論文・報告

アブダビ海域 Neewat Al Ghalan (GA) 油田における
Arab・Hith 層 (ジュラ系) 中の HST と TST
—GA 油田における堆積サイクルと積み重なりパターン—*

石 橋 正 敏**

(Received November 11, 1993; accepted November 24, 1993)

Stacking patterns in the Upper Jurassic barrier shoal-sabkha complex (Arab and
Hith Formations), Neewat Al Ghalan (GA) Field, offshore Abu Dhabi
—Stacking patterns of sedimentary cycles in the
reservoir section of the GA Field—

Masatoshi Ishibashi

Abstract: The depositional sequence in the Upper Jurassic Arab・Hith Formations, which is main reservoir zone of the Neewat Al Ghalan (GA) field, offshore Abu Dhabi, is composed of sabkha-nearshore deposits and divided into two systems tracts (transgressive systems tract (TST) and highstand systems tract (HST)) based on the characteristics of parasequence stacking patterns.

Each parasequence in TST shows a shallowing upward cycle which commences from barrier shoal grainstone and terminates in lagoonal mudstone or sabkha anhydrite. Vertical stacking patterns of these parasequences within TST indicate thinning upward cycle and retrogradational/aggradational pattern.

The parasequences in HST are characterized by a shallowing upward cycle from tidal channel grainstone or lagoonal mudstone to sabkha anhydrite. Stacking patterns of both bedsets parasequences within HST show overall thickening upward cycles and progradational pattern.

The stacking patterns in the depositional sequence reflect various orders of sea level fluctuations. During TST deposition the barrier shoal systems accompanied by shoreface erosion developed in the field. In the succeeding HST deposition, the barrier shoal (strand plain) systems were migrating basinward, and the tidal flat-sabkha systems, in turn, were prograding to the field. These environmental changes due to the sea level fluctuations are considered to have affected the reservoir quality (cementation or dolomitization) of the field.

1. はじめに

当社 (本論ではアブダビ石油株式会社およびそのプロジェクト会社であるムバラス石油株式会社の 2 社を指す) が探鉱を進めてきた Neewat Al Ghalan (以後

GA と略す) 油田は, アラブ首長国連邦の首都アブダビ市の西方沖合約 100km に位置する (Fig. 1)。GA 油田は, 他のアブダビ首長国の多くの油・ガス田同様, 先カンブリア界の岩塩のダイアビル運動によって形成されたと考えられるドーム状の背斜構造に炭化水素が集積したもので, その大きさはクロージャー面積 42.5km², クロージャー高 450ft である。当社は, これまで本油田で 3 本の坑井を掘削し (Fig. 2), 上部ジュラ系 Arab・Hith 層 (Fig. 3) からの出油に成功している。本油田

* 平成 5 年 6 月 11 日, 平成 5 年度石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「シーケンス層序学」にて講演

** アブダビ石油㈱ アブダビ鉱業所

Fig. 1 Locality map

Fig. 2 Well location map

の Arab・Hith 層は、炭酸塩岩と硬石膏の細かい互層から構成されており、このうちの多孔質な炭酸塩岩が貯留層となっている。貯留層は、層厚の薄いものが多いが 30 枚を超える。当油田の貯留岩は、offshore (沖合) から sabkha (サブカ) にいたる堆積物から構成されているので、貯留層の発達状況を考えるためには堆積環境

の変遷を知ることが重要になってくる。今回はその第 1 ステップとして、当油田から採取されたコア (総長 897.5ft) を用いて、GA 油田における堆積環境の時間的変遷を調べてみた。

2. 石油地質概論

アラブ首長国に限らずアラビア湾岸地域の油・ガス田の形成は、Tethys Sea の消長と関係が深い (Nurmi *et al.*, 1992; ほか)。Tethys Sea は、Pangea 大陸が南方の Gondwana 大陸と北方の Laurasia 大陸に分裂したときに成立した広大な浅い海 (Robertson and Dixon, 1984; ほか) で、アラブ首長国周辺ではペルム紀後期～三畳紀に拡大を開始した Neo-Tethys Sea の消長が大きな役割を演じている (Nurmi *et al.*, 1992; ほか)。本地域には Neo-Tethys Sea 拡大以降炭酸塩岩類の卓越する地層が堆積していて (Hassan and Azer, 1985), このうち当社では中部ジュラ系の Izhara 層までの層序を確認している (Fig. 3)。根源岩層準としては Diyab 層 (上部ジュラ系) と、Shilaif 層 (中部白亜系) の 2 層準が考えられており、そこから排出された炭化水素がジュラ系と白亜系の炭酸塩岩に集積している (Fig. 3: Schlumberger, 1981; Alsharhan, 1989; 樋口, 1992; ほか)。GA 油田では、これまでの地化学的研究から隣接する Umm Al-Anber (以下 AR と略す) 油田と同様、Diyab 層から排出された炭化水素が上部ジュラ系の Arab 層に集積したことが明らかになっている (竹崎ら, 1993)。

GA 油田の貯留層となっている Arab 層は、Neo-Tethys Sea の platform 上に堆積したジュラ系の炭

Fig. 3 Generalized stratigraphy

The reservoir rocks of the GA Field are carbonates in the Upper Jurassic Hith and Arab Formations, which are composed of anhydrite, dolomite and limestone.

酸塩岩貯留層の1つで、下位の瀝青質細粒石灰岩の Diyab 層とは整合、上位の硬石膏からなる Hith 層とは一部同時異相の関係にある。Hith 層の硬石膏は西域ほど厚く発達するが、東方にいくにつれ薄くなり、当社ムバラス油田付近で尖滅する。Arab 層の堆積相も Hith 層の層厚から推定されるように西方ほど浅海成堆積相が卓越し、東方にいくほど深い水深の堆積相を示すようになる。さらに東方のインド洋に面したオマーン山脈中には Arab・Hith 層に相当する slope 堆積物が露出している (Toland and Peebles, 1993)。このことから Neo-Tethys Sea の platform の広さを推定してみると、少なくともアラブ首長国連邦の東西の距離 (約 400km) より広い浅い海であったことがわかる。GA 油田から採取されたコア中には offshore から sabkha にいたる5つの主な堆積相が認められている。それらの記載は鈴木・大沢 (1987), 大沢ら (1987) などに詳しいので、ここでは簡単な記載を Table 1 に、代表的なコアの写真を Fig. 4, 5 に示すにとどめる。

Arab 層は、通常 Arab A, Arab B, Arab C, Arab D の4つに区分されることが多い。しかし、アブダビ首長国内の操業会社でも異なった Arab 層の区分を使用しており、統一したものがない。Arab 層の区分については油層の性状に基づいて行っているものが多く、必ずしも marine flooding surface (本論では石油技術協会編の石油地質・探鉱用語集に掲載されていないシーケンス層序学の専門用語はすべて英文表記とする) に一致していない。本論は海水準変動に伴う堆積環境の変遷を明らかにしようとしたもので、各々の油層について言及するものではない。従って、このような区分を本論に用いるのは混乱のもとになるだけであるが、これまで当社が公表してきた Arab 層関係の論文 (鈴木・大沢,

Table 1 Brief description of facies association in the Arab and Hith Formations

Facies Association		Description
Shelf		massive, light gray-olive gray mud/wackestone with medium-grained peloids & bioclasts. well-developed bioturbation. occasionally intercarrelate horizontally laminated very fine-medium grained pack/grainstone beds.
Barrier Shoal		gray-olive gray, low angle laminated fine-small pebble sized pelloidal, locally bioclastic grainstone. coarsening upward cycle. rarely bioturbated.
Lagoon		dark gray-black, massive-faint laminated mudstone rarely interbedded with thin very fine-medium grained wacke/packstone. burrowing.
Tidal Flat	Lower	alternation of mudstone and very fine-fine grained wacke/packstone with wave-ripple, current-ripple and fraser beddings. burrowing. occasionally upward-finining, laminated, fine-coarse grained pack/grainstones appear at the base.
	Upper	tan brown enterolithic mud/boundstone. algal mats flourish at the upper part. vertical burrows are common and increasing with depth. desiccation cracks and fenestral structure are dominant.
Sabkha		chicken-wire and enterolithic anhydrite. occasionally interbedded dolomite layer. poorly sorted grain/packstone with scoured base and mottled brecciated mud/wackestone rarely preserved at the upper part.

1987; 大沢ら, 1987; Kaneda, *et al.*, 1991; 野市・三輪, 1991; 野市, 1993; 竹崎ら, 1993; ほか) との対比を容易にするために図にのみ当社で使用している区分を掲載しておく。

3. GA 油田における Arab・Hith 層中の積み重なりパターン

3.1 GA 油田における Arab・Hith 層中の堆積シーケンス

GA 油田から採取されたコアの岩相は、大きく 2 つに分けられる。生物擾乱作用の発達した mud/wackestone の卓越する下部と、石灰岩、ドロマイト、硬石膏の互層からなる上部の 2 つである (Fig. 6)。上部と下部の境界は、細礫～中礫大の偽礫や貝殻片 (transgres-

sive lag) を伴う侵食面で、barrier shoal 堆積物が下部の shoreface 堆積物を覆っている (Fig. 6 の SB 0, Fig. 4 の B)。この侵食面が当地域で約 150km 以上連続するシーケンス境界で、この境界面を境にして barrier shoal 堆積物が約 40km 沖合に移動したこと (basinward shift in facies) が知られている。今回報告するのはこのシーケンス境界から上位の Arab・Hith 層 (以下この部分の堆積物を Arab・Hith 層中の堆積シーケンスと呼ぶことにする) である。

基本的概念は、炭酸塩岩のシーケンス層序学でも珪酸塩堆積物のシーケンス層序学でも変わらない。ただ、Arab・Hith 層は、広大な platform 上に堆積した地層であるため、海水準変動の影響を受けやすい。そのため、shelf break より下がない海水準変動でも地層中

Fig. 4 Representative sedimentary facies of transgressive systems tract (TST)

A) Parasequence boundary. Barrier shoal deposits overlies on tidal flat deposits with subtle erosion (11,294.5–11,294.9ft in GA-3). B) Sequence boundary. Shoreface deposits was eroded by barrier shoal deposits with transgressive lag (11,321.8–11,322.4ft in GA-1). C) Horizontally/low angle laminated pack/grainstone interbedded with thin mudstone of intertidal deposits. Mudstone layers are disrupted by burrowing (11,071.3–11,072.0ft in GA-2). D) Intertidal deposits disturbed by bioturbation (11,086.6–11,086.9ft in GA-2). E) Low angle laminated grain/packstone of barrier shoal deposits (11,117.1–11,117.8ft in GA-2). Each core is 4 inches (10 centimeters) in width.

に克明に記録されることが多く、その場合 transgressive systems tract (以下 TST と略す) と highstand systems tract (以下 HST と略す) を交互に繰り返す succession が残されることが多くなると考えられる。GA 油田中の堆積シーケンスも第2~4 オーダーの TST と HST の積み重なりから構成されている。

3.2 Marine flooding surface

前述のように、GA 油田の Arab・Hith 層の堆積シーケンスは、非活動縁辺域に広がった広大な platform 上に堆積した堆積物である。当地域のような安定陸塊では火山活動は極めて少ないので、日本でおこなわれているような火山灰を使った時間的・空間的枠組み作りができない。そこで、このような地域では marine flooding surface (以下 MFS と略す) や condensed section を使用して同時間面を認識していくことが特に重要となっ

てくる。

当油田の主要貯留層となっている Arab・Hith 層中の堆積シーケンスは、第3 オーダーの海水準変動で形成された8つの parasequence (以下 PS と略す) から構成されている。これらの PS は細粒堆積物が卓越する PS 4 を境にして TST と HST に分けられる。ここではまず MFS の特徴を systems tract ごとに記す (本論では主に MFS の特徴について述べる。堆積相の詳細な記載は、すでに本誌に優れた論文 (鈴木・大沢, 1987; 大沢ら, 1987) が掲載されているので、そちらを参照して欲しい)。

TST の MFS (Fig. 4 の A)

MFS の下位の地層は、潮間帯に堆積した茶褐色または白色の mud/boundstone で、これを軽微な侵食面を伴って暗灰色の barrier shoal 堆積物が覆っている。

Fig. 5 Representative sedimentary facies of highstand systems tract (HST) in GA-3

A) Marine flooding surface. Tidal channel deposits with transgressive lag (11,171.1–11,172.8ft). B) Subaerial exposure surface. Two subaerial surfaces can be observed in the condensed section and are traceable more than 50 kilometers (11,265.3–11,266.0ft). C) Chicken-wire anhydrite of sabkha deposits (11,141.4–11,142.0ft). D) Algal boundstone of intertidal deposits (11,222.2–11,223.0ft). E) Wave ripple laminated fine-grained grainstone covered with mudstone layer (11,233.6–11,233.8ft). Each core is 4 inches (10 centimeters) in width.

transgressive lag 堆積物はあまりみられない。一般に炭酸塩岩のラグーン堆積物では、水深が浅くなるにつれ酸化作用により堆積物の色が暗灰色から茶褐色になることが知られている (Shinn, 1983)。GA 油田の場合もこの侵食面を境にして突然色が変わっているのと同時に潮間帯から barrier shoal へと深い水深の堆積相に変化していて、ここで海進が起こったことを示している。

HST の MFS (Fig. 5 の A)

HST 内の堆積環境の変化によって次の 2 つのタイプの MFS がある。

タイプ 1 (Fig. 5 の A)

下位の sabkha 堆積物を侵食して覆う潮汐チャネル堆積物下面の侵食面。よく transgressive lag 堆積物を伴う。上位の潮汐チャネル堆積物中には、薄い mudstone のラミナが挟在しており、潮汐作用の影響を受けていた

ことを示している (Reinson, 1989)。ここでもこの侵食面を境にして sabkha から潮流の影響を受けるような浅海域へと環境の変化がみられ、海が進出したことを明瞭に示している。

このタイプの MFS は、HST の下部に見られる。

タイプ 2

下位の sabkha の硬石膏をシャープな面で覆うラグーン堆積物の mudstone。このタイプの MFS は、HST の上部に見られる。

3.3 systems tract の特徴と PS の積み重なりパターン

Arab・Hith 層中の堆積シーケンスは、condensed section (PS 4 : 以下 CS と略す) を境にして TST と HST に分けられる (Fig. 6)。TST の PS は厚い grainstone を覆う厚い mud/boundstone からなり、

Fig. 6 Stratigraphic column of the GA Field

Main reservoir zones of the GA Field are dolomite and limestone in the Hith Formation and the Arab A-D Upper, which are separated from mud/wackestone of the Arab D Lower by a sequence boundary. The depositional sequence from the Arab D Upper to the Hith Formation is divided into two systems tracts at a condensed section (top of Arab C); transgressive systems tract (Arab D Upper and C), mainly composed of alternation of thick grainstone and mudstone, and highstand systems tract (Arab A, B and Hith Formation), mainly composed of anhydrite and dolomite. Note that the ADOC zonation system is used in this paper.

Fig. 7 Stacking patterns of TST

The transgressive systems tract (TST) of the GA Field consists of three parasequences bounded by major marine flooding surfaces. Each parasequence shows a shallowing upward cycle which commences from barrier shoal grainstone and terminates with lagoonal mudstone or sabkha anhydrite. Vertical stacking patterns of these parasequences within TST indicate a thinning upward cycle.

上方薄層化のパターンで積み重なっている (Fig. 7)。一方, HST の PS は厚い硬石膏で特徴づけられ, 上方厚層化のパターンで積み重なっている (Fig. 9)。以下にこれらの特徴について述べる。

TST (PS 1~3)

TST の各 PS (PS 1~3) は, barrier shoal に始まりタイダルフラットまたは sabkha にいたる大きな上方浅海化サイクルから構成される (Fig. 7)。下位の PS 中のラグーン内の堆積物 (タイダルフラットや sabkha) の上位に barrier shoal 堆積物が重なっていることは, PS 1~3 が Arab・Hith 層中の堆積シーケンスをつくった第 2 オーダーの海水準変動の海進期に堆積したことを意味している (Galloway and Hobday, 1983)。

1つの PS 内をみると, その中にもいくつかの第 3 オーダーや第 4 オーダーの海水準変動に相当する小さな海進・海退のサイクルが認められる (Fig. 8)。各々の PS 中の環境の変遷をみると, 第 3 オーダーの海水準変動に相当する海進時には barrier shoal を示す

Fig. 8 Detailed stratigraphic column of TST

Small transgression-regression cycles, corresponding to third order and fourth order cycles, can be recognized within the parasequence. S: sabkha, TF: tidal flat, TD: tidal delta, L: lagoonal, BS: barrier shoal, NS: nearshore, OS: offshore, SB: sequence boundary, PSB: parasequence boundary, BSB: bedset boundary, R: regressive phase of third order sea-level change, T: transgressive phase of third order sea-level change.

peloidal grainstone が堆積しており, 引き続いて起こる海退時には数回の第 4 オーダーの小さな上方浅海化サイクルを示すラグーン・sabkha の堆積物が堆積している。このことは, TST の各々の PS 内では第 3 オーダークラスの海進時には, barrier shoal は陸側 (広域的な堆積物の分布からすると西方と考えられる) に retrogradation し, 海退期には第 4 オーダーの海水準変動を繰り返しながら沖合 (東方) に progradation していったことを表している。しかしながら, 当社が所有している GA 油田以外の坑井データにも, この第 3 オーダーに相当する海退期に堆積した barrier shoal 堆積物は見出されていない。これは, 海退期に堆積した

Fig. 9 Stacking patterns of HST

The highstand systems tract (HST) of the GA Field consists of four parasequences bounded by major flooding surfaces. Stacking patterns of both bedsets and parasequences within HST show overall shallowing upward cycles and thickening upward cycles.

barrier shoal 堆積物が次の parasequence boundary (以下 PSB と略す) 形成時に shoreface erosion によってそのほとんどが侵食されてしまった (Nummedal and Swift, 1987) 可能性が強いと考えられる。

TST の各 PS は、タイダルフラットや sabkha という海水面付近の堆積物で終わっている。このことは、TST の各 PS はそのときの accommodation space を堆積物で埋めきった状態に近いことを示している。従って、各々の PS の厚さを比較することは、その PS が堆積したときの accommodation space の大小を比較することになる。当油田で TST の PS が上方薄層化のパターンで積み重なっていることは、海水準が相対的に上昇するにつれて accommodation space が減少していったことを表している。

CS (PS 4)

PS 4 は、細粒堆積物が卓越する層準で、ガンマレイ検層記録上では含泥率が高いことを示すピークに相当する。Arab・Hith 層中の堆積シーケンス内では、この層準を除き粘土鉱物などの陸源と考えられる物質はほとんどない。このように他の層準に比べ堆積物中に粘土鉱物が濃集していることは、堆積速度が遅かったことを示している。また、この層準を境にして下位の上方薄層化

の PS の積み重なりパターンが上方厚層化の PS の積み重なりパターンに変わっている (Fig. 6)。このような特徴をもつ PS 4 は、もっとも海進が進んだ時期の堆積物 (CS) と考えられる (Van Wagoner, *et al.*, 1990)。この CS の中にも、岩塩の仮像が晶出しており、溶脱作用によって地層が角礫化されたり乱されたりしている層準 (Fig. 5 の B) が 2 枚あり、50km 以上も続く。これらの層準は、堆積直後陸上に露出し、風化を受けたため形成された面と考えられる (Esteban and Klappa, 1983)。このことは CS の中にも少なくとも 2 回の小さな海水準変動があったことを物語っている。

HST (PS 5~8)

HST の堆積物 (PS 5~8) は、いろいろなオーダーの上方厚層化のサイクルで特徴づけられる (Fig. 9)。HST の各 PS は、ラグーン堆積物から sabkha 堆積物にいたる上方浅海化を示す bedset の集合体から構成されている。1つの PS 内の bedset の積み重なりパターンは、上方厚層化パターンを示す。また、HST 内の PS 自体も上方厚層化のパターンで積み重なっている。一般に上方厚層化のパターンは堆積体の progradation に特徴的なパターンであるといわれる (Walker, 1984; ほか)。HST の特徴は、海水準が安定しているため大きく広い accommodation space が発達し、それを利用して堆積体が progradation することである (Van Wagoner, *et al.*, 1990)。PS 5~8 が作る上方厚層化のパターンも HST 期の大きく広い accommodation space を利用して sabkha 堆積体が progradation していったことを反映したものであろう。

4. 海水準変動と貯留岩性状

上記のように Arab・Hith 層中の堆積シーケンスは、CS (PS 4) を中心として第 2 オーダーに相当する海進・海退サイクルで形成されたと考えられる。各 PS 内には第 3、第 4 オーダーの海水準変動の記録も残っている。Arab・Hith 層中の堆積シーケンス中にみられる barrier shoal から sabkha にいたる堆積物は、これら異なった 3 つのオーダーの海水準変動を複合した海水準変動による堆積環境の変化の記録であるといえる。このような海水準変動に伴う堆積相の変遷が当油田の貯留層性状に影響を与えていると思われる。

HST では、石灰岩層よりもドロマイト層のほうが数が多く、ドロマイトが良好な貯留層となっている。これは本油田の HST の特徴である sabkha の progradation と関係があると考えられる。

反対に、TST では、ドロマイトが貯留層になっていることもあるが、初生的な孔隙を保っている粗粒な石灰

Sedimentary Structure

Fig. 10 Symbols used in figures.

Table 2 Summary of the characteristics of TST and HST

	TST	HST
Sedimentary Facies	shallowing-upward cycle (barrier shoal to tidal flat/sabkha)	shallowing-upward cycle (lagoon to sabkha)
Vertical Stacking Pattern	thinning upward cycle	thickening upward cycle
Vertical Facies Relationship	retrogradational/aggradational	progradational
Dominant Reservoir Rock	limestone (grain/packstone)	dolomite

岩（例えば barrier shoal 堆積物）が貯留層となっていることが多い。

上記のような海水準変動に伴うドロマイト化・セメント作用を明らかにしていくことが、よりよい地質モデルを構築していくうえで重要であると考えられる。

また、Arab 層は東西方向で岩相が変化する（鈴木・大沢, 1987）。隣接する AR 油田でも、東西方向で岩相が変化している。現在 GA 油田では、南北方向のデータしか得られていない。今後、当油田のさらに詳細な貯留岩の発達状況を知るためには、広域的な東西方向の岩相変化も把握することが必要であろう。

5. ま と め

GA 油田の貯留層の発達状況を把握するために、GA 油田内での堆積環境の時間的変遷を明らかにしようと試みた。その結果、当油田で主要貯留層となっている Arab・Hith 層中の堆積シーケンスは、第2オーダーの海水準変動によって形成され、明瞭に海進が起こったことを示す境界面（MFS）で区切られた8つのPSから構成されていることが明らかになった。これら8つのPSはCS（PS 4）を境にしてTSTとHSTに分けられる。この2つの systems tract は、それぞれ次のような特徴を持つ（Table 2）。

TST

- ・ barrier shoal 堆積物からタイダルフラットまたは sabkha 堆積物にいたる上方浅海化サイクルを示す PS の集まり。
- ・ 上方薄層化の PS の積み重なりパターン。
- ・ 堆積相の aggradational/retrogradational を示す積み重なりパターン。

HST

- ・ ラグーン堆積物から sabkha 堆積物にいたる上方浅海化サイクルを示す PS の集まり。
- ・ 上方厚層化の bedset・PS の積み重なりパターン。
- ・ 堆積相の progradational を示す積み重なりパターン。

上記のような第2オーダーに相当する海水準変動の他に、各々のパラシーケンス中には第3、4オーダーに相当する海水準変動も認識できる。これら3つの異なったオーダーの海水準変動の軌跡が、Arab・Hith 層中の堆積シーケンスの barrier shoal から sabkha にいたる堆積物中に残されている。このような海水準変動に伴う堆積相の時間的変遷が当油田の貯留層の発達状況に大きな影響を与えていると考えられる。それについては、後日紙面をあらためて報告することとしたい。

また、Arab・Hith 層は東西方向で堆積相が変化する。詳細な貯留層の発達状況を把握するためには、今回のように時間軸方向だけでなく、空間的な広がりも考慮した枠組みの中で岩相の変化を明らかにすることが必要であろう。

謝 辞

本論文および資料の公表を許可された Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC)、アブダビ石油株式会社に対して心より謝意を表する。本研究を進めるにあたって、ADNOC の地質部門のスタッフおよびアブダビ石油株式会社アブダビ鉱業所開発部の皆様には有意義な討論をいただいた。また石油技術協会探鉱技術委員会の田中義久委員長には本研究の発表の機会をいただいた。以上の方々に深く謝意を表します。

文 献

- Alsharhan, A.S., 1989: Petroleum geology of United Arab Emirates. *Jour. Petrol. Geol.*, 12(3), 253-288.
- Esteban, M. and C.F. Klappa, 1983: Subaerial exposure. In Scholle, P.M., D.G. Bebout and C.H. Moore, eds.: *Carbonate Depositional Environments*. AAPG Memoir 33, 1-54, AAPG.
- Galloway, W.E. and D.K. Hobday, 1983: *Terrestrial Clastic Depositional Systems. Applications to Petroleum, Coal, and Uranium Exploration*. 115-142, Springer-Verlag.
- Hassan, T.H. and S. Azer, 1985: The occurrence

- and origin of oil in offshore Abu Dhabi, *Proceedings of the 4th Middle East Oil Show*, 143-155.
- 樋口 雄, 1992: ペルシャ湾岸南部地域における石油集積機構に関する考察 (その 1). 石油地質および関連学説の概要. 石技誌, 57(3), 264-273.
- Kaneda, R., J. Saeedi and L. Ayestannan, 1991: Interpretation of a pulses test in a layered reservoir. *4th Abu Dhabi Petroleum Conference SPE* (703), 314-332.
- 野市晴夫, 1993: ウムアル・アンバー油田の開発 (その 2). 石技誌, 58(2), 128-136.
- 野市晴夫・三輪正弘, 1991: ウムアル・アンバー油田の開発. 石技誌, 56(6), 544-552.
- Nummedal, D. and D.J.P. Swift, 1987: Transgressive stratigraphy at sequence-bounding unconformities: some principles derived from Holocene and Cretaceous examples. In Nummedal, D., O.H. Pilkey and J.D. Howard, eds.: *Sea-level Fluctuation and Coastal Evolution. SEPM Special Publication 41*, 241-260, SEPM.
- Nurmi, R., M. Ozkanli and E. Standen, 1992: The buckled belt. *Middle East Well Evaluation Review*, (13), 10-26.
- 大沢正博・小鷹 長・鈴木正義, 1987: アブダビ海域における Arab 貯留岩の岩相と物理的特性. 石技誌, 52(6), 487-498.
- Reinson, G.E. 1989: *Modern and Ancient Examples of Clastic Tidal Deposits-A Core and Peel Workshop*. 1-126, CSPG.
- Robertson, A.H.F. and J.E. Dixon, 1984: Introduction: aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In Dixon, J.E. and A.H.F. Robertson, eds. *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. Special Publication No. 17*, 1-74 Blackwell.
- Schlumberger, 1981: *Well Evaluation Conference 1981, UAE and Qatar*. 4-16, Schlumberger Middle East, S.A.
- 石油技術協会, 1989: 石油地質・探鉱用語集. 1-314. 石油技術協会.
- Shinn, E.U., 1983: Tidal flat environment, In Scholle, P.M., D.G. Bebout and C.H. Moore, eds: *Carbonate Depositional Environments. AAPG Memoir 33*, 171-210. AAPG.
- 鈴木正義・大沢正博, 1987: アブダビ海域における Arab 層の堆積相について. 石技誌, 52(1), 124-133.
- 竹崎 斉・三輪正弘・鈴木正義, 1993: ウムアル・アンバー油田の形成について. 石技誌, 58(3), 225-236.
- Toland, C and R. Peebles, 1993: *Late Triassic-Early Cretaceous Sequence Stratigraphy of the Northern Oman Mountains. SEE Field Trip Guidebook*, 1-13, SEE.
- Van Wagoner, J. C., R. M. Mitchum, K. M. Campion and V.D. Rahmaian, 1990: *Siliclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops. AAPG Methods in Exploration Series, No. 7*, AAPG, 55pages.
- Walker, R.G., 1984: Turbidites and associated coarse clastic deposits. In Walker, R.G., ed: *Facies Models, 2nd ed., Geoscience Canada Reprint Series 1*, 171-188, Geoscience Canada.