

黒潮流路変化に伴う伊勢湾周辺海域の潮位変動特性

Monthly Variation of the Mean Sea Level caused by Kuroshio Meandering around the Ise Bay Area

和田 清*・松園昌久**

Kiyoshi Wada and Yoshihisa Matsuzono

The annual variation of monthly mean sea level caused by Kuroshio meandering is investigated using observational data around the Ise bay area. The effect of Kuroshio meandering is to increase sea level departure from normal near the coast. The maximum value is about 50cm for daily average level at Atsumi peninsula. It is shown that the occurrence time corresponds to the warm water approaching which is the initial stage of Kuroshio meandering by remote sensing data.

Keywords : Kuroshio meandering, sea level departure, extra-high tide, warm water approaching

1. はじめに

伊勢湾などの太平洋岸に面する沿岸域は、黒潮の本流・分流による海況変動の影響を直接受ける海域であり、黒潮が大蛇行し紀伊半島沖や遠州灘沖に大冷水塊が現れると潮岬から伊豆半島にかけて沿岸の平均潮位が上昇するといわれている¹⁾。黒潮やその反流を地衡流とみなせば、沿岸潮位に寄与するのは流路軸の位置よりも、むしろ黒潮の流量や流路幅の方が支配的な要因との指摘もなされており²⁾、黒潮流路軸の変動は、流速の変化あるいは反流の発生などの現象を通じて沿岸潮位変化に影響を与えているものと考えられる。また、山下ら³⁾によれば、黒潮流路に影響される太平洋に面する主要な内湾の高潮には、forerunnerの発生原因として黒潮の流路変動による海面変化を考慮すべきであり、その変動量は数十cm程度にも及ぶことを指摘している。

このように黒潮流路変化による沿岸潮位変動の時空間分布やその変動量、さらには暖水塊の接岸・離岸過程と潮位変動の関係などを明らかにすることは、内湾における外海の境界条件や沿岸海域の異常潮位現象を理解する上できわめて重要である。本研究は、伊勢湾周辺海域（内湾域と外海域）を対象にして、黒潮流路変動に伴って生じる時間スケールの比較的長い潮位変化の空間分布、および主要な地点における潮位偏差の特性を黒潮の流路変化と関連づけて議論しながら、黒潮本流や分流などの暖水塊の接岸・離岸過程と潮位変動量がどのような関係にあるかを、具体的に資料解析によって検討したものである⁴⁾。

2. 解析方法

伊勢湾周辺海域の潮位変動状況や黒潮の流路変動などのデータを、以下のような手順で解析を行った。

①潮位変動量：図-1に示したように伊勢湾周辺海域（尾鷲～名古屋～御前崎）を、内湾域（名古屋・鳥羽：2地点）と外海域（御前崎・舞阪・赤羽根・尾鷲：4地点）に大別した。これら気象庁管轄および愛知県三河港務所管理の検潮・気象データ（1970～1991年：22年間、赤羽根データのみ1980～1991年：12年間）から、気圧補正を行った潮位変動量を算出し、日・月平均値および年移動平均値を求めた。ここで、気圧補正とは台風などの気圧変化が潮位に及ぼす影響（吸い上げ・押し下げ効果）を除去することである。具体的には、海面気圧1hPaの変動は潮位1cmに対応すると考えて⁵⁾⁶⁾、各地点ごとの相対的な潮位変動量（ η ）を次式で求めた。

$$\eta = (\text{実測潮位} - \text{期間内最低潮位}) + \alpha (\text{海面気圧値} - 1013 \text{ hPa}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\alpha = 1 \text{ cm/hPa}$ である。なお、気圧データには太陽年周期に相当する成分が含まれているが³⁾、これらの成分除去に対する配慮は特に行っておらず、実測気圧値を直接使用して換算することとした。

②潮位偏差：気圧補正された日平均潮位（ $E_m \pm \eta_0$ ）から天文潮位（ E_p ）を差し引いた残差として「潮位偏差」を定義した。天文潮位は、日・半日周潮、倍潮、長周期潮を含めた28分潮の調和定数を用いて推算を行った⁷⁾⁸⁾。潮位偏差量（ $\Delta \eta$ ）は、次式で算出される。

$$\Delta \eta = (E_m \pm \eta_0) - E_p = \eta_w + \eta_k \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 E_m ：実測潮位、 η_0 ：気圧変化による海面変動量、 η_w ：波浪や風による変動量、 η_k ：黒潮による海面変動量と考える。 η_0 は気圧の観測データを用いて式(1)によって除去することができるが、 η_w の除去

* 正会員 国立岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (501-04 岐阜県本巣郡真正町)

** 正会員 日本テトラポッド株式会社 東京支店

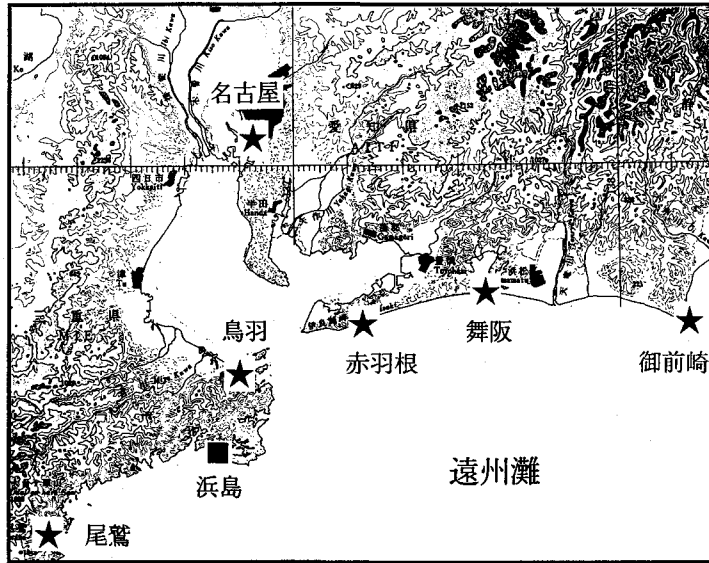


図-1 伊勢湾周辺海域（潮位観測点：★、水温観測点：■）

には η_k との変動の時間スケールの差異に着目し、1時間ごとの観測値ではなく1日平均値の変動を基本とすることにより、黒潮による海面変動量 η_k ($= \Delta \eta$) のみを抽出することとした。なお、山下ら³⁾は、高潮の forerunner の発生原因を明らかにする観点から、 η_w の除去には調和分析により1週間以下の成分を除去することで対処している。

③水温偏差：黒潮の分流などによる暖水塊の接岸時期と水温上昇の対応を調べるために、三重県水産技術センター（三重県志摩郡浜島町、英虞湾入口）内で、毎日定時に測定されている水温データをもとに、対象期間内（1980～1991年：12年間）の日平均水温を求め、その値と実測水温との差の2乗を算出し、その週移動平均値として「水温偏差」を定義した。

④黒潮流路軸変化：海上保安庁水路部発表の海洋速報や愛知県水産試験場の漁況海況予報事業結果報告書に掲載されている海流図などより、同期間における黒潮流路パターンを、type-N（非蛇行）・A（安定した大蛇行）・BおよびC（不安定な中小蛇行）の型に大別した。ただし、海洋速報などにはさらに細かい分類がされているが、マクロ的な流路軸と潮位変動との関係を捉える観点から、3～4種類の典型的なパターンに限定して整理した。なお、流路軸データは2～3週間に1回程度（2回/月）の平均的な流路パターンである。

⑤人工衛星画像データの収集：①～④の解析過程において、潮位偏差や水温偏差が増大する前後の時期における暖水塊の接岸・離岸過程の状況をより詳細に把握するために、既存の人工衛星画像データを収集・整理した。なお、その時期は黒潮が蛇行せず直進していた時期（1986年6月）から黒潮の蛇行が遠州灘沖に定着した後（1987年2月）の期間における計5時点である。

3. 解析結果および考察

(1) 潮位変動量と黒潮流路パターン

伊勢湾周辺海域6地点において気圧補正を行った潮位データの年移動平均値から、その各地点毎の最低潮位を基準に相対的な潮位変動量 (η) を求めたものが図-2である。同図から、6地点ともに全体的な変動の峰・谷の対応状況は一致しているものの、詳細に見るとその絶対値などについては場所によって大きな差異が見られる。舞阪・名古屋・鳥羽・尾鷲の4地点の潮位変動はほぼ同様な傾向を示しており、期間内の最低潮位は1985年8月（名古屋のみ同年11月）に、最高潮位は1975年8月に発生している。一方、御前崎（図中●印）および赤羽根（図中■印）の変動は他に比べて特異である。御前崎の潮位変動は、1970年5～6月に最低潮位を記録してから長期的なトレンドとしては緩やかな上昇傾向にあり、1986年12月に最高潮位が発生している。また、赤羽根の変動は、最低潮位を1984年12月に記録してから最近数年間に2回の最高潮位（1987年1月と1989年11月）に達している。これらの最高潮位に達した変動量は、他の5地点に比べて最大であると同時に、最低潮位が生じてから最高潮位が発生するまでの期間が短く急峻な勾配となっており、何らかの海況変動が生じたことを予感させる。

図-3は、同期間における黒潮流路軸パターン（N・A・B・C型）の経年変化を、代表的な名古屋にお

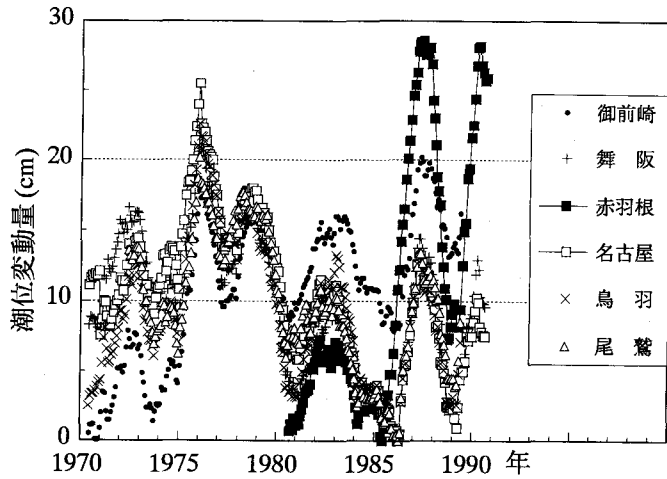


図-2 潮位変動量の経年変化 (年移動平均値)

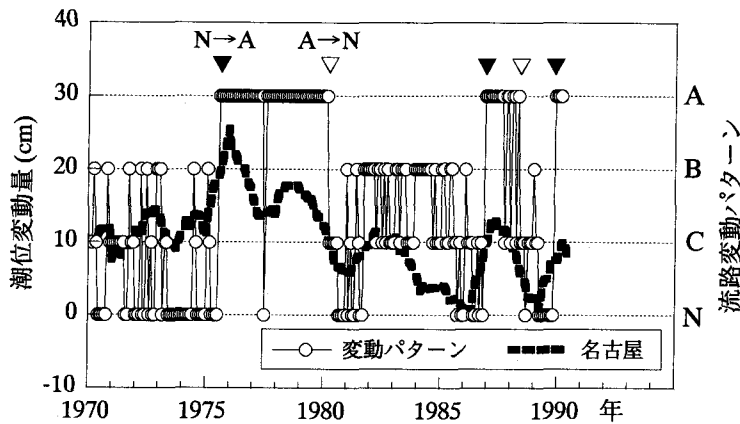


図-3 黒潮流路変動パターン

ける潮位変動量 (図-2 と同一) と重ね合わせて図示したものである。同図から、潮位変動が上昇傾向にある場合 (1975、1986、1989年など) には、黒潮流路パターンがtype N→A、逆に下降傾向となる場合 (1977、1980、1985、1988年など) では、type Aあるいは B→Nのときに潮位変動量の絶対値が顕著に増大する、すなわち異常潮位が発生することがわかる。なお、詳細にみると黒潮流路パターンが type B、C であって、これらが不安定化する際にも異常潮位が発生している。これは、冷水塊と黒潮本流・分流の地衡バランスに起因と考えられるが、黒潮本流が直進していた状態から大蛇行に移行する場合 (type N→A) やその逆の場合に比べてその潮位変動量の絶対値は小さい。これらのことから、異常潮位の発生規模は、黒潮本流やその逆流の接・離岸過程と密接に関係していると考えられる。

(2) 潮位偏差と水温偏差

異常潮位の発生機構は、黒潮の大蛇行 (A型) に伴う大冷水塊周辺の反時計回りの流れ (環流: 低気圧循環) によって、大蛇行せず直進する場合 (N型) と比べると、沿岸に暖水が現れることと西向き of 逆流によって地衡流の原理から沿岸潮位が上昇することなどで説明されている⁹⁾。以下では、外海域で極端な異常潮位が発生した期間 (1985年4月～1991年3月) における赤羽根地点のデータを例にとり、潮位偏差および水温偏差の特性と黒潮流路パターンとの関係を見ていくことにする。図-4 は、赤羽根における潮位偏差の経日変化と三重県志摩郡浜島町 (英虞湾入口) における水温偏差を併記して図示したものである。なお、潮位データには一部欠測を含んでいる。同図から、潮位偏差の変動量が20cmを越える顕著な異常潮位は、1986年11月～1987年3月、1987年11月～1988年5月および1989年11月頃 (欠測期間を含む) ～1990年3月に生じている。その継続期間は長いもので1年以上になる場合もあり、最大変動量は40～50cmにも及んでいる。また、全体的に11～2月の秋から冬にかけて潮位偏差は大きく、5～8月の夏期では小さくなる傾向にある。これは、黒潮流路変動に伴う暖水塊の影響が冬期には相対的に大きく現れることなどが原因と考えられる。図中に併記されている水温偏差が増大する時期 (図中▼印) を見ると、11～2月にかけて大きくなる傾向にあり、潮位偏差が増加する時期

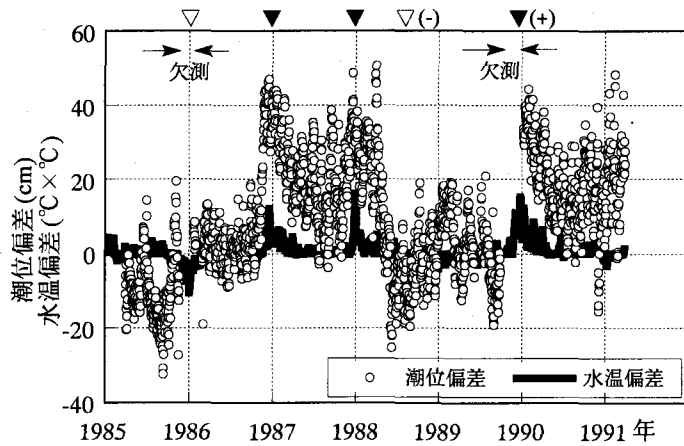


図-4 潮位偏差（赤羽根）と水温偏差（浜島）の時系列

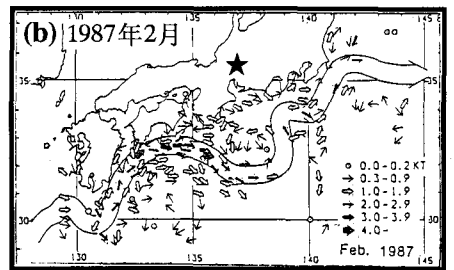
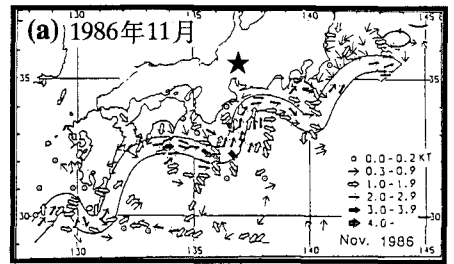


図-5 黒潮流路軸と流速
(海洋速報を修正転記)

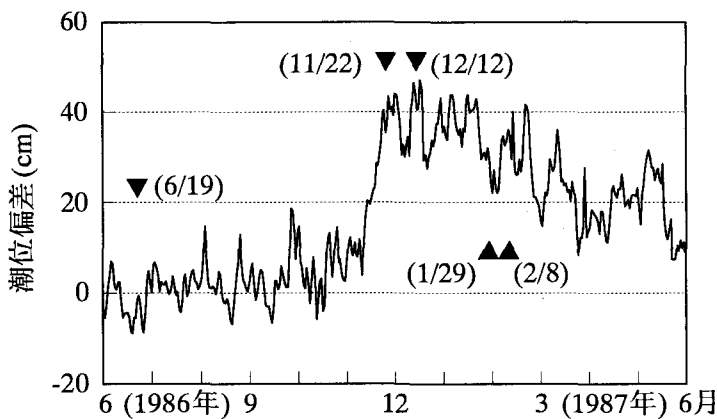


図-6 潮位偏差変化と人工衛星画像データ撮影時刻

とほぼ一致している。すなわち、黒潮流に起源をもつ暖水塊が沿岸に押し寄せる接岸時（非蛇行期から大蛇行が形成される初期段階）に、伊勢湾外海沿岸、特に渥美半島沿岸の潮位偏差は最も増大するといえる。

(3) 黒潮流路の時系列変化

黒潮の流路軸や流速が常に変動していることは周知の通りである。その内でも特に流路軸の位置については多くの調査やモニタリングが行われている。上述した異常潮位が発生する初期段階（1986年11月、翌年2月）の黒潮流路を示したのが、図-5 (a)、(b)である。なお、11月以前は黒潮は蛇行せず直進する経路を辿っていた。同図(a)より、11月には黒潮が大蛇行の初期形成期にあたり、伊勢湾口部付近に黒潮本流の主軸が異常接近していることがうかがえる。この時期は、渥美半島沿岸の赤羽根において潮位偏差が急増した時期とほぼ一致している。翌年2月（同図(b)）には、その主軸は湾口部から大きく離れ、紀伊半島沖と遠州灘沖に大冷水塊が形成される安定した大蛇行期に入っていることがうかがえる。

さらに、人工衛星のカラー画像データ（海面水温分布）の時系列によれば¹⁰⁾、上述の期間前後の黒潮流路は以下のものであった。なお、図-6には、潮位偏差の変動と画像データの撮影日時が対応するように、図-4を拡大して図示されている。1986年6月19日、黒潮は蛇行せず直進していた。その後、同年11月22日、紀伊半島沖を流れていた黒潮が、その主軸を伊勢湾入口に進路を変え北上する（初期蛇行発生期）。そのとき沖合いの海域は暖水塊で覆われつつあった。同年12月12日、紀伊半島から遠州灘沖にかけての広い海域は黒潮を起源にもつ暖水塊でほとんど覆い尽くされた状況であった。翌年（1987年）1月29日、沖合いに生じていた暖水塊の分布は見られなくなり、紀伊半島沖合いから大きく離岸する進路（大蛇行形成期）をとるようになる。同年2月8日、黒潮が大蛇行した内側には大冷水塊が存在して、それらの暖・冷水塊の境界には明瞭なフロントが形成される。紀伊半島から遠州灘沖にかけての水温変動には、季節変動のようなほぼ周期的な成分を除くと、外洋からの暖水塊の接近が大きく寄与していることが知られている¹¹⁾¹²⁾。それによると、たとえば紀伊半島東部海域への黒潮系の暖水塊の接岸には数種類のパターンがあると指摘されており、1986年11月の時点におけ

る暖水塊は黒潮流路軸自体に相当するものであるが、それ以後黒潮の流路は大蛇行を形成して紀伊半島東部より南東方向に離岸している。したがって、同年12月以降の暖水塊は直接的な黒潮流路主軸に伴うものではなく、黒潮から何らかの形で分離し紀伊半島東部へ波及したものであるとの指摘がなされている¹¹⁾¹²⁾。

以上のことと図-6に示された潮位偏差変化の対応関係から、渥美半島沿岸部（赤羽根）に見られた異常潮位は、紀伊半島沖を流れていた黒潮が、その主軸を伊勢湾入口に進路を変え北上した時期とほぼ一致しており、異常潮位の発生は、黒潮の大蛇行が形成される初期の暖水塊接岸時に生じたものと考えられる。さらに、安定した大蛇行が形成された後も、異常潮位が継続した状態となる。

4. おわりに

潮位偏差が増大する異常潮位の発生規模は、黒潮の接・離岸過程と密接に関係していることなど、興味深い点が明らかとなった。通常の高潮観測網には入っていない潮位データから、黒潮流路軸変動に敏感に反応する沿岸域の存在が明らかとなった。今後、他の地点でも潮位偏差の特性を把握し、黒潮流路軸変動に伴う暖水塊の時空間変化を人工衛星データによる画像処理などによって、両者の関係を明らかにしたいと考えている。

最後に、貴重な資料を快く提供して頂いた愛知県三河港務所、同県水産試験場ならびに三重県水産技術センターに対して厚く御礼申し上げます。なお、本研究の遂行に際し、財団法人東海産業技術振興財団、平成4年度研究助成（代表：岐阜高専助教授 和田 清）の補助を受けました。末尾ながら深甚なる謝意を表します。

【参考文献】

- 1)永田 豊・彦坂繁雄・宮崎正衛共著：海洋物理Ⅲ（海洋科学基礎講座3）、第Ⅱ編潮汐第9章、東海大学出版会、pp.234~246、1971.
- 2)寺本俊彦編：海洋物理学Ⅰ（海洋学講座1）、第6章海流の蛇行、東京大学出版会、pp.161~206、1974.
- 3)山下隆男・土屋義人・山本圭介：太平洋沿岸の湾内高潮に及ぼす黒潮の影響、土木学会第43回年次学術講演会概要集、II-289、pp.614~615、1988.
- 4)和田 清・石原安雄・松園昌久：黒潮流路変動に伴う伊勢湾周辺海域の潮位偏差の特性、平成3年度土木学会中部支部研究発表会概要集、pp.257~258、1992.
- 5)寺本俊彦・桜井仁人・松山優治：異常潮位と海況変動、海洋科学別冊11号、pp.245~252、1973.
- 6)庄司大太郎：資料解析による異常潮位、海洋科学別冊11号、pp.262~269、1973.
- 7)土木学会水理委員会編：水理公式集（昭和60年度版）、pp.556~559、1988.
- 8)土木学会水理委員会編：水理公式集例題集（昭和60年度版）、pp.282~284、1988.
- 9)海のはなし編集グループ編：海のはなしⅠ、技報堂出版、pp.57~72、1984.
- 10)日本海洋学会沿岸海洋研究部会編：続・日本全国沿岸海洋誌（総説編・増補編）、第19章日本周辺海域のリモートセンシングについて、東海大学出版会、pp.399~414、1990.
- 11)関根義彦・伊藤 徹・藤田弘一：紀伊半島東部域への暖水の接近について、沿岸海洋研究ノート、第28巻、第2号、pp.174~182、1991.
- 12)木村伸吾・杉本隆成：熊野灘・遠州灘沿岸域への黒潮系暖水の流入過程、水産海洋研究会報、Vol.54、pp.19~31、1990.