

降水量からの小水力発電ポテンシャルの推定

－ 流域面積が小さい水源への適用 －

河村 隆雄

Hydraulic Potential Estimation from Rain Fall

- Application to Water Sources with Small Basin Area -

Takao KAWAMURA

あらまし 岐阜県下には全国有数の小水力発電ポテンシャルが存在するが、活用への動きははかばかしくない。その対策として、小流域における小水力発電ポテンシャルを簡便かつ短時間に評価する方法の開発を試みた。これは、水文学に基づく直列タンクモデルを用いて流域の降水量より水源の流況曲線を推定する方法に、3Dマップ標高データから流域面積を求める手法を組み合わせることで水源の発電能力を評価するもので、これを木曾川水系の小流域の水源に適用して発電電力量の推定を試みたところ、推定結果は実績発電量と良い整合性を示した。

キーワード 小水力発電、発電ポテンシャル、直列タンクモデル、3次元地図、流況曲線

1. はじめに

エネルギー資源の再生可能エネルギー化の重要性が叫ばれる中、岐阜県では県内の再生可能エネルギーの導入ポテンシャルやコストペイバックタイムなど次世代エネルギーインフラ活用の指針を作成し、導入の促進を図っている^[1]。県下には広大な森林に育まれる豊富な木質バイオマス資源と、その森林から湧き出す膨大な水力資源が存在し、その活用に大きな期待が寄せられている。環境省による再生可能エネルギー導入ポテンシャルの調査^[2]によれば、県下に全国二位の小水力発電ポテンシャルが存在するとされるが、その活用への意欲を生み出すためには、具体的な小水力発電の水源候補地について、その発電能力を簡便かつ短時間に評価して提供できることが望まれる。

前報^[3]では、洪水予測に利用される直列タンクモデルを使用して河川の流況曲線を降水量から推定する試みを武儀川について行い、実際の流況曲線と良好な一致が得られること、また、タンクモデルが中小河川の小水力発電ポテンシャルの推定に有効であることを明らかにした。

本報告では、岐阜県南部をほぼ網羅する木曾・長良・揖斐の三河川が形成する木曾川水系の流域について、一組の代表タンクモデルを用いて流況曲線の再現を図るとともに、これに三次元地図の標高データから流域面積を求める方法を組み合わせて、木曾川水系の小規模水源の発電能力を予測する手法を開発した。またこれを既に発電実績のある水源に適用することで、その効果を確かめた。

2. 木曾川水系のタンクパラメータ

2.1 木曾川水系の主要な中規模河川の流況曲線

前報で示したように、水源に設置した水車の発電能力を見積るには、その水源の流量 Q [m^3/s] を高さとし、また年間に発生する当該流量の出現率 Δx を幅とする矩形を流量の大きい順に並べたグラフ、すなわち縦軸に流量 Q 、横軸に流量の累積出現率 x をとった流況曲線(図 5 参照)を作成する必要がある。

本報告では、流域面積の異なる多数の河川の流況曲線を相互に比較するため、流量を、各河川の流量観測地点までの流域面積 A [km^2] で除して流域 1km^2 当たりの流量に換算した値 $q=Q/A$ [$(\text{m}^3/\text{s})/\text{km}^2$] (以下、流量流束と呼ぶ)を用いて表示することにする。この流量流束による流況曲線は、主として当該河川流域の降水量の時間分布(以下、降水特性という)に依存するものと考えられる。

はじめに木曾川水系内にある河川の流況曲線の状況を比較するために、国土交通省の水文・水質データベース^[4]上に流量観測データが存在する中規模 8 河川について、同データベースから取得した流量観測値に基づいて作成した流量流束の流況曲線(以下、実測流況曲線という)を図 1 に示す。図に見られるように、木曾川水系の代表的な中規模河川の実測流況曲線はかなりのばらつきを示している。これは、各河川の流域によって降水特性が異なることが反映されたものと考えられる。

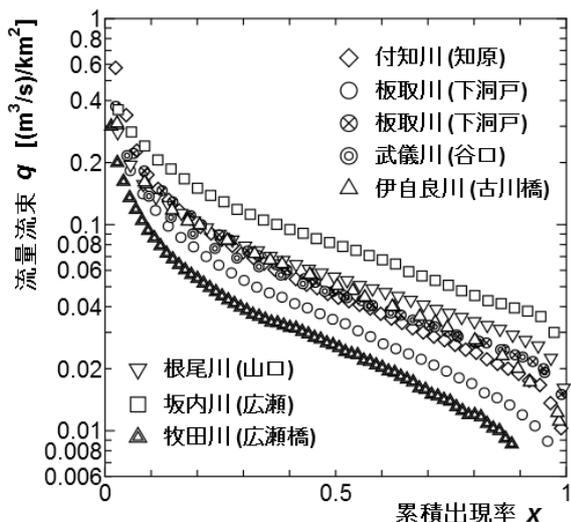


図1. 木曾川水系の中規模河川の実測流況曲線

2.2 木曾川水系の代表タンクパラメーター

前報では河川の降水特性と流況曲線の関係を、直列三段タンクモデルを用いて近似したが、このとき、降水特性と流況曲線との関係を表すものが各河川流域のタンクパラメーターである。もし、木曾川水系にある多数の河川流域の多くを同一のタンクパラメーター(以下、代表タンクパラメーターという)を用いて近似することができれば、降雨量から流況曲線を推定する作業は著しく容易になると期待される。ま

表1. 武儀川のタンクパラメーター
(流量流束に基づく値)

| Tank | Pipe | L | α | β |
|------|------|------|----------|---------|
| 1 | 0 | 16.7 | 0.1 | 0.006 |
| | 1 | 6.94 | 0.001 | |
| 2 | 2 | 8.33 | 0.3 | 1.0 |
| 3 | 3 | 1.94 | 0.75 | 0.01 |

L: 側管の高さ, α : 側管の流出係数

β : タンク底面ホールの流出係数

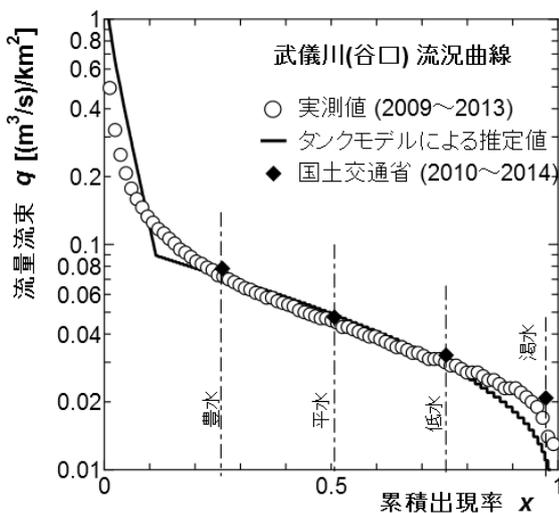


図2. 武儀川の実測流況曲線

た、図1の多数の流況曲線群の中ほどに位置する河川は、木曾川水系の平均的な性質を持つものと推測されることから、代表タンクパラメーターを持つ河川の候補として、武儀川を想定することができる。武儀川のタンクパラメーターについては既に前報で報告したが、これを流量流束に関わるものに換算したものを表1に示す。

図2は表1のタンクパラメーターを用いて武儀川の降水量データから推定流量流束を計算し、これに基づいて作成した推定流量流束の流況曲線(以下、推定流況曲線という)と、武儀川の実測流況曲線および国土交通省が同河川について提示している豊水点(累積出現率 $x=0.383$), 平水点(同0.630), 低水点(同0.863)における流量値を示す。二つの曲線および値は良好な一致を示している。なお、推定流況曲線を求めるプロセスについては4章で説明する。

図3は、木曾川水系の中規模8河川の実測流況曲線と、各河川流域の平均降雨量に武儀川のタンクパラメーターを適用して求めた推定流況曲線とを比較して示したものである。はじめに最下段の牧田川について考える。この河川においては、実測流況曲線が推定流況曲線を大きく下回っており、推定流況曲線を水車出力の評価ツールとして使用することの妥当性が問題になる。また、こうした傾向は津保川についても若干見られる。これら河川においては、関係各市の

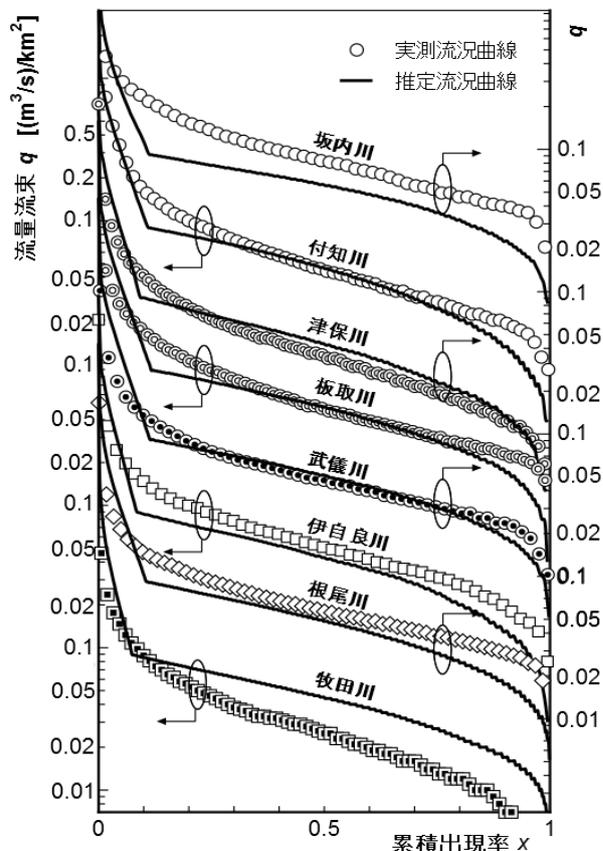


図3 木曾川水系の中規模8河川の実測流況曲線と推定流況曲線

広報資料および地形図などから農業用の水利用が盛んであると推測され、その場合、実測流量に利水流量を加えて推定の適否を検討する必要がある。

また最上段に示した坂内川については、実測流況曲線は推定流況曲線を5割程度上回っている。この河川流域の平均標高は高く、積雪による貯水効果、すなわち冬季の降雪が春以降に長期に亘って少しずつ流れ出すことによって大きな出水が緩和され、図のように豊水点から低水点の流量が増加するものと推測される。ただし本報告では、これら利水および積雪の効果については今後の課題とする。

上記の3河川を除く5河川については、武儀川のタンクパラメータを使用して求めた推定流況曲線は、実測流況曲線とかなり良い一致を示している。このことから本報告では、木曾川水系の代表タンクパラメータとして、武儀川のタンクパラメータを使用する。

3. 水源の流域面積の推定

発電機を設置する水源の流量は、原則として、その水源に集まる流域面積への降水量の総和として与えられる。このことから、本手法では、単位流域面積当たりの降水量 r [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]は流域内で均一であると仮定し、これと水源の流域面積 A [km^2]を掛け合わせることで水源の流量とする。そこで、水源の流域面積を求める方法について考える。

これは、”降水は稜線を超えて流れることはない”を原理とし、これより水源地の周囲をとり囲む稜線と、稜線から水源に至る線で閉じた領域を当該水源の流域とし、その面積を流域面積 A とする。そこで、稜線を判定する作業が必要になる。詳細な等高線地図から直接稜線を描き面積を求める作業は炊雑であるため、今回、50 m メッシュで詳細な標高データが組み込まれた”国土地理院地図3D”を利用して稜線の判定を行った。

稜線判定の際の特徴量として、地図上の稜線に交わる直線上において、①高度の差分が正から負に変化すること、②高度の2階差分がその前後において常に負であることを

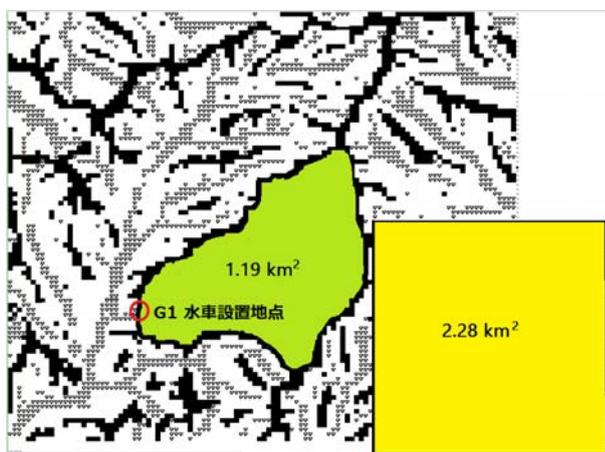


図4. G1地区流域面積判定図 -- 稜線, ~~~~~ 溪谷線

条件として、東西、南北両方向を含む8方向のいずれかにおいてこの条件を満たす点を稜線とした。また、稜線図を利用する際の便宜のために、稜線と逆の判定基準を用いて溪谷線を求めた。図4はその一例である。

4. 既設小水力発電地区の発電能力の推定

本報告に示した手法を既設の小水力発電用水源に適用するとともに、その発電実績と比較し、その妥当性について検討した。

4.1 水源の発電能力の推定方法

水源の発電可能電力量を推定するには、以下に示す①から⑥の作業が必要である。これを、図4に示す発電地区G1を例に説明する。

① 発電用水源の有効落差を求める。

まず、水源地の水面と、水車からの流出水面との高度差(実落差)を求める。実落差は測量によって求めることが望ましいが、地形図などから概略を判定することもできる。発電出力を評価するには本来、この実落差から、水源から排水路に至る導水路における流動損失を差引いた有効落差を求める必要があるが、本報告では簡便のために流動摩擦などによるエネルギー損失を総合効率に含めて考えることとし、実落差をそのまま用いる。G1地点の実落差 H は、測量により9.9mと求められている。

② 発電用水源の流域面積を求める。

これには3章に示した方法を使用する。図4にて示したG1地区の稜線図において、稜線で囲まれた流域のピクセル数を数えるとともに、同じ図中に面積の基準とする領域を描いてピクセル数を求め、それらピクセル数の比から流域面積を求める。G1地区の流域面積 A は1.19 km^2 であった。

③ 水源の降水量データを取得する。

はじめに、国土交通省の水文水質ベースから該当地区の時間雨量データ R [mm/h]を取得する。小流域の場合、雨量観測点が当該水源の流域中に存在しないことが多いが、その場合は水源を囲む近隣の雨量観測点のデータを複数取得し、それらを平均することでその地区の平均降水量とする。

なお、次に行う流量流束を推定する作業では、タンクパラメータに流量流束に関わるものを使用して流量流束を求めるので、時間雨量 R を単位面積当たりの降水量 $r (=R/3.6)$ [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]に換算しておく必要がある。

④ 降水量 r から当該水源の流量 Q を推定する。

次に、この単位面積当たり降水量 r に対して表1に示す武儀川のタンクパラメータを適用して、時間毎の水源の流量流束 q [$\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$]を算出し、これを流量流束の推定値とする。さらに推定流量流束 q に②で求めた流域面積 A を掛けて、水源の推定流量 $Q (=qA)$ に戻しておく。

⑤ 推定した流量から流況曲線を描く。

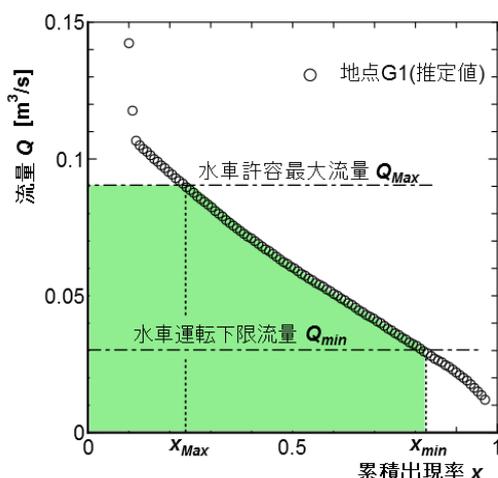


図5. 流況曲線から水車出力の推定

推定流量 Q を大数順にソートしたのち、各流量までの累積出現数を全データ数で割って各流量の累積出現率 x を求める。その後、図5に示すように縦軸に Q 、横軸に x を取って流況曲線を描く。なお図5では、雨量の長期欠測期間とその後の48時間は除外して計算している。

⑥流況曲線から水源の発電能力を推定する。

はじめに、流況曲線から水源の単位流域面積当たりの年間有効流量 Q_e を求める。これにはまず、得られた流況曲線に設置を予定している水車の最大流量(Q_{Max})と、下限流量(Q_{min})の線を引き、 Q_{Max} ならびに Q_{min} が流況曲線と交わる点の累積出現率 x_{Max} , x_{min} を求める。二つの座標軸と Q_{Max} 線、流況曲線、そして x_{min} 線で囲まれる面積(図5の灰色部分)を求めることで有効流量 Q_e が求まる。このとき水車による推定発電出力 P_p は次式で与えられる。

$$P_p = \eta \rho g Q_e H \text{ [W]} \quad (\rho: \text{水の密度}, g: \text{重力加速度})$$

ここで η は総合効率で、導水管路の流動損失特性、水車および発電機の効率、送電効率など、水源の立地条件や機器の性能に依存するため、経験値に基づいて予測する必要があるが、ここでは大まかに0.3とした。このようにして得

表2. 小水力発電実施地区における発電能力推定結果

| 地区 | | G1 | G2 |
|-----------|-------------------------------|-------|-------|
| 水源の流域面積 | A [km ²] | 1.19 | 2.25 |
| 水車最大流量 | Q_{Max} [m ³ /s] | 0.09 | 0.15 |
| 同 累積出現率 | x_{Max} | 0.24 | 0.25 |
| 水車下限流量 | Q_{min} [m ³ /s] | 0.03 | 0.05 |
| 同 累積出現率 | x_{min} | 0.83 | 0.66 |
| 水源の包蔵流量 | Q_e [m ³ /s] | 0.057 | 0.079 |
| 実落差 | H [m] | 9.9 | 9.0 |
| 水源の包蔵出力 | P_e [kW] | 5.5 | 6.9 |
| 総合効率 | η | 0.30 | 0.30 |
| 推定発電出力 | P_p [kW] | 1.7 | 2.1 |
| 推定年間発電電力量 | W_p [kWh] | 14533 | 18195 |
| 実績年間発電電力量 | W_r [kWh] | 11530 | 3387 |

られた推定発電出力 P_p に1年間の時間数を掛けあわせることで、水源の推定年間発電電力量 W_p [kWh] が得られる。

4.2 既設小水力施設の推定発電能力と実績発電量の比較

本報告に示した発電ポテンシャル推定方法の妥当性を調べるため、既に郡上市大和町および和良町に設置されている小水力発電施設2か所について、上記の手続きに従って見積もった水源の発電能力(出力 P_p 、年間発電電力量 W_p)と、年間発電電力量の実績値 W_r を表2に示す。地区G1の水車は推定される年間発電電力量 W_p を十分に活用しており、また、地区G2の発電設備は小規模で、実績電力量 W_r は推定値 W_p の2割以下と発電余力を大きく残していることがわかる。これら2地区は共に積雪が見られる地域であることを考慮すれば、年間の発電ポテンシャルはさらに増すものと予想される。しかしそれを考慮する前に推定値が実績値を上回っており、かつ、推定値と実績値が大きくかけ離れていないことは、本報告に示す方法で求めた年間発電電力量の推定値は同実績値と良い整合性を持つことを示している。

5. まとめ

木曾川水系における小水力発電について、降雨量から水源の発電ポテンシャルを簡便に推定する手法の開発を試み、また開発した手法を既設の小水力発電用水源に適用したところ、以下の事項が明らかになった。

- (1) 木曾川水系の主要な中規模河川については、大量の利水や積雪などの事情のある場合を除き、代表タンクパラメータに武儀川のタンクパラメータを用いることで、当該河川流域の平均降水量を基に、河川の流況を発電量推測に必要な程度に推定できる。
- (2) 国土地理院3Dマップの標高データから、稜線に関する比較的単純な特徴量を用いることによって稜線の判定が可能であり、これに基づいて流域面積が推定可能である。
- (3) 上の二つの手法に基づいて小水力発電実績のある水源について発電出力を推定し、これを発電実績と比較したところ、年間発電電力量について良い整合性を得ることができた。

文献

[1] 岐阜県, “岐阜県次世代エネルギービジョン”, H23.3
 [2] 環境省, “平成23年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書”, H24.6
 [3] 河村隆雄, “中小河川等における発電ポテンシャルの見積り方法について -水文学タンクモデルの武儀川への適用-”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第16号, pp59-62, 2015.
 [4] 国土交通省, “水文学質データベース”, <http://www1.river.go.jp>
 [5] 国土地理院, “地理院地図3D”, <http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/site/index.html>