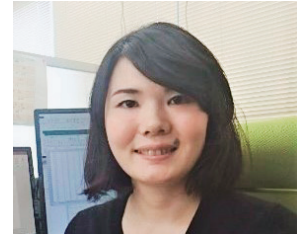


大型クラゲ移動予測計算の 高度化に向けたリアルタイム 急潮予測システムの活用



阿部祥子・井桁庸介（資源環境部・海洋動態グループ）

大型クラゲ移動予測の高度化を目指し、日本海本州沿岸域を高解像度化したリアルタイム急潮予測システムを活用して粒子追跡計算を行いました

【はじめに】

エチゼンクラゲ (*Nemopilema nomurai*) は、傘径1m以上に成長するクラゲの一種で、通称「大型クラゲ」と呼ばれる。大型クラゲが日本海の沿岸域に出現すると定置網等に入網し、漁具の破損や他の魚類の損傷等の漁業被害が発生する。大型クラゲによる漁業被害対策を検討する上で、大型クラゲが日本沿岸の各地に出現し始める時期に関する予測情報は非常に重要である。日本海区水産研究所は、これまで大型クラゲを粒子に見立てた大型クラゲ粒子追跡システムの構築および改良を進め、大型クラゲの沿岸各地における初来遊時期を高精度に予測することを可能とした。一方で、大型クラゲが大量に出現すると沿岸付近に長期間にわたって滞留し、漁業被害が長期化する事が見られることから、初来遊後の沿岸における大型クラゲの移動・滞留等の振る舞いを精度良く予測し、大型クラゲの出現予測情報を高度化することが次の課題となっている。

沿岸における大型クラゲの移動・滞留等を精度良く予測するためには、どのような物理現象が移動・滞留等を引き起こしているのかを理解するとともに、その物理過程が粒子追跡システムで用いる流動データに表現されている必要がある。特に、漁業被害の長期化に結びつく大型クラゲの沿岸域における滞留に関しては、その発生要因の一つとして沿岸で発生する地形性渦による取り込みが考えられる。現行の粒子追跡システムでは流動データとして日本海区水産研究所が運用する「拡

張版日本海海況予測システム (JADE 2)」を用いているが、JADE 2の解像度では沿岸の地形性渦を表現することができない。そこで、地形性渦を表現することができる高い解像度を持った「リアルタイム急潮予測システム」の流動データをJADE 2のデータと併せて活用することで、沿岸における移動・滞留等の再現および予測も可能となる次世代型大型クラゲ粒子追跡システムの基盤を構築した。

【沿岸域高解像度流動データセットの構築】

リアルタイム急潮予測システムは日本海区水産研究所が運用するもう一つの海況予測システムであり (図1)、当システムの外側の境界値はJADE 2を利用して計算している。表1にJADE 2とリアルタイム急潮予測システムの主な相違点を示す。水平空間解像度はJADE 2が約7kmであるのに対して、リアルタイム急潮予測システムは約1.5kmと、解像度が非常に高い。また、出力時間間隔はJADE 2が1日毎に対して、

表1. JADE 2とリアルタイム急潮予測システムの主な相違点

項目	JADE 2	リアルタイム急潮予測システム
領域	日本海・東シナ海・黄海	島根沿岸～山形沿岸
水平空間解像度	南北7.4km、東西6.5～7.7km	南北1.5km、東西1.4～1.5km
出力時間間隔	1日	1時間

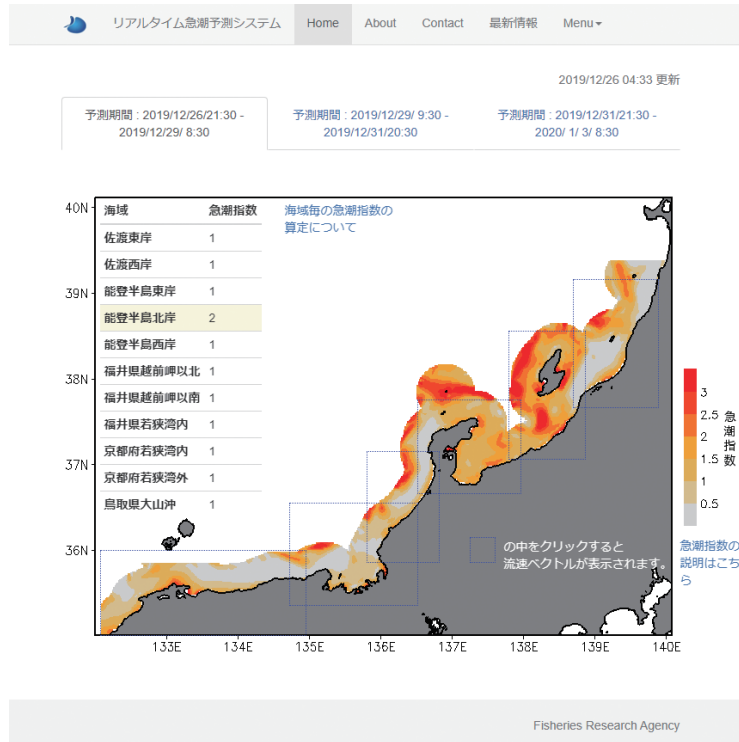


図1. リアルタイム急潮予測システムのホームページ
<http://kyucho.dc.affrc.go.jp/kyucho/>

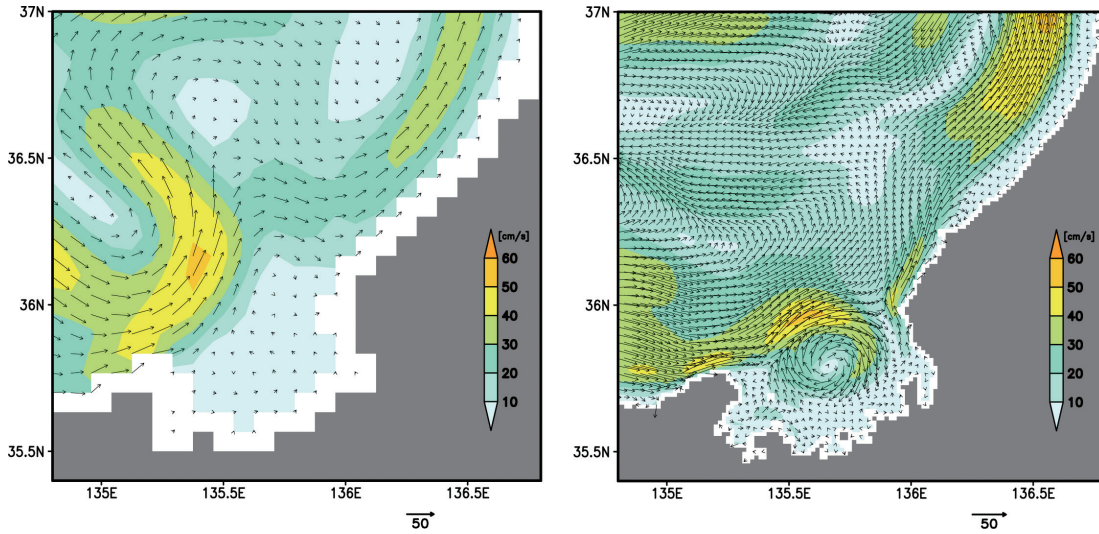


図2. 若狭湾周辺の表層の流速ベクトル図
 左：2013年8月4日における4m深のJADE 2の結果。
 右：2013年8月4日10:30における3.5m深のリアルタイム急潮予測システムの結果。

リアルタイム急潮予測システムは1時間毎である。このようにリアルタイム急潮予測システムは時空間解像度が高いため、沿岸域の地形性渦のような50km程度のサブメソスケール現象も十分に表現することができる。例えば、図2に示すように2013年に若狭湾に形成された時計回りの環流構造（若狭湾環流）をJADE 2では再現することが

できなかったが、リアルタイム急潮予測システムでは再現することができている。一方で、リアルタイム急潮予測システムは日本海の本州沿岸域に特化した海況予測システムであるため、計算領域は本州沿岸域のみに限られている。大型クラゲは発生源である東シナ海や黄海から対馬海峡を通過して日本海に流入するため、粒子追跡計算では対

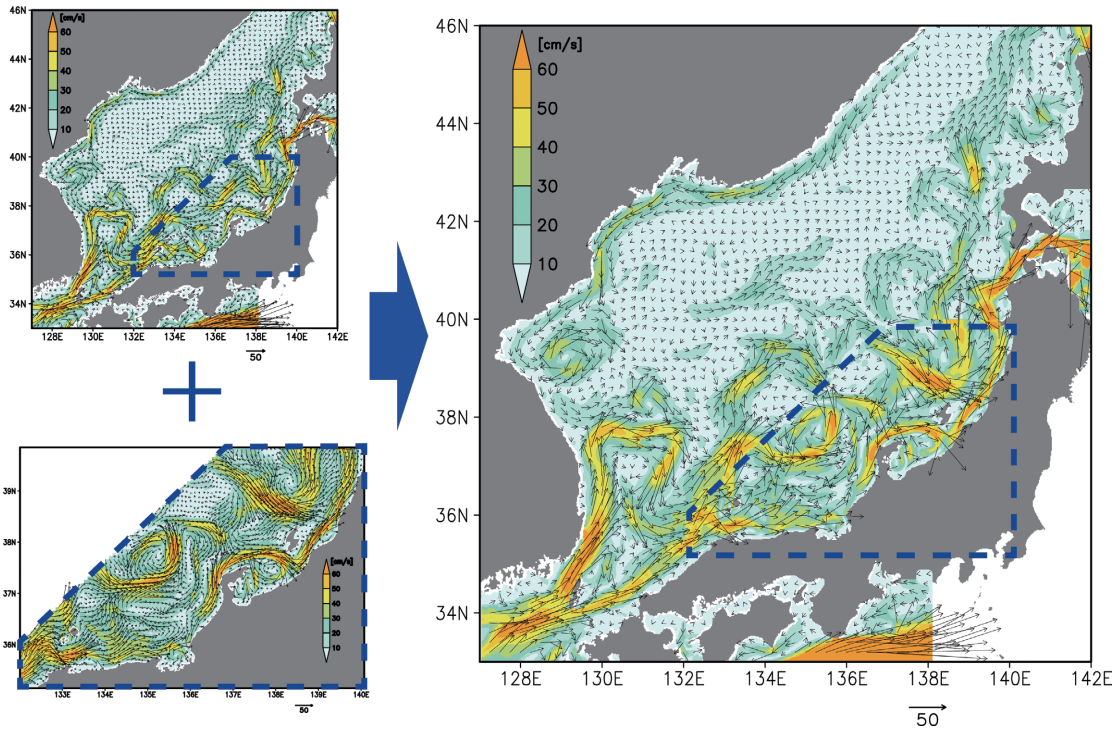


図3. JADE 2の流動データとリアルタイム急潮予測システムの流動データを組み合わせた沿岸域高解像度流動データセットの作成
 リアルタイム急潮予測システムのデータ領域を青色の破線枠で示す。
 左上：JADE 2の流動データ。
 左下：リアルタイム急潮予測システムの流動データ。
 右：JADE 2の青色破線枠内の流動データをリアルタイム急潮予測システムのデータに置き換えた沿岸域高解像度流動データ。

馬海峡付近を含む日本海全域の流動データが必要となる。そこで、JADE 2の本州沿岸域の流動データをリアルタイム急潮予測システムのデータに置き換えた沿岸域高解像度流動データセットを作成した(図3)。この沿岸域高解像度流動データを用いて、若狭湾環流が発生していた2013年の仮想的な粒子追跡計算を行い、従来のJADE 2の流動データのみを用いた場合との比較から、流動データの高解像度化の効果を検証した。

【粒子追跡計算条件の設定】

粒子追跡計算は、現行の大型クラゲの粒子追跡アルゴリズムと同様な条件設定で行った。粒子の初期配置を図4に示す。対馬海峡の西水道に2カ所、東水道に1カ所に初期配置し、それぞれの領域から大型クラゲに見立てた粒子を放流した。大型クラゲは遊泳力が弱く、水平方向には主に海流に乗って移動するため、水平方向は海流と同じ速度で移動するように設定した。加えて、海流データ

の空間解像度よりも空間スケールが小さい(サブグリッドスケール)現象による拡散を表現するために、ランダムウォークによる拡散を与えており、その大きさは流動データの水平空間解像度に比例する。鉛直方向の移動は、大型クラゲが日周鉛直移動することを考慮し、日中は4m深に、夜間は30m深に設定した。

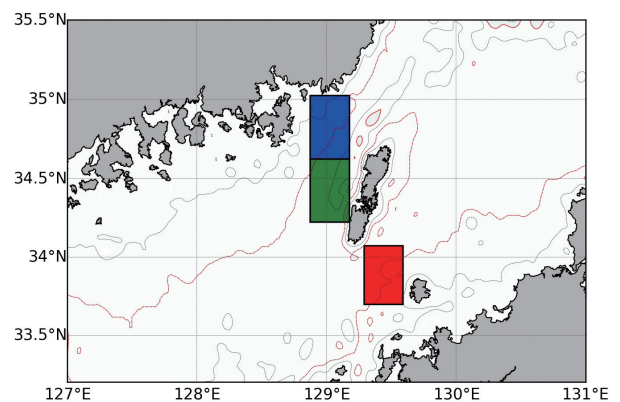


図4. 粒子追跡システムの初期配置

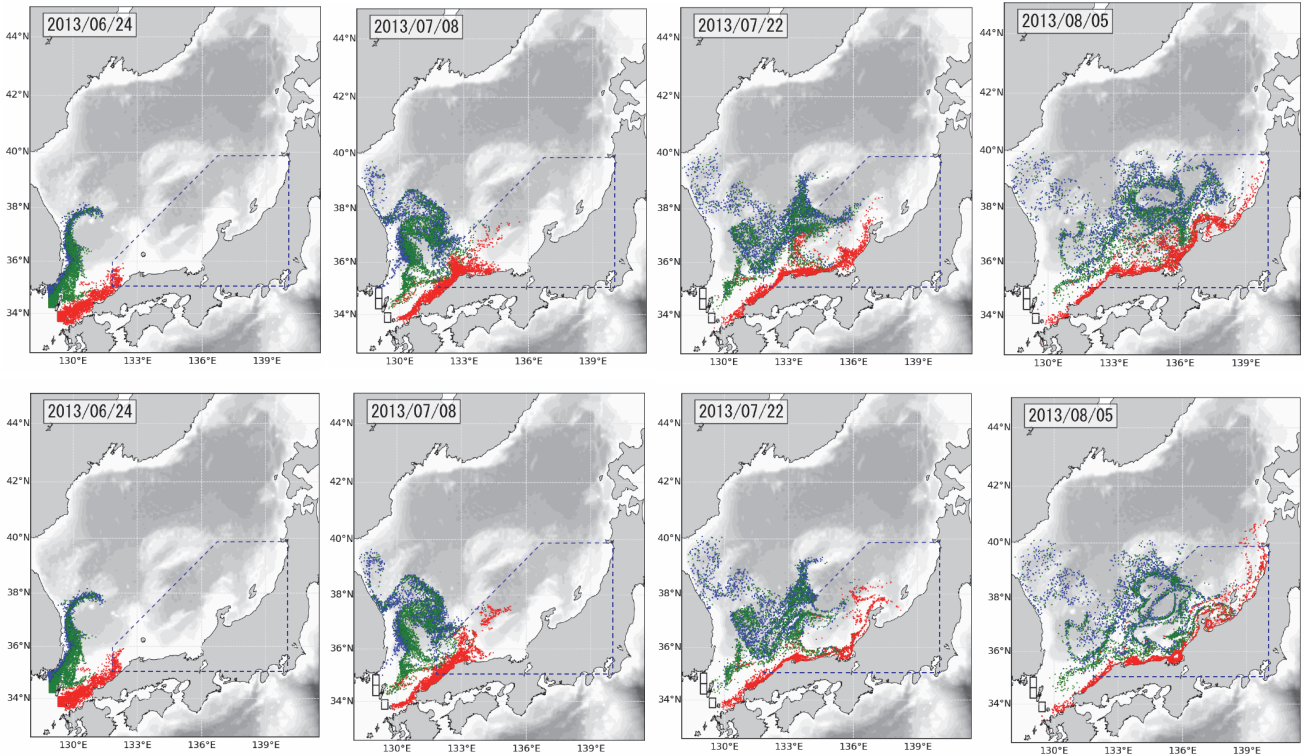


図5. 粒子追跡システムの計算による粒子分布図
 対馬海峡から粒子を放流開始した2013年6月10日から2週間後(2013/06/24)、4週間後(2013/07/08)、6週間後(2013/07/22)、8週間後(2013/08/05)の結果。
 東水道からの放流粒子を赤、西水道南部からの放流粒子を緑、西水道北部からの放流粒子を青で示す。
 リアルタイム急潮予測システムのデータ領域を青色の破線枠で示す。
 上段: 現行のJADE 2の流動データを用いた大型クラゲ粒子追跡結果。
 下段: 沿岸域高解像度流動データを用いた大型クラゲ粒子追跡結果。

【沿岸域高解像度データとJADE 2との粒子追跡計算結果の比較】

図5にそれぞれの流動データを用いた粒子追跡計算結果を示す。初めはどちらの計算結果でも同じような分布を示すが、放流開始6週間後以降のリアルタイム急潮予測システムの領域内に注目すると、現行のJADE 2の流動データの結果と比べて、沿岸域高解像度の流動データを用いた結果の方が粒子の移動経路が明瞭となっている。これは沿岸域高解像度データを用いた計算の方がJADE 2を用いた計算よりもランダムウォークによる拡散が小さいことが要因となっていると考えられる。沿岸域では前述のように地形性渦や近慣性内部波のようなサブメソスケールの現象が重要だと考えられるが、JADE 2ではそれらの現象を十分に解像できないため、JADE 2を用いた計算ではランダムウォーク拡散として曖昧に表現される。一方で、リアルタイム急潮予測システムでは

現象を解像できるため、沿岸域高解像度データを用いた計算では現実の流動構造に即した粒子の移動が表現できていると考えられる。しかしながら、実際の大型クラゲの分布をこれで予測できるかという点はまだ十分ではない。例えば、大型クラゲは日周鉛直移動することが知られている。流れの構造は鉛直方向に変化するため(一般的に表層は速く下層ほど遅い)、日周鉛直移動の有無や程度は水平的な広がりにはばらつきを生み、擬似的な拡散の効果がある。この日周鉛直移動の効果は現行のアルゴリズムでも加味されているが、まだ十分ではないと考えられる。また、水平的な自泳も拡散としての効果がある。従って、今後はこれらの効果を詳しく検討し、実際のクラゲの移動・分布を的確に表現できる鉛直移動およびランダムウォーク拡散の調整を進めていく必要がある。

次に若狭湾周辺に注目すると(図6)、現行のJADE 2の流動データの結果では、6週間後の粒

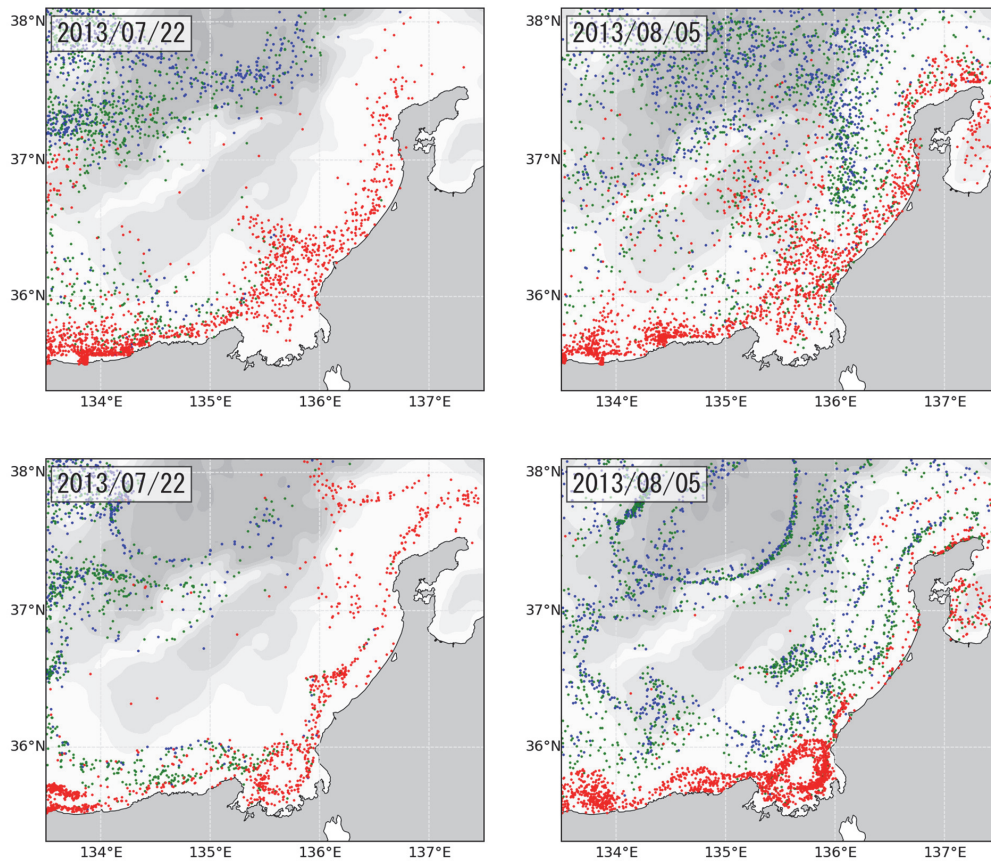


図6. 図5に示した放流から6週間後（2013/07/22）および8週間後（2013/08/05）の結果の若狭湾周辺拡大図

上段：現行のJADE 2の流動データを用いた大型クラゲ粒子追跡結果。

下段：沿岸域高解像度流動データを用いた大型クラゲ粒子追跡結果。

子が若狭湾の湾口までしか入っておらず、8週間後も若狭湾に流入する粒子は少ない。また、若狭湾に粒子が入る過程を地形性渦による移流として表現できておらず、ランダムウォーク拡散として湾内に流入している。一方で、沿岸域高解像度の流動データの結果では、6週間後に若狭湾環流に粒子が取り込まれ、多くの粒子が湾奥まで運ばれている。そして、8週間後も若狭湾内の時計回りの環流によって若狭湾内に粒子が流入・滞留していることから、若狭湾環流が大型クラゲの若狭湾滞留要因として機能し得ることが示された。このように、流動データの高解像度化が、大型クラゲの沿岸における移動および滞留に関わるサブメスケールの物理過程の把握に有効であることが確認できた。

【おわりに】

大型クラゲ粒子追跡計算で用いる本州沿岸域の流動データを現行のJADE 2の代わりにリアルタイム急潮予測システムを活用して高解像度化したことにより、従来では困難であったサブメスケールの沿岸域地形性渦による粒子移動を表現することが可能となった。従って、この改良により、沿岸における大型クラゲの移動・滞留等の再現および予測の精度が向上することが期待される。今後、日本海沿岸域に大型クラゲが大量に出現・滞留した事例についての再現実験に取り組み、鉛直移動およびランダムウォーク拡散等の改良・調整を進める。これにより、次世代型大型クラゲ粒子追跡システムの構築を着実に進め、クラゲ予測情報の高度化および漁業被害の軽減に貢献したい。