

# 利根川河口周辺沿岸域における浮遊懸濁物質の挙動 に関する現地観測

佐藤 慎 司\*・Harry Yeh\*\*・加藤 史 訓\*\*\*

## 1. はじめに

河川から流出する土砂などの懸濁物質は、沿岸域の生態系と物質循環、河口・海岸地形形成などと密接に関係しているため、その挙動を定量的に解明する必要がある。しかし、浮遊粒子の粒径がシルト・粘土質などの微細粒径成分から砂礫成分までの広い粒度分布を有すること、淡塩水の化学特性の違いから凝集が見られ粒径が変化することなどから実態解明も困難である。河口を含む沿岸域の懸濁物質の濃度を測定した最近の観測例としては、泉宮ら(1999)、佐藤ら(1998)、杉木・真野(1997)などがあるが、特に懸濁粒子の粒度分布の時空間構造が不明であるために、輸送・拡散や沖合での堆積過程について定量的な解釈は十分でない。

本研究では、大規模出水後に濁水の流出とうねりによる底質の再浮遊が見られた利根川河口周辺で現地調査を実施した。そして、濁度や懸濁粒子粒径に関するデータを、同時に測定された波・流れ・地形変化・底質特性のデータと合わせて解析することにより、懸濁粒子の挙動を考察した。

## 2. 現地調査の概要

### (1) 調査方法

懸濁粒子特性の測定は1999年8月31日に利根川河口沿岸域で実施した。同測定日を挟む期間には同領域で波・流れ・地形変化に関する総合的な現地調査が実施されており(佐藤ら, 2000, 山本ら, 2000)、本観測はその中で実施された深淺測量と合わせて実施したものである。図-1に観測領域と観測地点を示す。図中A, B, D, Eの4地点に波浪流速計および後方散乱式濁度計が設置されており、それぞれ0.5s間隔および30分間隔でデータが取得されている。濁度計の設置位置は海底面上約0.5mである。河口前面の点線で囲まれた領域では8月31日と9月28日に深淺測量を実施するとともに▲印で

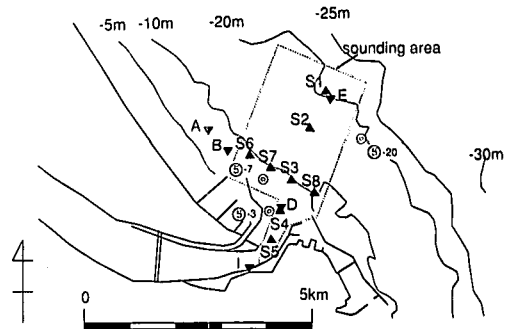


図-1 観測地点および柱状コアの採取地点

示されたS1~S8の8地点で潜水により表層底質を採取した。また、図中の◎印で示した地点では8月25日に直径10cm,長さ1.2~1.7mの海底地盤の柱状コアが採取されている。

本調査で実施した懸濁物質の計測はS1~S8地点での底質採取に合わせて実施した。計測には、現地用レーザ回折式粒度分布測定器(LISST-100; Sequoia Scientific社製)を用いた(Traykovski et al., 1999)。粒子径の測定範囲は1~250μmで、同範囲を指数的に分割した32区間の粒径別濃度を計測できる。計測器には圧力と水温のセンサが付いているが、今回使用した機器では水温センサの応答性が遅く、水温の鉛直分布を測定することはできなかった。各地点の測定においては、ロープで吊るしたLISST-100を船上から降ろして懸濁物質の特性の鉛直構造に関するデータを得た。データは、計測器が水中に没した時点から取得し始め、降下後引き上げて再び水面に達するまでの間、1秒間隔で取得した。午前10時15分からS1, S2, S6, S7, S3, S8, S4, S5の順で計測し、11時18分までにすべての計測を終えた。一地点の測

表-1 計測条件

測定地点	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
水深h(m)	20	16	8.8	4.0	5.0	10	9.3	10
測定範囲(m)	0-13	0-13	0-3.5	0-3.4	0-4.3	0-10	0-8.4	0-7.7
取得データ数	106	107	76	34	43	108	58	57
欠測率(%)	0	2	9	62	28	4	5	56

\* 正会員 工博 東京大学大学院教授 工学系研究科社会基盤工学専攻  
 \*\* Ph.D. ワシントン大学教授 土木環境工学科  
 \*\*\* 正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室 研究員

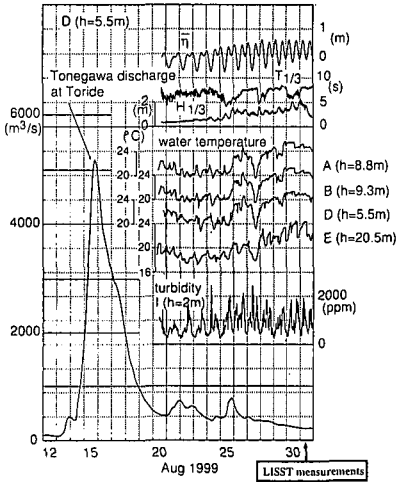


図-2 潮汐、波浪、水温、濁度、利根川流量の経時変化

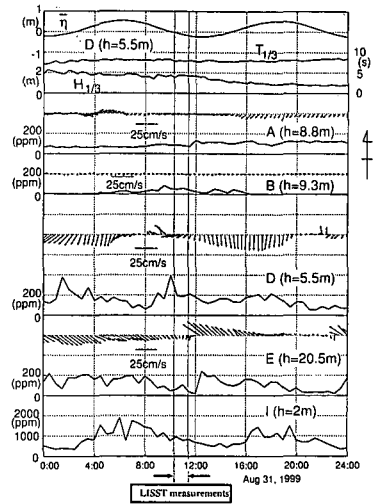


図-3 測定日における潮汐、波浪、流地、濁度の経時変化

定に要した時間は2分以内である。ロープの長さは約13 mであるが、河口近傍の測定地点S3, S4, S5では、流れが強く、計測器を安定して降下させることができなかつたので、表層から3~5 m程度の領域しか計測できなかった。計測限界を超える高い濃度が見られた場合には、欠測扱いとして解析に用いながつた。計測地点の水深、測定範囲、取得データ数、欠測率をまとめて表-1に示す。

## (2) 調査期間の気象と海象

図-2は、D点における潮位 $\bar{\eta}$ 、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ を、A~E点の水溫、河道内のI点の濁度、取手観測所における利根川流量とともに示したものである。調査期間直前の8月14日に東北地方南部から関東地方にかけて豪雨が降り、ほぼ10年に一度の頻度で起こる規模の流量 $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を超える大規模出水が観測されている。また、8月25日頃から徐々にうねり性の波浪が高くなり、8月31日には図-2の期間内の最高波高を記録している。水溫の変動をみると、水深10 m以浅のA, B, D点と水深約20 mのE点との間に最大 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ の差があり、水溫差に基づく密度成層が発達していると推定される。さらに、河川水が流入することにより、塩分差による密度場の変化も加わっており、上層を流れる河川水と底層の海水の運動に顕著な差が生じていると考えられる。

図-3は、LISST-100による測定を実施した8月31日のデータを示したものである。LISSTによる計測は、潮位が平均潮位から下げ潮に向かう位相で行われ、水深5.5 mのD地点における有義波の諸元は $H_{1/3}=1.9 \text{ m}$ 、 $T_{1/3}=7.8 \text{ s}$ である。波崎漁港北側のA, B地点では流れが弱く、濁度も小さいが、河川流軸上のD, E地点では同日午前中に継続した南向きの流れが残っており、濁度は

D地点で200 ppm、E地点で50 ppm程度、河道内のI地点では、900 ppm程度の高濃度が記録されている。

## 3. 底質の粒度特性

図-4は、採取した表層底質を据置型レーザ回折式粒度分析器で分析したものである。図では、岸沖方向の測点を縦、沿岸方向を横方向に配置し、それぞれの地点で8月31日に採取した粒度分布を上段、9月28日のものを下段に示した。図中の矢印は中央粒径の位置を示している。各地点の確率密度の値は、粒度分布を対数軸上で積分すれば1となるように正規化してある。S5地点の底質は、中央粒径 $D_{50}=2 \sim 3 \text{ mm}$ と極めて粗く、粒度分析器の測定可能範囲( $D < 0.5 \text{ mm}$ )外であったため図には示していない。また、分析に際しては、試料の粒度特性に応じて適宜測定レンジを使い分けたが、レンジ外の粒径部分については範囲外に一律に分布するものとして図示してある。2回の測定結果を比較すると、沖合のS1, S2地点や、河口部前面のS4地点では、粒度分布に変化が見られないのに対し、水深10 m付近の地点では顕著な変化がみられる。特に、S7, S3, S8の各点では粗粒化が顕著である。

図-4より、測定日の表層底質は、水深10 m以深では、粒径 $0.06 \text{ mm}$ 以下の微細粒径成分が卓越し、水深10 m以浅では、粒径 $0.2 \text{ mm}$ 程度の細砂成分が卓越している。図-5は、粒径 $0.2 \text{ mm}$ 、 $0.02 \text{ mm}$ の底質に対して、測定日の波浪条件( $H_o=2 \text{ m}$ 、 $T=7.8 \text{ s}$ )のもとで計算したシールズ数 $\Psi$ を、河口部の断面地形とともに示したものである。波の変形は微小振幅波理論により計算し、底面摩擦応力は、Jonsson (1966)の摩擦係数を用いて算定した。微細粒径成分の移動形式の推定には粒子間の粘着力

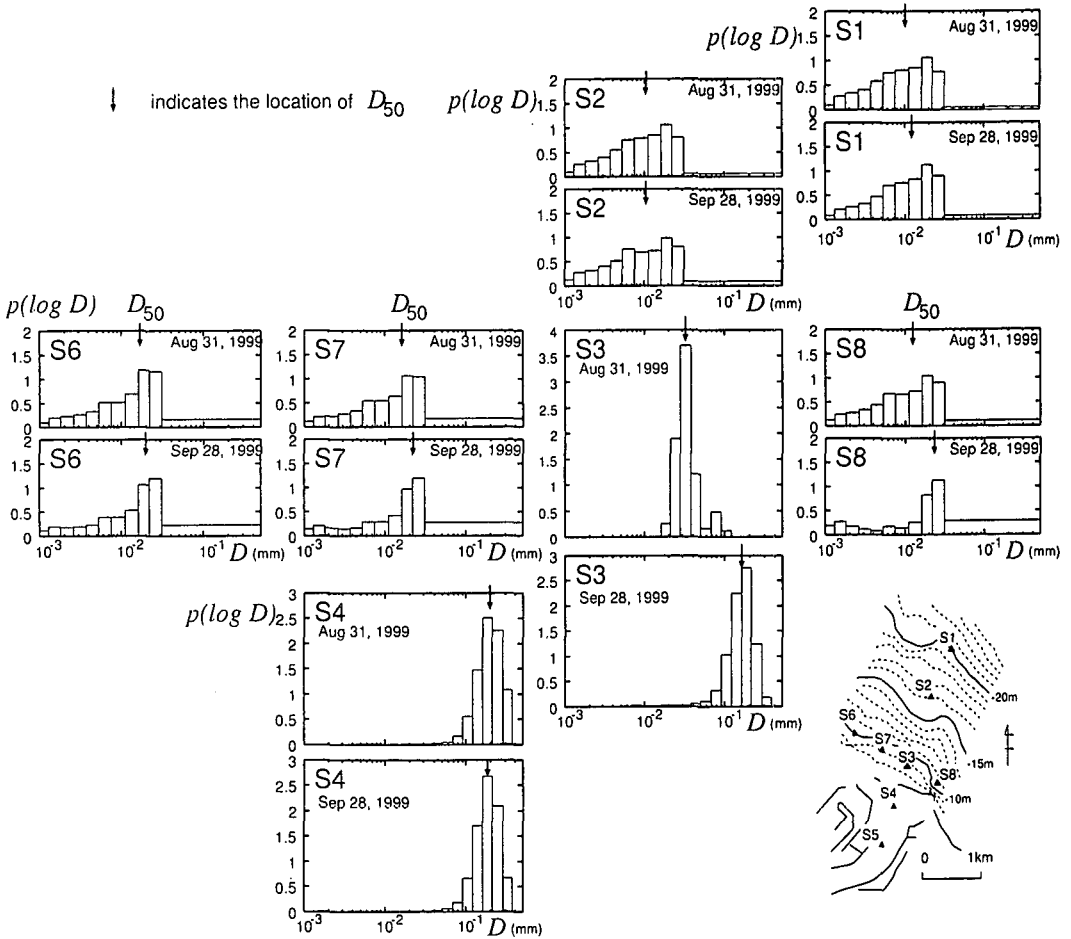


図-4 表層底質の粒度分布

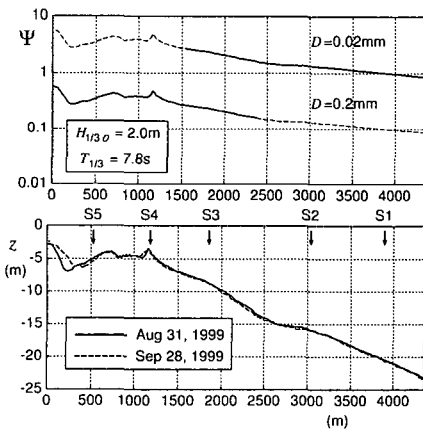


図-5 河口部の断面地形とシールズ数

でも、これが広く分布する水深 10 m より浅い地点ではシールズ数が 0.2 を越えており、活発な浮遊が生じているものと推定される。また、断面地形は、河口部前面を除いてほとんど変化していないが、水深 5 m 以深の領域ではわずかに侵食傾向にある。8 月 31 日の沖合いの表層底質は微細粒径成分であるため、これが広い範囲で薄く侵食されたことになる。

図-6 は、柱状コアの試料を 5 cm ごとに小分けし、それぞれを粒度分析したものである。上段から、それぞれ⑤-3、⑤-7、⑤-20 の記号(佐藤ら、2000；図-1 中◎印)で識別される 3 m、7 m、20 m 水深におけるコアの粒度分布を示している。図では、縦軸に海底面からの深さ、横軸に粒径を対数で取り、対数軸上における粒径の確率密度を濃淡図で示してある。図には、確率密度値 0.1 のコンターも合わせて示してある。表面付近の限られた層には粒径 0.06 mm 以下の微細粒径成分が見られるが、水深 7 m や 20 m で採取したコアでは、海底から 30 cm 程度の深さになると細砂成分しか見られなくなる。同図より、

についても考慮する必要があるが、0.02 mm の粒径に対するシールズ数は 1 のオーダーであり、激しい輸送が生じているものと推定される。また、0.2 mm の粒径に対し

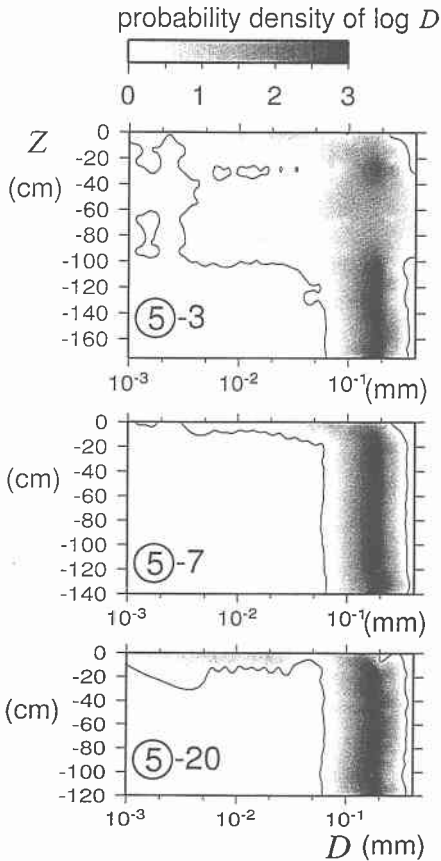


図-6 柱状コア試料の粒度分布特性

微細粒径成分は出水の影響により一時的に堆積することはあっても継続的な堆積は生じていないことがわかる。

図-4, 図-5, 図-6 から判断すると, 8月15日前後の大規模出水により河口部前面海域の表層には粒径 $0.06\text{ mm}$ 以下の微細粒径成分が堆積したが, その後の波や流れの影響により, これらは細砂成分とともに再浮遊し, 河口周辺の強い流れにより輸送されたものと考えられる。LISST-100による測定を実施した8月31日にはまだ, 水深 $10\text{ m}$ 付近に微細粒径成分が堆積しており, 同日の波浪は河口部前面の底質を再浮遊させるのに十分なものであることから, 活発な再浮遊・輸送過程がみられていたと考えられる。

#### 4. 懸濁物特性の鉛直構造

図-7は, LISST-100により計測された粒径別懸濁物濃度の鉛直構造を示したものである。高濃度の領域は海面から水深 $3\sim 4\text{ m}$ 程度までの領域に見られ, その中でさらに高濃度の部分が層状に分布している。河口部における水深が約 $5\text{ m}$ であることを考慮すると, 海水の上を

土砂や懸濁物を多く含む河川淡水が覆うことにより, 塩分差に基づく成層構造が発達し, 高濃度の領域が表面付近に閉じ込められているものと考えられる。

懸濁物の粒径は広い範囲に分布しているが, 高濃度の領域では粒径 $0.1\text{ mm}$ 程度の細砂がほとんどである。底質特性を特徴づける粘土・シルト質成分と細砂成分の割合を検討するために,  $D > 0.06\text{ mm}$ の成分と $D < 0.06\text{ mm}$ の成分に分け, 水面から $1\text{ m}$ の区間ごとに平均濃度を算出してプロットしたものが図-8である。図-7, 図-8を合わせ見ると, 濃度の絶対値は, 岸沖方向には河口に近づくほど高くなり, S4やS5地点では $3000\sim 5000\ \mu\text{l/l}$ に達することがわかる。また, 沿岸方向にみると, S6からS8地点へと南へ向かうほど高くなる傾向にある。これは, 底層での流れの観測からもわかるように, 南へ向かう流れが卓越していたためである。このことは, A, B地点で濁度が低かったことから裏付けられる。高濃度の領域における懸濁物質は細砂がほとんどであるが, 河口前面のS4付近の底質には細砂が卓越して見られることや, 同日の河川流量は小さいことから, これらの浮遊細砂は, 河口前面領域で波や流れの作用により巻き上げられたものと推定される。S3, S2, S1, S8地点の濃度分布を詳細に見ると, 高濃度領域の濃度が低下するとともに, その位置が徐々に下降しており, 浮遊細砂の拡散沈降過程をとらえている。また, S2, S6, S7, S8の各地点の下層では, 底面からの再浮遊と考えられる高濃度領域が見られる。この領域における粒径は $0.005\text{ mm}\sim 0.06\text{ mm}$ 程度であり, 粘土・シルト質成分に分類されるものである。図-3によると観測期間に底面付近で観測された流れは $5\text{ cm/s}$ 程度で弱いことから, これらは, 波により形成された底面境界層で巻き上げられた成分と考えるのが妥当である。

#### 5. おわりに

本研究では, 利根川河口付近において, 底質および浮遊懸濁物についてその粒度特性に注目した現地調査を実施し, 河川から供給された土砂の河口部における挙動を検討した。レーザ回折式粒度測定器による計測は, さまざまな粒径の土砂が混在する河口部における土砂移動の実態把握に極めて有効であることがわかった。底質特性の異なる河口域でのデータを蓄積するとともに, 凝集粒子のような柔らかい粒子の粒径測定精度について検討することが今後の課題である。

謝辞: 現地調査には, 東京大学, 五洋建設(株)技術研究所, (前)建設省土木研究所, (前)水産工学研究所をはじめとする多くの方々のご協力を得た。またデータの解析には, ワシントン大学越村かおり氏の協力を得た。本研究の一部は, 著者の一人(HY)がNSF短期招へい

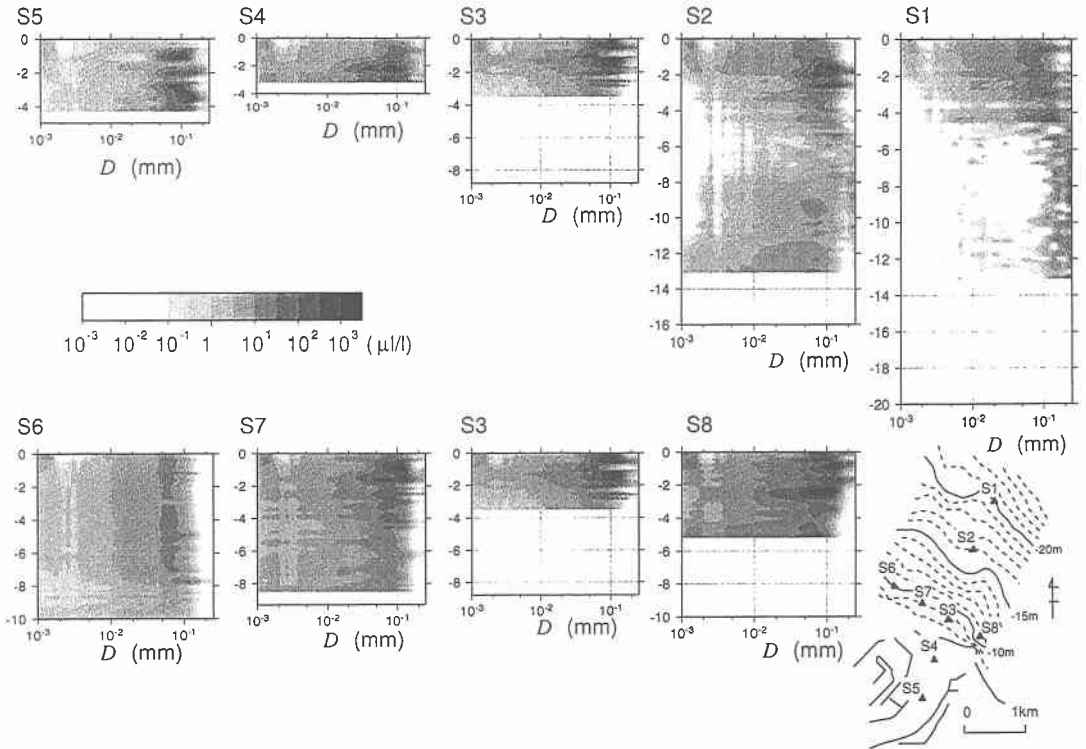


図-7 粒径別懸濁物濃度の鉛直構造

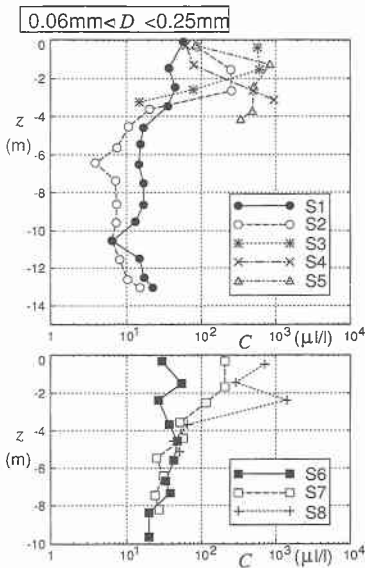


図-8 細砂成分の濃度の鉛直分布

プログラムにより日本に滞在した期間に実施したことを付記する。

参考文献

泉宮尊司・國田知基・泉 正寿・永松 宏・石橋邦彦 (1999): 船体取付型 ADCP によるシルトおよび微細砂の濃度の時空間変動の現地観測, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 576-580.

佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・鳥居謙一・山本幸次 (2000): 鹿島灘南部海岸の地形形成機構に関する現地調査, 土木学会論文集, No. 663/II-53, pp. 89-99.

佐藤芳信・真野 明・沢本正樹 (1998): 阿武隈川沖合いにおける土砂堆積特性, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 611-615.

杉木基泰・真野 明 (1997): 阿武隈川における細粒土砂の観測と時空間分布, 水工学論文集, 第 41 巻, pp. 783-788.

山本幸次・鳥居謙一・笠井雅広・佐藤慎司 (2000): 柱状コア採取と音波探査に基づく鹿島灘沿岸の堆積物特性の把握, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 651-655.

Jonsson, I. G. (1966): Wave boundary layers and friction factors, Proc. 10th ICCE, pp. 127-148.

Traykovski, P., R. J. Latter and J. D. Irish (1999): A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmission instrument using natural sediments, Marine Geology, pp. 355-367.