

室蘭市の小規模河川を対象とした小水力発電の可能性について

Feasibility Study of Small Hydropower for Small Rivers in Muroran

室蘭工業大学 ○学生員 小池 達也 (Tatsuya Koike)
 室蘭工業大学 正 員 中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)
 室蘭工業大学 学生員 奥泉 宗一郎 (Soichiro Okuizumi)

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の発案が必要とされる^{1),2)}。

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。その中でも流量、落差などの発電ポテンシャルを保有しながらも利用されていない小規模河川での発電を考える。具体的には、図-1 に示す北海道室蘭市での二級河川、準用河川、普通河川を対象に発電電力量の試算を行う。

発電電力量の試算には流量の推定が不可欠であるが、小規模河川においては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。本研究では、まずは降雨量と蒸発散量から求められる水資源賦存量より各流域の流量を推定し、流域全体での年間合計電力量を試算した。次に、観測データのない流域での時間的に変動する流量の推定が必要となる。これに関連する既往研究として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³⁾）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⁴⁾）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、それに基づきタンクモデルの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し、発電電力量の試算を行った。なお、ArcGIS は地理情報を収集、整理、管理することができ、数値情報を視覚化できるソフトウェアである。

2. 方法

2.1 対象河川について

室蘭市の対象となる河川は、図-1 に示す流域内に流れる南高平川、知利別川、コイカクシ川、元室蘭川、ボンペケレオタ川、中幌萌川、幌萌川、ポロペケレオタ川、本輪西川、チマイベツ川、ペトル川、鷺別川の 12 河川である。また、図-2 には水元沢川及び鷺別川砂防ダムの 2 地点の流域を示す。

水元沢川は鷺別川水系の支流であり、写真-1 に示す室蘭工業大学の敷地内の地点では落差 8m を確保すること

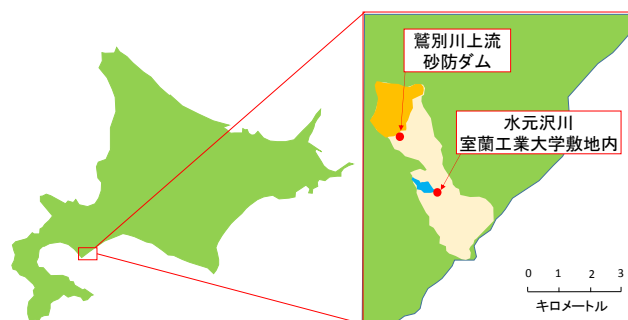


図-2 水元沢川及び鷺別川砂防ダムの位置図

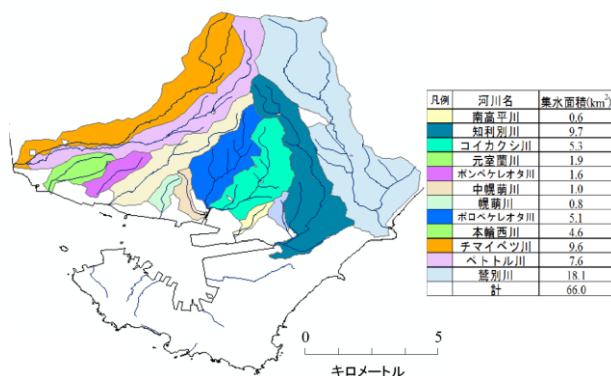


図-1 室蘭市内対象河川の流域区分図



写真-1 水元沢川の落差(左)と鷺別川砂防ダム(右)

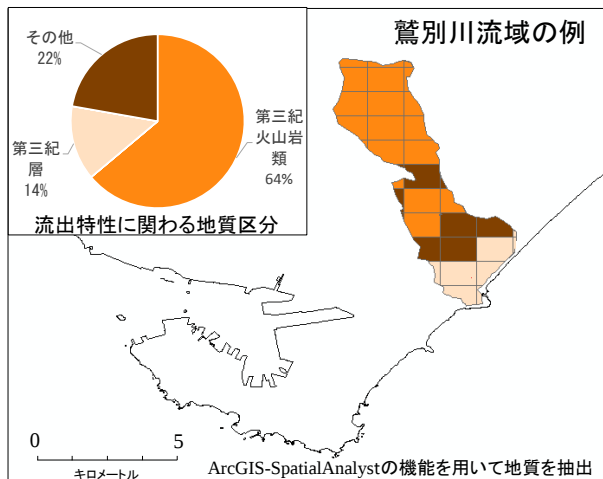


図-3 地質抽出のイメージ

ができ、鷺別川上流の砂防ダム地点では落差 3m を確保することができるため、小水力発電にとって適切な場所と考え、対象地点とした。図-1 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。

2.2 水資源賦存量に基づく各河川の流量推定

まず、図-1 の河川流域での年単位の水資源賦存量より、発電電力量の試算に必要な流量の推定を行った。水資源賦存量は以下の式で表される。

$$Q = (R - E) \times A \times 10^3 \quad (1)$$

ここで、 Q は水資源賦存量(m^3 /年)、 R は降水量(mm /年)である。本研究で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。 E は蒸発散量(mm /年)、 A は各河川の流域面積(km^2)である。蒸発散量 E は Hamon 法により求めた可能蒸発散量を用いることとする。

2.3 タンクモデルによる流量推定

前章では水資源賦存量から年間平均流量を推定したが、現実には流量は降雨や融雪によって日毎、時間毎に変動する。そこで、水元沢川と鷺別川砂防ダムの2地点ではタンクモデルによって流量の変動を推算し、日単位での発電電力量の試算を行う。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。推定手順を以下にまとめる。

- 1) 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)⁵⁾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⁶⁾ことで各地質の面積率を算出する。(図-3)これらの地質は虫明ら⁷⁾が流出特性に大きく寄与するとした地質6区分(第三紀火山岩類、第四紀火山岩類、花崗岩類、第三紀層、中生層、古生層)である。
- 2) 臼谷ら⁸⁾の石狩川流域を対象とした研究では、図-4に示すタンクモデルについて地質区分の面積率を利用したパラメータ設定がなされている。特に、パラメータの中でも地質との関連性が強い a_{21} 、 a_{31} について、地質別面積率を説明変数とした重回帰式を作

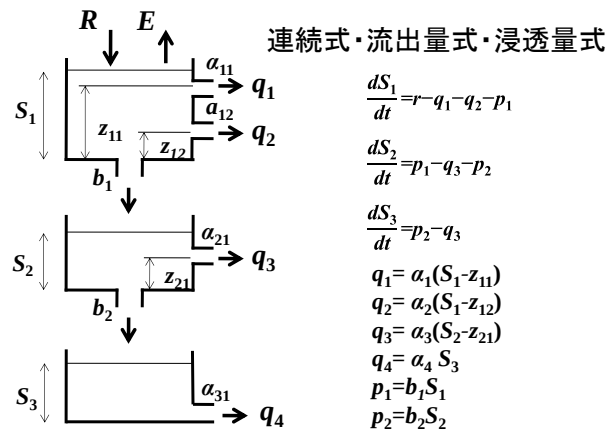


図-4 集中3段型タンクモデル

表-3 タンクモデルパラメータ

	水元沢川			鷺別川砂防ダム		
	一段目	二段目	三段目	一段目	二段目	三段目
流出孔の高さ(mm)	$Z_{11}=74.64$ $Z_{12}=12.01$	$Z_{21}=19.74$		$Z_{11}=74.64$ $Z_{12}=12.01$	$Z_{21}=19.74$	
流出係数	$a_{11}=0.252$ $a_{12}=0.115$	$a_{21}=0.078$	$a_{31}=0.069$	$a_{11}=0.252$ $a_{12}=0.115$	$a_{21}=0.127$	$a_{31}=0.034$
浸透係数	$b_1=0.154$	$b_2=0.176$		$b_1=0.154$	$b_2=0.176$	

成しており、以下に示す。ここで、 g_1 、 g_2 、 g_3 、 g_4 、 g_5 、: 各々第三火山岩、第四紀火山岩、花崗岩、第三紀層、中生層の面積率を表す。

$$a_{21} = 0.312 - 0.185g_1 - 0.261g_2 - 2.769g_3 - 0.334g_4 - 0.240g_5 \quad (2)$$

$$a_{31} = -0.053 + 0.130g_1 + 0.075g_2 + 1.970g_3 + 0.106g_4 + 0.076g_5 \quad (3)$$

このほかのパラメータ a_{11} 、 a_{12} 、 b_1 、 b_2 、 z_{11} 、 z_{12} 、 z_{21} に関しては、臼谷ら⁸⁾の研究成果を援用し、石狩川流域の平均値を用いた。

- 3) 水元沢川および鷺別川砂防ダム流域での地質6区分での面積率を式(2),(3)に適用し、表-3のようにパラメータを設定した後、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。

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。

2.4 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。

$$P = \rho g Q H \eta \quad (4)$$

ここで、 P は発電出力(W)、 ρ は水の密度($1,000kg/m^3$)、 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⁾。

$$E = P T \quad (5)$$

ここで、 E は発電電力量(Wh)、 T は発電稼働時間(h)

表-4 試算の条件

対象河川	流量推定方法	落差	発電期間	年度
図-1での全ての流域	水資源賦存量	5m～10m	1年間	2004年～2013年
水元沢川室蘭工業大学地点	タンクモデル計算	8m	6月～9月(4ヶ月間)	2007年, 2010年
鷲別川砂防ダム地点	タンクモデル計算	3m	6月～9月(4ヶ月間)	2007年, 2010年

表-5 年度別水資源賦存量

	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	平均
降水量(mm/年)	1,141	1,409	1,205	953	1,069	1,420	1,528	1,155	1,502	1,677	1,306
蒸発散量(mm/年)	606	577	578	604	577	576	614	602	611	617	596
水資源賦存量(mm/年)	535	832	627	349	492	844	914	554	891	1,060	710

表-6 水資源賦存量より求めた各河川の平均流量

流量(m ³ /s)												
	南高平川	知利別川	コイカクシ川	元室蘭川	ポンベケレオタ川	中幌萌川	幌萌川	ポロベケレオタ川	本輪西川	チマイベツ川	ベトル川	鷲別川
平均	0.02	0.26	0.15	0.05	0.04	0.03	0.02	0.14	0.12	0.26	0.21	0.50
最小	0.01	0.13	0.09	0.03	0.02	0.01	0.01	0.07	0.06	0.13	0.10	0.24
最大	0.02	0.34	0.18	0.07	0.06	0.03	0.03	0.18	0.16	0.33	0.26	0.63

※2004年～2013年の平均値

表-7 全河川合計の年平均発電量, 日平均発電量

落差毎の発電電力量(kWh)						
	5m	6m	7m	8m	9m	10m
年平均	338,999	406,799	474,599	542,399	610,199	677,999
年最小	202,520	243,024	283,528	324,032	364,536	405,040
年最大	499,467	599,360	699,253	799,147	899,040	998,933
日平均	929	1,115	1,300	1,486	1,672	1,858
日最小	555	666	777	888	999	1,110
日最大	1,368	1,642	1,916	2,189	2,463	2,737
供給可能世帯数※	63	75	88	100	113	126

※平均値より, 14(kWh/日/世帯)として推算

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¹⁰⁾。

以上より、発電電力量の試算に必要な要素は、流量、落差、発電稼働時間である。本研究における各試算の条件を表-4に示す。

3. 結果と考察

3.1 室蘭市各河川での落差毎の年間発電電力量の試算

対象流域における水資源賦存量を表-5に、各河川における水資源賦存量により求めた10年間の流量平均値を表-6に示す。また、その結果を用いた落差別全河川合計の発電電力量の年平均値、日平均値を表-7に示す。

結果を見ると年ごとの変動が大きく表れているが、これは2004年から2013年の10年間での降雨量の変動が大きいためである。また、水資源賦存量を求める際に降雨量から可能蒸発散量をそのまま差し引いているため、流量が少なく計算されており、結果として発電電力量を低く見積もった試算結果となった。

3.2 タンクモデル計算の結果による年間発電電力量の試算

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-4に、鷲別川砂防ダムでの流量を図-5に示す。また、発電電力量の試算結果を表-8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、鷲別川砂防ダムで6,798kWh、それぞれを平均すると1日当たり16kWh、56kWhとなった。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、鷲別川砂防ダムで11,019kWh、それぞれを平均すると1日当たり28kWh、90kWhとなった。

この試算では洪水時での計算流量をそのまま発電出力の計算に用いているが、実際には洪水時に貯水し、渇水時に放流するなどして平滑化した流量を保つ貯水施設などが存在することが望ましい。しかしながら本研究が対象とする小規模河川では高い貯水機能を持つほどの貯水施設を建設することは難しく、今後の課題となっている。

3.3 試算した発電電力量の評価

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¹¹⁾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。

まず、水資源賦存量より求めた流量を用いた対象河川全流域での落差毎の年間平均発電電力量から、各河川の該当落差において発電箇所が一箇所あると仮定し発電した場合の電力量で賄える世帯数を表-7に示す。設定落差の最も低い5mでは年間で63世帯分の電力量が発電され、最も高い10mでは126世帯分となった。なお、対象流域での現在の人口は約6万人でおよそ3万世帯が暮らしており、このコミュニティで発電電力を使用すると考えた場合、供給能力はその1%程度である。

次に、タンクモデルによる流量推定を用い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、鷲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と低いと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。

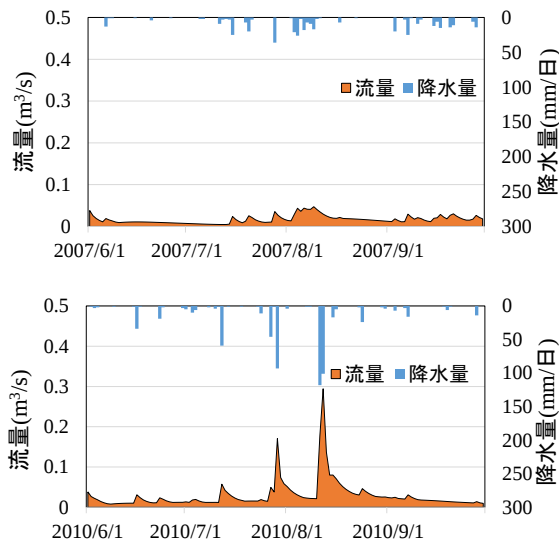


図-4 水元沢川の流量計算結果

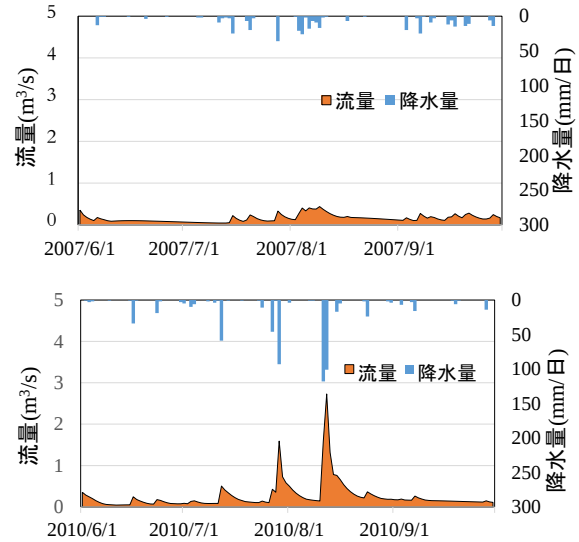


図-5 鷺別川砂防ダムの流量計算結果

表-8 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

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 対象とした小規模河川での水資源賦存量より流量を推定し、発電電力量を求めた結果、対象流域内のコミュニティでは、全世帯消費電力量分の1%程度の供給能力であった。ただし、山間部やレクリエーション施設など、小口需要に対しては立地条件さえ合えば実現可能なものもあると考えられ、具体化に向けて更なる調査が必要である。
- 2) 水元沢川や鷺別川砂防ダムを対象として、ArcGISやタンクモデルを用い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。それらが流量の推算を通して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。
- 3) 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。

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。

参考文献

- 1) 東北電力 HP, <http://www.tohoku-epco.co.jp/>
- 2) 経済産業省エネルギー庁, 平成 25 年度エネルギーに関する年次報告, 2014.
- 3) 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.

- 4) 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.
- 5) 国土地理院基盤地図情報: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <http://fgd.gsi.go.jp/download/>
- 6) 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.
- 7) 虫明功臣: 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果, 土木学会論文報告集, 309, pp.51-62, 1981.
- 8) 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, I_355-I_360, 2014.
- 9) 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.
- 10) 環境省, 小水力発電情報サイト, <http://www.env.go.jp>
- 11) 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.
- 12) 財団法人広域関東圏産業活性化センター, 小水力発電導入手引き書〜未利用エネルギーの有効活用を目指して〜, 2007.
- 13) 山梨県都留市 HP, <http://www.city.tsuru.yamanashi.jp/>