

和歌山県切目崎海岸に発達する砂質 フリッシュの堆積構造 (その1)

—内部堆積構造と BOUMA の模式—

原田 哲朗*・志岐 常正**・徳岡 隆夫**

Sedimentary Structures of Sandy Flysch Deposits at the Coast of the Kirimezaki, Wakayama Prefecture (Part I)

—Internal Sedimentary Structures and BOUMA's Model—

By

Tetsuro HARATA, Tsunemasa SHIKI and Takao TOKUOKA

(Received Sep. 16, 1969)

Abstract

Turbidite theory was proposed by KUENEN and MIGLIORINI in 1950, and it has become a famous theory for geosynclinal sedimentation. In 1962, BOUMA presented the method of description of sedimentary properties by symbolism. He succeeded to describe a lot of properties of geosynclinal sediments by many adequate symbols in graphic logs. Furthermore, from field evidences he proposed the hypothesis of complete sequence (from the bottom *a* interval to the top *e* interval) of turbidite, which is called in this paper the "BOUMA's model".

In this paper the writers described the sedimentary properties of sandy flysch deposits of the Muro group at the Kirimezaki, Wakayama Pref. by "BOUMA's symbols" in graphic logs. The Muro group is the Paleogene to the lower Miocene and occupies the late stage of the Shimanto geosyncline. At the Kirimezaki there distributes a comparatively upper part of the group, and a continuous succession of well exposed strata and composite sequences of turbidites can be seen. The sandy flysches of this district have some properties of fluxoturbidite or proximal turbidite. In this work we ascertained that BOUMA's symbols were very available and profitable, although we added some new symbols for describing the Japanese geosynclinal sediments more adequately. Some comments were written in this paper.

The BOUMA's model can be applied to the geosynclinal sediments in the Muro group. But we have some cases against this model, for instance there are examples lacking *b* or *c* interval (in some cases *d* interval) in seemingly continuous sequences, and also those having some structures in *a* interval in addition to graded structure. Notwithstanding these exceptions we think BOUMA's model, which follows to KUENEN's turbidite theory, is essentially correct, and is adaptable to the geosynclinal sediments in Japan.

* 和歌山大学教育学部地学教室

** 京都大学理学部地質学鉱物学教室

I ま え が き

いわゆる turbidity current によって、級化成層が形成されうる。このことが KUENEN and MIGLIORINI (1950) によって示唆されて以来、タービダイトの内部堆積構造のいろいろな特徴が多く研究者によって記述されてきた。なかでも BOUMA (1962, 1964) は Alpes Maritimes その他のフリッシュのタービダイトについてくわしく研究し、単層内部構造の発達のしかたに一定の規則性があることを見出した。ここでは彼のいわゆる“完全順序関係; complete sequence”にみられる規則性を“BOUMA の模式”と呼ぶことにする。この規則性は、本来、特定地域のタービダイトについて多数の単層の堆積構造を比較検討し、それらを総合的にみることによって見出されたものである。言いかえれば BOUMA が見出したものは、もともとは地域的な“総合順序関係; composit sequence” (DUFF and WALTON, 1962) であり、その意味においては必ずしも他地域のタービダイトにあてはまる必然性をもつものではない。しかしながら、それはこれまでに見出され、提唱されたどの“sequence”, どの“cycle”にもまして model (ideal) 的な性格をもつことが予期されるものであった。そしてまた、事実、現在の海底の堆積物を含めた各地のタービダイトについてそのことの妥当性が認められつつある。

単層内部構造についてこのような模式が認められたことの意義は、それが単層より低い階層(ラミナの単位や粒子の単位)にまで下った規則性にふれたことによって、タービダイトの堆積機構の議論を水力学の基礎の上におく展望を与えたことにある。

もちろん、BOUMA の模式が、真に普遍的なものであるかどうかということについては、今後さらに多くの検討が必要であろう。しかし、いづれにせよ、今後世界各地のタービダイトの堆積機構、堆積盆の発展史などを研究するにあたっては、BOUMA の述べたような単層内部構造の規則性の問題を避けることは出来ない。このような線に沿いさらに一步を進めた研究の例としては、房総地方のフリッシュ型堆積物についての 平山・鈴木 (1965, 1968) の研究などがある。それは各タービダイト単層 1 枚 1 枚についてその内部堆積構造の連続性を 30km にわたって追跡し、検討することに成功している。

筆者らは、かねて紀州四万十帯のフリッシュの

堆積構造に興味をいだき四万十帯の発展史を研究するなかでフリッシュの内部・外部堆積構造を研究してきたが、1965年以来露出のよい和歌山県切目崎海岸の砂質フリッシュの堆積構造の詳細な検討を試みてきた。四万十帯には地対斜発展の各段階の堆積物が発達している。本地域にみられる砂質フリッシュは、その岩相から牟婁層群の比較的上部に相当すると考えられる。その地質構造は東西ないし N70°W で北へ急傾斜し、全体が逆転して、連続的に好露出している。とくに本地域のフリッシュでは累重する数多くの単層の内部構造を連続的に観察することが出来ること、また単層や単層の内部構造の水平的な変化がよく観察されることなどから、タービダイトの堆積機構を検討する上で興味ある研究対象である。

BOUMA がタービダイトの内部堆積構造を研究する上で、記号による記載法を用い、これが大きな成果をあげたことはよく知られている。この点を考え、筆者らはこの研究をはじめめるにあたって、まず BOUMA の提唱した記号の使用を含めて記号による記載法の有効性を検討した。研究はなお途上にあり、とくに定量化されていない欠陥をもっているが、記号による記載法の有効性といったことについてだけでも見解をのべておくことは、現在進行しつつある四万十帯や丹波帯での堆積構造の研究のために有益であろうと思われる。

この研究に際しては紀州四万十帯団研グループ、はてなし団研グループ、丹波団研砂岩グループの方々に御援助、御批判を得た。ここに厚く御礼申しあげる。

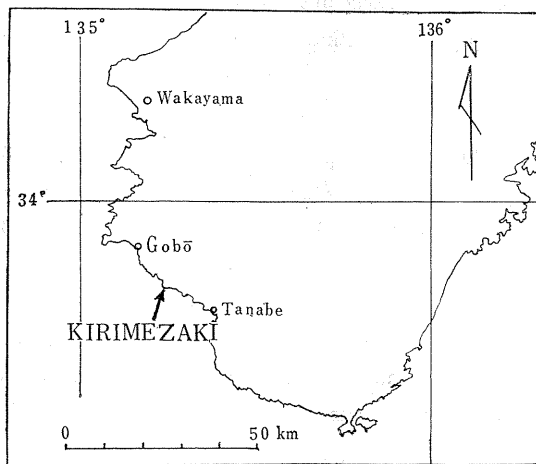


Fig. 1. Index map.

II BOUMA の記号による表示とその有用性

記号による表示法は BOUMA and NOTA (1961), BOUMA (1962) によって提唱され、これを用いた堆積学的研究は大きな成果をあげている。非常に簡略化された BOUMA (1962) の記号は多くの現象の特徴を簡潔に表わしている。筆者らは、はじめ、BOUMA (1962) のものとは異なったよい記載法がないかを考え実際に使用してみたが、この試みは結果的にみて不成功であった。筆者らが本地域のフリッシュを表示するために追加した 2, 3 の新しい記号を別にすれば、全体として別のものに変えなければならない理由はほとんどの構造について認め難い。BOUMA の記号が世界的に広く知られている今日では、他地域との堆積構造の比較の便宜のためにも、これを用いることを基本とするのがむしろ妥当であろう。

切目崎海岸に発達する砂質フリッシュの堆積構造を主として BOUMA の記号によって記載したものを付図に示す。この図の作製を通して、記号を用いた記載法が簡便さや多様な属性を同時に記述できるなどの点できわめて有用であることが認められた。

しかし、2, 3 修正ないし補足したほうがよいと思われることもあり、以下に述べる。

いわゆる shale patch とよばれるものは、BOUMA の記号にいう clay pebble や clay nest とは必ずしも一致しないように思われる。この地域やさらに日本では広く shale patch zone が turbidite 中にかなりひんぱんにみられることから新たな記号を追加した (付図 Notation 参照)。

礫または礫質部の存在は BOUMA にあっては粒度を示した lithology のところで判定しうが、それを図上で明瞭に識別可能とするために新たな記号を追加した (付図 Notation 参照)。

層裏痕の存在が確認されながら、そのくわしい種別が判定できない場合がある。切目崎の場合には、ほとんど例外なく多少の荷重変形を受けているので、種別のわからないものはすべて荷重痕の記号で表わした。しかしこれらの表示法が必要であろうと考えられる。

BOUMA は平面的な層理や葉理とそれらが二次的に変形したものとを区別した表示法を考えている。一方、荷重痕のすぐ下位の地層の葉理は当然のことながらしばしば屈曲しているが、このことについては彼の図でみる限りでは何も表現していない。

筆者らが付図において current ripple lamination

の記号によって一括して示した構造には明らかに将来 2 つに区分されるべきものを含んでいる。これらは BOUMA の定義による cross bedding と cross lamination とに対応するものではない。BOUMA の cross bedding は内容的には明らかに cross lamination であるが、そのことは別として、cross bedding (lamination) と current ripple lamination とは形態的に異なり、成因的にも差異があるものであることは間違いない。しかし、BOUMA はこれらを 5 cm という高さをもって区分している。このような区分は原理的にも無意味であり、また切目崎のタービダイトにおいてもまったく不適当である。同様の問題は他の構造についてもあり、彼の述語の定義を検討してみるとそもそも層理や葉理の概念がばくぜんとされていて、両者のちがいを単に厚さの量的なちがいでしかとらえていないところに原因があるように思われる。

III 堆積構造の特徴と“BOUMA の模式”

結論的にいえば、BOUMA の提唱した記号だけでなく、これを用いて導き出されたタービダイトの内部堆積構造の模式も、切目崎海岸のタービダイトによくあてはまるように思われる。もちろんこのことは、多様性の底を通して BOUMA のたてた模式を一般的に成り立たせるような何かが流れているといった意味である。切目崎海岸の内部堆積構造を観察し、BOUMA の模式と比較検討することによって気づいた諸点を予報的な意味で以下に列挙する。これらの諸点については今後さらに微視的、統計的な検討が必要である。

1. 他の地域でもみられるように、厚い単層* は薄い単層に比して粒度の大きい部分をより多く持っている。これは基本的に BOUMA の a 部に関連した問題である。厚い単層は Ta-e, Ta-d, Ta-b など a 部にはじまるものが多い。この場合 a 部の粒度は中砂以上の粗さをもち、礫に達することも多い。厚い単層にはしばしば巨大な層裏痕が発達している。

2. 薄い単層は Tc-e, Td-e などからなることが多い。しかし a 部から始まる場合もみられる。薄い単層は削りとられていない限り e 部をもっている。

3. 各単層の対応する各部の厚さの間には正の相関があるとは思われない。たとえば、a 部の厚い単層は必ずしも c 部や d 部が厚くはない。

* ここでは一枚のタービダイトの下底から次のタービダイトの下底までを単層と呼んでおく。タービダイトを“砂泥互層”をとらえる場合の、砂・泥層の両方を含むことになる。

Table 1. Relation between thickness of layer and sequence type.
(upper truncated layers omitted)

Layer thickness in cm	Total number of layers	Ta-e	Ta-e (-b)	Ta-e (-c)	Ta-e (-d)	Ta, b, e	Ta, e	Ta-c	Tb-e	Tb, c, e	Tb, e	Tc-e	Tc, e	Td, e
0— 2	1											1		
2— 4	11											5		6
4— 10	22	2							2		1	13		4
10— 20	17	2					4		1	1		3	1	5
20— 40	10	7		1			1					1		
40—100	21	14	1	1	1	1	1	2						
100—200	15	8	1		1	3	2							
Total	97	33	2	2	2	4	8	2	3	1	1	23	1	15

Table 2. Relation between thickness of sandy-silty part of layer and sequence type.

Layer thickness in cm	Total number of layers	Ta-e	Ta-e (-b)	Ta-e (-c)	Ta-e (-d)	Ta, b, c	Ta, e	Ta-d	Ta-c	Ta-b	Ta	Tb-e	Tb, c, e	Tb, e	Tb-d	Tb, c	Tb	Tc-e	Tc, e	Tc, d	Td-e	Td
0— 2	16																	10			6	
2— 4	23									1		1		1			1	10	1		8	
4— 10	13	3					2			1		1	1		1	1		2		1		
10— 20	20	8		1			3			3	1	1						1			1	1
20— 40	9	3		1	1					2	1							1				
40—100	21	13	2			1	1	2	2													
100—200	15	6			1	4	2		1	1												
Total	117	33	2	2	2	5	8	2	3	8	2	3	1	1	1	1	1	24	1	1	15	1

4. 砂よりなる a 部の下底には granule が一枚の葉理をなしてへばりついている例が数例ある。下底が巨大な荷重痕をつくる場合に顕著なようである。逆に、粗～極粗砂の下底に細砂がくる例もいくつかある。

5. 本地域では c 部構造は current ripple lamination として一括したが、2種類のものがある。1つは小規模の current ripple を構成する、下に凸の tangential な foreset lamina からなる。もう一つは大規模な、いわゆる cross lamination で、tabular で低角の foreset lamina からなっている。後者が多く存在することと convolution がみられないことが本地域の特徴である。

6. この地域の turbidite については、粒度変化と c 部の構造に関連して2つの型が認められる。

(1) a から d の途中までが砂質であって、 c 部の粒度が b 部の粒度とあまり変らぬもの。 c 部があれば粒度はそこで砂からシルトまで変わる。 c の構造は前述の2型である。

(2) a から b までが砂で、 c はすでに泥質細砂と粘土質シルトに変わっているもの。 c の中で粒度はさらに急激に低下する。 c の構造は前述の1型である。 d は厚さ1～2mmのシルトおよび粘土の葉理からなっており、上位のシルト～粘土からなるラミナイト（独立のタービダイトを意味する）との区別が判然としない。

(1)の型は厚い turbidite 単層（1m+）にあり、(2)の型は相対的に薄い単層（20～30cm）に多いらしい。Alpes Martimes の turbidite がどちらの型に属するかは BOUMA の記載からは明らかでないが、2型であるように思われる。

7. e 部は成因的に異なる2つの部分、すなわち本来タービダイトの構成要素であるものと、真に pelagic なものを含んでいるわけであるが、これを野外で識別することは困難な場合が多い。

8. 荷重痕とその下位の単層の e 部からのフレーム構造が結びついていることはよく知られている。本地域での観察では e 部の泥質部だけでなく、その下位の d 部までもがフレームをなして上位の単層に入りこんでいるのがみられる。

9. 厚い単層の直下にはしばしば a や b から始まる数枚の薄い単層がみられる。この場合に厚い単層の下面には深く、大きい荷重痕が発達する場合が多い。これらはタービダイトの堆積機構からみて複合的な一連のものである可能性が強い。

10. BOUMA のいう truncated bed が本地域では多数みられる。 c 部やまれには b 部までが削られたとみ

なされるものがある。

11. Truncated bed の1つとしていくつかの単層のいわば“融合現象”とでもいうべき現象がみられる。これは BIRKENMAJER (1959) によって multiple bed または composit bed として注目され、WALKER (1967) によって amalgamation とよばれた現象である。これは下位の単層と上位の単層の境がわからなくなってしまい、一見一枚の単層にみえる現象である。この現象から考えると a 部の中に平行葉理がみられたり、 a の内部で grading が急変したりする例がいくつかあるが、必ずしも BOUMA のモードがあてはまらないとはいえない。

融合した疑いのある“地層”は側方で pelite 部をもつ2枚の turbidite に明瞭にわかれることが観察される。またその“地層”の中の境界にあたる部分に連続した泥岩片 (shale patches) が列をなす状態を経て、2枚の明瞭な turbidite にわかれる場合もある*。これらの事実は WALKER (1967) によっても報告されているが、融合現象を明瞭に証明している。

12. BOUMA のモードからはずれるような例もみられる。 b , c , d 部などが欠除しているときみられる場合である。たとえば b 部より下位で、 a の内部と思われるところにしばしば平行葉理がみられたり、スランプ構造や礫、泥岩片の著しい集積がみられたりする場合、 a から直接に c に移行している場合などである。これらの例は決して少なくなく、WALKER (1967) もそのような場合がかなりあることをのべている。しかし、BOUMA のモードの a から e への順序が逆になることは、multiple bed の場合を除いては、ない。またその欠けている部分が同一の単層の側方では見出されることもある。なお、肉眼的には均質にみえる部分でも、X線を用いて検討すれば或る種の構造が見出される場合があることが報告されている (HAMBLIN, 1962)。切目崎の場合にも同様のことがありうるであろう。

しかしながら上記のことで BOUMA のモードからはずれる全ての例を説明することは出来ないように思われる。

以上にのべた諸点のうち、1, 2, 7 などとはかなり一

* 泥岩片にはかなり大きな (10～30cm) のものがある。とくに厚い砂岩や含礫泥岩の優勢な単層に多い。しかしこのような場合にも、それらを含んだ帯は一般に横に数mでいどで見られなくなってしまう。なお turbidite に一般的に伴なう泥岩片、slumpling によるパッチやブロックはこの例ではない。

般性のある現象であろう。6, 10, 11は切目崎のタービダイトに特徴的なものである。これらは切目崎のタービダイトが fluxoturbidite とか proximal turbidite といわれるような性格をかなりにもった堆積物であることと関係があるものと思われる。このような現象の存在は、一般性のある現象にもまして、タービダイトの堆積機構を研究する上に重要な示唆を与えるものであり、今後とくに詳しい検討が必要であろう。

IV 要約と結論

切目崎海岸のタービダイトを例として検討を試みた結果、BOUMA の記号の使用はきわめて有効であることを確認した。ただし、多少の修正、補足は必要であると思われる。

BOUMA の提唱したタービダイト内部堆積構造の模式は、切目崎海岸の砂質フリッシュにもあてはまる。ただし、注意を要するいくつかの現象がある。たとえば、単層の横への変化の様子、2つ以上の単層の“融合”現象、粒度変化とc部の構造に関連して turbidite に2つの型が認められること、a部内の堆積構造の存在などが注目される。これらは切目崎海岸の砂質フリッシュが、かなり fluxoturbidite あるいは proximal turbidite といわれるような性格をもっていることに関係していると思われる。BOUMA の模式は「これをつくるような水力学的な何かが、例外を含む諸現象の奥に法則性をもって流れている」といったものとして理解すべきものであろう。今後さらに観察を深め、上記の諸事実を定量的に表現できるよう努力するとともに、他地域の層相の異なる砂質フリッシュや泥質フリッシュについても比較検討してゆきたい。また、内部堆積構造と外部堆積構造との関係についても明確にしてゆきたいと考える。

参考文献

- BIRKENMAIER, K. (1959). Classification of Bedding in Flysch and Similar Graded Deposits. *Studia Geol. Polon.*, 3, 1-133.
- BOUMA, A. H. (1962). Sedimentology of Some Flysch Deposits. *Elsevier, Amsterdam*, 168 p.
- BOUMA, A. H. (1964). Turbidites. In: A. H. BOUMA and B. B. BOUTER (Editors), *Turbidites*, Elsevier, Amsterdam, 274-256.
- BOUMA, A. H. and D. J. G. NOTA (1961). Detailed Graphic Logs of Sedimentary Formations. In: Th. SORGENFRIED (Editor), *Repts. Intern. Geol. Congr.*, 21st. Session (in Collaboration with the Intern. Assoc. Sedimentol.), 52-74.
- DUFF, P., D. MCL. and E. K. WALTON (1962). Statistical Basis for Cyclothem: A Quantitative Study of the Sedimentary Succession in the East Penine Coalfield. *Sedimentology*, 1, (4), 235-255.
- DZULYNSKI, S. and A. SLACZKA (1958). Directional Structures and Sedimentation of the Krosno Beds (Carpathian Flysch). *Ann. Soc. Geol. Pologne*, 28, (3), 205-259.
- DZULYNSKI, S. and E. K. WALON (1965). Sedimentary Features of Flysch and Greywackes. *Elsevier, Amsterdam*, 274p.
- HAMBLIN, W. K. (1962). X-ray Radiography in the Study of Structures in Homogenous Sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 32, 34-52.
- 平山次郎・鈴木耐元(1965). フリッシュ型砂泥互層を構成する単層の形態と組織について。地調月報, 16, (2), 79-93.
- 平山次郎・鈴木耐元(1968). 単層の解析—その実際と堆積学的意義について。地球科学, 22, 43-62.
- KUENEN, PH. H. (1953). Significant Features of Graded Bedding. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 37, 1044-1066.
- KUENEN, PH. H. and G. I. MIGLIORINI (1950). Turbidity Currents as a Cause of Graded Bedding. *Jour. Geol.*, 58, 91-127.
- SANDERS, J. E. (1965). Primary Sedimentary Structures Formed by Turbidity Currents and Related Resedimentation Mechanisms. In: G. V. MIDDLETON (Editor), *Primary Sedimentary Structures and Their Hydrodynamic Interpretation. Spec. Pub. Soc. Econ. Paleont. Miner., Tulsa*, 12, 192-219.
- 志岐常正・木村春彦・原田哲朗(1968). 地傾斜におけるいわゆるフリッシュ。地質学論集, 1, 13-21.
- STAUFFER, P. H. (1967). Grain Flow Deposits and Their Implications Santa Ynez Mountains California. *Jour. Sed. Petrol.*, 37, (2), 487-508.
- WALKER, R. G. (1966). Shale Grit and Grailslow Shales: Transition from Turbidite of Northern England. *Jour. Sed. Petrol.*, 36, (1), 90-114.
- WALKER, R. G. (1967). Turbidite Sedimentary Structures and Their Relationship to Proximal and Distal Depositional Environments. *Jour. Sed. Petrol.*, 37, (1), 25-43.
- WALTON, E. K. (1967). The Sequence of Internal Structures in Turbidites. *Scottish Jour. Geol.*, 3, Part 2, 306-317.
- WOOD, A. and A. J. SMITH (1959). The Sedimentation and Sedimentary History of the Aberystwyth Grits (Upper Llandoverian). *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 114, 163-195.