# ARMOR3Dを用いた黒潮と切離中規模渦の 相互作用および海洋構造変化に関する研究

岡田信瑛<sup>1</sup>·内山雄介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社タクマ(〒660-0806 兵庫県尼崎市金楽寺町2-2-33)
E-mail: n-okada@takuma.co.jp
<sup>2</sup>正会員 神戸大学教授大学院工学研究科市民工学専攻(〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)
E-mail: uchiyama@harbor.kobe-u.ac.jp

1993~2017年の25年分の全球3次元海洋診断データARMOR3Dに対してwinding angle法に基づく渦抽出・ 追跡アルゴリズムを適用し、日本沿岸の黒潮域周辺における切離中規模渦の挙動を解析した.黒潮流軸と 渦の距離や相対渦度履歴を用いて、黒潮続流から切離する中規模渦およびその後黒潮に再衝突する渦を自 動抽出することに成功した.切離渦の発生に対しては北太平洋規模の中期的な気候モードに対応した黒潮 続流の強度や安定性の影響を強く受けること、Rossby波として西方伝播した切離渦は、黒潮に再衝突した 際には黒潮流軸に作用し、沿岸域を含む広範囲で海洋構造を変化させることなどが示された.

Key Words : mesoscale pinch-off eddy, Kuroshio Extension, ARMOR3D, eddy detection/tracking

## 1. はじめに

海洋には黒潮などの強い海流の周辺を中心に,直径 100~300 kmの中規模渦(メソスケール渦)が多数偏在 している.中規模渦は,その強い水平拡散作用や鉛直混 合作用を通じて,地球規模の熱塩循環,運動量輸送・交 換,栄養塩や CO<sub>2</sub> などの広域的な物質循環や海洋生態 系の消長に対して極めて重要な役割を果たしており,そ れによって引き起こされる海洋構造変動は気候変動に対 しても影響を与える<sup>1)</sup>だけではなく,広域環境変化の結 果として沿岸環境にも多大な影響を与えている.

黒潮は亜熱帯域からの熱や物質の輸送を通じて我が国 の沿岸環境の形成に強く関与しているが<sup>2)</sup>、その流路は 中規模渦の衝突等に伴って蛇行モードに遷移することが 知られている<sup>3)</sup>.黒潮続流から切り離されるようにして 発生する切離渦は、黒潮由来の強い渦度を持つことから、 黒潮に再衝突した際に海洋構造に強く作用することが予 想される. 図-1 は、2010 年夏から秋にかけて黒潮続流 域で発生した切離渦の発生と黒潮への再衝突が生じた事 例を示している. 7/23 頃に黒潮続流南部の 33°N・145℃ 付近で強い低気圧性(正の相対渦度、反時計回り)の切 離渦が発生し、それが時間の経過とともに Rossby 波と してゆっくりと西方伝播している. 10/22 から 11/5 にか けて 34°N・142℃ 付近で黒潮に再衝突するとともに、 11/26 にかけて房総半島東部における黒潮続流の流向を 平均的に東向きから北向きに変化させ,黒潮流路が緯度 方向に大きく蛇行し始めた様子が示されている. このよ

うな黒潮の蛇行が沿岸環境に与える影響は極めて大きく, その原因の一つとなる切離渦の挙動を知ることは,地球 科学的に興味深いだけではなく,沿岸環境をマネジメン トする土木工学的な観点からも重要な課題である.

黒潮続流の南北では水温・栄養塩等の分布が大きく異 なるが 4, 切離渦は北側(南側)の水塊を南側(北側) へ輸送・混合させる働きをもつことが知られており、黒 潮切離渦の挙動とその影響を評価することは沿岸環境や 水産業への影響を考えるにあたり重要である。具体的に 切離渦を追跡し、解析を行った事例解析的な先行研究は 散見されるものの, Eddy Detection Algorithm (以下, アル ゴリズムと呼称)を用いて長期間のデータから切離渦を 抽出して、その統計的特性や沿岸影響について包括的に 解析された研究は行われていない. そこで本研究では, 黒潮および黒潮続流域周辺における切離中規模渦の挙動 を長期的に評価することを目的とし、人工衛星と観測デ ータから推定された流速,密度を含む ARMOR3D 全球 3 次元診断データ(次章参照)に対してアルゴリズムを適 用し、1993~2017年の25年間の解析を行う.黒潮切離 中規模渦の発生伝播特性を精査し、さらに切離渦が黒潮 との再衝突などを通じて引き起こす沿岸環境変動の実態 について実証的に解析する.

## 2. 解析方法

## (1) 3次元海洋構造診断データセットARMOR3D

今回用いた ARMOR3D は, French Operational Oceanography Mercator Ocean Project の一環として人工衛星リモート



図-1 黒潮続流域で発生した切離渦が再衝突する事例(2010年夏秋季).カラーは表層無次元相対渦度 V。ベクトルは表層地 衡流(凡例は各図の左上参照),緑線は黒潮流軸を示す.



図-2 ARMOR3Dにおける3次元水温T・塩分S推定方法の概要(左)および表層流速u,推定方法の概要(右).

センシング,観測データ,全球気象再解析値 ERA Interim から診断的に作成された 3 次元流速・密度データセ ットである<sup>5,6</sup>. 全球に対して水平 1/4 度,鉛直方向に海 表面から水深 5,500 m までを 33 層にグリッド化された 1 週間平均値・1 ヶ月平均値データとして配布されている

(http://resources.marine.copernicus.eu/?option=com\_csw&view=d etails&product\_id=MULTIOBS\_GLO\_PHY\_REP\_015\_002, 6/27/2019 確認済) .

ARMOR3D では、衛星データに海面高度偏差(SLA), 海面表層水温(SST)の2種類を、観測データにはCTD, XBT, Argo フロート等による水温・塩分の鉛直プロファ イル観測値を、さらに ERA Interim による海面風応力と 気圧再解析値を利用している.診断手順の概要は以下の とおりである.まず、以下のような経験式を考え、衛星 による SLA および SST と、離散的に得られる水温 T・ 塩分 Sの観測値に対して重回帰分析を行い、重回帰係数  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  を水深 z の関数として求めておき、衛星データ による SLA, SST から T, Sの鉛直分布を推定する.

 $T(z) = \alpha(z)SLA + \beta(z)SST + T_{clim}$  $S(z) = \gamma(z)SLA + S_{clim}$ 

ここに *T<sub>clim</sub>*, *S<sub>clim</sub>* は月平均気候値である. さらに観測に よる *T*, *S* 実測値を最適内挿法により 3 次元グリッドデ ータ化したものと、上記の衛星推定値をブレンドし、状態方程式に代入して最終的な3次元密度場 $\rho(x, y, z)$ を求める(図-2 左). このような推定法は比較的一般的な手法であり、例えば Uchiyama ら<sup>n</sup>でも行われている.

3 次元流速場については、まず以下のような地衡流近 似運動方程式を用いて、衛星海面高度(SSH)から表層 水平地衡流速ベクトルugを求める.

#### $f \times \mathbf{u}_{g} = -g \nabla_{H} \eta$

ここに、f: コリオリパラメータ、g: 重力加速度、  $\nabla_{H} = (\partial_{x}, \partial_{y})$ : 水平空間偏微分演算子、 $\eta$ : SSH である. さらに、ERA Interim による海上風応力と海面気圧再解 析値から、表層エクマン流速 **u**<sub>E</sub>を求める.

$$f \times \mathbf{u}_E = -\frac{1}{\rho_0} \nabla_H p + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \tau}{\partial z}$$

ここに、 $\rho_0$ :海水の代表密度、 $\tau$ :風応力(表面下では 内部応力)ベクトル、p:海面気圧である.ただし、実際にはエクマン成分  $\mathbf{u}_E$ は(十分に薄い)表層エクマン 境界層内で鉛直平均した値を用いる.したがって、最終的な海表面流速  $\mathbf{u}_s(x, y, z=0)$ は地衡流成分とエクマン成 分の和として  $\mathbf{u}_s = \mathbf{u}_e + \mathbf{u}_E$ で求められる(図-2 右).

最後に、予め推定された3次元密度分布ρを用いて、 温度風平衡式によって表層流 us を基準として下層の流



図-3 1993年1月~2017年12月の約25年間に発生した生涯渦 度(表層無次元相対渦度<sub>5</sub>)絶対値が0.15以上の切離中規模 渦の軌跡.丸印が始点,星印が終点,青:低気圧性渦 (<sub>5</sub>>0),赤:高気圧性渦(<sub>5</sub><0),緑線:25年間の黒潮流 軸の平均位置.

速を計算することで,最終的な3次元流速分布**u**(*x*, *y*, *z*) =(*u*, *v*)を評価する.

$$u|_{z=z_{i}} = u|_{z=o} + \frac{g}{\rho f} \int_{z=z_{i}}^{z=0} \frac{\partial}{\partial y} \rho(z) dz$$
$$v|_{z=z_{i}} = v|_{z=o} - \frac{g}{\rho f} \int_{z=z_{i}}^{z=0} \frac{\partial}{\partial x} \rho(z) dz$$

ここに i は任意に設定された離散的な鉛直層番号を表す.

Lamicol ら<sup>8</sup> は ARMOR3D による 3 次元の u, T, S 診 断値の推定精度について, 観測データとの比較を通じた 定量的な検証を行った. その結果,海洋内部の T 推定に ついては SSH のみを用いる方法よりも 25%程度の精度 向上が見られること, S についても T と同程度の精度が 確保されていること, SSH のみから推定される表層地衡 流速と比べてエクマン流を考慮することにより 5%程度 の流速推定精度向上が得られることなどを示している.

### (2) 中規模渦の抽出・追跡方法

以上のように診断された3次元水平流速 u (本研究で は u<sub>s</sub>)を用いて中規模渦を抽出する.一般的に渦抽出 には,大別して流体の変形速度に基づく力学的な方法と, 局所的な流速分布の形状に基づく幾何学的な方法の2つ が広く用いられている.前者では,u に対してstrainと渦 度を組み合わせた,いわゆるOkubo-Weiss parameter Qを用 い,適当な閾値によって渦を同定する<sup>9</sup>.一方,後者で は,表層流速の空間分布をもとにwinding angle法(以下, WA法)と呼ばれるアルゴリズム<sup>10</sup>によって幾何的に渦 の位置を同定する. Chaigneauら<sup>11)</sup>はこれらの二つの手法 の精度を比較し,Qを用いる方法よりもWA法の方がよ り高精度に渦の位置を抽出できることを報告している. そのため,本研究ではWA法に基づくNencioliら<sup>10</sup>の渦抽 出・追跡法を用いて中規模渦を解析することとする.

Nencioliら<sup>10</sup>の方法では、まず、有限領域内の水平流速場において、流速が最小でかつ周囲の流速ベクトルが閉じている点を渦の中心座標と定義する.これを海域全体

表-1 黒潮切離中規模渦の経度帯別の発生数.

	<134°E	134°E-140°E	>140°E
$V_e > 0$	16	29	111
$V_e < 0$	4	6	42



に対して行い,全ての中規模渦を抽出する.この中心座 標に対する有限の相対座標系における流線関数を求め, 円形に閉じた流線を探索するWA法を用いて渦の境界を 決定する.最後に,2つの連続する時間に存在する互い に最も近接する渦を検索することで,移動する渦の追跡 を行う.アルゴリズムのさらなる詳細や,各種パラメー タの経験的な決定方法などについては,AVISOによる衛 星海面高度データを用いて北太平洋全域における中規模 渦の解析を行った先行研究<sup>12,13</sup>を参照されたい.

#### (3) 黒潮流軸の定義

切離渦の起源である黒潮流軸の定義を行う. 黒潮はそ の通過海域において局所的に最も強い表層流速を有して おり、地衡流平衡の関係から SSH 空間勾配もまた局所 極大値を取るため、それらのいずれかを用いて定義され ることが多い.本研究では九州から東北にかけた日本沿 岸太平洋側海域を対象とするため、黒潮は南西から北東 方向へ一方向的に流れている. そこで, 表層流速 u, を 用いて経度方向格子点ごとに緯度方向の us の最大値を 求め、それらの位置を東西に連結したものを黒潮流軸と 定義した.しかしながら、強い流速を伴う中規模渦が検 査領域内に存在すると流路推定を誤り, スパイクノイズ 状に流軸が途切れることが確認された. そこで、流軸の 緯度方向位置の標準偏差σを用い、1ループ目は3σ、そ れ以降は σ を閾値とした再帰的なノイズ検出・除去を 行った.検出された異常値は経度方向の線形補間値に置 換し、顕著なノイズを全て除去した. 図-3 の緑線は 25 年間の黒潮流路の平均位置を示している.

#### (4) 切離渦の定義・抽出・追跡方法

切離渦とそれ以外の渦の最適な判別方法については、 以下のように試行錯誤的に検討した.まず、検出された 中規模渦と黒潮流軸までの最短水平距離  $D_e$ および渦中 心位置での表層無次元相対渦度  $V_e$  (=( $\nabla_{H} \times u_{s}$ )/f;以下で



図-5 抽出された切離中規模渦の生存期間別の全軌跡.丸:渦の始点,星:終点.左列:低気圧性渦,右列:高気圧性渦.

は簡単のため単に渦度と呼ぶ)を判別パラメータに選ん だ.  $D_e \ge V_e を複数パターン組み合わせて切離渦の自動$ 判別を行い,一定期間内の目視観察結果と比較すること で,最適な  $D_e \ge V_e$ の組み合わせを決定した.黒潮の流 路幅は続流域では約 150 km であり,アルゴリズムによ る続流域における中規模渦の平均半径は 60~80 km<sup>12,13</sup>, 目視観察による切離渦の平均半径も同程度であったので,  $D_e > \sim 150 \text{ km}$  が必要条件となる.  $D_e \ge 150 \text{ km}$  から徐々に 増加させた感度実験を行ったところ,  $D_e \ge 300 \text{ km}$  では黒 潮を起源とせずに Rossby 波的に西進して続流に接近し てくる中規模渦が自動除去しきれないことなどが判明し た.最終的には,  $D_e \ge 200 \text{ km}$  となった黒潮起源渦を切離 渦と定義することとした.また,中規模渦がその概形や 渦度を失って消滅するときに $D_e \le 300 \text{ km}$ であった場合 は,黒潮への再衝突が生じたと判定した.

切離渦は、切離直後は黒潮起源の強い渦度を保持しているが、黒潮由来の特徴は時間とともに失われ、通常の中規模渦として振る舞うようになる。切離渦の挙動を解析するためには、発生した切離渦が消滅するまでの渦の執跡や、渦度の変化などを適切に追跡する必要がある。本研究では25年分の個別渦追跡データを用いて、切離渦発生時の渦度や、発生から消滅するまでの渦度(生涯渦度と呼称)に着目して最適な切離渦の自動追跡方法について検討した。感度実験の結果、Veによる切離渦追跡条件としては、発生から消滅までの生涯渦度絶対値|Vel>

0.15を用いることが最適であると判断された.

# 3. 切離中規模渦の発生伝播特性

### (1) 発生頻度分布

図-3 は上記の方法によって抽出された 25 年間で発生 した全ての切離中規模渦の追跡結果をまとめたものであ る.黒潮北側に高気圧性渦(Ve < 0)が、南側では低気 圧性渦(V<sub>2</sub>>0)が卓越し、切離後は時間の経過ととも に西進渦となるなどの切離渦の代表的な特徴が見て取れ る. AVISO 衛星海面高度データを用いた中規模渦解析 結果によれば<sup>13)</sup>,北太平洋全域では低気圧性渦が高気圧 渦よりも 12.1%ほど多いことが分かっている. 今回の ARMOR3D を用いた黒潮周辺海域での切離渦抽出結果か ら, 高気圧性渦に比べて低気圧性渦は約3倍もの頻度で 発生しており、黒潮続流域(東経 140 度以東)では 2.64 倍となっている(表-1).季節別の発生数については, 低気圧性渦については夏・秋に発生数が増加し、冬に現 象しているのに対し、高気圧性渦には季節差はあまりな い(図4).本海域では、冬春の寒冷期の海面冷却によ って Ertel 渦位が負値を取って対称不安定・傾圧不安定 が促進され、サブメソスケール乱流が強化される<sup>14)</sup>. そ れに伴って混合が促進され、寒冷期に黒潮フロント強度 や低気圧性中規模渦が弱化した可能性が高い.

### (2) 伝播特性

図-5は、生存期間別の切離渦の軌跡を示している.切



図-6 不安定期第一期(term 1,実線)と第二期(term 2,破線)に発生した切離中規模渦の無次元相対渦度平均値の経度分布.青線が低気圧性渦,赤線が高気圧性渦を示す.

離渦の寿命は20週以下程度のものが多かった.低気圧性 渦に関しては、短命の渦は伝播方向が不規則であるが、 生存期間が長くなるにつれて西方へ安定して伝播してい くこと、また伝播に伴い軌跡が緯度方向に偏向する傾向 があることが分かる.高気圧性渦に関しては検出数が少 ないが、伝播方向は総じて不規則であるものの、平均的 には西進する.寿命31週以上の高気圧性渦は1つだけ検 出されたが、101週間もの長きにわたって生存し、東北 沿岸を北上して北海道歯舞群島周辺で消滅している.

#### (3) 切離渦の発生原因

黒潮続流は、流路が比較的安定していて直線的に流れ る安定期と、流路が安定せずに蛇行を繰り返しながら流 れる不安定期の間を数年周期で遷移していることが報告 されている<sup>15</sup>. 2つの動的状態間の遷移は、太平洋十年 規模振動 (PDO) や、太平洋北東部と南西部で逆符号の 偏差となるパターンであるNorth Pacific Gyre Oscillation (NPGO) に関連した、北太平洋東部の海盆規模の風応 力カール強制によって引き起こされていると考えられて いる<sup>15</sup>. 流路安定期には黒潮続流からの切離渦数が少な く、黒潮続流は強い状態で北寄りを流れる傾向がある. 一方、不安定期には切離渦数が増加し、続流は弱い状態 で南寄りを流れる傾向がある. 直近の不安定期としては、 1996年から2001年までの6年間と2006年から2009年までの 4年間が挙げられる.

図-6は、切離渦発生時の平均渦度の経度方向分布を示 している.144℃付近の伊豆小笠原海嶺付近で発生した 切離渦が最も強い渦度を持つことや、続流下流方向ほど 発生渦度が弱化することが分かる.黒潮続流軸が蛇行を 繰り返す時期である不安定期における切離渦に着目して 発生渦度分布を分離したところ、1996-2001年の不安定 期(第一期)は、144~150℃における低気圧性渦の発生 数の増加が見られた.一方で、2006-2009年の不安定期 (第二期)については安定期との明確な違いは見られず、 この経度帯における発生切離渦の渦度は,第一期,第二 期,安定期の順に大きくなっていた.またここでは示さ ないが,黒潮流軸に再衝突した切離渦はその70%以上が 不安定期に発生していたことなどが判明した.つまり, 北太平洋スケールの中期気候モードに関連した黒潮続流 の強弱に伴う流路の安定度が切離渦の発生に多大な影響 を与えていることが強く示唆される.

#### 4. 黒潮への再衝突と沿岸環境への影響

黒潮続流から発生し,西方に伝播したあと黒潮流路に 再衝突する切離渦を抽出したところ,25年間で19回の再 衝突事例が確認された.それらの多くは再衝突後に黒潮 流路変動を惹起し,それに伴って沿岸域に強い影響を与 えていた.冒頭に示した図-1はその一例であり,再衝突 によって144°E付近で黒潮流軸が北上し,その結果,東 北沿岸の水温,塩分を著しく上昇させたことが確認でき る(図-7).紙面の都合上,逐一図示しないが,他にも 切離渦が他の中規模渦や黒潮に作用して海洋構造変化が 励起された事例が複数確認できた.切離渦の寿命が短く, 強い渦度を保持したまま衝突したほうが流路変動や海洋 構造変化により強く寄与することなどが確認された.

#### 5. おわりに

本研究では、1993~2017年の25年分の全球3次元海洋 診断データARMOR3Dに対してwinding angle法に基づく渦 抽出・追跡アルゴリズムを適用し、黒潮流路と渦の距離 や渦度情報を用いて黒潮から切離した中規模渦(切離 渦)、および黒潮に再衝突した切離渦を抽出することに 成功した.切離渦の発生に対しては海嶺地形や黒潮続流 の安定性などの影響を強く受けること、Rossby波として 西方伝播した切離渦は、黒潮に再衝突した際には黒潮流 軸や他の中規模渦に作用し、沿岸域を含む広範囲で海洋 構造を変化させることなどが示された.

**謝辞**:本研究は科学研究費(15KK0207, 18H03798)の 援助を受けた.また,中国NUISTのY.Liu博士,C.Dong 教授には渦抽出・追跡法のプログラムを提供いただいた.

#### 参考文献

- Nencioli, F., Dong, C., Dickey T., Washburn, L. and McWilliams, J.C.: A vector geometry-based eddy detection algorithm and its application to a high-resolution numerical model product and high-frequency radar surface velocities in the Southern California Bight, J. Atmos. Ocean. Tech., Vol. 27, pp. 564-579, 2010.
- Uchiyama, Y., Odani, S., Kashima, M., Kamidaira, Y. and Mitarai, S.: Influences of the Kuroshio on interisland remote connectivity of corals across the Nansei Archipelago in the East China Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, Vol. 123, pp. 9245-9265, 2018.
- Usui, N., Tsujino, H., Nakano, H. and Fujii, Y.: Formation process of the Kuroshio large meander in 2004, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, C08047, 2008.



図-7 図-1 に示した切離渦の黒潮への再衝突事例における海洋構造変化.衝突前後の表層水温(左),表層塩分(右)の変化の分布であり、それぞれ衝突後から衝突前の値を差し引いた値を示している.

- Uchiyama, Y., Suzue, Y. and Yamazaki, H.: Eddy-driven nutrient transport and associated upper-ocean primary production along the Kuroshio, *J. Geophys. Res. Oceans*, Vol. 122, pp. 5,046–5,062, 2017.
- Mulet, S., Rio, M.-H., Mignot, A., Guinehut, S., and Morrow, R.: A new estimate of the global 3D geostrophic ocean circulation based on satellite data and in-situ measurements. *Deep-Sea Res. Part II*, Vol. 77-80, pp. 70–81, 2012.
- Guinehut, S., A. L. Dhomps, G. Larnicol, and P. Y. Le Traon. High resolution 3-D temperature and salinity elds derived from in situ and satellite observations. *Ocean Sci.*, Vol. 8, Vo. 5, pp. 845-857, 2012.
- Uchiyama, Y., Kanki, R., Takano, A., Yamazaki, H. and Miyazawa, Y. Mesoscale reproducibility in regional ocean modeling with a 3-D stratification estimate based on Aviso-Argo data, *Atmosphere-Ocean*, Vol. 56, No. 4, pp. 212-229, 2018.
- Lamicol, G., Guinehut, S., Rio, M.H., Drevillon, M., Faugere, Y., and Nicolas, G.: The Global observed ocean products of the French Mercator project. In: *Proceedings of the Symposium on 15 Years of Progress in Radar Altimetry*, 13–18 March 2006, Venice, Italy, 2006.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Samelson, R. M. and de Szoeke, R. A.: Global observations of large oceanic eddies, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 34, L15606, 2007.
- 10) Sadarjoen, I. A., and Post, F. H. : Detection, quantification,

and tracking of vortices using streamline geometry, *Comput. Graphics*, Vol. 24, pp. 333-341, 2010.

- Chaigneau, A., Gizolme, A. and Grados, C.: Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns, *Progress in Oceanogr.*, Vol. 79, pp. 106-119, 2008.
- 12) Liu, Y., Dong, C., Guan, Y., Chen, D., McWilliams, J.C. and Nencioli, F.: Eddy analysis in the subtropical zonal band of the North Pacific Ocean, *Deep-Sea Res. Part I*, Vol. 68, pp. 54-67, 2012.
- 13) 内山雄介・岡田信瑛・黒澤賢太:衛星海面高度デー タを用いた北太平洋における中規模渦の発生伝播特 性の解析,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, pp. I\_1429-I\_1437, 2017.
- 14) Kamidaira, Y., Uchiyama, Y., Kawamura, H., Kobayashi, T. and Furuno, A.: Submesoscale mixing on initial dilution of the radionuclides released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. J. Geophys. Res. Oceans, Vol. 123, No.4, pp. 2,808-2,828, 2018.
- Qiu, B. and Chen, S.: Interannual variability of the North Pacific Subtropical Countercurrent and its associated mesoscale eddy field. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 40, pp. 213–225, 2010.

(2019.3.13 受付)

# FATES AND DYNAMICAL ROLES OF PINCH-OFF MESOSCALE EDDIES FROM THE KUROSHIO EXTENSION JET ANALYZED WITH THE ARMOR3D DIAGNOSIS

# Nobue OKADA and Yusuke UCHIYAMA

Mesoscale eddies are ubiquitous in the world ocean that frequently collide with currents and other eddies, leading to substantial alteration of the associated dynamics. To investigate fates and dynamical roles of pinch-off eddies from the Kuroshio Extension (KE) Jet, an eddy detection method was applied to ARMOR3D, a 3D global currents and density data set diagnosed from satellite and *in-situ* observations. Most of the detected pinch-off eddies are cyclonic on the south side of the KE region, while anticyclonic eddies are predominant on the north side. The former occurred 2.64 times as often as the latter, although in the entire North Pacific, cyclonic eddies occurred only 12.1% more frequently than anticyclonic eddies. We succeeded to determine pinch-off eddies recolliding with the Kuroshio by introducing a threshold distance between the Kuroshio path and terminal positions of eddies. Comparisons of the surface temperature and salinity before and after the eddy collisions clearly exhibit that the alteration of the Kuroshio path due to eddy collisions was quite influential in modifying the oceanic structures. It was also suggested that the stability of the Kuroshio path in the KE region is a key influencer on vigorous generation of such colliding pinch-off eddies.