

音響層序単元の公式位置付け (試論)

辻野 匠^{1,*}

Taqumi Tuzino (2010) What about Seismic Stratigraphic Unit as a formal unit. *Bull Geol Surv Japan*, vol. 61 (9/10), p. 351-364, 2 figs, 2 tables.

Abstract: The seismic stratigraphic unit, in special reference to terminology, was reviewed along with research history and present status. Unit name includes 'sequence', 'Formation' and 'Group'. As seismic stratigraphy has been evolved with sequence stratigraphy, 'sequence' was given to a seismic stratigraphic unit in an earlier stage of research history. If we use 'sequence' as a seismic stratigraphic unit, we may have confusion as the reader may not know the difference between 'sequence' as sequence stratigraphy and that as seismic stratigraphy. As 'Formation' and 'Group' are formal units for lithostratigraphy, a reader also may confuse them. We do not have a suitable name as a formal name for a seismic stratigraphic unit.

Keywords: Seismic Stratigraphic Units, sequence stratigraphy, lithostratigraphy, unconformity-bounded unit, stratigraphic nomenclature

要 旨

音響層序単元, 特に単元名について研究史と現状を踏まえて整理した. 音響層序学はシーケンス層序学とともに 1970 年代から発展したこともあって, 「シーケンス」が単元名として使われたこともあった. その後, シーケンス層序学が独自の発展を遂げ, 「シーケンス」に独特の意味合いが付け加わったことから, 今, 音響層序単元に「シーケンス」を使うことは誤解される心配がある. また, 単元名に「層」や「層群」と使うこともあるが岩相層序単元との混同が心配される. 現時点では音響層序単元を公式化できるような適当な単元名はない.

1. はじめに

音波探査は, 特に海域においての地下の地層を可視化する有用な技術であり, 音波探査記録をもとに層序区分したものが音響層序区分である. 陸上において岩相層序区分にもとづいて地質図を書き, 堆積システムやテクトニクスなどの知見が推論されるのと同様に, 音響層序区分にもとづいて海底地質図が書かれ, 堆積システムやテクトニクスが推論される. このように音響層序区分は学術的には非常に基礎的な作業だが, 公式な層序区分法や命名規約の立場から見ると検討すべ

き課題がある. 端的に言えば音響層序単元の問題とは, 公式単元ではないことと, それに伴い, 他の単元と混同や誤解が生じていることである. これまでは音響層序は極限られた分野内で使用されており, 音響層序の分野内では当然ながら音響層序についてのリテラシーは高いため問題は回避されてきたが, 今後はシームレス地質図や JIS A0204 (地質図—記号, 色, 模様, 用語及び凡例表示, 2008), JIS A0205 (ベクトル数値地質図—品質要求事項及び主題属性コード, 2008) などの枠組で分野外との交流が強まり, 音響層序単元は岩相層序単元やシーケンス層序, 年代層序等々と同じ土俵で流通する規格の一つとして取り扱われることが予想される. その時には混乱を避けるため, 音響層序単元の位置付けを明確にしておく必要がある. 本稿では音響層序単元についての問題を整理し, 背景を検討し, 解決への提言を行い学界の意見を煩わしたい.

なお, 本稿は取り扱うものが概念や定義であるために, 一般の学術雑誌の論説記事にあるような科学的知見の報告とは構成が異なったものになることを最初にお断りする. 本稿の主眼は純学術的知見を述べるのではなく, 概念や定義を整理することである. そのためには定義の精神を精査しなければならない. その上で, 未決の問題はどのように処理されるべきか, 具体的には層序とは何か, 層序学の基本原理についての考察が不可避となる. 似た事例に Zalasiewicz *et*

¹地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: T. TUZINO, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: taphonomy@ni.aist.go.jp

al. (2004a) が "Simplifying the stratigraphy of time" というタイトルで提案した論文とそれに伴う議論 (Basset *et al.*, 2004; Heckert and Lucas, 2004; Gong *et al.*, 2004; Zalasiewicz *et al.*, 2004b) がある。これまで岩石と時間に関する層序学は, time-rock unit (例: 第三系鮮新統) にもとづく chronostratigraphy と time unit (例: 第三紀鮮新世) にもとづく geochronology との二本建て (dual stratigraphic terminology) になっている。これを Zalasiewicz *et al.* (2004a) は, time unit に統合し名称を chronostratigraphy と呼ぶことを提案するもので, 議論を巻き起こした (ISSC Newsletter No. 5 に若干の顛末が記されている)。通常, 層序学では, 前期白亜紀または下部白亜系のように時間を指示するのか, 石を指示するのか用途により言葉を使いわけている。例えば, 下部白亜紀という言葉は間違いとなり, 白亜紀層という言葉は非公式な使い方となる。Zalasiewicz *et al.* (2004a) の主張は, この岩石と時間に関する術語の二本建てを辞め, 時間だけに統一しようということである。この提案によれば下部白亜系という言い方は廃され, 前期白亜紀層といった言い方が公式な術語になる。ここではその議論に立ち入らないが, この提案に賛成するにしても反対するにしても, chronostratigraphy とは何か, 層序の定義はどうあるべきか, 層序学の基本原理とは何かという議論が不可避である。本稿では同様に, 音響層序の単位はどうあるかを述べる際に, いろいろな意見を紹介しながら, その背景になっている層序単位はどうあるべきかに触れざるを得ず, 通常の論説とは異なった構成となる。

2. 典拠としたガイド・コード

本稿では層序学における公式な定義や概念については, 次のような成果物を利用した。地層の命名と分類について International Commission on Stratigraphy (国際層序委員会) の分科会 International Subcommission of Stratigraphic Classification (ISSC) の取り決め (International Stratigraphic Guide, Salvador and ISSC, 1994; 邦訳『国際層序ガイド』, 日本地質学会誌, 2001; 以下ガイドと称す) がある。

日本地質学会の地層命名規約も基本的にこのガイドに基づいている (日本地質学会誌, 2001)。また, 層序学に大きな影響を与えている地方規約に North American Commission on Stratigraphic Nomenclature (NACSN) の定めた North American Stratigraphic Code (北米地層命名規約, Easton *et al.*, 2005, 以下コードを称す) がある。ガイドはあくまでガイドであるが, コードは北米大陸において強制力をもつ。

3. 音響層序単位の定義

音響層序単位は Mitchum *et al.* (1977) の depositional sequence を基礎にしている。Depositional sequence の定義は次のとおりである。

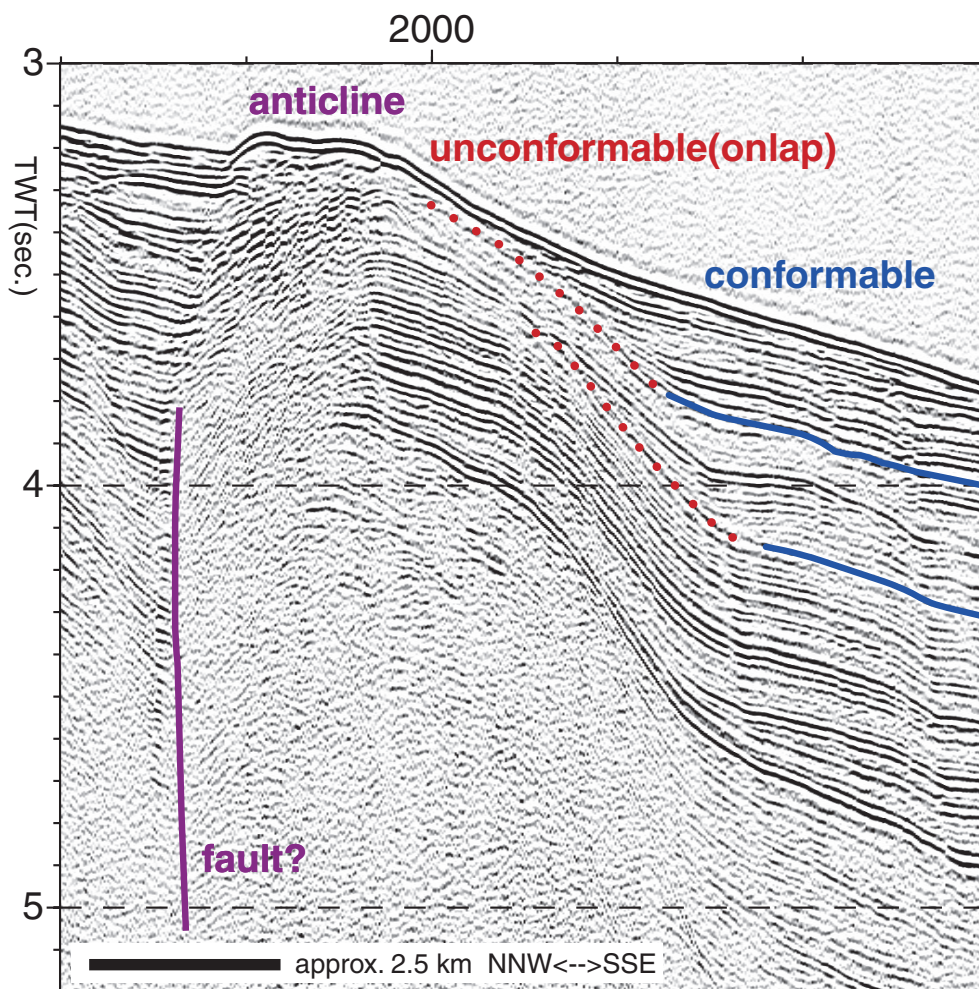
A depositional sequence is a stratigraphic unit composed of a relatively conformable succession of genetically related strata and bounded at its top and base by unconformities or their correlative conformities.

これは「上下を不整合面とそれに対比される整合面とで区切られ, 一連の成因で形成された, 整合的に重なる地層」と訳されている (例えば酒井ほか, 1995)。Depositional sequence を音響層序の単位とするのは近年の教科書 (例えば Veeken (2007) の Chapter 3, p. 123-125) でも採用されており, 定説と見なして差し支えない。

この定義は, 初期のシーケンス層序学のシーケンスの定義と同じで (理由は後述), これを音波探査記録にたいして適用することになる。いいかえると音響層序学は反射法音波探査記録断面を見て, 上で定義した単位 depositional sequence にしたがって地層を区分する方法論と言える。不整合面は Mitchum *et al.* (1977) では 'a surface of erosion or non-deposition that separates younger strata from older rocks' と定義されている。音波探査記録においては不整合面は, 反射面 (reflection) と反射面の関係として認識される (Mitchum *et al.*, 1977)。具体的には反射面の端 (reflection termination) に注目し, 下位または上位の反射面に触れているところが不整合面として認定される。これが不整合面になるのは, 反射面を同一時間面と仮定しているためである。反射面が terminate しているということは, そこより先ではある時間において堆積が起らなかった (non-deposition), あるいは堆積したが削剥された (erosion) ことを意味し, chronostratigraphy における時間の欠如になるので不整合になるわけである。不整合面はしばしば沖側に追跡すると整合面に移行しており (第1図), この整合面と不整合面を境界として区分される地層のまとまりのことを Mitchum *et al.* (1977) は depositional sequence と呼称した。

4. シーケンス層序学との混同・誤解

音響層序単位は Mitchum *et al.* (1977), Payton (1977) 及び Vail (1987) が sequence (正確には depositional sequence) と呼称したこともあって, シーケンス層序学におけるシーケンスと混同されている。理想的には同じ名前は同じ内容を指示すべきだが, 実際は常にそ



第1図 音響層序単元の境界の例 (赤点線及び青実線)。赤点線は不整合面を示し、青実線は、赤点線に対比される整合面を示す。赤点線の不整合は背斜の成長に伴って形成された。紫線は推定断層。

Fig. 1 An example of seismically delineated unit boundaries. Dotted red line points onlap unconformity and blue line points correlative conformity of the red line. Purple line points inferred fault.

うとは限らない。音響層序単元で用いられるシーケンスとシーケンス層序学のシーケンスとは別物である。

この原因は研究史にある。音響層序学とシーケンス層序学は同時期に同じ研究者集団によって発展しており、しかも多くの場合、同じ著作物の中で著述されている (例えば Mitchum *et al.* (1977) と Payton (1977) ; Vail (1987) と Van Wagoner *et al.* (1987))。音響層序学とシーケンス層序学の黎明期 (1970-1980 年代) においては両者は未分化であったため、sequence という語の意味するところは不可分であった。むしろ、シーケンス層序学は当初、音響層序学の一部として発展したというべきかもしれない。音響層序学とシーケンス層序学の研究史は ISSC においてシーケンス層序学ワーキンググループの委員でもある Embry (2008) の簡潔な解説がある。

1970 年代には石油探鉱のため取得された膨大な量の音波探査記録を見て、前述の不整合と、それに対比される整合面を認定し、depositional sequence に区分していくということが行なわれた。ここまでの作業が音響層序区分である。この depositional sequence がどういふ原因で形成したかを解釈することがシーケンス層序学である。シーケンス層序学では音波探査断面に限らず、ボーリング井の検層記録や陸上の露頭にたいしても同様の考え方を適用して地層をシーケンスに区分し、相対的の海水準変動や海岸線の移動方向との関係でシーケンスを位置付ける (Emery and Myers, 1996)。その位置付けは学派によって異なる (Catuneanu, 2006; Catuneanu *et al.*, 2009)。したがって、シーケンス層序学と音響層序学は一部内容がオーバーラップするものの異なるものであり、同一物ではない。シーケンス層序

学抜き音響層序学というものもあり得るし、音響層序学抜きシーケンス層序学というものもあり得る。

シーケンス層序学と音響層序学は密接な関係をもっている。まさにそのために、「シーケンス」を音響層序単元として用いることは誤解を招きやすいので避けるべきと考える。シーケンスという名称を用いた場合には、シーケンス層序学のシーケンスという文脈で理解される可能性が高い。いろいろな学派における「シーケンス」の定義（第1表）においては、シーケンスの成因として海水準変動が明記されるわけではないが、多くの場合、相対的海水準変動に関して不整合ができたものと理解されることになる。音響層序区分では、相対的海水準変動という概念を意識せずに、単純に不整合とそれに対比される整合面をもって反射面を区分するので、ここにクライテリアの位置付けが違ってしまふ。相対的海水準変動という概念で音響層序区分で使われる不整合を包摂するのは全く不可能とはいえないが単純にはいかない。盆地全体のテクトニックな隆起・沈降は相対的海水準変動として包摂される（盆地全体の沈降は相対的な海進、隆起は相対的な海退と位置付けられる）が、傾動による局所的な沈降と隆起による不整合を相対的海水準変動としては説明しようと

すると、ある1つユニット内で、一部が浅海化、一部は逆に深海化する場合もあり得る。シーケンス層序学では相対的海水準変動をもとに「海進期堆積体」や「高海水準期堆積体」という認定がなされるが、この場合、そのような名称をつけることは困難である。だからといって相対的海水準変動で音響層序単元を区分することは不可能になるわけではないが、かなり複雑な思考過程を解釈者にも成果物の利用者にも要求するだろう。また、音波探査記録から不整合を認定することは客観性が高いが、相対的海水準変動を読みとるのは推論を要する（少なくとも不整合を認定した上での推論になるため論理の梯子は長くなる）。音響層序区分の認定では相対的海水準変動という概念を導入するメリットはあまりなく、不整合とそれに対比される整合面で区分するほうが単純で、解釈者にも成果物の利用者にとっても負担の少ないものになるだろう。シーケンス層序学との混同を避けるためにも用語をわけておくべきといえる。

厳密な定義とは別に「シーケンス」に対して海水準変動を予期されてしまうのも事実である（例えば Haq *et al.* (1987, 1988) の Exxon curve はその前提に立っている）。音響層序区分では海水準変動だけでなく、隆起・

第1表 「シーケンス」の定義.

Table 1 Various definitions on sequence.

Article	Description
Sloss <i>et al.</i> (1949)	'Sequence' is a large-scale (group or supergroup level) unconformity-bounded unit.
Sloss (1963)	'Stratigraphic sequences' are rock-stratigraphic units of higher rank than group, megagroup, or supergroup, traceable over major areas of a continent and bounded by unconformities of inter-regional scope.
Mitchum <i>et al.</i> (1977)	'Sequence' is a stratigraphic unit composed of a relatively conformable succession of genetically related strata and bounded at its top and base by unconformities or their correlative conformities.
Galloway (1989)	'Sequence stratigraphy' is the analysis of repetitive genetically related depositional units bounded in part by surfaces of nondeposition or erosion.
Posamentier <i>et al.</i> (1988) & Van Wagner (1995)	'Sequence stratigraphy' is the study of rock relationships within a time-stratigraphic framework of repetitive, genetically related strata bounded by surfaces of erosion or nondeposition, or their correlative conformities.
Posamentier and Allen (1999)	'Sequence stratigraphy' is the analysis of cyclic sedimentation patterns that are present in stratigraphic successions, as they develop in response to variations in sediment supply and space available for sediment to accumulate.
Catuneanu (2006)	'Sequence stratigraphy' is the analysis of the sedimentary response to changes in base level, and the depositional trends that emerge from the interplay of accommodation (space available for sediments to fill) and sedimentation.
Catuneanu <i>et al.</i> (2009)	'Stratigraphic sequence' is a succession of strata deposited during a full cycle of change in accommodation or sediment supply.

沈降・傾動に伴う不整合でも区分するので、両者を混同するべきではない。第1図のユニット境界(赤点線+青実線)は背斜に伴うもので、海水準変動は直接的には関係ない。なお、シーケンスという語はもともと「一連の地層の連なり」くらいの意味であったが、シーケンス層序学の興隆とともに、シーケンス層序学でのシーケンスという意味に使われることが多く、「一連の地層の連なり」という意味ではサクセッション (succession) という語が用いられる。本稿でも誤解を避けるために、「一連の地層の連なり」はサクセッションと表記する。

5. 岩相層序単元との混同

音響層序単元に対して、「層 (Formation)」や「層群 (Group)」という語を当てる海底地質図や研究論文がある(第2表)。これは厳密には間違いであると筆者は考

えている。これには根強い反論もあり、反論の背景については聞くべきものがある。本章では筆者が間違いであると考えた根拠を示し、考察の章で反論についても考察する。

5.1 音響層序単元に「層」を用いることの問題

音響層序単元に対して、「層 (Formation)」や「層群 (Group)」という語を当てるのが不適当と判断する最大の根拠は「層」や「層群」は岩相層序単元として公式に定義されているためである。これを音響層序単元として用いた場合、違うものを同じ名称で呼ぶ(同名異物/homonym)ことになり、混乱の原因となる。したがって、音響層序単元に岩相層序単元の術語を用いることは避けるべきである。「音響層序は岩相層序と異なるのであるから音響層序でも別個に『層』を定義して使えばいいではないか」という意見もあり得るが、同

第2表 地質調査所—地質調査総合センターがこれまで発行してきた海底地質図に見られる音響層序単元。

Table 2 Terminology of seismic stratigraphic unit used in marine geological maps published by Geological Survey of Japan.

発行年	No.	図名	担当	基本単元(実態)
1975	1	甕島	木村	記号のみ
1976	3	相模湾	木村	層(記号+層, A,B,C layer)
1977	5	紀伊水道	奥田	層(記号+層/Fm)
1978	10	八戸沖	玉木	層(地名+Formation かつ 記号+layer)
1982	20	隠岐海峡	玉木	層(記号+層, 記号+layer)
1983	22	釜石沖	岡村	層(記号+層, super sequence A,B..)
1983	24	房総東方	棚橋	層(記号+層 Layer AまたはA layer)
1985	26	八丈北東	湯浅	層(記号+層./Fm)
1986	27	鹿島灘	奥田	年代層序単元(鮮新統など, 記号)
1986	28	室戸岬	岡村	層・層群(地名+層・層群/Group,Fm, 層群内は記号+層/Fm)
1987	29	土佐湾	岡村	層・層群(地名+層・層群/Group,Fm, 層群内は記号+層/Fm)
1987	30	西津軽海盆	奥田	層(記号+層かつ女川相当層など, 記号+Fm)
1988	31	スミス島島	Brown	特別(火山, 岩盤, 成層, 非成層など)
1989	35	鳥取沖	山本	層・層群(地名+層群/Group・地名+層/Fm)
1990	33	金華山沖	中村	シーケンス(記号+sequence, sub-, super-)
1993	39	下北半島沖	奥田	層群・層併用(地名+層群/Group・地名+層/Fm)
1993	40	経ヶ岬沖	山本	層群(地名+層群, 地名+group, 記号+層, 記号+Fm)
1994	43	佐渡南方	岡村	層・層群(地名+層群/Group, 説明書では上越沖層, 図幅では上越沖層群)
1995	46	佐渡北方	岡村	層群(地名+層群/Group)
1996	47	粟島周辺	岡村	層群(Group)
1996	48	秋田西方	岡村	層群(地名+層群/Group)
1998	49	豊後水道南	岡村	層・層群(地名+層群/group, 記号+層/Fm)
1999	52	駿河湾	岡村	層群(地名+層群/Group)
2000	50	ゲンタツ瀬	山本	層群(地名+層群/group, 記号+層/Fm)
2001	55	塩屋埼	棚橋	ユニット(ユニット+記号, unit+記号)
2002	59	能登半島東方	岡村	層群(地名+層群/Group)
2007	61	能登半島西方	岡村	層群(地名+層群/Group)
2007	63	枝幸沖	村上	層・層群(地名+層群/Group・地名+層/Fm, 記号+層/Fm)
2008	64	日向灘	岡村	層群(地名+層群, 地名+Group) 部分的に上部層・下部層
2008	65	遠州灘	荒井	層群(地名+層群, 地名+Group) 部分的に上部層
2008	67	石狩湾	岡村	層群(地名+層群, 地名+Group)
印刷中	--	釧路沖	辻野	層・層群(地名+層群/Group, 記号+層/Seismic Stratigraphic Unit)
印刷中	--	落石岬沖	辻野	層・層群(地名+層群/Group, 記号+層/Seismic Stratigraphic Unit)

じ層序学の範疇において、違う概念・違う定義に則ったものを同じ名前と呼ぶことは混乱のもとであり、学術的には適当ではないと考える。端的には岩相層序単元として定義された『ナントカ層群』と音響層序学的に定義された『ナントカ層群』は、同じ名称をしているので区別できない。岩相層序単元での『ナントカ層群』と音響層序学的な『ナントカ層群』は結果的に、あるいは誤差の範囲で同じものかもしれないが、同じものではない。有意に違う場合もあるだろう。筆者が実際に経験した例をあげる。北海道東部、根釧台地の層序は、白亜系根室層群と古第三系浦幌層群からなる。そのすぐ沖側の音響層序は辻野(印刷中 a)及び辻野(印刷中 b)により Ub ユニットと Uc ユニットとに区分されているが、ユニット境界は陸域の層群境界と対応しておらず、浦幌層群下部の春採夾炭層に一致していることが、試錐(新エネルギー総合開発機構, 1988, 1989)との対比で明らかとなった。このように音響層序で定義した『ナントカ層群』と岩相層序の『ナントカ層群』とはズレているかもしれない。問題はズレそのものよりも、ズレている可能性が隠されることにある。原因は同じ名を冠していることにある。対比され得るものであっても原理的に違う方法で認定されたものに同じ名称を与えることは混乱を招く。

地層命名法に基づけば「層 (Formation)」は岩相としてのまとまりをもったものであって、時間により区分するものではない。一方、音響層序単元は Mitchum *et al.* (1977) の depositional sequence の定義に基づく限り、「反射面を同一時間面と見做して、上下を不整合で区切られ、成因的に関係づけられた、比較的整合に重なる地層」となっている。音響層序単元は時間に斜交しない(ことを前提としている)が、岩相層序は時間と斜交しうる(例えば、柳沢ほか (1986) の牛ヶ首層と白岩層、嵯峨山 (2006) の長節層)。

また、音波探査断面で見える反射面が地層かどうかは確証がないことにも注意を要する。例えばガイドの p. 1 には音響層序を取り扱わないのは、音波探査記録は岩石を見ているのではない旨の理由づけをしている(後述)。誰が見ても地層に見える露頭とは違い、音波探査記録をみても地層かどうかはわからない。反射面を地層だと思うのは解釈である。しかも、音探断面の質は調査機器の性能に依存している。同じところでも機器が異なれば見えかたが全く異なってしまう、定義する際の共通の尺度がない。SBP (Subbottom Profiler) と呼ばれる数 kHz の音波探査断面と数十 Hz のエアガンの断面とで見え方が全然違うのは勿論のこと、同じエアガン同士でも見え方は機器依存的である。例えば 10Hz を卓越周波数とする大容量のエアガンの音波探査記録では、あるユニットが成層した反射面から構成されているように見えても、80Hz を卓越周波数とする小

容量のエアガンの記録では、成層が乱れていることがある。岩相層序区分では人間の目という統一的な尺度があるのに対して、音響層序では統一的な尺度を設定することが困難である。

5.2 音響層序単元に「層群」を用いることの問題

音響層序単元に「層群 (Group)」を用いる例もあるが、これも同様の理由で不適當である。加えて、基本単元の取り違いという間違いの可能性もある。

音響層序単元に「層群 (Group)」を用いる理由は個々の事例で個別の理由があるだろうし、正確にはわからないが、考えられる理由として次の3つが推測できる。(1) 「層群」の定義は上下を不整合に境された地層と誤解し、不整合で境された音響層序単元に「層群」の名称を用いるべきであると考えた(ただし、音響的に定義されている不整合と陸域踏査のそれとは厳密には異なる)。(2) 不整合を規模をもとに2つに大別し、顕著な不整合面で境されるものを「層群」とし、「累層 (Formation)」はもっと軽微な不整合面で境されるものとした。また、「累層」の束だから「層群」であると考えた。(3) 年代オーダーや地史上の位置付けとして近接する陸域の「層群」と対応がとれる層序区分になったので統一をとるために音響層序単元にも敢えて「層群」を用いた。

これらの推測される理由は一定の妥当性をもつが、命名の原則に照すと音響層序単元に「層群 (Group)」を用いることは、同名異物の間違いである。更にもし、その「層群」が構成要素として「層」をもっていなかったら、あるいは、「層群」が基本単元で、それを細分したものが「層」という扱いであったなら、基本単元の取り違いを含むため、二重に間違えていることになる。

基本単元の取り違いとは、単元を階層化するにあたって、どの階層を基本とするか、どの階層を派生的階層にするか、についての取り違いである。もっとも端的な例では、「層」を定義していないのに「層群」という呼称を用いた岩相層序区分がある。岩相層序区分 (lithostratigraphy) では基本単元は「層 (Formation)」となっている(ガイド及びコード)。ガイドによれば、Formation と Group の定義はそれぞれ次のようになっている。

The formation is the primary formal unit of lithostratigraphic classification used to map, describe, and interpret the geology of a region; it is a body of rocks of intermediate rank in the hierarchy of lithostratigraphic units and is identified by its lithologic character and stratigraphic position. Formations are the only formal lithostratigraphic units into which the stratigraphic column everywhere should be divided

completely on the basis of lithology.

A group is the formal lithostratigraphic unit next in rank above a formation. The term is applied most commonly to a sequence of two or more contiguous or associated formations with significant and diagnostic lithologic properties in common.

コードでは次のとおりで、ガイドと同じと見做してよい。

The formation is the fundamental unit in lithostratigraphic classification. A formation is a body of rock identified by lithic characteristics and stratigraphic position; it is prevailing but not necessarily tabular and is mappable at the Earth's surface or traceable in the subsurface.

A group is the lithostratigraphic unit next higher in rank to formation; a group may consist entirely of named formations, or alternatively, need not be composed entirely of named formations.

これらによれば、「層」をまとめたものが「層群」であるから、「層」のないところに「層群」は存在し得ない。英語の感覚では、group というものは、number of people or things located close together, or considered or classed together (Concise Oxford Dictionary 第8版, 英国英語)であったり、A number of persons or things gathered or classified together (Webster New World Dictionary 第4版, 米国英語)であるので、構成要素 (people/things, 地層でいうと Formation) を持たないものは group たり得ないと考えられる。

実際問題としては「層」の定義のない「層群」名称は存在する。調査精度が低かったり、概査的な調査でとりあえず名称だけ与えておこうとする研究報告では、「層群」だけ記載されており「層」の記載がないこともある。ただし、それらは公式単元の立場からすると望ましくない。

5.3 「層・層群」の方がわかりやすい、という反論への反論

音響層序単元として「層」・「層群」を使うことは不適當であると上で述べた。これに対して、「一般の地質屋は音響層序をよく知らないのだから、層や層群を音響層序として定義しておけば、『層』や『層群』を使ってもいい」という反論がある。実際に『層』や『層群』には使用実績がある (第2表)。この反論に対する反論は既にガイドにある。次の通りである。

b. 非公式の層序用語法

...

非公式単元用語は、帯水層・石油・ガス貯留層・炭層・採石層にたいして、またワイヤライン検層記録または地震波断面などにもとづく層序単元にたいして、"third coal" "B6 sandstone" のように、それらが公式単元用語でないことが明白な場合に使用するのが適切であろう。しかしながら、公刊される文書内で公式単元用語 (層・部層・バイオゾーン・統など) を非公式に使用することはきわめてこのましくない。地表あるいは地下地質の地質図作成過程では、すべての地質学者が暫定的に非公式単元用語を使用しており、それらは作業上必要なものである。しかし、その研究成果を公刊するときには、公式の提唱や記載なしに非公式単元用語を印刷物中に使用するのはのぞましくない。もともとの提唱者が非公式に使用しようとした単元用語——"the limestone at Blue Mountain", the "Stony River granite" あるいは the "Victoria sandstone formation"——は、やがてのちの著者や編集者によって "Blue Mountain Limestone", "Stony River Granite" あるいは "Victoria Formation" と変更されてしまい、非公式のつもりで使用した単元用語が、適切に提唱され定義されることになしに、公式単元用語になってしまうからである。(日本語版 p.13; 英語版 p.14-15; 引用文中の太字は原文通り)

ある地質図だけを見た場合、音響層序単元に層や層群の言葉を当てても、さほど問題ない。定義も説明書に書いてあるだろうし、読者は音響層序か岩相層序かを理解している (端的には、陸域では岩相層序が多いし、海域では音響層序が多い)。しかし、それを引用・転載する時に「層」と「層群」はひとり歩きする。なぜなら、引用に際して定義まで丁寧に転載することはないからだ。ガイドの懸念もここにある。

また、定義や規約はわかりやすければよいといったものではない。例えば「はじめに」で述べた Zalasiewicz *et al.* (2004a) は time-rock unit を廃する理由として、職業地質学者の多くが time-rock unit と time unit の違いをよく認識していないことを理由にあげているが、Heckert and Lucas (2004) と Bassett *et al.* (2004) は「だからといって、time-rock unit と time unit を統合していいという理由にはならない。学ばばよい。」という旨の批判をしている。音響層序単元にわかりやすさを求めて「層」を使うのは philosophy としては Zalasiewicz *et al.* (2004a) に近いと思われる。

折衷的な解決方法として『房総沖層群』という風に海域名を名称に含める方法も候補としてあり得る。この方法では海の地質ということが名称に含まれるので

混同の可能性は少なくなる。しかし、この方法であっても、英語表記で "Bausou-oki Group" となってしまう途端、"oki" が単なる文字列になってしまい、海の層序という情報は消失する。わかりやすいということは重要だ。しかし、わかりやすさを求めるあまり、不正確になるべきではない。更に、海域名を名称に含めることで海域の層序単位であることを明示できるが、音響層序単位であることを示すという方法は、異物同名の誤謬になる。音響層序は海域に限ったものではなく、平野など陸域の地下であっても音響層序はありえるからだ。

6. 不整合境界単位との混同

音響層序並びにシーケンス層序では不整合を主なキーとして地層を区分している。このことから、音響層序やシーケンス層序は不整合境界単位と混同されることがある。

不整合境界単位は Chang (1975) の発案で ISSC のガイドに次のように設定されている。

Unconformity-bounded unit. A body of rocks bounded above and below by specifically designated, significant and demonstrable discontinuities in the stratigraphic succession (angular unconformities, disconformities, etc.), preferably of regional or interregional extent. The diagnostic criteria used to establish and recognize these stratigraphic units are its two designated bounding unconformities...Because the presence or absence of the bounding discontinuities is the single diagnostic criterion for establishing, defining, recognizing, and extending unconformity-bounded units, the definition and description of these units should emphasize the discussion of the nature, position, and characteristics of the discontinuities. (ISSC guide, 1994)

上下の不整合面だけが単位を規定するもので、シーケンス層序学や音響層序学のシーケンスのように「不整合面とそれに対比される整合面」という文言はないことに注意する必要がある。類似の概念のアロ層序学 (allostratigraphy) がコードでは次のように設定されている。

An allostratigraphic unit is a mappable body of rock that is defined and identified on the basis of its bounding discontinuities...Boundaries of allostratigraphic units are laterally traceable discontinuities. (NACSN, 2005)

ガイドとコードの定義の違いは上下の境界を規定す

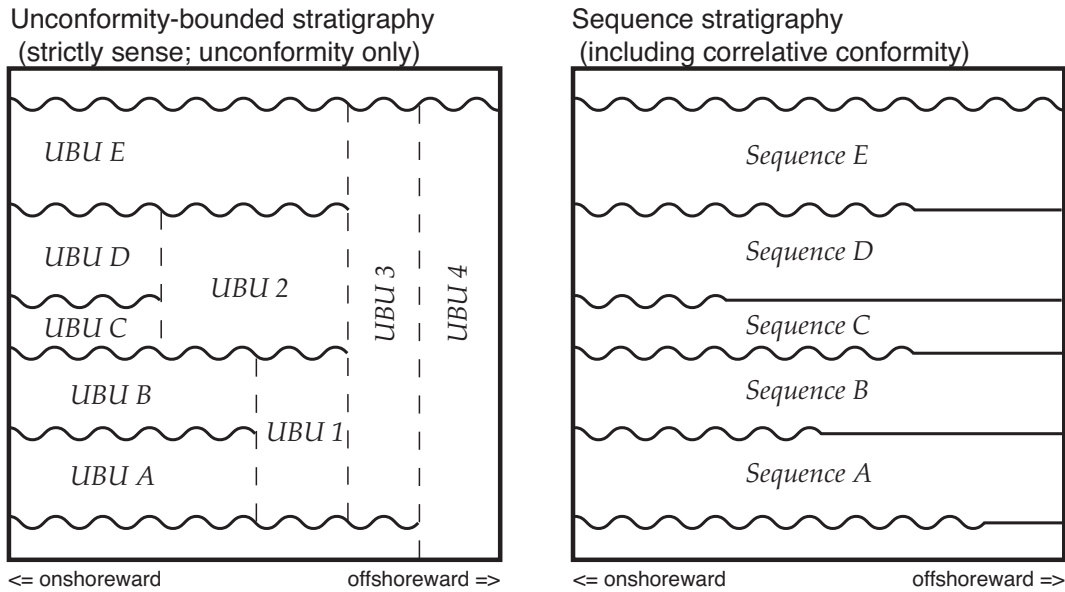
るものが unconformity (不整合面) か discontinuity (不連続面) かだけの違いである。Discontinuity は不整合と buried soils を含んでおり、ガイドの不整合面とほぼ同じものと見てよい。異なるのは単元名で、ガイドでは単元名を Synthem (ギリシャ語で *συν* は「同じ」、シクロのシン。 *θεμ* は「堆積物」、Cyclothem や Erathem の them と同じ) としており、コードでは alloformation (allo はギリシャ語で *αλλος* -「異なる」 allonym (偽名・別名) の allo と同じ) としている。

これらは概念としては非常に似通っているが、そもそもの着想はまったく異なっている。Synthem はかなり広範囲にわたって連続する不整合面で区切られる地層を区分するために着想され (Chang, 1975)、したがって、個々の Synthem はかなり広範囲・長期間の堆積物になる。これは Sloss *et al.* (1949) や Sloss (1963) が最初に定義した Sequence とほぼ同じものである (例えば Zuni Sequence は北米全体に分布するシーケンスで堆積期間はほぼ白亜紀全部である)。一方の alloformation は氷河湖や第四紀河川堆積物の区分を目的として創案されたため、小規模である。

NACSN の alloformation と ISSC の Synthem は着想はまったく異なるが、定義としてはほとんど違いがない ('more nuance than substance', Edwards, 2004; Easton *et al.*, 2005)。そのため、alloformation, Synthem 及び sequence の概念を整理しようという動きが 1999 年から活発になされている (Murphy and Salvador, 1999)。

GeoRef による Synthem の術語の使用実績調査では 1980-1989 においては 3 報 (うち 1 報は Sloss によるレビュー論文なので層序記載としては 2 報)、1990-1999 においては 5 報、2000-2007 においては 16 報 (1 報は化石の記載論文、1 報は層序学のレビュー論文で、他は層序論文) となっている。Sequence Stratigraphy に比べると使用実績の差は歴然としている。Allostratigraphy についても Edwards (2005) に報告がある。Synthem よりも多いが、例えば 1990-2001 に限って見ても 59 報と少ないことには変りがない。この背景には Sequence Stratigraphy が主流になり、多くの研究者が Sequence を理解し、知名度もあがるので Sequence をツールとして選択しやすい状況にあり、それがかえって Sequence をより主流にするという循環もあるだろう。しかし、不整合境界単位の規定に欠陥があり、そのために適用しづらいものになっている (Wheeler, 1958, 1959a, b; Embry, 2004, 2008)。

不整合境界単位の欠陥とは不整合境界単位は、上下に不整合が存在するところにおいて定義され、上下のうちどちらか一方でも整合になれば、単位は成立しない、という条項にある (第 2 図)。Embry (2004) は "an individual unconformity-bounded unit exists only where its two bounding unconformities are present." と述べてい



第2図 不整合境界層序单元にもとづく層序区分とシーケンス層序学にもとづく層序区分との比較.

Fig. 2 Comparison of stratigraphic divisions based on unconformity-bounded stratigraphy and sequence stratigraphy.

る。例えば、ある堆積盆の縁辺部（低地や沿岸）においては構造運動や海水準変動の影響で不整合面が発達するでしょう。そのような不整合面も中心部（堆積盆の深いところ）においてはほとんどが追跡できず、整合になっていることが多い（第2図）。場合によっては不整合面は中心部で一つもない場合がある（第2図左のUBU 4）。そのような地層のサクセッションにおいては縁辺部にいくら不整合面があっても全体として不整合境界单元は設定できない。この制約から、不整合境界单元の認定は困難である。

一方、Sequence Stratigraphyにおいてはsequenceの上下の境界は不整合面だけでなく、不整合面に対比される整合な地層面でもよいと定義を改めたので部分不整合でもsequenceを設定することができる（第2図右）。これがシーケンス層序学のsequenceが他の不整合境界单元を圧倒した本質的原因であり、この定義の改変によりsequenceは広く使用されることとなったと考えられている（Embry, 2004; Donovan, 2004）。むしろ、sequenceと言えばシーケンス層序学のsequenceになってしまい、シーケンス層序学以前のsequenceはsuccessionと言いかえなければいけなくなったくらいである。

上記のように不整合境界单元は規定を厳密にたどって見たところ、音響層序单元としては採用できないと判断できる。また、不整合境界单元には混乱があり、使いづらいという欠点がある（第2図左のような複雑な区分はSynthemの発案者の意図とは考えにくい。というのは、Synthemを語構成から素直に解釈すれば

「synchronous な地層のユニット」となり、むしろ第2図右のほうが自然な区分になるからだ。おそらく側方連続性のピットフォールだろう）。

7. 音響層序単元の公式化への課題

7.1 音響層序单元は公式单元か

そもそもの問題は音響層序学单元は公式单元ではないことにある。国際的にも国内的にも音響層序学には公式单元はない。公式な定義がなくても論文を書くことはできる。論文ごとに定義すればよいからである。多くの論文では単にunitsとしている（例えばBerglar *et al.*, 2008など）が、より具体的な名称のSeismic Stratigraphic Units, Acoustic Units, Reflection Packagesなども使われることがある（例えばMarlow *et al.*, 1996など）。海水準を見据えた文脈ではsequenceが使われることもあるし、『層』『層群』もある。单元名は混乱しており、地質図などの公的な出版物（特にシームレス地質図や海陸統合地質図）や純記載的論文のためには規格が必要である。

7.2 音響層序单元はどうしてガイドにないのか

公式な音響層序单元がありさえすれば問題は解決するわけだが、公式单元がないのには理由がある。これからそれを述べる。

例えばISSCはガイドの中で音響層序及び物理検層には单元を設定しないことを明記している（ガイド, p.1）。

...the Subcommission decided against stratigraphic unit based exclusively well log and seismic reflection profiles...

理由は

...the information supplied by wireline logs and seismic reflection profiles is not recorded in the rocks; it is only a graphic (or electronic) record of remote measurements of certain physical properties. Rock types are only identified broadly and by inference, and formal stratigraphic units should not be established on the basis of these remote measurements.

である。つまり、「岩石のある物理的な特性を遠隔測定したグラフ上の（あるいは電氣的な）記録にすぎ」ず、「(物理検層及び地震波断面の情報は、引用者注) 岩石中に記録されていない (ガイド邦訳原文のママ)」からである。遠隔測定 (リモートセンシング) では岩相は inference により推定するだけであり、岩相を抜きに公式単元を設定すべきではない、というのが ISSC の見解である (Salvador and ISSC, 1994)。岩石という具体的なもので根拠づけようとするのが層序学の基本原理だと主張しているようにみえる。

ただし、物理検層と古地磁気測定の違いは微妙で、岩石の物理的な性質を測定していることには違いがない。古地磁気層序は公式単元がある。古地磁気測定と物理検層とに違いがあるとすれば岩石試料の有無である。古地磁気測定では見ているものがどういう岩石なのかは明確であるが、物理検層では推定により、肉眼で見ているわけではない。音波探査記録は物理検層と同様に岩石を肉眼で見ているわけではなく、そのためにガイドに含まれていないと考えることができる。

「はじめに」で述べた Zalasiewicz *et al.* (2004a) の time-rock unit を廃そうとする提案に対して、Heckert and Lucas (2004) は "Rocks are the physical manifestation of geologic processes. Time is an abstraction independent of the rock record." と物証と解釈の区別を強調している。音響層序が今一つガイドに馴染みにくかったのもこの基本原理と関係しているように思われる。

7.3 音響層序単元サクセッションとして「シーケンス」の術語を当てるべきか？

Exxon グループの提唱する Seismic (Sequence) Stratigraphy はもっとも広く受けいられているから、sequence を音響層序単元として昇格させればよいのではないか？このような提案もあり得る。これを検討する。

個々の論文において、どの術語を用いるかは筆者の

範疇にあり (編集委員と査読者の意見は別として)、音響層序単元に sequence を使うことは可能である。ただし、sequence は多義的で曖昧なため、公式単元にするには再定義が必要である (Bhattacharya, 2005)。しかも、シーケンス層序学のシーケンスの概念と音響層序のシーケンスとは異なるため、混乱が予想される。一方のシーケンス層序学においても学派により定義や用語の違いがある (Catuneanu *et al.*, 2009)。例えばシーケンス境界は Posamentier *et al.* (1988) 及び Posamentier and Allen (1999) は海退最初期に設定している (両者は不整合面に対比される整合面の位置付けが異なるがここでは触れない) が、Van Wagoner (1995) は海退の最終期に設定している。一方、Galloway (1989) は最大海氾濫面に設定している。このようにシーケンス境界が学派により異なり、どれも成因論的な意味づけを伴うため、現時点での sequence の定義によれば sequence を公式の音響層序単元にすべきではない。また、sequence は「海水準変動による一連のサクセッション」というイメージを (定義上は明記されないにもかかわらず) あまりにも強く読者に与えてしまうため、逆に音響層序の論文では——それを意図しない限り——避けられるべきである。なお、定義上、‘sequence’ が一義的に関連づけられるのは相対的海水準変動であり、直ちに海水準変動に直結するわけではない。また、シーケンス層序学では、sequence を system tract として設定した時にはじめて、海進期堆積体とか低海面期堆積体などの内容が規定されるので、sequence という術語そのものは本来、Mitchum *et al.* (1977) の depositional sequence 以上の意味はない。

このシーケンス層序学を公式化しようという動きはガイド改訂直後の 1999 年から ISSC で活発に議論されており (GSA Annual Meeting at Denver, 1999; AAPG Hedberg Conference at Dallas, 2001; GSA Annual Meeting at Boston, 2001; IGC at Firenze, 2004; Embry, 2004; Easton *et al.*, 2005)、最近では、Catuneanu *et al.* (2009) によるレビューがある。公式なシーケンスがどう定義されるか、その動向によっては音響層序単元に適用することも可能である。例えば、Berggren *et al.* (2005) が提案しているように、シーケンスという概念を記載的な単元としての stratal sequence と解釈的な単元の depositional sequence に分割するのならば、音響層序単元は stratal sequence の一つに包含される。

また、シーケンスという語は現時点では地質学の学界においてもまだ見解の統一を見ておらず、上のサクセッションという意味で使う例もある。例えば、ガイドでは Group の定義文中に sequence の語がある (本論文中に引用) が、これは succession の意味と解される。最近でもチャート-碎屑岩シーケンス /chert-clastic sequence という語が使用されている (指田・堀, 2000

など）。この問題は最後まで残る。

8. 音響層序単元名の候補

上述のように音響層序単元を適切に位置付けることは難しいが、どうすればいいのか？ここでは3つの解決策を提示する。

8.1 中立無色の術語で代用

一つの解決策として、中立無色の術語を当てることがある。これを検討する。中立無色な術語というと、例えば、ユニット (unit)、パッケージ (package) がある。この方法は当面の問題を回避できるメリットがあるが、逆に、当面の問題を回避したために独自性が明示されないという欠点がある。「ユニット」ではなんのユニットかわからないためである。付加体のユニットもユニットと表記されるし、火山噴出物のユニットもユニットと表記される。だから、「ユニット」の術語を採用するとしても、一般名称としてではなく「音響層序ユニット (Seismic Stratigraphic Unit)」のように限定的 (definite) な名称を使う必要がある。少なくとも公式な出版物には単独表記のユニット (unit) は使うべきではない。なぜなら、unit は中立無色であるから音響層序で独占することはできないためだ。同じ出版物に、付加体のユニットと火山噴出物のユニットと音響層序のユニットが混在したら、読者は混乱する。

8.2 新たな単元名の創案

別の解決策として、新たに単元名を設定することが考えられる。上述の問題を踏まえて、それを回避した単元名を設定でき、一番矛盾のない解決方法だが、認知されない／定着しない可能性もある。ただし、音響層序学は自立した学問体系であると主張したいならば、既存の学問体系の術語の無理な流用をやめて、独立の単元名を提唱すべきである。無批判に岩相層序単元名や問題のある名称を適用することは——ガイドが主張するように——音響層序学は何かの従属物であると認めているのに等しい。

もし、独立の単元名を設定するならば、二通りの造語法が考えられる。一つは、ギリシャ語やラテン語による造語法である。例えば reflecthem (ラテン語の reflecto 「反射」とギリシャ語の *θηρωνια* 「堆積物 [原義: 穀物の山]」) あるいは reffhem, echothem (ギリシャ語の *ειχονα* 「音」、英語の echo), acousthem (ギリシャ語の *ακουω* 「聴く」といった名称を創案することができる。Cyclothem や Synthem はこの造語法による。ルネッサンス以降、19 世紀までの科学技術用語の多くはこの造語法で作られた (例えば、television の tele はギリシャ語で「遠く」、vision はラテン語で「見ること」)。この

方法は簡潔で格調の高い造語が作れるが、諒解困難なインク壺言葉 (inkhorn term: 術学用語) と化してしまう可能性が高い。実際、英語圏でも多くの術語が創案されたが、大部分は淘汰されてしまった (Baugh and Cable, 1991)。

もう一つの方法は、Acoustic Formation 『音響 (累) 層』、Acoustic Group 『音響層群』や、Seismic Formation, Seismic Group といった英語で記述する方法である。Formation や Group の問題を回避するためには Acoustic/Seismic Stratigraphic Unit あるいは Seismic Unit と表現するべきで、既に論文中には使われている。Acoustic と Seismic は音源の周波数の違い (例えば 10Hz 以上の高周波を音波、それ以下を地震波) で使いわけてもよい。この方法は容易に諒解できるが、冗長で散漫な用語になる。簡潔な (例えば 3 音節以下の) 英単語一語 (例えば sequence や chron) が望ましいが、筆者は適当なものを思いつかなかった。

どちらの方法も一長一短であるが、1970-80 年代のシーケンス層序学黎明期のような人口に膾炙する事態がない限り、ギリシャ・ラテン語系の新造語は周知されないままに終わってしまう可能性が高い。少しでも地質学学界全体に通用させるためには、後者のように普通の英語で記述するほうがよい。このほうが説明を要さず、直感的に理解しやすいためである。ただし、seismic formation は「地震を form (形成) するもの」、seismic group/unit は「地震グループ/ユニット」という誤った印象を与えかねないのが危惧される。英語名称を Acoustic Stratigraphic Unit としておいて、日本語を『音響累層』と使いわけも可能である。

8.3 習慣的に使用されている「層」「層群」「シーケンス」を採用

まったく別の解決策もある。それは音響層序単元として習慣的に「層」「層群」「シーケンス」が現に使用されているので、それを認めてしまうという解決策である。これまで「層」・「層群」・「シーケンス」という術語を音響層序単元名にすることについての非を述べてきた。しかし、現実問題として既に「層」「層群」や「シーケンス」が採用されており、習慣化しているという事実がある (第 2 表)。現実使用されていることを重く見て、これで現実問題として混乱が生じていないならば「層」・「層群」を使っても当面はかまわない、と考えることもできる。むしろ、音響層序単元名を設定したのに認知されず、混乱を与えるほうがかえって弊害がある。非公式なまま使い続けるというのも現実的な対応である。非公式なままというのは、音響層序単元を「層」と呼ぶことにしたところで、模式地も岩相も記載できない「層」は公式単元たりえず、非公式な使用にとどまるためである。前述のように「層群」は「層」

をまとめたものであるから、「層」が公式ではないのに「層群」も公式ではない。また、「シーケンス」は現時点では公式単元ではない。

特に「層」については音響層序単元に使うことが直ちに間違いとは言いきれない。理由の1つは、日本語の「層」は一般性の高い形態素であって、「砂層」、「粘土層」、「音響散乱層」のように Formation とは関係ない文脈でも使用される。英語で言えば bed や layer になる。音響層序単元の英語名称に Formation を用いることは命名法上間違いだが、日本語の「層」を用いることは命名法上間違いとまでは言い切れない。日本語名称としては「層」を用い、英語名称としては Seismic Stratigraphic Unit なり Reflection Package といった語を導入することも一つの方法かもしれない。それでも地名を冠する共通性から岩相層序単元と非常に混同しやすいという問題は残る。そもそもの原因は Formation を「層」と翻訳したことで bed/layer と Formation が区別ができなくなったことにある。例えば琵琶湖粘土層は Biwa-ko clay bed で非公式の地層名称である（この bed は単層という意味ではない）が、門ノ沢シルト岩層は Kadonosawa siltstone Formation と公式層序単元であって、同じ「層」でも違う概念だが日本語では弁別できない。かつて Formation に対応する日本語を「累層」、単層 (bed) を「層」としていた。「累層」であれば Formation に一義的に対応しているが、残念ながら今では用いられない（日本地質学会, 2001）。

2つめの理由は、音波探査記録で見えている反射面は仮の像ではあるが地層を表しているといつてよいのだから、「層」あるいは「層相当」と呼んで差しつかないという考え方である。「層」というと時間との関係が明確ではない（斜交する場合もある）ので、「シーケンス」という語と使えば時間と斜交しないことが明確になってよい。そもそも「シーケンス」は必ずしも海水準変動と対応したものだけとは言いきれない。サクセションと同義語のシーケンスや Sloss のシーケンスも含め、シーケンスの定義は多様であり、これもその1つとみなすわけである。

9. 結論

議論を整理したが結論として議論が収束しないことから音響層序単元名を公式に定義できる段階ではないと筆者は判断する。Donovan (2005) がシーケンス層序学の公式化の議論において "free market theory" を提唱し、公式化に対して懸念を示したのと同様に、現在の混乱が整理されるまでは音響層序を公式単元とするのは時期尚早であろう。

10. おわりに

福田 (1981) は国際層序ガイドに先がけて、ガイド制定時に交わされた議論を紹介し次のようなことを述べている。ガイドそのものはエッセンスであって、ガイド制定にいたるまでの歴史的経過のほとんどはガイドには含まれない。しかし、本当にわれわれに参考となるのは、circular で交わされた議論の中身である、と。ISSC の newsletter や circular では、経緯や層序学とは何かという基本原理が述べてあった。それらは客観的というよりは主観的な側面も多々あったが、それでもなお科学的営みであった。

謝辞: 本稿は海洋地質調査研究過程で生じた疑問をきっかけとして書きはじめたが、理論的な考察と実務的な適用の間の溝に圧倒されて、なかなか進展しなかった。ある時、徳橋 (2007) に触発され、その姿勢に感銘を受け本考察をまとめることができた。所内外の複数の方には地層命名法の整理をすすめる上で助言を頂いた。特に佐藤智之博士には粗稿に議論をいただいた。池原研副部門長には公表にあたって励ましていただいた。小笠原憲四郎筑波大学教授には初期の段階の粗稿を読んでいただいた。荒井晃作主任研究員並びに山口和雄主任研究員の丁寧な編集作業により原稿の品質が向上した。記して謝意を表す。当然ながら論文中に間違いがあれば全て著者の責任である。

文 献

- Bassett, M. G., J. M. Hancock, and C. H. Holland (2004) Simplifying the stratigraphy of time: COMMENT. *Geology*, vol. Online Forum, p. e60.
- Baugh, A. C. and T. Cable (1991) *A History of the English Language*, London: Routledge, 438pp.
- Berggren, W. A., N. Christie-Blick, M. -P. Aubry, R. M. Carter, A. Hallam, K. G. Miller, D. E. Owen, J. A. Van Couvering, and J. S. Watkins (2005) A proposed bipartite sequence stratigraphic nomenclature. *AAPG Hedberg Research Conference: Sequence Stratigraphic and Allostratigraphic Principles and Concepts*, p. 16-17.
- Berglar, K., C. Gaedicke, R. Lutz, D. Franke, and Y. S. Djajadihardja (2008) Neogene subsidence and stratigraphy of the Simeulue forearc basin, Northwest Sumatra. *Marine Geology*, vol. 253, p. 1-13.
- Bhattacharya, J. P. (2005) Allostratigraphy versus Sequence stratigraphy. *AAPG Hedberg Research Conference: Sequence Stratigraphic and Allostratigraphic Principles and Concepts*, p. 18.

- Catuneanu, O. (2006) *Principle of Sequence Stratigraphy*, Development in Sedimentology: Elsevier, 386pp.
- Catuneanu, O., V. Abreu, J. P. Bhattacharya, M. D. Blum, R. W. Dalrymple, P. G. Eriksson, C. R. Fielding, W. L. Fisher, W. E. Galloway, M. R. Gibling, K. A. Giles, J. M. Holbrook, R. Jordan, C. G. St. C. Kendall, B. Macurda, O. J. Martinsen, A. D. Miall, J. E. Neal, D. Nummedal, L. Pomar, H. W. Posamentier, B. R. Pratt, J. F. Sarg, K. W. Shanley, R. J. Steel, A. Strasser, M. E. Tucker, and C. Winker (2009) Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, vol. 92, p. 1-33.
- Chang, K.-H. (1975) Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Ame. Bull.*, p. 1544-1552.
- Donovan, A. D. (2004) Escaping the tower of Babel: a paradigm shift from discontinuity- to surface-bounded stratigraphic units. *32nd IGC Florence*, vol. DWO 04-4, p. 1502.
- _____ (2005) Free Market Theory and Sequence Stratigraphy. *AAPG Hedberg Research Conference: Sequence Stratigraphic and Allostratigraphic Principles and Concepts*, p. 22.
- Easton, R. M., J. O. Jones, A. C. Lenz, I. Ferrusquía-Villafranca, E. A. Mancini, B. R. Wardlaw, L. E. Edwards, and B. R. Pratt (2005) North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. *AAPG Bull.*, vol. 89, p. 1459-1464.
- Edwards, L. E. (2004) The classification of unconformity/discontinuity-bounded units. *32nd IGC Florence*, vol. DWO 04-11, p. 1504.
- _____ (2005) Allostratigraphic principles and concepts. *AAPG Hedberg Research Conference: Sequence Stratigraphic and Allostratigraphic Principles and Concepts*, p. 23.
- Embry, A. (2004) Why unconformity-bounded units are impractical. *32nd IGC Florence*, vol. DWO 04-5, p. 1502.
- _____ (2008) Practical sequence stratigraphy II. Historical development of the Discipline: The first 200 years (1788-1988). *Reservoir*, vol. 35, No. 6, p. 35-40.
- Emery, D. and K. Myers (1996) *Sequence Stratigraphy*, Oxford: Blackwell Science, 297pp.
- 福田 理 (1981) ISSC ニュース不整合で境された単元 (Unconformity-bounded units) —ISSC の Circular No. 61 から—。地質ニュース, vol. 326, p. 22-27.
- Galloway, W. E. (1989) Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *AAPG Bull.*, vol. 73, p. 125-142.
- Gong, Y.-M., H.-F. Yin, K.-X. Zhang, Y.-Sh. Du, Q.-L. Feng, X.-L. Lai, Sh.-Ch. Xie, J.-N. Tong, S.-Zh. Gu, X.-Y. Shi, E. A. Weldon, G. R. Shi, and X.-P. Ma (2004) Simplifying the stratigraphy of time: comment. *Geology*, vol. Online Forum, p. e59.
- Haq, B. U., J. Hardenbol, and P. R. Vail (1987) Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, vol. 235, p. 1156-1167.
- _____ (1988) Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. W. Posamentier, C. A. Ross, and J. C. Van Wagoner (eds.) *Sea-level Changes: An Integrated Approach*: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), p. 71-108.
- Heckert, A. B. and S. G. Lucas (2004) Simplifying the stratigraphy of time: COMMENT. *Geology*, vol. Online Forum.
- Marlow, M. S., P. E. Hart, P. R. Carlson, J. R. Childs, D. M. Mann, R. J. Anima, and R. E. Kayen (1996) Misinterpretation of lateral acoustic variations on high-resolution seismic reflection profiles as fault offsets of Holocene bay mud beneath the southern part of San Francisco Bay, California. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 13, p. 341-348.
- Mitchum, R. M., P. R. Vail, and S. Thompson III (1977) Seismic stratigraphy and global changes of sea-level: part 2. The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In C. E. Payton ed. *Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration*. : AAPG Mem. no. 26, p. 53-62.
- Murphy, M. A. and A. Salvador (1999) International Stratigraphic Guide — Anabridged version. *Episodes*, vol. 22, No. 4, p. 255-271.
- 日本地質学会 (編) (2001) 国際層序ガイド: 層序区分・用語法・手順へのガイド, 共立出版, 238pp.
- 日本地質学会 (2001) 日本地質学会地層命名の指針. 国際層序ガイド: 層序区分・用語法・手順へのガイド, p. 218-222.
- Payton, C. E. ed. (1977) *Seismic Stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration*, No. 26: AAPG Mem. no. 26, 516pp.
- Posamentier, H. W. and G. P. Allen (1999) *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications*. In, *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, no. 7, No. 7: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), 210pp.
- Posamentier, H. W., M. T. Jervey, and P. R. Vail (1988) Eustatic controls on clastic Integrated Approach I: conceptual framework. In C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H. W. Posamentier, C. A. Ross,

- and J. C. Van Wagoner (eds.) *Sea-level Changes: An Integrated Approach*: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), p. 110-124.
- 嵯峨山 積 (2006) 北海道十勝の湧洞沼沖から採取されたシルト岩の年代と対比. 北海道道立地質研究所報告, vol. 77, p. 83-86.
- 酒井哲弥・斎藤文紀・増田富士雄 (1995) シーケンス層序学入門. 地質学論集, vol. 45, p. 1-14.
- Salvador, A. and ISSC (eds.) (1994) *International stratigraphic guide - A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure.*, 2nd edition.
- 指田勝男・堀常東 (2000) 八溝山地の中生界とユニット区分. 地質学論集 55, ジュラ紀付加体の起源と形成過程, 日本地質学会, p. 99-106.
- 新エネルギー総合開発機構 (1988) 昭和 62 年度 石炭資源開発基礎調査釧路沖地域海上試錐 (62 釧 2 号) 報告書, 新エネルギー総合開発機構 (NEDO), 23p.
- _____ (1989) 昭和 63 年度 石炭資源開発基礎調査釧路沖地域海上試錐 (63 釧 3 号) 報告書, 新エネルギー総合開発機構 (NEDO), 21p.
- Sloss, L. L. (1963) Sequences in the cratonic interior of North America. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 74, p. 93-113.
- Sloss, L. L., W. C. Krumbein, and E. C. Dapples (1949) Intergrated facies analysis. In C. R. Longwell ed. *Sedimentary facies in geologic history*: Geol. Soc. Amer. Mem. no. 39, p. 91-123.
- 徳橋秀一 (2007) "turbidity current" と "turbidite" の用語をめぐる混乱を如何に克服するか: これらの用語の定義に関する歴史的考察. 石油技術協会誌, vol. 72, p. 1-18.
- 辻野 匠 (印刷中 a) 釧路沖海底地質図, 産総研地質調査総合センター.
- _____ (印刷中 b) 落石岬沖海底地質図, 産総研地質調査総合センター.
- Vail, P. R. (1987) Seismic Stratigraphy interpretation procedure. In A. W. Bally ed. *Atlas of Seismic Stratigraphy*: AAPG, p. 1-10.
- Van Wagoner, J. C. (1995) Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy. In J. C. Van Wagoner and G. T. Bertram (eds.) *Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits: Outcrop and Subsurface Examples from the Cretaceous of North America.*: AAPG Mem. no. 64, p. i-xxi.
- Van Wagoner, J. C., R. M. Mitchum, H. W. Posamentier, and P. R. Vail (1987) Key definitions of sequence stratigraphy. In A. W. Bally ed. *Atlas of Seismic Stratigraphy*: AAPG, p. 11-14.
- Veeken, P. C. H. (2007) *Seismic stratigraphy, basin analysis and reservoir characterisation*: Elsevier, 509pp.
- Wheeler, H. E. (1958) Time-stratigraphy. *AAPG Bull.*, vol. 42, p. 1047-1063.
- _____ (1959a) Note 24 of American Commission of Stratigraphic Nomenclature: Unconformity-bounded units in stratigraphy. *AAPG Bull.*, vol. 43, p. 1975-1977.
- _____ (1959b) Stratigraphic units in space and time. *Amer. Jour. Sci.*, vol. 257, p. 692-706.
- 柳沢幸夫・小林巖雄・立石雅昭・茅原一也・加藤碩一 (1986) 5 万分の 1 地質図幅「小千谷」及び説明書, 地質調査所, 177pp.
- Zalasiewicz, J., A. Smith, P. Brenchley, J. Evans, R. Knox, N. Riley, A. Gale, F. J. Gregory, A. Rushton, P. Gibbard, S. Hesselbo, J. Marshall, M. Oates, P. Rawson, and N. Trewin (2004a) Simplifying the stratigraphy of time. *Geology*, vol. 32, p. 1-4.
- _____ (2004b) Simplifying the stratigraphy of time: reply. *Geology*, vol. Online Forum, p. e61.

(受付: 2009年9月28日; 受理: 2010年3月26日)