

3. 水力発電と環境費用

ENVIRONMENTAL COSTS OF HYDROPOWER PLANTS

小松俊夫*

竹澤三雄**

Toshio KOMATSU*

Mitsuo TAKEZAWA**

ABSTRACT ; The coexistence of development and the environment is achieved by technical and economic approaches. The technical approach takes into account such factors as air pollution measures, conserving energy, and recycling resources, while the economic approach is the costs of environmental disruption and providing safeguards such as wildlife conservation and management plans. The economic development of Japan in the 1950s required substantial electric power. As a result, environmental and industrial pollution increased. The economy of Japan reached a new high in the 1960s, and the generation of electric power was overtaken by thermal power; which in turn was superseded by natural gas and atomic power following the energy crisis of the 1970s. The Japanese economy was depressed during the 1990s, but has recently showed signs of a gradual recovery. Accordingly, the demand for electric power has increased over recent years. The energy sources that will replace oil in the future are atomic power, natural gas, and wind power. Hydropower stations discharge only minor carbon dioxide, and are therefore better for the environment than atomic and natural gas power stations. The environmental cost of the development of hydropower stations is discussed in this paper.

KEYWORDS ; hydropower station, environmental conservation measure, environmental cost,

1 はじめに

水力発電は1世紀以上にわたる歴史を有し、役割も時代の要請に応じて変化してきた。第二次大戦後は急速に増大した電力需要に対応するため大規模貯水池式水力の開発が促進され、オイルショック以降は石油代替エネルギーの一環として中小水力発電が、また先鋭化する電力消費のピーク対応として揚水式発電が開発されてきた。現在、水力発電はわが国の電力供給の約10%を占め、電源設備として全電源の約20%を占めており、エネルギー源として重要な役割を果たしている。特に、水力発電は純国産の再生可能なエネルギーであり、CO₂を排出しない、環境にやさしいエネルギーとして地球温暖化対策に高い評価を得ている。そして今後も、着実な開発が求められている。一方で、その開発に際しては、自然環境への影響が懸念され、水力開発を阻害する要因となっている。最近でも、環境影響調査の長期化、環境費用の増大などと共に電力需要の低迷が相まって、国の電源開発基本計画に組み込まれていた計画地点の開発が取止められている。本論は戦後、環境政策を踏まえながら電源開発(株)が開発してきた水力発電所の建設にかかわる環境費用を実証的に分析し、今後の環境費用のあり方について考察する。

* 株式会社 JP ハイテック JP HYTEC Co., Ltd.

** 日本大学理工学部 College of Science & Technology, Nihon University

2 環境対策と環境費用の推移

2. 1 環境政策と水力開発状況

昭和 30 年代は戦後のわが国の高度成長が本格的に開始した時期であり、産業構造は重化学工業中心へ高度化し、公共投資はそれらの産業基盤整備に振り向けられ、この状況の中で各地で産業公害が深刻化した。また、過疎化が進行した農山村地域では道路開発をはじめとする観光開発が各地で進められ、自然破壊が進行した。これらの事態に対応するため国では自然公園・鳥獣保護・水質保全・排水規制・ばい煙規制など個別ごとに法律を制定し対策を開始した。経済の高度成長に応じ電力の需要も急激に増大した。発電電力量は昭和 30 年に $65,240 \times 10^6 \text{kWh}$ であったが、昭和 40 年には $190,250 \times 10^6 \text{kWh}$ となり約 3 倍まで上昇した。従来、わが国の電源は「水主火従」であったが、昭和 37 年には「火主水従」となり、水力はベース負荷部分からピーク負荷部分を担当するようになった。このため流込み式から大規模貯水池式発電へと開発主体が移り、大規模水力が全国的に建設された。

わが国の経済力は著しく高まる一方で、公害問題も深刻化していった。これに対応するため、国は昭和 42 年に「公害対策基本法」を制定し、大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、地盤沈下、悪臭を典型公害として環境基準を導入し発生源の規制強化を図った。しかし、ますます悪化する公害問題に対し、昭和 45 年に「公害対策本部」、昭和 46 年 7 月に「環境庁」を設置し数々の規制を実施した。昭和 47 年には「自然環境保全法」を制定するとともに、公共事業の実施に際し事前に環境影響評価を行うことを目的として、「各種公共事業に係わる環境保全対策について」の閣議了解を行った。経済成長に伴う業務用電力の需要および家庭電化の発達により、民生用電力の需要も増加し、昭和 50 年には、発電電力量 $475,794 \times 10^6 \text{kWh}$ となり毎年、高い比率で伸びていった。最大電力（ピーク）は冷房空調設備の急速な普及により、昭和 43 年以降、夏季に発生するようになり、また、年々先鋭化していった。そして、大規模貯水池式水力地点の枯渇に伴い高落差を利用する大規模揚水式発電が開発されるようになってきた。

国および地方公共団体では「各種公共事業に係わる環境保全対策について」（昭和 47 年）に基づき、環境影響評価していたが、評価手順などが十分整備されていないものがあった。そこで政府は、昭和 59 年に「環境影響評価の実施について」の閣議決定を行い、道路・ダム・飛行場などの大規模な 11 種類の事業について環境影響評価を行った。しかし、この環境影響評価では、発電所が除外されたために、発電所は昭和 52 年通商産業省省議決定の「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の強化について」および昭和 54 年 6 月に策定された「発電所の立地に関する環境影響調査及び環境審査の実施方針」に基づいて引き続き行うことになった。エネルギー政策は 2 度にわたる石油危機により脱石油に向け、低廉な海外石炭火力が見直され、天然ガス・原子力発電の増強を進行させた。水力発電は、大規模揚水式発電を主として開発していたが、再生可能な純国産エネルギーとしてその重要性が再認識され、中小水力を主体とした開発が促進されることになった。

平成 4 年リオ・デジャネイロで開催された地球サミットでは、顕在化する地球環境問題に対するため「持続可能な開発」の基本理念を共通認識とし、「生物多様性保全条約」「気候変動に関する枠組み条約」等が調印された。国内では東京への一極集中化による大気汚染・水質汚濁等の公害問題悪化、リゾート開発による自然環境の破壊が進んでいた。そこで国では平成 5 年 11 月に「環境基本法」を制定し、平成 6 年 12 月に「環境基本計画」を閣議決定した。またこれらと前後して生態系保存および廃棄物・リサイクル対策などに関する法対策を実施した。現在、地球温暖化の問題が顕在化してきたことより、 CO_2 をはじめとする温室効果ガスの排出量を抑制するため天然ガス・原子力の一層の導入拡大および風力等の自然エネルギーの開発が進められている。水力については中小水力のほか、猛暑による夏季需要増加に対応するために各地で揚水式水力発電が建設されている。

2. 2 環境対策と環境費用

(A) 昭和 30 年代

昭和 30 年代に電源開発㈱が開発した水力発電所のうち 10 発電所について実施された環境対策は次のとおりである。

(1) 工事による濁水、濁水対策；ダムや発電所工事に伴う土砂掘削、砂利採取、コンクリート骨材の製造などにより濁水が発生し、それが河川に流れ込み、河川水が汚濁され、下流の沿岸地域で利用している飲用水、工場用水が影響を受けた。また発電取水やダム締切りにより下流では濁水区間が生じ、井戸水の枯渇および魚が生息できないといった影響が生じた。これらの対策として、各地点ではほぼ共通しているが、新たに簡易水道や井戸の設置、地元漁協組合に対して河川漁業の維持ならびに増殖対策費用の負担を行った。

(2) 水温影響対策；ダム貯水池式発電では、取水口が表面より深い所に設置されるので、深層部分の水が放流される。このため、放流水の水温は自然流より低温となり、下流で、かんがい用水として取水している地区では稲作などに被害が生じた。この対策として貯水池表面の水を取水する表面取水設備を取水口に設置した。

(3) 修景緑化；国立公園内に設置した糠平発電所では工事用道路、仮設備跡地、宿舍跡地にハギ、ツツジなど約 1 万 6 千本の樹木を植栽し、土捨場には張芝・種子吹付けなどを実施した。これらの費用は 1,600 万円であった。

(4) 移転；発電設備の建設および貯水池内の水没により、建物の移転や道路の付け替えは各地で共通に行われた。池原発電所では移転家屋 64 戸に対し約 33,000 m²の造成地を設けた。また、貯水池背水終端付近では、堆砂対策として 52,000 万円をかけ、土地や護岸擁壁の嵩上げを実施した。また河川水の減水により流筏による木材輸送への影響対策として、代替道路の新設や改修を行った。瀬戸石発電所で行ったその費用は、2 億円であった。

(5) 計画規模の縮小；熊野川水系北山川では、一貫開発により 3 発電所が計画されたが、北山川は、蛇行性峡谷として優れた景観をもち、また川下りの観光資源を有しているため、滝から見えないう、ダムサイトを原案から移し、その結果、最大出力を 7 万 kW から 3 万 kW に変更した。さらに、減水区間には美観をそこなわないように、最大 20m³/秒の観光放流を行っている。

(B) 昭和 40 年代

昭和 40 年代に電源開発㈱が開発した水力発電所のうち 6 発電所について実施された環境対策は次のとおりである。また当時としては画期的な自然環境保全対策を行った沼原発電所の事例を紹介する。

(1) 濁水・濁水対策；工事に伴う土砂掘削やロックフィルダムの盛立材料採取などの濁水で河川水が汚濁され、またダム築造により下流河川水が枯渇・減水して下流利水者に影響をあたえた。これらは各地点共通の事象であり、工事サイト下流に漁業権を設定している漁業協同組合に漁業補償を実施し、また簡易水道設備、防火水槽・プール設置費用の一部負担を行った。早明浦発電所では濁水対策として表面取水設備を 47,000 万円で設置した。

(2) 水温影響対策；長野発電所では融雪貯留水を発電放流することにより、下流水田に冷水害問題が懸念されたため表面取水設備を設置した。

(3) ダム築造による流水への影響対策；船明発電所は天然遡上を中心とする鮎の好漁場であったため、下流における自然河川の機能がある程度維持するため暗渠式魚道を設置した(13,000 万円)。また、船下りがダムにより分断されたため、船着場の下流移転補償を行った。

(4) 沼原発電所は揚水式発電所で、日光国立公園内に位置し、上池建設地に隣接して貴重な湿原植物が群生する湿原がある。この湿原環境を保全するため自然環境保全対策を実施した。すなわち、上池ダムでは、湿原保持のため造成区域を制限し、湿原面以上にダムが高くなならないよう貯水容量を制限した。そして掘り込み式とし、形状にも配慮し、掘削時は、シートパイルを打ち込み、湿原地区の地下水流下を遮断し、湿原水

位の低下・枯渇を防止した。また、環境保全基準が制定されたことを受け、コンクリート用骨材の製造で発生する濁水の処理として、広大な沈殿池を設置するとともに凝集剤を使用して管理の徹底を図った。さらに、工事改変部分(約 100ha)の自然復元は、草本類を導入する第1次緑化と、続いて樹木の導入を行う第2次緑化に区分し、自然の秩序にそった緑化復元手法を採用した。これらの費用は 46,000 万円であった。

(C) 昭和 50 年代から平成初期

昭和 50 年代から平成初期にかけて電源開発(株)が開発した水力発電所のうち、8 発電所について実施された環境対策は次のとおりである。

(1)自然保護・自然景観対策；自然の改変面積を小さくするためレイアウト・形状に配慮した。発電所は半地下式とし、周辺環境と調和する外観・色彩とした。工事用道路は河川敷等を利用するなどして新設を少なくした。掘削ズリはコンクリート骨材、埋め戻し材等に利用して捨土量を減らし、ダム盛立材料のうち、可能なものについては湛水予定地より採取した。工事跡地、切取り法面は草本類で修景緑化を行った。

(2)植生・動物対策；立木伐採を必要最小限にとどめ、工事用仮設備は規模の縮小を行った。改変地区は周辺の自然景観や既存植生に調和した緑化を行った。陸生動物に対して、騒音・振動等の発生を極力抑え、水生動物に対して、減水区間が発生する箇所では河川維持流量を放流した。

(3)水質・騒音・振動対策；工事中発生する濁水は、水質汚濁防止法に定める排水基準以下にするため沈殿池や排水処理設備を設け、定期的に水質観察を行った。騒音対策は低騒音型機器を使用し、必要に応じて防音設備を設けた。騒音・振動を伴う作業は早朝、深夜を避け、集中施工を回避した。振動低減のため速度制限を実施した。

(4)社会環境；手取川第一発電所では水没 330 世帯に対し 71,200 m²の代替地造成を行った。造成費用は 22 億円であった。同様に水没する国道の付け替え・拡幅工事を延長 12.5km 行ったが、工事費は 10 億円であった。また、下流かんがい用水への冷水温対策として選択取水設備を設置したが、その費用は 54,000 万円であった。下郷発電所ではダム下流に重要伝統的建造物群保存地があったので、環境保全に十分留意し、自然の復元を積極的に実施し、完成後の各構造物と周辺景観との調和を図った。また、下流かんがい用水への冷水温対策として温水取水設備を 7,000 万円で設置した。

(D) 現在まで

最近、電源開発(株)が開発を行った沖縄海水揚水発電所(3 万 kW、平成 11 年運転開始)および奥只見・大鳥増設発電所(28.7 万 kW、平成 16 年運転開始)について実施された環境対策は次のとおりである。

(1) 沖縄海水揚水発電所は、通商産業省が海水揚水発電技術の実用化を確立するために、委託を受けた電源開発(株)が実証プラントを建設(平成 2 年～11 年)し、その後 5 年間、その実証試験を行ったものである。

実証プラントが位置する沖縄本島の北部地方(ヤンバル)は、生物多様性に富んだ豊かな自然特性を有しており、工事区域周辺には特別天然記念物であるノグチゲラをはじめ 16 種の貴重動物の生息が確認された。またヤンバルの土壌は、国頭マージと呼ばれる赤土で、降雨で流出しやすく、海域に流出すると沈降しやすい性質がありサンゴを死滅させるという危険性があった。したがって、工事着手前から工事完成後も各種の保全対策を実施した。

1) 工事着手前に実施した対策

工事区域に生息する移動能力の低い貴重動物を区域外へ移動し、侵入防止柵を工事区域全周 8 km にわたって設置した。また、小動物が排水側溝に転落した際に、自力脱出可能な傾斜側溝を考案・設置した。さらに、赤土濁水の発生量を低減するため、周囲の森林から水が工事区域内に入らないよう林縁部に排水溝を 1.4km 設置した。工事区域内の濁水は、濁水貯留池(46,000m³)を造成し、濁水処理プラントで処理した。さらに、海に直結する沢の流末に、ふとん籠(フィルター機能付)による土砂流出防止堰を 5 か所設置した。

2) 工事期間中および工事完成後に実施した対策

工事区域と隣接した森林を風害から保護するため、工事区域周辺に低木を植栽した。また、掘削で永久裸

地化される箇所には、その土壤に合わせた緑化・植栽を行った。そして、工事による周辺環境への影響の有無を把握することを目的として、工事中（平成2年～11年）および工事完成后（平成11年～15年）も騒音・振動、水質、陸生動物、土壤動物、水生動物、鳥類、サンゴ、飛散塩分他の項目について定期的に環境モニタリングを実施した。さらに、土壤改良・マルチングした土捨場(45,000 m²)に在来種による樹木を約3万本植栽し、池・水路などを設置して、野生動物が共存共栄できる生態系を持つ多自然型の区域として「環境創生地」を創出した。

これらの環境対策に要した費用は次のとおりである。すなわち、緑化 22,000 万円、水質（濁水貯留池、土砂流出防止堰、水質測定他）35,000 万円、動物（モニタリング 他）29,000 万円、環境創生地（敷地造成、植栽他）79,000 万円 合計；165,000 万円。

(2) 奥只見・大鳥増設発電所は、奥只見ダムおよび下流の大鳥ダムを利用し、既設備に隣接して発電所を増設した（奥只見増設 20 万 kW、大鳥増設 8.7 万 kW）もので、工事は平成 11 年～16 年に行われた。

奥只見は、阿賀野川水系只見川の上流部に位置し、越後三山只見国定公園に属している。工事区域周辺には、国指定天然記念物のイヌワシ（絶滅危惧種ⅠB）およびクマタカ（同左）などの貴重鳥類が生息しているため、貴重鳥類保護を中心とし、また環境負荷を継続的に軽減するため次のような環境保全対策を実施した。

1) 自然景観対策；構造物のレイアウトを可能な限り地下式とした。既設備を最大限利用し、工事用道路は既設管理用道路を、仮設備ヤードは既設土捨場跡地や広場等を使い、自然改変を極力低減した。

2) 貴重鳥類対策；営巣が確認されたイヌワシ・クマタカつがいを中心にして工事着工前から調査を行い、営巣期は定点モニタリングおよびビデオカメラ観察、非営巣期は定点モニタリングを行った。工事中はイヌワシの営巣期（11 月～6 月）には、営巣地から半径 1.2km の範囲内では地上部の工事は中断した。また、この範囲内に設置した現場事務所や仮設備は、必要なものを除き工事期間外は撤去した。

3) 騒音・振動対策；発破による騒音・振動を小さくするため、発破方法を工夫するとともに、坑口部に防音扉を設置した。また、定置式コンクリート製造設備・骨材製造設備は遮音性を高めるため建屋内に収納した。

4) 水質保全対策；工事排水は全て濁水処理設備で清浄化し、水質を確認後に公共用水域に放流した。水中工事では汚濁水の拡散を防止するため二重の汚濁防止膜を設置した。

5) 建設副産物対策；建設発生土（掘削岩）は 20%をコンクリート用骨材として再利用し、残量は埋立造成地に使用した。建設汚泥は 50%を有機肥料と混合して緑化基盤土壌として再利用した。

6) 湿地環境の復元；掘削岩埋立造成予定地には水生植物や貴重なトンボ類が生息する湿地帯があったため、湿地外に先行造成し、その敷地上に代替湿地（1,700 m²）を復元整備した。

7) 迷漁侵入防止対策；発電時に、増設取水口から貯水池内に生息するワカサギの一部（迷漁）が下流に流出する可能性があるため、迷漁の侵入を防止する対策を実施した。

これらの環境対策に要した費用は次のとおりである。すなわち、自然景観（修景緑化他）97,000 万円、水質 145,000 万円、騒音・振動 37,000 万円、建設副産物 67,000 万円、貴重鳥類 199,000 万円、魚類 31,000 万円、その他 31,000 万円 合計；607,000 万円。

3. 考察および結論

昭和 30 年代は高度成長期を背景に開発を促進した時期であり、工事中に発生する濁水およびダム築造による濁水が、河川水を直接利用していた流域の人々に及ぼす影響に対し、個別的に機能代替補償および金銭補償を行っていた。昭和 40 年代後半になると水質・騒音・振動などに環境基準が設定され、濁水処理設備の設置など発生源に対する対策がとられるようになった。また、国立公園内の開発においては、自然景観との調和が最優先され、構造物のレイアウトに配慮するとともに、改変地の修景緑化に多額の費用が使われる

ようになった。昭和 50 年代になると河川維持流量の放流が義務づけられ、また発電所の外観デザインおよび色彩などにも配慮するようになってきた。すなわち、環境の質に対する人間の意識が多様化し、その対策も公害から生じる健康の保護および生活環境の保全から、安らぎや潤いのある魅力的な快適環境の創造へと変化してきた。

一方、近年の水力開発においては野生動物の減少など地球規模の環境問題を反映し、生物多様性の確保の観点から諸対策を講じている。また循環型社会の構築をめざし建設副産物の有効利用も行われている。このように、戦後の水力開発における対策範囲は、個別の影響から始まり、河川維持流量へと拡がり、点から線へと延びていった。そして、現在において、流域という面および生態系・循環という時間軸にまで拡大してきた。したがって、現在の開発における環境費用は、従来にも増して、総事業費に占める比率が高くなってきており、沖縄海水揚水発電所では総事業費の 5 %、奥只見・大鳥増設発電所では総事業費の 9 %を占めている。

平成 11 年 6 月に「環境影響評価法」が全面施行となり、新アセスメント制度では、調査項目の設定についてスコーピング制度を導入するとともに、内容面においても幅広い評価項目と新たな評価の視点および事後調査を導入することになった。近年建設されている水力発電所においても、総事業費に占める環境費用の比率は増加傾向にある。新アセスメント制度では環境保全の観点が強化されていることから、その適用を受ける今後の水力開発においては、①環境調査費用 ②環境保全対策費用 ③工事中モニタリング費用 ④事後調査費用など更に環境費用が増大するものと考えられ、大規模な水力開発は、ますます厳しい状況になるものと予想される。

地球環境問題に対応するため、クリーンな国産エネルギーの主力である水力開発の必要性について各国で論じられており、わが国では、今後の開発主体は中小規模であるとし、開発促進のため有望開発地点の発掘、技術開発および出力規模に応じた建設費補助などのいろいろな施策が行われている。ますます増大する環境費用に対し、初期調査段階から事後調査までを含めた調査費用に対する補助や、工事中における環境保全対策への補助など経済的手法の導入により、インセンティブを与え、長期にわたる技術の積み重ねを有する水力開発を今後も引続いて継続していくことが必要と考える。

最後に本論文を執筆するにあたり、貴重な記録を提供していただいた電源開発(株)に謝意を表します。

参考文献

- (1)資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力基盤整備課「平成 17 年度水力開発の促進対策」平成 17 年 10 月
- (2)電源開発株式会社「糠平発電所工事記録」昭和 32 年、他 23 発電所工事記録、昭和 34 年～平成 16 年
- (3)小松俊夫・坂田淳「建設工事における自然環境保全対策－沖縄ヤンバルにおける実践－」第 12 回地球環境シンポジウム講演集、平成 16 年 8 月
- (4)寺田達志「環境影響評価法の成立と展望－特集・98' 環境行政展望」