

北海道太平洋沿岸に発生するエッジ波の数値シミュレーション による解析

高 橋 将*

1. はじめに

室蘭市の地球岬から襟裳岬に至る胆振・日高海岸, 延長約 220 km と, 襟裳岬から釧路市を経て根室半島に至る十勝・釧路・根室海岸, 延長約 300 km の二つの海域には, それぞれ約 20 km および 35 km 沖合いまで一様な大陸棚斜面が続いている。特に胆振・日高海岸, および十勝・釧路海岸域では, 沖向き海底勾配が長距離にわたって, それぞれ 3.2/1000, および 4.9/1000 とほぼ一定な値を保っており, かつまた長い直線状, あるいは陸側に凹の緩やかな弧状海岸線を有している。このような海域地形上の特徴により, 一旦これらの海域に波動エネルギーが捕捉された場合にはエッジ波が生じ, 長時間にわたり安定な沿岸波として, 伝播し得ることは十分に期待される。

しかし, 発生原因の如何にかかわらず, エッジ波はそれ自身が単独で存在し伝播する波動では無いので, 現地観測や波動の観測記録を一見しただけで, エッジ波の存在を確認するのは不可能である。従って, エッジ波の空間波高形状に関する理解は, 理論モデル以外には皆無と言ってよい現状にある。

高橋ら (1982) はこれまでに北海道太平洋沿岸の, 苫小牧・浦河・十勝・釧路・花咲の 5 港の検潮所で得られた, 多くの津波記録のスペクトル解析を行って, ほとんど全ての記録から, 観測所位置の相違や発生した津波の違いとは無関係であるが, 広範囲にわたって同じ周期を示す波動スペクトルの存在を明らかにしている。その一例として, 釧路港の津波記録の FFT 解析結果を図-1 に示す。図-1 には, 今回モデル津波により行った数値シミュレーションで得られた, 釧路地点での周期スペクトルも併せて示したが, それにも同様のスペクトルを見出すことができる。これは釧路に限らず, 先述した他の潮位観測所の記録でも同じである。

図-2 に上記 5 観測所の他, 襟裳岬西方に位置する「えりも」港で得られた記録をも加えた 6 観測所の, 10 の異なる津波記録合計 22 例を FFT によって解析し, 各観測点に共通し, かつモデル津波の結果とも対応することが

明らかなスペクトルを, 取り出して示した。各地の対応するスペクトル同志を横線で結んである。

これらのうちの幾つかは, 大陸棚辺縁までの距離をメリアン公式に当てはめることで, 簡単に陸棚セイシュであることが確かめられる。しかし, 陸棚セイシュの高次モードの発生を考慮しても, 成立理由を説明できないスペクトルが数多く残る。従って, エッジ波発生に好条件を有する北海道太平洋沿岸海域の, 固有振動の生起機構を検討する立場からは, エッジ波についての考察が不可欠である。

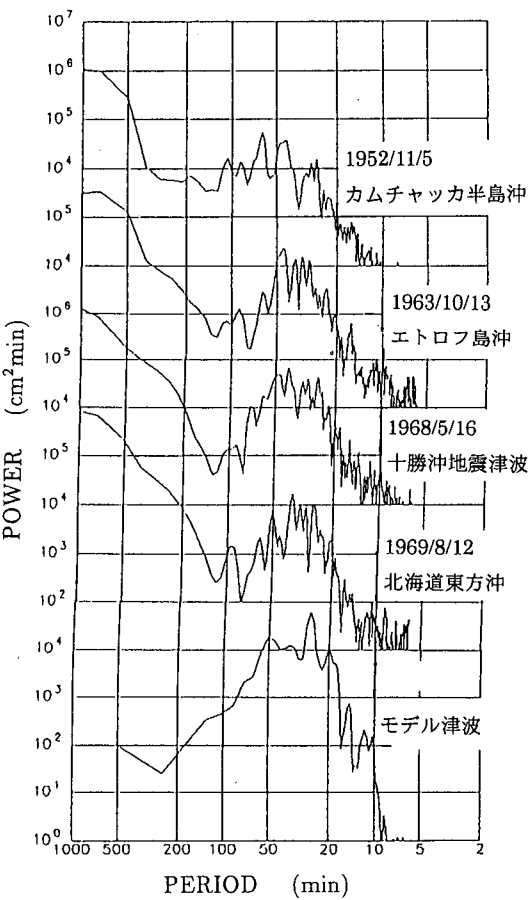
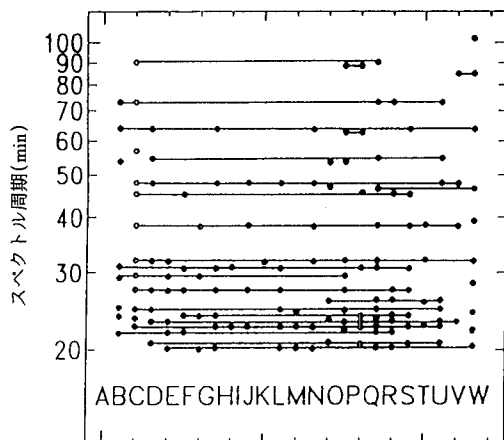


図-1 津波スペクトルの例 (釧路)

* 正会員 理博 北海道大学大学院工学研究科助教授



検潮所および津波分類

A : 1960 苫小牧 B : 1968 苫小牧 C : 1973 苫小牧
 D : 1982 苫小牧 E : 1958 浦河 F : 1968 浦河
 G : 1973 浦河 H : 1975 浦河 I : 1982 浦河
 J : 1982 えりも K : 1968 広尾 L : 1975 広尾
 M : 1982 広尾 N : 1952 釧路 O : 1952* 釧路
 P : 1963 釧路 Q : 1968 釧路 R : 1969 釧路
 S : 1973 釧路 T : 1982 釧路 U : 1968 花咲
 V : 1969 花咲 W : モデル津波

1952 : 十勝沖 1952* : カムチャツカ半島沖 1958 : エトロフ
 島南方沖 1960 : チリ 1963 : エトロフ島沖 1968 : 十勝沖
 1969 : 北海道東方沖 1973 : 根室半島沖 1975 : 北海道東方
 沖 1982 : 浦河沖

図-2 各津波の主要な出現スペクトル

しかし、散在する点にすぎない観測所の津波記録に依るのみで、エッジ波の全体像を明らかにすることは望めない。そこで津波起源の波動数値シミュレーションを行い、全空間格子の各波高時系列データに対して、数値バンドパスフィルターをかけ、目的とする各スペクトルを分離し、単一波動のみによる空間波高分布図を作成する手法を用い、これらの波動現象の面的な全体像の解明を行った。

2. シミュレーション計算法

計算法は、水平 x, y 軸方向の流速成分 u, v を、鉛直 z 軸方向に積分し 2 次元化したナビエ・ストークスの運動方程式と、連続の式を差分化したものである。計算上特に留意すべき点はないが、対流慣性項およびコリオリ項を加え、標準的な海底摩擦係数 0.0026 を用いている。時間発展は Leap-Frog 法によった。用いた計算領域の差分格子配置と、モデル津波の初期海面変位を図-3 に示す。このモデルは、Aida (1978) による、1968 年十勝沖地震の海底変位を参考にしたものである。計算格子のサイズは 2 種類で、大洋部は $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 、大陸棚上と海岸部

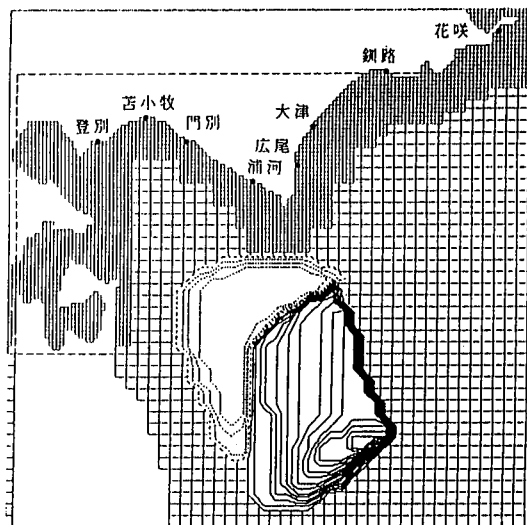


図-3 計算領域とモデル津波の初期変位

はその 1/3 のサイズとした。波源域の広がりには $221 \text{ km} \times 179 \text{ km}$ で、初期海面変位の最高は 140 cm 、最低は -40 cm とした。

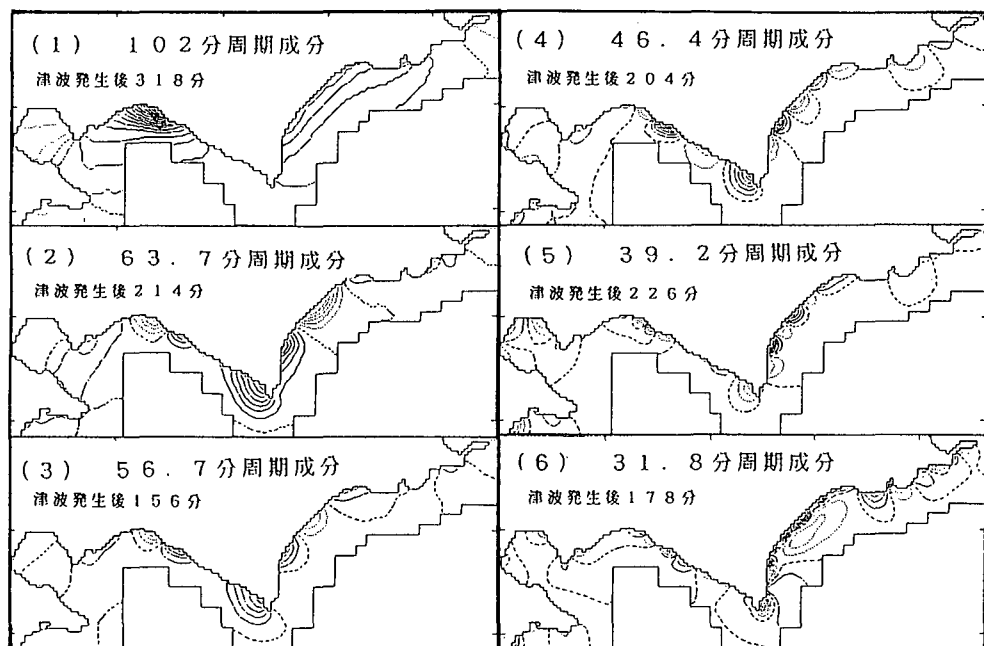
境界条件は、外洋開放境界と津軽海峡西口において、水粒子速度と流速が一致するものとし、また、海岸線において完全反射条件を課した。潮汐は考慮していない。津波計算は時間ステップ 20 sec で行い、 120 sec ごとの波高データを取得して、各格子点の津波波高時系列とした。設定した波源位置からの屈折効果により、計算開始直後に波源の負の変位部分が、日高海岸と本州三陸海岸に囲まれた海域を北西に向かって伝播し、一方波源の東側の正の変位部分が、東から北向きに向きを転じながら十勝海岸から根室半島に向かう。初動の海岸線に達し、苫小牧から襟裳岬寄りの海岸では、斜め入射であったが、十勝側海岸ではほぼ法線入射となった。

3. 数値フィルターを用いた成分波の分離結果

まず、小格子海域各点について計算された 335 個ずつの波高時系列データに、図-2 で知れているスペクトル成分を通過する数値バンドパスフィルターをかけ、各点の単一成分波波高時系列を得、次いで、それら成分波時系列から波高が極大となる時刻を選び、その時刻における空間波高分布図を再構成した。容易に分離ができた成分波は、以下に述べる 6 個の波動である。図-4 にそれらの空間波形を示す。また表-1 に各エッジ波の規模を示す。

a) 102 min 周期陸棚セイシュ

図-2 に示した苫小牧と釧路の実測津波には、この振動に対応する成分波として、 90.1 min 周期の波が各 1 例ずつ見出されている。図-4(1) に示すように、襟裳岬



図一4 成分波の空間波高分布 [等高線間隔 (1): 0.5 cm, (2): 2 cm, (3)~(6): 5 cm]

以東の海岸と日高門別を中心とする胆振・日高海岸の2海域で、陸棚セイシュが発生している。ただし減衰が早く極く弱い振動である。振幅は胆振海岸の方が幾分大である。メリアンの公式による陸棚セイシュの周期は、日高門別で 90 min、十勝港（広尾）と十勝弧状海岸の中央に近い大津では、共に 109 min と計算される。一方、数値フィルターによって分離した、門別、大津の成分波波高時系列の周期は、上記の二つの値の中間に位する 94.5 min であった。従って、この空間波形の振動形態は、実測津波の 90.1 min 周期波に対応する、基本モードの陸棚セイシュであろうと推定される。

十勝側海岸の全域が陸棚セイシュの振動域となっているのに対し、日高側で一部海岸に限られるのは、先述した津波第1波の入射方向の違いが原因と考えられる。

b) 63.7 min 周期エッジ波

実測津波には、62.5 min、63.5 min、63.7 min などのスペクトルが含まれている。ただし、これらの各スペクトルは、同一の津波中に同一場所で重複して現れることが無いので、これらは全て同一の波動であるが、発生時の潮位の相違による変動と考えられる。

図一4(2) から明らかなように、この波動は主として弧状海岸全域にわたる広い範囲で発達している。振動パターンは明らかにエッジ波に予想される特徴を示している。日高門別から浦河にかけての海岸は、海岸線近くまで沖合いの水深の大きい海底が入り込んでいるため、波高の増大が起こらないものと考えられる。襟裳岬を回り

込む形で日高、十勝両海岸にまたがる同位相の振動域が広がっている点が注目される。

c) 56.7 min 周期エッジ波

実測津波では、この周期に対応する 53.4、53.6、54.6、56.7 min などのスペクトルが検出される。この波動も図一4(3) に示すごとく、エッジ波のパターンを呈しており、日高側では苫小牧から襟裳岬の間が2波長、十勝側海岸では厚岸湾から襟裳岬の間が同じく2波長に相当する距離となっている。しかし、静内から浦河までと、襟裳岬から広尾にかけての海域では、波高の増大は認められない。この波動では、襟裳岬が明確な振動の節となっている。

d) 46.4 min 周期エッジ波

実測津波では、この帯域内に、46.4、46.7、47.8 min のスペクトルが検出されるが、これらのスペクトルも同一地点で同一津波中に並存することが無いので、同じ振動によるものと考えて良い。図一4(4) に見られるように、日高側では苫小牧の東約 26 km に位置する鶴川から襟裳岬の間に2波長、十勝側では襟裳岬から根室半島先端までの間に4.5波長に相当する振動が生じている。

e) 39.2 min 周期エッジ波

実測津波では、この周期の範囲に、38.1—38.4 min のスペクトルが検出されている。これらのスペクトルも、同一地点で同一津波中に共存することが無く、いずれも同一振動と考えて良い。

図一4(5) から明らかなごとく、主たる発達海域は十

表-1 分離されたエッジ波の諸元

周期 (min)	波 長 (km)		エッジ波 モード	最大振幅 (+/-) (cm)
	日高沿岸	十勝沿岸		
63.7	64	128	n=0	15.7/12.2
56.7	66	82	0	29.1/20.3
46.4	87	54	0	37.6/20.8
39.2	—	43	0	38.6/24.6
31.8	44	—	0	45.4/53.7

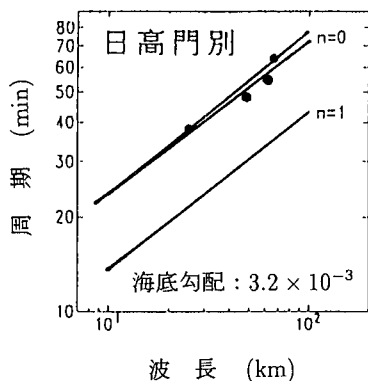


図-5 エッジ波分散関係 (日高門別)

勝側の海岸であり、日高側では苫小牧・厚賀間 55 km と浦河・襟裳岬間 47 km の間に部分的に生じるのみである。十勝側では襟裳岬から釧路にかけての海域に 3.5 波長、日高側苫小牧の海域で 2 波長分の発達を確認される。苫小牧海域では短波長を示すのが特徴的である。

f) 31.8 min 周期成分波

実測津波では、この周期の範囲に、30.6 min と 31.6 - 32.0 min のスペクトルが検出される。釧路港で観測された 1968 年十勝沖地震津波の記録から、これらのスペクトルが共に検出されているので、これらは明らかに別種の波動によるものと解釈される。図-4(6) 中にも明らかに 2 種類の異なる振動パターンが現れている。日高海域と釧路以東ではエッジ波のパターンを呈しているが、広尾から釧路にかけての海域では、2 次モードの陸棚セイシュのパターンを示している。この陸棚セイシュは、a) で述べた周期 94.5 min の陸棚セイシュの、2 次モード周期 31.5 min に一致しているが、他方周期 30.6 min 振動はエッジ波である。

4. エッジ波の分散関係

本シミュレーションによって得られた、陸棚セイシュ以外の波動が、エッジ波であることを確認するため、図上より各周期波動の波長を測定し、エッジ波の分散関係と照合した。その結果を図-5 と図-6 に示す。なお、波長の測定が困難な 18.2 min の波は省いた。少なくとも

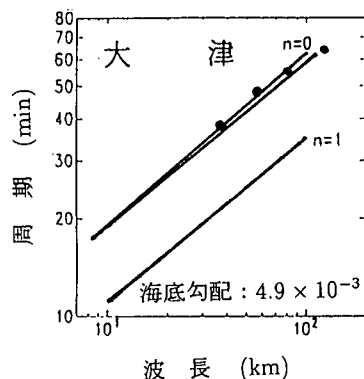


図-6 エッジ波分散関係 (大津)

24.3 min よりも長い周期を持つ波動は、エッジ波の分散関係に適合しており、これらの波動がエッジ波であると結論できる。また、等高線パターンの時間的変化の解析結果からは、振動の節位置の変化は確認できなかった。従ってこれらのエッジ波はいずれも定在波とみなされる。短周期エッジ波の腹に当たる海岸では、津波の規模によって波高が著しく増大する危険性も考えられる。

5. 結 論

1968 年十勝沖地震津波の波源モデルに基づき津波シミュレーションを行い、北海道太平洋沿岸に励起される固有振動を明らかにした。当該全域において、少なくとも周期 63.7 min から 31.8 min の間に 6 種類の定在エッジ波が生じた。また、胆振、十勝両弧状海域での陸棚セイシュの発生も確認された。最大振幅 H_{max} と周期 T を基にして見積もったエッジ波のエネルギー $E \propto (H_{max}^2 / T^2)$ は、短周期成分ほど大きく、周期 63.7 min エッジ波のエネルギーを 1 とすれば、周期 39.2 min エッジ波では 13.5 に達するという結果が得られた。

6. あとがき

一部海域において、結果として小格子領域が不足したため、エッジ波の沖側の詳細が判然としなかった。この点は、大小格子領域の配置を修正することにより解決可能であろう。また周期が 28.3 min よりも短い、モード 1 のエッジ波に関して、その詳細を明らかにするためには、海岸近傍の領域をさらに一段小さいサイズの格子で置き換えるべきであることも知れた。

参 考 文 献

- 高橋 将・八鉤 功, (1982): 北海道太平洋岸の津波スペクトルにみられる特徴について。自然災害資料解析, 9, pp. 27-36, 1982.
Aida I. (1978): Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters. J. Phys. Earth, 26, pp. 57-73, 1978.