

66. 任意地点における小水力発電の実現可能性検討手法についての研究

小池 達也^{1*}・中津川 誠²・臼谷 友秀³

¹室蘭工業大学大学院工学研究科（〒050-8585 室蘭市水元町 27-1）

²室蘭工業大学大学院工学研究科（〒050-8585 室蘭市水元町 27-1）

³一般財団法人 日本気象協会 北海道支社（〒064-8555 札幌市中央区北四条西二十三丁目）

* E-mail: 15041027@mmm.muroran-it.ac.jp

地球温暖化問題や2011年の震災を受け、我が国では再生可能エネルギーの普及に向けて固定価格買取制度（FIT）が導入され、再生可能エネルギーを用いた発電設備は増加傾向にある。また、発電を行うには落差に加えて流量の情報が必要となるものの後者を任意地点で観測データとして得るのは難しい。本研究の目的は、地質情報を用いてタンクモデルのパラメータを設定し、任意地点の流量を推定するというものである。この地質情報は日本全国的に整備されているものであるため、どこの流域においても流量が推定できることから小水力発電の実現可能性の検討に有効である。本研究では例として室蘭市鷺別川流域での試算を行った。

Key Words : small hydro power, flow rate estimation, tank model, geological data,

1. はじめに

我が国のエネルギー自給率は4%と低く、原子力発電を準国産エネルギーとして含めても18%と主要先進国に比べて低い。加えて、2011年の震災による原子力発電所の被災で安全性への懸念が高まり、今後のエネルギー計画のあり方を揺るがしている。火力発電もいずれ必ず枯渇する資源を用いたエネルギーであり、また、これらのエネルギーは変換時に二酸化炭素を発生するため、京都議定書により温室効果ガス排出量の削減を義務付けられている我が国では、早急な代替エネルギーへの展開が必要とされる。

そこで、本研究では、純粋な国産資源である再生可能エネルギーの中でも、とくに二酸化炭素の排出が少なく、安定したエネルギーである小水力発電に着目した。発電電力量の試算には落差、流量の値が必要となる。落差に関してはその地点における地形により決まっているが、流量に関しては小規模河川などの流量データが得られない流域が多く、雨量データより流量を推定する必要がある。特に小水力発電では継続的な発電が重視されるため、長期的かつ時間的に変動する流量の推定が必要となる。

流量資料の無い流域での流量推定に関しては、洪水予

測向けタンクモデルのパラメータの総合化についての報告（小葉竹ら¹⁾）や、長期流出を対象に地質や土地利用などからモデルパラメータを設定する方法を提案した研究（横尾ら²⁾）などがある。いずれも、モデルパラメータを決める際に流域の地質情報を取り入れることが有効であることを報告している。

そこで本研究では ArcGIS を用いて地質データを抽出し、タンクモデルのパラメータを算定する重回帰式に適用することでパラメータを設定した。これにより日単位で変動する流量を推定することが出来るため、例として室蘭市の選出地点にて発電電力量の試算を行った。

2. 方法

(1) 対象地点と基礎データ

本研究での対象河川は図-1に示す室蘭市にある鷺別川である。その中でも発電に適している地点として写真-1に示す鷺別川水系の支流にあたる水元沢川の室蘭工業大学地点と鷺別川の上流にある砂防ダムを選出した。選出の理由として、水元沢川の室蘭工業大学地点では落差8mを確保でき、砂防ダムでは豊富な流量が期待できる

と考えたためである。図-1に示す流域界の切り出し及び流域面積の算出に関してはArcGISを用いた。

本研究に用いた基礎データを表-1に記す。雨量データは、室蘭市天神町における雨量年報(室蘭建設管理部提供)の値を用いる。収集期間は降水量の少ない年であった2007年、多い年であった2010年のそれぞれ6～9月の4か月とし、日単位のデータを対象にした。地形に関するデータは鷺別川流域の標高データに基盤地図情報を用いた。また、地質には国土数値情報(G05-54M)を基礎データとした。

(2) パラメータ算定のための重回帰式

白谷ら³⁾による既往研究では石狩川流域にてタンクモデルのパラメータを複数与えて流量を計算し、実績流量が再現できるパラメータを試行錯誤によって選び出し、(表-2) 最大値と最小値の比が特に大きかった a_{21} と、比が10倍を超えていた a_{31} について、 a_{21} 、 a_{31} を目的変数、地質の面積率を説明変数として重回帰式を作成している。

表-1 基礎データ

項目	要素	備考
気象	雨量	室蘭市天神町
地形	標高	基盤地図情報(10mメッシュ)
	地質	国土数値情報(G05-54M)

表-2 石狩川の各流域におけるタンクモデルのパラメータと地質の面積率

流域	調整パラメータ(流量を再現し得るよう調整したタンクモデルのパラメータ)									地質区分の面積率					
	a_{11}	a_{12}	a_{21}	a_{31}	b_1	b_2	z_{11}	z_{12}	z_{21}	第三紀火山岩	第四紀火山岩	花崗岩	第三紀層	中生層	古生層
伊納	0.500	0.140	0.149	0.012	0.148	0.296	69.93	5.04	16.89	0.009	0.586	0.007	0.016	0.135	0.000
雨竜橋	0.215	0.117	0.11	0.009	0.100	0.130	47.81	5.15	4.67	0.158	0.001	0.002	0.333	0.103	0.000
赤平	0.488	0.140	0.145	0.031	0.189	0.400	82.43	11.79	0.00	0.017	0.232	0.008	0.097	0.252	0.000
清幌橋	0.090	0.140	0.15	0.012	0.130	0.205	56.04	14.39	0.00	0.000	0.000	0.000	0.383	0.312	0.000
裏の沢	0.137	0.080	0.148	0.015	0.121	0.315	99.23	15.87	29.60	0.122	0.416	0.000	0.069	0.000	0.000
雁来	0.359	0.133	0.15	0.063	0.100	0.060	88.22	24.20	46.57	0.716	0.048	0.001	0.130	0.000	0.000
大雪ダム	0.234	0.104	0.041	0.100	0.156	0.054	89.76	14.36	65.79	0.006	0.449	0.029	0.055	0.362	0.000
忠別ダム	0.336	0.130	0.058	0.015	0.284	0.064	87.21	9.99	23.18	0.000	0.981	0.000	0.000	0.000	0.000
金山ダム	0.115	0.086	0.064	0.037	0.155	0.096	84.83	11.53	20.53	0.004	0.347	0.042	0.000	0.036	0.000
桂沢ダム	0.200	0.131	0.035	0.010	0.148	0.091	60.00	10.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.062	0.932	0.000
漁川ダム	0.096	0.067	0.001	0.027	0.159	0.226	55.60	9.77	9.90	0.267	0.542	0.000	0.175	0.000	0.000
平均	0.252	0.115	0.096	0.030	0.154	0.176	74.64	12.01	19.74						
最大	0.500	0.140	0.15	0.100	0.284	0.400	99.227	24.200	65.793						
最小	0.090	0.067	0.001	0.009	0.100	0.054	47.807	5.041	0.000						
最大/最小	6	2	150	11	3	7	2	5	-						

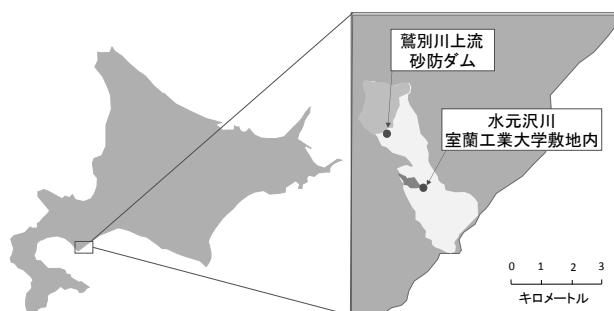


図-1 水元沢川及び鷺別川砂防ダムの位置図

回帰式は次のとおりである。

$$a_{21} = 0.312 - 0.185g_1 - 0.261g_2 - 2.769g_3 - 0.334g_4 - 0.240g_5 \quad (1)$$

$$a_{31} = -0.053 + 0.130g_1 + 0.075g_2 + 1.970g_3 + 0.106g_4 + 0.076g_5 \quad (2)$$

ここで、 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 、 g_5 ：第三紀火山岩、第四紀火山岩、花崗岩、第三紀層、中生層の面積率。

(3) 重回帰式による算定パラメータを用いた流量推定

水元沢川と鷺別川砂防ダムの2地点にて発電電力量の試算を行うにあたり、前節により導出した重回帰式を用いてタンクモデルのパラメータを設定し、流量を推定する。なお、本研究ではさしあたり融雪による影響を除外し、発電期間を6月～9月とした。

まず、ArcGIS-SpatialAnalyst ツールを用いて基盤地図情報数値標高モデル(10m 間隔)より水元沢川および鷺別川砂防ダム流域での流域界を作成し、内部の地質情報を切り出す⁴⁾ことで各地質の面積率を算出する(図-3)。

水元沢川および鷺別川砂防ダム流域での地質6区分での面積率を重回帰式に適用し、図-4に示す集中3段型タンクモデルにより流出量を推算する。なお、その他のパラメータ a_{11} 、 a_{12} 、 b_1 、 b_2 、 z_{11} 、 z_{12} 、 z_{21} に関し



写真-1 水元沢川の落差(左)と鷺別川砂防ダム(右)

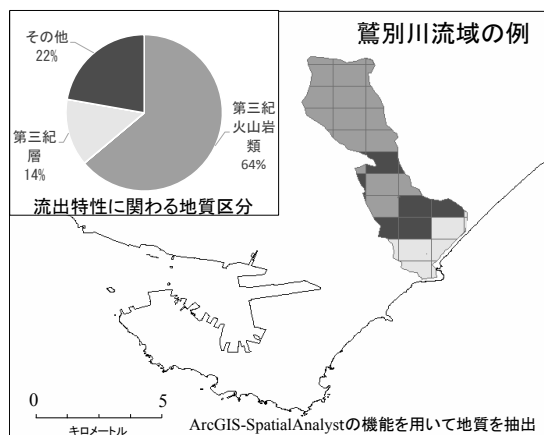


図-3 地質抽出のイメージ

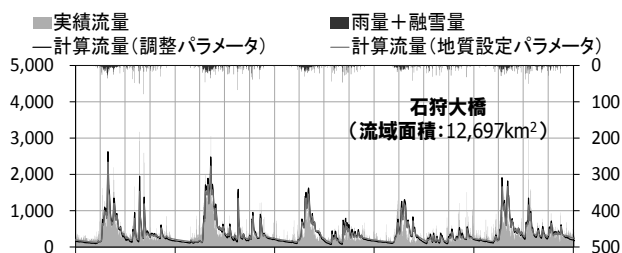


図-5 表層地質の面積率から算定したパラメータによる流量再現結果（石狩大橋）

では、計算流量への影響が小さいことから、表-2 に示す平均値を用いた。

以上の手法によって流量データが乏しい河川であっても、全国的にデータが整備されている表層地質データを用いることで流量を推定することが可能である。

(4) 発電電力量の試算方法

小水力発電による発電出力は以下の式⁹⁾で表される。

$$P = \rho g Q H \eta \quad (3)$$

ここで、 P は発電出力(W)、 ρ は水の密度($1,000\text{kg/m}^3$)、 g は重力加速度(9.8m/s^2)、 Q は流量(m^3/s)、 H は落差(m)、 η は水車と発電機の効率を合わせた総合効率である。ハイドロパレー計画ガイドブック⁹⁾を参考にして、本研究では取り得る値の中間 $\eta=0.726$ とした。

また、発電電力量は次式で表される⁹⁾。

$$E = PT \quad (4)$$

ここで、 E は発電電力量(Wh)、 T は発電稼働時間(h)である。また、本研究では求めた E に稼働率0.7を乗じたものを最終的な試算結果とする。

3. 結果と考察

(1) 臼谷らによる石狩川流域における流量再現結果

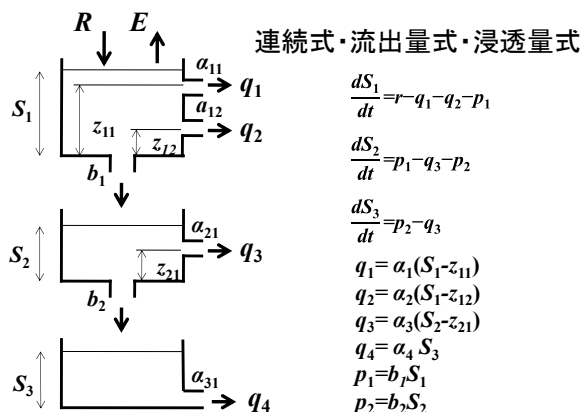


図-4 集中3段型タンクモデル

表-3 計算誤差 (RMSE) の増加率

流域	調整 パラメータ e_1	地質設定 パラメータ e_2	増加率 e_1/e_2
石狩大橋	216.43	222.19	1.03
伊納	53.16	54.14	1.02
雨竜橋	39.28	46.54	1.18
赤平	47.06	47.92	1.02
清幌橋	27.76	28	1.01
裏の沢	17.37	21.77	1.25
雁来	19.17	19.14	1.00

前章の重回帰式により算定したパラメータ a_{21} 、 a_{31} を用い、流量を再現した結果を図-5に示す。図中水色の面は実績流量、黒色の実線は流域に合うよう設定したパラメータによって計算した流量、赤色の実線は地質の面積率に基づいてパラメータを与えた場合の計算流量である。両者の再現計算誤差(RMSE：実績流量と計算流量の平均二乗誤差の平方根)を表-3に示すが、誤差の増加率は、雨竜川と裏の沢の2地点で大きいものの、流域全体(石狩大橋)としては、大幅な精度低下は見られなかった。以上から、地質の面積率を利用したパラメータ設定は、流出計算に有効と考えられる。

(2) タンクモデル計算の結果による年間発電電力量の試算結果

タンクモデルでの計算により求めた水元沢川での流量を図-6に、鶯別川砂防ダムでの流量を図-7に示す。また、発電電力量の試算結果を表-4に示す。2004年～2013年で年間流出量が最も小さい2007年の発電電力量の総量は水元沢川で1,962kWh、鶯別川砂防ダムで6,798kWh、また、年間流出量が多い2010年での4ヶ月間の発電電力量の総量は水元沢川で3,381kWh、鶯別川砂防ダムで11,019kWh、となった。

また、発電電力量の評価として、一般家庭の消費電力との比較を行った。須藤ら⁹⁾の報告では一般家庭の一世帯当たりの年間電力消費量を5,400kWh(14kWh/日/世帯)としており、これを用いて計算を行った。水元沢川に関しては降水量が少ない年で1世帯分、降水量が多い年で

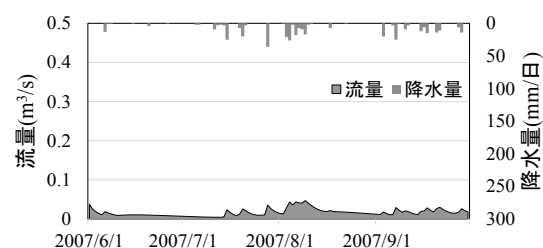


図-6 水元沢川の流量計算結果

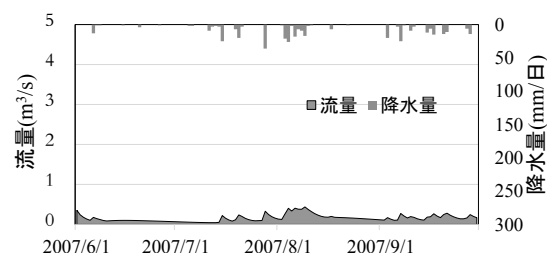


図-7 鷺別川砂防ダムの流量計算結果

表-4 水元沢川及び鷺別川砂防ダムでの発電電力量の試算結果

年	水元沢川		鷺別川砂防ダム	
	発電電力量(6～9月)	1日当たりの平均値	発電電力量(6～9月)	1日当たりの平均値
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
2007年	1,962	16	6,798	56
2010年	3,381	28	11,019	90

1.9世帯分の発電量が賄える試算となった。十分な落差が確保できる地点での試算であったため、流量の少なさを補う結果が得られた。一方、鷺別川砂防ダムでは降水量が少ない年で3.8世帯分、降水量が多い年で6.1世帯分の発電量となった。こちらは落差が3mと低いが比較的豊富な流量が確保できる点で評価できると言える。

謝辞：本研究の一部は H26 年度実践水文システム研究会からの助成を受けた。また、北海道室蘭建設管理部登別出張所、三野基之氏よりデータの提供をいただいた。ここに記して謝意を示す。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 対象地点にて、時間的に変動する流量を推定し、日単位での発電電力量の試算を行った。その結果、地質情報を考慮したパラメータ算定による流量推定が小水力発電の可能性検討に有益なツールであることが確かめられた。
- 2) 流量が少ない水元沢川では高い落差を設け、落差が低い鷺別川砂防ダムでは多い流量を保有することで安定した発電が行うことが可能であると分かった。しかし、継続的な発電には平滑化した流量が必要となるため、適切な水管理を行う必要があり、今後の課題が得られた。

参考文献

- 1) 小葉竹重機, 石原安雄: タンクモデルおよび集中面積図を利用した流出モデルの総合化, 土木学会論文報告集, 第 337 号, pp.129-135, 1983.
- 2) 横尾善之, 風間聡, 西村仁嗣, 沢本正樹, 国土数値情報に基づくタンクモデル定数の推定, 水文・水資源学会誌, Vol.12, No.6, pp.481-491, 1999.
- 3) 臼谷友秀, 中津川誠, 松岡直基: 流域貯留量推定のためのモデルパラメータの一般化に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol70, No4, 1_355-1_360, 2014.
- 4) 上田伸也, 奥泉宗一郎, 中津川誠, 臼谷友秀, 林下直樹, 日本全域を対象とした貯留関数法のモデルパラメータの一般化, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 70 号, 2013.
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁, (財)新エネルギー財団: ハイドロバレー計画ガイドブック, 2005.
- 6) 須藤勇二, 川辺明子, 中村和正, 北海道の農業水利施設における小水力発電の賦存量と発電原価の試算, 寒地土木研究所月報, No.699, pp.12-17, 2011.