

渤海における海面水温季節変動振幅・位相の経年変動

柳 哲雄*¹・迫田祥哉*²・境田太樹*³・川村 宏*³

(平成19年7月31日 受理)

Year-to-year variations in amplitude and phase of seasonal variation of sea surface temperature in the Bohai Sea

Tetsuo YANAGI*, Shoya SAKODA, Futoki SAKAIDA and Hiroshi KAWAMURA

[†]E-mail of corresponding author: tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp

Year-to-year variations in amplitude and phase of the seasonal variation of sea surface temperature in the Bohai Sea were investigated using NOAA AVHRR images from 1989 to 2003 and they were reproduced by a simple numerical experiment including the effects of sea surface heat flux and water exchange through the Bohai Strait. The results show that the water exchange rate through the Bohai Strait decreased from 1989 to 2003 due to the decrease of the Yellow River discharge.

Key words: *Yellow River discharge, sea surface temperature, water exchange*

1. はじめに

黄河は渤海に注ぐ中国第2の大河である (Fig.1)。黄河の河川流量は、1990年代、下流での水需要が急増したため、急激に減少し、下流では年間200日を超える断流 (河川流量が0になって、河床が干上がる状態) 状態を呈するに至った。しかし、2000年代に入って、中国政府の水管理政策の徹底により、河川流量は幾分か回復した (Fig.2 ; Daily status of Yellow River, the Yellow River Conservancy Commission, <http://www.yellowriver.gov.cn/other/hhsq/hhsq.asp>)。

黄河の河川流量変動に伴って、渤海内の河口循環流の強さが変化し、渤海と黄海の間の海水交換量が変化することが予測されるが、その実態を現地観測データから直接明らかにすることは困難である。

本稿では、人工衛星からの海面水温データ (Sea Surface Temperature: SST) を用いて、渤海におけるSSTの季節変動振幅・位相の経年変動を明らかにし、その結果を数値モデル計算で再現して、黄河の河川流量変動と渤海・黄海間の海水交換量変動の関連を明らかにすることを試みる。

2. 使用データ

人工衛星NOAAの赤外バンドから得られ、東北大学大気海洋変動観測研究センターで処理された14年間の渤海におけるSSTデータ (1989年1月1日～2003年12月31日) を使用した。衛星画像の水平分解能は1.1km、時間分解能は毎日である。

黄河の河川流量はLijin (Fig.1参照) で得られた、毎日の河川流量変動 (Fig.2) を用いた。

3. 解析結果

NOAAによって得られた渤海内各点における1年間の毎日のSST変化を正弦曲線で近似し、年間平均水温、季節変動振幅、位相 (最高水温出現日) を求めた。Fig.3に渤海海峡中央部における1989年のNOAAから得られた生データと、近似された正弦曲線の例を示す。

このような正弦曲線近似から得られるSST平均値、SST季節変動振幅、SST季節変動位相 (最高水温出現日) の、渤海における2002年の水平分布をFig.4に示す。平均水温は渤海北部で12℃と低く、南部で14.5℃と高い。季節変動振幅は浅い沿岸部で13℃と大きく、深い海峡部で10℃と小さい。最高水温は浅い沿岸部で早く、深い海峡部で遅い。最も早いBohai湾奥部 (8月5日)

*1 応用力学研究所

*2 大気海洋環境システム学専攻

*3 東北大学大学院理学研究科附属大気海洋変動観測研究センター

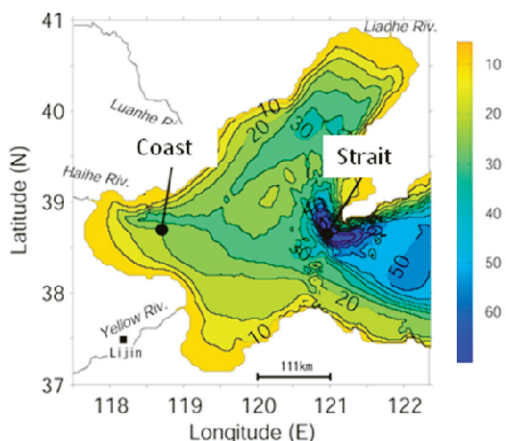


Fig.1 The Yellow River and the Bohai Sea. Numbers show the depth in meters.

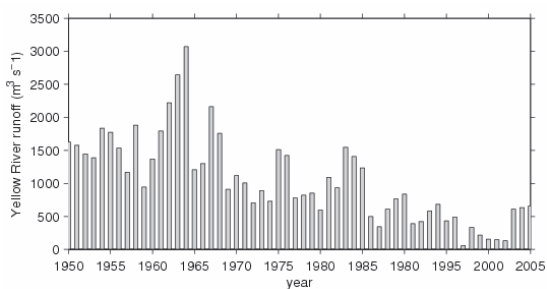


Fig.2 Year-to-year variation in annually averaged Yellow River discharge.

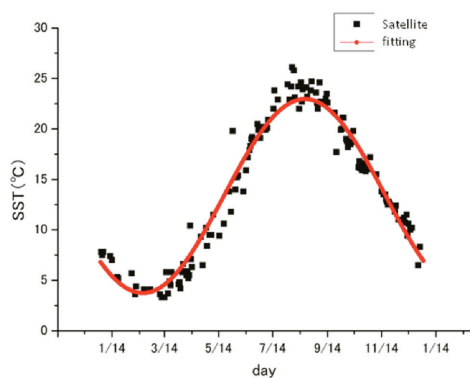


Fig.3 Raw data and fitted sine curve of SST variation at the central part of the Bohai Strait in 1998.

と渤海海峡中央部（8月25日）では20日間もの差がある。

渤海のような閉鎖性海域のSST変動は、海面熱収支と海水交換の結果決まる。そこで、Fig.1に示したようにほぼ同緯度にある、渤海海峡中央部 (Strait) とBohai

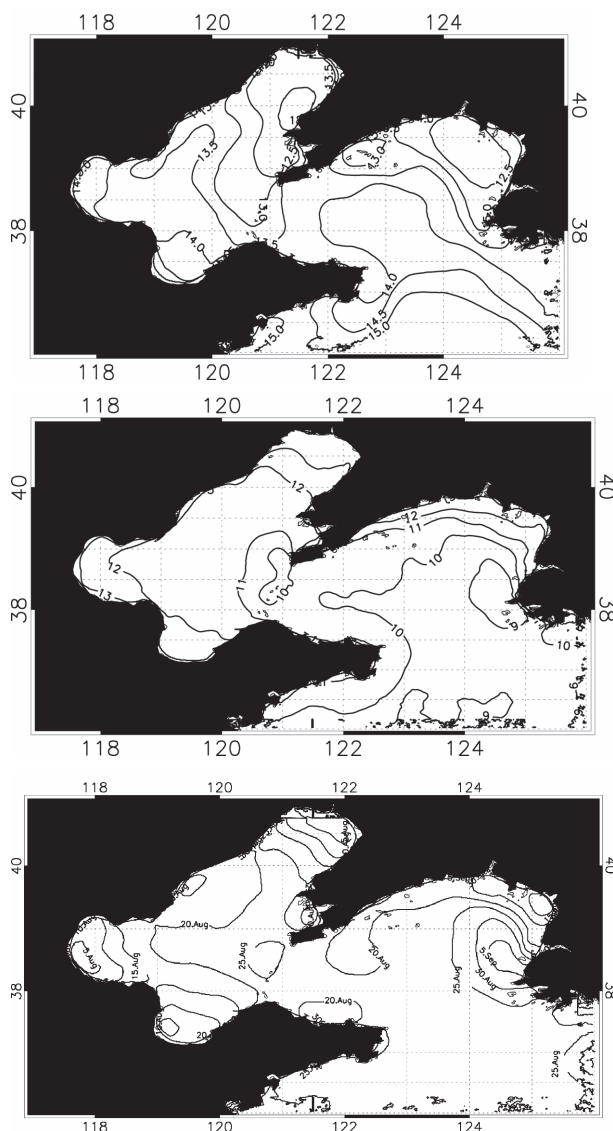


Fig.4 Horizontal distributions of mean SST, amplitude of seasonal variation of SST and the day of maximum SST in the Bohai Sea in 2002.

湾奥部 (Coast) のSST平均値、季節変動振幅、位相 (最高水温出現日) の経年変動を、ECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting) による渤海海面熱収支の平均値・季節変動振幅・位相 (最大加熱日) の経年変動と比較してみた。結果をFig.5に示す。これを見ると、海面熱収支の平均値は次第に負の値が大きくなる (海面冷却が大きくなる) テンドを示すのに対して、SST平均値は海峡部と沿岸部の両方で顕著なテンドは見られない。また、SST季節変動振幅の経年変動パターンは沿岸部と海峡部で同様であるが、それは海面熱収支季節変動振幅の経年変動パターンと対応していない。例えば、1994年に見られるように、海面熱収支季節変動振幅が小さい年に、SST季節変動振幅は大きくなっている。一方、海面加熱最大日の経年変動パターンとSST最高水温出現日の経年

変動パターンは、1998・2002年に見られるように、ほぼ対応している。すなわち海面加熱最大日が遅い（早い）と、SST最高水温出現日も遅く（早く）なっている。

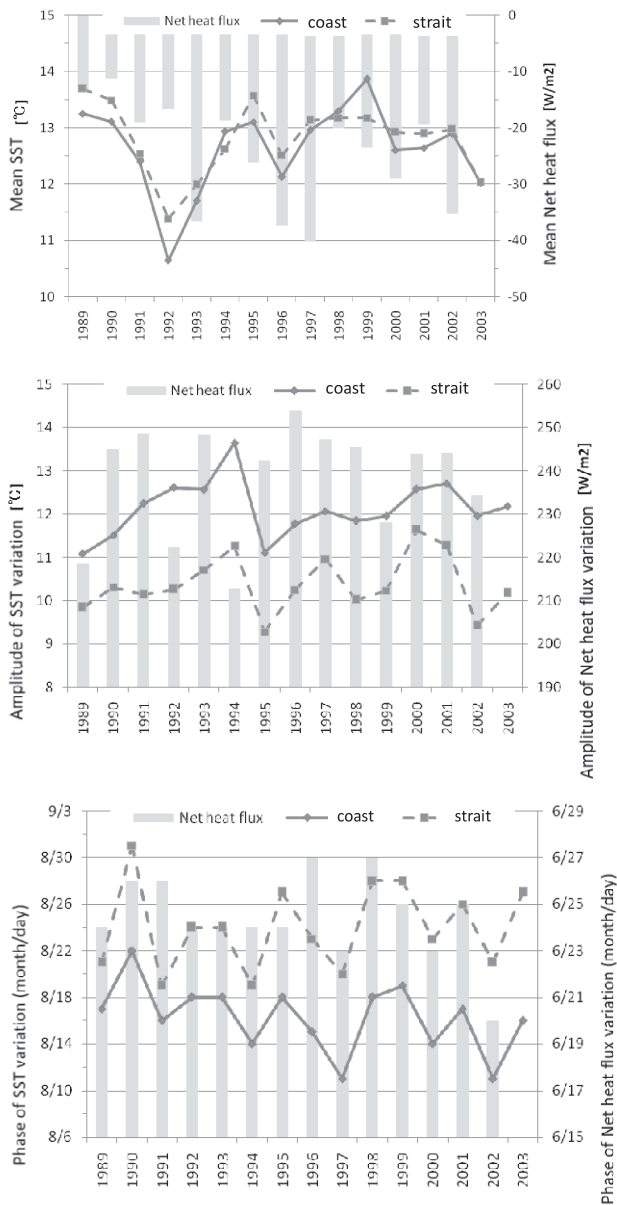


Fig.5 Year-to-year variations in average, amplitude of seasonal variation and the day of maximum of sea surface heat flux, and SST near the coast and at the central part of the Bohai Strait.

海面熱収支の平均値や季節変動振幅がSSTのそれらと対応していないことは、渤海のSST季節変動には、海面熱収支の他に、渤海海峡を通じての水平的な熱交換が大きな役割を果たしていることを示唆している。そこで、簡単な数値実験を行って、NOAAで観測された渤海のSST変動を再現することを試みる。

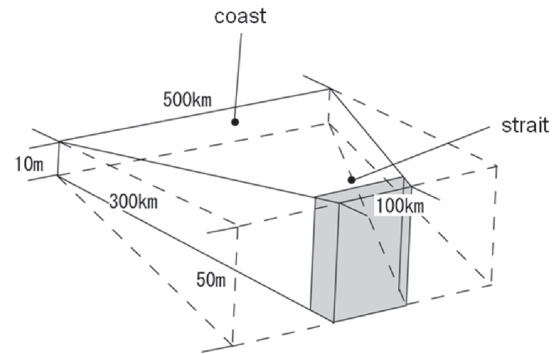


Fig.6 Simplified numerical model for the Bohai Sea.

4. 数値実験

黄河の河川流量が減少すれば渤海海水の平均密度が大きくなり、黄海との密度差が減少して、渤海海峡を通じての海水交換量は減少すると考えられる。

そこで、Fig.6に示したような、渤海の地形を単純化したモデル閉鎖海域に、ECMWFから得られた海面熱収支の季節変動を海面に与え、渤海海峡では人工衛星から観測されたSSTと数値実験結果を用いて得た渤海海峡の水温季節変動 (Wang et al., 2007¹⁾) を境界条件として与え、Bohai湾のSST季節変動を再現することを試みる。用いた数値モデルはPOM (Princeton Ocean Model ; Blumberg and Mellor, 1987²⁾) である。水平分解能は10km × 10kmで、鉛直方向には15層に分割した。

計算の結果得られた沿岸部 (Fig.6中のcoastで、Fig.1のBohai湾奥部Coastに相当) の1989年におけるSST変動を観測値とともにFig.7に示す。計算値は衛星によるSST観測値をよく再現していることがわかる。このような計算を1989年から2003年まで行って、数値モデル内の海峡部 (渤海海峡) を通過する水平熱輸送量 (H) を次式により求めた。

$$H = \iint \left(uT + K \frac{\Delta T}{\Delta x} \right) dS$$

ここで、 u は海峡断面平均水平流速、 T は海峡断面平均水温、 K は水平拡散係数、 $\Delta T / \Delta x$ は海峡近傍の水温水平勾配、 S は海峡断面積 (100km × 50m) を表す。

この水平熱輸送量の時間変動をSSTと同様に、Fig.3に示したような正弦曲線で近似して、Hの季節変動振幅を求めた。結果を黄河河川流量の経年変動とともに、Fig.8に示す。図中には計算結果から求めた海峡部と沿岸部の最高水温出現日の差 (位相差) も示してある。これを見ると、1999年を除いて、黄河河川流量の大き

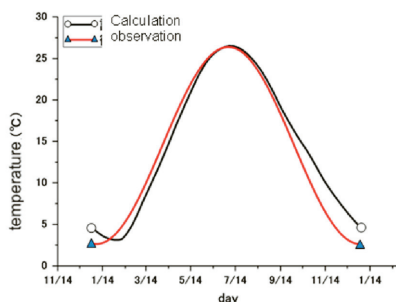


Fig.7 Calculated and observed seasonal variations in SST near the coast of the Bohai Sea in 1989.

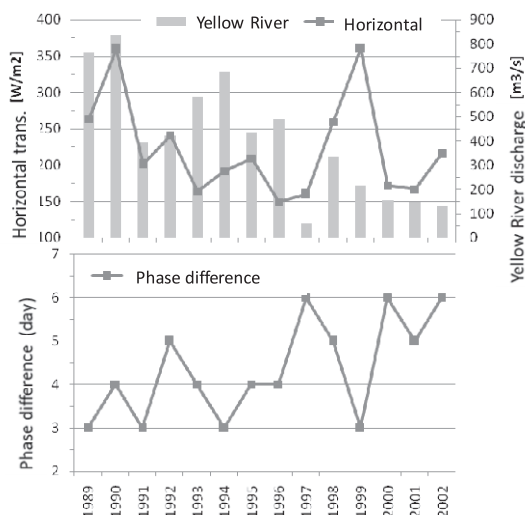


Fig.8 Year-to-year variations in the Yellow River discharge, amplitude of seasonal variation in the horizontal heat flux via the Bohai Strait and the difference of maximum SST between the coast and the central part of the Bohai Strait.

い年は水平熱輸送量の季節変動振幅も大きく（海水交換量が大きい）、黄河河川流量の小さい時は水平熱輸

送量の季節変動振幅も小さい（海水交換が小さい）こと、黄河河川流量が減少すると、渤海の海峡部と沿岸部のSST季節変動位相差は拡大して、渤海は池のような性格を強くしていること、がわかる。

5. おわりに

以上の人工衛星によるSST観測結果と数値実験結果から、黄河河川流量が減少すると、渤海と黄海の間の海水交換量が減少することが明らかとなった。

このことは、黄河河川流量の減少により渤海における河川水の平均滞留時間は長くなり、黄河から渤海に河川水と共に流入する栄養物質の平均滞留時間も長くなって、渤海が富栄養化しやすくなることを意味している。

また渤海と黄海の海水交換量の減少は、外洋性のプランクトンや卵稚仔魚の渤海への加入量の減少につながるため、渤海の水産資源に与える影響は大きいと予想される。

今後、渤海と黄河に係る様々な人々（漁民、農民、工業従事者など）の討議を通じて、望ましい渤海海洋環境の姿を明らかにし、そのために必要な渤海海峡における海水交換量、必要な海水交換量を維持するための黄河河川流量を決め、それが維持できるような黄河の河川流量管理を行っていかなければならない。

参考文献

- 1) Wang, Q., X. Guo and H. Takaoka (2007) A numerical study on the seasonal variation of Yellow River plume path in the Bohai Sea. Proceedings of the 14th PAMS/JECSS Workshop, 193-196.
- 2) Blumberg, A.F., and G.L. Mellor (1987) A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. in "Three-Dimensional Coastal Ocean Models, Vol. 4", edited by N. Heaps, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1-16.