

令和元年度

山地保全調査(水源森林保全調査・  
有明海等の閉鎖性海域と森林に関  
する調査)委託事業

報 告 書

令和2年3月

林 野 庁

## 目 次

I. 事業の背景.....	1
II. 令和元年度（2019年度）調査計画.....	2
1. 調査目的.....	2
2. 本事業の経緯及び課題.....	2
3. 事業の基本方針.....	5
4. 本年度の業務内容.....	8
(1) 実施項目.....	8
(2) 作業実施体制.....	9
III. 菊池川流域に係る既存資料の収集・整理.....	10
1. 気象.....	12
(1) 雨量.....	12
(2) 気温、風向・風速、日照時間.....	20
2. 河川.....	30
(1) 流量（水位）.....	30
(2) 水質（窒素、リン、SS）.....	37
3. 土地利用.....	45
(1) 土地利用細分メッシュ.....	45
(2) 森林簿.....	46
(3) 環境省植生図.....	47
IV. 現地調査の実施.....	49
1. 平水時の河川水質分析.....	50
2. 出水時の河川水質分析.....	50
3. 調査結果.....	52
V. 全流域モデルにおける窒素収支の再調整.....	60
1. 背景と課題.....	60
2. 調整方法.....	61
3. 調整結果.....	64
VI. 時間スケールモデルの構築と推定結果.....	69
1. 時間スケールモデルの構築.....	69
(1) 背景と時間スケール解析の流れ.....	69
(2) 時間スケールモデルの設定.....	72
(3) 実測データの調整.....	73
(4) キャリブレーション対象パラメータと調整結果.....	75
2. 時間スケールモデルの推定結果.....	79

(1) 河川流量.....	79
(2) 土砂流出量.....	80
(3) リン流出量.....	82
(4) 窒素流出量.....	84
(5) 日スケールモデルとの比較.....	86
3. 時間スケールモデルのまとめと位置づけ.....	90
VII. 過去モデルの構築と推定結果.....	91
1. 過去モデルの構築.....	91
(1) 過去モデルの概要と解析の流れ.....	91
(2) 過去モデルの構築方法.....	93
2. 過去モデルの推定結果.....	106
(1) 2010年代モデルにおける全流域モデルパラメータのバリデーション.....	106
(2) 2010年代モデルにおける森林関連パラメータのキャリブレーション.....	108
(3) 1970年代モデルにおける森林関連パラメータのバリデーション.....	111
(4) 2010年代モデルと1970年代モデルにおける推定結果比較.....	113
3. 過去モデルを用いたシナリオ解析.....	122
4. まとめと今後の課題.....	125
VIII. 有明海及び八代海に注ぐ一級河川流域についての既存資料の収集・整理.....	126
1. 概要.....	126
2. 情報の入手先.....	127
IX. ボーリング調査の実施.....	128
1. 調査概要.....	128
(1) 調査場所.....	128
(2) 調査内容.....	128
(3) 調査位置.....	130
2. 調査方法.....	132
(1) 機械ボーリング.....	132
(2) 岩盤の透水試験（ルジオン試験）.....	134
(3) 孔内電気検層.....	137
3. 調査結果.....	139
(1) 地形・地質概要.....	139
(2) ボーリング調査結果.....	143
(3) コア観察の方法と岩盤等級.....	145
(4) 孔内電気検層結果.....	148
(5) ルジオン試験結果.....	148
X. 検討委員会の開催.....	149

1. 委員会開催の目的 .....	149
2. 水源森林保全調査・有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査委員会の開催 ....	149
(1) 第1回検討委員会 .....	149
(2) 現地検討会 .....	149
(3) 第2回検討委員会 .....	150
(4) 第3回検討委員会 .....	151
<b>XI. 2020年度調査計画(案) .....</b>	<b>153</b>
1. 他流域への SWAT モデルの適用 .....	153
2. 現地調査計画(案) .....	153
3. 菊池川モデルの調整 .....	154
(1) パラメータの再調整 .....	154
(2) 森林の推移履歴との連動性についての精緻化 .....	154
4. 山体地下水の計測 .....	155
5. 調査結果の公表に係る検討 .....	156
6. その他の流出物に関する取り扱い .....	156
巻末資料 .....	157

## I. 事業の背景

有明海及び八代海は、国民にとって貴重な自然環境及び水産資源の宝庫であり、その恵沢を国民が等しく享受し、後代の国民に継承すべきものである。しかしながら、有明海及び八代海においては、周辺の経済社会や自然環境の変化に伴い、水質の富栄養化、底質の泥化や有機物のたい積等海域の環境が悪化し、赤潮の増加や貧酸素水塊の発生等が見られる中で、二枚貝をはじめとする漁業資源の悪化が進み、海面漁業生産は減少を続けている。これらの状況にかんがみ、有明海及び八代海を豊かな海として再生することを目途として、国及び関係県が協力して、海域の環境の保全及び改善並びに水産資源の回復等による漁業の振興を総合的かつ計画的に推進するため、平成 14 年 11 月に「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」（以下「特措法」という）が定められた。

特措法第 4 条に基づき定められた「有明海及び八代海等を再生するための基本方針」（平成 15 年 2 月）においては、森林の機能の向上に関する事項として、「造林、保育、林道の整備等の計画的な森林整備や、荒廃山地の復旧整備等を通じて保安林等を適正に保全するためのきめ細かな治山対策を推進するとともに、地域住民等多様な主体の参加と連携による国民参加の森林づくり等の推進に努めるなど、重視すべき機能に応じた適切な森林の整備・保全を図り、有明海及び八代海に流入する河川流域の森林の有する多面的機能を将来にわたり持続的に発揮させる」との記述がなされており、有明海・八代海に流入する河川流域内に所在する森林が、海域の物質生産に果たしている役割に対して、科学的な観点から調査・検討を行うことが求められている。

また、平成 23 年に同法が改正され、特措法第 18 条の 5 に「有明海及び八代海等の海域に流入する河川の流域における森林と当該海域の環境との関係に関する調査」を行うことが規定された。

これらを受け、林野庁では、平成 26 年度より資料文献調査を開始し、平成 27 年度に調査方針の検討、モデル流域の選定及び流出モデルの整理を行った。

続く平成 28 年度から平成 30 年度にかけて、流域・河川等の情報を豊富に有する一級河川である菊池川流域をモデルとし、流出モデル構築に必要な資料収集及び現地調査の実施を通してパラメータや設定の調整を行い、十分な再現精度のある流出モデルを構築した。このモデルを用いて、当該流域における森林から流出する雨水や物質が有明海等の閉鎖性海域の環境に与える影響を大まかに把握し、有明海等の閉鎖性海域と森林との関係について解析を行った。また、平成 30 年度にはこれまでに得られた成果のまとめと総合評価を実施した。

本年度は、これまでの解析を通して見えてきた課題を解決し、モデルのさらなる精度向上や利用可能性の拡充を図り、より発展的な解析に取り組むこととした。

## II. 令和元年度（2019年度）調査計画

### 1. 調査目的

平成23年に改正された「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18条では、国は有明海等の閉鎖性海域の環境の保全及び改善等を図るため、当該海域の環境と森林との関係に関する調査を行うこととされている。

近年、河川を介して森林から海まで移動する土砂やこれと共に移動する栄養塩類等が河川水域や海域の生態系に多大な影響を与えていると言われていたが、森林による海域の環境への影響を評価するためには、流域全体の水文プロセスや森林域以外からの栄養塩類等の流出も考慮する必要がある。

林野庁では、平成28年(2016年)度から平成30年(2018年)度の3ヵ年で有明海に注ぐ一級河川である菊池川流域をモデル流域として流出モデルを構築した。この流出モデルによるシミュレーションの結果を利用し、有明海・八代海に注ぐ一級河川流域における森林から流出する雨水や物質が閉鎖性海域の環境に与える影響を評価することにより、有明海等の閉鎖性海域と森林との関係を解明することを目的とした。

### 2. 本事業の経緯及び課題

本項目では、これまで実施されてきた事業内容を整理し、今後検討が必要な課題について整理する。

平成27年(2015年)度実施された「山地保全調査(水源森林保全調査)」においては、森林の海域に果たすポジティブな役割の評価の論点について、以下のように整理されている。

- 比較的大きな流域を対象として、「流出モデル」(Soil And Water Assessment Tool;以下、SWATモデルという)を用いて、マクロ的・演繹的に評価するアプローチが有効である
- 流域の森林管理に資するという観点からは、小流域で様々な管理状態の森林における栄養塩類等や流量等の定量的調査を行うアプローチも必要である

以上の論点を踏まえ、森林の海域に果たすポジティブな役割について、大きく2つの仮説についてSWATモデルを用いて評価した。

#### 仮説1：森林の水源かん養機能及び土砂流出安定化機能の評価

森林の持つ水源かん養機能の一つである流量の平準化は、河川流出の定常化に寄与し、土砂(Suspended Solid; 浮遊物質、以下SS<sup>1</sup>という)を含む栄養塩類の安定的な供給に

---

<sup>1</sup> SSとは、水中に懸濁している不溶性物質のことで、2mmのふるいを通し1 $\mu$ mのろ過材上に残留する物質と定義されており、有機物なども含まれることがあるが、土砂のみを抽出して分析することは難

つながると考えられる。

そのため、森林の水源かん養機能及び土砂流出安定化機能などの水文プロセスについて、SWAT モデルを用いて評価を行った。

## 仮説 2：森林のストック機能の評価

森林にインプットされる栄養塩類や有機物が、森林に一時貯留され、急速な流出を制御し時間を掛けて下流に流れていくことにより、海域に安定的に栄養塩類(窒素;N、リン;P)や有機物(全有機炭素;TOC)を供給していると考えられる。

そのため、栄養塩類や有機物を安定的に供給する森林のストック機能について、SWAT モデルを用いて評価を行った。

平成 28 年(2016 年)度から 3 年間実施された「山地保全調査(水源森林保全調査・有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査)委託事業」において、次に示すステップで森林が海域に及ぼす影響の関係解明に資する知見を得た。

### (1) 平成 28 年(2016 年)度

流域・河川等の情報を豊富に有する一級河川である菊池川流域をモデルとし、解析に使用する流出モデル(SWAT モデル)の選定、SWAT モデル構築に必要な資料収集、現地調査及び森林小流域の選定を行った。

### (2) 平成 29 年(2017 年)度

平成 28 年度に選定した SWAT モデルを用いて当該流域における森林から流出する雨水や物質が有明海等の閉鎖性海域の環境に与える影響を大まかに把握し、有明海等の閉鎖性海域と森林との関係について簡易的な解析を行った。

### (3) 平成 30 年(2018 年)度

森林の多い小流域における現地調査結果を踏まえ、SWAT モデルの精緻化・改良を行い、前年度よりも精度の高いモデルを構築した。構築したモデルを用いて、有明海等の閉鎖性海域と森林の関係について総合的な評価を行った。

### (4) 平成 30 年(2018 年)度までの SWAT モデル構築状況と課題

平成 30 年度までに構築したモデルでは、菊池川流域全体を対象として、水の流量を高い精度で再現することができた。また、水収支についても既往の研究による報告値と近い値の推定値が得られたため、モデルの推定結果に大きな問題は生じていないと考えられる。土砂・栄養塩についても、一部再現性がやや低い点もあるが、概ね精度良く

---

しいため、本事業では SS を土砂として評価する。

流出量の再現をすることができている。

また、総合評価として森林が海域に果たすポジティブな役割を整理し、多方面から森林の機能を示すことができるよう検討した。具体的には、森林の果たす役割をストック機能・水源かん養機能・流出平準化機能と定義し、それぞれの機能を SWAT によって可視化することに取り組んだ結果、一定の成果が得られている。

これらの取組を通して、森林の機能を明らかにする上でさらなる検討が望ましい観点として、以下の2点が整理された。

#### 1) 時間単位での流量解析と土砂・栄養塩推定の精緻化

- 豪雨時に流量が過小評価になってしまう課題が明らかとなっている。これに対し、これまで実施してきた日単位での推定ではなく、時間単位で流量を推定することが有効と考えられる。
- 土砂・栄養塩の詳細な実測データが不足しているため、SWAT による推定結果の評価に課題が残っている。

#### 2) 過去の森林の推移履歴を利用した、森林の状態に応じたシナリオ解析

- 森林の有無によるシナリオ解析は実施したが、森林の成長や状態に応じたシナリオ解析は実施できていない。

本年度は、以上の課題を踏まえ調査に取り組むこととした。

### 3. 事業の基本方針

(1) SWAT モデルを用いた時間単位での流量解析と土砂・栄養塩推定精度の向上

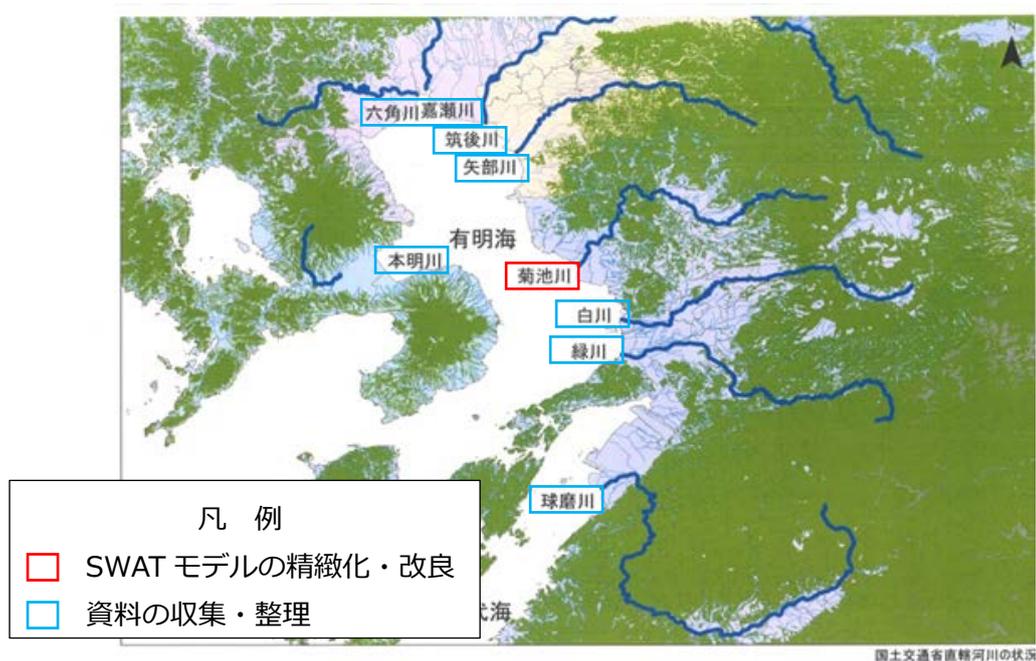
令和元年(2019年)度事業(以下、本事業という。)では、平成28年(2016年)度～平成30年(2018年)度に構築した SWAT モデル及び本事業の現地調査で得られるデータを用いて、時間単位の解析を実施することにより、流量解析と土砂・栄養塩流出量の推定精度を高める。

(2) 過去の森林の推移履歴を利用した、森林の状態に応じたシナリオ解析

流域内の森林の推移履歴と SWAT モデルを連動させ、森林の状態に応じたシナリオ解析が可能となるよう検討する。

(3) 有明海及び八代海へ注ぐ一級河川の流出モデル構築に必要な既存資料の収集・整理

有明海及び八代海へ注ぐ菊池川を除く一級河川(球磨川、緑川、白川、矢部川、本明川、六角川、嘉瀬川、筑後川)流域の SWAT モデルの構築に必要な既存資料の収集・整理を行う(図Ⅱ-1)。



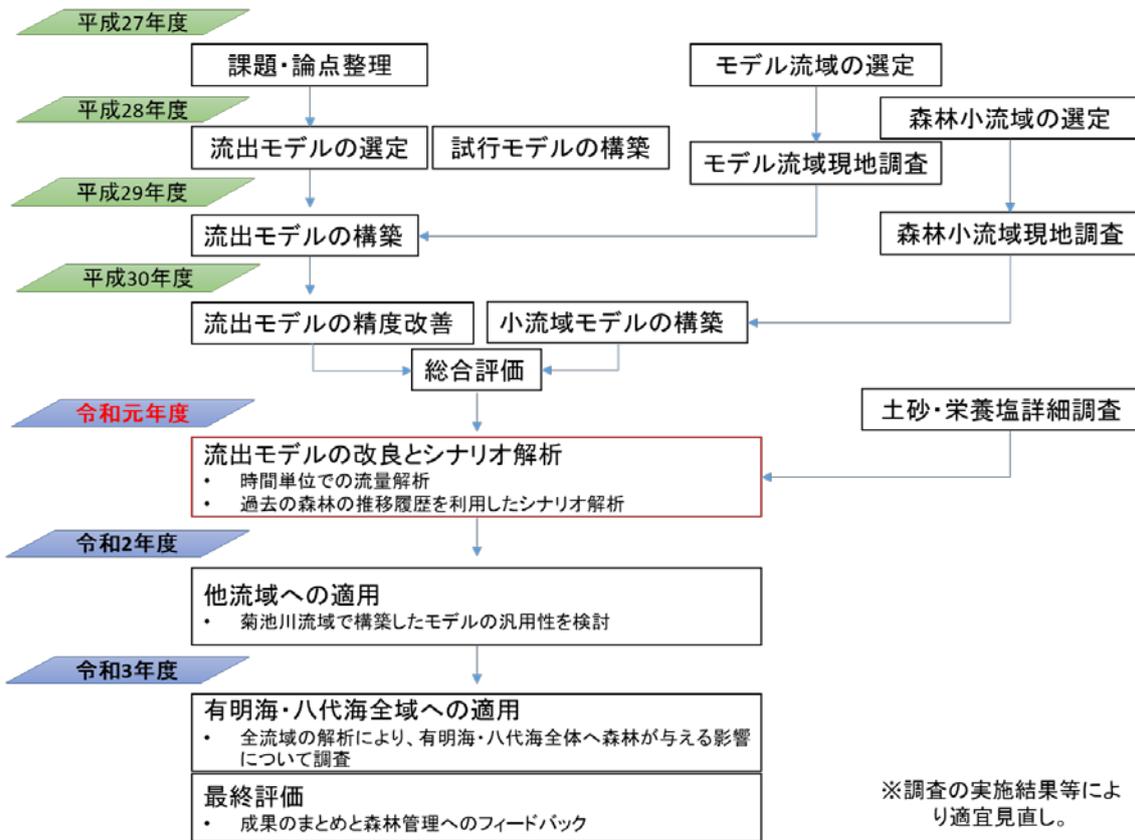
図Ⅱ-1 調査対象河川

(4) 全体的なステップを見据えた業務計画

有明海等の閉鎖性海域に果たす森林のポジティブな役割を解明するため、全体的なステップを見据えた業務計画とする。事業全体の取組事項を表Ⅱ-1に、ロードマップを図Ⅱ-2に示す。

表Ⅱ-1 事業全体の取組み事項

年度	取組み事項
平成 27 年度 (2015 年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林の海域に及ぼす影響を評価するための論点整理</li> <li>・対象モデル流域（菊池川流域）を選定</li> </ul>
平成 28 年度 (2016 年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存資料の収集</li> <li>・流出モデル(SWAT モデル)の選定</li> <li>・菊池川流域における現地調査</li> <li>・森林小流域の選定</li> </ul>
平成 29 年度 (2017 年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SWAT モデルの構築、SWAT モデルの検証（キャリブレーション等）</li> <li>・菊池川流域における現地調査</li> <li>・森林小流域における現地調査</li> <li>・SWAT モデルによる予測・評価</li> <li>・陸域が海域に与える影響を定量的に評価</li> </ul>
平成 30 年度 (2018 年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・森林小流域データ等を含めた SWAT モデルの改良・精緻化</li> <li>・森林小流域における現地調査</li> <li>・改良・精緻化した SWAT モデルによる予測・評価</li> <li>・陸域が海域に与える影響を定量的に評価</li> <li>・森林が与える影響を定量的に評価</li> <li>・総合評価</li> </ul>
令和元年度 (2019 年度)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時間単位に対応する菊池川流域における現地調査</li> <li>・時間単位に対応する SWAT モデルの改良・精緻化</li> <li>・過去の森林の推移履歴を利用した、森林状態に応じたシナリオ解析</li> <li>・菊池川を除く一級河川（球磨川、緑川、白川、矢部川、本明川、六角川、嘉瀬川、筑後川）流域の流出モデルの構築に必要な既存資料の収集・整理</li> </ul>



図Ⅱ-2 事業全体のロードマップ

#### 4. 本年度の業務内容

##### (1) 実施項目

- 1) 計画準備
- 2) 菊池川流域に係る既存資料の収集・整理
  - ア 降雨等基礎となる資料の収集・整理
  - イ 森林の過去の推移履歴に係る資料の収集・整理
- 3) 菊池川流域に係る現地調査の実施
  - ア 河川水調査（平水時）
  - イ 河川水調査（出水時）
  - ウ 濁度測定
- 4) 菊池川流域に係る流出モデルの精緻化・改良
  - ア 時間単位での流量解析と土砂・栄養塩推定精度の向上
  - イ 過去の森林の推移履歴を利用した、森林の状態に応じたシナリオ解析
- 5) 有明海及び八代海に注ぐ一級河川流域についての既存資料の収集・整理
- 6) 有明海及び八代海に与える山体地下水の影響評価のための環境整備及び計測等
- 7) 検討委員会の開催
- 8) 取りまとめ

なお、今年度構築する、菊池川流域全体を対象にしたモデルを「全流域モデル」、時間スケール解析用に構築したモデルを「時間スケールモデル」、過去の森林の推移履歴に関する解析用に構築したモデルを「過去モデル」と呼ぶ。

(2) 作業実施体制

本業務における作業実施体制は以下のとおりとした。

