

論文題目 Characteristics of variations in current axis and velocity of the Kuroshio around the Tokara Strait

(トカラ海峡周辺における黒潮流軸・流速の変動特性)

氏名 山城 徹

1. はじめに

黒潮は、奄美大島と種子島間のトカラ海峡を通過して東シナ海から本州南岸域にはいり、本州南方では2つの典型的流路、すなわち大蛇行流路と非大蛇行流路を交互にとる(図1)。流量と流速が小さい時には、黒潮は非大蛇行流路をとり、流量と流速が大きい時には、大蛇行と非大蛇行両方の流路をとる。後者の場合、黒潮大蛇行はトカラ海峡の黒潮流軸が北側に変位している時に存在し、その形成と消滅に先駆けてトカラ海峡での流軸が、それぞれ北側と南側に変位していることが、これまでの観測データに基づく研究で明らかになっている。このように、トカラ海峡での黒潮の変動は、日本南岸域での黒潮大蛇行の消長に密接に関係している。

トカラ海峡での黒潮表面流軸の位置は、南西諸島の名瀬・中之島・西之表(図1)の潮位データを使った Kuroshio Position Index (KPI) と呼ばれる指標でモニターできる。しかし、実際には験潮所の基準高度が測定されていないので潮位の絶対値はわからず、潮位の長期間の平均値を適当に仮定して KPI を計算してきた。また、過去の研究では、月平均潮位値が使われており、時間的に粗い使い方しかされていない。そこで、第2章では、日平均潮位データを使って KPI の特性を調べ、最良の KPI を求めた。さらに、その KPI を用いてトカラ海峡での黒潮流軸の南北変動と大蛇行との関係を詳しく調べた。

トカラ海峡での黒潮は、流軸の緯度変化だけでなく、流軸の形状、すなわち正弦曲線のような波形をとる蛇行の形状も、下流の日本南岸域での黒潮流路に大きく影響すると考えられる。事実、その波形の曲率がある程度大きくなると本州南岸で大蛇行流路にはならず、大蛇行流路をとるにはトカラ海峡での流路の曲率が小さくないといけないことが、モデル研究で示されている。そこ

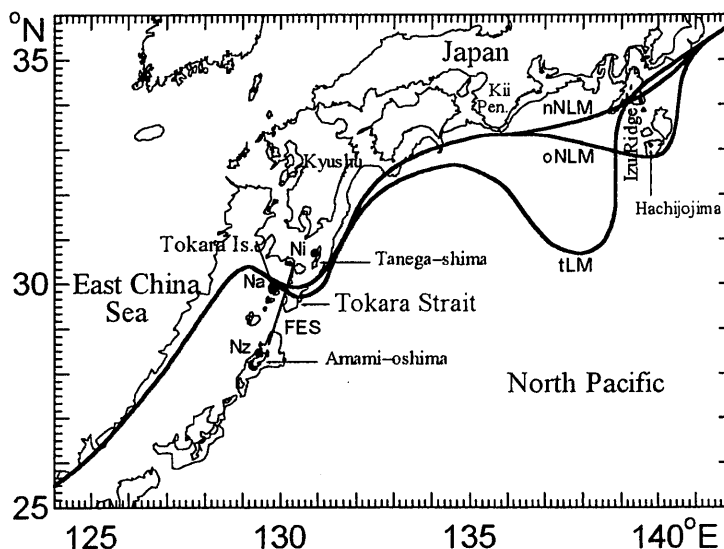


図1. 黒潮の代表的流路と潮位測点。tLM: 典型的の大蛇行流路, nNLM: 非大蛇行接岸流路, oNLM: 非大蛇行離岸流路, Nz: 名瀬, Na: 中之島, Ni: 西之表。細線は500m等深線。

で、第3章では、我が国の現業官庁によって取られてきた水温データと第2章での KPI を使って、トカラ海峡周辺での黒潮表面流軸を作図し、その形状の特徴(波形の振幅や波長、曲率など)を調べ、大蛇行・非大蛇行流路に対応して特徴の異なることを明らかにした。

黒潮の変動は深さで異なる可能性があるので、海面流軸だけでなく亜表層の流軸・流速の変動特性を調べることも重要である。そのため、トカラ海峡中央に係留系を設置し、深さ 360m と 560m で水温と流速の連続測定を行った。第4章ではそれらの時系列を解析し、水温・流速変動の特性を調べ、KPI から見積った黒潮表面流軸の南北変動との関係を明らかにした。

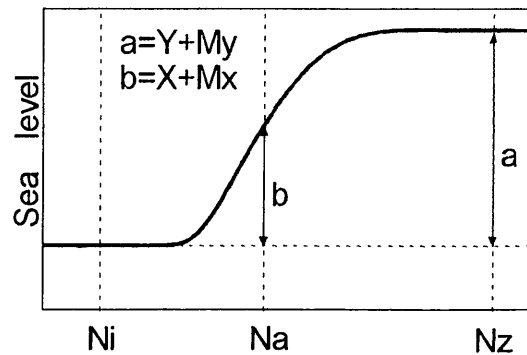


図2. トカラ海峡を南北に横切った時の潮位の断面。a: 名瀬—西之表の潮位差, b: 中之島—西之表の潮位差. Nz: 名瀬, Na: 中之島, Ni: 西之表。

2. トカラ海峡での黒潮流軸位置の南北変化

トカラ海峡における黒潮表面流軸の位置の指標 KPI は

$$KPI = b/a = (X + Mx)/(Y + My) \quad (1)$$

で定義される。ここで、a は名瀬—西之表の潮位差 (図2の a), b は中之島—西之表の潮位差 (図2の b) であり、Mx と My は中之島—西之表と名瀬—西之表の潮位差の長期間平均、X と Y はその長期間平均からの偏差である。黒潮表面流軸の位置は、指標水温(200m 深 17.2°C)を使って決定できる。1984-91年の FES 線(図1)での水温資料から見積った流軸位置と日平均潮位データを使って計算した KPI との相関係数が、(1)式の Mx と My の取り方によってどのように変わるかを調べた。その結果、My の現実的な範囲(60cm ≤ My ≤ 140cm)では Mx/My=0.83 の時に相関係数が最も高く、Mx=83cm, My=100cm とすれば、流軸位置を最も良く表現できることがわかった。そこで、

$$KPI = (X + 83\text{cm}) / (Y + 100\text{cm})$$

を新たに KPI と定義した。

この KPI による FES 線での黒潮流軸緯度(Z°N)の回帰式は

$$Z = 1.8165 \times KPI + 28.389 \quad (2)$$

であり、これを使って毎日の黒潮表面流軸の緯度を見積ることができる。こうして計算された1984-92年の黒潮表面流軸の緯度が図3である。黒潮の流軸は、29.29°N と 30.52°N の間に存在し、平均緯度は 29.9°N である。この時系列から以下のことがわかった。

(1) トカラ海峡の黒潮流軸は、1985年2月、1986年11月、1989年10月の大蛇行の形成に、それぞれ4か月、3.2か月、2.6か月先行して平均緯度より北に変位した。すなわち、トカラ海峡で黒潮が北方に変位して平均3.3か月後に、黒潮大蛇行が形成されている。

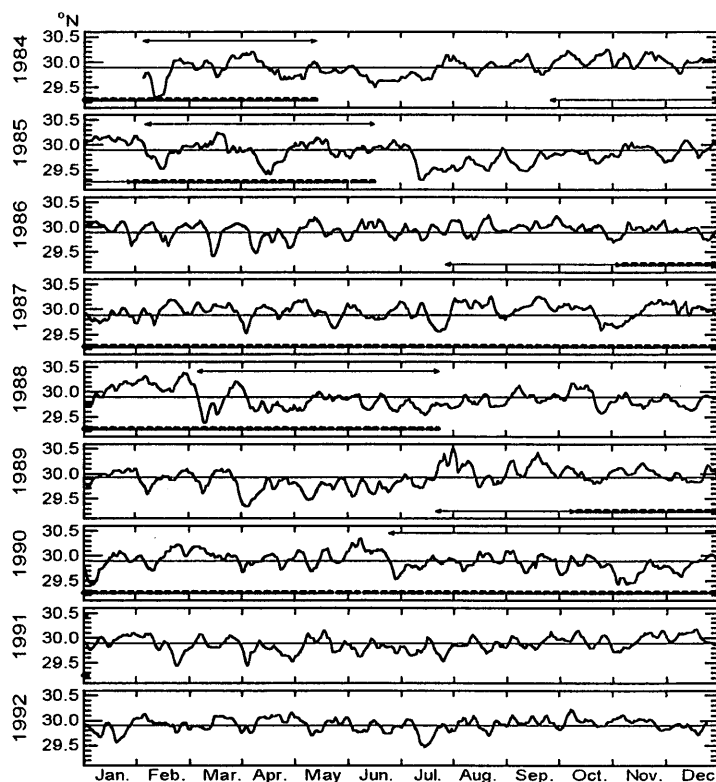


図3. KPI から求めた FES 線での黒潮表面流軸の緯度変化。細線は平均緯度(29.9°N), 点線は大蛇行期を示す。時系列の下の方印は大蛇行形成期, 上の方印は大蛇行消滅期を示す。

- (2) 黒潮流軸が北側に移動する時期は、九州南東に発生した黒潮小蛇行と呼ばれる流路の擾乱が東向きに伝播し始める時期に一致している。
- (3) トカラ海峡の黒潮流軸は、1985年6月、1988年7月、1991年1月の大蛇行の消滅に、それぞれ4.4か月、4.5か月、6.3か月先行して平均緯度より南に変位した。すなわち、トカラ海峡で黒潮が南方に変位して平均5.1か月後に、黒潮大蛇行が消滅している。
- (4) トカラ海峡の黒潮流軸は、大蛇行期間は比較的安定して北側に位置しているが、10~20日程度の期間南側に変位することもある。この程度の期間の南方変位は、大蛇行の消滅に関係しない。

3. 九州南方での黒潮流軸の形状変化

海上保安庁第十管区海上保安本部、気象庁長崎海洋气象台、鹿児島県水産試験場が年4回行っている定線(定域)観測等による水温データを使い、KPIによるFES線での黒潮流軸位置を参考にして引いた200m深17°C等温線から、1964-95年の黒潮表面流軸114本を作図し、トカラ海峡周辺での黒潮表面流軸の特徴を明らかにした。

黒潮はトカラ群島の西側で時計回り、東側で反時計回りに蛇行し、正弦曲線の1波長のような形状をとる。そして、その波形の振幅によって、振幅小、振幅中、振幅大の3つのカテゴリーに分けることができる。大蛇行期には振幅小、非大蛇行期には振幅中が5割以上を占め(図4)、流軸の波形の振幅は、平均して大蛇行期の方が非大蛇行期よりも小さい。そのため、流路の曲率は大蛇行期の方が非大蛇行期よりも小さく、過去のモデル研究による結論を支持した。非大蛇行期の振幅中と振幅大の黒潮流軸の分布は、種子島南東で大きく分散している。大きく離岸した流路は、小蛇行と呼ばれる流路の擾乱によるものである。

大蛇行期の平均流軸は、非大蛇行期の平均流軸よりも全域で北側に位置し、その差はトカラ群島の西側で小さく、東側で大きい(図5)。トカラ群島東方での流軸の最南点緯度は、大蛇行期と非大蛇行期で明らかに異なり、その差は95%の統計的有意性をもつ。

過去の研究によると、大蛇行は黒潮の流量が23.6 Sv以下の時には起きておらず、非大蛇行流路はこの流量より大きい時にも小さい時にも存在する。そこで、非大蛇行期の流軸形状を23.6 Svよりも大きい時と小さい時に分けて比べたところ、黒潮流軸の波形の振幅、曲率、位置のいずれもがほぼ同じであることがわかった。つまり、非大蛇行期のトカラ海峡周辺での黒潮流軸の形状は、流量の大小によって変わらない。

黒潮大蛇行の形成期と消滅期については、事例が少なく有意性に問題はあっても、次のような傾向がみられる。すなわち、大蛇行形成期にはトカラ海峡での黒潮流軸の波形の振幅小、中、大が同じ割合で存在するのに対し、消滅期には振幅大が6割以上を占め、振幅小は存在しない。1回ごとの大蛇行の形成と消滅に対してトカラ海峡での流軸変動を追いかけると、形成期にはトカラ群島の西方で流路の変化が小さく、東方で小蛇行に伴う変動が卓越する。消滅期には九州南東と東方で流路が安定して接岸するという特徴がある。

4. トカラ海峡表層下での流速・水温変化

1990年12月から1991年6月までの7か月間、FES線の西約14kmの点(29.52°N, 129.85°E)の深さ360mと560mで水温と流速を測定した。

水温変動は、(2)式から計算した黒潮流軸の南北変動と非常に相関が高く、360m深の水温は相関係数0.86で位相は2日早く、560m深は0.71で3日早い。つまり、垂表層の水温場が南北に変位してから数日遅れで黒潮の表面流軸が変位している。これは、トカラ海峡での黒潮流軸の南北変動は深いほど早く起きており、560m深では海面流軸より3日早く移動し始めていることを示している。

測流データの流向は深さで大きく異なる。360m深では東南東向きと北北西向きが卓越するのに対し、560m深では南向きが卓越する。垂表層の流速変動は黒潮表面流軸の位置と相関が高く、表面流軸が測流地点に最も近づく数日前に極大をとる。流軸変動の位相が深いほど早いことも、この一因として考えられる。

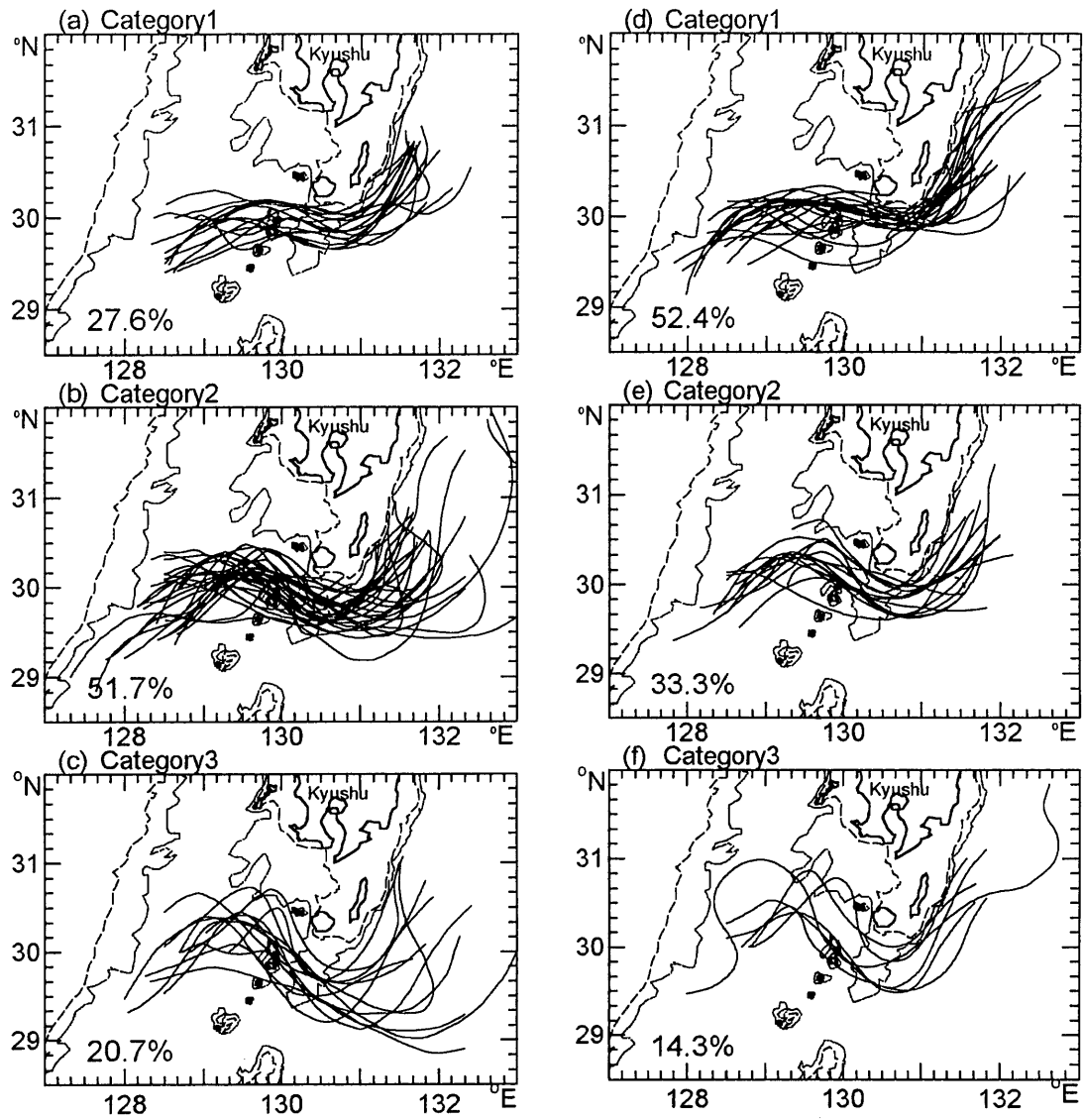


図4. 非大蛇行期 (a, b, c) と大蛇行期 (d, e, f) のカテゴリー毎の黒潮流軸。カテゴリー1, 2, 3は, それぞれ黒潮流軸波形の振幅小, 中, 大に当たる。図中の%は, 大蛇行・非大蛇行それぞれの期間での出現の割合を示す。

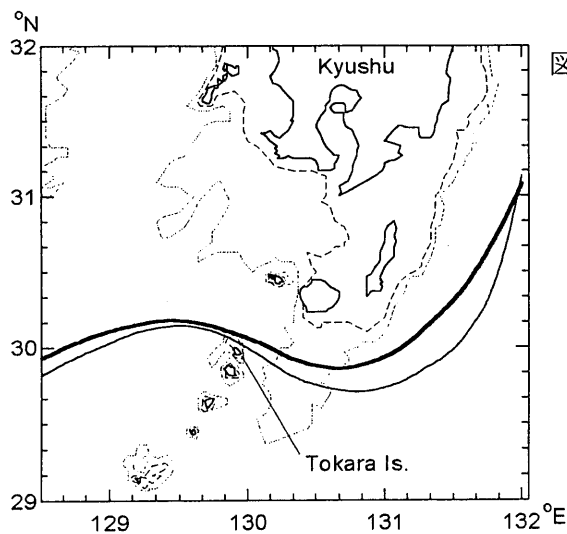


図5. 大蛇行期 (太線) と非大蛇行期 (細線) での黒潮の平均流軸。