

## 極潮汐の周期に関連した海水位変動\*

中村 重久\*\*

### Sea level variations in relation to the Earth's pole tide cycle\*

Shigehisa NAKAMURA\*\*

**Abstract:** Pole tide cycle may be one of the effective factors governing the long-term variations in the nature. Estimate of the natural hazards could be possible in term of the pole tide. A seven years cycle in the nature may be induced by a dynamical modulation of the pole tide and the Earth's annual cycle. Upwelling and marine biology suggest them agree well to the seven years cycle. Sea level variations are also studied by applying a fast Fourier transform method. Five years cycle and two years cycle in the sea level variations could be taken in a scope of modulated pole tide cycles. A simple notice is how to distinguish the artificial warming of the Earth's surface out of the sea level variations.

#### 1. 緒言

中村(1990a)は、ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島の樹木の年輪とを解折して、太陽活動の作用が顕着なことを指摘するとともに、その22年周期と11年周期との区別についても考察した。とくに年輪の解折からは、7年周期の顕着なことも示した。

本文では、この7年周期が、地球の公転周期12カ月と地球の極潮汐周期14カ月とから導かれることを示し、その力学的意義を明らかにするとともに、これに対応した周期的変動を示す現象の例を列挙した。また、この7年周期から誘導されるものとして、5年周期・2年周期などの変動の力学的根拠をさぐることに努めた。

#### 2. 極潮汐の周期

地球の極潮汐は、起潮力としては、他の成分に比べて小さいが、極潮汐の周期の変動が海洋潮汐のみならず大気潮汐や地殻潮汐でも特異なことは、たとえば、

LAMBECK (1980) が示している。この極潮汐は、緯度変化としてとらえられていたものである。この周期が約14カ月であることを、観測によって最初に指摘したのがCHANDLER (1892) である。その後、多数の研究が重ねられてきているが、たとえば、MAXIMOV (1970) によれば、その変動は最大振幅約30秒であると言ってよい。

ここで、地球の公転周期と極潮汐周期とに着目する。いずれも地球上のすべての運動に関与する因子だから、この2つの周期の変調を考えることができる。このとき、誘導される7年周期は、中村(1990 a)の年輪に関する気候学的変動と関連がありそうである。また、別に誘導される0.54年周期は、太陽半年周期  $S_{sa}$  の0.5年に近いので、時として顕着にあらわれ、また、時として微小変動として取り扱われるに止まるかもしれない。

さて、MUNK and HAUBRICH (1958) や、MUNK and MCDONALD (1960) の記述を基礎にして、WUNCH (1974) は、北海の極潮汐を流体力学の問題として論じた。ところが、このような海洋極潮汐は、大西洋では大きい太平洋ではそれほどでもないことがわかった (HOSOYAMA *et al.*, 1976). これを理解するには、気象学的・気候学的変動としてとらえる (NAITO, 1983) 立場が、より妥当なものと思われることとなり、その後、WUNSCH (1986) は、北海では極潮汐と地形性ロスビー

\* 1991年9月18日受理 Received September 18, 1991

\*\* 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所、和歌山県西牟婁郡白浜町堅田2347-7  
Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22 Japan

波との共振による変動がみられるとした。

他方, EKMAN and STIGEBRANDT (1990) は, バルチック海の潮位からみて, 1825-1904年に比較して, 1905-1984年には, チャンドラ周期の変動は弱くなっているという傾向があることを示し, これは気候変動による可能性が高いと考えた。

### 3. 7年周期の変動

上述のようなことから, 海洋でとらえられた現象で7年周期に近いものは, 力学的背景をもったものであると推測される。その例の一部を以下に紹介する。すなわち, ARFI (1987) によれば, モーリタニア沖の湧昇の変動は, 1955-1982年の35年間に5サイクルの変動が風向月別頻度にあられ, これはエクマン輸送に対応しているようだ。また, LEA *et al.* (1989) は, ガラパゴス諸島のサンゴ礁において, 1965-1978年の海面水温および Ba/Ca 比の3ヶ月平均時系列を調べ, 両者の3ヶ月平均からのアノマリは, 相互によく対応した変動を示し, 5年あるいは7年の周期をもっていることを示した。この Ba/Ca 比は, 湧昇による変動や, それにともなう深層から表層へ運ばれた栄養塩摂取の時間的経過を知るよい指標であるとされている。亜寒帯の樹木の年輪(中村, 1990a) からみて, 7年周期は, 海洋のみならず, 気候やそれにつながるの深い因子に地球が力学的にはたらきかけている変動成分とも言えるであろう。

### 4. 7年周期から誘導される周期成分

主要因から誘導される周期成分は, 一般には, 顕着なものとはならないと推測される。しかし, 現象に対応した周期があらわれれば, その要因との関連を検討する価値はある。これまでに, NAKAMURA (1990b) は, 北西太平洋沿岸のチリ津波災害の予測に関連して, 太陽活動

の周期あるいはそれよりも長い周期の変動を検討した。ここでは, 太陽活動の周期より短い変動に着目する。

(1) 5年周期: この周期成分の誘導には, いくつかの変調を考えなくてはならない。まず, 11年周期と7年周期とから, 19.25年周期と4.3年周期とが導かれる。そのうちの19.25年周期が, 月の昇交点潮汐の周期18.6年周期と合成されて, 9.45年周期があらわれる。この9.45年周期と太陽活動の11年周期とから5.0年周期が誘導される。この5年周期が太平洋赤道域のトラック島で顕着なことは後に述べる。

(2) 2年周期: 力学的背景の明らかな周期成分から, つぎのようにして2年周期成分は誘導できる。たとえば, 7年周期と5年周期とから2.9年周期が導かれる。さらに, この2.9年周期と7年周期とから2.1年周期があらわれる。これは準2年周期 QBO としてみるべきかもしれない。大気現象としてみた QBO は低緯度帯の熱収支のみに留意しているようだ(たとえば, BARNETT, 1989; CHARNOCK and PHILANDER, 1989; HILL and JONES, 1990; LABITZKE and VAN LOON, 1990)。しかし2年周期の力学的背景はそれほど単純な

Table 1. Stations for sea water level variations

Station	Longitude Latitude	Remarks
Truk Islands	151°40'E 08°00'N	NW-Pacific and tropical (MEYERS, 1982)
Shirahama	135°23'E 33°41'N	Mid-lat. (JMA)
Dead Sea	35°40'E 31°30'N	Enclosed haline basin (STEINHORN, 1985) (ANATI & SHASHA, 1989)
Stockholm	18°04'E 59°21'N	Sub-arctic zone (EKMAN, 1988)

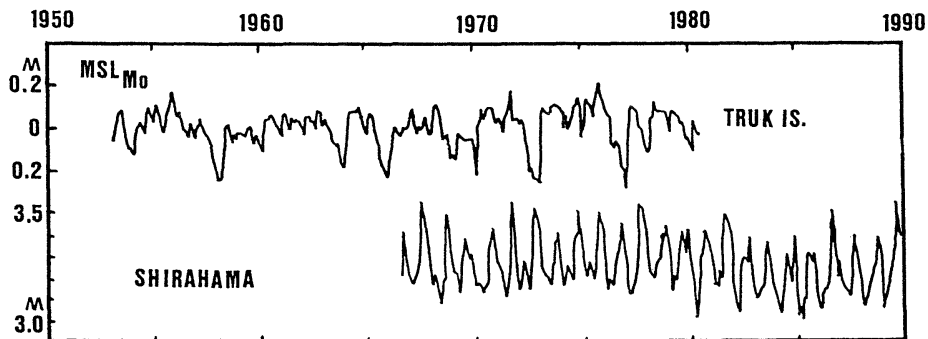


Fig.1. Long-term variations of monthly mean sea level in Islands (tropical zone) and at Shirahama (mid-latitude area) in the northwestern Pacific.

ものではないかもしれない。

(3) その他の周期：ここで考えにいれなかった周期的変動で、力学的因果関係の不明なものが、現在もなおそのまま検討されないでいるかもしれない。そして、それを検討すると、太陽活動・月の運動・地球の公転・地球の極潮汐などで、うまく説明できるものかもしれない。

### 5. 海水位変動のパターン

ここでは、地球との多数の観測点のうち、長期間にわたる海水位変動記録が得られている例から、Table 1 に示す4例を検討する。

北西太平洋について、熱帯域のトラック諸島 (MEYERS, 1982) の月平均海水位変動を Fig.1 上部に示した。また、中緯度で、日本の太平洋沿岸の例として、白浜 (気象庁所管) の月平均海水位変動を Fig.1 下部に示した。このため、和歌山地方気象台および国土地理院の資料の一部を利用した。月平均のデータを利用したために、変動を平滑化したことになり、Fig.1にみられる変動パターンが、潮汐定数で与えられるものとは異なっていることも考えられる。ただし、変動パターンの特徴はとらえることができるであろう。

また、亜寒帯のストックホルムにおける年平均海水位

変動を Fig.2 下部に示した。これは、EKMAN (1988) の資料による。さらに、特異な例として、死海の年平均海水位を Fig.2 上部に示した (STEINHORN, 1985 ; ANATI and SHASHA, 1989)。

この Fig.2 によれば、ストックホルムの年平均海水位は、1774年以降、ほとんど一定の割合で低下している。大まかにみて、200年間に約1mの低下である。このような傾向は、ストックホルム周辺の氷河での融水が地殻への荷重の減少効果としてあらわれたものとすれば理解できるであろう。しかしその詳細については、地球物理学的な検討をまたねばならないであろう。人工的作用による地球温暖化で融水が促進すれば、この年平均海水位も、上昇することになりうるのだろうか。

またFig.2上部には、死海の年平均海水位を示した。この死海の年平均海水位は、1800 AD 以降、複雑な昇降を示している。とくに最近10年間をみると、年平均水位は $-0.8 \text{ m/y}$ の割合で変動している。死海を閉鎖性湖海としてみると、この変動の要因は主として蒸発によると考えられ、地球温暖化によって蒸発が促進されるようになったとも解釈される。しかし、1900 AD 以前の変動をみると、この変動は、もっと時間スケールの大きな現象の一部にすぎないのかもしれない。

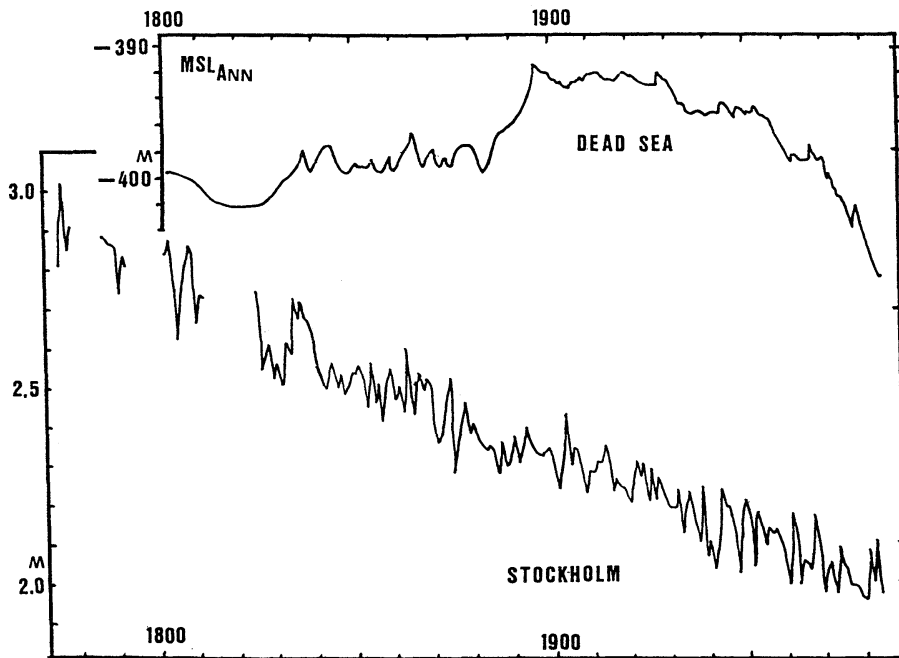


Fig.2. Long-term variations of annual mean sea level in Dead Sea (completely isolated haline basin) and at Stockholm (subarctic zone) in the northern hemisphere.

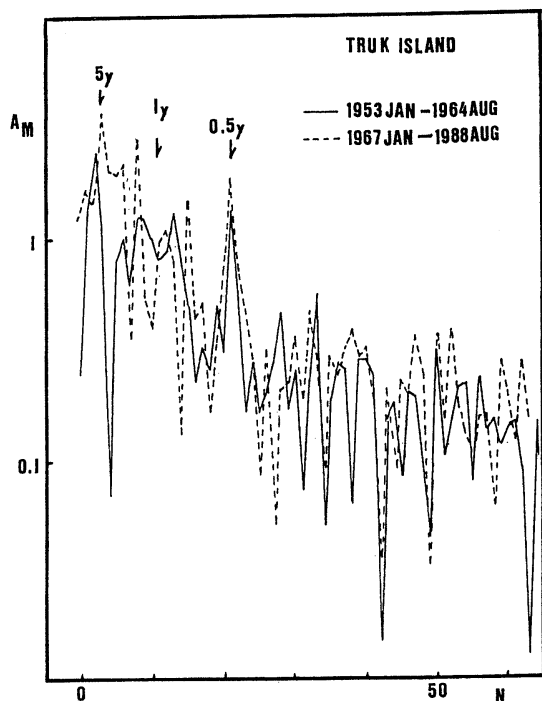


Fig.3. Amplitude spectra of monthly mean sea level (unit: cm) in Islands for two periods of 128 months; (1) from 1953 Jan. (full line) and (2) from 1967 Jan. (chain line).

## 6. 海水位変動の周期性

ここで、Fig.2 および Fig.3 に示した海水位変動を、高速フーリエ変換法によって解析し、顕著な変動成分の力学的解釈を試みることにする。

(1) トラック諸島：月平均海水位を1953年1月から128ヶ月について解析し、振幅スペクトルをもとめると、Fig.3 の実線のようになる。また、1967年1月から128ヶ月についての振幅スペクトルは、Fig.3の破線のようになる。この図では、年周変動成分の特徴も認められるが、とくに、振幅1cm以上の5年周期と0.5年周期の成分に注目したい。すなわち、北西太平洋熱帯域のトラック諸島では、熱源としての太陽活動の11年周期に、地球の公転と極潮汐の作用と月の昇交点潮汐の作用とが、月平均海水位変動に関与しているとみることができる。

(2) 白浜：月平均潮位を1967年1月から128ヶ月について解析し、振幅スペクトルはFig.4 のようになった。この図では、7年周期成分の振幅は0.6mmで、3.5年周期成分の振幅は0.8mmであった。熱帯域での太陽放射による熱的変動と亜寒帯域での太陽活動の作用や極潮汐の作用とが、白浜のような中緯帯では複雑な変動とし

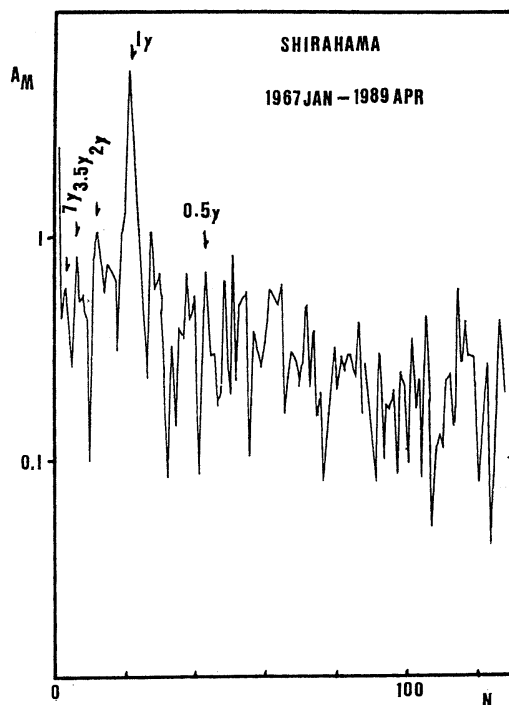


Fig.4. Amplitude spectrum of monthly mean sea level (unit; cm) at Shirahama for time period of 128 months from 1967 Jan.

てとらえられることになるのであろう。このFig.4の振幅スペクトルでは、2年周期成分が約1cmの振幅となっている。

白浜の潮汐定数（気象庁）は、 $S_a$  の振幅 14.23cm、 $S_{sa}$  の振幅 1.25cmである（NAKAMURA, 1987）。ところで、Fig.4で、これに対応する年周変動成分と半年周変動成分とは、それぞれ、約6cmと約0.7cmである。いづれにしても、年周変動成分が卓越していることは、地球の公転の効果が最も顕著なことを示している。なお、白浜は、黒潮による海洋西岸境界流の影響を受けやすい立地条件にある（中村, 1988）。この点からみて、海洋物理学的要因を無視することはできない。

(3) 死海：年平均水位の振幅スペクトルを、1801-1928年（実線）と1850-1978年（破線）とについてもとめ、Fig.5に示した。ここで注目したいのは、22・11・7・5年周期の各成分である。死海では、太陽放射による熱エネルギーの収支が、年平均水位の変動を強く支配しているようである。残念ながら、2年周期の変動をうまくとられることはできなかった。

(4) ストックホルム：亜寒帯の例としての特徴が顕

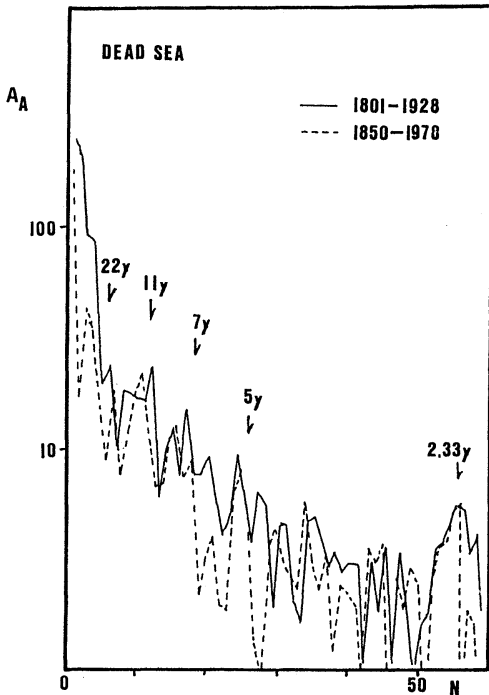


Fig.5. Amplitude spectra of annual mean sea level (unit; cm) for two periods of 128 years; (1) from 1801 (full line) and (2) from 1855 (chain line).

着にあらわれると予想されたが、すでに、中村 (1990a) が示したように、ストックホルムの年平均海水位の振幅スペクトルでは、主なピークとして、周期14.2年、7.5年、5.8年、4.9年、そして、4.4年がある。その力学的解釈には、さらに、いろいろの面からの検討が必要であろう。

## 7. 結言

地球の公転と極潮汐との相互作用としての年周期が導びかれる。地球とて観測された現象の力学的背景として、この7年周期を対応させて検討した。海洋の湧昇や海洋生物の化学組成にもその影響は認められるようである。さらに、極潮汐との関連で、5年周期や2年周期の海水位変動についても検討した。熱帯や中緯度帯や亜寒帯の例などを解析すると対象とした観測点の地理的立地条件を無視するわけにはいかないことがわかる。本文では、人為的作用による地球温暖化の海水位変動に対する効果については、詳細にわたる議論はしなかった。

なお、本文をまとめるにあたり、気象庁・海上保安庁をはじめ、多数の方々の御助力をいただいた。ここに記

して心から感謝の意を表す。

## 文献

- ANATI, D. A. and S. SHASHA (1989): Dead Sea surface-level changes. *Isr. J. Earth Sci.*, **38**, 29-32.
- ARFI, R. (1987): Variabilité interannuelle de l'hydrologie d'une région d'upwelling (bouée Bayadère, cap blanc, Mauritanie). *Oceanologica Acta* **10**(2), 151-159.
- BARNETT, T. P. (1989): A solar-ocean relation: fact or fiction?. *Geophys. Res. Lett.*, **16**, 803-806.
- CHANDLER, S. C. (1982): On the variation of Latitude, VII. *Astron. Jour.*, **12**, 97-101.
- CHARNOCK, H. and S. G. H. PHILANDER (eds) (1989): The dynamics of the coupled atmosphere and ocean, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A329**, 577-589.
- EKMAN, M. (1988): The world's longest continued series of sea level observations. *Pure and Applied Geophys.*, **127**(1), 73-77.
- EKMAN, M. and A. STIGEBRANDT (1990): Secular change of the seasonal variation in sea level and of the tide in the Baltic Sea. *Jour. Geophys. Res.*, **95**(C4), 5379-5383.
- EL-SABH, H. I. and T. S. MURTY (1986): Seasonal and long-term sea level variations in the Atlantic coast of Canada. *Marine Geodesy*, **10**(3-4), 295-308.
- GRAY, L. J. and T. J. DUNKERTON (1990): The role of the seasonal cycle in the quasi-biennial oscillation of ozone. *Jour. Atmos. Sci.*, **47**(20), 2429-2451.
- HILL, B. T. and J. JONES (1990): The Newfoundland ice extent and the solar cycle from 1860-1988. *Jour. Geophys. Res.*, **95**(C4), 5385-5394.
- HOSOYAMA, K., I. NAITO and N. SATO (1976): Tidal admittance of Pole tide. *Jour. Phys. Earth*, **24**, 51-62.
- LABITZKE, K. and H. VANLOON (1990): Associations between the 11-year solar cycle, the quasi-biennial oscillation and the atmosphere: a summary of recent work. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A330**, 577-589.
- LAMBECK, K. (1980): The Earth's variable rotation: geophysical causes and con-

- sequences. Cambridge Univ. Press, NY, 449pp.
- LEA, D. W., G. T. SHEN and E. A. BOYLE (1989): Coraline barium records temporal variability in equatorial Pacific upwelling. *Nature*, **340**, 373-376.
- MAXIMOV, I. W. (1970): *Geofizicheski cili i wodi okeana*. Gidromet. Izdat., Leningrad, 358pp.
- MEYERS, G. (1982): Interannual variation in sea level near Truk Island - a bimodal seasonal cycle. *Jour. Phys. Oceanogr.*, **12**, 1161-1168.
- MUNK, W. and R. HAUBRICH (1958): The annual pole tide. *Nature*, 182, p. 42.
- MUNK, W. H. and G. J. F. MCDONALD (1960): *The rotation of the Earth*. Cambridge Univ. Press, 323p.
- NAITO, I. (1983): Response of the ocean to the Chandler wobble. *Marine Geodesy*, **7**, 345-358.
- NAKAMURA, S. (1987): A numerical prediction of semidiurnal current patterns in Tanabe Bay. *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, **37**, 91-105.
- 中村重久 (1988) : 紀伊半島沿岸における年周潮差のスペクトルとそのサイド・ローブ, *La mer*, **26**, 76-80.
- 中村重久 (1990a) : ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島の樹木の年輪. *La mer*, **28**, 146-150.
- NAKAMURA, S. (1990b): A notice on Chilean tsunamis in the northwestern Pacific. *Proc. 4th Pacific Congress Mar. Sci. Tech.*, **1**, 135-140.
- STEINHORN, I. (1985): The disappearance of the meromitic stratification of the Dead Sea. *Limnology and Oceanography*, **30**(3), 451-472.
- WUNCH, C. (1974): Dynamics of the pole tide and damping of the Chandler wobble. *Geophys. Jour. R. Astr. Soc.*, **39**, 539-550.
- WUNCH, C. (1986): Dynamics of the North Sea pole tide reconsidered. *Geophys. Jour. R. Astr. Soc.*, **87**, 869-884.