

# 人工衛星「しきさい」を活用した那智の滝上流域の 森林活性度と可能蒸発散量に関する研究

STUDY ON FOREST ACTIVITY AND POSSIBLE EVAPOTRANSPIRATION IN  
THE UPPER REACHES OF THE NACHI GREAT WATERFALL USING AN  
ARTIFICIAL SATELLITE "GCOM-C"

宮崎 徳生<sup>1</sup>・筒井 和男<sup>1</sup>・岸畑 明宏<sup>1</sup>・坂口 隆紀<sup>1</sup>  
木下 篤彦<sup>2</sup>・柴田 俊<sup>2</sup>・鈴木 大和<sup>3</sup>・中谷 洋明<sup>3</sup>・鈴木 清敬<sup>4</sup>  
Norio MIYAZAKI, Kazuo TSUTSUI, Akihiro KISIHATA, Takaki SAKAGUCHI,  
Atsuhiko KINOSHITA, Suguru SHIBATA, Yamato SUZUKI, Hiroaki NAKAYA and Kiyotaka  
SUZUKI

<sup>1</sup>和歌山県土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

E-mail: miyazaki\_n0008@pref.wakayama.lg.jp

<sup>2</sup>国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

<sup>3</sup>国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

<sup>4</sup>株式会社パスコ (〒153-0042 東京都目黒区青葉台3-10-1VORT 青葉台II2階)

**Key Words:** *satellite image, forest activity, possible evapotranspiration*

## 1. はじめに

平成23年台風12号の通過により、記録的な豪雨となった和歌山県那智川流域では、複数箇所ですり落ちが発生し、下流域に甚大な被害をもたらされた。那智川流域の森林の多くは針葉樹の人工林であり、森林が有する多面的機能の維持のため適正な森林管理が求められているが、木材価格の低迷や林業就労者数の減少などにより、間伐等の森林施業が行われず放置された人工林も確認されている。放置された人工林では、過密による樹勢低下及び高齢林化等の影響で樹木の根系が衰弱し、森林の荒廃が進行することで森林活性度が低下し、森林の有する多面的機能のひとつに挙げられる土砂崩壊防止機能に影響を及ぼすことが懸念される。

また、森林施業は流域内の水分状態に影響を及ぼすことも推察され<sup>1) 5)</sup>、流域内の森林状況を把握す

る際に広域を定期的に観測可能な人工衛星画像を活用できれば効率的であり、人の立ち入りが困難な場所でも対応できるなど利点がある。

本研究では、気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C)の画像データを活用し、森林施業の有無による森林活性度や可能蒸発散量を推定するとともに流域内の水収支の評価と併せ森林活性度による土砂災害防止機能への影響を考察したので報告する。

## 2. 調査地と調査方法の概要

### 2.1. 調査地の概要

調査地は、和歌山県東牟婁郡那智勝浦町内にある那智の滝上流域である(図-1)。二級河川那智川(流域面積24.5km<sup>2</sup>、幹線流路延長約8.5km)の上流部に位置し、流域面積は概ね4.7km<sup>2</sup>、地質は熊野酸性岩、植生の大部分はスギ・ヒノキ植林である。

### 2.2. 間伐の有無と森林活性度の関係性の検討

対象範囲を森林簿，造林施業履歴(図-2)などを参考に，林班内の2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)の3つの領域に分割し，間伐の有無と森林活性度の関係性を検討した。森林活性度には代表的な植生指標とされている正規化植生指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)を用いた。一般的にはNDVIの値が大きいほど森林活性度が高いと言われている<sup>10)</sup>。NDVIは次式から算出できる(式1)。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \dots (式1)$$

ここで，NIR(Near Infra-Red)は近赤外バンドであり，R(Red)は赤バンドである。

NDVIの算出には，GCOM-C(分解能250m，画像取得周期2~3日)の取得データ，プロダクト:Level-2，陸:植生指数を用いた(図-3)。比較のため，GCOM-Cよりメッシュサイズが小さいLandsat-8(分解能30m，画像取得周期16日)の取得データ(Band4(Red)，Band5(NIR))を併用した(図-4)。

データの取得時期は2018年4月~2019年3月とし，被雲画像を除いて解析を実施した。解析画像枚数を表-1に示す。衛星間における分解能の相違を把握するため，2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)で1セル当たりのNDVI値を比較した(図-5~図-10)。

表-1 NDVI算出に使用した画像枚数

| 撮影月      | GCOM-C | Landsat-8 |
|----------|--------|-----------|
| 2018.4月  | 5      | 1         |
| 2018.5月  | 2      | 1         |
| 2018.6月  | 2      | 1         |
| 2018.7月  | 2      | 0         |
| 2018.8月  | 5      | 0         |
| 2018.9月  | 0      | 0         |
| 2018.10月 | 3      | 0         |
| 2018.11月 | 6      | 0         |
| 2018.12月 | 5      | 0         |
| 2019.1月  | 12     | 2         |
| 2019.2月  | 6      | 1         |
| 2019.3月  | 8      | 1         |
| 合計       | 56     | 7         |



図-1 調査地位位置図

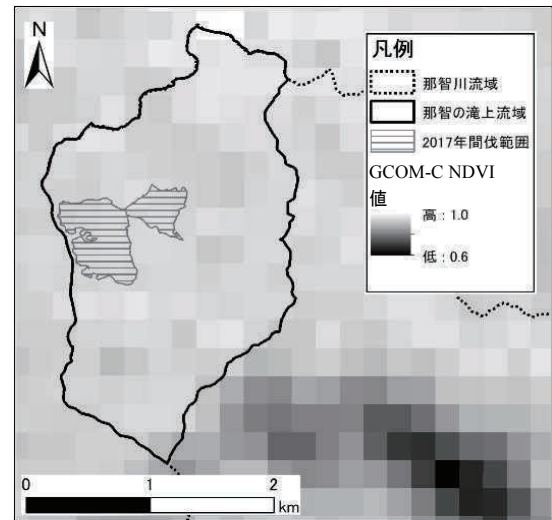


図-3 GCOM-Cを用いたNDVI算出値例

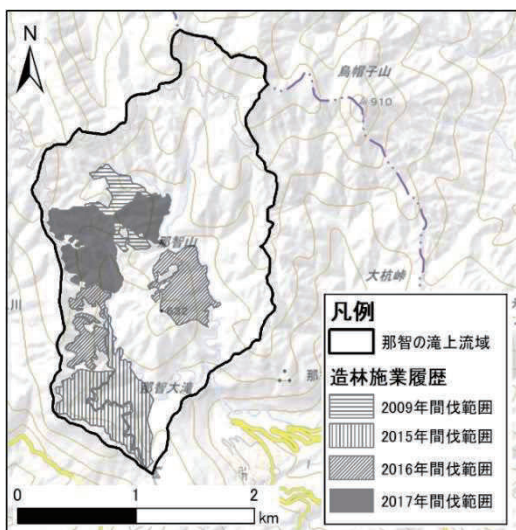


図-2 造林施業履歴図

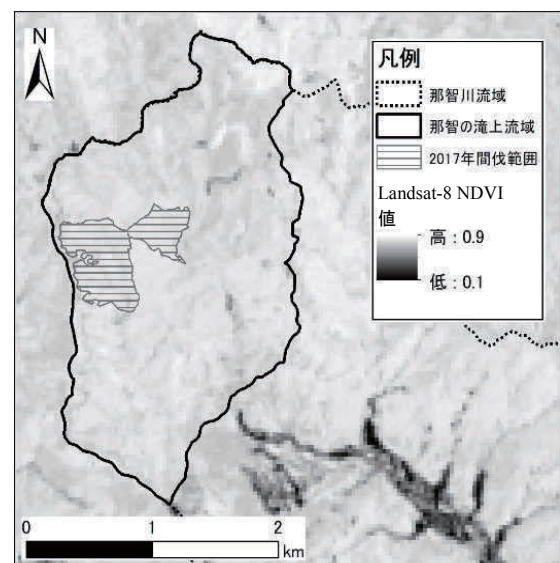


図-4 Landsat-8を用いたNDVI算出値例

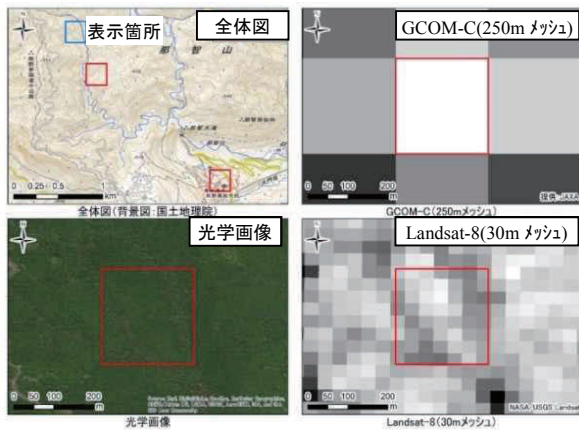


図-5 2018/6/25 間伐箇所 1セル当たり NDVI 値

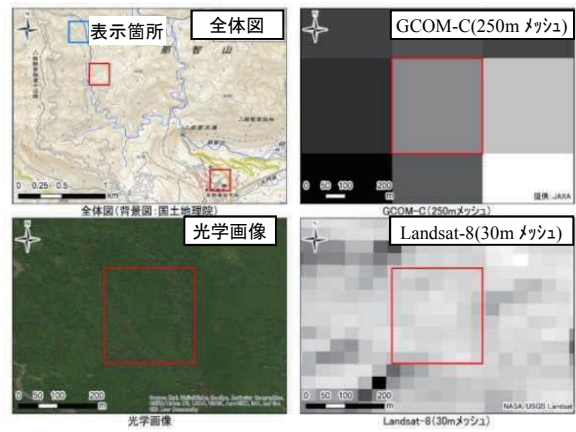


図-6 2019/1/3 間伐箇所 1セル当たり NDVI 値

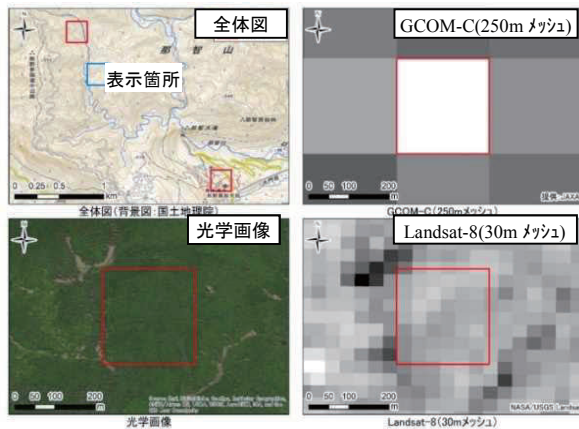


図-7 2018/6/25 間伐箇所外 1セル当たり NDVI 値

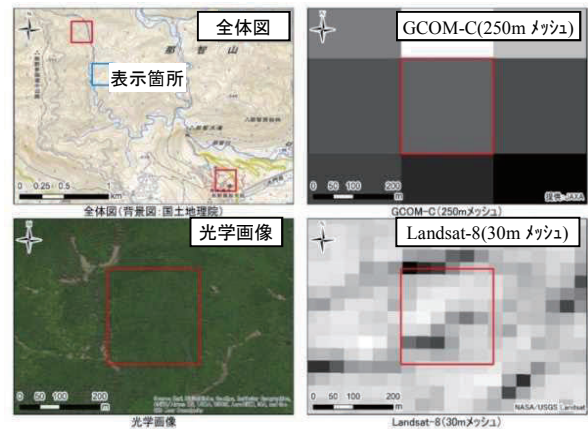


図-8 2019/1/3 間伐箇所外 1セル当たり NDVI 値

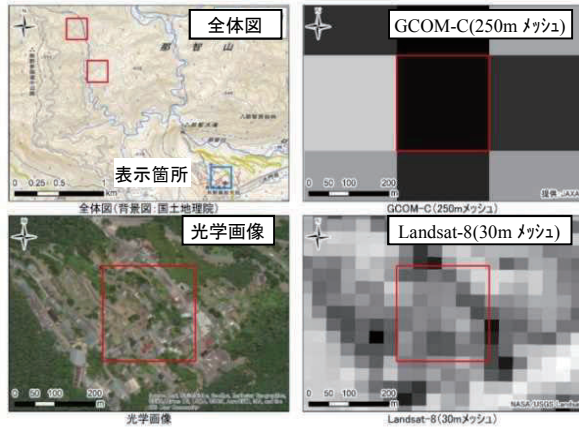


図-9 2018/6/25 林班外 1セル当たり NDVI 値

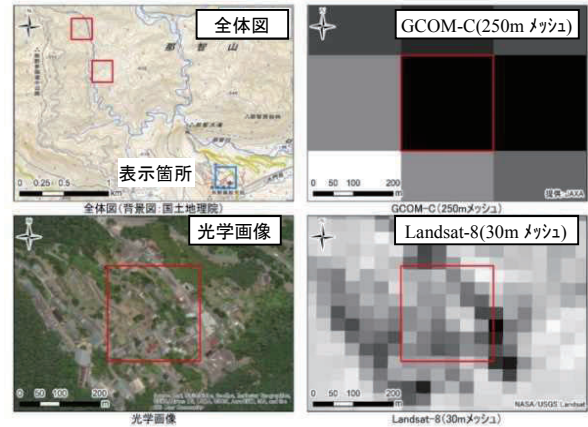


図-10 2019/1/3 林班外 1セル当たり NDVI 値

### 2. 3. 那智川流域における蒸発散量の検討

雨量と流量の観測結果を基に、総雨量から総流出量を差し引いた残りを蒸発散量として算出することを考えた。しかし、検討の結果、流量の観測結果の信頼性が低いと考えられた。そのため、代替案として容易に入手できるデータから月単位で可能蒸発散量が推定できるソーンズウェイト法<sup>6) 8)</sup>を適用し、那智川流域における蒸発散量を推定することとした。

ソーンズウェイト法は、式2~5で表される。

ここで、 $PE_i$  は可能蒸発散量 (mm)、 $d$  は補正項 (月の日数  $days$  と平均日長時間  $daytime$ )、 $a$  は係数、

$$PE_i = 16d \left( \frac{10t_i}{I} \right)^a \quad \dots (式 2)$$

$$a = 0.49239 + 0.01792I - 0.0000771I^2 + 0.000000675I^3 \quad \dots (式 3)$$

$$d = \frac{days * daytime}{360} \quad \dots (式 4)$$

$$I = \sum_{Jan}^{Dec} \left( \frac{t_i}{5} \right)^{1.514} \quad \dots (式 5)$$

$T_i$ は月平均気温(°C)ただし $t_i \leq 0$ の場合は $PE_i = 0$ ,  
 $I$ は熱指数である. 当該調査地に最も近い気象庁「新宮」観測所の過去10年間の平均気温データを基に2010~2019年の可能蒸発散量を推定した.

### 3. 調査結果と考察

#### 3. 1. 衛星画像におけるNDVI値の比較

##### 3. 1. 1. GCOM-CとLandsat-8の比較(GCOM-C 1セル当たり)

衛星間の分解能等仕様の相違によるNDVI値への影響を把握するため, 2017年間伐箇所内外と林班外(構造物及び植生を含む)の3箇所でGCOM-Cの1セルのNDVI値とそのセル内のLandsat-8のNDVI平均値を比較した(図-11). その結果, 林班内において, GCOM-Cと比較しLandsat-8のNDVI平均値が0.15程度低いことが確認された. これはメッシュサイズの違いによる, すなわちLandsat-8は, メッシュサイズが小さいため, 山影や道等のNDVI値の低い箇所の値を取得できる. 一方で, GCOM-Cではメッシュサイズが大きいため, 山影や道等のNDVI値の低い箇所の値を取得できないためだと考えられる. また, この傾向は夏季(2018年6月25日)と

冬季(2019年1月3日)で大きな差がないことが確認された. 林班外は植生以外の構造物を含むためNDVI値は低かった.

##### 3. 1. 2. NDVI平均値の経年変化の比較

那智の滝上流域におけるGCOM-C及びLandsat-8にて取得したNDVI値の平均値の経年変化を比較した. その結果, GCOM-Cを用いて算出したNDVI平均値の経年変化では, 林班内の2017年間伐箇所内外において明瞭な差は確認できなかった(図-12). 一方, Landsat-8を用いて算出したNDVI平均値の経年変化では, 林班内の2017年間伐箇所内外において, 比較的明瞭な差があると考えられ, 2017年間伐箇所

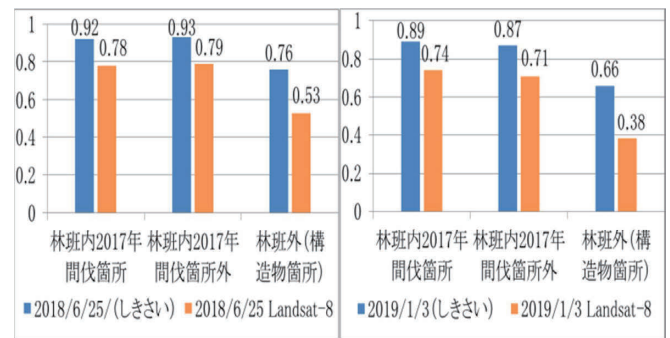


図-11 GCOM-CとLandsat-8の1セル当たりのNDVI平均値の比較

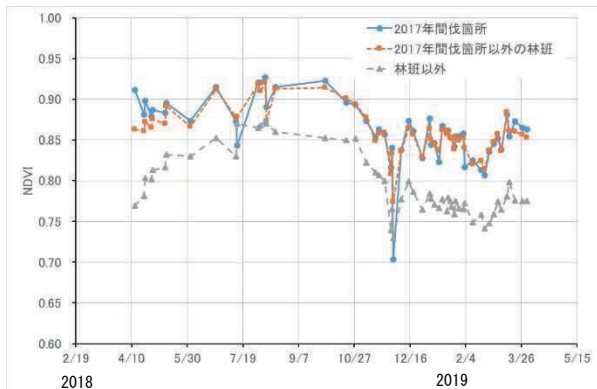


図-12 GCOM-Cから算出したNDVI平均値の経年変化

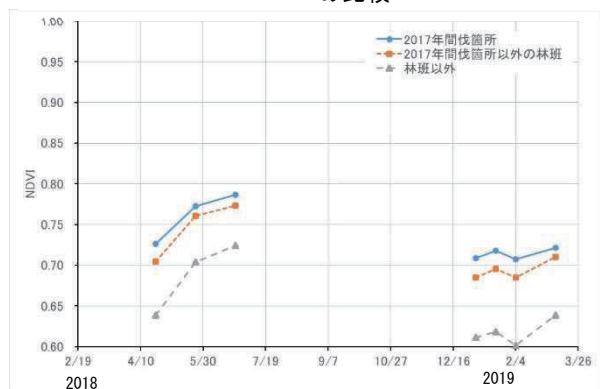


図-13 Landsat-8から算出したNDVI平均値の経年変化

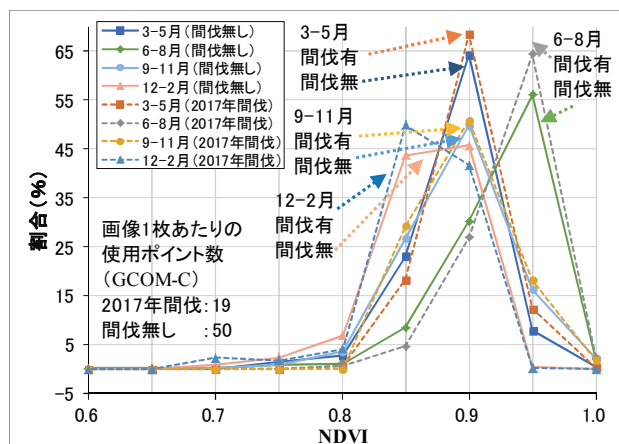


図-14 GCOM-Cから算出した間伐の有無によるNDVIのヒストグラムの比較図

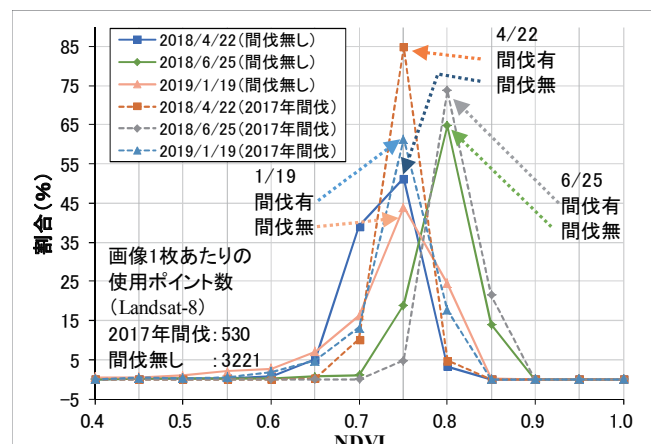


図-15 Landsat-8から算出した間伐の有無によるNDVIのヒストグラムの比較図

内の方が最大で0.024程度高い値を示し、間伐箇所の方が森林活性度は高いと考えられる(図-13)。また、各領域の代表的と思われる1セルのNDVI値の経年変化を確認したところ、GCOM-C及びLandsat-8ともに前述の平均値の比較結果と同様の傾向を示した。

### 3. 1. 3. NDVI値のヒストグラムによる比較

林班内の2017年間伐箇所内外のNDVI平均値の経年変化をヒストグラムにより比較した結果、

GCOM-Cでは、夏季(6-8月)にNDVI値が高く、冬季(12-2月)に低いことが読み取れる。夏季に植生が活性化することが確認できた。また、図より間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが確認された(図-14)。一方、Landsat-8では、NDVI値は4月と6月は1月より高い。また、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆された(図-15)。

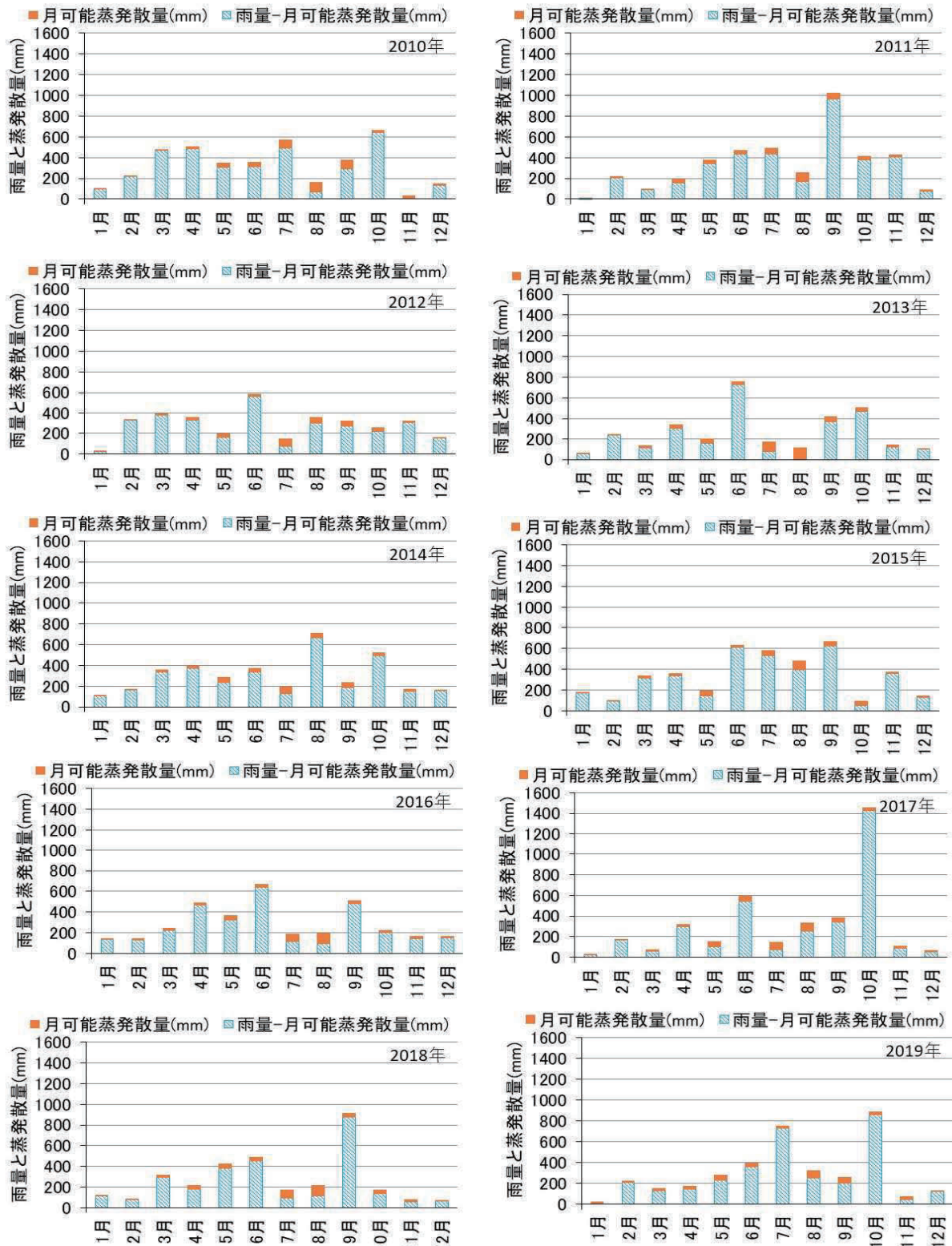


図-16 新宮観測所における降雨量と可能蒸発散量の関係

### 3. 2. ソーンズウェイト法による可能蒸発散量の推定

新宮観測所の2010～2019年の10年間の観測結果を用いて、年可能蒸発散量を算出すると、年間降雨量は3,144mm～4,128mmの幅があり、その平均値は3,669mmであった。

年間可能蒸発散量は893mm～955mmの幅があり、その平均値は926mmであった。そのため降雨量から可能蒸発散量を差し引いた分が水収支における流出分と推測され、2,204mm～3,213mmの幅があり、その平均値は2,744mmであった。

また、降雨量に占める可能蒸発散量の割合は、22.2～29.9%の幅があり、その平均値は25.4%で、年間可能蒸発散量は夏季に高く冬季に低い傾向が確認された(図-16)。

日本の代表的な水文観測試験地における水収支<sup>9)</sup>では、那智の滝上流から最も近く気候的にもほぼ同程度と考えられる三重県ぬたの谷流域における観測結果より蒸発散率が概ね30%程度と算出されており、新宮観測所の観測値からソーンズウェイト法で算出した年間可能蒸発散量の平均値25.4%は、概ね妥当な値であると判断する。

### 4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) GCOM-Cを用いて算出したNDVI値の平均値の経年変化では、2017年間伐箇所内外の森林において明瞭な差は確認できなかった。
- 2) Landsat-8を用いて算出したNDVI値の平均値の経年変化では、2017年間伐箇所内の方が最大で0.024程度高い値を示し、間伐箇所の方が森林活性度は高いと考えられる。
- 3) 一方、各メッシュのNDVI値をヒストグラムにより比較した結果、GCOM-CとLandsat-8ともに、間伐を行った範囲の方が間伐を行っていない範囲よりも森林の活性度が高い範囲が広いことが示唆され、土砂崩壊防止機能は維持されていると考えられる。
- 4) 水収支における可能蒸発散量をソーンズウェイト法で算出した値は、那智の滝上流域と気候的に近いと考えられる。ぬたの谷流域において観測された水収支の割合と概ね同程度の値であった。

### 5. 今後の課題

- 1) 多田ら<sup>10)</sup>のNDVI値を用いた蒸発散量の算出手法(図-17)を適用し、各ピクセルのNDVI値から蒸発散量の算出を行い、ソーンズウェイト法の算出値と比較し、那智の滝上流域におけるNDVI値と可能蒸

発散量の関係式を検討し、水収支の評価を検討する。  
2) ソーンズウェイト法の式に代入する月平均気温に、当該調査地のGCOM-Cで観測した地表面温度の代用を検討し、森林施業の有無による年間可能蒸発散量の比較を行い、那智の滝上流域の水収支(降雨-流出-蒸発散の関係)関係性を検証する。

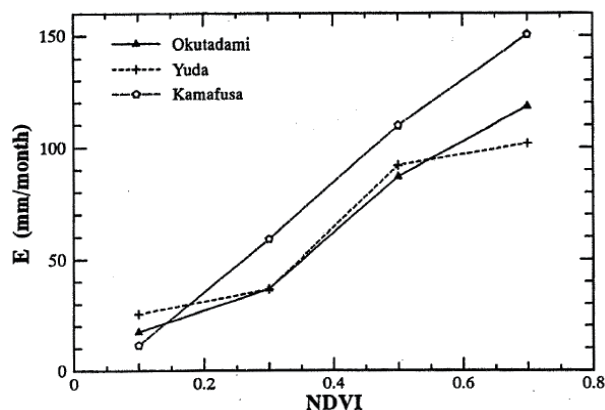


図-17 NDVI (横軸) と蒸発散量(縦軸)との関係

### 参考文献

- 1) 川崎正俊ら：強間伐施業が森林源流域の流出に及ぼす響、水文・水資源学会2017年度研究発表会概要集, 2017.
- 2) 篠原慶規ら：スギ人工林における強度間伐が雨水配分に与える影響, 水文・水資源学会2013年度研究発表会, 2013.
- 3) 武田育郎ら：間伐遅れの針葉樹人工林における水文流出の特徴とその長期変動, 農業農村工学会論文集, No. 263, pp. 41-48, 2009.
- 4) 小松光：ヒノキ林における間伐区と無間伐区との遮断蒸発量の比較, 九大演報, 89, 1-12, 2008.
- 5) 小松光：日本の針葉樹人工林における立木密度と遮断率の関係, 日林誌, 89, pp. 217-220, 2007.
- 6) Thornthwaite, C. W. : An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, pp. 55-94, 1948.
- 7) 沼尻治樹：月平均気温と昼の長さを用いた月可能蒸発散量推定法, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告, Vol. 28, pp. 70-74, 2014.
- 8) 野上道夫：暖かさの指数と流域蒸発散量 - 気候値メッシュデータによる解析 -, 地学雑誌, 99-6, pp. 144-156, 1990.
- 9) 鈴木清敬：山地小流域における水収支特性の経年変化, 名古屋大学大学院生命農学研究科修士論文, pp. 159, 2004. 10) 多田毅ら：NDVIを用いた蒸発散分布推定, 水工学論文集, 第38巻, p. 155-160, 1994.

(2020. 7. 1 受理)