

水力開発における自然環境保全対策 に関する実証的研究

平成 25 年 11 月

小松 俊夫

目 次

第 1 章 序 論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 本研究の目的と本論文の構成	4
第 2 章 水力開発における自然環境保全対策の推移	10
2.1 19 世紀から 20 世紀前半（明治維新から第二次世界大戦まで） の水力開発と環境政策	12
2.2 1950 年代の水力開発と環境政策	14
2.3 1960 年代の水力開発と環境政策	18
2.4 1970 年代の水力開発と環境政策	20
2.5 1980 年代の水力開発と環境政策	22
2.6 1990 年代から現在までの水力開発と環境政策	25
2.7 開発された水力発電所が実施した環境保全対策事例	32
第 3 章 開発と自然との共生事例	95
3.1 概要	97
3.2 実証プラント地点と発電設備概要	97
3.3 沖縄山原（ヤンバル）の自然特性	99
3.4 環境保全対策の実施工程	100
3.5 自然環境保全対策	102
3.6 他地点の環境保全対策への展開	128
第 4 章 希少猛禽類との共生事例	131
4.1 概要	131
4.2 工事概要	132
4.3 工事区域周辺の自然環境	134
4.4 貴重鳥類調査とイヌワシ 2 つがいの生息状況	135
4.5 環境方針の制定	138
4.6 イヌワシ保護を中心とした環境保全対策の実施	138
4.7 巣立ち時のイヌワシ幼鳥に対する順応的管理	141
4.8 湿地保全対策	151
4.9 迷入魚防止対策	152
4.10 建設副産物対策	155
4.11 環境管理システムと環境コミュニケーション	156
4.12 他地点の環境保全対策への展開	157

第 5 章 結 論	161
謝 辭	170

第 1 章 序論

1.1 研究の背景

人間生活を豊かにするため，社会資本整備をする土木事業の中で，水力開発は重要な施策である．河川にダム・水路・発電所などの構造物を築造して，水のもつ自然エネルギーをコントロールし，産業や生活に必要な電気を産み出す技術は 1878 年(明治 11 年)イギリスで開発された¹⁾．

電気がわが国に登場したのは 19 世紀後半（明治維新时期）であり，水力発電所が最初に造られたのは紡績業における自家用として 1888 年(明治 21 年)に建設された三居沢発電所であるという記録が残されている．また，1891 年(明治 24 年)，京都で琵琶湖疏水の落差を利用した蹴上水力発電所は，世界最初の一般営業用水力発電である²⁾．

わが国はモンスーン気候帯に属し，年平均降雨量約 1,800mm，地形は急峻で河川の落差が得やすいことから水力開発地点には比較的恵まれている．水力発電は単位出力あたりの費用が非常に安いため，その経済性が得やすく河川に落差さえあれば発電が可能という比較的開発しやすい発電方式である．

19 世紀後半（明治時代）はわが国の人口も少なく，まだ電気も普及し始めたばかりで，土木技術も発電技術も未成熟で，水力発電はまだ小規模であった．

20 世紀前半（大正～昭和初期）には，1936 年(昭和 11 年)に設立された米国の TVA（テネシー川流域開発公社）を参考にした河水統制事業により洪水調節・農業用水・水力発電などを目的とした多目的ダムが計画・建設され現在の河川総合開発事業が始まった．また，送電技術の発達により大容量の電力を遠距離まで送電することが可能となり，これに伴い水力発電規模も徐々に大きくなってきた．

第二次世界大戦後，ダムの建設技術が向上し，世界各地で大規模な水力開発が行われた．わが国でも戦後の復興をになうべく，1953 年(昭和 28 年)に天竜川中流部に高さ 155m の発電専用ダムが築造され，使用水量 306m³/s，最大 350,000 kW の発電を行う佐久間発電所の建設が着工された．この水力発電所は，わが国の戦後復興を進め，高度成長を図るべく電気エネルギーを多量に必要とした時代であったため，

短期間で建設する必要があった。そのため、米国から大型施工機械を導入し、3.5年で竣工した。

この佐久間発電所で採用された大型施工の技術を用いた大ダム中心の水力開発は全国各地で展開されたが、短期間での大規模開発は、従来の開発に比べ自然環境にあたえる負荷を増大させた。また、多量の電気エネルギーの供給により、重化学工業や社会資本整備が急速に進められ、その結果、自然環境に対しての負の影響として公害が発生した。

この公害対策として、1967年(昭和42年)に水質汚濁・騒音などに対し環境基準値が設定され、さらに深刻化する公害、環境汚染、自然破壊を一元的に取り扱うため、1971年(昭和46年)に環境庁が設置された。そして1972年(昭和47年)には公共事業を中心に「環境影響評価」(閣議了解)が実施され、1977年(昭和52年)には水力開発などの発電所建設に対しても「環境影響評価」(通産省省議決定)が実施されることになった。そして、それらが1984年(昭和59年)に国・地方で統一的な内容とした「環境影響評価」(閣議決定)に強化された。

以上のような環境政策が質的に向上したのは、オゾン層の破壊・地球の温暖化・酸性雨など新たに発生した地球環境問題に対処するため、1992年(平成4年)リオ・デジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議(地球サミット)」以降である。この会議では「持続可能な開発」の基本理念が世界の共通認識となった。

この地球環境問題に対処するため、わが国では、1993年(平成5年)「環境基本法」が制定され、環境アセスメントの実施が位置づけられ、1997年(平成9年)に環境影響評価法が法律第81号として成立した。また、生態系の重要な構成要素であり、自然環境の重要な一部として人類の豊かな生活に欠かすことのできない絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存を図り、良好な自然環境を保全し、現在および将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与することを目的として、1992年(平成4年)に法律第75号として「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」が制定された。

さらに、1997年(平成9年)には河川法が改正され、その目的として、環境の保全と整備が掲げられ、自然との共生の姿勢が打ち出された。したがって、水力開発も自然との共生が必然的に求められることにな

ってきた。

以上のように、環境政策の推移の中で、水力開発における自然環境保全対策は大きく変化してきた。現在、求められている水力開発と自然との共生は、過去に実施された水力開発に対する環境対策を踏まえ、創意工夫していく必要がある。

例えば

- ・ 沖縄海水揚水発電所（最大出力 30,000kW：1990 年（平成 2 年）～1999 年（平成 11 年） 沖縄県）
- ・ 奥只見・大鳥発電所増設（最大増出力 280,000kW：1999 年（平成 11 年）～2003 年（平成 15 年） 福島県）

の水力開発では、環境影響評価が厳格に行われ、環境影響評価法に先駆けて、実証を踏まえた自然環境保全対策が講じられた。

沖縄海水揚水発電所は、沖縄本島北部のヤンバルとよばれる自然豊かな地域での開発であり、ここではヤンバルクイナ・ノグチゲラなどの貴重動物保護や赤土流出防止対策、あるいは工事跡地の自然環境への復元などが実施された。

奥只見・大鳥増設発電所は越後三山只見国定公園内に位置し、工事区域近傍に国の天然記念物であるイヌワシやクマタカなどの希少猛禽類が生息していた。ここでは、希少猛禽類との共生、湿地環境の復元、迷入魚防止対策、廃棄物の再利用、環境マネジメントシステムの構築など環境全般にわたる保全対策が実施された。

また、1996 年（平成 8 年）～1999 年（平成 11 年）に湯之谷揚水発電計画（新潟県：最大出力 1,800,000kW）、高倉揚水発電計画（岐阜県・福井県：最大出力 1,600,000kW）の環境影響評価が実施され、両地点ともイヌワシをはじめとした貴重鳥類が生息する自然が豊かな地域であり、生物多様性の確保をめざした環境影響評価書が作成された。しかしながら湯之谷揚水発電計画は国や地方自治体の環境部門の審査を通過し、1997 年（平成 9 年）第 135 回電源開発調整審議会において、国の電源開発基本計画に組み込まれたが、その後の電力需要の低迷で実際の開発は見送られた。また、高倉揚水発電計画も環境部門の審査前に同様の理由で開発中止となっている。

以上のように「持続可能な開発」が求められるようになってから以降の水力開発において、「開発と自然環境との共生」をめざし、環境影

響評価書における保全対策の立案・策定，建設現場での実践が行われるようになっていく。

1.2 本研究の目的と本論文の構成

水力開発における自然環境保全対策は，時代の要請としての環境政策および環境技術の発達によって変化してきている。世界全体の発電設備容量は 4,370,000,000kW であり，このうち水力は約 20% の 870,000,000kW である¹⁾。わが国では全発電設備容量は 282,000,000kW であり²⁾，水力は 19 世紀後半以降，約 17% に相当する 48,000,000kW が開発されている²⁾。特に大規模水力開発は，1952 年(昭和 27 年)に制定された電源開発促進法を契機として飛躍的に推進された。

そこで，1950 年代～1990 年代に水力発電所建設で実施された具体的な環境対策を分析し，さらに 1990 年代の「持続可能な開発」として建設された沖縄海水揚水実証プラント建設工事および奥只見・大鳥発電所増設工事で実施された「自然環境との共生」をめざした環境保全対策について実証的に分析を行い，工学的・技術的に有効な手法を確立した。そして，水力開発の建設工事において自然との共生をめざす環境保全対策立案に必要なことは，建設工事周辺の自然条件（生態系や土壌など）を正確に把握し，当該事業関係者，関連者に周知させ，建設事業過程の客観性を高めることで，把握した自然特性に基づいて立案する環境保全対策を工学的に解決できる普遍的な方法を示した。

本研究の目的は，二酸化炭素を排出しないクリーンな再生可能エネルギーである水力発電を今後，積極的に開発する必要があることを踏まえて，建設技術の実例とともに，水力開発に伴う環境政策を十分考慮した技術的な解決策に貢献するに有効な手段を提言することである。

本論文は以下に示す内容で構成している。

第 1 章は序論で，本研究の背景，水力開発において自然環境保全対策に取り組んだ開発事例ならびに本研究の目的と構成について述べた。

第 2 章は水力開発における自然環境保全対策の推移について，各年代における水力開発状況と環境政策の関わり^{3),4)}を概説し，次に，各発

電所建設工事で実施された環境対策事例を分析し、該当期間の環境対策の課題を抽出した。

1950年代～1960年代は、戦後の復興を図るべく高度成長が本格的に開始され、急増する電力需要に対応するため、大規模貯水池式発電所や混合式揚水発電所の開発が全国各地で促進された。そして、ダム築造などで発生する濁水・濁水や水温低下など、河川水を生活の一部として利用している流域住民に直接影響が及んでいる事象を対象に、機能代替補償、金銭補償が行われた。すなわち、環境保全対策の段階には至っていなかった。

1970年代の自然環境保全対策は、影響発生源および自然生態を考慮した内容に変化してきた。すなわち、環境基準の導入により、水質では濁水処理設備の設置、騒音では低騒音型機器の導入、振動では火薬量の制限など発生源に対する対策がとられた。また構造物レイアウトや改変地修景緑化など、自然景観との調和が優先された。さらに、1970年代後半には環境影響調査制度（通産省省議決定）が開始され、統一された環境影響評価項目で保全対策がとられ、生態調査に基づく環境保全対策の立案、また、工事中モニタリングが実施された。しかし、導入初期段階であり、事業関係者間において共通認識ができる状況ではなかった。

1980年代の自然環境保全対策は、本格的な環境影響調査が実施され、改変面積の最小化、現存植生を考慮した緑化対策が行われた。また、水質・騒音・振動では、設備・施工両面における対策が行われ^{5),6)}、工事関係者には、環境教育が行われるようになった。さらに、流水の正常な機能を維持するために、河川維持流量が放流され、対策範囲も面的に拡がり、発電所の外観デザイン・色彩なども配慮されるようになった。このように環境保全対策は、生活環境を意識した産業優先時代から人と自然との調和へ、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。このように、技術者の意識の向上につながるようになってきたが、事業関連者までの共通認識ができる対策につながらなかったため、実証可能な対策までに至っていなかった。

1990年代は、地球サミットにより「持続可能な開発」が求められ、水力開発では「自然環境との共生」をめざし、生態系の維持・保存、

自然環境の復元・創造，廃棄物のリサイクル，また，地域と共生していく取り組みが試行されるようになってきた．そして，事業関係者・関連者の共通認識ができる対策がとられた事業では，実証可能な環境保全対策が可能となった．1997年（平成9年）6月に環境影響評価法が制定，1999年（平成11年）6月施行となり，発電所事業も同法に基づいて環境アセスメントを行うことになった．

第3章は，環境影響評価法に先駆けて実践した開発と自然との共生事例として，著者が携わった沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事で提案・実践した共生のための保全対策の考案・実施内容^{7)~9)}を説明し，工学的・技術的に有効な普遍性のある実証可能な環境保全対策について記述した．

1992年（平成4年）に開催された地球環境サミットや，1993年（平成5年）に締結された「生物多様性条約」を契機として，水力開発では，調査・設計から工事中・工事終了後に至るまで，「自然環境との共生」を目指した環境保全対策が実施されるようになってきた．

沖縄本島北部（「ヤンバル」）に位置する工事区域は，二次林または自然林であり自然度は高く，生物学上貴重な多くの固有種，固有亜種の動物が生息している．また，土壌は「赤土」と呼ばれる特殊土壌で，降雨により海域に流出しやすく，沈降するとサンゴの生息に影響をあたえる．このように生物多様性に富んだ自然豊かな沖縄ヤンバルで，環境保全対策を独自の方法で実施した．すなわち，工事着手前の保全対策として，ほとんど前例のない貴重動物の移動試験を行い，工事影響がない同様の生息環境に移動し保護したこと，また，万一，貴重動物が戻ってくるリスクを想定し，侵入防止柵，小動物の自力脱出を可能にした片側傾斜を有する側溝により生態を考慮した予防的保全対策を実施し効果をあげた．海域への赤土流出防止として，濁水量発生を低減させる対策，大量の濁水を貯留し処理するための大容量濁水貯留池の造成，沢からの流出を防ぐ土砂流出防止堰の設置など沖縄県内では初めての体系的な対策を実施し，赤土流失を未然に防止した．当地点での対策は，その後の沖縄県内の大規模工事に広がっていった．工事中の対策として，騒音・振動，水質の定期的な調査の他に，両生類・爬虫類，土壌動物，水生動物，サンゴ，鳥類の生態を考慮したモニタ

リング，晴天時および降雨時に対応できる濁水対策，赤土流出が発生しにくい緑化対策，工事関係者の環境保全の理解に向けた教育活動を考案・実施した．工事終了後の対策として，世界で初めて取り入れられた海水揚水発電の自然環境に与える影響を調査するための環境モニタリングを実施した．さらに，環境創生地として新しい環境の創出を考案・実施した．それらの実施が調査・分析の結果から自然環境への復元につながることを検証した．

第4章は，環境影響評価法に先駆けて実践した開発と希少猛禽類との共生事例として，筆者が携わった奥只見・大鳥発電所増設工事で，イヌワシとの共生を実践した保全対策の考案・実施内容¹⁰⁾を説明し，工学的・技術的に有効な普遍性のある実証可能な環境保全対策について記述した．すなわち，阿賀野川水系只見川上流部の奥只見・大鳥発電所増設工事区域周辺には，絶滅危惧種ⅠＢに指定されているイヌワシ2つがいおよびクマタカ1つがいの生息が確認されたため，これら希少猛禽類の生態調査を6年間継続し，その調査結果に基づき発電所設計を行い，環境保全対策を立案・実施した．特に，工事期間中，工事区域近傍のイヌワシつがいが2度にわたり繁殖に成功し，幼鳥が巣立った．そこで，飛翔能力が低い幼鳥の保護と工事の両立を図るため，ほとんど例がないイヌワシ幼鳥への順応的管理を実施し成功させた¹⁰⁾．環境保全対策を体系的にかつ確実にを行うために，希少猛禽類に対する保護対策実施状況などを発信するための環境コミュニケーションを図り，その評価を客観的に得ることができた．

具体的には，工事期間の制限を設け，イヌワシの営巣期である11月～6月は，営巣中心域（営巣地から半径1.2km）では，地上部工事および工事用道路の通行は行わないこととした．このため構造物の地下式化，既設構造物の有効利用，仮設備の営巣中心域外設置を行った．また，イヌワシが生息する周辺の自然生態を保全するため，発破・工事車両などへの騒音・振動対策，照明・色彩対策，水質保全対策を実施した．さらに，巣内育雛期には定期パトロールを行い，写真撮影者，ハシブトガラスなど外部の侵入からイヌワシ幼鳥を保護する対策を実施した．

このように，水力開発とイヌワシなど希少猛禽類との共生および湿

地復元，迷入魚防止，環境管理システムの導入など持続可能な開発を図るべく実施した環境保全対策の実証例を述べ，その工学的な成果・評価について記述した．

第 5 章は結論である．水力開発の建設工事において，未解明な部分が多い自然と共生するためには，工事区域周辺の自然条件を正確に把握し，科学的根拠に基づいて保全対策を立案・実施し，事業関係者（事業者，工事関係者）ならびに事業関連者（関係行政機関，専門家，市民）との共通認識ができる対策をとることによって，水力開発における環境保全対策の有効性が普遍的であること，およびハード・ソフト両面での対策，エコサイトモニタリング（専門家と協働しながら現場サイトで生態系を中心に行う一連のモニタリングおよびそのデータによる評価すること）を適切に組み合わせて実施することについて記述した．

すなわち，沖縄海水揚水実証プラント建設工事，奥只見・大鳥発電所増設工事で，環境影響評価法に先駆けて実施した環境保全対策から，①貴重動物の生態特性を考慮した予防的保全対策，②未知な自然現象を解明するための試験の実施，③イヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理，④自然の回復力を利用した生態系復元，⑤事業関連者との環境コミュニケーション，⑥工事関係者の環境教育活動，⑦日常的な環境パトロール，⑧エコサイトモニタリングによる的確な状況把握および対策への反映，科学的根拠の構築などの事例について考察し，これらから得られた結果から，自然と共生するための環境保全対策の工学的かつ技術的に有効な普遍性のある手法を示した．

－参考文献－

- 1) (社)海外電力調査会:海外諸国の電気事業 第2編 2010年;2010年.
- 2) 電気事業連合会統計委員会編:平成23年度電気事業便覧,(社)日本電気協会,2011年10月.
- 3) Toshio Komatsu, Hiroshi Gotoh, and Mitsuo Takezawa .
「 Environmental cost of hydropower plants 」 International Conference on Environmental Economics and Investment Assessment (Wessex Institute of Technology, The National Technical University of Athens), pp.157-166, 2006年9月13-15.
- 4) 小松俊夫, 竹沢三雄:水力発電と環境費用;土木学会第14回地球環境シンポジウム, pp.41-46,2006年8月.
- 5) Tokio Morimoto, Masayuki Hori, and Toshio Komatsu : Excavation by tunnel boring machine at headrace tunnel of small cross section ; VI Australian Tunnelling Conference, Melbourne, pp. 287-296, 1987年3月.
- 6) 森本時夫, 小松俊夫:早木戸発電所導水路トンネルのTBM施工;電力土木, No. 194, pp.45-56, 1985年1月.
- 7) Toshio Komatsu, Jun Sakata, and Mitsuo Takezawa : Environmental conservation measures for construction of a power plant ; International Conference on Environmental Exposure and Health (Wessex Institute of Technology, Georgia Institute of Technology), pp.389-398, 2005年10月.
- 8) Toshio Komatsu, Jun Sakata, and Mitsuo Takezawa : Environmental conservation measures in construction of a power plant ; PACON2004 (20th Anniversary) CST-8A , Coastal Environmental Problem, 2004年6月.
- 9) 小松俊夫, 坂田淳, 小松明子:沖縄海水揚水発電技術実証試験パイロットプラント建設工事における自然環境保全対策について;電力土木, No. 254, pp. 41-50, 1994年11月.
- 10) 小松俊夫, 鳥羽瀬孝臣, 橋本長幸, 西川和也:建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例;土木学会論文集 N0.811/VII-38, pp. 23-35, 2006年2月.

第 2 章 水力開発における自然環境保全対策の推移

わが国の水力開発は 1890 年代（明治中期）から開始され、その折々の時代の要請を踏まえ、事業用水力は表－2.1 年代別開発状況に示すように約 120 年間に亘り、約 1,900 地点 49,000,000kW の開発が行われてきた。現在の事業用水力開発は 1952 年（昭和 27 年）に公布された電源開発促進法によって、一般電気事業者である 9 電力会社（北海道、東北、東京、北陸、中部、関西、中国、四国および九州）と、卸電気事業者である電源開発株式会社、および都道府県公営企業局の体制で実施されている。

水力開発における環境保全対策は、発電放流水の冷水温対策や水質汚濁防止などから始まり、生物多様性の保全に至るように、国の環境政策によるところが大きい^{1),2)}。

環境政策は、経済成長に伴い発生してきた公害や各種の環境問題など、その時代の社会要請に対応すべく推移してきた。特に 1980 年代以降、人間生活の影響による地球規模の環境問題が人類共通の課題となり、環境政策は 1992 年（平成 4 年）リオ・デ・ジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」を契機に大きな転換期を迎えた。

本章では、2.1 節から 2.6 節において、水力が開発された 19 世紀後半から現在に至るまで、各年代における水力開発と環境政策の推移について考察し、2.7 節では、現開発体制になった 1950 年代以降に実施された環境対策事例を分析する。

表-2.1 年代別開発状況

発電方式		一般水力式				混合揚水式				純揚水式			合 計
運転開始年	年数	地点数	出力 (10 ³ kW)	年間平均 開発電量 (10 ³ kW)	1地点当り 平均開発電規 模	地点数	出力 (10 ³ kW)	地点数	1地点当り 平均開発電規 模	地点数	出力 (10 ³ kW)	1地点当り 平均開発電規 模	
1891 (明24)	11	15	18	2	1.2								18
1902 (明35)	10	73	199	20	2.7								199
1912 (大1)	15	484	2,178	145	4.5								2,178
1927 (昭2)	25	439	4,758	190	10.8	1	2	2					4,760
1952 (昭27)	10	321	6,384	638	19.9	2	62	31		1	44	44.0	6,490
1962 (昭37)	10	192	3,456	346	18	12	2,570	214.2		2	716	358.0	6,742
1972 (昭47)	10	80	2,307	231	28.8	4	2,893	723.3		7	5,308	758.3	10,508
1982 (昭57)	10	128	1,374	137	10.7					7	5,910	844.3	7,284
1992 (平4)	10	92	722	72	7.8	1	200	200		7	8,212	1,173.1	9,134
2002 (平14)	10	31	432	43	13.9					2	1,670	835.0	2,102
合 計	121	1,855	21,828	180	11.8	20	5,727	286		26	21,860	840.8	49,415

本表は、下記の文献より作成した。

- ・1891年～1981年：資源エネルギー庁「第5次包蔵水力調査報告書（資料編）」1988年
- ・1982年～2001年：資源エネルギー庁電力・ガス事業部編 昭和58年度～平成14年度「電源開発の概要－その計画と基礎資料－」奥村印刷(株)
- ・2002年～2011年：「電力新設備要覧」日刊電気通信社

2.1 19 世紀後半から 20 世紀前半（明治維新から第二次世界大戦まで）の水力開発と環境政策

19 世紀後半（明治中期）におけるわが国の産業動力は水車・人力・汽力であったが，1880 年代後半になると，主要都市で電灯需要が急速に増加してきた．当時電灯は，すべて石炭を燃料とした汽力発電であったが，内陸部では，交通が不便で石炭輸送に費用がかかったため，水力電源地帯に近い地方都市から殖産興業用として水力開発が始まった．

日本における水力発電は，紡績業自家発電用として 1888 年（明治 21 年）三居沢発電所（宮城県：5 kW）が始まりとされており³⁾，1890 年（明治 23 年）には鉱山業として足尾銅山間藤発電所（栃木県）が開発され，その後，殖産興業用として出力が数百 kW 程度の小規模な水力発電所が日本各地で開発された．

一般電気事業用としては，1891 年（明治 24 年）に京都市が琵琶湖疏水を利用した蹴上発電所（160 kW）が始まりとされている⁴⁾．当発電所は設計上，高い煙突状のサージタンクを必要としたが，市内の煙突をなくす方針だった市当局に拒否されたため，水車调速機作動時間や速度調整率で工夫した．この取り組みは水力発電における環境対策の先駆けといわれている⁵⁾．

日清戦争(1894 年～1895 年)・日露戦争(1904 年～1905 年)を経て，日本の工業化が促進され，工場動力も蒸気力から電力へと転換される動力革命が進展した．また，一般家庭へ電灯が普及し，電気市場は拡大した．

1899 年（明治 32 年）広発電所（広島県：750kW），沼上発電所（福島県 300 kW）において高電圧で長距離送電が始まると，地方都市への電灯供給を目的として多数の電気事業者が誕生した．さらに，1907 年（明治 40 年）駒橋発電所（山梨県：15,000 kW）の完成を契機として，使用電圧が高められ，送電距離が延長されて，遠隔地大型水力開発が本格化した．この結果，出力規模が数万 kW の発電所開発が行われるようになり，1911 年（明治 44 年）には火主水従から水主火従に電力事業が転換した．

第 1 次世界大戦（1914 年～1918 年）期に産業用電力の需要が増大し，長距離送電による大規模水力の開発が可能となったことから，日本各地で水力開発が活発に行われた．1914 年（大正 3 年）に竣工した猪苗代第一発電所（福島県：37,500 kW）は，日本初の送電圧 115kV で東京まで 225.3km の送電に成功した．

発電方式も従来は水路式であったが、ダム式やダム水路式が採用されるようになり、また、使用水量も渇水量（年間 355 日流量）程度から平水量（年間 180 日流量）程度まで拡大される傾向となってきた。1918 年（大正 7 年）野花南発電所（北海道：5,100 kW）は、日本で最初のダム式の水力発電所であり、1924 年（大正 13 年）には大井発電所（木曽川：ダム水路式 42,900 kW）が、わが国初のダム高 53m を有する本格的ダム式水力発電所として建設された。

これらを契機として 1920 年代中期（大正末期）から出力規模数万 kW の大容量水力開発が全国で行われた。この結果、大正期間では、484 地点において、2,178,000kW の水力発電の開発量となった。

昭和初期から第二次世界大戦前までは使用水量を平水量程度とする開発が継続され、各地で水路式に加え、ダム式・ダム水路式による発電所が相次いで建設された。1934 年（昭和 9 年）には日本初の揚水式発電として池尻川発電所（関川：2,340 kW）が運転開始した。また、水力技術の進展に伴い、1931 年（昭和 6 年）に当時世界最高の落差 621.1m を有する小口川第三発電所（富山県：14,000 kW）が運転開始した。

一方、1920 年代初期に、大都市への人口集中や産業活動の進展に伴って、上水道水や工業用水など新しい水需要が発生し、利水用の高ダムが建設されるようになってきた。また河川流域の土地の高度化利用によりダムによる洪水防御の考えが登場し、利水と治水の整合性を図る河水統制の思想が提唱され始めた。そして高ダムを利用して、河川を治水・利水両面から総合的に開発しようとする河水統制事業に基づく地点調査および計画検討が、1940 年代前後から第二次世界大戦に至るまで進められた。

第二次世界大戦中は、日本政府が電力を管理することとなり、日本の各地で数万 kW 規模の発電所が多数開発された。この期間は 439 地点 4,758,000kW の水力発電の開発が行われた。

19 世紀後半から 20 世紀前半は、わが国が欧米の技術を導入し、近代化をめざして工業化を急速におし進めた一方で、有効な公害対策や環境政策も存在していなかった時期であった⁶⁾。

19 世紀後半、政府は、鉱山、紡績、セメント、製鉄など近代産業の保護・育成に力を注いだが、それまで進められてきた鉱山開発で鉱山排水（鉱毒）や鉱山排煙（鉱煙）が発生し、別子銅山、足尾銅山、日立鉱山などの周辺

地域では、農林業や漁業に深刻な被害が生じた。特に足尾鉍毒事件は「公害の歴史の原点は明治の足尾銅山の公害と田中正造の公害反対運動であるというのが定説である。」⁷⁾といわれているように、わが国の環境問題の代表例となるものであった。

日露戦争（1904 年～1905 年）以降、第二次世界大戦（1941 年～45 年）に至るまで、わが国は工業立国をめざし、その動力源としての石炭の使用は、ばい煙による汚染をしだいに著しくし、東京・大阪・名古屋など工業化が進んだ地域では、工場による大気汚染が問題となった。また、工場からの汚水による水質悪化問題などが拡大した。

この時期の環境政策は、足尾鉍毒問題、別子煙害問題を受けて、政府は 1905 年（明治 38 年）「鉍業法」、1916 年（大正 5 年）「工場法」を公布・施行した。しかし、なかなか有効な公害対策になりえず、特に、工場からのばい煙対策は、第二次世界大戦の激化とともに顧みられなくなった。

また、自然保護の分野では、江戸時代の鳥獣保護政策や森林保全政策は、明治維新以降、狩猟の大衆化や開墾による森林乱伐などにより瓦解し⁸⁾、大型の鳥獣の生息数が激減した。そのため、政府は、天然記念物制度を開始（1919 年）し、国立公園法を成立（1931 年）させ、貴重な自然を守るための制度が開始された。しかしながら、第二次世界大戦の戦時下において森林の過剰伐採など自然への圧力も急増した。森林の荒廃は、自然災害を急増させたほか、野生生物へも影響をあたえた。

2.2 1950 年代の水力開発と環境政策

1952 年(昭和 27 年)～1961 年（昭和 36 年）の 10 年間では、表－2.1 に示すとおり一般水力では 321 地点 6,380,000kW の開発が行われ、年間平均開発量が 640,000kW となり、水力開発史上最大の開発量となった。

戦後の急増する電力需要に対処するには、電源開発の量的確保が必要であり、日本の国家的見地に基づく大規模電源開発の早期着工が要望された。そして、1952 年(昭和 27 年)に「すみやかに電源開発及び送電変電施設の整備を行うことにより、電気の供給を増加し、もってわが国産業の振興及び発展に寄与する」（第 1 条）⁹⁾ことを目的として、電源開発促進法が公布された。そして定められた地点の電源開発をすみやかに行うため、1952 年(昭和 27 年)9 月に電源開発株式会社が設立され、豊富で貴重な水力資源を有効に活用するため、貯水池式あるいは調整池式発電所の開発が進められ

た．この結果，1952 年(昭和 27 年)～1956 年(昭和 31 年)の 5 年間で，156 地点約 2,700,000kW の開発量となった．

この時期に開発された主な発電所は表－2.2.1 のとおり¹⁰⁾であり，電源開発(株)による佐久間発電所は大規模水力開発の先駆けとなった．写真－2.2.1 に大型土木機械施工の嚆矢である佐久間ダムを示す．

表－2.2.1 1952 年～56 年に開発された主な発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水 量(m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
丸山	125	186	80.7	1954.4	関西電力
上椎葉	90	73	144.0	1955.5	九州電力
佐久間	350	306	133.49	1956.4	電源開発

(出典：水力技術百年史)



写真－2.2.1 佐久間ダム

(写真提供：J-POWER[電源開発(株)])

1950 年代半ばから 1960 年代にかけて，神武景気や岩戸景気により，わが国資本主義の高度成長が本格的に開始され，電力需要も急増した．これに対応するため建設期間が水力よりは短期で，規模によるコストメリットを有する高能率大容量火力発電所の開発が促進されることになった．

火力発電所は設備の特性上，負荷の変動に対する即応性に乏しく，また，設備が大容量化するにしたがって万一の事故の場合，送電系統への影響が甚大になる．一方，水力開発における貯水池は，電気エネルギーを水のかたちで備蓄できる特性がある．そこで水力はピーク供給力としての新しい役割をになうことになり，大容量火力と見合った大規模貯水池式発電所の

開発が促進されることになった。

水力開発規模の決定にあたっては、当初は kWh 当たり最低コストとなる豊水量（年間 95 日流量）程度，あるいは常時出力の 3 倍（8 時間ピーク）程度が標準であった。しかし，大容量火力との経済性比較から，費用便益法（C/V 手法）を用いて，便益が最大の点で最経済的規模とする考え方がとられるようになった。

この時期は設計，施工技術の発達によって，高さ 100m 以上のコンクリート式ダムやロックフィル式ダムによる大規模貯水池・調整池式およびそれに連なる大型の流込み式発電の開発が全国各地で展開された。この結果，1957 年（昭和 32 年）～1961 年（昭和 36 年）の 5 年間では 165 地点 3,660,000kW が開発された。

この時期に開発された主な発電所は表－2.2.2 のとおり¹⁰⁾である。写真－2.2.2 に，大規模ロックフィルダムの先駆けとなった御母衣ダムを示す。

表－2.2.2 1957 年～61 年に開発された主な発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水 量(m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
田子倉	380	420	105.0	1959.5	電源開発
和田川第二	122	32.2	458.42	1959.6	北陸電力
奥只見	360	249	170.0	1960.12	電源開発
御母衣	215	130	192.1	1961.1	〃
黒部川第四	154	72	545.5	1961.1	関西電力

（出典：水力技術百年史）



写真－2.2.2 御母衣ダム

（写真提供：J-POWER[電源開発㈱]）

1950年代は神武景気(1955年～1957年)および岩戸景気(1958年～1961年)により、戦後のわが国資本主義の高度成長が本格的に開始した時期であった。また、各地で公害被害が顕在化するようになり、ようやく国レベルでの公害防止対策が検討されることになる。しかし、公害対策は、経済成長を重視する意見に押され、なかなか進捗しない時期であった。

1950年代の所得倍增計画に合わせ、生産過程では技術革新が進行し、技術導入による合理化が急速に進展した。産業構造は、鉄鋼業・機械工業・自動車工業・石油化学工業などの重化学工業中心の構造へと高度化し、各地で工業地域の開発が進んだ。公共投資は、鉄道・道路・港湾建設、工場用地・工業用水の整備などの産業基盤整備に振り向けられたが、下水道・廃棄物処理・都市公園などの生活関連環境整備への予算配分は乏しいものであった。

このような産業構造および経済優先の状況の中で環境汚染物質が増大し、また、環境対策技術の遅れと公害問題に対する認識の不足から、各地で水質汚濁や大気汚染等の産業公害が深刻化していった。

すなわち、工場排水による水質汚濁により1955年(昭和30年)頃から「イタイイタイ病」、「水俣病」が問題となり、1958年(昭和33年)には江戸川にある製紙工場からの排水により、東京湾河口周辺で魚や貝が大量に死滅する事件が起きた。また、1960年(昭和35年)には政府方針で建設された東洋最大の四日市石油化学コンビナートからの大気汚染により「四日市ぜんそく」が発生した。

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たことにより自然破壊が進行した。

これらの事態に対応するため、政府は環境・公害に関する法律を制定し、その対策を開始した。すなわち、

1957年(昭和32年)「自然公園法」、

1958年(昭和33年)「公共用水域の水質の保全に関する法律」(水質保全法)、

「工場排水等の規制に関する法律」(工場排水規制法)、

1962年(昭和37年)「ばい煙の排出の規制等に関する法律」(ばい煙規制法)、

1963年(昭和38年)「鳥獣保護及狩猟ニ関スル法律」(鳥獣保護法)

などである。

2.3 1960年代の水力開発と環境政策

ベース供給力としての大容量火力発電の急速な進展に対し、ピーク供給大規模貯水池式発電に加えて揚水式発電の開発が要請されるようになった。

日本で最初の揚水式発電所は、1934年(昭和9年)に運転開始した池尻川発電所(出力2,300kW)であるが、当時は豊水期の余剰水力を利用して揚水し、渇水期にその貯えられた水を利用して発電するという河水の季節調整を目的としたものであり、その当時は開発地点も少なかった。1960年代に入り、上述した揚水発電の開発要請をうけ、上部貯水池(上池)の河水の流量も多く、一般水力としても発電可能な混合揚水式発電所が多く建設され、1960年代において12地点2,570,000kWが開発された。1962年から1971年までに開発された主な混合揚水式発電所は表-2.3.1のとおり¹⁾である。写真-2.3.1にアーチダムとしては国内最大級の池原ダムを示す。一方、高能率大容量火力発電所の開発が急ピッチで進められた結果、1964年(昭和39年)には火力設備が水力設備を上回り、1911年(明治44年)から続いていた水主火従は火主水従に転換された。

表-2.3.1 1962年～1971年に開発された主要な混合揚水式発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水 量(m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
池原	350	342	120.5	1966.9	電源開発
八木沢	240	300	93.5	1967.8	東京電力
高根第一	340	300	135.0	1969.11	中部電力
安曇	623	180	135.8	1970.8.	東京電力

(出典：電気事業便覧)



写真-2.3.1 池原ダム

(写真提供：J-POWER[電源開発(株)])

1960年代は、産業の発展と共に公害問題が激化し、日本各地で公害反対運動が展開され、政府は「公害対策基本法」を制定し、環境基準値の導入や各種の公害関係法律の整備を進めた。

1965年（昭和40年）から1970年（昭和45年）の「いざなぎ景気」によりわが国の経済力は著しく高まり、1968年（昭和43年）の国民総生産は、アメリカに次ぐ第2位の経済規模に達した。そして、技術革新により品質向上・価格低下・規模拡大が相互作用し、大型投資でスケールメリットが追及された。家庭電器はカラーテレビ・クーラー・カーの3C時代に入り、国民生活は平準化し大衆消費社会が展開していった。重化学工業も資本自由化をひかえて大型合併が進み、また、モータリゼーション化が急速に進んだ。しかし、物の豊かさが増大する一方で、公害問題が深刻化していった。日本の各地で公害反対運動が活発化し、1967年（昭和42年）から1969年（昭和44年）にかけて新潟水俣病、四日市ぜんそく、イタイイタイ病、熊本水俣病について訴訟が起こされた。

従来の公害対策は対症療法的で、規制措置も後追いの的なものであったことから、政府は、公害対策にかかる基本法の制定が必要となり、次のような公害関連法規の整備が進められた。

すなわち、1967年（昭和42年）に「公害対策基本法」が制定され、環境行政を計画的、総合的に推進することにし、公害を、大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、地盤沈下、悪臭の6つの典型公害と定義した。そして、これに対する事業者、国や地方公共団体、住民の責務を明らかにした。すなわち、直接その責務を負うのは、発生源者としての事業者であり、国や地方公共団体は、公害防止に関する施策を策定し、実施する責務があり、住民は、その施策に協力する責務があるとした。また、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音の4つの公害に対して環境基準値（生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準）が導入された。

さらに、公害から人の健康を保護し、生活環境を保全するという公害対策基本法の目的を実施するために、個別の規制法を相次いで制定、整備し、公害の発生源規制強化を図った。例えば1968年(昭和43年)に、ばい煙規制法に代わって「大気汚染防止法」、規制のなかった騒音には「騒音規制法」が制定された。

2.4 1970年代の水力開発と環境政策

表－2.1で示すように，一般水力の年間平均開発量は1950年代640,000kW，1960年代350,000kWであり，次第に減少していった．これは大規模で経済性のある良好な地点が枯渇するとともに，立地の難航も加わってきたのが原因であった．そして1970年代の一般水力の開発量は80地点2,300,000kWで，年間平均開発量は230,000kWとなった．

一方，1968年(昭和43年)を境にして，電力需要量の年間ピークが冬から夏に移行した．これは家庭用クーラー，ビルなどの冷房空調設備の急速な普及により冷房需要量が急増したことが要因となっている．この傾向は年をおって顕著になるとともに，夏期の電力需要量ピークは，ますます尖鋭化していった．電力需要量の急増に対応するため大型火力発電所の建設が進む中で，尖鋭化するピークに対し，新たに大規模な揚水式発電所の開発が要請された．

電力需要量のピーク対応供給力として，1960年代には混合式揚水発電所の開発が進められたが，1970年代から経済的な地点が少なくなってきた．その結果，上池への河水流入が全くないか，極めて少ない流入量でも発電可能な純揚水式発電所が建設されるようになった．すなわち，水圧鉄管，水車ポンプの技術や経済性の向上により，落差が500m以上の超高落差の純揚水式発電所の開発が進められた．そして，1970年代には混合揚水4地点2,890,000kW，純揚水7地点5,300,000kWの電力が開発された．

この時期に開発された主な混合・純揚水式発電所は表－2.4.1のとおり¹¹⁾である．写真－2.4.1に高落差揚水発電先駆の沼原発電所調整池を示す．

表－2.4.1 1972年～81年に開発された主な混合・純揚水式発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水量 (m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
新豊根(混)	1,125	645	203.0	1973.10	電源開発
沼原	675	172.5	478.0	1973.11	〃
奥多々良木	1,212	376	383.4	1975.6	関西電力
奥吉野	1,206	288	505.0	1980.4	〃
奥矢作第一	315	234	161.3	1981.2	中部電力
同 第二	780	234	404.4	1981.2	〃

* (混)は混合揚水発電所である． (出典：電気事業便覧)



写真－2.4.1 沼原発電所調整池

(写真提供：J-POWER[電源開発㈱])

1970年代前半は「公害国会」や「環境庁」の設置などにより公害対策に一定の成果があげられた。しかし、1970年代後半は、二度にわたる石油危機に伴う景気後退で環境行政への関心が急速に薄くなり、公害対策の停滞時期であった。

すなわち、1973年(昭和48年)および1979年(昭和54年)に発生した石油危機によって、日本経済は物価の急騰、戦後初めてのマイナス成長、経常収支の赤字の悪影響を被った。この二度にわたる石油危機を乗り越える過程で、日本経済の進路は高度成長から安定成長へと変化した。石油燃料を大量に消費する重厚長大産業の競争力は大きく低下し、これに代わって省資源・省エネルギーで高加工度の軽薄短小産業へと産業構造はシフトしていった。その中で、情報通信技術の発達は経済社会のあらゆる分野にその影響を及ぼしていった。さらに、産業活動の高度化が進み、新たな商品が生まれ、国民生活の質的ニーズが高まり、消費生活のサービス化・ソフト化が進んだ。また、商品貿易以外の分野でも国際的な移動が高まっていった。

1960年代に公害対策基本法および公害防止関連法律が制定されたにもかかわらず、これらの対策は経済の急速な発展と汚染の増加に追いつかず、公害問題はますます悪化していった。これに対処するため1970年(昭和45年)には内閣総理大臣を本部長とする「公害対策本部」が設置された。さらに同年11月～12月に開催された第64回臨時国会では公害対策基本法にあった「経済と調和条項」を削除し、生活環境優先の考え方を明確にす

るとともに、公害の定義に土壤汚染を追加した。また、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」を制定し、廃棄物に関する事業者の責務や施設整備が規定された。この他にも公害に関する 13 法案が審議・成立し、公害規制が抜本的に強化された。

公害行政は各省庁にまたがって実施されていたが、公害・環境問題を一元的に扱い、環境行政を効果的に実施していくため、1971 年（昭和 46 年）7 月に「環境庁」が設置された。環境庁設置後、環境政策は大きな進展をみた。

すなわち、大気汚染、水質汚濁、土壤汚染および騒音に設定した環境基準を達成するために数々の規制が実施され、また、全国各地の自然破壊に対応するため、1972 年（昭和 47 年）に「自然環境保全法」が制定された。さらに、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、1972 年（昭和 47 年）に「各種公共事業に係わる環境保全対策について」の閣議了解が行われた。

そして、公共事業を中心に環境影響評価が義務付けられたことにより、「公有水面埋立法」、「港湾法」などの法律が一部改正されるとともに、本四連絡架橋など大規模プロジェクトでは、環境アセスメントの手法が用いられた。地方公共団体においても条例、要綱などが制定され、環境影響評価の経験が積み重ねられた。

また、環境への影響の大きい発電所の立地についても、1977 年（昭和 52 年）7 月通商産業省通達「発電所の立地に対する環境影響調査及び環境審査の強化について」（通産省省議アセスという）および 1979 年（昭和 54 年）6 月資源エネルギー庁通達「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」などによりアセスメントが実施されることになった。

2.5 1980 年代の水力開発と環境政策

1973 年（昭和 48 年）および 1979 年（昭和 54 年）の 2 度にわたる石油危機により、日本政府は石油依存度の高い電力供給構造を改革するため、1980 年（昭和 55 年）から「石油代替エネルギーの開発および導入の促進に関する法律」を施行した。

一般水力の開発は停滞していたが、この法律の中で水力は非枯渇性の国産エネルギーとして位置づけられた。大規模な開発地点が少なく、数千～数万 kW の中小規模の開発が中心となり、スケールメリットが得られにく

くなることから，日本政府も交付金制度の確立，中小水力用の技術開発など各種の開発促進体制の整備を開始した．この結果，1980年代には一般水力 128 地点 1,370,000kW が開発され，1 地点当たりの平均開発規模は 10,000kW となった．

一方，脱石油化の中で石油代替エネルギーとして原子力発電や天然ガス発電の増強が進められた．そして電力需要量が尖鋭化する夏期のピークに対応するため，1,000,000kW 級の大規模な純揚水式発電所の開発が 1970 年代から引き続き進められることになった．

この時期に開発された主な純揚水式発電所は表－2.5.1 のとおり¹⁾である．

写真－2.5.1 に高落差大規模揚水発電所である奥清津発電所を示す．

表－2.5.1 1982 年～91 年に開発された主な純揚水式発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水 量(m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
奥清津	1,000	260	470.0	1982.7	電源開発
本川	600	140	528.4	1984.6	四国電力
玉原	1,200	276	518.0	1986.7	東京電力
下郷	1,000	314	387.0	1991.6	電源開発
今市	1,050	240	524.0	1991.12	東京電力

(出典：電気事業便覧)



写真－2.5.1 奥清津発電所

(写真提供：J-POWER[電源開発㈱])

1980 年代前半は、環境行政の停滞が続いたが、1980 年代後半になって、地球温暖化など地球環境問題への国際的な取り組みが開始された。

1980 年代前半の日本経済は、高金利とドル高、原油高、それらによる先進諸国経済の低迷という要因に大きな影響を受けたが、1985 年(昭和 60 年)9 月のプラザ合意以降、急速なドル高修正が始まり、金融緩和も先進各国で行われ、日本経済も大きな影響を受けた。しかし、1980 年代後半になると円高の影響から情報通信分野を中心に急速に技術革新が進められ、製品の多様化・高付加価値化など、さまざまな対応がなされた。また、円高の進展に伴い、大型カラーTV、高級乗用車など高額耐久財を中心とした消費の高級化の動きが活発となり、地価・株価が上昇していくにつれて資産価値の著しい上昇期待が実現された。

1970 年代から国・地方公共団体は、閣議了解やそれぞれの条例・要綱による環境影響評価を実施してきたが、これらの制度は、統一的な内容となっておらず、また、評価手順などが十分整備されていないものがあり、1980 年代になって、国・地方を通じて、統一的な手続きに基づく制度を確立する必要性が高まってきた。そこで政府は 1981 年(昭和 56 年)に「環境影響評価法案」を国会に提出したが、1983 年(昭和 58 年)審議未了・廃案となった。このため 1984 年(昭和 59 年)8 月に「環境影響評価の実施について」の閣議決定が行われ、国が実施し、または許認可などで関与する大規模な 11 事業を対象に環境影響評価（閣議アセスという）を行うことになった。すなわち、

- ①道路 ②ダム・河川工事 ③鉄道 ④飛行場 ⑤埋立・干拓
- ⑥土地区画整理事業 ⑦新住宅市街地開発事業 ⑧工業団地造成事業
- ⑨新都市基盤整備事業 ⑩流通業務団地造成事業 ⑪特殊法人による土地造成

などである。しかし、この中で、発電事業は除外された。これは、発電事業は環境影響評価が法制化されると電源立地が遅れ、経済成長に影響が生じることを懸念した経済界を中心とした反対によるものであったが、1977 年(昭和 52 年)7 月の通商産業省通達「発電所の立地に対する環境影響調査及び環境審査の強化について」（通産省省議アセス）に基づいて、実質的な環境影響評価が引き続き行われた。

一方、わが国は 1980 年（昭和 55 年）にワシントン条約（絶滅のおそれのある野生動植物の国際取引に関する条約）に批准していたが、1980 年代

後半になると不法に輸入された希少野生動植物の扱いに対して非難決議を受けた。そのため、1987年（昭和62年）に「絶滅のおそれのある野生動植物の譲渡の規制等に関する法律」が制定された。またオゾン層を破壊する物質に関するモントリオール決議書を受け、1988年（昭和63年）に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」を制定した。さらに同年、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）に加入するなど、地球温暖化に関する国際的な取組みが本格化した。

2.6 1990年代から現在までの水力開発と環境政策

1980年代以降、一般水力は、日本の国産循環エネルギーとして日本政府のエネルギー政策に位置づけられ、一定量の供給目標が掲げられるようになった。このため、多目的ダムへの発電参加や維持流量発電など中小規模の開発が進められた。

近年では、地球温暖化防止対策としてクリーンな再生可能エネルギーとして位置づけられ、2003年（平成15年）に施行された「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」（RPS法）により、出力1000kW以下の中小水力発電が新エネルギーに含まれることになり、農業用水・水道用水などを利用した数十～数百kW程度の開発が行われるようになった。また、電力会社においても既設水力の有効利用の観点から、老朽化した水車発電機の更新に伴う出力向上などの工夫も行われている。特に2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所事故により、ますます再生可能エネルギー開発の要請が高まってきており、中小規模ではあるが、熟成された技術力を有している水力開発の促進が求められている。1992年（平成4年）～2011年（平成23年）における一般水力の開発量は、123地点 1,150,000kW となっている。

一方、揚水式発電は、1980年代に計画されたプロジェクトが次々と運転を開始し、1990年代の開発量は7地点 8,200,000kW となった。しかし、2000年代に入ると、バブル景気崩壊により電力需要も低迷し、各電気事業者で策定されていた揚水発電計画を中止する事例が相次いだ。この結果、2000年代では2地点 1,700,000kW の開発量となった。1990年代から現在までに開発された主な揚水式発電所は表-2.6.1のとおり¹¹⁾である。

表－2.6.1 1992年～2011年に開発された主な純揚水式発電所

発電所名	最大出力 (10 ³ kW)	最大使用水 量(m ³ /s)	有効落差 (m)	運転開始年	事業者
塩原	900	324	338.0	1995.6	東京電力
大河内	1,280	382	394.7	1995.6	関西電力
奥美濃	1,500	375	485.8	1995.11	中部電力
俣野川	1,200	300	489.0	1996.4	中国電力
奥清津第二	600	154	470.0	1996.5	電源開発
葛野川	800*	140	714.0	2000.6	東京電力

* 全設備出力 1,800×10³kW のうち、一部運転開始（出典：電気事業便覧）

1992年（平成4年）に開催された地球サミットにより「持続可能な開発」が国際的に共通な概念となり、わが国の環境政策も大きな転換期を迎えた。これを受けて環境基本法・環境影響評価法が制定され、自然環境保全も従来の「自然保護」から「生物多様性の保全」へと広がった。また、同時期に水力開発を許認可する河川法も改正され、環境保全への対策が一層強く求められるようになった。近年の水力開発における環境保全対策は、これらの環境施策に基づいて行われている。

1990年代に入ると、日本経済は長期的な低迷状態に陥った。そのきっかけは資産価格の大幅な下落であった。1980年代後半に高騰した地価・株価は1990年代に入ると一転し、株価は1989年（平成元年）末をピークに下落し、地価も1991年（平成3年）から下落に転じた。その影響がさまざまな形で現れ、日本経済はバブルをともなった好況の後始末に追われることになった。金融機関の相次ぐ破綻は、金融システムの健全な運営を困難にした。個人の消費性向は低くなり設備投資も冷え込んだ。国内市場の停滞は、海外市場への期待を大きくした。アジア地域の労賃コストの低さや製品市場としての大きさから、東アジアや中国への直接投資の拡大が進み、国内産業の空洞化が生じた。

バブル崩壊後の長い平成不況のなかで、政府は大型の景気対策を講じてきたが、公共事業中心の景気対策は、その有効性を失いつつあった。2002年（平成14年）から2008年（平成20年）まで、緩慢な景気回復が続いたが、景気後退局面に入ったところで世界金融危機に直面し、日本経済は、マイ

ナス成長に陥った。その後、ようやく回復に向かいつつあった日本経済は 2011 年(平成 23 年)3 月 11 日に東日本大震災に見舞われた。これによる東京電力福島第一原子力発電所事故で、原子力発電に依存しないエネルギー政策への転換を図っている。

第二次世界大戦後、先進国を中心とした経済の急激な拡大、資源とエネルギーの大量消費、開発途上国を中心とした貧困と爆発的な人口の急増および都市への集中、さらには国際的な相互依存関係の拡大などを背景にして地球環境問題が発生してきた。地球環境問題とは地球規模での環境汚染や環境破壊であり、具体的にはオゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化、開発途上国の公害問題、野生生物種の減少、海洋汚染、有害廃棄物の越境移動である¹²⁾。

地球環境問題が取り上げられたのは 1972 年(昭和 47 年)ストックホルムで開催された「国連人間環境会議」が最初である。第二次世界大戦後、先進国では飛躍的な経済成長を遂げたが、環境破壊や汚染が新たな社会問題となり、環境保護運動が展開された。一方、開発途上国では人口急増に伴う農地拡大などにより自然環境破壊が急速に進んだ。このように先進国と開発途上国ではさまざまな立場から「環境か開発か」が議論され、この議論の中で国連を中心として環境と開発の両立という概念が現れてきた。この国連人間環境会議では自然環境の保護だけでなく、政治、社会、経済問題と環境の関わりが政府間で話しあわれ、環境破壊が人類の生存を脅かす重大な問題であるとする合意がなされた。そしてこの会議で、「人間環境宣言」が採択され、「環境権」の考え方が明確に根拠づけられた。なお、この会議を受けて 1973 年(昭和 48 年)に「絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約(ワシントン条約)」が採択された。

その後 1984 年(昭和 59 年)に開催された「ブルントラント委員会」では、それまで対立的にとらえられてきた環境と開発を融合する試みが行われるとともに、「将来の世代の必要を満たしつつ、現在の世代の必要も満足させる開発」とする「持続可能な開発」の概念が提示された。

1984 年(昭和 59 年)から 1992 年(平成 4 年)までの間の主な出来事として、

1986 年(昭和 61 年)のチェルノブイリ原子力発電所事故

1988 年(昭和 63 年)の第 1 回「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」

1989 年（平成元年）の「有害廃棄物の越境移動およびその処分の管理に関するバーゼル条約」

1989 年（平成元年）の「地球環境保全に関する東京会議」での「持続可能な開発」の理念の提起、「世界に貢献する日本」

があった。

また、1992 年（平成 4 年）リオ・デ・ジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」により「環境と開発の調和」が共通認識された。「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」は、先進国と開発途上国の対立いわゆる「南北問題」を基軸とし、今まで各局面で議論されてきた「環境か開発か」の議論が、はじめて国際的な場で全面的に行われ、地球環境問題と開発途上国の貧困問題が緊急の共通課題であることが確認された。そして「持続可能な開発」の概念が全世界の行動原則へと具体化された。すなわち、

①環境と開発に関するリオデジャネイロ宣言（Rio Declaration on Environment and Development）」で持続可能な開発を進める基本原則

②「気候変動枠組み条約」で地球温暖化防止

③「生物多様性条約」で地球の生物種の保全

④「森林原則宣言」で森林保護

⑤「アジェンダ 21」で宣言の理念を実行に移すための行動計画

である。

1992 年（平成 4 年）に開催された地球サミットを契機として、環境基本法および環境影響評価法を制定するなど、わが国の環境政策は大きく前進した。そして 2001 年（平成 13 年）には環境庁が環境省に昇格し、現在、持続可能な社会の構築のため「循環」・「共生」・「参加」・「国際的取組」を目標に環境行政が推進されている¹³⁾。

環境基本法は、地球サミットの開催を直接の契機として制定された。従来、わが国の環境行政は、公害対策基本法と自然環境保全法を柱とする二元的体系で実施されてきた。しかし、地球環境問題、廃棄物減量化・リサイクルの促進に関する課題など、公害と自然保護の分類では対処できない問題が顕在化してきた。これらの問題は従来の基本法による規制的措施だけでは十分に対応できず、新たな措置を拡充する必要があった。

地球サミットによる国際的な環境問題への関心の高まりを受け、公害と自然保護の二元的な枠組みをはずし、環境政策を規制的手法に計画的手法、

経済的手法，自発的活動の促進策を取り入れた新しい基本法とした「環境基本法」が 1993 年（平成 5 年）11 月に制定された。

環境基本法は①環境の恵沢の享受と継承，②環境への負荷の少ない持続的発展が可能な社会の構築，③国際的協調による地球環境保全の積極的推進，という三つの理念を掲げている。そしてこれらの理念を実現するための手法として，①環境基準，②環境基本計画，③環境影響評価制度の推進，④経済的措置，⑤その他の柔軟措置などについて定めている¹⁴⁾。

環境基本法制定後，進展がみられた環境法の整備と環境政策は次のとおりである。

- i．環境基本計画の策定（1994 年（平成 6 年））
- ii．環境影響評価法の制定（1997 年（平成 9 年））
- iii．循環型社会に向けての取組み
 - ・各種（容器包装・家電・建設・食品）リサイクル法（1995 年（平成 7 年）～2000 年（平成 12 年））
 - ・「循環型社会形成推進基本法」（2000 年（平成 12 年））
 - ・「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」（2000 年（平成 12 年））（グリーン購入法）
- iv．化学物質による環境汚染対策や土壌汚染対策のための法律制定
- v．地球温暖化対策の進展
 - ・「気候変動枠組み条約第 3 回締約国会議（COP3）」京都議定書（2002 年（平成 14 年））

環境影響評価については，1984 年（昭和 59 年）に閣議決定された要綱「環境影響評価の実施について」（閣議アセス）に基づいて，大規模な 11 事業を対象に環境影響評価を行っていた。しかし，この閣議アセスは，対象事業が少ないこと，知事・市町村長・住民の意見を聴く手続きが不備なことの問題が指摘されており，新たな環境影響評価制度の確立が必要とされていた。

このような状況において，環境基本法で環境影響評価制度の推進が定められたことを受け，環境影響評価法が 1997 年（平成 9 年）6 月に制定され，1999 年（平成 11 年）6 月から施行された。

同法は対象事業を①道路，②河川（ダム・堰・湖沼水位調節施設・放水路），③鉄道，④飛行場，⑤発電所，⑥廃棄物最終処分場，⑦公有水面の埋立て及び干拓，⑧土地区画整理事業，⑨新住宅市街地開発事業，⑩工業

団地造成事業，⑪新都市基盤整備事業，⑫流通業務団地造成事業，⑬宅地の造成の事業，の 13 事業とし，規模要件に応じて必ず環境影響評価がなされる第 1 種事業と，一定の手続きを経て環境影響評価をするかどうかをその都度決定する第 2 種事業とに区分している．なお，今まで通産省省議アセスで実施していた水力開発事業も，同法によるアセスメントで行われることになった．

また，水力開発事業は，河川法で規程する水利使用許可を必要とする．わが国の河川行政は明治以降，百年以上にわたって近代治水を中心に国土基盤の形成を進めてきたが，21 世紀の社会を展望し，環境問題や価値観の変化など新しい課題に対応するため，1997 年（平成 9 年）に河川法の一部が改正された．

わが国の河川法は①旧河川法(1896 年（明治 29 年）)，②新河川法(1964 年（昭和 39 年）)，③改正河川法(1997 年（平成 9 年）)というように 3 つの時代変遷・プロセスを経て施行されてきた．

旧河川法は治水を目的とし，主要な河川を洪水から防御することでより安全に，より生産性の高い国土を形成し，20 世紀前半のわが国の発展を縁の下で支えてきた．旧河川法では「公害」という用語を，広く公利に対する支障（洪水等）として法律で初めて用いており，河川が人間生活と密接につながっていることを表している¹⁵⁾．

新河川法は，第二次世界大戦後の社会経済の進展に即応して国土の保全を確保し，かつ，水の高度利用を図るため，水系を一貫した河川管理体系を確立することを目的とした．新河川法は，治水・利水を主眼としてつくられていたため，近年の社会経済の変化する中で求められてきた河川環境の整備および保全のための制度が整っておらず，河川管理の実態面において様々な問題が生じていた．すなわち，河川は治水・利水の役割だけでなく，うるおいのある水辺空間や多様な生物の生息・生育環境として捉えられるようになり，また，地域の風土と文化を形成する重要な要素としてその個性を生かした川づくりが強く求められるようになった．このような河川環境への関心の高まり，人々にやすらぎを与える存在としての河川への再認識が高まる中で，長良川河口堰をめぐる環境問題，地球サミットにおける「生物の多様性に関する国際条約」の発効，環境基本法制定などを契機として改正河川法が 1997 年（平成 9 年）に制定され，今までの治水・利水の目的に環境保全が追加された．

河川法の主要な改正点は次のとおりである¹⁶⁾。

①「河川環境の整備と保全」を含めた総合的な河川管理の推進，②河川の整備計画制度の改正（河川整備基本方針・河川整備計画），③樹林帯制度の創設，④水質事故処理等の原因者施行，原因者負担，⑤渇水調整の円滑化のための措置，⑥不法係留船対策の改善。

すなわち，①「河川環境の整備と保全」を含めた総合的な河川管理の推進では，河川法の目的に「河川環境の整備と保全」の規定を明記し，治水・利水・環境の総合的かつ適正な河川管理を推進していくこととした。②河川の整備計画制度の改正では，改正前の河川法では，河川管理者は水系ごとに「工事实施基本計画」を策定することとされていたが，記載内容は河川の具体的な整備（川づくり）の姿が見えるものでなかった。このため，具体的な川づくりの姿が明らかになるようにするとともに，地方公共団体や地域住民の意向を反映することとした。③樹林帯制度の創設では，堤防沿いの河畔林やダム湖周辺の湖畔林における治水上，利水上の効果を再認識し，河畔林，ダム湖畔林など樹林帯によって環境と調和のとれた治水，利水対策を推進するため，河川管理施設として樹林帯を整備または保全できるようにした。④水質事故処理等の原因者施行，原因者負担では，油の流出など水質事故等により必要となった河川の維持（オイルフェンス，オイルマットの敷設等）について，原因者による施行または費用の負担を求めることができるように措置した。⑤渇水調整の円滑化のための措置では，水利使用が困難（ダムの貯水池が空になる）となるおそれがあると予想された時点において，利水者は渇水調整に努めなければならないことにした。また利水者は，河川管理者の承認を受けて，自己の水利権に基づく水利使用を他の利水者に行わせることができる制度を創設した。⑥不法係留船対策では，洪水時の流下に支障をきたす不法係留船舶等の除却を促進するため，除却した後，引取りに來ない不法係留船舶等について，河川管理者が公正な手続きで売却，廃棄，売却代金の保管等を行うことができるよう措置した。

2.7 開発された水力発電所が実施した環境保全対策事例

水力発電の開発年代毎の環境保全対策事例は次のとおりである。

2.7.1 1950年代～1960年代の環境保全対策事例

1950年代および1960年代は、戦後の急増する電力需要に対処するため、全国各地で多数の水力開発が行われた。このうち開発された13地点（いずれもダム貯水池式）の環境対策事例を表－2.7.1(1)～2.7.1(13)に示す。なお、表では対策が明らかな事例を記載した。以下の年代も同様である。表－2.7.1(1)～2.7.1(13)から、1950年代～1960年代に実施された水力開発の環境対策の主なものとして、自然環境対策では①濁水・濁水、②下流農業用水への水温影響、③修景緑化があげられ、社会環境対策ではダム貯水によって水没する家屋や道路などの④移転・付替があげられる。

表－2.7.1(1)は、北海道十勝川水系音更川に建設された電源開発(株)糠平発電所の環境対策事例である¹⁾。ここではダム工事用骨材洗浄のため河水が汚濁し、下流にあるでん粉工場や亜麻工場の製品の品質が低下したため、井戸掘削、湧水導入などの施設費の金銭補償また損害額補償が行われた(約7,000,000円)。貯水池深層部からの放流水による下流農業用水への水温低下問題の対処として、十勝土地改良区灌漑用水施設の改修工事費金銭補償や同土地改良区と共同で水温観測を実施し、その費用負担が行われた(約7,000,000円)。当発電所は大雪山国立公園特別地域に位置しているため、自然公園法の許可条件により、工事跡地は修景緑化された。例えば、工事用道路、工事用仮設備跡地、宿舍跡地にハギ、ツツジなど約16,000本の樹木が植栽され、土捨て場には張芝や種子吹付等が実施された。これらの費用は約16,000,000円であった。また、建設地点の谷間を国鉄士幌線が縦走していたので、約13kmにわたり線路を付替えるとともに、道費道路や営林局林道の付替え、小・中学校の移築なども行われた。

表－2.7.1(2)は、新潟県信濃川水系黒又川に建設された電源開発(株)黒又川第一発電所の環境対策事例である²⁾。ここでは工事による飲用水への汚濁対策として簡易水道工事またはその工事費の一部負担が行われた(約12,500,000円)。灌漑への影響対策として用水堰および用水路改修工事費の一部負担が行われた(約3,000,000円)。また、水温への影響対策として漁業補償が行われた(約28,000,000円)。

表－2.7.1(3)は、熊本県球磨川水系球磨川に建設された電源開発(株)瀬戸石発電所の環境対策事例である³⁾。球磨川はアユの漁獲高は全国主要河川中の上位にあたり、工事中のセメントアク流出など濁水によるアユ・うなぎへの被害に対する養魚施設など増殖事業として約 89,000,000 円が永久補償含んで補償された。ダムの建設および調整池の出現により、国鉄肥薩線の一部付替え、国道・県道の付替え・嵩上げなどの公共補償が行われた。さらに、流筏による木材・木炭等輸送が減水で影響を受けるため、代替道路を 10km 新設、児童水泳場設備費の助成、ならびに背水末端の土砂堆積影響を受ける家屋の移転などの補償が行われた。

表－2.7.1(4)は、奈良県新宮川水系新宮川に建設された電源開発(株)十津川第一発電所の環境対策事例である⁴⁾。当地点は“陸の孤島”と称せられる未開発な地点であった。下流にある新宮市とは舟筏のみによって産業経済的・文化的な交流を続けてきた辺境の地であり、十津川は流筏による木材輸送とプロペラ船による旅客輸送に活用されていた。ここではダム建設による上流へのアユ遡上不可、工事に伴う骨材洗浄濁水による漁業補償(約 49,000,000 円)および飲用水・生活用水濁水補償が行われた。また、ダムと発電所の間に減水区間が生じ、流筏木材輸送およびプロペラ船による旅客輸送が影響を受けるため、代替道路(国道 168 号線他)の新設・改修および揚木施設などが設置された。

表－2.7.1(5)は、岐阜県荘川水系荘川に建設された電源開発(株)御母衣発電所の環境対策事例である⁵⁾。ここでは樹齢 400 年を超す 2 本の桜の木が、ダム湖底予定地からダム湖畔に移転された(写真－2.7.1 参照)。また歴史ある寺も移転された。



写真－2.7.1 荘川桜

表－2.7.1(6)は、北海道十勝川水系利別川に建設された電源開発(株)本別発電所の環境対策事例である⁶⁾。当発電所はダム水路式であり、導水路延長約 10km のうち約 3km が開渠式で建設された(写真－2.7.2 参照)。ここではダム締切および工事濁水で、下流のでん粉工場用水に影響が生じたため、簡易井戸が掘削された。発電放流水の水温が自然流より低温で、下流の稲作約 567 町歩(5.61 ㎩)に被害を及ぼすため、池田土地改良区に対し、水温上昇に要する一切の施設費、維持費などが補償された。また、調整池築堤および導水路開渠は農地を買収して築造したため、堤防および開渠に隣接する農耕地約 320 町歩(3.17 ㎩)の農地排水が遮断され、農地の湿地化により各農家が営農できなくなる危険があった。この湿地化対策として、堤防および開渠沿いに延長約 3.8km にわたり暗渠および開渠による排水設備を設置し、農地の排水施設に支障が生じないようにされた。



写真－2.7.2 本別発電所導水路開渠

表－2.7.1(7)は、北海道十勝川水系音更川に建設された電源開発(株)幌加発電所の環境対策事例である⁷⁾。大雪山国立公園特別地域に位置しているため、自然公園法の許可条件により、土質材料採取地、砂利採取地、工事用地の一部に植栽が実施された。また、ダム締切に伴い、下流の流量が減少し、製材工場用水に影響が生じるため、その取水口の改良工事が行われた。

表－2.7.1(8)は、岐阜県庄川水系尾上郷川に建設された電源開発(株)尾上郷発電所の環境対策事例である⁸⁾。工事区域は発電所周辺を除き、ほぼ全域が国有林であったので、工事跡地のうち、約 32,000 ㎡が緑化され

た。また、工事区域内には県指定の天然記念物ジュラ紀化石があったため、県教育委員会と協議して保全した。

表－2.7.1(9)は、福井県九頭竜川水系九頭竜川に建設された電源開発(株)長野・湯上発電所の環境対策事例である⁹⁾。ここでは、在来用水取水設備に水量不足が生じるため、それらの取水設備を新設するとともに、節水上、既設水路の改修が行われた。ダム築造による工事中濁水や涸渇対策として、簡易水道施設費の金銭補償などが行われた。また、ダムから融雪貯留水を発電放流することにより、下流水田に冷水害影響が生じるため、取水口に表面取水設備が設置された。

表－2.7.1(10)は、奈良県新宮川水系北山川に建設された電源開発(株)池原発電所の環境対策事例である¹⁰⁾。ここでは濁水や渇水に対して、アユなどへの漁業補償や流筏への補償が行われた。ダム建設による64戸の水没移転家屋に対して、山地を開削し谷を埋め立て約33,000 m²の造成地が設けられた。また、貯水池背水終端付近に位置する部落から堆砂の影響を考慮する対策が要望され、土地(面積約27,700 m²)および護岸擁壁(延長1.1km)の嵩上げが実施された。これらの造成工事および嵩上げ工事の費用は519,000,000円であった。

表－2.7.1(11)は、静岡県天竜川水系水窪川に建設された電源開発(株)水窪発電所の環境対策事例である¹¹⁾。ここでは、ダム貯水により下流に減水が生じるため、農業用水取水口15箇所への改良新設工事費の負担が行われた。渓流取水設備下流の養鱒場では、流量減少に伴って夏季に水温が上昇し稚魚の斃死が予測されたので、付近の沢から代替取水が行われた。この他、減渇水による漁場の喪失、飲料水への影響、工事中汚濁に対して損失補償が行われた。また、電気抵抗器製造工場では、工事振動による検査機器の揺れで不良品が増加したため、振動防止装置取付費の負担が行われ、ダム材料採取付近の民家では、防風林が皆伐されて風害が生じたため、家屋改修費の負担が行われた。

表－2.7.1(12)は、三重県新宮川水系東の川、銚子川水系銚子川に建設された電源開発(株)尾鷲第一発電所および銚子川水系又口川に建設され

た電源開発(株) **尾鷲第二発電所**の環境対策事例である¹²⁾。ここでは他流域である北山川から分水した発電放流水が尾鷲湾へ流出し、湾内で行っていた真珠の養殖・ブリ漁場に影響が生じた。そこでこの原因を解明するため尾鷲湾ダム放水影響調査団により原因究明がなされ、その結果に基づいて海洋漁業補償が行われた。

表－2.7.1(13)は、三重県新宮川水系北山川に建設された電源開発(株) **小森発電所**の環境対策事例である¹³⁾。熊野川水系北山川における一貫開発は1954年(昭和29年)に計画され、池原・七色・小森の3地点を開発することになった。これらの地点は、いずれも吉野熊野国立公園内に位置し、また、北山川も日本一の蛇行性峡谷として優れた景観を持ち、川下りの観光資源を有している。当初、発電出力を大きく得るため七色地点は風光明媚な「七色の滝」の下流に計画され、小森地点も河川景観の中心地に計画されていた。しかし、自然公園審議会の要請を受け、七色地点は「七色の滝」から見えないよう上流にダムが移され、また、小森地点は11km上流にダムサイトが移された。この結果、最大出力が70,000kWから30,000kWに変更された。さらに発電所完成後、河川の減水区間には、美観が損なわれないよう、観光シーズンに最大20m³/sの観光放流が行われた。

以上のように、1950年代および1960年代は、河川水を生活の一部として利用している流域住民に直接影響が及んでいる事象を対象に対策がとられている。すなわち、ダム掘削やコンクリート骨材洗浄など工事中に発生する濁水、ダム築造後に河川水を貯留することによる下流区域の渇水および農業用水の冷水温などである。

まず、ダム、水路トンネルおよび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むため河川水が汚濁され、下流沿岸部落で利用している飲用水、工場用水が影響を受ける。また、発電取水やダム締め切りにより下流では渇水区間が生じ、魚の生息、井戸水の涸渇、舟運などへの影響が生じる。これらの環境保全対策として、新たな井戸の設置、簡易水道工事費の一部負担および養魚増殖費用を負担するなど機能代替補償、金銭補償が行われている。これらは影響原因への直接対策ではなく、結果への対策となっている。当時

は、まだ発生源を規制するところまではいっておらず、個別被害への対応で終わっていた。これは高度成長時代における環境問題への認識の欠如とともに、濁水処理技術も十分に進んでいなかったことによるものと考えられる。

また、ダム貯水池式発電では、取水口が表面より深いところに設置されるので、深層部分の水が発電放流される。このため、放流水の水温は、自然流より低温となり、この結果、下流で農業用水を取水している地区には稲作等に被害が生じる。水力発電による農業用水への水温低下は 1925 年（大正 15 年）に黒部川筋および梓川筋において取り上げられ¹⁴⁾、昭和に入り、ダム式発電の開発が進められてくると、寒冷地帯を中心に問題が広がっていった。大河川の下流部には、広大な沖積平野が展開し、河川水は農業にきめ細かく利用されていたので、農業にとって発電による水温低下は大問題であった。水温低下への対策としては貯水池の表面取水を行うことが有効とされ、1929 年（昭和 4 年）に荘川筋に建設された小牧ダムは、表層水取水施設を設置した最初のダムといわれている¹⁴⁾。本事例でも十勝川水系に開発された**糠平発電所**では表面取水設備設置などの冷水温対策を実施している。十勝平野は稲作の北限地帯であり気候による冷害も受けやすい地域であったので、電源開発(株)は地元の十勝土地改良区と水温の共同観測を実施しながら改良区の取水施設改良工事費を含む補償を講じた。他地域で水温低下対策を実施した地点として**黒又川第一発電所**（信濃川水系：新潟県）、**長野発電所**（九頭竜水系：福井県）が工事記録に記載されており、いずれも豪雪地帯である。

次に緑化対策として、**糠平・幌加発電所**（十勝川水系：北海道）および**尾上郷発電所**（庄川水系：岐阜県）の事例がある。**糠平・幌加発電所**はいずれも大雪山国立公園特別地域に位置している。大雪山国立公園は 1934 年（昭和 9 年）に国立公園に指定されており、溪谷や山腹の大部分が寒地性針葉樹の原始林でおおわれ、高山植物が豊富である。このような自然環境の中での開発にあたり、**糠平発電所**では厚生省（自然公園法）、営林局からの許可条件として、約 16,000,000 円を費やし、ハギ、ツツジなど約 1 万 6 千本の樹木を植栽し、土捨て場に張芝や種子吹付等を実施している。許可条件とはいえ当時としては大規模な緑化工事であり、近年の修景緑化の原型を見ることができる。一方、**尾上郷発電所**では当時の自然環境保護の面から緑化対策を実施している。

また、発電設備の建設および貯水池内の水没によって、住宅等建物の移転や道路・鉄道などの付替は、多くの地点で実施されている。第二次世界大戦前におけるダム建設は、水没補償の少ない所をみこんで開発されたが、戦時中は水力発電が政策的に強力的に推進され、水没家屋が 100 戸以上となる地点が現われてきた。戦後になると急増する電力需要に対応するため 100m 以上のダム建設が促進され、それに伴い**佐久間・田子倉・御母衣発電所**などでは 500 戸程度の水没が生じるようになってきた。国は電源開発を促進するため 1952 年（昭和 27 年）に制定した電源開発促進法第 7 条で「損失補償」を規定し、翌 1953 年（昭和 28 年）に準拠すべき統一基準として「電源開発に伴う水没その他の損失補償要綱」（閣議了解）を制定した¹⁵⁾。これにより補償方法として金銭補償、替地、代替施設の提供等が考慮されるようになった。したがって各地点で鉄道・道路の付替え、嵩上げや補強工事、また公共建物・設備の移転が行われている。この年代はまだ河川が舟運として利用されており、ダム建設による流水の減水および遮断によって影響が生じた**瀬戸石・十津川第一発電所**では代替道路を新設するなど、流筏権に対する諸補償を行っている。

この他、**池原発電所**ではダム築造による背水終端付近の堆砂の影響対策として土地の嵩上げ、護岸擁壁の設置、建物の移転を行っている。ダム上流の河床上昇については天竜川本川の**泰阜ダム**（長野県）が顕著であり、貯水池内堆砂問題は、現在、各ダム地点で古くからの問題として土砂排除、流入防御など流域全体を視野に入れた対策が検討・実施されている。

さらに、**小森発電所**（新宮川水系：三重県）では自然景観保持の観点から計画地点の変更およびそれに伴う出力規模を縮小しているが、これは現在の環境影響評価を先取りしたものといえる。**御母衣発電所**では湖底の桜樹を湖畔に移植しているが、移植管理技術もまだ発達していなかった当時としては画期的なことであり、現在、自然環境との共生が叫ばれているが、ここにその萌芽を見ることができる。

表－2.7.1(1) 糠平発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		糠 平 （電源開発）
所在地・水系名		北海道 十勝川水系音更川
工事期間		1953年7月～1956年1月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		42,000
最大使用水量(m ³ /s)		45.0
有効落差(m)		110.4
環 境 対 策	①濁水・濁水	<ul style="list-style-type: none"> ・士幌村農協澱粉工場用水汚濁補償(4.9百万円) ・中央繊維(株)音更亜麻工場用水汚濁補償(2.1百万円) ・十勝土地改良区灌漑用水施設改修工事補償費(6.4百万円)
	②水温	<ul style="list-style-type: none"> ・元小屋取水口表面取水設備設置 ・十勝土地改良区灌漑用水水温共同観測費(0.6百万円)
	③緑化	<ul style="list-style-type: none"> ・修景緑化(16百万円) 工事用道路、工事用仮設備跡地、街路樹、宿舍跡地、土捨場
	④移転・付替	<ul style="list-style-type: none"> ・国鉄士幌線の付替え」(約13km) ・道費道路・営林局林道の付替え ・小・中学校の移築、電電公社電話線の移設
	⑤その他	
	公園等	大雪山国立公園特別地域

表－2.7.1(2) 黒又川第一発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		黒又川第一（電源開発）
所在地・水系名		新潟県 信濃川水系黒又川、末沢川
工事期間		1954年12月～1958年2月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		61,500
最大使用水量(m ³ /s)		42.4
有効落差(m)		168.9
環境 対 策	①濁水・渇水	・工事による飲用水汚濁補償 簡易水道工事または工事費一部負担(12.5百万円) ・灌漑補償 用水堰および用水路改修工事(2.9百万円)
	②水温	・漁業補償 工事期間中および永久補償費(28百万円)
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(3) 瀬戸石発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		瀬戸石（電源開発）
所在地・水系名		熊本県 球磨川水系球磨川
工事期間		1956年9月～1958年9月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		20,000
最大使用水量(m ³ /s)		134.0
有効落差(m)		17.15
環 境 対 策	①濁水・濁水	・工事中濁水による漁業補償(4.8百万円) ・漁業永久補償(85百万円)
	②水温	
	③緑化	
	④移転・付替	・流筏による木材・木炭等輸送が減水で影響を受けるため代替道路の新設(10km:279百万円) ・流筏不能による家屋移転他補償(81百万円) ・調整池出現による児童水泳設備助成(1.1百万円) ・背水末端地における土砂堆積影響に対する補償(1.6百万円)
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(4) 十津川第一発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		十津川第一（電源開発）
所在地・水系名		奈良県 新宮川水系新宮川
工事期間		1958年10月～1960年10月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		75,000
最大使用水量(m ³ /s)		60.0
有効落差(m)		144.23
環 境 対 策	①濁水・渇水	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム建設による飲用水・生活用水渇水補償(3.9百万円) ・灌漑補償：用水路補償(14.8百万円) ・ダム上流へのあゆ邇上不可、骨材洗浄濁水による漁業(あゆ・うなぎ等)への影響補償(49百万円)
	②水温	
	③緑化	
	④移転・付替	<ul style="list-style-type: none"> ・流筏木材輸送およびプロペラ船による旅客輸送が減水で影響を受けるため、代替道路の新設・改修および揚木施設の設置
	⑤その他	<ul style="list-style-type: none"> ・公共補償 水路補償、飲料水施設補償、灌漑用水路補償、山林里道改修、学校公民館、神社、電気通信移設、駐在所、道路および橋梁、遊園地他(78.9百万円) ・流筏権：筏夫失業補償他(134百万円)
	公園等	

表－2.7.1(5) 御母衣発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		御母衣（電源開発）
所在地・水系名		岐阜県 庄川水系庄川
工事期間		1957年6月～1961年1月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		215,000
最大使用水量(m ³ /s)		130.0
有効落差(m)		192.10
環境 対 策	①濁水・濁水	
	②水温	
	③緑化	
	④移転	<ul style="list-style-type: none"> ・樹齢400年を超す桜の木を湖底予定地から湖畔に移転。 ・歴史ある寺の移転。
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(6) 本別発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		本別（電源開発）
所在地・水系名		北海道 十勝川水系利別川
工事期間		1960年12月～1962年9月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		25,000
最大使用水量(m ³ /s)		90.0
有効落差(m)		33.0
環境 対 策	①濁水・渇水	<ul style="list-style-type: none"> ・工事により澱粉工場用水が汚濁および集水困難となったので簡易井戸を掘削 ・開渠式導水路工事およびダム締切による井戸渇水のため揚水施設・涸渇補償
	②水温	<ul style="list-style-type: none"> ・発電放流水が低温で稲作に被害をおよぼすため、池田土地改良区に対して水温上昇および用水量確保に必要な施設費用等を補償(35百万円)
	③緑化	
	④移転・付替	<ul style="list-style-type: none"> ・住宅その他建物の移転 ・道道幕別西足寄線一部付替工事 ・国鉄池北線鉄橋架設工事
	⑤その他	<ul style="list-style-type: none"> ・農地の湿地化対策として暗渠および開渠による排水設備(延長3.8km)やポンプ排水設備を設置 ・調整池出現により対岸通行に影響を受けるため渡船および浮棧橋を補償
	公園等	

表－2.7.1(7) 幌加発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		幌加（電源開発）
所在地・水系名		北海道 十勝川水系音更川、幌加川
工事期間		1963年7月～1965年1月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		10,000
最大使用水量(m ³ /s)		14.2
有効落差(m)		83.7
環境 対 策	①濁水・渇水	・音更ダム締切に伴う河川流量減少により、製材工場工業用水の導水路底を掘り下げた
	②水温	
	③緑化	・土質材料採取地、砂利採取地、工事用地に植林を実施 （厚生省、帯広営林局からの条件）
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	大雪山国立公園特別地域

表－2.7.1(8) 尾上郷発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		尾上郷（電源開発）
所在地・水系名		岐阜県 庄川水系尾上郷川
工事期間		1969年5月～1971年11月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		20,000
最大使用水量(m ³ /s)		12.1
有効落差(m)		198.5
環境 対 策	①濁水・濁水	
	②水温	
	③緑化	<ul style="list-style-type: none"> ・工事跡地に緑化防災対策を実施 ・返還する工事跡地32,000㎡を緑化
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(9) 長野・湯上発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		長野・湯上（電源開発）
所在地・水系名		福井県 九頭竜川水系九頭竜川、石徹白川
工事期間		1965年4月～1968年5月
発電方式		長野：揚水式、湯上：ダム水路式
最大出力(kW)		長野：220,000、湯上：54,000
最大使用水量(m ³ /s)		長野：266、湯上：53
有効落差(m)		長野：97.5、湯上：120.1
環 境 対 策	①濁水・渇水	<ul style="list-style-type: none"> ・在来水の取水量が減少するため、新設ダムに農業用水用の取水設備を設置。また、節水上、一部既設水路を改修。 ・ダムの築造に伴い、漁場の消滅・制限、工事中濁水の影響を受ける機関に補償。 ・ダム築造により在来河川が涸渇し、地下水位が低下するため、簡易水道施設を金銭補償。
	②水温	<ul style="list-style-type: none"> ・九頭竜ダムによる融雪貯留水を発電放流することで、下流水田に冷水害影響が生じるため、表面取水設備を設置。
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(10) 池原発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		池原（電源開発）
所在地・水系名		奈良県 新宮川水系北山川、池郷川
工事期間		1962年3月～1964年9月
発電方式		ダム式（揚水式）
最大出力(kW)		350,000
最大使用水量(m ³ /s)		342.0
有効落差(m)		120.5
環境 対 策	①濁水・濁水	・漁業補償：上北山村、下北山村漁業協同組合（第5種共同漁業権、鮎他） ・流筏補償：池原・桑原・上北山村筏夫組合
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	・ダム築造による背水終端付近の堆砂の影響対策 土地の嵩上げ(8,400坪)、護岸擁壁(1,100m)、民家解体移転(79戸)、公共建物解体移転(3戸)
	公園等	

表－2.7.1(11) 水窪発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		水窪（電源開発）
所在地・水系名		静岡県 天竜川水系水窪川、気田川
工事期間		1966年8月～1969年5月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		50,000
最大使用水量(m ³ /s)		26.5
有効落差(m)		219.5
環境 対 策	①濁水・渇水	<ul style="list-style-type: none"> ・減水による漁場喪失、工事中濁水に対し漁協へ補償 ・減水により簡易水道設備費の一部負担、防火水槽の設置 ・減水に伴う渓流水温上昇(夏季)による養鱒場への影響に対し代替取水設備を設置 ・導水路・集水トンネル掘削による減渇水に対して補償 ・水窪町・春野町にある田地(約492,000m²)に対し、15箇所の取入口改修新設工事費を負担
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	<ul style="list-style-type: none"> ・振動による製造工場への影響に対し振動防止装置取付費を負担 ・民家防風林の皆伐による風害に対し、家屋改修費を負担
	公園等	

表－2.7.1(12) 尾鷲第一・第二発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		尾鷲第一・第二（電源開発）
所在地・水系名		三重県 第一：新宮川水系東の川、銚子川水系銚子川、第二：銚子川水系又口川
工事期間		第一：1959年7月～1962年4月、第二：1959年7月～1961年9月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		第一：40,000、第二：25,000
最大使用水量(m ³ /s)		第一：21、第二：25
有効落差(m)		第一：225.3、第二：120.92
環境 対 策	①濁水・濁水	・他河川からの分水を発電放流したため尾鷲湾内の真珠養殖およびブリ漁場への補償。
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.1(13) 小森発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		小森（電源開発）
所在地・水系名		三重県 新宮川水系北山川
工事期間		1963年10月～1965年8月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		30,000
最大使用水量(m ³ /s)		74.0
有効落差(m)		49.0
環 境 対 策	①濁水・濁水	
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	・発電規模の縮小(70,000→30,000kW)
	公園等	吉野熊野国立公園

2.7.2 1970年代の環境保全対策事例

1970年代は、1970年代前半に開発された地点と、1970年代後半に開発された地点とでは環境対策の内容が変化してきている。すなわち、1972年（昭和47年）に「各種公共事業に係る環境保全対策について」が閣議了解され、国の実施する公共事業は環境アセスメントを行うことになった。発電事業は対象事業外であったが、環境保全に対する要請を受け、発電事業も1973年（昭和48年）から行政指導ベースで環境審査が行われるようになったからである。この結果、1970年代は従来の影響結果に対する対策から発生原因への対策に移行した。1970年代に開発された地点のうち、11地点について分析した結果を表－2.7.2(1)～2.7.2(12)に示す。

表－2.7.2(1)は、高知県吉野川水系吉野川に建設された電源開発(株)早明浦発電所の環境対策事例である¹⁶⁾。ここでは取水ダムの取水により影響を受ける水田、雑用水、上水道に対し、農業用水堰および水路などへの施設改修費や代替施設設置費が負担された。工事中、汚濁や減濁水などによるアユ、うなぎなど漁業損失に対して、流域漁協へ補償が行われた。また、吉野川本流に濁水が流れることで観光価値が低下するため、観光用道路改修および国民簡易宿泊所新設費の一部負担が行われた。さらに湛水中、台風により貯水池内に貯留された濁水が下流に放流され、下流漁業、観光関係者、関連町村等に影響が生じた。このため表面取水設備を設置し、出水1週間経過後は約20ppm以下、2週間以後は10ppm以下にするとされた。その設備設置費用は約466,000,000円であった。

表－2.7.2(2)は、栃木県那珂川水系那珂川に建設された電源開発(株)沼原発発電所の環境対策事例である¹⁷⁾。当発電所は栃木県北部の那須地域に位置し、東京地区における冷暖房を中心とした電化による昼間ピーク需要の増加に対応するため計画された揚水式発電所である。日光国立公園内にあり、特に上池の一部は自然公園法に基づく第三種特別地域に指定されているため、開発行為には自然公園審議会の許可が必要であった。また全域国有林であり、林野庁前橋営林局が計画していた「奥那須国民の森」計画と同じ区域にあるので、建設工事にあたっては自然環境との調和について次のような対策が講じられた。

沼原発発電所の上池建設地に隣接して沼原湿原があり、この湿原にはイボ

ミズゴケ、ミヤマミズゴケなどのコケ類と、シモツケソウ、ニッコウキスゲなどの湿原植物が群生していた。そこで上池については湿原保持のため造成区域を制限し、また美観上、湿原面以上にダム盛立高さが極端に高くなならないような貯水容量を制限するとともに、上池も掘り込み式とされ、さらに四角い形状にも配慮が加えられた。また、上池掘削により発生する掘削ズリを収容する土捨場は、周辺の景観を損なわないよう、ゆるやかな起伏と勾配をもった自然の台地の姿に造成された。さらに水路・発電所は地下式とされ、上池ダム盛立材料を採取する原石山は、ダム周辺から見えない地点が選定された。

施工に関しては、まず上池ダム掘削に際し、工事開始前に上流湿原との境界面に深さ 10m、延長 350m にわたりシートパイルを打込み、湿原地区の地下水の流下を遮断し、工事の影響による湿原水位の低下、涸渇が防止された。また、那珂川が天然アユの遡行河川であり、上水・農業用水の取水設備が多数あることや生活環境に関する環境保全基準が閣議で制定されたことを受け、コンクリート用骨材を製造する際に発生する濁水の処理については、広大な沈澱池が設置され、さらに、凝集剤を使用して管理の徹底が図られた。

次に緑化に関しては、工事によって影響を受けた部分の自然への復元について、生態学、植物社会学的診断などの科学技術により、自然の秩序にそった緑化復元手法が採り入れられた。工事により生じた裸地は上池ダム地域、水路区域、発電所区域など全域で約 100ha (1.0km²) であり、裸地表土の早期安定を図るため、草本類を導入する第一次緑化*と、続いて樹木の導入を行う第二次緑化工事**に区分して施工が行われた。当地域は標高 1,200m の亜高山地帯で、冬期の気温は氷点下であり、また風速が強いなど自然条件が厳しい環境である。緑化は準備から含めて 7 年かけて行われ、これらの費用は約 460,000,000 円であった。写真-2.7.3 に保全された湿地の現況を示す。

* 第一次緑化：ダム天端付近の一部に野芝を張り、他の区域はケンタッキー、クローバー等の洋牧草を主とした種子吹付け、植生袋およびツタ類のポット植栽が行われた。

** 第二次緑化：周囲の林相に調和した森林の復元を図ることを目的とし、第一次緑化済地にヤシャブシ、カンバ類等の樹木の苗木を植栽した。植栽面積は約 60ha (0.6km²)、本数は約 19 万本であり、現場植栽試験で活着、

成長等を確認した後，各地区の環境に順応するよう樹種別群落を形成していった¹⁸⁾。

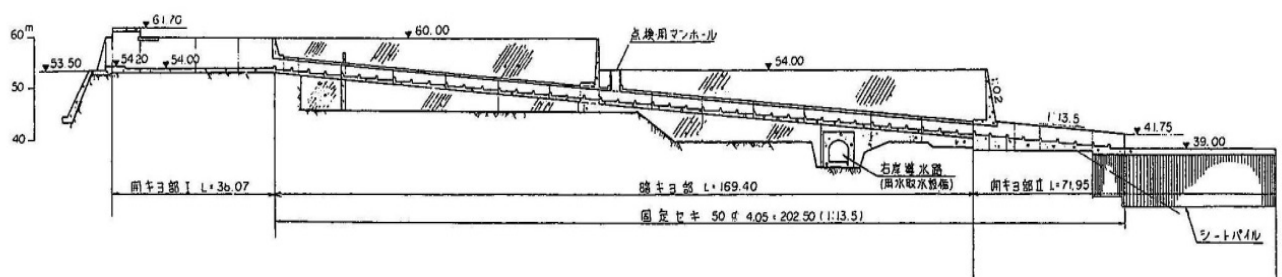


写真－2.7.3 沼原湿地現況

(写真提供：J-POWER[電源開発㈱])

表－2.7.2(3)は，静岡県天竜川水系天竜川に建設された電源開発(株)船明発電所の環境対策事例である¹⁹⁾。当発電所は天竜川に設置された発電所の中で最下流に位置し，市街地にも近接している。船明地区は飲料水として地下水を利用していたが，工事による地下水位低下ないしは涸渇が懸念されたため，簡易水道の設置費用が負担された。また，天竜市もダム地点から約2km下流で上水道水を取水しており，工事中濁水対策として，急速ろ過装置の設置費用が負担された。

船明発電所が位置する天竜川本流は，天然遡上を中心とする鮎の好漁場である。このため下流における自然河川の機能のある程度維持するため，暗渠式魚道を設けた。魚道は全長280mで，暗渠区間169mにナトリウム灯を，また魚道流量を一定に保つための自動式調節ゲートが設置された。その設置費用は126,000,000円であった(図－2.7.1参照)。また，従来から行われていた天竜船下りが湛水により分断されたため，船下りは下流に移して行うこととされ，船着場等を含めて補償が行われた。



図－2.7.1 魚道縦断

表－2.7.2(4)は、新潟県信濃川水系信濃川に建設された電源開発(株)奥清津発電所(揚水式)の環境対策事例である²⁰⁾。ここでは工事中濁水に対し、流域漁協へ濁水補償が行われた。また、工事区域が上信越高原国立公園普通地域に位置し、多雪地帯でもあるため、林野庁前橋営林局と協定を結び、協議しながらダム原石山、土捨場、工事用道路などの保全や林地復元緑化が行われた。保全工事は、工事跡地の崩壊、土砂流出防止を目的として行われ、緑化工事では、裸地化した工事跡地 1.04km² に対し、早期に被覆するための種子吹付、その後の跡地修景と治山的効用を目的とした治山樹種などの植栽(5,000本/10,000m²)が行われた。

表－2.7.2(5)は、石川県手取川水系手取川に建設された電源開発(株)手取川第一発電所の環境対策事例である²¹⁾。ここでは、ダム築造に伴う下流かんがい用水への冷水温問題に対し、ダム築造前後に水温調査を実施し、平常時には貯水池の表面温水を水深 5m で取水し、洪水時には流入する濁水を底部ゲートから下流に放流する選択取水設備が設置された。また、当地点ではダム築造(高さ 153m、頂長 420m)により 330 世帯が水没することになったが、村内に残留を希望する移転者に対して貯水池上流末端周辺に代替地造成を行った。代替地(桑島代替地)は居住地・畑地などで構成され、総面積は約 71,000m²、造成費用は約 22,000,000 円であった(写真－2.7.4 参照)。同様に水没する国道 157 号線の付替・拡幅工事が延長 12.5km、また林道・対岸道路の付替・新設工事が延長 21.5km にわたって行われた。



写真－2.7.4 桑島代替地

(写真提供：J-POWER[電源開発㈱])

表－2.7.2(6)は、石川県手取川水系尾添川および直海谷川に建設された北陸電力(株)手取川第二・第三発電所の濁水対策事例である²³⁾。当発電所は上記の手取川第一発電所とともに手取川総合開発の一環として開発され、ここでは、多量の汚濁水源である骨材の洗浄水は、最新の処理方法であるクローズドシステム(一滴も外部へ排水しないで再循環使用する方式)を採用して処理された。

表－2.7.2(7)は、広島県太田川水系南原川に建設された中国電力(株)南原発電所の環境対策事例である²³⁾。当発電所は揚水式で、上池・下池用にそれぞれ高さ80m級のロックフィルダムが建設された。工事区域が南原峡県立自然公園に位置しているため、広島県と協定した「南原峡県立自然公園内発電施設設置に伴う自然環境の保全について」に基づき、工事中・工事後にわたり自然保護、緑化措置、公園管理、水質規制など各種の環境対策が実施された。すなわち自然保護対策として、自然公園の核となっている二つの滝の清流を、上池ダムを迂回して下流に流すこととし、上池の左右岸に、延長2,162mの周辺迂回水路が設けられた。緑化対策として、周辺林相と同化させることを目的とし、植栽試験・育苗などの緑化準備を実施し、土捨て場・仮設備跡地には郷土樹種、苗木などが植栽された。公園管理対策として、自然破壊を極力減ずる観点から、管理用道路(延長1,035m)の約半分の区間がトンネルにされ、発電所の付帯設備も公園にマッチした形態で設置された。当発電所工事では、工事中およびダム完成後の維持すべき湛水池内の水質規制が定められたため、水質対策として、工事中は、各工事現場で、濁水を沈澱池で薬品処理後規制値以下にし、河川に放流された。また、湛水による汚濁防止のため湛水池内清掃が徹底され、堆積汚泥や有機物が極力除去されるとともに、湛水後においては、キャンプ地からの排水で河川が汚染されないように排水処理施設が設けられた。

表－2.7.2(8)は、北海道石狩川水系石狩川に建設された北海道電力(株)大雪発電所の緑化対策事例である²⁴⁾。当発電所は大雪山国立公園特別地域に位置しているため、緑化計画はできるだけ原植生に近い状態への遷移の進行がみられ、かつ、周辺の植生と違和感のない形とするよう立案された。そして、樹種・土壌・苗木・植栽数量・配植について樹木と寒害など生態的特性を考慮した試験が行われ、発電所周辺、土捨て場、工事跡地など

で植栽時期にも留意した緑化工事が行われた。

表－2.7.2(9)は、長野県木曾川水系伊那川に建設された関西電力(株)伊奈川発電所の廃水対策事例である²⁵⁾。ダム用骨材プラントやトンネル工事用水などの廃水を沈澱池で薬品処理し、長野県公害防止条例による規制値(SS80ppm)以下にした後、河川に放流された。また、工事用骨材の採取範囲が伊奈川河床部であるため、河川流水汚濁防止として、採取区域内の流水切替え、河川敷内での重機・トラック等の走行ルートの限定、流水箇所は橋または暗渠等を設けて横断するなどの対策が行われた。

表－2.7.2(10)は、北海道十勝川水系トムラウシ川に建設された北海道電力(株)富村発電所の環境対策事例である²⁶⁾。当発電所は大雪山国立公園第三種特別地域および普通地域に位置しているため、事前の野生生物生態調査およびその結果に基づく環境対策が実施された。すなわち、森林の保護対策として水路のトンネル化、構造物の地下埋設、作業坑と工事用道路の最小化、工事用配電線設置の工夫などが行われた。河川の汚濁防止対策として工事排水は沈澱池で浄化された後、河川に放流され、砂利採取は限定された箇所で沈澱池を設けて行われた。また、オショロコマや水生生物保護のため、河川維持流量が確保された。自然景観対策として当初計画の水路橋が蓋渠に変更され、地上構造物の形状・色彩の工夫が施された。修景緑化対策として周辺林相との同化を図り在来樹種を用いることされ、試験植栽・育苗などの緑化準備・修景緑化工事が実施された。緑化にあたっては、専門家による工事前の植生調査に加え、工事中・工事後も継続実施し、着工前と比較検討して緑化の指標とするなどの取組が行われた。緑化工事は1975年(昭和50年)から1979年(昭和54年)にかけて行われ、工事費は約220,000,000円とされている²⁷⁾。

表－2.7.2(11)は、福島県阿賀野川水系只見川に建設された東北電力(株)第二沼沢発電所の環境対策事例である^{28), 29)}。当発電所は揚水式であり、上池は沼沢湖を利用するものである。工事範囲の大部分が福島県立只見柳津自然公園内に位置しており、水質汚濁に係る環境基準が、上池は湖沼A類、下池は河川A類に指定されていたため、特に水質保全に留意した環境対策が実施された。すなわち、水質保全対策として、水質調査、水理

模型拡散実験およびシミュレーション数値解析計算を行って取水口の位置・形状が設計された。発電開始後は上池および下池に濁度と水温のモニターを設置し常時自動監視を行っている。また、沼沢湖に生息する冷水性のヒメマスへの影響について水温予測検討を行い、影響の少ないことを確認するとともに、ヒメマスの回帰本能に基づく流下を防止するため、取水口に魚群迷入防止装置が設置された。工事中濁水に対しては工事区域に4基で合計処理能力 $860\text{m}^3/\text{s}$ の濁水処理プラントが設けられ、周辺河川への水質汚染が防止された。修景緑化対策として周辺林相との同化を図り、在来樹種を用いることとし、試験植栽・育苗などの緑化準備・修景緑化が実施された。自然景観対策として水路構造物は極力地下式とし、取水口は沼沢湖岸の景観を考慮した位置の選定および植栽による遮蔽と色彩の工夫が施された。また、沼沢湖の夏季観光シーズンは高水位運転を行い、景観の保持が行われている。

以上のように、1970年代は1970年代前半に開発された地点に対し、1970年代後半に開発された地点は、環境対策が質的・量的にも向上している。これは1973年（昭和48年）から水力開発に対して、通商産業省資源エネルギー庁が環境保全対策に対して行政指導を開始したことによるものと考えられる。

水力開発は調査・計画から完成までおおむね10年間程度の期間を要するため、1970年代前半に開発された地点で計画・実施された環境対策は1960年代とほぼ同様な対策となるが、向上変化の動きが現れてきている。すなわち、工事中の濁水に対し、各地点とも機能代替補償、金銭補償を行っているが、**沼原・奥清津・手取川第一発電所**ではそれに加え大規模な濁水処理施設を設置し、影響発生源での対策を施している。これは1967年（昭和42年）「公害対策基本法」の制定を受け、1968年（昭和43年）に「公共用水域の水質の保全に関する法律」が改正され、環境基準が設定されたことおよび濁水処理技術の発達によるものと考えられる。この結果、工事に伴う濁水処理に沈澱池を設置し、沈澱物を脱水機で機械的に処理する方法が各地で行われるようになった。また水質改善に伴って魚類の生息を確保しようとするなど環境的に質の向上を図るようになったのがこの年代の特徴の一つである。**船明発電所**では鮎の生態・行動を研究し、それに適する暗渠式照明付魚道を発案し約126,000,000円をかけて設置して

いる。

緑化については**沼原発電所**で、従来の水力開発では例がみられないような湿原地における緑化復元対策を長期に実施している。また、**奥清津発電所**では大規模揚水式発電所の工事跡地に対して早期緑化および長期的に周囲の林相になじむことを目的とした緑化対策を実施している。

以上のように 1970 年代前半に開発された発電所では、1972 年に制定された自然環境保全法や保全技術・防止技術の進歩等もあり、従来の影響結果への対策から影響原因への対策に移行しつつあった。

1970 年代後半に開発された地点では、資源エネルギー庁による環境審査が開始されたことから環境保全対策の内容が大きく変化してきた。

資源エネルギー庁の環境審査は、1972 年（昭和 47 年）に閣議了解された「各種公共事業に係る環境保全対策について」を受けている。これは国が実施する公共事業について環境影響評価を行うもので、道路、港湾、公有水面埋立など 11 種の公共事業を対象としている。一方、発電事業に対しては、資源エネルギー庁が火力・原子力発電所について、1973 年（昭和 48 年）より各専門分野の学識経験者を顧問として意見を聞く環境審査制度を発足した。水力発電所については、当時、環境評価調査の実績が少なかったこと、技術的手法にも制度化するには不安があったことなどにより環境審査制度に組み入れることは見送られ、行政指導として担当官ベースで審査が行われることになった。その後、通商産業省は発電所の立地における環境影響評価の抜本的な充実強化を図るため、1977 年（昭和 52 年）7 月に、省議決定により水力・火力・原子力を対象として「発電所の立地に関する環境影響調査および環境審査の強化について」を定め、発電所に係る環境影響評価制度（省議アセス）を行うこととした。

以上の経緯を受けて 1970 年代後半に開発された地点は行政指導による環境審査を受けることになり、統一された環境影響評価項目に基づき、環境保全対策も技術的に合理性をもった内容に変化してきた。

表－2.7.2(1)～(11)に示した 11 地点のうち、行政指導による環境審査対象地点は**大雪・伊奈川・富村・第二沼沢発電所**である。**大雪・富村発電所**は大雪山国立公園内での開発のため、専門家の指導を受けながら自然保護および環境保全のための対策を立案・実施していることに特徴がある。すなわち**大雪発電所**では自然の遷移を利用し原植生に近い状態へ復元させる生態学的緑化手法によった緑化工事が試みられた。**富村発電所**では事

前に森林・植物・動物・哺乳類・鳥類・昆虫類等の専門家により十勝川上流域の生態調査を実施した。そしてその結果を踏まえ発電設備や仮設備について構造物の地下埋設化，河川流量の確保，修景緑化等の環境保全対策を実施した。**第二沼沢発電所**も県立公園内での開発であることから自然景観をはじめ，幅広い環境保全対策がとられている。特に揚水式発電であることから濁度・水温について詳細な技術的検討を行って影響予測や対策を検討・実施している。**伊奈川発電所**も自然林保護や景観保全，騒音や河川の水質汚濁防止等，環境との調和に配慮した対策を行っている。特に工事用廃水については長野県公害防止条例基準値を上回る数値を設定し，汚濁度の想定，使用薬品と効果の確認，工事現場下流域での水質モニタリングとそれによる設備と工法の改善を行っている。

このように 1970 年代後半に開発された発電所における対策は，行政指導による環境審査や環境保全技術の進歩もあり，従来の影響結果に対する金銭補償や代替補償から影響発生源および自然生態を考慮した内容に変化してきた。

表－2.7.2(1) 早明浦発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		早明浦（電源開発）
所在地・水系名		高知県 吉野川水系吉野川、汗見川
工事期間		1968年9月～1972年2月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		42,000
最大使用水量(m ³ /s)		65.0
有効落差(m)		76.0
環 境 対 策	①濁水・渇水	<ul style="list-style-type: none"> ・減渇水による漁場喪失および工事中濁水に対し漁協へ損失補償 ・減水および工事中濁水に対し下流上水道の代替施設整備費の一部負担 ・減水影響を受ける下流農業水利権に対し取水堰・水路改修工事費を負担 ・吉野川本流濁水による観光価値低下のため観光用道路改修費等の負担 ・減渇水および濁水による町営施設への影響に対し、町実施対策費の一部を負担
	②水温	
	③緑化	
	④移転・付替	
	⑤その他	
	公園等	水資源開発公団との共同開発

表－2.7.2(2) 沼原発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		沼原（電源開発）
所在地・水系名		栃木県 那珂川水系那珂川
工事期間		1969年12月～1973年6月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力(kW)		675,000
最大使用水量(m ³ /s)		172.5
有効落差(m)		478.0
環境 対 策	①濁水・濁水	・濁水防止のため広大な沈澱池および凝集剤により管理。
	②水温	
	③緑化	・2次にわたる緑化工事の実施
	④移転・付替	
	⑤その他	・構造物のレイアウト・形状を配慮 ・隣接する湿原地域の水位低下・涸渇防止対策の実施。
	公園等	日光国立公園

表－2.7.2(3) 船明発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		船明（電源開発）
所在地・水系名		静岡県 天竜川水系天竜川
工事期間		1972年11月～1977年4月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		32,000
最大使用水量(m ³ /s)		270.0
有効落差(m)		14.5
環境 対 策	①濁水・濁水	・工事中濁水対策として天竜市上水道に対し、急速ろ過装置設備費用を負担 ・地下水位低下対策として地元地区に簡易水道設置費用の一部負担
	②水温	
	③緑化	
	④移転・付替	・調整池の出現により天竜舟下りが分断するため、下流船着場設置費用を負担 ・調整池や河状変化により河川内指定遊泳上が危険となるため、プール設置費用の一部を負担 ・調整池により和船による対岸交通が不可になるため、動力船・船着場の設置費用を負担
	⑤その他	・鮎の天然遡上を維持するため暗渠式照明(ナトリウム燈)付魚道を設置
	公園等	

表－2.7.2(4) 奥清津発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		奥清津（電源開発）
所在地・水系名		新潟県 信濃川水系信濃川、カッサ川
工事期間		1972年5月～1978年7月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力(kW)		1,000,000
最大使用水量(m ³ /s)		260.0
有効落差(m)		470.0
環境対策	①濁水・濁水	<ul style="list-style-type: none"> ・工事中濁水に対し、魚沼・中魚沼漁協に金銭補償 ・河川維持流量 ・骨材プラント濁水処理・・・150ppm（新潟県条例）の遵守 汚濁水処理装置能力：カッサ地区120m ³ /h、二居地区100m ³ /h
	②水温	
	③緑化	<ul style="list-style-type: none"> ・工事跡地の崩壊、土砂流出等の防止を目的に保全緑化工事を実施 カッサダム・二居ダム原石山、土捨て場、工事用道路等 ・工事のために生じた裸地、荒廃地の緑化および林地復元を図る緑化工事を実施 種子吹付、植栽：ha当たり5,000本（客土・植栽袋方式） カッサ地区48ha、二居地区30ha
	④移転・付替	
	⑤その他	
	公園等	上信越高原国立公園（普通地域）

* 雨谷正方「奥清津発電所の緑化保全工事について」発電水力 No. 146 1977年1月

表－2.7.2(5) 手取川第一発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		手取川第一（電源開発）
所在地・水系名		石川県 手取川水系手取川、瀬波川、尾添川
工事期間		1974年11月～1979年8月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		250,000
最大使用水量(m ³ /s)		180.0
有効落差(m)		162.4
環 境 対 策	①濁水・濁水	・工事中濁水に対し、手取川漁協に金銭補償
	②水温	・ダム築造前後に水温調査を実施し、下流用水（七ヶ用水・宮竹用水）の冷水問題に対し、選択取水設備を設置
	③緑化	
	④移転・付替	・ダム築造により水没する白峰村桑島地区のうち、村内残留者のために代替地（71,200 m ² ）を造成 ・文化財（文化財6件、天然記念物1件）の移転 ・水没する国道157号線および林道を付替、対岸道路の新設
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.2(6) 手取川第二・第三発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		手取川第二・第三（北陸電力）
所在地・水系名		石川県 第二：手取川水系尾添川、第三：手取川水系直海谷川
工事期間		1974年11月～1979年8月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		第二：87,000、第三：30,000
最大使用水量(m ³ /s)		第二：105、第三：70
有効落差(m)		第二：96.0、第三：50.0
環 境 対 策	①濁水・湯水	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート骨材量831,000t、所要原石量542,000m³ ・クローズドシステム（一滴も外部へ排水しないで再循環する方式）採用 ・SS量：100ppm
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	

表－2.7.2(7) 南原発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		南原（中国電力）
所在地・水系名		広島県 太田川水系南原川
工事期間		1972年11月～1976年7月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力（kW）		620,000
最大使用水量（m ³ /s）		254.0
有効落差（m）		294.0
環境 対 策	①濁水・濁水	<ul style="list-style-type: none"> ・明神ダム周辺迂回路（取水量0.1m³/s、水路延長：左岸1,093m、右岸1,069m） ・工事中濁水はコンクリート製沈澱池や素掘り沈澱池で薬品処理後、上澄を河川放流した（SSは50ppm以下に規制）。 ・湛水後の汚濁防止として諸施策を実施した。 ・キャンプ地からの排水で河川汚染されないように排水処理施設を設けた。
	②水温	
	③緑化	<ul style="list-style-type: none"> ・工事跡地の修景緑化 ・周辺自然林相と同化するよう長期的観点から郷土樹種、苗木等を植栽した。 ・試験植栽→植栽準備→修景緑化 ・管理用道路にトンネル案を採用した（道路延長1,035mのうち529m） ・土捨て場の敷地は一般へは開放せず、将来森林へ復元するよう植樹した。
	④移転・付替	
	⑤その他	<ul style="list-style-type: none"> 「南原峡県立自然公園内発電施設設置に伴う自然環境の保全について」（広島県） ・会社施設は公園にマッチした形態で設置する。
	公園等	南原峡県立自然公園 官行造林地、鳥獣保護区、保安林区域

表－2.7.2(8) 大雪発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		大雪（北海道電力）
所在地・水系名		北海道 石狩川水系石狩川
工事期間		1968年4月～1975年6月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		20,000
最大使用水量(m ³ /s)		31.2
有効落差(m)		75.0
環境 対 策	①濁水・濁水	
	②水温	
	③緑化	生態学的手法による緑化工事の実施 ①試験植栽 樹木、土壌、苗木、植栽数量、配植 ②緑化計画の策定 植栽：1ha当たり平均7,000本程度、植生盤工 ③緑化の実施 植栽：発電所周辺部、第1・2号土捨場、工事事務所跡地、放水口周辺部、制水工跡地 計59,000m ² 植生盤工：計26,000m ²
	④移転・付替	
	⑤その他	
	公園等	大雪山国立公園（特別地域）

表－2.7.2(9) 伊奈川発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		伊奈川（関西電力）
所在地・水系名		長野県 木曽川水系伊那川
工事期間		1975年8月～1977年12月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		40,700
最大使用水量(m ³ /s)		11.0
有効落差(m)		438.0
環境 対 策	①濁水・濁水	<ul style="list-style-type: none"> ・原石採取量120,000m³ ・プラント能力100t/h ・放流水基準値 SS:80ppm、ph:5.6～8.6 ・原石採取区域内の河川流水は汚濁の影響を受けない位置に切替え、流水中での採取はしない。 ・河川敷内での重機、トラック等の走行ルートはできるだけ限定し、流水部分は橋または暗渠等を設けて横断する。 ・骨材洗浄水は完全循環方式とし、洗浄後の汚泥分は高分子凝集剤を添加して沈降分離除去し、処理水を再度使用する。
	②水温	
	③緑化	
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	水質汚濁防止法に関する長野県公害防止条例

表－2.7.2(10) 富村発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		富村（北海道電力）
所在地・水系名		北海道 十勝川水系トムラウシ川
工事期間		1975年10月～1978年10月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		40,000
最大使用水量(m ³ /s)		33.5
有効落差(m)		140.5
環境 対 策	①濁水・濁水	・工事中に生ずる排水の汚濁防止→沈澱池による浄化 ・水生生物のための河川維持流量の確保
	②水温	
	③緑化	・緑化の基本的な考え ①現存立木の伐採を最小限とし、緑地を保全する。 ②周辺の現存植生と違和感を生じないようにする。 ③木本、草本とも郷土産植物を用いる。 ④植生調査などを工事中、工事後も継続実施し、着工前と比較検討し、緑化の指標とする。 ⑤草本類は研究と応用を並行して進める。 ⑥土木工事の進捗に合わせてできるところから毎年施工し、発電開始の翌春には完了する。 ⑦保護管理は、工事中においては植栽と並行しながら実施するが、発電開始後は基本的な考え方にもとずき十分留意する。 ・試験植栽・緑化植栽・移植木植栽・・・工事費220百万円
	④移転・付替	
	⑤自然保護・自然景観	復元のために努力するのは開発主体者の責務である。 【森林保護】 ・水路のトンネル化、構造物の地下埋設、作業坑と工事用道路の最少化、工事用配電線設置の工夫、森林の利用と立木の保護、 【景観の保全】 ・河川流量の確保、水路橋を蓋渠に変更、構造物の地下式化と地上構造物の形状・色彩調和
	公園等	大雪山国立公園（第三種特別地域） 天然記念物指定区域、鳥獣保護区・特別保護地区、 水源涵養林指定区域

* 小林晃、種田収「富村水力発電所の緑化工事について」発電水力 No. 146、1977 年 1 月

表－2.7.2(11) 第二沼沢発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		第二沼沢（東北電力）
所在地・水系名		福島県 阿賀野川水系只見川、沼沢湖
工事期間		1977年6月～1980年12月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力（kW）		460000
最大使用水量（m ³ /s）		250.0
有効落差（m）		214.0
環境 対 策	①濁水・濁水	<ul style="list-style-type: none"> ・湖沼類型に対応する水質基準の遵守 ・運転開始後の濁水影響および水温変化について水理模型実験とシミュレーション数値解析を実施→取水口位置および形状設計に反映 ・揚水濁度の制限値を設定→自動濁度測定 ・水生生物に対する水質モニタリングの実施 ・工事中濁水処理→4ヶ所の濁水処理プラント（合計処理能力860m³/h）
	②水温	<ul style="list-style-type: none"> ・ヒメマス生息に対する予測検討の実施→取水口に魚群迷入防止装置を設置
	③緑化	<ul style="list-style-type: none"> ・水路構造物は極力地下埋設式 ・取水口は沼沢湖岸景観を考慮した位置の選定および植栽による遮蔽と色彩の工夫 ・切取り法面・盛土法面には現地植生と同種による植生復元 ・法面小段には現存植生の低木類を苗木植栽または山取移植、平坦部は客土し肥培植物で被覆 ・沼沢湖の夏季観光シーズンは高水位運転を行い、景観保持を行う。
	④移転	
	⑤その他	
	公園等	<ul style="list-style-type: none"> ・福島県立只見柳津自然公園 ・公害対策基本法に基づく水質汚濁に関わる環境基準

2.7.3 1980年代の環境保全対策事例

1977年（昭和52年）に通産省省議アセスが決定され、水力開発については1979年（昭和54年）に資源エネルギー庁から「環境影響調査要領及び環境審査指針」が示された。対象は①出力30,000kW以上で環境保全上特に必要と認められるもの、②その他環境保全上特に必要と認められる発電所である。また、1973年（昭和48年）および1979年（昭和54年）に発生した2度にわたる石油危機に対応するため、数千kW～数万kWの中小水力開発が促進された時期でもあったことから、審査対象以外の地点については、1981年（昭和56年）に資源エネルギー庁から「中小水力発電所に係る環境影響調査書の作成要領について」が示された。

以上のように環境影響評価の制度が整備され、1980年代の水力開発は(1)環境の現況、(2)環境保全のために講じようとする対策、(3)環境影響の予測及び評価、(4)その他環境保全のために講じようとする措置、(5)総合評価などの環境影響調査を行うことになった。

また対象とする環境項目は1)自然環境（自然保護、自然景観、植生、動物）、2)水質（貯水池、湖沼等：①水温②濁水③富栄養化④その他、減水区間、工事中の水質）、3)騒音及び振動、4)社会環境（産業活動、交通公共施設、土地利用、水系利用）である。

1980年代に開発された発電所のうち、8発電所（このうち5発電所はダム建設を伴わない水路式、増設、総合開発）について分析した環境対策事例を表－2.7.3(1)～2.7.3(8)に示し、その内容を次に述べる。環境項目が整理されたことから、各発電所共通の対策および地点特性に応じた対策が取られるようになってきた。

表－2.7.3(1)は、福島県阿賀野川水系小野川に建設された電源開発(株)下郷発電所（揚水式）の環境対策事例である³⁰⁾。上池ダム（高さ102m、頂長340m）はロックフィル式であるが、下流側法面のロック盛立上全面に客土し、種子吹付を行って自然景観との調和を図った。また土捨場では全面に種子吹付を行い、その半年～1年後に緩傾斜面および小段部にイチハギ、ヒメヤシャブシ、ヤマハンノキなど高木、亜高木の苗木を植栽した。骨材製造プラント、コンクリート製造プラントから発生する濁水を処理するため、処理能力600m³/hの設備を設置し、SS・ph処理した後、河川に放流した。上池ダム下流には重要伝統的建造物群保存地に選定されて

いる旧会津西街道の宿場「大内宿」がある。このため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取水を貯水池表層部から行う温水取水設備を設置した。その設置費用は約 74,000,000 円であった。

表－2.7.3(2)は、静岡県天竜川水系天竜川に建設された電源開発(株)佐久間第二発電所の環境対策事例である^{31), 32)}。ここでは捨土運搬に際し、工事用道路を新設する代わりにベルトコンベアシステムを採用し、自然の改変を最小にとどめた。濁水処理施設 4 基により最大 700m³/h の処理を行うとともに、天竜川 5 ヶ所で定期的に水質モニタリングを実施した。骨材プラントでコンクリート製の騒音防止壁を設けた。発電所掘削では発破を最小限にとどめ、特殊ブルドーザー・コンプレッサーは屋内式を採用した。工事用車両が通行する一般道路は人家が密集し、狭くカーブが多かった。これを避けるため工事区域内の天竜川河床に延長 1.7km の迂回路を新設した。また下流漁業権に対し、漁場の減少、魚族生息環境の悪化に対する補償を行うとともに、河床低下による魚道の改造を行った。

表－2.7.3(3)は、静岡県天竜川水系早木戸川に建設された電源開発(株)早木戸発電所の環境対策事例である^{33), 34)}。当発電所は一部が天竜奥三河国定公園(特別地域)に位置しているため、周辺環境との調和を図った対策が採られた。すなわち、切取・盛土法面は、種子吹付による修景緑化が行われ、発電所本館の外観、色彩は周辺と調和する設計とされ、発電所進入道路のよう壁は、反射防止のため粗面ブロックが用いられた。導水路トンネルは、トンネルボーリング機械(TBM)工法で施工したが、在来発破工法に比べ騒音・振動が少なく、仮設備も低減し、改変面積も縮小した^{35), 36)}。また、河川維持流量として、2 つの取水設備から計 0.13m³/s が放流された。さらに運転開始後、低負荷時の水車ランナの回転音が対岸人家に伝わったため、騒音対策として水車室と放水路の間にゴム板の遮蔽板を設置し遮音が行われた。

表－2.7.3(4)は、新潟県信濃川水系破間川に建設された電源開発(株)破間川発電所の環境対策事例である^{37), 38)}。当発電所は新潟県破間川ダム

総合開発事業の一環として行われ、発電所工事に係わる切土法面や掘削跡地に種子吹付が、また、工事濁水は沈澱処理された。

表－2.7.3(5)は、北海道十勝川水系十勝川に建設された電源開発(株)熊牛発電所の環境対策事例である^{39),40)}。当発電所は大雪山国立公園内に位置しているため、各種の対策が講じられた。自然景観の保全対策として、導水路はすべてトンネル型式とされ、発電所も半地下式とされた。地上部の改変面積を少なくするため、ダム盛立材料の一部は湛水池内から採取され、地上構造物は改変面積が最小限となるように設計された。また洪水吐・取水口およびドラフトの各ゲートの色彩について専門家の指導を受け、黄色(カナリヤ色)と明るい青(コバルトブルー)を配色した(写真－2.7.5参照)。工事完成后、ダム調整池・発電所周辺に芝、種子吹付けによる緑化および在来種の植樹を行った。減水区間には夏期 4 m³/s、冬期 2 m³/s の河川維持流量が放流された。植生の保護対策として、仮設備用地は必要最小限の面積として既存植生の改変部分を最小限とし、工事用道路は、既設道路および河川敷地内を通行した。また、工事に伴う立木の伐採は最小限に留め、工事関係者には植生の保護について周知が図られた。



写真－2.7.5 屈足ダム洪水吐

(写真提供：J-POWER[電源開発㈱])

表－2.7.3(6)は、福島県阿賀野川水系只見川に建設された電源開発(株)只見発電所の環境対策事例である^{41),42)}。当発電所は只見柳津県立自然公園普通地域に位置している。ここでは自然保護・自然景観対策としてダムや付替国道の盛立には掘削土を流用し、土捨て場が縮小された。また、他発

電所同様に発電所が半地下式とされ、建物の外観、色彩は周辺環境との調和が図られた。特に自然景観保全のため、ダム背面には多雪地帯および美観を考慮した植生工が行われた。動物対策として、工事に伴う突発的な騒音および振動は極力防止され、また、現存植生保存対策として、コア材採取地は山なりに採取するとともに、面積は必要最小限とされた。そして採取跡地は現状に改変し、草本類による修景緑化が行われた。当発電所は比較的地元住民の生活区域に近いとため、騒音対策は特定建設作業の規制基準値を目標とし、低騒音型機器の使用、集中施工の回避、影響の少ない作業時間帯の選定、民家に近い区間における速度制限などが実施された。

表－2.7.3(7)は、静岡県天竜川水系天竜川に建設された電源開発(株)秋葉第三発電所の環境対策事例である^{43), 44)}。当発電所は天竜奥三河国定公園に位置し、既設秋葉ダムを利用した増設発電所である。ここでは自然改変面積を極力少なくするため計画・設計・施工が工夫された。特に土捨場の緑化対策では、専門家の指導を得ながら、地域の現存植生、潜在植生、土壌、生育条件などを考慮し、種子播種法、苗木植栽法で行われた。

表－2.7.3(8)は、福島県阿賀野川水系黒谷川に建設された電源開発(株)黒谷発電所の環境対策事例である^{45), 46)}。当発電所は山間地域での流込み式発電所である。自然保護対策として、工事用道路に既設林道を利用し、またケーブルクレーン・インクライン設備などを有効活用することによって新設部分を最小限とした。取水設備は伐採範囲を極力小さくするよう設計・施工した。水圧管路は余水路を省略し1条とした。そして地中埋設式とし、埋戻し土に種子吹付、低木を植え景観の保全を図った。減水区間に生息する動植物(イワナ、ヤマメなど)の生態系を保全し、また溪流の景観保全等を目的とした河川維持流量を確保するため、3ヶ所の取水堰に河川維持流量設備を兼ねた魚道を設置した。騒音対策として、早朝、深夜作業は行わず、低騒音型機械を使用し、定置式機械は影響の少ない場所に配置するなど、必要に応じて防音設備を設置した。また、工事中の濁水対策として最大濁水量、原水濃度、処理目標値を設定して遵守した。運転開始後は河川維持流量を放流し、減水区間の水質監視および河川での水質測定を実施した。

以上のように 1980 年代は通産省省議アセスの決定を受け、本格的な環境影響調査が実施されるようになった年代である。調査対象項目には法令上の基準や科学的知見に基づいた対策が講じられ、また地域社会のニーズや住民などの意向を把握した環境質の水準を確保するための対策が行われるようになってきた。また対策技術の進展も見られた。

自然保護では改変面積の最小化が図られ、計画段階におけるレイアウトの変更、構造物を小規模化・地下式化にする設計、道路新設に代わる運搬方法など施工計画の工夫など計画から施工にいたる各段階でさまざまな対策がとられた。

自然景観では周囲の自然景観になじむような構造物の形状や色彩が工夫されている。熊牛発電所では、ゲートなどの色彩に周辺景観と調和する色彩が採用されたが、これは通商産業省（現経済産業省）のグッド・デザイン（G マーク）選定施設となった。

植生対策では各発電所で専門家の指導を得ながら現存植生を考慮した緑化工事が行われている。また熊牛発電所・秋葉第三発電所のように植生・動物保護のため工事関係者に環境教育を実施する取り組みが行われるようになった。環境教育は従来の工事实施のための技術的環境対策から一歩進み、人間の生存だけではなく自然生態系を保護しようとする環境倫理的な要素を含んだ取り組みとして評価できるものである。

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に基づいた処理目標値を設定し、沈澱池や排水処理設備などにより濁水処理が徹底され、定期的に水質監視が行われた。騒音・振動も環境基準により規制を受けるため、低騒音型機械の使用、防音設備の設置など、防止技術の発達にあわせ設備的な対策が各地点でとられるようになった。施工的にも騒音・振動を伴う作業は早朝、深夜を避けるなど作業時間帯が選定され、また集中施工も回避された。佐久間第二発電所では発破を最小限にするなどの対策がとられている。

また、80 年代の対策の特徴として河川維持流量の放流があげられる。これは発電用取水に伴い一部河川区域に減水区間が発生し、水質、水生動物、景観などに影響が生じるため、これを緩和し、良好な生態環境と親しみやすい景観を維持するために一定量の発電水を放流するものである。河川維持流量は、建設省（現国土交通省）が水利権取得許可条件として付加したもので、これにより集水面積 100km² 当たり 0.1～0.3m³/s の放流が

義務づけられることになった。放流により発電使用水量が減少するため発電量も減少するが、これにより流域における流水の正常な機能が維持されることになり、環境対策は面的な広がりをもってきたと考えられる。

社会環境対策としては、農業・林業などの産業活動、交通・公共施設、土地利用、水系利用、文化財・レクリエーション施設などへの影響対策があり、それらに対する影響が検討され必要な対策が行われた。このうち交通については工事用車両の通行で交通量が増加するが、安全速度走行の徹底した遵守、交通整理員の配置など地元に着した安全対策が各発電所で実施されている。水系利用のうち内水面漁業に対しては施工方法を工夫して汚濁水の発生を抑えるとともに、濁水処理設備を設置し、十分な処理を行った後、河川に放流されている。

このように 1980 年代は、本格的な環境影響調査に基づき環境基準を遵守するため計画段階から設計・施工に至る各段階できめ細かな対策が講じられている。同時に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や色彩などにも配慮されるようになってきた。環境の質に対する人間の意識が多様化し、対策も、生活環境を意識した産業優先時代から人と自然との調和へ、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ところに 1980 年代の特徴がある。

表－2.7.3(1) 下郷発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		下郷（電源開発）
所在地・水系名		福島県 阿賀野川水系小野川
工事期間		1977年2月～1988年4月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力(kW)		1,000,000
最大使用水量(m ³ /s)		314.0
有効落差(m)		387.0
環境 対 策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・ダム下流法面および原石山を緑化 ・土捨場全面に種子吹付け後、高木苗を植栽
	②植生・動物	
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・下流農業用水のために温水取水設備を設置（75百万円） ・濁水処理設備を設置（600m³/h） ・漁場消滅、濁水流出に対し漁業補償
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・「大内宿」と構造物との景観調和
	⑤その他	
	公園等	大川・羽鳥県立自然公園 下池の大川ダムは建設省が施工

表－2.7.3(2) 佐久間第二発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		佐久間第二（電源開発）
所在地・水系名		静岡県 天竜川水系天竜川
工事期間		1979年7月～1982年7月
発電方式		水路式
最大出力(kW)		32,000
最大使用水量(m ³ /s)		306.0
有効落差(m)		12.3
環境対策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の改変を最小限にとどめる。 ・掘削土量を有効活用し、捨土量を減ずる ・切取り法面には草本類による緑化を行う ・発電所を半地下式として地上構造物を小さくし、建屋の外観・色彩は周辺環境との調和を図った。 ・放水口地点から土捨て場への土運搬は、工事用道路に替え、ベルトコンベア・システムを採用した。
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・3号土捨て場法面には、プラスチック製法砕工および種子付むしろにより緑化を安定させた。
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削による濁水は、沈澱池で処理した。コンクリート製造設備から発生する汚濁水処理するために、濁水処理設備4基を設置した。また、天竜川5ヶ所で定期的に水質モニタリングを実施した。 ・骨材プラントではコンクリート製騒音防止壁を設置した。 ・発電所掘削では騒音振動を考慮し、発破を最小限にとどめた。 ・特殊ブルドーザー、コンプレッサーは屋内式を採用した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・工事用道路は商店街や民家を避けて、天竜川河川敷に設けた。
	⑤その他	
	公園等	天竜奥三河国定公園（特別地域）

表－2.7.3(3) 早木戸発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		早木戸（電源開発）
所在地・水系名		長野県 天竜川水系早木戸川
工事期間		1983年1月～1985年6月
発電方式		水路式
最大出力(kW)		11,200
最大使用水量(m ³ /s)		4.2
有効落差(m)		325.6
環境 対 策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・切取・盛土法面は、種子吹付による修景緑化を行い、周辺環境との調和を図った。 ・発電所本館の外観、色彩は周辺環境との調和を考慮して設計した。 ・発電所進入道路よう壁は、反射防止のため粗面ブロックを採用した。
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・河川維持流量を放流した。早木戸取水設備：0.12m³/s、芝沢第一取水設備：0.01m³/s。
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・工事濁水は、排水処理設備で処理した後、放流した。 ・骨材採取による濁水発生を防止するため、生コンクリートを使用した。 ・ペルトン水車による騒音の防止対策を実施した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・漁業権補償として、毎年早木戸川でアユの放流を実施した。 ・灌漑用水利権補償として取水堰の改修工事費の負担、ワサビ田補償等を行った。 ・公共補償としてグラウンド整備、児童プール、児童公園、簡易水道施設等の費用負担を行った。
	⑤その他	
	公園等	一部が天竜奥三河国定公園（特別地域）

表－2.7.3(4) 破間川発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		破間川（電源開発）
所在地・水系名		新潟県 信濃川水系破間川
工事期間		1980年4月～1985年12月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		5,100
最大使用水量(m ³ /s)		8.0
有効落差(m)		77.5
環境 対 策	①自然保護・自然景観	・切土法面・掘削跡地に種子吹付を実施した。
	②植生・動物	
	③水質・騒音・振動	・沈殿処理
	④社会環境	
	⑤その他	
	公園等	ダム事業は新潟県が実施する総合開発で、発電部分を施工

表－2.7.3(5) 熊牛発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		熊牛（電源開発）
所在地・水系名		北海道 十勝川水系十勝川
工事期間		1984年8月～1987年11月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		15,400
最大使用水量(m ³ /s)		41.0
有効落差(m)		44.5
環境 対 策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・地上構造物を最小限にするため、導水路はすべてトンネル式とし、発電所建物は半地下式とした。 ・地上構造物の外観、色彩は周辺環境との調和を図った。 （色彩）ゲート：黄色（カナリヤ色）と明るい青（コバルトブルー）、水圧鉄管：淡い緑色 ・ダム盛立材料の一部は湛水池内より採取した。また、遮水材採取地はできるだけ改変面積を少なくした。 ・工事跡地は周辺の自然景観と合うように、種子吹付等により修景緑化を行った。 ダム周辺：種子吹付50,400m²、張芝7,600m²、植栽
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・減水区間に河川維持流量を放流した。（夏期4m³/s、冬期2m³/s） ・仮設備用地は必要最小限とし、工事用道路は既設道路や河川敷地内を通行し、新設は最小限にとどめた。 ・明かり構造物は、改変面積を最小限になるよう設計した。 ・工事関係者に環境保全を周知し、植生保護や動物保護に努めた。 ・工事に伴う立木の伐採は最小限とし、改変箇所は種子吹付等により緑化を行った（81haのうち9.8ha）。
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・工事汚濁水は沈澱池を設け、凝集剤を使用し、所定濃度に浄化処理した後、河川へ放流した。 ・工事中および運転開始後も水質モニタリングを実施した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・防塵対策として公道を拡幅改良した。
	⑤その他	
	公園等	大雪山国立公園

表－2.7.3(6) 只見発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		只見（電源開発）
所在地・水系名		福島県 阿賀野川水系只見川
工事期間		1984年3月～1988年7月
発電方式		ダム式
最大出力(kW)		65,000
最大使用水量(m ³ /s)		375.0
有効落差(m)		19.8
環境 対 策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・ダムや付替国道の盛立には掘削土を流用し、土捨場を縮小した。 ・発電所は半地下式とし、建物の外観、色彩は周辺環境との調和を図った。 ・工事用道路は河床を利用した。 ・自然景観保全のため、ダム背面に植生した。植生にあたっては多雪地帯および美観を考慮し、試験施工により客土張＋むしろ張工を採用した。
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・工事中は動物保護のため、突発的な騒音および振動は極力防止した。 ・コア材採取地は、山なりに採取するとともに面積を最小限として現存植生の保存を図った。また、採取跡地は現状改変し、草本類により修景緑化を行った。 ・河川維持流量として2.5m³/sを放流している。
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・工事中濁水は沈澱池等で処理し、骨材プラント・コンクリートプラントの洗浄濁水は濁水処理設備で処理をした。 ・騒音対策として低騒音型機器の使用、集中施工の回避、影響の少ない作業時間の選定、民家に近い区間では速度制限するなど、特定建設作業の規制基準値を目標として実施した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・発電所およびダム周辺を緑化し公園化した。
	⑤その他	
	公園等	只見柳津県立自然公園（普通地域）

表－2.7.3(7) 秋葉第三発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		秋葉第三（電源開発）
所在地・水系名		静岡県 天竜川水系天竜川
工事期間		1988年5月～1991年8月
発電方式		ダム水路式
最大出力(kW)		46,900
最大使用水量(m ³ /s)		116.0
有効落差(m)		47.1
環境 対 策	①自然保護・自然景観	・計画・設計・施工を工夫し、自然改変面積を最小限とした。
	②植生・動物	・改変した土地は緑化し、植生の復元を図った。 ・土捨場の緑化は専門家の指導を得ながら、地域の現存植生、潜在自然植生、土壌、生育条件などを考慮し、種子播種法、苗木植栽法で行った。 ・工事関係者に環境教育を実施した
	③水質・騒音・振動	・工事中濁水は排水処理設備で処理した後、河川に放流した。 ・騒音の発生を抑えた。
	④社会環境	
	⑤その他	
	公園等	天竜奥三河国定公園 既設秋葉ダムを利用した増設発電所

表－2.7.3(8) 黒谷発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		黒谷（電源開発）
所在地・水系名		福島県 阿賀野川水系黒谷川
工事期間		1990年9月～1994年4月
発電方式		水路式
最大出力(kW)		19,600
最大使用水量(m ³ /s)		12
有効落差(m)		194.3
環境対策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・工事規模を小範囲にし、緑化対策・法面保護を行った。 ・水圧鉄管を埋設し、地上部は修景緑化を行った。 ・余水路を省略した。 ・工事用道路新設の代替としてケーブルクレーン・インクラインを使用した。
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・立木伐採の最小化 ・土捨て場・改変地区は周辺の自然保護や既存植生に調和した緑化を行った。 ・河川維持流量(夏期0.4m³/s、冬期0.26m³/s) ・魚道を設置した。
	③水質・騒音・振動	<p>(水質)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・工事中は本工事による濁水、現場事務所等からの生活排水に対し、最大濁水量、原水濃度、処理目標値を設定して処理した。 ・運転開始後は河川維持流量を放流し、減水区間の水質監視を実施した。また、河川で水質測定を実施した。 <p>(騒音)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・早朝、深夜作業は行わない。 ・低騒音型機械を使用し、定置式機械は影響の少ない場所に配置するとともに、必要に応じ防音設備を設置した。 ・工事用車両の速度を自主規制した。
	④社会環境	
	⑤その他	
	公園等	

2.7.4 1990年代の環境保全対策事例

1990年代は地球環境問題の高まりから「持続可能な開発」が求められ、水力開発においても「自然環境との共生」をめざした取り組みが試行されるようになってきた。環境影響調査については1980年代に引き続き通産省省議アセスが実施された。この年代における電力会社および県企業局が実施した環境保全対策事例が、資源エネルギー庁・(財)新エネルギー財団「水力発電環境保全対策ガイドブック」⁴⁷⁾に取りまとめられているが、本論文では、表－2.7.4(1)～2.7.4(2)に示す2発電所について具体的な対策事例を分析した。

表－2.7.4(1)は新潟県信濃川水系清津川、カッサ川に建設された電源開発(株)奥清津第二発電所(揚水式)の環境対策事例^{48), 49)}である。当発電所は上信越高原国立公園(普通地域)内に位置しており、1970年代に建設された奥清津発電所(揚水式)に隣接し、その既設ダム・調整池を有効利用した計画である。ここでは、発電所を半地下式とし、また、工事用道路も大半の区間をトンネル化として、地表の改変面積を少なくした。改変区域は現存植生を考慮し、周囲の景観と合致した緑化が行われた。既設調整池に対し、工事による富栄養化の新たな発生源を増やさないようにするため、裸地の緑化、排水溝が整備され、工事濁水処理は排水基準に基づいて管理された。また、当発電所は観光地とも近接しているので、地域に開かれた発電所として一般公開され、実物に接することができるよう、ダム、発電所、作業トンネルが整備された。

表－2.7.4(2)は岡山県吉井川水系吉井川に建設された中国電力(株)奥津第二発電所の環境対策事例⁵⁰⁾である。当発電所は国指定名勝奥津溪、湯原奥津県立自然公園内に位置し、建設地周辺にはオオサンショウウオ、希少猛禽類の生息が確認された。また、建設中の苦田ダム(国土交通省)整備計画との整合が求められた。このようなことから当発電所では、自然景観対策として水槽のトンネル化(全長の70%)、水圧鉄管の茶系塗装、間伐材を利用した盛土工法による工事用道路の設置などを行った。希少猛禽類(クマタカ)対策として、発破工法の工夫、レイアウトの変更、工事前～完成後にわたるモニタリングが行われ、オオサンショウウオには、遡上可能な粗石付斜路の専用魚道が設置された。トンネル掘削工事では、坑

口に防音扉を設置し、民家直下では騒音・振動が少ない発破工法の工夫や、時間制限対策が行われた。また、工事期間中にはCATVを利用した説明、地元懇談会、工事現場見学会を開催するとともに、工事完成後には、発電所近傍に地元になんだ記念モニュメントの設置、町花の植栽が行われた。

以上のように、1990年代前半に実施された環境保全対策は、通産省省議アセスに基づき1980年代に実施された対策の考え方を基本的に踏襲していた。

一方、地球環境問題に対する全世界的な高まりと、1992年（平成4年）にリオ・デジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」を契機とし、わが国では1993年（平成5年）に「環境基本法」が制定され、それを具体的に進めるために1994年（平成6年）に「環境基本計画」が閣議決定された。またこれらと前後して次のような法対策が実施された。

すなわち、1992年（平成4年）には「レッドデータブック」および「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律」が制定され、1993年（平成5年）には「生物多様性条約」が締結され、1995年（平成7年）には「生物多様性国家戦略」が閣議決定された。また、1997年（平成9年）には「改正河川法」が制定され、2000年（平成12年）には「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」および「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」が制定された。

以上のような環境関連法律の充実・整備により、1990年代後半の水力開発における環境保全対策も従来の自然保護から生態系の維持・保存へ、また、廃棄物のリサイクルへと時間軸を考慮し、「自然環境との共生」を目指したものへと展開していったのである。特に1993年（平成5年）に「生物多様性条約」が締結されて以降、生物多様性の保全が強く求められるようになり、水力開発においてもビオトープなど自然環境の復元・創造、ミチゲーションなど自然環境への影響を最小限に抑えるためのさまざまな緩和対策が講じられるようになってきている。

また、当年代において特筆すべき対策の一つとして、イヌワシ・クマタカなど猛禽類保護対策がある。個体の生息実態を把握するため調査を数カ年かけて行い、その結果に基づいた各種の対策を講じて猛禽類の保護を図っている。

このように 1990 年代は「自然環境との共生」が特徴であるが、留意すべきことは「自然環境との共生」は法令を遵守することで可能となるものではなく、調査・計画から設計・建設まで、開発プロジェクトに係る関係者の自然特性や生態特徴を理解した技術的工夫や真摯な取り組みによるところが大きいことである。

なお、社会環境においても地域と共生していく取り組みが行われ、**奥清津第二発電所**（新潟県）では地域に開かれた発電所として一般公開しており、極力実物に接することができるよう、ダム、発電所、作業トンネルが整備された。また、**奥津第二発電所**（岡山県）でも地元民の工事見学や記念モニュメントの設置等町づくりに貢献する取り組みが行われた。開発地点も従来のように経済的・自然的に良好な場所が減少し、人があまり生活していない山奥から市街地へと移りつつあるが、このように地域と共生する取り組みは今後とも必要と考えられる。

表－2.7.4(1) 奥清津第二発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		奥清津第二（電源開発）
所在地・水系名		新潟県 信濃川水系清津川、カッサ川
工事期間		1992年10月～1996年6月
発電方式		ダム水路式（揚水式）
最大出力(kW)		600,000
最大使用水量(m ³ /s)		154.0
有効落差(m)		470.0
環境 対 策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物の大半を地下に設置し、地表の改変面積を少なくした。 ・工用道路は、維持管理用を除きトンネル化し、地表面の改変を少なくした。 ・切取法面・盛土法面は修景緑化を行った。 ・改変区域は周囲の景観と合致した緑化を行った。
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・計画・設計・施工上工夫し、植生破壊を最小限にとどめた。 ・改変区域は現存植生等を考慮して緑化することとし、緑化方法、緑化用植物を工夫した。 ・植生・動物保護について工事関係者へ周知した。
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・既設調整池に対し、工事による富栄養化の新たな発生源を増やさないために、裸地の適切な緑化、道路・土捨て場などに排水溝を整備した。 ・工事中の濁水は、工事区域に応じた濁水処理方法を採用し、排水基準に基づいた濁水処理を行った。 ・資材運搬、屋外工事は原則として昼間に行い、資材運搬車両は速度制限を遵守した。 ・工用機械は低騒音型を使用した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・地域に開かれた発電所とした（発電所愛称“okky”）。
	⑤その他	
	公園等	上信越高原国立公園（普通地域） 苗場山鳥獣保護区および保安林（水源涵養および土砂流出防備） 既設奥清津発電所（揚水式）の増設

表－2.7.4(2) 奥津第二発電所の環境対策事例

発電所名（事業者）		奥津第二（中国電力）
所在地・水系名		岡山県 吉井川水系吉井川、羽出川
工事期間		2000年3月～2002年9月
発電方式		水路式
最大出力(kW)		15,200
最大使用水量(m ³ /s)		13.5
有効落差(m)		132.6
環境対策	①自然保護・自然景観	<ul style="list-style-type: none"> ・工用道路の工法変更 切取り法面から軽量盛土工法へ変更。間伐材利用による景観との調和。 ・半トンネル式水槽の採用：水槽部L=40mのうち28mをトンネル内に設置。 ・水圧鉄管の茶系塗装、法枠およびコンクリート躯体の着色
	②植生・動物	<ul style="list-style-type: none"> ・魚道の設置 一般魚道、オオサンショウウオ専用魚道（粗石付斜路）→工事中の定期パトロール実施 ・貴重種トキワイカリソウ群落の移植（学識経験者、樹木医による指導） ・希少猛禽類（クマタカ）対策の実施 工事着手前から運転開始までの約7年間継続調査（1回/月）、発破工事等の工法・工程工夫（試験発破、防音蓋、非営巣期実施）、営巣地から工事地点が直接視認できないような敷地計画、工事中モニタリングの実施
	③水質・騒音・振動	<ul style="list-style-type: none"> ・工事中の河川水質調査（1回/月） ・トンネル坑口に防音扉を設置し、騒音測定を実施しながら施工した。 ・民家直下では掘削工法を4パターンに変更し、時間制限を設けた。また影響度合いを住民と一緒に体感した。
	④社会環境	<ul style="list-style-type: none"> ・記念モニュメントの設置および町花の植栽 ・工事期間中のCATV利用した説明、地元懇談会、工事現場見学会
	⑤その他	
	公園等	国指定名勝奥津溪

－2.1～2.6 参考文献－

- 1) Toshio Komatsu, Hiroshi Gotoh, and Mitsuo Takezawa: Environmental cost of hydropower plants ; International Conference on Environmental Economics and Investment Assessment (Wessex Institute of Technology, The National Technical University of Athens), pp.157-166, 2006 年 9 月 13-15.
- 2) 小松俊夫, 竹沢三雄: 水力発電と環境費用 ; 土木学会第 14 回地球環境シンポジウム, pp.41-46, 2006 年 8 月.
- 3) 水力技術百年史編纂委員会: 水力技術百年史 ; 電力土木技術協会, pp. 6, 1992 年 6 月.
- 4) 同 上 pp.9.
- 5) 同 上 pp. 10.
- 6)阿部泰隆・淡路剛久編: 環境法 ; 有斐閣ブックス, (第 3 版補訂版), (株)有斐閣 pp.1, 2006 年 4 月 20 日.
- 7)安藤精一: 近世公害史の研究 ; 吉川弘文館, 1992 年.
- 8) (社)産業環境管理協会: 教養講座「環境政策と環境法体系」; pp.9, 2004 年.
- 9)電源開発促進法 ; 法律第 283 号, 1952 年 7 月 31 日.
- 10) 水力技術百年史編纂委員会: 水力技術百年史 ; 電力土木技術協会, pp. 1046-1047, 1992 年 6 月.
- 11)電気事業連合会統計委員会編: 電気事業便覧 平成 23 年版 ; 日本電気協会, pp. 203-204, 2011 年 10 月.
- 12)高橋裕, 加藤三郎編: 岩波講座地球環境学 1 現代科学技術と地球環境学 ; 岩波書店, pp. 71, 1998 年 5 月.
- 13)環境省編集: 環境白書 ; 日経印刷(株), 2013 年 6 月.
- 14) (社)産業環境管理協会: 教養講座「環境政策と環境法体系」, 2004 年.
- 15)南 博方, 大久保規子: 要説環境法第 3 版 ; (株)有斐閣, pp. 2, 2006 年 4 月.
- 16)建設省河川局: 河川法の一部を改正する法律の解説 ; 河川 No. 611, 1971 年 6 月.

－2.7 参考文献－

- 1)糠平建設所：糠平発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1957年.
- 2)黒又第一建設所：黒又第一発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1959年.
- 3)瀬戸石建設所：瀬戸石発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1963年
- 4)十津川第一建設所：十津川第一発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1961年.
- 5)御母衣建設所：御母衣発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1958年.
- 6)本別建設所：本別発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1965年.
- 7)幌加建設所：幌加発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1965年.
- 8)尾上郷建設所：尾上郷発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1972年.
- 9)長野建設所：長野発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1969年.
- 10)池原建設所：池原発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1965年.
- 11)水窪建設所：水窪発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1969年.
- 12)尾鷲第一・第二建設所：尾鷲第一・第二発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1961・62年
- 13)小森建設所：小森発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1966年.
- 14)新沢嘉芽統：河川水利調整論；岩波書店，pp.162，1972年10月.
- 15)電源開発のあゆみ編纂委員会・経済企画庁総合計画局監修：電源開発のあゆみ；(社)日本電気協会，pp.206,1968年3月.
- 16)早明浦建設所：早明浦発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1975年.
- 17)沼原建設所：沼原発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1973年.
- 18)萩原信也：沼原発電所保全緑化の現況；発電水力，No.146，pp.65-69，1977年1月.
- 19)船明建設所：船明発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1977年.
- 20)奥清津建設所：奥清津発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1981年.
- 21)手取川建設所：手取川第一発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1982年.
- 22)岸上重一，住吉隆司，岡本稔：手取川第二・第三発電所建設工事の骨材プラントの洗浄汚濁水の処理について；発電水力，No.146，pp.77-90.1977年1月，
- 23)松尾博之：南原発電所における環境保全対策；発電水力，No.146，pp.57-64，1977年1月.

- 24) 綱島俊：大雪発電所の緑化工事について；発電水力，No.139, pp.48-62, 1975 年 11 月，
- 25) 吉田稔，牛田太計志：伊奈川発電所建設工事における工事用水排水対策について；発電水力，No.146, pp.91-95, 1977 年 1 月．
- 26) 綱島俊：富村発電所の環境保全について；発電水力，No.130, pp.42-54, 1974 年 5 月．
- 27) 小林晃，種田収：富村水力発電所の緑化工事について；発電水力，No.146, pp.45-51, 1977 年 1 月．
- 28) 東北電力(株)：第二沼沢沼発電所建設記録；1982 年 7 月．
- 29) 鳥居良明，佐々木哲郎：第二沼沢沼発電所の立地環境対応と開発計画の概要；電力土木，No. 153, pp.23-30. 1978 年 3 月．
- 30) 下郷建設所：下郷発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1991 年．
- 31) 佐久間第二建設所：佐久間第二発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1986 年．
- 32) 電源開発(株)：佐久間第二発電所環境影響調査書；1978 年 1 月．
- 33) 早木戸水力建設所：早木戸発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1988 年．
- 34) 電源開発(株)：早木戸発電所環境影響調査書；1981 年 8 月．
- 35) Tokio Morimoto, Masayuki Hori, and Toshio Komatsu：Excavation by tunnel boring machine at headrace tunnel of small cross section；VI Australian Tunnelling Conference, Melbourne, pp.287-296, 1987 年 3 月．
- 36) 森本時夫，小松俊夫：早木戸発電所導水路トンネルの TBM 施工；電力土木，No. 194, pp. 45-56, 1985 年 1 月．
- 37) 破間川建設所：破間川発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1988 年．
- 38) 電源開発(株)：破間川発電所環境影響調査書；1978 年 3 月．
- 39) 熊牛水力建設所：熊牛発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1988 年．
- 40) 電源開発(株)：熊牛発電所環境影響調査書；1983 年 5 月．
- 41) 只見水力建設所：只見発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1989 年．
- 42) 電源開発(株)：只見発電所修正環境影響調査書；1983 年 1 月．
- 43) 秋葉第三建設所：秋葉第三発電所新設工事工事記録；電源開発(株)，1989 年．

- 44)電源開発(株)：秋葉第三発電所環境影響調査書；1987年.
- 45)黒谷水力建設所：黒谷発電所新設工事工事記録；電源開発(株), 1996年.
- 46)電源開発(株)：黒谷発電所環境影響調査書；1989年.
- 47)経済産業省資源エネルギー庁・財新エネルギー財団：水力発電環境保全対策ガイドブック；2004年3月.
- 48)奥清津第二建設所：奥清津第二発電所新設工事工事記録；電源開発(株), 1998年.
- 49)電源開発(株)：奥清津第二発電所修正環境影響調査書；1992年2月.
- 50)槇原豊博，山本康治，藤原巳紀夫：奥津第二発電所新設工事における環境保全対策；電力土木，No.303，pp.25-29，2003年1月.

第 3 章 開発と自然との共生事例

1980 年代になって「自然と人間との共生」ということが言われるようになり、1990 年代には「環境基本計画」の長期目標¹⁾として、また、環境政策の理念や多様性保全の理念として「自然と人間との共生」が使われるようになってきた。河合雅雄氏によると、共生とは元来生物学の用語で、「異種の生物が相互作用を通じて共存している関係」で、相互に利益を交換する「相利共生」、片方が利益を得るが他方はなんの利益を受けない「片利共生」、片方が得をするが他方は損をする「片利片害共生」があると論述している²⁾。

一方、開発は、人間生活のために自然から新しい利用価値を引き出す行為であるとともに、人々が享受するさまざまな本質的自由を増大させるプロセス³⁾でもある。日本では、第二次世界大戦後、経済成長を図るべくさまざまな開発を進め、一方的に自然から利益を享受してきた。これは早い速度で進む高度成長を支え、各開発において経済性が最優先されたため、費用増となる環境コストが抑制されたこと、また環境保全技術も未成熟であったなどによる。しかし、1980 年代以降、地球規模で環境問題が顕在化し、次世代以降もその恩恵を継続させることが人類共存にとって不可欠であることが国際的に共通認識されるようになった。日本でも自然環境は人間の生存に不可欠なばかりではなく、人びとの経済的、文化的、社会活動のために重要な機能を果たす社会的共通資本⁴⁾と位置付けられはじめ、環境コストも社会的コストとして認識されるようになった。また、環境保全技術もいろいろな分野で向上された。

このように自然と人間の関係は、人間が一方的に自然を享受することから、自然と人間の両者が共に持続可能なものであるというように変化してきた。それは必然的な結果である。

水力開発においては、環境アセスメントを 1977 年（昭和 52 年）7 月に通達された通産省省議アセスにより行っていたが、1992 年（平成 4 年）に開催された地球サミットを契機として、1997 年（平成 9 年）6 月に制定され 1999 年（平成 11 年）6 月に施行となった環境影響評価法（法アセスという）に基づいて行うことになった。同法では従来の環境アセスメントに、①生態系・生物の多様性の確保、人と自然との触れ合い、②手続きの各段階で、知事・市町村長・市民意見を踏まえること、③事

業着手後の調査などを行うことが加わった⁵⁾。これにより、同法施行以降、現在の水力開発では、関係行政機関、専門家、市民などの事業関係者と合意形成しながら「自然環境との共生」を目指して進めていくことが必要になった。

著者が携わった沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事（工事期間：1990年（平成2年）～1999年（平成11年））および奥只見・大鳥発電所増設工事（工事期間：1999年（平成11年）～2003年（平成15年））は、通産省省議アセスにより事業を開始したが、両地点では環境影響評価法による自然環境保全対策を先駆けて行っていた。すなわち、開発と自然との共生を、人間は自然からさまざまな恩恵を受けて生活しており、それなくしては生きることができないということと、自然の恩恵を後の世代に引き継ぐためには、健全な生態系の持続性を最優先する開発を行うことという理念に基づいて行ったものである。

以上から、第3章では沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事で創意工夫しながら実践した開発と自然の共生事例、第4章では奥只見・大鳥発電所増設工事で実践した開発と希少猛禽類との共生事例を述べ、また、それぞれの発電所工事で実施した共生のための保全対策について、その有効性および工学的意義について考察する。

3.1 概要

日本は四方が海に囲まれ、海岸線の地形が急峻な所が多いことから、海水揚水発電に有利な面を有している。しかしながら海水を使用することにより金属材料の腐食、地表面土壌への海水浸透などの技術的および環境的な課題がある。そこで沖縄県を対象として、課題を解決するための実証試験プラントの適地調査および諸問題に対する基礎検討を行った結果、技術的信頼性と環境影響対策技術において概ね見通しを得たので、1990年（平成2年）から海水揚水発電実証プラントを建設し、その完成後5年間実証試験運転を行うことによって技術の実用化を確立した。

3.2 実証プラント地点と発電設備概要

通商産業省から委託を受けた電源開発(株)は、1990年（平成2年）3月から3万kWの実証プラントを沖縄県国頭村美作（チュラサク）地点に建設し、1999年（平成11年）3月に完成、2004年（平成16年）3月まで実証試験運転を行った。

工事区域は沖縄本島北部（山原ヤンバル）に位置し、昔ながらの緑豊かな自然が残る地域で、ノグチゲラをはじめとした絶滅危惧種などの貴重生物が生息している。また沖縄特有の赤土地帯でもある。したがって、工事着工前、工事期間中および工事完成后（実証試験期間中）の各ステージにおいて、さまざまな環境保全対策をとり、自然環境と共生する開発を実践した^{6)～9)}。



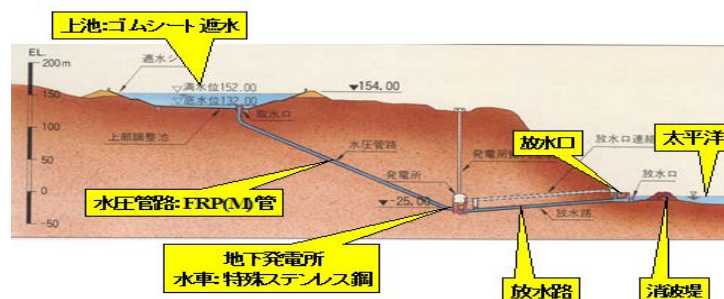
図－3.2.1 沖縄海水揚水発電実証プラント位置

実証プラント地点の美作（チュラサク）地区は、標高 150m～170m のなだらかな台地上であるが、太平洋に面した海側は急崖で、その海岸は巨礫ないし磯浜である。周辺はイタジイーリュウキュウアオキ群集の二次林が広大な面積を占める森林帯であり、小規模な 3 つの沢がある。当地点では、戦後、しばらく農耕が行われていたが、現在は住家もなく、一部が駐留米軍の管理下に置かれている。

実証プラントは、この台地上に掘り込み式の上部調整池を築造し、下部調整池は太平洋を直接利用し、地表から約 150m 下に設ける地下発電所で最大出力 3 万 kW の発電を行う。上部調整池は海水を使用するため、合成ゴムシート表面遮水工を採用し、水圧管路には強化プラスチック管を適用する^{10),11)}など、新材料や新工法を採用することにより、工事完成后 5 年間にわたる各構造物の耐海水性、耐久性の検証を行った。実証プラントの全景を写真－3.2.1、海水揚水発電のしくみを図－3.2.2 に、設備諸元を表－3.2.1 に示す。



写真－3.2.1 実証試験プラント全景



図－3.2.2 海水揚水発電のしくみ

表－3.2.1 設備諸元

	項 目	諸 元
発電計画	最大使用量	26m ³ /s
	有効落差	136m
	最大出力	30MW
	ピーク継続時間	6時間
上部調整池	型 式	掘込み式、ゴムシート表面遮水八角形
		高さ 25m、周長 848m
		最大幅 251.5m
		最大水深 22.8m
	満 水 位	標高 152m
	底 水 位	標高 152m
	総貯水容量	590×10 ³ m ³
	貯水面積	46×10 ³ m ²
水 路	水圧管路	内径 2.4m、 延長 314m
	放水路	内径 2.7m、 延長 205m
発 電 所	寸 法	幅 16.4m、 高さ 32.8m
		長さ 40.4m

3.3 沖縄山原（ヤンバル）の自然特性

沖縄のヤンバルに発達する亜熱帯特有の森は、島の地史的な変遷を経てきた植物によって構成されており、また、複雑な地形と植生の組み合わせによって多様な環境が形成されていることから生物学上貴重である多くの固有種、固有亜種の動物が生息している。ヤンバルにすむ動物や植物、あるいはそれらの生息地として、ヤンバルクイナ、ノグチゲラ、ヤンバルテナガコガネなど 33 件（2003 年（平成 15 年）時点）が、国や県の天然記念物に指定されている。沖縄県全体での国・県指定天然記念物は 97 件であるから、沖縄県の天然記念物の約 1/3 がヤンバルに集中している¹²⁾。

沖縄ヤンバルの土壌としては、国頭マージと呼ばれる特殊土が分布している。国頭マージは、非常に風化が著しく強酸性で、成分である鉄分が酸化し赤色をなしているため「赤土」と呼ばれている。赤土は降雨で流出しやすく、比重が高いため海域に流出すると沈降しやすい性質である。沖縄ヤンバルの海域には、何種ものサンゴ類が生息しており、サンゴが造り出すサンゴ礁は、天然の防波堤として役目を果たすとともに、サンゴが生み出す栄養分は、サンゴ礁で生息する魚類を支えている。一方、サンゴは体内で褐虫藻と共生しサンゴへ酸素と栄

養分を供給しているが、赤土濁水により太陽が遮断されると褐虫藻は光合成ができなくなり、褐虫藻と共生関係にあるサンゴは死滅する。沖縄では本土復帰後、パインアップルなどの耕作地の開墾、リゾート地の開発などにより裸地化が進み、河口付近には海底に赤土が沈澱し、豪雨の後には攪拌され赤茶色に濁り、これによりサンゴが死滅し、大きな社会問題となっていた¹³⁾。

このように、沖縄ヤンバルは、生物の多様性に富み、自然特性の重要な場所として注目されている。

3.4 環境保全対策の実施工程

3.3で述べたような自然特性を有する沖縄ヤンバルで、海水揚水発電実証プラント建設工事および実証試験運転中に行った環境保全対策の実施工程は表-3.4.1のとおりである。この環境保全対策は「貴重動物保護検討会」の指導を受けながら、工事着手前、工事中、工事完成後にわたって実施した。

表-3.4.1 環境保全対策の実施工程

年 度	1981 S56	82	83	84	85 S60	86	87	88	89 H1	90	91	92	93 H5	94	95	96	97	98 H10	99	2000	1	2	3 H15			
大 工 程	海水揚水発電基礎検討					設計			実証試験プラント建設工事										試運転		実証試験運転					
環境創生地													試験植栽		整備・植栽											
環境調査	環境予備調査					環境調査			(工事中)										(実証プラント完成後)							
環境影響評価						評価手法	環境影響評価手続き																			
検 討 会						環境問題検討会			貴重動物保護検討会										野生生物保護検討会							

3.4.1 環境調査

環境調査は、実証プラント建設に適した「環境影響評価手法」を確立するための環境予備調査と、同評価手法により実証プラント周辺地域の環境に及ぼす影響を予測・評価するための環境調査を行った。

環境予備調査は、1981年度（昭和56年度）から1982年度（昭和57年度）にかけ、沖縄県美作地域の気象、植物、動物、前面海域の水

質や生物などの現状について文献および現地調査を行った。そして 1984 年度（昭和 59 年度）から 1986 年度（昭和 61 年度）にかけて、飛散塩分の植物への影響を把握し、環境影響を評価するための調査、海水の飛散量、沈着量を予測する手法の開発、塩害対策の検討を行った。これらの結果をとりまとめて、1986 年（昭和 61 年）3 月に「環境影響評価手法」を作成し、各分野の学識経験者から構成する「環境問題検討会」を設けて内容を検討し、評価手法を確立した。

環境調査は、確立された評価手法により 1987 年度（昭和 62 年度）から 1988 年度（昭和 63 年度）にかけて現地調査および影響予測・評価を行い、1989 年（平成元年）11 月に「環境影響評価書」としてとりまとめ、地元で公開、縦覧し、住民に対する説明会を開催した。

環境調査の結果、貴重な植物としては、沖縄県の固有種であるリュウキュウコンテンリギ、コバノミヤマノボタン、オキナワヤブムラサキなど計 9 種が確認された。また、貴重な動物としては国指定特別天然記念物のノグチゲラをはじめ表－3.4.2 に示す 16 種の貴重動物が生息していることが確認され、このうち絶滅危惧種は 5 種、危急種は 7 種であった。

表－3.4.2 工事区域に生息する貴重動物一覧

種 類	動 物 名	指 定 名 称	備 考
鳥 類	ノグチゲラ	国指定特別天然記念物	絶滅危惧種
	ヤンバルクイナ	国指定天然記念物	〃
	アカヒゲ	〃	危急種
	カラスバト	〃	〃
哺乳類	トゲネズミ	国指定天然記念物	危急種
	ケナガネズミ	〃	〃
両 生 類	リュウキュウヤマガメ	国指定天然記念物	危急種
	クロイワトカゲモドキ	県指定天然記念物	
	イシカワガエル	〃	危急種
	ナミエガエル	〃	
	ホルストガエル	〃	危急種
	イボイモリ	〃	
甲 殻 類	オカヤドカリ	国指定天然記念物	
	オキナワミナミサワガニ		絶滅危惧種
	アラモトサワガニ		〃
昆 虫 類	ヤンバルテナガコガネ	国指定天然記念物	絶滅危惧種

3.4.2 貴重動物保護検討会

上述した自然豊かな沖縄ヤンバルで大規模な開発を行うためには、貴重な動植物をいかに保護するかが重要な課題であることから、電源開発(株)は1989年(平成元年)に、動植物および生態系を専門とする学識経験者で構成する「貴重動物保護検討会」を発足させた。検討会は工事完成後に「野生生物保護検討会」に改称し、海水揚水発電実証試験の最終年度の2003年(平成15年)度まで継続し、毎年ほぼ一回のペースで開催された。

貴重動物保護検討会では、実証プラントの建設工事着工前、工事期間中および完成後の実証試験期間中という各段階に応じたさまざまな意見・助言がなされた。

工事着工前は、環境調査の結果から判明した工事区域周辺の自然環境を踏まえて、土地の改変など工事の実施による周辺環境への悪影響を緩和することに主眼がおかれた。工事期間中は、日々の現場環境パトロールや定期的に行われた環境モニタリングの結果に基づき、各種の保全対策が計画通りに実施され、有効に機能しているかチェックされた。機能していない場合は、より効果的な方策が提案された。そして工事が進むにしたがって、改変された地域の復元方法について検討された。そして完成後の実証試験では、調整池に海水を貯めることによる周辺環境への影響を評価するほか、自然環境の復元・創造をめざした方策について検討会より指導・助言がなされた。

3.5 自然環境保全対策

3.5.1 基本方針と設計上の対策

海水揚水発電の実証プラント建設における環境保全対策は、次の三つの基本方針にもとづいて実施した。

① 生物多様性の確保

生物多様性は人間生存の基盤であるので、将来の世代のためにも確保し、その利用を持続可能になるよう努力する。生物種の多さだけでなく、種間の相互関係や生育・生息地の地形、地質などの無機環境の多様性を保全する。

② 自然環境への復元

建設工事によって改変された場所は、可能な限り周辺環境に類似し

た状態になるよう復元対策を図る。環境影響評価の結果に基づくこの事業に係る環境の変化を，できるだけ建設工事前の状態に戻す措置を講じる。

③ 人と自然との触れ合いの場の創造

人と自然との触れ合いを通して，自然の神秘さや自然からの恩恵を感得し，現在および将来の国民の健康で文化的な生活の確保に資する。とくに，自然についての学校教育や社会教育に役立てる施設にする。また，設計上の対策は次のとおりである。

(1) 陸域環境に与える影響の低減

実証プラントの設計にあたっては，建設地点が沖縄ヤンバル特有の優れた自然環境であることを考慮し，仮設備を含めた改変面積を最小とする施設配置を採用し，個々の構造物の形状，寸法等については，環境面に配慮した設計を行った。すなわち，調整池造成に伴う土工量の最小化を図るために，三次元 CAD システムを用いて精度の高い盛立量と掘削量の均衡最適化を行い，ストックパイルヤード（盛立材料の仮置場）の新規造成面積を低減するため，土砂の搬入が終わった土捨場を利用することとし，工事工程や手順を調整して土捨場整備を先行させる施工計画とした。

また，地下発電所掘削時に発生する岩盤の掘削ズリを全量，調整池盛土材料として有効利用し，土捨場の縮小を図った。放水口地点へのアプローチとして，陸上の既設道路から放水口に至る連絡道路をつくる必要があったが，風衝地植生地区に指定されている急峻な斜面を切り開く工事により赤土が海に流出することが懸念され，また掘削面の緑化も難しかったことから，放水口地点へは海および地下発電所からアプローチすることとし，それが可能となるように工事工程を工夫した。

(2) 海域環境に与える影響の低減

放水口地点には，サンゴをはじめとした海生生物が生息しているため，海域環境に与える影響を最小限とする検討を行い，放水口的位置や形状を選定した。すなわち，放水口的位置決定に先立ち，周辺海域の海底地形とサンゴの分布状況を詳細に調査し，掘削（岩礁破碎）量が少なくなる地点を選定し，実証プラント運転時の取・放水が周辺海域のサンゴや魚，漁船などの船舶に影響を与えないよう

な位置および形状を検討した。この結果、形状は流速の減勢および施工性を考慮し「横取り型」とし、また、放水口全体を取り囲むように消波堤を設置した。消波堤は放水口前面の海面を静穏に保ち、発電や揚水等の実証プラント運転への悪影響を防止するとともに、取・放水時の放水口前面の流れを分散させ、環境への影響を低減する目的を有している。消波堤は消波ブロックを積み上げた透過性をもつ構造とし、消波堤の形状は水理模型実験を行い、その消波効果を確認して形状を台形とした。

3.5.2 工事着手前の保全対策

(1)貴重動物対策

a. 貴重動物の捕獲と移動

工事区域に生息する貴重動物は、表－3.4.2に示したように、小動物が大半である。工事に先立ち、貴重動物を保護するために、伐採作業は森の中央部から順次外側へ向かって行い、貴重動物の自力移動を促す対策を行った。しかしイボイモリ、クロイワトカゲモドキ、ホルストガエルなど極めて移動能力が低い陸生動物に対しては不十分だったので、次の3段階にわたる対策を講じた。

- ①事前に貴重動物を捕獲し、工事の影響がない同様の生息環境に移動させる予防的な保全
- ②貴重動物が戻ってくるかもしれないというリスクを想定した侵入防止柵の設置
- ③万一に備えた傾斜側溝の設置

これら3段階の保全対策の実施プロセスと効果は次のとおりである。

- 1)貴重動物の捕獲と移動は、i.対象動物の選定、ii.移動先の地点選定、iii.移動試験、iv.移動・保護の実施について行った。

i.対象動物の選定としては、沖縄県指定天然記念物であるイボイモリ、クロイワトカゲモドキ、ホルストガエル、ナミエガエル、イシカワガエルと、新種および希少種であるマメシジミの一種、サワガニ類を選定した。

ii.移動先の地点選定では、まず現地調査を実施して生息環境が似かよっている動物に分類し、生息環境条件を満足する移動先

を選定した。すなわち、両生類・は虫類は、改変区域外で工事の影響が及ばない沢に、マメシジミの一種やサワガニ類は、同様に改変区域外の工事の影響が及ばない沢で、水の流れがほとんどなく、底にはやや粒の大きい砂があり、その上に落ち葉や枯れ枝が溜まっている箇所に移動させることとした。

iii. 移動動物の新しい環境への順化を確認するために移動試験を行った。捕獲したカエル 13 匹に蛍光塗料を染み込ませた木綿糸を縛りつけ、周辺環境の異なる二つの候補地点に放し、放置した翌日およびその 2 週間後にその移動経路調査を行った結果、放された地点の近くで 6 匹の生息が確認され、死亡したものは認められなかった。残る 7 匹については、放された地点周辺の岩の穴の中に潜んでいるため確認できなかったと考えられた。これにより人為的に移動させても移動先に影響を与えることなく、十分に定着可能であると推測された。

iv. 貴重動物の移動と保護は工事の進捗にあわせ、1989 年（平成元年）11 月から 1990 年（平成 2 年）7 月にかけて 3 回実施した。また、捕獲した動物は表－3.5.1 のとおりである。

表－3.5.1 捕獲・移動動物実績

動 物 名	個体数
クロイワトカゲモドキ	2個体
ホルストガエル	8個体
ナミエガエル	36個体
リュウキュウヤマガメ	20個体
オキナワミナミサワガニ	60個体
陸産貝類	728個体
合 計	854個体

なお、上記③移動試験および④移動・保護にあたっては、対象動物が国・県指定の天然記念物であることから、「天然記念物に対する現状変更等許可申請」を行い、有資格者の協力を得て実施した。

2) 動物侵入防止柵の構造は、1～2m 間隔に鉄筋を地面にさし、高さ 30cm のポリエチレン製ネットを鉄線により緊結したものであ

る(写真－3.5.1 参照)．高さは動物がカメやカエル等の小動物であることを考慮して決定した．

侵入防止柵は工事区域全周 8km に設置したが，盛土された道路の法肩部分には設置しなかった．これは小動物が万一，道路側に侵入した場合，側溝等を利用して盛土部まで移動し，盛土斜面を下って脱出できるように配慮したものである．



写真－3.5.1 動物侵入防止柵

3) 沖縄県では小動物が自力で脱出可能な側溝として「階段側溝」が使用されていたが，設置間隔や階段の向きによりその効果が動物専門家でも分かれていた．そこで写真－3.5.2 に示すように道路側を垂直面とし，山側を傾斜面としてどこからでも脱出可能とするとともに，傾斜面に凹凸をつけ，小動物が脱出しやすい傾斜側溝を考案し工事用道路に設置した．



写真－3.5.2 傾斜側溝

これらの貴重動物の保全対策の効果であるが、侵入防止柵の設置により、工事期間中、小動物の工事用車両などによる轢死は発生しなかった。また、工事期間中、他所の一般道路でヤンバルクイナのヒナがU字側溝に転落し、脱出できずに死に至ったという事故が何件か報道されたが、工事区域内に設置された傾斜側溝では小動物の死骸は確認されなかった。一方、雨上がりなどに出現しやすいイモリ類が傾斜側溝斜面をはい上がり、法面伝いに移動している行動が時おり観察され、当初の目的は達せられ、効果があったものと考えられる。

(2)赤土流出防止対策

降雨により発生する赤土濁水量を低減することを目的として、a. 周辺排水溝などによる雨水と濁水の分離、b.濁水貯留池の設置、c. 土砂流出防止堰による赤土流出防止対策を採用した。図－3.5.1 にそれらの位置を示す。

まず、雨水と濁水の分離対策としては、降雨時に工事区域外から流入する雨水を土捨場で生じた濁水と混ざらないようにするため、土捨場との境界林縁部に約1.4kmにわたって周辺排水溝を設置して集水した雨水を直接沢に放流し、また、土捨場周辺の小さな沢から集めた清水を土捨場の地下を通して下流の沢に流すために、鋼管パイプによる排水暗渠を沢の流路沿いに約1.1kmにわたって設置した。

次に、頻繁に発生する沖縄特有の高強度のスコールは多量の濁水を流出するため、濁水貯留池と濁水処理プラントを設置した。濁水貯留池の容量は工事最盛期に20年確率降水量から推算すると、約73,000m³を必要とした。そこでまず工事に先行して土捨場下流の谷を二重鋼矢板で締め切り、土捨場内貯留池(46,000m³)を設置した。そして、工事の進捗に合わせ、築造中の上部調整池内を仮貯留池(27,000m³)として利用することとした。土捨場内貯留池に集めた濁水は自然沈降させた後、濁水処理プラントで処理することとし、最大濁水処理能力200m³/hのプラントを設置した。

さらに、工事区域から流出する濁水と、工事区域外から流出する濁水が海に流出しないよう、工事区域周辺5箇所の沢に、写真－3.5.3で示すような土砂流出防止堰を設置した。ふとん籠を沢に積み

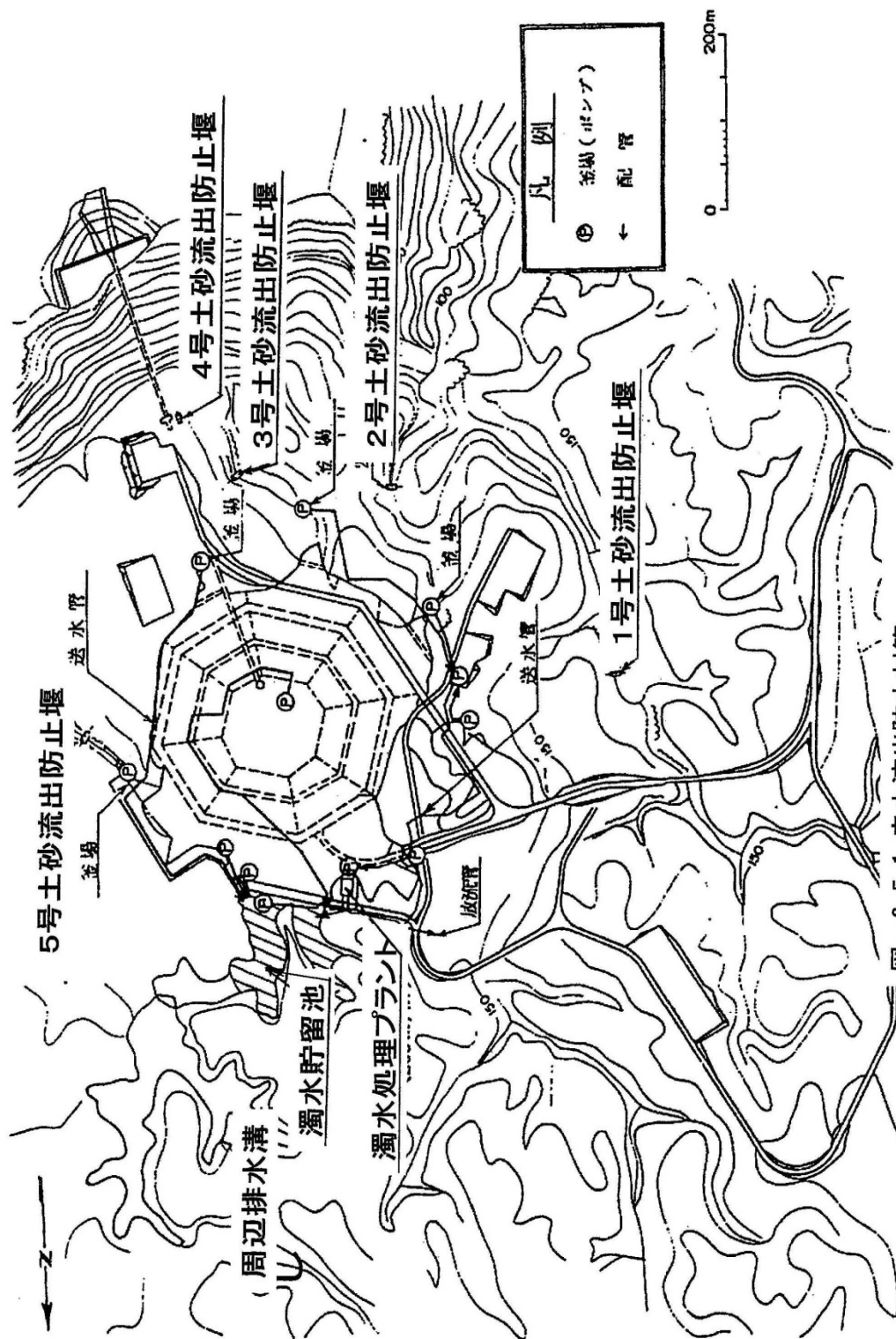


図-3.5.1 赤土流出防止対策

上げ，それを堰とし，その上流面にフィルター機能を有する不織布を張って，濁水中の赤土を捕捉することにした．



写真－3.5.3 土砂流出防止堰

3.5.3 工事中の保全対策

(1)環境モニタリング

建設工事中の周辺環境への影響の有無を把握することを目的として、工事期間中の1990年（平成2年）3月から1998年（平成10年）3月まで、表－3.5.2に示す環境モニタリングを毎年継続した。

調査結果は貴重動物保護検討会に報告し、工事が周辺環境に及ぼす影響度を確認するとともに、影響が認められた時は、ただちにその原因究明・対策を実施した。

表－3.5.2 工事中の環境モニタリング項目

項 目	調 査 地 点	調 査 頻 度
騒音・振動	・工事区域内および周辺（3地点）	・4回/年
水 質	・沢部（2地点） ・沢河口部（2地点） ・放水口周辺海域（3地点）	・1回/月、豪雨のつど ・豪雨のつど ・2回/年（夏季、冬季）
両生類・爬虫類	・沢部（3ルート地点） ・環境創生地（1ルート）	・1回/年
土 壌 動 物	・工事区域近傍（4地点）	・1回/年
水 生 動 物	・沢部（2地点） ・環境創生地内ため池（3地点）	・1回/年
サ ン ゴ	・放水口周辺海域（3地点） ・放水口消波堤（1地点）	・1～2回/年
鳥 類	・ルートセンサス（6ルート） ・定点観察（4地点） ・環境創生地内定点（1地点）	・1～2回/年

工事中の生物に関するモニタリング結果は概ね次のとおりである
13)。

両生類・爬虫類・土壤動物に関しては、概ね工事着工前の環境調査時の種の生息が確認された。それらの個体数は年により変動が見られたが、各年の気象状況や調査時期の天候に影響を受けているものと推察された。水生生物に関しては、工事着工前に比べて増加傾向が認められ、その個体数は増減を繰り返しながらも徐々に増加する傾向が認められた。造礁サンゴに関しては、工事着工前より種類数・被度とも増加が観察された。鳥類に関しては、種類数、個体数とも工事着工前の調査と大差なく沖縄ヤンバルの森に生息する留鳥

のほとんどが観察された。

以上のモニタリング結果から、約 8 年間にわたる工事期間中、各種の保全対策が有効に機能し、周辺環境への影響が最小限に留められたことが確認された。

(2)赤土流出防止対策

「工事区域で発生した濁水は工事区域で処理する」ことを原則とし、工事の進捗にあわせて次のような濁水処理対策を行った。

まず、濁水処理として、降雨で発生した濁水のうち、土捨場周辺の濁水は自然流下で土捨場内貯留池に集水し、上部調整池周辺の濁水は各箇所に設置した水中ポンプで上部調整池内の仮貯留池に一時的に貯留した後、土捨場内貯留池に送水した。土捨場内貯留池に集めた濁水は自然沈降させた後、濁水処理プラントで $\text{Ph}5.8\sim 8.6$, $\text{SS}10\text{ppm}$ 以下に処理し、近隣の沢へ放流した。

次に、裸地部への対策として、掘削が完了した箇所はすみやかに種子吹付・張芝等で緑化した。そして、一時的な裸地部はアスファルト乳剤で被覆し、応急対策としてビニールシートを覆った。

濁水パトロールは、赤土流出防止対策が十分機能しているかを確認するため、累計 10mm 以上の降雨時や、建設所員が必要と判断した場合に、工事区域および前面海域等について実施した。

(3)緑化対策

工事で裸地化された法面などは、赤土流出防止や動物が生息しやすい環境を復元させるために、場所に応じた緑化対策を実施した。

道路法面の緑化には、種子吹付が一般的であるが、沖縄は高温・乾燥状態が長く持続し、また強いスコールで種子が流されてしまうため、次のように土壌の硬さに応じた緑化方法を実施した。

まず、土壌が比較的軟らかい法面にはネットを張り、種子吹付を行った。この結果、シダ類などの二次植生が所々に密生しはじめ、ネット張りは二次植性の形成に効果があると考えた。

また、土壌が硬い法面は、苗木による植栽を行い、樹種・植栽方法は試験植栽し、周辺に自生しているハリツルマサキなど 4 種および編柵工による客土方式を採用した。法面が長い箇所については、施工、管理および経済性を考慮して、法面にネットを張り地被類で被覆した。

そして、調整池法面は、堤体盛立てと並行して、すみやかに張芝
また種子吹付を行った。

さらに、森林部との境には、道路掘削などで改変した森林を風害
から守るため、改変区域内に自生している低木を法肩に移植した。

(4)教育宣伝活動

環境保全対策を継続させ、完結するためには、すべての工事関係
者に環境保全の精神を浸透させることが重要であった。そのため、
次のような活動を行った。

まず、ポスター「森の先住者に注意！」を作成し、工事事務所・
現場内に掲示した（写真－3.5.4 参照）。そして、啓蒙手帳「自然に
やさしく」を作成し工事関係者に配布した。その手帳には環境保全
のための作業上の注意、貴重動物を発見した時の対応、16種の貴重
動物の写真を掲載した。また、巻末には貴重動物確認報告書を添付
した。その結果、工事期間中に貴重動物 177 件の報告があり、生息
分布状況確認に役立った（写真－3.5.5 参照）。

さらに、貴重動物保護に関する講演会を年一回開催し、研究者が
貴重動物の習性や鳴き声などを紹介したり、建設所員の中から「自然
保護担当者」を指名し、定期的に工事区域内をパトロールすると
ともに、工事関係者への指導にあたった。



写真－3.5.4

ポスター「森の先住者に注意」



写真－3.5.5

啓蒙手帳「自然にやさしく」と
貴重動物確認報告書

3.5.4 工事完成後の環境モニタリング

海水揚水発電は世界で初めての方式なので、従来にはない環境への影響が生じないかを確認することや、実証プラント周辺の環境が、工事終了後にどのように回復していくのかを確認するために、工事完成後の環境モニタリングを、発電実証試験期間中の1998年度（平成10年）から2002年度（平成14年）の5年間に亘り行った。

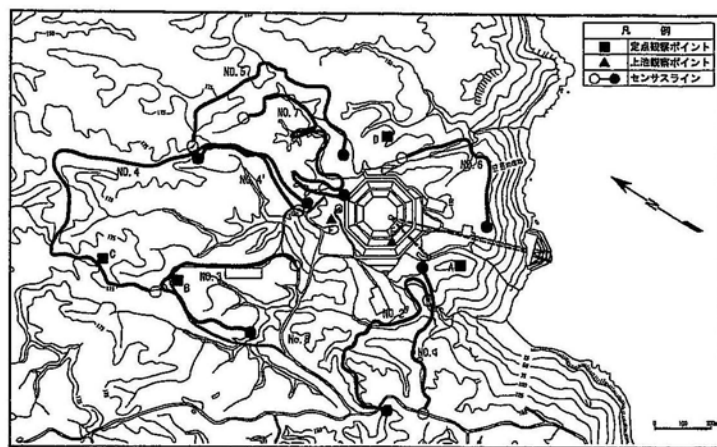
(1)モニタリング項目

モニタリング項目には、工事中実施した項目に植生・海生生物・飛散塩分を加えた。項目および調査頻度を表-3.5.3に示す。

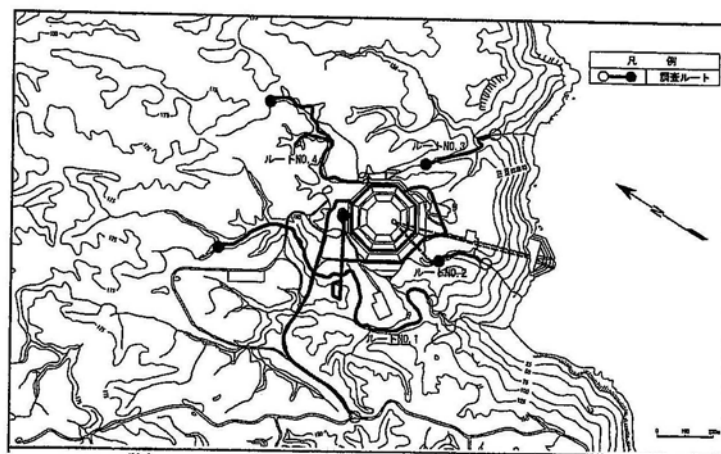
表-3.5.3 工事完成後の環境モニタリング項目

項 目		調 査 地 点	調査期間・頻度
植 生		・現存植生・毎木調査：工事区域内外(各5地点) ・林縁部調査：工事区域境界(4測線)	・H10～14年度 ・台風時期の前後（概ね6月、11月）
動物 (陸域)	ほ乳類	・ルートセンサス：工事区域内外(2ルート) ・定点調査：工事区域外(2地点)	・H10～14年度 ・2回/年（春季、夏季）
	鳥類	・工事中モニタリング地点に工事区域内1ルート、2定点を追加	・2回/年（繁殖期、冬季） ・昼夜2回
	両生類・爬虫類	・工事中モニタリング地点と同じ	・2回/年（春季、夏季） 主に夜間
	昆虫類	・ルートセンサス：工事区域内外(5ルート) ・定点調査：工事区域外(2地点)	・2回/年（春季、夏季） 定点調査は夜間
	土壌動物	・工事中モニタリング地点と同じ	・2回/年（春季、夏季）
	水生生物	・工事中モニタリング地点と同じ	・同 上
海生生物	サンゴ	・3測線（環境調査時と同じ） ・5定点（工事中モニタリング地点と同じ）	・H10～13年度 ・2回/年（夏季、冬季）
	潮間帯生物	・2地点（環境調査時と同じ）	
	海藻草類	・3測線（環境調査時と同じ）	
	底生生物	・2地点（同上）	
	卵・稚仔	・2地点（同上）	
	動・植物プランクトン	・4地点（同上）	
	魚等の遊泳動物	・1測線（同上）	
飛 散 塩 分 調 査		・気中塩分濃度：5地点(自動連続測定) 6地点（手動測定） ・沈着塩分量：9地点 ・土壌中塩分濃度：4地点 ・葉面付着塩分量 5地点（夏季、冬季） 6地点（台風通過時）	・H9～14年度 ・気中塩分濃度（手動）、沈着塩分量、土壌中塩分濃度：1回/月 ・葉面付着塩分量：1回/月 （夏季7～9月、冬季12～2月） 台風通過時

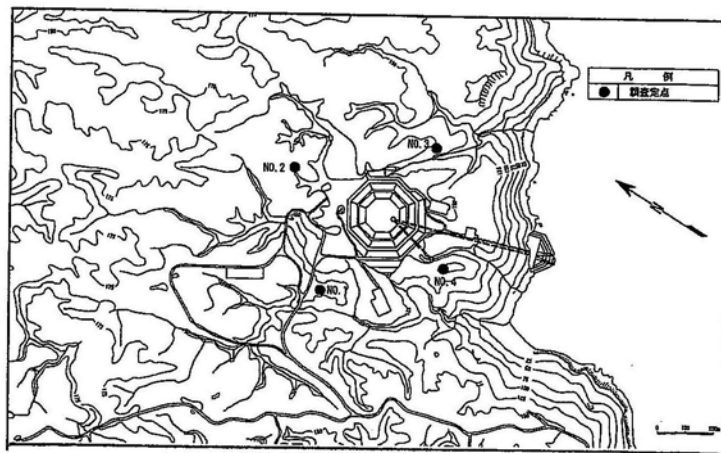
図－3.5.2(1)～(6)に，各モニタリングの調査位置を示す¹⁴⁾。



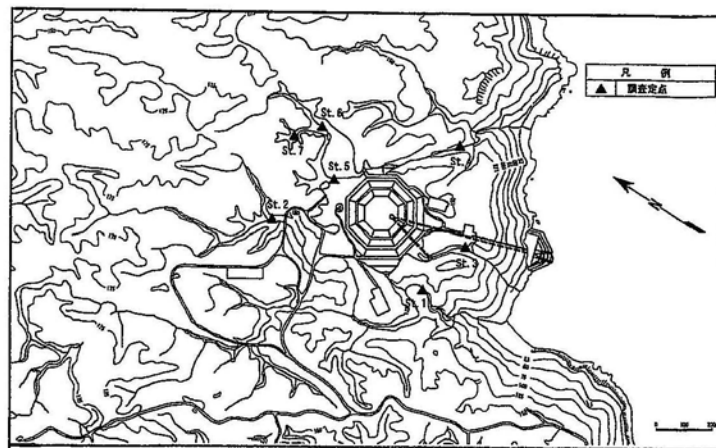
図－3.5.2(1) 鳥類調査 調査位置



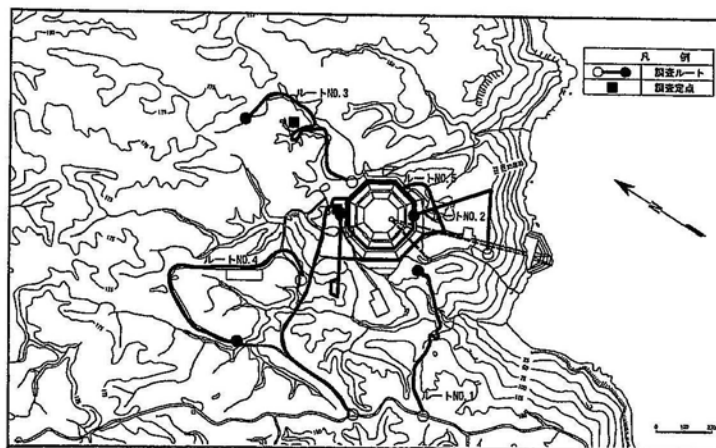
図－3.5.2(2) 両生類・は虫類調査 調査位置



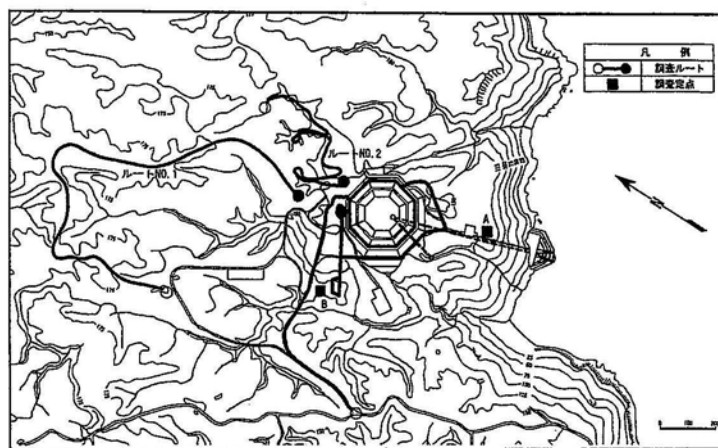
図－3.5.2(3) 土壌動物調査 調査位置



図－3.5.2(4) 水生生物調査 調査位置



図－3.5.2(5) 昆虫類調査 調査位置

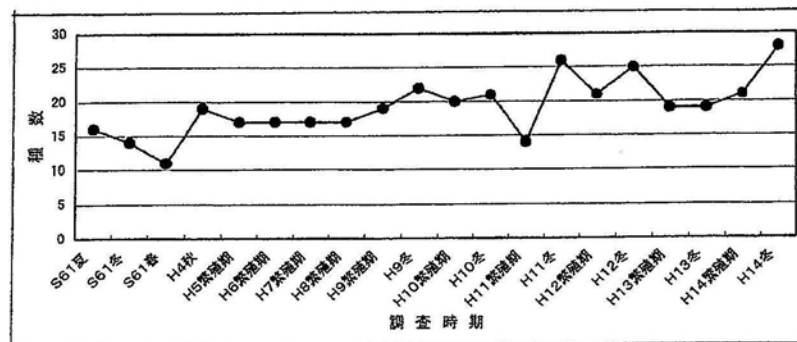


図－3.5.2(6) ほ乳類調査 調査位置

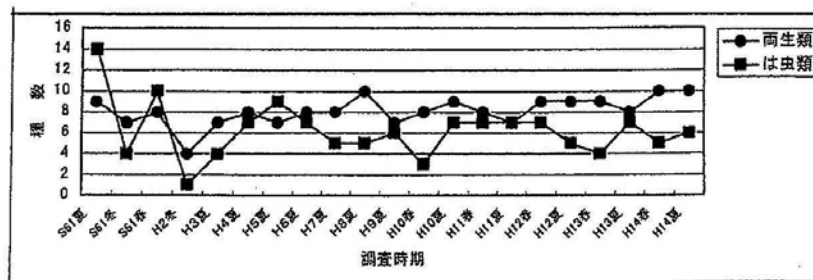
(図－3.5.2(1)～(6)出典：平成15年度海水揚水実証試験報告書)

(2) モニタリング結果から得られた経年変化

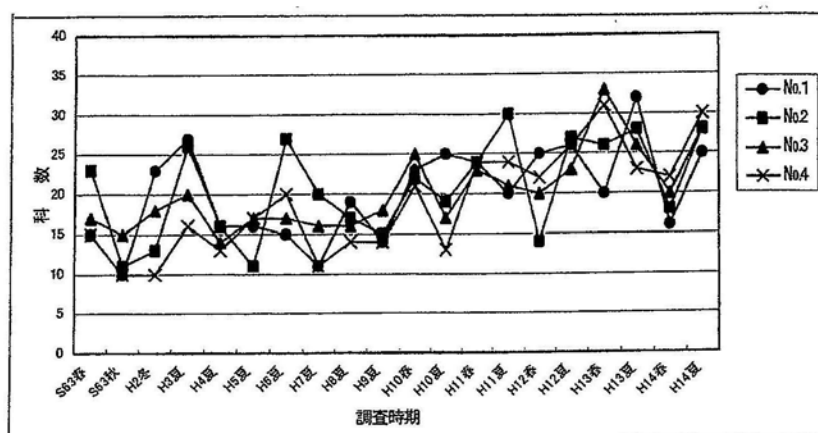
モニタリング結果から，動物（鳥類，両生類・は虫類，昆虫類，土壌動物，水生動物）における工事前・工事中・工事完成後を通した経年変化を図－3.5.3～図－3.5.7に，また，ほ乳類の確認結果を表－3.5.4に示す¹⁴⁾．なお昆虫類は工事完成後から追加している．



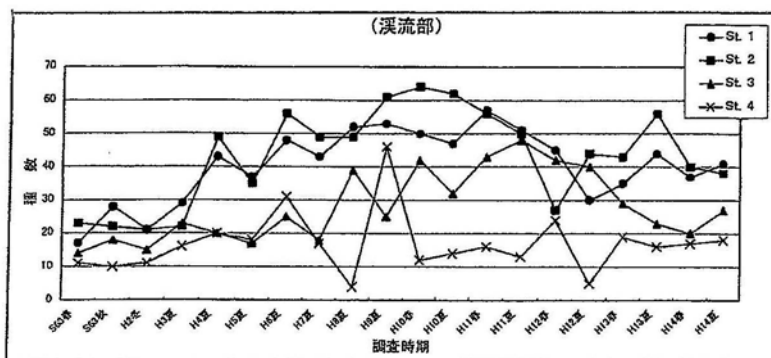
図－3.5.3 鳥類出現確認種数の経年変化



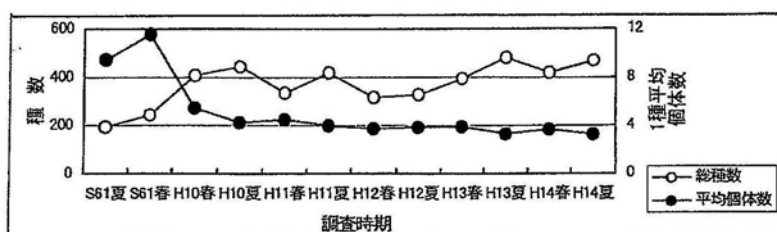
図－3.5.4 両生類・は虫類出現確認種数の経年変化



図－3.5.5 土壌動物出現確認種数の経年変化



図－3.5.6 水生動物出現確認種数の経年変化



図－3.5.7 昆虫類出現確認種数の経年変化

表－3.5.4 ほ乳類調査 確認種一覧

No.	種 名	天然 記念物	環境省 レッドリスト (2002)	レッドデータ おきなわ (1996)	1986年度 (S61年度)			1998年度 (H10年度)		1999年度 (H11年度)		2000年度 (H12年度)		2001年度 (H13年度)			2002年度 (H14年度)		
					7月	12月	3月	6月	9月	6月	9月	6月	9月	5月	9月	12月 夜間	6月	10月	12月 夜間
1	オリオオウモリ			未決定種			O		O			O		O			O		
2	オキナフコギガシラウモリ		絶滅危惧ⅠB類	危急種	O	O					O							O	
3	小型コウモリ													O					
4	オキナフハツカネズミ			希少種	O														
5	オキナフケネズミ	国指定	絶滅危惧ⅠA類	絶滅危惧種	P		O												
6	ノネコ(イエネコ)				D				P		T*1						O*2		O
7	リュウキュウイシシ			未決定種	FT	PFT	FT	FT	FT	F	F	ODFT	ODFT	ODFT	DFT	O	OF	OF	F
種 類 数					5	2	3	1	3	1	3	2	1	3	1	1	3	2	2
					6			3		3		2		3			4		

確認状況 O: 目撃, P: 死体などを拾得, D: 糞を確認, F: 食痕を確認, T: 足跡な
どを確認

*1 平成 11 年度のノネコは, 鳥類冬季調査時(12 月)に確認された。

*2 平成 14 年度のノネコは 6 月の自動撮影装置で撮影され, 鳥類冬季調査時(12 月)
には土捨て場で目視確認された。

(図－3.5.3～3.5.7, 表－3.5.4 出典: 平成 15 年度海水揚水実証試験報告書)

a. 鳥類

図－3.5.3 から工事中は調査時期によって渡り鳥の飛来状況が異なることもあり、確認数、個体数とも年による変動は見られたが、留鳥に着目すれば顕著な変動はなかった。また、1986年（昭和61年）に実施した調査結果との比較でもほとんど差はなかった。工事完成後は個体数は年による変動が大きいが、確認種数は増加傾向がみられ、季節的には冬鳥が、生息環境的には草地や水辺を好む種が環境現況調査時に比べて増えている。また、天然記念物4種は工事中・完成後通じてほぼ毎年確認された。

b. 両生類・は虫類

図－3.5.4 から工事中、両生類・は虫類とも確認種数、個体数は年による変動がみられたが、これらは工事状況の違いよりも天候の影響が主たる原因と推察された。また、1988年（昭和63年）に実施した調査結果と比較して、は虫類の確認種数が多少減少したが、貴重種については工事中もほぼ毎年のように確認された。工事完成後も同様の傾向にあった。

c. 土壌動物

図－3.5.5 から工事中・完成後を通して確認種数は経年変化が小さいものの、個体数は年による変動がみられ、両生類等と同様に天候の影響が主たる原因と推察された。また、1988年（昭和63年）に実施した調査結果との比較ではほとんど差はなかった。

d. 水生動物

図－3.5.6 から工事中は確認種数、個体数とも年による変動が大きいが、種数は1988年（昭和63年）に実施した調査結果と比較して増加しており、経年的には概ね増加傾向がみられた。これらは工事による影響も一因ではあるものの、天候の影響等による自然変動が主たる原因と推察された。工事完成後もほぼ同様で特異な傾向はみられなかった。

e. 昆虫類

図－3.5.7 から個体数は年によって大きく変動するが、確認種数は工事完成後に増加傾向がみられ、1986年（昭和61年）に実施した調査結果からは大幅に増加した。また、貴重種もほぼ毎年のように確認された。

f. ほ乳類

表－3.5.4 からコウモリの仲間やリュウキュウイノシシが経年的に確認されている。確認種数、個体数とも環境現況調査当時から少ないが、調査地点一帯の生態系バランスを崩す脅威となっているノネコ（イエネコ）が環境創生地でも確認された。

(3) モニタリング結果から得られた評価

工事完成後について、動物は元来、出現個体数が年によって大きく変動するものであるが、確認種数については工事中モニタリングとほぼ同様の傾向を示す両生類・は虫類等と、工事完成後に増加傾向を示す鳥類、昆虫類がみられた。後者は、実証プラント建設によって草地や水辺等の従来なかった環境が出現したことに主として起因するものと推察された。サンゴ・海生生物に関しては、サンゴは1998年（平成10年）夏に発生した白化現象により大きなダメージを受けたが、サンゴ以外の海生生物は、その種類数や個体数に目立った変化はみられず、発電運転による海生生物の生育・生息環境への影響はないことが確認された。実証プラント周辺の飛散塩分に関しては、海から運ばれる塩分が支配的であると推測され、調整池に海水を貯めたことによる陸地の動植物や土壌への塩分影響の発生は確認されなかった。以上の結果から、工事完成後、揚水発電所の上池に海水を貯水したが、その影響は動植物には認められなかった。

工事開始前から工事完成後までに得られたモニタリングデータを用いて総合的に分析、評価した結果、実証プラント周辺で生息・生育する動植物の出現種数は、調査地点や季節の違いによるバラツキはあるものの、経年的にはほぼ一定で推移していることが確認された。また、群集の複雑さや種間の相対的優占度を表す指数類には、環境の偏りがあった場合に生じる急激な減少などの特定の傾向は認められないことが判明した。「環境省レッドデータリスト」、「レッドデータおきなわ」などに記載されている注目すべき動物種については、工事期間中および完成後もほぼ継続的に生息していることが確認されている。

このように、実証プラント周辺の生物の多様性に関する状況に顕著な変化は認められず、生物多様性は保全・維持することができたものと考えられる。

3.5.5 新しい環境の創出－環境創生地－

(1)環境創生地の創出

総面積が約 45,000m²ある土捨て場を,野生生物が共存共栄し,また,人と自然との触れ合いを通して,自然の神秘さや自然からの恩恵を感じ得る場として位置づけすることとし,「環境創生地」を創出した(写真－3.5.6 参照).

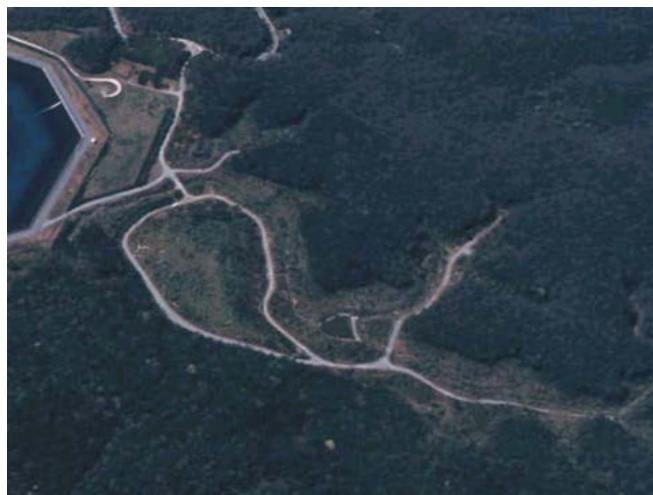
その設計コンセプトは次の 2 点である. すなわち,

- ①自然の復元力を効果的に引出し, 早期に復元すること.
- ②貴重動物をはじめとした野生生物が, 共存共栄できる環境を創生すること.

これを受け,

- a.植生の自然回復力を利用して復元すること
- b.鳥や動物などに供給可能なエサ場をつくること
- c.既存の沢を復元すること
- d.幼木の健全な育成を確保するため, 防風林を植栽すること
- e.赤土流出を防止するため, 裸地を前面にわたって覆土すること

について具体的な検討を行った.



写真－3.5.6 環境創生地

そして, 周辺の自然植生に近い状態に復元するため, 植栽には在来種を用いることとし, 植栽樹種の活着性, 植栽密度, マルチング(被覆)材料が苗木の成長に及ぼす影響を, また, 防風ネットの塩害抑制

効果を確認するために、試験植栽を実施した。試験植栽は周辺植生のうち代表的な樹種 6 種およびマルチング材 4 種を選定し、調整池近傍の盛土箇所では 1994 年（平成 6 年）3 月から 2 年 6 ヶ月間かけて行った。

また、土捨場の環境創生地への復元整備を、1995 年（平成 7 年）から 1997 年（平成 9 年）にかけて行った。そして、上述した設計コンセプトにもとづいた造成計画および緑化計画を策定し、起伏や池などをレイアウトするとともに、約 3 万本の植栽を行った。

すなわち、全体レイアウトとして、環境創生地の造形成状は、できるだけ平坦地を少なくし周辺の地形と一体感をもたせ、地表面の仕上げは、苗木の根腐れを防止するためにできるだけ凹凸をつけ、地表面の排水性を高めた。

さらに、もともとあった沢の機能を回復するために水路を設け、その水路は水辺の小動物が生息できる環境となるよう適度に蛇行させ、瀬やよどみを設けた。水路の途中には遊水池（500m²、150m²）を造り、また環境創生地全域に 10m²程度の小池を約 50 箇所設けた。

樹種の選定は、森林の遷移を考慮し、試験植栽の結果を踏まえ、優先樹であるイタジイ、アデク、シャリンバイを中心とし、パイオニア樹であるアカメガシワなど、また、結実樹で鳥の餌となるシマグワなどを取り混ぜて植えた。植栽に使用した苗は、周辺の樹木の種子を採取して 2～3 年間育苗した樹高 50cm 程度のポット苗とし、植栽密度は 1.5m²に 1 本の割合とした。環境創生地はもともと土捨場で土壌も無機質なので、苗を植える穴に牛糞堆肥を混ぜ、土壌改良を実施した。赤土流出防止および土壌乾燥を防ぐためのマルチングは、試験植栽結果から、急傾斜部には厚さ 2cm のヤシ殻不織布、緩傾斜部にはバーク堆肥を約 5cm の厚さに敷いた。

環境創生地の管理は、自然が有する復元力を効果的に引出し、本来数十年という時間を経て回復していく森林を、できるだけ早く復元することにより、生態系をよみがえらせる手助けをするという観点から取り組み、施肥、除草、バーク補充、支柱補強・取替え、巡視などを行った。

(2)復元状況の検証

これらの取組みが有効であり，早期の自然環境復元が可能であったかを植生・動物類調査結果から評価した．

植生調査は，環境創生地に4箇所のコドラートを設定して現存植生調査および毎木調査を実施し，環境創生地と自然植生地の境界をなす自然植生林縁ライン沿いの植生についてラインセンサスとコドラートを設定し，生育状況の調査を行った．表－3.5.5は植生調査内容である．

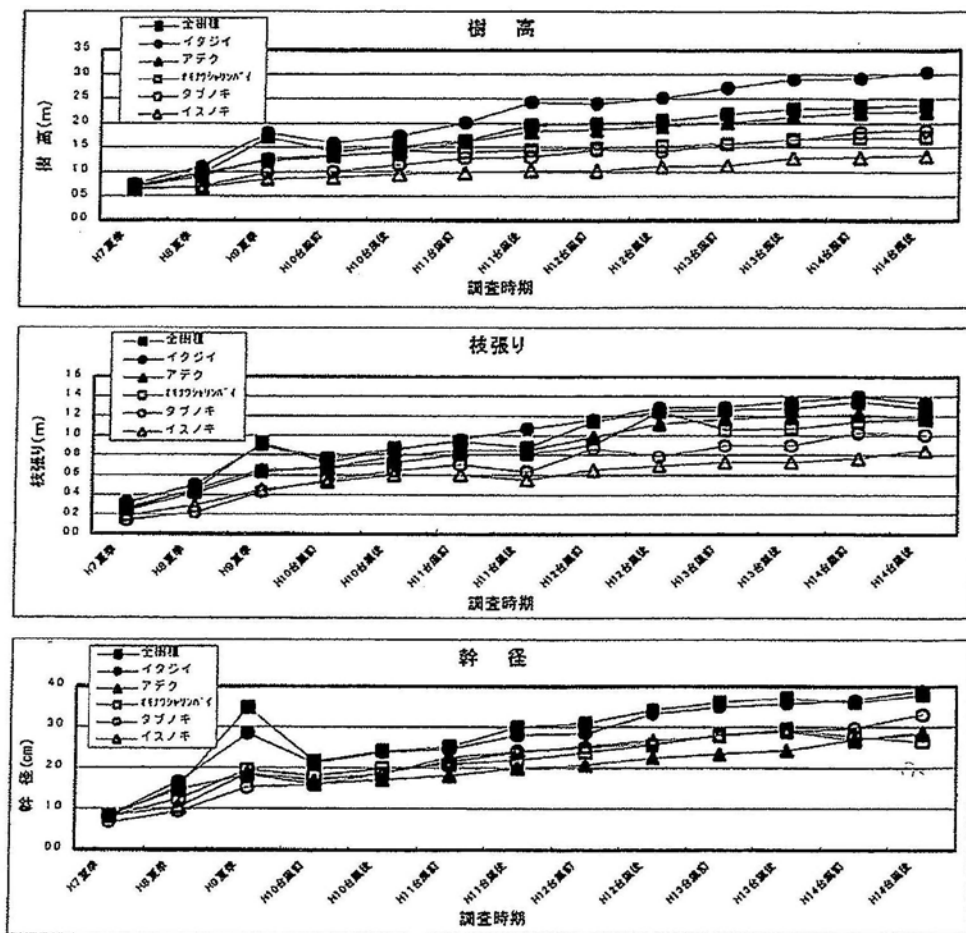
表－3.5.5 環境創生地植生調査内容

	方 法	項 目	期 間	頻 度
現存植生	・コドラート (10m×10m)	・階層構造 ・種組成の被度・群度	1988年(平成10年)度 ～ 1992年(平成14年)度	2回/年 (台風期前・後) *91・92年度は 冬季を追加
毎木調査		・樹高 ・地際直径 ・枝張り ・枝下高 ・活力(樹勢)		
林縁部	・ラインセンサス ・コドラート	・立ち枯れ被害 ・生育状況	1991年(平成13年)度・ 1992年(平成14年)度	3回/年 (台風期前・後、 冬季)

表－3.5.5の植生調査から判明した環境創生地内での樹木の生育概況は次のとおりであり，図－3.5.8に樹木生育の経年変化を，図－3.5.9に自然植生地林縁部植生区分を示す¹⁴⁾．

①栽樹木の生育状況を示す樹高，枝張りおよび幹径は，図－3.5.8から陽樹，陰樹ともに経年的な増加傾向がみられた．

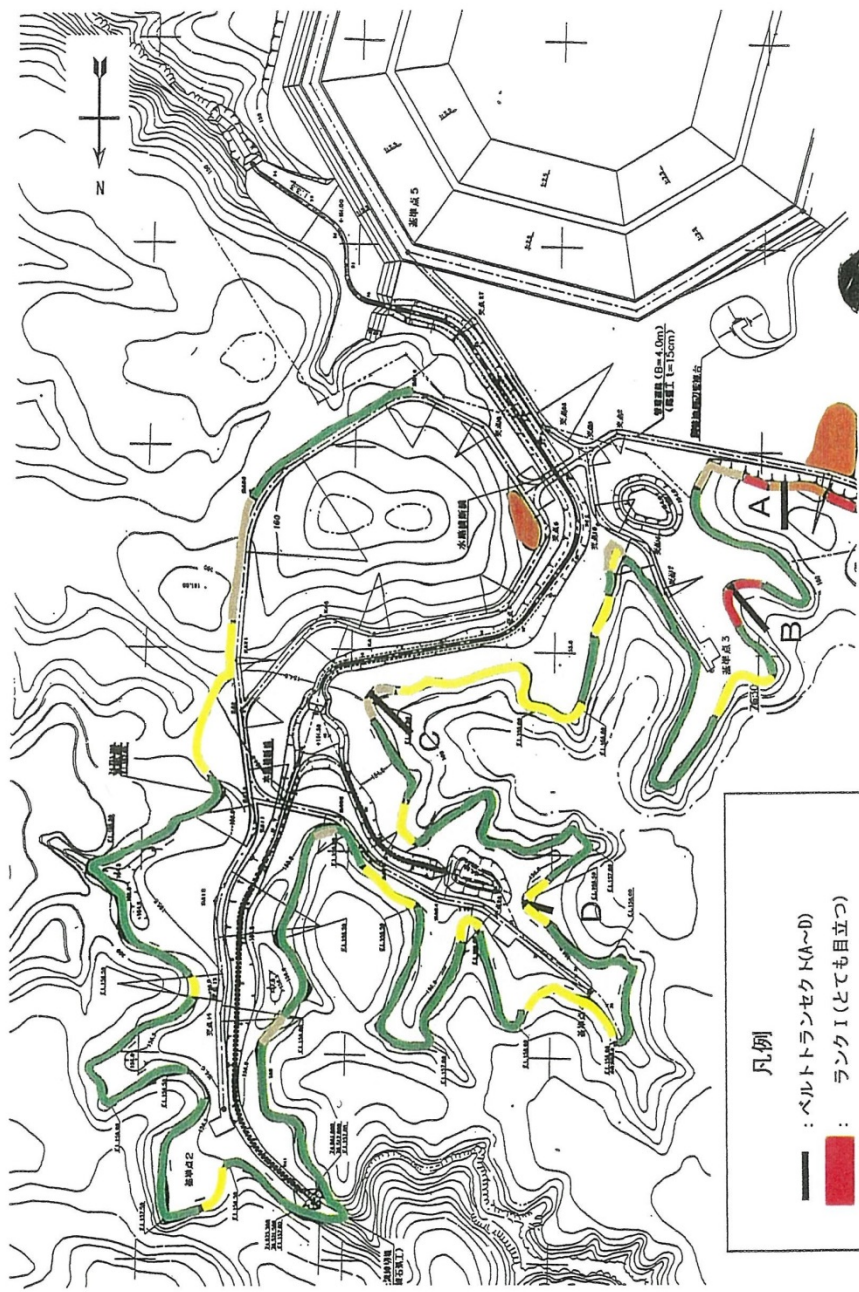
②境創生地最奥部では亜高木層の植被率が80%前後に達し，周辺の自然林に近い状態まで生育している．また，その他の区域では草本類が多数みられるものの，低木層の植被率も経年的に増加傾向にある（図－3.5.9参照）．



図－3.5.8 環境創生地コドラートにおける樹木生育の経年変化
 (図－3.5.8～3.5.9 出典：平成15年度海水揚水実証試験報告書)



写真－3.5.6 環境創生地遠望



凡例

- : ベルトランセクト(A~D)
- : ランクⅠ(とても目立つ)
- : ランクⅡ(とても目立つ)
- : ランクⅢ(目立つ)
- : ランクⅣ(やや目立つ)
- : ランクⅤ(ほとんどない)

注) 林縁ラインの生育状況の類型区分

ランクⅠ: 乾燥による生育不良の進行した樹木が多くある。
 ランクⅡ: 乾燥による生育不良の進行した樹木がある。
 ランクⅢ: 乾燥による生育不良が認められる樹木が多い。
 ランクⅣ: 乾燥による生育不良が認められる樹木がわずかにある。
 ランクⅤ: 乾燥による生育不良が認められる樹木がほとんどない。

図-3.5.9 植生調査 自然植生地林縁部植生区分およびベルトランセクト位置

動物調査は，工事中に実施していた鳥類，両生類・は虫類，土壤動物，水生動物に，ほ乳類，昆虫類を加えて実施した．調査方法はルートセンサスおよび定点で行い，各動物の生態特性に合わせた方法で行った．表－3.5.6に動物調査内容を示す．

表－3.5.6 環境創生地動物調査内容

動物類	方 法	項 目	期 間	頻 度
ほ乳類	・ルートセンサス ・定点調査	・種類 ・個体数	1988年(平成10年)度 ～ 1992年(平成14年)度	2回/年 (春季・夏季)
鳥類	・ラインセンサス ・定点調査			2回/年 (繁殖期・冬季)
両生類・ は虫類	・ルートセンサス			2回/年 (春季・夏季)
昆虫類	・ルートセンサス ・定点調査			
土壤動物	・定点調査	・種類・科名 ・個体数		
水生生物	・定点調査	・種類 ・個体数		

調査結果は次のとおりである¹⁴⁾．

①哺乳類および鳥類は，周辺の自然植生地（森林）とほぼ同様の種が経年的に確認された．また，昆虫類のうちバッタ類・カメムシ類等の草原性の種は個体数の減少傾向がみられ，樹木の成長とともに昆虫相は森林内のもとの昆虫相に回復しつつあるといえる．

②両生類・は虫類および水生動物は水辺環境（ため池，水路）で生息が確認されているが，周辺の沢部（溪流部）に比べて種数が限定されたり，水路の水の有無による種数・個体数の増減が顕著であった．

③鳥類の注目種であるヤンバルクイナ，カラスバト，アカヒゲ，両生類の注目種であるシリケンイモリが経年的に確認された．

(3) 復元状況の評価

環境創生地の植栽樹木は内陸側の風衝の影響を受けにくい区域では周辺の自然植生（森林）に近づきつつあり，その他の区域においても成長速度は緩やかなものの順調に生育していることが植生調査か

ら確認された。また，鳥類や昆虫類は周辺地域とほぼ同様の生息状況を示すようになり，水辺環境を整備したことによって両生類や水生生物等も生息できることが動物調査から確認された。

昆虫類は種類，個体数が多く，ほ乳類や両生類・は虫類に比べると多様度指数を計算するのは比較的容易であることから多様度指数が求められた。この結果を表－3.5.7に示す¹⁵⁾。この結果，環境創生地では平成10年度以降指数は漸次高くなっており，また森林内の指数と近似しつつある。したがって，昆虫相の種多様度は，従来の森林の多様度にはほぼ回復した。

表－3.5.7 森林内と環境創生地における昆虫類多様度指数

調査時期	春季(6月)		夏季(9月または6月)	
	森林内	環境創生地	森林内	環境創生地
1998年 (平成10年)	44.908	32.052	32.29	34.594
1999年 (平成11年)	21.93	21.981	35.36	26.356
2000年 (平成12年)	32.392	24.742	29.485	31.746
2001年 (平成13年)	26.085	28.219	36.761	28.175
2002年 (平成14年)	33.416	38.715	31.978	43.291

(出典：ヤンバルの森から)

このように，環境創生地が周辺の自然植生と同等となるには，もう少し時間を要するものの，動植物の生息・生育場所としての機能回復は順調に進んでいるものと考えられ，自然の回復力を利用した生態系復元が所期の効果を発揮したものと思われる。

また，環境創生地には工事期間中からおおぜいの見学者が訪れ，完成後も地元の小中学校生徒らをはじめとして環境教育，体験学習の場として利用されている。

沖縄海水揚水発電実証プラントは，2004年（平成16年）3月に試験が終了した後，「やんばる発電所」として最大出力3万kWの電力を沖縄電力に供給している。また，発電所は世界初の海水揚水発電所として，内外の見学者を受け入れている。2009年（平成21年）には，実証プラント試験終了5年後の設備定期点検を実施し，各構造物の健全度を確認した。なお現在，環境創生地は実証試験終了後に米軍に返

還され，中に入ることができなくなったが，周囲の森林とすっきりと
けこんだ様相になっている．



写真－3.5.7 初期(1996年)の環境創生地



写真－3.5.8 2000年6月の環境創生地

3.6 他地点の環境保全対策への展開

小型動物を対象として開発・実施した侵入防止柵・傾斜側溝は、同じヤンバルの森林区域を所轄する沖縄総合事務局北部ダム事務所の実施事業で、標準的な希少貴重動物対策として活用されている¹⁶⁾。

赤土濁水量を減らすための周辺排水溝，確率降水量に基づいて容量を決定した濁水貯留池，海に直結する沢部に設置した土砂流出防止堰，工事で発生する裸地部への緑化や被覆対策，濁水プラントによる濁水処理，降雨前後の濁水パトロールなど，一連のシステムの赤土流出防止対策は，沖縄総合事務局開発建設部が作成した「赤土等流出防止対策マニュアル」に取り入れられている¹⁷⁾。

生物多様性の確保を考慮した土捨場跡地の自然環境の復元において，造成設計，緑化計画，土壌改良など復元前・復元中・復元後に取り組んだ各方策は，小丸川発電所工事（九州電力：最大出力 1,200,000kW，工事期間：1999 年～2007 年，宮崎県）における改変区域の緑化¹⁸⁾や，京極発電所工事（北海道電力：最大出力 600,000kW，工事期間：2001 年～2014 年，北海道）での早期復元を図るための緑化計画¹⁹⁾において，同様の取組みが行われている。

また，工事による生態系への影響を監視・評価するモニタリングも，工事中・工事後の各段階を通じて行われるようになってきた。

－参考文献－

- 1)環境省：環境基本計画（平成6年12月16日閣議決定）；1994年.
- 2)河合雅雄：人と自然との共生；共生のひろば，3号-1，pp.1-3，2008年3号.
- 3)アマルティア・セン：自由と経済開発；日本経済新聞社，2000年.
- 4)宇沢弘文：社会的共通資本としての生物多様性；科学，Vol.80，No.10，pp.1003，OCT.2010.
- 5)寺田達志：わかりやすい環境アセスメント；財自然環境研究センター，1999年.
- 6)Toshio Komatsu, Jun Sakata, and Mitsuo Takezawa : Environmental conservation measures for construction of a power plant ; International Conference on Environmental Exposure and Health (Wessex Institute of Technology, The National Technical University of Athens), pp.389-398, 2005年10月.
- 7)Toshio Komatsu, Jun Sakata, and Mitsuo Takezawa : Environmental conservation measures in construction of a power plant ; PACON2004 (20th Anniversary) CST-8A: Coastal Environmental Problems, 2004年6月.
- 8)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－；土木学会第12回地球環境シンポジウム，pp.101-106，2004年8月.
- 9)小松俊夫・坂田淳・小松明子：沖縄海水揚水発電技術実証試験パイロットプラント建設工事における自然環境保全対策について；電力土木，No.254，pp.41-50，1994年11月.
- 10)小松俊夫，吉村豊，岡本二郎：沖縄海水揚水発電技術実証試験パイロットプラント建設工事のうち強化プラスチック管および強化プラスチック複合管による水圧管路の設計と施工(その1)；電力土木，No.251，pp.76-90，1994年3月.
- 11)小松俊夫，吉村豊，岡本二郎：沖縄海水揚水発電技術実証試験パイロットプラント建設工事のうち強化プラスチック管および強化プラスチック複合管による水圧管路の設計と施工(その2)；電力土木，No.251，pp.98-103，1994年5月.
- 12)千木良芳範：ヤンバルの自然の豊かさ；ヤンバルの森から，電源開

- 発(株), pp. 8. 2004 年 3 月.
- 13)大見謝辰男:赤土汚染;沖縄の自然を知る,築地書館, pp.167-183,
1997 年 10 月.
- 14)経済産業省資源エネルギー庁,電源開発株式会社:平成 15 年度海水
揚水発電技術実証試験報告書; pp.V - 4-52-58,80-106,111-115,
2004 年 3 月.
- 15)東 清二:環境モニタリングの評価;ヤンバルの森から,電源開発
(株), pp. 63, 2004 年 3 月.
- 16)<http://www.dc.ogb.go/hokudamu/jigyoku/hozen/houshin/index.html>
- 17)沖縄総合事務局開発建設部:赤土等流出防止対策マニュアル(案);
2001 年 3 月.
- 18)満島雄治,工藤雅仁,川内一徳:小丸川発電所新設工事における生物
多様性と環境負荷低減に配慮した取組み;電力土木, No. 336, pp.10-15,
2008 年 7 月.
- 19)関谷美智,松原高司,佐藤和男:京極発電所設置に係る環境調査の概
要と環境保全対策;電力土木, No. 298, pp.54-57, 2002 年 3 月.

第 4 章 開発と希少猛禽類との共生事例

4.1 概要

阿賀野川水系只見川上流部の奥只見・大鳥発電所増設工事区域周辺には、絶滅危惧種ⅠＢに指定されているイヌワシ 2 つがいおよびクマタカ 1 つがいの生息が確認されている。このため、これら希少猛禽類の生態調査を 6 年間継続し、その調査結果に基づき発電所設計を行い、環境保全対策を立案・実施した。

この章では、水力開発とイヌワシなど希少猛禽類との共生および湿地復元、迷入魚防止、環境管理システムの導入など持続可能な開発を図るべく実施した環境保全対策の実証例を述べ、その工学的な成果・評価について記述した。

生物多様性の保全が世界的に求められている現在、わが国では多様な生態系とその頂点に立つ猛禽類の保護が重要な課題となっている。特にイヌワシは、わが国において生息個体数が 650 羽程度と推定されており、個体数が少ないうえに、繁殖率は 1981 年（昭和 56 年）から 1985 年（昭和 60 年）の平均が 47.1%であったのに対し、1996 年（平成 8 年）から 1999 年（平成 11 年）の平均が 22.9%と著しい低下傾向にあり、個体群の存在が危ぶまれている¹⁾。このためイヌワシは、1950 年（昭和 25 年）に天然記念物に指定されているが、1992 年（平成 4 年）に「種の保存法」に基づく国内希少野生動植物および 1998 年（平成 10 年）に「日本の絶滅のおそれのある野生生物ーレッドデータブックー」で、絶滅危惧種ⅠＢ（近い将来における絶滅の危険性が高い種）に指定されている。

イヌワシの生息に影響を与えるものには、生息環境に由来する食物量や営巣環境など自然的要因によるものと、各種の開発行為や人の接近など人為的要因によるものがあるとされている^{2),3)}。これらの影響要因からイヌワシを保護するため、国⁴⁾や地方自治体^{5)~8)}では、生息状況調査、保護指針の策定などさまざまな対策に取り組んでいる。また、開発事業者も、これらの指針に基づき、各種の保護対策を実施している。

奥只見・大鳥発電所増設は、電源開発(株)が中長期的なピーク供給力の増強を図るため、阿賀野川水系只見川上流部にある既設奥只見発電

所（最大出力 36kW）で 20 万 kW，その下流の既設大鳥発電所（最大出力 9.5 万 kW）で 8.7 万 kW を増出力したものである．工事は 1999 年（平成 11 年）7 月に本格着工し，2003 年（平成 15 年）6 月に完成し，ただちに発電運転を開始した．

工事区域はすべて越後三山只見国定公園に位置し，自然度の高い地域である．工事区域周辺には国の天然記念物に指定されているイヌワシ 2 つがいおよびクマタカ 1 つがいの希少猛禽類の生息が確認されたため，本増設工事にあたっては 希少猛禽類保護を中心にしたさまざまな環境保全対策が講じられた．また，この他にも掘削岩埋立造成地における湿地環境の復元，迷入魚防止対策，建設副産物の有効利用，環境マネジメントシステム（ISO14001）の導入など，近年の地球環境問題を考慮した種々の保全対策が実施された．特に 4 年間の工事期間中に，奥只見ダム付近に営巣していたイヌワシ 1 つがいが 2 度にわたり繁殖活動に成功し，幼鳥が巣立ったが，順応的管理により巣立ち直後の幼鳥保護と工事工程の確保を両立させ，増設工事とイヌワシ生息の共存を可能にした．



図－4.1.1 奥只見・大鳥発電所増設工事位置

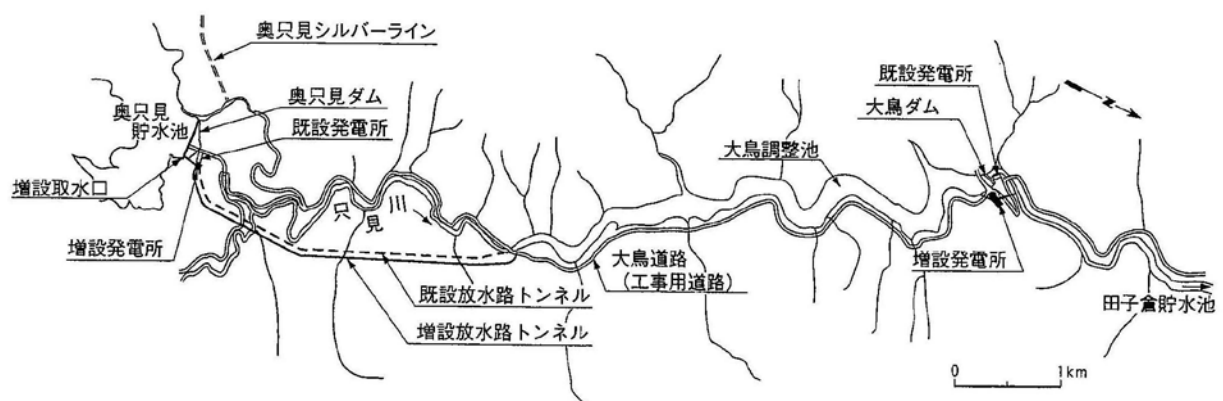
4.2 工事概要

奥只見発電所増設工事は，最大使用水量 $138\text{m}^3/\text{s}$ ，有効落差 164.2m を利用して最大出力 20 万 kW の発電を行うものである．レイアウトは，既設の水路ルートにほぼ並行して右岸側に取水口，水圧管路，地下発電所，放水路トンネルおよび放水口が設けられた（図－4.2.2 参照）．

既設設備の有効利用を図るため取水口は既設取水口に隣接させ，水圧管路の一部は奥只見ダムに堤体穴あけ方式で設置し，発電所は既設地下発電所を延長して設けられた．発電放流水は大鳥調整池に放流される．主要構造物諸元を表－4.2.1に示す．

大鳥発電所増設は，増設された奥只見発電所からの発電放流水を受けて，最大使用水量 $207\text{m}^3/\text{s}$ ，有効落差 48.1m を利用して最大出力 8.7 万 kW の発電を行うものである．レイアウトは，既設大鳥ダム右岸側に新たな取水口，水圧管路，地下発電所，放水トンネルおよび放水口が設けられた（図－4.2.1 参照）．放水路トンネルは大鳥ダム建設時に使用した仮排水路トンネルを一部拡幅して利用し，発電放流水は田子倉貯水池に放流する．主要構造物諸元を表－4.2.2に示す．

なお，工事区域へのアクセス道路は県道小出奥只見線（通称シルバーライン）であり，現在，奥只見ダム・貯水池への観光道路としても利用されている．この道路は既設奥只見発電所建設時に工事用道路として建設され，全長約 18km の大半がトンネルで断面が小さいことから大型車両のすれ違いによる渋滞が頻発しており，道路管理者から工事用車両の通行は必要最低限にするよう要請された．このためコンクリート製造や掘削岩等の処理は工事区域内で行った⁹⁾．



図－4.2.2 奥只見・大鳥発電所増設計画レイアウト

表－4.2.1 奥只見発電所増設主要構造物諸元

貯水ダム（既設）	直線重力式コンクリートダム、堤長480m、高さ157m
取水口	ダム付属式 幅3.00m×高さ10.80m×3連
水圧管路	埋設型水圧鉄管 内径6.50～4.00m 延長280.41m 1条
発電所	地下式発電所 幅17.90m 高さ39.20m 延長45.00m
放水路	上部半円下部矩形無圧トンネル 幅8.34m 高さ6.10～6.02m 延長3,444.67m
放水路調圧室	単動調圧式 幅5.16m 高さ6.33m 延長129.00m
放水口	側方放水式 幅6.30m 高さ6.30m 延長25.50m
水車	立軸フランシス水車 出力205,000kW
発電機	三相交流同期発電機 容量223,000kVA

表－4.2.2 大鳥発電所増設主要構造物諸元

貯水ダム（既設）	セミアーチダム 堤長187.9m 高さ83m
取水口	側方取水式 幅9.00m×高さ12.00m×2連 幅10.00m×高さ12.00m×1連
水圧管路	円形圧力トンネルおよび埋設水圧鉄管 内径6.80～6.20m 延長93.39m 1条
発電所	地下式発電所 幅22.00m 高さ48.20m 延長44.50m
放水路	上部半円下部矩形無圧トンネル 幅9.00～8.00m 高さ20.10～11.64m 延長109.25m
放水口	側方放水式 幅8.00m 高さ10.30m
水車	立軸カプラン水車 出力89,500kW
発電機	三相交流同期発電機 容量97,000kVA

4.3 工事区域周辺の自然環境

工事区域は只見川を境にして左岸側は新潟県，右岸側は福島県であり，すべて「越後三山只見国定公園」内に位置している．奥只見貯水池，大鳥調整池および両池間の只見川の水面全域が自然公園法の第1種特別地域すなわち，特別保護地区に準ずる景観を有し，特別地域のうちでは風致を維持する必要性が最も高い地域であって，現在の景観を極力保護することが必要な地域に，それ以外は第2種特別地域すなわち，特に農林漁業活動については，努めて調整を図ることが必要な地域に指定されている．工事区域周辺には標高1200m～1500mの山々が分布し，一帯の植生はヒメアオキブナ群集，アカミノイヌツゲクロベ群集など

であり、大部分が自然植生のうち多層の植物社会を形成する植生自然度 9 の地域である。このように自然度の高い植生を背景に、イヌワシ・クマタカなどの希少猛禽類をはじめニホンカモシカ・ヤマネ、オゼイトトンボ、ヒメシャガなど貴重な動植物が生息している。また、日本有数の豪雪地帯であり、平年の積雪量は奥只見ダム周辺で 4m を超え、初雪は 11 月中旬に降り、6 月中旬まで残雪が見られる。1961 年（昭和 36 年）に完成した奥只見ダムおよび奥只見湖は、今では新たな自然環境を創出し、湖内には大イワナをはじめとしてヤマメ、ワカサギなどが多数生息している。

4.4 貴重鳥類調査とイヌワシ 2 つがいの生息状況

(1) 貴重鳥類調査

上述したような豊かな生物多様性を有する奥只見地域には、イヌワシ、クマタカ、オオタカなど数多くの希少猛禽類が生息していることが貴重鳥類調査で確認された。貴重鳥類調査は 1993 年（平成 5 年）10 月から環境調査の一環として開始したが、工事区域である奥只見ダム周辺と大鳥ダム周辺にイヌワシ 2 つがい（それぞれ「奥只見ペア」と「大鳥ペア」と呼ぶ）の飛翔が観察されたため 1994 年（平成 6 年）以降も継続し、工事完了 1 年後の 2004 年（平成 16 年）10 月まで 11 年間実施した。

1) 調査目的

各期間における調査目的は次のとおりである。

- ・ 工事着工前：1993 年(平成 5 年)10 月～1999 年(平成 11 年)6 月
保護対策のための生態把握
- ・ 工事期間中：1999 年(平成 11 年)7 月～2003 年(平成 15 年)6 月
工事による影響の把握、保護対策へのフィードバック
- ・ 工事完了後：2003 年(平成 15 年)6 月～2004 年(平成 15 年)10 月
事後モニタリング

2) 調査方法

調査は定点観察を中心とし、両つがいの営巣地確認後は繁殖状況を観察するために、営巣地ビデオ観察を加えた。

（定点観察）

- ・ 調査地点：見晴らしの良い地点 3～6 地点

- ・ 観察内容：各種行動，飛翔経路，止まり場所など
- ・ 調査頻度：営巣期(11月～6月)は原則2回/月，非営巣期（7月～10月）は原則1回/月

（営巣地ビデオ観察）

営巣地を直接観察できる場所にビデオカメラを設置し，営巣期に毎日観察した．

観察結果から解析された繁殖情報は次のとおりである．

親鳥の入巣回数，巣材の搬入回数・種類，雌雄それぞれの在巣時間・不在時間，餌の搬入回数・搬入個体（雌雄），餌動物の種類，雛の生育状況，雛の巣立ち，外敵の接近状況など

3)貴重鳥類検討委員会

貴重鳥類調査の実施にあたり，鳥類をはじめとした動植物の学識経験者・専門家による検討委員会を電源開発(株)内に設置し，原則として年2回開催した．検討委員会では1年間の調査結果，それをフィードバックした次年度調査計画・調査方法および保護対策などに対する意見・指導，また現地では対策実施状況の確認が行われた．この他，イヌワシ・クマタカの繁殖活動などの状況に応じて適宜指導・助言が行われた．貴重鳥類調査に関わる実績工程を図－4.4.1に示す．

項目 \ 年	1993	94	95	96	97	98	99	2000	1	2	3	4
大 工 程		調査工事			調査工事	準備工事			建設工事			
		環境調査	電調審									
貴重鳥類調査				工事着工前					工事中		工事完了後	
								連続モニタリング		連続モニタリング		
貴重鳥類検討委員会							年2回開催					

図－4.4.1 貴重鳥類調査実績工程

(2)イヌワシ2つがいの生息状況

工事着工前の貴重鳥類調査で確認されたイヌワシ2つがいの生息状況は次のとおりであった．

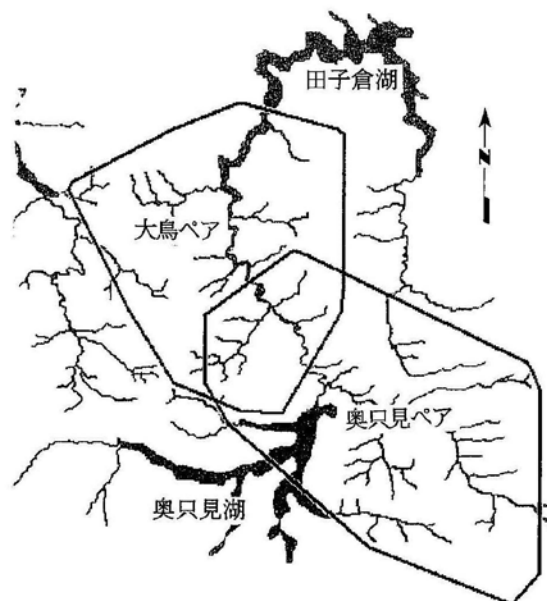
1)イヌワシ「奥只見ペア」

- ・ 営巣地：岩棚巣1ヶ所，樹上巣1ヶ所

- ・最大行動圏：飛翔記録から求めた最大行動圏を図－4.4.2に示す¹⁰⁾。
- ・生活サイクル：調査結果による1年間の生活サイクルを図－4.4.3に示す¹⁰⁾。
- ・繁殖状況：1994年（平成6年）6月に幼鳥は巣立ったが，その後毎年産卵はするが繁殖に失敗していた。特に1997年（平成9年）4月には巣内にいる雛（孵化後15日令）は，親鳥が同時離巢している間にハシブトガラスに襲われ死亡した。

2) イヌワシ「大鳥ペア」

- ・営巣地：岩棚巣1ヶ所
- ・最大行動圏：飛翔記録から求めた最大行動圏を図－4.4.2に示す¹⁰⁾。
- ・生活サイクル：概ね「奥只見ペア」と同様である。
- ・繁殖状況：幼鳥が1995年（平成7年）・1996年（平成8年）・1998年（平成10年）に巣立ったのが確認されている。



図－4.4.2 「奥只見ペア」「大鳥ペア」最大行動圏

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
造巣期		抱卵期		巣内育雛期		巣外育雛・家族期				求愛・造巣期	

図－4.4.3 「奥只見ペア」の生活サイクル

（出典：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例）

4.5 環境方針の制定

4.3 で述べた豊かな自然環境を保全しながら電源の開発を推進するため、建設所では工事開始前の1998年（平成10年）に、環境管理システム活動の一環として次の内容の「環境方針」を制定し、工事関係者全員で環境保全活動に取り組んでいくこととした。

- ①建設所員および工事関係者一人ひとりが環境保全の重要性を深く認識し、電源開発と環境保全の両立に向けて取り組む意思を徹底する。
- ②環境に関する法律，規律，ならびに協定などを遵守する。
- ③計画地点は越後三山只見国定公園内にあり，貴重な鳥類が観察されるなど，自然豊かな地域であることを十分に認識し，その自然環境を保全するため，環境目的・目標を設定し，電源開発に伴う環境負荷を継続的に低減するよう努める。
- ④廃棄物・排出物の適正な管理とリサイクル，ならびに資源の効率的な利用を図り，環境負荷を極力少なくするよう努める。
- ⑤環境保全活動を通じて，社会との円滑なコミュニケーションを図る。

4.6 イヌワシ保護を中心とした環境保全対策の実施

工事区域周辺にはイヌワシ2つがいの生息が確認され，特に「奥只見ペア」の営巣地が工事区域の近傍であったため，工事とイヌワシ生息との共存を目的とし，貴重鳥類調査結果を踏まえ，「猛禽類保護の進め方」（環境庁自然保護局野生生物課編：1996年8月）および貴重鳥類検討委員会の意見を参考に，イヌワシ保護を中心とした環境保全対策を策定し，次のように実施した。

(1)工事期間の制限

「猛禽類保護の進め方」によると，イヌワシの営巣中心域は次のように定義されている。すなわち「営巣地，営巣木及びそこに近接する監視やねぐらのためのとまり場所，餌処理場所等を含む区域。特に営巣・繁殖期にはこの区域内での敏感度が高いため，広義の営巣地として一体的かつ慎重に取扱われるべき区域である。¹¹⁾」また，イヌワシ調査自体が困難な場合が多いことから，便宜的に営巣中心域を推定することにより暫定的な保護方策を立てるのもやむを得ないことがあ

るとし、営巣中心域を、過去のわが国の事例をもとに円と推定した場合、営巣地から半径 1.2km 程度の範囲としている¹²⁾。

図-4.6.1 にイヌワシ「奥只見ペア」・「大鳥ペア」およびクマタカ 1 つがいの営巣中心域（クマタカは半径 500m 程度）と、工事区域の関係位置を示す¹³⁾。「奥只見ペア」の営巣中心域内には、増設工事を行う奥只見ダム，同地下発電所，八崎造成地（土捨て場）および工事用道路として使用する既設管理用道路「大鳥道路」の一部が含まれる。したがって，「奥只見ペア」の営巣期である 11 月～6 月は，営巣地から半径 1.2km 以内では地上部工事および工事用道路（既設管理用道路「大鳥道路」）の通行は行わないこととした。

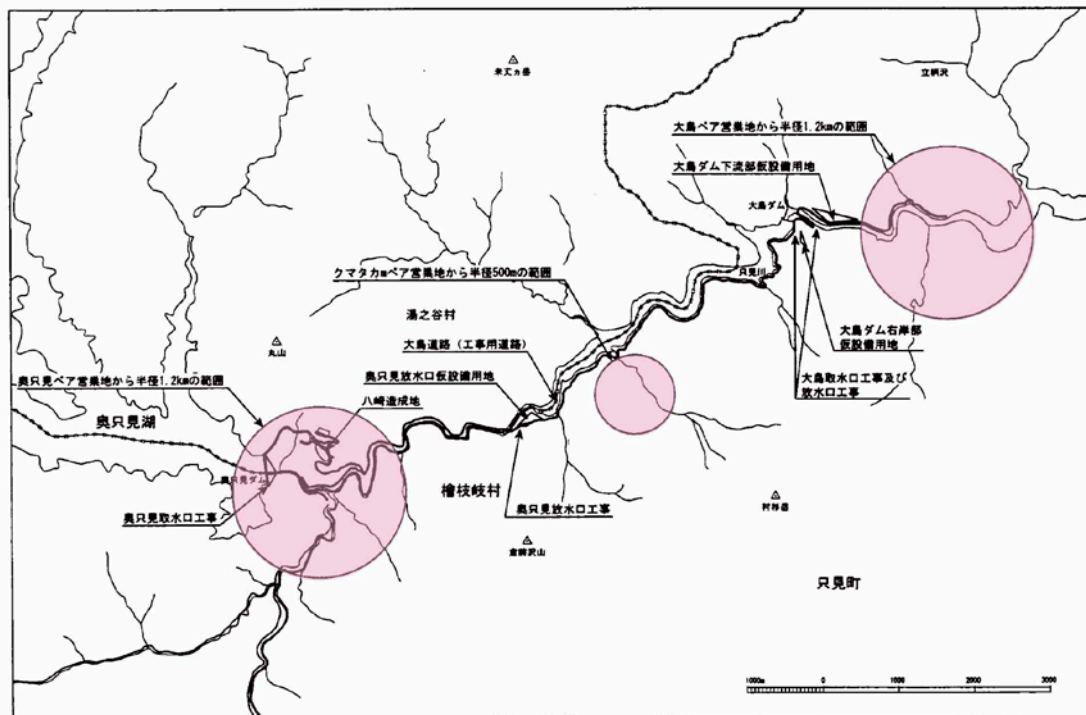


図-4.6.1 イヌワシ、クマタカ営巣中心域と工事区域の関係

(出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録)

(2)設計・施工計画上の配慮

新たな自然改変を極力低減し、また上記工事期間の制限を受けて次のように設計・施工計画で配慮した。

- ①構造物のレイアウトを可能な限り地下式とした。奥只見放水路トンネルも断面・施工方法を見直し中間作業坑を取り止めた。
- ②既設設備を最大限利用することとし、工事用道路は大鳥道路を、

仮設備ヤードは既設土捨場跡地や広場を利用した。

③営巣地から半径 1.2km 以内に設置する仮設備で、非営巣期の工事だけに使用するものは、営巣期には極力撤去した。

④営巣期に地下部工事で使用する仮設備（コンクリート製造プラントなど）は、営巣地から 1.2km 以遠に設置した。また、その期間に必要な資機材は、非営巣期に搬入した。

⑤営巣期に地下部工事で発生する掘削岩は、営巣地から 1.2km 以遠の作業坑口近くの仮設備用地に仮置きし、非営巣期に搬出した。

⑥営巣期の作業員の通勤は、既存の冬季管理用トンネルおよびその中に新設したモノレールを使用した。

(3)自然生態系保全対策

イヌワシ等猛禽類の生存を支えている周辺の自然生態をできるだけ保全することとし、環境負荷を継続的に軽減するための技術的・経済的に可能な対策を次のように実施した。

①騒音・振動対策

- ・発破による騒音・振動をできるだけ低減するため、非電気式雷管による多段発破の採用など発破方法を工夫するとともに、防音扉・防音シートなどを設置した。（防音扉は約 20Db(A)の騒音低減効果があった。）

- ・定置式コンクリート製造設備、骨材製造設備は建屋内に収納して、遮音性を高めた。

- ・工事用車両に自主制限速度、通行制限（通行間隔の確保）を設け、車両停止時にはアイドリングストップを行った。

②照明・色彩対策

- ・夜間照明範囲は、工事安全上必要最小限とするとともに、照明の周波数帯の検討を行い、昆虫や植物の活動に影響の少ない周波数帯である高圧ナトリウムランプを使用した。

- ・仮建物の窓などにはブラインドを設置して、室内照明が外に漏れないように努め、また、車両のヘッドライトは停止時に消灯した。

- ・仮設備や工事用機械の外観色彩は、知見に基づき鳥の警戒色（赤・黄色）を避けた。

③水質保全対策

- ・工事排水は全て濁水処理設備で清浄化して、水質を確認した上で

公共用水域に放流した。

- ・水中工事（取水口工事）では，二重の汚濁防止膜を設置して，汚濁水の拡散を防止した。

④その他動植物の保護

- ・工事区域や工事用道路で，小動物を発見した場合には，車両を一時停止するなどして，小動物が移動するのを待った。

- ・改変区域内の貴重な植物については，学識経験者の指導・助言を得て必要な場合には移植を行った。

(4)イヌワシ巢内育雛期における外部圧力の排除

①パトロールの実施

4月～6月頃の巢内育雛期に定期的なパトロールを行い，巢の観察や撮影を目的とした観察者およびカメラマンに注意喚起の呼びかけを行った。

②カラスの巢材撤去

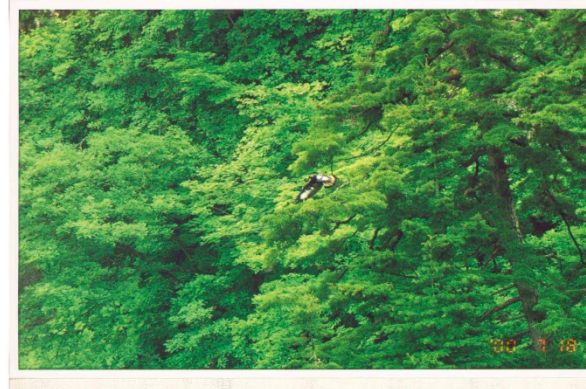
1997年（平成9年）4月に，親鳥が同時離巢している間に巢内の雛がハシブトガラスに襲われ死亡した。また雛が順調に成育していた2000年（平成12年）および2002年（平成14年）にもハシブトガラスが育雛中の巢内に入巢したので，近傍の送電鉄塔や営巣地周辺の樹上にあったハシブトガラスの巢材を撤去した。

4.7 巣立ち時のイヌワシ幼鳥に対する順応的管理

工事は前述した保護対策を受けて1999年（平成11年）7月から本格的に開始したが，工事期間中の2000年（平成12年）7月2日および2002年（平成14年）7月4日に「奥只見ペア」が繁殖に成功し幼鳥が巣立った（写真－4.7.1参照）。巣立ったばかりの幼鳥はまだ飛翔能力が十分でないため，行動圏が広がる約1ヶ月間は，親鳥からの給餌が妨げられないよう，営巣中心域では人の出入りを繰り返すような行為は避ける必要があるとされていた¹⁴⁾。

一方，両年とも7月1日から工事を再開する予定であったが，幼鳥の行動圏が広がる1ヶ月間は，営巣中心域での地上部工事や大鳥道路の通行には規制が必要となった。しかし保護対策上，地上部の工事期間は非営巣期（7月～10月）の4ヶ月としていたので，1ヶ月間工事活動を中止すると全体工程に影響が生じ，2003年（平成15年）6月

の発電開始が困難となり，夏期電力ピーク時に供給できなくなるおそれがあった．



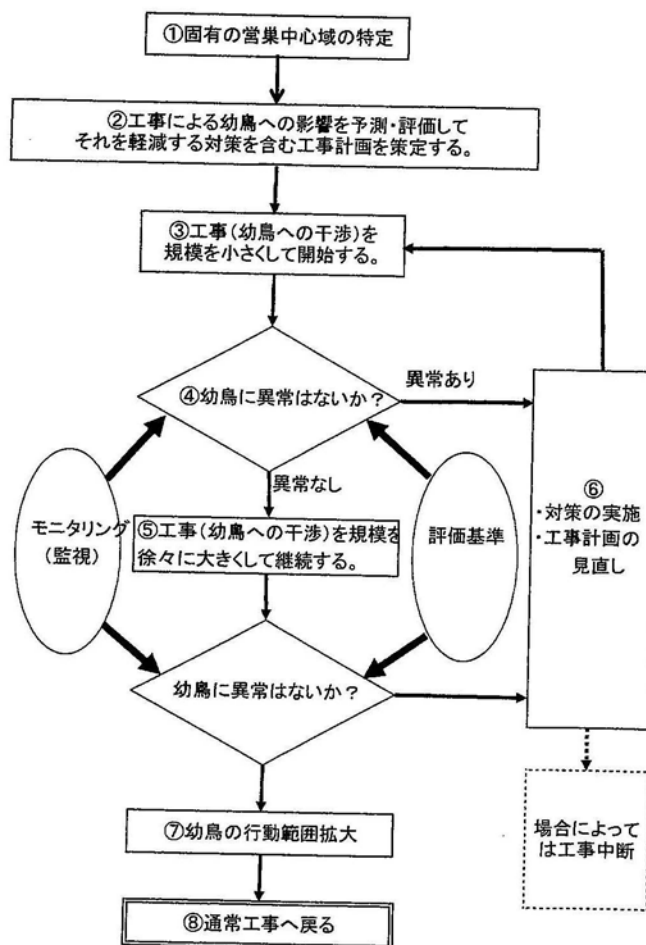
写真－4.7.1 巣立ち後の「奥只見ペア」幼鳥

（出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録）

このため幼鳥保護と工程確保の両立を目指し，近年，生物資源の管理方策として世界的に注目され，日本でも「新・生物多様性国家戦略」で生物多様性の保全と持続可能な利用のための理念の一つ¹⁵⁾とされている「順応的管理」を適用することとした．順応的管理とは生態系の動態は不確実なことを前提に，生態系に干渉し，その反応を監視しながら管理を実施し，その結果を検討して新たな計画をたて，よりよい働きを行うべく管理の改善を目指す方策である¹⁶⁾¹⁷⁾．順応的管理はイヌワシ保護方策に対して国内ではほとんど事例がなく，鳥類の学識経験者の助言を参考とし，次のような手順で行った（図－4.7.1 参照）¹⁰⁾．

- ① イヌワシ「奥只見ペア」の固有の営巣中心域を特定し，工事可能な区域を区分する
- ② 工事による幼鳥への影響を予測・評価して，それを軽減する対策を含む工事計画を策定する
- ③ 工事規模を小さくして開始する（幼鳥に干渉し始める）
- ④ モニタリングにより幼鳥の状態を監視し，評価基準により異常の有無を確認する
- ⑤ 異常がなければ工事規模を徐々に拡大して継続する
- ⑥ 異常が発生した場合は，その状況に応じた対策を行う．また，工事計画を見直す．
- ⑦ 幼鳥の行動圏の拡大を確認する

⑧ 通常規模の工事へ戻る

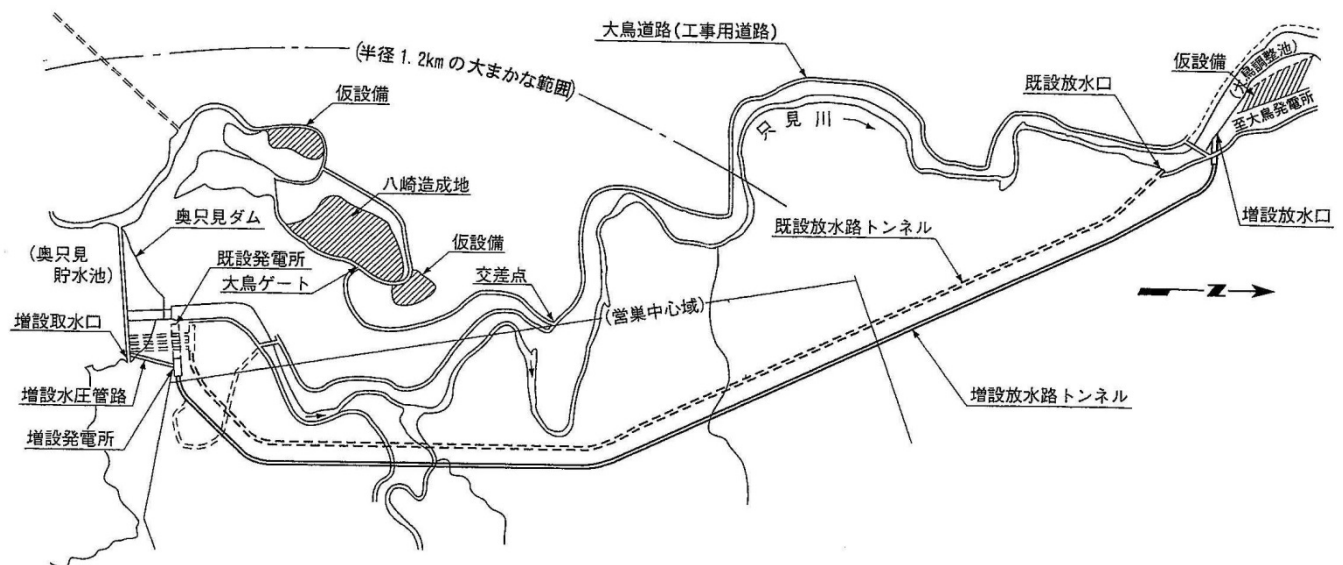


図－4.7.1 順応的管理の手順

(1) 6年間の調査データに基づく固有の営巣中心域の特定

イヌワシ保護を中心とした保全対策を，発電所建設工事前に立案するにあたり，イヌワシ営巣中心域は「猛禽類保護の進め方」を参考に，便宜的に営巣地から半径 1.2km とした．しかし，「奥只見ペア」営巣地の西側では，従来から奥只見ダム観光やスキー場などの人間活動が行われており，親鳥の飛翔頻度は少なく，その地域は採餌などにはほとんど利用されていなかった．そこで，「奥只見ペア」固有の営巣中心域を特定し，工事可能な区域を区分することとした．固有の営巣中心域を特定するにあたって，猛禽類利用区域を解析する一手法であるメッシュ解析を用いた．解析は 1993 年（平成 5 年）から集積していた 6 年間の営巣期調査データを用い，メッシュ解析に併せ「奥只見ペ

ア」のなわばり防衛行動，止まり行動などの重要な行動および摂食場所，ディスプレイ飛翔の確認場所，地形などを考慮して利用区域を求めた．その結果，「奥只見ペア」の営巣中心域は，営巣地をその西縁とする範囲であることが特定され，奥只見ダム，八崎地区および大鳥道路（一部区間は除く）は営巣中心域外であることが判明した．図－4.7.2 に半径 1.2km 以内の工事位置および「奥只見ペア」固有の営巣中心域との関係を示す¹⁰⁾．



図－4.7.2 半径 1.2km 以内の工事位置および固有の営巣中心域との関係

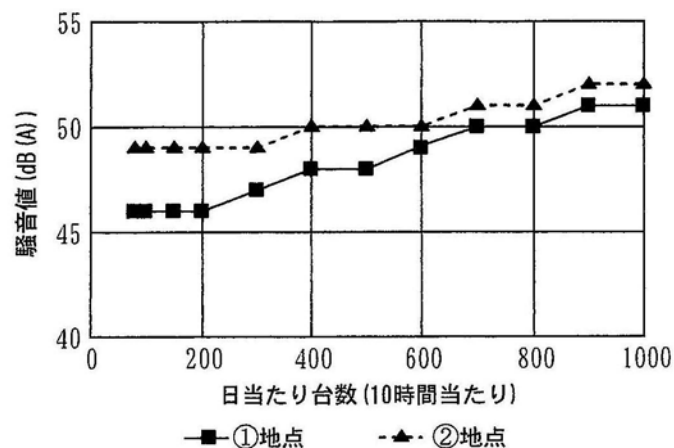
（出典：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例）

(2) 順応的管理による工事計画の立案

営巣期のイヌワシにとって，騒音や人車の動きの激しい状況が始まる場合の影響が大きいことから，工事は営巣地周辺では徐々にならし運転で開始することが望ましいとされている．したがって，工事規模および工事車両通行台数は徐々に増やしていくこととし，工事騒音レベルを，他地点でのオオタカ保護事例¹⁸⁾を参考にして 52dB(A)以下とし，工事前に次のように騒音予測検討を行った．

まず，予測点は，①営巣地と②親鳥が高利用する大鳥道路に最接近した地点の 2 地点とした．音源レベルは，各予測点から大鳥道路までの最短距離点を通過する大型車（ダンプトラックなど）を対象とし，

発生源は一直線上に等間隔で走行する大型車および予測地点近傍で行われる作業である。図－4.7.3 に、予測した一日当たり車両の通行台数と騒音値の関係を示す¹⁰⁾。



図－4.7.3 日当たり台数と騒音値

(出典：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例)

この結果をもとに、幼鳥の成長度（巣立ち令）に応じ、大鳥道路の通行台数を次のように計画した。

- ①工事開始日～巣立ち 7 日令：80 台/日
- ②巣立ち 8 日令～21 日令：200 台/日
- ③巣立ち 22 日令～28 日令：350 台/日
- ④巣立ち 29 日令：制限解除

なお、車両の制限速度を平坦箇所では 30km/時、坂道では 20km/時に設定した。

(3)順応的管理の実施と連続モニタリング

「奥只見ペア」固有の営巣中心域から外れた奥只見ダム周辺や八崎地区（巣から西側区域にあたる）では仮建物の設置・補修、クレーン作業など小規模で騒音レベルが低い工事から開始し、埋立造成工事など徐々に負荷をあげていった。また、工事車両の通行台数も前述した計画に基づいて段階的に増していった。

順応的管理は、生態系に干渉し、その反応をモニタリングしながら管理を実施し、新しい情報が得られれば管理方針を変えることを前提とすることから、モニタリングは、監視可能な 5:00～19:00 とし、工事施工および工事車両通行は、この時間帯に限定した。特に、朝は幼

鳥の居場所を確認してから、その日の工事を開始することとした。また、幼鳥の異常行動に関する評価基準を、専門家の意見に基づき策定し、モニタリングにより異常行動が観察された場合、直ちに工事を中止するなどフィードバックすることとした。想定した異常行動および対処方法は次のとおりである。

① 幼鳥が工事箇所および大鳥道路付近に飛来して、木や岩などに止まる「止まり行動」を行った場合は、その箇所の工事または車両通行を一時中断し、幼鳥が当該箇所から離れ去ったことを確認してから再開することとした。

② 親鳥からの給餌が 3 日連続確認できなかった場合は、幼鳥の位置から半径 500m 以内での工事および車両通行を休止し、給餌確認後再開することとした。

③ 幼鳥の位置やしぐさなどで、明らかに工事の影響であると判断される幼鳥の警戒行動、警戒鳴き声を確認した場合は、工事および車両通行を中断し、幼鳥の様子を見て再開することとした。

また、幼鳥が巣立ち後、工事とは係わりなく上空を飛翔できずに地面で負傷あるいは衰弱して死亡することがある。したがって万一このような状態がモニタリングで確認された場合には、専門家および関係行政機関の指示のもと、幼鳥を保護（捕獲収容を含む）することとした。イヌワシは天然記念物であることから、保護措置をとるための手続きや引き渡し先などの救護体制、捕獲・運搬道具などの救護用資材をあらかじめ準備した。

(4) 順応的管理による状況・結果

2000 年（平成 12 年）と 2002 年（平成 14 年）に行った順応的管理による状況・結果は次のとおりである。

まず、2000 年（平成 12 年）の奥只見・大鳥増設発電所工事のイヌワシ幼鳥保護事例では、建設工事の実施自体が生態系の干渉となることから、連続モニタリングは、イヌワシ幼鳥の巣立ち直前の 6 月下旬から幼鳥が行動圏を拡大し工事を全面再開した 8 月上旬まで計 52 日間毎日連続して実施した。幼鳥は 7 月 2 日に巣立ったが、この間におけるモニタリング結果を工事へフィードバックした状況は次のとおりである。

① 7 月下旬に幼鳥が工事箇所付近の木に約 2 時間止まったので、周

辺の工事をその間中断し、影響のない範囲まで飛び去ってから再開した。

②モニタリング期間中、給餌が3日連続されなかったことはなく最大で2日連続であった。

③山菜取りが近づいた時に警戒鳴きし飛翔していったが、工事によるものは確認されなかった。また、幼鳥は順調に成長していったので救護の必要はなかった。

7月2日に巣立った幼鳥は順調に成育し、行動圏を拡大していった。また、さらに、当幼鳥を最後に観察できたのは翌年4月4日であり、この間に観察された幼鳥の行動範囲拡大状況（最外殻法による）を図-4.7.4に示す¹⁰⁾。

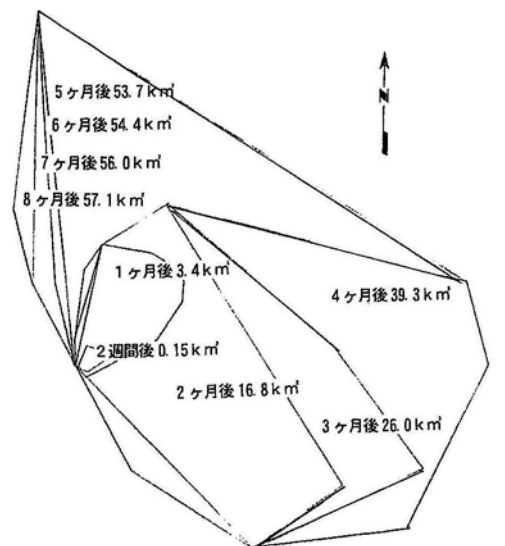


図-4.7.4 幼鳥の行動範囲拡大状況（2000年）

（出典：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例）

次に、2002年（平成14年）に実施したイヌワシ幼鳥保護事例であるが、モニタリングは、イヌワシ幼鳥の巣立直前の6月下旬から幼鳥が行動圏を拡大し工事を全面再開した8月上旬まで毎日連続して実施した。評価基準は2000年（平成12年）時と同様とし、工事区域への飛来や給餌が3日連続確認されなかったなど、イヌワシ幼鳥に異常行動があった場合、工事を一時中断することにした。

幼鳥は7月4日に巣立ちしたが、巣立ち4日目にハシブトガラスの攻撃を受け迷走し、営巣地から離れた斜面に留まっていた（写真-4.7.2）。親鳥ともコンタクトできず給餌も3日連続以上確認されな

かったので，この間，周辺の工事および大鳥道路の通行を中止した．



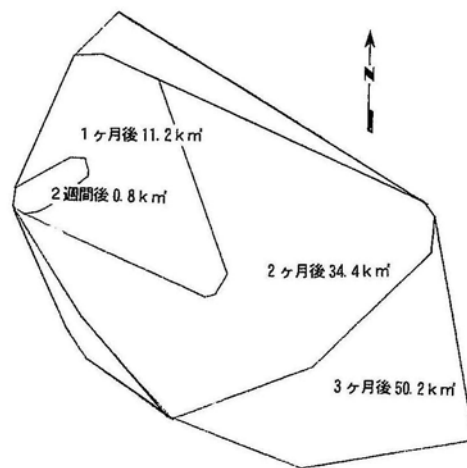
写真－4.7.2 幼鳥が留まった斜面

（出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録）

幼鳥はさらに迷走したが，7月13日に自力で営巣地に戻り，その場で親鳥からの給餌が確認されたので7月13日から大鳥道路の通行を，また7月14日から周辺の工事を再開した．

イヌワシの幼鳥が迷走している間，台風が接近しつつあり，親鳥からの給餌は台風通過までは難しい状況であったため，幼鳥の衰弱が懸念された．そこで，学識経験者の意見・指導を踏まえ，関係行政機関の判断に基づき，巣立ち7日目に緊急措置として400gの豚肉ロースを10個程度に分け投与したところ幼鳥はこれを摂食した．

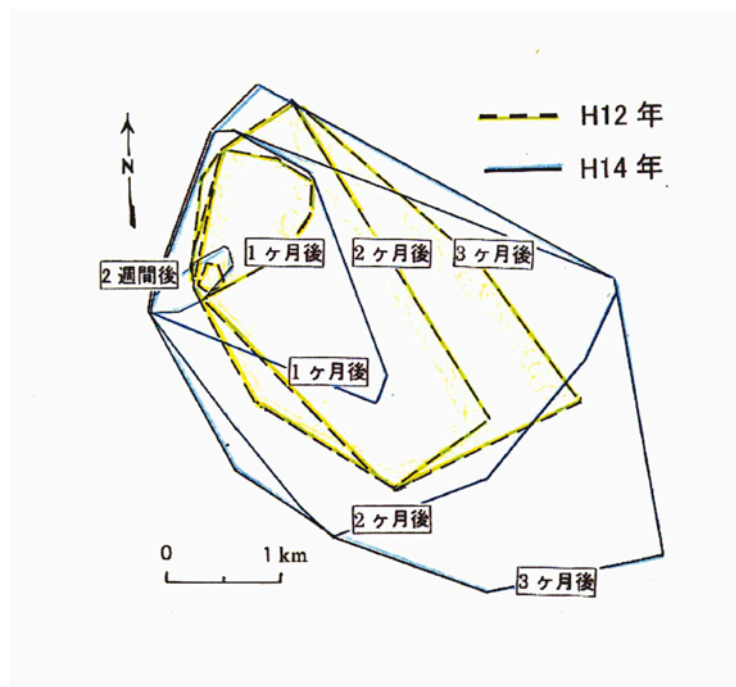
幼鳥は7月4日に巣立ったが，上述したようにハシブトカラスに攻撃され迷走し，工事区域まで飛翔するなど行動範囲が広がり，巣立ち第2週までの飛翔面積は約0.8km²と2000年（平成12年）の約5倍となった．第3週以降は主な行動圏は営巣地より北東方面へ移り，また，東側へも広がりを見せ，巣立ちから1ヶ月経過時点での飛翔面積は11.2 km²となった．幼鳥が観察されたのは10月23日までであり，この間に観察された幼鳥の行動範囲拡大状況（最外殻法による）を図－4.7.5に示す¹⁰⁾．



図－4.7.5 幼鳥の行動範囲拡大状況（2002 年）

（出典：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例）

図－4.7.6 は、2000 年（平成 12 年）と 2002 年（平成 14 年）に巣立ったイヌワシ幼鳥の、巣立ち後 3 ヶ月間の行動範囲を比較したものである¹³⁾。2002 年幼鳥は、巣立ち初期に、ハシブトカラスの攻撃による迷走で、行動範囲は 2000 年幼鳥より 5 倍程度広いが、3 ヶ月後には 2 倍程度の行動範囲となった。行動範囲の拡大方向は、両幼鳥とも概ね南東となっている。



図－4.7.6 2000 年・2002 年幼鳥の行動範囲比較

（出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録）

(5) 順応的管理結果の考察

奥只見・大鳥増設発電所工事はならし運転から段階的に立上げていったが、工事車両通行開始後で測定した騒音値 45～50dB(A)は、予測値とほぼ同様に、工事を行わない自然状態である暗騒音レベルであり、同時期に測定した鳥や虫の鳴き声（50～52 dB(A)）よりやや低いレベルであった。工事車両の制限速度を遵守し、適度な間隔を保ちながら通行することにより騒音は低減されるものと考えられる。毎日のモニタリングから工事車両通行を幼鳥が警戒しているような様子は観察されず、着実なイヌワシ幼鳥の成長具合が観察されたことから、騒音予測値を基に計画・実施した工事車両の増加台数・継続期間は妥当であったものと考えられる。

次に、モニタリングについては、5:00～19:00 に 2 交代で行い、幼鳥の行動にあわせて 1～3 班体制とし(1 班 2 名)、調査地点を任意に移動しながら行動範囲・状態の把握に努めた。また、毎日の観察終了後、当日のイヌワシ幼鳥の行動状況を分析し、翌日の幼鳥の行動および工事の影響度の予測を行った。この結果、工事規模を大きくしていく過程で異常行動を的確に把握し、その結果を直ちに工事へフィードバックすることができた。順応的管理では生態系に干渉した反応を監視して、その変化に柔軟に対応していくことからモニタリングは重要な要素といえる。当地で実施したモニタリングは、イヌワシ幼鳥に対する順応的管理を可能にした大きな要因と考えられる。

また、順応的管理では生態に影響が生じてから「どうしよう」と考えるのではなく、生態が予想外の変動をする可能性を認めたうえで、その結果にどう対応するかを事前に決定しておくものであり¹⁹⁾、奥只見・大鳥増設発電所建設地点では、評価基準としてあらかじめ幼鳥の異常行動を定義し、モニタリングで観察された場合、その対処方法を決めていたことから、工事の一時中断など迅速な対応が可能であった。特に 2002 年（平成 14 年）には幼鳥に人工給餌を行ったが、事前に幼鳥救護を想定し、専門家・関係行政機関を含め救護体制をルール化していたので迅速な対応が可能となり、その後のイヌワシ幼鳥の順調な生育につながっていったものと考えられる。特に、迅速な保護対応をとるためには工事関係者の共通した理解・協力が不可欠であり、日常的な環境保全意識およびコミュニケーションを持続したことも今

回実施した順応的管理を可能にした一要因であったと考えられる。

4.8 湿地保全対策

4.8.1 八崎湿地に生息する貴重な動植物

地下発電所掘削など工事により発生する掘削岩のうち、約 23 万 m³ が奥只見ダム下流左岸に位置する八崎地区の窪地に埋立盛土し、窪地にあった公園の造成復元に利用した。

この窪地は奥只見ダム建設当時の仮設備ヤード跡地で、1980 年代後半に湿地公園として整備されていた。その湿地（八崎湿地と呼ばれている）には環境調査の結果、「新潟のすぐれた自然」や、環境庁「緑の国勢調査」等で選定・特定された貴重な動植物の生息が確認された。主な貴重動植物は次のとおりである。

（貴重植物）ミズドクサ、リュウキンカ、ミツガシワなど

（貴重動物）オゼイトトンボ、エゾイトトンボ、ムツアカネなど

4.8.2 湿地環境の復元

当初、八崎湿地を埋立て緑化公園として復元する計画であったが、上述したように湿地には貴重な動植物が生息していたため、同様の湿地環境を復元することになった。調査の結果、湿地の移動・復元箇所は八崎の窪地以外になかったため、同一敷地内で、埋立造成と代替湿地の整備・復元を並行して実施した。

(1)基本コンセプトの策定

埋立造成工事は 4 年間行われるので、湿地環境を復元するにあたり次の基本コンセプトを策定した。

- ①代替湿地を早期に造り、現存湿地はできるだけ長期間併存させる。
- ②現存湿地に分布する水生植物を計画的に代替湿地に移植する。
- ③現存湿地に生息するトンボ類を代替湿地へ誘導させ、世代交代を図る。

(2)湿地の復元

上記コンセプトのもとに、湿地の復元および動植物の移動を 1999 年（平成 11 年）から 3 年かけて次のように行った。

- ①既存湿地のうち、調査で把握した昆虫繁殖地を「保全区域」とし、できる限り造成最終期まで保全することとした。
- ②1 年目は「保全区域」から離れた造成エリアの一部を先行して埋

立造成し，その場所に代替湿地 1,700m²(以下「復元池」という)を造り，植物を部分的に移植し湿地としての初期整備を行った．

③2年目は引き続き「保全区域」以外のエリアで埋立造成を行った．1年目に設けた「復元池」に水生植物を段階的に移植し，湿地環境を整備しながら昆虫類の自発的な移動を促した．

④3年目はまず「復元池」における湿地環境の現況やトンボの繁殖状況を確認し，「保全区域」から水生植物を底泥ともに「復元池」に移植した．そして移植完了後，「保全区域」を含む残りのエリアを埋立造成した．

4.8.3 モニタリング

「復元池」による湿地環境整備後2年間にわたり，植生・昆虫および水質のモニタリングを実施した．この結果，貴重な昆虫種が継続して繁殖活動をしていることが観察され，湿地環境が復元されていることが確認された．写真－4.8.1に八崎緑化公園と復元された代替湿地（右側）を示す．



写真－4.8.1 八崎緑化公園と復元された代替湿地

（出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録）

4.9 迷入魚防止対策

4.9.1 奥只見貯水池における迷入魚問題

奥只見貯水池は体長 60cm の大イワナやヤマメ，ワカサギなどの魚類の生息地となっている．奥只見発電所増設により最大使用水量が 249m³/s から 387m³/s に増加されるため，増設取水口からワカサギが従来以上に流下し，奥只見貯水池内および下流河川におけるワカサギの生息状況の変化や，ワカサギを餌とするイワナの減少など水域の生態系への影響が地元漁業組合から懸念された．

このため、ワカサギが増設取水口に迷入し流下することを防止するため、迷入魚防止対策を実施した。

4.9.2 ワカサギの生息・生態調査

(1)生息調査

奥只見貯水池におけるワカサギの生息状況を把握するため、1994年（平成6年）から以下の項目について調査を行った。

・分布密度　・水温躍層分布　・動物プランクトン　・植物プランクトン　・ワカサギの産卵・回遊状況　・ワカサギなど流出状況

(2)生態調査

ワカサギの生態を把握するため、文献調査および水槽実験を行った。水槽実験ではワカサギの活動時間帯や遊泳能力を観察した。これらの生態調査から奥只見貯水池の増設取水口においては、「概ね半径9m以遠までの範囲で、ワカサギを取水口から忌避する対策」が有効とされた。

4.9.3 迷入魚防止対策

(1)水槽実験

過去に行われたことのある魚類全般の迷入魚対策の実例・研究例を参考にして、遮蔽物など行動を制御する刺激5項目を選定し、それぞれについて実効性のある次の試験を水槽で行った。

- ①遮蔽物：刺し網試験，スパイラル試験
- ②光：好適照度試験，ストロボ光試験，色光試験，紫外線試験
- ③エアカーテン：気泡幕試験
- ④音：音響試験
- ⑤電氣的刺激：電気バリア試験

水槽実験は予備実験（1995年），小型水槽実験（1996年）およびそれらでスクリーニングしたものについて大型水槽実験（1997年）を行った。実験は全体で約350回行い，その結果，好適照度，気泡幕，電気バリアによる方法が忌避効果が高いという結論を得た。

(2)防止対策の選定

防止対策として好適照度，気泡幕，電気バリア方法のうち，設備対応や維持管理が比較的容易である好適照度を選定した。そして，これに一般的に効果があるとされている音を併用することとした。

具体的な好適照度値を得るために，さらに水槽実験を行い，ワカ

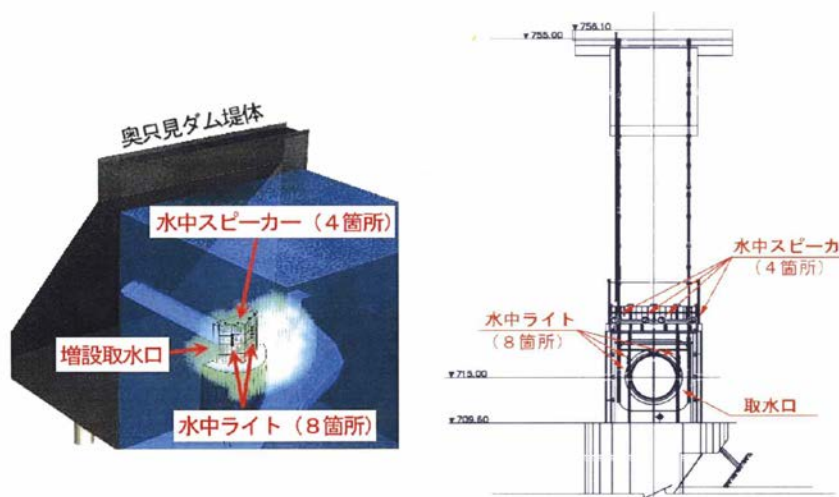
サギは 15lux 以上の明るさに対して忌避行動を起こすことが結論付けられた。

以上より，増設取水口において流速が 50cm 以上になる範囲（取水口から半径 9m 以内）を，15～20lux 以上の照度となるような照明および音圧レベルが 30dB 以上となるスピーカーを設置することにした。

(3)防止対策の実施

以上の検討結果を受け，防止対策として 2002 年（平成 14 年）に，増設取水口に水中ライト 8 ケ，水中スピーカー 4 ケを設置した．設置状況を図－4.9.1 に示す¹³⁾。

迷入魚防止設置後の効果を確認するため，取水開始後の 2003 年（平成 15 年）6 月にワカサギの流下状況や分布調査を行った．この結果，取水口前面では，音や光を忌避するはっきりとした行動を確認することはできなかった．しかし，放水口での流出個体数の調査では，水中ライトと水中スピーカーを作動させた場合，流出個体数がやや減少したことから，実施した光と音による迷入魚防止対策は，一定の効果があったと判断された。



図－4.9.1 迷入魚防止対策

（出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録）

4.10 建設副産物対策

工事に伴って発生する建設副産物は、建設発生土（地下発電所や水路トンネル工事で発生する掘削岩）、建設汚泥（骨材製造設備および濁水処理設備で発生する脱水ケーキ）、コンクリート塊などである。増設工事では環境方針に基づき、これらの建設副産物を極力再資源化することに努めた。

(1)掘削岩

地下工事で発生した掘削岩は約 31 万 m^3 であった。このうち約 8 万 m^3 はコンクリート用骨材として再生利用し、約 23 万 m^3 は 4.8.1 で述べたように八崎地区の公園造成の埋立材料として使用した。

(2)脱水ケーキ

骨材製造過程で約 21,000 m^3 の脱水ケーキが発生し、このうち約 17,000 m^3 を次のように有効利用した。

・有機土壌化（12,000 m^3 ）

脱水ケーキに有機資材（鶏糞，バーク堆肥）を混合，発酵させて有機土壌を製造し，造成された八崎緑化公園の客土材として利用した。

・親水池の遮水材（5,000 m^3 ）

上記八崎緑化公園に新設した親水池の下部遮水層材として利用した。

(3)コンクリート塊

コンクリート塊は，既設コンクリート構造物の取り壊し工事および増設工事完了時の仮設備撤去工事などで発生した。これを最大粒径 250mm に破碎・分粒して，道路の路盤材，擁壁の裏込材，作業坑の埋戻し材として再利用した。

(4)流木

奥只見貯水池に流入した流木をチップ化し，八崎緑化公園の散策路用マルチング材として利用した。

4.11 環境管理システムと環境コミュニケーション

4.11.1 環境管理システム

イヌワシ保護を中心としたさまざまな環境保全対策を体系的にかつ確実にを行うため、①環境保全意識の高揚、②環境管理レベルの継続的な向上、③環境保全への取組みを社内外に宣言を目的とした環境マネジメントシステム（以下「EMS」という）を導入・構築した。

EMSは1998年（平成10年）10月に構築した。そして運用開始1年後の1999年（平成11年）9月に、国内の建設機関として初めて国際規格であるISO14001の認証を取得し、建設所員ならびに工事関係者全員が工事完了までこのシステムに基づき環境保全活動に取り組んだ。

4.11.2 環境コミュニケーション

社会の自然保護に対する認識が高まりつつある状況下で、開発と自然保護との両立を課題として工事を進めるためには情報を発信し、工事関係者および社会からの理解を得ることが必要であり、次のように環境コミュニケーションを図った。

(1) 工事関係者とのコミュニケーション

建設所員および工事関係者（現場責任者）で構成する「環境保全委員会」を毎月1回開催し、委員会では環境保全に関する意見交換および随時行われた環境パトロールの結果が報告された。そして指摘された事項を直ちに改善した。

(2) 社会とのコミュニケーション

①建設所で「ホームページ」を開設し、工事進捗や環境保全対策の取組み状況などに関する情報を随時発信した。

②毎年度実施された環境管理活動とその成果を取りまとめた「環境報告書」を発行した（写真－4.11.1参照）。報告書は2000年（平成12年）から2003年（平成15年）の間に計5回発行し、上記のホームページにも掲載するなど一般公開した。特に2003年に作成した報告書は、「環境レポート大賞（奨励賞）」（主催：財地球・人間環境フォーラム、(社)全国環境保全推進連合会）を受賞した。

③工事区域周辺の貴重鳥類調査で得られたイヌワシ等の繁殖状況および貴重鳥類に対する保護対策実施状況等を、適宜地元（福島県・新潟県）の報道機関に情報提供した。



写真－4.11.1 環境報告書

(出典：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録)

4.12 他地点の環境保全対策への展開

奥只見・大鳥発電所増設工事では、イヌワシ保護を中心として、工事期間の制限、設計・施工計画上の配慮など、生態特性を考慮した予防保全的対策を考案して実施したが、クマタカなどの希少猛禽類を対象として、小丸川発電所工事（九州電力：最大出力 1,200,000kW，工事期間：1999 年～2007 年，宮崎県）^{20), 21)}，京極発電所工事（北海道電力：最大出力 600,000kW，工事期間：2001 年～2014 年，北海道）²²⁾および徳山ダム・発電所工事（水資源機構・中部電力：最大出力 153,000kW，ダム本体工事期間：2000 年～2006 年，岐阜県）²³⁾などでも工事期間の制限をはじめとして、同様の保全対策が実施された。特に奥只見・大鳥発電所増設工事では、イヌワシ幼鳥保護のために、希少猛禽類に対しては初めて順応的管理を計画し実践したが、小丸川発電所工事でも、クマタカへの工事影響が懸念された場合は、随時保全対策を見直すことによる順応的管理を行っている。また、奥只見・大鳥発電所増設工事では、繁殖状況を正確に把握するため、営巣期にイヌワシの営巣地ビデオ観察を実施したが、徳山ダム・発電所工事では、クマタカに対して CCD カメラによる営巣地観察を実施している。

環境管理においては、奥只見・大鳥発電所増設工事では、多岐にわたる環境保全対策を的確にまた体系的に行うため、1999 年（平成 11 年）に、国内建設機関で初めて ISO14001 認証を取得したが、小丸川

発電所工事でも，2001年（平成13年）にISO14001認証を取得し，安全環境協議会を通して工事関係者とのコミュニケーションを促進するとともに，環境ノートを作成し，啓蒙教育を行っている²⁰⁾．徳山ダム工事でも，ソフト的な環境保全対策として環境パトロール，施工業者における環境保全管理者の設置，環境学習会を実施するとともに，各種調査報告書，環境レポート，ホームページなどにより情報公開を行っている²³⁾．

－参考文献－

- 1) 日本鳥類保護連盟：希少猛禽類調査報告書（イヌワシ編）；pp.195,2004年.
- 2) 日本イヌワシ研究会：開発行為等がイヌワシの生息および繁殖に及ぼす影響；*Aquila chrysaetos* 8, pp.1-9,1991年.
- 3) 日本イヌワシ研究会：イヌワシにおける繁殖失敗の原因；*Aquila chrysaetos* 10, pp. 1-10,1994年.
- 4) 環境庁自然保護局野生生物課編：猛禽類保護の進め方（特にイヌワシ，クマタカ，オオタカについて）；(財)日本鳥類保護連盟,1996年.
- 5) 岩手県生活環境部：野生生物保護対策事業調査報告書－イヌワシ生息状況調査－（平成8年度～平成10年度）；1999年.
- 6) 福井県自然保護センター：希少野生生物種の保存事業（イヌワシ保護対策）調査報告書；2001年.
- 7) 滋賀県：滋賀県イヌワシ・クマタカ保護指針；2002年.
- 8) 富山県：富山県イヌワシ保護指針－イヌワシとの共生を目指して－；富山県，2000年.
- 9) 塩田冽，小松俊夫：奥只見・大鳥発電所増設計画の概要；電力土木，No. 288, pp. 41-43,2000年7月.
- 10) 小松俊夫，鳥羽瀬孝臣，橋本長幸，西川和也：建設工事におけるイヌワシ幼鳥保護に向けた順応的管理の事例；土木学会論文集，No.811/VII-38, pp.23-35,2006年2月.
- 11) 環境庁自然保護局野生生物課編：猛禽類保護の進め方（特にイヌワシ，クマタカ，オオタカについて）；(財)日本鳥類保護連盟，pp.47，1996年.
- 12) 同上，pp. 61.
- 13) 電源開発：奥只見・大鳥発電所増設工事における環境保全対策実施記録；2004年3月.
- 14) 環境庁自然保護局野生生物課編：猛禽類保護の進め方（特にイヌワシ，クマタカ，オオタカについて）；(財)日本鳥類保護連盟,1996年, pp. 58-59.
- 15) 環境省編：新・生物多様性国家戦略－自然の保全と再生のための基本計画－；ぎょうせい,2003年.
- 16) 藤森隆郎，由井正敏，石井信夫：森林における野生生物の保護管理

- ー生物多様性の保全に向けてー；(株)日本林業調査会,1999年.
- 17) 鷺谷いづみ：NHK ブックス 916 生態系を蘇らせる；日本放送協会，2001年．
- 18) 宇都宮市：(仮称)宇都宮美術館周辺整備に係るオオタカ生息調査及び保全計画報告書ーオオタカとの共生を図るためにー；1996年．
- 19) 保全生態学研究室ゼミ：Adaptive Management in Conservation；pp.5，2005年9月．
- 20) 大野一文，北原文広，井内正直：小丸川発電所下部ダム（石河内ダム）工事における騒音・照明対策；電力土木，No. 315，pp.42-45，2005年1月．
- 21) 満島雄治，工藤雅仁，川内一徳：小丸川発電所新設工事における生物多様性と環境負荷低減に配慮した取組み；電力土木，No. 336，pp.10-15，2008年7月．
- 22) 関谷美智，松原高司，佐藤和男：京極発電所設置に係る環境調査の概要と環境保全対策；電力土木，No. 298，pp.54-57，2002年3月．
- 23) 自閑茂治，村尾浩太，梶谷隆志：徳山ダムにおける環境保全対策；土木技術，Vol.63,No.1,pp.40-51,2008年1月．

第 5 章 結論

本研究は、二酸化炭素を排出しないクリーンな再生可能エネルギーである水力発電を今後、積極的に開発する必要があることを踏まえて、1990 年代の「持続可能な開発」として建設された沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事および奥只見・大鳥発電所増設工事で実施された「自然環境との共生」をめざした環境保全対策について実証的に分析を行い、工学的・技術的に有効で普遍性のある手法を提言することを目的としたものである。以下に各章で得られた内容を要約し結論とする。

第 1 章「序論」では、本研究の背景，研究意義，目的を述べた。

エネルギー開発に対する自然環境への影響が大きく，自然環境保全対策は，国の環境政策に応じて実施されてきたが，近年では，持続可能な開発が叫ばれ，自然環境との共生が求められている。

本研究では，大規模開発が行われた第二次世界大戦以降に実施されてきた環境保全対策は，その時代の環境政策に応じて推移してきたことを，わが国の 34 発電所対策事例により分析し，実証可能な環境政策につながらなかった要因を考察した。そして，近年求められている自然との共生に対して，筆者が携わった沖縄海水揚水実証プラント建設工事，奥只見・大鳥発電所増設工事を通して提案・実践した共生のための対策が，工学的・技術的に有効で普遍性があることを分析・検証した。

第 2 章「水力開発における自然環境保全対策の推移」では，各年代における水力開発状況と環境政策の関わりを概説し，各発電所建設工事で実施された環境対策事例を分析して，実証可能な環境保全対策につながるまでの推移を記述した。

19 世紀後半（明治中期）から 20 世紀前半（昭和前期）にかけては，河川流量に応じて発電する流込み式発電が大半で，土木技術の進展により高ダム築造が可能となってくると，貯水池を利用して季節に応じた発電運用が行われるようになってきた。この時期の環境政策は，足尾鉍毒問題，別子煙害問題を受けて，「鉍業法」や「工場法」が施行されたが，なかなか有効な公害対策にはならなかった。自然保護の分野では，天然記念物制度や国立公園法が制定されたが，第二次世界大戦の開始により

森林は荒廃していった。

1950 年代（第二次世界大戦後）から海外の大型施工機械を導入し、高さ 100m 以上のダムが築造され、ベース供給力の大容量火力発電に見合う大規模貯水池式発電が、ピーク供給力をにうべく各地で開発が促進された。戦後経済復興を優先する国の施策の中で、水質汚濁や大気汚染による公害が各地で発生し問題になってきた。また、過疎化した農山村地域では自然破壊が進行した。これらに対応するため、政府は 1960 年代にかけて、自然公園法、水質保全法、工場排水規制法、ばい煙規制法、鳥獣保護法を順次制定した。

1960 年代には大容量火力発電の急速な進展により、水主火従から火主水従に転換となり、ピーク供給力として混合揚水式発電所が多く建設された。産業の発展と共に公害問題が激化し、日本各地で公害反対運動が展開され、政府は「公害対策基本法」を制定し、環境基準値の導入や各種の公害関係法律の整備を進めた。

1970 年代になると高度経済成長により電力需要量が増大し、1 日における昼間と夜間の需要量の差が大きくなってきた。これに対応するため、大規模揚水式発電の開発が相次いだ。1970 年代前半は、「公害国会」や「環境庁」の設置により、公害対策に一定の成果があげられた。また、公共事業に対して環境アセスメント手法が適用された。しかし、1970 年代後半は、2 度にわたる石油危機により、環境行政への関心が急速に薄くなった。

1980 年代は 1970 年代に発生した石油危機の結果、石油代替エネルギーの確保が必要となり、非枯渇性の国産エネルギーとして中小水力発電の開発が促進された。当年代では大規模事業を対象に環境影響評価を実施することが法案化されずに閣議決定となったが、後半になると地球温暖化に関する取組みが本格化した。

1990 年代からクリーンな再生可能エネルギーとして中小規模の開発が促進され、揚水式発電は、電力需要の低迷により開発量が減少してきた。「持続可能な開発」が求められるようになり、環境基本法、環境影響評価法をはじめとして、さまざまな環境関連法が制定された。これに合わせ、河川法も改正され、環境保全の概念が取り入れられた。

次に、各年代の水力開発において実施された環境保全対策の検証とその推移状況の分析を行った。

すなわち，1950年代および1960年代は高度成長期を背景に水力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た．すなわち，環境保全対策の段階には至っていなかった．

1970年代になると水質・騒音・振動などに環境基準が設定され，水質に対しては濁水処理設備の設置，騒音に対しては低騒音型機器の導入，振動に対しては火薬量の制限などそれぞれの発生源に対する対策がとられた．1970年代後半には通産省省議アセスの開始により，自然景観との調和，構造物のレイアウトの配慮，改変地の修景緑化などの環境保全対策が図られるようになった．しかし，導入初期段階であり，事業関連者間において共通認識ができる状況ではなかった．

1980年代になると河川維持流量の放流が義務づけられ，また通産省省議アセスが本格的に実施されたことに伴い，発電所の外観デザインおよび色彩などにも配慮を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，対策も個々人の健康の保護および生活環境の保全，快適環境の創造という生活一般へと変化してきた．このように，技術者の意識の向上につながるようになってきたが，事業関連者までの共通認識ができる対策につながらなかったため，実証可能な対策までに至っていなかった．

1990年代になると「持続可能な開発」が求められ，「自然環境との共生」を目指した取り組みが試行されるようになってきた．すなわち，自然環境の復元，生態系の維持・保存，また，廃棄物のリサイクルなどの対策がとられた．同時に地域と共生していく取り組みが行われ，事業関係者・関連者の共通認識ができる対策がとられた事業では，実証可能な環境保全対策が可能となってきた．

第3章「開発と自然の共生事例」では，著者が携わった沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事において，環境影響評価法に先駆けて実施した，共生のための保全対策の考案・実施内容を説明し，工学的・技術的に有効な普遍性のある実証可能な環境保全対策を示した．

沖縄海水揚水実証プラント建設工事で実施した小型動物を対象とした予防的保全対策の特徴は，①工事前に貴重動物の移動試験を行い，工

事影響がない同様の生息環境に移動し保護したこと，②万一，貴重動物が戻ってくるリスクを想定して，侵入防止柵，傾斜側溝を設置したこと，である．生き物を対象に対策を行う場合，その生態特性を理解しておくことは前提であり，なお不確実性がある場合は，専門家と協働で，①のように事前の試験で確認する作業が必要である．

これら防護柵や側溝などのハード対策に加え，重要なのは啓蒙活動や教育宣伝活動などのソフト対策である．工事関係者の理解・協力なくしてはハード対策の効果はあがらないと考え，環境コミュニケーションを促進した．すなわち，貴重な動物の生息には関心のなかった地元の工事関係者に対して，啓蒙手帳「自然にやさしく」の配布，貴重動物講演会，工事現場内のポスター掲示など各種の教育宣伝活動を行い，環境意識を高めた．当初少なかった貴重動物発見報告も年を経るごとに増え，工事期間中全体で 177 件の報告があり，貴重動物の生息分布を把握する上で貴重な資料とした．また，対策の効果や工事の影響をチェックするために，自然保護担当者によるパトロール，濁水パトロールなど組織だつて日常的に環境パトロールを実施した．

以上のようなハード対策とソフト対策を組み合わせ，また，事業者と工事関係者を一体化した組織的な環境管理の事例は他地点ではほとんど行われておらず，これらの実践の結果，工事期間中，工事車両による貴重動物の轢死や，側溝の中での死亡も確認されず，大きな効果が得られた．当地点での実践例は，その後，沖縄総合事務局が実施する各種事業の環境保全標準対策やマニュアルとして展開された．

従来の水力発電所工事における自然環境への復元は，工事跡地に種子吹付を中心とした緑化が主であり，小規模に在来樹種の植栽が行われるようになってきた．一方，沖縄本島は亜熱帯気候で，特に工事区域は赤土土壌であり，ヤンバルの厳しい自然環境条件において，在来樹種による森林環境復元は例がなかった．そこで，科学的に復元するため，試験植栽が必要と判断し，2 年 6 ヶ月間，当地点の自然条件に適する植栽方法について試行した．また，動植物の生態特性を考慮した造成設計・緑化計画を創意工夫し，初めて 45,000m² の土捨て場跡地を，貴重動物が生息する自然環境を創出した．すなわち，①試験植栽により，植栽する在来樹種・植栽密度・植栽方法・マルチング材を選定，②造成設計では，動物の生態を考慮した緩やかな起伏ある地形，雨水による水飲み場とし

て池・水路の配置，③緑化計画では，専門家と相談し，森林の遷移を利用した植栽手順および配置，無機質土壌の改良，④自然の回復力を利用し早期に復元するために，必要最低限の追肥量調整，害虫駆除，台風後の補植などの管理とした．

工事終了後 5 年間，専門家による観察，定点・ルートセンサスなどによる動物・植生モニタリングを行い，経年変化やデータ分析から動植物の生息・生育場所としての機能回復が順調に進んでいることが確認された．

このような自然環境への復元手法および工事中・工事後を通したモニタリングは，その後，小丸川発電所工事や京極発電所工事においても実施されている．

第 4 章「希少猛禽類との共生事例」では，著者が携わった奥只見・大鳥発電所増設工事において，環境影響評価法に先駆けて実施したイヌワシを中心とした共生のための保全対策の考案・実施内容を説明し，工学的・技術的に有効な普遍性のある実証可能な環境保全対策を示した．

4 年の工事期間中，イヌワシ奥只見ペアは 2 度にわたり繁殖に成功し，幼鳥が巣立ったため，幼鳥保護と工事との両立を目的とし，イヌワシに対して前例のない順応的管理を計画，実践し，その両立に成功した．イヌワシ保護に関する順応的管理の特徴は，①6 年間集積したイヌワシ奥只見ペアのモニタリング結果から精度の高い営巣中心域・行動範囲や繁殖活動の特性を把握したこと，②事前に騒音測定を行うなど工事による幼鳥への影響を予測・評価し，それを考慮した工事計画を策定したこと，③予め幼鳥の異常行動に関する評価基準および対処方法を策定し，工事関係者に周知して意思統一の徹底を図ったこと，④工事は幼鳥のモニタリングを常時行いながら徐々に規模を大きくしていき，工事の幼鳥に対する影響が認められた場合は，直ちに工事中断などの確に工事へフィードバックを行ったことである．特に 2002 年（平成 14 年）には，衰弱した幼鳥に人工給餌を行ったが，事前に幼鳥救護を想定し，専門家・関係行政機関を含め救護体制をルール化していたので迅速な対応が可能となった．迅速な保護対応をとるためには，事業関連者（行政，専門家，市民）および事業関係者（事業者，工事関係者）の共通した理解・協力が不可欠であり，日常的な環境保全意識およびコミュニケーションを持

続したことも順応的管理を可能にした一要因であったと考える。

日本におけるイヌワシの繁殖成功率は、1996年（平成8年）～1999年（平成11年）の平均が22.9%と低下傾向にあり、奥只見ペアも工事開始前の1994年（平成6年）～1999年（平成11年）における6年間は繁殖に失敗していた。しかし、工事期間中の4年間において、2回繁殖に成功し、2回とも工事と両立しながら幼鳥が成長して巣立っていったことは、実施した順応的管理が有効であったことを示すものであり、人間活動とイヌワシ繁殖との相利共生である。

従来水力発電所工事におけるモニタリングは、工事前の環境影響調査で、四季を通じた自然現況把握が実施され、工事中は騒音・振動・水質に関して行われていた。奥只見・大鳥発電所増設工事では、対象が不確実な自然や生態系であることから、生態系への影響把握や自然環境保全対策の有効性を確認する手段として、長期間にわたったモニタリングを実施した。すなわち、工事着工前の6年間は保護対策のための生態把握、工事期間中の4年間は工事による影響の把握、保護対策へのフィードバック、工事終了後の2年間は生息状況確認である。

モニタリング調査は複数地点による定点観察を中心とし、調査頻度を営巣期は原則2回/月、非営巣期は原則1回/月とした。特にイヌワシ両つがいの営巣地確認後は、繁殖状況を正確に観察するため、専門家と相談して営巣地ビデオ観察を加えた。観察結果の解析により、餌の搬入回数、餌動物の種類、雛の生息状況など詳細な繁殖情報を得、保護対策に活かした。このように、モニタリングでは、調査・計画時、工事中、工事終了後において、目的に適する方法、内容・頻度・観察地点数などを工夫しなければならない。また、生態への調査影響、経済性などを考慮して、目的に適したモニタリング計画立案・実施すること、および有効なデータを得るためにモニタリング観察者との目的共有・意思疎通が重要である。営巣地ビデオ観察は、今までの水力建設工事にほとんど例がなく、イヌワシに影響を与えないよう擬木を設置し、その内にカメラを収納するなど工夫した。また、イヌワシ幼鳥保護のための順応的管理では、幼鳥の行動に合わせて観察地点を随時移動し、モニタリング観察者からの報告結果を的確に工事に反映していったことが、順応的管理成功の一因となった。さらに、集積したモニタリングデータおよび営巣地ビデオ観察の解析は、イヌワシ奥只見ペアの精度の高い生態特性や行動範

囲を特定するなど、合理的な判断や、効果的な保全対策を立案する科学的根拠を構築するものなので、高い専門性を有して行うことが重要である。

今後の水力開発では生物多様性の保全が求められ、そのための対策として予防的措置、自然環境の復元、順応的管理の活用、事業着手後のモニタリングと評価が必要とされている。本章では、著者が携わった沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事、奥只見・大鳥発電所増設工事で、環境影響評価法に先駆けて創意工夫しながら実践した環境保全対策の例を総括したが、ここから得られる自然との共生のための実証可能な環境保全対策の手法は次のとおりである。

【ベース対策】

①未知な自然は多様な連合連鎖系で、未解明な部分が多い。したがって環境保全対策を検討する前に、十分なモニタリングにより自然条件を的確に把握し、自然特性（生態も含む）を考慮した予防保全的な設計・保全対策を立案すること

【ハード対策】

②自然現象の未解明な部分を補うために、専門家と協働しながら必要な試験や測定などを行うこと

③自然の不確実性に対して順応的管理を活用する。計画・実行にあたっては根拠ある予測・評価を行い、対処法をルール化して事業関係者に周知徹底し、意識共有を図って実行すること

④自然環境の復元は、自然が本来有している回復力を活用し、人間は、早期に回復するための手伝いとする

【ソフト対策】

⑤事業関係者が一体となって保全対策に取り組んでいくこと。理解・協力を得るため、事業者は環境保全目的を明確に提示し、日常的に環境コミュニケーションを展開すること

⑥事業関連者との合意形成を図るために、科学的・合理的根拠のある説明、ホームページによる日ごろの情報公開など積極的に説明責任を行うこと

⑦日常的に環境パトロールを実施し、常に全体の環境保全状態の確認を行う。そして、保全対策の不具合の事前防止、また、影響発見時に

は対策へのフィードバックを素早く行うこと

【エコサイトモニタリング】

⑧工事中の生態系に対するモニタリングは、保全対策の効果判断や上記のハード対策の実行に不可欠であり、工事後のモニタリングおよびデータによる評価は、復元状況の確認に必要である。また、上記ソフト対策において事業関係者や事業関係者へ合理的説明を行う上でも科学的根拠を構築するものである。筆者はこの工事中・工事後を通して、専門家と協働しながら現場サイトで生態系を中心に行う一連のモニタリングおよびそのデータによる評価をエコサイトモニタリングと呼ぶこととする。そして有効なエコサイトモニタリングを行うために、最新のモニタリング技術を導入するとともに、モニタリング観察者と十分な意思疎通を図って行うこと

自然と共生する開発を行うためには、以上に述べたベース対策を基にして、ハード対策・ソフト対策およびエコサイトモニタリングを適切に組み合わせて実施することである。

日本では、古来、自然を神の住む場所として畏敬の念をいだき、人は自然と共生することによってよい生を生きることができるとし、森林を伐開して農地をつくり出した時も、自然と折れ合いをつけながら開発してきたといわれている。明治維新以降は、西洋技術を導入し国土開発を進め、また、第二次世界大戦後は経済復興を図るために、欧米の技術や大型土木機械により短期間で自然に挑み、一方的に自然から享受してきた。

1950年代以降の水力開発における自然との折れ合い、すなわち環境保全対策の推移を顧みると、1950～60年代は開発による影響が住民に直接及んでいる事象に対して機能代替対策や金銭補償がとられている。1970年代前半からは環境基準の導入により、影響発生源への対策が行われるようになり、70年代後半では、通産省省議アセスの開始により環境影響評価項目が統一され、影響発生源および自然生態を考慮した対策が行われるようになってきた。1980年代には環境影響評価の本格化に伴い、保全対策は設備と施工の両面で行われ、また、工事関係者への環境保全に対する教育宣伝活動が行われるようになってきた。さらに河川維持流量の放流により対策範囲は流域面へと広がっていった。

1990年代は「持続可能な開発」が叫ばれ、「自然保護」から「生物多様性の保全」へと進み、自然と共生する開発が行われるようになってきた。このように1990年代以降は、人間と自然との共生が復活してきているのである。

水力開発によって自然環境が破壊されるが、共生のための保全対策により環境を修復し、自然と馴染みあいながら新しい環境が創生され、新しい自然環境が生まれる。その自然環境が新世代を生み発展する。これによりはじめて開発と自然との共生が成り立つのである。

沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事、奥只見・大鳥発電所増設工事で実施した環境対策費用は、沖縄海水揚水発電実証プラント建設工事では総事業費330億円の約6%であり、奥只見・大鳥発電所増設工事では総事業費600億円の約10%を占めた。環境対策費用が増えてくると開発費用も増嵩し、プロジェクトの経済性にも影響が生じる。環境対策費用もプロジェクトの経済性とのバランスが必要であることから、今後、計画・設計・施工を通して、経済的にも合理的な対策を考えていかなければならない。このためにはあらゆる面での環境技術の向上が必要となってくる。

また、自然特性や生態特性を正確に把握しようとする、長いモニタリング期間や専門家が必要となる。結果的に調査期間を含めた開発期間が長くなり、生態にも調査影響が懸念される。自然界には未解明な部分が多いことから、民間事業者の調査方法には限界がある。したがって、関係行政機関・研究者などと協働した科学的で事業関連者の理解も得られる合理的な調査・モニタリング方法の確立が必要と考えられる。さらにさまざまな生態や、各所の調査データを共有することが可能なデータベースの構築、国による生態保全のためのガイドラインの整備が必要である。

今後、開発と自然が共生していくためにはハード・ソフト両面を含めて共生するための、また、事業関連者との合意形成が可能な対策・技術を考案していかなければならない。未解明な部分が多い自然や生態系に対し、土木技術者も、生態学をはじめとしたさまざまな分野との学際交流を進めていくことの重要性が示唆された。

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり，日本大学 安田陽一教授には，研究のあり方，考え方について終始懇切丁寧にご指導を賜りました．ここに深甚なる感謝の意を表します．また，日本大学 大津岩夫名誉教授，同 前野賀彦教授，同 関文夫教授には，論文の審査をしていただくとともにご教示をいただき，本論文の考察を深めることができました．深く謝意を表します．

筆者に論文執筆を薦めてくれたのは，日本大学 竹澤三雄名誉教授です．筆者は論文執筆中に体調により一時執筆を中断しましたが，楽しみながら進むようにと，再度継続する動機および暖かいご支援をいただきました．心より感謝いたします．

筆者は，電源開発株式会社勤務時代に、亜熱帯性気候で生物多様性に富んだ沖縄ヤンバル地方，および国の天然記念物であるイヌワシが生息する自然豊かな奥只見で水力開発に従事する機会に恵まれました．沖縄では琉球大学 故池原貞雄名誉教授と一緒にフィールドを調査しながら，自然の見方，人間と自然とのつきあい方，そして自然保護の思想を学びました．自然と共生する保全対策を立案・実践できたのも，故池原名誉教授からの教えによるところが大きく，心より感謝しております．奥只見では，岩手県立大学 由井正敏名誉教授から，フィールドおよびデータ解析において，生態を科学的に見ることを学び，イヌワシとの共生に活かすことができました．深く謝意を表します．人間の生活に必要な開発と，自然とを両立できるのは土木技術者としての大いなる使命と考えております．

今回の論文執筆に際し，筆者が勤務していた電源開発株式会社から，多くの貴重な図書・報告書・資料および写真などの提供をいただきました．これらの提供を快諾され，執筆を応援してくださった土木建築部 嶋田善多部長，ならびにいつも快く協力をいただいた同 田畑宏司課長に心より感謝いたします．また，沖縄で一緒に環境保全対策に汗を流した JP ハイテック株式会社出向 坂田 淳取締役，奥只見で一緒に環境保全対策に取り組んだ橋本長幸審議役，水源地環境センター出向 鳥羽瀬孝臣部長には貴重なアドバイスおよび共同執筆論文使用の快諾をいただきました．心より感謝いたします．

筆者が現在勤務する株式会社開発設計コンサルタント 堀正幸会長，谷順一元常務取締役には，常に暖かい励ましとご配慮をいただいたことに心より感謝いたします．また，筆者が所属する茅ヶ崎の土木技術研修センター 西川和也所長にはご理解とご配慮をいただき，同僚の千葉健太郎主管技師，柳瀬孝弘主管技師には図表の作成をはじめ，さまざまなご協力・支援をいただきました．深く感謝いたします．

最後に，本論文が完成できたのは妻 香の協力と支えがあったおかげです．完成まで長い期間を要しましたが，休日になるといつも図書館に出かける筆者を応援し，なかなか進まないときには励ましてくれました．有難うございました．心から深く感謝いたします．

多くの皆様に支えられたことに感謝しつつ

平成 25 年 11 月

小松 俊夫