

有明海・八代海等総合調査評価委員会
第17回海域環境再生方策検討作業小委員会

「有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査」報告

令和7年8月7日

林野庁 森林整備部 治山課

I 調査の背景・調査手法

1. 調査の背景

有明海及び八代海海域は貴重な自然環境及び水産資源の宝庫であるが、近年の経済社会や自然環境の変化に伴い、水質の富栄養化等、**海域環境が悪化し、二枚貝をはじめとする漁獲量も減少。**

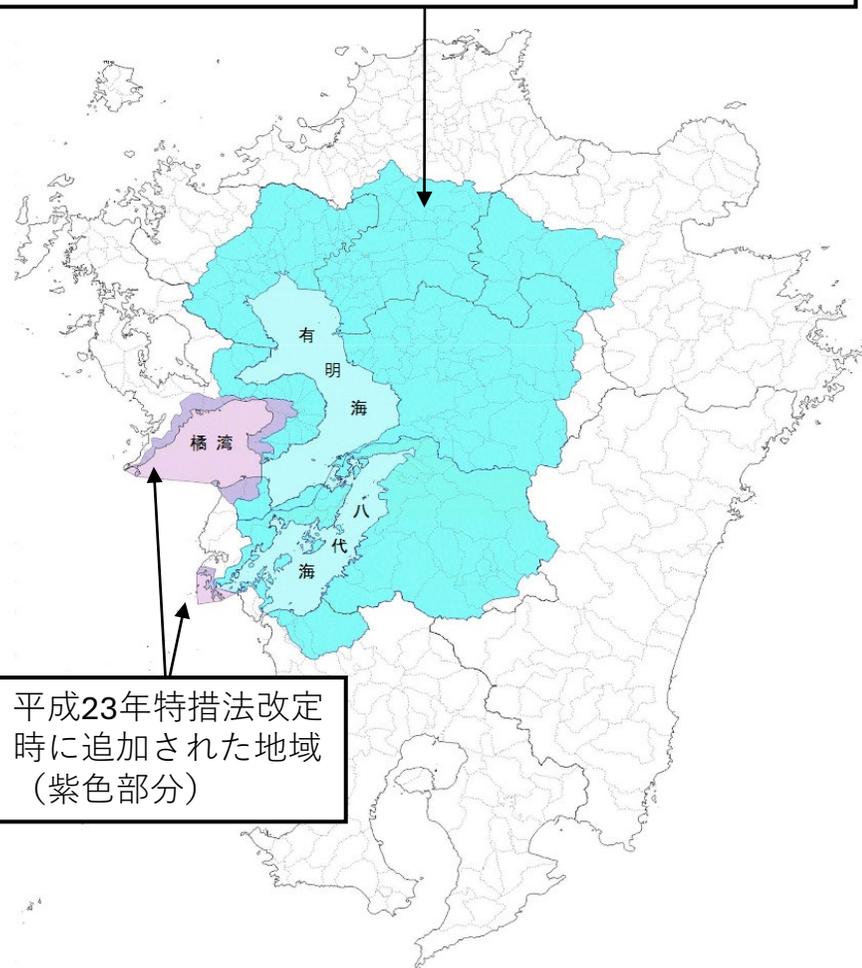
有明海等を豊かな海として再生することを目的として、平成14年に「有明海等特措法」が成立。**平成23年の同法改正により、国による調査事項として「森林と有明海等の環境に関する調査」が新たに規定。**



林野庁では、「有明海等特措法」に基づき、平成27年度より森林が両海域に及ぼす影響に関する調査を開始。

森林のもつ**水源涵養機能**や**土砂流出防止機能**等が海域に果たす役割について科学的に明らかにすることとした。

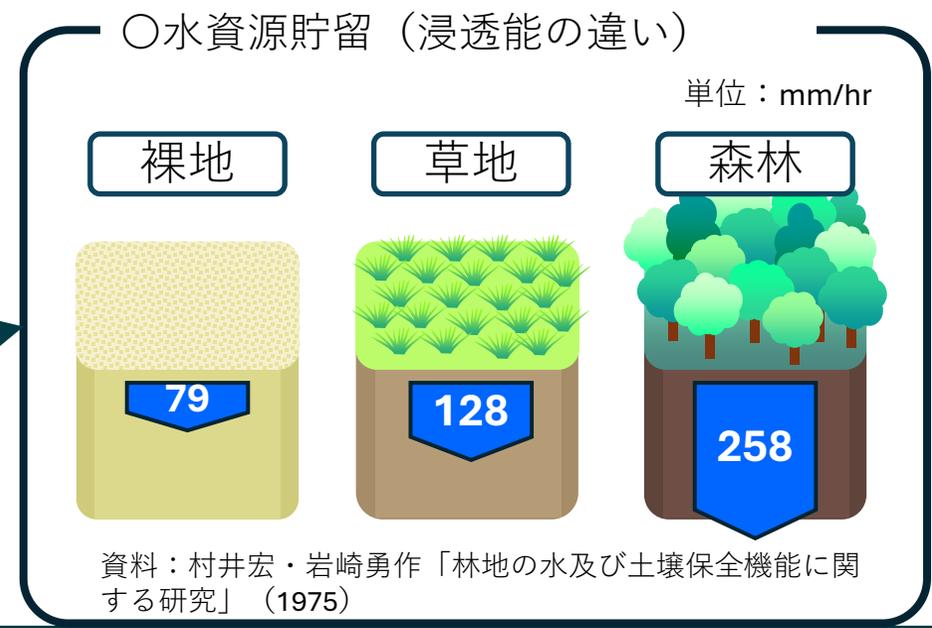
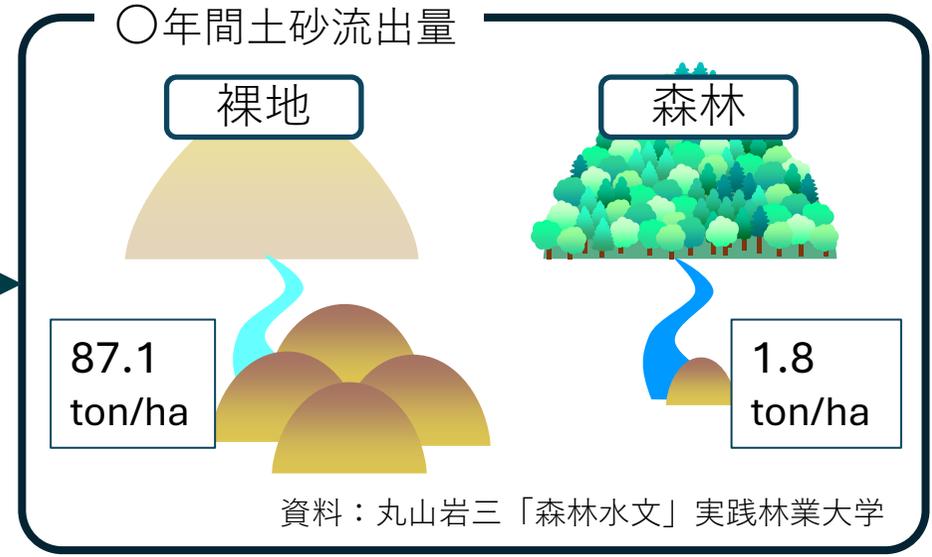
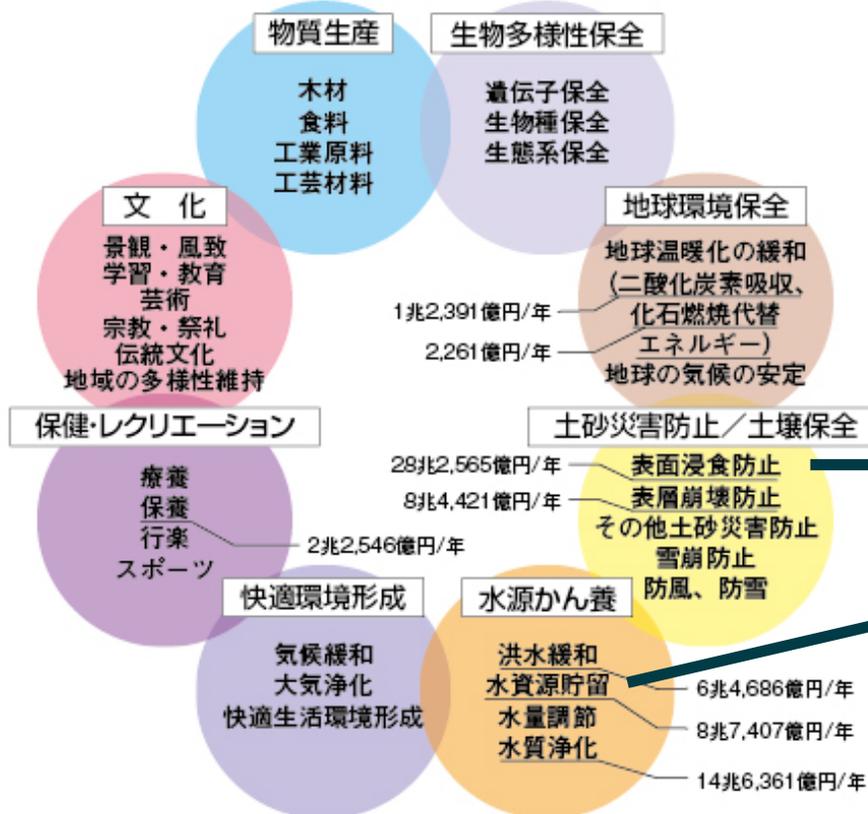
有明海及び八代海等を再生するための特別措置に関する法律（平成14年法律第120号）第2条第6項の「指定地域」（水色部分）



平成23年特措法改定時に追加された地域（紫色部分）

2. 森林の有する多面的機能

森林は、国土の保全、水源の涵養、生物多様性の保全、地球温暖化防止、木材等の生産といった多面的機能の発揮を通じて、国民生活に様々な恩恵をもたらしている。



3. 調査手法

(1) 調査手法の選定について

森林が海域に与えるポジティブな影響として、次のものが考えられるが、一部定量化されているものの、未知の部分も大きい。

- ①水源涵養機能による水量の安定化
- ②森林の有する土砂流出防止機能による海水の濁りが抑制される
- ③窒素などの栄養塩類の流出の平準化

森林が海域に与える影響を把握する観点から、他の土地利用の要素も含む大流域を対象に、既往のデータや物理法則等に基づく「流出モデル」を用いて、マクロ的・演繹的に森林の影響を見積もることとした。

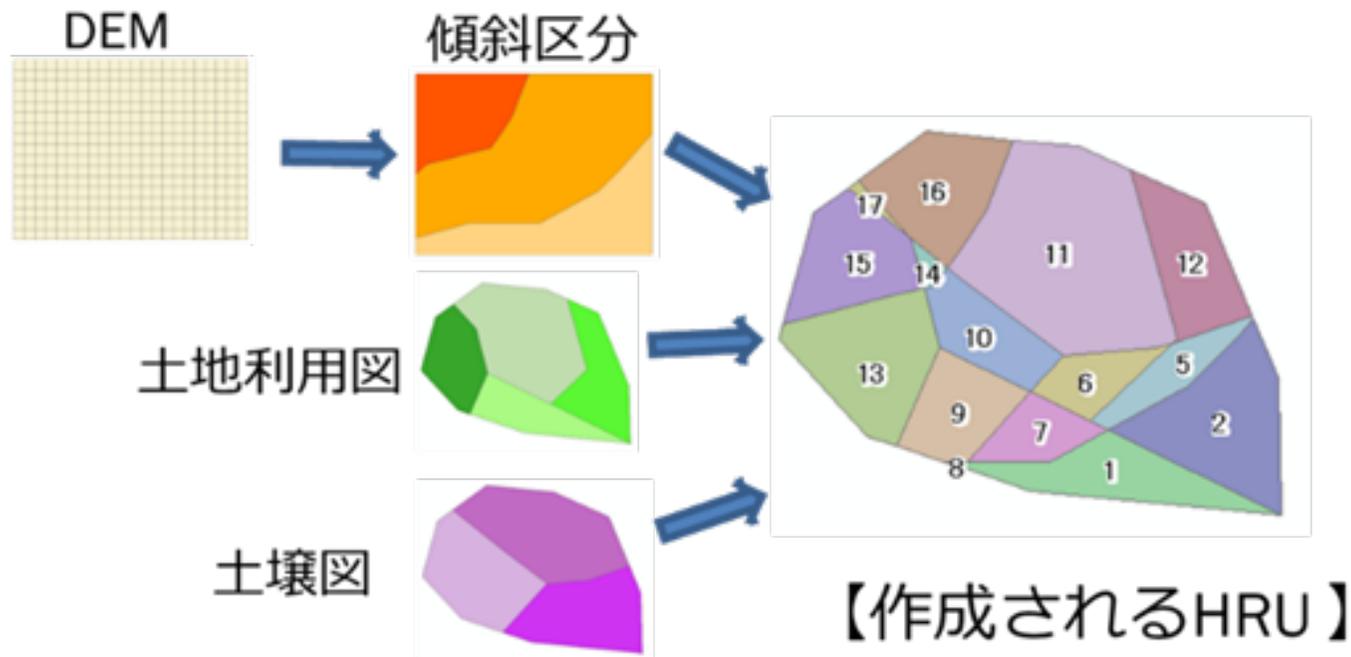
用いる流出モデルについては、以下の点を重視し、**SWATモデル**を選定した。

- ✓ 森-川-海の接続性・連続性
- ✓ 源流域から沿岸域まで、流域に様々な形態で分布する地形・土地利用/土地被覆・土壌等の要素及びそれらの複合的な作用
- ✓ 解析手法の科学的な妥当性

3. 調査手法

(2) SWAT (Soil and Water Assessment Tool) モデルについて

SWAT (Soil-Water Assessment Tool) モデルとは、アメリカ農務省農業研究局 (USDA-ARS) によって開発された準分布型流出モデルであり、地形 (傾斜)、土地利用、土壌の条件が同一で、似通った水文的挙動を示すHRU (Hydrologic Response Unit: 水文応答単位) と呼ばれる領域毎に、流域の水、土砂、物質等の移動を推定することに着目したモデルである (図)。



3. 調査手法

(3) 対象流域

有明海及び八代海に流入する1級河川の流域のうち、筑後川流域、矢部川流域、菊池川流域、球磨川流域の4流域を対象にSWATモデルを構築した。

流入先	河川名	流域面積 (km2)	森林率 (%)
有明海	筑後川	2,860	60.9%
	矢部川	647	62.9%
	菊池川	966	54.1%
八代海	球磨川	1,880	88.6%

(出典)

流域面積：国土交通省HP

森林率：国土数値情報土地利用細分メッシュデータから読み取り



3. 調査手法

(4) 調査の全体フロー

データ収集

GISデータ



テーブルデータ

気象データ

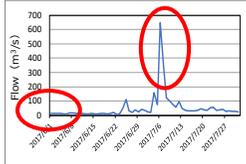
河川流量データ



現地調査 (水量・水質)



水質 (河川水)



モデル構築

1) モデル設計 & 構築

2) パラメータ設定

3) シミュレーション

4) キャリブレーション

5) バリデーション

6) モデルアウトプット

流出特性の把握

現況の再現

- 各流域から流出する水や物質の流出量の把握

流出特性の把握

- 水や物質の原単位流出量の把握
- 各流域の自然条件が流出特性に及ぼす影響の分析

シナリオ分析・評価

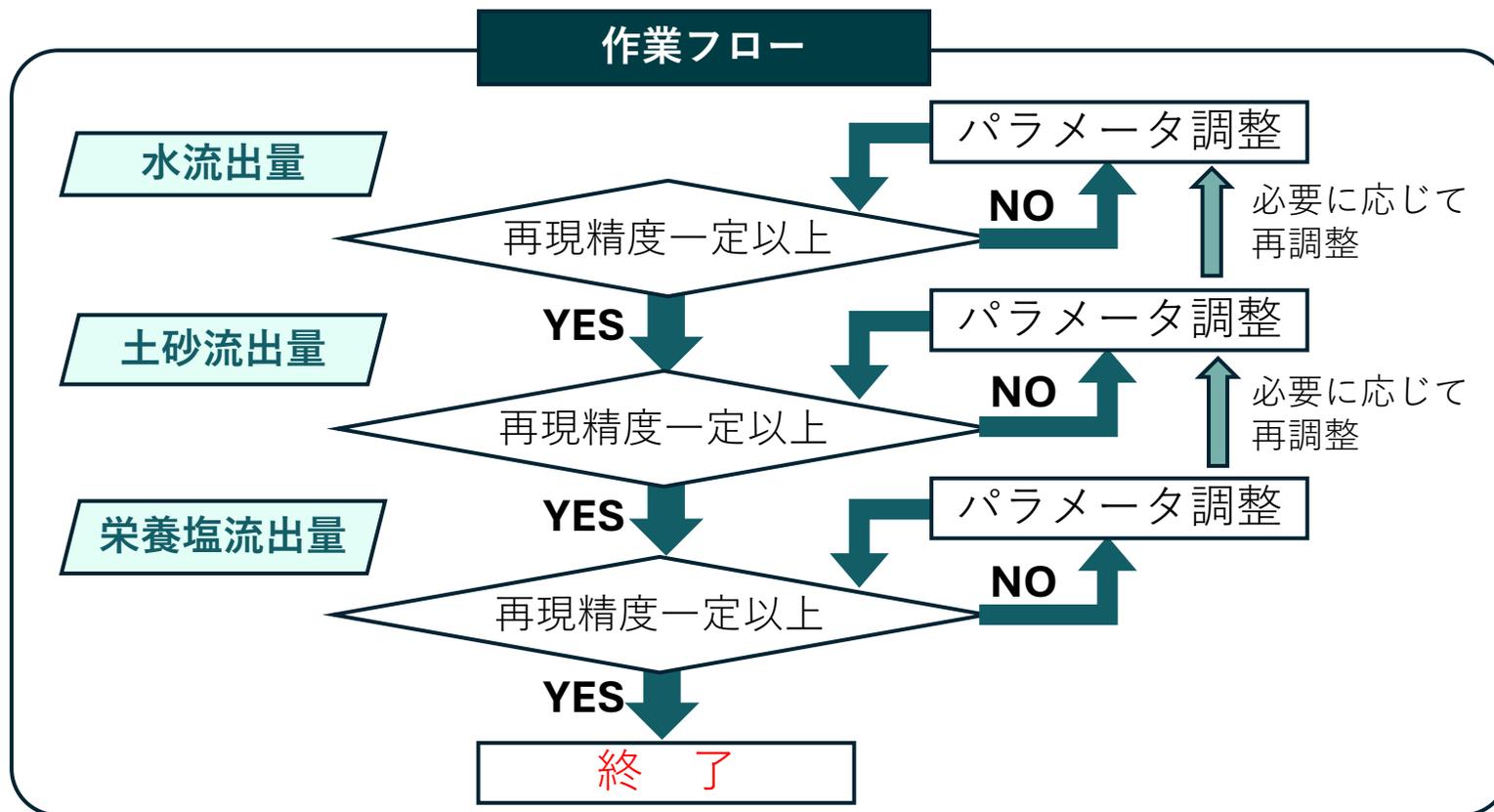
- 気象や土地利用/土地被覆の変化が水や物質流出に与える影響等の分析・評価
- 年間を通した河川流出の定常化、土砂・栄養塩類の安定的な供給及び急激な流出の抑制に係る森林の寄与を定量化

3. 調査手法

■ キャリブレーション・バリデーション

モデルシミュレーションの結果と実測データを比較し、実測に近づけていくためのパラメータ調整を繰り返し（キャリブレーション）、キャリブレーションに用いた期間のものとは異なる期間の実測データとシミュレーション結果を比較し、パラメータの妥当性を検証する（バリテーション）。

まず、水流出量についてバリテーションで一定以上の再現精度を得られたのちに、土砂流出量、栄養塩流出量で同様の作業を繰り返す。



・キャリブレーション
実測に近づけていくため、数回～数百回のシミュレーションを繰り返し行い、最適なパラメータを見つける。

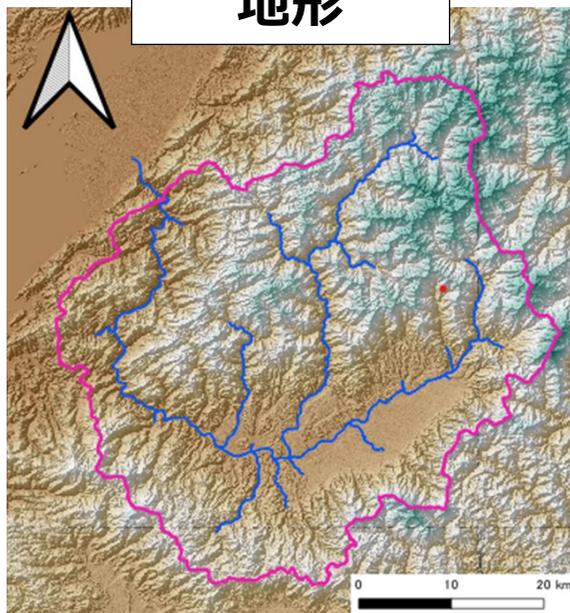
・バリテーション
シミュレーションにより得られた最適なパラメータの妥当性を検証する

Ⅱ．モデル構築及びシミュレーション

～球磨川モデルを例として～

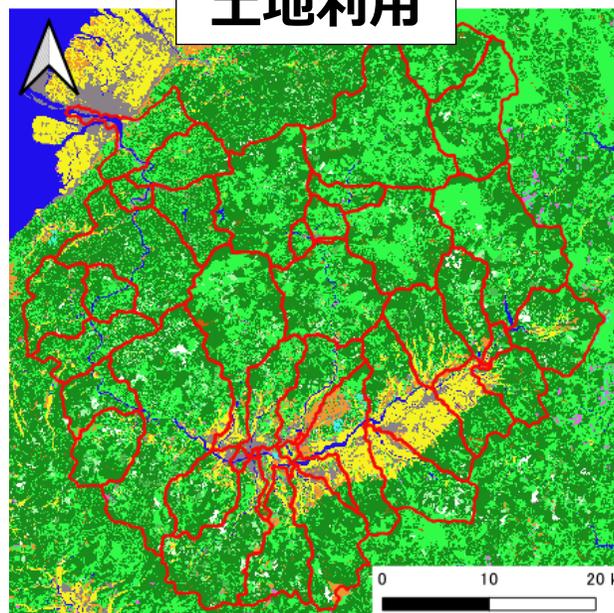
1. 球磨川流域の概況把握（地形・土地利用・土壌）

地形



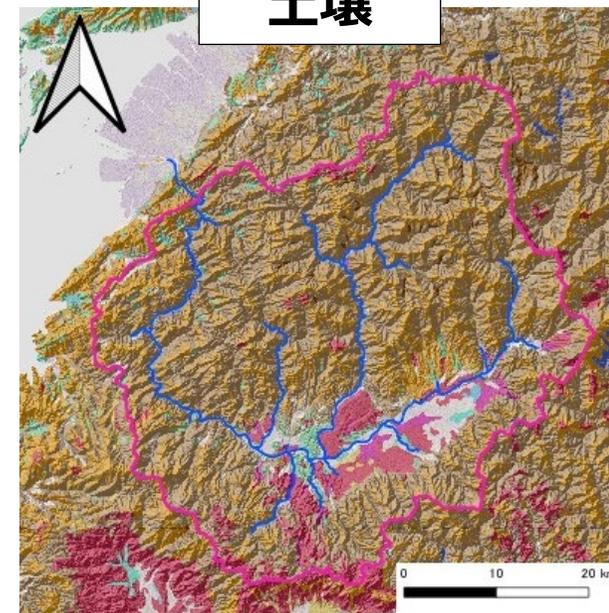
- 球磨地域は、中央部に人吉盆地を有し、球磨川、川辺川などの上流部ではV字溪谷を形成。
- 八代・芦北地域は、日奈久断層によって西部の八代平野と東部の山間地域に区分。

土地利用



- 森林等が全体の約 84%を占め、水田や果樹園等の農地が約 6%、宅地等の市街地が約 10%の割合となっている。
- 中央部の人吉盆地には市街地が形成され、その周囲に水田・畑等が分布。

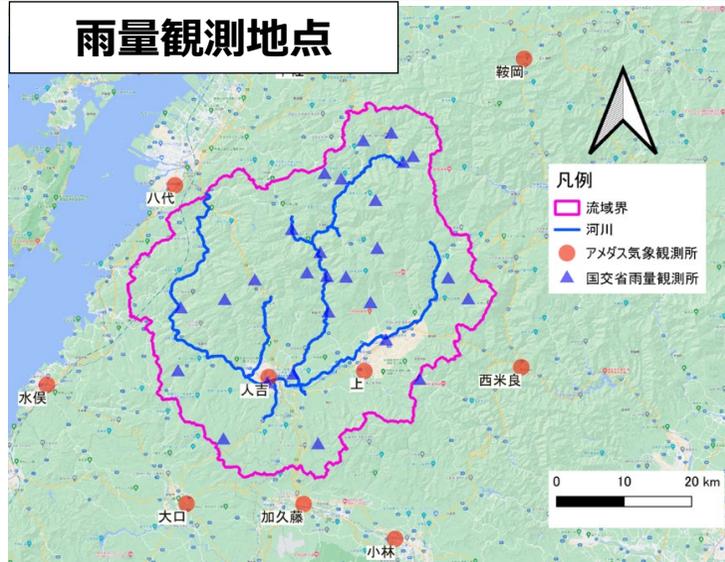
土壌



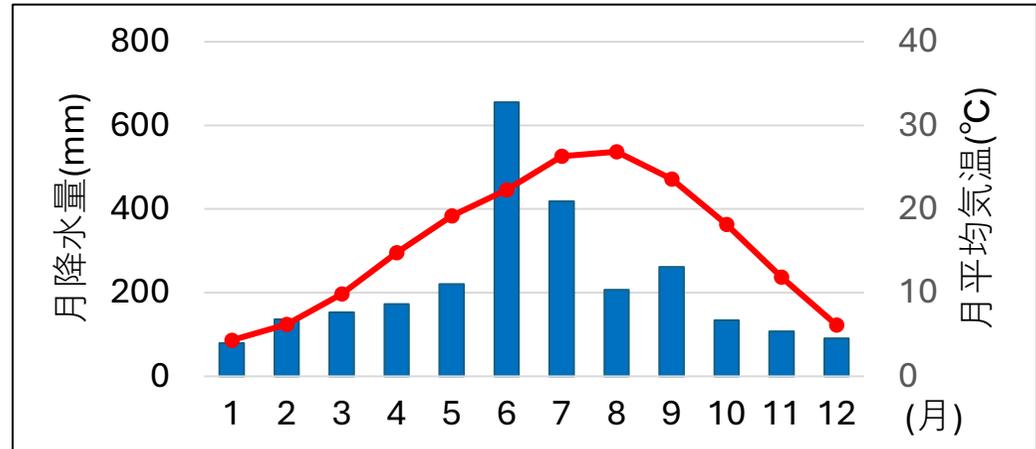
- 山間地域の大部分は、堆積岩を基岩とする土壌。
- 尾根筋に乾性褐色森林土、中腹以下に褐色森林土、沢筋に湿性褐色森林土が分布。
- 球磨川両岸の台地には黒ボク土が分布。

2. 球磨川流域の概況把握（気象・水文）

雨量観測地点

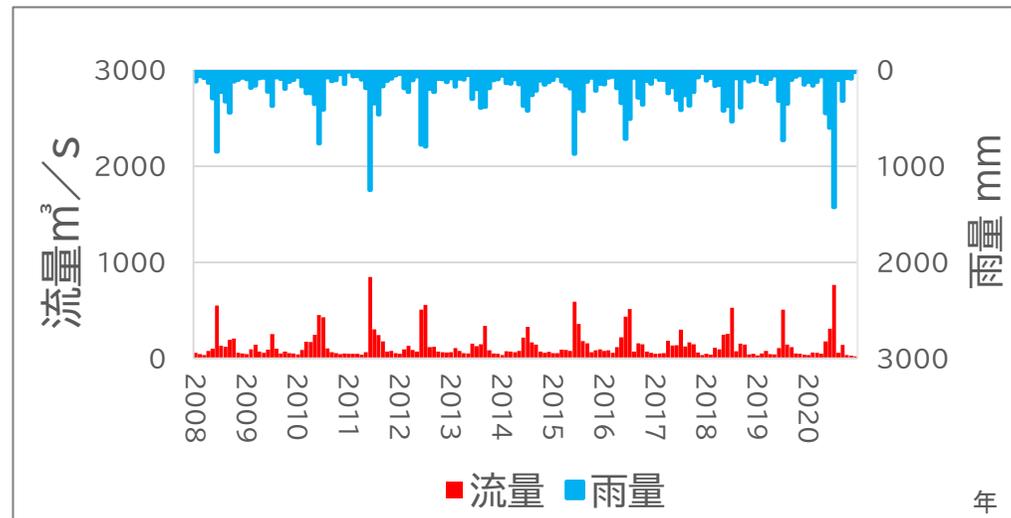
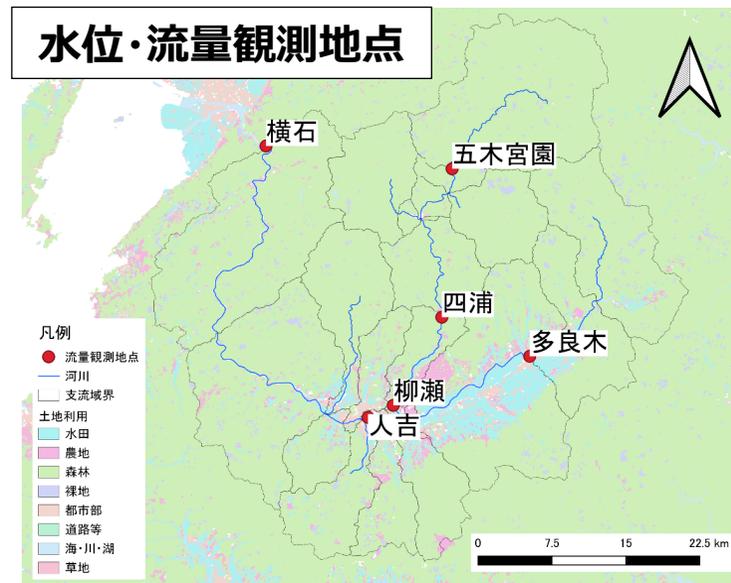


データ例



人吉観測所における月平均気温と月降水量 (2008～2018年)

水位・流量観測地点



横石観測所における2008～2020年の月流量

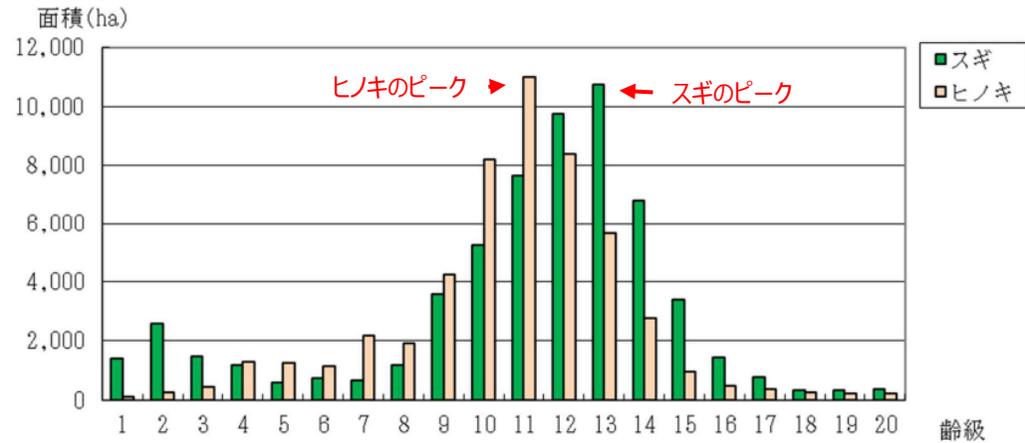
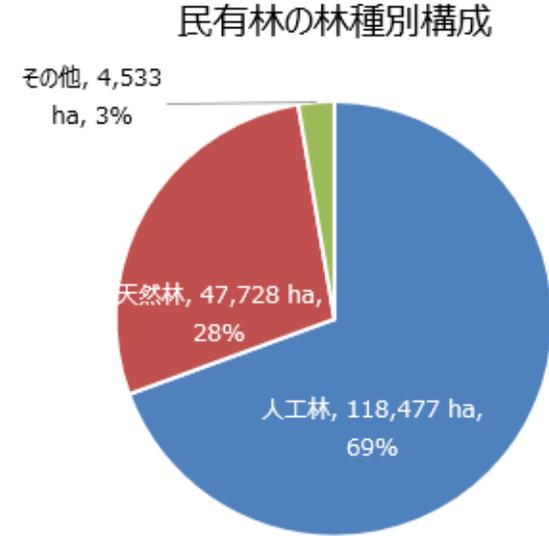
3. 球磨川流域の概況把握（森林）

球磨川流域の森林

- 流域内の森林面積は約20.8万haで、森林率は約8割と、熊本県平均の6割を大きく上回る。
- 国有林、民有林の面積はそれぞれ、3.7万ha、17.1万ha。
- 民有林の林種別構成は、人工林が約7割、天然林が約3割。



空中写真でみる球磨川流域



球磨川計画区の人造林（スギ、ヒノキ） 齢級別面積構成
出典：球磨川地域森林計画書（計画R5-15）より

4. 現地調査

球磨川流域を対象に流域の特徴把握、並びにモデル構築時のパラメータ初期値の設定、もしくは調整時のキャリブレーションに活用等するため、現地調査を実施した。

項目		調査手法	分析項目
雨水	水質分析	簡易式雨水採取装置	<ul style="list-style-type: none"> •全窒素 (T-N) 有機態窒素、硝酸態窒素 (NO₃-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、溶存態窒素※、懸濁態窒素※ •全リン (T-P) 有機態リン (OP)、無機態リン (IP)、溶存態リン※、懸濁態リン※ •浮遊物質 (SS) ※ <p>※のものは水質分析のみ実施 (土壌分析は未実施)</p>
土壌	土壌分析	ライナー付き土壌採取・分析	
地下水 (湧水)	水質分析	採取・分析	
河川	水質分析	平水時	
		出水時	自動採水器設置

- ✓ 雨水・土壌の調査は、球磨川流域内における国土交通省等が所管する雨量観測地点で行った。地下水の調査は、湧水地点で行った。
- ✓ 河川水の採水は、球磨川水系において潮汐の影響のない下流の水位・流量観測所 (横石観測所付近)、中流部 (人吉・一武・柳瀬)、並びに上流部 (五木宮園) にて実施した。



4. 現地調査

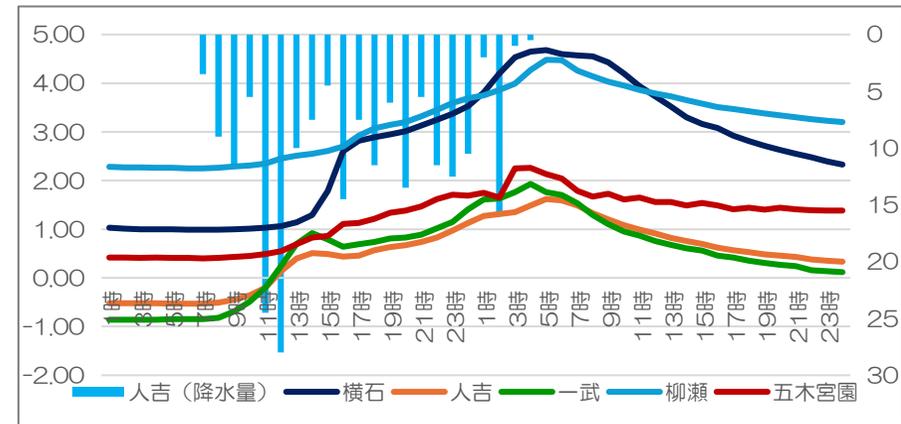
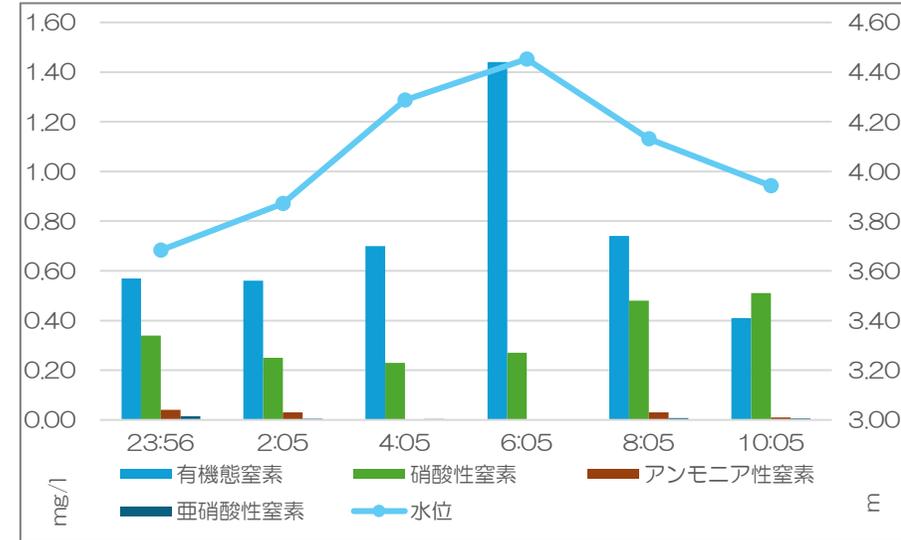
- 調査結果は、前述したモデルへの活用に加え、表・グラフ等にとりまとめ、土砂・栄養塩等の流出状況把握等に活用している。

土壌分析結果

試験項目	T-N	T-P	NO2-N	O-N	NH4-N	NO3-N	O-P	I-P	参考：土壌分類
	全窒素	全リン	亜硝酸態窒素	有機態窒素	アンモニア態窒素	硝酸態窒素	有機態リン	無機態リン	
八代	2610	500	<0.001	2590	<0.01	20	320	180	グライ土
神瀬	3430	1030	<0.001	3410	<0.01	20	680	350	褐色森林土
田野	7850	560	<0.001	7850	<0.01	<0.01	400	160	黒ボク土
多良木	3510	820	<0.001	3500	<0.01	10	490	330	灰色低地土
梶原	4730	1390	<0.001	4720	<0.01	10	880	510	褐色森林土

地下水分析結果

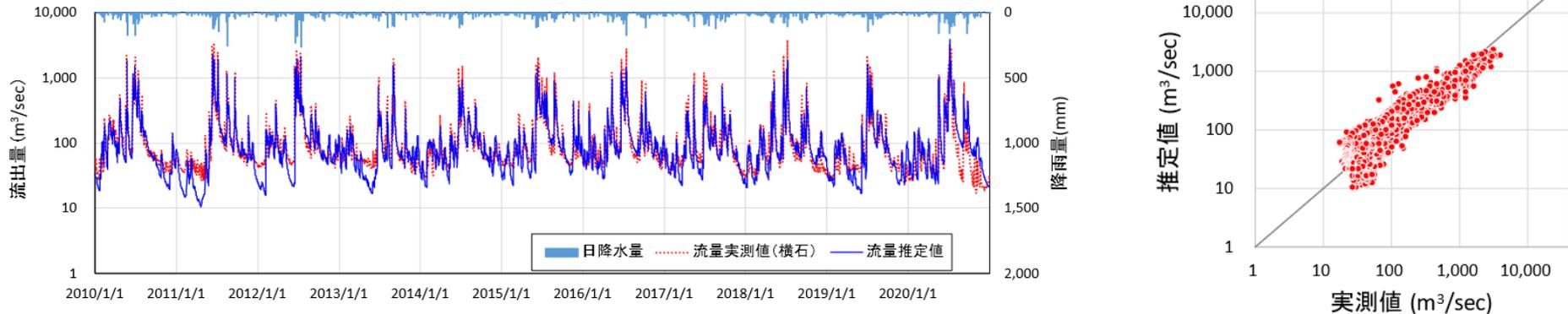
試験項目	T-N	O-N	NO2-N	NO3-N	NH4-N	D-N	P-N	T-P	O-P	I-P	D-P	P-P	SS
	全窒素	有機態窒素	亜硝酸態窒素	硝酸態窒素	アンモニア態窒素	溶存態窒素	懸濁態窒素	全リン	有機態リン	無機態リン	溶存態リン	懸濁態リン	浮遊物質
上原の井川	0.36	0.06	<0.001	0.26	0.04	0.31	0.05	0.045	<0.005	0.041	0.036	0.009	< 1
永国寺庭園の池	0.39	0.08	<0.001	0.28	0.03	0.32	0.07	0.016	<0.005	0.014	0.008	0.008	3
東方湧水	0.32	0.03	<0.001	0.26	0.03	0.31	0.01	0.009	<0.005	0.007	0.006	<0.005	1
白滝公園	0.62	0.03	<0.001	0.56	0.03	0.6	0.02	0.026	<0.005	0.024	0.022	<0.005	< 1
久連子湧水	0.46	0.04	<0.001	0.37	0.05	0.44	0.02	0.022	0.005	0.017	0.016	0.006	< 1



上：柳瀬水位観測所付近の河川水位変化と形態別窒素の濃度変化状況
下：球磨川流域5地点の河川水位変化と降雨状況の関係

5. キャリブレーション・バリデーション

■ 球磨川流域・横石地点の水流出の例



評価指標 RSR : 0.43(vg)、NSE : 0.82(vg)、PBIAS : 7.22(g)

- RSR : 観測値と予測値の二乗平均平方根誤差を観測値の標準偏差で割ったもので、0に近いほど精度が良い。
- NSE : 流量のバラツキを考慮してモデルの精度を評価する指標。0.7以上であれば再現度が高いとされる
- PBIAS : 評価したデータの偏りを100分率で示したものの。0であれば偏りがなく、絶対値が大きくなるほど精度が低い。

表：評価指標と評価基準 (Moriasi et al (2015) *より引用)

Performance	RSR	NSE			PBIAS(%)		
		Streamflow	Sediment	N, P	Streamflow	Sediment	N, P
Very Good		NSE>0.80	NSE>0.80	NSE>0.65	PBIAS<±5	PBIAS<±10	PBIAS<±15
Good	0.50<RSR≤0.60	0.70<NSE≤0.80	0.70<NSE≤0.80	0.50<NSE≤0.65	±5≤PBIAS<±10	±10≤PBIAS<±15	±15≤PBIAS<±20
Satisfactory	0.60≤RSR≤0.70	0.50<NSE≤0.70	0.45<NSE≤0.70	0.35<NSE≤0.50	±10≤PBIAS<±15	±15≤PBIAS<±20	±20≤PBIAS<±30
Unsatisfactory	RSR>0.70	NSE≤0.50	NSE≤0.45	NSE≤0.35	PBIAS≥±15	PBIAS≥±20	PBIAS≥±30

*Moriasi, D.N., et al.(2015) Hydrologic and Water Quality Models:Key Calibration and Validation Topics. Transactions of the ASABE, 58, 1609-1618.

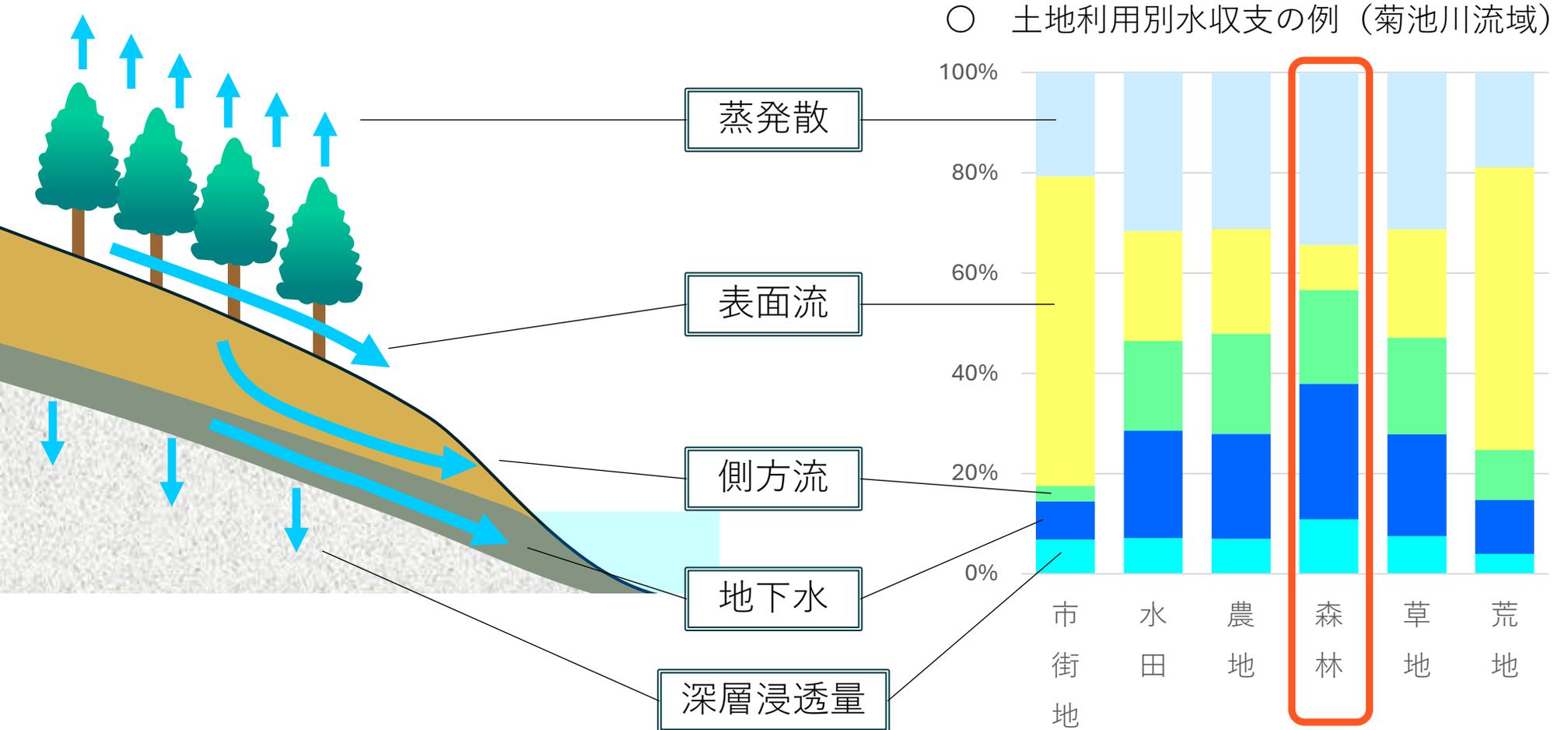
Ⅲ 各流域の流出特性の把握

～現況の流出特性～

1. 年間水収支（土地利用別）

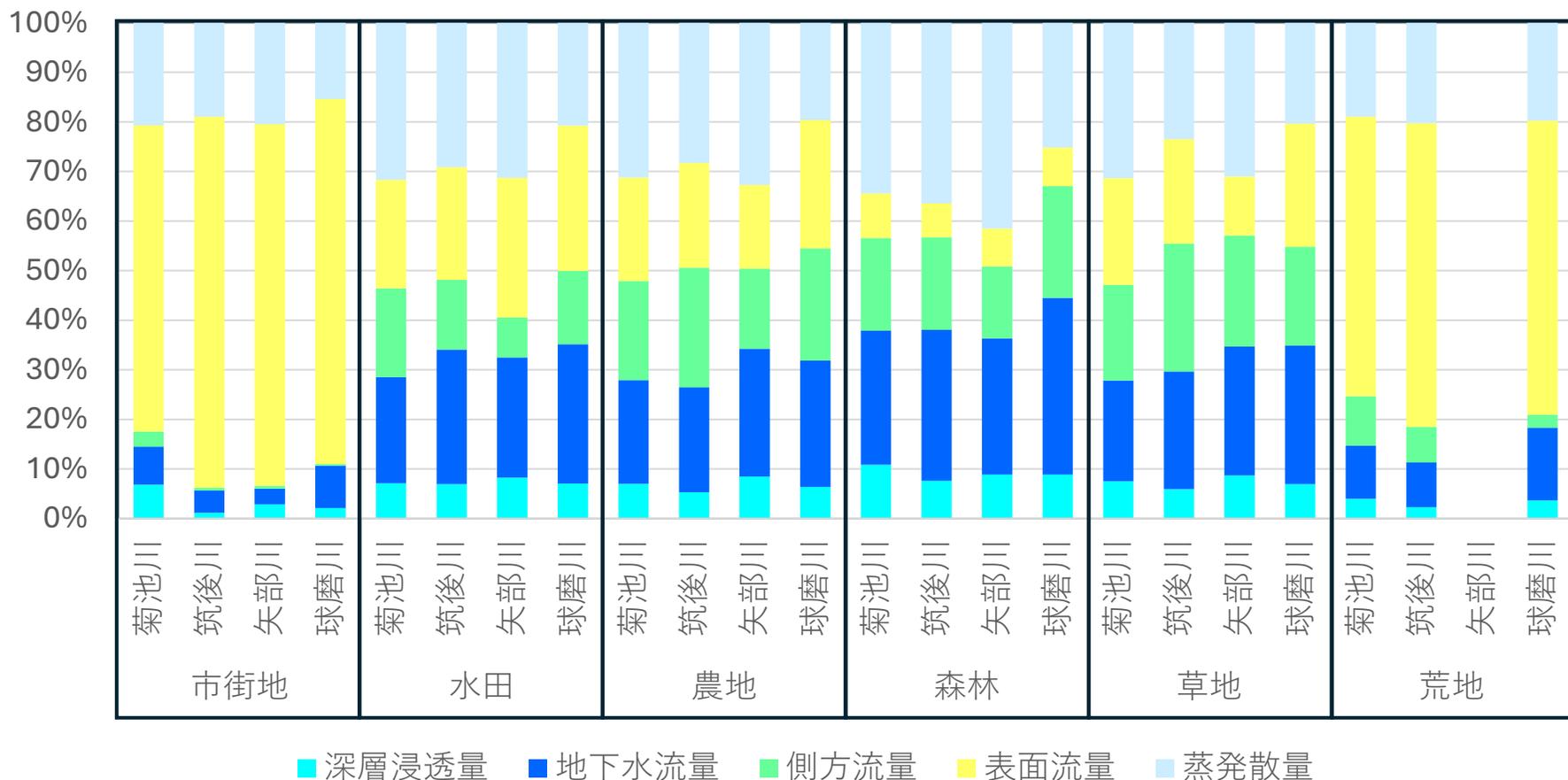
森林地では、蒸発散量が高く、表面流量が少なく、側方流量、地下水流量、深層浸透量は森林地でやや多いという結果となった。

渇水期を含め、年間を通して森林から安定的に水が供給されていることが示された。



1. 年間水収支（土地利用別）

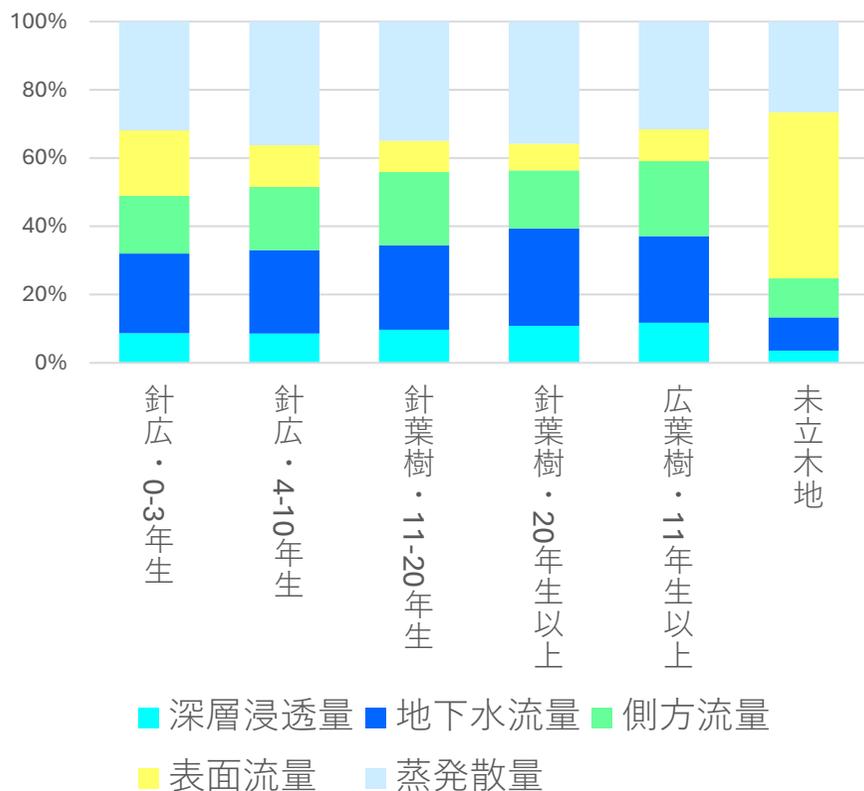
流域別の森林をみると、球磨川は、蒸発散の割合が低く地下水流量の割合が高い結果となっている。これは、球磨川流域が他の流域に比較して年間降水量が大きいことによるものと考えられる。



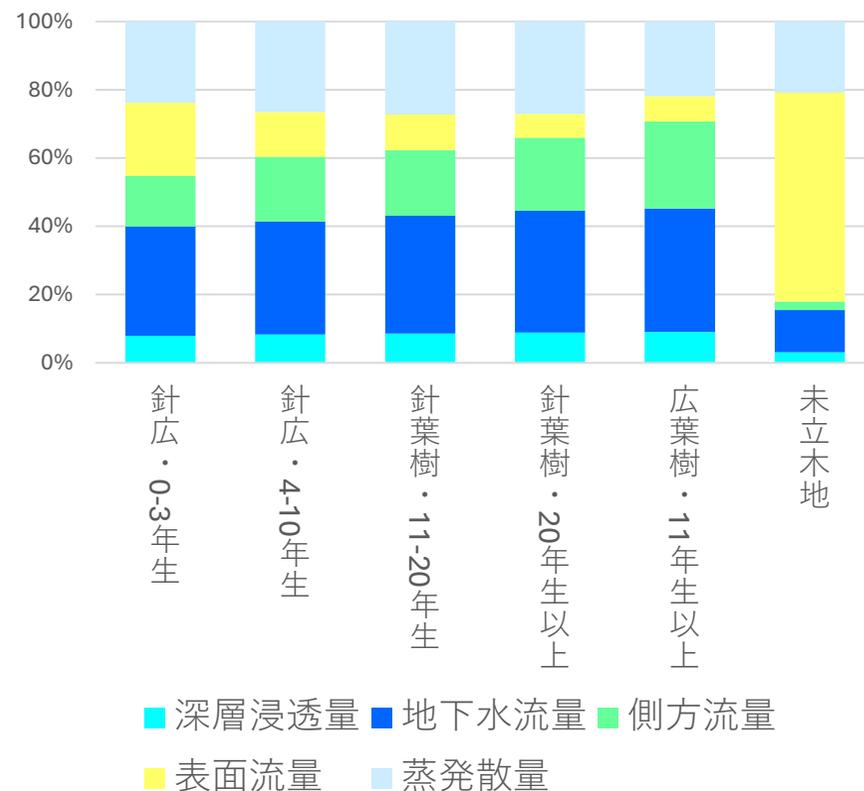
2. 年間水収支（林相別）

菊池川、球磨川については、森林の林相別に水収支を求めた。
 若齢林に比して成長後の森林の方が表面流の割合が減少するといった傾向はみられるものの、森林と未立木地との差に比べればその差はわずかなものとなっている。
 このことから、伐採後再造林を行い、森林を維持していくことが重要であることがわかる。

土地利用別水収支構成割合（菊池川）



土地利用別水収支構成割合（球磨川）

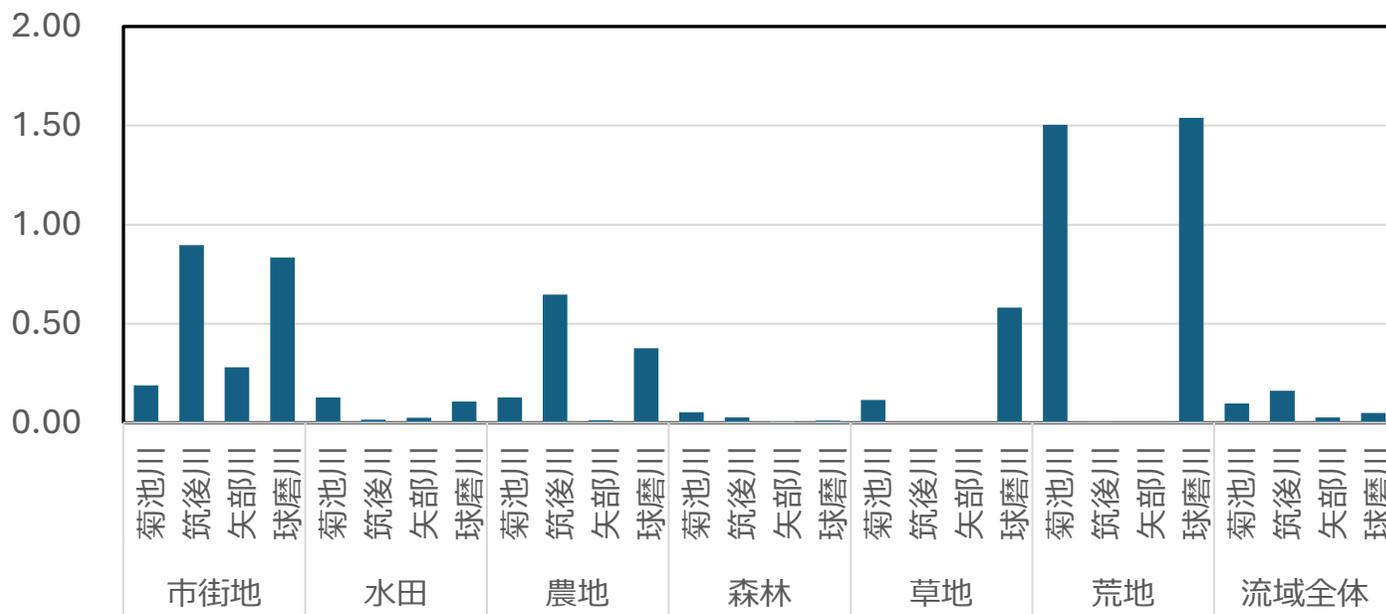


SS・TN・TP負荷量【※現在検証中】

流域別、土地利用別のSS及び栄養塩類（窒素、リン）の負荷量については、出水時の採水が十分にできていない流域があることなどから、同じ土地利用でも極端な差が生じているなど、モデルの精緻化が不十分な状況となっている。

今年度中に、不足している情報を収集し、SWATモデルや森林水文の専門家の指導助言のもとでモデルの精緻化を図ったうえで、後述するシナリオ分析を行っていく予定。

(ton/ha/year) ・年間SS比負荷量（土地利用別）



※現時点のモデルでの結果

IV SWATモデルを用いたシナリオ分析

シナリオ分析項目

- ① 森林率と流出平準化効果の関係性
- ② 森林率とピーク流量の関係性
- ③ 森林の存在と土砂・栄養塩流出量の関係性
- ④ 年代による土地利用変化と流出平準化効果の関係性
- ⑤ 再造林率の違いと流出量の関係性

※土砂流出・栄養塩類に係るモデルの精緻化が不十分であるため、現時点での検討状況を報告します。

分析事例 1 : 森林率と流出平準化効果の関係性

目的

流域における森林率の高さは年間における河川流出の平準化に寄与するかどうかを評価する。

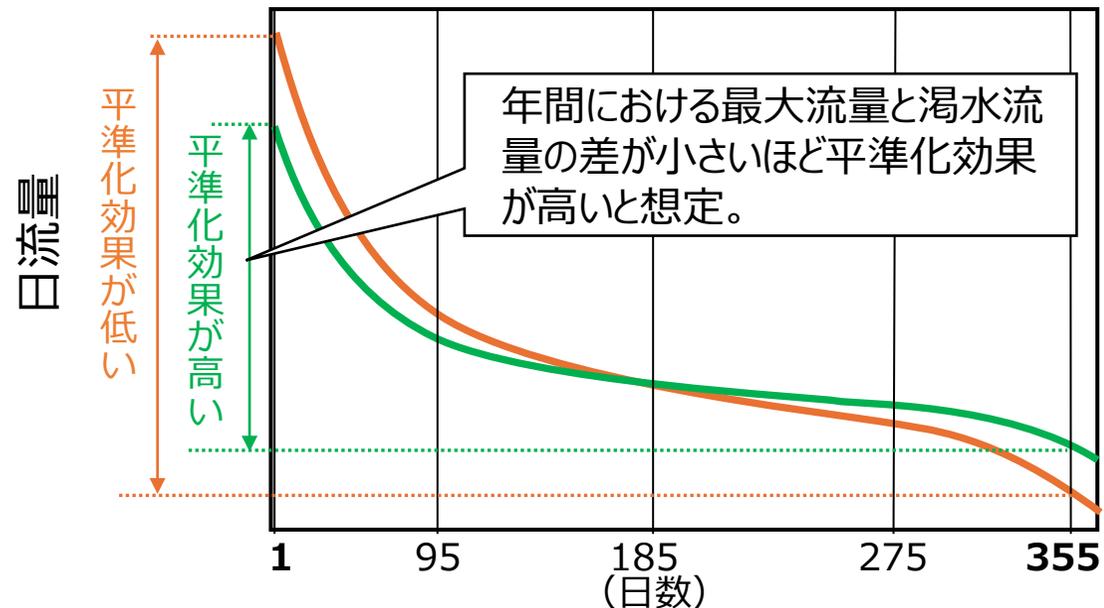
手法

年間における、流況曲線上の最大流量と渇水流量の差が小さいほど平準化効果が高いと仮定。球磨川流域を対象に、森林率の異なる4つのシナリオのシミュレーションを行い、最大流量と渇水流量の差から、森林率と流出を平準化効果の関係性を評価する。

シナリオ諸条件

- 異なる森林率シナリオを作成
 - ✓ 森林率85% (現況)、60%、40%、20%
 - ✓ 減少した森林面積は荒地に置換え
- 2014年の降雨量を適用
- 各シナリオのモデルアウトプットを基に**流況曲線**を作成し、各流量レベルにおける流量の違いを比較

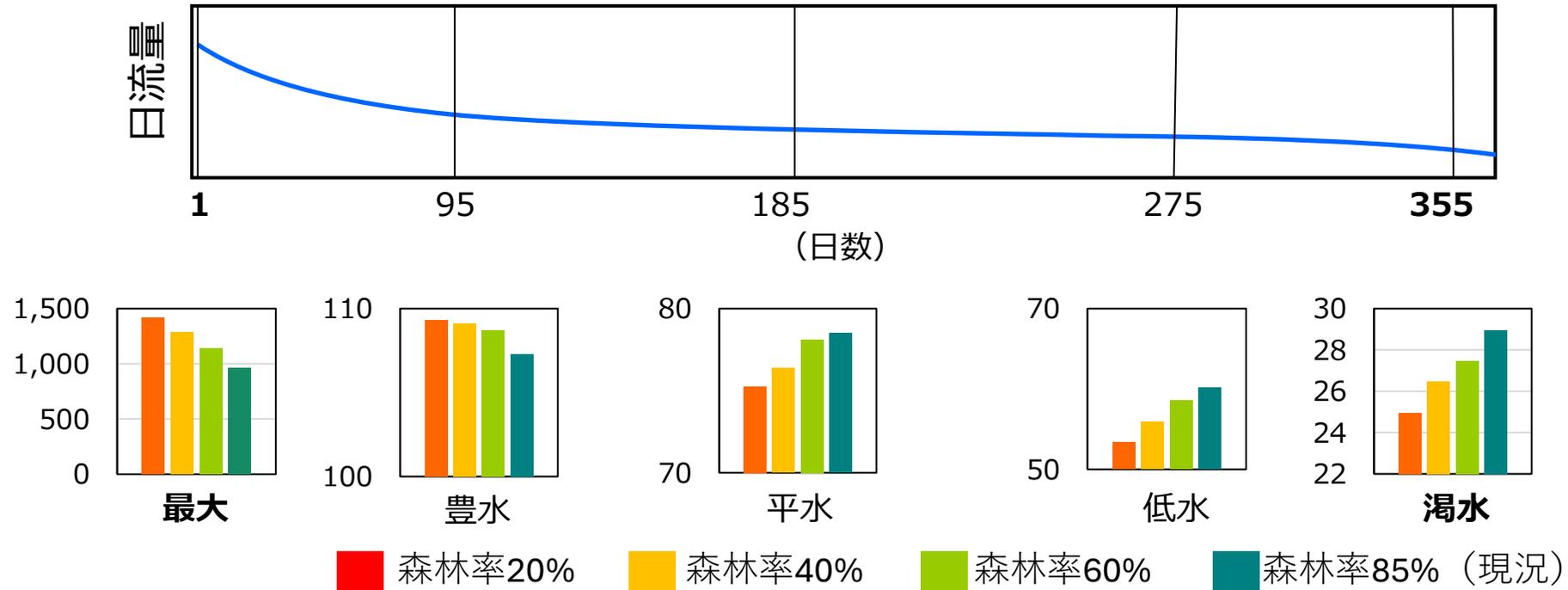
流況曲線イメージ



分析事例 1 : 森林率と流出平準化効果の関係性

結果

※使用モデル：球磨川



考察

森林率が高いほど最大流量は小さく、森林率が低くなるにしたがって最大流量は大きくなり、渇水流量についてはその逆の傾向となった。

年間の最大流量と渇水流量の差は森林率が高いほど小さい結果となったことから、**流域における森林率が高いほど流出を平準化する効果が大きく、大雨時における洪水緩和や渇水時における安定的な水供給に寄与することが示唆された。**

分析事例 2 : 森林率とピーク流量との関係性

目的

流域における森林率がピーク流量低減へ寄与するかどうかを評価する。

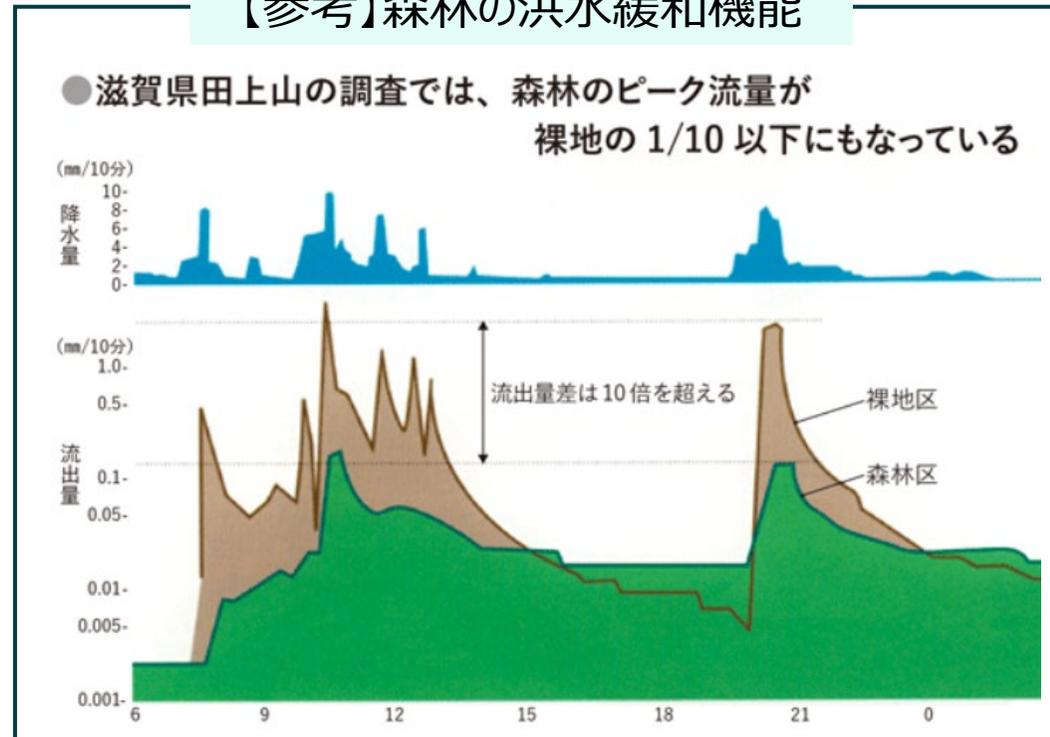
手法

24時間確率降雨量と、異なる森林率を組み合わせたシナリオに基づき、シミュレーションを行い、降雨レベル別、森林率別のピーク流量の結果を比較する。

シナリオ諸条件

- 24時間確率降雨量と異なる森林率の組み合わせによるシナリオを作成
- 森林率:
85% (現況)、60%、40%、20%
- 減少した森林面積はに荒地に置換え

【参考】森林の洪水緩和機能

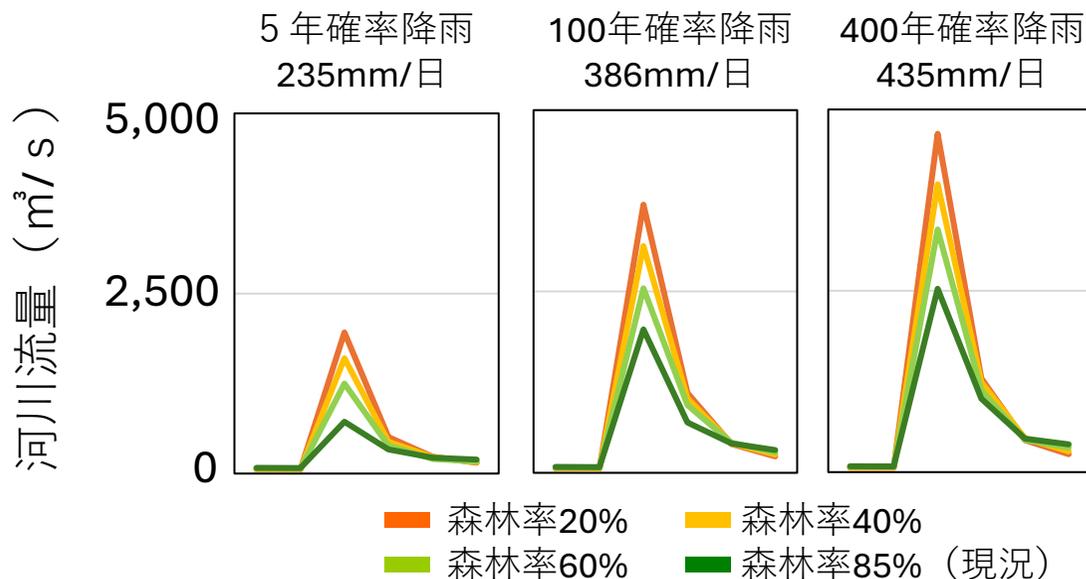


分析事例 2 : 森林率とピーク流量との関係性

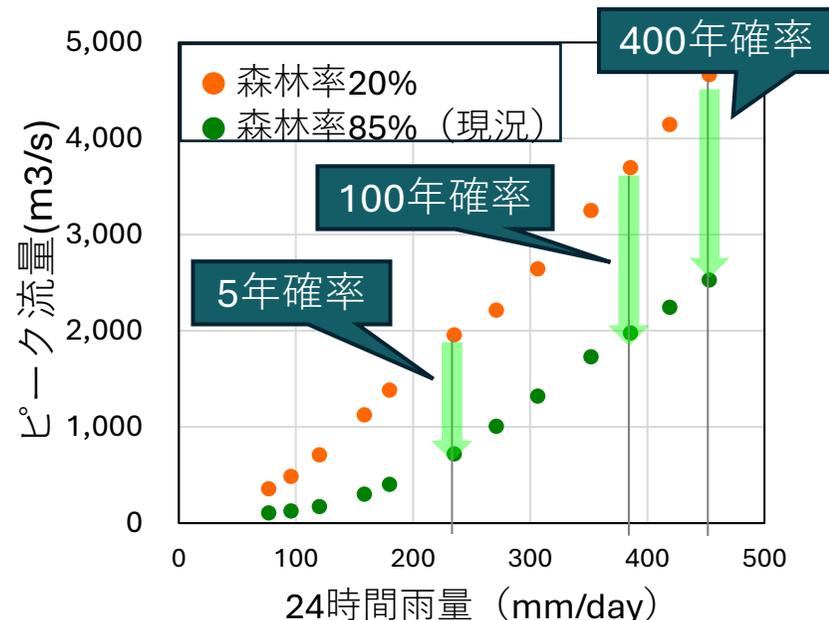
結果

※使用モデル：球磨川

① 確率降雨量毎の森林率別ハイドログラフ



② 雨量毎の森林率別のピーク流量



考察

いずれの確率雨量においても森林率の最も高い現況の森林率（85%）においてピーク流量が最も低く抑えられ（①）、また、400年確率雨量（令和2年豪雨のレベルの雨量）において、森林率20%の場合に比較して現況（森林率85%）では46%ピーク流量を抑制するなど、森林率が高いほどピーク流量が抑えられることが確認できた（②）。

→ 流域に一定の割合で存在する森林がピーク流量の低減に寄与している。

分析事例 3 : 森林の存在と土砂・栄養塩流出量の関係

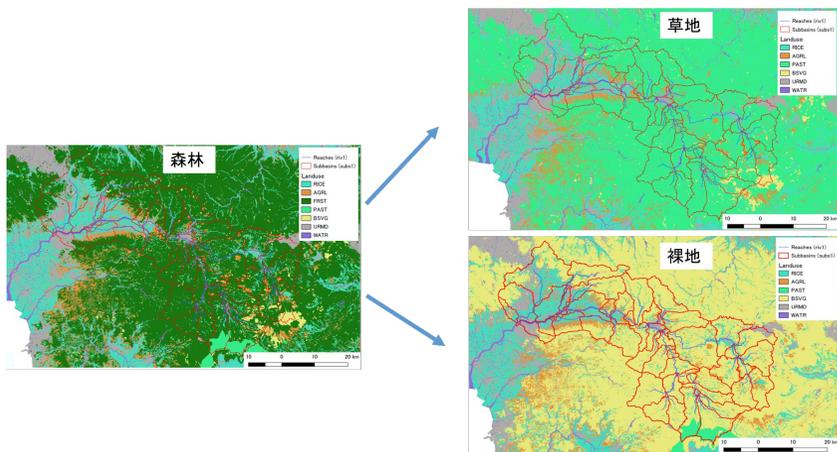
目的 森林が草地や荒地に変化した場合に、SS・栄養塩の流出に与える影響を評価する。

手法 流域の森林が草地や荒地に置き換えられた場合のモデルを構築し、それぞれ水・SS・栄養塩のピーク流出量の結果を比較する。

検討状況

シナリオ諸条件

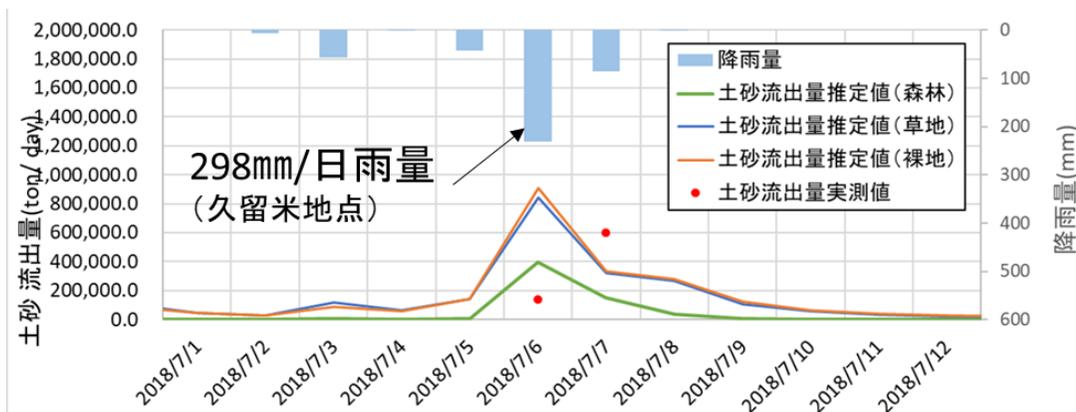
- 「森林」が「草地」や「荒地」に置き換わるシナリオをモデル上で再現。



結果

※使用モデル：筑後川

■ 土砂流出量の例



草地と荒地で土砂流出量が変わらない、実測値との乖離があるといった問題（土地利用別年間流出量と同様の問題）があるため、今後モデルを精査していく。

分析事例4：年代による土地利用変化と流出平準化効果の関係性

目的 年代による土地利用変化（森林の成長による林相変化を含む）は、年間における河川流出や栄養塩流出の平準化に寄与するかどうかを評価する。

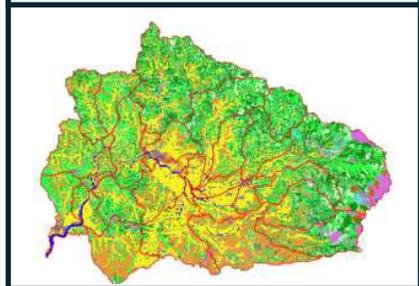
手法 2時点（1970年代、2010年代）の土地利用区分図を作成し、それぞれを適用したモデルでシミュレーションを行い、水や物質の流出量について比較を行う。

検討状況

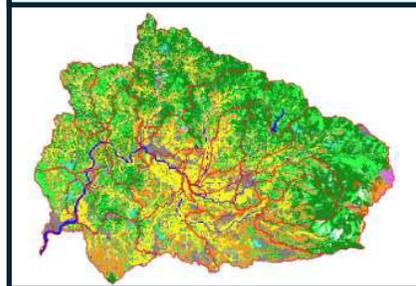
シナリオ諸条件

- 土地利用以外は2010年代モデルと同じインプットを適用（両モデルとも2010年代の降水量を適用）。
- 1970年代モデルには2010年代モデルのベストパラメータを適用。

1970年代



2010年代

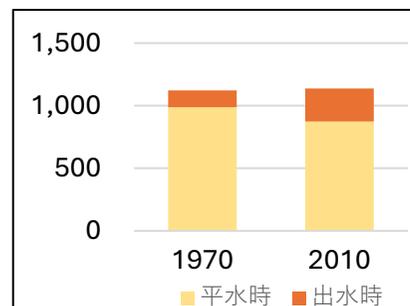


【林相変化】 若齢林の割合が減少、成熟林の割合が増加、針葉樹・広葉樹の面積割合に大きな変化なし

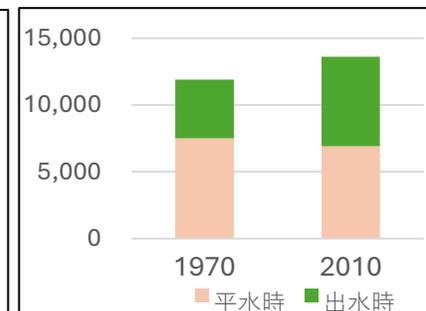
結果

※使用モデル：菊池川

河川流出量 (mm/年)



窒素流出量 (ton/年)



2010年代の方が出水時の流出量が多くなっている

対象地域においては1970年代から2010年代までに都市化が進展しており、この影響が大きい可能性があるため、森林直下と最下流部（流域全体）の水・物質の流出量を比較していく。

併せてモデルそのものにも問題がないかも精査していく。

今後（今年度中に）実施予定

分析事例5：再造林率の違いと流出量の関係性

目的 再造林率の違いが30年後の水・SS・栄養塩の流出に与える影響を評価する。

手法 2016年を起点（現況）とし、毎年伐採した部分の再造林率の違いにより、2046年（30年後）の水・SS・栄養塩の年間総量がどうなっていくかを比較する。

検討状況

シナリオ諸条件

※将来の伐採量の設定及び再造林率の設定について検討中。暫定的に以下の条件で分析。

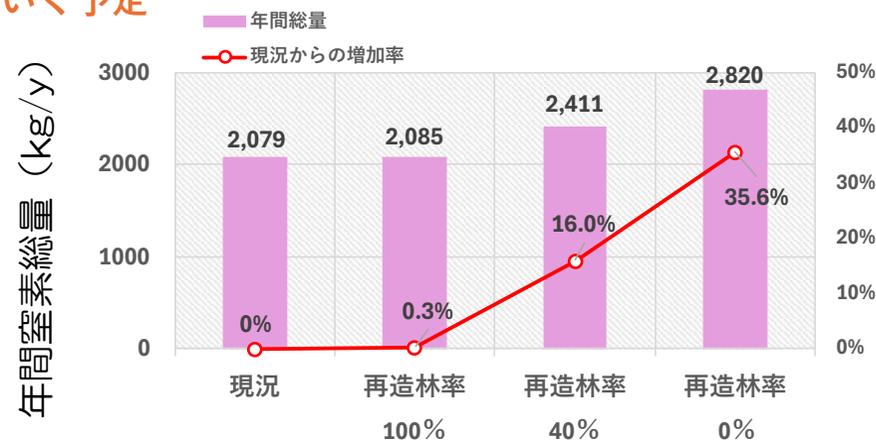
- 資源の充実に伴い、伐採量は5%ずつ増加
- 再造林率は100%、40%、0%
- 再造林されない箇所のうち50%は天然更新により森林に、残りの50%は荒地に置き換え

結果（例）

※使用モデル：球磨川

再造林率40%、0%において、現況の流出量よりも増加する傾向がみられ、再造林率40%よりも0%のほうが、差が大きい（下図は年間窒素流出量の例）。

※現時点のモデルを使った結果であり、今後モデルを精査していく予定



まとめ

これまでの調査等により構築したSWATモデルについては、水収支に関して一定の精度を得ており、以下のとおり、森林の存在が年間を通じて安定的に水を海域に供給する役割を果たしていることを確認できた。

○土地利用別の水収支

他の土地利用形態に比較して森林では表面流量が少なく地下浸透量が大
きい結果となり、**年間を通して森林から安定的に水が供給されていること**
が示された。

○シナリオ分析

森林率が高いほど、**河川流量を平準化させる効果が大きくなり、洪水時
のピーク流量を低減させる効果が大きくなる**ことが示された。

令和8年度報告に向けての課題

○ 土砂・栄養塩類の流出モデルの精緻化

土砂・栄養塩類の流出に関してはモデルの精度が不十分であるため、モデルの精緻化の上でシナリオ分析を行い、森林の効果を明らかにしていく。

○ 森林直下と流域全体との比較

森林の成長（林相変化）の効果については、流域全体でのシナリオ分析では、他の土地利用の影響が加味され、森林の影響のみを特定することが困難であるため、森林直下と流域全体のそれぞれで効果を分析・比較し、森林の成長が海域環境に与える効果について確認していきたい。

余裕があれば、他のシナリオ分析においても森林直下と流域全体での分析を行って、森林の効果を明確化していきたい。