

— 論 文 —

1982年と2003年の大阪湾における 底質分布・底泥輸送方向の比較*

柳 哲雄[†]・星加 章[‡]・辻 裕^{**}

要 旨

1982年と関西空港や明石大橋が建設された後の2003年に、大阪湾内における27点(1982年)と28点(2003)で採取された表層底泥の中央粒径・歪度・淘汰度を解析し、底質分布・底泥輸送経路の比較を行なった。その結果、1982年と比べると2003年には、中央粒径は大阪湾中央部で粗く、友が島水道付近で細くなり、粒径分布は大阪湾中央部で細かい側、友が島水道付近で粗い側に偏り、大阪湾のほぼ全域で淘汰度は悪くなっていた。また底泥輸送方向は、1982年には大阪湾東部と中央部で北向き、北部と南部で西向きであったが、2003年には大阪湾中央部から明石海峡に向けた北向きの底泥輸送が顕著になり、大阪湾南東部の関西空港南部では底泥輸送方向が1982年の西向きから2003年の北向きへと大きく変化していた。

以上のことは大阪湾の大規模開発に伴い、大阪湾中央部の流速は増加して、中央部から明石海峡への粗い粒子輸送が増加したこと、友が島水道付近の流速は減少して、友が島水道から中央部への細かい粒子輸送が増加したことを示している。

キーワード：大阪湾，底質分布，底質移動

1. はじめに

大阪湾では1973年の瀬戸内海環境保全特別措置法(瀬戸内海における埋め立ての原則禁止を定めている)施行以降も、1987年の関西国際空港(511 ha)を初めとして、廃棄物の最終処分場埋め立て地を中心に、5,400 haにも及ぶ埋め立てが行われ、1998年には明石海峡

大橋も開通するなど、大規模開発が続いている。このような大規模開発により、大阪湾の流速や流動パターンが変化し、湾内の物質輸送や水質・底質環境は変化することが予想される。吉田・高杉(2001)は大阪・神戸のM₂潮汐振幅が1960年代前半から1990年代にかけて約2.0 cm減少したことを報告しているが、それに伴って大阪湾の流速・水質・底質分布がどのように変化したかは明らかにされていない。

本研究の目的は、関西空港と明石海峡大橋建設以前の1982年8月と、それらが完成した後の2003年10月に、大阪湾内の27点(1982年)と28点(2003年)で採取された表層底泥の中央粒径・歪度・淘汰度を解析して、両年における大阪湾内の底質分布・底泥輸送方向の変化を明らかにすることである。

* 2005年10月27日受領；2006年2月9日受理
著作権：日本海洋学会，2006

[†] 九州大学応用力学研究所；
〒816-8580 春日市春日公園6
主著者 e-mail address : tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp

[‡] (独)産業技術総合研究所
地質情報研究部門沿岸海洋研究グループ
〒737-0197 呉市広末広2-2-2

^{**} 九州大学総合理工学府大気海洋環境システム学専攻
〒816-8580 春日市春日公園

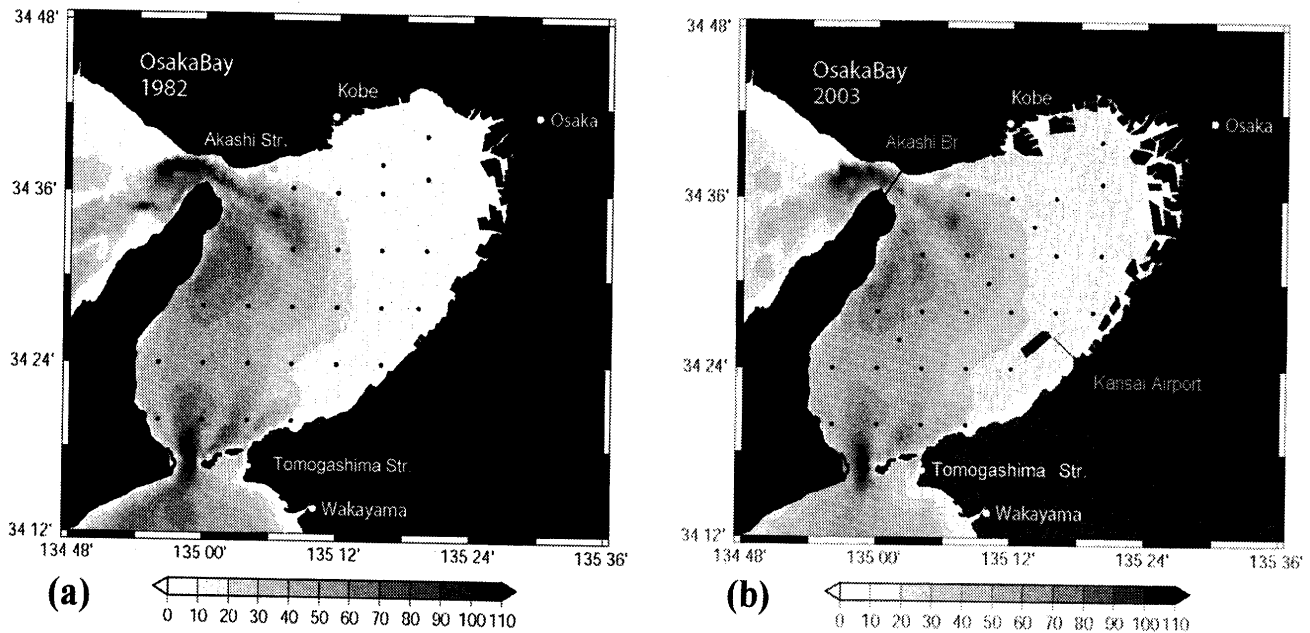


Fig. 1. Sampling stations of surface sediment in 1982 (a) and 2003 (b) in Osaka Bay. Numbers in the bar show the depth in meters.

2. 表層底泥調査

1979年～1982年に、瀬戸内海全域において10 kmメッシュでSM (スミス・マッキンタイヤー) 採泥器により採取された表層底泥試料 (谷本ら, 1984) のうち、1982年8月に大阪湾内の27点 (Fig. 1a) で採取された試料について、中央粒径値 (Md_ϕ)・歪度 (わいど, Sk)・淘汰度 (So) を求め、その水平分布を描いた (Fig. 2(a), 2(b), 2(c))。

中央粒径値は積算重量の50%値に相当する粒子の直径 d mm を $d = (1/2)^\phi$ で表したもので、大きい Md_ϕ 値ほど中央粒径が細かいことを表している。

$$Md_\phi = \phi_{50} = -\log_2 d_{50\%} \quad (1)$$

歪度 (skewness) は粒径分布の偏りを次式で表したもので、 $Sk = 0$ は粒径分布が左右対称、 $Sk > 0$ は細かい粒径に分布が偏り、 $Sk < 0$ は粗い粒径に分布が偏っていることを示す。

$$Sk = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (2)$$

淘汰度 (sorting) は粒子の均一性を次式で表したもので、 $So > 1.0$ は淘汰度の悪い底泥、 $So < 0.5$ は淘汰度

の良い底泥を表している (Folk and Ward, 1957)。

$$So = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} - \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (3)$$

谷本ら (1984) の調査以降、埋め立てや長大橋の建設などの大規模開発が進められた大阪湾の沿岸開発により生じた底質分布・底泥輸送方向の変化の有無を明らかにするために、1982年の調査地点と同じ調査地点を含む28点 (Fig. 1(b)) で調査を行なった。すなわち、ほぼ同じ季節の2003年10月にSM採泥器を用いて表層底泥を採取し、中央粒径・歪度・淘汰度を求めた。そして、その水平分布を描き (Fig. 2(c), 2(d), 2(e))、それぞれのパラメータの2003年と1982年の差を求めた (Fig. 3(a), 3(b), 3(c))。

3. 結果と議論

3.1. 底質分布

1982年の Md_ϕ 分布は、明石海峡と友が島水道付近に粗い ($Md_\phi \approx 2$) 粒子が、大阪湾奥部に細かい粒子 ($Md_\phi \approx 8$) が分布していて、友が島水道付近には $Md_\phi < 0$ の礫も存在していたことを示している

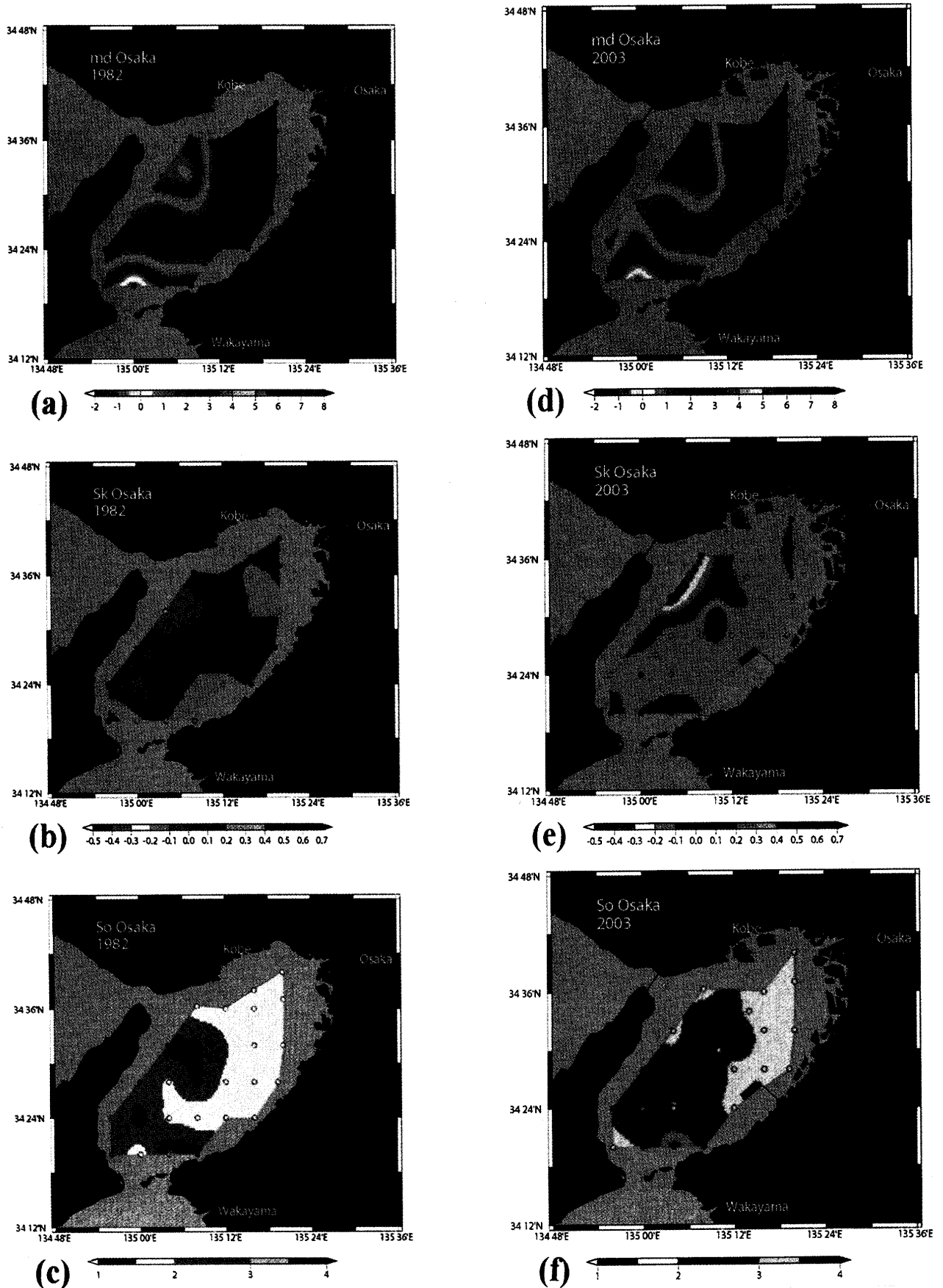


Fig. 2. Median diameter (a), skewness (b) and sorting coefficient (c) of surface sediments in Osaka Bay in 1982, and median diameter (d), skewness (e) and sorting coefficient (f) of surface sediments in Osaka Bay in 2003.

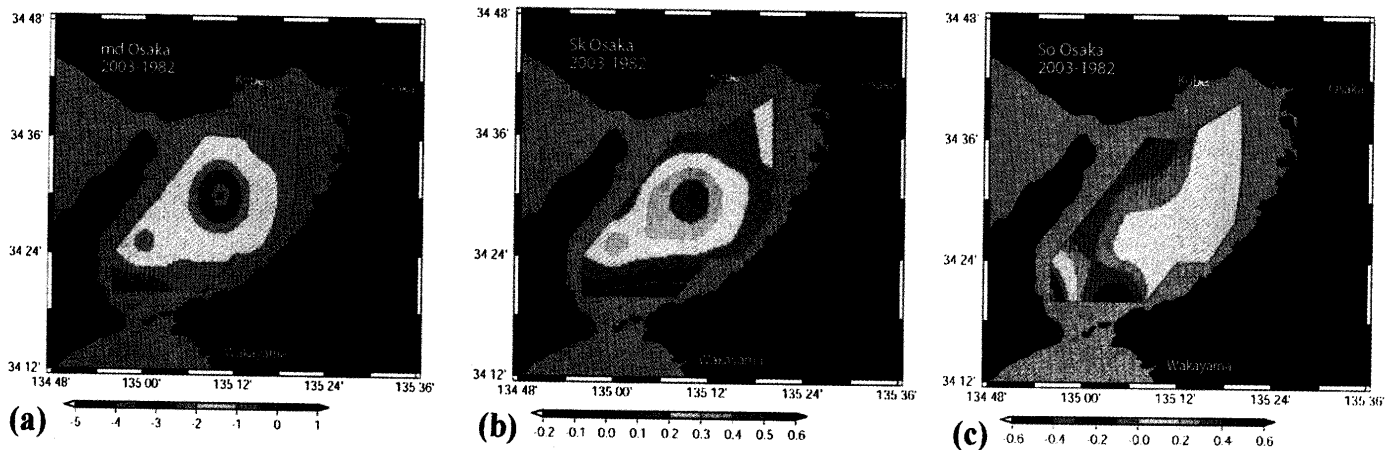


Fig. 3. Difference in median diameter (a), skewness (b) and sorting coefficient (c) between 1982 and 2003 in Osaka Bay.

(Fig. 2(a)). 歪度に関しては明石海峡から大阪湾中央部にかけて -0.1 から 0.1 の値が見られ、ほぼ対称の粒径分布をしていたが、友が島水道から湾東部、さらに湾奥にかけては $Sk=0.2\sim 0.5$ の値が見られ、細かい粒径に分布が偏っていた (Fig. 2(b))。淘汰度は大阪湾奥部から湾東部、湾中央南部にかけて $So < 2$ の淘汰度の良い底泥、それ以外の場所では $2 < So < 3$ の淘汰度の悪い底泥が分布していた (Fig. 2(c))。

2003年の Md_ϕ 分布は1982年のそれとほとんど同様である (Fig. 2(d))。 Md_ϕ の絶対値の違い (Fig. 3(a)) については後述する。一方、2003年の歪度は、明石海峡付近で $Sk = -0.5$ の値が見られ、粒径分布が粗い方に偏り、湾奥部、湾中央部、湾南西部には $Sk = 0.4\sim 0.5$ の値が見られ、粒径分布が細かい方に偏って、1982年と比較すると粒径分布の偏りが大きくなっていた (Fig. 2(e))。淘汰度に関しては湾奥部から湾東部、湾中央南部にかけた $So < 2$ の領域の面積が小さくなり、友が島水道付近では $So = 4.0$ の値も見られて、全体型に淘汰度が悪くなっていた (Fig. 2(f))。

2003年の Md_ϕ , Sk , So のそれぞれの値から1982年の値を引いて、その差の分布を Fig. 3に描いた。中央粒径の差に関しては大阪湾中央部で負、友が島水道付近で正の値となっていて、大阪湾中央部では中央粒径が粗くなり、友が島水道付近では中央粒径が細くなっ

ていた。歪度の差は湾中央部では正 (細かい方に粒径分布が移った)、友が島水道付近で負 (粗い方に粒径分布が移った) になっていた。淘汰度の差はほとんどの海域において正で、淘汰度が悪くなっていた。

以上の結果は、1982年から2003年にかけての大阪湾周辺の大規模開発により、大阪湾中央部の流速は速くなって中央粒径が粗くなったこと、友が島水道付近では流速が遅くなって中央粒径が細くなったこと、を示している。さらに、淘汰度が悪くなっていることから、大阪湾底質の粒径分布の遷移は今なお続いていることを示している。

3.2. 底泥輸送方向

Gao and Collins (1992) は表層底泥輸送には以下の二つのパターンがあることを指摘している。すなわち、その第一は、1) 表層底泥が輸送されるに従い、淘汰度がよくなり、中央粒径が大きくなる場合である。この場合は、歪度の値が小さくなって、粗い粒径に分布が偏る。筆者らの解釈によれば、これは流速値が次第に小さくなり、粗い粒子の輸送量が減少し、粗い粒子が多く残る場合に相当する。逆に、その第二は、2) 表層底泥が輸送されるに従い、淘汰度がよくなり、中央粒径が小さくなる場合である。この場合は、歪度の値が大きくなって、細かい粒径に分布が偏る。筆者らの解

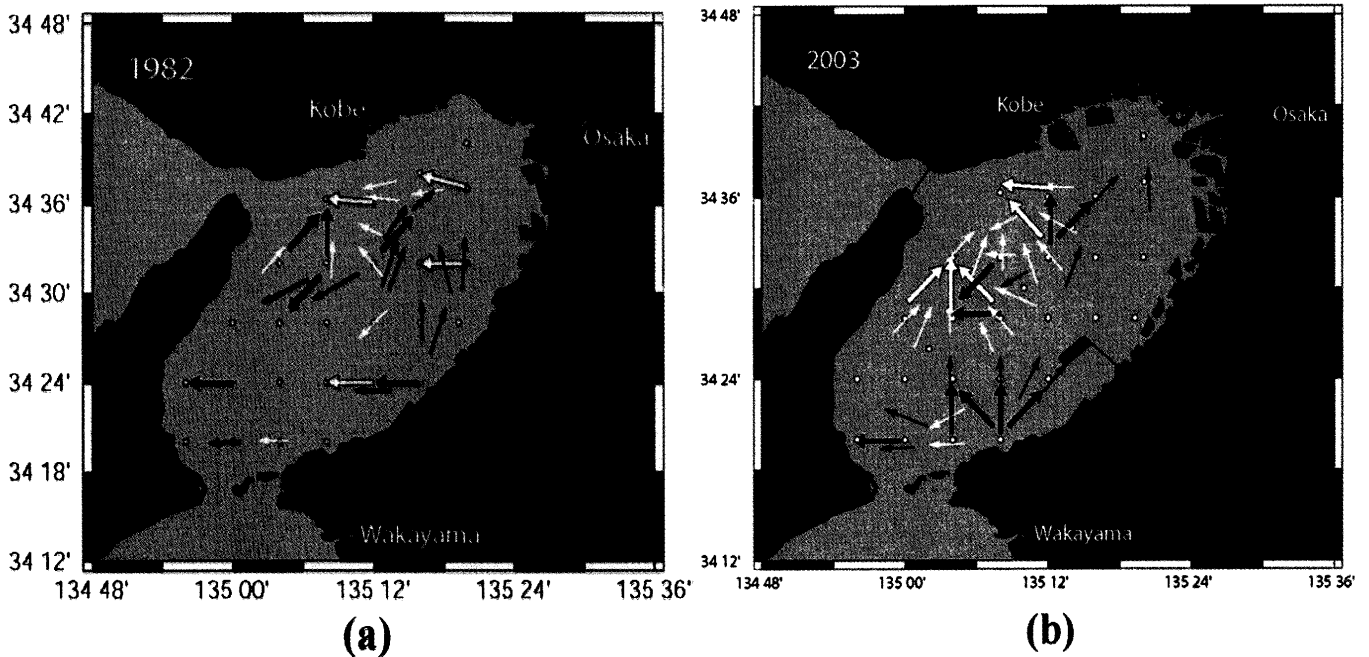


Fig. 4. Estimated transport direction of surface sediments in Osaka Bay between 1982 (a) and 2003 (b).

積によれば、これは流速値が次第に大きくなり、粗い粒子の輸送量が増大し、相対的に細かい粒子が多く残る場合に相当する。

Fig. 1 に示したすべての採泥観測点で、隣り合った2点間(約10 km)の底流試料の淘汰度・中央粒径・歪度の相互関係を調べて解析し、上述したどちらかの関係が成立した場合に底泥輸送の矢印を描いた。Gao and Collins (1992) の方法に関しては、採泥点が不均一に分布している場合や、海岸近くの採泥点に関しては、輸送ベクトルを平均することに問題があるという指摘もあるので (Roux, 1994; Gao and Collins, 1994), ベクトルの平均操作は行わず、関係が成立した地点間ではすべて矢印を描いた。この時、隣り合う2点間で、中央粒径が大きくなる1) の場合には太い黒抜きの矢印、中央粒径が小さくなる2) の場合には太い白抜きの矢印を描いた。さらに Gao and Collins (1992) の方法では、隣り合う2点の採泥点は底質環境が大きくは変わらない2点ということになっているが、底質環境の相似性に関する定量的な定義はないので、採泥点を一つ飛ばした2点間(約20 km)でも同様な操作を行なった。そして、上述の関係が成立した場合には、細い黒抜きか、

細い白抜きの矢印を描いた。なお、ここでは水深変化の影響は考慮せず、浅いところから深いところ、深いところから浅いところへの底泥輸送はどちらも可能として解析した。矢印が書かれていない場所は、隣り合った2点間、一つとぼしの2点間で、1), 2) のどちらの関係も成立しなかった場合で、底泥輸送方向が決められなかった場所を示している。

1982年の表層底泥輸送方向を Fig. 4(a) に示す。所々で逆方向を向いた矢印もあるが、平均的に見ると、表層底泥は大阪湾中央東部で北上し、大阪湾奥部で海岸線に沿うように西方向へ進路を変え、明石海峡へと輸送されていた。また、大阪湾南部では西方向に輸送されていた。大阪湾中央東部における北向き輸送は、黒抜きベクトルで示されていて、湾奥へと輸送されるに従い粗い粒径の粒子が多く残されていた。これは潮流流速が湾奥にいくに従って小さくなる(柳・樋口, 1980) ことに対応していると考えられる。一方湾北部の西向きの輸送は、白抜きベクトルで示されていて、明石海峡へ近づくにつれて細かい粒子が多く残されていた。これは潮流流速が明石海峡に近づくに従い大きくなる(柳・樋口, 1980) ことに対応していると考えられる。

2003年はFig. 4(b)に見られるように、1982年と同様に所々で逆方向を向いた矢印もあるが、平均的に見ると、大阪湾北部の輸送傾向は東部で北東向き、西部で西向きとなっていて、1982年とほとんど変わっていない。しかし、大阪湾南部の輸送方向は大きく変化していて、大阪湾南東部、関西空港南部から放射状に輸送される経路が新たに見られた。大阪湾北部の輸送は、主に白抜きベクトルで示されていて、細かい粒子が多く残されるケースであった。逆に、大阪湾南部の輸送は、主に黒抜きベクトルで示されていて、粗い粒子が多く残されるケースであった。

底質分布変化と底泥輸送変化の関連について考察した。1982年に対して2003年には、大阪湾中央部～北部では白抜きの北向き～南西向き矢印が増加していて、中央粒径が粗くなる底泥輸送が顕著になっていた。大阪湾中央部では2003年に流速が速くなり、中央粒径は粗くなり(Fig. 3(a))、1982年より多くの粗い粒子が明石海峡に向かって輸送されるようになってきた。その結果大阪湾中央部では相対的に細かい粒子が残され、歪度は細かい方に偏った(Fig. 3(b))と考えられる。また、大阪湾南部では黒抜きの北向き矢印の増加で示されるように、2003年には中央粒径が細くなる底泥輸送が顕著になっていた。友が島水道付近では2003年に流速が遅くなり、中央粒径は細かくなり(Fig. 3(a))、1982年より多くの細かい粒子が大阪湾中央部に向かって輸送されるようになってきた。その結果、友が島水道付近では相対的に粗い粒子が残され、歪度は粗い方に偏った(Fig. 3(b))と考えられる。

4. おわりに

以上の解析の結果、1982年から2003年にかけての大阪湾周辺の大規模開発に伴い、大阪湾中央部では流速が遅くなり、そこでは中央粒径が粗くなったこと、友が島水道付近の流速は遅くなり、そこでは中央粒径が細かくなったことが明らかとなった。大阪湾中央部の流速の増大は、吉田・高杉(2001)が指摘した大阪・神戸で M_2 潮汐振幅が小さくなったことから予想される潮流流速の減少とは、定性的には異なる推定結果である。

2003年8月8日には大きな台風10号が大阪湾の真

上を通過したので、2003年10月の底質分布には台風による底質攪乱の影響が残っていた可能性がある。そのような疑問点も含めて、今後1982年と2003年の大阪湾の潮流・残差流の変化を正確に再現する3次元数値モデルを作成し、限界掃流力の変化(柳ら, 2004)や底質移動の変化に関する計算を行なって、今回明らかにした底質分布・底泥輸送の変化の理由を定量的に明らかにしたいと考えている。

謝 辞

本研究は九州大学応用力学研究所の全国共同利用研究の一部であること、本研究を進めるにあたり日本生命財団より研究費の補助を受けたこと、を記し関係者に謝意を表す。

References

- Folk, R. L. and W. C. Ward (1957): Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrology*, **27**, 3–26.
- Gao, S. and M. Collins (1992): Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definitions of “transport vectors”. *Sediment. Geol.*, **81**, 47–60.
- Gao, S. and M. Collins (1994): Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definitions of “transport vectors” –reply. *Sediment. Geol.*, **90**, 157–159.
- Roux, J. P. (1994): Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definitions of “transport vectors” –comment. *Sediment. Geol.*, **90**, 153–156.
- 谷本 照巳, 川名 吉一郎, 山岡 到保(1984): 瀬戸内海における底質の粒度組成と有機物. 中国工業技術試験所報告, 第21号, 1–11.
- 柳 哲雄, 樋口 明生(1980): 瀬戸内海東部の潮汐・潮流. 沿岸海洋研究ノート, **17**, 145–150.
- 柳 哲雄, 藤家 亘, 塚本 秀史, 鎌田 泰彦(2004): 橘湾の表層底質輸送. 沿岸海洋研究, **42**, 67–71.
- 吉田 みゆき, 高杉 由夫(2001): 沿岸開発に伴う瀬戸内海の潮汐変動—過去30年間の潮汐変化. 海の研究, **10**, 123–135.

Changes in Surface Sediment Characteristics and Transport Direction in Osaka Bay from 1982 to 2003

Testuo Yanagi[†], Akira Hoshika[‡], and Hiroshi Tsuji^{**}

Abstract

Changes in the characteristics and transport of surface sediment in Osaka Bay after the Kansai Airport reclamation (1987) and Akashi Bridge construction (1998) were investigated by analyzing surface sediment samples collected in 1982 (27 sites) and 2003 (28 sites). The median diameter of the sediments became coarser in size, while the distribution of sediments shifted to the finer fraction, and the sorting coefficient became bad in the central part of the bay in the period between 1982 and 2003. The northward transport of the sediments was dominant in the central part of the bay between these years. These results suggest that the current speed in the central part of the bay became stronger from 1982 to 2003 due to large scale developments such as Kansai Airport reclamation and Akashi Bridge construction, and the transport of coarser surface sediments from the central part to the Akashi Strait became a dominant process.

Key words: Osaka Bay, surface sediment characteristics, surface sediment transport

(Corresponding author's e-mail address: tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp)

(Received 27 October 2005; accepted 9 February 2006)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

[†] Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasuga, 816-8580, Japan

[‡] Institute of Geology and Geoinformation, AIST, Suehiro 2-2-2, Kure, 737-0197, Japan

^{**} Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, 6-1 Kasuga, 816-8580, Japan