

堆積物コアの見方

-堆積物記載入門-

池原 研¹⁾

1. はじめに

筆者が研究の主対象としている海洋域では堆積作用や海洋環境変遷、過去の地質イベントの解明のために柱状堆積物(コア)が採取されます。堆積物コアは通常は泥質の堆積物について、ピストンコアラやグラビティコアラなどを用いて採取されます。砂質の堆積物については振動を与えながら貫入させていくパイロコアラが使われます。沿岸・浅海域ではプラットフォームを設置してボーリングにより採取される場合もあります。深海底でも特殊な船を使用することによるボーリングによって、数千mに達するような長いコアを採取できる場合があります。また、特殊な船を使用しなくとも海底にボーリングマシンを設置して数m~百m程度の堆積物コアを採取する方法もあります。このようにして採取された試料は、最終的には各種目的のために分割され、分析に供せられるわけですが、得られた試料が目的に対して十分な質と量を有しているか、を早い段階で確認しておく必要があります。特に、堆積物の色は空中にさらされ、酸素と反応することにより見る見るうちに変化していくこともありますので、試料の一次状態をきちんと記録しておくことは非常に重要です。そのために行われるのが試料の「記載」です。試料の「記載」の内容は、記載する人間の経験や知識、感覚によって変わりますので、同じものを見ても人によって異なることもあります。同じ人をとってみても、経験の浅い段階と経験を積んだ後とは記載内容に違いがあります。かく言う筆者もこの仕事を始めた当初の記載を見て、恥ずかしくなることもあります。それは一つには、記載として何が必須の情報で何をどう記載すればよいかの参考となるような「記載方法のよいテキスト」を見つけれなかったからかも知れま

せん。最近、応用地質研究会(1997)がボーリングコアの採取から調査結果のまとめ方までを紹介していますし、ボーリングコアの柱状図や記録の取り方を紹介している本も出版されています(尾崎, 1989; 志賀, 1999; 古谷, 1999)。

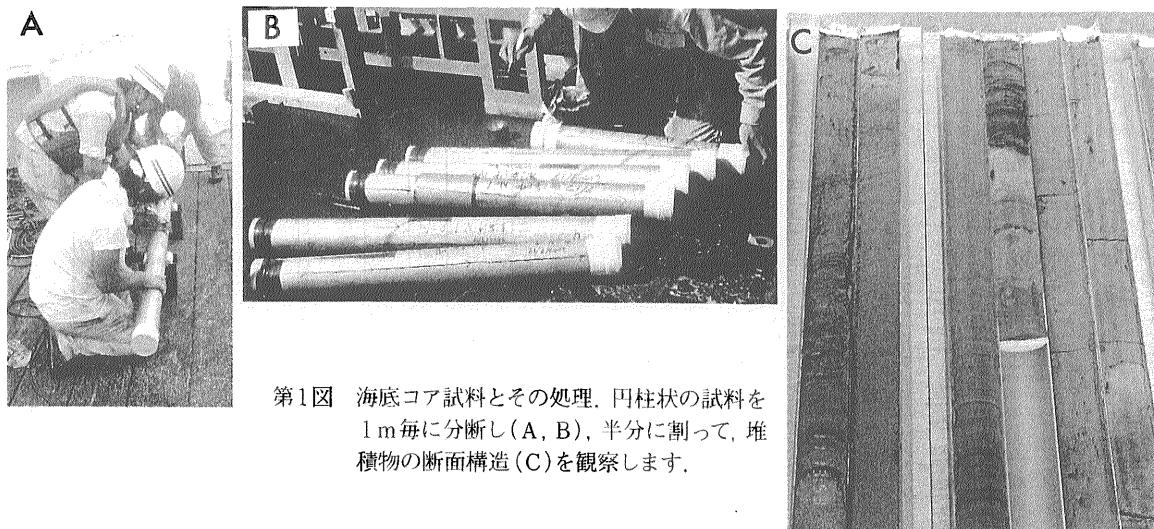
ここでは、筆者が扱っている海域のピストンコア・グラビティコアを中心として堆積物コアの「記載」の仕方の基礎について紹介したいと思います。これは基本的には地層(堆積層)の見方と同じですので、いわゆる“地質屋”さんや“堆積屋”さんには今更必要の無い内容でしょう。しかし、例えば建設関係の地盤調査などでのボーリングコアでも見方は同じですので、地質を専門とされていない技術者の方々やこれからコアの見方を勉強しようとしているの方々には参考になるところもあるのではないかと思います。紹介する次第です。

2. 堆積物コアの特徴

通常のピストンコアやグラビティコア、ボーリングコアは直径6~十数cm程度の円柱状に採取されます。これを1~1.5m程度の長さに切断して(第1図A, B)、さらにそれを半割することによって、半円柱状の試料が得られます(第1図C)。この半割した面に現れる堆積物の様子を記述するのが、「記載」です。堆積物コアの長さはさまざまですが、共通する特徴は側方への広がりが高径分しか観察できない、と言う点です。すなわち、コアの直径を越える側方への構造の連続性や変化は分かりません。これが、通常の地層の場合と決定的に異なる点です。最近では、ジオスライサーと呼ばれる機器(中田・島崎, 1997; 原口ほか, 1998)を使って陸上や沿岸域から幅20-30cmから1m程度の試料が採取でき、通常の地層と同様の規模で構造を観察

キーワード: 堆積物コア, 記載, 堆積物粒度, 色, 堆積構造

1) 地質調査所 海洋地質部



第1図 海底コア試料とその処理。円柱状の試料を1m毎に分断し(A, B), 半分に割って, 堆積物の断面構造(C)を観察します。

できるようになってきていますが, 残念ながら水深の深い場所では使用できません。この装置の良い点は, 観察できる試料の幅の増大という点だけでなく, 通常では試料採取が困難な礫質の堆積物もほとんど乱すことなく採取できる点にあります。しかし, 一般的な堆積物コアでは幅10cm程度からさまざまな情報を記述せねばなりません。

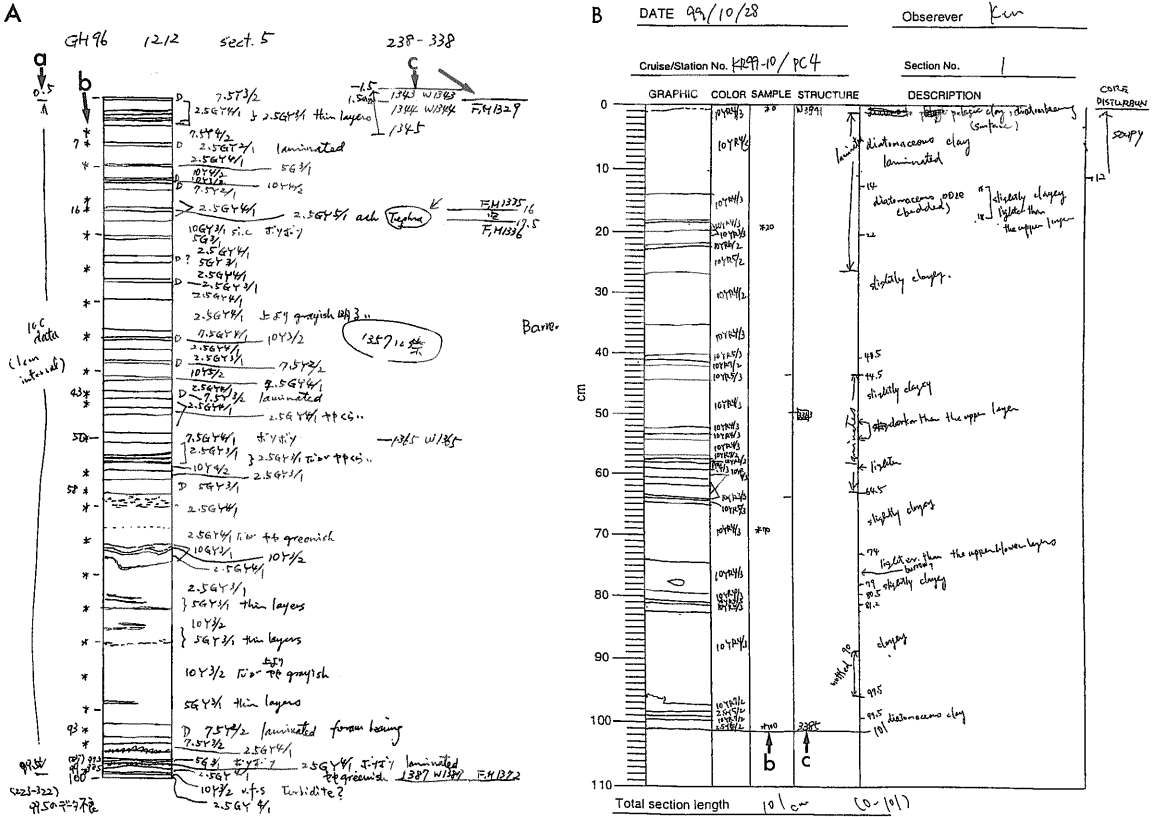
それでも, 海底や地下深部の地層の状況を実際に見て, 手に取ることのできるコアは地層の形成過程や環境変化を読み取るための強力な武器になります。なぜならば, 実物からその堆積物の堆積した年代や堆積場, 堆積物の供給方向を特定したり, より広域的あるいは汎世界的な環境変遷や地質イベントなどの対比も可能とするからです。ボーリングコアの場合, 地表に露出のない層準の堆積相の観察や年代の特定もできるので, 地下地質の解釈に大きく貢献できます。一方, 建築関係のボーリングでは地層の不均一性や建築基礎としての力学強度の評価, 液状化に対する耐性の評価などにも用途があります。しかし, 石油関係や土木・建築関係のボーリングでは堆積物コアをすべての層準で採取することは少なく, その間は物理検層やN値測定などのデータから推定される場合も少なくありません。このような場合, 稀にしか採取されないコアから十分なデータを引き出すことが重要となります。

一般に採取されるコアは円柱状の試料です(ちなみに外国には角柱型の海底堆積物コアを採取す

る採泥器もあります)ので, きちんと印をつけないと半断面の方位がさまざまな方向を向いてしまいがちです。ピストンコアやグラビティコアでは採取時あるいは処理時の最初に, 半割のどちら側であるかマーキングをすることが大切です。古地磁気測定や古流向解析などの方位に関する仕事を行う場合にはこれは必須の作業です。また, コアの上位から下位に向かって一連の番号(セクション番号)をつけ, 分断した試料の上下関係を間違えないようにする注意も必要です。そのため, 試料番号, セクション番号, 上下, 深度, 半割されたどちら側かをコアライナーや上下を押さえるキャップなどにきちんと書いておくことが必要です(第1図B)。

3. 堆積物コアで記載すべき情報

記載は, 1~1.5mに分断されたセクション毎に1枚の記載シート上に記録されるのが普通です。このとき, 2つに半割した同じ側の試料を記載するように注意しましょう。また, 試料の上下やセクション番号を間違えないように注意します。特に, 特徴的な構造の少ないコアでは間違いがちですので, 細心の注意が必要です。それでは得られた試料について, 記載すべき内容にはどのようなものがあるか考えてみましょう。まず思いつくのは, 堆積物の状態, 粒度, 色, 組成, 構造や層相の境界の状況です。これらについて見ていきましょう。



第2図 実際の記載の例。試料の記載のほか、試料採取位置(b, c)や測定位置(a)の情報が記載されています(A:日本の試料の記載例, B:フィリピン海の試料の記載例)。

3.1 堆積物の状態 - スケッチ

記載でまず行われるのが堆積物のスケッチです。スケッチといっても美術のスケッチとはかなり異なり、コアの状態を簡潔に分りやすく描くことが求められます。スケッチの一例を第2図に示しました。この例では普通の方眼紙を用紙として使用しています(第2図A)が、専用の記載シートを作成して使用している機関・人もいます(第2図B, 第3図)。いくつかの必須項目について記述すべきコラムを作っておけば記載しながら、必要なことを記述し忘れるということはないかも知れません。まず、試料番号、セクション番号は必須の情報です。採取年月日や記載者も明記されるべきです。その上で、堆積物の粒度や色の違い、堆積構造、生物擾乱の様子、化石や粗粒粒子の産状、スミアスライドを作成した位置(第2図のb)や試料を分取した位置、分取した試料の番号(第2図のc)など、このシートを見ればこのコアの現場での状況が理解できるよう

JAMSTEC-KAIREI
Visual Core Description Form

cruise	station	core	sec.
sub-bottom depth (cm)		observer	

DATE

Depth	sec. No.	grain. category	structure	color	sample	remarks
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						

Section Length = cm

第3図 記載シートの例(海洋科学技術センターで使われているものの一例)。

なものを作成すべきと筆者は考えています。また、そのセクションのコア長も計測して記入しておきましょう。たとえ1mに分断したつもりでもわずかな間違いは必ず起こります。記載時にセクション長をまず計っておくことが大切です。セクション長を記録するとき、海底からの深度の範囲(例えば、海底下125.5~225.5cm)も書いておくと、後の総合化や試料分取の時に便利です。また、コア切断後、記載までに長時間かかると重力によりコアが延びる場合があります。コアの両端をしっかりとおさえておくことが必要です。不幸にして延びてしまった場合には、延びの量や様子を記録しておく、後のデータ解析の時に役立ちます。また、記載までの間、乾燥と空

気との接触をできる限り防ぐため、食品用のラップなどをかぶせておくことも必要に応じて行うとよいでしょう。さらには、大型の冷蔵庫や冷蔵室が準備できるのであれば、ラップをかけたうえで冷蔵保存するに越したことはありません。

スケッチも人によってさまざまな描き方がされます。非常に詳細に現実に近く描く人もいれば、非常に簡略化して描く人もいます。現場において時間が十分にある場合にはできるだけ現実に近く詳細に描くに越したことはありませんが、一般に記載作業に当てられる時間は限られておりますので、現実に即してかつ必要事項を漏らさないスケッチが求められます。さらに、必要に応じて、クローズアップしたスケッチを描いておくことも必要でしょう。

3.2 堆積物粒度

堆積物の粒度については、地質屋の世界ではφスケールという粒度区分で堆積物を命名することが多い(第4図)のですが、建設や地盤工学の分野ではこれとは異なる粒度区分で命名されています

大きさ (mm) (φ)	区 分		
256 -8	礫 gravel	巨礫 boulder	
		大礫 cobble	
		中礫 pebble	
64 -6	礫 gravel	細礫 granule	
4 -2		極粗粒砂 very coarse sand	
2 -1	砂 sand	粗粒砂 coarse sand	
1 0		中粒砂 medium sand	
0.5 1		細粒砂 fine sand	
0.25 2		極細粒砂 very fine sand	
0.125 3		シルト silt	粗粒シルト coarse silt
0.063 4			中粒シルト medium silt
0.032 5	細粒シルト fine silt		
0.016 6	極細粒シルト very fine silt		
0.008 7	泥 mud	粘土 clay	
0.004 8			

大きさ (mm)	区 分		
300	岩石質材料	ボルダー	
		コブル	
75	土質材料	レキ	粗レキ
20			中レキ
5			細レキ
2		砂	粗粒
0.42			細砂
0.074	細粒分	シルト	
0.005		粘土	
0.001		コロイド	

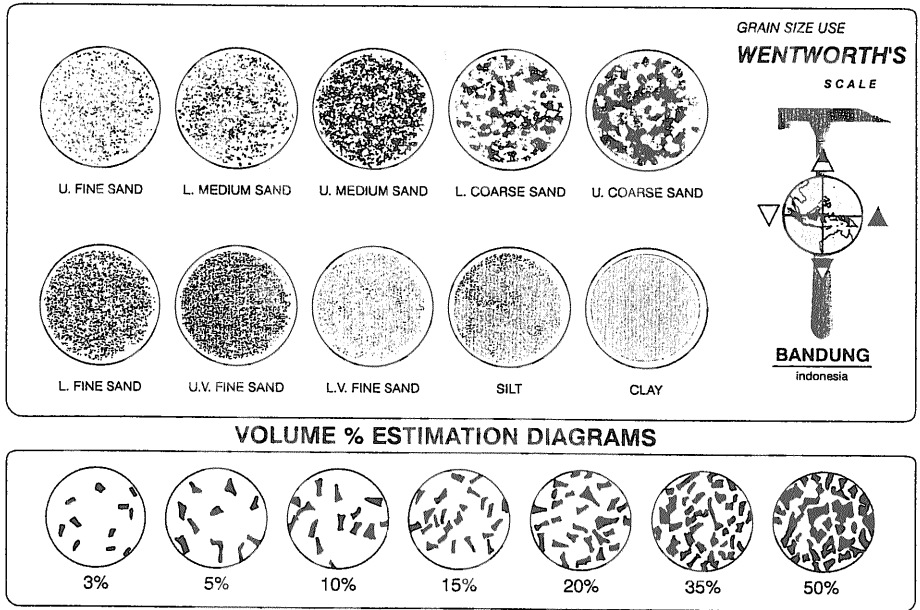
第5図 土質工学で使われる粒度区分表(土質工学会, 1973による)。

第4図 地質系で使われる粒度区分表(Wentworth, 1922による)。

(土質工学会, 1973; 第5図)。砂サイズ以上の粒子については見た目の粒径で区分して記述が可能です。ふるい分けた砂粒子を紙に貼り付けた粒度表(第6図)は記載の際に役立ちます。泥の粒度の記述には指先や舌先での感触による粒子の細かさの判定から行うことがほとんどです。これは記載作業時の感覚と実際の粒度分析結果の比較から、経験的に身に付くことですので、筆者自身うまくその感触の違いを表現することはできません。しかし、経験の浅いあるいは全く無い人でも、コアのある部分と違う部分の泥の粒径が違うと感じるか、同じと感じるかはその記述できるものと思います。むしろ、そのような一見無意味とも思える感触の違いを(恥ずかしがらずに)きちんと書いておくことが、試料の一次記載では重要であると思っています。

一方、実際の堆積物は粒度表のような単一粒径の粒子のみから構成されているわけではありません。極端な例では、礫と砂と泥が混合して構成している場合もあります。また、記載を行っている試料採取の現場では粒度分析をそこですぐに行うわけではありませんから、粒度組成に基づいた正確

(表)



(裏)

WENTWORTH'S SCALE		ROUNDNESS OF SEDIMENTARY PARTICLES Comparison chart for visual estimation of Roundness Prepared by M.C. Powers (Jour. Sed. Petrology, V. 23, pp. 117-119, 1953)					
mm		very angular	angular	sub-angular	sub-rounded	rounded	well-rounded
2,000	- Upper Very coarse sand						
1,410	- Lower Very coarse sand						
1,000	- Upper coarse sand						
0,710	- Lower coarse sand						
0,500	- Upper medium sand						
0,350	- Lower medium sand						
0,250	- Upper fine sand						
0,177	- Lower fine sand						
0,125	- Upper Very fine sand						
0,088	- Lower Very fine sand						
0,062	- Silt						
0,004	- Clay						
< 0,004	- Clay						
		elong	elong	elong	sphere	sphere	sphere

il. astina 23 bandung

第6図 粒度表。インドネシアの地質博物館で販売されていたもの。粒径だけでなく、粒子の密集状態や形態、物差もついていて便利である。

な命名はできません。したがって、均質でない堆積物では、何と何と何がどの程度混じっているかを記述しておくことが必要です。特に、卓越する粒径がある場合にはそれを記述しておきます。なお、ポーリングコアの土質名については日本統一土質分類(土質工学会, 1973)による命名があります。また、粗粒土と細粒土それぞれについて工学的分類

体系も示されています(土質工学会, 1973)。一方、堆積学的にみれば、泥と砂や礫とではその運搬メカニズムが異なります。つまり、泥は一般に浮遊懸濁状態で運ばれますが、砂や礫のほとんどは掃流状態で運ばれます。このような運搬形態の異なる粒子が一緒に存在するのかもしれないのかもきちんと記述しておきたい点の一つです。また、粒度は

そろっているのかいないのかも粒子の運搬時の状況の推定に役立ちます。したがって、例えば堆積物コア中に砂の層が挟まっていたときに、構成する砂には泥が含まれているのかいないのか、砂の粒度はそろっている(淘汰あるいは分級がよい)かそろっていない(淘汰が悪い)か、も記述しておきたい点の一つです。

3.3 堆積物の色

堆積物コアを半割した際にもっともよく分かる違いは堆積物の色の違いです。堆積物の色は、粒度や構成鉱物、化学組成、酸化還元状態などを反映します。酸素に富んだ底層水の環境下では堆積物表面は酸化され、茶褐色を呈します。これがいわゆる表面酸化層です。一方、酸素に乏しいあるいは酸素の無い底層水の環境下では黒色の堆積層が形成されます。数十年前の“ドブ”の中の泥の色とってください。これ以外でも、有機物に富む堆積物は黒っぽく、炭酸塩に富む堆積物は白っぽく、重鉱物や碎屑性の砂粒子に富む層はやや黒っぽくなります。また、構成粒子の粒度の違いは含水率の違いとしても表れますので、光に対する反射様式の違いとして認識できる場合があります。ただし、コア切断後に空気と接しますと酸化して色が急激に変化する場合があります。日本海の堆積物の場合、ほんの30分間の間に見る見る色が変化していくことを経験しています。したがって、記載はできるだけ手早くやる必要がありますし、記載までの間の色の変化を防ぐために、食品用のラップで空気と遮断し、できれば冷蔵しておくほうがよいと言えます。

堆積物の色の記述には、標準土色帖との対比によるやり方が一般的です。海底や湖沼堆積物や土壌は通常の岩石に比べて色の多様性が高く、岩石用に作られているロックカラーチャートでは色の違いを表現できない場合がほとんどです。そのため、土壌記載用のソイルカラーチャート(標準土色帖)が使われます。アメリカなどでは、マンセル土色帖が通常使われていますが、日本では日本の土壌特性も考慮した標準土色帖が販売されています(小山・竹原, 1967)。われわれも通常はこの土色帖を使って、堆積物の色を記載しています。しかし、いくらロックカラーチャートよりも細かいとはいえ、人

間の眼の分解能よりも細かく区分されてはいません。したがって、微妙な色の違いは土色帖での区分だけでなく、微妙な違いを言葉で補足することも行わねばなりません。土色帖との比較で記載される色は、現場の光の環境や記述する人間の感覚によって多少変化することに注意せねばなりません。太陽光の下と蛍光灯の下とでは見える色が異なります。また、同じものと同じ土色帖を使って記載しても、人間が変わると記載される色が微妙に異なる場合もあります。さらに、土色帖は色を印刷した紙を貼り付けているものですから、使い込んでいくと“色あせて”きてしまう場合もあります。常に“色あせていない”土色帖を使うことが大事です。また最近では、分光測色計による色測定が堆積物コアの測定の一つの項目としてルーチン的に行われるようになってきました。分光測色計による色測定は、光源が安定していて個人差がでないこと、デジタル値で結果を表現できることなどから大変有効で便利なものです。機器にもよりますが、よく使われているミノルタの分光測色計の場合、測定範囲は8あるいは6mmの円ですので、それより細かいオーダーでの色変化をとらえるには大変な努力が必要となります。人間の眼による記述は、たとえ1mm以下のオーダーでの色の変化でも対応できる場所に素晴らしさがあります。もちろん、光学的なカメラやデジタルカメラを用いればこのオーダーの色変化にも対応できるのはもちろんですが、長い堆積物コア全体について光源ムラの無いどこでも容易に比較可能な画像データを取得することはなかなか難しいことです。やはり、経験を持った人間の眼には勝てないと言えらると思います。また、色は徐々に変化していく場合とある境界面で急に変わる場合があります。色の変化していく様子も記録しておくとういでしょう。例えば色が徐々に変化していく場合、どの色からどの色へ変化していくかを記載することが必要です。

3.4 堆積物の組成

堆積物の構成物の粒子組成も記述しておくに越したことはありません。正確な粒子組成の記述は、砂サイズ以上であれば現場でのルーペによる観察で記述できるかも知れませんが、より細粒な泥ではなかなか困難です。砂サイズの場合にはふるい上

で水洗して実体顕微鏡下で、泥の場合にはスメアスライドを作成して、光学顕微鏡下で観察して記載されます。砂の場合には、水洗し、乾燥させた粒子を皿などの上に乗せてそのまま観察したり、粒子をセロハンテープにくっつけてセロハンテープをスライドガラスに貼って観察したり(すなわち、砂粒子はセロハンテープとスライドガラスの間に挟まれている)、紙製のスライドガラスに両面テープを貼ったものを用意して両面テープに砂粒子をくっつけて観察したりします。実体鏡下では粒子組成とともに、粒度分布のおおよそや粒子形状も分かりますので、合わせて記録しておくといよいでしょう。スメアスライドは、試料を少量つまようじなどで取って、水を少量加えてスライドガラスあるいはカバーガラスの表面に薄くのばします。ホットプレート上で乾燥させてから、封入剤を用いてスライドガラスとカバーガラスをくっつけて、観察用のプレパラートとします。封入剤にはさまざまなものを使用されますが、我々は通常エンテンランニューというものを使用しています。これ以外には、カナダバルサムやプルラックスなど同様に使えるものがあるほか、紫外線を当てて固化するタイプの封入剤も市販されています。用途と好みに応じて使えばよいかと思えます。スメアスライド観察における海底堆積物中の鉱物の特徴については、Rothwell (1989) が参考になります。

以上は、主に顕微鏡下での観察によるものですが、現場での一次記載の際には特に濃集して目立つ鉱物や火山ガラスについて記載しておけばよいでしょう。海緑石や野イチゴ状黄鉄鉱のような海底で生成される自生鉱物は環境変化の指標にもなりますので、注意して記録しましょう。また、貝などの大型化石(遺骸)の産出と産状、有孔虫、植物片や炭化物などの混入状態も記録しておくこと、後でこれを用いて年代測定を計画するときに便利です。泥質の堆積物の場合、石灰質(有孔虫や石灰質ナノプランクトンの遺骸に富んでいる)、珪藻質、火山灰質、泥炭質など、肉眼や指先・舌先での感触からわかる組成についての情報も記載しておくことが必要です。

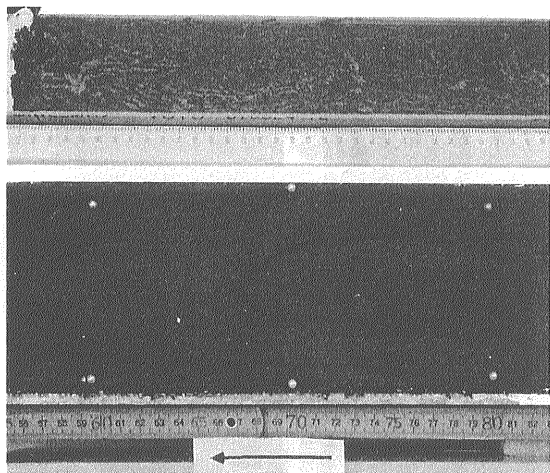
また、砂や礫の場合、粒子の種類だけでなく、形や含有率、風化の程度や硬さも記載しましょう。これらは地盤の工学的特性を考えるとときに有効な場

合があります。

3.5 堆積物の構造

観察し、記載すべき堆積物の構造は次の3つです。1) 物理的堆積構造、2) 生物による構造、3) 試料採取時及び処理時の変形・擾乱などの構造。

物理的堆積構造は、流れや波、堆積物の輸送・堆積状態により形成されるもので、それぞれ成因や流れ・波の状況、堆積環境などに関する意味を持つ場合が多いので、きちんと記録しておくことが必要です。しかし、前にも述べましたように、観察できるのはせいぜい10cm程度の幅ですので、数十cmを超えるようなスケールの構造では陸上の露頭でのようにそのすべてを観察できることはありません。したがって、10cmの幅の中での構造から何のどの部分を見ているかを推定することが必要になります。もちろん、事実記載としてはその前に、どのような大きさのどのような構造がどこにどの程度見られるかを記述することが必要です。平行葉理なのか、斜交葉理なのか、葉理内での粒度変化はあるか、傾斜角はどのくらいで葉理の重なり方はどのようなか、など全体が見えない分、より細かい記載が必要になります。また、構造の上下への変化の様子も記載しておきます。つまり、斜交葉理から平行葉理に変化するとか、構造の基底及び上限の接触関係(急激に変わるとか漸移的に変わるとか)を記載します。特に、基底や上端の接触関係の記載は重要です。例えば、下位の堆積層と明瞭な接触関係で接し、上位に向かって徐々に変化しているような場合には、下位の堆積層の堆積様式からの変化が急で上位の堆積層のそれへの変化は漸移的であると判断されます。明瞭な境界で変化する場合には、上位の堆積層の堆積時に下位の堆積層を侵食しているかいないかも観察しておく必要があります。ただし、侵食性の礫や下位の堆積層を明瞭に切り込んでいる場合を除くとコアの直径の範囲では明らかに侵食していると断定できない場合も少なくありません。しかし、観察してきちんとその接触関係を記録しておくことは必要です。また、礫などの粗粒物が産するときにはその産状(礫の形状・円磨度、礫同士が接触しているか、基質に指示されているか、礫と基質の比やそれぞれの粒度など)も記録しておくべきです。粗粒粒子の配列様式が



第7図 ピストンコアにみられるフローイン構造。断面では縦方向に伸長された構造が特徴であり、三次元的には円柱状の構造を示す。また、正規の部分よりも含水率が高く、不均質な構造の場合もある。

みられる場合にはそれも記録しておきましょう。これらの情報は、礫の輸送過程の推定に役立ちます。

堆積物の構造としては、堆積物の荷重や振動などにより二次的に形成された構造もしばしば見られます。脱水構造、振動による地割れの跡、液状化・流動化の跡などはその一例です。このような構造の有無も記録しておかねばなりません。

生物による構造にもさまざまなものがあります。典型的な生痕化石の形態を示す場合にはその名前を記載します。生痕化石の名前がわからなくとも、生物による攪乱の程度を記載しておくことは重要です。

試料採取や処理の際にはさまざまな力がかかりますので、堆積物を変形させたり、混ぜ合わせたり、壊したりする場合があります。もっとも典型的な例はピストンコアに見られるフローインと呼ばれる構造です(第7図)。これは、コアラの貫入が十分でないためコアラ引き抜き時に先端部にあった堆積物を吸い取ってしまったものです。このほか、グラビティコアラの場合、表層付近の柔らかい部分に挟在する火山灰層や厚い砂層を押し込んでしまったり、斜めに変形させたりさせる場合があります(第8図)。これは、コアラが貫入する際にかかる力に対する堆積物の応答やコアラ内側と



第8図
コア貫入時の変形構造(日本海の例)。表層近くの火山灰層により変形している。

の摩擦が泥と砂とで異なることによるものと考えられます。このような試料の初期状態の記録はその後の分析結果の解釈で非常に役立つことがありますので、きちんと記述しておくべきです。

3.6 記載しておくべきその他の情報

これらのほかに記載しておくべきものとしては、堆積物の固さがあります。粒度が異なることで固さが変わる場合もありますが、堆積後の初期続成過程である部分だけの固結度が上がる場合もあります(第9図)。海底での無堆積(ハイエイタス)も固結層形成に関係することがあります。このような場合、その当時の海底環境を指示する場合がありますので、きちんと記録しておくべきです。逆に非常に含水率が高くコアの処理過程で横にした際に流れ出してしまうような部分もきちんと記載しておくべきです。このような部分は海底の最表層の堆積物に多いわけですが、海底からの真の深度を知る場合には横にする前に最表層の位置にまず印をつけておくことができる場合があります。このような場合、流れ出した部分があってもある程度真の深度を推定可能です。また、コアの途中に流れ出したような部分がある場合にはこれもきちんと記録しておきましょう。ある場所ではガスハイドレート(ガスと水の混合物が凍ったもの)の跡かも知れません。セク

ションの切れ目に砂などの粗粒物があると切断した際に間隙水と一緒に流失してしまうこともあります。また、ピストンコアなどでは、貫入あるいは引き抜き時の条件でコアがちぎれてしまう場合もあります。この場合、コアには空隙ができてしまいます。これもきちんと記録しておかないとコアの長さを間違えてしまいます。

ピストンコアの場合、トリガー側のパイロットコアラ（あるいは重錘）までのロープ（あるいはワイヤー）の長さと同様に天秤からコアラ本体までのワイヤーの長さの設定や底質・底層流の状況によってコアラ貫入時に最表層の堆積物を吹き飛ばしてしまうことがあります。このため、パイロットコアラで最表層の数十cmの堆積物を採取し、ピストンコアラ本体の堆積物と比較して吹き飛ばしの有無を確認します。吹き飛ばしの有無やその厚さなどについて情報が得られれば、記載シート上に記入しておくべきでしょう。

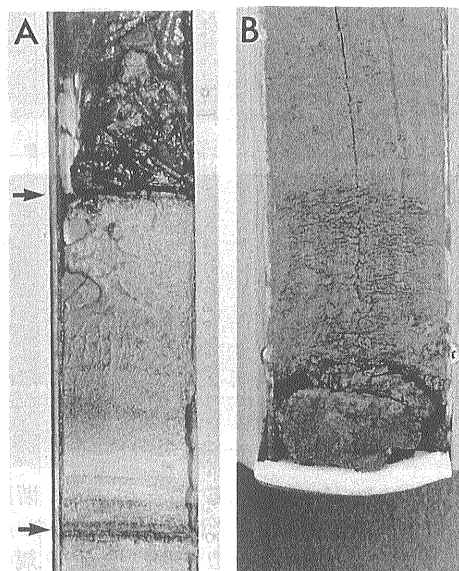
3.7 セクション毎の記載のまとめ

以上のことを簡単にまとめると、「セクション毎に記載者が感じたすべてを記録することがコアの一次記載である」と言えるかと思います。このため、前述のように記載者の経験や知識によって記載される内容が大きく違うのです。「ほかの誰かに見られたら恥ずかしいから分かるものしか書かない」では後で非常に使いづらいものになりかねません。間違いは後でも修正できますし、できるだけその時感じたすべてをそのまま（非常に表現しづらい時もありますが）記載シートに記録しておくほうが後々のためによいように、筆者は思います。できるだけ「よい記載」ができるように、さまざまな知識を得る努力を日ごろから行いたいものです。

4. 記載以外に一次情報としてとっておくべき情報

以上は、肉眼記載でしたが、現場での一次記載やそのまとめを助ける現場で採取すべき情報・データについて簡単に紹介しておきます。

まずあげられるのが写真です。堆積物の状況や色のチェックには写真が非常に役に立ちます。写真はセクション全体が分かるものとクローズアップ写真（コア20-30cmおき）があると便利です。この



第9図 海底堆積物中にみられる固結層の例（A：日本海の表面酸化層の直下に見られる固結層，B：フィリピン海で見られる固結層）。

とき、光源ムラには細心の注意を払いたいものです。また、海底堆積物コアなどで水分を持っていると、オートフォーカスのカメラでは焦点があわない場合がありますので、きちんと確認することが大切です。最近では、比較的高性能で安価なデジタルカメラが販売されていますが、単なる記録として画像を使うのであれば、これでも十分でしょう。きれいな画像として記録を残したいのであれば、ポジフィルム（カラースライド用フィルム）を用いるのがよいと思います。また、（デジタル）ビデオカメラも写真のかわりになることがあります。一定の速度でコア上を移動させて画像を採取していけば後の処理もやりやすいかも知れません。色を補正するためにはカラーチャートを一緒に写し込んでおくとう便利です。グレースケールの調整には白と黒と値の分かっている灰色を写し込んでおくとう画像間での補正が比較的簡単にできます。それから、コア番号、セクション番号、スケール、コアの上下も写し込んでおく必要があります。

色の絶対的な表示には分光測色計による測定が便利です。非常に柔らかい堆積物の場合、食品用のラップを密着させてその上から測定すれば大丈夫です。測定のための校正はセクションの切れ目な

ど分かりやすいときにやると忘れないでしょう。色を表示するだけならば、分光式でなく、より簡易型の測色計も市販されていますが、後々のことまで考えると分光式のもので測定しておくほうがよいでしょう。

堆積物の密度を非破壊・自動で測定する装置もあります。もっとも有名なのは深海掘削船で使用されているガンマー線透過強度を使った密度計 GRAPE (Gamma-Ray Attenuation Porosity Evaluator) です。現在市販されているこのタイプの装置では、密度のほかにコア径(あるいは厚さ)、P波速度、帯磁率(磁化率)のセンサーがついているほか、自然ガンマー線強度や CCD カメラによる画像採取も同時にできます。この装置についているガンマー線源はセシウム137で、その容量の関係で日本ではこの装置はどこにでも持って行って使えるものではありません。これに対して、現場に持ち込んで使用できるタイプのガンマー線密度計も開発・市販されています。これらの装置を現場に持ち込んで、コアを開く前に密度測定をしておくことで、岩相変化などの推定ができ、記載をより一層精密にできる場合があります(池原, 1994)。

非破壊でコアの構造や密度に関する情報を得られる装置として、エックス線 CT 装置があります。病院での検査に使用されているものと同じです。エックス線 CT 装置に堆積物コアを通して、断面構造の画像を採取するとともに、ある範囲の濃淡データ(エックス線吸収係数の分布)から堆積物の密度を推定することが可能です。また、これらの画像データをコンピュータ上でつなぎあわせることにより、詳細な密度構造、堆積構造を把握することが可能です。これらは非破壊で行うことができます。

堆積物の帯磁率(磁化率)も非破壊で測定できます。ループ型のセンサーにコアを通過させて帯磁率を測定します。磁性鉱物の多い場所、粗粒な部分や火山灰層などの存在をやはり非破壊の状態で推定することが可能です。

ガンマー線などによる密度測定、エックス線 CT による断面観察、帯磁率測定はすべて試料をほぼ採取されたままの状態(半割する前の円柱状の状態)でも測定可能です。つまり、試料の一次記載をする前にこれらのデータを得ることができるわけです。上記のデータは堆積物の粒度や組成に関係し

て変化しますので、これらの値(画像)に変化がみられるところを特に注意して記載作業を行うことで、作業効率の向上にも役立ちます。

また、これらのデータは統合化された記載上でのコア間の対比などに有効です。なぜなら、室内実験よりも迅速に大量のデータを得ることができるからです(例えば、cm, mm のオーダーでの測定も可能です)。もちろん、非破壊測定値からより正確な物性値への変換には室内実験で得られた物性値とのキャリブレーションが必要です。現場での時間、スペース、作業人員の数、その他の条件を考慮した上で、できる限りたくさんの一次データを取得しておくことをお勧めします。そして、実際の試料の一次記載と合わせることによって、両方のデータがさらに活用できるようになると考えられます(池原, 2000)。前述のように、ここで紹介した機器のいくつかは試料をほぼ採取されたままの状態で非破壊で測定できるものもあります。これらの機器を統合して、たくさんの項目を一回の操作で測定できるコアの非破壊・高解像度物性・構造データ取得装置の開発も望まれます。

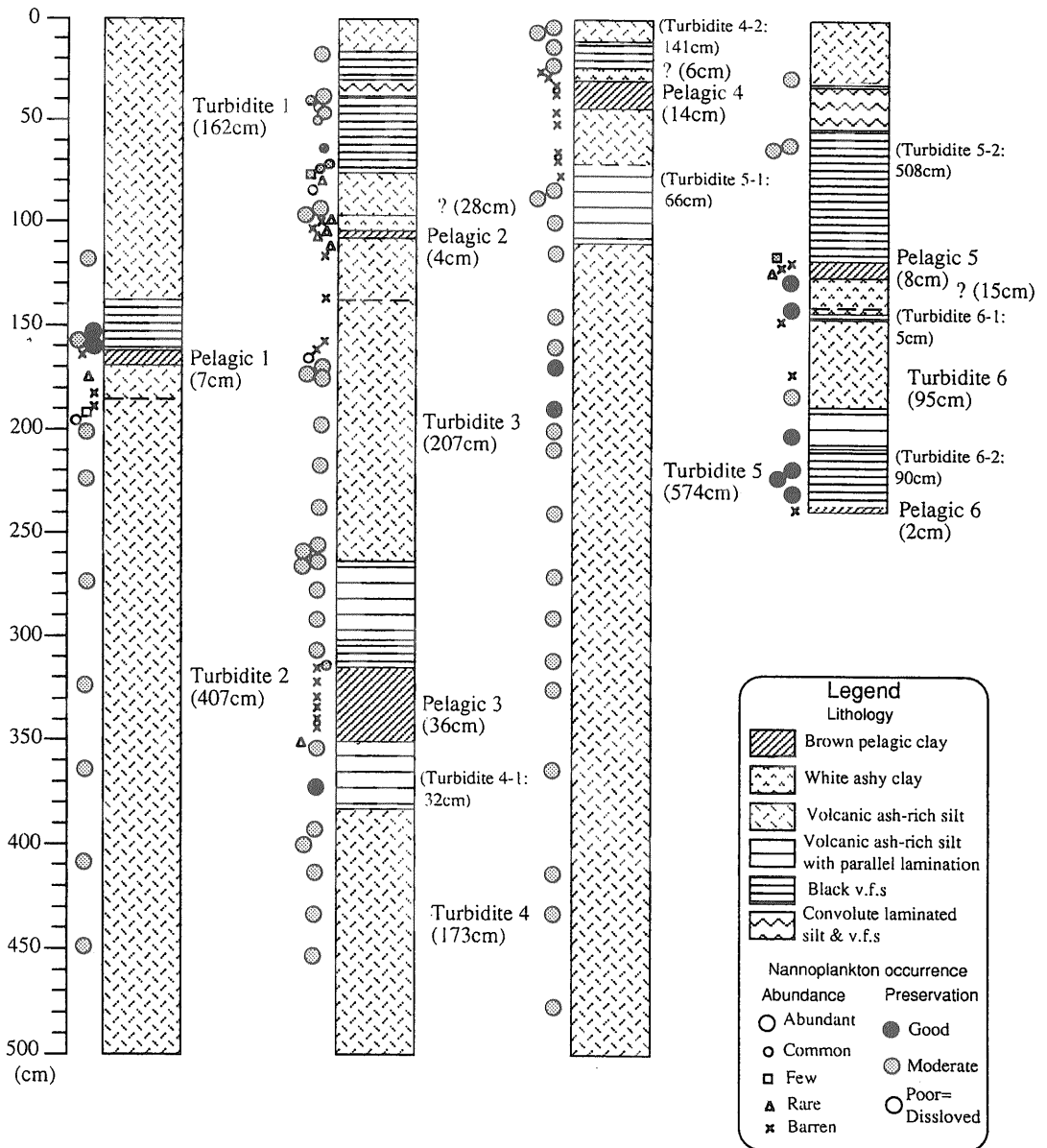
5. 記載された情報のまとめ方

以上で各セクション毎の記載ができました。次は、これらのセクション毎の情報をまとめて1本の堆積物コアとして扱うことが求められます。セクション毎の記載では、実物の1/5~1/10程度でスケッチ、記述していたものをより全体が分かるようにある部分は統合して分かりやすい柱状図(第10図)を作成する必要があります。どの情報を採用して、どの情報は削除するかはそれぞれのコアの状況や目的によって変わってきます。しかし、堆積物粒度と構造に関する部分は採用されるのが普通です。まとめの際に使われるハッチについてはいくつかの例があります(例えば、土質柱状図の図式記号(土質工学会, 1973)や深海掘削計画で使われているものなど)が、必ずしもこれにこだわる必要はないでしょう。試料の岩相の種類に応じて、見る人に分かりやすいものとするべきです。

このような総合的な柱状図を作成しながら、コアの上部から下部に向かってどのように層相が変化していくか、層相変化あるいはタービダイトなどの挟

在の周期性の有無や挟在する火山灰層の状況などを確認していきます。また、近傍で採取されたコアとの対比などもこの段階で考慮しながら作業を進めることで、作業仮説が立てやすくなる場合もあります。セクション毎の記載の段階はより細かく見ることが大切でしたが、ここではそれを総合化することが求められます。このようなコア全体を通じた層相変化(上位に向かって粗粒化していき、またある層準から細粒化していくなど)を見ることで、堆積

環境の変化やそれをもたらした海水準変動の様子、あるいは海洋環境の変化などを推定することが可能となります。特徴的な堆積構造(示相堆積構造)は堆積環境や営力を特定してくれますので、堆積場や環境の変化から古地理を復元していくうえで大切な情報となります。そして、年代測定値はそのような変化の局所的、地域的、広域的、汎世界的な対比への鍵となります。



第10図 総合柱状図の例。

6. おわりに

ここで紹介してきたことは、海底堆積物試料を扱っている多くの機関で多少の違いはあれ行ってきたことだと理解しています。その割に、きちんとしたマニュアルとかメモがなかったのも不思議といえば不思議です。私がこのような紹介文を書こうと思ったきっかけは、二つあります。一つは、ある研究会のコアの観察の仕方のワークショップで、固結した堆積層を対象としたボーリングコアの見方も基本的に全く同じなのだと分かったことと、そこで接した方々があまりにコアの見方の基本を知らなかったからです。これらの方々(の少なくとも多く)が堆積物や地層に関する知識をもっていらっしやっただにもかかわらずです。つまりは、大学から大学院までも含めた学校教育の中でこのようなものを十分教えきれていないのではないかと、そして、何をどう書いたらいいかわからないからではないかと、思ったからです。もう一つは、ある学会の委員会でボーリングコアを素人でも記録する方法はないかと聞かれたからです。この質問の前に私は、コアはある程度見られる人が必ず観察して、記録を残すべきだと言う趣旨の発言をしていたように記憶しています。しかし、実際のボーリング現場に堆積層をきちんと見られる人がいない場合だってあるでしょうし、いてもいろいろな制約があることも十分理解できます。とりあえず、現場で何をすべきかを提示して、その中でやれる分をやってもらうしかないのかな、と考えて、何をすべきかというものの提示にあたるものを書いてみよう、と思ったのが二つ目のきっかけです。この文章が所期の目的を達しているという自信ははっきり言ってありません。書いていると不十分さをひしひしと感じるのですが、不十分なところを修正して表現する力が私にないからです。記載というのはやっぱり感覚・感性の世界か、と言う気がします。また、記載には記載者の学習レベルや知識がそのまま反映されるとも言えます。特に、堆積構造や堆積相、境界の認定にはそれなりの知識が必要です。これらについては本論の所期

の目的と少し離れていますので触れませんが、Reineck and Singh (1980) や Collinson and Thompson (1982), Lindholm (1987) といった堆積学の教科書は参考になると思います。それでも、本論が少しでもいろいろな方々の役に立てば、それに越した喜びはありません。読者の皆さまのご意見・ご要望・ご批判などをお待ちしております。さらに満足の行く「コアの記載」と解釈のために、

文 献

- Collinson, J.D. and Thompson, D.B. (1982): *Sedimentary Structures*. George Allen&Unwin, London, 194p.
- 土質工学会 (1973): 土質工学会基準「土質分類法ならびに分類結果表示法(日本統一土質分類法)」の制定について。土と基礎, 21, 4, p.63-70.
- 古谷正和 (1999): 地質学的試験。地盤工学ハンドブック, 地盤工学会, p.382-384.
- 原口 強・中田 高・島崎邦彦・今泉俊文・小島圭二・石丸恒存 (1998): 未固結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用。応用地質, 39, p.306-314.
- 池原 研 (1994): ガンマー線式堆積物密度測定装置を用いた堆積学的研究; 日本海最上トラフの薄層細粒タービダイトの識別を例として。堆積学研究, 40, p.47-52.
- 池原 研 (2000): 深海堆積物に記録された地球環境変動-環境変動解析における試料の一次記載と非破壊連続分析の重要性-。月刊地球, 22, p.206-211.
- 小山正忠・竹原秀雄 (1967): 新版標準土色帖。日本色研事業。
- Lindholm, R.C. (1987): *A Practical Approach to Sedimentology*. Allen&Unwin, Winchester, 276p.
- 中田 高・島崎邦彦 (1997): 活断層研究のための地層抜き取り装置 (Geo-slicer)。地学雑誌, 106, p.59-69.
- 応用地質研究会 (1997): 平野の地下のしらべかた。地学ハンドブックシリーズ, 11, 地学団体研究会, 108p.
- 尾崎 修 (1989): ボーリング図を読むにあたって-ボーリング図の基礎知識-。増澤鯉男(監修), 平井利一(編), 全訂新版ボーリング図を読む, 理工図書, p.1-17.
- Reineck, H.-E. and Singh, I.B. (1980): *Depositional Sedimentary Environments*, 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin, 549p.
- Rothwell, R.G. (1989): *Minerals and Mineraloids in Marine Sediments*. Elsevier, London, 279p.
- 志賀 忠 (1999): ボーリングと乱さない試料採取。地盤工学ハンドブック, 地盤工学会, p.367-375.
- Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30, p.377-392.

IKEHARA Ken (2001): How to describe sediment core: An introduction to sediment core observation.

< 受付: 2000年11月27日 >