

宮城県丸森町での渓流水流量モデル化における蒸発散導入方法について A study on suitable evapotranspiration rate introduction to the modelling of flow rate variations in forestry water course at Marumori Town in Miyagi Prefecture

○原田茂樹*、高橋信人*、渡邊陽子**

HARADA Shigeki, TAKAHASHI Nobuto, WATANABE Yoko

1. はじめに：昨年度大会で、宮城県丸森町の黒佐野川水道水源地における流量を予測するタンクモデルを示した¹⁾。丸森町大内地区では水道水源地の下流にある土合堰から非灌漑期にも取水し冬期湛水水田（冬水たんぼ）を形成しており（H27年冬の41aのテスト試行を経てH28年から10ha以上の規模で実施、H30年は20ha近くに到達）²⁾、その成功のための5つの条件（水利権、水量、水質、町の動き、社会の動き）³⁾のうち、特に水量の確保と評価（水量確保・供給安全度の評価）のためのツールとしてタンクモデルを位置づけている¹⁾。動態解明ではなく活動支援のためのツールであるので、計画やシナリオ変更の実現可能性を簡易に評価できる流量予測モデルが望ましい。しかし、可能な限り科学的知見を盛り込んだものである必要がある。

冬水たんぼ構築の背景として、宮城県南端に位置する丸森町が震災後のセシウム汚染からの脱却、さらに新たな町づくり目標の立案と実現に向かっていることがある¹⁻⁴⁾。冬期湛水水田を軸とした活動は、主に「タンチョウ復帰を願う会（代表：梅津正喜）」のもとで進められており、町の活性化に加え将来の少子高齢化・人口減少対策として機能する可能性がある。社会調査⁵⁾の結果から丸森町の住民が自然環境の保全、新しい観光資源、歴史伝統の継承などを通じた形での町の活性化を希望していることが明らかであり、江戸時代に飛来していたという言い伝えがあるタンチョウ³⁾をシンボルとした活動は求心力があり、その活動を通じてコメのブランド化、六次産業化、観光化などの新産業創出の可能性があるからである。

本研究では、昨年度大会で示したタンクモデル（基本モデル）を改善（新モデルを構築）する過程と新モデルを用いて近年の冬期と丸森観測史上最少降雨年の1987年1年間の供給安全度を検討した結果²⁾を紹介する。そして、新モデルが町民による活動の支援でありかつ科学的知見を盛り込んだモデルと言えるかを検証し、今後の課題を明確にする。特に、蒸発散量（以下、ET量と呼ぶ）の導入方法が最も重要であると考えられ、既往の研究との比較から蒸発散量の導入方法について知見が得られたので報告する。

2. 基本モデルと新モデルの構築とシミュレーション^{1, 2)}：

(1) 基本モデル、新モデルへの構築^{1, 2)}：2015～2017年、流量連続計測が行われていない黒佐野川（流域面積5.109km²）の上流部の水道水源地と土合堰において、浮子法により流量を計測した。前者は12回、後者は5回行った。一般的に渓流部での流量変動は激しいが、水道水源地の流量計測の最大値は最小値の23倍であり、広い幅の流量変動をとらえることができた。水道水源地の流量は先行1週間降雨と相関が高く、表面流出や早い中間流出が卓越すると考えた（雨天時の早い増水と急激な流量低下とも一致する）。タンクモデル構築においては、対象地周辺の山地の表面地質が花崗岩であり透水性が低いことを考慮し、4段目タンクでの貯水が少なく、3段目までで多くが流出するモデルとした。ハモン式によりETを考慮したETありモデルとETなしモデルがある。基本モデルは計測値と計算値の相関係数やRMSEはよい結果を示したが、2015～2017年の長期水収支ではET量に狂いがあった。そこで各タンクのパラメータを再設定し新モデルを作成した。このモデルでは基本モデルよりも相関係数やRMSEが改善され、かつET量の狂いがなくなった。

(2) 新モデルによるシミュレーション²⁾：2015～2017年冬期および丸森観測史上の最少降雨年である1987年（839mm）年間の日流量を計算し、冬水たんぼの面積に10cm湛水する
*宮城大学食産業学部環境システム学科、Dept. Environ. Sciences, Miyagi University
**（国研）森林研究・整備機構森林整備センター、Forest Research and Development Center
冬期湛水水田（冬水たんぼ）、流量、タンクモデル、蒸発散、森林管理

ための供給安全性を検証すると、2015～2017年には冬期に目標値以上の流量を示す日が連続して数日以上あり冬水田んぼ実施エリアに10cmの湛水ができるが、1987年には目標値以上の流量を示す日が不足し、困難であることが示された。降雨形態によっては供給安全度が低い可能性があり、森林管理を見直し保水力を増す必要性が示された。

(3) ここまでの検証と課題²⁾：新モデルは公的に観測・公表されている気象条件のみで計算でき、パラメーターと黒佐野川の流況との因果関係がわかりやすく、町民の活動支援モデルに適していると考えられる。一方、新モデルによる計算結果と計測結果の比較を冬水田んぼの形成に必要な低流量時において行うと、ETありモデルの方が常に再現性が良いとは言えなかった。ETを導入することがかえって低流量時の再現性が下がる場合があることの原因として、ハモン式ET量は月平均値であり気象条件の時間依存性(日変動など)が考慮できず、ET量の過大・過小評価が起り、流量予測の再現性が下がる場合があると考える。

3. 考察と今後の課題：既往の森林など植生のある場の流出モデルでは、ET量を水収支以外にも放射や熱収支を逐次取入れ計算し与えている例⁶⁾、ET量を何等かの基礎算定式によって求めそれに係数⁷⁾や関数⁸⁾を乗じて与えている例がある。新モデルの今後の改善において、モデル構造の変更を少なくするためには後者が望ましい。基礎算定式としては、本研究で用いたハモン式の他、ペンマン式、ソーンスウェイト式、ペンマン-モンティース式などを用いた例が多い。係数をかけた例⁷⁾は土壌の飽和度を考慮し、関数をかけた例⁸⁾は作物の生育度合を考慮している(著者らはライシメータET量⁹⁾とハモン式の比較より植生の繁茂状態を考慮することの必要性を指摘しており²⁾、同様の考えと言える)。基礎算定式の中ではペンマン-モンティース式が一般的に推奨されている¹⁰⁾が、既往研究には、算定ET量の実測値再現性を植生の状態に注目して解析し、ペンマン-モンティース式に植生影響をLAI(Leaf Area Index)¹¹⁾を用いて加味した改善式を提案した例¹²⁾もある。ただし、著者らが文献11の実施エリアの気象条件からハモン式ET量を求め、文献11中の日ET量から月平均値を求めると、両社はほぼ一致した。このことから、月程度の期間ではハモン式はET総量を正しく表すと考えられ、構造の簡単さ(変数の少なさ)から基礎算定式の候補であり、この式をベースに植生の影響を取り入れることを検討したい。黒佐野川流域の主要な植生は宮城県森林情報提供システムによれば、樹齢50-60年、手入れがされていない人工の常緑針葉樹、アカマツ(LAIは4.0~5.0)¹³⁾、スギ(LAIは4.8~7.2)¹¹⁾である。手入れがされていないことから遮断蒸発が時間変動に大きな影響を与えられ、文献6に示されている植生タンクをタンクモデルの最上段に設けることが現実的と考える。文献6では森林域のLAIが日流量に与える感度が高いことを示している。黒佐野川流域の主要植生であるアカマツおよびスギが常緑針葉樹であることから、LAIの時間変化は小さく、植生タンクを設けて計算する遮断蒸発量はハモン式の考えのように気温を主要変数として計算できる可能性がある。ただし、遮断されないで地表面に到達する雨の割合をLAIによって決め¹²⁾、その蒸発散量を別途計算する必要がある。文献12の植生はトウモロコシ(LAIは1.0以下)であり、LAIの大きさから考えて黒佐野川流域の植生の場合には文献12の場合より遮断蒸発量の占める役割が大きいと考えるが、遮断蒸発量、および遮断されないで地表面に到達した水分の蒸発散量算定についてさらに定量的検討が必要である。なお、黒佐野川流域の針葉樹林が伐採期に入っており、植生タンクを導入した流出解析は、今後の森林管理のためにも有効だと考える。

謝辞：用いたタンクモデルのプログラムは、宇都宮大学農学部より提供された。本研究は宮城大学研究費により行われた。丸森町関係者にこの場を借りて謝意を示す。

引用文献：1) 原田茂樹・渡邊陽子、2018、平成30年度農業農村工学会大会講演会要旨集、2) 原田茂樹・渡邊陽子、2019、用水と排水、3) 原田茂樹・大野菜穂子、2017、用水と廃水、4) 原田茂樹・村上道夫、2018、用水と廃水、5) 宮城大学地域連携センター、2015、6) 例えば、電力中央研究所報告：N05003、7) 例えば、谷誠・阿部敏夫、1987、林試研報、8) 例えば、比屋根真一ら、2018、沖縄県農業研究報告、9) 市川新ら、1989、第2回水文・水資源学会研究発表会要旨集、10) 小早川直也ら、2010、平成22年度農業農村工学会大会講演会要旨集、11) 例えば、佐藤博紀ら、2018、環境科学会誌、12) 東博紀・岡太郎、2004、土木学会論文集、13) 小長谷瑞木・林陽生、2007、筑波大学陸域環境研究センター報告