

第1章 調査概要

(1) 調査の目的

本調査は、閉鎖性海域における浅海化・干潟化による影響の緩和対策として、八代海北部海域をモデルに後背山林の現況を調査した上で、海域への浮遊土砂の流出抑制を念頭において森林の整備・管理方法について検討し、同様の問題を有する各地の先進事例として漁場環境の保全に資する森林整備・保全事業の推進に寄与することを目的としている。

(2) 調査の基本的な考え方

海域への適正量の土砂流入は、栄養塩の供給や海岸・海底地形を保持する役割を担っており、常時安定した供給が行われることが必要といわれている¹⁾。適正な土砂管理のためには、望ましい土砂の量と質についての検討を要するが、最上流部の山腹斜面から海岸の漂砂域に至るまでの土砂移動が起こる領域全体（「流砂系」）を対象とする必要があるため、森林域のみにおける対応には限界がある。また、土砂移動現象は不確定・不連続に及ぶ現象であって、現状では十分な精度での予測も難しい。

一方、森林域からも生産される浮遊土砂（濁水）は、ひとたび流水中に取り込まれれば長い距離を流下しやすいため、流入する河川に生息する生物だけでなく、沿岸の藻類等の海産資源にとって阻害物質となりうるものが既往事例によって指摘されている（荒川ら、1990；樽林ら、1996）^{2) 3)}。また、ゴミや流木が河川を介して海域へ流出した場合、沿岸の漁具被害や漁場の機能低下をもたらすことが懸念されている。

森林伐採を実施した直後や手入れが不十分な場合には浮遊土砂濃度が増加するといわれており⁴⁾、森林からの浮遊土砂や流木の発生を抑制するためには適切な森林の整備・保全が必要と考えられる。

このようなことから、とくに八代海北部に流入する河川のうち、人工林の占める面積が最も大きい氷川流域において、海域への浮遊土砂の流出抑制の視点を基本として本調査を実施した。

1.2 調査実施期間

平成 19 年 10 月 23 日 ～ 平成 20 年 3 月 14 日

1.3 調査対象エリア

本調査の対象エリアは、八代海北部海域に流入する河川のうち、流域内に占める森林面積が最も大きい氷川水系における森林域とした（図 1-2 参照）。

1.4 調査のフロー

本調査のフローは図 1-1 に示すとおりである。

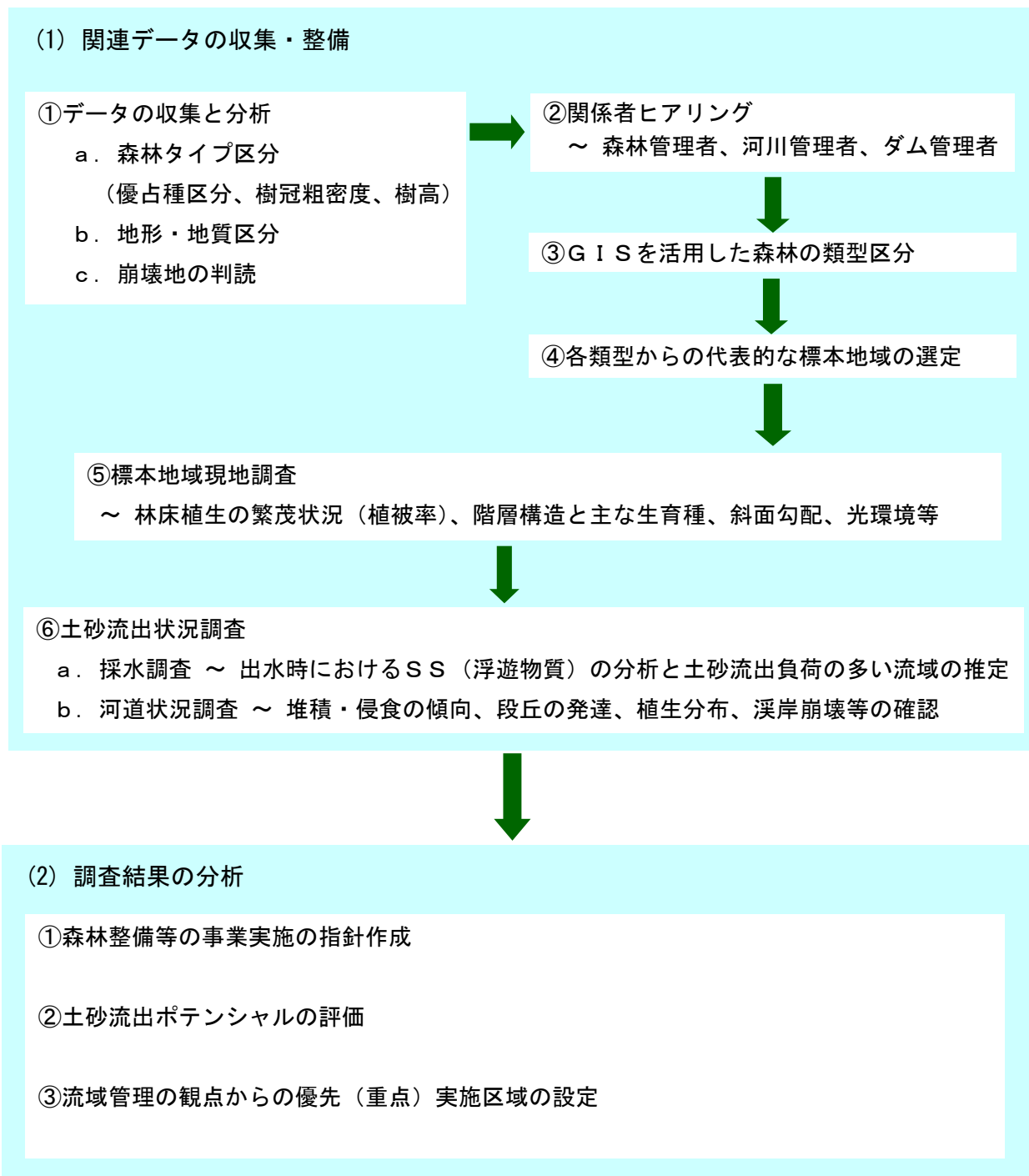


図 1-1 本調査のフロー

図 1-2 調査対象エリア

第2章 関連データの収集・整備

2.1 データの収集と分析

2.1.1 森林タイプ区分

(1) 森林タイプ区分

調査対象地にはスギ・ヒノキ等人工林が広く分布するが、手入れ不足によって森林が荒廃し、土砂流出等の下流域への影響が懸念されている。そこで、土砂流出の観点から森林を評価する際の基本図として、森林タイプ区分図（スギ・ヒノキ等人工林、常緑広葉樹林、落葉広葉樹林の相観区分）を作成した（図 2-2 参照）。

氷川流域は全面積の 88%が樹林に覆われ、なかでもスギ林とヒノキ林が合せて 71.0%と人工林が卓越する地域である。その他の樹林は、常緑広葉樹林（16%）、落葉広葉樹林（7%）、マツ林（2%）など分布している。また、平坦地が少ないため農地は少なく（7%）、河川に沿った斜面に石垣を組んで造成された棚田で茶、ショウガ、稲などが栽培されている。

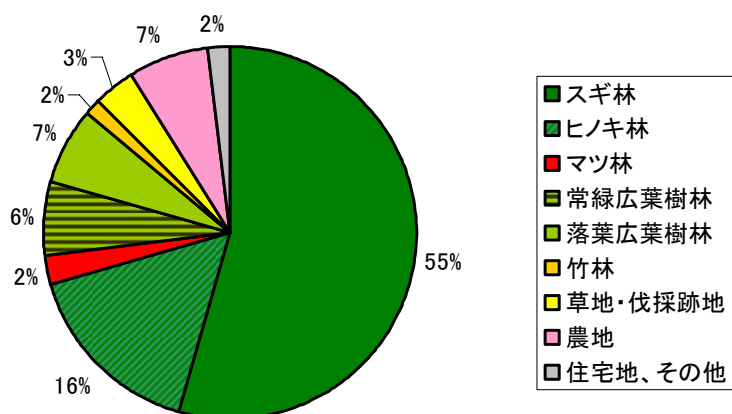


図 2-1 土地利用面積割合（2004 年）

※森林タイプ区分図の集計結果より作成

2.1.2 地形・地質区分

(1) 地形

氷川流域は球磨山地の西縁部に位置し、地形はきわめて急峻で、起伏量が大きいものとなっている。氷川流域内は標高 800～1000m級の山々が連なる山岳地帯を形成し、とくに上流域においては谷が V 字形に鋭く切れ込み、尾根は刃状を呈するなど、比較的急峻な谷地形が発達している。

また、本川の氷川ダム上流や左支川（河俣川）は、地質の走向方向に直行する形で流下するという特徴がある。

(2) 傾斜分布

氷川流域の森林域は急峻な傾斜地が多く、傾斜 10～20° の面積割合が 26%、傾斜 20～30° が 42%、傾斜 30° ～40° が 22%を占めている。10° 以下の緩傾斜地は 10%に満たない。特に氷川本川と河俣川の上流域等では、30° を越える急傾斜地が河道沿いに多く分布していることから、土砂の流出ポテンシャルが高いものと推察される。

(3) 地質

氷川流域における各地層は、中古生層の堆積岩を主体として、西南日本を縦断する中央構造線である臼杵―八代構造線と平行して帯状に分布する傾向がみられ、部分的に白亜紀末の花崗岩類が分布している。

氷川の各小流域の地層は構造運動の影響をうけた古生代～中生代・前期白亜紀の堆積岩（砂岩・頁岩・石灰岩）や蛇紋岩などの超塩基性岩によって構成されている。これらの地質は構造的な圧力等を受けているため、崩壊が発生しやすいポテンシャルをもっているものと考えられる。

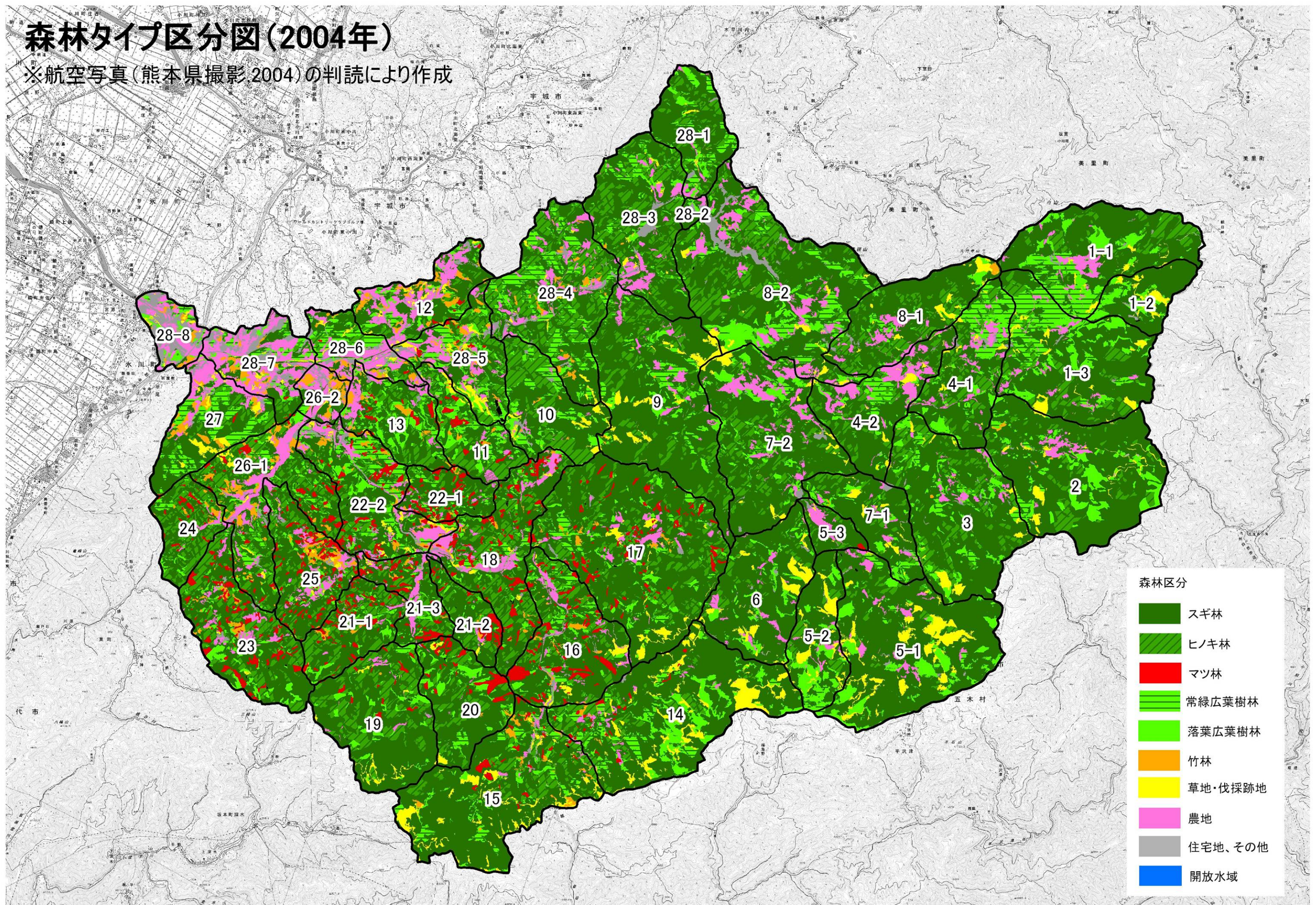
2.1.3 崩壊地の分布

氷川流域において大規模な崩壊地はみられず、ガリー侵食や小規模な崩壊地が上流域を主体に確認された。また、平成 19 年 7 月に本地域において集中豪雨が発生し、その影響で小流域 NO.28-5 内において山腹が崩壊し、熊本県によって災害関連緊急治山事業が行われている。

崩壊地やガリー侵食が河川・溪流に隣接している場合、その後、何らかの対策が施されていなければ浮遊土砂や流木の継続的な発生源となっている可能性がある。

森林タイプ区分図(2004年)

※航空写真(熊本県撮影.2004)の判読により作成



森林区分	
	スギ林
	ヒノキ林
	マツ林
	常緑広葉樹林
	落葉広葉樹林
	竹林
	草地・伐採跡地
	農地
	住宅地、その他
	開放水域



図 2-2 森林タイプ区分図 (2004 年)

2.2 関係者ヒアリング結果

2.2.1 森林の管理実態

(1) 国有林における森林管理の概況

氷川流域の国有林管理を行っている熊本南部森林管理署柿迫森林事務所及び河俣森林事務所にヒアリングを実施した。ヒアリング結果の概要は以下のとおりである。

- ・ 国有林では現地の条件に応じて列状間伐や伐り捨て間伐を実施しており、間伐手遅れ林などはない。
- ・ 土砂流出に対する配慮事項として、作業道整備時に、崩壊防止のために間伐材や根株を活用している。また、林道延長工事を実施しており、その際、土留め用に間伐材を活用している。林床の荒廃に伴う土砂流出や濁水の発生はないと思われる。

(2) 民有林等における森林管理の概況（八代森林組合・氷川支所ヒアリング結果概要）

氷川流域の主に民有林の管理を行っている八代森林組合・氷川支所にヒアリングを実施した。ヒアリング結果の概要は以下のとおりである。

- ・ 主に 40 年生を過ぎると伐採・収穫している。主伐後は主にスギ（シャカインスギ）が植栽されている。ヒノキはシカ被害が多く、あまり植栽されていない。
- ・ 新植事業費を抑えるために、近年の植え付け本数は 2,500 本/ha 程度。（以前は 3,000 ～4,000 本/ha）。間伐の際の間伐率は 20～30%（本数）であり、35～40 年生位までの間伐は切り捨てが多い。特に急傾斜地では切り捨て間伐となる。

2.2.2 土砂及び流木の流出傾向

土砂及び流木の流出状況調査の一環として、氷川ダムを管理している熊本県氷川ダム管理所、氷川頭首工を管理している氷川土地改良区を対象にヒアリングを実施した。

(1) 氷川ダム上流域における土砂及び流木発生の概況（氷川ダム管理所ヒアリング結果概要）

氷川ダムにおける過去 33 年間の堆砂量は 441,300m³であり、ダムによって下流への土砂流出が抑制されている。一方で 1 時間雨量が約 20mm を超えると濁水が流入する傾向があり、粒径の小さい浮遊砂はダム下流にも流出していると考えられる。

平成 19 年 7 月の集中豪雨によって、かなりの土砂と流木が流入した。氷川ダム提供写真をみると、落葉、木の枝、草本類等、様々な質のゴミが流入しているが、人工林由来の流木も混在している。氷川ダム発生分は採取処分されている。

(2) 氷川頭首工における維持管理の概況（氷川土地改良区ヒアリング結果概要）

梅雨期等の水量が多いときはゲートを全開にはしないが、いくつかのゲートを開けて調整している。平成 19 年 7 月の集中豪雨の際はゲートを全開にした。ゲートを上げると遮るものがなく、流木も海まで流れている。この集中豪雨の際は、根付の流木も流れていた。平常時は上流護岸の高さを超えないように、また、集落からの排水路が接続されているため河川水が逆流しないようにゲートで水位を調整している。

降雨時の氷川の濁水発生傾向として 20mm/h 程度の雨が 2,3 時間続けば濁り、また、時間雨量が 30mm/h 以上になると濁水が発生する。

2.3 GISを活用した森林の類型区分

2.3.1 USLE式における計算

森林タイプ、地形・地質、降雨等のパラメータによって表面侵食量を予測する式であるUSLE式（Universal Soil Loss Equation）をGISによって面的に展開し、予測される侵食量を相対区分して対象エリアの森林を類型化した。

USLEによる侵食量の予測式と計算条件は以下のとおりである。

<USLEによる侵食量予測式>

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A：年侵食量(t/ha)、

R：雨量係数、K：土壌係数、L：斜面長係数

S：傾斜係数、C：植被係数、P：保全係数

（１）雨量係数（R）

ここでは氷川流域の近隣の観測地点である八代地点における過去22年間平年値を採用した。本地域は降水量が多く、年平均降水量は全国平均（約1,750mm）の約1.2倍に相当する2,040mmである。観測地点の制約により、ここでは雨量係数を氷川流域内で一律に同じ値を与えた。

$$\rightarrow R = 0.32 (P / 100) 2.5 \quad P : \text{年間降水量} = 2,040 \text{mm}$$

（２）土壌係数（K）

氷川流域における山林地帯には、主に尾根部には乾性褐色森林土壌、山腹には褐色森林土壌が分布している（土地分類基本調査「土壌図」より）。そのため、土壌係数は氷川流域内で一律に同じ値（森林褐色土0.277）を与えた。→ 森林褐色土0.277

（３）斜面長係数（L）

後述の傾斜係数の算出に数値地図50mメッシュを用いることから、50mメッシュ単位で計算を行うこととなるため、斜面長は一律50m、定数mは0.5とした

$$\rightarrow L = (d / 22.1) m \quad d : \text{斜面長} = 50 \text{m}, m : \text{傾斜によって決まる定数} 0.5$$

（４）傾斜係数（S）

ここでは「数値地図50mメッシュ（標高）」（国土地理院）の標高データを用いて作成した傾斜区分図を分析の素図として、50メッシュ単位の傾斜角を算出した。

$$\rightarrow S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065 \quad \theta : \text{傾斜角}$$

（５）植被係数（C）

現況の森林タイプ区分図を分析の素図として、各凡例に以下の値を与えた（これらの値は「全体計画（流域保全型）におけるUSLEを用いた山腹荒廃地の侵食量予測（北原）」に示されているものである。）。→ スギ林：0.006、ヒノキ林：0.010、アカマツ林：0.0065、広葉樹林：0.0077、

草地・伐採跡地：0.129

（６）保全係数（P）

保全係数は人工的な侵食防止対策による効果を表す係数であるが、流域全体における山腹工や法面保護工の整備状況が不明であるため一律「1」とした。

2.3.2 森林の類型区分結果

USLE式による計算結果では、草地・伐採跡地における予測侵食量がスギ林やヒノキ林などの森林よりも極端に多く算出される傾向があることから、森林類型区分図は、「草地・伐採跡地を含んだ類型区分」と、「草地・伐採跡地を除いてスギ林、ヒノキ林、マツ林、広葉樹林を対象とした類型区分」の2タイプを作成した。

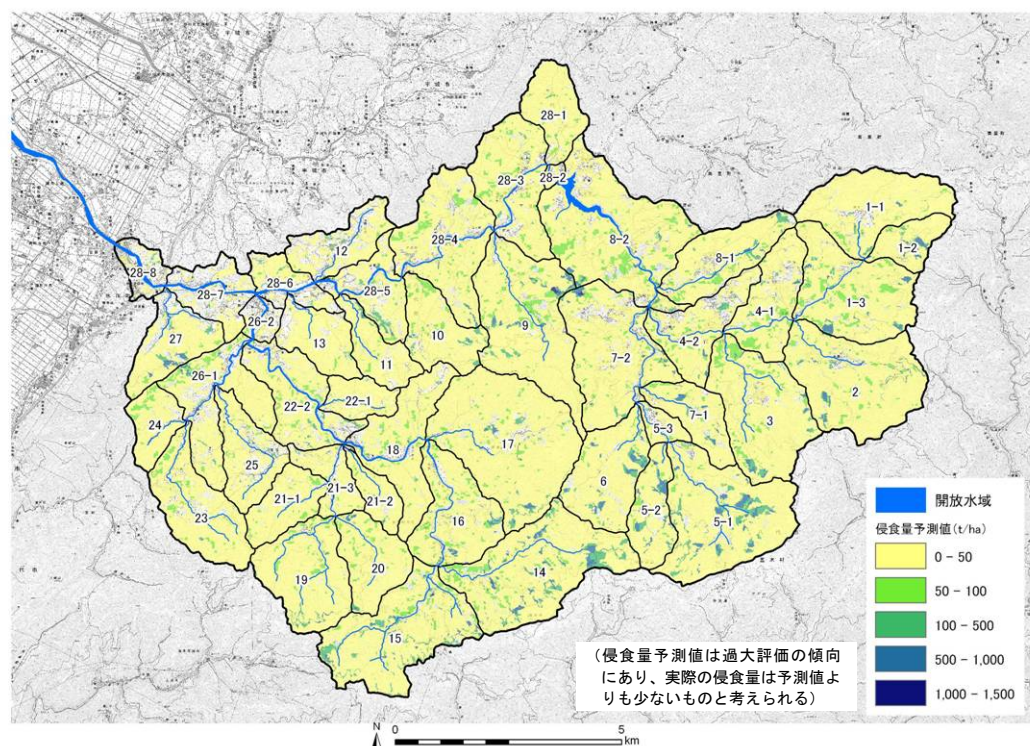


図 2-3 USLEによる森林類型区分結果①
(対象エリア：スギ林、ヒノキ林、マツ林、広葉樹林、草地・伐採跡地)

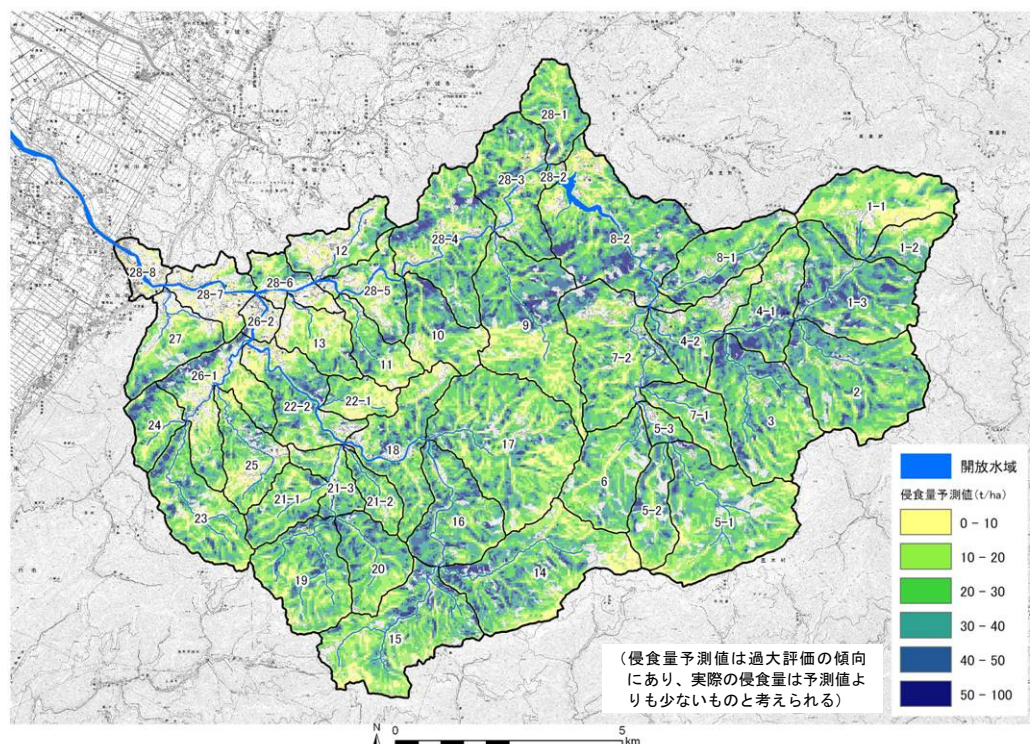


図 2-4 USLEによる森林類型区分結果②
(対象エリア：スギ林、ヒノキ林、マツ林、広葉樹林)

2.4 標本地調査結果

流域区分、林相、森林の類型区分、森林所有状況（国有林、民有林）等を考慮しつつ、現地の状況を確認した上で、表 2-1 に示すとおり代表的な標本地を 15 地点選定した。

土砂流出に関わる状況として、主に以下に示す 3 タイプの状況が標本地で確認された。

- ① 林内の相対光量子密度が極端に小さく、林床が裸地化している森林
- ② リルやガリーなど、森林内で表層土砂が流出した痕跡がみられる森林
- ③ 下層植生が繁茂している森林（表層の土砂流出が抑制されている森林）

表 2-1 標本地における現地調査の結果の概要

標本地 NO	流域	小流域 NO	林相	傾斜角	高木層 植被率	林床 植被率	相対光量子密度	除間伐の有無	備 考
NO.1	氷川ダム上流	5	スギ	40°	60%	30%	1.9%	あり	溪岸侵食あり
NO.2	氷川ダム上流	5	スギ	36°	65%	30%	0.9%	あり	谷部にガリーあり
NO.3	氷川ダム上流	5	ヒノキ	35°	90%	10%	0.5%	あり	
NO.4	氷川ダム上流	4	ヒノキ	40°	85%	10%	1.0%	あり	溪岸侵食、リルあり
NO.5	氷川ダム上流	8	スギ	34°	50%	60%	7.1%	なし	下層植生が繁茂。溪岸侵食あり
NO.6	氷川ダム上流	8	スギ	36°	80%	70%	4.4%	あり	下層植生が繁茂
NO.7	氷川ダム上流	8	スギ、ヒノキ	40°	80%	70%	2.5%	あり	下層植生が繁茂
NO.8	氷川ダム上流	8	スギ	32°	70%	85%	13.8%	あり	下層植生が繁茂
NO.9	氷川	9	スギ	38°	80%	15%	22.4%	あり	崩壊跡、ガリーあり
NO.10	氷川	11	スギ	34°	85%	20%	1.2%	あり	谷部にガリーあり
NO.11	河俣川	15	スギ	29°	40%	40%	27.4%	あり	下層植生が繁茂。国有林。
NO.12	河俣川	14	スギ	40°	65%	30%	28.5%	あり	表層に礫が多い
NO.13	河俣川	17	スギ	40°	70%	20%	7.9%	あり	リルあり
NO.14	河俣川	18	スギ	41°	70%	15%	2.3%	あり	リルあり
NO.15	河俣川	22	スギ	35°	70%	65%	4.0%	あり	下層植生が繁茂。緩衝林あり。

- 林内の相対光量子密度が極端に小さく、林床が裸地化している
- リルやガリーなど、森林内で表層土砂が流出した痕跡がみられる
- 下層植生が繁茂している（表層の土砂流出が抑制されている）

2.5 河道状況調査

主な流域ごとに河道でみられる微地形（堆積・侵食の傾向、段丘の発達、植生分布、溪岸崩壊等）の確認を行い、流域における土砂流出状況の参照情報とした。

氷川ダム上流域、河俣川の上流域、あるいは氷川本流（氷川ダム下流域）の支川では、溪岸侵食・崩壊地が散見されるなど、土砂流出の痕跡が比較的多くみられた。また、いずれの流域においても下流域では河道は比較的安定しており、溪岸崩壊などの土砂流出跡はあまりみられなかった。

これらの状況から判断すると、各流域ともに上流域において土砂が流出するポテンシャルが高いものと考えられた。

2.6 森林整備と浮遊土砂の流出に関する文献調査

2.6.1 森林整備と浮遊土砂流出に関する既往文献

佐藤（2006）⁴⁾ は、森林伐採と林内路網が浮遊土砂流出に及ぼす影響について欧米とわが国における過去の研究例を整理し、森林施業によって植生・土壌の攪乱が生じた場合に起こる土砂流出抑制機能の低下を防ぐ方法を紹介している。

森林施業と浮遊土砂の流出に関する既往の知見をまとめると、以下のとおりとなる。

- ・ 森林伐採の直後や森林整備が不十分な場合に、浮遊土砂濃度が増加する場合が多い。
- ・ 伐採後に増加した浮遊土砂濃度や流出量は、年数が経過するにつれて徐々に減少する傾向を示す。
- ・ 林内の作業道・作業路などの林内路網は、適切な作設・管理がなされないと崩壊や侵食を引き起こす要因となる。
- ・ 森林施業に伴う車両走行は、土壌の圧密を引き起こし、土壌物理性の低下や植生回復の遅れにつながる。
- ・ 浮遊土砂流出の増加を抑制する森林施業手法として、流路沿いの緩衝林帯の保全、できるだけ林地を攪乱しない森林施業があげられる。

2.6.2 緩衝林帯に関する既往文献

高橋ら（2003）⁸⁾ は、これまでに国内外で実施されてきた水辺緩衝林帯に関する研究事例や、すでにある緩衝林帯の基準幅の考え方をレビューし、水辺域及び水辺林のもつ生態学的機能を総括した上で、期待される機能に応じた緩衝林帯の適正幅を提示している。

そのうち、微細砂の捕捉のために必要となる緩衝林帯の幅に関する既往の知見をまとめると、以下のとおりとなる。

- ・ 表面流に伴い緩衝林帯に流入してくる微細砂を捕捉するためには 30m 程度の幅の緩衝林帯が必要となる。
- ・ ただし、地形面の傾斜度が 30% の場合では最大で 52m、60% で最大 88m の緩衝林帯が必要という報告もあり、緩衝林帯の幅と微細砂の捕捉効果との関係は諸条件によって一様ではなく、傾斜、下層植生、土壌等によって左右される。
(参考／傾斜と微細砂補足のため緩衝林帯の幅のモデル式：オーストラリアビクトリア州で採用 緩衝林帯幅 (m) = 8 + 0.6 × 傾斜 (%))
- ・ 植生条件：草地と森林の組み合わせ（下層植生の発達した森林）が望ましい。

第3章 調査結果の分析

3.1 森林整備等の事業実施の指針作成

3.1.1 浮遊土砂や流木の発生タイプ

氷川流域をモデルとした調査結果やこれまでの既往文献調査結果をもとに、浮遊土砂や流木の発生タイプを整理すると、以下の3点にまとめられる。

(1) 手入れ不足の森林からの表層土砂の流出

間伐などの手入れ不足によって林床が裸地化した森林が溪流や河川に隣接している場合、降雨時に表面流が発生して表層土砂が河川へ流出してしまうおそれがある。

とくに、手入れが不十分なヒノキ林では、林床の植被率が低下しやすいことが既往調査によって指摘され、氷川流域においてもヒノキ林はスギ林と比較して林床植被率が低い傾向がみられた。

浮遊土砂の流出抑制のためには、間伐等の適正な手入れによって林床植生豊かな森林を育成する必要がある。

(2) 溪岸侵食や山腹崩壊による土砂及び流木の流出

集中豪雨などによって引き起こされる溪岸侵食や山腹崩壊は、土砂や倒木が河川へ流出して濁水や流木の発生源となっている。

崩壊地は直接的かつ多量の浮遊土砂発生源となるため、未然防止対策や発生後の早期改善が必要となる。

(3) 伐採跡地からの表層土砂の流出

伐採直後や再造林する前の伐採跡地では、降雨時に表層土砂の流出量が増加することがあるといわれている。特に施業によって林床を攪乱した場合には、表層土砂の流出が顕著となる。また、谷沿いの作業道・作業路（未舗装道）は降雨時に土砂が流出する懸念があることから、表層土砂の流出抑制のために、作業道・作業路の適切な整備・管理が必要となる。