

国有林・民有林の森林簿を用いた広域蒸発散量推定手法の開発  
 Estimating Regional-scale Evapotranspiration from Forest Inventory GIS data

○小柳 賢太\*, Chiu Chen-wei, 五味 高志 (東京農工大学)

Sean Andrew Hudson, 恩田 裕一 (筑波大学)

※現 土木研究所

## 1. はじめに

森林からの蒸発散量(ET)を定量化することは、降雨の流出過程を理解し、持続的な水資源管理を行う上で重要である<sup>1)</sup>。6.0 haの滋賀県桐生試験地における33年間の水収支観測<sup>2)</sup>では、平均年降水量 $1646 \pm 281$  mm/年のうち、 $749 \pm 69$  mm/年がETでの損失であることが報告されている。また、2.6 haの熊本県鹿北試験地の事例<sup>3)</sup>では、ETによる損失が年間を通じて月降水量の約5割に相当していた。

このような水収支観測は、1900年代前半から欧米諸国や日本で始まり、主に1 km<sup>2</sup>以下の小流域を対象に行われてきた<sup>4)</sup>。これにより、森林の水循環を構成する基本的な水文プロセスが明らかになり<sup>5)</sup>、樹種の転換が水流出に与える影響(例えばKomatsu et al<sup>6)</sup>;流域面積2.5~3.1 ha)や、間伐が水循環に与える影響(例えばDung et al.<sup>7)</sup>;流域面積0.2~0.4 ha)なども評価されてきた。一方で、これら小流域研究の研究成果を、森林施業や水資源管理を行う上で重要となる10 km<sup>2</sup>以上のスケールに繋げることの重要性も指摘されている<sup>8)</sup>。

広域スケールへの拡張としては、気象観測に基づく蒸発散モデル<sup>9)</sup>や、表流水モデルと地下水モデルを組み合わせたGETFLOWSなどの広域水循環解析モデル<sup>10)</sup>などが検討されてきた。しかし、これらの手法では、森林の水循環に影響を及ぼす、多様な森林の分布状態や、個別の林分における森林状態(立木密度や樹種など)が反映されないという課題もある。

森林の水循環に影響する要因としては、遮断損失( $E_i$ )と蒸散( $E_g$ )が特に重要であり、それらについては立木密度などの森林状態に依存することが既往研究で報告されている。例えば、小松<sup>11)</sup>は針葉樹人工林の立木密度と降雨に占める遮断の割合の関係性を示した。また、ヒノキ単木の樹高と蒸散の負の相関関係<sup>12)</sup>や、トウヒ林の立木密度と蒸散の正の相関関係<sup>13)</sup>も示されている。

このようなことから、水収支観測データの得られない流域であっても、立木密度や樹高などの森林状態と蒸発散の相関関係を用いることで、広域かつ多様な森林状態を考慮した水循環の評価が可能であると考えられる。特に、日本では各都道府県や国有林が森林簿を整備しており、森林簿に記載された樹種・林齢などの基本情報から立木密度などの森林状態を推定し、広域の水循環評価も可能と考えられた。そこで、本研究では森林簿から得られる森林情報と既往の研究レビューの網羅的解析から、広域スケールでの蒸散と遮断による水の損失量評価手法を開発することを目的とした。

## 2. 方法

本研究は、東京農工大学の演習林が位置する栃木県(森林面積:3,490 km<sup>2</sup>)を対象に行った。栃木県の国有林・民有林データをArcGIS(v10.7.1)上で統合し、林齢情報から樹高と立木密度を推定した。樹高推定は、主に森林総合研究所の収穫表調製業務研究資料<sup>14)-20)</sup>から得られた地域・樹種別の林齢-樹高関係式を用いた。立木密度の推定は、森林総合研究所の収量比数( $R_y$ )計算プログラムから得られた樹種・ $R_y$ 別の樹高と立木密度の関係式を用いた。ここでは、対象とする栃木県内の森林が一律で収量比数 $R_y = 0.8$ と仮定した。

蒸発散(ET)は、遮断損失( $E_i$ )、蒸散( $E_g$ )、林床面蒸発( $E_b$ )の3要素に分け、既往研究のレビューから得た樹種別の回帰式・平均値(表1)をまとめた。これらの結果を、森林計画図で得られた樹種情報から各林班に該当する $E_i/P_g$ と $E_g/P_g$ を計算するとともに、5 x 5mに内包した。次に、1981-2010年の平均年降水量データ(国土数値情報平年値1kmメッシュデータ)を内挿した値を $P_g$ として、重なり合うセルの $E_i/P_g$ および $E_g/P_g$ と乗じる

ことで、各セル上の  $E_i$  と  $E_t$  を算出した。林床面蒸発 ( $E_f$ ) については、樹種に関係なく数値を与えた。

表 1 樹種別の遮断、蒸散、林床面蒸発の算出方法

要素	適用樹種	算出方法	References
$E_f/P_g$ (%)	スギ, ヒノキ, その他針葉樹	$E_f/P_g = f(\text{立木密度})$	Komatsu et al. (2015)
	マツ	$E_f/P_g = f(\text{立木密度})$	Inoue et al. (2017)
	竹林	$E_f/P_g = 0.106$	Inoue et al., 2017
	広葉樹	$E_f/P_g = 0.185$	Mitsudera et al., 1984; Murai, 1970; 村井・熊, 1989; Taniguchi et al., 1
$E_t/P_g$ (%)	スギ, ヒノキ, その他針葉樹	$E_t/P_g = f(\text{立木密度})$	Chiu et al. (in prep.)
	マツ	$E_t/P_g = 0.185$	Lida et al., 2006
	竹林	$E_t/P_g = 0.297$	Komatsu et al., 2010; Ichihashi et al., 2015
	広葉樹	$E_t/P_g = 0.135$	邱, 未発表資料
$E_f/ET$ (%)	全樹種	$E_f/ET = f(\text{立木密度})$	Lida et al., 2006; Kobayashi et al., 2007; Sun et al., 2017; Wedler et al., 2017; 出口ら, 2006; 玉井ら, 1 飯田ら, 2006

### 3. 結果および考察

栃木県内の森林簿データから樹高  $17.7 \pm 4.8$  m と立木密度  $1734 \pm 2123$  本/ha が算出された。特に、東京農工大学の唐沢山演習林の 2 林班と 3 林班では、平均樹高と立木密度の推定値は  $14.5 \pm 2.3$  m,  $14.3 \pm 2.3$  m,  $2038 \pm 621$  本/ha,  $2073 \pm 602$  本/ha であり、実測値の  $10.0 \pm 3.6$  m,  $9.4 \pm 2.8$  m,  $2198 \pm 1236$  本/ha,  $2190 \pm 1351$  本/ha とそれぞれ同程度であった。ただしここでは、収量比数  $R_y$  などについて、個別の林分の管理履歴などを考慮していないことや、特異的に値が高い箇所や低い箇所があり、今後は LiDAR 等を用いた森林計測との組み合わせも必要である。

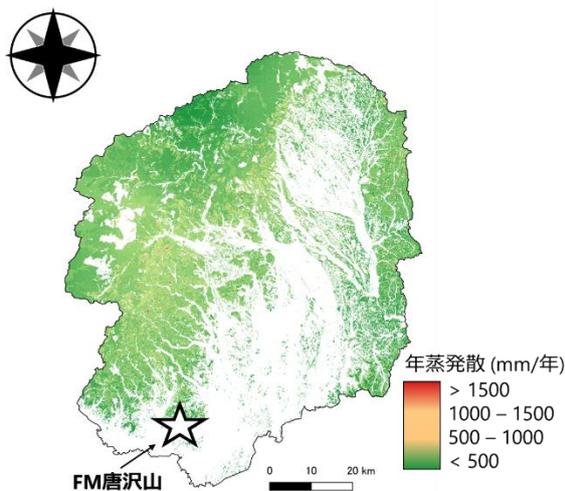


図 1 栃木県の年蒸発散分布図 (mm/年)。

本データに用いた栃木県内各メッシュの年平均降水量は  $1568.5 \pm 232.1$  mm/年であり、遮断損失  $325.7 \pm 62.9$  mm/年、蒸散  $270.7 \pm 87.5$  mm/年、林床面蒸発  $195.5 \pm 52.0$  mm/年であった。これより、年蒸発散量は  $791.8 \pm 162.4$  mm/年と推定された(図 1)。Thorntwaite 法による栃木県北部の年可能蒸発散量 800 mm/年<sup>21)</sup>であり、森林状態を考慮した本研究結果と同程度であった。ただし、本研究は蒸発散の 3 要素(遮断損失, 蒸散, 林床面蒸発)を個別に広域で評価できることから、より森林状態や森林管理による森林状態変化の影響を反映できる可能性があると考えられる。

本研究で得られた計算結果と実測値<sup>22)</sup>を佐野市に位置する東京農工大学唐沢山演習林の 32 年生ヒノキ林プロット ( $156 \text{ m}^2$ ) で比較すると、実測の遮断量 414.8 mm/年に対して計算値は 348.6 mm/年、実測の蒸散量 441.0 mm/年に対して 405.5 mm/年の計算値、実測の林床面蒸発 124.0 mm/年に対する計算値の 179.0 mm/年など整合性が高かった。今後は、季節変動性なども考慮することで、本手法による季節的な森林の水循環評価も可能と考えられた。

### 4. まとめ

本研究では、栃木県の森林簿を用いて、広域スケールでの蒸発散推定手法を検討した。演習林の現地観測結果との比較から、本手法を用いて森林の水循環を簡易的に再現できる可能性が示唆された。今後は、本手法の広域適用可能性をより詳細に検討することで、間伐などの森林管理が広域スケールの水循環・水資源に与える影響について評価することが可能になると考えられた。

### 5. 引用文献

- 1) 篠原ら (2013). 日本森林学会誌. 2) Kosugi and Katsuyama. (2007). *J. Hydrol.* 3) Kumagai et al. (2014). *J. Hydrol.* 4) 福嶋. (1992). 水文・水資源学会誌. 5) 小松ら. (2007). 日本森林学会誌. 6) Komatsu et al. (2008). *For. Ecol. Manag.* 7) Dung et al. (2012). *J. Hydrol.* 8) 野口・藤枝. (2007). 森林総合研究所研究報告. 9) Komatsu et al. (2008). *J. Hydrol.* 10) 西村ら. (2017). 地下水学会誌. 11) 小松. (2007). 日本森林学会誌. 12) 鶴田ら. (2008). 水文・水資源学会誌. 13) Alsheimer et al. (1998). *EDP Sciences.* 14) 林野庁・林業試験場 (1955). 15) 林野庁・林業試験場 (1961). 16) 林野庁. (1952). 17) 林野庁・林業試験場. (1955). 18) Shugart et al. (2010). *Biogeosciences.* 19) 中川ら. (1990). 岐阜県林業センター研究報告. 20) 國崎ら. (2007). 岩大演報. 21) 檜山・鈴木. (1991). 日本水文科学会. 22) Sun et al. (2017). *Trees.*