

潮汐エネルギーの利用*

樋口 明 生**

1. まえがき

近年の世界人口の増加率は30年間で2倍であり、このまま進めば、21世紀初頭には70億人以上になると言われている。このような急激な人口増加は、食料問題もさることながらエネルギー問題をも引き起こすことになる。我が国におけるエネルギー消費は、人口よりはむしろ国民総生産と比例関係にあり、10数年来生産の伸びとともに消費量も急激に増大してきた。現在、我が国で消費する全エネルギー量は年間2兆 kWh であり、全世界の30分の1に達すると言われている。これが2000年には5兆 kWh になるだろうという推算もある。

将来におけるエネルギー供給の見通しについては種々推定されているが、石炭や石油などの化石燃料は今後数10年分しかなく、ウラン等の核燃料は4億トン(陸中130万トン)、重水素は600億年分あると言われているが、これを充分利用できるだけの技術を持ち合わせていないのが現状である。これらの有限エネルギーとは別に、無限エネルギーとして、太陽からは、現在の消費量の3万倍に当たる50兆 kW のエネルギーが放射され、そのうち数%は潮汐、海流、風、熱などの形で地球上に蓄えられる。海洋の持つエネルギーは2000年の消費見込み量の3,000倍という推算もある。

生産の伸びに並行して進んできて慢性化しつつある環境汚染と、最近の石油危機とから、省エネルギーが叫ばれると同時に、環境汚染を伴わないいわゆるクリーンエネルギーの開発が求められている。

地球表面の3/4を占める海は、太陽から来るエネルギーを蓄えた豊庫であり、このエネルギーを

利用しようという考えは古くからあったが、これまでほとんど有効に使われていなかった。その最大の理由は、エネルギーの総量は大きい、単位体積当たりの密度が小さく、それを利用するには膨大な設備と費用がかかるためである。しかし、安価なエネルギーの時代が終ろうとしている現在、これはもはや決定的な障害とはならず、自然エネルギーの開発利用は、資源を持たない我が国の重要な課題の一つである。

ここでは、そのようななかで潮汐によるエネルギーの利用について考えてみよう。

2. 潮力発電

潮力発電というのは、満潮時に海水をためて干潮時に放流し、その落差を利用して発電する一種の水力発電である。従って、発電所の立地条件としては、潮差が大きいことと袋状の湾のような、短い締め切り堤で広い貯水池が造れる地形があることなどが挙げられる¹⁾。世界中で潮差の大きい所は第1表のようである。

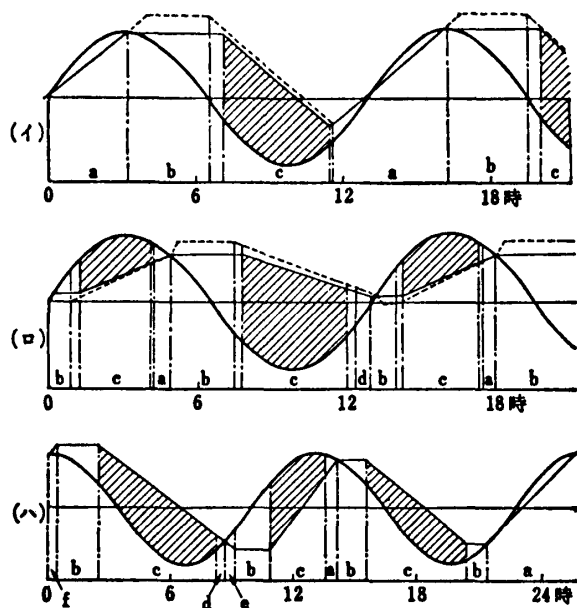
潮力発電の利点は、潮汐を利用するものであるから、大潮・小潮といった変化はあるものの、通常の水力発電に直接影響する降水量のようなバラツキはなく、月間あるいは年間を通して平均した

第1表 各地の潮差 (m)

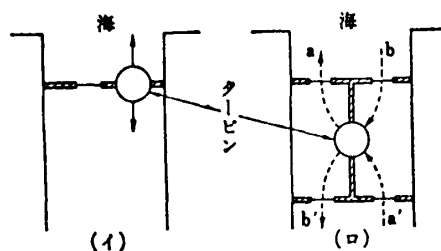
地 名 (国名)	大潮差	小潮差
ファンディ湾 (加)	16.0	6.4
ノエル湾 (米, 加)	15.4	11.4
ニューポート (英)	11.5	5.8
コクソーク川 (米)	11.7	5.4
カンフル (仏)	11.2	4.9
坑州湾 (中国)	7.8	3.9
仁川 (韓国)	8.1	3.6
三池 (日本)	4.5	1.5

* 1976年7月31日受理

** 愛媛大学工学部



第1図 発電方式 (i)単式, (ii)複式, (iii)半複式
太い実線は海の水位, 細い実線は貯水池の水位,
点線はポンプを使ったときの貯水池の水位



第2図 複式のタービンと水門

電力が得られることである。一方、難点としては、立地条件のところで挙げたように、設置場所に制限があること、締め切り堤などを造るための土木工事費が高いこと、発電可能な時間が1日50分ずつ遅れるために、昼になったり、夜になったりすることなどである。ただし、最後の点については発電方式を工夫したり、揚水発電と併用することによって調節可能である。

発電方式としては、次の三つになる²⁾

1) 単式: 上げ潮で貯水池にたまった海水を下げ潮で海に落す単純な方式で、潮差が小さい場所に適している。第1図²⁾の(i)の横軸は時間、縦軸は貯水池と海の水位である。(a)では上げ潮で海の水位が高まるので海水が貯水池に流れ込み、貯水池の水位は次第に高くなる。(b)では水門を閉め、潮が引いて海の水位が充分に下がるのを待つ。(c)で

海水は貯水池から海へ落ち、発電機が回る。貯水池の水位は下がり始め、海の水位との差(落差)が小さくなる。ポンプを使って貯水池の水位を高める場合の1例が点線である。この場合には、(c)の発電開始の時刻を繰り上げることができる。

2) 複式: 海水が貯水池に流れ込む際にも発電させる方式である。第2図²⁾の(ii)のように水門を四つ(a, a', b, b')設け、海水が貯水池に流れ込むときはbとb'を通し、海へもどるときにはaとa'を通す方式もあるが、(i)のように可逆タービンを使う方がずっと簡単である。

複式は非常に大きい潮差に対して有効である。中程度の潮差に対しては貯水池の海水を海へ落したのち、さらにポンプを使って貯水池の水位を下げる。第1図の(ii)の13時ごろ、dがそれで、落差が小さいため発電機はもはや動かないが、貯水池の水位は下がり続けている。

3) 半複式: 2分の3方式ともいう。かなり大きい潮差にはポンプを併用したこの方式がよい。

こうして、ポンプを使って貯水池の水位を高くしたり、低くしたり、何もしないで待機しているとか、可逆式タービンを正回転させたり、逆回転させたりといった操作を適当に組み合わせると、あらかじめ決めておいた時刻に、決めておいた出力が得られる。

3. ランス潮力発電所

現在実用に供されている唯一の潮力発電所である。

英仏海峡の潮汐は、地球自転の影響のために北側では潮差は小さく最大4mの程度であるが、南側では大きく最大13.5mに達する。この大きな潮差を利用して発電をしようとするもので、ランス川の河口部の延長20km、水面積22km²を貯水池として利用している。この貯水池の容積は1億8400万m³で小河内ダムに匹敵する。

河口部の水深12mの地点に乾式輪中工法により高さ25m、延長750mの締め切り堰堤を造り、その中に1万kWの可逆式チューブローポンプタービン式の発電機を24基すえて、最大24万kW

潮汐エネルギーの利用

の発電を行っている。この発電機はポンプとしても使用することができるように設計されている。

これによる年間発電量は 5.44 億 kWh となり、これは全フランスの発電量の 1% に相当する。内訳は、貯水池から海へ落すときの発電量が 5.37 億 kWh、逆の方向が 0.715 億 kWh、ポンプに使用する電力が 0.645 億 kWh となっている²⁾。

この発電所は 1961 年から 6 年の歳月を経て完成したもので、試運転ののち 1967 年末から営業運転が行われている。総工費は 420 億円で電力料は 1 kWh 当たり 150 円になり、通常の水力発電の約 5 倍と相当高価になっている。

発電所の建設に先立ち、グルノーブル大学で英仏海峡の潮汐に関する水理実験が行われた。直径 14m の鉄筋コンクリート製の回転円盤の上に水平縮尺 1/5 万、鉛直縮尺 1/500 の英仏海峡の模型を作り、潮汐の模様を調べた。それにより高調波の無潮点をはじめ、実際の潮汐がよく再現され、発電所を造ることによって付近の潮汐は変化しないことがわかった。

実用に供されている潮力発電所としては、ランスが唯一のものであるが、試験用として造られたものとして、ソ連のキスログブスク潮力発電所がある³⁾。これは、バレンツ海のウラ湾と外海との湾口に設けられている。この潮差は 3.9m で、あまり大きいものではない。延長 50m のダムは潜函工法で造られたもので、中に出力 4,000 kW のチューブラタービンの発電機 2 台がある。

4. 計画中の潮力発電所

諸外国における潮力発電所の計画は第 2 表⁴⁾ のようである。

このうちショゼイは、ランス河口の近くのモン・サン・ミシェル湾からショゼイ島を含む 1,000km² の海域に延長 34 km の堤防を築いて大貯水池を造り、年間 30 億 kWh の電力を得ようという計画である²⁾。前述のランス潮力発電所は、言わばこの大計画の予備試験であった。

ファンディ湾はカナダ東部に位置する、幅 45~80 km、長さ 230 km、水深約 80 m の湾であるが、

第 2 表 世界の潮汐発電所の計画地点
(* 印は平均潮差を示す)

地 点 名	最大 潮差	水車 出力	台数	年間発 生電力	発電所 総出力
	m	MW	台	kWh 4億	MW 240
ラ ス (フランス)	13.5	10	24		
シ ゼ イ (フランス)	6.4*	20	600	—	12,000
セ バ ー ン (イギリス)	15.2	50	175	5兆	8,750
パザマ クオディ (アメリカ)	7.9	10	30	19億	300
イ ゼ ン (ソ 連)	9	7	2,000	360億	14,000
サ ン ホ セ (アルゼンチン)	11	—	—	36億	600
ベンジン ス カ ヤ (ソ 連)	12	—	—	1,100億	—
ノ ソ ロ グ (ソ 連)				250億	

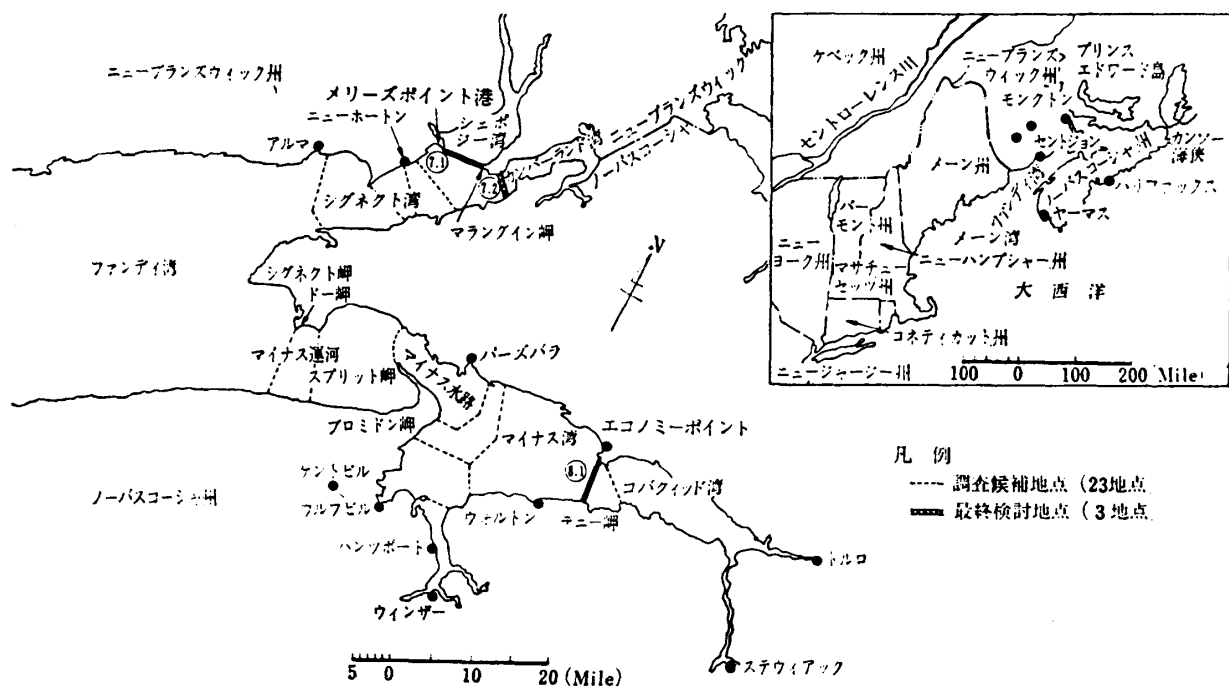
世界最大の潮差(約 16 m)をもち、潮力発電に有利な幾つかの条件を備えている。第 3 図⁴⁾ に湾内の潮力発電計画地点を示す。立地場所の選定に当たっては 23 地点が取り上げられて検討された結果、シェポジー湾口、カンバーランド湾口、コバクイッド湾の 3 地点が最終候補地として選ばれた。

ファンディ湾で検討された発電方式は、単貯水池 1 方向発電方式、単貯水池 2 方向発電方式、複貯水池 1 方向発電方式、および複貯水池 2 方向発電方式であり、3 地点について年間総発電量、ピーク発電量、および発電コストが検討された。その結果を第 3 表⁴⁾ に示す。これらの結果から、現時点では経済的には他の発電方式より劣るが、技術的には可能であると結論されている。

第 3 表のほか、スペイン、ドイツ、ウェルズ、インド、オーストラリア、ニュージーランド、ブラジルにも計画はある²⁾。

我が国において潮力発電の可能な地点は第 4 表²⁾ のようである。

この中で、最も有望な有明海については、次の二つの案がある。すなわち、全域を対象とするもの²⁾ と、多比良長州より奥の半分を対象とするもの³⁾ とである。有明海の最大潮差は 4.95 m であり、全域を貯水池として使用すれば、水面積は



第3図 ファンディ湾の潮汐発電地点の概要

第3表⁴⁾ ファンディ湾における発電方式の比較

発電方式	地点	ピーク 発電量 (mW)	年間総 発電量 (百万kWh)	キャピタル コスト (百万ドル)	アニュアル コスト (百万ドル)	ピーク発電コスト (1/1,000ドル/kWh)
単貯水池一方向	シェボジー湾	0	4,200	414	32	—
	カンバーランド湾	0	2,690	311	23	—
	コバクィッド湾	0	6,500	474	36	—
単貯水池二方向	シェボジー湾	1,260	5,402	700	54	32.7
	カンバーランド湾	1,022	3,885	660	50	40.3
	コバクィッド湾	1,526	7,560	724	56	25.2
複貯水池一方向	カンバーランド湾	712	4,621	(他の方式より高い)		
	シェボジー湾					
複貯水池二方向	カンバーランド湾	941	4,367	(他の方式より高い)		
	シェボジー湾					
単貯水池一方向方式 と揚水貯蔵の組合せ	コバクィッド湾	1,526	6,271	604	47	21.2
	シェボジー湾	1,526	3,971	544	42	21.4

1,644 km², 発電量は 220 万 kW と試算されている。この場合の建設費は単位電力量当たりランスの 2~3 倍となる。

もう一つの案では、水面積は 700 km², 有効水深 2m として、貯水量は 14 億 m³ となる。この場合は水深 35m の所に延長 13.6 km のダムを建設しなければならない。潮差を 4m とすると、最大 500 万 kW の発電量を得ることが可能である。総工費 3,000~4,000 億円と見積もられており、

これはランスの 7~9 倍となる。100~200 万 kW のものを造るとすると、1 万 kW の発電機を 100~200 台使用するとして、建設単価はランスの 2.1~1.5 倍と試算されている(第5表³⁾)。

この場合の問題点は、第一に建設費であり、うまくいってもランスの 1.5~2 倍かかることになり、これは通常の河川水力の 3~10 倍に相当する。さらに、水産業をはじめとする他産業との調和を考える必要があるから、仮に計画を進めると

潮汐エネルギーの利用

第4表²⁾ 潮汐発電のための地の利

	A	S	E	L	L/E
陸奥湾	0.5	1600	280	10000	36
東京湾	1.3	1200 1625	1420 1922	7500 19500	5.3 1.0
浜名湖	0.5	68.8	12	400	33.3
伊勢・知多渥美湾	1.8	2181	4947	14210	2.9
大阪湾	1.0	1500	1050	10000	9.5
瀬戸内海	1.55	13910	23390	24615	1.1
大村湾	2.0	444	1243	930	0.75
有明海	4.0	1644	18410	8000	0.43
八代湾	2.7	978	4991	6600	1.3
鹿児島湾	2.0	1156	3237	11300	3.5
(アメリカ) パサマクォディ	7.5	120	4630	4270	0.92
(フランス) ロリアン	4.54	16	240	750	3.1
ブレスト	6.42	92	2640	3640	1.4
アペールブノワ	7.40	2.9	110	200	1.8
ランス	11.40	22	2010	725	0.36
ロテヌッフ	12.00	1.1	116	330	2.8
ショーゼー	12.40	610	66000	23500	0.36
ソーム	9.30	49	2940	5100	1.7
(イギリス) セヴァン	11.50	44	4020	3500	0.87

注) A: 潮差 (m), S: 湾面積 (km²)

E: 発電量のめやす, L: 堤防の長さ (m)

しても, 事前評価を充分行わねばならないだろう。

5. あとがき

以上, 期待されるクリーンエネルギーの一つと

第5表³⁾ 有明海潮力発電試算結果

	200 台案	100 台案	ランス 発電所
出力 (MW)	2,000	1,000	240
ダム建設費 (億円)	2,000	2,000	420
発電機器価格 (億円)	1,800	900	
年間発生電力量 (億kWh)	27.4	13.7	4.0
kW 建設単価 (千円/kW)	190	290	175
kWh 建設単価 (円kWh/年)	149	212	105

して, 潮汐エネルギーの利用について, 過去の例と現在計画中のものの概要について述べた。潮力発電については現時点では設備の建設費が高くつき, とうてい他の発電と比較できないが, 火力, 原子力発電が燃料や公害の問題で行き詰まった, 太陽熱や水素エネルギーの利用が遅れば波力発電や温度差発電などの他の海洋エネルギー利用とともに脚光を浴びることになるかも知れない。

参考文献

- 1) 千秋信一 (1974): 海洋エネルギーの利用. 土木学会誌, 6月号, 11-12.
- 2) 高野健三 (1970): 海洋とエネルギー. 海洋開発シリーズ, 共立出版, 46-47.
- 3) 富村正彦 (1974): 潮の満ち引きを活用する. 科学朝日, 5月号, 30-34.
- 4) 松石秀之 (1975): カナダ・ファンディ湾の潮汐発電計画. 土木学会誌, 5月号, 52-55.