ハンモック状ベッドフォームのサイズ分布 —千葉県北東部, 下部白亜系銚子層群を例として—

Size population of hummocky bedforms: An example from the Lower Cretaceous Choshi Group, northeastern Boso Peninsula, Japan

Abstract

石垣朝子* 伊藤 慎**

Asako Ishigaki* and Makoto Ito**

1999年7月2日受付.

2000年2月8日受理.

* 千葉大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science and Technology,
Chiba University, Chiba 263-8522,
Japan

** 千葉大学理学部地球科学科
Department of Earth Sciences, Chiba Uni-
versity, Chiba 263-8522, Japan

The Lower Cretaceous Choshi Group in the northeastern Boso Peninsula of Japan is characterized by shoreface and offshore deposits up to more than 620 m thick and is classified into four depositional sequences. Lithofacies assemblages of the group are interpreted to have been deposited in an open and storm-dominated shallow marine environment.

Size population of hummocky bedforms of shoreface and offshore deposits, in particular, those of the Inubozaki and lowest Toriakeura Formations in the middle part of the group, was analyzed based upon detailed field measurements of ripple spacing of hummocky bedforms. The ripple spacing of hummocky bedforms shows a log-normal distribution pattern with a mode about 300 cm and this distribution pattern is similar to that of symmetrical ripples, suggesting oscillatory-dominated combined flow condition. The ripple spacing of hummocky bedforms is also inversely proportional to supposed paleo-water depth. This relationship is interpreted that the orbital diameter possibly responsible for determining the ripple spacing of hummocky bedform decreased in response to the increase in paleo-water depth. Bed thickness of hummocky cross-stratified sandstones, in particular, of those of offshore deposits has been supposed to be proportional to the magnitude of storm waves. The ripple spacing of hummocky bedform of offshore sandstones, however, does not show any distinct relationship with bed thickness. In general, thicker sandstone interbeds of offshore deposits contain planar stratification in the lower part and such a sedimentary structure probably developed under an intense storm wave condition superimposed by an offshore-directed current than for hummocky cross-stratification in an offshore environment.

Key words: Choshi Group, ripple spacing, hummocky bedform, orbital diameter, storm deposits

はじめに

これまでに, さまざまなベッドフォームの特徴とその水理条件や堆積環境との関係が, 水路実験や野外観察に基づいて研究されてきている(例えば, Harms et al., 1982; Middleton and Southard, 1984). 浅海底付近では, 波浪作用にともなう振動流と沿岸流や潮流などの一方向流の流向や流速に対応して, さまざまなベッドフォームが形成される. さらに, 振動流と一方向流とが合わさって複合流が形成され, これにともなうベッドフォームの発達も認められる(Harms et al., 1982). 特に, ストーム時の浅海底では, 暴浪による振動流と, 沿岸付近で発生する coastal setup にともなう

downwelling によって一方向流が発生するため, 複合流が形成され, これにともなうベッドフォームが特徴的に発達する(Duke, 1990). このようなストーム時の複合流ベッドフォームはハンモック状の形態を示し, その移動と累重にともなってハンモック状斜交層理を特徴とする堆積物が下部外浜から沖浜にかけての浅海底で形成されることが, 野外観察(Swift et al., 1983; Greenwood and Sherman, 1986; Li and Amos, 1999)や水路実験(Arnott and Southard, 1990)により明らかとなってきている. さらにこれまでの研究により, ハンモック状斜交層理をともしなうベッドフォームは, 振動流成分の卓越した複合流によって形成されることが明らかにされている(Duke et al., 1991).

Fig. 1. Geologic sketch map of the eastern part of the Choshi Peninsula. Simplified from Obata et al. (1982) and Ito and Matsukawa. (1997).

一般に、一様な粒径のもとでは、ベッドフォームの波長 (ripple spacing: λ) は流速の増加にともなって大きくなる傾向を示す (Miller and Komar, 1980 a, b; Middleton and Southard, 1984). 一方向流のもとで形成されたベッドフォームの場合、 λ のサイズ分布は $\lambda = 0.6 \sim 0.8$ m 付近で大きく2つのグループに分かれることが知られており (Allen, 1963), $\lambda = 0.6$ m を境にリップルとデューンに分類されている (Ashley et al., 1990). これに対し、振動流により形成されたベッドフォームの場合には、 λ のサイズ分布が一つのモードを持つ対称性のよいウェーブリップル (Inman, 1957; Tanner, 1971; Southard et al., 1990) と、一方向流ベッドフォームと同様に2つのグループに分類される、非対称性の強いウェーブリップルの存在とが認められている (Clifton, 1976). 一方、ハンモック状ベッドフォームに代表される複合流ベッドフォームの λ のサイズ分布に関しては、これまでに系統的に検討された研究は大変少なく (Craft and Bridge, 1987; Banerjee, 1996), ベッドフォームの大きさと堆積環境や水理条件との関係も明らかにされていない。

ここでは、ハンモック状ベッドフォームやその断面形態であるハンモック状斜交層理が広く認められる千葉県北東部の下部白亜系銚子層群を例に、ハンモック状ベッドフォームの

波長 (λ) のサイズ分布の特徴と堆積環境との関係について考察する。

地質概説

千葉県北東部の銚子半島に発達する銚子層群は、砂岩ならびに砂岩・泥岩互層を主体とする最大層厚がおよそ 620 m の地層である (Obata et al., 1982). 断層や褶曲などの構造運動の影響を強く受け、その分布は海岸周辺に限られている (Fig. 1). 銚子層群は5つの層に区分され (Fig. 2), 各層の境界はほとんどの場合、断層関係と推定されている (Fig. 1). アンモナイトならびに二枚貝や巻貝の化石が産出し、これらの化石動物群集は、外洋性の浅海堆積環境を特徴づけている (小島ほか, 1975; Hayami and Oji, 1980; Kase and Maeda, 1980). また、アンモナイト化石と浮遊性有孔虫化石の特徴から、銚子層群の年代はバレミアン世からアプチアン世 (127–112.2 Ma) であるとされている (Obata et al., 1982) (Fig. 2). さらに、堆積相解析の結果、これらの地層は主に外浜から内側陸棚で、ストーム時の波浪作用の影響を強く受けて形成された堆積物であることが明らかにされている (Katsura et al., 1984; Ito and Matsukawa, 1997). 銚子層群は下位の白亜紀以前に形成された愛宕山層群ならびに上位の中新世以

Fig. 2. Lithostratigraphy and sequence-stratigraphic classification of the Lower Cretaceous Choshi Group. Modified from Ito and Matsukawa. (1997). mdst= mudstone ; ss=sandstone ; cgl= conglomerate ; TST= transgressive systems tract ; HST=highstand systems tract ; SB 1-4 = sequence boundaries ; DS 1-4 = depositional sequences.

降の碎屑性堆積物とそれぞれ不整合関係にある (Fig. 2).

銚子層群には砂岩の卓越する層準と泥岩の卓越する層準との繰り返しが認められ、これらの層準の重なり様式の特徴に基づいて、4つの堆積シーケンスが認定されている (Ito and Matsukawa, 1997) (Fig. 2). 今回検討対象とした地層は、海岸付近でベッドフォームの形態や堆積構造が最も良く観察される犬吠埼層および西明浦層最下部である。これらの地層は、シーケンス層序学的には、下位より海進期堆積体、高海水準期堆積体、ならびに海進期堆積体に区分される (Ito and Matsukawa, 1997) (Fig. 2).

ハンモック状斜交層理砂岩

犬吠埼層ならびに西明浦層最下部は、中粒～極細粒砂岩と泥質砂岩ならびに砂質泥岩で構成され、全体に顕著な生物擾乱が認められる (Fig. 3 A). 砂岩層にはハンモック状斜交層理が広く発達し、スウェール状斜交層理や平行層理をとともなう (Fig. 3 B). また、砂岩層の最上部にはウェーブリップラミナの発達が認められる (Fig. 3 C). さらに、ハンモック状斜交層理にともなう、トラフ型斜交層理やカレントリップラミナも認められる (Fig. 3 D). このことは、ハンモック状斜交層理の形成時に、暴浪にともなう振動流に加え、一

Fig. 3. Examples of hummocky cross-stratified sandstones of the Inubozaki Formation at Inubozaki. A : Interbedded hummocky cross-stratified sandstones and muddy sandstones with intense bioturbation. Scale is 10 cm long. B : Amalgamated sandstones with hummocky and swaley cross-stratifications. Figure for scale. C : Hummocky cross-stratified sandstones with a wave-rippled upper surface. Scale is 1 m long. D : Hummocky cross-stratified sandstones with a current-rippled upper surface. Scale is 10 cm long.

Fig. 4. Selected measured sections of three types of depositional facies (A–C) of the Inubozaki Formation. A : Facies A ; thick- to very thick-bedded, amalgamated sandstones with hummocky and swaley cross-stratification. Mud clasts are on amalgamated boundaries. B : Facies B ; interbedded sandstones and muddy sandstones with intense bioturbation. C : Facies C ; interbedded sandstones with planar stratification and hummocky cross-stratification and sandy mudstones.

方向流が作用していたことを示している。

ハンモック状斜交層理を特徴とする堆積相は、ハンモック状斜交層理砂岩の層厚や挟在する泥質岩の割合によって、大きく A, B, C の 3 つに識別される (Fig. 4)。堆積相 A は癒着した砂岩層で特徴づけられ、ハンモック状斜交層理とともにスウェール状斜交層理が広く認められる (Figs. 3B and 4)。癒着した砂岩層は最大で 10 m 以上の厚さを示し、癒着面上に泥質岩礫 (直径 1~5 cm) をともなう。堆積相 B は層厚 20~80 cm ほどの砂岩とこれに挟在する泥質砂岩で特徴づけられる (Figs. 3A and 4)。砂岩層最上部から上位の泥質砂岩にかけてはウェーブリップラミナが発達する。全体に著しい生物擾乱が認められる。堆積相 C は層厚 1~2 cm から 50 cm ほどの砂岩と砂質泥岩との互層で特徴づけられる (Figs. 4 and 5A)。砂岩層の基底には、一部でフルートキャストが認められる (Fig. 5B)。さらに、砂岩層の内部にはハンモック状斜交層理の下位に平行層理が広く発達している場合が認められる (Figs. 4 and 5C)。また、砂岩層最上部にウェーブリップラミナが広く発達する。これまでの研究成

果 (Ito and Matsukawa, 1997) に基づくと、堆積相 A は下部外浜、堆積相 B は下部外浜と内側陸棚との漸移部、堆積相 C は内側陸棚を特徴づける堆積物であると解釈される。

ハンモック状ベッドフォームの計測

犬吠埼層ならびに西明浦層最下部に広く発達するハンモック状ベッドフォームの波長 (λ) の測定を行った (Fig. 6)。砂岩層の表面にベッドフォームの形態が明瞭に認められる場合には、峰から峰までの距離を波長として測定した (Figs. 6 and 7A)。ベッドフォームの表面形態が侵食などにより不明瞭な場合は、表面に平行なラミナ面の凹凸を利用して波長の測定を行った (Fig. 7B)。ただし、この場合、ベッドフォームの表面形態に基づく測定値に比べ小さい値が測定されている可能性がある。

波長のサイズ分布

今回測定されたハンモック状ベッドフォームの波長のサイズ分布は、これまでに報告されているデータ (Craft and

Fig. 5. A: Interbedded thin- to medium-bedded sandstones and sandy mudstones of facies C of the Inubozaki Formation at Inubozaki. Figure for scale. B: Hummocky cross-stratified sandstones with a flute cast (arrowed) of facies C of the Inubozaki Formation at Inubozaki. Scale is 10 cm long. C: Planar-stratification and hummocky cross-stratified sandstones interbedded with sandy mudstones of facies C of the Inubozaki Formation at Inubozaki. Scale is 10 cm long.

Bridge, 1987; Banerjee, 1996) と同様に、対数正規分布のパターンを特徴とし、 $\lambda=300$ cm にモードが認められる (Fig. 8). このようなサイズ分布の特徴は、振動流のもとで形成される対称性のよいリップルで求められているサイズ分布のパターン (Tanner, 1971; Southard et al., 1990) と類似する。これに対し、Clifton (1976) は、非対称性の強いウェーブリップルでは、一方向流で形成されるベッドフォームと同様

にバイモーダルなサイズ分布のパターンが特徴的であるとしている。さらに、複合流ベッドフォームのサイズ分布は、一方向流の成分が卓越するのにしたがい、バイモーダルなサイズ分布に近づくと考えられている (Banerjee, 1996). 犬吠埼層ならびに西明浦層最下部のハンモック状ベッドフォームは、振動流の大きく卓越する環境で形成されたベッドフォームとよく類似したサイズ分布のパターンを示す。

振動流の軌道直径とベッドフォームの波長

静穏時の波浪作用によって浅海底で形成されるウェーブリップルには、海底付近での振動流の軌道直径 (do) の増加にともなって波長 (λ) が増加する orbital ripple ($\lambda=0.65$ do) と呼ばれるベッドフォームが認められている (Miller and Komar, 1980 a, b; Clifton and Dingler, 1984).

一方、暴浪時の浅海底付近での複合流の振動流成分の軌道直径とハンモック状ベッドフォームの波長との関係については、海底での実測が困難なため、水路実験によって検討されている (Southard et al., 1990). Southard et al. (1990) は、ハンモック状ベッドフォームが振動流成分の強く作用する条件のもとで形成されると考えられることから、ウェーブリップルの場合よりもより大きな流速と長い周期をもつ振動流を与え、軌道直径とベッドフォームの波長との関係を検討している (Fig. 9). 彼らの実験によって、暴浪にともなう浅海底付近での振動流の軌道直径とベッドフォームの波長との間には、orbital ripple と類似した関係が存在することが理解される。また、最近では、海中カメラによる暴浪時のベッドフォームの波長の実測が試みられるようになり (Li and Amos, 1999), ハンモック状ベッドフォームの波長は、海底付近での振動流の軌道直径の 0.5~0.6 倍程度の大きさ ($\lambda \approx 0.5 \sim 0.6$ do) であることが認められている。

古水深と波長との関係

犬吠埼層から西明浦層最下部までに認められる海進→海退→海進の堆積サイクルにはほぼ対応して、ハンモック状ベッドフォームの波長は一般に減少→増加→減少の傾向を示す。このような傾向は、特に犬吠埼層中部において顕著に認められる (Fig. 10). 海進と海退は基本的には堆積環境の古水深の増加と減少に対応するため、古水深の変化とハンモック状ベッドフォームの波長との関係について、既に述べた3つの堆積相に注目して、さらに詳しく検討した。

日本周辺の浅海域における波浪条件や堆積物の特徴 (例えば、斎藤, 1989) から、堆積相 A から堆積相 B, さらに堆積相 C へとより沖合の堆積環境を示していることが分かる。現段階において、具体的な古水深の値をそれぞれの堆積相に与えることはむずかしい。それぞれの堆積相に認められるハンモック状ベッドフォームの波長の長さをまとめたものが、Fig. 11 である。この図から、より沖合で形成されたハンモック状ベッドフォームほど波長が小さくなるという傾向が認められる。このことは、Fig. 9 にまとめられた Southard et al. (1990) の実験結果と照らし合わせると、沖合ほどハンモック状ベッドフォームの形成をもたらした複合流の振動流成分の

Fig. 6. An example of hummocky bedform and internal hummocky cross-stratification of very fine-grained sandstones of facies B of the Inubozaki Formation at Inubozaki. Figure for scale. λ = ripple spacing.

Fig. 7. Block diagram (A) and cross section (B) of a hummocky cross-stratified sandstone. Modified from Harms et al. (1975). Ripple spacing (λ) is measured as a horizontal distance between two crests (A) or troughs (B).

Fig. 8. Size distribution of ripple spacing (λ) of hummocky bedforms and hummocky cross-stratification of the Inubozaki and Toriakeura Formations.

Fig. 9. Relationship between 10°C-scaled orbital diameter (do_{10}) and 10°C-scaled ripple spacing (λ_{10}). Modified from Southard et al. (1990).

Fig. 10. Measured section of the Inubozaki and Toriakeura Formations and vertical changes in the thickness of sandstone beds and ripple spacing of hummocky bedforms. Solid dots are data for magnified interval of facies C. A-C are the coding of depositional facies given in Fig. 4. See Fig. 4 for other explanations.

Fig. 11. Relationship between supposed paleowater depth and ripple spacing of hummocky bedforms of the Inubozaki and Toriakeura Formations. Solid dots are means and bars indicate standard deviations.

軌道直径が小さくなることを示していると考えることができる。ただし、この場合、暴浪の規模がほぼ一定であるという仮定に基づいている。そこで、暴浪の規模が異なった場合、ある特定の水深において形成されるハンモック状ベッドフォームの波長がどのような変化を示すのかを次に検討する。

ストームの規模が波長に与える影響

静穏時の浅海底付近における振動流の軌道直径は、水深が一定の場合、波浪の規模が大きいほど大きくなる (Miller and Komar, 1980 a, b; Clifton and Dingler, 1984)。したがって、ストーム時の浅海底付近でも、暴浪の規模に対応して振動流の軌道直径が変化することが予想される。現時点では、地層から暴浪の波高や波長あるいは周期など、その規模を直接推定することはむずかしい。しかし、暴浪の規模が大きければ coastal setup の程度も大きくなり、海岸付近で侵食される堆積物が downwelling にともなってより多く沖合へと供給されると仮定した場合、沖合で形成された堆積相 C を形成する砂岩層の厚さの違いは、ストームの相対的規模を反映する (例えば、Brandt and Elias, 1989) と考えることができる。

Fig. 12 は内側陸棚で形成された堆積相 C の砂岩層の厚さと、それぞれの砂岩層に認められるハンモック状ベッドフォームの波長との関係をまとめたものである。この図から、砂岩層の厚さとハンモック状ベッドフォームの波長との間に明瞭な関係は認められない。堆積相 C を構成する砂岩層を詳しく検討すると、厚い砂岩層ほどハンモック状斜交層理の下位に平行層理の発達しているものが多く認められる (Figs. 4 and 5C)。Duke et al. (1991) によれば、ハンモック状ベッドフォームが形成される振動流の卓越した複合流の状態から、一方向流の成分が増加すると、平坦床へとベッドフォームが変化すると考えられている。また、沖合でストーム堆積物が形成される場合、暴浪の規模が大きい初期の状態では一方向流が卓越し、平坦床が特徴的に発達する (Cheel

Fig. 12. Relationship between thickness of sandstone beds and ripple spacing of hummocky bedforms of facies C of the Inubozaki Formation.

and Leckie, 1992) のに対し、暴浪の減衰にともなって振動流成分が卓越するようになり、ハンモック状ベッドフォームの形成が行われると考えられる (Cheel, 1991; Duke et al., 1991)。したがって、水路実験においても確認されているように (Southard et al., 1990)、ハンモック状ベッドフォームは、暴浪にともなう海底付近での一方向流成分の流速が減衰し、振動流成分が卓越していく過程で形成されるため、砂岩層の形成の初期に一方向流が卓越した場合には、波長の大きさと砂岩層の厚さから推定したストームの規模との間には、明瞭な対応関係が認められないものと考えられる。

ま と め

千葉県北東部に発達する下部白亜系銚子層群に広く認められるハンモック状ベッドフォームのサイズ分布の特徴について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. ハンモック状ベッドフォームの波長のサイズ分布は、対数正規分布のパターンを示し、300 cm にモードが認められる。このような分布パターンの特徴は対称性のよいウェーブリップルにおいても認められており、ハンモック状ベッドフォームが振動流の卓越した複合流のもとで形成されたものであることと整合性が認められる。
2. ハンモック状ベッドフォームの波長は、より沖合の環境で形成されたものほど小さくなる傾向を示す。このことは、ストーム時の浅海底付近での振動流の軌道直径が、静穏時と同様に、水深の増加にともなって小さくなるためと考えられる。したがって、海洋環境がほぼ一定でストームの規模などに大きな変化がない場合、沖合ほど、波長の小さなハンモック状ベッドフォームが形成される。
3. 沖合で形成されたストーム堆積物の厚さとハンモック状ベッドフォームの波長との間には、明瞭な対応関係は認められない。一般に、沖合で形成されるストーム堆積物の厚さはストームの規模に対応すると考えられる。しかし、ハンモック状ベッドフォームは、暴浪にともなう振動流成分ならびに沖合に向かう一方向流成分の流速の減少にともなって形成さ

れると考えられている。このため、沖合のストーム堆積物の形成の初期に一方向流成分が卓越していた場合、ハンモック状ベッドフォームの波長の大きさは、ストームの最大の規模を直接反映していない可能性が考えられる。

謝 辞

この研究を進めるにあたり、千葉大学地球科学科の大原隆先生、ならびに千葉大学大学院自然科学研究科の西川 徹さん、斉藤高浩さん、高尾晶彦（現帝国石油株式会社）さんには野外ならびに室内で貴重な御協力と御討論をいただいた。また、千葉大学地球科学科地球表層プロセスセミナーの先生方には、多数の御討論と御助言をいただいた。査読者の方々からは論文内容について、多数の建設的なご意見をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。この研究は文部省科学研究費補助金（no. 11791012）の一部を使用して行われた。関係当局に謝辞を申し上げます。

文 献

- Allen, J.R.L., 1963, Asymmetrical ripple marks and the origin of water-laid cosets of cross strata. *Liverpool and Manchester Geol. Jour.*, **3**, 187-236.
- Arnott, R.W. and Southard, J.B., 1990, Exploratory flow-duct experiments on combined-flow bed configurations and some implications for interpreting storm-event stratification. *Jour. Sediment. Petrol.*, **60**, 211-219.
- Ashley, G.M., et al., 1990, Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Jour. Sediment. Petrol.*, **60**, 160-172.
- Banerjee, I., 1996, Populations, trends and cycles in combined-flow bedforms. *Jour. Sediment. Res.*, **66**, 868-874.
- Brandt, D.S. and Elias, R.J., 1989, Temporal variations in tempestite thickness may be a geologic record of atmospheric CO₂. *Geology*, **17**, 951-952.
- Cheel, R.J., 1991, Grain fabric in hummocky cross-stratified storm beds: genetic implications. *Jour. Sediment. Petrol.*, **61**, 102-110.
- Cheel, R.J. and Leckie, D.A., 1992, Coarse-grained storm beds of the Upper Cretaceous Chungo Member (Wapiabi Formation), Southern Alberta, Canada. *Jour. Sediment. Petrol.*, **62**, 933-945.
- Clifton, H.E., 1976, Wave-formed sedimentary structures—a conceptual model. In Davis, R.A. and Ethington, R.L., eds., *Beach and nearshore sedimentation*, SEPM Spec. Publ., no. 24, 126-148.
- Clifton, H.E. and Dingler, J.R., 1984, Wave-formed structures and paleoenvironmental reconstruction. *Mar. Geol.*, **60**, 165-198.
- Craft, J.H. and Bridge, J.S., 1987, Shallow-marine sedimentary processes in the Late Devonian Catskill Sea, New York State. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **98**, 338-355.
- Duke, W.L., 1990, Geostrophic circulation or shallow marine turbidity currents? The dilemma of paleoflow patterns in storm-influenced prograding shoreline systems. *Jour. Sediment. Petrol.*, **60**, 870-883.
- Duke, W.L., Arnott, R.W.C. and Cheel, R.J., 1991, Shelf sandstones and hummocky cross-stratification: New insights on a stormy debate. *Geology*, **19**, 625-628.
- Greenwood, B. and Sherman, D.J., 1986, Hummocky cross-stratification in the surf-zone: flow parameters and bedding genesis. *Sedimentology*, **33**, 33-45.
- Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D.R. and Walker, R.G., 1975, *Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences*. SEPM Short Course Notes, **2**, 161 p.
- Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D.R. and Walker, R.G., 1982, *Structures and sequences in clastic rocks*. SEPM Short Course Notes, **9**, 249 p.
- Hayami, I. and Oji, T., 1980, Early Cretaceous bivalves from the Choshi district, Chiba Prefecture, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **120**, 419-448.
- Inman, D.L., 1957, *Wave-generated ripples in nearshore sands*. U.S. Army Corps Engineers Beach Erosion Board Tech. Memo, no. 100, 67 p.
- Ito, M. and Matsukawa, M., 1997, Diachronous evolution of third-order depositional sequences in the Early Cretaceous forearc basins: shallow marine and paralic successions in the Sanchu and Choshi Basins, Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 48, 60-75.
- Kase, T. and Maeda, H., 1980, Early Cretaceous gastropoda from the Choshi district, Chiba Prefecture, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **118**, 291-324.
- Katsura, Y., Masuda, F. and Obata, I., 1984, Storm-dominated shelf sea from the Lower Cretaceous Choshi Group, Japan. *Ann. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, no. 10, 92-95.
- Li, M.Z. and Amos, C.L., 1999, Sheet flow and large wave ripples under combined waves and currents: field observations, model predictions and effects on boundary layer dynamics. *Cont. Shelf Res.*, **19**, 637-663.
- Middleton, G.V. and Southard, J.B., 1984, *Mechanics of sediment movement*, 2nd ed. SEPM Short Course Notes, **3**, 401 p.
- Miller, M.C. and Komar, P.D., 1980 a, Oscillation sand ripples generated by laboratory apparatus. *Jour. Sediment. Petrol.*, **50**, 173-182.
- Miller, M.C. and Komar, P.D., 1980 b, A field investigation of the relationship between oscillation ripple spacing and the near-bottom water orbital motions. *Jour. Sediment. Petrol.*, **50**, 183-191.
- 小島郁生・萩原茂雄・神子茂男, 1975, 白亜系銚子層群の時代. 国立科学博研報, Ser. C (地質), **1**, no. 1, 17-36.
- Obata, I., Maiya, S., Inoue, Y. and Matsukawa, M., 1982, Integrated mega- and micro-fossil biostratigraphy of the lower Cretaceous Choshi Group, Japan. *Bull. Natn. Sci. Mus.*, **8**, 145-179.
- 斎藤文紀, 1989, 陸棚堆積物の区分と暴風型陸棚における堆積相. 地学雑, **98**, 350-365.
- Southard, J.B., Lambie, J.M., Federico, D.C., Pile, H.T. and Weidman, C.R., 1990, Experiments on bed configurations in fine sands under bidirectional purely oscillatory flow and the origin of hummocky cross-stratification. *Jour. Sediment. Petrol.*, **60**, 1-17.
- Swift, D.J.P., Figueiredo, Jr., A.G., Freeland, G.L. and Oertel, G.F., 1983, Hummocky cross-stratification and megaripples: a geological double standard? *Jour. Sediment. Petrol.*, **53**, 1295-1317.
- Tanner, W.F., 1971, Numerical estimates of ancient waves, water depth and fetch. *Sedimentology*, **16**, 71-88.

(要 旨)

石垣朝子・伊藤 慎, 2000, ハンモック状ベッドフォームのサイズ分布—千葉県北東部, 下部白亜系銚子層群を例として—. 地質雑, 106, 472-481. (Ishigaki, A. and Ito, M., 2000, Size population of hummocky bedforms: An example from the Lower Cretaceous Choshi Group, northeastern Boso Peninsula, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 106, 472-481.)

下部白亜系銚子層群に認められるハンモック状ベッドフォームのサイズ分布は, 対称性のよいウェーブリップルに認められるような対数正規分布のパターンを示す. また, ハンモック状ベッドフォームの波長は, 古水深の増加にともなって小さくなる傾向を示す. このことは, ストーム時の浅海底付近での振動流の軌道直径が, 水深の増加にともなって小さくなるためと考えられる. 一方, 沖合でのストームの規模の指標となるストーム堆積物の厚さと, ハンモック状ベッドフォームの波長の間には, 明瞭な対応関係が認められない. ハンモック状ベッドフォームは暴浪にともなう振動流成分ならびに沖合に向かう一方向流成分の減少にともなって形成され则认为られており, 特に沖合のストーム堆積物の形成の初期に一方向流が卓越していた場合, ハンモック状ベッドフォームの波長の大きさは, 暴浪の最大の規模を直接反映していない可能性が考えられる.