

水力エネルギーの価値と可能性 — 豊かな水に恵まれた日本の水力を探る —

井 上 素 行*

概 要 日本は地形と豊かな水に恵まれ水力発電に適した国土である。近年、自然エネルギーの活用が重要な課題になり、中小水力発電が注目されるようになっていくが新たな開発は進展していない。水力は他の自然エネルギーにはない様々な価値を持っている。出力変動が少なく安定した発電が可能で、適切な建設と運用・保守が行われれば超長期にわたって安価な電力を生み出す電力供給面での高い価値がある。また、自然・社会環境と調和させて開発することにより環境を保全・改善する環境価値、さらに地域の活性化や魅力づくり、防災等に継続的に貢献する社会的な価値を生み出す可能性がある。再生可能エネルギーとしての新たな時代の中小水力開発の技術と制度、そしてこれを推進・支援する専門家による横断的な体制の整備が必要である。

キーワード：水力発電、水力の価値、水力開発の隘路、水力開発支援体制、NPO 法人水力開発研究所

1. はじめに

1.1. 我が国における水力開発の背景

エネルギーセキュリティ、地球温暖化対策、そして地域の活性化が国の重要課題になり、エネルギー問題に対して国民全員の参加が求められる時代になっている。再生可能エネルギーとしての水力発電の必要性が認識されるようになり、様々な事業主体が開発を試みている。

水力発電は、安定した発電が持続的に可能な純国産エネルギーとしての価値だけでなく、環境面、地域社会への貢献面から多様な価値を発揮できる可能性を有している¹⁾。2012年7月に太陽光等の再生可能エネルギーを最大導入することを狙いとして固定価格買取制度(FIT)が施行された。水力発電の売電単価は、それまでのRPS法(電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法、2003年4月施行)の時代の3倍以上に引き上げられたが、本格的な開発は依然として進まない状況である。全国の水力関係者に対して水力開発が進まない原因を調査した結果、開発現場には事業の採算性と合意形成に関する問題があり、その背景には水力の価値の理解の共有と水力発電の特徴を踏まえた国の総合的な開発戦略・推進体制、そして水力関係者への支援に弱さがあることが明らかになった¹⁾。

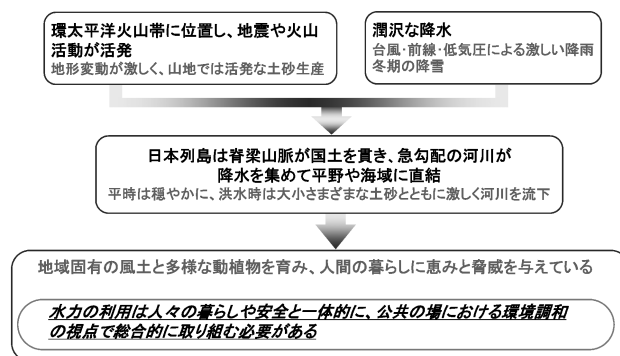
第二次世界大戦後の電気事業の再編以降、我が国の水力は電力会社や公営電気事業者等が中心となって開発してきた。高度経済成長期に電力需要が急増する中で、水力発電

は規模が小さく発電原価が割高、規制が厳しく地元の合意形成が困難で開発に長期間を要する等の課題があって、電源の主役は火力・原子力発電、そしてこれらとセットで利用する揚水式水力発電となった。その結果、一般水力の本格的な開発はこの30年間行われておらず、水力開発の人材育成は停滞し、現役の専門家が著しく減少している。また、自然環境や社会環境と調和した中小水力開発の技術や制度が本格的に検討されないまま現在に至っている。

1.2. 水の恵みと脅威

我が国は地震や火山活動が活発で地形変動が激しい特徴がある。このために、山地では大量の土砂が生産されている。また、台風や前線、低気圧による激しい降雨や冬季の降雪など潤沢な降水がある。日本列島の地形は脊梁山脈が国土を縦走しているために、細かく刻まれた支沢が小さな湧水を集めて豊かな流れを形成する、その一方で、急こう配の河川が降水を集めて平野や海岸まで短時間で流下する特徴がある。平時の穏やかで清らかな流れは地域のくらしに潤いを与え、そして洪水時には大小さまざまな粒径の土砂や流木が激しく流れ下り人々に脅威を与えている。そして、これらが豊かな生態系を育てている(図—1参照)。水力の利用にあたっては、我が国の自然の特徴を踏まえ、人々

— 水と土砂は国土の形成と維持のための血流、そして同時に脅威 —



井上 素行

図—1 山地から河川、海域にわたる水と土砂の移動の特徴

*NPO 法人水力開発研究所 代表理事、立命館大学 総合科学技術研究機構 会員

の暮らしや地域の安全、環境と一体的に、平時と異常時を含めたシステム全体の視点で考えることが大切である²⁾。

本論文では、水力が有する多様な価値を紹介するとともに、価値を総合的に生かすための課題と解決のための推進・支援体制について述べる。³⁾

2. 水力の価値

再生可能エネルギーとしての水力の価値を、電力供給、環境への適合性、および地域社会への貢献の3つの観点から、太陽光、風力発電等との比較を含めて評価する。

2.1. 電力価値

電力供給面での水力の価値を、賦存量、経済性、および品質面から評価する。

2.1.1. 賦存量

(1) 包蔵水力調査

地表に降った雨や雪が山から川を下り、海に注ぐまでの水の位置エネルギーの総和(蒸発散量は無視)を理論包蔵水力という。世界エネルギー会議⁴⁾によると、アジア、北米、および中南米の地域が特に大きな水力ポテンシャルを持っている。我が国は豊かな降水と地形に恵まれているために、718 TWhの大きな理論包蔵水力を有している。例えば国土面積がほぼ同じで、小水力発電所の数が日本の5倍以上あるドイツ(120 TWh)と比べると6倍もの大きな値となっている。

一方、理論包蔵水力のうち、算出時点における技術的・経済的水準から利用可能と考えられるもの(既開発+工事中+未開発)を包蔵水力と呼んでいる。その値は技術の進歩、経済状況、環境条件などによって変化するものである。我が国では1986年に資源エネルギー庁によって第5次包蔵水力調査が行われた。その結果に基づく2016年3月時点の包蔵水力は約139 TWh、理論包蔵水力の19%程度と推計されている。このうち未開発地点については2,698地点、発電電力量は約45 TWhであり、既開発と工事中の水力発電所の合計値の約1/2となっている(表-1参照)。⁵⁾この調査では流域ごとに開発可能地点を抽出し、予備設計などを行って開発可能量が推計されており、平均出力は4,400 kWである。一方、経済性が低いと思われる溪流などは検討対象とされていないことから、1,000 kW未満の小規模地点については推計の対象外となり、さらに多くの未開発地点が存在しているものと考えられる。

第5次包蔵水力調査が行われてから30年以上が経過しているが、この間に新たに開発または計画された水力発電は約4.4 TWhで、当時の未開発電力量49.7 TWhのわずか8.9%にとどまっている。

表-1 日本の包蔵水力

	地点数	出力	発電電力量
未開発地点	2,698	12×10 ⁶ kW	45 TWh
既開発及び工事中地点	2,025	23×10 ⁶ kW	94 TWh

*出力と発電電力量の数値は概数

(2) 未利用落差発電包蔵水力調査

前項で述べた従来の包蔵水力に含まれていないダム

川維持用水や砂防堰堤、農業用水路、上下水道などの既設構造物の未利用落差を利用した発電包蔵水力の調査が資源エネルギー庁によって行われた(2009年3月)⁶⁾。未利用落差発電の未開発地点は、1,389地点、発電出力約331 MW、発電電力量約1.7 GWhで、平均出力は238 kWとなっている(表-2参照)。しかし、この調査は管理者へのヒアリングにより水力開発可能地点が選ばれていることなどからさらに多くの地点が存在していると考えられる。

表-2 未利用落差包蔵水力調査結果

利用種別	地点数	出力* (×10 ³ kW)	電力量* (×10 ⁶ kWh)
ダム利用	河川維持用水	223	28
	利水放流水	227	154
	農業用水	392	111
	砂防えん堤	129	17
	小計	971	309
水路利用	農業用水路	151	8
	上水道	178	10
	工業用水道	23	2
	下水道	66	2
	小計	418	22
計	1,389	331	1,661

*出力と電力量の数値は概数

(3) その他の賦存量調査

我が国の包蔵水力には、既存の治水用ダムの貯水容量や遊休落差等を利用する水力発電はカウントされていない。そこで、経済性、環境・技術面、制度等の制約条件を外して、図-2に示すように、既存ダムの運用を発電優先に変え、また必要によりダムを嵩上げして水力発電に徹底活用した場合の発電電力量について試算が行われている⁷⁾。その結果によれば、電力量34 TWh、出力932万 kWの水力発電ポテンシャルがあると推計されている。

また、全国の河川と農業用水路における中小水力発電のポテンシャルを、既存の電子国土地理情報を活用して算出し、合計約900万 kWの地点を見える化する取り組みが環境省によって行われている⁸⁾。

我が国には、大小さまざまな未利用水力エネルギーが存在しており、自然・社会環境と調和し、コスト面でバランスが取れた活用が今後の課題である。

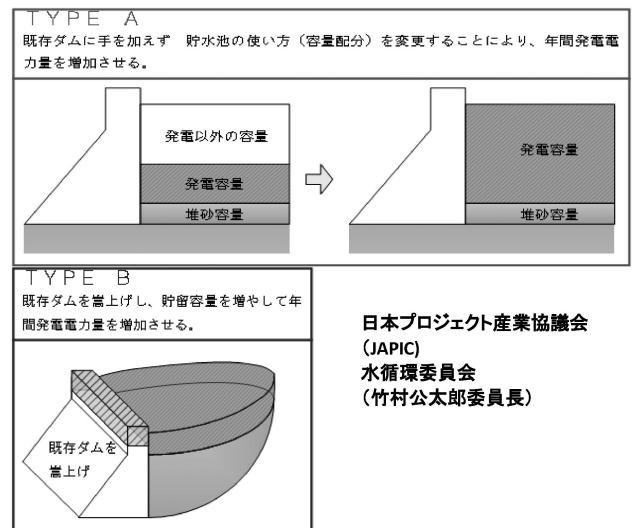


図-2 既存ダムの発電最大活用のイメージ⁷⁾

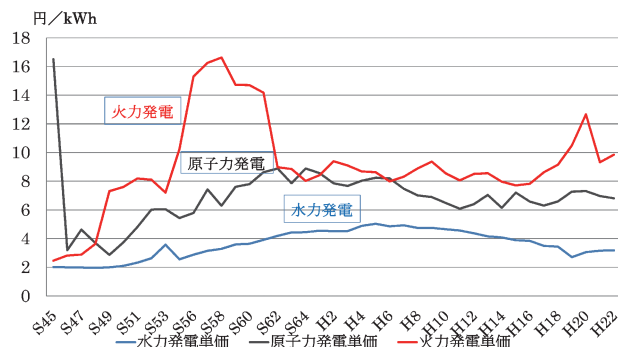
2.1.2. 経済性

(1) 発電原価の実態

水力発電は出力当りの初期投資額は大きいですが、実際の耐用年数が非常に長く、適切なメンテナンスを行うことによって水車・発電機は50年以上、ダムや水路等のコンクリート構造物は100年以上使い続けることが可能である。

水力、火力、および原子力発電の実績発電単価の推移を図—3に示す。電気事業連合会電力統計資料⁹⁾に基づいて、9電力会社の各電源に要した年経費(資本費、運転維持費、燃料費)を年間発電電力量で除して求めた平均的な発電原価である。これによれば、水力発電は火力・原子力に比べて低廉で安定していることがわかる。

水力発電は、適切な維持運用が行われれば減価償却完了後も発電が可能のために、長期的に見れば最も安い電源である。今後は、経年水力設備の効果的な活用と既存インフラ等を活用した小規模水力の建設コストの低減が課題である。



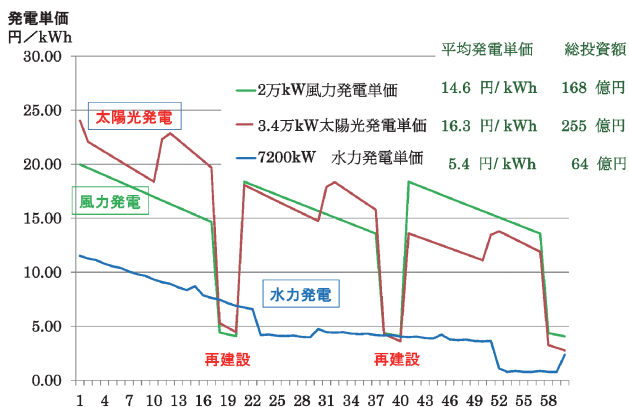
図—3 水力、火力、原子力発電の実績単価

(2) 再生可能エネルギーの長期発電単価の比較

水力発電は再生可能エネルギーの中では設備利用率が高く、また実際の耐用年数が非常に長い特徴がある。このため、同じ年間発電電力量3,500万kWhを得るための発電

表—3 発電単価の比較検討ケース

	年間発電電力量	設備利用率	最大出力	計算条件
水力発電	約3,500万kWh	0.55	7,200kW	建設単価80万円/kW、60年後に改修工事を実施
風力発電	同上	0.20	2万kW	建設単価30万円/kW、耐用年数20年、20年後に20%コストダウン
太陽光発電	同上	0.12	3.4万kW	建設単価25万円/kW、耐用年数20年、20年後に20%・40年後に40%のコストダウン、10年ごとにパワーコンディショナーを交換



図—4 60年間の長期発電単価の試算結果

設備を設置した場合に、発電単価がどのように推移するか60年間のシミュレーションを行った。計算条件は表—3に示すとおりであり、風力および太陽光発電については、将来のコストダウンをある程度考慮している。なお、20年ごとに想定される太陽光および風力発電の設備更新に伴う廃棄の費用は考慮していない。

試算結果は図—4に示すとおりである。水力の発電単価は最も安価で、かつ設備更新に伴う廃棄物もほとんど発生しない。

2.1.3. 品質

(1) 電力系統の安定確保

発電した電気は送電設備、変電設備、配電設備などの流通設備を経て消費者の受電設備に届けられる。これらの電気のネットワークを電力系統といい、電力を安定供給するためには電力系統の周波数および電圧を維持する必要がある。

周波数の安定には消費電力と発電電力を常にバランスさせる必要があり、このために電力会社では時々刻々変わる電力需要に対してベース、ミドル、ピークロードの電源を組み合わせ対応している。流れ込み式水力は安定したベースロード電源として、また、調整池式や貯水池式水力は数分から数十分の変動に対する出力制御、および数秒から数分の変動に対する水力の同期発電機による出力変化特性を生かして系統の周波数の安定確保に貢献している。また、系統の電圧を維持するためには、負荷の変化に対する系統電圧の調整が必要になるが、水力発電用の同期発電機は無効電力を発生する電圧調整器としての重要な役割を果たしている。近年、太陽光発電などの不安定な電源が増加しており、電力系統の安定確保のための水力発電の価値は高まるばかりである。

(2) 将来の電力需給バランス

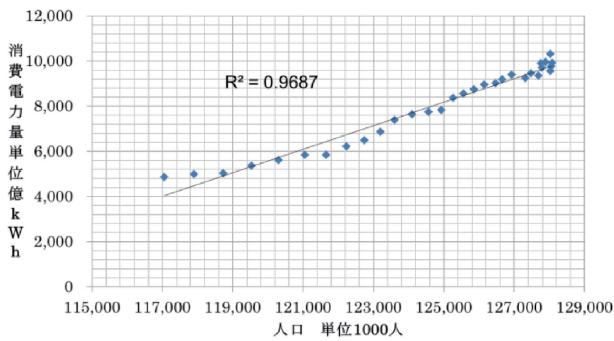
近年の再生可能エネルギーの大量導入、脱化石燃料、脱原子力依存の流れを踏まえて、将来の人口減少を考慮した長期電力需給のケーススタディを行った。その一例を以下に示す。

計算条件は表—4に示すとおりであり、再生可能エネルギーを早期に最大限導入し、火力・原子力発電は耐用年数に到達した時点で廃止すると仮定したケースを紹介する。

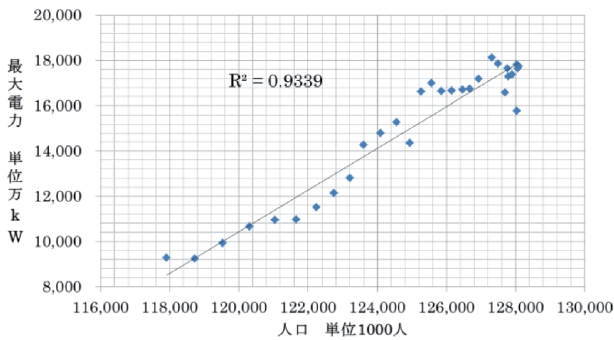
図—5、図—6は人口と電力消費量、最大電力の関係を示す。2010年から2110年における電力需要と発電電力量およ

表—4 長期電力需給バランスの計算条件

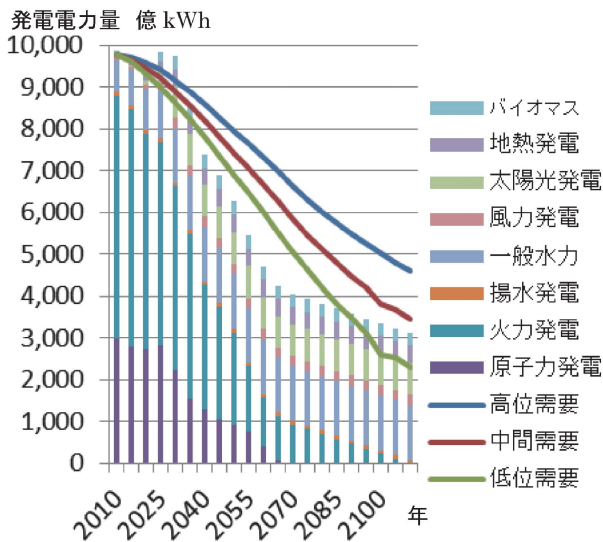
項目	計算条件
電力需要	・2100年時点の日本の人口は、3,100万人(低位)～6,200万人(高位): 国立社会保障・人口問題研究所による推定値 ・電力需要は人口に比例すると仮定 ・供給予備力は10%を確保する
再生可能エネルギーの導入想定量	・太陽光発電7,200万kW、風力発電1,400万kW、地熱発電600万kW、バイオマス発電500万kW、水力3,530万kWを2030年までに導入(旧科学技術庁の推測等を基に最大導入量を設定)
火力・原子力発電	・東日本大地震発生前の2010年時点の既存および計画中設備を基本とし、耐用年数40年が経過した時点で廃止、但し石炭火力は可採年数が160年以上で非常に長いことを考慮して2110年にゼロに漸減させる



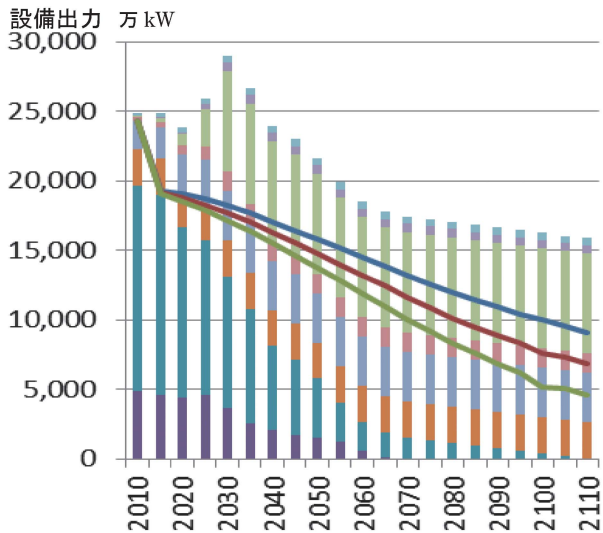
図—5 日本の人口と年間消費電力量の関係



図—6 日本の人口と年最大電力の関係



図—7 電力量の需要と発電電力量の関係



図—8 最大電力の需要と設備出力の関係

び最大電力の需給バランスの算定結果を図—7 および図—8 に示す。

発電電力量については、設備利用率が低い太陽光発電などを大量に導入しても、火力および原子力発電を単純に耐用年数で廃止した場合には、2035年頃から不足する。2110年には水力発電が1,400億 kWh で将来の電力供給の柱になる。

最大電力については、数値の上では需要を十分に上回っているが、電源構成の大部分を占めている太陽光と風力発電は出力変動による系統の周波数調整、余剰電力の発生、同期化力の低下などの面で電力系統の安定上の問題があり、不安定電源の早期大量導入については慎重に対応する必要がある。今後は出力調整が可能で制御性、同期化力が高い調整池式や貯水池式水力の活用がこれまで以上に重要になると考えられる。

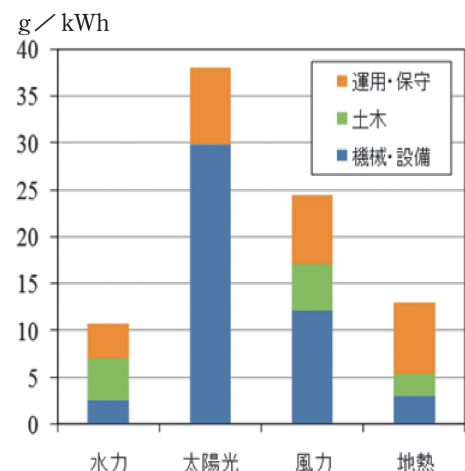
2.2. 環境価値

環境面での水力の価値を、CO₂ 排出量、大気汚染物質排出量、および河川環境の面から評価する。

2.2.1. CO₂ 排出量

水力発電は、設備の製造・建設から運用、保守までを含めたライフサイクルにおいて、発電電力量当たりの CO₂ 排出量がきわめて少ない低炭素電源であり、再生可能エネルギーの中でも排出量が最小レベルである。

図—9 に太陽光、風力、地熱発電との原単位排出量の比較を示す¹⁰⁾。耐用年数が短い太陽光や風力発電は設備更新時に設備の解体と廃棄が発生するが考慮されていない。設備寿命が長く超長期にわたって活用が可能な水力発電は更に有利になる。現存する水力発電の年間発電電力量は約 920 億 kWh であり、年間の CO₂ 発生量は図—9 によれば 10 万トン程度であるが、これを LNG 火力および石炭火力で置き換えると CO₂ の発生量は約 6,810 万トンとなる。すなわち、火力発電に比べて 6,800 万トン少なく、これは日本全体の CO₂ 排出量を約 6% 抑制している効果に相当する。



図—9 再生可能エネルギーの CO₂ 排出量¹⁰⁾
(参考：石炭火力1,000 g/kWh, LNG 火力480 g/kWh)

2.2.2. 大気汚染物質排出量

水力発電は、ライフサイクルにおける発電電力量当たり的大気汚染物質排出量が極めて少ないクリーンな電源であり、再生可能エネルギーの中でも排出量が最小レベルである(表—5 参照)。

表—5 再生可能エネルギーの大気汚染物質排出量¹¹⁾

発電の種類		SO ₂ 排出量 原単位 (g/kWh)	NOx 排出量 原単位 (g/kWh)	PM _{2.5} 排出量 原単位 (g/kWh)
再生可能エネルギー	太陽光	0~0.3	0~1.3	0~0.02
	風力	0~0.1	0~0.1	0~0.01
	水力	0~0.1	0	0
	地熱	0	0.3	0.04
	バイオマス	0~2.5	1.3~5.7	0.31~0.54
(参考) 石炭火力		0.3~7.7	0.6~4.3	0.03~1.87
(参考) LNG 火力		0~0.3	0.1~1.4	0

2.2.3. 河川環境への負荷

水力発電による河川環境への負荷は、発電所の規模や形態、設置箇所の環境などによって大きく異なる。既存のダムからの維持放流や農業・水道用水路の未利用落差等を有効活用する従属式水力発電は環境への負荷は小さい。

一方、水路式発電所では、発電取水によって減水区間の流況が変化し、水生動物の生息環境や河川の景観に影響が発生する。

ダム式発電所では、大規模ダムの建設による水没影響、魚類等の移動阻害が発生する。また、問題の発生程度は流域の自然特性と設備の規模・形態・運用方法によって大きく異なるが、流砂系が遮断されることによって貯水池への堆砂と上流河床の上昇、濁水の長期化・富栄養化による水質の悪化、ダム下流域での流砂の減少による河床の低下と粗粒化、砂利資源の枯渇、海岸の侵食を助長する可能性がある。さらに、洪水の規模と頻度が減少することによって州の固定化・河川の樹林化等が生じ、生物環境および社会環境に影響を与える可能性がある。¹²⁾ ダム水路式発電所では、水路式とダム式発電所の両方の負荷が生じるおそれがある。

水力発電は公共の場に設置されることから、自然環境や地域の暮らしとの関係に十分配慮して取り組む必要がある。我が国の水力発電は、100年以上の歴史の中で顕在化した環境問題に対して、減水区間への河川維持流量の放流、取水堰への魚道の設置、ダムの濁水長期化現象の軽減のための選択取水設備の設置などの対策を講じてきた。今後は更に、持続可能な水力利用と河川環境の保全・回復に向けて、個々の地点の環境と設備の特性をふまえた流域レベルでのゾーニングと環境の保全・改善、自然のダイナミズムを考慮した発電利用計画の方法論、ダムからの排砂による総合土砂管理¹²⁾について具体化に向けた取り組みが必要である。

2.3. 社会的価値

再生可能エネルギー発電は、それぞれの地域固有の自然エネルギーをくらしの場で利用するものであり、地域社会との調和に十分配慮して導入する必要がある。発電設備の設置による地域社会への貢献の考え方について国のエネルギー政策や地域政策を調査した結果、従来の「発電所を立地するための地元対策」の考え方から、地域資源を活用した地域の活性化、すなわち再生可能エネルギープロジェクトの便益を立地地域が共有する「発電所と地域の持続的な共生を図る」考え方が重要視されるようになっている。

水力開発の立地地点となる農山村地域では、農林水産業が衰退して人口の減少や高齢化が進み、若い世代の雇用が確保できない状況になっている。このため、地域の文

化や伝統を継承し、地域の将来を見通すことが非常に難しくなっている。地域の共有財産である河川水を利用する水力の開発にあたっては、事業者と地域が利益背反となる従来の関係から脱却し、地域に永続的に貢献する新たな役割が求められるようになっている。

2.3.1. 地域社会への貢献の要素

水力開発に伴う地域社会への貢献の考え方や貢献事例について文献調査および現地調査を行った。その結果、貢献の要素は経済の活性化、インフラの整備、エネルギー供給、環境の保全・改善、地域の活性化、地域への定着の6つに分けて、表—6のように整理できる。地域貢献の内容は、水力発電の種類や形態、規模、および事業主体や地域の環境条件によって多様である。地域の特色を生かした水力開発を地域自らの課題として捉え、地域住民・自治体の関係者と研究者、専門家、発電事業者が協働で、地域に公益をもたらす取り組みを推進する必要がある。

表—6 水力の地域社会への貢献要素

分類	貢献要素	
Ⅰ 地域経済の活性化	A	税・交付金等の収入
	B	事業収益の地域還元
	C	投資・生産誘発、雇用・産業創出
Ⅱ 地域インフラの整備	A1	道路・公園等の整備、土地の活用
	A2	河川・水路・ダム湖等の整備
	B	設備の防災機能
Ⅲ 地域へのエネルギー供給	A1	事業所電力・公共施設・街路灯・鳥獣害対策・農業電化・充電インフラ・非常用電源等
	A2	熱利用など
	B	自家発電、局地配電・単独供給などによる地域への電力供給
Ⅳ 地域環境の保全・改善	A	森林・生態系の保全・改善
	B	水環境の保全
	C	廃棄物削減・リサイクル
Ⅴ 地域社会の活性化	A	地域の魅力・知名度の向上
	B	観光・レクリエーション・文化資源
	C	教育・研修・人材育成、イベント・交流
Ⅵ 地域への定着性	A	事業リスクの低さ、導入の容易さ
	B	事業の長期持続性

2.3.2. 地域貢献の事例

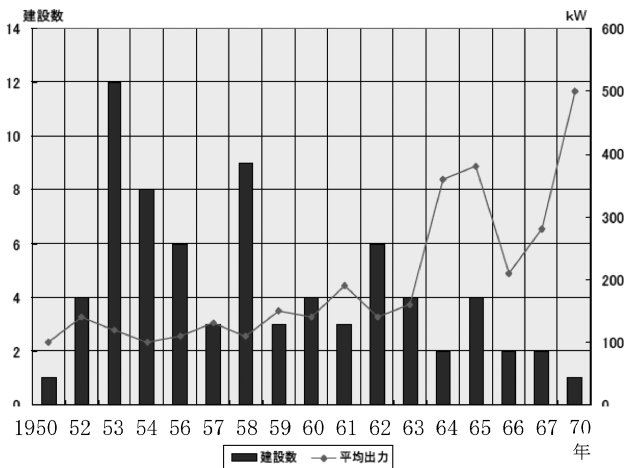
多くの地域貢献事例の中から3つの具体例を紹介する。

(1) 売電収益による農村の振興

—農協による小水力発電¹³⁾—

1) 概要(表—6のⅠ-C, Ⅵ-B)

自家発電を除いて電力会社以外には発電事業が認められなかった時代に、中国地方の農業協同組合や電化農業協同組合を事業主体とする小水力発電の売電事業が活発に進められた。約20年間に90ヵ所計12.2 MWの小水力発電所が建設された。これらは、農業電化のためではなく、地域の資源である水力を利用して、その売電収益を農協等の活動を通じて地域に還元し、農村地域の発展を図ることが目的であった。中国電力出身の織田史郎氏が、「農山漁村電気導入促進法(1952年)」の制定を働きかけ、1950年に小水力発電の計画・設計から機器製造、建設、保守までを一貫して行うイーモル工業株式会社を設立し開発を主導した。



図一10 中国地方の小水力発電所建設の推移
(沖武宏「中国地方の小水力発電」)¹³⁾

2) 事業による地域への貢献

- ・発電所建設により、建設期間中1ヵ所当り数百人の雇用が発生
- ・発電所運転要員は交代制で農家が兼業
- ・売電収益は農業施設整備等を通じて地域経済に大きく寄与

3) 課題と今後の展開

多くの発電所が建設開始から50年以上が経過している。設備の老朽化、維持管理費用の増大、豪雨・土砂災害からの復旧などで採算性が悪化した発電所は廃止されたが、現在も半数以上の53発電所が運用されている。今後、これらの発電所を長期的に維持・運用していくためには、低コストの維持管理技術の開発と技術継承、改修・更新の財政・技術面での支援が必要である。

(2) ダム湖の観光利用と自然環境の保全・改善

—国定公園内における水力発電の再開発¹⁴⁾—

1) 概要(表一6のⅠ-A, Ⅰ-C, Ⅳ-B)

中国電力株式会社の帝釈川ダム周辺は、比婆道後帝釈国定公園第1種特別地域に位置し、ダム湖は観光船などに利用され、貴重な観光資源となっている(図一11参照)。発電出力を4.4 MWから13.4 MWに増出力した帝釈川発電所の再開発工事(表一7参照)では、湖面利用に配慮して利用水深を設定するとともに、工事による自然改変を最小化し、



図一11 帝釈川貯水池(神竜湖)¹⁵⁾

表一7 新帝釈川発電所の計画諸元¹⁴⁾

	既 設	再 開 発 後	
発電所名	帝釈川	新帝釈川	帝釈川
発電方式	ダム水路式	ダム水路式	水路式
有効落差(m)	95.2	129	95.2
最大使用水量 (m ³ /s)	5.7	10	3.1
最大出力(MW)	4.4	11	2.4
運用開始年	1924	2006	2006

構造物の色や形状を周辺景観と調和させるなど、観光や自然環境に配慮して事業を推進した。また、建設後約80年が経過して老朽化した帝釈川ダムの堤体の構造補強と洪水処理能力の向上により設備の安全性・運用性を高めるとともに、河川維持流量の放流による河川環境の改善を図った。

2) 事業による地域への貢献

- ・地元の貴重な観光資源であるダム湖の水位を高めて観光価値を向上させるとともに、自然環境の保全と河川環境の改善を図った。
- ・発電所が立地する自治体には電源立地地域対策交付金が交付され、町道の舗装工事や法面保護工事等に活用されている。

3) 課題と今後の展開

古い時代に造られた水力発電は、機能面および安全性・環境適合性等の面で様々な課題を有している。帝釈川ダムの場合は、再開発によって発電能力と経年ダムの安全性を向上し、同時にダム湖の魅力の向上、自然環境の保全・改善を成し遂げた。この事例のように、既存の水力発電を高機能で環境に調和したものに再構築する取組みを推進・支援するように制度を改善・充実することが望まれる。

(3) 発電用ダムの空き容量を治水に活用

—国の治水ダムと連携した発電用ダムによる洪水対策¹⁶⁾—

1) 概要(表一6のⅡ-B)

東京電力株式会社は、信濃川水系高瀬川に高瀬ダムと七倉ダム、同水系梓川に奈川渡ダム、水殿ダム、稲核ダムの、計5ヵ所の発電専用ダムを保有しており、これらのダムには本来治水機能は義務付けられていない。近傍で治水機能を持つのは、高瀬川中流の国土交通省の大町ダムのみである。

2006年7月の豪雨により下流域の犀川で洪水氾濫の恐れが生じた際、河川管理者からの要請を受け、東京電力は大町ダムと連携して、混合揚水式発電所の5ダムの空き容量を利用した特例的な洪水調節運用を行い犀川での氾濫被害を防いだ。こうした特例的な運用には当然限界があるが、発電用ダムでも、運用の範囲内である程度の治水効果を発揮できるという実例である。

2) 事業による地域への貢献

- ・信濃川水系犀川の出水時に、本来は治水義務がない発電用ダムの空き容量を利用して、国の治水ダムと連携した洪水調節運用により、下流危険箇所(陸郷地点)での氾濫を防いだ。

3) 課題と今後の展開

発電用ダムの治水貢献機能は、再生可能エネルギーの中

でも水力発電だけが持つ重要な社会的価値である。近年の異常出水の増加により、今後、発電用ダムの治水機能の活用への期待が高まることが予想される。一方で、水資源の有効活用の観点から、治水ダムの発電への活用など、貯水容量を多面的に高度活用することが必要である。

現在、高瀬川では既設のダムを活用して新たな洪水調節容量を確保する「大町ダム等再編事業」が進められている¹⁷⁾。このような事業に様々な分野の研究者、専門家が参加して、治水、利水、エネルギー、環境、そして地域社会への貢献を含めた、持続可能で、全体最適の新たなダムの総合活用の技術と制度が実現することを期待する。

3. 水力の更なる有効活用に向けて

水力発電は、これからの我が国の電力供給に重要な役割を果たす再生可能エネルギーである。また、地域の暮らしや経済への貢献、防災や環境の改善などと一体的に開発し利用することによって多様な価値を創出することが可能である。しかし、このような水力の価値と可能性については十分に理解されておらず、水力の価値を総合的に生かす方法論の確立が必要である。以下に水力エネルギーをさらに活用するために何が必要かについて述べる。

3.1. 水力開発の隘路

3.1.1. 開発の隘路の調査

水力開発に係る技術、制度、推進・支援体制等の現状と課題について文献調査を行うとともに、水力に強い関心を有する全国の一般電気事業者、公営電気事業者、発電会社、地方自治体、土地改良区・農協、上下水道事業者、機器メーカー、建設会社、コンサルタント、大学等の研究機関、その他の財団法人、および電力会社・行政のOBなどに対して、水力開発の取り組み状況と課題についてのヒアリング調査を2012年から2014年の約2年間かけて行った。さらに、その結果を踏まえて、水力開発が進まない理由と改善要望を確認し補強するためのアンケート調査を行った。質問項目は、開発の地元合意、事業の経済性、規制、支援制度、水力技術、ダム式水力、総合的な開発戦略・体制、水力の価値の理解、固定価格買取制度、水車メーカーの取り組み等である。回答は、個人の意見としてお願いし、非公開とした。事前に議論した人を中心に郵送とE-mailを併用して235名に依頼し、212名(90%)から回答を得た。その結果、1,300件以上の貴重な意見・要望を得た。

これらの意見・要望は、「国全体で水力の特徴と価値の理解を共有した開発戦略・開発体制」「水力開発の経済性」「地域社会に永続的に貢献する水力」「水力関係者への支援システム」の4つの課題に大分類でき、さらに中分類、小分類すると34のカテゴリーに整理できる(表—8)。

開発の地元合意については回答者の約2/3が水力開発が進まない原因にあげており、地域の共有財産である河川水を発電利用する際の大きな課題となっている。対策・要望の主な内容は以下のとおりである。

1) 地域貢献

地場産業や観光振興等による地域の活性化・持続的な収益につながる地元のメリット、災害時の電気供給等の防災・減災面での地元への貢献、地域と共生する水力開発などが不足している。

表—8 水力開発が進まない原因の整理

大分類	中分類	小分類
国全体で水力の特徴と価値の理解を共有した総合的な開発戦略・開発体制	総合的な開発推進戦略	・開発方針、戦略 ・地域戦略
	総合的な開発推進体制	・横断的な推進体制 ・既存インフラの活用
	規制の緩和	・水力利用の制度 ・河川法、電気事業法、自然公園法、森林法、砂防法、土地改良法等 ・系統接続
	総合的な財政支援制度	・融資、債務保証、補助金、税制優遇 ・地域貢献、環境調和の推進支援 ・FIT制度
水力開発の経済性	水力の価値の共有	・水力の価値の評価 ・価値の活用推進 ・価値の情報発信
	建設・保守・運用コストの低減	・専門技術、人材活用 ・建設・製造、保守運用体制 ・既存インフラの有効活用
地域社会に永続的に貢献する水力	水力技術の開発・改良	・電気機械 ・土木
	地域貢献	・地域に適した貢献策 ・地域共生型水力開発
	自然・社会環境との調和	・自治体、地元団体の水力事業への協力・参加 ・環境保全技術の改良 ・事業者の地域対応力
水力関係者への支援システム	地域が主体となった水力開発の推進支援	・地域主体の総合的な水力開発事業スキーム ・水力の価値の地元理解 ・成功事例の具現化と展開
	専門技術人材による支援	・人材活用の集約 ・水力技術活用の集約 ・開発のステップ全体にわたる支援システム
	情報の収集、活用支援	・地点情報の収集・公開 ・教育・研修 ・政策決定者への情報提供、政策提言
	開発リスクの軽減	・リスク評価 ・軽減対策

2) 自然・社会環境との調和

国・自治体等による支援・調整、漁協や用水組合、住民等の地域社会との調和、自然環境の保全対策技術、事業者の対応能力などが不十分である。

3) 地域が主体となった水力開発

水力の多様な価値と先進事例の理解、地元の推進リーダーの育成・支援、地域に総合的に貢献する水力開発の事業モデルが不足している。

3.1.2. 隘路の解決に向けて

開発現場で生じている主な隘路は経済性と地元合意であるが、この背景原因を追究すると、水力の特性をふまえた総合的な開発戦略・推進体制と、現場への専門的な支援や関連情報を分析し政策につなげるための専門家・研究者・実務者などからなる支援体制の弱さがある。今後、再生可能エネルギーとしての水力の優れた電力価値、環境価値、および社会的価値を生かして、永続的に地域と共存し、電力の安定供給に貢献するための水力開発を実現するためには、4つの隘路を総合的に解決する必要がある。(図—12 参照)

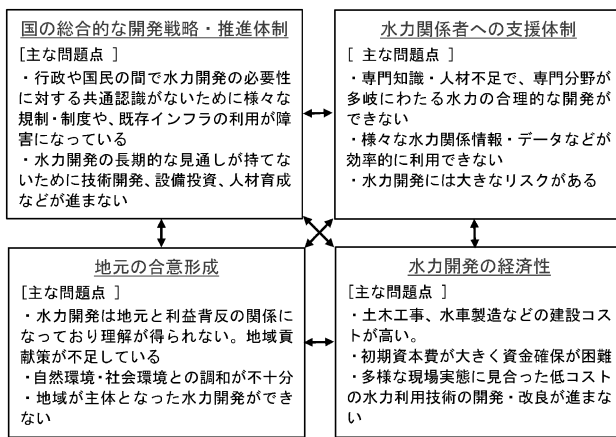


図12 水力開発の主要な隘路

3.2. 水力開発の課題

水力開発の隘路の調査結果を踏まえて、再生可能エネルギーとしての水力の多様な価値を生かした開発を実現するための課題を整理すると以下のとおりである¹⁾¹⁸⁾。

(1) 水力開発の総合的な推進戦略・推進体制

水力の開発は、河川の治水・利水、環境、農林水産業、電力供給、地域の暮らし等の様々な領域と関係している。

水力開発を効果的に進めるためには、関係者間で水力の特徴と価値の理解を共有するとともに、多様な価値を総合的に生かすための水力開発ビジョンと推進戦略・推進体制を整備する必要がある。また、開発の大きな障害になっている初期投資負担に対して、地域貢献、環境・防災機能の改善、技術開発などの諸条件を考慮した低利長期融資などの総合的な財政支援制度の整備、水力利用と環境の調和・公共の安全確保のバランスが取れた規制の見直し検討が必要である。

(2) 合意形成の改善

水力発電は地域の共有財産である河川の水を利用するものであり、かつ設備の寿命が非常に長いために地域のインフラの一部として超長期に地域とともに歩み続ける特徴がある。水力開発にあたっては地域の自然環境や暮らしの実態と調和がとれたものとなるように十分配慮することが必要である。

「2.3. 水力の社会的価値」で述べたように、水力開発を地域の問題として捉え、住民や自治体等の地元関係者が主体となって地域に公益をもたらす取り組み、減水区間の維持流量やダムへの堆砂問題など環境保全対策のあり方を自ら考え判断する活動を推進する必要がある。しかし、地域の関係者には経験や知識、資金が不足している。地域の推進リーダーを育成・支援し、地域外の専門家や企業と協働で地域が主体となって水力開発に取り組む事業モデルの構築が必要である。

(3) 適切なコストでの水力利用の実現

近年、本格的な一般水力の開発が行われていなかったために、現在のような様々な事業者が中小水力の利用に取り組むための建設体制や人材・技術が不足している。

水力発電は、地点ごとの自然・社会条件を踏まえて計画・設計するために一品生産となり、設計者の力量が開発の経済性に大きく影響する。このため、水力開発に係る技術人材の育成と支援体制の整備が必要である。また、既存

のダム、堰、水路、道路や、既設水力発電所、廃止された水力発電所などの貴重な既存インフラを、地域の環境改善と一体的に高度に発電利用するパッケージ技術の開発や制度の検討が必要である。さらに、地元企業や住民が設備の製造・建設や運転保守に取り組めるように、大手のメーカーや建設会社、電力系の保守会社などは、むしろ発電事業者の立場で地元の育成に貢献する必要がある。

(4) 水力開発の支援システム

水力開発を的確に進めるためには、流域の水文特性や地形・地質、生態環境、電気・機械・土木設備の設計・施工・運用・保守、許認可、地域の社会環境と地域貢献、合意形成、資金調達など、広範囲にわたる専門知識と経験が必要である。

地域の自然・社会環境と調和した総合的な水力開発を効率的に進めるためには、専門家の知識と経験をフルに活用して現場プロジェクトを後押しする明確な支援体制の構築が必要である。また、水力開発の事業性の評価は投資家には困難な場合があり、支援の仕組みが必要である。さらに、開発候補地点の河川の流況や送配電系統、インフラ設備等の情報の効果的な活用、現地の状況を踏まえた工事費の積算システム、水力開発動向や発電所の運用実績等の情報を収集・分析し関係者に提供するなどの支援システムが必要である。

3.3. 水力開発の推進・支援体制の構築

3.3.1. 基本的な考え方

前述した水力開発の課題を解決し、環境と調和した水力開発を実現するためには、総合的な水力開発の推進・支援体制を構築する必要がある。

例えば、米国水力発電協会(NHA)は、水力発電の開発を推進・支援する非営利の民間組織であり、国の政策・法律・規制に対する提言、会員のコミュニケーションの促進、広報・教育、および技術開発支援を柱として活動している。9つの常置委員会・会議があり、連邦政府の水力関係予算や制度の改善、フォーラム・ワークショップ等の開催、ウェブサイトを通じた情報発信、出版物の提供、発電所の運用・保守の効率化、環境対策に関する調査研究などを行って成果を上げている。会員数は231社・組織で、会員には、内務省開拓局、陸軍工兵隊などの国の機関、TVA、公営および民間のユーティリティ、IPP、機器メーカー、環境および技術コンサルタント、法律家、大学等が含まれている¹⁹⁾。

縦割り行政の弊害が課題となっている我が国において、広範な企業・組織を会員として、水力の価値を共有し、意見要望をまとめて総合的な水資源政策に反映させるNHAのような組織は極めて有意義であると考えられる。しかし、水力の価値が十分理解されていない現状において、いきなりこのような全国レベルの組織を設立することは現実的ではない。まずは、既存の体制で不足している機能を補完するNPO法人を設立し、経験豊かな水力の専門家や研究者等による現場に密着した水力開発支援活動を行うことからスタートする。具体的な地点において、地域住民、自治体、専門家、企業などから成る開発体制を構築し、地域の自然・社会環境と調和した総合的な水力開発の事業モデルを実現してこれを全国に展開する。これによって水力の

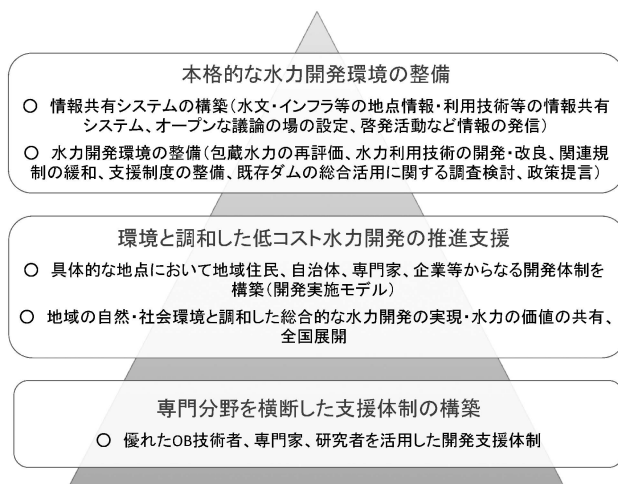


図13 総合的な水力開発推進・支援体制の構築

価値の理解を国全体で共有し、本格的な水力開発環境の整備に結び付けていく必要がある(図13参照)。

3.3.2. NPO 法人水力開発研究所の設立²⁰⁾

(1) 設立目的・体制

広く地域住民および企業・団体等を対象として、環境にやさしく地域に永続的に貢献する水力開発を推進し、人と自然の調和のとれた環境社会づくりに寄与することを目的として、NPO 法人水力開発研究所(HDRI)を2018年1月に設立した。

設立当初の会員は、水力の価値の理解を共有する大学・研究機関の研究者、行政・電力会社・コンサルタントのOB、水力発電支援団体・建設会社などの水力関係者からなっている。

(2) 活動内容

水力の価値の理解を共有し、さらに高めて生かすために以下の活動を実施している。

1) 環境調和型水力開発モデルに係る事業

○環境調和型水力開発の支援

水力が有する多様な価値を総合的に生かす、地域が主体となった環境調和型水力開発を実現する。地点ごとに水力発電や環境等の専門家を活用した支援体制を設置する。

○事業モデルの構築

信頼性・採算性が高く、地域に永続的に貢献する、地域と外部の専門家・資本等が一体となった環境調和型水力開発の事業モデルを開発する。

2) 水力の価値評価に係る調査研究事業

○電力価値

電源としての賦存量、価格、品質(安定性、制御性)の面から価値を高める調査研究を行う。

○環境価値

環境と調和した水力発電の計画手法、河川維持流量、ダム排砂、環境再生など、環境価値を高める調査研究を行う。

○社会的価値

地域の活性化、インフラの整備、エネルギー供給、環境の改善、地域への定着性など、地域に貢献する水力発電の価値を高める調査研究を行う。

3) 情報発信・人材育成に係る事業

○情報発信

水力の多様な価値を共有し生かすための情報を、現場お

よび行政等の水力関係者をはじめ、広く社会に向けて発信する。一環として、水力開発に係る政策提言を行う。

○人材育成

環境調和型水力開発を推進するための人材育成に取り組む。このために、モデル開発地点等へのインターンシップの受け入れ、セミナーの開催、研修等を実施する。

4. おわりに

水力発電は100年以上にわたって電力の安定供給に大切な役割を果たしてきた。同時に自然環境や地域社会への適合性についてさまざまな知見や課題が蓄積されている。

古代より、我が国は水に恵まれ、水を中心として国土や農業など人々の暮らし、そして生態系が成り立っている。国民の共有財産である水力エネルギーの利用は単に電気を起こすことだけではなく、再生可能エネルギーとして、地域の環境と調和し、地域に永続的に貢献するように開発・利用するべきである。

このために、社会、環境、資源を含めた高い立場から叡智を集め、地域の資源を地域ごとに総合的に活用する事業モデル、水力利用の技術、制度のあるべき姿を追究し、改めて水力の価値を問い直す必要がある。本年スタートしたNPO 法人水力開発研究所については、分野を超えて若い人とベテランが自由に交流し、どんな立場でも大きくとらえて関係者を支援して目的を達成する。その成果を具体的に示して行きたい。

豊富な水力資源を有し、今後、水力開発が増大すると考えられるアジア地域に対して、我が国で構築する環境に優しい水力エネルギーの総合的な利用技術・制度によって、アジアの先進国としての国際貢献を果たすことが望まれる。

謝辞

本論文は平成26年度河川財団助成研究「再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究(代表者 立命館大学 井上素行)」の成果を利用している。また、京都大学防災研究所水資源環境研究センター、および「地域が主体となった環境調和型水力開発研究会(代表者 井上素行)」において環境と調和した水力開発の実践研究を行った。共同研究者および調査研究にご協力いただいた多くの皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 井上素行, 再生可能エネルギーとしての水力の価値の評価と開発推進方策に関する調査研究, 河川財団助成研究報告書, 2015年:
<https://kikinshinsei.kasen.or.jp/searchDoc/>
- 2) 井上素行, 水災害に対する防災技術の転換の必要性, 科学技術動向, No.127, 2012
- 3) Motoyuki. Inoue, Evaluation of Diverse Values of Hydropower, Journal of Disaster Research, p. 720-732, 2018
- 4) World Energy Council, 2007 Survey of Energy Resources
- 5) 資源エネルギー庁 HP, 「出力別包蔵水力」:
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_

- and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan006/
- 6) (財)新エネルギー財団, 中小水力開発促進指導事業基礎調査(未利用落差発電包蔵水力調査)報告書, 2009年3月: http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_012.pdf
 - 7) 三石真也, 岡本政明, 高橋博, 今井久, 「既設ダムを最大限活用した水力発電の振興について」, ダム日本, 778, 2008, p13-26
 - 8) 環境省 HP, 再生可能エネルギー導入ポテンシャルマップ・ゾーニング基礎情報(平成28年度更新版)
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/rep/data/sumup/city.pdf>
 - 9) 電気事業連合会, 電力統計資料:
<http://www.fepc.or.jp/library/data/tokei/>
 - 10) 今村栄一・長野浩司: 日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価, 電力中央研究所報告 Y09027, 2010.
 - 11) IPCC: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report, 2011.
 - 12) 井上素行, 山地から河川, 海域にわたる流砂系問題に対する実証的研究の推進, 科学技術動向, No.98, 2009
 - 13) 藤本穰彦・皆田潔・島谷幸宏: 中国地方の小水力エネルギー利用に観る自然エネルギーに基づく地域づくりの思想, 中山間地域研究センター No. 8, 2012.
 - 14) 沖田俊治他, 「新帝釈川発電所建設工事の概要」, 電力土木 No.309, 2004年1月
 - 15) 水源地環境センター: ダム湖百選:
<http://www.wec.or.jp/library/100selection/content/shinryu.html>
 - 16) 水源地環境センター: 大町ダム, 高瀬ダム, 七倉ダム, 奈川渡ダム, 水殿ダム, 稲核ダム 平成18年7月豪雨時の直轄ダムと利水5ダムによる下流水位上昇の抑制, ダム・堰危機管理業務顕彰, 平成20年度
 - 17) 大町ダム等再編事業: <http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/jimusho/dam/damsaihen.pdf>
 - 18) 井上素行, 再生可能エネルギーとしての新たな時代の水力, 科学技術動向, No.108, 2010
 - 19) National Hydropower Association:
<https://www.hydro.org/>
 - 20) NPO 法人水力開発研究所ホームページ:
<http://www.hdri.jp>