

海水準変動と堆積作用：シーケンス層序学序論

徳橋 秀 一¹⁾

1. はじめに

近年, 石油地質学・層序学・堆積学などの分野では, シーケンス層序学(Sequence Stratigraphy)なる用語が盛んに用いられ, それに関連したシンポジウムが世界各地で催されている。シーケンス層序学は, Peter R. Vail を中心とするエクソン(Exxon Production Research Co.: EPR)グループによって発展させられた震探層序学(Seismic Stratigraphy)を, 同グループを中心に更に発展させた新しい層序学の概念である。

シーケンス層序学は, エクソン・カーブ(正式には, エクソン・グローバル・サイクル・チャート; Exxon Global Cycle Chart)と呼ばれる顕生代以降の海水準変動曲線を背景ないし軸として, 地層の生成過程を, 過去何億年と続けられてきた上昇と下降という海水準のサイクルとの関連を特に重視して体系的に把握ないし解釈していこうとする論理的・演繹的・予測的な学問体系, あるいは, 成因的・解釈的な色彩の強い学問体系であるといえる。地層の形成には, 堆積盆の沈降と堆積物の供給のほかには海水準の変動が深く関わっており, 海水準の変動(サイクル)を中心にすえて地層の成因を解釈するとき, そこに新しい層序学が生まれる, というのがシーケンス層序学の立場である。

シーケンス層序学がもたらした波及効果で特筆すべきものの一つは, これまでは異なる専門分野として別々に行われてきた地表地質学, 地下地質学(坑井地質学), 微古生物学, 物理探査学(地震探鉱学)等の専門家に, 共通の用語と問題意識をもたらしたことである。今日シーケンス層序学の導入によって, 対象と手法を異にしてきた専門家たちが, お互いに共通の用語と問題意識をもって議論できるようになったといえる。このような現象は, 震探層序学

の段階ではまだ認められていなかった現象である。このようにシーケンス層序学は, 新しい地層の見方, いわば地層の解釈に新しいマニュアルを提供しているのであり, マニュアル好きといわれるアメリカ人から生まれた, とてもアメリカ的(!?)な学問手法であるという印象が強い。

ここでは, エクソングループによって発展させられたシーケンス層序学の基礎的な概念と用語を中心に説明を加えることにする。それは, 近年, 石油地質学・層序学・堆積学の分野では, シーケンス層序学的観点からの研究発表や論文が多くなりつつあり, シーケンス層序学の基礎的な概念と用語への理解なくしては, これらの分野での最近の発展・動向を把握する上で大きな障害となると思われるからであり, またなによりも, こうした最近の新しい学問手法のエッセンスをより多くの人に理解していただきたいためである。なお, 海水準変動と炭化水素ポテンシャルとの関連, すなわち, 海水準変動が石油の生成能力にどのような影響をもたらしたかについては, 本特集号の続編で言及する予定である。

2. シーケンス層序学の基礎概念

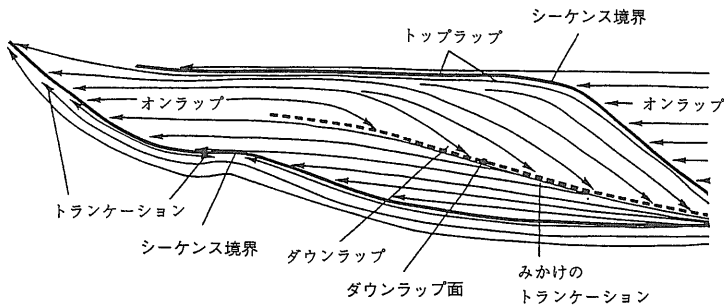
ここでは, エクソン・グループによってまとめられ, シーケンス層序学の概念を説明した最も総括的なテキストとされている SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists) の特集号 (No. 42) である “Sea-Level Changes: An Integrated Approach” (1988) やその後の代表的な論文に基づいて説明する。

2.1 堆積シーケンス

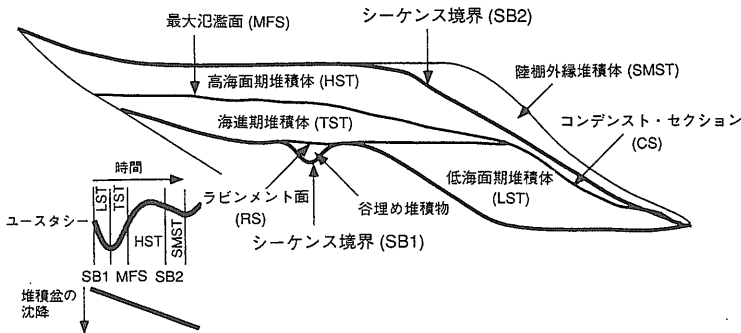
堆積シーケンス (Depositional Sequence) とは, 不整合と不整合によって境される最も基本的な単位

1) 地質調査所 燃料資源部

キーワード：シーケンス層序学, エクソン・カーブ, 海水準変動



第1図
典型的な堆積シーケンスの断面にみられる反射面のパターン。Vail et al. (1991)をもとに改変。詳細は本文参照。



第2図
堆積シーケンスを構成する各種堆積体。詳細は本文参照。

で、典型的ないし単純な場合には、震探断面の記録上に第1図にみられるような内部構造が観察され、その際、反射面(地層の同時面と考えられている)相互の関係を表現するためにいくつかの用語が規定されている。堆積シーケンスは単にシーケンスとよぶこともある。シーケンス層序学では、シーケンスとシーケンスの境界をシーケンス境界(Sequence Boundary; 一般にSBと省略される。以下同じ。)と呼び、不整合及び同じ時期の沖合いの整合層がそれに相当する。

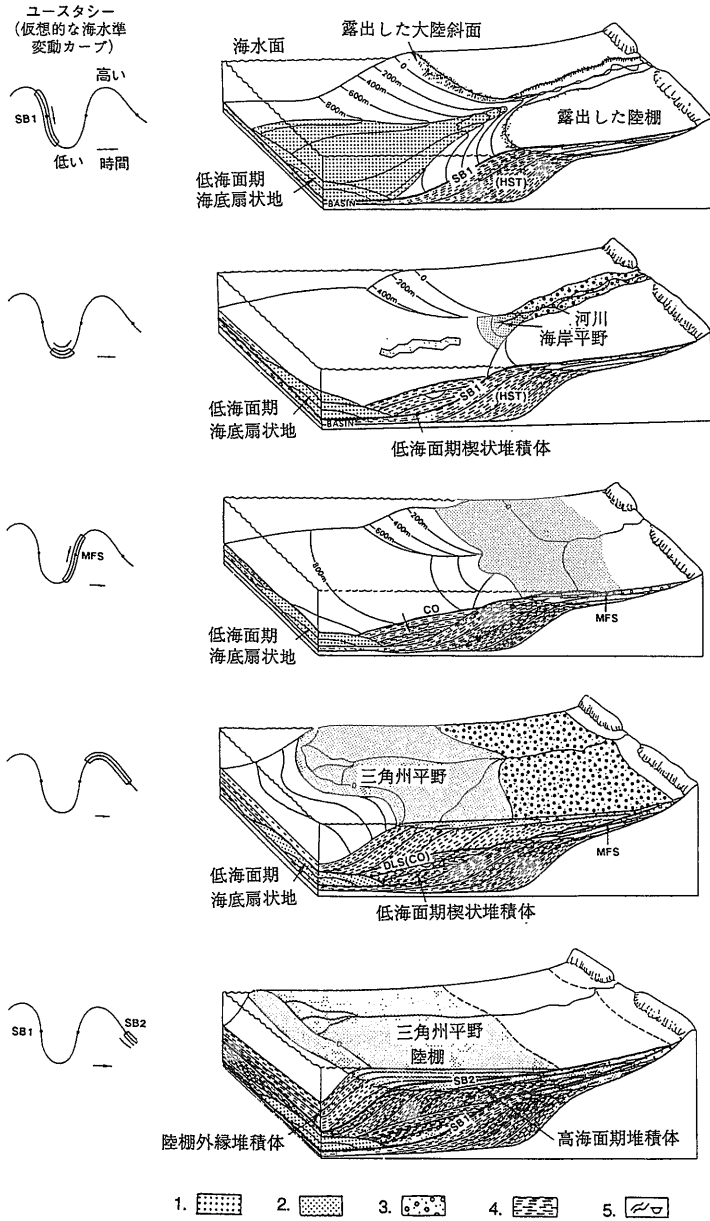
シーケンス境界には、後述するようにタイプ1とタイプ2があり、基底にタイプ1のシーケンス境界(SB1)を有するシーケンスをタイプ1のシーケンス、基底にタイプ2のシーケンス境界(SB2)を有するシーケンスをタイプ2のシーケンスといい、両者の内部構造には違いが認められる。シーケンス境界は、第1図に示されるように、反射面の上端が上位の面によって削られるように消滅するトランケーション(Truncation)や、下位のななめの面にぶつかるようにして反射面が消滅していくオンラップ(Onlap)の存在によって特徴づけられる。これらは、浸食による不整合面の形成や不整合面上への堆積作用と堆積領域の陸域方向への拡大をそれぞれ表しているものと思われる。

一方、反射面の下端が下位の面にぶつかるようにして消滅する現象をダウンラップ(Downlap)といい、そのときの下位の面をダウンラップ面(Downlap Surface)という。ダウンラップ面の認識は、相対的な海水準のサイクルが、海進期から高海面期への転換を意味すると考えられていること、すなわち、次に出てくる海進期堆積体と高海面期堆積体との境界をなすこと、また後述するコンデンスト・セクションの層準とはほぼ一致すること、などにより大変重要である。

2.2 堆積体

さて、一定量の堆積盆の沈降と堆積物の供給がなされているときに、海水準(ユースタシー)がサイクルを描いて変動すると、そのサイクルのステージに対応した特徴的な堆積体(Systems Tract)が形成される(第2図・第3図)。ここでは第2図・第3図に従って、シーケンスの形成過程をもう少し具体的に検討してみよう。

海水面が堆積盆の沈降速度よりもより速い速度で低下するとき、浅海陸棚域は広く露出し、河川や沖積谷(Incised Valley)の発達によって、そこに不整合面、すなわちシーケンス境界が形成される。このような場合に形成される比較的規模の大きな不整合



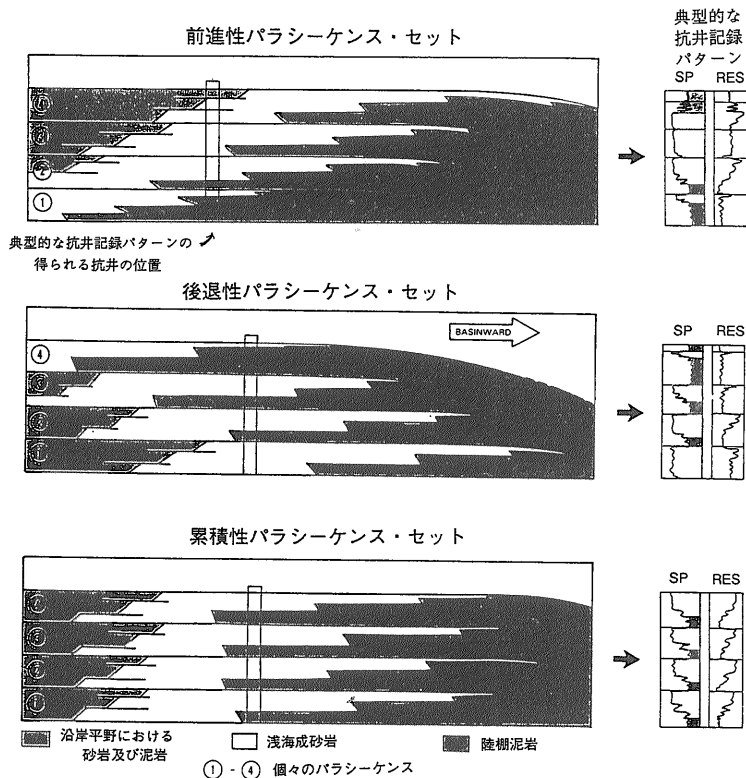
第3図

海水準変動にもなる各堆積体・境界面の形成過程. Posamentier et al. (1988)をもとに改変. 詳細は本文参照. 1.海底扇状地堆積相, 2.海岸平野及び沿岸堆積相, 3.河川堆積相, 4.沖合海成堆積相, 5.チャネル及び自然堤防堆積相. SB1:タイプ1のシーケンス境界, SB2:タイプ2のシーケンス境界, HST:高海面期堆積体, CO:コンデンススト・セクション, MFS:最大氾濫面, DLS:ダウンラップ面.

面をタイプ1のシーケンス境界(通常SB1と表現する)という. この海面の低下速度が最も大きいときには, もとの陸棚斜面には, 活発な混濁流の活動によって海底谷(Submarine Canyon)が形成されるとともに, 堆積盆底には, 低海面期海底扇状地(Lowstand Fan; LSF)が発達する. 次に海水準が最も低い時期には, もとの陸棚斜面の沖側を覆うように前進的堆積作用(Progradation)が起こり, 低海面期楔状堆積体(Lowstand Wedge; LSW)が形成されると

いう. これらLSFとLSWを併せて, 低海面期堆積体(Lowstand Systems Tract; LST)とよぶ.

次に, 海水面が急速に上昇する時期には, 陸側にオンラップしていく海進期堆積体(Transgressive Systems Tract; TST)が形成される. また, 海進によって最初に広がった氾濫面(First Flooding Surface)を海進面(Transgressive Surface; TS)とよぶのに対して, 海進期堆積体の頂面をなす最大海進期の氾濫面を最大氾濫面(Maximum Flooding Sur-



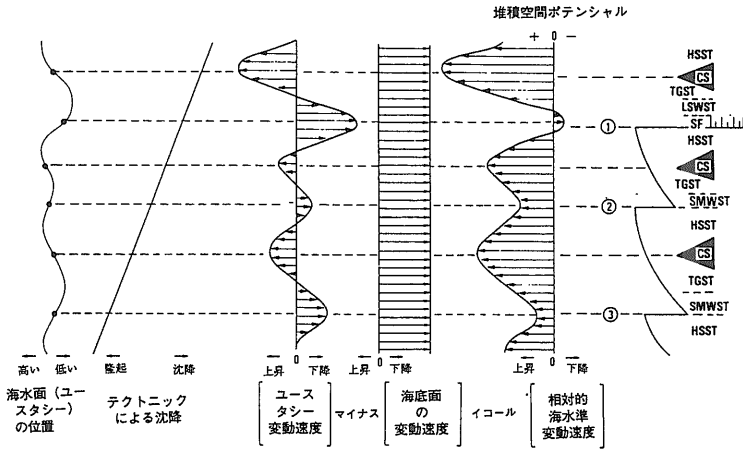
第4図
パラシーケンス・セットにみられる
3つの累重様式. Van Wagoner et al.
(1988)をもとに改変. SP:自然電位.
RES:比抵抗.

face; MFS)とよぶ。海水準が最も高く安定しているときには、最大氾濫面のうえにダウンラップしながら、すなわち、堆積物が沖合いに前進しながら堆積して、高海面期堆積体(Highstand Systems Tract; HST)が形成される。したがって、最大氾濫面は、第1図のダウンラップ面(Downlap Surface; DLS)とほぼ一致していることになる。また、最大氾濫面付近では、堆積速度が最も遅くなることから、そこには、コンデンスド・セクション(Condensed Section; CSもしくはCO)が形成される。

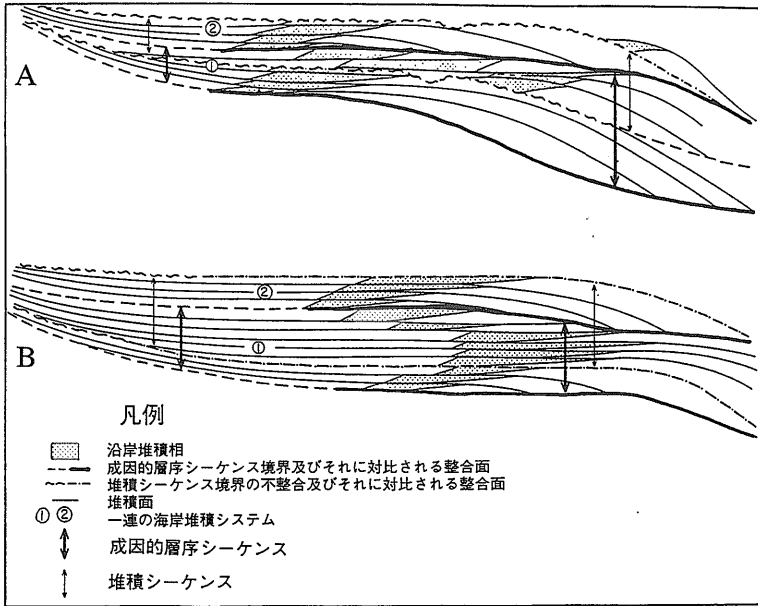
次に、海水準が再び低下し始めるとき、その低下速度が堆積盆の沈降速度より遅い場合には、浅海陸棚の一部のみが露出し侵食されて、再度不整合面、すなわちシーケンス境界が形成される。このような場合に形成される比較的規模の小さな不整合面をタイプ2のシーケンス境界(通常SB2と表現する)という。この場合には、陸棚外縁から斜面域にかけて陸棚外縁堆積体(Shelf Margin Systems Tract; SMST)が形成されるという(Posamentier et al., 1988)。

2.3 パラシーケンスとパラシーケンス・セット

シーケンスの内部に、堆積物やウェルログ(抗井記録)のパターンの特徴から、海面が急激に上昇したと思われる面が認められることがある。このような面を海氾濫面(Marine Flooding Surface)とよび、ある海氾濫面と次の海氾濫面との間に挟まれた成因的に一連の堆積物のことを、パラシーケンス(Parasequence)とよぶ。このパラシーケンスの重なり方は、堆積物の供給量(堆積速度: Rate of Deposition)と堆積空間の増大率(Rate of Accommodation)との比によって3通り存在し、その場合同じ様式で積み重なる一組のセットをパラシーケンス・セットとよぶ(Van Wagoner et al., 1988)。すなわち、前者と後者の比が1より大きい場合の前進性パラシーケンス・セット(Progradational Parasequence Set)、前者と後者の比が1より小さい場合の後退性パラシーケンス・セット(Retrogradational Parasequence Set)、及び、前者と後者の比がほぼ等しい場合の累積性パラシーケンス・セット(Aggradational Parasequence Set)の3つである(第4



第5図
海水準変動とシーケンス境界及びコン
デンスト面との関係. Loutit et al.
(1988)をもとに改変. ○数字は、シ
ーケンス境界の層準. CS:コンデ
ンスト・セクション, HSST:高海面期
堆積体, SMWST:陸棚外縁楔状堆積
体, TGST:海進期堆積体, SF:海底
扇状地, LSWST:低海面期堆積体.



第6図
堆積シーケンスと成因的層序シーケ
ンス相互の関係. Galloway (1989)をも
とに改変. A, Bは、それぞれタイ
プ1, タイプ2の堆積シーケンスの場
合.

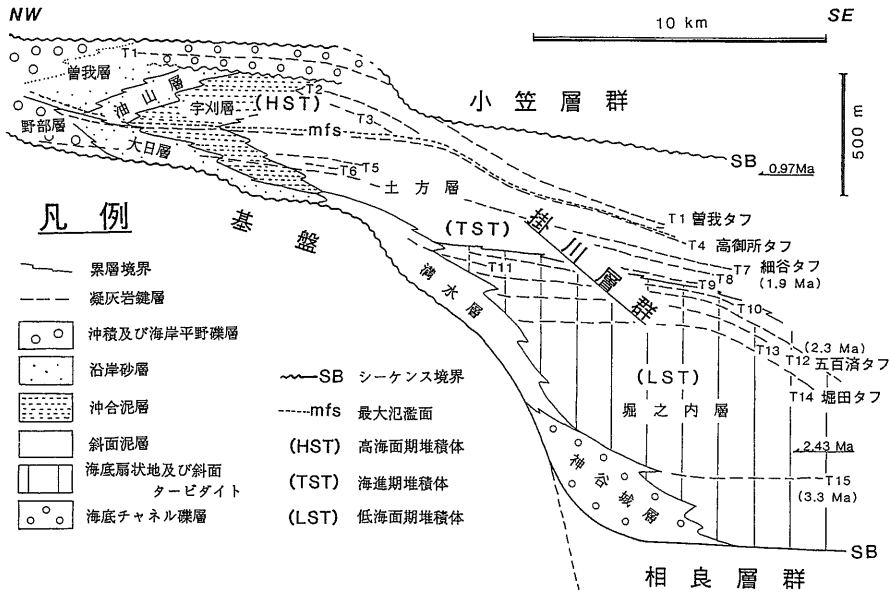
図). パラシーケンス・セットの境界は、主要な海
汎濫面 (Major Marine-Flooding Surface) であり、
場合によっては、シーケンスの境界、あるいは、ダ
ウンラップ面や最大汎濫面、あるいは、堆積体と堆
積体の境界と一致する (第2図).

2.4 コンデンスト・セクション

最大海進期の前後の時期には、沖合いでの堆積速
度が非常に小さくなることから、この時期に形成さ
れた堆積物のことを、コンデンスト・セクション
(Condensed Section)とよぶことについては、既に
指摘した(第2図・第3図). このコンデンスト・
セクションは、シーケンス層序学における重要な概

念の一つであることから、その形成される時期及び
堆積物の特徴について、ここでもう少し詳しく説明
する.

まず、シーケンス境界やコンデンスト・セクシ
ョンが形成される時期について、第5図をもとに説
明しよう. 一定の速度で堆積盆が沈降している条件
で、ユースタティックな海水準が周期的に昇降を繰
り返しているとき、不整合すなわちシーケンス境界
が形成されるのは、相対的な海水準変動が最も低下
した時期ではなく、もっとも速く低下しているとき、
すなわち、低下速度が最大の時期である. 一方、
堆積速度が遅いことによって形成されるコンデ
ンスト・セクションは、海水準が最も高いときでは



第7図 掛川層群におけるシーケンス層序学的解釈適用例. Masuda & Ishibashi (1991)をもとに改変.

なく、海水準の上昇速度が最大の時期を中心に形成されるというのが、シーケンス層序学の考え方である。すなわち重要なのは、海水準の相対的な高さそのものではなく、その変化速度(微分値)の大きさであるというところが、シーケンス層序学の考え方の重要な特徴の一つである(Loutit et al., 1988)。

コンデンススト・セクションは、堆積速度の小さい、あるいはハイエイタス(無堆積)に近い状態で形成され、連続はするが薄くて生痕のよく発達したやや固結した面、あるいは完全に硬化した底面として現れることが多い。コンデンススト・セクションはまた、浮遊生および底生微化石群集の種類及び量が豊富であること、自生鉱物(グロコナイト、フォスフォライト、シドライトなど)、有機物、ペントナイトなどの濃集、さらには、イリジウムといったプラチナ元素に富んでいる可能性も高い。大部分の大洋底の堆積物は、堆積速度が1 cm/1,000年以下と小さいが、ここでは陸に近い大陸縁辺部の堆積物に対して用いている(Loutit et al., 1988)。

コンデンススト・セクションは、震探記録上でも、ウエルログ上でも、また野外の露頭においても、比較的認識しやすいとされる上に、陸棚外縁付近から陸側の浅海域まで追跡可能であるということから、浅海域と深海域との対比手段としても大変重要であるとされる(Loutit et al., 1988)。特に Gallo-

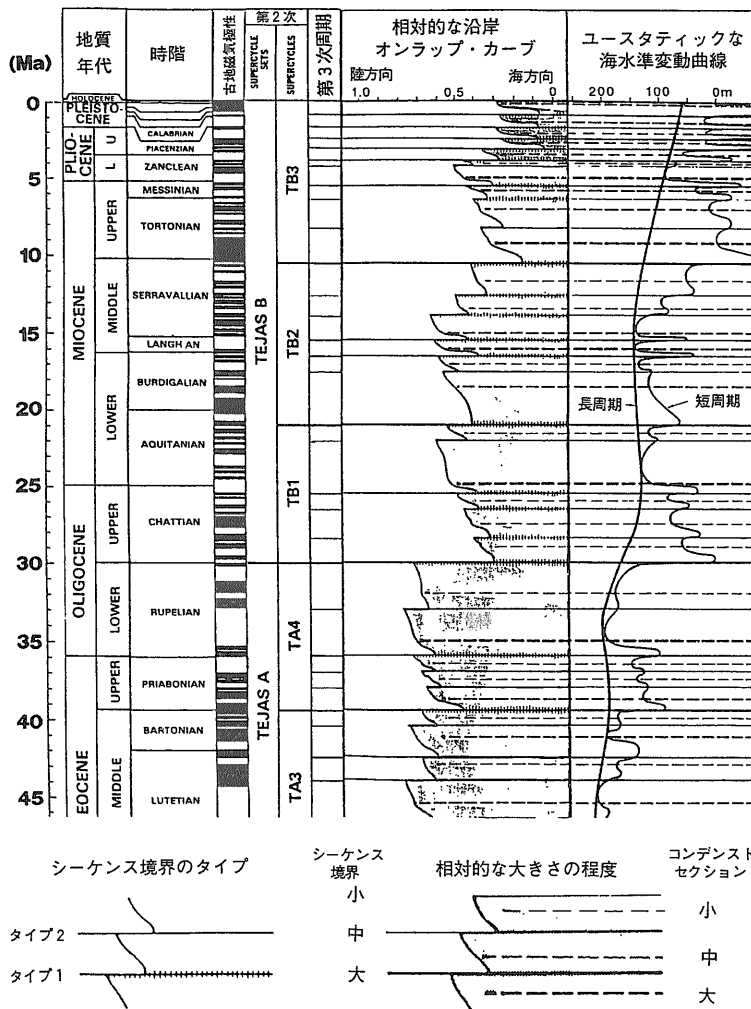
way (1989) の場合は、コンデンススト・セクションの発達する最大氾濫面をシーケンスの境界とする別の定義をもったシーケンスを提案し、それを成因的層序シーケンス(Genetic Stratigraphic Sequence)と名づけている(第6図)。

2.5 実際の地層への適用例

以上、シーケンス層序学の基礎概念について紹介してきたが、最後に、日本の実際の地層、すなわち、静岡県南部に分布する鮮新-更新統掛川層群に適用された例を第7図に示す(Masuda & Ishibashi, 1991)。ここでは、西部の基盤の高まりに比較的薄い陸棚堆積物が、一方、基盤の低い東部域には堆積盆底から陸棚斜面域の堆積物が厚く分布していること、そしてこれらの堆積物中には、良い鍵層となる多くの凝灰岩層が挟在していることが古くから知られている。いま、これらの凝灰岩鍵層の層準的位置を岩相とともに正確に組み合わせて地質断面を描くと、震探の記録断面を基に、第1図や第2図に示されたシーケンスの模式断面と非常によく似た断面が得られることがわかる。すなわちここでは、凝灰岩鍵層が震探断面上の反射面と同じような役割を果たしていて、凝灰岩鍵層を用いることによって、オンラップやダウンラップの関係を地表でも確かめることができるというわけである。掛川層群の場合に

第1表 海水準変動曲線にみられる階層性. Vail et al. (1991)及び Miall (1990)より編集.

オーダー	期間		予想原因
	Vail, et al. (1991)	Miall (1990)	
第1次	50 Ma+	200 - 400 Ma	超大陸の形成と分裂
第2次	3 - 50 Ma	10 - 100 Ma	主要な中央盆大海嶺における容積の変化
第3次	0.5 - 3 Ma	1 - 10 Ma	水河の消長もしくはプレート内応力変化
第4次	0.08 - 0.5 Ma	0.2 - 0.5 Ma	氷河性海水準変動 (ミランコビッチ・サイクル)
第5次	0.03 - 0.08 Ma	0.01 - 0.2 Ma	
第6次	0.01 - 0.03 Ma		



第8図 4500万年以降のエクソン・カーブ. Vail et al. (1991)をもとに改変. 詳細は本文参照.

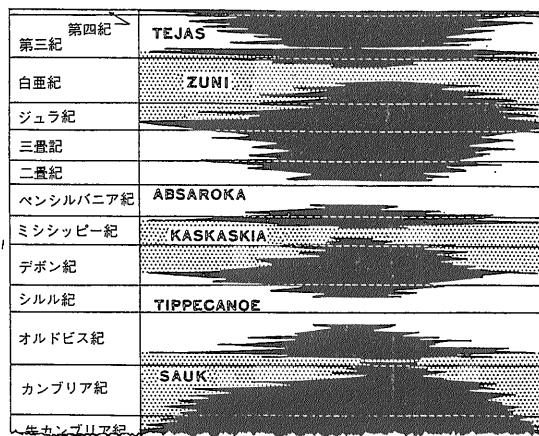
は、今から約3.3 Ma 前後から1.0 Ma 前後(Ma: 百万年)の間の世界的な海水準変動に対応して形成されたものと考えられている(第7図)。

3. エクソン・カーブとサイクルの階層性

エクソン・グループは、海水準変動にみられるサイクルの周期の時間的大きさによって、第1次から第6次までのサイクルの存在を認めている(第1表)。そして、それらのサイクルが起きる原因としては、第1次・第2次といった大きいオーダーのサイクルの場合には、超大陸の形成と分裂や海洋底の中央海嶺の拡大速度が関係した中央海嶺の容積の変化、すなわち、海洋底の形態や深さといった海洋堆積盆の容量が関係したテクトニックに由来する海水準変動(Tectono-Eustasy)であるのに対して、より小さい第3次から第6次のオーダーのサイクルの場合には、気候変動特に大陸氷河の消長による海水の量の変化が関係した氷河性海水準変動(Glacio-Eustasy)であると考えられている(Vail et al., 1991)。これに対して Miall (1990)は、第1次から第5次のオーダーに区分するとともに、第3次オーダーのサイクルについては、テクトニックな成因の可能性を重視している(第1表)。

エクソン・カーブ(別名ヴェイル・カーブとかハク・カーブとも呼ばれる)では、周期の大きい第1次オーダーのサイクル(メガサイクル及びメガサイクル・セット)、及び第2次オーダーのサイクル(スーパーサイクル及びスーパーサイクル・セット)については、古生代以降、すなわち、顕生代を通して描かれている。一方、第3次オーダーのサイクルについては、中生代及び新生代について描かれている。第3次オーダーのサイクルは、上下をシーケンス境界に挟まれた堆積シーケンスに対応した最も基本的なサイクルである。第2次オーダーのサイクルは、この第3次のサイクルをいくつかまとめたもので、スーパーサイクルやスーパーサイクル・セットとよばれるものに相当する。

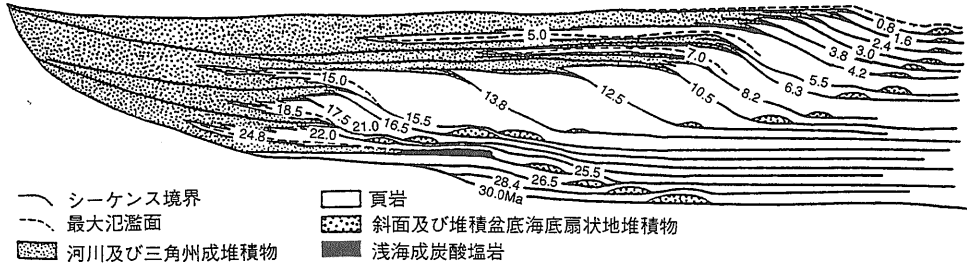
第8図に、4,500万年以降の海水準変動曲線を示す。この図は、Exxon Global Cycle Chartの一部を筆者が簡略化して表現したものである。この図で長周期と名づけられている曲線が第1次オーダーのサイクルに相当し、短周期と書かれた曲線が第



第9図 北米大陸に発達する6つのシーケンス。Sloss (1963)をもとに改変。黒色部は無堆積期を示す。各シーケンスの名前(TEJASなど)は、インディアンの種族名に由来。この名前が、エクソン・カーブの第1次オーダーのサイクルの名称に用いられている(第8図参照)。

2次及び第3次の曲線に相当する。第1次オーダーのサイクル(メガサイクル)には、新しい方から TEJAS, ZUNI, ABSAROKA といった名前がつけられている。これらの名前は、L. L. Sloss (1963)が北米大陸に広く発達する顕生代以降の6つのシーケンスに対して名づけた名称に由来しているが(第9図)、もともとはインディアンの種族名からとったものであるという。Slossは、P. Vailが大学院時代を過ごしたノースウエスタン大学(Northwestern University)における指導教授の一人で、Vailに最も大きな学問的影響を与えた人物とされていることから、尊敬するSlossが先に命名した名称をエクソン・カーブの第1次オーダーのサイクル名にも残したものである。

第8図では、第2次オーダーのスーパーサイクル・セット及びスーパーサイクルには、これらの名称を冠した細分名によって、いつの時代のサイクルか区別できるようになっている。またこの海水準変動曲線には、第3次オーダーの境界を示すシーケンス境界が実線で、また、それぞれのシーケンスのコンデンスト・セクションの位置が破線で示されている。さらに線の太さによって、シーケンス境界やコンデンスト・セクションの大きさ・重要性の程度が表現されている。



第10図 約3000万年以降(第8図のTEJAS B期)に安定大陸縁部で形成された堆積シーケンスの模式的発達様式。Vail et al. (1991)をもとに改変。第8図と比較することによって、安定大陸縁部における地層の発達様式と海水準変動曲線との関係を検討することができる。

次に第10図は、後期漸新世以降(第8図の Supercycle Set の Tejas B にほぼ相当)のシーケンスの発達状況を模式的に描いたものである(Vail et al., 1991)。この図と第8図を比較することによって、エクソン・カーブ上のユースタティックな海水準変動曲線と実際の地層の発達状況や累積様式との関係がどのようなものであるのかを、定性的にはあるが、類推することができよう。

既に指摘しているように、第3次オーダーのサイクルは、シーケンス層序学の最も基本となる単位であり、その周期は、エクソグループによると0.5-3.0 Maであるとされている(第1表)。したがって、第4次及び第5次のオーダーのサイクルは、堆積シーケンスのなかのパラシーケンスやパラシーケンス・セットに相当しているかもしれない。特に周期的なパラシーケンスの形成は、ミランコビッチ・サイクル(Milankovitch's Cycles; 周期は50万年以下)に対応した気候変動・海水準変動(Glacio-Eustasy)によるものと考えられている(Vail et al., 1991)。一方、シーケンスやパラシーケンス、パラシーケンス・セットなどの定義そのものには、特定の周期や時間というものは含まれない(Van Wagoner et al., 1988)。したがって、どのオーダーのサイクルが堆積シーケンスに相当するかは、最終的にはその地域・堆積盆の沈降速度や堆積物の供給量(堆積速度)との関係で決ってくるといえる。すなわち、第4次や第5次といった高次の堆積シーケンスも存在するのであって、このようなシーケンスに対しては、高分解能シーケンス(High Resolution Sequence)や高周期シーケンス(High Frequency Sequence)といった名前がつけられている(Miall, 1990; Mitchum and Van Wagoner, 1991)。

4. あとがき

シーケンス層序学は、相対的な海水準変動の解析を軸にした新しい層序学であり、現在世界の石油地質学、堆積学、層序学などの分野でシーケンス層序学的な観点から活発な議論がなされていることから、ここでは、その基本的な概念を中心に紹介した。なおはじめにも指摘したように、海水準変動と炭化水素ポテンシャルとの関連、すなわち、海水準変動が石油の生成能力にどのような影響をもたらしたかについては、そのさわりを本特集号の続編で言及する予定である。

日本語による解説やレビューによって、シーケンス層序学に対する理解をさらに深めたい人には、安藤(1990)、伊藤(1990)、保柳・西村(1992)、小椋ほか(1993)、増田(1993)、荒戸(1993, 1994a,b)、増田・徳橋(1994)、保柳ほか(1994)などを参照されることをお勧めしたい。シーケンス層序学を対象とした特集号としては、堆積学研究会報のNo. 36(1992年5月)の「Sequence Stratigraphy」や石油技術協会誌 vol. 59, no. 1(1994年1月)の「シーケンス層序学: その可能性を求めて」がある。また近々日本地質学会から、斎藤文紀・保柳康一・伊藤慎編著地質学論集(No. 45)「シーケンス層序学: 新しい地層観を目指して」が刊行される予定である。基礎と具体的な研究成果をまとめて勉強したい場合には、これらの特集号を読まれることをお勧めしたい。

次に、シーケンス層序学の基礎に関する英語の文献としては、本文中で引用したものを含めこれまでに数多く出版されている。特に基本となるのは、エクソン・グループによってシーケンス層序学の理論

の根拠と基礎概念を多面的に展開し、シーケンス層序学のバイブルともいえる SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists) の Special Publication No. 42 (1988) の “Sea-Level Changes: An Integrated Approach” (407 pages) であろう。

この本には、付録として、中生代と新生代のエクソン・カーブ (Mesozoic-Cenozoic Cycle Chart) がついている。また、最近の研究成果をまとめた論文集としては、IAS (International Association of Sedimentologists) Special Publication No. 12 (1991) の “Sedimentation, Tectonics and Eustasy: Sea-level Changes at Active Margins” (518 pages), 同じく No. 18 (1993年) の “Sequence Stratigraphy and Facies Associations” (644 pages) や AAPG (American Association of Petroleum Geologists) Memoir 58 (1993) の “Siliciclastic Sequence Stratigraphy: Recent Developments and Applications” (492 pages) などがある。また、G. Einsele, W. Ricken, and A. Seilacher 編 (1991) による “Cycles and events in stratigraphy” (Springer-Verlag, 955 p.) にも、関連する基本的な論文が多く含まれている。

最後に、粗稿に眼を通していただき貴重なご意見をいただいた、燃料資源部の渡部芳夫氏と編集委員会にお礼を申し上げる次第です。

引用文献

- 安藤寿男 (1990): 堆積シーケンスとその境界の認定と意義. 地学雑誌, **99**, 247-262.
- 荒戸裕之 (1993): シーケンス層序学と石油の探鉱 (その 1: 概観). 石油の開発と備蓄, 26-6, 97-114.
- 荒戸裕之 (1994a): シーケンス層序学と石油の探鉱 (その 2: 解析手法). 石油の開発と備蓄, 27-1, 86-104.
- 荒戸裕之 (1994b): シーケンス層序学と石油の探鉱 (その 3: 展望). 石油の開発と備蓄, 27-2, 58-82.
- Galloway, W. E. (1989): Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units. AAPG Bull., **73**, 125-142.
- 保柳康一・西村瑞恵 (1992): シーケンス層序学—基本概念とその可能性—(その 1) 基本概念. 地球科学, **46**, 169-176.
- 保柳康一・西村瑞恵・高野 修 (1994): シーケンス層序学—基本概念とその可能性—(その 2) 堆積地質学への応用. 地球科学, **48**, 159-170.
- 伊藤 慎 (1990): 海水準変動と堆積相. 大原 隆・西田 孝編: 地球環境の変容, 朝倉書店, 62-73.
- Loutit, T. S., Hardenbol, J., Vail, P. R. and Baum, G. R. (1988): Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. SEPM, Spec. Pub. 42, 183-213.
- 増田富士雄 (1993): シーケンス層序学: 我が国における陸域地質への適用例. 石技協誌, **58**, 292-310.
- Masuda, F. and Ishibashi, M. (1991): Onlap and downlap patterns discovered in a depositional sequence of the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, Japan. Jour. Sed. Soc. Japan, **34**, 75-78.
- 増田富士雄・徳橋秀一 (1994): Sequence stratigraphy: 地層学にもたらした影響と今後への展望. 石技協誌, **59**, 4-17.
- Miall, A. D. (1990): Principles of sedimentary basin analysis. second edition. Springer-Verlag, Berlin, 668 p.
- Mitchum, R. M. and Van Wagoner, J. C. (1991): High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycle. Sed. Geol., **70**, 131-161.
- 小椋伸幸・斎藤雄一・阿久津 亨 (1993): 堆積学的評価技術—シーケンス層序—. 石油技術協会編, 最近の我が国の石油開発. 石油技術協会, 182-208.
- Posamentier, H. W., Jervey, M. T. and Vail, P. R. (1988): Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. SEPM, Spec. Pub. 42, 109-124.
- Sloss, L. L. (1963): Sequences in the cratonic interior of north America. Geol. Soc. Amer. Bull., **74**, 93-114.
- Vail, P. R., Audemard, F., Bowmann, S. A., Eisner, P. N., and Perez-Cruz, C. (1991): Stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. In: G. Einsele, W. Ricken, and A. Seilacher (eds.): Cycles and events in stratigraphy. 617-681. Springer-Verlag, 955 p.
- Van Wagoner, J. C., Posamentier, H. W., Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sarg, J. F., Loutit, T. S. and Hardenbol, J. (1988): An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. SEPM Spec. Pub., **42**, 39-45.
- TOKUHASHI Shuichi (1995): Sea level change and sedimentation-Introduction to sequence stratigraphy.

〈受付: 1994年11月29日〉