講 演

ダリール油田における地震探査の適用*

亀 谷 卓 也**

(Received July 31, 2002; accepted January 10, 2003)

Application of seismic prospecting to the exploration
for Daleel oil field

Takuya Kametani

Abstract: The Daleel oil field is located at the western corner of the Wadi Aswad contract area of Japex Oman Ltd. Basic seismic exploration of 2,883km in line length in this area was carried out during 1981-1983. Several additional seismic surveys including two 3D surveys were performed later in the Daleel oil field and adjacent area for the purpose of reservoir delineation. Specifications of the former field data acquisition were basically 120 channel and 60 fold. We started first with end-on spread at 30m receiver and source intervals, and a few months later changed it to split spread at 50m receiver and source intervals. The latter specifications were similar to so-called '(ideal) stack array' which was discussed later a lot on The Leading Edge of Geophysics in 1986. This change seems to have contributed to speeding up work progress and to acquiring data in requisition of broad band, no much skew, and wide dynamic range, with least noise for tracing subtle and cache information. The stack array was generally good as space domain filter design and needed no much additional, irrationally large labor efforts.

Uphole shooting from the depth of 40 m on average at 465 points was useful not only for calibrating weathering correction data, but also studying shallow layer situations, which did not always fit typical two layer model.

Interpretation pitfalls were checked occasionally on cross points of lines when tracking stratigraphical or lithological features in 2D seismic sections.

After checking surface seismic velocity data with those of nearby wells we found very reasonable harmony between them and successfully estimated a standard velocity function.

Our main concern was to delineate reservoir features of the Daleel area. The effort delineating them also resulted in better definition of fault systems and subtle structural features. Every information used here contributed to integrating complete interpretation.

Key words: Daleel, Oman, stack array, CDP gather, array response

1. はじめに

われわれの探鉱作業地域は石油資源開発(株)、(株)シーア

*平成14年5月29日、平成14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「物理探査の探鉱開発への貢献」—過去・現在・未来—で講演 This paper was presented at the 2002 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Contribution of geophysical prospecting to exploration and development—past, present, and future—" held in Akita, Japan, May 29, 2002.

**技術士事務所ジェクスコン Ggexcon Associates

イエネルギーカイハツ (現在の伊藤忠石油開発(株))、およびインドネシア石油(株) (現在の国際石油開発(株))が1981年7月に取得した Wadi Aswad 鉱区であり、アラビア半島東岸のオマーン、サウディアラビア、およびアラブ首長国連邦の3国境が相接する地点の東40数キロを西端とし、東西約120キロ、南北約30キロの範囲にあった。探鉱地域東側には海岸沿いにオマーン山脈が走っており、海拔 3,000 m を超えるジャバルアクダルを含んでいる。西はこの地域を含んでルブアルカリ (empty quarter) と言われるアラビア半島第一の砂漠で、その西北西ないし西北端にはガワール、ブルガンなど世界一

の油田がある（とは言っても 1,000 km 以上離れているが）。われわれの地域のすぐそばでも南には Natih, Fahud, Yibal などの大型油田があり、なかでも Fahud 油田は10億バレル級の巨大油田である（久代・山本, 1989第2図参照）。

本鉦区は Fahud salt basin の北部にあり、われわれの探鉦対象層準は中部白亜系の Natih 石灰岩層、下部白亜系の Shuaiba 石灰岩層、および二畳系の Haushi 碎屑岩層であった（久代・山本, 1989第1図参照）。

2. オマーンプロジェクトの経緯

ダリール油田は Wadi Aswad 鉦区の西部にある。本鉦区の前権利者である PDO (Petroleum Development of Oman) が収録した既存データの検討結果に基づき 1981年末から地震探査を開始し、本鉦区の西部・中部・東部の順に測線長 2,883 km のデータ収録作業を進めた。そのデータ処理・解釈結果を順次検討して試掘位置を選定し（久代・山本, 1989第3図参照）、1983年8月には鉦区西部の Mezoon 構造で主探鉦層準の白亜系だけでなく Haushi 層（二畳紀）にも挑戦し 4,660 m まで掘り込んでいる。しかし Haushi 層では出油を見なかったため、その後は白亜系油層だけに注力することになった。契約による4年の探鉦期間中に5構造の試掘と Mezoon 構造の探掘1坑、計6坑を掘削し、一応 Mezoon 構造と Bushra 構造では原油鉦床を、Mazrouq 構造ではガス鉦床を発見した（Table 1）。

採算性を中心にこれらの結果を検討し、特に Mezoon

構造を評価する必要があると考えて、探鉦期間を2年延長するオプション行使に踏みきった。この延長期間中に掘削した8試・探掘井中の第2坑、Daleel-1 がダリール油田の初井である（小野, 1992第2図・第5図参照）。この期間中に Daleel-5 まで掘り進み、そのうち Daleel-2 では良好な油層を確認した。しかし開発を決定するに足る情報が得られず、さらに2年の探鉦期間再延長を交渉獲得し、その期間中に探掘の追加を行っている。その初井 Daleel-6 でも良好な油層に遭遇したので、この Daleel-2・-6 の2坑周辺地域を精査する地震探査を実施して油層の広がり確認に努力した。その結果、ついに1989年6月25日商業量発見宣言をオマーン政府に提出して上記2坑付近での生産を開始し、開発第一段階に入った。その後3D地震探査による産油層準の詳細検討を踏まえて、生産地域の南方への拡大を計り、開発第二段階が始まった。多用した水平掘りの効率性と相まって現在も生産継続中である（小野, 1992）。

Mezoon では長期にわたる生産テストを実施したが、その結果ついに開発を断念することになった。その後もダリール油田の翼部で3D地震探査を実施し考察を深めているが、本論では1981年12月から1983年10月まで実施した本鉦区のほぼ全域にわたる基幹地震探査を主として取り上げた。

3. プロジェクト開始当時の地震探査技術レベル

初めてデジタル地震探査機が公開され、市販されたのは1963年とされている。これに併用されて相乗効果を上げた共通反射点（以下 CDP と記す）重合法と非爆震震源パイプロサイスはデジタルデータ収録技術以前に開発されパテントも使用可能となっていたので、1981年にはいずれもわれわれにとって十分慣れ親しんだ技術であった（Fig. 1）。

Wadi Aswad 鉦区ではすでに測線長 3,000 km 程度の地震探査が実施され、4試掘井が主要な構造などに掘削されていた。その結果により十分探鉦済みとして放棄された鉦区に再度挑戦するのであるから、微妙な情報でも見逃さない。現場ではできるだけ歪のない情報を高精度で多量に、かつシステムティックに記録し、その上 artifact（人為的擬似反射）の忍び込む余地を無くすることを意図し上述の成熟技術を十分に利用して収録仕様を立案した。

3D 調査の概念は早くから話題に上っていたが、実施の困難性（データ量の桁上がりに伴って容易に推察される）から実用技術としてはこの時点で緒に就いたばかりで、われわれにはまだ実施経験も無かったし、費用の点からも広域調査に使える状況ではなかった。

Table 1 Oman project chronology.

1981/4/	Bidding	
1981/6/9	Foundation of Japex Oman	
1981/7/27	Ratification of Petroleum Agreement	
~1981/11/12	Previous Data Study	Line:2,801km
1981/12/25	Basic Seismic Exploration	
1983/6/1	Field Geological Survey	Line:82km
1983/1/15	Seismic Exploration "Hamrat Duru"	Line:965km
1983/10/25	Prev. Seis. Data Reprocessing: PDO	Line:803km
1982/12/	Prev. Seis. Data Reprocessing: Gulf	Depth:4,660m
1983/8/26	#1.Mezoon-1	Depth:2,774m
1984/3/15	#2.Mazrouq-1	
1984/6/18	CGG Reprocessing after test well drill	Depth:2,500m
1984/6/23	#3.Bushra-1	Depth:1,750m
1984/9/12	#4.Mezoon North-1	Depth:1,655m
1984/10/21	#5.Mezoon-2	Depth:1960m
1984/12/10	#6.Masdar-1	Depth:1925m
~1985/1/24	Nadir-1(Amoco, cost contribution)	
~1985/7/27	Extension of Exploration Period	
1985/11/3	#7.Mezoon-3	Depth:1500m
1985/12/24	#8.Daleel-1	Depth:1900m
1986/2/5	#9.Al Sahwa-1	Depth:1700m
1986/4/28	#10.Mezoon-4L	Depth:1400m
~1986/9/11	#11.Daleel-2	+130m*2
~1986/10/30	#12.Daleel-3	Depth:1900m
1987/5/	#13.Daleel-4	Depth:1900m
1987/7/	#14.Daleel-5	
~1989/7/27	Re-extension of Exploration Period	
1988/6/	#15.Daleel-6	
1988/8/	Additional Detail Seismic	Line:160km
1989/2/	#16.Daleel-7	
1989/6/25	Declaration of Commercial Discovery	
1990/7/	Beginning Production: First Stage	
1991/8/	3D Seismic on Daleel	Area:71sqkm
1991/12/	Production: Second Stage	
1996/10/	3D Seismic near Daleel	Area:415sqkm

Fig.1 Time difference of seismic methods' acceptance between U.S.A. and Japan.

地震層序学の概念はその当時まだ新しいものであったが、数年前に著名な文献 (Payton, 1977) もあり、かつわれわれの場合は subtle trap (微妙なトラップ) に活路を見いだすしかないと考えていたので十分視野に入れて検討した。また岩質に直接対応する地震波速度解析の結果はよく吟味した (亀谷, 1987)。

4. データ収録の仕様

120チャンネルのデジタル地震探査機 TI DFS V と Mertz TR4 型車両搭載の GSI X-2 型バイブレイタ4台を装備した GSI 地震探査班を使ってこの基幹地震探査を実施した。近隣で240チャンネルのクルーも働いていたが、一般的に言うこの時点で上記の装備は特に見劣りするものではなかった (Fig. 2)。120受振点の展開で60CDP 重合の方式をこの約20ヶ月の調査では一貫して採っている。当初受振点間隔・発震点間隔を30mとする片側展開 (end-on spread) により作業を開始したが、周囲から進捗率の向上を迫られたことがきっかけで数ヶ月後に両間隔を50mとする振り分け展開 (split spread) に切り替えた。パラメータ変更前後の仕様は Table 2 のように比較される。受振点間隔は30mから50mに延びたがその間に配置する受振器の個数を48個から72個に増加しており、かつ展開長が3.6kmから6.0kmに増大したことを考慮すると受振設定の変更に

起因する能率向上はあまり考えられない。

一方、発震点あたりのバイブレイタ配置個数は変えなかったもので、移動時間を無視すれば終了測線長で計算した能率は発震点間隔の延びに比例して5/3倍になる勘定である。実績から見ると測点数で数えた能率でも格段の向上があり、多分初期故障や不手際が無くなって慣れてきたことと、コントラクター側も真面目に作業の改善意欲を持って対処してくれたことの成果であると思う。この測点当たりの成果を5/3倍した測線長進捗率は、当時の統計ではほぼ倍増した。そのお蔭で作業能率についての批判は出なくなり、プロジェクト全体の進行をなんとか予定の範囲に収めることができた。労務量では展開の移動などで無理をしたことになるが、進捗を直接規制しているのはバイブレイタの作業速度と考えると、発震配置間隔を引き伸ばすとともに、80hz-90hzの高周波帯域は恐らく減衰が大きくて有効に活用されていないとの判断もあって、割愛するような遣り繰りをした。

では、この仕様変更によるデータ品質への影響はどう

(a)

(b)

Fig.2 a) Four vibrator trucks moving up in broadside formation on gravel plains.
b) Close-up view of vibrator's base plate in action.

Table 2 Field parameter revision.

Field specifications	Starting time	After the revision
Receiving point interval	30m	50m
Source point interval	30m	50m
OMP (reflection point) interval	15m	25m
Spread configuration	End-on spread	Split spread
Spread length	3.6km	6.0km
Max. distance between VP & RP	3.6km approx.	3.0km approx.
Receiver array	4 * 12 parallelogram	6 * 12 parallelogram
Receiver array length, equiv.	30m	50m
Vibrator array	4 * 6 parallelogram	4 * 6 parallelogram
Vibrator array length, equiv.	30m	50m
Vibrator sweep frequency	10hz — 90hz	10hz — 80hz
Vibrator sweep length	16 sec	14 sec
Offset interval on CDP gather	60m	50m

Main data acquisition parameter: 120 channel, 60 fold CDP

であろうか。情報量の基準となる反射点 (CDP) 間隔は 15m から 25m に拡大して、情報密度は 3/5 倍と測線長進捗率で稼いだだけ粗くなっている。しかし、この地域の地質構造は一般に緩傾斜なので、この程度のサンプリング間隔は許容できるというのがこの時点の判断であった。

さて、個々の反射点を持つ情報信頼度の変化はどのように受け止められるであろうか。重合後の各反射点トレースに含まれる情報は、その CDP ギャザーを構成する 60 の反射経路から成り立っている (Fig. 3・Fig. 4)。発震点から受振点までの最長距離設定は通常目標反射点深度が目安となっているから、深度 2,000 m 程度の白垂系を主要目標とするならば、仕様変更前の 3.6km は縮減の余地があるであろう。一方、最長オフセットは 3.6 km から 3.0 km に減少したことになるが、これは同時にその CDP ギャザー上のオフセット間隔を 60 m から 50 m に縮めサンプル密度を高めることになるので、それによる重合精度の向上が期待できる。また受振点間隔と発震点間隔を 30 m から 50 m に拡大したわれわれのやり方は、受振器群と発震パターンの配置範囲を 30m から 50m に増大したことになり、これらの配置範

Fig. 3 Schematic diagram of CDP gather raypaths (end-on spread). Simulating 60 fold, but actually illustrating 12 fold raypaths.

Fig. 4 Schematic diagram of CDP gather raypaths (split spread). Simulating 60 fold, but actually illustrating 12 fold raypaths.

囲と CDP ギャザーのオフセット間隔をと同じ 50 m に合致させたことになる。

Table 2 の各項目を見るといづれもサンプリング間隔が粗くなっており、唯一の例外はこの CDP ギャザーのオフセット間隔が密になっていることだけである。この細工は片側展開から振り分け展開への変更によって達成された。Fig. 3 と Fig. 4 の比較から明らかなように、片側展開では各反射経路が受振点に関して同じ方向からの発震であるのに対し、振り分け展開 (より正確に言えば half-integer source offset with split spread ; Knapp, 1985 となる) では隣り合う受振点の間に逆方向の発震経路が挟まってくるからである。1 つの CDP 反射点を構成する素情報集団 (われわれの場合は 60 チャンネル) を収録している受振器群の広がり (coverage) は片側展開の場合 Fig. 3 に示すように発震点から受振点までの最長距離 3,600 m の右半分 (設定によっては左半分) 1,800m だけであるのに対して、振り分け展開では Fig. 4 に示すようにこの最長距離の全域 3,000m にわたっている。すなわち副配列 (subarray) である各チャンネルの

Fig. 5 End-on spread CDP stack array response.

Fig. 6 Split spread CDP stack array response (ideal).

受振器群配置も広がる。したがって片側展開であれば CDP ギャザーのオフセット間隔が受振点・発震点間隔の 2 倍になるが振り分け展開ではその現象が防止され、受振器群・発震パターンの配置長とその間隔のミスマッチが起こらない。

CDP、受振器群、発震パターンなどの配置を一括した収録システム全体の空間フィルター特性を取り上げると、変更前仕様は Fig. 5、変更後仕様は Fig. 6 のようになって、前者では見掛け波長 60m 位のノイズに逃げ道を与えることになるが、後者はうまく遮断している。この波長付近はわれわれのノイズ実験結果によれば表面波ノイズの発生危険帯域であり、見逃せない。

収録に対する考え方を整理すると、(1)受振点間隔と発震点間隔を同じにする。(2)チャンネルを構成しているそれぞれの受振器位置と発震器位置は測線上等間隔にまんべんなくばら撒く（受振点・発震点の間隔がその群の開区間と一致するような配置）。(3)発震点を受振点展開の中央で受振点間隔の midpoint に置く、ということになる。以上が測線沿いの 2D 陸上地震探査では実用的で大体間違いの無い方策である、と考えて収録作業を遂行した。

概要はその後 Anstey (1986) などによって提唱された stack array (CDP 総合配列) の概念と大体一致している。

5. アップホールシューティング

測線の交点などの要所でアップホールシューティングを実施して地表近傍速度分布の変化をチェックし、その速度構造をよく考察するとともに、反射走時に対する影響を補正することに努力した。実施点数は総計 465 点であり、平均深度は 40m 程度であった。屈折初動を利用した伝統的な表層補正も実施したが、低速度表層の下に高速度層を仮定する典型的な二層モデルがうまく合致す

る地域はむしろ稀で、例えばサブカ (sabhka, sebkha) などでは高速度の蒸発岩類が上層や挟み層になっている。このような複雑な速度構造を示す浅層に対処するため、隣り合うトレース間のいわゆる表層補正結果を、坑井を掘削しての初動時間計測によりさらに較正したものである。

6. 構造・層序などの解釈

メジャー系列の大型石油会社 PDO が自信を持って放棄した鉱区であり、既存データを閲覧した結果でも立派な貯留層を持った大型集油構造が残されているとは思えない。それゆえ、いわゆる微妙なトラップのレベルで成功することを考えるしかなかった。そのためにはできるだけ精密なデータ収録をすること、できるだけ歪を起こさないようなデータ処理を考え人為的擬似反射に最大限の注意をすることとした。

いくつかのマーカーホライズンは広域にわたってよく追跡できる。しかし反射波群の特徴は次第に変化してくるので、対比を確実にするように坑井データから作成した合成地震記録とのチェックに留意した (Fig. 7)。

数キロ離れた測線間の各測線上の断面層表現対比、不整合面の形状をどう考えるのか、その他地震断面上の微妙な構造や層序についてそれをどのように解釈するか、などはいくら断面上で細かい陰影を取り上げて議論してもクロス方向の情報を欠いた 2D 調査では限界がある。たまたまクロス情報を利用できる測線交点での実例を示すが、2D 断面情報だけからの判断の難しさを共感していただけたと思う。例えば Fig. 8 と Fig. 9、また Fig. 10 と Fig. 11 は図の上部に赤丸を表示した場所で互いに交差しているが、Fig. 8 や Fig. 10 の黄色ホライズンだけを見て Fig. 9 や Fig. 11 の交差情報を加味しなければ構造形態を正確に推定するのはなかなか難しい。

Fig. 12 に、断層を伴う背斜構造断面を示す。茶色の地層と桃色の地層を斜めに切っている低角逆断層は図の上部に赤丸で示した位置にある坑井により貫かれており、茶色の地層の繰り返しを確認されているので、多分間違いない解釈であろう。一方、背斜構造のやや右をほぼ鉛直に切って反射層の不連続を招来している異常の部分では、黄色のホライズンから浅部で左上がりの断層が存在していることは事実であり、前述の低角逆断層と合流している。しかし、深部の各ホライズンの不連続が現実の断層に対応しているのか、浅部構造の複雑さに起因する地震波経路の擾乱を反映しているだけなのか、筆者は疑義を持っている。反射法の断面では鉛直に近い不連続がよく発生し、現実の断層なのか解釈の落とし穴なのか気になるところである。

Fig. 7 Correlation between synthetic seismograms and a surface seismic section across the well.

Fig. 8 An example of subtle expression on a seismic section.

Fig. 9 Corresponding expression on the cross section to Fig. 8.

Fig. 10 Another example of subtle expression on a seismic section.

Fig. 11 Corresponding expression on the cross section to Fig. 10.

Fig. 12 A thrust fault verified by a test well data and questionable near vertical fault.

7. 速度情報

地表地震探査による速度情報の確度・精度については一般に構造解釈よりも見解の分かれるところと思う。本鉱区では深部でも石灰岩層の下位に泥岩など碎屑岩層による速度の逆転が見られて興味深い。Fig. 13 は速度解析の一例である。右側の constant velocity scan 表示に記入してある実線の内約 1.6sec までの細線部分はこの解析地点から数キロ離れた坑井の音波検層から導いた RMS 速度（以下 V_{rms} と記す）カーブである。浅層部では速度解析との間に若干の不一致が見られ、これに続

く泥岩の無反射層部では当然対応する反射表示が無いが、1.4sec ないし 1.5sec のターゲットホライズン付近では両者は良く一致している。次に、より深部の速度解析表示を深掘り坑井の音波検層からチェックしてみた。この速度解析の 1.6sec に対応する地層は上記の近傍坑井から分かっているので、深掘り坑井におけるその地層の対応深度から出発し、音波検層計測値から深い地層の詳細区間速度を求めた。一方、地表地震探査の記録断面から深掘り坑井位置と速度解析位置の走時の対応をみた。深部地層の区間速度が水平方向に変化しないと仮定すれば、地表地震探査の速度解析位置で遠方の深掘り坑

Fig. 13 Constant velocity stack display and the velocity function predicted by nearby well data and deep well data of far distance apart.

井での音波検層データから導いた推定 V_{rms} 速度値を表示できる。太線がその結果を示しており、速度解析のビルドアップとよく近似している。われわれの知識の範囲ではこの作業地域の大部分で中生代までの地層は余り大きな褶曲を受けていないと想定されるので、速度の水平方向での変化はあまりなくて、上の方法は大体適合しているのではなかろうか。筆者は、この速度解析が示す深部の速度トレンドは相当信頼できるものと思っている。

8. 3D 地震探査

ダリール油田の開発は慎重を期して第一次・第二次と段階を追っている。その間、貯留岩の分布・能力をできるだけ正確に把握する目的で3D地震探査を実施した。その後の第二次開発作業では出油成功率が非常に良いので、3D地震探査の解釈はうまくいったのであろう（柳沢, 1995）。もちろん、水平掘りの生産性向上も大きく寄与しているものと思う。

この集油構造は断層によるコントロールを強く受けているが、その走向・直線性などの情報は3D地震探査によって飛躍的に改善されたはずである。直接貯留岩の性状を示すものではないが2D調査の弱点をカバーし、次の段階への移行に確信を深めた。

9. データ収録仕様の再考察

9.1 重合数と反射点密度

2D地震探査では、作業の進捗率を上げるために反射点間隔を15mから25mに拡大したが、緩傾斜構造が想定されたので、許容できであろうとした。しかし、断層の手掛かりとなるようなものを含んで、局所的な急傾斜が無いとも言いきれない。また、深部情報を考えると岩塩の動きに関連した急傾斜が重要な判断の手掛かりになるかも知れない。これらを考慮し、理想論を言えば当然240チャンネル120重合で測点間隔30m（反射点間隔15m）の振り分け展開が好ましいことになる。

Fig. 14 Plan view of receiver and source areal arrays as a part of total CDP gather.

9.2 副配列 (Subarray) の実効配置長

われわれの作業を例に取り、1つの反射点を基準にしてその受振・発震点配置を振り返ってみる。反射点から数1,000m上方に地表面があり、測線に沿って受振点と発震点が3kmにわたって広がっている (Fig. 4 参照)。反射点から見上げることができれば Fig. 14 に示すように受振点と発震点の面積配置がそれぞれ幅数10mのベルトになって延々とつながるはずである。各受振器の出力は一応チャンネル分けされるが、CDP重合後はすべて一括されて、この3kmにわたるデータは重合同断面上の1反射点を示す1トレースになってしまう。われわれの作業ではチャンネル分けを Fig. 14 のような菱形に取ったが、NMO補正や静補正が与える影響をあまり気にしなければ、例えば矩形にチャンネル分けしても大差ないはずである。そのような考え方に基づき、Fig. 5 および Fig. 6 の空間フィルタ特性は矩形の受振器群配置になるようなチャンネル分けで算出した。CDP総合配列としての特性は結局同一になると考えている。菱形アレイではその配置範囲の定義があいまいになるが、上記の方針にしたがって矩形に変換した範囲に合わせ、Table 2 では array length, equiv. と注記した。

発震点当たりのバイブレイター配置による空間フィルタ特性についても亀谷ら (1984) では菱形面積配置を独立変数的に取り扱って一応DB単位での加算処理を行っている。今回は触れずに来たが受振点副配列と同等の見方でよさそうなので、CDP総合配列的な考え方での位置付けからは矩形の面積配置特性を適用してよいのではないかと考えている。

9.3 データ収録仕様の便宜的修正策

地震探査開始時のデータ収録仕様（片側展開でのCDP120チャンネル60重合）では、その空間フィルタとしての表面波などを遮断する特性に不本意な通過帯域が発生すると述べた (Fig. 5)。この欠陥が地震断面上で露呈した場合は、例えば two trace decimated mix（地震断面上の隣り合わせのトレース出力を合流して1トレースにする。結果的に断面のトレース数は半分になる）のような単純操作でこの影響を切り抜けられないかと考えていた。その場合は120重合相当になる一方で反射点間隔が30mに延びるのでサンプリング間隔の観点からはいささか乱暴かもしれない。

10. 結 論

技術の進歩とその成果に対して要求される情報のレベルとはなかなか合致しない。一步先を求められることが多く、このプロジェクトもその一例であろう。その割には幸運もあって、油田を発見することができた。生産性

のある貯留層の正確な分布を求めることは切実であったが、その前に構造・層序など基礎的な地質情報あつてのことである。ダリール油田が生産に漕ぎ着けられたのは、先端技術的な面での努力と同時に基本的な手順を踏まえて、プロジェクト開始から生産まで8年、さらに生産開始後の第二次開発段階まで、その間関係した人達がそれぞれの立場で粘りに粘った賜物と思う。筆者はこのプロジェクトの前半にしか参加していないが、すでに一部生産が開始された時点での3D地震探査に見られるように、執念深く地震探査をその段階に応じて適応した形で取り入れた成果も見逃せない。担当した人達の熱意に敬意を表したい。

謝 辞

この講演ならびに本文の作成に当たって石油資源開発株式会社の田村八洲夫・内田真人・酒井明男・山本裕彦の各氏のほか同社探鉱本部各位からご指導とご支援をいただきました。また株式会社地球科学総合研究所の公手忠・外池邦臣両氏には議論に乗っていただき、私の考え方であり自信の無い部分をチェックしていただきました。査読者からは当初不明瞭であった論旨の展開を指摘し、適切なアドバイスをいただきました。これらのかたがたに厚くお礼申し上げます。

最後に発表時期が本地震探査の実施時期より遅れているため、本文中に取り上げませんでした。村山(1994, 1996)はCDP総合配列について大規模な実験の現場作業を含む結果を出しています。論理的な経過の説明も懇切であり、この考え方に興味を持たれた方には最も有用

な文献と思うのでここに引用します。また村山論文によって勇気付けられたことを感謝します。

引 用 文 献

- Anstey, N.A., 1986: Whatever happened to ground roll? *The Leading Edge*, 5(3), 40-45.
- Anstey, N.A., 1986: Field techniques for high resolution. *The Leading Edge*, 5(4), 26-34.
- 亀谷卓也・木宮 繁・甲田 弘・田村八洲夫・内田真人・梅戸在明, 1984: オマーンにおける地震探査(I)—フィールドパラメーター. 物理探査秋季学会講演予稿集, 14-15.
- 亀谷卓也, 1987: 速度解析における高速度側のノイズについて(Ⅲ). 物理探査秋季学会講演論文集, 124-128.
- Knapp, R.W., 1985: Using half-integer source offset with split spread CDP seismic data. *The Leading Edge*, 4(10), 66-108.
- 久代利男・山本裕彦, 1989: 北部オマーンの石油地質. 石技誌, 54(1), 66-74.
- 村山隆平, 1994: 陸上における近年の反射法地震探査システム. 物理探査, 47(6), 414-429.
- 村山隆平, 1996: 陸上反射法地震探査のデータ品質改善に関する考察. 物理探査, 49(2), 117-135.
- 小野 進, 1992: ダリール油田の探鉱・開発. 石技誌, 57(2), 180-190.
- Payton, C.E. ed., 1977: Seismic Stratigraphy—Applications to Hydrocarbon Exploration. *AAPG memoir* 26.
- 柳沢研二, 1995: ダリール油田の二次開発における水平坑井について. 石技誌, 60(6), 445-452.