

VI-5

離島における波浪エネルギーの利用計画

(株) アルファ水工コンサルタンツ 正員 川森 晃
 室蘭工業大学 正員 近藤 俊郎
 室蘭工業大学 渡部 富治

<はじめに>

工業がない小離島は農林水産業に大きく依存してきた為、世界の至る所でここ 20～30 年の間に顕著に衰退してきた。これらの小離島の社会生活の安定を保つ為に、島の産業が手厚い行政の保護無しに経済的に成立できることが必要と考えられる。離島においては材料と商品が島外から運ばれるため通常その価格は高い。したがって本土と比較して、より安い価格のエネルギーを得られることは必要である。現在、小離島においてこれを実施するには、風、流れ、波のような自然のものから有効なエネルギーを取り出すことが最良な方法であると考えられる。

筆者らは離島における波浪エネルギー利用についてこれ迄に幾つかの報告をしてきた(北海道港湾海岸研究会(1983)、近藤ほか(1984)、近藤ほか(1985)、渡部ほか(1988))が、本論文では、その後の研究成果をもとに離島において波浪エネルギーを主要なエネルギー源として利用する計画手法について論ずる。

<小離島におけるエネルギー利用の特徴>

表-1、表-2 は、1980 年における主要エネルギー構成であるが、その中に小離島としての 2 つの例を示してある。1 つは北海道西方 25 km の日本海に位置する焼尻・天売島で、もう 1 つは Barber と Twidell (1981) によって示された North Ronaldsay である。この表から次の様なことが推測できる。

- 1) 水力発電が無い小離島では化石燃料特に石油に強く依存している。
- 2) エネルギーの利用構成は生活と運輸において高く、小離島の主要産業である漁業、農業等の第 1 次産業に使用されるので工業において使用される割合が本土と比べて低い。また、当然、石油は少量のものを比較的長距離間運ぶため、本土と比べて割高である。

<島における入射波浪エネルギー>

深海における不規則波の単位峰幅当たりの平均工率 \bar{W} (kw/m) は近藤(1985) が表-3 に示す幾つかのスペクトルについて示している。

$$\bar{W}(h) = w_0 \int_0^{\infty} S(f, h) C_G(f, h) df$$

$$= w_0 \int_0^{\infty} C_{G,0}(f) \int_0^{2\pi} K_R^2(f, h, \theta_0) S_0(f, \theta_0) d\theta_0 df \dots\dots (1)$$

ここに f ; 周波数、H1/3; 有義波高、T1/3; 周期である。

波浪が沿岸域に達する時、深海波の方向スペクトル $S_0(\theta_0, f)$ は浅水変形と屈折変形を受け、変化すること

表-1 主要エネルギーの構成 (1980)

	石油	石炭	天然ガス	水力	原子力	木炭等	合計	出典
世界	40%	28%	20%	2%	1%	9%	100	押田(1985)
日本	66	17	6	6	5	0	100	押田(1983)
北海道	72	21	0	7	0	0	100	北海道(1981)
焼尻・天売	99	1	0	0	0	0	100	近藤他(1984)
North Ronaldsay	68	28	4	0	0	0	100	Barber 他(1981)

Wave power utilization toward small and remote island community
 by Akira KAWAMORI, Hideo KONDO, Tomiji WATABE

から、平均工率 \bar{W} は次式で示される。

$$\begin{aligned} \bar{W}(h) &= w_0 \int_0^{\infty} S(f, h) C_G(f, h) df \\ &= w_0 \int_0^{\infty} C_{G,0}(f) \int_0^{2\pi} K_R^2(f, h, \theta_0) S_0(f, \theta_0) d\theta_0 df \dots\dots (1) \end{aligned}$$

ここに w_0 ; 海水の単位体積重量、 K_R ; 屈折係数、 $S(f, h)$; 周波数スペクトル

$$S(f, h) = \int_0^{2\pi} S(\theta, f, h) d\theta \dots\dots\dots (2)$$

ただし、式(1)の下付 0 は深水波を意味する。

ある海岸での式(1)による $\bar{W}(h)$ は S_0 を与えて数値計算をする。 $S_0(\theta_0)$ はブレッドシュナイダー・光易型の周波数スペクトルに光易型方向分布関数を乗じたものを用いて、直線平行海岸とPocinki(1950)の仮想的な円形島を比較した。その結果は図-1に見られるように高での平均工率 \bar{W} は $h/L_0 \leq 0.02$ において直線平行海岸と比較して波向に関係なく大きくなっている。

この事は島においては長周期波(うねり)が卓越しているの、海岸に近い浅い水深でエネルギーを取得するのが大変有利であることを意味している。

<沿岸固定方式による波浪エネルギー取得>

石油に対抗する波浪エネルギー利用の重要な課題はもちろん高い変換効率をもったシステムを開発して、低コストのエネルギーを取得することにある。

1973年のオイルショック以来、波力を利用しようと多数の装置が提案されてきた。これらの装置は主に2つのタイプに分けられる。それは、表-4に示すように沖合浮遊式のものと同岸固定式のもので、力学的観点からこれらのものはさらに分類できる。しかしながら将来的に見込みがあるものはごく少数のものと考えられる。

我々が研究中のエネルギー取得システムは沿岸固定式の1つである振り子式のものである(近藤ほか、1984、渡部ほか1986、1989)。

図-2は振り子式波力発電装置の概念図である。

この装置は振り子、それからエネルギーを取り出す油圧回路、水室を持つケーソンから構成されている。

水室では振り子が運動することによって定常波が発生し、定常波の節に当たる箇所では振り子は波による反力の

表-2 エネルギー用途構成

用途	工業	運輸	生活	合計
地域				
世界	48%	24%	28%	100
日本	59	16	25	100
北海道	45	18	37	100
焼尻・天売	34	22	44	100
North Ronaldsay	26	23	51	100

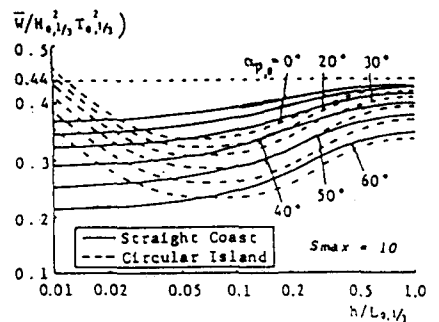


図-1 直線海岸と円形島における波浪エネルギー(近藤 1985)

表-3 各周波数スペクトル(深海波)における平均波浪エネルギー量(近藤 1985)

スペクトル	A	B	γ	$\bar{W} (kw/m)$
Pierson - Moskowitz	$\frac{1}{4\pi} H_{1/3}^2 \bar{T}_2^{-4}$	$\frac{1}{\pi} \bar{T}_2^{-4}$	1	$0.59 H_{1/3}^2 \bar{T}_2$
ISSC	$0.111 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$0.44 \bar{T}_1^{-4}$	1	$0.545 H_{1/3}^2 \bar{T}_2$
Bretschneider - Mitsuyasu	$0.257 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$1.03 \bar{T}_1^{-4}$	1	$0.441 H_{1/3}^2 \bar{T}_2$
JONSWAP	$0.072 H_{1/3}^2 \bar{T}_1^{-4}$	$\frac{5}{4} \bar{T}_p^{-4}$	3.3	$0.458 H_{1/3}^2 \bar{T}_2$

註: $\bar{T}_1 = \int_0^{\infty} S(f) df / \int_0^{\infty} f \cdot S(f) df$, $\bar{T}_2 = \sqrt{\int_0^{\infty} S(f) df / \int_0^{\infty} f^2 \cdot S(f) df}$

表-4 波力発電装置の分類 (近藤 1985)

力学特性		物体あるいは水粒子の運動方向		名称 (国)	
浮遊式	受働型 (鳥型)	水圧式	打上げ式	Tornkvist (フィンランド)	
			水圧式	環礁ダム (米)	
			水圧式	空気製 (英), CLAM (英)	
		共鳴型	上下動式	パイ式	益田式 (日本), Belfast (英)
					Point Absorber (ノルウェー)
	Tail Tube (英)				
	直角式		海明 (日本)		
			平行式	OWC (英), 楔型 (英)	
	回転運動式	Rolling	Salter Duck (英)		
		Pitching	Cockrell Raft (英)		
水中運動式	振動水平円柱 (英)				
固定式	受働型 (進行波型)	水圧式	Vertical	Bottom Pressure (米)	
			Horizontal	Pressure Diaphragm (日本)	
		流込式	HRS Rectifier (英)		
	越波式	波流式 (日本)			
	共鳴型 (定常波型)	上下動式	NEL-OWC (英), SWEC (南アフリカ) Fixed OWC (日本)		
			MOWC (ノルウェー)		
			Wedge (英), MANABE (日本)		
		水平動力	Heaving	Air Chamber with Flap (日本)	
			Rotating	Wave Turbine (日本), 振り子式 (日本)	

影響がないのでエネルギー吸収力が高い。実海域においてこの装置が平均的な能力を持つことは証明されており、入射波に対して変換される機械的エネルギーの比は発電機・軸上で約 50 % である。

この事よりこの装置は線的に連続的に設置されるものとしては、現在では最も高い効率を持つものと判断される。また、ケーソン自体は防波堤又は護岸としての機能を有する事から、発電コストをかなり低く抑えることが期待できる。

〈焼尻・天売島における計画例〉

筆者らは、図-3 に示すところの焼尻、天売島において、波力発電利用計画を行ってきた。この2つの小さな島の全面積 11 Km² で水力発電装置がなく、焼尻島においてディーゼル発電が行われているのみである。

島の人口は現在 1,200 人で 30 年前の約 1/3 である。島の主要産業である漁業は海洋資源の減少のため、確実に衰えてきている。図-4 は島における 1960 年以降の人口と漁獲高を示している。1960 ~ 1967 年においては、人口が漁獲高の減少とともに低下している。

政府および地方自治体の幾つかの漁業振興の事業が実施されたにもかかわらず、漁獲高はさらに減少傾向が続いたが、その原因は図中の点線が示しているように 1973 ~ 1983 年の石油価格の暴騰にある。

人口は 1983 年以後の石油価格の下落と 1988 年までの円高にもかかわらず増加していない。これは沿岸漁業の衰退を意味しており、早急に島を再活性化する必要がある。それには安定した産業を営む上で必要な、本土と比較して低価格のエネルギーが必要である。将来的には沿岸漁業の減少を補う為の栽培漁業と海水浴、釣、野鳥観察等の海洋レクリエーションが考えられる。

島においては、波浪観測が行われていないことから、北へ 60 km の利尻島の仙法志、南北へ 30 km の留萌、南へ 110 km の石狩の 3 箇所における波浪観測資料より焼尻、天売島の 4 ヶ所において季節毎に沖波の入射波エネルギー W_0 (kW/m) を試算したものが表-5 である。

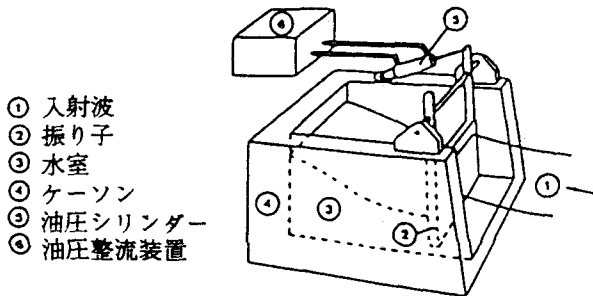


図-2 振り子式波力発電装置の概念図

＜島におけるエネルギー供給計画＞

現在、島での必要最大電力は約 1000 kW である。

石油が暖房、炊事および自動車に消費されているので全エネルギーとしては 2000 kW と見積もられる。

ある地点に於ける入射波エネルギー $\overline{W_i}$ (kW/m) での発電量 P (kW) を得るための波力発電装置全延長 L_p は次のように表わされる。

$$L_p = P / (\overline{W_i} \times \eta \times w_r) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに η ; 波力エネルギー吸収効率、 w_r ; 稼働率
仮に、 $P = 2000$ (kW)、 $\overline{W_i} = 5$ (kW/m)、 $\eta = 0.4$ 、 $w_r = 0.9$ とした場合には、全延長は $L_p = 1200m$ が必要となる。

波力発電の候補地は図-3 に示すように屈折の影響による波の入射エネルギーが大である箇所、利便性、港湾の多目的利用の可能性、海岸保全、栽培漁業およびレクリエーションを考え、図中の 1~5 を候補地として選択した。また、計算上の施設一ブロックの延長は約 250 m である。

振り子式波力発電装置の基本的な諸元は図-5 に示すように全幅 25 m で 3 つの水室を有する。この装置を全延長 250 m で水深 - 5 m に設置し、入射波エネルギー $\overline{W_i} = 11$ (kW/m) とすると建設単価は 220 万 (円/kW) で発電単価は 25 (円/kW) である。

ケーソンは多目的利用の為、これを除くと、建設単価は 56 万 (円/kW) で発電単価は 9.4 (円/kW) である。島における電力価格は本土と同じであるが現在使用されているディーゼル発電単価が 98 (円/kW) であるから上記の発電単価は低い。

自然エネルギー利用の主な問題点の 1 つとして非定常性が挙げられる。この問題を克服することは小さな容量で低コストの貯蔵システムを開発する必要がある。この為、焼尻・天

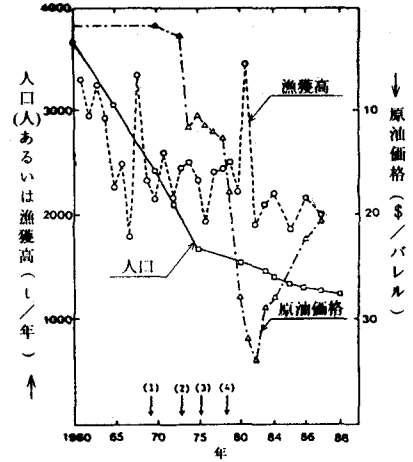


図-4 焼尻・天売島における人口と漁獲高の推移

- 注：(1) 漁業近代化資金導入
(2) ほたて養殖企業化
(3) こんぶ漁場造成
(4) 沿岸漁場整備開発事業

表-5 焼尻・天売島における入射波エネルギー (kW/m)

季節	春	夏	秋	冬	通年
地域					
北海岸 (焼尻)	4	0.5	6	9	4.9
東海岸 (焼尻)	2	1	3	5	2.8
南海岸 (天売)	4	2	4	7	4.3
西海岸 (天売)	4	1	7	12	6.0

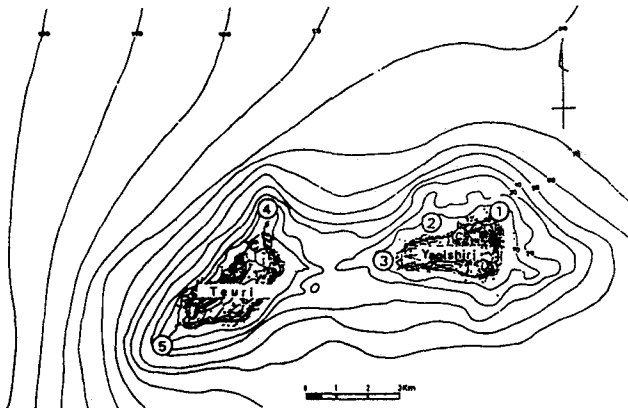


図-3 焼尻・天売島地形図

売島で利用できる風、太陽等の自然エネルギーを組み合わせることで非定常な波浪エネルギーを補足することができるものと考えられる。

< 結論 >

第1次産業に依存し衰退している小離島を活性化する為には低コストでクリーンなエネルギーが必要である。小離島においては地形的に本土よりも波浪の屈折の影響を受け易いから、波浪を利用して低コストのエネルギーを得ることが最も良い方法と考えられる。この波浪エネルギーを利用することによって水力発電が行われていない人口1,200人余りの小離島の地域社会が、石油から脱却した地域に転換できるものと考えられる。そうすることが地球環境悪化対策へのケーススタディとして、重要な意義があると考ええる。

< おわりに >

本研究の端緒は北海道港湾・海岸研究会（現（社）寒地港湾技術研究センター）の海洋エネルギー利用研究グループによって始められた。1979～1983年の5年間、熱心に御討議されたメンバー各位に心から感謝の意を表す。資料の提供や島の将来について熱心に御討議戴いた羽幌町役場、焼尻・天売島の住民各位に心から御礼申し上げる。本研究は室蘭工業大学地域共同研究開発センターにおける昭和63年度民間との共同研究として行われたものである。

< 参考文献 >

- 1) Barber, D., and J. Twidell (1981) : Energy use on the island of North Ronaldsay, Orkney . Proc . of Energy for Rural and Island Communities , Pergamon Press , 39 - 51
- 2) 北海道ほか：地域エネルギー開発利用調査報告書，1981
- 3) 北海道港湾・海岸研究会（1983）：海洋エネルギー利用技術、調査研究報告 第1号、1983.
- 4) Kondo, H., T. Watabe and K. Yano (1984) : Wave Power extraction at coastal structure by means of moving body in the chamber , Proc . of 19 th Int . Conf . on Coastal Eng . , ASCE , Vol . III , 2875 - 2891 .
- 5) 近藤・谷野（1984）：離島における波浪エネルギーの取得、利用に関する一考察、土木学会北海道支部論文集、277 - 280
- 6) 近藤俊郎．[代表者]（1985）：沿岸固定方式による波浪エネルギー利用に関する研究、文部省科学研究費報告書、No. 58850116、室蘭工業大学
- 7) 近藤・渡部・谷野（1985）：沿岸域における波浪エネルギー利用計画試論、土木学会海洋開発論文集、No. 178 - 82
- 8) Kondo, H., K. Yano and T. Watabe (1989) : Wave force and stability of Pendulor power extractor , Proc . of XXIII th Congress , C , IAHR , 477 - 484
- 9) Le Mehaute, B. and J. D. Wan (1982) : Wave spectrum Changes on sloped beach , Jr . Waterways , Port , Coastal and Ocean Div . , 108 , WW1 , ASCE , 33 - 47
- 10) 押田勇雄．（1983）：現代エネルギー工学概論、オーム社．
- 11) 押田勇雄．（1985）：人間生活とエネルギー、岩波新書、290、岩波書店
- 12) Watabe, T., H. Kondo and K. Yano . (1986) : Studies on a Pendulor - Type wave energy converter , Proc . 3rd Int . Symp . on Wave, Tidal , OTEC , and Small , Scale Hydro Energy , BHRA , 281 - 292
- 13) 渡部・近藤・媚山（1988）：離島における沿岸形波浪エネルギー利用実用化計画―焼尻島のケーススタディ―、第5回エネルギーシステム経済コンファレンス講演論文集、229 - 228
- 14) Watabe, T., H. Kondo and M. Kobiyama (1989) : Hydraulic technology and utilization of ocean wave power , Proc of JHPS Int . Symp . on Fluid , Power Tokyo , JHPS , 301 - 308

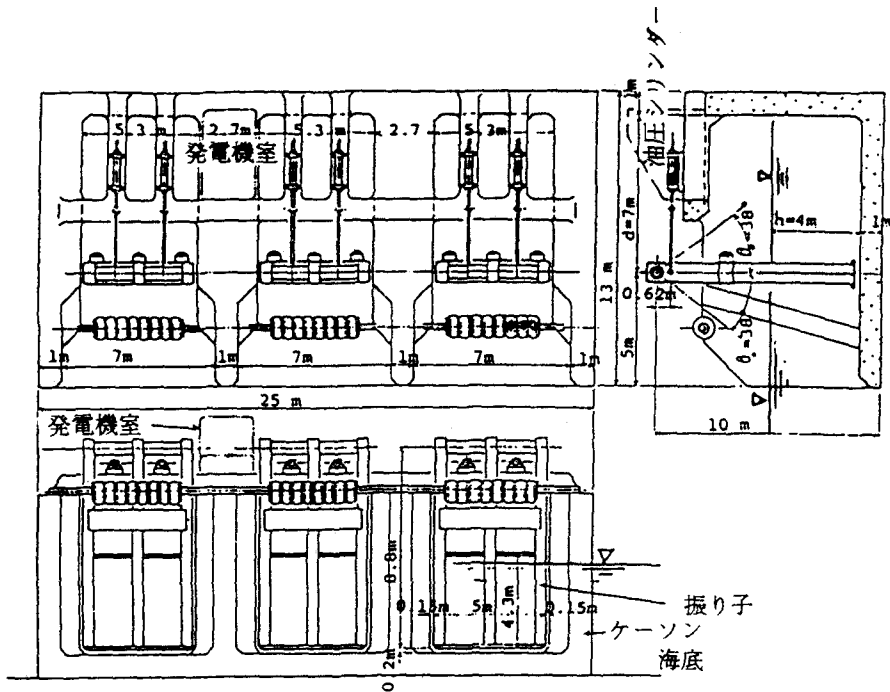


図-5 波力発電プラント (焼尻島)

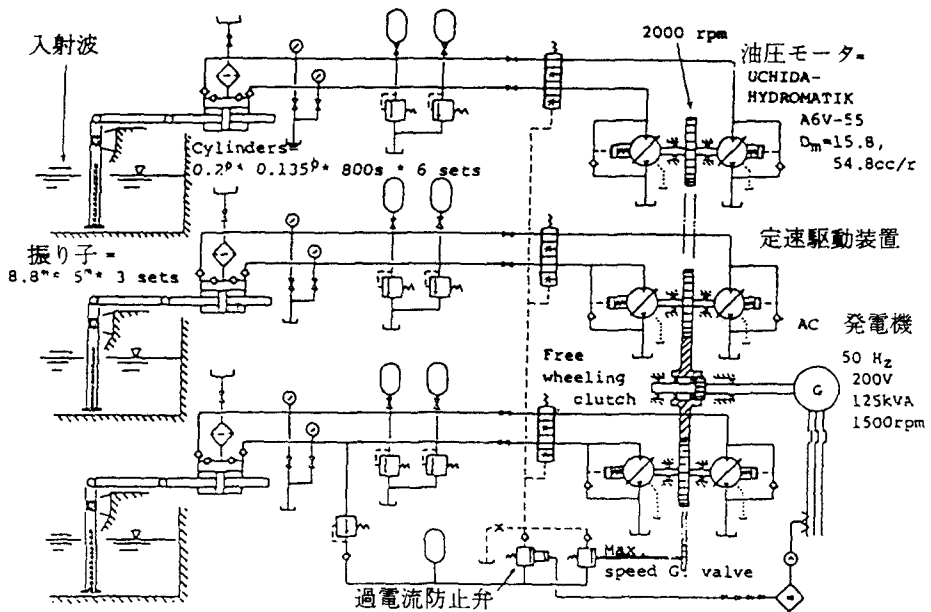


図-6 波力発電油圧プラント