

高解像度海洋モデルと海洋地質学の融合による 東部瀬戸内海海底地形の長期形成過程の解析

乳原 材¹・内山 雄介²・小裕 大地³

¹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)

²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)

E-mail: uchiyama@harbor.kobe-u.ac.jp (Corresponding Author)

³正会員 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所沿岸土砂管理研究グループ (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

東部瀬戸内海における海底地形の長期的形成機構を定量的に評価するために、高解像度の領域海洋循環モデルROMSを用いた水理量評価と診断的土砂輸送モデリングを行ない、さらに海洋地質学的知見に基づく考察とを併せた総合的な解析を行った。潮流の強い影響下で海峡およびその周辺海域に形成される浸食地形「海釜」や堆積地形「砂堆」は、潮流による底面せん断応力や底層残差流の収束発散分布などによってよく説明された。一方で、背景水理量分布に対応しない海釜・砂堆地形が海峡付近の各所で散見された。数千年前に生じた海進に伴う地質年代スケールでの古地形を考慮することにより、例えば明石海峡の東西に発達する砂堆地形の形成機構の差異について明確な説明を与えることが可能であることを示した。

Key words: sea caldron and sandbank, sediment transport, ROMS, Seto Inland Sea

1. はじめに

地球総面積の約7割を占める全海洋下に存在する海底地形は、海流や津波などの物理現象の理解や海洋生物の良好な生息環境の形成、水産業や海底資源探査等に関わる重要な要素であり、その形成機構の理解は工学的・科学的に重要かつ普遍的な課題である。海岸工学で取り扱う海底地形は、一般には高々移動限界水深程度の沖合海域までの岸傍領域に限定され、数十年程度の時間スケールで議論されることがほとんどである。しかしながら、学術的普遍性を希求する上では、深海を含めた海洋全体における数千年の地質時代スケールに研究領域を拡張していく努力が必要がある点については論を俟たない。

例えば、潮汐が支配的となる閉鎖性海域では、海峡部などの強流域には海底がお椀状に浸食された地形である海釜、海峡周辺や湾などの弱流域では堆積地形である砂堆などの特徴的で大規模な海底地形が形成される^{1,2)}。我が国最大の閉鎖性海域である瀬戸内海は平均水深約30 mの浅海域であるが、その海底には多くの海釜や砂堆などが分布し、水深変化を通じて複雑な流動場を形成し、ひいては生態系分布に寄与するほか、底引き漁操業、安全な航路選定等の人間活動にも多大な影響を与える。とりわけ砂堆はイカナゴなどの砂質海底を好む海洋生物の生息地であり、それらを捕食する多種多様な魚類が集まる

好漁場を構成する。ところが、高度経済成長期に建設骨材として大量の海砂が採取された結果、瀬戸内海の砂堆の多くは消失し、近年のイカナゴ不漁の遠因と推定されている。消失した砂堆の再生可能性などを検討する上でも砂堆の形成機構の把握は急務であるが、一部の例外を除き、砂堆の形成時期や土砂起源は明らかにされていない。一方、瀬戸内海には250を超える海釜が存在し、中でも豊予海峡の速吸瀬戸は世界最大規模の海釜として古くより注目され³⁾、形状分類や形成時期・成因推定がなされている。しかしながら、砂堆や海釜地形の形成には作用する外力特性の差から砂浜などと比較して長期間を要する。そのため、時々刻々と変化する自然環境の力学的影響は重要であるにも関わらず⁴⁾軽視され、多くの場合は地質学的海底探査に基づき定性的に考察されてきた。

本研究は、砂堆や海釜などの地形形成や変動機構を理解するために、従来の海洋地質学的知見と、海岸工学的観点から見た定量的で物理学的な解析手法を融合させることを試みる。具体的には、東部瀬戸内海海底地形に着目し、海釜・砂堆と潮流の関係、およびそれらの形成機構を定量的に評価することを目的とする。本研究では、まず、高解像度海洋モデルによる3次元流動構造から水理量を導出し、これらを用いて懸濁土砂輸送を診断的に評価することで変動外力による浸食・堆積特性を高精度に定量化する。さらに、実地形や地質データとの比較・

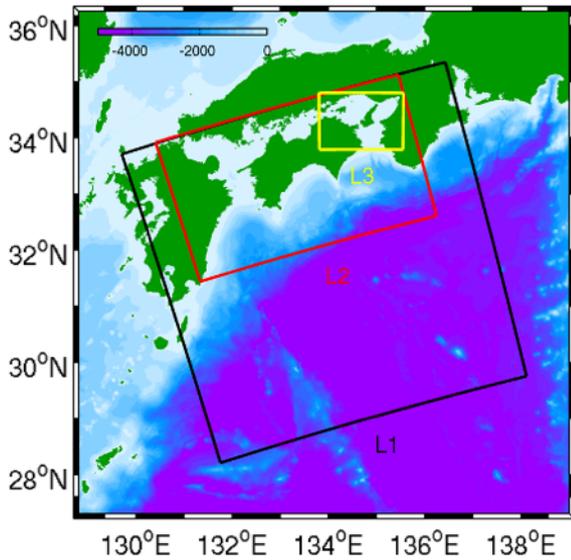


図-1 3段ネスト ROMS モデルの計算領域. 黒枠:ROMS-L1, 赤枠:ROMS-L2, 黄枠:ROMS-L3の計算領域. カラー:水深(m)

考察を行なうことで、砂堆・海釜の長期間にわたる形成機構の推定・考察を行うことを試みる。

2. 研究方法

(1) 3段ネスト3次元高解像度海洋モデルの概要

使用した海洋モデルは内山ら³⁾によって開発された東部瀬戸内海を対象領域としたJCOPE2-ROMSモデルである(図-1, 表-1)。本モデルは黒潮流路変動等の外洋影響を考慮したJCOPE2再解析値を最外側方境界条件及び初期条件とする3段ネストモデルであり、本研究では播磨灘、大阪湾、紀伊水道を含む東西160 km×南北288 kmの領域を鉛直32層、水平解像度200 mで表現したROMS-L3モデル(2時間平均値)を用いて解析を行なう。モデルの水平解像度は約10 km(JCOPE2)→2 km(ROMS-L1)→600 m(L2)→200 m(L3)へと順次細密化されている。海上風、気温や各種海面フラックスの評価には気象庁GPV-MSM再解析値を用い、潮汐はTPXO 7.0による主要10分潮をL2開境界において与えた。L3領域内に流入する10本の一級河川流量は日本河川協会の雨量・流量データベースから求めた10年間の月平均気候値、海底地形は内閣府中央防災会議データ(水平解像度50 m)を使用した。その他モデリングの詳細については既報³⁾を参照されたい。

(2) 多粒径土砂輸送診断モデル

ROMS-L3モデル出力を用いて任意の粒径土砂の平面輸送を診断的(事後的)に解析可能なモデルを開発する。まず、土砂の再懸濁を支配する底面せん断応力には海底面近傍で対数則が成立する仮定して、次式で評価する。

$$\tau_b = \frac{\rho \kappa^2 u^2}{\ln^2(z_a/z_0)} \quad (1)$$

表-1 東部瀬戸内海域モデル(ROMS-L3)の計算条件

計算期間	2011年12月25日-2012年3月3日
格子数	800×560×鉛直32層 水平解像度:200m
境界条件	ROMS-L2(2時間平均値)
海上風	気象庁GPV-MSM(1時間値)
海面フラックス	COAMPSバルク法
海表面温度・塩分	JCOPE2(20日平均値)
河川流量	日本河川協会雨量・流量データベース(一級河川10本, 月平均気候値)
海底地形	内閣府中央防災会議・地形データ

表-2 マルチクラス土砂モデルパラメータ

class	d mm	ρ_s kgm ⁻³	w_s mms ⁻¹	E_u kgm ⁻² s ⁻¹	τ_{cr} Nm ⁻²
gravel	2	2650	170	1×10 ⁴	1.26
sand	0.125	2650	94	1×10 ⁴	0.15
silt	0.024	2650	0.4	1×10 ⁴	0.07
clay	0.004	2650	0.1	1×10 ⁴	0.02

ただし、d:中央粒径、 ρ_s :土粒子密度、 E_u :再懸濁率

ただし τ_b :底面せん断応力(N/m²)、 ρ :水の密度(kg/m³)、 κ :カルマン定数(=0.4)、 z_0 :Nikuradse粗度高さ(m)、 $u|_{z=z_a}$:高さ z_a における底層流速である。Blassら⁴⁾及び内山ら⁵⁾を参考に、 τ_b が土砂区分jに対する限界せん断応力 $\tau_{cr,j}$ (N/m²)を超えると海底土砂の浸食が発生し、浸食フラックス E_j (kg/sm²)が海中に供給されると考える。

$$E_j = E_{0,j}(1-p)f_j \left(\frac{\tau_b}{\tau_{cr,j}} - 1 \right) \quad (\tau_b > \tau_{cr,j}) \quad (2)$$

$$E_j = 0 \quad (\tau_b \leq \tau_{cr,j}) \quad (3)$$

p:間隙率、 f_j :体積分率、 $E_{0,j}$:混合粒径土砂に対する再懸濁率(kg/sm²)である。浸食フラックス E_j と堆積フラックス D_j を微小時間 dt (s)で積分して水深平均土砂濃度 \bar{c} (kg/m³)を求め、これに水深平均流速 \bar{u} (m/s)を乗じた土砂フラックスのdivergenceから平面二次元の土砂収支を求めることで、ROMS-L3による潮流速データのみを用いて粒径ごとの地形変動を診断的に評価する。

$$\bar{c}_j = \frac{1}{H} \int (E_j - D_j) dt \quad (4)$$

$$D_j = \bar{c}_{j,b} w_{s,j} \quad (5)$$

$$\Delta h_j = \text{div}(H \bar{c}_j \bar{u}) \frac{1}{\rho_s} \quad (6)$$

ただしH:水深(m)、 $\bar{c}_{j,b}$:前タイムステップにおける土砂濃度(kg/m³)、 $w_{s,j}$:沈降速度(m/s)、 Δh_j :単位時間あたりの堆積量(m/s)である。底質粒度組成の空間分布には環境省による第4回瀬戸内海環境情報基本調査(平成27~29年度実施)を使用した。対象とした土砂は礫、細砂、シルト及び粘土の4区分である(表-2)。

(3) 対象領域における海底地形

解析対象領域とした東部瀬戸内海における海底地形レ

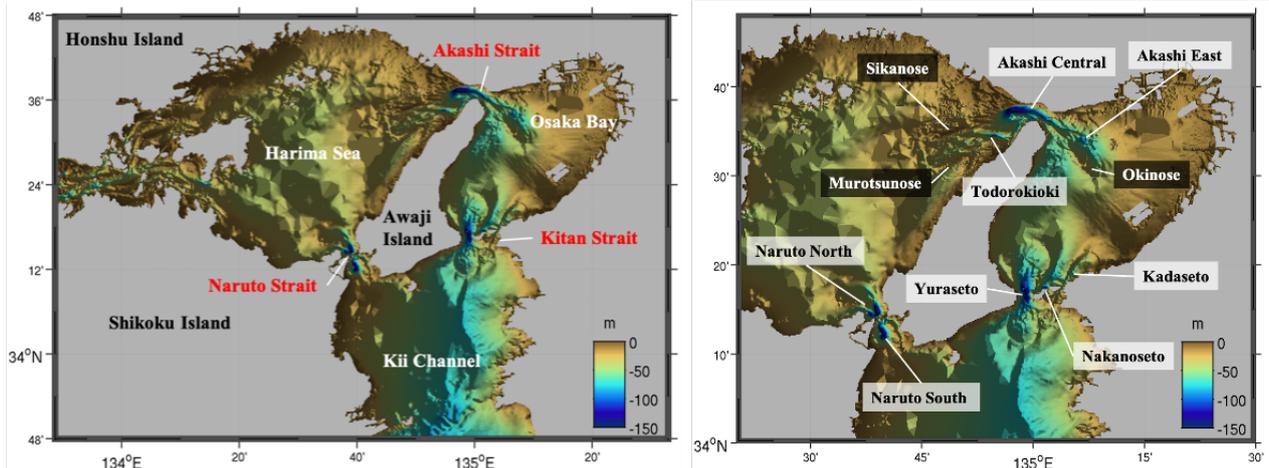


図-2 左：解析対象領域である東部瀬戸内海（播磨灘、大阪湾、紀伊水道）の海底地形レリーフ（カラー：水深）。3 段ネスト海洋モデル ROMS-L3（水平解像度 200m）の計算領域に対応している。右：海底地形レリーフの領域内拡大図並びに本文中で用いられる各種海底地形の名称。黒字は浸食性の海釜地形名称、白字は堆積性の砂堆地形名称を示している。

リーフを図-2に示す。浸食地形の海釜は海峡部を中心に存在し、紀淡海峡は沖ノ島、地ノ島により西から由良瀬戸、中ノ瀬戸、加太瀬戸に分けられ、それぞれに海釜が発達している。明石海峡中央には東西に深み（水深：東部148m、西部110m）を有する全長約19kmの日本沿岸最長の海釜、その東西に小規模な海釜（東部：海峡東部海釜、西部：轟木沖海釜）が存在する。鳴門海峡においては狭窄な（幅約1.3 km、水深60 m）海峡中央を隔てて南北に対を成す特徴的で深い海釜（最大水深：南部164 m、北部216 m）が形成されている¹⁾。堆積地形の砂堆は海峡近傍に多数存在し、明石海峡東部に沖ノ瀬、北西部に鹿ノ瀬、南西部に室津ノ瀬と称される大規模砂堆が存在する。鹿ノ瀬は瀬戸内海屈指の底引き漁場であり、加えて主要航路に近く、サンドウェーブの発達により水深が複雑に変化することから航海上の難所となっている²⁾。

3. 解析結果

(1) 底面せん断応力 τ_b と地形の関係

図-3に計算期間70日間に出現する τ_b の最大値の空間分布を示す。 τ_b は湾・灘域で小さく、海峡部ほど大きい値を示している。沿岸部や大阪湾、播磨灘の一部を除く海域で τ_b は細砂の限界値 $0.15 \text{ (N/m}^2\text{)}$ を上回り、広域で細砂の再懸濁が発生するものと推測される。潮流による浸食効果を検討するため、解析領域内代表8箇所の浸食性地形（海釜）における τ_b 最大値の空間平均値と海釜の浸食深を比較した（図-4）。なお、浸食深は八島¹⁾を参考に、海釜の縁と海釜最深部の水深の差として評価した。 τ_b 最大値、浸食深ともに、各海峡中央部からやや外れた場所に位置する海釜（紀淡海峡：中ノ瀬戸、加太瀬戸、明石：海峡東部、轟木沖）で小さく、主流通過部に位置する海釜（紀淡：由良瀬戸、明石：海峡中央、

鳴門：海峡南北）で大きい。回帰直線から最も外れているのは紀淡海峡・由良瀬戸に位置する大規模海釜であり、 τ_b が低めなわりに浸食量大きい。

最終氷期（約20,000年前）の海退時には、現在の播磨灘から明石海峡を経て淀川と合流して大阪湾を流れる紀淡川が紀淡海峡を通過して太平洋に注いでいたとされる古水系（東水系）が存在した⁶⁾。また、海水準の上昇によって東部瀬戸内海では約13,000年前から紀淡海峡から沈水が生じ、他の海域に比べて紀淡海峡の形成が早い時期から始まった¹¹⁾。これら古水系の存在と沈水過程の影響に伴い、河川や潮流による浸食作用をより長期間受けた結果、他の海釜と比較して現在の τ_b が小さい由良瀬戸海釜での浸食量が大きくなったと考察される。このように一部の例外はあるものの、図-4には強い相関が見られる（相関係数 $r=0.756$ ）ことから、海釜は瀬戸内海形成以前の窪地状の旧地形が単に浸水したのではなく、海底面が潮流による浸食作用を受けて形成された可能性が高いものと推測される。

(2) 底層残差流と地形の関係

瀬戸内海は潮汐に伴う上げ潮、下げ潮の発生により短周期（主に半日周期）で流況が大きく変化する。一方で海底地形の形成過程は数千年単位に及ぶことから、長期間の流れの影響を評価する必要がある。そこでここでは、恒常的な流動として底層における潮汐残差流を用い、地形との関係を比較する（図-5）。東部瀬戸内海の残差流は、 τ_b 最大値と同様に地形の影響を強く受け、海峡部で強化されるなど複雑に分布していることが分かる。

海底近傍の流れと地形のより詳細な関係を探るため、底層残差流のdivergenceを求めた（図-6）。なお、海底面における残差流divergenceの発散は下降流、収束は上昇流を意味する。紙面の都合上、ここでは各海峡における分

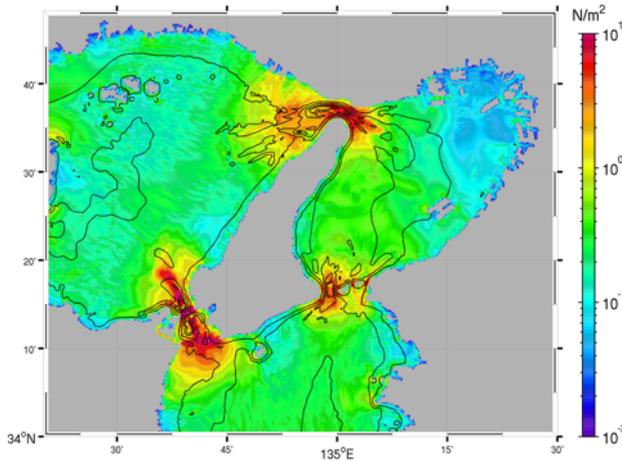


図-3 冬季 (2011 年 12 月 25 日～2012 年 3 月 3 日) 70 日間における底面せん断応力最大値 (N/m^2 , カラー) と水深 (m, 黒コンター)。

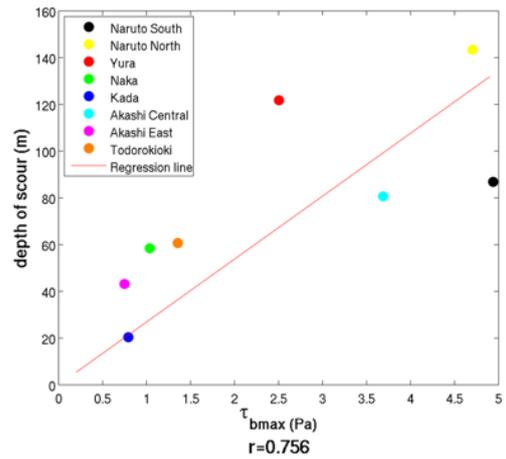


図-4 底面せん断応力 τ 最大値と海釜浸食深の関係。回帰直線ならびに相関係数 ($r=0.756$)。

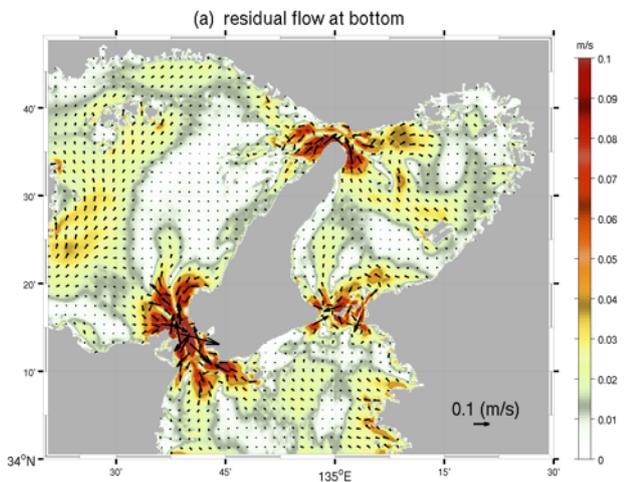


図-5 冬季 (2011 年 12 月 25 日～2012 年 3 月 3 日) 70 日間の底層残差流 (m/s)。カラー: ベクトルの絶対値。

布状況の結果のみを述べる。(1) 紀淡海峡では海峡中央部で発散, その周囲で収束, (2) 明石海峡では中央海釜の本州側と轟木沖海釜で発散, 淡路島側の海釜斜面の這い上がり部と海峡東西に位置する大規模砂堆で収束, (3) 鳴門海峡では南北海釜で発散, 狭窄な海峡中央と海釜周辺の小規模砂堆群で収束, という傾向が見られた。底層におけるdivergenceの分布傾向と海底地形の比較結果をまとめると, 浸食地形では水平発散に伴い土砂や岩盤の浸食を促すように下降流が卓越するが, 反対に凸状地形や堆積地形では水平収束に伴う上昇流が発達し, 近傍で浸食された土砂等が集積し, 堆積が促がされていた。以上のことから, 海底地形の形成に関する残差流の空間分布の重要性が示された。

4. 懸濁土砂輸送と地形変化

(1) 浸食地形における輸送状況

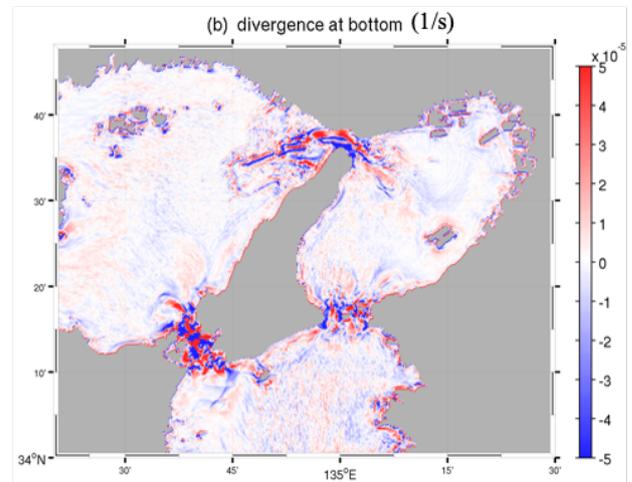


図-6 底層における残差流のdivergence (1/s), 赤が発散, 青が収束を示す。

図-7 に土砂輸送診断モデルによる冬季 30 日間で時間積分された各区分土砂の浸食・堆積量の空間分布を示す。再懸濁が卓越する浸食域 (青色) は, 礫 (図-7a) は海峡中央部のみ出現しており, 細砂 (図-7b) は海峡周辺に散在, 泥 (シルト+粘土, 図-7c) は海峡だけではなく湾灘の内部領域を含む広域で発生している。浸食域分布は沈降速度の違いに応じて粗粒分ほど分散範囲が狭くなっているものの, 土砂輸送の傾向は図示した三区分すべてで類似している。各海峡における海釜地形 (浸食域) に着目し, 全区分合計の地形変化量分布 (図-7d) などを精査したところ, 以下のような状況となっていることが分かった。つまり, 紀淡海峡では海峡中央部の海釜存在域で浸食, その周囲で堆積 (図-7-1), 明石海峡では中央海釜の東西に位置する深みや轟木沖海釜で浸食, 2 箇所の深みに挟まれた浅瀬である中央海釜中央部・中央海釜と轟木沖海釜の間に位置する丘状地形・中央海釜西部の急崖上の浅瀬 (水深 20 m 以浅域) で堆積 (図-7-2), 鳴門海峡では南北海釜や北部の小規模な

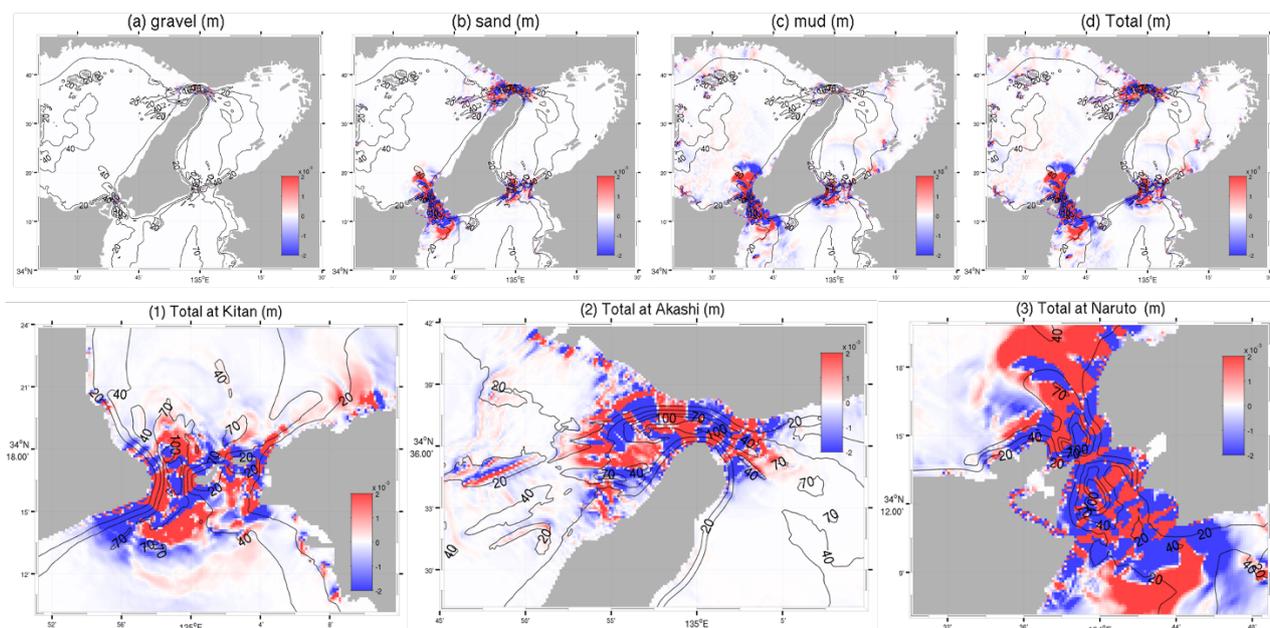


図-7 冬季(2011年12月25日～2012年1月23日)30日間における Δh の時間積分値(m, カラー)と水深(黒コンター). 赤は堆積, 青は浸食を示す. 上段: (a) 礫, (b) 細砂, (c) 泥, および (d) 全土砂区分合計値. 下段: (d) の (1) 紀淡海峡, (2) 明石海峡, (3) 鳴門海峡の拡大図.

海釜郡で浸食, 海峡中央の狭窄部や海釜に隣接する小規模砂堆で堆積(図-7-3), という傾向が見られた.

すなわち, 海峡部においては, 浸食量大きい海釜の深みで浸食傾向, 深みから浅瀬へと遷移する海釜斜面の這い上がり箇所, 海釜間の丘状凸地形, 小規模砂堆で堆積傾向にあつて, 浸食と堆積が空間的に隣接して交互に形成されていることが分かった. 実際に, 海釜斜面の這い上がり部には砂礫質堆積物が波状に分布するサンドウェーブが形成されており, 海釜の深みにおいて浸食された土砂がその近傍に堆積している可能性が高いことが指摘されている⁹⁾. これらのことから, 強流域に形成される海釜周辺では, 浸食量大きい深みでは堆積が阻害されて土砂が流出し, それが流れが緩慢となる周辺の浅い場所や斜面に輸送されて堆積するという土砂収支構造になっていると結論付けられる.

(2) 堆積地形における輸送状況

続いて砂堆地形に着目すると, 明石海峡西部砂堆(鹿ノ瀬, 室津ノ瀬)では主に細砂が堆積傾向にあり, 周囲の海底で浸食された土砂が輸送され集積したことが予想される. 一方で, 東部砂堆(沖ノ瀬)には明確な土砂堆積傾向は見られない. つまり, 砂堆の形成機構は場所によって異なり, 必ずしも短期的な土砂輸送とその収支で説明できるわけではないことが確認される. とすれば, これらの砂堆の形成過程の差異は, 地質年代スケールでの明石海峡と周辺の海釜形成過程によって説明され得る.

明石海峡の成立は堆積層基底深度分布から約1万年前に海水準が-30m以浅に達してから以降とされている⁹⁾. 八島⁹⁾は, 海水準-20m(約8,000年前)時代の海岸線か

ら, 明石海峡海釜の成立に対する旧地形の寄与に着目し, 大阪湾から直進する西向き流れが急崖と深い海釜を形成し, 旧岬の先端に形成される岬型海釜として轟木沖海釜が形成されたと考察している. この仮説を検証するために, 現在の明石海峡西部の砂堆位置と旧海岸線を比較したところ(図-8), 鹿ノ瀬, 室津ノ瀬ともに海水準-20m時代の岬地形西側先端部に沿う形で分布していた.

一方, 東部砂堆は西部砂堆よりもさらに約20m深い場所に位置しており, 旧地形においても付近には特徴的な地形は確認されない. 金ら⁹⁾による現地形における粒子追跡計算によると, 明石海峡を通過する強い潮流とその残差流によって播磨灘側起源土砂は大阪湾へと輸送され, 沖ノ瀬環流に取り込まれ, 環流中央に位置する沖ノ瀬での堆積が進行することが示唆されている. 本研究においても⁹⁾は海峡東部に比べ西部が大きいことから, 浸食傾向は大阪湾側よりも播磨灘側で卓越すると推測される. 以上のことから, 明石海峡西部砂堆は, 明石海峡海釜形成の本格化と同時期に形成されたこと, 海水準-20m時代の海釜での浸食によって発生した土砂が流速の低減や残差流による環流の影響により岬状に突出する地形の先端や影に集積したことが原因であることなどが示唆される. これに対して, 東部砂堆は, 海面上昇に伴う海進による大阪湾の形成と, 明石海峡周辺での潮流・西向き残差流・沖ノ瀬環流の形成・強化を受けて, 播磨灘や明石海峡西部で浸食された土砂が明石海峡を通じて長期的に輸送されて堆積したものであると考察される. つまり明石海峡周辺海域に形成された大規模砂堆は, 東西で形成時期・過程, 土砂起源が異なり, 砂堆の形成機構は場所によって大きく違うことがあることが明示された.

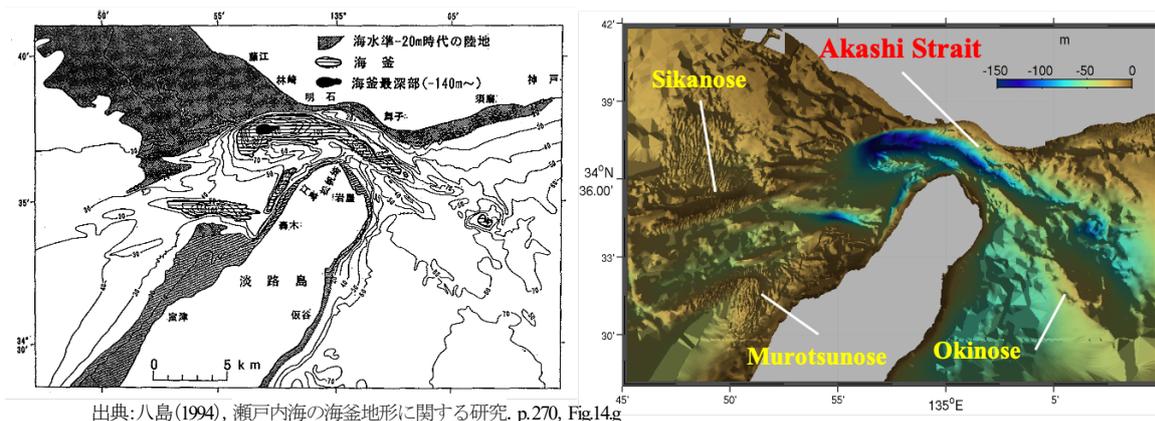


図-8 左：海水準-20m時代の明石海峡付近の海岸線（グレー）．右：現在の明石海峡付近の海底地形レリーフ（カラーは水深）

5. おわりに

海洋地質学と沿岸海洋物理学の融合を目指し、ROMSをベースにしたミレニアムスケールまで考慮可能な長期海底地形形成の解析フレームワークを提示し、東部瀬戸内海に適用した。本海域では、海釜と砂堆においてそれぞれの地形の形成を促す流れが恒常的に発生しており、底層残差流および流れによる底面せん断応力が海底地形の形成に効果的に関与していることを示した。平面二次元土砂輸送診断モデルによると、海釜では深みから浅場へと土砂が流出し、明石海峡東西の大規模砂堆は土砂起源と形成過程が異なる可能性が示唆された。つまり、大枠では地質学的な影響が卓越するものの、流れにより時々刻々と地形は変化し、今後も形成が進行する可能性が高い。なお、本研究の土砂輸送モデルは各海底地形における現海況下の海底起源浸食土砂の挙動解析に限定されたモデルであるため、今後は古海洋流況下、河川由来土砂等を考慮した長期土砂輸送モデルの構築が望まれる。

謝辞：本研究は科学研究費（18H03798, 19H00782）の援助を受けた。底質調査データは環境省に提供いただいた。

併せて深甚なる謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 八島邦夫：瀬戸内海の花釜地形に関する研究，水路部研究報告，第30号，pp.237-327，1994.
- 2) 八島邦夫：明石海峡周辺の砂堆地形と流況に関する諸問題，水路部技報，第10号，pp.79-89，1991.
- 3) 小裕大地，内山雄介：ロバストな幼稚仔海洋分散評価に向けたLagrange粒子追跡モデルの感度解析，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 72（2），pp. I_1279-I_1284，2016.
- 4) Blaas, M., Dong, C., Marchesiello, P., McWilliams, J. C., Stolzenbach, K. D. : Sediment-transport modeling on Southern Californian shelves: A ROMS case study, *Cont. Shelf Res.*, Vol. 27 pp. 832–853, 2007.
- 5) 内山雄介：マルチクラス懸濁質輸送モデルを用いた福島沿岸域における河川由来懸濁質および懸濁態放射性核種の海洋分散について，沿岸海洋研究，Vol. 54（2），pp. 159-172，2017.
- 6) 西山賢一，瀬部直之，石田啓祐，中尾賢一，辻野泰之，橋本寿夫：地形・地質から見た鳴門海峡の成立，阿波学会紀要，61号，pp.1-10，2017.
- 7) 金種仁，中辻啓二，村岡浩爾：大阪湾の沖ノ瀬の形成機構と残差流系との関連性，海岸工学論文集，44巻，pp. 406-410，1997.

(Received March 17, 2021)

(Accepted July 22, 2021)

DISCIPLINAL COUPLING OF A HIGH-RESOLUTION OCEAN MODEL AND MARINE GEOLOGY FOR A MILLENNIUM-SCALE MORPHODYNAMIC ANALYSIS IN THE EASTERN SETO INLAND SEA

Motoki UBARA, Yusuke UCHIYAMA and Taichi KOSAKO

In order to quantify the formation mechanism of seafloor topography on a timescale of millennia in the eastern Seto Inland Sea, the Regional Ocean Modeling System (ROMS) was used to evaluate hydraulic quantities and diagnose suspended sediment transport, coupled with the marine geological discipline. Overall morphodynamics was well captured by the diagnostic model, in which the intensity of bottom shear stress associated with prevailing tidal currents and the divergence of bottom residual currents explain the formations of caldrons and sandbanks. Nevertheless, inconsistency between the background hydrodynamics and the resultant topographies were found in multiple places around tidal straits. We showed that marine geological data was quite useful to fulfil a comprehensive description of, *e.g.*, unexplained zonal differences of sandbank formation relative to Akashi Strait through the considerations of coastal transgression.