや要因等の分析・検討

3.1.1 企業等による森林管理への関わり事例

企業等による森林管理は、国有林において1992年に「法人の森林」制度が創設されるなど古くから実施されており、特に2000年代に入り地球温暖化防止対策の重要性が認識される中で、都道府県を主体とした「企業の森づくり」サポート制度の充実が図られ「企業の社規的責任(CSR)」概念の浸透とともに拡大してきた。

都道府県が実施する「企業等の森林管理に携わる支援制度」は、ほぼ全国的に整備されており、支援内容は若干異なる特色を持つものの、表 3.1 に示すとおり①企業等の直接的な森林整備(イベント程度も含む)、②都道府県の森林整備事業に対する資金提供(基金等)、③都道府県独自の評価制度、④CO₂ 認証制度(主に林野庁計算方式による認証)の大きく4つに区分される(表 3.1 は各都道府県の HP で公表された内容を基に整理)。一方で、市町村レベルでは、森林基本計画などの中で企業等と連携することが謳われることは多いが、実際独自で企業等と積極的に連携している事例は少なく(小規模なものは存在する)、林業事業体や森林組合との具体的な森林整備の取組みが主となっている。

表 3.1 各都道府県で企業等が森林整備にかかわる制度の内訳
(都道府県が公開するウェブページの情報を基に受注者調べ)

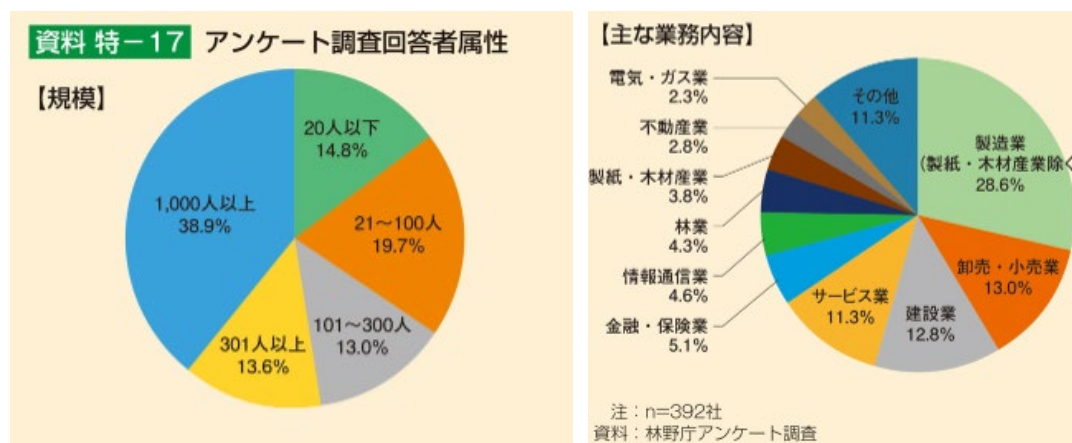
都道府県	森づくり活動	資金提供	評価制度	CO ₂ 認証制度	都道府県	森づくり活動	資金提供	評価制度	CO ₂ 認証制度
北海道	○				滋賀県	○			○
青森県	○		○		京都府	○			○
岩手県	○	○		○	大阪府	○			○
宮城県	○	○			兵庫県	○			
秋田県	○			○	奈良県	○			
山形県	○			○	和歌山県	○			○
福島県	○				鳥取県	○			○
茨城県	○				島根県	○			○
栃木県	○				岡山県	○	○		○
群馬県	○				広島県	○	○		
埼玉県	○			○	山口県				
千葉県	○				徳島県	○			○
東京都	△	○	○		香川県	○			
神奈川県	○	○		○	愛媛県	○			○
新潟県	○		○		高知県	○	○		○
富山県	○				福岡県	○			
石川県	○			○	佐賀県	○			
福井県	○				長崎県	○			
山梨県	○			○	熊本県	○			○
長野県	○	○			大分県	○			
岐阜県	○	○		○	宮崎県	○			○
静岡県	○			○	鹿児島県	○			
愛知県	○				沖縄県	○			○
三重県	○								

都道府県が実施する「①企業等の直接的な森林整備」の具体的な支援内容は、都道府県により様々なシステムが準備されており、企業が希望する内容を優先的に実施する形をとる場合や、都道府県が実施している森林整備事業の中の一部として組込む場合、都道府県ではなく市町村の森林整備事業の中(企業等は市町村と協定を結び都道府県はマッチング役)に組込む形などがある。また、参加登録の方法は様々であるが都道府県の HP 内で広報し、担当課に企業等が連絡(HP 上に申請書がある場合もあり)をおこなう形となる。

企業等が森林管理を行うモチベーションの一つとして、企業等の森林管理活動に対して都道府県が評価や認定をおこなう制度があるが、近年は CO₂の認証制度を取り扱っている都道府県が増加している。また、少数ではあるが入札制度に対する加点対象や独自の認証制度を設けている都道府県も存在するなど、企業等が森林管理に取組みやすい（意義が持ちやすい）制度が整えられている。特に CO₂の認証制度については、協定した面積に応じた認証、実際の整備面積に応じた認証、支援した資金に応じた認証など、認証の仕方には幅がみられる（資金提供の場合は、支援資金で整備できる森林面積に換算して認証）ものの、いずれもある程度簡易に企業等が実施している森林管理活動を評価できるよう工夫されている（多くは、林野庁が公表している『民間企業の活動による二酸化炭素吸収・固定量の「見える化」実証事業』に基づく計算方法を活用している事例が多い）。いずれの都道府県においても当該活動に参画している企業等名は公表されるなど、対外的にアピールできる体制が整備されている。

3.1.2 企業等による森林管理へのかかわり

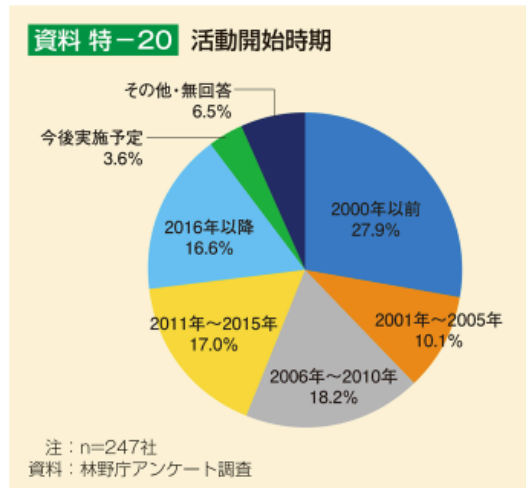
令和元年度 森林・林業白書では、特集 第3節で「企業等が森林にかかわる意向・活動調査」が取り上げられており、国内企業を対象とした Web アンケートにおいて図 3.1 に示すとおり幅広い規模・業種の企業から 392 社もの回答を得られている。このことから、少なくとも全国で約 400 社程度の企業等が、都道府県が整備した制度等をとおして森林整備活動に取り組んでいると考えられる。



(出典：https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo_h/all/tokusyu3.html)

図 3.1 アンケート調査回答者（国内企業）属性（令和元年度 森林・林業白書）

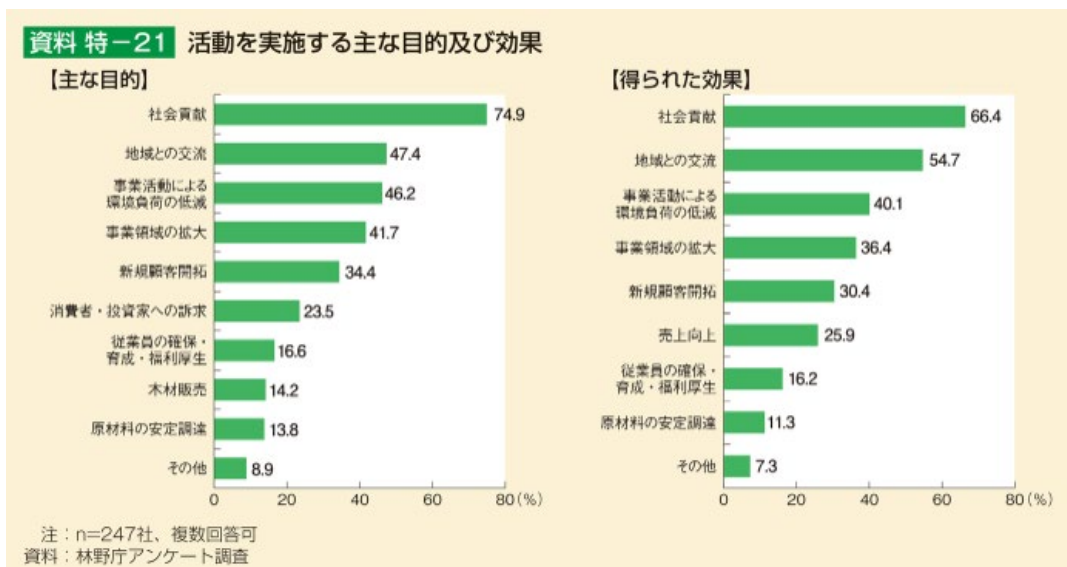
企業が森林管理にかかわる活動を開始した時期を問う設問では、図 3.2 に示すとおり 2000 年代に入ってから活動を開始した企業が約 6 割を超えており、近年、徐々に増加傾向にあることが分かる。



(出典：https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo_h/all/tokusyu3.html)

図 3.2 企業 (n=247 社) の森林活動開始時期 (令和元年度 森林・林業白書)

また、企業が森林活動に期待する効果 (主な目的) としては、社会貢献が圧倒的に多く、次いで地域との交流、事業活動による環境負荷の低減、事業領域の拡大などが続く。「環境負荷の低減」や「事業領域の拡大」、「新規顧客開拓」などが上位になる理由として、SDGs や ESG 投資の考え方が世の中の流れとして一般化してきたためと考えられ、近年は CSR 活動としてだけでなく、事業活動を通じて森林に貢献しようという企業が増えていることが示唆される。そのため、企業等による森林管理が消費者に対する訴求効果 (広告効果等) を期待できる (期待する) 社会環境が醸成されつつあると考えられる。

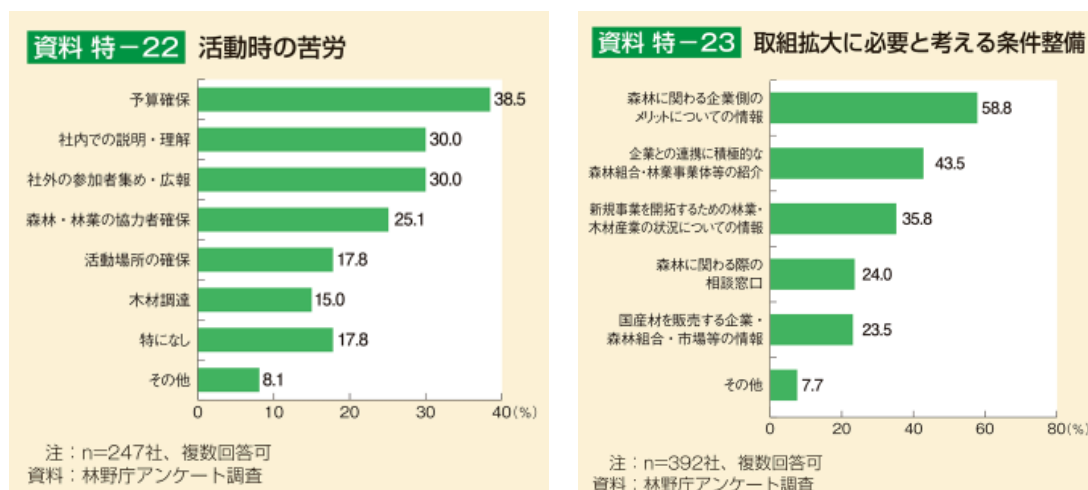


(出典：https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo_h/all/tokusyu3.html)

図 3.3 企業が活動を実施する主な目的と得られた効果 (令和元年度 森林・林業白書)

一方で、森林管理として実施されている活動としては直接的な森林整備はそれほど多く

なく、関連 NPO への支援・寄付や従業員研修、地域住民等に対するイベントなど様々である。活動時の苦勞としては「社内での説明・理解」が上位に入り、取組拡大に必要な条件としても「森林に関わる企業側のメリット」が挙げられるなど、企業が森林管理活動を継続するためには取組意義や具体的なメリットを提示することが求められている。



(出典：https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r1hakusyo_h/all/tokusyu3.html)

図 3.4 森林活動時の苦勞（左図）と取組拡大に必要な条件（右図）（令和元年度 森林・林業白書）

企業等に対する具体的なメリットとしては、認証制度など企業等が実施した森林管理活動が評価され、他者（ステークホルダー等）に対してある程度の精度をもって示せることが重要となる。そのためには、森林管理がもたらす具体的なメリット（多面的機能の向上）や TNFD、CDP（水セキュリティ）、ウォーター・ポジティブなど国際的な水に関する枠組みに追随するような制度や適切な森林管理による CO₂ 等の吸収量を「クレジット」として国が認証する J-クレジット制度のような制度の創設が求められる。

3.1.3 自治体へのヒアリング

企業等による森林活動への支援状況の詳細を把握するため、自治体に対しヒアリングを実施した。

(1) ヒアリング対象及び方法

表 3.2 に示す自治体にヒアリングを実施した。なおヒアリング先は、本業務の委員長である五味先生から先進的な活動をしている自治体等を紹介いただき選定した。地下水の活動が活発な熊本市にもヒアリングを行う予定であったが、事前調査において市町村レベルでの企業等と森林にかかわる具体的な活動が確認できなかったことから、本事業においては企業等が行う森林活動などの窓口となっている熊本県に対してヒアリングを行った。

表 3.2 自治体ヒアリング先

自治体名	ヒアリング担当者	ヒアリング日 実施方法
神奈川県	環境農政局緑政部 水源環境保全課 水源事業グループ 宮崎グループリーダー/黒田主事	12/18 対面
熊本県	農林水産部 森林局 森林保全課 みどり創造班 成松主幹（藤田審議員）	12/22 対面
豊田市	地域振興部下山支所 鈴木担当長	1/11 対面

(2) ヒアリング内容

自治体には、主に企業等への支援活動制度や内容、水源涵養量の評価への要望等についてヒアリングを行った。ヒアリング内容は、検討委員会の意見を聞き設問を作成した。自治体へのヒアリング設問は下記に示したとおりであり、この設問を基本に派生する内容について都度聞き取りを行う形で実施した。

●基本情報の確認

- ✓ 企業等への森林整備・管理活動を支援する担当する部署
- ✓ 自治体の森林行政、森林政策に対する企業等の位置づけ
- ✓ 管理（マッチング）している森林の所有形態（社有林、都道府県、国有林など）
- ✓ 森林整備・管理活動を実施する主体（企業等の団体関係者、森林組合やその他機関への委託など）

●企業等への支援活動について

- ✓ 企業等に対し森林整備・管理活動を支援するための法・制度整備
- ✓ 上記法・制度整備に至ったきっかけ
- ✓ 企業等の支援に取り組んでいる森林整備・管理活動の項目
 - 植栽・管理（下刈り、枝打ち、つる切り、除伐・間伐、病虫害防除、獣害対策）
 - 林内活動（レクリエーション等）
- ✓ 企業等へのマッチング方法（周知方法含む）
 - 地域・面積など
 - 目的・実施内容など
- ✓ 企業等への森林整備・管理活動を支援するうえでの苦勞
 - 周知段階
 - マッチング段階
 - 活動実施段階
 - その他
- ✓ 企業等の森林整備・管理活動を支援していく上でのポイント
- ✓ 企業等の森林整備・管理活動を支援に期待する効果（メリット）

●その他（水源涵養量評価）

- ✓ 企業等に対する森林の多面的機能への理解推進などの周知方法・活動内容（有無含め）

- ✓ 森林整備と森林の多面的機能に関する理解推進の苦労
- ✓ 企業が森林整備・管理活動にコミットしていくには、どのような環境づくり、施策、行政からの働きかけが有効だと感じるか
- ✓ 現在、国が水源涵養機能の簡易評価手法の策定に向けて動いていることについて、お考え・ご要望・ご懸念されること、どのような成果品であれば活用できると考えるか
- ✓ どのような評価手法であれば広く活用（普及）することができるかと考えるか

(3) ヒアリング結果

詳細なヒアリング結果については巻末に示すが、ここでは主な内容について以下に整理した。

企業等を支援する制度について（企業等が森林整備・管理活動へ関わるきっかけ）	
神奈川県	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「森林再生パートナー制度（H18）」により①企業等の森づくり活動、②ネーミングライツ森林の設定、③CO₂認定書の発行、④県HPでのPR、⑤<u>県が実施する森林整備等への寄付（300万円以上/5年間）</u>をセットとしてパートナー契約を実施 ✓ <u>資金提供が主で企業等の森林整備・管理活動は県指定の4つのフィールドに設定されたプログラムをイベント的に実施</u> ✓ <u>企業等は社会貢献活動が第一義であり、CO₂認定書だけのために実施する企業もある</u>
熊本県	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 「企業・法人等との協働の森づくりに関する指針（H20.12施行）」により、主に市町村が設定したフィールドに対し企業等が協定を締結し活動する制度を実施 ✓ <u>企業の意向により合致する市町村をマッチングし、企業等と市町村が実施内容をすり合わせ合意を踏まえ協定を結ぶ</u> ✓ 森林整備・管理活動は行わず資金提供のみの企業もあるなど、実施内容は様々 ✓ <u>企業等は社会貢献活動が第一義であり、CO₂認定書だけのために実施する企業もある</u>
豊田市	<ul style="list-style-type: none"> ✓ トヨタ自動車と「トヨタの森」として活動しているが、<u>特に制度などはない</u> ✓ 「トヨタの森」はトヨタ自動車の社会貢献活動の一部として企業側から積極的な働きかけがあったため実施している（簡単な森林教育とイベント的な森づくり活動） ✓ 豊田市は国の森林環境譲与税、県の独自税（環境税）、矢作川基金、水道水源保全基金などがあり<u>矢作川上流域の森林整備に対する基金制度は充実している</u> ✓ <u>そのため財源よりも具体的なマンパワー不足が問題で（地域の森林を所有者の意見を聞きながら計画するフォレスターやプロの林業事業者が圧倒的に不足）、人材確保・育成の基金を企業等の資金により積み立てられるとありがたいが、企業側としては魅力がないため困難（社会貢献活動や広報活動として直接的でなくインパクトが弱い）</u>
企業等が森林整備・管理活動にコミットしていくための施策など	
神奈川県	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>水源涵養機能や多面的機能等、森林が果たす役割をわかりやすく伝え、管理などの重要性を理解してもらうことが大切</u> ✓ <u>CO₂認証制度のようにわかりやすく効果を表現することが重要で、水資源に関</u>

	心を持つ企業等からは森林整備の効果を水量で出せないかと聞かれることもある
熊本県	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>企業等の経営層に森林整備・管理活動のような社会貢献活動があることを理解してもらおう（気づいてもらう）仕組みの施策が有効（経済雑誌などに広告している）</u> ✓<u>実際の企業等による活動をイベントで発表してもらおうなど、他企業が賛同しやすい環境づくりが必要</u> ✓<u>CO₂ 認証制度のような企業活動をわかりやすく評価する手法の構築が有効</u>
豊田市	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>財源よりもマンパワーが不足していることが、森林整備・管理活動が進まない原因であるため、人材確保・育成のための基金などの重要性を知ってもらいたい</u> <p>（県の独自税は人材育成に使えないが、2017 年から国の森林環境譲与税が「林政アドバイザー制度」で活用できるようになったことは大きな進歩）</p>
水源涵養機能の簡易評価手法への要望など	
神奈川県	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>国が水源涵養量の評価手法を公表してもらえれば企業等のモチベーションが上がる可能性がある</u> ✓<u>地質区分などを詳細に実施すると難しくなるため簡便なものが良いが、国が示した評価手法を県側で簡易なものに組み替えて運用することも可能</u> ✓<u>なるべくバックデータを必要としない簡便な手法が望ましく、簡易手法と合わせ興味のない人に HP などで水源林整備の重要性を理解してもらうことも重要</u>
熊本県	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>熊本県では TSMC 関連で半導体の工場が増えている中で水が足りるのかという議論があり、水を使う企業に森づくり活動に携わってもらいたいと考えているが評価手法が無く困っていたため、森林の水源涵養量を数値化できる成果はとても助かる</u> ✓<u>ただし、数値化に相当な労力がかかるようでは企業等も取り組めないため簡易な手法が望ましい（実際の算定は県が実施しても企業等が実施してもよい）</u> ✓<u>要素がたくさんあるため平均的な考え方にならざるを得ないと思うが、ある程度簡易でないと活用されないため、樹種や地質ごとの面積から算出されるような手法が良い</u> ✓<u>J-クレジットのように複雑で外部委託が必要な内容であれば取り組めないため、林野庁が公表している CO₂ 算定手法（樹種と齢級、面積で計算可能）のようなものが良い</u>
豊田市	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>水源涵養量は雨の降り方や地形地質により大きく異なるため、極めて「複雑系」であるが、企業が活用するためにはある程度簡易にすることが重要。ただし、あまり単純化しすぎると説得力がなくなるため使用されなくなる可能性もある</u> ✓<u>企業が活用するためには、簡易にしながらもローカルな雨の降り方や地形地質を入れ込むなど、ある程度科学性を担保した簡易式が必要（環境投資の評価などに活用されることを考えると科学的な担保は必要）</u> ✓<u>企業をひとくくりにせず、水資源を多く使用する企業と単純に環境貢献したい企業等の度合いに応じて 3 区分くらいに分けるのもよい（グループ分けの範囲などを示してもらえると企業も使いやすいのでは？）</u>

3.1.4 企業等へのヒアリング

実際に企業等がどのように森林活動へかかわりを持ち、どのような施策を実施しているかなどの詳細を把握するため、水資源にかかわる飲料メーカー等に対しヒアリングを実施した。

(1) ヒアリング対象及び方法

表 3.3 に示す企業にヒアリングを実施した。本業務の委員である、サントリーホールディングス株式会社の瀬田委員からは、住友林業も紹介されたが具体的な日程調整が困難であったため本業務におけるヒアリングは断念した。また、神奈川県より主要事業が森林と全く関係のない企業（中小企業）との仲介を頂く予定であったが、期日までに調整できなかったため、表 3.3 に示す企業に対するヒアリングのみとなった。

表 3.3 企業等ヒアリング先

企業名	ヒアリング担当者	水資源関係	ヒアリング日
サントリー	サステナビリティ経営推進本部 瀬田課長 サステナビリティ経営推進本部 サステナビリティ推進部 天然の森グループ 市田課長	○	12/17 対面
コカ・コーラ	広報・渉外サステナビリティ推進本部 サステナビリティ推進部 飯田部長 広報・渉外サステナビリティ推進本部 李シニアサステナビリティマネージャー	○	1/15 対面
中部電力	技術開発本部 電力技術研究所バイオグループ 津田様 技術開発本部 電力技術研究所機械グループ 中瀬様	△	2/9 Web 型式

(2) ヒアリング内容

企業等には、主に森林整備・管理活動の基礎情報、具体的な森林整備・管理活動の実施内容、活動によるメリットや苦勞・課題、企業等が森林整備・管理活動にコミットするための環境づくり、水源涵養機能評価手法に関するヒアリングを行った。ヒアリング内容については、検討委員会の意見を聞き設問を作成したが、飲料企業とその他の企業（中部電力）では一部設問を変更した。企業等へのヒアリング設問を下記に示すが、自治体同様、この設問を基本に派生する内容について都度聞き取りを行う形で実施した。

●基本情報の確認

- ✓ 森林や水資源を担当する部署
- ✓ 管理している森林の所有形態（社有林、都道府県、国有林など）
- ✓ 所有（若しくは管理）している森林面積（人工林・天然林・保安林）
- ✓ 所有（若しくは管理）している森林面積のうち、実際の森林整備・管理活動などをおこなっている面積

- ✓ 森林整備・管理活動を実施している主体（自社関係者、森林組合やその他機関への委託など）

●森林整備・管理活動について

- ✓ 森林整備・管理活動を開始したきっかけ
- ✓ 森林整備・管理活動をおこなう目的・方向性（木材生産、森林の多面的機能重視、経済性と保全の両面、CSR活動、広報、社員のレクリエーションなど）
- ✓ 森林整備・管理活動の指標及び目標値（面積、水源涵養量、独自指標など）
- ✓ どのような森林整備・管理活動を実施しているか
 - 植栽・管理（下刈り、枝打ち、つる切り、除伐・間伐、病虫害防除、獣害対策）
 - 林内活動（レクリエーション等）
- ✓ 森林整備・管理活動実施による効果（メリット）
 - 社内的効果（事業活動・経営への影響、社員への影響）
 - 社外的効果（CSR、CSVなど）
 - 意識している森林の多面的機能
- ✓ 森林整備・管理活動の計画立案方法
 - 時間的スケール（毎年計画、5年程度の中期計画、より長期の計画など）
 - 空間スケール（小林班、林班、流域など）
 - 計画立案者（自社担当部署、委託者へおまかせなど）

●実施上の苦労や問題点・課題など

- ✓ 森林整備・管理活動を進めるうえでの苦労
 - 企業内説明（理解）について
 - 森林整備・管理活動の活動運営について
- ✓ 森林整備・管理活動をうまく進めるためのポイント
- ✓ 森林整備・管理活動を進めるうえでの課題
- ✓ 森林整備・管理活動及びその効果等の対外的発信を実施するうえでの苦労、ポイント、課題など
- ✓ 企業が森林整備・管理活動にコミットしていくには、どのような環境づくり、施策、行政からの働きかけが有効だと思うか
- ✓ **どんな支援があると森林整備・管理活動が実施しやすくなるか**

●森林整備・管理活動評価（水源涵養関係）について

- ✓ 森林整備・管理活動の実施に対する評価にどのような指標を用いているか
- ✓ 水源涵養量の評価をおこなっているか
- ✓ 水源涵養量の評価をおこなっている場合、森林による涵養量の評価方法を伺うことはできるか
- ✓ 現在、国が水源涵養機能の簡易評価手法の策定に向けて動いていることについて、お考え・ご要望・ご懸念されること、どのような成果品であれば活用できると考えるか
- ✓ 独自の評価を実施している場合、林野庁の評価指標を使いたいと思うか
- ✓ 簡易評価手法として、量による評価で十分か？貨幣価値への換算などは必要と考える

か

- ✓ 水源涵養機能について重要視しているものがあるか（洪水抑制、濁水抑制、水質浄化など）

●その他

- ✓ 森林管理について疑問点などがある場合、何を指針としているか（若しくは誰に聞くか）（市町村、都道府県、国、公的研究機関、大学関係者など）
- ✓ 森林整備・管理活動で参考にしてしている情報を教えてください（web、書籍、論文など）
- ✓ 森林の水源涵養機能について疑問点などがある場合、何を指針としているか（若しくは誰に聞くか）
- ✓ 森林の水源涵養機能評価で御社が参考にしてしている情報を教えてください（web、書籍、論文など）
- ✓ 支障がない場合、上記の情報源を具体的に教えてください
- ✓ 森林の水源涵養機能評価において、必要となるデータとして思いつくものがあれば教えてください
- ✓ 次年度以降、本業務において検討委員会で活動されている現地を見学することは可能でしょうか

※上記イタリック表記は「水資源関連企業のみ」、青字は「水資源に直接関連しない企業のみ」のヒアリング内容である

(3) ヒアリング結果

詳細なヒアリング結果については巻末に示すが、ここでは主な内容について以下に整理した。

森林整備・管理活動の基礎情報	
サントリー	<ul style="list-style-type: none">✓ サステナビリティ推進本部がメインであり国内部門は推進部の中の天然水の森グループが担当（7～8名）✓ 社有林はほとんどなく、工場に関係する流域を対象とするため、国有林、県有林、ごく一部の私有林の所有者と森林整備の契約を締結し事業を実施✓ 2005年の『水と生きる』ブランディングから取組が開始され、2020年までの目標を達成（12,000haの森林をターゲット）したため、2030年に向け50%の工場で水還元率100%を掲げて取組中（涵養量評価を2030年までに還元量評価とする予定）✓ 全国各地の工場に関係する流域をほとんど網羅し、全国で22箇所、総面積12,000haにおいて活動を実施しているが、林業活動は約1割程度
コカ・コーラ	<ul style="list-style-type: none">✓ 日本コカ・コーラ社とボトラー社（全国で5社）がコカ・コーラシステムとして構成されるが、基本的に別会社で日本コカ・コーラ社もGlobal本社の支店の位置づけ✓ Global本社で示された目標値に対し、日本ではボトラー社を含めた活動を広報・渉外&サステナビリティ推進本部がとりまとめ報告（涵養量などの計算はテクニカル部門）✓ 社有林はなく、工場に関連する流域で目標を達成できる面積を有する自治体と協定を結び活動を実施

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>水源涵養量を目標値としており、それを確保できる森林整備・管理活動を実施</u> ✓ 全国の工場に関係する場所はほとんど網羅し、達成できていなかった多摩工場においても山梨県 丹波 山村と協定を交わしたため近い将来に 100%を達成できる見込み
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 所管により異なるが、環境グループ、再生可能エネルギーカンパニー、技術研究所が関わりながら進めている ✓ 拡大する予定はないが、木製の電柱確保などの理由から大正 14 年ごろから岐阜県大和町に内ヶ谷山林（約 1100ha）を保有 ✓ 所有森林は民間会社に森林経営計画から実際の施業まで委託
具体的な森林整備・管理活動の実施内容	
サントリー	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>協定した範囲に対し LiDAR を実施し、地表面地形及び植生情報を取得し、地形図・植生区分図などを基にサントリー独自の目的と所有者の目的を勘案したうえでゾーニングをおこない整備計画を立てる</u> ✓ <u>整備計画は流域単位で考えており、計画スパンも 10 年程度（長期的）の目標を立てたうえで、毎年^の管理活動を実施しており、サントリー独自の整備マニュアルにしたがい森林整備・管理活動を実施</u> ✓ 施業管理は住友林業に委託し、整備作業は主に森林組合に委託（作業確認は実施） ✓ 主伐や間伐した材は土場まで搬出し木材の販売益は所有者へ全額還元される仕組み ✓ 水育活動としては白州や南アルプス、阿蘇などで小学校 3 年生から 6 年生とその保護者を対象に夏休みの自然体験プログラム（森と水の学校）などを実施しているが、<u>安全面や所有者の関係から限定的に実施</u> ✓ <u>社員への意識浸透</u>のため全社員に対し森づくり作業の実施を推奨しており完了
コカ・コーラ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 森林整備計画はコンサルに委託し、コカ・コーラ社が必要とする涵養量、地域が課題としている内容の両方を満足する計画を策定しコカ・コーラ社がチェックをおこなう（チェックはアトランタ本社も実施し、妥当性について監査も入る） ✓ 森林整備作業は、年間計画に基づき森林組合や NPO に委託し、整備状況をコカ・コーラ社が確認（照査）をおこなっている ✓ 水源涵養量の達成が主な目的ではあるが近年は流域の健全性の向上も目指しているため湿地整備なども積極的に実施している ✓ <u>社員教育</u>として「森に学ぼう」プロジェクトを 20 か所で 1～2 回/年の保全活動（イベント）を実施
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自社所有の通常の森林管理に加え、近年はバイオマス発電所の燃料確保として所有地の木材を使う検討を始めており、その目的に応じた管理を実施している ✓ 「中電電力グループ環境基本方針」の中で『環境に配慮した行動が自発的にできる人材を育成し社会に貢献する』という項目があるため、「ちゅうでんフォレスター」育成事業、「ちゅうでんインタープリター」育成事業を 2005 年から実施し地域の森林管理で活躍できる人材育成をおこなっている（現時点で、フォレスターを 320 人、インタープリターを 171 人育成）
活動によるメリットや苦労・課題、うまく進めるためのポイント	
サントリー	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 座学だけでなく実際に体験することで理解が深まり『水と生きる』企業ブランディングの浸透に役立っている（自分の言葉で語れるメリット/エンゲージメント向上） ✓ 社外に対し CM 発信することで商品販売につながっている

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>関係者とのしっかりとしたコミュニケーションを密にとることがポイント</u> ✓ 他社も意識が高くなっており同質化していくため差別化をはかることに苦勞 ✓ 森林整備・管理活動としては鹿問題が最大の課題 ✓ 鹿の密度調整などはイメージの観点から一企業での実施は困難（狩猟のイメージ）なため、自治体などが窓口となり基金制度で狩猟をサポートする体制などが作られると解決の糸口となるのではと考えている
コカ・コーラ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 営業などで水の大切さを理解したうえで社業を進めていることを理解してもらいやすくなること（サントリーのように CM 等大々的には実施できていない） ✓ 会社のシステム上、統一的な動きがとりづらいため <u>目的を明確にしてコミュニケーションをとりながら進めることがポイント</u> ✓ <u>資金援助しても実際に作業できる人がいないこともあるため、バランスを確認しながら規模（年間計画）を検討している</u> ✓ 自社の目的でなく地域の課題に貢献しながら地域と一緒に進めることが重要 ✓ 水源涵養量の達成が一番の目的であるが、<u>涵養量を算定するための浸透率などが地域で異なるため文献などから引用するが、その正確性などの担保について苦勞している</u> ✓ アトランタ本社や監査法人から厳しいチェックが入るので、<u>適当な数値を使用するわけにはいかないが、全てのデータが揃っているわけではないため苦勞している</u>
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 人材育成をとおして社員の社会貢献に対する意識が向上している ✓ 社外の人を招いて体験活動を実施することや人材育成事業をとおして社外 PR をはかっているが、それほど周知されているわけではない（積極的な広報を考えてはいない） ✓ 森林活動や育成事業では安全管理に気を使っている
企業等が森林整備・管理活動にコミットするための環境づくり	
サントリー	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>自治体に企業の森などの制度があれば枠組みに沿って協定できるため実施しやすい</u> ✓ 鹿の問題で補助金の上乗せとして支援できるようなファンドの仕組みづくりなどがあれば <u>企業が協力金提供できるのでは鹿問題も解決しやすい</u>（流域だけでなく広域な問題であるため行政での枠組み作りが必要）
コカ・コーラ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <u>森林を保全することと水資源を守ることが消費者目線で合致していない部分があり、何のために森を守るのかを伝えるのが難しいため、その浸透が有効</u> ✓ <u>森林を守っていることがどのような役に立ったのかを目に見えて評価いただけるような仕組みがあるとありがたい</u>（例えば、脱炭素アワードの表彰など）
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 実際に森林管理を委託している民間業者からは、森林整備に対する補助金の拡充や基幹林道の整備などが必要ということをよく聞く ✓ 特に奥地の作業が大変となるため、補助金などを検討していただきたい
水資源涵養機能評価手法について（簡易評価手法への要望など）	
サントリー	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地圏環境テクノロジーの <u>GETFLOWS</u> を使用して涵養量を計算し、社内では涵養量を直接的な指標としている ✓ ただし、<u>公表方法としては面積</u>としている ✓ 結果として水源涵養量にフォーカスすることはあってよいが、基本思想として利用可能な水量（水質）の観点も重要であり、<u>VWB</u> などの思想を用いることが

	<p><u>よい</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ✓<u>水源涵養量は地形地質によりある程度決定するので、涵養量の全国のポテンシャルマップ（係数マップ）のようなものが整備されるとありがたい</u> ✓<u>2023.9 から TNFD が進みだし、投資家に評価される CDP の参加企業も欧米に次いで日本が多く、来年からウォーターとフォレストも含めワンパッケージになる動きに対し、国が基本マップのようなものを公表すれば、各企業が水源涵養を簡易に評価できるようになり森林整備・管理活動に企業が参画するきっかけになると考える</u> ✓<u>サントリーでは独自のシミュレーションを利用した涵養量の算定をおこなっているため国の簡易手法を活用するかわからないが、基本マップができればその係数の活用は考えたい</u>
ロカ・コーラ	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>Global 本社で全世界から集計された情報をレポートとして発信するため、グローバルスタンダードに基づく算出方法が必要であり、VWB で示されている流出低減法とカーブナンバー法を使用している</u> ✓<u>日本では主に流出低減法を活用しているが、カーブナンバー法を活用している国の方が多い</u> ✓<u>グローバルスキームの中で実施しているため、日本独自の考え方が出されると活用できない。グローバルスタンダードとかけ離れた評価手法にならないことを期待</u> ✓<u>算定量などは Global 本社や監査法人の厳しいチェックを受ける。現在は様々な文献から基礎データを引用しているが、国がカーブナンバー法や流出低減法を活用する際の基礎データの指針を出してもらおうと信用度があがるため大いに助かる</u> ✓<u>涵養量の算定手法として、流出低減法からカーブナンバー法に変更すると、現在算定している涵養量から低下する可能性がある</u> ✓<u>算定手法を変えて現在の涵養量から低下した場合、今までの活動を否定することにもつながり企業としてのリスクが大きいため、そのあたりの検討も必要と考えている（ただし、現在のグローバルの流れからはいずれカーブナンバー法に切り替える必要性も感じている）</u>
中部電力	<ul style="list-style-type: none"> ✓<u>統一的な指標を作成し、企業等だけでなく、森林組合や小規模林業者が導入し、そこにインセンティブ（例えば補助金を取りやすくなる等）を与えることで、日本の森林全体の管理が良い方向に向かっていくような使い方をしてもらいたい</u> ✓<u>企業も大企業が使えるようなものだけでなく、小規模な企業が活用できることも必要だが、ある程度根拠も必要となるため、そのバランスが重要</u> ✓<u>国が検討する際には、理想論のような形を決めた上で情報を開示してもらえれば、企業として支援することができる可能性もある</u> ✓<u>NbS 指標は、チェックを入れるための指標（ルール）が必要で、チェックしたものの勝ちにならないような方策を用意しておく必要があると感じる</u>

3.1.5 企業等が森林管理にかかわることが容易となる仕組みや要因

企業等が森林管理にかかわるための制度は、国、各都道府県のほとんどで整備されており、制度としては充実している。ただし、各都道府県の制度内容は様々で、非常に手厚い支援を行っている場合もあれば、企業任せの制度もある。また、企業等の方も社会貢献が主ではあるものの、今回のヒアリング結果からは、企業の目的により森林管理に携わる重要度（意味合い）が大きく異なることも垣間見えた。

ヒアリングなどをおして見えてきた、企業等が森林管理に関わることが容易となる仕組みや要因等（自治体との連携含む）については、下記のとおりと考えられる。

- ① 企業等が森林管理に関わる自治体の支援制度が分かりやすく整備されていること（マッチングや認証など制度の充実、アクセスのしやすさ等）
- ② 企業等の経営層が森林整備・管理活動の重要性を理解し、このような社会貢献活動があることを意識しやすい広報やPRをおこなうこと
- ③ 企業等が実施した森林整備・管理活動の評価が定量的にわかりやすく提示され、企業等が他者（消費者等）に対し発信しやすいこと
- ④ 企業等が森林整備・管理活動に参画しやすいよう選択肢を増やし、実際の活動だけでなく森林整備・管理活動の課題を解決できるような基金制度（人材育成や鹿対策等）などを設けること

また、本業務で検討している「水源涵養機能の簡易的定量評価手法」を企業等が活用しやすくするために必要となる事項については、下記のとおりと考えられる。

- ① モニタリングやデータ取得など大きな労力が伴う評価方法ではなく、ある程度簡便に評価できる手法であること（評価は自治体、企業等のどちらも行える形での公表が望ましい：CO₂の算定方法が参考になる）
- ② 企業等の目的は、業種や規模により様々であるため、企業等の目的・規模に応じてかわり方や評価の仕方を選択できるような仕組みづくり（投資家評価に活用できるレベルと社会貢献としてHPなどで公表するだけのレベルでは求められる精度が大きく異なる）
- ③ 水評価のための世界的なフレームワークとしてTNFDやCDPなどが定められており、水の量的算出手法としてVWBAなどが整備されているため、これらの考えからかけ離れた考え方とならないこと（投資家の評価を得られる指標ではなくなってしまい活用しない企業が増加する可能性）
- ④ 逆に、VWBAで整備されているカーブナンバー法や流出低減法を活用するための基礎データの全国マップなどの整備は、企業等活動を算出する際の信用度が向上するため積極的に活用される可能性が高い
- ⑤ Nbsのチェックシート等については、不公平感を排除するためルールを明確にする必要がある

3.2 効果的な普及方法の検討

3.2.1 効果的な普及にあたり求められる評価手法の方向性

(1) 国際的な取組や他制度の取り組み

第2章に示したとおり、水に関する世界的な取組として TNFD (Taskforce on Nature-related Financial Disclosures) といった自然に関する国際的な「情報開示」の枠組みに、水に関する「規格」、「目標設定と進捗管理」が組み込まれ、水評価のための世界的なフレームワークが出来上がっている。また、ウォーター・ポジティブを掲げる企業も増えてきており、流域全体の水の取扱いについて行動するウォーター・スチュワードシップが主流となる中で、水の量的効果の算定方法として VWBA がデファクトスタンダードになりつつある。VWBA で使用されている評価手法は、ある程度簡易でありながらも定量的な評価を行える計算式が準備されており、一般の企業においても算出可能となっている。これらの取組の中では、企業に情報開示が求められ、それを開示することで企業価値が上がり消費者への訴求効果が期待できるなど、企業に対して明確なメリット（実施しない場合のデメリット抑制も含む）があるため、企業自らが積極的に取り組む動機づけとなっている。

また、国内では地球温暖化に関し CO₂ 排出量の削減や森林管理などによる吸収量の向上を目指す「J-クレジット制度」などが構築されている。J-クレジット制度では、「クレジット」自体が売買の対象となるため、算出の方法は項目により細分されるとともに非常に煩雑（準備しなければいけないデータが多いなど）なものとなっている（一般の企業が自ら簡易に取り組むには敷居が高い）。しかし、直接金銭的なメリットを享受できる場合もあるため、途上ではあるが普及という面では徐々に実施企業が増加傾向にある。

このように、本業務で検討している簡易定量評価手法を効果的に普及させるためには、情報開示を主とするか、金銭が絡む売買を主とするか（どこまで信ぴょう性を担保するか）等の目的（方向性）を明確にしておく必要がある。

(2) ヒアリングより把握できた自治体が求める方向性

ヒアリングにより把握できた自治体が求める簡易評価手法の方向性としては、下記の点に留意する必要がある。

- ✓ 企業、自治体のどちらでも評価できるような評価方法が必要である
- ✓ 都道府県等が実施する「企業の森づくり」サポート制度の中で扱えること
- ✓ 企業の目的に応じて評価手法（詳細 Ver.、簡易 Ver.など）を選択できるような評価方式が望ましい
- ✓ 水源涵養の評価をおこなうことで企業にメリットが出るような制度を合わせて創設することが望ましい

(3) ヒアリングにより把握できた企業等が求める方向性

ヒアリングにより把握できた企業等が求める簡易評価手法の方向性としては、現状で水資源関係などにあまり関係しない企業等へのヒアリングを実施できていないため、一概には言えないが下記の点に留意する必要がある。

- ✓ 企業等が投資家などへ説明できるような評価手法であること
- ✓ すでに先行している世界的なフレームワークと乖離していないこと
- ✓ 地形地質や雨の降り方により大きく異なるが、データの取得などは必要なく、ある程度簡便であること(樹種、齢級、面積などで評価できる CO₂ の評価手法が参考となる)
- ✓ 企業等が独自で簡易に検討できるよう、例えば VWBA など整備されている算出法で評価する際の基礎データが全国マップなどとして整備されていること

ヒアリングからは、自治体、企業等のいずれにおいても、信頼性は確保したうえで計算手法は簡易であることが望まれていることが明らかとなった。また、企業の目的に応じて計算手法を選択できるような方法論についても意見がでた。計算手法の具体については、次年度以降に検討されるが、効果的な普及を目指す場合は、上記に示した留意点についても考慮する必要がある。

3.2.2 効果的な普及方法の検討

(1) 国（内閣官房水循環政策本部事務局）で検討されている制度

内閣官房水循環政策本部事務局では、令和 6 年 1 月に「流域マネジメントの手引き（改訂版）」を公表しており、その中で水循環に関する「企業等との連携」の形として表 3.4 に示す取り組み方法が紹介されている。この表では、事業者へのインセンティブと自治体が担う役割が整理されており、企業が参画するメリットを明確に定め、自治体が支援することの重要性が示されている。

「流域マネジメントの手引き（改訂版）」では、J-クレジットのような直接金銭にかかわるような取り組みは示されていないが、近年は森林由来の J-クレジットの優位性として、地域に紐づけられるクレジットとして地域貢献との親和性が高いことや生物多様性保全など森林が持つ多機能性（CO₂ 吸収のための森林管理が同時に生物多様性保全の役割も果たす等）についてクローズアップされている節もあるため、水源涵養機能の簡易評価手法を普及するためには、森林管理が水源涵養機能だけでなく森林が持つ多面的機能の保全や機能強化にも資する視点を明確に提示していくことも有効である。

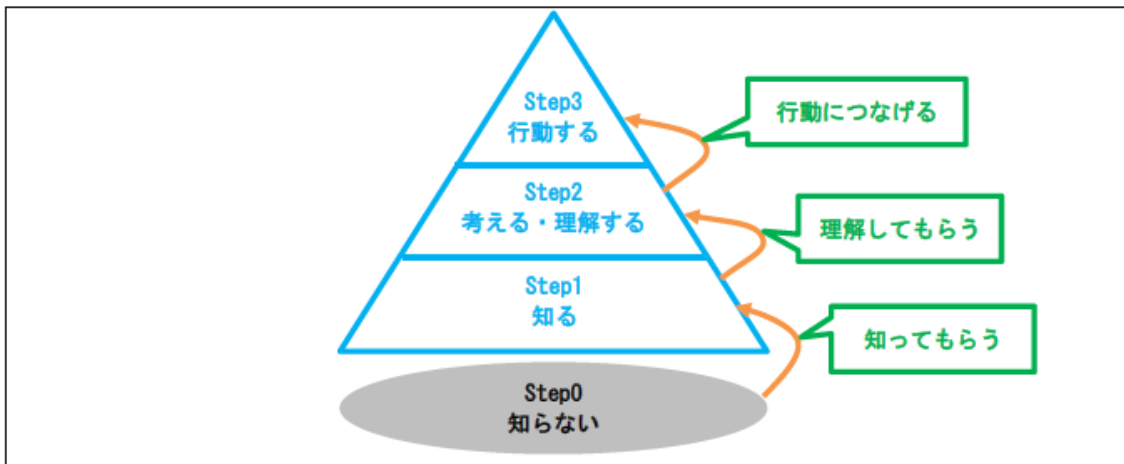
また、流域マネジメントの普及啓発のステップとして図 3.5 が示されており、それぞれのステップに対し情報発信やコミュニケーションをとる手段として「広告・宣伝」が位置付けられている。

水源涵養機能の簡易評価手法の普及についても、図 3.5 に示された普及啓発等のステップを意識し各段階でより効果的な普及啓発方法を検討する必要がある。

表 3.4 事業者の地域との連携による取組の主な特徴

取組パターン	主な取組内容	事業者のインセンティブ	自治体が担える役割
事業	<ul style="list-style-type: none"> ・環境負荷低減対策の実施 ・カーボンオフセット、ウォーターオフセットの組み入れ ・商品 PR 事業と社会貢献活動の組み合わせ ・エコ商品開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ESG 投資 ・商品の効果的な PR 	<ul style="list-style-type: none"> ・広報の協力 ・連携協定締結 ・ビジネスマッチングの機会提供 ・規制緩和
制度	<ul style="list-style-type: none"> ・浸透、貯留事業への協力 ・地下水利用負担金拠出 ・流域治水への協力 ・規制遵守 	<ul style="list-style-type: none"> ・水利用に対する地域の理解・支援の獲得 ・地域への貢献 ・イメージ向上 ・事業継続 	<ul style="list-style-type: none"> ・条例等の創設 ・基金の創設・管理 ・利用者間調整（協議会等の事務局運営）
社会貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・地元協議会参加 ・清掃活動・環境保全行事への従業員参加・運営協力 ・清掃活動等への協賛 ・協議会、基金等への寄付 ・水田涵養等の協力（農業） 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域貢献 ・イメージ向上（事業持続性確保） ・社員教育 	<ul style="list-style-type: none"> ・協議会等の連携機能の幹事（事務局） ・各種行事の広報の協力 ・基金等の創設・管理 ・活動場所の提供 ・活動成果広報

引用：「流域マネジメントの手引き（改訂版）」P.87、図表 7.15



引用：「流域マネジメントの手引き（改訂版）」P91、図表 8.1

図 3.5 普及啓発のステップ

(2) 水源涵養機能簡易評価手法の効果的な普及方法

効果的な普及方法については、簡易評価手法がどのような手法になるかにより異なる。自治体へのヒアリングで CO₂ 認証制度を求める企業が多いことが明らかとなったことから、CO₂の認証制度のように都道府県が各制度の中で取り扱えるような手法とする必要がある。現段階で考慮しておくべき事項について、ステップごとに整理した。

【Step1：知る】

このステップの普及啓発としては、ホームページや SNS による情報発信が主となる。

従来から林野庁の HP などをはじめ、様々なツールや機会等を活用して森林の働きや森林管理の重要性などについて情報発信されているが、今回のヒアリングにおいて一般の方（森林に興味を持っていない人）に詳細が浸透するまでには至っていないことが分かった。

そのため、情報発信するには森林整備を行うことでどのような効果（役に立つのか）があるのかを明確に伝える必要がある。具体的な例としては、簡易評価制度の整備とともに多面的機能（特に水源涵養機能）について説明する Web ページを作成し、企業等が評価手法と森林整備・管理活動を行うことにより得られる効果が一体的に確認することが大切である。また、企業等の社会貢献の一つとして「森林整備・管理活動」を選択しやすくする方法等の検討も重要である。

また、企業等が ESG 投資や地域貢献として森林管理を選定しやすくするためには、決定権を持っている経営層に知ってもらうことが重要であるため、HP などでの広告・宣伝とともに企業の経営層が読む雑誌などに対するアピールも効果的だと考えられる。その際、簡易手法を活用した制度そのものも広く浸透させる必要があるため、ロゴやキャラクター、制度のキャッチーな名称などを検討しておくことも有効である。

【Step2：考える・理解する】

このステップでは、シンポジウムやフェスティバルなどのイベントにより相互理解を深めるコミュニケーションが重要とされている。先行している J-クレジットの普及啓発などにおいても、先行企業が登壇し事例を報告するようなイベントが定期的実施されており、「企業の森づくり」サポート制度においても各地で同様の催しが開催されている。

そのため、新規でシンポジウムやセミナーなどのイベントを企画・実施することも重要ではあるが、森林の多面的機能の視点を明確に提示するためにも、水源涵養機能関係とは異なる既存のイベントにおいて当該制度を周知することで森林管理に対する理解が深まり相乗効果が期待できると考えられる。

【Step3：行動する】

行動してもらうためには、企業等の主体性・自発性を促す施策が必要であり、企業等に対する明確なメリットが求められる。そのため、例えばすでに実施されている「森林×脱炭素チャレンジ」のような、水源涵養の取組に対する表彰制度を設けることも一つの方法であると考えられる。

また、「森林×脱炭素チャレンジ」では森林による二酸化炭素吸収量の算定方法について、計算手法はもちろんのこと計算シートも公表されており企業等が自らの評価を容易に確認できる仕組みが構築されている。このように、自分たちで評価を容易に行える情報（具体的な計算シートなど）を公表し企業や自治体などが取り組みやすい仕組みを整えることも行動のハードルを下げることにつながるため有効であると考えられる。

先にも示したとおり、水源涵養機能の定量的な評価は二酸化炭素吸収量の算定等と比較しても取り巻く条件が多く複雑になることが想像されるため、水源涵養機能の簡易評価手

法がどのような形式になるかにより普及のしやすさや方法は異なってくると考えられる。

ただし、効果的な普及のためには、簡易手法の検討だけでなく、簡易評価手法を使用するルールや具体的な活用の考え方を整理し評価手法を活用するための「制度」を同時に整備していく必要がある。

次年度以降の課題として、簡易手法の方向性がある程度定まった段階で、制度の具体や名称、連携する他施策について具体的に検討していく必要がある。また、中小企業や水資源とあまり関係のない企業や地域密着企業などへのヒアリングが実施できていないことから、これら企業の課題をヒアリングにより把握する必要がある。加えて、本事業で検討した簡易定量評価手法が企業に受け入れられるかについても事前に確認しておくことも普及を推進するために必要であると考えられる。

4. 検討会の開催

【仕様書項目（3）】

本事業の目的を効果的かつ効率的に達成できるよう検討を行うため、有識者4名以上からなる検討委員会を設置することとし、林野庁担当者の了解を得た上で決定する。また、検討委員会は本事業期間中に2回程度開催する。

なお、委員の選定や委員会資料の内容については、十分な時間的余裕をもって林野庁担当者に案を提示し、了解を得た上で進めること。

(1) 検討委員会の構成

検討委員会の構成メンバーは発注者と協議の上、森林と水文の双方に通じた専門家として下表の先生方を選定した。

本事業では、簡易評価指標を使ってもらうユーザーサイドの意見を取り入れることも重要であり、サントリーホールディングス株式会社で天然水の森事業に携わる瀬田玄通氏（サステナビリティ経営推進本部・課長）に委員に入っていたいただいた。

表 4.1 検討委員会メンバー

	氏名	区分	所属
委員長 (座長)	ごみ たかし 五味 高志	学識経験者	名古屋大学 大学院 生命農学研究科 教授
委員	しらき かつしげ 白木 克繁	学識経験者	東京農工大学 農学研究院 自然環境保全学部門 准教授
	しのはら よしのり 篠原 慶規	学識経験者	宮崎大学農学部 森林緑地環境科学科 准教授
	たまい こうじ 玉井 幸治	学識経験者	(国研) 森林総合研究所 研究ディレクター (国土保全・水資源研究担当)
	せ た はるみち 瀬田 玄通	民間企業	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 課長

(2) 検討委員会の開催

本事業では第1回、第2回検討委員会を以下の日程で執り行った。

委員会議事録、速記録、委員会資料等の詳細については、資料編に掲載した。

表 4.2 検討委員会の実施

回	開催日	検討内容
第1回	令和5年 10月20日	<ul style="list-style-type: none"> ・水源涵養量の簡易評価手法に関する文献調査、事例の紹介 ・簡易評価手法の概要提案とその審議、指導 ・評価手法の普及方法に関する取組み方針の説明とその審議、指導
第2回	令和6年 2月5日	<ul style="list-style-type: none"> ・簡易評価手法の内容に関する具体内容の提示とその審議、指導 ・水源涵養に関する自治体や企業等の取組み、考えのヒアリング結果報告とその審議、指導

5. 報告書のとりまとめ

【仕様書項目（4）】

上記2、3の内容や経緯等を本事業の成果として報告書にとりまとめる。

本報告書及び別途資料編、概要版を作成した。