論 文

パプア褶曲帯で適用された構造モデルおよび解釈テクニック*

金子 光 好**

(Received september 22, 1999 ; accepted January 25, 2000)

Structural models and interpretation techniques applied
in the Papuan Fold Belt

Mitsuyoshi Kaneko

Abstract: An ambitious structural interpretation based on balanced cross section method resulted in the first exploratory well targeted the footwall anticline structure in the Papuan Fold Belt where no seismic was available.

In the past, when drilling proved that a hanging wall anticline was shallowly cut by a thrust and did not involve reservoir horizons, the well was usually abandoned due to the structural uncertainty of the footwall. This time, however, interpretation of the sub-thrust was carried out for a footwall structure whose hanging wall was shallowly cut by a thrust. An anticline structure of the footwall was presumed based on constraints of the morphology of the hanging wall, dip data of the footwall, displacement of the thrust and line-length balancing method. This presumption anticline was confirmed by drilling.

The SCAT (Statistical Curvature Analysis Technique; Bengton, 1981) analysis applied to the footwall structure suggested that the well is located on the west-northwest plunge of the anticline and that the structure is likely to be an antiformal stack. The well data and its structural interpretation confirm that structures in the Papuan Fold Belt do not always fit a simple ramp fold model.

Newly developed and published structural models in the Papuan Fold Belt are also introduced and discussed in this paper.

Key words: Papuan Fold Belt, thin skin model, thick skin model, duplex, antiformal stack, SCAT analysis

1. はじめに

パプア褶曲帯には標高 1,000 m を超す急峻な山脈が連なっており、その地表を厚い(約 1,000 m)カルスト

化した石灰岩が覆っている。このため、地震探査のデータ取得にはコストがかさむばかりでなく、地表のカルスト石灰岩が弾性波エネルギーを減衰させることから、本地域の石油探鉱に地震探査を有効活用できないでいた。

1980年代後半以降、バランスドクロスセクション法による一連の地質断面図を用いた構造解釈が石油探鉱に導入され、Iagifu/Hedinia 油田、Hides ガス田などの発見が相次いだ。しかしながら、当時の探鉱対象はもっぱら地表から推測可能なスラスト上盤の背斜構造に限られていた。

一方、ロッキー山脈、コロンビアなどの世界の褶曲帯では、スラストの下盤から出油ガスが確認され、地震探

* 平成11年5月26日石油技術協会春季講演会地質・探鉱部門シンポジウム「油田構造形成とテクトニクス」で講演 This paper was presented at the 1999 JAPT Geology and Exploration Symposium entitled "Oil field structure and tectonics" held in Makuhari, Chiba, Japan, May 26, 1999.

** ジャパンエナジー石油開発(株) Japan Energy Development Co., Ltd.

査による下盤の背斜構造の裏付けがないバプア褶曲帯においても、次第に下盤探鉱の気運が高まってきた。

1995年12月から翌年4月にバプア褶曲帯で初めて下盤を対象とした試掘井が掘削され、著者は本試掘井に現地探鉱グループの一員として参画する機会を得た。

本報では、その試掘井を実例とし、地表、掘削および試料分析データを基にいかにしてスラスト下盤の構造解釈を実施したかを議論するとともに、本試掘井が契機となって構築された新しい構造モデルについても紹介することにする。

2. バプア褶曲帯の地質

2.1 層 序

バプア褶曲帯が位置するバプア堆積盆地は、ペルム系を基盤とし、ジュラ紀（一部三畳紀）以降、オーストラリア大陸縁に発達したリフト-バッシュマーゲン型の一つと分類されるため、オーストラリア西部海域と類似した地質層序を示す（図1）。

本堆積盆地ではジュラ紀において海成泥質岩が厚く堆積し、その全層厚は少なくとも2,000 mに達する。その中でオックスフォード階～キンメリッジ階に相当するKoi-lange 層や Imburu 層中下部は、当地域の石油根源岩と考えられている。ジュラ紀最後期～白亜紀最前期には、Imburu 層上部や Toro 層に砂岩が発達し、当地域の主要貯留岩となった。

Toro 層堆積後の白亜紀において、Ieru 層の泥質岩が堆積した。その層厚は Coral sea リフトベーズンの影響

を受けたため、場所によって変化する（500～1,000 m）。

古第三紀～中新世には、Mendi 層および Darai 層の炭酸塩岩が堆積し、下位の Ieru 層を不整合で覆っている。Darai 層は1,000 m以上の厚さでほぼ堆積盆地の全域に分布し、地表に露出してカルスト地形を形成している。さらに鮮新世以降 Orubadi 層泥質岩が、主に向斜域に厚く堆積した。

褶曲帯の形成は中新世以降に始まったと考えられており、現在でもその活動は続いている。

また、バプア堆積盆地においては、Darai 層炭酸塩岩はストロンチウム同位体比、白亜系に深は渦鞭毛藻化石により詳細な層序区分が確立されているため、精度の高い層序対比が可能である。

2.2 広域地質構造

バプア堆積盆地は、地形または構造形態の相違により、構造変形が小さい南西部の前縁盆地（Foreland）と北東部のバプア褶曲帯（Papuan Fold Belt）に大別される。

バプア褶曲帯は、大規模な背斜構造が顕著な褶曲帯（Strongly Folded Belt または狭義に Fold Belt と呼称されることもある）、断層により地層シートが繰り返す覆瓦構造帯（Imbricate Zone）および急傾斜の褶曲群からなる地域（一般的な名称ないが、Distal Facies and Diapiric/Fault Propagation Folds などと呼称されている）の3系列に細分される（図2）。

Hill (1990) は、バプア褶曲帯に初めてバランスドクロスセクション法に基づく包括的な構造解釈を導入し、バ

図1 バプア堆積盆地における地質層序表（小鷹・金子，1996）

パプア褶曲帯の三系列を以下のモデルで解釈した(図3)。

- (1) Strongly Folded Belt; 基盤直上のジュラ系にデタッチメントをもつ、水平から低角で基盤まで到達しないスラスト(thin skin modelに基づく)が、下盤のジュラ系～白亜系のランプに乗り上げてできた1層の断層折れ曲がり褶曲(fault bend fold)よりなる褶曲構造帯。

図2 パプア褶曲帯の構造系列と油田および出油ガス構造

図3 Thin skin modelによる Strongly Folded Belt, Imbricate Zone および急傾斜褶曲構造分布地帯の解釈例 Hill (1990) に加筆, Section A, B の位置は図2を参照

- (2) Imbricate Zone; 白亜系 Ieru 層上部にデタッチメントをもつ第三系 Darai 層石灰岩のデュプレックスと、ジュラ系下部をデタッチメントとする中生界のデュプレックスの組合わせ。
- (3) 急傾斜褶曲構造分布地帯; パプア褶曲帯の他系列とは異なる断層伝播褶曲(fault propagation fold)モデルで解釈し, Distal Facies and Diapiric/Fault Propagation Folds と命名。

2.3 探鉱状況

1970年代のパプアニューギニアにおける初期の石油探鉱は、主にアクセスが容易で、地層の変形も緩やかな前縁盆地から始まった。その後、1980年代後半の Lagifu/Hedinia などの大規模な油ガス田の発見に伴い、Strongly Folded Belt に探鉱が移っていった。しかしながら、地震探査の制限と複雑な地下構造のため、Strongly Folded Belt の探鉱では構造解釈が問題であった。

パプア褶曲帯においても、リストリックな逆断層の繰り返しによる構造解釈がなされていた時代があったが、1980年代後半から1990年代前半までは、Hill (1990) のようにバランスを意識し、断層折れ曲がり褶曲をもとに断面図を作成する方法の適用が一般的になっていた。当時の構造解釈はもっぱら地表データで予想可能な上盤背斜構造に限られていたため、試掘井が下盤に入った時点で掘り止められていた。これは下盤を推定できる地震探査データがないことが主な原因と考えられるが、Hill (1990) が示したような単純な1層の断層折れ曲がり褶曲モデルでは、下盤側に背斜構造が表現されないことにも起因していると考えられる。

Strongly Folded Beltにおける探鉱が進むと、上盤背斜構造に貯留岩が含まれないために浅所で掘り止めとなる失敗例が急増した。そのため、試掘井の数が増えても、下盤構造や貯留岩が解明されないままに残された時期がしばらく続いた。

その後、世界の他の褶曲帯で断層下盤や、背斜状累重(antiformal stack)のコア部から、出油ガスが確認された例などが検討され、たとえ浅所で断層に遭遇しても、下盤まで探鉱する試掘計画が立案されるに至った。

3. スラスト下盤の探鉱

3.1 掘削前の構造解釈

本論で取り上げた試掘対象構造は Strongly Folded Belt の最南部に位置し、地表における背斜構造の存在は地質調査などにより確認されていた。

地下の構造解析は、小鷹・金子(1996)が報告しているように、地表の地層傾斜、断層の位置、SAR (synthetic aperture radar) イメージおよびDTM (digital

terrane model) に基づく地形(地質構造)解析, ストロンチウム同位体比による Darai 層の年代対比などを用いて実施された。

深部の構造については, 図4に示したように, (a)断層が比較的高角で上盤側に貯留岩層準を含む背斜構造が形成されている場合, (b)低角断層のため上盤で貯留岩層準は背斜構造をなさず, 下盤側にも背斜がない場合, (c)低角断層のため上盤で貯留岩層準は背斜構造をなさないが, 下盤側に背斜構造がある場合の3モデルを想定した。

掘削計画は, 浅所で Darai 層の繰返しに逢着して上盤に貯留岩層準が含まれないと判断された場合であっ

ても, その時点の地質情報による解析から下盤に背斜構造を推定できるときは, 引き続き下盤を掘進することに決定した。

3.2 掘削中の構造解釈

3.2.1 上盤の探鉱

試掘井はストロンチウム同位体比により, 連続的に Darai 層の層序を確認しながら掘削が進められた(図5)。ほぼ予定通りの深度(1,285 m)で Ieru 層に到達し, その後1,371 m で Darai 層の繰返しが認められたが, そのストロンチウム同位体比年代が同層最下部の25 Maを示したため, 小規模な断層による繰返しと判断してそのまま掘進した。

1,600 m 付近で再び Ieru 層に到達し, 1,606 m で再度 Darai 層に遭遇した。この Darai 層のストロンチウム同位体比年代は17 Ma で, 同層中部の層準を示した。図5のように上盤 Darai 層の層序を参考にする, 17 Ma 層準から Darai 層基底までは層厚にして約700 m あることから, 大きな移動量を有する断層の存在が推定された。この時点で上盤の背斜プレイは消滅し, 下盤の地質構造の推定が探鉱上の問題となった。

(a) Hanging Wall Play

(b) Non Prospective

(c) Foot Wall Play

図4 想定される背斜構造の解釈例：(a)断層が比較的高角で上盤側に貯留岩層準を含む背斜構造が形成されている場合, (b)低角断層のため上盤で貯留岩層準は背斜構造をなさず, 下盤側にも背斜がない場合, (c)低角断層のため上盤で貯留岩層準は背斜構造をなさないが, 下盤側に背斜構造がある場合

Sr Isotope Age (Ma)

図5 各スラストシートにおける Darai 層ストロンチウム同位体比年代の深度プロット(絶対年代は Hodell ほか (1991) に基づく)

3.2.2 下盤構造の解釈

下盤構造の解釈に当たっては、下盤の地層傾斜や層序の情報を得るために、下盤内で数百メートルの追掘が行われた。その時点までの地質情報を断面図にまとめると図6ようになる。

なお、本論における当該構造の断面図は以下のコンセプトに基づいて作成された。

- (1) 断面図は地表における背斜軸に直交する北北東—南南西方向で切り、この面におけるバランスのみを考慮した。また縦横比はすべて1:1とした。
- (2) Strongly Folded Beltの背斜構造は頂部が緩やかで広く、forelimbとbacklimbの傾斜に大きな差が見られないため、Limb-dip diagram (Suppe, 1985; Groshong, 1996) から、断層折れ曲がり褶曲モデルを適用した。
- (3) Darai層の上面を上部デタッチメント (upper detachment), Darai層および同層以深をランプと考え、両者間に大きな角度がつかない断層形態を推定した。

(4) Forelimbとbacklimbの角度がほぼ等しいことから、上盤と下盤の切り口の長さはほぼ等しいと仮定した。

(5) そこで、断層の移動距離、各層の層厚、下盤の地層傾斜、および断層の形態から、線長バランス法をもとに下盤の背斜構造を推定した。

1,606 m以深のDarai層の地層傾斜はディップメータ記録から、急な北傾斜と急な南傾斜の相反する二つの傾向が認められた(図7)。Darai層石灰岩はフラクチャーが頻繁に発達するため、地表露頭でも真の地層傾斜の識別には困難が伴う。しかしながら、図5のようなストロンチウム同位体比の深度プロットを作成し、下盤の追掘で確認したある層準間(例えば17 Ma~20 Ma間)の層厚と上盤における同層準間の層厚から、上盤をほぼ水平として下盤の傾斜を求めることが可能である。このようにして、方位は不明ながら、下盤の傾斜角は30°以上と推定された。この傾斜は下盤ブロックの地表に分布するOrubadi層の地層傾斜より大きいため、下盤に褶曲等の構造的な変化が予想された。

図6 上盤掘削終了時(坑井がスラストに到達した時点)の構造解釈(縦横比1:1)

これらの地質情報をもとに、どのように下盤の構造を推定したかについて図7を用いて以下に述べる。

下盤最上部で遭遇した Darai 層の層準はストロンチウム同位体比により 17.0 Ma であるが、上盤における 17.0 Ma の地層は地表で確認されている。上盤 17.0 Ma (A) から、下盤 17.0 Ma (A') 地点までの断層上の距離は約 2.9 km になる。これを変位と考えると、上盤と下盤の切り口の長さが等しいとする前提から、試掘井で確認した上盤 Ieru 層上限の地点 (B) は断層上を 2.9 km 下がった下盤の地点 (B') にくる。同様にして下盤 Darai 層上限の位置も決定できる。これら下盤の各地点を、推定された断層上にプロットすると、これらの地点と地層の傾斜および層厚によって、下盤構造の推定が可能になる。

断層上の各層準の位置と層厚を満足させるように下盤構造を推定すれば、図7のように坑井位置で下盤 Darai 層は南傾斜と考えるのがもっとも合理的と判断された。下盤ブロック地表の Orubadi 層の北傾斜を採用すると、Darai 層上限～17 Ma までの層厚が極端に薄くなり、またストロンチウム同位体比プロットから推定された 30° 以上の地層傾斜を満足させるのは難しい。したがって、地表下盤ブロックの北傾斜と坑井地点との間に向斜が推定される。

一方、坑井位置における下盤の Ieru 層上限は Darai

層の層厚と傾斜から、図7の●印の地点にくると推定される。ここから Ieru 層上限を南傾斜で北方に延長すると、断層上の Ieru 層上限の地点 (B') と直線でつながらないため、両者間には傾斜の反転、すなわち背斜が存在すると考えられる。そこで坑井位置よりやや北に背斜頂部を推定し、線長バランス法で構造を検証した後、さらに掘削が進められた。

3.2.3 下盤の探鉱

Ieru 層に入ると地層傾斜は安定し、ディップメーターで 30° 以上の北傾斜の卓越が確認された。さらに Imburu 層内では傾斜が反転し、南傾斜が確認され、これにより下盤での背斜構造の存在が確認された。下盤 Darai 層掘削時、坑井は南傾斜で背斜軸よりやや南翼部に位置すると想定していたが、実際にはほぼ背斜軸上を通過していたと考えられ、背斜軸の位置の推定は若干ずれたものの、下盤における背斜構造の存在は証明された。図8に掘削終了時の構造解釈断面を示した。下盤背斜構造の成因や構造タイプについては、その構造を規定する断層の情報がないため、現状では確認できない。ここでは、当該構造がバプア褶曲帯最南端で前縁盆地と接する位置にあることから、ジュラ系リフトベズンを画した正断層の反転による構造と解釈した。

本試掘は、貯留岩層準の砂の発達が悪かったため不成功に終わった。しかし、本試掘井により、従来は探鉱対

図7 下盤構造の推定 (縦横比1:1)

図8 掘削終了時の構造解釈 (縦横比1:1)

象外と考えられてきたパプア褶曲帯の下盤において背斜構造の存在が証明された意義は大きい。

単純な断層折れ曲がり褶曲のモデルは単斜構造が断層により斜めに切られたランプを想定しているが、本試掘井の結果は背斜構造の翼部もランプになりうる可能性を示した。当該試掘構造のような上盤（地表）における雄大な背斜構造は下盤の背斜構造翼部をランプとして、上盤が背斜上に乗り上げれば、容易に形成される。また、下盤背斜構造の形成によって上盤が持ち上げられるビギーバック型の背斜状累重の形成も、下盤背斜構造形成メカニズムのひとつと考えられる。いずれにしても、今回の試掘で得られた探鉱上の知見は、地表の雄大な背斜構造はたとえ浅所で低角スラストにより切られていたとしても、下盤に何らかの背斜構造が存在する可能性が十分にあるということである。

3.3 SCAT analysis による下盤構造の検討

掘削後、ディップメーターの記録による簡単なSCAT (Statistical Curvature Analysis Technique; Bengton, 1981) 分析を実施した。図9に当該試掘井下盤のIeru層以深の方位一傾斜プロットを示した。地層の傾斜とその方向をプロットした方位一傾斜プロットはきれいなU字形を呈し、Bengton (1981) の定義によれば、この構造はプランジする背斜構造を示している。またU字の底に当たる（傾斜がもっとも小さくなる）方位

図9 下盤地層傾斜データによる方位一傾斜プロット (SCAT 分析)

から、300° 付近（西北西）が背斜のプランジする方向になると推測できる。すなわち、本坑井はほぼ背斜軸上の頂部～西北西プランジ間に掘削されたことになる。

地層傾斜方向を深度でプロットした方位一深度プロット（図10）は、3,300 m 以浅の地層が北傾斜を示しているのに対し、それ以深が南傾斜に転じ、さらに坑底付近で再び北傾斜に変わる様子を良く示しており、本坑井は3,330 m 付近で背斜軸を貫通していると考えられる。図10をさらに詳しく観察すると、3,400 m から3,500 m 付近にかけて、地層の傾斜方向が北から南へ3回シフト（細い矢印）しており、地層傾斜角を深度上にプロットした傾斜一深度プロットでも同様な傾向が認められる。

図 10 下盤地層傾斜データによる方位—深度プロット (SCAT 分析)

この3回の繰り返しパターンを再度方位—傾斜プロットに表現してみると、それぞれがU字形の一部をなしていることが確認された。これは背斜構造の一部が繰り返す、背斜状累重のような構造形態を示唆しているものと考えられた。

次に、スラストによる繰り返しがあるかどうか、電気検層および渦鞭毛藻帯の調査を実施してみたが、3回の同様な地層傾斜パターンが繰り返す区間において、繰り返しの事象を判断することができなかった。しかしながら、地層傾斜パターンが繰り返す区間は、周辺坑井と比較して、ひとつの渦鞭毛藻帯が異常に厚くなっていることが確認され、小規模な逆断層を伴う背斜状累重の可能性が高いと考えられた。概念的な構造解釈を図11に示した。

このように、SCAT 分析は坑井や地表の地層傾斜から背斜軸やプランジの方向などの地質構造を判定するのに有効である。今回の結果、ひとつの背斜構造中の小規模な構造形態まで把握できる可能性が示されたことはSCAT 分析利用の範囲を広げるものと考えられる。

図 11 SCAT 分析結果から推定した下盤背斜の内部構造概念図

4. 試掘後に公表された構造モデル

1990年代前半まで、バプア褶曲帯で用いられた構造タイプは、単純なランブ褶曲と背斜構造に至らないデュプレックスが主流であった。しかしながら、今回紹介した試掘井掘削後の1990年代後半から、下盤背斜構造など新しいトラップ構造の可能性を示唆する多様な構造モデルが公表されるようになった。代表的なものを挙げると以下のようなになる。

4.1 インバージョン (thick skin) モデル (図12)

Buchanan and Warburton (1996), Fischer and Warburton (1996) などは、褶曲帯全域の構造形成に関し、リフト—パッシブマージン堆積盆地時代の正断層の反転 (比較的高角な逆断層で基盤巻き込み型) とバックリングによる褶曲が主要と考え、従来から用いられているスラスト・ランブ褶曲モデルの解釈 (thin skin model) を否定した。ただし、流動性を生じやすいインコンピテント (incompetent) な Ieru 層では、層内に低角スラストや背斜構造などの構造が形成されるとしている。彼らは Strongly Folded Belt ばかりでなく Imbricate Zone にも同様に、このインバージョンモデルを適用している。

4.2 ホルストに乗り上げたランブ褶曲モデル (図13)

Fischer and Warburton (1996) はインバージョンモデルを基本にバプア褶曲帯の構造解釈をしながらも、伸張場で形成されたホルストをランブとして、そこに乗り

図 12 インバージョンモデルに基づく解釈断面図 (Fischer and Warburton, 1996)

図 13 下盤ホルスト部をランプとして、スラストにより上盤が乗り上げた背斜構造モデル (Fischer and Warburton, 1996)

上げた褶曲のモデルを発表した。彼らは Darai 層の繰り返しのため不成功となった構造のなかに、下盤ホルストプレイトタイプの鉱床が存在する可能性を示した。このような構造モデルは、我が国北海道の褶曲帯でも用いられている (栗田・横井, 2000)。

4.3 Thin skinおよびthick skin組合わせモデル (図 14)

Mason (1996) はパプア褶曲帯北西部の構造解釈を行い、上位の Darai 層の構造をデュプレックス (thin skin model) としたが、下位の中生代の構造についてはインバージョンによるもの (thick skin model) と考え、二つのモデルの組み合わせで解釈した。Mason (1996) は構造形成の順序として、Darai 層のデュプレックスが先で、その後にジュラ系正断層の反転が生じたと考えている。

4.4 トライアングルゾーンなど (図 15)

Medd (1996) はパプア褶曲帯南東部最前列の Puri 背斜を、カナダロッキー山脈に適用されているトライアングルゾーン (passive roof duplex) によって解釈した。Eisenberg (1996) も同様に、上部および下部のデタッ

図 14 Darai 層をデュプレックス、白亜系～ジュラ系をインバージョンで解釈したモデル (Mason, 1996)

図 15 Triangle Zone (passive roof duplex) による解釈例 (Medd, 1996)

チメントで形成されるウェッジをパプア褶曲帯北西部の広域構造モデルとして用いている。

本地域で新たに提案された構造モデルは前述のように多様であるが、実際にはそれらのモデルの組み合わせや、構造ごとに異なるモデルの適用が必要になる場合もあり、現時点でひとつのモデルに限定するのは危険である。それよりも、個々の構造について、少しずつではあるが実施されるようになった地震探査の記録断面や他の地質情報をもとに、個別に適用構造モデルを決定するほうが安全で現実的であると考えられる。

5. ま と め

地表条件などから地震探査データがないパプア褶曲帯において、初めて下盤を対象とした試掘が実施された。掘削と同時並行的に、バランスドクロスセクション法による構造解釈を実施し、下盤構造の存在を推定した。

従来の単純な1層の断層折れ曲がり褶曲モデルでは、下盤の構造変形は表現されない。そのため、地震探査によるコントロールがほとんどなかったパプア褶曲帯では、下盤の探鉱は見送られていた。

スラストが予想より浅所で出現し、上盤の可能性が否定された構造において、断層の変位、層序、層厚、下盤の地層傾斜と断層形態の推定をもとに、バランスドクロスセクション法を適用して未知の下盤背斜構造の存在を推定した。

掘削の結果、下盤ではば予想通りの背斜構造が確認された。たとえ上盤構造が浅所でスラストにより切られていても、バランスを考慮した構造解釈により、上盤背斜構造の下盤には何らかの高まりが存在する可能性があることが示された。

SCAT 分析は、未知の背斜構造の形態を推定するのに有効であることが確認された。特に背斜軸が傾いている場合は両翼のデータが得られるため、解析の精度が高まる。また、SCAT 分析により背斜状累重の存在が示唆された。

近年、技術の向上によって、パプア褶曲帯でも地震探査が実施され、下盤構造の推定に大きな情報がもたらされるようになった。しかしながら測線の密度や記録の面から、地震探査だけによる構造把握は困難であり、地質や物理探鉱データを総合したバランスドクロスセクションなどの推定法の重要性は依然として変わっていない。

今回対象とした試掘の結果からも明らかなように、パプア褶曲帯 Strongly Folded Belt 下盤は必ずしも未変形の緩傾斜ではなく、圧縮運動に関係した構造を呈する可能性が高い。実際、パプア褶曲帯でも下盤構造から油層が発見され、下盤も新しい探鉱対象として注目され始めている。

謝 辞

本論文を公表するに当たり、パプアニューギニア PPL190 のジョイントベンチャーである Barracuda Pty Limited, サザンハイランド石油開発株式会社, Oil Search Limited, Cue Energy Holdings Limited の各社には内部資料の公表を認めていただきました。またジャ

パンエナジー石油開発株式会社の佐藤俊二取締役探鉱担当部長、竹崎 斉主席技師長、畑中 実主席技師長、小鷹 長技師長には論文公表にあたり貴重な助言を賜りました。ここに深く感謝いたします。

引 用 文 献

- Bengston, C. A., 1981 : Structural curvature analysis techniques for structural interpretation of dip-meter data. AAPG, **65**, 312-332.
- Buchanan, P. J. and Warburton J. 1996 : The influence of pre-existing basin architecture in the development of the Papuan fold and thrust belt : implications for petroleum prospectivity. In Buchanan, P. G., ed. : *Proceedings of the 3rd PNG Petroleum Convention*, 89-109.
- Eisenberg, L., 1996 : Strontium isotope analysis and structural interpretation of P'nyang Anticline, Papuan Fold Belt, Western Highlands Province, Papua New Guinea. In Buchanan, P. G., ed. : *Proceedings of the 3rd PNG Petroleum Convention*, 231-243.
- Fischer, M. W. and Warburton J., 1996 : The importance of pre-Tertiary basin architecture for hydrocarbon accumulation in the Papuan fold and thrust belt : models, analogues and implications. In Buchanan, P. G., ed. : *Proceedings of the 3rd PNG Petroleum Convention*, 111-131.
- Groshong, R. H. Jr., 1995 : *A manual for the quantitative interpretation of structural geometry (Second Edition)*. OGCI.
- Hill, K. C., 1990 : Structural styles and hydrocarbons in the Papuan Fold Belt, a review. In Carman, G. J. and carman, Z., ed. : *Proceedings of the First PNG Petroleum Convention*, 301-310.
- Hodell, D. A., Muller, P. A. and Garrido, J. R., 1991 : Variations in the strontium isotopic composition of seawater during the Neogene. *Geology*, **19**, 24-27.
- 小鷹 長・金子光好, 1996 : 地震探鉱のない石油探鉱—PNG, SE Gobe 油田と構造解釈—. 石技誌, **61**, 3-14.
- 栗田裕司・横井 悟, 2000 : 中央北海道南部における新生代テクトニクスの変遷と油田構造形成. 石技誌, **65** (1), 印刷中.
- Mason, R. A., 1996 : Structure of the western Papuan Fold Belt, In Buchanan, P. G., ed. : *Proceedings of the 3rd PNG Petroleum Convention*, 161-173.
- Medd, D. M., 1996 : Triangle zone deformation at the leading edge of the Papuan Fold Belt, In Buchanan, P. G., ed. : *Proceedings of the 3rd PNG Petroleum Convention*, 217-229.
- Suppe, J., 1985 : *Principles of structural geology*. Prentice-Hall, New Jersey, 537 p.