

《論文》

戦前における日本の電源選択の変遷

— 経済性評価手法と評価結果を踏まえて —

中村 秀 臣

はじめに

日本の電気事業は1880年代、民間ベンチャー企業として創業され、電燈から電動機へと電化が着実に進展し、その必需性と自然独占的な事業特性から公益事業として認知され、明治44(1911)年制定の電気事業法のもと、豊富で低廉な電力供給を責務として事業活動を展開していった。責務を果たすためには、豊富な資源を基に経済性の高い電源選択をせねばならず、電源選択の問題は経営のみならず行政にとっても非常に重要な課題であった。

戦前の電源選択については、従来、「水主火従」や「水火併用」といった概念的、定性的な言葉によって説明されてきた。石炭価格の高騰により水主火従が定着し、水力の渇水時の補給のために技術開発が進展してきた火力を併用するという説明である。一方で、資源の賦存状況から水力万能論(潮流主義)や火力亡国論という水力を万事に優先する考えが蔓延しており、合理的な判断の障壁ともなった(電気学会、1960)。

こうしたなか、1910年代前半には逓信省の技術官僚が、水力、火力の原価構成を反映した現在につながる電源選択の経済性評価手法^①を確立しており、電気事業者もその評価手法を適用していた。従来の研究では、評価手法や評価結果には言及されておらず、上述の通り定性的な記述に留まっている。経済性評価手法の適用を前提に電源選択状況を再評価する必要がある。また「水火併用」については、導入過程に見解の相違がある。

橘川は、松永安佐工門が季節的な需要と水力の利用水量の不一致を経済的に解消するために大正12(1923)年3月に提唱したのを契機に漸く遂行に向けて動き出したが、電力国家管理下では潮流主義が採用されたと論じている(橘川、1995)。梅本は水火併用の理論的起源は、1920年代の技術官僚の調査研究として、逓信省の共同火力の施策提起までを論じた(梅本、2000)。ただし、水火併用の効用は経済性評価に基づき既に逓信省が認識しており、その実現にあたっては同省の指導が先行した。その延長で両氏の論じた状況となり、水火併用が定着したが、電力国家管理への移行期には戦時リスクが顕在化し、石炭価格の高騰で水力が優位となり、合理的に中規模水路式水力を優先した選択に急変したのである。

そこで本研究においては、従来研究対象とされていなかった電源選択に係る経済性評価手法とその評価結果を基に創業初期から戦時に至るまでの電源選択の変遷を評価する。具体的には、水力万能とした発電用資源の賦存状況の認識、経済性評価手法とその結果の変遷と行政や主に東京電燈の電源選択に係わる行動の変遷を分析する。そして水力万能論との確執のなかで「水主火従」、「水火併用」の合理的な取組みが進展した実態、またこうした電源選択に対する環境問題や戦時リスク等の影響実態を評価し、技術官僚の先導した取組みが、電気事業者の合理的な電源選択の推進に資するとともに、顕在化した戦時リスクに対しても方針策定等に寄与した状況を明確にし、新たな研究の視点を提供する。

1. 発電用資源の賦存状況

国産資源での発電を前提とすると各国の発電用資源の賦存状況の評価が電源選択にとって重要である。表 1 は昭和 12 (1937) 年における日本と主要欧州国の石炭、石油、水力等の潜在資源量の調査結果であるが、日本は水力と燃料木材で優位にあった。ただし、発電には集中的に資源の得られる水力と石炭が利用され、燃料木材は熱用途で利用された。

水力はその資源量の豊富さから天恵とも称されたが、流量の変動が大きいという欠陥を克服する必要があった。当初は、ほとんどが渇水量基準で設計された水路式の発電方式であったので、常時一定の出力は確保できるが、渇水量以上の流量は発電できなかった。そこで、貯水機能を有する天然の湖沼の利用、さらには調整池や貯水池の建設をして、使用水量を平水量さらには豊水量まで増やし出力の大きい水力発電所を開発するようになった。逋信省では、こうした流量に対応する潜在発電力を適宜調査した。明治 43 (1910)～大正 2 (1913) 年に実施された第一次調査では渇水量程度を基準とし 342 万 kW、大正 7 (1918) 年～11 (1922) 年に実施された第二次調査では、平水量基準とし 743 万 kW、昭和 12 (1937) 年～昭和 16 (1941) 年に実施された第三次調査では内務省、農水省と共同で貯水池、調整池の設置を念頭に置

いて平水量以上を基準とし 2,004 万 kW と着実に潜在発電力を増加させた (電力土木技術協会, 1992)。東京電燈は第一次調査に対し「水力事業の発達上欠くべからざる必須の資料」と高く評価した (東京電燈, 1936)。

石炭については、農商務省の明治 44 (1911) 年の第 1 回調査では炭量は 87.9 億トンであり、1920 年代には技術的、経済的な可採量や欧米に比し低い需要の将来的な増進を考慮すると残存年数は 50 年程度との悲観論が主流となった (齋藤, 1924)。昭和 7 (1932) 年の第 2 回調査では 167 億トンと倍近くに増加したが、そもそも日本の石炭の大部分が第三期層に属する低級瀝青炭で、ユーラシア大陸の石炭紀のものに比し遙かに後年に属し、石炭炭質が劣っていた (小島, 1937) こともあり火力亡国論を払拭するには至らなかった。よって天恵とされた水力の万能論に固執する電源選択の傾向がみられたと考えられる。ただし、水力も水路式での開発が進展していくと、残存資源量の評価を基に水力限界論も主張されだした。その結果、水力については天恵として徹底的に有効利用すること、石炭については、特に戦時を控えると日本の内地に加え朝鮮、満洲、北支等の外地炭との一体的な経済運営をすべく統制を徹底することが目指された。このように資源賦存量の十分性や石炭炭質に対する認識が、電源選択における対立の要因になったと見受けられる。

なお石油については、東京電燈においては、明

表 1 主要国の主要資源の潜在資源量

	石炭 (百万 t)	褐炭 (百万 t)	石油 (百万 t)	水力 (千 kW)	燃料木材 (百万 ha)
	确实埋蔵量	确实埋蔵量	確認包蔵量	包 蔵 量	森林面積
日 本	5,960	40		6,415	45.2
イギリス	138,183	—	—	635	1.2
ド イ ツ	87,474	11,592	1	1,490	12.7
フ ラ ンス	5,803	649	1	4,025	10.4
イタリヤ	3	20	—	2,835	報告なし
	7,000 kcal/kg	2,500 kcal/kg	10,000 kcal/kg		3,600 kcal/kg

注：Gunter Hunecke 『Gesaltungskräfte der Energiewirtschaft』1937 に基づく。褐炭は石炭価値換算値。

出所：北久一『エネルギー経済機構論』（慶應書房版, 1940 年）

治 34 (1901) 年には既にサンフランシスコでの重油燃料使用の火力発電所を視察し「羨望に堪へざりき」と報告していた(野上, 1903)ものの戦前には、国産資源の利用が前提で、実現には至らなかった。

2. 分散型火力発電の導入とその限界

東京電燈は、明治 19 (1886) 年末に市内 5 カ所への石炭を燃料とした直流方式での小規模分散型石炭火力発電所の建設を決定した。利用の申込みが予想以上に多く、落成予定を早める等の措置をとり、まずは明治 20 (1887) 年 11 月 21 日に落成させ、新たに麻布、下谷、浅草、芝等に同様の電燈局の計画を樹立した(東京電燈, 1936)。しかし、創業初期の明治 25 (1892) 年には煤煙問題が顕在化した。折しも地震による各発電所の損傷等もあり、同年には、改修拡張よりも長距離大容量の送電が可能となってきた高圧交流式の集中発電所に転換し、既存発電所の廃棄をすることを決定した。新たな立地地点とされたのが人家から数百 m 離れ、隅田川での取水ができる浅草であった。政府所有の土地であったが、電燈事業の公益性が勘案されて許可を得られた(藤岡, 1896)。煤煙問題に対しては、60 m の大煙突、消煙装置の設置、無煙炭コークスの使用等の対策をし、さらに増設時には燃焼装置の改善で石炭消費量の大幅低減を図り、漸く問題を克服した(加藤・木本, 1974)。明治 37 (1904) 年には、需要増と供給区域拡大への対応のために南千住に 1 万馬力の火力発電所を新設することを決定した。市内立地が許されない情勢となり(東京電燈, 1936)、川沿いで石炭利用に便利な線路沿いの市外の地を選択した。

しかしながら同年には起工中の千住火力の規模を 5,000 馬力に半減して、桂川の水力開発を図るという水主火従への転換を決定した。常磐炭の調達可能性と価格高騰への懸念、並びに火力発電に対する規制の厳格化の一方で、水力の経済性の向上が理由であった。具体的には、建設費単価では水力が送変電費を含めて 330 円/馬力、火力発電

は約 180 円/馬力と 150 円/馬力程度水力が高く、発電原価はその利息分(利子 1 割と想定)の 15 円程度水力が割高となるが、火力は石炭費 34 円並びに火夫、燃料炭殻運搬費等 2 円の 36 円を要するので、合計では水力が 21 円程度安価になるという試算であった(東洋経済新報, 1904)。減価償却費の明示はないが、当時は計上の考えが明確ではなかった(木多, 1926)ためであろう。ただし、水力の耐用年数が火力の 2 倍程度であることを考えると概ね同等とみられ、優劣の評価には影響しないと考える。さらに水力発電により夜間の電燈用途のみでなく昼間の電力を低廉に供給して動力用途等への普及に大きく貢献できると期待した。これにより水力を主体に余剰があれば蓄電池の充電をし、火力は日没から 12 時に至る負荷最重の時間に水力のバックアップとして利用することとした(東洋経済新報, 1904)。これ以降水力開発への傾斜が進み、特に水力資源に恵まれ、関西に比し石炭費が割高な東京電燈では水力一辺倒の様相を呈する。しかし、東京電燈では明治 44 (1911) 年には、火力発電所の効率向上の趨勢と水力発電所が多額の固定資本を要することを考えると火力発電所が水力発電所に経済性に優れる状況が来る可能性があることを指摘していた(萩原, 1911)。この頃には、技術開発の重要性と適切な経済性評価に対する認識を有し、経済的に最適な電源構成として水火併用の本格化を見通していたものと考えられる。

このように需要地近傍での石炭火力発電所の立地は煤煙問題で困難となり、さらに経済性でも石炭価格の高騰により、遠距離送電を用いる水力発電の優位性を認識し始めた。

3. 水力発電の導入 — 水主火従の定着 —

水力発電は、明治 24 (1891) 年に竣工した琵琶湖疎水水力発電所を嚆矢として明治 32 (1899) 年に郡山と広島で 10 kV 送電による水力発電が実現したこと、さらに米国において明治 35 (1902) 年に 55 kV 送電に成功したこと等により、電気事業者は長距離送電を利用する水力発電の建

設に向けて動き出した。

東京電燈では、明治32(1899)年には、甲州桂川の水源が唯一の最適な水源であることを確認し(東洋経済新報, 1904)、欧米先進諸国における先例の詳細な調査を踏まえて、駒橋水力発電所(1万5,000kW)を建設し、送電電圧55kVで約76km離れた早稲田変電所に送電し、そこから11kVの地中送電線にて東京市内の変電所に送電することとした。監督官庁の通信省も海外視察等を実施し、日本特有の落成検査を実施するとともに海外技術者への指導の役割も果たした(永塚, 1969)。明治41(1908)年11月に全部竣工したが、電燈電力需要の増加で不足が見込まれたので、翌年には八ツ沢発電所の建設を決定し、5万馬力への出力増と調整地の整備も図り、大正3(1914)年に全部竣工に至った。このうち駒橋の発電原価については、当時の配当12%の他に減価償却費等を加えて16%の経費率として、設備利用率60%の場合には約1銭/kWhと推定し、一方、火力では石炭費だけで1銭/kWh程度でその他を考慮すると倍程度のため水力が「非常に魅力的であったと思われる」と評価された(川村,

1960)。駒橋に比し出力の大きい八ツ沢の建設費単価は水量調整ができる堰堤の構築を含むが363円/kWで、駒橋の390円/kWに比しやや安価であった。駒橋、八ツ沢両発電所の発電原価を16%の経費率で送電損失10%を考慮して改めて評価すると表2の通り、設備利用率60%では1.2~1.3銭/kWh程度となる。

一方、明治39(1906)年における千住火力の運転開始直後の運転経費のみの実績は1.9銭/kWh程度(小林, 1907)のため水力発電所の経済性の優位性は明らかで、千住火力発電所は予備とするのが妥当と判断できる。両水力発電所の完成は、他の電気事業者での水力開発を促す契機にもなり、明治44(1911)年以降、自家発電を除く全国発電力における火力、水力の比率は逆転し、水主火従の時代に入った(東京電力, 1983)。

さらに需要増と高圧送電技術の進展により猪苗代水電では、大正3(1914)年には猪苗代の水力により3万5,000kWの電力を世界最高水準の115kVの電圧で東京までの225km送電を実現した。25%程度の送電損失が生じるため、沿道の町村への電力供給が有効との指摘もなされた(ダ

表2 駒橋・八ツ沢発電所の建設費、発電原価等推定

	駒 橋	八ツ沢	備 考
出 力 (kW) (1)	15,000	35,000	
水利権取得費	135		調査で悪地層発覚等で全工事中最も難工事 八ツ沢では其筋の命により木柱を鉄柱に23ヶ所変更 事務所臨時費、工事費利息を計上
水路工事費	1,664	4,995	
大野堰堤費		1,369	
発電所建設及び諸機械代	1,930	2,268	
変圧所敷地買取及建設費	141	794	
特別高圧架空電線路建設費	1,250	1,593	
事務所臨時費	731	1,691	
合 計 (千円) (2)	5,851	12,710	
建設費単価 (円/kW) (3)	390	363	(3)=(2)/(1)
発電原価 (千円) (4)	936	2,034	(4)=(2)×経費率16% (配当率12%, 減価償却費等4%)
供給電力量 (kWh) (5)	70,956,000	165,564,000	(5)=(1)×8,760時間×設備利用率60%×(1-送電ロス10%)
発電単価 (銭/kWh) (6)	1.32	1.23	(6)=(4)/(5)

出所: 建設費内訳は、東京電燈「報告」第44・56回

経費率は川村泰治編『現代日本産業講座Ⅲエネルギー産業』(岩波書店, 1960年)110頁。

イヤモンド, 1913) が, 東京電燈では貯水機能を有し渇水対応が可能な電源から 1 銭 2 厘/kWh と非常に安価な電力を受電できることとなった(ダイヤモンド, 1914)。補給用火力の代替効果を期待できる水力を確保できたのである。

猪苗代水力発電所の完工時には, 電力余剰が懸念されたが, 大正 7 (1918) 年になると需要増と前年から引き続き渇水により「電力の大不足横浜迄侵入」との報道がなされた(東京朝日新聞, 1918)。この状況に対して, 大正 8 (1919) 年に東京電燈神戸第一社長は, 「低廉の電力を広く且つ多く供給するが為には有利なる新規の水力電気を送るの計画を立てざる可らず」と断言している通り(中外商業新報, 1919) 水力開発で乗り切る決定をした。実際に笛吹川筋の 3 つの発電所が大正 9 (1920) 年から 11 (1922) 年にかけて順次運転を開始した。一方, 政府においても利用し得る水利のある地点には極力発電所の建設を強化する方針を採り, 大正 8 (1919) 年には, 卸電気事業を許可した。これによって, 後に五大電力を構成する日本電力, 大同電力が誕生することとなった。同年には石炭石油等の燃料価格の急騰もあり, 動力問題は重要な国家的問題として取り扱われ, 「水力電気の如きは之を挙げて国営に移すべしとの議論さえ生ずるに至りたる」(中外商業新報, 1919) と水力は国営との議論もできた。一方で, 金融緩慢と政府の低金利政策かつ物価の低落により大発電所建設の機運を高め, 154 kV の高圧送電が実現した大正 12 (1923) 年から昭和 2 (1927) 年までの時期に東京電燈の猪苗代第三, 第四の他, 卸電気事業の日本電力や大同電力の大水力発電が建設されていった(日本電力, 1934)。

4. 水火併用の台頭

水主火従の考えのもと水力発電主体に開発され始めて程なく, 「水火併用」という概念の論拠となる理論が登場した。すなわち大正 3 (1914) 年に日本に於ける電気事業の統計の権威と称された逓信省の技術官僚村尾栗が示した表 3 の火力発電, 水力発電の発電原価比較に基づく理論である。評

価方法については, 金利, 石炭費のみならず減価償却費や運転管理費を計上しており費目構成は現在と大きな差異はない。ただし, 金利を建設費に対して利子 8% を乗じて算定しており, 株主資本に対する配当を想定したと考える。また償却費率は火力, 水力発電所ともに 4% であり, 残存価値 0%, 耐用年数 25 年に相当し, 実績の乏しい中での仮置きの数値とみられる。これによると建設費単価が火力発電所 250 円/kWh, 水力発電 450 円/kWh であると設備利用率が 50% の際には, 発電単価は, 火力発電 1.80 銭/kWh, 水力発電 1.55 銭/kWh となり, 水力発電が優位となる。ただし, 当時火力発電の技術進歩が著しく海外では建設費が 80 円/kWh 程度の実績がでてきており, 仮に日本で 100 円/kWh となると 1.42 銭/kWh となり, 水力発電より安価と評価した(村尾, 1915)。同時期に猪苗代水電の主任技術者太刀川平治も同様に発電単価を試算しており, 優良なスチームタービン火力発電所の平均建設費単価 210 円/kWh を用いて 1.68 銭/kWh と評価し, これと同等にする水力発電の建設費単価は 480 円/kWh と評価した(太刀川, 1914)。太刀川は, 火力発電では, 機械代の占める割合が土木工事の多い水力発電に比し高く, 技術進歩が著しいことから耐用年数は短い(償却率は高い)とするのが妥当で, 水力発電がより優位な方向となり得るが, 水力発電では, 労力費の増大傾向や土質による工事費の不確実性等のため建設費の想定が困難であり, その優位性は必ずしも確実ではない(太刀川, 1914) と指摘した。火力の石炭費想定の高さを加える必要があるが, 耐用年数の設定, 技術進歩の進展等, 経済性評価の留意点について妥当な指摘であった。

一方, 火力発電所の発電原価は石炭を燃料とするためいわゆる可変費が多くを占め, 設備利用率に比例して変化する。村尾はその変化動向も試算しており(村尾, 1915), その結果を踏まえて設備利用率と発電原価の関係をグラフ化したものが図 1 である。

火力発電所は, 建設費単価が水力発電所より安価なため金利, 減価償却費が安価, それに運転管理費を加えたいわゆる固定費(グラフの y 切片に

表3 火力発電、水力発電の発電原価比較

項目	火力発電			水力発電	
	ケース1	ケース2	備考		備考
建設費 (円/kW)	250	100	技術進展と大容量化で 100 円/kW も可	450	
発電原価 (円/kW)					
利子, 減価償却費	30	13	利子 8%, 償却率: ケース 1 では 4% ケース 2 では 5%	54	利子 8%, 償却率 4%
運転管理費	22	22		7	
燃料費	27	27	石炭価格 7 円/t, 消費量 0.88 kg/kW	0	
計	79	62	送電端でも同一	61	送電端では損失を考慮し 67.8 円/kW
発電単価 (銭/kWh)					
利子, 減価償却費, 税金等	0.685	0.297		1.370	
運転管理費	0.502	0.502		0.178	
燃料費	0.616	0.616		0	
計	1.804	1.416		1.547	
供給電力量 (kWh)	4,380	4,380	1 kW × 8,760 時間 × 設備利用率	3,942	送電損失 10% を想定
設備利用率 (%)	50	50		50	* 原書では荷重率と記載
送電損失 (%)	0	0		10	

出所：村尾稔「電気事業統一の利益に就て」（『電気學會雑誌』35巻319號，1915年） *大正3（1914）年11月30日に演説実施

*水力は発電所と送変電を含む。火力は市内立地のため送電線は含まず。よって水力では送電損失10%を想定。

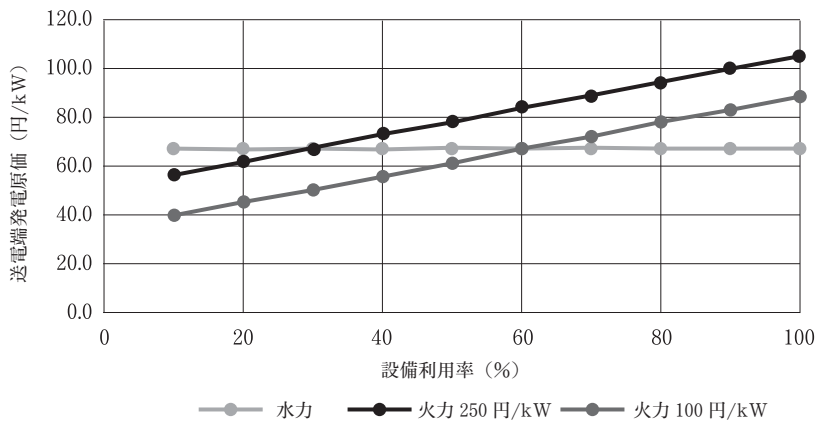


図1 設備利用率と発電原価

相当) は水力発電に比し安価となる。一方で、石炭費を中心とした可変費が設備利用率に比例して変化する(傾きに相当)ので設備利用率が上昇す

るにつれてその優位性が縮小し、一定の設備利用率で優位性が逆転する。すなわち火力は尖頭負荷時等での水力の補助や予備として低設備利用率で

の運転に適しており、水火併用の妥当性が示された。さらに村尾は、需要家別に電力の年間、月間、日間の需要量を示すロードカーブを詳細に分析し、海外の例を紹介しながら電源の効率的運転ができるような負荷管理や電気事業の統一まで論じた(村尾, 1915)。水力と火力の設備利用率による経済性を踏まえて適切に電力需要を分担させれば発電原価の最小化を達成できるということを説明したといえる。ピークロードという用語も使っており、電源の経済特性等に応じてベースロード、ミドルロード、ピークロードに対応させる現在の最適電源構成の考え方の原型を提示したことに相当する。このように大正3(1914)年には、技術官僚が水火併用の効果的な推進のあり方を負荷管理も含めて指導していた。後日、村尾、太刀川はともに東京電燈に転じており、ノウハウは伝授されたと見受けられる。

実際の補給用の火力開発事例として、鬼怒川水電の東京市電への電力供給が挙げられる。鬼怒川水電では下滝水力発電所からの供給のみで東京市電の需要を賅っていたが、第一次世界大戦以降の電力需要の急増で、冬期の渇水期の電力不足が顕在化したため、渇水期電力の補給用に隅田川沿いに隅田火力発電所を建設し、大正8(1919)年末の渇水期に間に合わすべく逓信省技術課の尽力を得て大正9(1920)年1月5日に営業運転を開始し、無事に電力不足を回避した(電気学会, 1960)。官民協力して水路式水力の渇水対策としての水火併用を実現したのである。なお鬼怒川水電の担当者は大正10(1921)年には九州水力に移籍し、当該地での水火併用の実現に尽力した(電気学会, 1960)。

そして、大正7, 8(1918, 9)年頃に電気化学工業の発展で特殊電力⁽²⁾の利用が見込めるようになると水力発電は渇水量基準から平水量基準とする設計に変わり、さらに大正12, 3(1923, 24)年頃には調整池設置が一般的になった。これにより、水力並びに併用する火力発電所ともに大規模化し、経済性の向上とともに調整池と火力の適切な運用を通して水力資源の完全利用を図ることが重要となった(逓信省, 1929)。実際に大正10

(1921)年には逓信省の技術官僚洪澤元治が「豫備火力発電所を設置することは設備費の利子と減損償却費と僅かな燃料で使用水量を多くし出力を多くする。即ち天然資源の活用を大にすることが出来るのである。殊に水路を大きくすると其割合に費用を増さぬものであるから水量を多く使用することは利益が多い譯である」と評した。そして九頭竜川の流量曲線を基に平水量基準で2万kWの水力発電所の方が渇水量基準の1万kWの水力発電所に比し火力発電所の予備電力量を22%にすることができるとも試算し、経済的な電源選択に努めるように指導した(洪澤, 1921)。こうした水火併用の計画と評価手法や試算例等について大正13(1924)年に技術官僚の木多勘一郎が研究論文としてまとめており(木多, 1926)、前述の通り梅本はそれを高く評価した(梅本, 2000)。

実際に水力電気会社では大火力発電所の計画を立案し実行に移し出すことになるが、その先駆が大正13(1924)年に完成した日本電力の尼崎発電所(当初出力5万kW)である。大正13(1924)年6月には、水火併用については、「識者間に於て早くから論議され理論としては『一般に水火併用の場合は水力発電七〇パーセント乃至七五パーセントに対し火力を二十五乃至三十パーセントに置くを以て最も経済的なり』とすることに一致して居るのであるが実際に之が具体化するに至ったのは最近の現象である」(国民新聞, 1924)と当時の状況が伝えられた。同年は渇水のため水火併用が大いに注目された年であり、先行していた定量的な理論に実践が漸く追い付いた実態を報道でも確認できる。

ただし、地域的に水力に恵まれている東京電燈並びに国においても水力重視の姿勢は変わらなかった。東京電燈の神戸挙一社長は、大正12(1923)年にも「日本は年年三千万噸余の石炭を産出する国なれば火力に依って発展するも一方法であるが、元来我国は水力豊富に依って恵まれた国柄である以上水力電気を大いに利用すべきである又利用する事は誠に国家産業上より見て大いに必要の事と思われる」と石炭火力の選択を認めながらも水力利用の重要性を語った(時事新報, 1923)。同年、

逋信大臣前田利定も日本の発電用総水力は約800万kWなのに対し、発電既利用は170万kWで開発の余地はまだかなりある一方で石炭消費量は年に2千数百万トンだが十年毎に倍加する状態なので埋蔵量は今後50年以内に掘り尽くされると語り「我国策上大いに水力電気事業を興せ 心細い我が国の石炭」との見出しで報道された(大阪毎日新聞, 1923)。水火併用の経済性や効率性は認識されていたが潜在資源量の視点を重視した水力万能論が支配的であったといえる。

一方、こうした状況下の大正13(1924)年には、天恵とされた水力に対しても、潜在資源量では世界3位であるが人口に対比して考察すると8位となり、「将来の水力は電力に非ざればその目的を達し得ざる場合にのみこれを利用すべく」(東京市政調査会, 1924)と水力限界説が出された。同年、水力の経済性についても、①水利権獲得が至難となってきたこと、②そのため発電所も上流に設置されることになり工事費が多額となってきたこと、③その結果長距離送電線の架設が必要で送電線や損失を考慮した建設費単価が大正元年前後に150~300円/kWであったのが800円/kWと増加してきたこと、④水利使用料等の諸税の賦課負担が重いことから水力開発の行き詰まりの状況が報道された(時事新報, 1924)。実際に大正8(1919)年の東京電燈の笛吹川水力発電所の建設費単価では当初予定の700円/kWが実績では1,000円/kWにも上り(阿部生, 1930)、大正15(1926)年の上久屋水力発電所(1万2,000kW)の建設では何遍も工事の手直しをし、建設費が1,010万円で建設費単価では910円/kWとなり、近頃稀に見る高いものと評され、(阿部生, 1926)太刀川が指摘していた課題が顕在化したのである。よって神戸第一社長が水力重視と発言した東京電燈においても、大正10(1921)年頃には、水火併用による経済的発電計画の確立のために火力発電所の新設を考え、大正15(1926)年1月に運転開始した千住火力発電所の第1期(2万5,000kW)にて実現した。次いで昭和2(1927)年、昭和4(1929)年にそれぞれ2万5,000kWずつ拡張をした。同火力では、日本で初めて電圧

を調整できる機能をもたせ、画期的なことで評価した(東京電力, 1983)。水力発電所からの長距離送電では電圧低下が問題となり、需要地近傍の火力発電所での調整機能も重要であった。このように水力開発の困難化に伴う建設費単価の上昇を受けて、水火併用を単に渇水時の補給ではなく、村尾が示唆した経済的発電計画として遂行し、電圧調整にも活用した点は先進的な取組みとして注目される。

一方、水火併用を主張した経営者として知られる東邦電力松永安佐工門副社長も大正12(1923)年頃には動き出していた。宮川竹馬理事から補給用火力発電(設備利用率は10%程度)の重要性を説かれて了解し、大正14(1925)年11月には3万5,000kWの名古屋火力発電所を運転開始した。建設にあたり宮川竹馬は、火力亡国論を唱える大同電力福澤桃介社長並びに逋信省への説明も実施した。福澤桃介は水力発電での電力を年80円/kWで売電すると提案したが、宮川竹馬は、火力では建設費単価200円/kWで、金利と償却費でその12.5%の25円足らず、石炭費等の可変費で2銭/kWh内外のため年20円以内であり合わせて45円で済むと説明し、福澤桃介の承認を得たとしている(電気学会, 1960)。差額の35円は稼働率17.5%内外の石炭費に相当するので、火力の設備利用率が27.5%以上となれば、水力が優位になると推定できる。まさに図1の設備利用率による発電原価の変化を基にした議論であった。また設備利用率(需要側では負荷率に相当)に応じた発電原価を踏まえて受給契約の料金も決定されていたことがわかる。このように東邦電力の水火併用は、宮川竹馬が大正11(1922)年から14(1925)年にかけての日々のロードカーブと水力発電の出力特性を可視化し、経営や行政に丁寧に説明した成果といえる(電気学会, 1960)。こうして火力が見直される時期となってきたが、火力では、建設費の多くを占める機械購入費が海外に流出するので、国家のため寒心に堪えない(時事新報, 1925)との反対意見もあった。火力発電では国産化の推進が重要な課題であった。

逋信省においても昭和4(1929)年には、今後

の電力需要増加率を現在の増加率とほぼ同様と見れば水力の1,300万馬力の電力は今後10年ないし15年に開発されつくされるとの結論を得た。それで極力これを延長させるために水力開発の平水量基準の原則を変更して約3倍の豊水量基準に引上げて大規模化する一方、常時補給用として火力発電所の利用を増大させるべく出願中の火力発電所はなるべく認可し火力建設を慫慂する方針と報じられた。この要因として、同年には、建設費単価において既設火力発電所の平均である200円/kWが概ね半減し、また熱効率が上がり石炭消費量が2/3程度となったので石炭費の発電単価としては1銭/kWh前後となったこと、並びに課題とされた火力発電機械もユニット2万kW以上のものが国産可能となったことが挙げられた(大阪朝日新聞, 1929)。先に村尾や太刀川が提示した通りの経済性評価と火力の技術進歩を踏まえた決断といえる。さらに逓信省は、特に関西地方では日本電力、大同電力、宇治川電気等が水火併用の考えのもと比較的大規模な火力発電の新增設を企画していたので、それらを統合して最新技術による大規模火力発電所を設置することが有効と考え、京都電燈を加えた4社による関西共同火力発電会社の設立を慫慂した。昭和6(1931)年に会社は設立され、昭和11(1936)年に東洋第一を誇った尼崎第一火力発電所(30万kW)が完成した(関西共同火力, 1941)。ただし、以降の共同火力は中部1社、九州2社の設立に留まった。

このように1920年代には、火力発電の技術開発の進展による経済性の向上、国産化の進展の一方で、水力でも資源量への懸念が指摘され、火力発電が見直されたのである。

5. 水火併用の本格化

水火併用の考え方が定着してきた昭和7(1932)年には、水火併用と火力単独との経済性比較となり、表4の通り水火併用よりも火力単独の方が安価な場合も示された。水力発電と火力発電の建設費単価の差が広がり、火力技術の効率向上による石炭費負担の軽減も相なって火力の運用

は一層高い設備利用率まで優位になったといえる。なおここでは、減価償却費として複利法を用い、耐用年数は水力80年、火力20年と水力を非常に長期化しているが、火力優位の評価結果となっていることは注目される。同年には、電気事業法の改正に伴い料金認可制度が導入され、翌年には電気料金認可基準が策定され、総括原価の算定にあたって減価償却費については、複利法の採用、耐用年数は水力40年、火力23年、送変電設備30年と設定された。耐用年数が適正化し、水力、火力、送変電の経済性評価例も示されており、評価手法が洗練化されるとともに標準化されたと評価できる。

このように水火併用の考えの浸透の一方で、東京電燈では1920年代後半には卸電気事業の許可の進展で電力戦と呼ばれる五大電力間での激しい抗争に直面し、発電所建設よりも防衛のために抱え込んだ購入電力に多くを依存し、余剰電力にも悩まされた。ただし、余剰は生じたが、貯水機能の高い水力での火力の代替機能と火力の効率的運転を十分に評価しており(高澤, 1930)、合理的な電源選択とその運用を概ね良好に達成したといえる。そして1930年代に入り電力戦が終焉していくなか、購入電力の整理と余剰電力の解消を図っていくうちに電力需要増加の兆しとなり、昭和10(1935)年頃より発電所の建設を進めていった。鶴見火力発電所の増設(10万6,000kW)と猪苗代湖の小野川(2万6,000kW)、秋元(5万2,000kW)水力発電所である。昭和11(1936)年に運転開始した鶴見発電所は、建設費単価で118円/kW、熱効率で24%以上と経済性に優れた火力発電所となった(東京電燈, 1956)。さらにその頃には電力需要の増加で供給力不足も見込まれる状況となったため、逓信省は火力発電所の認可方針を見直し、尖頭負荷用、渇水補給用のみでなくある程度常用を認め、また国防を考慮して地方分散的な建設、石炭運搬に利便な地点での建設、送電の現実性の確保を求めるようになった(京都電燈, 1939)。昭和12(1937)年には、電気協会の三宅福馬常務理事が、ドイツでは経済的で電源選択をする方針を貫き、世界第一等の低廉電力国になっ

表4 水火併用と火力単独との経済比較例（1932年）

	水力 発電所	火力 発電所	送電線 (154 kV)	変電所	合計	備考
償却年数（年）	80	20	40	30		
1. 水火併用ケース						火力補給率60%，建設費単価110円/kW
建設費（円/kW）	400	66	81	25	572	水力用送電線は75円/kW
原価（円/kW）	31.60	12.15	7.06	2.63	53.44	
金利	28.00	4.62	5.67	1.75	40.04	年7%
償却費	0.40	1.99	0.67	0.38	3.44	5%複利計算
運転及維持費	3.20	1.38	0.72	0.50	5.80	維持、修繕、俸給、給与等一切
石炭費		4.16			4.16	負荷率60%，石炭補給率15%，炭価10円/t、 石炭消費量0.72 kg/kWh
2. 火力単独ケース						
建設費（円/kW）		130	10	25	165	
原価（円/kW）		47.77	0.85	2.63	51.25	
金利		9.10	0.70	1.75	11.55	年7%
償却費		3.93	0.08	0.38	4.39	5%複利計算
運転及維持費		3.20	0.07	0.50	3.77	維持、修繕、俸給、給与等一切
石炭費		31.54			31.54	負荷率60%，炭価10円/t、石炭消費量0.60 kg/kWh

出所：大久保達郎（日本電力株式会社）「水火併用の経済的效果に就て」（『電気學會雑誌』52巻527號，1932年）

注：水力からは200マイル，火力からは20マイルの送電線距離を想定，建設費単価はそれぞれ6万円/マイル，8万円/マイル

たとの話を聞き、「水主火従や火主水従と謂って居るべきではない」と経済性評価に基づく電源選択の徹底を主張した。（三宅，1937）。火主水従の主張も高まり，漸く火力を対等に評価し選択し得る環境に至ったといえる。

こうした環境下，東京電燈は昭和11（1936）年に軍需産業を中心とした電力需要の急増を受け，当時東洋一の規模を誇った信濃川発電所（16万5,000 kW）を着工した。昭和14（1939）年には未曾有の渇水と石炭入手難で電力は著しい不足を来し，物資労力の不足のなか竣工を急ぎ，昭和15（1940）年には無事に全部竣工し，東京電燈としての最後の発電所建設を終えた。（笠原，1940）。総建設費は約7,400万円で建設費単価は約446円/kWと比較的低廉かつ工事期間も短期間で「特筆に値する」（東京電燈，1956）と評価した。同時期に鉄道省の信濃川発電所（当時5万2,000

kW）も竣工し，水火併用での供給に至っており，両発電所の運転開始は「電気事業界の一大偉観である」と評価された（中原，1941）。火力と競い，さらに官民が競って双方が良好な成果を挙げたと考える。

6. 戦時体制への移行

昭和13（1938）年には，電力国家管理に向けた電力管理法を審議する第73回帝国議會を迎えた。永井通信相は，帝国議會貴族院特別委員会の冒頭で電気事業が典型的な公益事業であり，「水力電氣を大規模ニ開發シテ，之ニ火力發電ヲ合理的ニ併用致シ，建設費ヲ出来得ルダケ低下シ，且設備ノ利用ヲ出来得ルダケ最高度ナラシメントスル」と電源構成の基本方針を説明した（貴族院，1943）。実際に同年に作成された昭和14（1939）

年から昭和 18 (1943) 年に至る 5 ヶ年発送電計画では、水力発電は大規模開発と水利資源の総合的利用を眼目とし、豊水量程度を標準として貯水池、調整池の積極的な利用や余剰水力の活用のための揚水機地点の開発を図ること、一方、火力発電も大規模高能率を主眼に、出力は 2 万 5,000 kW 以上とし、需要重心近傍での建設を原則とするが、天災その他非常時に備え適当に分散を図ることとした (大阪朝日新聞, 1938)。石炭価格が安定する平時においては妥当な水火併用を基調とした規模の経済の追求であったと考える。

しかしながら昭和 14 (1939) 年に電力国家管理へと移行して統制は強化されたものの昭和 14 (1939) 年の渇水並びに石炭不足に伴う電力不足は翌年も続き、電源開発をするにも資材、労力不足等の三重苦、四重苦が重なった (田中, 2007)。昭和 15 (1940) 年に電気庁が水火併用と火力単独との発電原価を比較すると、表 5 の通り石炭価格の高騰で水火併用の方が有利との結果となった。石炭価格が底をついた昭和 7, 8 (1932, 33) 年頃には、火力単独が水火併用と同等以上の経済性であったので「隔世の感がある」と評価した。そこで、電気庁ではまず猪苗代湖の湖面底下等の実現に努力するとともに、既設発電所水路の通水量増加等最少資材で発電力の増加を図るための調査を

し、有利なものは事業者に懇諭し実現を図っていった。民間からも通水量増加等の提案がなされた (加藤, 1941)。さらに、企画院と協議の結果、昭和 17 (1942) 年には従来の開発方針を大転換し、平水量又は渇水量基準の中規模 (1~3 万 kW) の水路式水力発電所の建設を優先し、火力は石炭需給の逼迫を勘案し中工業都市石炭産地に近接し、石炭輸送に困難を感じない地点での建設を主とすることとした (中外商業新報, 1942)。しかしながら顕在化した戦時リスクは想定以上となった。結局、昭和 18 (1943) 年には、日本発送電から「炭價と建設費とが常に動いてゐるから、或る時代に計算したものは次の時代には役に立たなくなつて来る」と評価結果が大きく水力優位に反転し、様々なリスクの顕在化で「結局觀念論が大體を支配して来る」 (弘田, 1943) と水力万能論止む無しの状況が示された。

なお自然保護の観点から開発反対が貫かれた事例として尾瀬沼開発がある。昭和 13 (1938) 年には電力国家管理のもとで戦時体制的な開発計画案が提出されたが、国立公園協会らの反対により計画の実行は遅延し、敗戦を迎えて計画は中止となった (村串, 2005)。戦時体制下に自然保護が優先された事実も記憶に留めるべきである。

表 5 水火併用と火力単独との経済比較例 (1940 年)

* 渇水量の 1~4 倍の水力規模で評価し、いずれも水火併用が優位

	水力発電所	火力発電所	送変電設備	合計	備考
1. 水火併用ケース					
建設費 (円/kW)	441.7	147.6	107.0	696.3	水力は渇水量の 2 倍の最大使用水量
原 価 (円/kW)	49.13	39.79	12.83	101.75	
金利・償却費等 燃料費	49.13	20.23 19.56	12.83	82.19 19.56	
2. 火力単独ケース					
建設費 (円/kW)		309.3	20.6	329.9	
原 価 (円/kW)		132.92	2.43	135.35	
金利・償却費等 燃料費		42.40 90.52	2.43	44.83 90.52	

出所：加藤謙二 (電気廳)「本邦発電水力利用の現状」(『電気學會雑誌』61 卷 630 號, 1941 年) 12 頁。

* 昭和 15 (1940) 年 10 月 17 日に講演を実施。

おわりに

日本で最初の電気事業者である東京電燈は、分散型石炭火力で操業を開始したが、まもなく煤煙問題のため発電所を市外に移転し、さらに石炭価格の高騰のため技術開発の進展した長距離送電線を用いる水力発電へと移行した。その結果、1910年代には水主火従が定着した。程なく逋信省では、水力と火力を比較する経済性評価手法を確立し、電気事業者も適用していた。それによって、設備利用率に応じた水力、火力の優位性の変化は明確となり、水力の渇水時の補給のみならず、発電原価の最小化を図るためにも火力発電所の併用が適していることは認識されていた。実際に東京電燈では水火併用を経済的発電計画として検討し1920年代には良好な運用であったと評価している。ただし、日本では天恵とされる水力資源を重視しており、また火力発電機器の輸入依存度の高さから特に1920年代には、火力亡国論が活発であった。実際に東邦電力の名古屋火力の実現にあたっては火力亡国論に対抗するための努力が必要で、設備利用率に基づく経済性評価の説明でそれを打破した。そして火力の技術開発と国産化の進展で1930年代の経済性評価では水火併用と火力単独の比較となり水火併用が標準的な選択肢となった。共同火力が実現し、火力単独の優位も示され火力を常用として活用する検討も進んだ。電気事業法改正に伴い手法も標準化され一層信頼できるものとなり、1930年代半ばには火主水従の主張も活発化し、水力、火力を対等に評価してその結果を踏まえ合理的に選択する環境が形成された。

昭和12(1937)年以降は、戦時リスクが顕在化し、昭和15(1940)年には火力優位の評価が反転した。その結果、中規模水路式水力発電と山元火力の開発へと方針転換され、水力では出力増に向け様々な技術的工夫が図られた。そして有事の深刻化につれ合理的に水力万能論が蘇っていった。課題は、欧米でも体験した石炭不足という戦時リスクに対して北支炭等の外地炭に期待し対応が遅れた点といえる。石炭と電力の所管省庁が分

かれており、十分なリスク対策の推進ができていたか等を検証していく必要がある。水力においては自然保護の問題が顕在化した。リスクを含め多面的な評価が必要になったといえる。

このように経済性評価手法は有効に機能し、その構築や適用にあたって、技術官僚の全発電所の落成検査や水力調査を通して集積した知見や諸データを基にした取組みが大きく寄与していた。そしてこれらのノウハウの人の移動による移転実態も確認できた。

現代の電源選択においては、経済性、安全性、環境性等の視点からの最適解が求められるが、原子力と再生可能エネルギー間等で対立する構造がある。電源選択の歴史を検証し、リスク評価の充実等、総合的な判断に資する基盤の再構築と共有が必要と考える。

《注》

- (1) 経済産業省では、エネルギー需給構造の将来像を検討するに際して参考となる各電源の発電コストを試算し発表している。
- (2) 渇水量を超えた水量に相当する出力で、渇水時には発電不能となり常時期待できない電力である。よって安価なため電力を大量に消費する電気化学工業にとって重要であった。

参考文献

- 阿部生(1930.1.11)「東京電燈を憂ふ」『ダイヤモンド』, 40頁。
- 阿部生(1926.8.21)「東電改革の急務」『ダイヤモンド』, 30頁。
- 梅本哲世(2000)『戦前日本資本主義と電力』八潮社 121-143頁。
- 大阪朝日新聞(1929.7.27)「原価引下のため火力計画の続出 電力界の新傾向」
- 大阪朝日新聞(1938.10.22)「発送電予定計画案並に電力料金決定基準案」
- 大阪毎日新聞(1923.1.2)「我国策上大いに水力電気事業を興せ心細い我が国の石炭」
- 笠原喜一郎(1940)「信濃川発電所機械設備工事概要」『日本機械学会誌』43(285), 652頁
- 加藤邦興, 木本忠昭(1974)「戦前の火力発電技術の発達と大気汚染」『科学史研究 [第2期]』12

- (108) 日本科学史学会, 211 頁。
- 加藤鎌二 (1941) 「本邦発電水力利用の現状」『電気學會雜誌』61 卷 630 號, 12-18 頁。
- 川村泰治編 (1960) 『現代日本産業講座Ⅲ エネルギー産業』岩波書店, 110 頁。
- 関西共同火力 (1941) 『関西共同火力発電株式会社事業史』, 1941 年, 1-4 ページ。
- 木多勘一郎 (1926) 『汽力を補助とせる発電水力の経済的利用』博士論文刊行会
- 橋川武郎 (1995) 『日本電力業の発展と松永安佐エ門』名古屋大学出版社
- 京都電燈株式會社 (1939) 『京都電燈株式會社五十年史』251, 252 頁。
- 貴族院 (1943) 『第 73 回帝國議會貴族院電力管理法案特別委員會議事速記録第 1 號』1 頁
- 国民新聞 (1924. 6. 29) 「最近の電力界に於ける火力併用の趨勢」
- 小島精一 (1937) 『燃料・動力経済読本』千倉書房, 4, 5 頁。
- 小林久治 (1907) 「東京電燈千住發電所」『電気學會雜誌』27 卷 224 號, 284 頁。
- 齋藤大吉 (1924) 「地寶に恵まれざる我國民の覺悟」『鐵と鋼』10 卷, 655 頁。
- 洪澤元治 (1921) 「電力統一に就て」『電気學會雜誌』41 卷 395 號, 374, 5 頁。
- 時事新報 (1923. 1. 1) 「電気事業の現在及び将来東京電灯社長 神戸挙一氏談」
- 時事新報 (1924. 7. 5) 「先の暗い電気 行詰りの経済界」
- 時事新報 (1925. 6. 21) 「国家經濟上憂慮すべき火力電気勃興の傾向」
- 電力土木技術協會 (1992) 『水力技術百年史』41 頁。
- ダイヤモンド (1913. 12. 15) 「今後の東京電燈界大島要三氏談」『ダイヤモンド』50 頁。
- ダイヤモンド (1914. 6. 8) 「猪苗代水電の価値」『ダイヤモンド』19 頁。
- 高澤庫吉 (1930) 「東京電燈株式會社に於けるロードチスバツチングの現状」『電気學會雜誌』50 卷 507 號, 1059 頁。
- 太刀川平治 (1914) 「電力輸送」『電気學會雜誌』34 卷 153-155 頁。
- 田中宏 (2007) 『発電用水車の技術発展の系統化調査』国立科学博物館, 135 頁。
- 中外商業新報 (1919. 1. 3) 「電気電力と事業界平時多事多望 東京電灯社長神戸挙一氏談」
- 中外商業新報 (1919. 8. 19) 「電力需給概観 東京市及其附近」
- 中外商業新報 (1942. 7. 26) 「戦時電源開発方針決る」
- 逓信省 (1929) 『発電水力の標準使用水量並に水力火力併用に関する研究』2-5 頁。
- 電気学会 (1960) 『発展初期の電力技術』13-19, 110-112 頁。
- 東京朝日新聞 (1918. 7. 11) 「電力の大不足横浜迄侵入」
- 東京市政調査會調査課 (1924) 『我国水力電気の利用限度に就て』
- 東京電燈株式會社 (1936) 『東京電燈株式會社開業五十年史』46, 47, 84, 112 頁。
- 東京電燈株式會社 (1956) 『東京電燈株式會社史』130, 131 頁。
- 東京電力株式会社 (1983) 『東京電力三十年史』38, 39, 64 頁。
- 東洋經濟新報 (1904. 10. 15) 「東京電燈會社の水力利用計畫」『東洋經濟新報』34 頁。
- 永塚敏一 (1969) 『洪澤元治』電気情報社, 178-181, 194 頁。
- 中原岩三郎 (1941) 「第二編電気供給事業」『日本電気事業史』, 68, 69 頁。
- 日本電力株式会社編 (1934) 『日本電力株式会社十年史』内外出版, 4, 5 頁。
- 野上由貞 (1903) 「米國發電所管見」『電気學會雜誌』23 卷 183 號, 767 頁。
- 弘田龜之助 (1943) 「水力發電と火力發電」『燃料協會誌』Vol. 22 No. 9, 776 頁。
- 萩原挙吉 (1912) 「電燈業の現状及將來」『東洋經濟新報』第 555 号, 21 頁。
- 藤岡市助 (1896) 「東京市内電燈拡張工事」『電気學會雜誌』16 卷 95 號。
- 三宅福馬 (1937) 「日本を世界第一の電力低廉國とするには」『轉換期電気事業の展望』オーム社, 9, 13 頁。
- 村尾栞 (1915) 「電気事業統一の利益に就て」『電気學會雜誌』35 卷 319 號。