

# 山梨県若手研究者奨励事業 研究成果報告書

所 属 機 関 豊田工業高等専門学校

職 名 ・ 氏 名 助教・江端一徳

## 1 研究テーマ

山梨県の次世代水管理に向けた水・物質循環統合モデルの開発

## 2 研究の目的

森林が有する多面的機能の一つである「水源涵養機能」は、降水を貯留し、河川へ流れ込む量を平準化するとともに、土砂災害の防止、減災の点からも期待されている機能である。山梨県は、「やまなし「水」ブランド戦略」での「育水」の観点から水源涵養機能の強化を図るとしている。また、「やまなし森林・林業振興ビジョン」の中でも、森林の持つ多面的な機能の維持・増進を掲げている。

近年、地球温暖化による水循環の変容、ゲリラ豪雨といった短時間強雨の発生頻度が増加傾向にあり、今後、山地災害の発生リスクが高まることが予想されている。また、ニホンジカの摂食による食害を受けた天然林において、水源涵養機能や土砂災害防止等の機能が十分に発揮できていない事例が各地で報告されている。そこで、森林域の水源涵養機能の評価のため科学的根拠の情報提供が必要となっている。

これらのことから、本研究では森林のもつ水源涵養機能に対して科学的な評価を提示し、行政と住民の意思決定に役立つ情報を発信することを目的とする。

## 3 研究の方法

今後の山梨県の次世代水管理に向けて、森林機能を評価するための水・物質循環統合モデルの開発を目的に、本研究では以下の研究手法を実施した。ここでは、水質項目として有機汚濁の原因になる溶存有機炭素（DOC）に着目し、濃度解析、モデル化を行った。

- 1) 森林流域における水量・水質の詳細観測による流域間差異の検証
- 2) DOC 流出負荷量推定モデルの開発
- 3) UAV（ドローン）を使った森林域の水源涵養機能の評価

### 3.1 調査・分析概要

#### 3.1.1 調査地概要

本研究では、山梨県北部に位置する瑞牆山試験流域を調査対象地とした。図1に調査地の位置、図2に調査地の地形図を示した。調査は、同流域内において流域面積の異なる2地点（MD:98ha、K2:1800ha）を選定し行った。河川は、上流であるMD、K2の順に流下する。

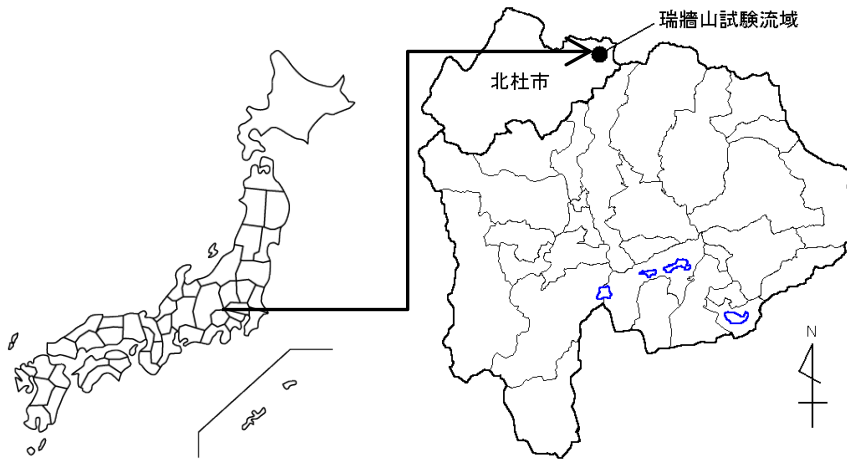


図1 調査地の位置

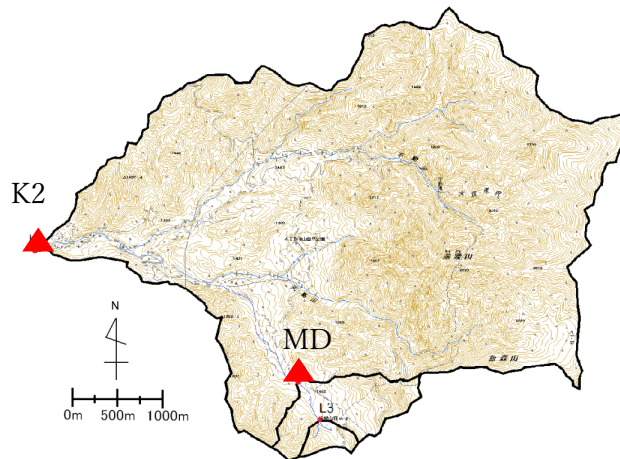


図2 調査地の地形図（左写真：MD、右写真 K2）

### 3.1.2 水文調査方法

降水量は各調査地点において、転倒マス雨量計（Davis 製、Rain Collector）を設置し、観測インターバルは、10 分間隔で観測を行った。流量は量水堰を設け、圧力式水位計により 10 分間隔で観測した。観測期間は 2004 年～2019 年である。河川水は、上記の 2 地点において採水を行った。平水時の採水は、隔週行い、出水時は自動採水器（ISCO 6712 型）を用いて行った。出水時の採水は通常 1 時間おきに、1L 採水を続け、流量逡減部においては 2 時間間隔で採水した。また、基本水質項目として pH、EC、DO を計測した。

### 3.1.3 DOC の分析方法

調査地では、林内雨・林外雨、表層土壌水および河川水を採取した。採取した試料のうち、河川水は、孔径 0.7 $\mu$ m、径 47mm のガラス繊維濾紙（Whatman、GF/F）を用い、現場で濾過処理を行った。それ以外の試料については、ポリプロピレン容器に保存し、実験室に持ち帰り、同様のろ紙を用いて濾過処理を行った。濾過処理後、紫外線酸化分解伝導率式全有機炭素計（Sievers900）を用いて DOC 濃度を測定した。なお、分析器の検出限界は 0.01mg/L で、定量限界は 0.03 mg/L であった。

## 3.2 水・物質循環統合モデル

本研究では、森林河川における DOC の流出負荷量の推定を目的として、DOC の変動プロセスを考慮した DOC 流出負荷量推定モデルの開発を行った。具体的には、DOC の森林土壌中での蓄積、分解を考慮した土壌ユニットモデルと土壌から河川への流れを流出ユニットモデルで表現し、両者を組み合わせて DOC の流出負荷量推定モデルとした。これより、各ユニットモデルの概要について説明する。

### 3.2.1 流出ユニットモデル

流出ユニットモデルでは、降雨-流出過程を表現した水文モデルである TOPOMODEL に中間流出を組み入れた修正型 TOPMODEL を用いて、流量計算を行った。修正型 TOPMODEL を用いることで河川流量を、表層流出、中間流出、基底流出の 3 成分に流出成分の分離を行った。そして、本研究ではこれまでの既往研究より DOC が表層に多く蓄積していることから、DOC を運ぶ水として表層流出と中間流出を DOC 流出に寄与する DOC 流出寄与域と仮定して DOC 流出負荷量計算にその考え方をを用いた。

### 3.2.2 土壌ユニットモデル

土壌ユニットモデルは湿地土壌表層での水分移動に伴う DOC 濃度の変動を表現させたモデルである。溶質移動における移流・分散現象と非可動水から可動水への溶質の湧き出し現象の 2 つの物理現象を組み合わせることで作成された (図 3 (a))。初期の土壌表層浸透 DOC 濃度が降雨期間の移流・分散現象によって減少し、無降雨期間の湧き出し現象によって上昇する変動を表現している (図 3 (b))。このうち、移流・分散現象は、土壌中における溶質の移流分散方程式を適用させ、拡散現象は濃度勾配による一次式を適用させた。

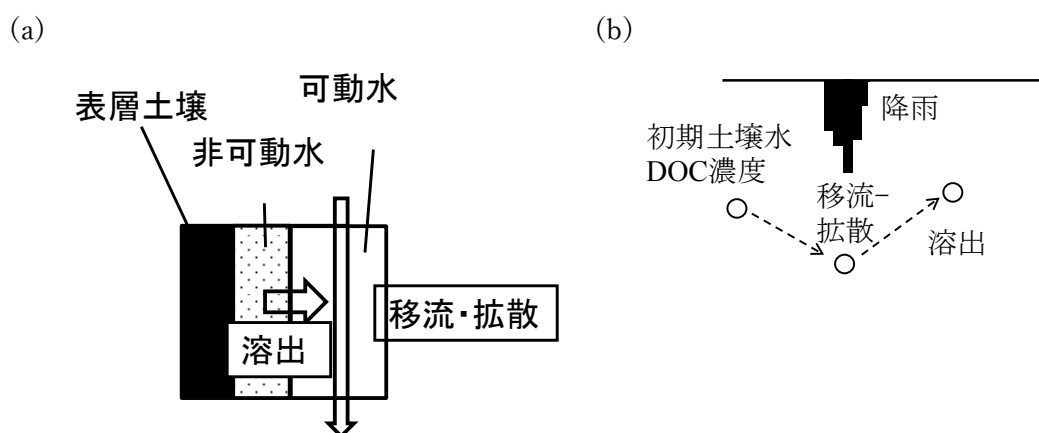


図 3 土壌ユニットモデル

### 3.2.3 DOC 流出負荷量計算

流出ユニットモデル (修正型 TOPMODEL) で得られた流出経路毎の流量計算結果と土壌ユニットモデルにおいて得られた DOC 濃度結果を統合させ、DOC 流出負荷量の計算を行う。具体的には、主な水の流れを上層と下層に分けてそれぞれの流量と DOC 濃度を掛け合わせ得られた DOC 負荷量の両者を足し合わせ DOC 流出負荷量を算出している。上層では、表層・中間流量に土壌ユニットモデルの計算結果を掛け合わせる。一方で下層では流出ユニットモデルでの基底流量に土壌ユニットモデルの計算結果から鉛直浸透を考慮した濃度を掛け合わせる。最終的に、両者を足し合わせて DOC 流出負荷量を計算している。

## 4 研究の成果

### 4.1 DOC 濃度の経年変化 (山梨県瑞牆山流域)

図 4 に降水量と河川水 DOC 濃度(上流: MD、下流: K2)の長期変化を示す。降水量と DOC 濃度との長期変動をみると、両者の関係は明瞭ではないものの、降水量が多い年度において DOC 濃度が高い傾向がみられた。これは、降

水量が多い年は流域全体が湿潤状態となり、DOCが多く河川へ流出していると考えられる。また、MDとK2のDOC濃度を比較するとMDの方が高い結果となった。そして、平水時と出水時を比べると、どの地点、年度においても出水時のDOC濃度が平水時と比較して高い結果となり、出水時に多くのDOCが流出していることがわかる。

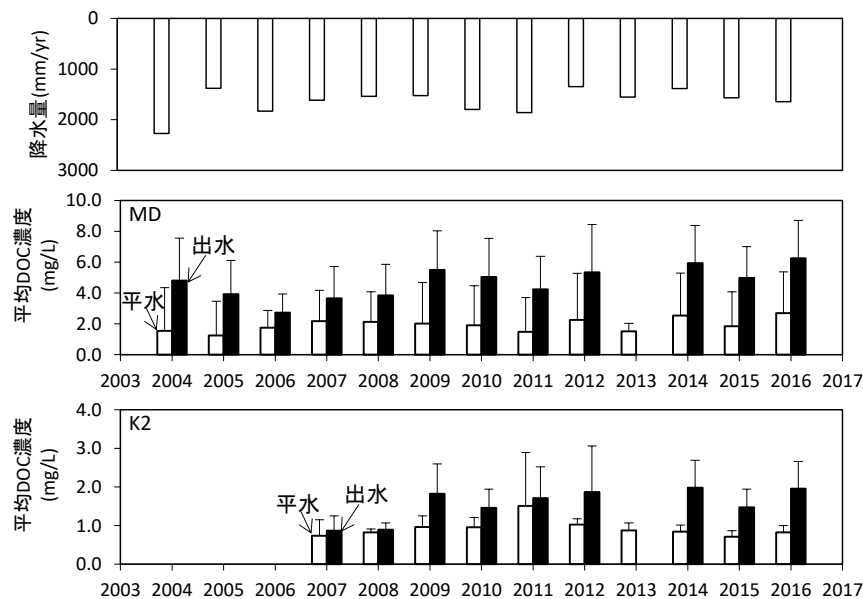


図4 河川水 DOC 濃度の長期変化

#### 4.2 気温と河川水 DOC 濃度の関係

日平均気温と河川水の DOC 濃度の関係を示した(図5)。日平均気温が上昇すると、DOC 濃度が増加するという関係性がみられた。このことから DOC 濃度を決定する要因の一つとして温度が寄与している可能性が考えられる。

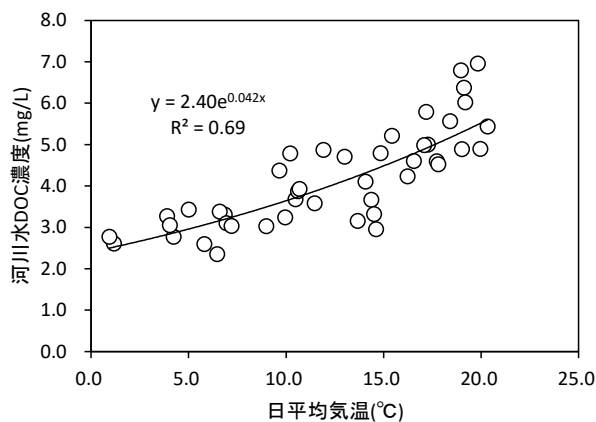


図5 日平均気温と河川水 DOC 濃度の関係

### 4.3 流出ユニットモデルによる流量計算結果

図6に、MDでの修正型TOPMODELの流量算出結果を示す。また、同様に図7にK2の修正型TOPMODELの流量算出結果を示す。実線は観測値を、破線は計算値を示す。また、表1に平水時と出水時に分割した際のそれぞれの地点での誤差評価を行った結果を示す。どの地点においても平水時と出水時の期間においてPbiasやNSEは良好な結果を得ることができた。

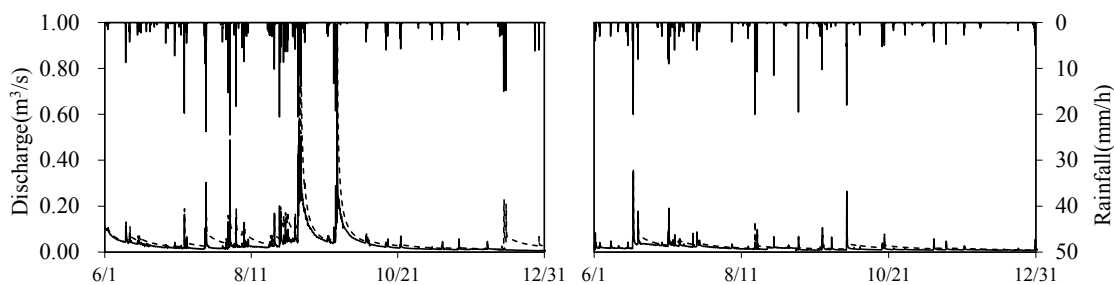


図6 修正型 TOPMODEL の結果 (MD : バリデーション)

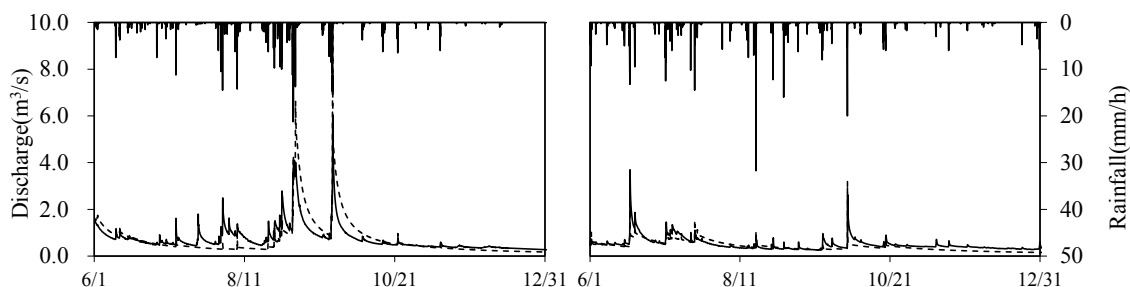


図7 修正型 TOPMODEL の結果 (K2 : バリデーション)

表1 修正型 TOPMODEL 誤差評価結果

| 平水時 |                        | 平均流量(m <sup>3</sup> /s) |       | Pbias(%) | NSE  | n    |
|-----|------------------------|-------------------------|-------|----------|------|------|
|     |                        | 観測値                     | 計算値   |          |      |      |
| MD  | Calibration(2007-2008) | 0.020                   | 0.023 | -14.90   | 0.74 | 5705 |
|     | Validation(2011-2012)  | 0.018                   | 0.020 | -9.75    | 0.84 | 6392 |
| K2  | Calibraion(2009-2010)  | 0.503                   | 0.546 | -56.40   | 0.72 | 5178 |
|     | Validation(2011-2012)  | 0.472                   | 0.482 | -2.13    | 0.39 | 5330 |
| 出水時 |                        | 平均流量(m <sup>3</sup> /s) |       | Pbias(%) | NSE  | n    |
|     |                        | 観測値                     | 計算値   |          |      |      |
| MD  | Calibration(2007-2008) | 0.034                   | 0.035 | -4.48    | 0.61 | 4553 |
|     | Validation(2011-2012)  | 0.043                   | 0.052 | -19.57   | 0.63 | 3880 |
| K2  | Calibraion(2009-2010)  | 0.666                   | 0.698 | -37.31   | 0.69 | 5051 |
|     | Validation(2011-2012)  | 0.664                   | 0.745 | -12.12   | 0.51 | 4835 |

#### 4.4 土壌ユニットモデルによる DOC 濃度計算結果

図8に土壌ユニットモデルの計算結果を示す。また、表2に2007～2010年におけるモデルの実測値と計算値および誤差を示す。計算DOC濃度は降雨の継続によってDOC濃度が減少し、無降雨期間の経過とともに上昇する乾燥・湿潤サイクルの変化パターンを表現した。また、Pbiasは4年間の平均で-13.3%であり、安定した推定精度を示していた。

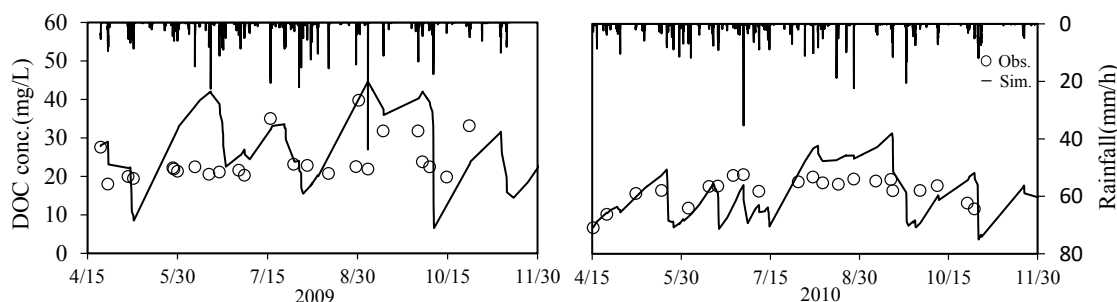


図8 土壌ユニットモデルの計算結果 (2008年)

表2 土壌ユニットモデルの誤差評価

|      | 平均DOC濃度(mg/L) |      | Pbias(%) | 年間降水量(mm) | n  |
|------|---------------|------|----------|-----------|----|
|      | 観測値           | 計算値  |          |           |    |
| 2007 | 27.7          | 26.8 | 2.9      | 1222      | 18 |
| 2008 | 23.7          | 27.5 | -16.0    | 944       | 13 |
| 2009 | 24.2          | 30.7 | -26.8    | 941       | 25 |
| 2010 | 22.0          | 24.9 | -13.1    | 1151      | 22 |

#### 4.5 DOC 流出負荷量推定モデルの適用結果

モデルによる年間を通したDOCの流出負荷量(MD:2004年～2016年、K2:2009～2016年)の算出を行った結果、MDでは17.3から25.9 kg/ha/yr、K2では、4.8から17.4 kg/ha/yrであった。両地点を比較すると、MDの方がK2よりもDOC流出負荷量が多いことが分かった。これらは、DOCの濃度結果と同様であった。また、MDのDOC濃度および負荷量について下流のK2と比べて大きくなった理由として、流域内における湿地割合が多く、緩傾斜であるため、降雨時においてDOCが流出したためと考えられる。また、図9に降水量と年間DOC負荷量の関係を示す。どちらの地点においても降水量が多い年ほどDOC負荷量が多くなる正の相関がみられた。降水量がDOC流出負荷量に寄与する要因であると考えられ、今後、地球温暖化による降水量の増加ともない、流域へ多くのDOCが流出するだろうと考えられる。

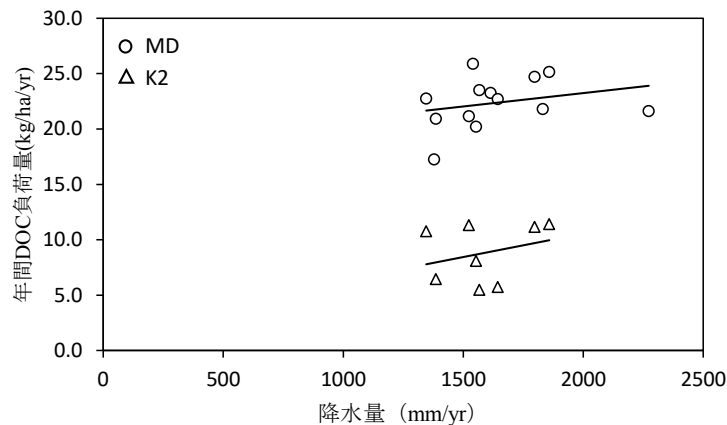


図9 降水量と年間DOC負荷量の関係

#### 4.6 森林域の空撮結果（愛知県瀬戸市白坂流域）

UAVを用いた森林の水源涵養機能の評価を行うにあたり、愛知県瀬戸市にある白坂流域において空撮を行った（写真1）。写真を見ると、林相の分布に違いがあることを確認することができた。また、土壌が露出している地点もあり、今後は、同流域の赤外線計測を実施し、蒸発散能の評価を実施する予定である。



写真1 愛知県瀬戸市白坂流域の空撮写真

#### 5 今後の展望

今回の研究で、UAVによる水源涵養機能の評価までは至らなかったため、上記の準備段階を経て、瑞牆山での林相分布および赤外線測定を行う。そして、山梨県の水源涵養評価マップを作成するとともに、モデルを用いることで次世代の森林環境保全対策の立案や水環境行政のガイドラインの検証を行う。また、今後も継続して山梨県瑞牆山流域での水文水質観測を進めるとともに、愛知県の複数の森林流域との比較検証データの蓄積を進める予定である。

#### 6 研究成果の発信方法（予定を含む）

本研究成果は、2020年10月に開催される中部森林学会に、また、2021年3月に開催される水環境学会および森林学会において成果発表を行う予定である。また、学術論文誌への投稿を計画している。