

「粒子追跡システム」の構築とその活用について

宇城 真

近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 調査課（〒651-0082 神戸市中央区小野浜町7番30号）

大阪湾では、海洋環境整備船「Dr.海洋」，「海和歌丸」，「クリーンはりま」を運航し、水質悪化の原因や航行船舶の障害となる浮遊ゴミや油の回収を行っている。この度、既に陸上に配備している海洋レーダ及び海上に配備している大阪湾水質定点自動観測機器で得られたデータを利用して、浮遊ゴミ・油の挙動や集積位置を予測することにより、海洋環境整備船での浮遊ゴミ・油回収作業の効率化を図るシステムを構築したので紹介する。

キーワード 浮遊ゴミ，流動シミュレーション，海洋レーダ，モニタリングポスト，海域環境

1. はじめに

河川等から流れ込んだゴミは、海面を浮遊し海の景観を損ねるだけではなく、水質悪化の原因や、航行船舶の障害となり海上交通の安全に悪影響を与えている。また、船舶やコンビナートなどの施設の事故により油が流出した場合、海洋環境および経済活動に甚大な被害を与える。そのため、大阪湾では、海洋環境整備船「Dr.海洋」，「海和歌丸」，「クリーンはりま」を運航し、日々、浮遊ゴミの回収を行うとともに浮遊油回収に備えて訓練を行っているところである。

更に、「大阪湾再生行動計画（第二期）」（大阪湾再生推進会議：2014年5月22日策定）では、目標として“美しい「魚庭（なにわ）の海」”が掲げられており、大阪湾再生に係る具体的な施策の一つとして「浮遊ごみ、漂着ごみ、河川ごみ等の削減」に向けた様々な取り組みが行われている。

浮遊ゴミ・浮遊油による影響を最小限に抑えるためには、的確かつ効率的に回収する必要がある。そのために、湾内に浮遊するゴミを粒子として捉え、流況によって粒子がどのように移動するかを解析し表示する「粒子追跡システム」を構築した。本稿では、「粒子追跡システム」の概要、現地調査結果との比較による精度検証、及び将来的な利活用方策等について報告する。

2. 「粒子追跡システム」構築

(1) システム構成

海面の流況を計測している海洋レーダの観測値と、大

阪湾内13地点に設置した水質定点自動観測機器による連続観測値を有効活用し、粒子追跡システムを構築した。図-1にシステム構成図を示す。

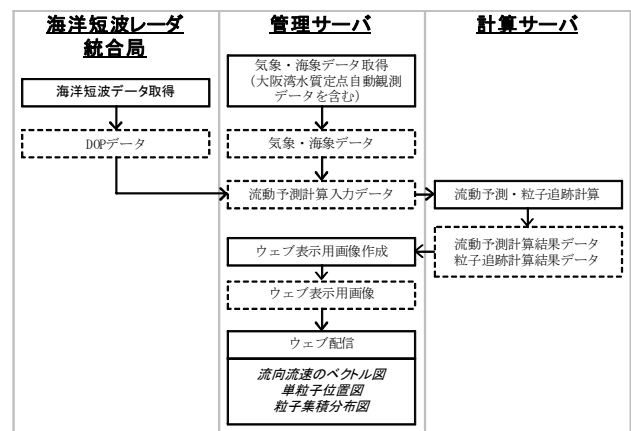


図-1 粒子追跡システム構成図

(2) システムで活用している主な観測データについて

a) 海洋レーダで得た流況データ

大阪湾では、2006年より垂水、堺（2008年に淡路より移設）に海洋レーダ局を設置し、流況観測を行っている。図-2に流況観測範囲を示す。

海洋レーダーとは、短波帯の電波を用いて遠隔地より海表面の流れや波を観測するリモートセンシングの機器であり、その原理は、海面の動き（波の移送速度）をドップラーシフトの原理で計測するものである。「粒子追跡システム」では、海洋レーダシステムで得られた流況データを同化処理し、予測結果の精度向上を図っている。

b) 水質定点自動観測機器で得られたデータ

大阪湾では、2010年より湾内13地点に水質定点自動観測機器を設置し、水質観測を行っている(図-3、表-1)。「粒子追跡システム」では、明石海峡航路東方灯浮標及び洲本沖灯浮標の2カ所の観測データ(水温・塩分)を大阪湾内の密度流予測の境界条件として活用している。(システムの精度検証後(本稿3.(4)参照)、淀川河口、阪南沖窪地、関空MT局の3カ所の観測データ(風向・風速)も活用することとした。)

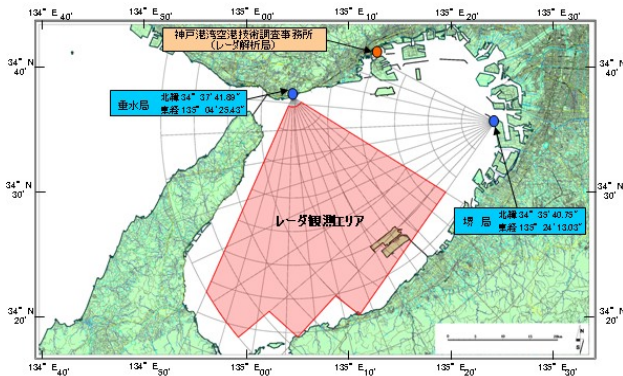


図-2 海洋レーダ観測範囲



図-3 水質定点自動観測機器の配置図

表-1 水質定点自動観測機器の観測内容

No.	モニタリングポスト	水温	塩分	DO	chl. a	濁度	光量子	流速	風況	観測方式
①	明石海峡航路東方灯浮標	○	○							固定式(1層)
②	洲本沖灯浮標	○	○							固定式(1層)
③	関空MT局	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式
④	神戸港波浪観測塔	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式
⑤	淀川河口	○	○	○	○	○	○	○	○	固定式(3層)
⑥	阪南沖窪地	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式
⑦	堺浜	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式
⑧	神戸六甲アイランド東水路中央第三号灯標	○								固定式(18層)
⑨	浜寺航路第十号灯標	○								固定式(18層)
⑩	淡路交流の翼港	○	○							固定式(2層)
⑪	須磨海づり公園	○	○							固定式(2層)
⑫	大阪港波浪観測塔	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式
⑬	岸和田沖	○	○	○	○	○	○	○	○	自動昇降式

c) その他のデータ

気象データ(気象庁HP)、水文データ(国土交通省HP)、潮位データ(海上保安庁HP)を利用している。

(3) 粒子追跡システムについて

a) システム設計について

本システムは、予測精度向上のため、リアルタイムデータを用いて、流動予測計算を行うことが大きな特徴である。リアルタイムデータを取得して利用する毎に流動予測計算を実行するシステムとした場合、結果表示までに時間がかかる。そこで迅速に表示するため、粒子の初期配置等の計算条件をパターン化して、予め6時間毎に計算・処理しておき、利用者は、その結果を確認するシステムとした。

入力データに用いる気象予報値が27時間先まで公表されているため、現時刻の27時間後までの計算を行うことができる(表示は24時間後までとしている)。また、計算開始時刻を過去にさかのぼった場合は、最大71時間後(3日分)まで追跡結果を表示することとした。

計算を行う際の課題として、気象・海象データが取得できていない、または異常値が混入している場合に、計算が発散し結果を表示できない可能性が生じる。また気象・海象データが原因でない場合でも計算が発散する可能性がある。これらの対策として、気象・海象データの補完と計算方法の変更により発散に伴うシステム停止を防止する機能を付加した。各データの補完方法を表-2に示す。

発散が気象・海象データが原因でない場合は、流況計算が発散した場合に、初期条件の流速を減衰させて発散しなくなるまで再計算を行う対策と、通常計算のバックグラウンドで平年計算(外力条件・開境界条件に平年値のデータを用いた流況計算)を並行して行い、通常計算が発散しても平年計算結果を採用する対策を組み合わせることでシステム停止を防止することとした。

上記の条件で計算した結果の表示方法は、「流動予測計算結果」、「単粒子追跡計算結果」、「粒子集積分布計算結果」の3種類とした。次の2.(3)b)-d)でそれぞれの目的と表示例を示す。

表-2 各データの補完方法

項目	基本的特徴	代替方法
水温	日単位での変化が小さい	前日の同時間のデータ
塩分	日単位での変化が小さい	前日の同時間のデータ
風	短期的な傾向が強い	直前のデータを一定値とする
河川流量	傾向がある程度続く	直前のデータを一定値とする
気温	一日周期で変化、日単位での変化量が小さい	前日の同時間のデータ
気圧	一日周期で変化、日単位での変化量が小さい	前日の同時間のデータ
湿度	一日周期で変化、日単位での変化量が小さい	前日の同時間のデータ
雲量	周期性がない	月平均値で置き換え
短波放射量	一日周期で変化、月単位で変化する	月平均された1時間単位のデータ
雨量	一日周期で変化、月単位で変化する	月平均された1時間単位のデータ
レーダによる表面流速	周期性がない	ナッジングがされないように設定

b) 流動予測計算結果について

「流動予測計算結果」は、流向流速ベクトルの水平分布で流動予測計算の結果を表示する。指定した日時にお

ける流況を確認する事を目的としている。流動予測計算結果の表示例を図-4に示す。

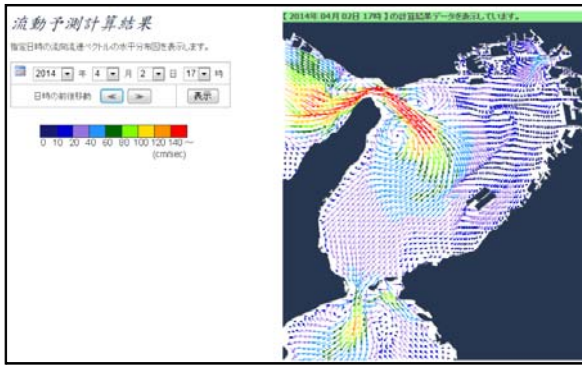


図-4 流動予測計算結果の表示例

c) 単粒子追跡計算結果について

「単粒子追跡計算結果」は、浮遊ゴミに見立てた粒子が、時間の経過と共にどのように移動するか確認する事を目的としている。

大阪湾内に流入するゴミの漂流状況は、流入時刻と流入場所によって異なるが、計算機への負担等の観点から、計算ケース数に制約があるため、粒子追跡計算の計算開始時刻（粒子の投入時刻）を6時間間隔とし、単粒子追跡計算の初期配置箇所を10地点とした。単粒子追跡計算の初期配置は図-5に示すとおり、ゴミの流入が想定される淀川・神崎川河口・神戸港沖・尼崎西宮芦屋港沖・大阪港沖・堺泉北港沖（大和川河口）・大津川河口・樫井川河口の他、湾中央及び外海からの流入を想定した明石海峡と紀淡海峡の合計10地点とした。単粒子追跡計算結果の表示例を図-6.1~3に示す。



図-5 単粒子追跡計算における粒子の初期配置

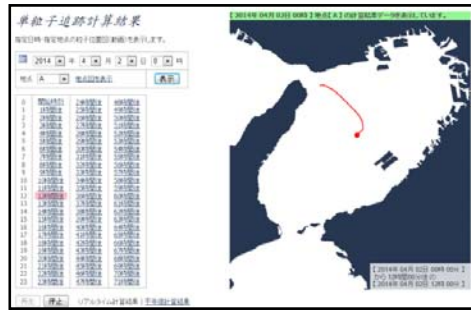


図-6.2 12時間後

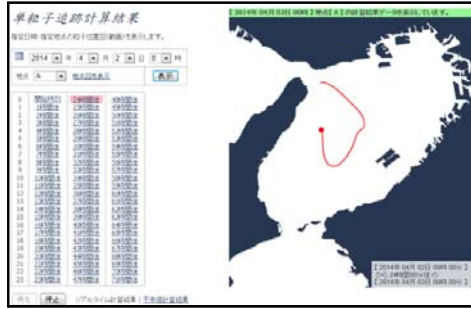


図-6.3 24時間後

d) 粒子集積分布計算結果について

「粒子集積分布計算結果」は、時間の経過と共に湾全体に配置した粒子がどのように移動して、どこに集積するか確認する事を目的としている。

粒子集積分布計算の初期配置エリアについても前述の計算ケース数の制約から 4エリアを設定した。粒子集積分布計算の表示例を図-7.1~3に示す。

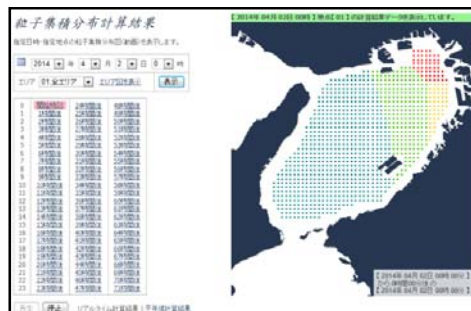


図-7.1 初期配置

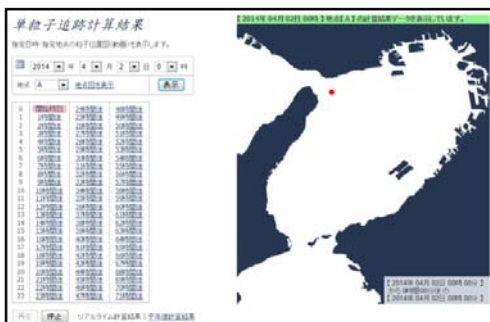


図-6.1 初期配置

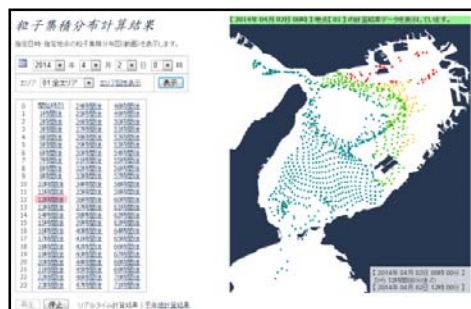


図-7.2 12時間後

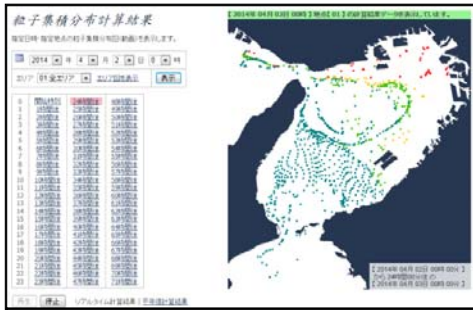


図-7.3 24時間後

3. 「粒子追跡システム」の検証

(1) 現地調査

「粒子追跡システム」における予測計算精度の検証を行うため、平水時（10月18日）及び出水時（10月27日）にGPSを搭載したブイを投入し、これを浮遊ゴミに見立て、その追跡調査を行った。現地調査の概要を表-3、図-8に示す。

表-3 現地調査条件

項目	内容
調査項目	ブイの漂流軌跡
調査位置（ブイ投入位置）	大阪湾内の3点
調査深度	表層
調査時期	平水時：平成25年10月18日（金）
	出水時：平成25年10月27日（日）
使用機器	GPSブイ
調査方法	調査位置にブイを投入し、ブイの漂流位置を10分毎に観測した。

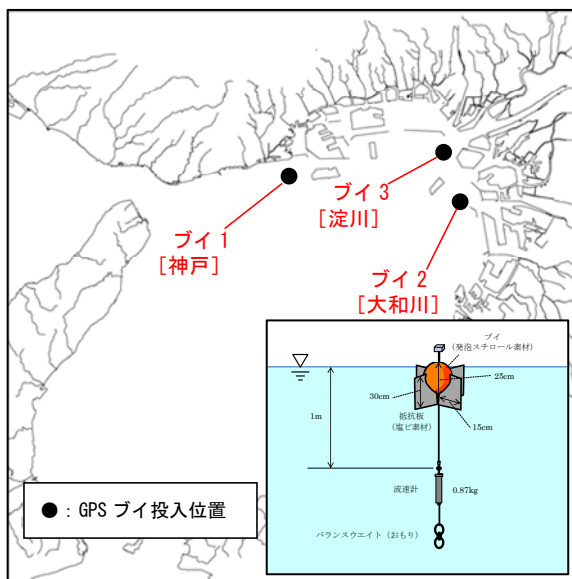


図-8 GPSブイと初期配置

(2) 現地調査結果

現地調査結果を図-9に示す。平水時（10月18日）は、神戸のブイは午前中には西方向に、沖側に移して観測した午後には南方向に漂流した。大和川、淀川のブイは南西方向に漂流した。出水時（10月27日）では、神戸のブイは午前中には北東方向に緩やかに漂流し、さらに西側に移して観測した午後には南西方向に漂流した。大和川、淀川のブイは18日よりも南方向に漂流し、特に大和川のブイはほぼ真南方向に漂流した。

次節3. (3)システムの精度検証では、神戸のブイについては障害物回避等のために途中で回収し別の場所で再投入しているため対象外とし、淀川と大和川の2ケースで検証を行った。

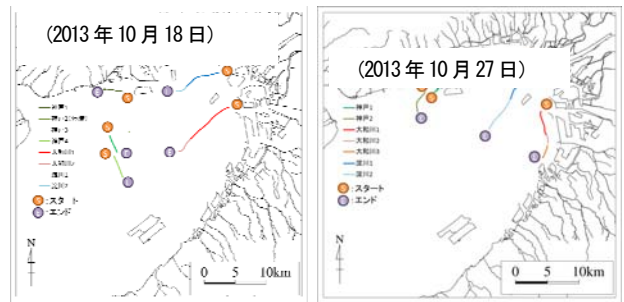


図-9 現地調査結果

(3) システムの精度検証

現地調査結果とシステムによる予測結果を図-10に示す。結果を比較したところ、平水時（10月18日）における観測ブイと計算粒子の漂流軌跡は、淀川では漂流の方向に、大和川では漂流距離に差異がみられた。

出水時（10月27日）においては、淀川、大和川ともに観測ブイと計算粒子の漂流軌跡の差異は小さく、再現性が高いことが確認された。

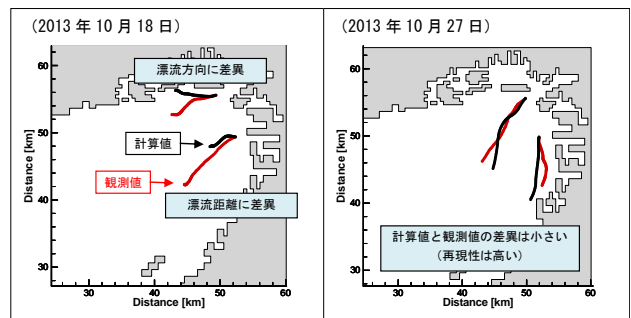


図-10 現行システムの検証結果

(4) システムの調整・更新

精度検証結果を踏まえ、精度向上のため、海上風の設定方法の調整を行った。これまで陸上気象観測の陸上風データを海上風に推算していたが、大阪湾水質定点自動観測ポストによる風のデータも用いて海上風を推算し、流動計算を行った結果、平水時（10月18日）において粒

子追跡計算の大幅な精度向上がみられた (図-11)。

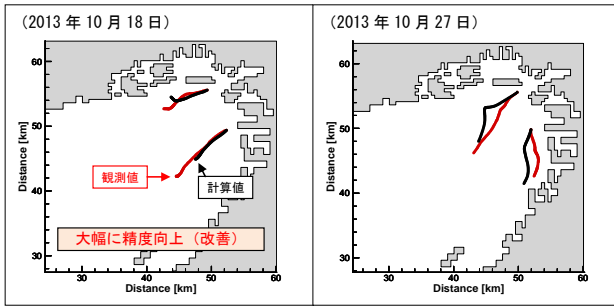


図-11 海上風の設定方法を更新後の結果



図-13 流木を回収する海洋環境整備船

(5) 今後の課題

海上風の観測地点が湾東部に偏っているため、風向等によって風場の推定精度が異なると考えられ、また海域による精度の差異も生じると考えられる。湾西部での海上風データが取得できれば、より一層精度の高い粒子追跡計算が可能になると考えられる。

また、気象データについても、海上でのデータが取得できれば精度向上につながると考えられる。

4. システムの活用方策

(1) 浮遊ゴミ・浮遊油回収作業への活用

「粒子追跡システム」を用いて浮遊ゴミの集まる場所を予測することにより、ゴミ回収の効率化を目指している。また、浮遊ゴミに関する通報を受けた場合でも、これまでは、現場に到着する頃には、ゴミが移動して見当たらないことが多かったが、本システムを用いて、移動先を予測することによって、浮遊ゴミを発見・回収することが出来ると考える。

浮遊油についても、「単粒子追跡計算結果」を用いて、移動先を予測できると考えている。しかし、浮遊油は、それ自体が薄まりながら拡散する性質があり、油種や温度によってその程度も様々である。現システムでは、浮遊油が広がりながら移動する分布範囲を表示することまではできない。浮遊油の分布範囲の予測を行うためには、別途システムが必要になり、今後の検討課題である。



図-12 潮目に集積する浮遊ゴミ



図-14 浮遊油を放水拡散する海洋環境整備船

(2) 今後の活用方策

「粒子追跡システム」は、浮遊ゴミ・浮遊油の探査・回収に利用するだけでなく、大阪湾の汚濁機構解明にも活用することが出来ると考えている。気象・海象データや計算結果を経年的に蓄積しているため、大阪湾の流動状況の分析が可能となる。例えば、大阪湾の環境に大きな影響を及ぼす出水時や台風通過時の面的な流れの特性把握や、青潮等発生時の情報(日時・場所)との照らし合わせによる発生条件の解析等が考えられる。

また、現システムは、計算結果の表示画面上は、表層の流動の表示のみであるが、実際には3次元的な流動シミュレーションを行っている。今後、溶存酸素量など他の水質データをシステムに取り入れることにより、大阪湾の水質シミュレーションも可能であり、空間的な水質分布の把握により、大阪湾の汚濁機構解明に大きく寄与するものと考えられる。

5. おわりに

本論文では「粒子追跡システム」の構築と、その活用方法について報告した。粒子追跡、ゴミ集積箇所の予測については精度向上の余地があると考えられる。今後、利用結果を確認しながら、より実用的なシステムになるよう検討を行うとともに、大阪湾汚濁機構解明に向けて、システムの有用性・改良方法を検討していきたい。