

資料

黒潮流域の沿岸潮位および年周潮スペクトルの長期変動

中村重久\*

Interannual variations of coastal sea levels and  
annual tides spectra neighbor Kuroshio flow

Shigehisa NAKAMURA\*

**Abstract :** This work concerns the interannual variations of the sea levels on the coast facing an ocean. Interannual variations of the sea levels and of annual tides on the coast are studied referring to amplitude spectra reduced after applying fast Fourier transform (FFT) method. Special reference is that in an local area covering Kuroshio flow off the south of the Honshu in the Japanese Islands, and in an specific area just as a part of seismic and tectonic active zone. Specific pattern of the amplitude spectra of the annual tides at the local tide stations are analyzed and studied.

**Key words :** monthly mean sea level, annual tides, internal variations, Kuroshio

1. 緒言

外洋に面した沿岸域における潮位変動のうち、とくに、年周潮を中心とした振幅スペクトルの長期的変動を研究した。ここでは、とくに、太平洋北西部の日本列島南岸周辺を対象とする。この対象水域には黒潮が流れており、さらに日本列島はユーラシア大陸の東縁境界に近く、環太平洋地震帯の一部になっていて、沿岸潮位は黒潮の変動や地殻の変動などに影響を受けているものと考えられる。このために、たとえば潮位の平均的傾向を見ることによって、地球の温暖化やそれに関連した海水位変動がただちに解するというようには考えられない。ここでは、紀伊半島にあるいくつかの検潮所の記録から、年周潮スペクトルを求め、その特性を調べ、黒潮変動やその他の変動現象との関連について明らかにしようと試みた。

2. 潮位スペクトルの概観

海水位の変動は古くから知られており、その原因としての外力の主要なものについては多くの研究例が見られる。とくに天文潮については、古典力学に立脚した分潮成分が知られている(たとえば、小倉, 1937; 中野, 1939; DIETRICH, 1957; DUVANIN, 1960)。

沿岸域の高度利用と関連して、日周潮および半日周潮

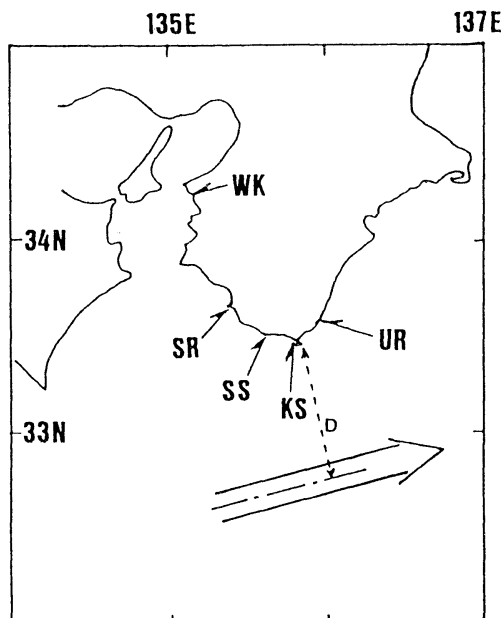


Fig. 1 Coastal configuration of the interested area where notations of the tide station are WK for Wakayama, SR for Shirahama, SS for Susami, KS for Kushimoto and UR for Uragami and D for distance from the coast to the Kuroshio flow axis off Kushimoto.

\* 646-0031 和歌山県田辺市湊674-2-A104  
Minato 674-2-A104, Tanabe, Wakayama, 646-0031  
Japan

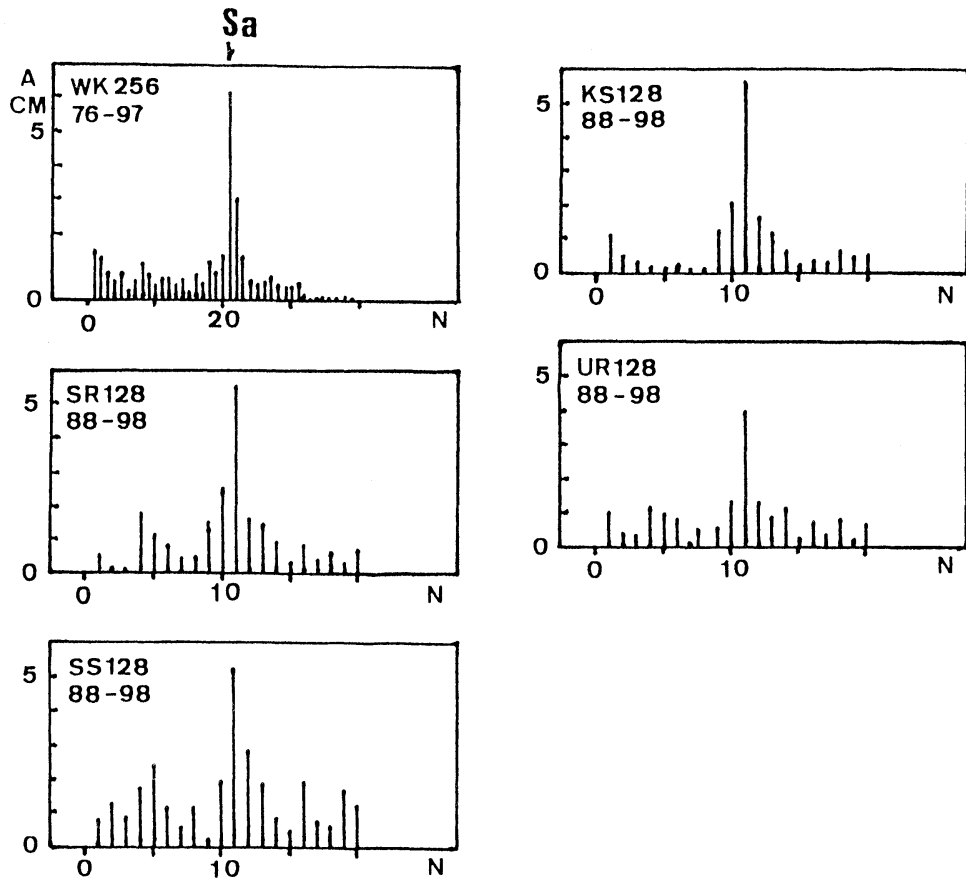


Fig. 2. Amplitude spectra at tide stations as diagrams of the spectral amplitude component ( $A$ ) and the numeral order ( $N$ ) of the spectral component (frequency  $f=N/M$ ) in which the frequency band of the annual component is noted by  $S_a$ , at Wakayama ( $M=256$  during 1976 and 1997), and at Shirahama, Susami, Kushimoto and Uragami ( $M=128$  during 1988 and 1998).

についての研究例はこれまでに非常に多く、ここにそのすべてを記すことはできない。これに対して、年周潮やさらに長い周期の海水位変動について述べた例はごく限られている。MAXIMOV (1970) は、海水位の変動が一年以上の長い周期成分や、非周期成分についての研究成果を記している。LAMBECK (1980) は、地球の回転運動と関連した海洋の変動について述べている。HOSOYAMA *et al.* (1976) は、地球の極潮汐のアドミッタンスについての研究成果を発表し、また黒潮とZ項との関連についての研究例としては NAITO (1974) の例がある。

海水位変動の解析の歴史を顧みるとともに、スペクトル解析の手法を潮位変動の問題にはじめて導入したのは、Munkと彼の研究グループである(たとえば、MUNK and CARTWRIGHT, 1966)。

しかし、年周潮の変動現象についてはあまり顧みられ

ていなかった。著者の知る限りでは、いくつかの検潮記録について、年周潮スペクトルの長期変動やそのスペクトルパターンの研究の若干例があるにすぎない(たとえば、中村, 1988; NAKAMURA, 1997, 1998, 1999, 2000)。

CARTWRIGHT (1988) は、人工衛星による潮位計測およびその解析について研究し、半月周期成分についての検討結果を報告している。人工衛星SEASATのデータは短期間ではあったが、CARTWRIGHT and ALCOCK (1981) によって、太平洋北東部の海面高度および海面勾配の精度の研究に利用されている。このSEASATのあと、GEOSATが地球上の高度計測の役割をひきついだ。そのあと、2000年現在までのところ計測精度は1 cm (未確認情報) となっていると言われるが、海面高度の長期にわたる時間変動の解析研究には、これからさらにデータの蓄積を継続することが必要である。また、人工衛星データの利用にあたっては、地上および海上に

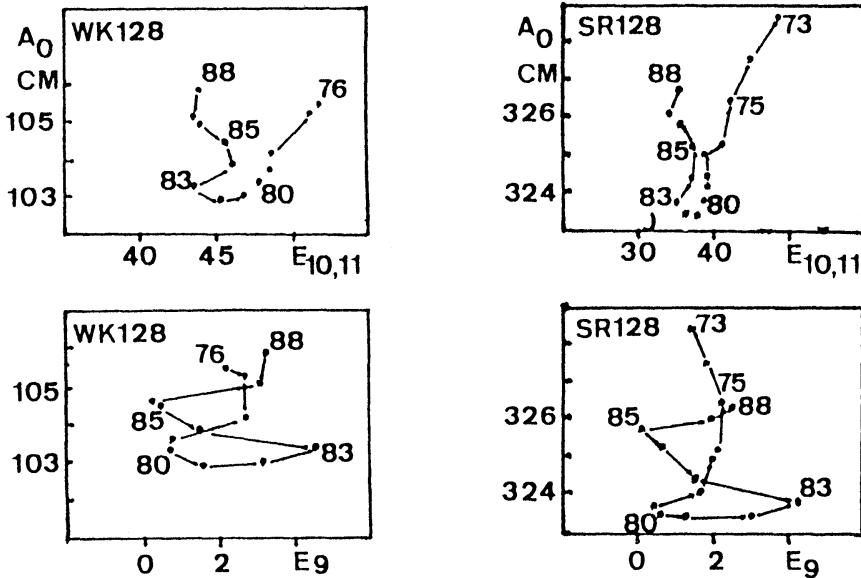


Fig. 3. Mean sea level ( $A_0$ ) and energies related to the annual tides ( $E_{10,11} = A_{10}^2$ , and  $E_9 = A_9^2$ ), at Wakayama for the period of 1976 to 1988 and at Shirahama for the period of 1973 to 1988, where the notations  $A_0$ ,  $A_9$ ,  $A_{10}$  and  $A_{11}$  are for the zeroth, ninth, tenth and eleventh order of spectral components in Fig. 2.

おける直接測定を基準とした補正や、その他の誤差要因にたいする補正が必要である。

長期間にわたる海水位変動の記録は、たとえば、日本では気象庁、海上保安庁、国土地理院のほか、農林水産省、その他の関連機関によって得られている。そのような記録を利用して、海洋の諸問題についての研究例もこれまでに多いが、そのなかで数十年以上の長期間にわたる潮位変動の研究例は、海水位変動予測の問題に関連して重要と考えられるが、著者の知るところではごく少数である。ごく最近の例として、NAKAMURA (1988, 1990, 1994a, b, 1996a, b, 1997, 1998, 1999, 2000) は太平洋北西部の日本列島南岸での潮位変動の研究をしている。

### 3. 年周潮スペクトル

ここでは、外洋に面した沿岸域における年周潮スペクトルの特性を具体的に把握するために、とくに太平洋北西部の日本列島の南岸で、その沖合に黒潮がみられるような地理的条件を満たす地域を対象とする。この地域は、Fig. 1に示されている。本文では、和歌山、白浜、串本、浦神 (以上、気象庁所管) および周参見 (農林水産省所管) の核検潮所における検潮記録より求められた月平均潮位のデータを用いる。

スペクトル解析にあたって、FFT (Fast Fourier Transform) 法を用い、振幅スペクトルを求めることとする。ここで、和歌山、白浜、周参見、串本、浦神に

ついて、得られたスペクトルは Fig. 2 に示すとおりである。和歌山については、1976-1997年の256ヶ月のデータを用いた。その他の4検潮所については、1988-1998年の128ヶ月のデータを用いた。この Fig. 2によれば、いずれの検潮所でも、年周潮成分Saの振幅がとくに顕著である。ここで、スペクトルのパターンに着目すると、周参見ではその他の検潮所の比較して、年周潮Saのサイドローブの成分の振幅が大きいことである。これは、周参見の地理的立地条件が黒潮流軸変動の影響を強く受けていることを示すものと推察されるが、現時点ではその確証があると断定するまでには至っていない。

### 4. 平均海水位と年周潮のエネルギー

ここで、とくに和歌山と白浜について、それぞれ128ヶ月のデータによる振幅スペクトルを求め、その第0次成分 ( $A_0$ ) としての平均海水位と、年周潮Saに関わると考えられる第10, 11次成分 ( $A_{10}$ ,  $A_{11}$ )、および第9次成分 ( $A_9$ ) に着目する。

潮位変動がいろいろの周期成分の線形的な合成によって現れているものとする、記録をスペクトル解析した結果としての振幅スペクトルの成分が、潮汐現象の力学的に意味のある振幅成分ということになる。このとき、便宜的に、年周潮のエネルギーが、Fig. 2のSaおよびその周辺の成分の平方の和に比例すると見なして評価できることになる。たとえば、 $A_0$  と  $E_{10,11} = A_{10}^2 + A_{11}^2$  と

の関係は、Fig. 3の上段のようになり、パラメータとして時間をとると、この関係は時間的に変動しており、しかも、和歌山と白浜とでは、その変動パターンには共通したところがあるようにみられる。

また、 $A_0$ と $E_0=A_0^2$ との関係は、Fig. 3の下段のようになり、パラメータとしての時間にたいして、変動パターンには、上段とは異なるが、和歌山と白浜とでは共通したところがあるようである。

このFig. 3に見られる関係の時間的変動パターンは、いずれも、128ヶ月のデータのスペクトル解析によって得られたもので、言わば、約11年(128ヶ月)についての平均海水位の年次的変化を示していることになる。ここで、太陽活動に約11年の周期があることを考慮したとして、Fig. 3の年次的変化が、この太陽活動の変動と同期しているならば、この変化の主要因は簡単に判断できることになる。しかし、Fig. 3の変化のパターンは複雑であって、その他にも多くの外的要因が作用していることを示唆しているものと考えられる。だが、その要因が何であるかを判断するに足るものが、いまのところ可能性として考えられているに過ぎない。推測として、主要因には海洋の問題としての黒潮変動やエルニーニョなどのほか、1995年の兵庫県南部の地震発生に関連した測地学的な問題としての地殻変動などが含まれていると言っても間違いではないであろう。

## 5. 結 言

年周潮スペクトルの長期的変動をFFT法によって解析し、その特性について研究した。ここでは、とくに黒潮変動の影響が認められる太平洋北西部の日本列島南岸周辺の検潮所、和歌山、白浜、周参見、串本、浦神を対象として、そこでの月平均海水位のデータを利用した。それぞれの検潮所における振幅スペクトルの特徴を示すとともに、スペクトルパターンの検討結果から、とくに和歌山および白浜における、11年平均海水位の変動と年周潮周期成分に関連したスペクトル成分のエネルギーと共通の対応関係を論じた。この対応関係が、その他のどのような力学的要因によって支配されているかは、これからの研究によって解明すべきことである。

なお、本文は著者が京都大学における研究課題を継続して得られた成果の一部であることを記して、関係各位のご理解とご協力に心から感謝の意をあらわす。

## 文 献

- CARTWRIGHT, D. E. (1988): On tidal detection from satellites, Abstracts-Internat. Conf. on Tidal Hydrodynamics, Geithersburg, NOAA, p. 37.
- CARTWRIGHT, D. E. and G. A. ALCOCK (1981): On the precision of sea surface elevations and slopes from SEASAT altimetry of the Northeast Atlantic Ocean. *In* Oceanography from Space (ed. by J. F. R. GOWER), Plenum Press, NY, 885-895.
- DIETRICH, G. (1957): Allgemeine Meereskunde, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 429p.
- DUBANIN, A. I. (1960): Pririvnui b morye, Gidrometeorol. Izdat., Leningrad (St Peterburg at present), 390p.
- HOSOYAMA, K. I. NAITO and N. SATO (1976): Tidal admittance of the pole tide, J. Phys. Earth in Japan, **24**, 43-50.
- LAMBECK, K. (1980): The earth's variable rotation: geophysical causes and consequences, Cambridge Univ. Press, Cambridge, London, 449p.
- MAXIMOV, I. W. (1970): Geofizicheski sili i wodi okeana, Gidrometeorol. Izdat., Leningrad (St. Peterburg at present), 358p.
- NAITO, I. (1974): Mean pole, Z term and Kuroshio, J. Oceanogr. Soc. Japan, **30**, 168-178.
- 中村重久 (1988): 紀伊半島南西部における年周潮Saとそのサイドローブ. *La mer*, **26**, 76-80.
- NAKAMURA, S. (1990): Secular upheaval of datum level in relation to tsunamigenic earthquake, Marine Geodesy, **14**, 137-141.
- NAKAMURA, S. (1993): On the earth's pole tide cycle in the ocean, Proc. 1993 PACON China Symposium, Beijing, eds. by HOPLEY D. and W. YING, 262-269.
- NAKAMURA, S. (1994a): Annual mean sea level variations in the Northwestern Pacific seismic zone, Marine Geodesy, **17**, 213-218.
- NAKAMURA, S. (1994b): Annual sea mean sea level and tsunamigenic earthquakes in the Northwestern Pacific, Proc. on Internat. Symposium on Marine Positioning (INSMAP94), Hannover, 377-384.
- NAKAMURA, S. (1996a): Possible environmental variations during an earthquake, Oceanology International 96 (OI96), Brighton, Vol. 3, 333-340.
- NAKAMURA, S. (1996b): An extent of sea surface layer affected by an earthquake, Marine Geodesy, **19**, 281-289.
- NAKAMURA, S. (1997): Interannual sea level variations neighbour the plates boundary, Conf. Proc. OI97 (Ocean International-97, PACRIM-Singapore), Vol. 1, 31-39.
- NAKAMURA, S. (1998): Interannual sea level variations and annual tides in Northwestern Pacific, Abstracts of the 8th Pacific Congress on Maine Sci. and Tech. (PACON98), Seoul, p. 32.
- NAKAMURA, S. (1999): Interannual and annual sea levels in the seismic and tectonic active zone

in the Northwestern Pacific, Abstracts of IUGG99  
Birmingham, JS91/P/01, P. A56.

NAKAMURA, S. (2000): Interannual sea level variations and annual tides in the Northwestern Pacific, *Marine Geodesy*, **23**(1), 1-7.

中野猿人 (1939): 潮汐学, 古今書院, 東京, 528p.

小倉伸吉 (1934): 潮汐, 岩波全書 No. 37, 岩波書店, 東京, 251p.

2000年6月14日 受付

2000年7月5日 受理