

# 琉球諸島周辺海域における生態系ネットワーク 形成に対する黒潮の影響について

小谷 瑛千花<sup>1</sup>・内山 雄介<sup>2</sup>・鹿島 基彦<sup>3</sup>・上平 雄基<sup>4,1</sup>・御手洗 哲司<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学大学院 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:169t107t@stu.kobe-u.ac.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 神戸市灘区六甲台町1-1)

<sup>3</sup>非会員 神戸学院大学准教授 人文学部人文学科 (〒650-8586 神戸市中央区港島 1-1-3)

<sup>4</sup>学生会員 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター 環境動態研究グループ

(〒319-1195 茨城県那珂市東海村白方白根2-4)

<sup>5</sup>沖縄科学技術大学院大学准教授 海洋生態物理学ユニット (〒904-0495 沖縄県国頭郡恩納村字谷茶1919-1)

JCOPE2-ROMS ダウンスケーリングシステムによる 2 段ネスト琉球諸島海域流動モデリング及びサンゴ卵・浮遊幼生を想定した 3 次元 Lagrange 粒子追跡数値実験を行い、コネクティビティの評価と黒潮に捕捉されて長距離輸送される粒子 (LDP) に着目した広域分散解析を実施した。粒子の多くは放卵海域内及びその周辺に漂着するが、黒潮により北東方向へ輸送される LDP は放卵粒子総数の約 1 割に達し、サンゴ生態系の島間リンク形成に大きく寄与することを示した。石西礁湖北部海域を放出源とした粒子は常に LDP に寄与するが、南部海域起源の LDP 発生確率は放卵時の経度方向流速に強く影響されていた。また、黒潮により北東方向へ輸送された LDP は、琉球諸島と黒潮間に発達するメソスケール渦に伴う黒潮逆流により黒潮を離脱し沖縄本島へ接近することが示唆された。

**Key Words :** Kuroshio, Ryukyu Islands, coral spawn and larvae, connectivity, ROMS

## 1. はじめに

サンゴは海洋生物への生息場所の提供を通じて生物多様性維持に貢献するとともに、その造礁機能によって天然の防波堤として海岸への波浪の作用を軽減し、津波や台風の被害を抑制する。また、共生する褐虫藻の光合成によって海水中の CO<sub>2</sub> 濃度のバランスを保つとともに、観光資源として地域経済に大きく寄与する側面も持っている。しかし、温暖化などの影響によって世界規模でサンゴの白化や衰退が生じ、深刻な環境問題と認識されて久しい。1998 年には大規模な海水温の上昇によって世界各地でサンゴの白化・衰退が発生したが、琉球諸島海域 (図-1) も例にもれなかった。1998 年以降、本海域のサンゴ被度は大きく低下して被度 30 %程度が続いており、2004 年に一時的に約 40%まで回復したものの、根本的な回復にはほど遠い<sup>1)</sup>。さらに、2016 年には夏季高水温による大規模な白化現象が再び発生し、とりわけ同海域南部に位置する石垣島、西表島および石西礁湖周辺での白化率は全体の約 7 割に達し<sup>2)</sup>、現在に至るまで本海域でのサンゴ生態系保全は依然として喫緊の課題のままである。

琉球諸島海域では、北進する黒潮に伴う低緯度域からの暖水輸送のため、比較的高緯度にありながら豊かなサンゴ生態系が維持されている。黒潮から横断方向に 100 km 以上離れた琉球諸島沿岸部への暖水波及メカニズムとして、黒潮と沖縄本島間に発生する負のサブメソスケール渦に伴う eddy heat flux<sup>3)</sup>、黒潮-沖縄本島に間欠的に生じる負のメソスケール渦に伴う黒潮逆流<sup>4,5)</sup>などが知られている。このうち黒潮逆流は、春季に強化され冬季に弱化するように季節変動している<sup>4)</sup>。したがって、黒潮はそれに付随する時空間的に変動する広域流動を通じて、熱だけでなく海洋生物の卵・浮遊幼生、栄養塩の輸送を惹起し、生態系ネットワークの形成に大きな影響を及ぼしていると考えられ、本海域内において黒潮を中心とした海洋構造を把握することが、サンゴ生態系保全に向けて重要となる。

本研究では、琉球諸島海域における広域サンゴ生態系ネットワーク構造を精査するため、JCOPE2-ROMS ダウンスケーリングモデル<sup>3,4,6)</sup>をベースに、2 段ネスティングによる 2 種類の流動モデリングを行い、サンゴ卵・浮遊幼生を模擬した Lagrange 中立粒子の 3 次元追跡計算を実施した。石西礁湖周辺海域におけるサンゴの産卵は 5

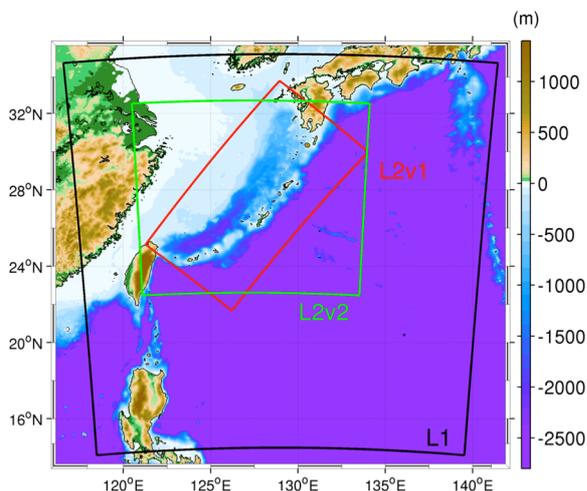


図-1 JCOPE2 に内包された 2 段階ネスティング ROMS モデル領域 (L1: 水平解像度約 3km, L2v1: 同 600m, L2v2: 同 1km) . カラーは水深 (m)

表-1 ROMS-L2v2 の計算条件

計算期間	2010/12/27 - 2015/11/2
格子数	1280×1120×32 層, 水平解像度 1km
外力 (海上風)	JMA GPV-MSM
海面フラックス	COADS (月平均気候値)
海表面水温・塩分	JCOPE2 (20 日平均値)
河川	月平均気候値 (Dai and Trenberth)
海底地形	SRTM30
潮汐	TPXO7.0
境界条件	ROMS-L1 (日平均値)

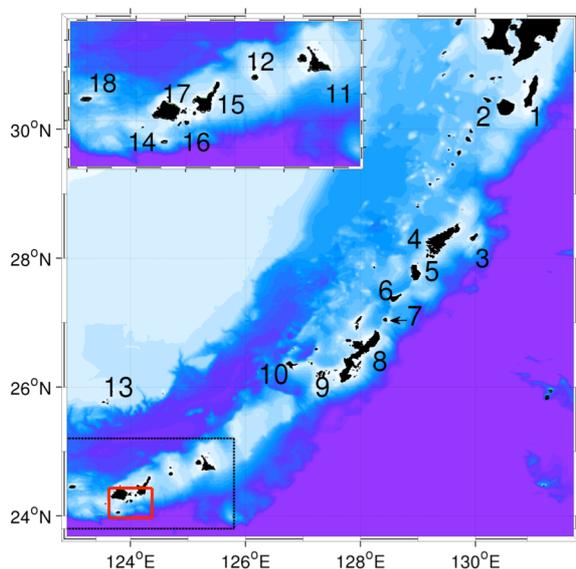


図-2 琉球諸島周辺海域拡大図と水深分布. 数字はコネクティビティ解析のための Lagrange 粒子のソース及びシンクパッチが位置するエリア番号 (図-3 参照) . 黒枠: 左上 inset に示す拡大図領域, 赤枠: 月の満月大潮の翌日の夜間に行われるため, 春季を粒子追跡計算の対象期間とした. まず, 海域中の島を中心に 18 のエリアに分割し (図-2) , Lagrangian PDF<sup>7)</sup> に基づく海域内コネクティビティを定量化し, サンゴ生態系ネッ

トワーク構造について解析を行う. 次に, 2006 年と 2007 年に実施した GPS 表層漂流ブイ追跡観測実験結果と, 2012~2015 年を対象とした Lagrange 粒子追跡実験結果から長距離移動する粒子に着目し, 黒潮に捕捉されて長距離輸送される粒子の発生確率とその分散過程について解析を行う.

## 2. 海洋モデル

本研究では, JCOPE2<sup>8)</sup> 海洋再解析データ (水平解像度約 1/12 度) を最外側境界条件及び初期条件として与え, 領域海洋循環モデル ROMS をベースとした 2 段階の 1-way offline 海洋ダウンスケーリングにより 2 種類の ROMS-L2 モデルを構築した. まず, 著者ら<sup>3), 4), 6)</sup> による日本南西の東シナ海及び北太平洋の一部を内包する中解像度の ROMS-L1 モデル (同 3 km) 1 日間平均値出力を境界条件としてダウンスケーリングすることで, 琉球諸島海域を対象とした ROMS-L2v1 モデル (同 600 m) を構築した (図-1) . L2v1 モデルの海上風応力には, 気象庁 GPV-GSM の再解析値を用いた.

さらに, より広域をカバーするために琉球諸島を中心とした ROMS-L2v2 モデル (同 1 km) を構築し, L1 モデルからのダウンスケーリングを別途行った. この L2v2 モデル (図-1, 表-1) では, 海上風応力に GSM より高解像度の気象庁 GPV-MSM 再解析値を用い, さらに TPXO7.0 による主要 10 分潮調和定数を用いた潮汐を開境界で与えた. また, Dai and Trenberth (2009)<sup>9)</sup> の月平均気候値を用いて揚子江などの主要河川を考慮した. 両 L2 モデルでは L1 モデルと同様に, 気候値を用いることにより生じる海面フラックス誤差に伴うドリフトを補正するために, JCOPE2 再解析データの 20 日間平均値 SST と SSS 値を用いて緩和補正した.

スピナップ期間を含む計算期間は, L2v1 モデルは 2010 年 12 月 27 日から 2013 年 8 月 12 日 (解析期間は 2013 年 5 月~6 月) , L2v2 モデルは 2010 年 12 月 27 日から 2015 年 11 月 2 日の約 5 年間 (解析期間は各年 5 月~6 月) である.

## 3. コネクティビティ解析

琉球諸島海域内のコネクティビティを定量化するため, ROMS-L2v1 モデルの再解析結果を用いて 3 次元 Lagrange 中立粒子追跡計算を行い, 移流時間毎の Lagrangian PDF (粒子の変位に関する確率密度関数) を求めた. ここでは主な島の沖合い 3 km までの海域に計 19,049 個の Lagrange 粒子の放出源 (放卵源) を等間隔に定義し, さらにこれらを島ごとに 18 のエリアに分類して整理した (図-2) . 2013 年 5 月 1 日から 6 月 30 日まで 12 時間おきに Lagrange 粒子を表層 (水深 1 m) より放流し, 移流時間

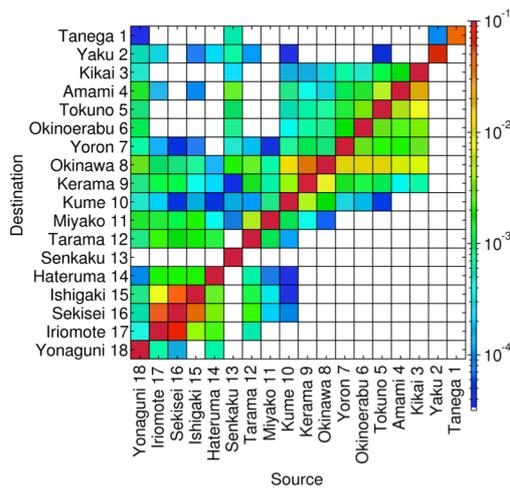


図-3 ROMS-L2v1 モデルを用いたコネクティビティ解析結果 (移流時間 30 日) . 縦軸: Lagrange 粒子のシンクパッチ位置のエリア番号, 横軸: ソースパッチ位置のエリア番号. エリア番号と位置は図-2 に示すとおりである.

が30日を経過するか, 粒子が着岸 (陸グリッドに到達) あるいは計算領域外へ流出するまで3次元追跡計算を行った. 計算期間の2ヶ月間にリリースした総粒子数は約2,286,000 個である. 粒子追跡計算方法およびLagrangian PDF, Connectivity matrixの算出方法などについては, Mitaraiら<sup>7)</sup>, 内山ら<sup>10)</sup>を参照されたい.

ROMS-L2v1出力+粒子追跡から求めたConnectivity matrixを図-3に示す. 全18エリアにおいて, 移流時間30日間の粒子はリリースされた各エリア内に留まる傾向が強いが, 遠方エリアとのリンク構造も多く見られる. また, 傾き45度ラインよりも上部で比較的高い値を示しているが, これは北東への輸送が卓越すること, すなわち海域内を南西から北東方向へ通過する黒潮によって南西エリアの放卵域から北東エリアの島近傍海域へ粒子が輸送されたものと解釈される. 例えば, サンゴが豊富に生息する海域である南西部の石垣島, 西表島, およびそれらの間に存在する石西礁湖 (図-3, エリア15-17) から放卵された粒子が沖縄本島 (図-3, エリア8) へ漂着するコネクティビティは  $10^3$  であることから, 石西礁湖周辺で発生したサンゴの卵や幼生が沖縄本島へ直接輸送される可能性は無視し得ないと解釈される. つまり, 琉球諸島海域でのサンゴ卵・浮遊幼生の輸送に対しては, 黒潮を中心とした海域の流動特性の影響が強く, 放卵海域外への流出はもとより, 遠方のエリアまで漂流する確率も高く (最長輸送距離は400 km以上), 長距離移動するサンゴの卵や幼生の分散過程が島間のリンク形成に大きく寄与することが示唆される. したがって, 琉球諸島海域全体のサンゴ生態系コネクティビティを解明するためには, 長距離移動する粒子に着目することが重要であると理解される.

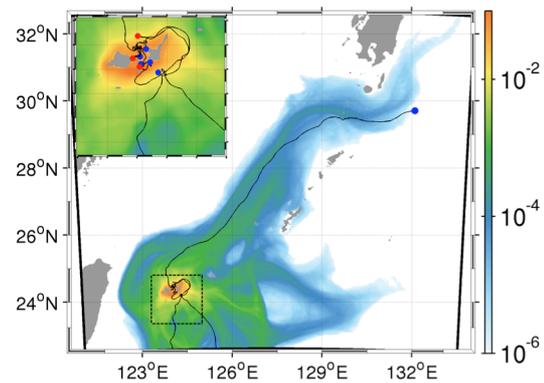


図-4 石西礁湖からリリースした GPS 漂流ブイ追跡観測結果. 黒線: 各漂流ブイの軌跡, 丸印: 漂流ブイのリリース位置 (赤), 最終漂着位置 (青), カラー: L2v2 による Lagrange 粒子追跡計算結果の移流時間 21 日間の PDF 時間積分値 (4 年平均値), 左上 inset: 点線領域の拡大図.

#### 4. GPS漂流ブイ観測との比較

琉球諸島南西部の石西礁湖と沖縄本島間の長距離コネクティビティの形成機構を把握するため, ROMS-L2v2モデルの出力結果を用いた3次元Lagrange 粒子追跡計算実験を行った. ここでは, 石垣島および西表島の沿岸, 石西礁湖海域に半径 1 kmの円形パッチを合計145個設置し, 各パッチ内の水深下3 m地点に約35 m間隔で放卵源を定義した. サンゴの産卵を模擬するために5月の満月大潮の翌日を中心とした前後1週間 (計14日間) を放卵期間とし, ROMS-L2v2モデル計算期間の2012年から2015年の4カ年の春季 (すなわち4ケース) を対象に粒子追跡計算を行った. 各粒子は移流時間が21日を経過するか, 着岸あるいは計算領域外に流出するまで追跡した. すなわち, (放卵14日+追跡21日) × 4ケースの粒子追跡計算を行った. 各ケースにおける総放卵粒子数は約4,006,000 個である.

モデルの再現性を検証するために, 石西礁湖において行った GPS 漂流ブイを用いた観測結果と, 2012年から2015年を対象とした4ケースの粒子追跡計算結果から求めたLagrangian PDFの移流時間21日間積分値の4ケース分の平均値との比較を行った (図-4). 観測は, サンゴの産卵時期に相当する2006年6月12日, 13日および2017年5月31日の深夜に合計6機のGPS漂流ブイを石西礁湖から放流し, 30分おきにGPS位置情報を取得した. 漂流ブイの軌跡から, 6機のうち4機は, 石垣島周辺を時計回りに浮遊して石西礁湖周辺に漂着, あるいは南方向へ輸送されたことがわかる. 一方, 2006年6月12日に放流されたブイは石西礁湖北部から黒潮に捕捉されたのち北東方向へ輸送され, 21日後には九州南

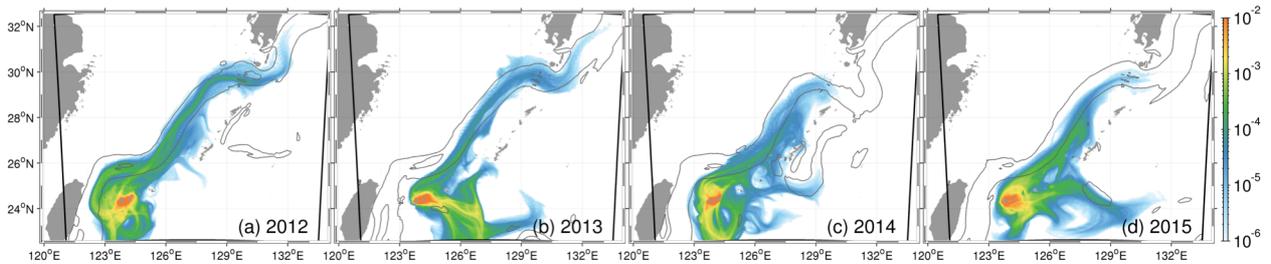


図-5 年毎の Lagrangian PDF 時間積分値．粒子放出期間は，(a) 2012 年 4 月 30 日から 5 月 13 日，(b) 2013 年 5 月 19 日から 6 月 1 日，(c) 2014 年 5 月 9 日から 5 月 22 日，(d) 2015 年 4 月 28 日から 5 月 11 日である．黒線は ROMS-L2v2 モデルの領域を示し，グレー線は流速 0.5 m/s おきの表層流速絶対値のコンターである．

岸まで到達した．

ROMS-L2v2 モデルを用いた粒子追跡実験の結果から求めた Lagrangian PDF の移流時間積分値の 4 年平均値を見ると，石西礁湖からリリースされた粒子は，石垣島・西表島及び石西礁湖周辺を通過する確率が非常に高く，観測結果の漂流ブイの軌跡とも概ね一致している．また，確率的には 2 桁程度低いものの，黒潮流軸に沿って粒子が通過する確率も無視できないことが示されている．以上のことから，粒子追跡モデルは統計的に漂流ブイ追跡観測結果と良好に一致しており，十分な再現性があると判断される．

## 5. 黒潮による長距離粒子輸送

### (1) 粒子追跡計算結果

2012 年から 2015 年までのケースごとの Lagrangian PDF 移流時間積分値を図-5 に示す．PDF 積分値は，21 日間の移流時間内に粒子が一度でもそこを通過する累積確率密度を表しており，値が大きいほどその地点を通過する確率が高いことを意味する．各年において放出源である石西礁湖周辺の値が高く，放出源から離れるほど値が小さくなることから，石西礁湖を中心に琉球諸島海域内で粒子が広域的に分散している様子が確認できる．全ケースに共通して PDF 積分値は石西礁湖から北東方向へ偏在するように分布しており，移流時間 21 日間に黒潮の影響を受けて黒潮流軸に沿った北東方向への長距離輸送が生じていたことが分かる．同時に年差も見られ，例えば石西礁湖付近では 2012 年と 2014 年は全体的に南側境界に向かって輸送される粒子が多いのに対して，2013 年および 2015 年は石西礁湖東部で PDF 積分値が高い．つまり，石西礁湖から放出された粒子の輸送傾向には各年で有意な差が見られることから，粒子はリリース時や浮遊期間における周辺の海流の影響を鋭敏に受けていることが確認される．

### (2) 黒潮による輸送

石西礁湖から放出された粒子のうち，黒潮の影響を受けて北東方向へ長距離輸送される輸送パターンについて着目する．ここでは，放卵源から十分に離れた北緯 26.5

度線を越えた粒子 (Long distance particle 以下, LDP と呼称) を黒潮に捕捉された粒子と考えて，全粒子から LDP を抽出した．各ケースのリリース期間である 14 日間に放出された全粒子に対する LDP 発生率の平均確率は，2012 年は 16.8%，2013 年は 5.7%，2014 年は 8.5%，2015 年は 17.6% であり，年によって多少差があるものの，平均的に全放卵粒子の約 1 割程度は LDP として黒潮に捕捉されて北上することがわかった．

次に，LDP の発生確率と粒子の放出位置との関係を調べるために，各 LDP を放流パッチ毎に整理し，LDP 発生確率の空間分布を求めた (図-6)．石西礁湖北側から放出された粒子は，南側から放出された粒子に比べて LDP 発生確率が 4 ケースとも高い．これは，石西礁湖西部および北部を通過する黒潮に伴う中規模渦による分散作用によって，北側パッチ群からの放流後，粒子は速やかに黒潮に捕捉されやすいことを示している．一方で，石西礁湖南側のパッチ群から放出された粒子の LDP 発生確率は，2013 年と 2014 年は非常に低く，2012 年と 2015 年では比較的高い．このケース間の差異から，リリース時の石西礁湖南部の流動環境が LDP 発生確率に影響を及ぼしていることが予想される．

そこで，放卵時の放卵源周辺の表層流動と，LDP 発生確率の時間変化を 4 ケースについて比較した (図-7)．石西礁湖南部 (図-2, 赤枠) のリリース時の空間平均流速 (北および東方向) 成分の日平均値はリリース日によって大きく変動しており，全粒子数に対する LDP 発生確率と流速 (特に北向き成分) との関係は必ずしも明白ではない．しかしながら，LDP 発生確率がほぼ 0% となる 2013 年のリリース期間後半と 2015 年のリリース期間前半では，明らかに東向き流速が発達しており，放流された粒子が直ちに石西礁湖東側海域へ輸送されることで，黒潮に捕捉される LDP 数が大幅に低下したものと解釈される．この東向き粒子輸送は Lagrangian PDF 積分値分布 (図-5) にも見られ，該当する 2 ケ年では石西礁湖東側海域で PDF 積分値が明らかに高くなっている．つまり，石西礁湖北側から放出された粒子は常に黒潮に捕捉されて LDP になりやすいのに対し，石西礁湖南側から放出された粒子は，放出直後の経度方向

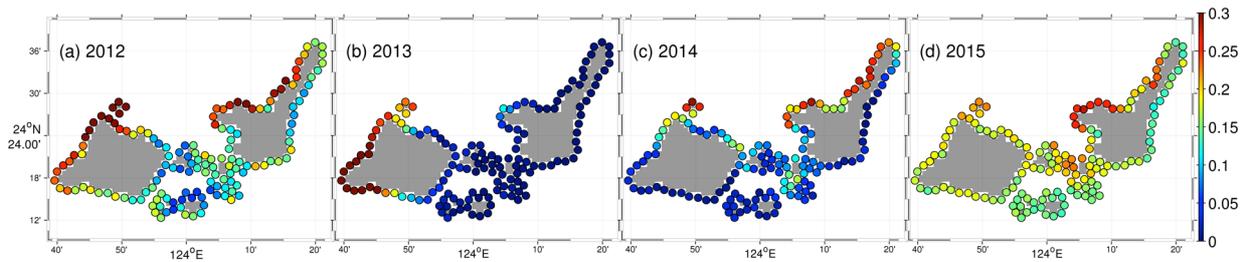


図-6 リリースパッチ毎のLDPの発生確率（パッチ内全放流粒子に対するLDPの割合）．丸印は西表島・石垣島および石西礁湖周辺に設置した合計145個のパッチ位置を表す．(a)2012年，(b)2013年，(c)2014年，(d)2015年．

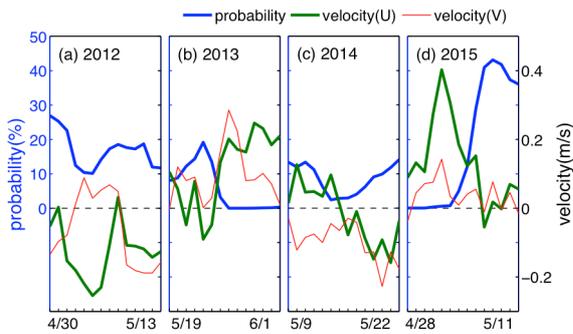


図-7 リリース日毎（横軸）に整理したLDP粒子の全粒子数に対する発生確率（％，青線）とリリース時の時間前後1時間平均表層流速の石西礁湖南側海域（図-2 赤枠）に対する空間平均値の東方向成分（m/s，緑線），北方向成分（m/s，赤線）の時系列．横軸はリリース日を示す．(a)2012年，(b)2013年，(c)2014年，(d)2015年．

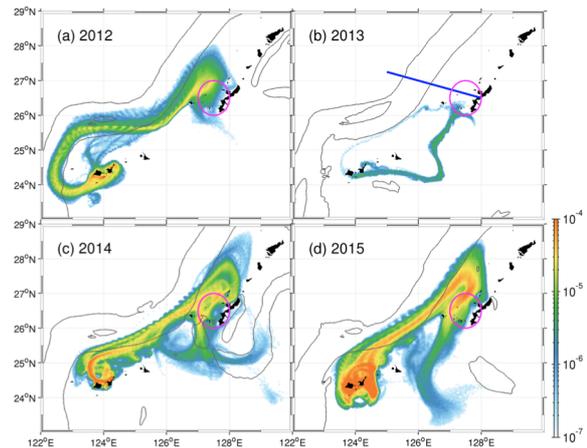


図-8 黒潮逆流にトラップされ沖縄本島に接近した粒子に対するLagrangian PDF 移流時間積分値．マゼンダ円形枠を通過した粒子を黒潮逆流捕捉粒子と仮定して抽出した．グレー線：各年計算期間平均表層流速の0.5 m/sおきのコンター，青線：黒潮逆流通過流量換算のための検査線．(a)2012年，(b)2013年，(c)2014年，(d)2015年．

流の影響を強く受け、特に東向き流れが発達するときはLDP発生確率が著しく低下することがわかった。

## 6. 黒潮逆流の影響

著者ら<sup>4)</sup>が示したように、サンゴ産卵期である春季は、沖縄本島と黒潮流軸間において負のメソスケール渦に伴う黒潮逆流が間欠的に発達する期間であり、LDPはメソスケール渦に伴う水平分散作用と、黒潮逆流による南下流の影響を同時に受けて、沖縄本島方向へ輸送されることが考えられる．そこで、沖縄本島と黒潮間に半径50 kmの検査領域（図-8，マゼンダ枠）を設け、そこを通過した粒子を黒潮逆流に捕捉された粒子と仮定して、該当する粒子のみを抽出し、対応するLagrangian PDF 移流時間積分値をケース（年）ごとに求めた（図-8）．2012年、2014年および2015年では、黒潮に捕捉されて北東方向へ輸送された粒子が沖縄本島の北側海域でメソスケール渦にトラップされ、黒潮逆流によって南向きに輸送されていることがわかる．そこで、黒潮逆流の通過流量のケースごとの35日間平均値を求め、黒潮逆流に輸送された粒子数との比較を行った（表-2）．ここでは沖縄本島及びその西海域上に検査線（図-8(b)，青線）を設け、その断面内における検査線直行方向（概ね北東方向）へ通

表-2 各ケースにおける検査線断面（図-8 青線）での黒潮逆流流量（Sv）と検査海域（図-8 マゼンダ枠）を通過した粒子の全放流粒子数に対する割合（％）の比較．

	2012年	2013年	2014年	2015年
黒潮逆流(Sv)	3.94	6.24	7.02	17.21
粒子割合(%)	0.70	0.03	1.31	2.89

過する流速を正と定義し、海表面から水深600 mまで鉛直積分して通過流量の検査線方向分布を求め、さらに沖縄本島-黒潮間に発生する負の通過流量を検査線方向に積分することで黒潮逆流流量を評価した．2013年を除いて、黒潮逆流通過流量と黒潮逆流に輸送された粒子数には線形関係が見られ、反流量が大きいと粒子の割合も大きくなる傾向にある．したがって、黒潮逆流の発達には沖縄本島へ接近する粒子数の増加に寄与していることが示唆される．一方、例外的に反流量が6.2 Svと比較的高いにも関わらず、沖縄本島への接近粒子が少ない2013年は、そもそもLDPの発生割合が他ケースに比べ少なかったこと、また、黒潮に捕捉されて北上してもメソスケール渦の分散作用をあまり受けず、逆流に到達しなかったことなどが原因であると考えている．

## 7. おわりに

琉球諸島海域内における広域的なサンゴ生態系ネットワーク構造と、それに及ぼす黒潮の影響に着目した数値解析を行った。まず、3次元 Lagrange 粒子追跡から島間のコネクティビティを定量的に評価し、粒子は放出されたエリア内に漂着する確率が高い一方で、黒潮に捕捉されて北東方向へ長距離輸送される確率も高いことが示された。粒子輸送パターンは、石西礁湖から放流したGPS漂流ブイ追跡観測結果と統計的に整合的であった。次に、石西礁湖起源粒子を例に、広域ネットワーク形成に寄与する長距離輸送粒子 (LDP) を抽出し、解析を行った。石西礁湖北側から放出された粒子は常に黒潮に捕捉されやすいものの、南側からの放流粒子は放流時に東向き流速が卓越するとLDPが大きく低減することが示された。さらに、黒潮に捕捉されて北東方向へ長距離輸送される粒子の一部は、琉球諸島と黒潮流軸間に間欠的に発生する黒潮反流に再捕捉されて黒潮から離脱し、沖縄本島方向へ輸送されることが示唆された。

謝辞：本研究は科研費補助金および基金 (15H04049, 15KK0207, 17K00653) の援助を受けた。また、沖縄科学技術大学院大学の計算機 SANGO を一部使用した。

### 参考文献

1) 環境省自然環境局 生物多様性センター：平成 28 年度 モニ

- タリングサイト 1000 サンゴ礁調査報告書, 151 p., 2017.
- 2) 環境省那覇自然環境事務所：西表石垣国立公園 石西礁湖のサンゴ白化現象の調査結果について, 2017.
  - 3) Kamidaira, Y., Uchiyama, Y. and Mitarai, S.: Eddy-induced transport of the Kuroshio warm water around the Ryukyu Islands in the East China Sea, *Cont. Shelf Res.*, 2016 (available online).
  - 4) 内山雄介, 小谷瑛千花, 山西琢文, 上平雄基, 御手洗哲司：黒潮暖水波及に伴う沖縄本島周辺海域における非対称海洋構造の形成機構. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.72, No.2, I\_481-I\_486, 2016.
  - 5) Qui, B. and N. Imasato: A numerical study on the formation of the Kuroshio Counter Current and the Kuroshio Branch Current in the East China Sea, *Cont. Shelf Res.*, Vol. 10, No. 2, pp. 165-184, 1990.
  - 6) 内山雄介, 上平雄基, 御手洗哲司, 坂上太一郎：琉球諸島周辺海域におけるサブメソスケール乱流混合による黒潮波及効果に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, I\_471-I\_475, 2013.
  - 7) Mitarai, S., D. Siegel, J. Watson, C. Dong, and J. C. McWilliams: Quantifying connectivity in the coastal ocean with application to the Southern California Bight, *J. Geophys. Res.*, Vol. 114, C10026, doi:10.1029/2008JC005166, 2009.
  - 8) Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou and K. Komatsu: Water Mass Variability in the Western North Pacific Detected in 15-year Eddy Resolving Ocean Reanalysis, *J. Oceanogr.*, Vol.65, pp. 737-756, 2009.
  - 9) Dai, A., Qian, T., Trenberth, K.E. and Milliman, J.D.: Changes in continental freshwater discharge from 1948-2004, *J. Climate*, Vol. 22, pp. 2773-2791, 2009.
  - 10) 内山雄介, 小谷大地, 西井達也, 御手洗哲司: コネクティビティを用いた瀬戸内海全域における海洋生態系ネットワーク構造の解析. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, I\_1076-I\_1080, 2014.

(2017.3.15 受付)

## INFLUENCE OF THE KUROSHIO ON DISPERSAL OF CORAL SPAWN AND LARVAE AROUND RYUKYU ISLANDS

Sachika ODANI, Yusuke UCHIYAMA, Motohiko KASHIMA,  
Yuki KAMIDAIRA and Satoshi MITARAI

Ryukyu Islands in the East China Sea are in a subtropical climate, hosting desirable environment for abundant coral ecosystem. It is anticipated that the Kuroshio and associated eddy mixing promote the transport and dispersal of coral spawn and larvae across the islands, whereas the area has suffered from coral bleaching in the recent decades. Toward optimal preservation and protection of the coral habitats around Ryukyu Island, we conduct a double nested high-resolution synoptic ocean modeling using ROMS with grid spacing down to 600 m coupled with an offline Lagrangian particle tracking model. The modeled dispersal of coral spawn and larvae released from 18 major islands and lagoons are examined to quantify connectivity using Lagrangian probability density functions (PDFs) of the Lagrangian particles among Ryukyu Islands. The PDF analyses suggest that the particles mostly remain near the released areas, while about 10% of the particles are entrained in the Kuroshio to travel long distance, contributing to inter-island connectivity. Some of these particles are further transported northeastward, and then partially trapped by the Kuroshio Counter Current formed between the Kuroshio and the islands to approach Okinawa Main Island. We reveal that eastward current occurred in the south the Sekisei Lagoon shortly after the releases significantly suppresses the entrainment and the resultant long-distance transport.