流出油拡散・漂流予測モデルを用いた 大阪湾における油漂流パターンの解析

林 美鶴*・西尾 茂**

Analysis of Oil Spill Pattern in the Osaka Bay by using the Oil Spill Prediction Model.

Mitsuru HAYASHI and Shigeru NISHIO

Abstract

The oil-spill patterns in Osaka Bay area were considered by using the Oil-Spill Prediction Model, which has been developed by Petroleum Associate of Japan. The simulated oil-spill patterns enables us to know the each contribution of driving factors of oil spill such as tidal current, tide-induced residual current and river-water driven flow. The oil-spill patterns are mainly determined by the force balance of wind and constant component of total current. The wind forces of over 6 m/s wind speed control oil-spill patterns even at the strongest-current area in Osaka Bay. When we consider the contributions of wind forces separately from constant component of total current, the wind forces may influence on oil spill patterns greatly even the wind speeds are less than 1 m/s.

Keywords : Oil spill, Osaka Bay, Prediction model, Wind speed

キーワード: 油流出、大阪湾、予測モデル、風速

1. はじめに

資源の少ない日本にとって船舶による油輸送は重要な役割を果たしており、臨海地区には数多くの石油コンビナートが存在する。一方で、沿岸海域における海難や、地震や津波などの自然災害による石油コンビナートの破壊など、大規模油流出の危険性は常に存在する。油流出事故が発生した場合、速やかに防除を実施して被害を最小に押さえるべきだが、そのためには油の漂流方向や拡散範囲などをより正確に予測する必要がある。また大規模な油流出に備えて事前に防除対策を策定し、防除訓練を行うことも大切であり、そのためには対象海域での油の漂流・拡散の特性を予め把握しておくことも重要となる。これまでの流出油予測は、多くのデータと高性能のコンピューターによる数値計算により行われてきたが⁽¹⁾⁽²⁾、「流出油拡散・漂流予測モデル」(石油連盟)は、油の拡散・漂流をパーソナル・コンピュー

タ上で簡単にシミュレートすることができる。このようなユーティリティーは、油流出事故において最も重要な防除の初動体制に有用な情報を提供することが出来ると共に、防除対策や訓練を行う際にも利用価値が高い。

ところで、一般的に海面での油漂流に最も影響するのは風であると言われている⁽³⁾。しかし大阪湾のように、潮流、潮汐残差流、河川流など様々な流れが存在する海域においては、どの流れがどの程影響するか明らかではない。大阪湾は船舶輻輳海域であり、臨海地区に多くの石油コンビナートを有し、また南海・東南海地震において津波の襲来が予想されており、油の漂流や拡散の特徴についての情報が必要とされている。

これらのことから、本研究では「流出油拡散・漂流予測モデル(Ver.6.0)」を用いて、大阪湾を対象に油漂流シミュレーションを行い、潮流、潮汐残差流

* 正会員 神戸大学内海域環境教育研究センター (〒 658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)
mitsuru@maritime.kobe-u.ac.jp

** 正会員 神戸大学海事科学部 (〒 658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1) nishio@maritime.kobe-u.ac.jp

及び河川流による油の漂流の特徴を把握するとともに、油漂流パターンに与える風の影響を明らかにする。

2. 実験方法

2.1 漂流ベクトル計算の概略

本研究で用いた「流出油拡散・漂流予測モデル (Ver.6.0)」は、漂流油の拡散防止、防除のための初動対策に用いることを主眼としているため、手軽に使えるパーソナル・コンピュータなどの装置で、短時間でシミュレーションが行えるようシステム設計されている。対象海域は日本とその沿岸であり、海域や流出日時・位置などの基本条件を設定し、さらに風や流れなどの自然条件を設定して計算を実行すると、画面上に計算結果が表示される。

油の挙動は漂流と拡散とに分かれる。漂流については、その要因を吹送流、潮流、潮汐残差流、河川流、海流の5つに分離し、それぞれを独立に求めた後に、線形性の仮定のもとでそれぞれの成分を加算して漂流ベクトルを求めている。流れ及び漂流予測の計算メッシュは、閉鎖性海域では 1km である。漂流計算には、データベースとして搭載されている潮流、潮汐残差流及び河川流の、各点での漂流ベクトルを時空間的に補間するとともに、風による漂流を計算して、逐次求めている。

また拡散には、油の物性等に起因する拡散、流速のシアによる渦拡散、蒸発や乳化などの性状変化、鉛直分散による海面下での挙動などが含まれる。物性等に起因する拡散については、Mackay のモデルに準拠し、渦拡散については適当な渦動係数を与えて模擬している。性状変化や海面下での挙動については、拡散・漂流予測モデルとは別途開発された風化モデルと呼ばれるものを用いているが、拡散の計算後にこれらを逐次計算しているので、本論文での計算結果には大きな影響は与えていない。

以上の通り流出油は、流れの各成分の合成流により漂流し、漂流しながら拡散してゆく。モデルでは、流出油を最大 5000 個のセルに分割し、粒子追跡の手法を基本とし、ランダムウォークモデルと組み合わせで計算を行っている。モデルによる油漂流・拡散シミュレーションの再現性は、実際に発生した油流出事故を模擬することで確認されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本研究の目的は、防除の初動体制を決定づける漂流について、風以外の要因による油の漂流の特徴と油漂流のパターンに与える風の影響を明らかにする事なので、漂流を中心に議論し、拡散については必要に

応じて述べる。

2.2 流れの計算法

大阪湾の場合、海面での油漂流は海流を除く 4 つの要因の合成流として表されることから、これらの計算方法について概略を述べる。

吹送流については、使用したモデルではこれを直接計算せず、風圧による直接の漂流を考慮して風圧係数法を採用し、海上 10m での風速の 2 ~ 4% が油膜の移動速度となる。これは、油流出予測モデルで一般的に用いられる手法である⁽¹⁾。風は季節的或いは数日程度の気圧配置変化や、ローカルな日変動などにより大きく変動する。そのため、風のリアルタイム・データや予測データをインターネット経由で (財) 日本気象協会のサーバーから有償でダウンロードして用いることができる。モデルが、気象予報メッシュデータの形式に対応することで、極めて現実に近い風向・風速データを用いてシミュレーションが行えるようになっている。また仮想的な計算のために、月別平均値やマニュアル入力も用意されている。

前節でも述べたが、他の流れについては、風に比べ油漂流への影響力が弱いこと、定常流や規則的な流れと仮定できることから、予めデータベースとしてモデルに搭載されている。

潮流には主要 4 分潮 (M_2 , S_2 , O_1 , K_1) が考慮されており、部分的に海底地形を取り入れた多層モデルを用いて、擬似 2 次元の流れ場シミュレーションを実施し、この結果をシステム上に搭載している。これにより、流出時刻を入力すると、時々刻々の潮流が与えられる。潮流の計算は多層モデルを用いた近似計算であるため、海底ならびに沿岸における境界条件も近似的な滑りなしの条件を課している。また、自由表面の変形、波の漂流力の寄与は考慮に入れておらず、自由表面では滑面の条件が与えられている。これらの近似から、海底ならびに沿岸における境界層の推定、うねりなどの方向性の強い波の漂流力の推定には若干の問題が生じることが予想される。しかし、本論文で対象としている閉鎖性海域で、沿岸から離れた位置での漂流パターンの推定精度には大きく障害は発生しないものと考えられる。

潮汐残差流は、地形などの影響で潮流の非線形性により生じる時間によらない定常的な流れで、潮流計算の過程でその成分を取り出すことが出来る。モデルでは、最も振幅の大きい M_2 分潮による潮汐残差流をシステム上に搭載している。

河川流は、海水との密度差によって河川水が海洋表層を滑るように流れる流れと捉えている。これについても、潮流推定の方法に準じて擬似2次元のシミュレーションを行い、河川流成分を求めた結果をシステムに搭載している。河川流量の多い順に、出水、豊水、平水、低水の4段階から選択可能で、それぞれ定常流として与えられる。

2.3 システムに搭載された流れの場合

海面の潮流ベクトルの例として、Fig.1 に大潮日(2003年8月28日)の上げ潮の最強時(a)と下げ潮の最強時(b)を示す。明石海峡や友ヶ島水道で数knotの強い潮流が見受けられ、上げ潮時は友ヶ島水道から明石海峡に向かって、下げ潮時はその逆の流れになっている。この間の流速は、約1knotである。この潮流ベクトル分布は、海上保安庁などが行った既存の観測、研究結果(例えば明石海峡で5knot、明石海峡と友ヶ島水道の間で0.7~2.1knot、大阪湾奥で0.3knotなど)と比べて妥当な値と考えられる⁽⁶⁾。

Fig.1 Horizontal velocity distributions of tidal current in spring tide, (a) maximum flood current, (b) maximum ebb current.

Fig.2 Horizontal velocity distribution of tide-induced residual current of M_2 tide, and the positions of oil-spill events. ● show the Oil spill points.

Fig.3 Horizontal velocity distribution of river-water driven flow at largest water discharge.

Fig.2 は、 M_2 分潮の潮汐残差流ベクトルである。大阪湾の中央に時計回りの環流があり、流速は20cm/s以上、最も早い所では50cm/s程度である。これは一般に知られている沖ノ瀬環流と一致し⁽⁷⁾、沖ノ瀬環流は M_2 分潮の潮汐残差流により形成されることが明らかとなっている⁽⁸⁾。潮流と潮汐残差流の流速を比較すると、大潮時の最強で狭水道近傍では潮流が潮汐残差流の約5倍、小潮時でも2倍以上の流速となる。しかし、これは1日のうちわずか数時間程度であり、また狭水道から離れた海域では潮汐残差流が潮流を上回る場合がある⁽⁹⁾。

Fig.3 に、最も流量の多い出水の河川流ベクトルを示す。一般に淀川の流量が多い場合には、河川水は神戸沖に向かって流れると言われている⁽⁹⁾。この点は、モデルの河川流ベクトルと定性的に一致する。大阪湾全体の河川流の水平分布は、現実の海洋で河川流のみを実測することは困難であることから、明

らかではない。

2.4 実験内容

以上のベクトル図から、流出点として Fig.2 に●で示す 3 点を設定した。点 A は潮流、潮汐残差流及び河川流とも比較的強い海域、点 B は潮流と潮汐残差流が弱い、河川流は比較的強い海域、点 C は潮流が比較的強いが、潮汐残差流と河川流は比較的弱い海域と分類できる。

実験の種類は以下の通りである。

(1) まず、潮流のみを考慮した場合と、潮流と潮汐残差流を考慮した場合の計算結果を比較した。次に、出水の河川流も考慮した場合の計算結果を比較した。これらにより、3 つの流れが油漂流にどのような影響を与えるかを明らかにする。また、潮流、潮汐残差流及び河川流を考慮した場合の、大潮時と小潮時の違いを明らかにする。

(2) 潮流、潮汐残差流及び河川流を考慮した場合で、風向・風速を変化させて油漂流パターンを比較した。吹送流以外の流れを最大にし、河川流は出水、潮流は大潮とした。風向・風速は、大阪湾で一様に与えた。実際には場所によって異なるが、大阪湾の海上風の水平分布は明らかになっていない。よって、ここでは 2002 年のアメダス・データ⁽¹⁰⁾から、神戸で卓越する北風と西風の 2 種類について検討し、風速は 0m/s から 1m/s づつ、油漂流パターンが変化しなくなるまで上げていった。

その他の計算条件として、油種はアラビアン L、流出量は 1000kl で、5 時間に渡って一定量で流出するとした。また、気温、海水温度、雲量は月平均値を用いた。計算は 0.2 時間間隔で、流出から 48 時間後まで計算した。

後で示す計算結果の図で、漂流油の軌跡は線で、拡散油はその量に応じて濃淡で表示される。漂流油の軌跡は、流出地点から最も遠い漂流位置を線で結んでおり、油が 2 方向に漂流する場合は、漂流の軌跡も 2 方向に分岐する。そして、流出から 48 時間後の漂流地点を▲で表した。また、前述の通り拡散については、性状変化などの化学要因が含まれることから、本研究では拡散状況について客観的に述べるに留め、その理由については言及しない。

3. 結果と考察

3.1 潮汐残差流の影響

Fig.4(a)に、点 A で油が流出した時の、潮流(小潮)のみを考慮した油漂流パターンを示す。潮流は

往復運動なので、油はほとんど移動することなくある範囲を往復する。これに対し、潮汐残差流も考慮した場合の漂流油先端の軌跡は Fig.4(b)の様になる。この海域は潮汐残差流が強いため、流出油は大阪湾中央部を広く漂流・拡散する。また明石海峡付近に漂流した時に上げ潮流に乗ると、播磨灘まで漂流する。点 B からの流出でも、潮流のみを考慮した場合はほぼ一点に留まるが、潮汐残差流も考慮すると、そのベクトルと一致するように油は南下する。点 C からの流出では、潮汐残差流に比べ潮流が強く、かつ潮汐残差流の方向が一定では無いことから、油漂流が潮流の影響を強く受け、潮流を考慮した場合と潮汐残差流も考慮した場合とで大きな差はない。

Fig.4 Calculated results of oil spills, (a) the simple consideration of tidal current, (b) the consideration both on the tidal current and the tide-induced residual current. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

現実には、潮汐残差流は油を漂流させる一つの要因であることから、漂流予測を行う際には潮汐残差流を考慮する必要がある。特に、大阪湾中央部の様

に潮流に比べ潮汐残差流が無視できない海域では、潮汐残差流を含まない計算結果は現実と大きく異なる可能性が高い。

3.2 河川流の影響

Fig.5(a)に、潮汐、潮汐残差流に加え、出水の河川流も考慮した場合の、点 A からの油漂流パターンを示す。油は拡散せずに、流出から 15 時間後に明石海峡入り口まで漂流し、流出から 24 時間後に明石付近に漂着する。河川流を考慮しない場合は、流出から 15 時間後は大阪湾中央部に位置していた

ことから、西向きの河川流が拡散を押さえ、漂流速度を速くさせていることが示唆される。すなわち、淀川のような流量の多い河川は、油の漂流速度に影響を与えると言える。

今回使用したモデルは河川流量を 4 段階から選択するようになっている。しかし、ユーザーが計算時の河川流量を判断出来ない場合もある。河川流量は国土交通省河川局により計測されており、インターネットでも情報が入手できることから⁽⁴⁾、今後、何らかの形でモデルに反映することが可能である。

Fig.5 Calculated results of oil spills starting from point A by considering total current with no wind, (a) simulation in the neap tide, (b) simulation in the spring tide. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

Fig.6 Calculated results of oil spills starting from point B by considering total current with no wind, (a) simulation in the neap tide, (b) simulation in the spring tide. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

3.3 大潮時と小潮時の違い

Fig.5(b)は、大潮時の潮汐、潮汐残差流、及び出水での河川流を考慮した場合の、点 A からの油漂流パターンである。小潮時(Fig5(a))と比較すると、

播磨灘での拡散状況や漂流距離に違いがある。これは、小潮時は明石付近に漂着し、その間は漂流・拡散しなかったが、大潮時は漂着がなく、そのため播磨灘を漂流して広範囲に拡散したため、大潮と小

潮の差によるものではない。一方、Fig.6に示す点Bからの流出では、小潮時(a)と大潮時(b)で漂流パターンや漂流距離に大きな差はない。これは、この海域の潮流が大潮時でも比較的弱いためだと考えられる。また点Cからの流出では、Fig.7に示す大潮時の漂流パターンに対して、小潮時は往復運動の振幅が若干小さくなる程度で、油漂流パターンはほぼ同じである。この様に、大阪湾の大潮時と小潮時の流速差が狭水道を除くと最大でも数十 cm/s 程度であることから、潮流振幅の差による漂流パターンの差はほとんど無いと考えられる。

Fig.7 Calculated results of oil spills starting from point C by considering total current with no wind, (a) simulation in the neap tide, (b) simulation in the spring tide. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

3.4 風の影響と油漂流パターン

大潮時の潮汐、潮汐残差流、及び出水での河川流に加え、風を考慮した場合の油漂流パターンと風の影響について議論する。

3.4.1 点Aからの流出

Fig.8は北風で、それぞれ風速 2m/s(a)、4m/s(b)、6m/s(c)、8m/s(d)での油漂流パターンである。また Fig.9は西風で、それぞれ風速 2m/s(a)、5m/s(b)、6m/s(c)、7m/s(d)での油漂流パターンである。尚、風速 0m/s での油漂流パターンは、Fig.5(b)である。

北風の場合、風速 1m/s と風速 0m/s の油漂流パターンは大差なく、潮汐残差流によって明石海峡付近に漂流した後、河川流と潮流によって播磨灘まで漂流する。風速 2m/s では播磨灘への漂流が少なく、その分大阪湾で油が広がっている。風速 4m/s では、一部の油が播磨灘に侵入するが、一方で北風により淡路島東岸に沿った漂流が見受けられる。風速 6m/s で播磨灘への漂流がなくなり、漂流の軌跡は直線上に延びて漂流距離も長く、先端は友ヶ島水道に近づく。風速 8m/s 以上になると、漂流の軌跡がさらに

直線的になり、油の先端は紀伊水道に達して、風速に応じて漂流距離が長くなる。

西風でも、風速 1m/s と 0m/s の油漂流パターンは大差ない。風速 2m/s では、風が河川流や下げ潮流を抑制する方向に働いて播磨灘への油漂流が少なくなり、逆に大阪湾で油が広がっている。風速 5m/s で西風により播磨灘への漂流がなくなり、風速 6m/s 以上になると風の影響が強くなって、油は南東方向に漂流する。関西空港には、風速 6m/s の時には漂流から 36 時間目に、風速 7m/s では 24 時間目に漂着する。

以上のことから、どちらの風向においても風速 2m/s から風の影響を受け始め、風速 4～5m/s で風により漂流方向が変化し、風速 6m/s で播磨灘への漂流がなくなる。風速 6m/s 以上では油漂流パターンは一定で、風速に応じて漂流距離が長く、漂着時刻が早くなる。すなわち、北風か西風かに寄らず、風速 6m/s 以上になると油漂流パターンに対して風が最も影響力を持つと考えられる。

3.4.2 点Bからの流出

Fig.10は北風で、それぞれ風速 2m/s(a)、4m/s(b)、6m/s(c)での油漂流パターンである。また Fig.11は西風で、それぞれ風速 2m/s(a)、3m/s(b)、6m/s(c)での油漂流パターンである。尚、風速 0m/s での油漂流パターンは、Fig.6(b)である。

北風の場合、風速 1m/s と風速 0m/s の油漂流パターンに大差はなく、河川流で湾中央へ漂流し、潮汐残差流によって時計回りに循環する。風速 2m/s で、時計回り循環による北方向への漂流が風により押さえられる。風速 4m/s で時計回り循環流に乗らなくなり、漂流の軌跡が直線上に南西に延びる。さらに風速を上げると漂流速度が速くなり、風速 6m/s で流出から 42 時間後に和歌山県岬付近に漂着する。それ以上の風速でも油漂流パターンや漂着位置はほとんど変わらず、漂着時間が早くなる。

西風でも、風速 1m/s と 0m/s の油漂流パターンは大差ない。風速 2m/s で風のために時計回り循環流に乗らなくなり、油は直線上に南下する。風速 3m/s で漂流方向が東に変化し、それ以上の風速では東への漂流距離が長くなる。風速 6m/s で、流出から 48 時間後に大阪府の堺泉北付近に漂着し、それ以上の風速でも油漂流パターンや漂着位置はほとんど変わらず、漂着時間が早くなる。

この場合も、どちらの風向においても風速 2m/s から吹送流の影響を受け始める。風速 3～4m/s で油の漂流方向が風下側になり、それ以上の風速で

Fig.8 Calculated results of oil spills starting from point A by considering total current with northerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

Fig.9 Calculated results of oil spills starting from point A by considering total current with westerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

は油が流出地点から直線上に漂流する。このことから、油漂流パターンが風に最も影響を受ける風速は4m/s以上だと言える。点Aからの流出に比べ、より低風速から風の影響を受けるのは、点B付近の海域は潮流と潮汐残差流が弱いため、相対的に風の影響を受けやすいためだと考えられる。

また風速6m/sでの漂着時刻は、長距離を漂流する北風の方が西風の場合よりも早い。これは、強い河川流が漂着時刻を遅らせる方向に働いたためであり、前述の通り、強い河川流は漂流速度や漂着時刻に影響を与えると言える。

Fig.10 Calculated results of oil spills starting from point B by considering total current with northerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

Fig.11 Calculated results of oil spills starting from point B by considering total current with westerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

3.4.3 点Cからの流出

Fig.12 は北風で、それぞれ風速2m/s(a)、6m/s(b)での油漂流パターンである。またFig.13は西風で、それぞれ風速1m/s(a)、2m/s(b)での油漂流パターンである。尚、風速0m/sでの油漂流パターンは、Fig.7である。

北風の場合、風速1m/sと風速0m/sの油漂流パターンに大差はなく、潮流による往復運動をしながら、潮汐残差流で少しずつ東に位置を変える。風速2m/sでは、風による南下のため友ヶ島水道の強い潮流の範囲に入り、南北方向の往復運動を行う。それ以上の風速では、風により往復運動の振幅が大きくなる。風速6m/sになると、風による漂流で一気に紀伊水

道まで運ばれ、友ヶ島水道での往復運動は見られなくなる。

西風の場合、風速 1m/s で漂流方向が東寄りとなり、風速 2m/s で漂流開始から 48 時間後に大阪府南部に漂着する。さらに風速を上げると油漂流パターンはより直線上となるが、漂着地域はほとんど変わらず、風速 4m/s で漂流開始から 24 時間後に漂着する。

点 C では、風速 1m/s から油の漂流方向が風向に

よって異なる傾向が見られた。これは、この海域に強い定常流がないためで、流出直後の漂流方向がその後の油漂流パターンに大きな影響を与え得ると言える。もし流出時に潮流が強く、流出油がこの潮流に乗れば、油漂流パターンは友ヶ島水道での往復運動となる。しかし潮流が弱い時間帯に流出した場合は、流出直後の風向でその後の漂流方向が大凡決まり、弱い風でも油漂流パターンに大きな影響力を持つと言える。

Fig.12 Calculated results of oil spills starting from point C by considering total current with northerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

Fig.13 Calculated results of oil spills starting from point C by considering total current with westerly wind in different speed. ● show the Oil spill points. ▲ show the positions after 48 hours from the oil spill start.

4. まとめ

「流出油拡散・漂流予測モデル(Ver.6.0)」を用いて、大阪湾を対象に油漂流シミュレーションを行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 油漂流パターンに対する、潮流、潮汐残差流、河川流の特性が明らかになった。
- (2) 油漂流パターンは、風速と定常流のバランスで決まる。風速がある“しきい値”を超えると、風の影響が最も大きくなり、その値は海域ごとの条件によって異なる。
- (3) 大阪湾では、定常流がある場合は風速 2m/s から風の影響を受け始め、定常流が極めて強ければ風速 6m/s 以上で、比較的弱ければ 4m/s 以上で風に最も

影響を受けるようになる。また定常流がない場合は、風速 1m/s でも油漂流パターンに大きな影響を及ぼす。

以上の通り本研究では、代表的な条件を設定して大阪湾での油漂流パターンを明らかにした。全体を通じて西風の時に漂着する可能性が大きく、特に大阪府南部に漂着する可能性が高い。但し漂着地点や時刻は、風や流れの状況により異なる。大阪湾における油の漂流は、潮流、潮汐残差流、河川流及び吹送流の全ての影響を受けており、どの流れがどの程度影響を及ぼすかは場所によって異なる。今後は、油流出の可能性が高い海域を具体的に想定して、より細かな条件設定により油の漂流・拡散範囲の時空間分布を定量的に評価したいと考えている。

謝辞

本研究は、石油連盟からの受託研究により実施した。モデル計算は、日本郵船(株)御厨研一氏(当時、神戸商船大学商船学部)にお手伝い頂きました。関係者に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- (1) Sergey M. VARLAMOV, Jong-Hwan YOON, Naoki HIROSE, Hideyuki KAWAMURA and Ken SHIOHARA : Simulation of the Oil Spill Processes in the Sea of Japan Sea with Regional Ocean Circulation Model, Journal of Marine Science and Technology, Vol.4, pp.94-107, 1999.3
- (2) Shin-ichi SUGIOKA, Takashi KOJIMA, Kisaburo NAKATA and Fumio HORIGUCHI : A Numerical Simulation of an Oil Spill in Tokyo Bay, Spill Science and Technology Bulletin, Vol.5, pp.51-61, 1999.4
- (3) 横山長之 : 海洋環境シミュレーション、白亜書房、1998
- (4) 石油連盟 : 流出油拡散・予測モデルに関する報告書、1995.3.
- (5) 藤井崇、高畑哲男 : 流出油シミュレーションと海洋 GIS データ、地理情報システム学会講演論文集、Vol.6, pp.193-198, 1997.
- (6) 海上保安庁海洋情報部 : 大阪湾及播磨灘潮流図、海上保安庁、2005
- (7) Tateki FUJIWARA, Hideaki NAKATA and Keiji NAKATSUJI : Tidal-jet and vortex-pair driving of the Residual Circulation in a Tidal Estuary, Continental

Sheif Research, Vol.14, pp.1025-1038, 1994.8

(8) Tetsuo YANAGI and Satoru TAKAHASHI : Variability of Residual Flow in Osaka Bay, Japan, Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University, Vol.14, pp.377-391, 1995.2

(9) 藤原建紀 : 沿岸の環境圏、pp.10-21、フジ・テクノシステム、1998

(10) インデックス(株) : 気象年表 I アメダス 2002 (CD-ROM 版)、丸善、2002

(11) 国土交通省 : 水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>、2005.8

質疑応答

定兼廣行(神戸大学海事科学部) :

- (1) 潮流残差は海底地形の影響を受けて変わると思われます。海岸の海底地形は考慮されているのでしょうか。
- (2) 風速による吹送流の差違が示されていますが、風は波も発生させますので、このような波浪が吹送流に及ぼす影響は考慮されているのでしょうか。

林美鶴 :

- (1) 潮汐残差流を含む流れの鉛直分布は、鉛直方向を多層に分けて計算されており、水深に応じて層厚を変化させています。よって、およそその海底地形が反映されています。
- (2) 波浪が海面流、あるいは風による油の漂流に与える影響については考慮されていませんが、砕波に伴う油の鉛直的な混合は考慮されています。