炭化水素の移動集積における Porosity Anomaly の重要性*

藤 田 嘉 彦**

(昭和51年11月5日受理)

The Role of Shale Porosity Anomaly in Hydrocarbon Exploration

By

Yoshihiko FUJITA

Abstract: In order to initiate primary migration of the petroleum, the drainage areas relating to the traps are to be buried within the critical range in which the petroleum is generated.

Petroleum expulsion from the source beds to the carrier beds can occur regardless of the formation of the traps. However, primary migration is only effective in forming commercial oil pools in cases where the reservoirs form traps and their caprocks have enough sealing capacities. In Japan, the carrying medium for petroleum in primary migration is pore water which is expelled from the source beds.

Where the porosity anomaly of undercompacted argillaceous sediments is buried to the depth of the petroleum generating zone, the porosity anomaly zone plays two parts in forming petroleum deposits: In the first place, it's the potential source of the primary petroleum migration, and in the second place, it's the barrier to the upward migration of the liquid which is expelled from source beds.

Where a permeable bed is sandwiched between two porosity anomalies, the permeable bed receives the liquid expelled from the anomaly zones, and the liquid is forced to move laterally in the layer. This liquid movement in the permeable layer could form commercial petroleum deposits in the traps.

We have been engaged in petroleum exploration mainly based on the structural control philosophy. However, the writer found that many commercial hydrocarbon deposits were confined within specific stratigraphic intervals relating to the porosity anomalies.

For example, the porosity anomaly which lies immediately above the stratigraphic trap in the Minami-Aga field is important evidence in discovering the target zone of potential hydrocarbon deposits. Combining this porosity anomaly and other geological data, we will be able to point out the target stratigraphic zone for potential hydrocarbon deposits more precisely.

1. は じ め に

炭化水素の移動集積の問題は石油の起源論ならびにトラップ条件と切離して考えることはできない。

これに関する基礎的な考察は三土 (1960) 等を、また最近の諸説は田口 (1975) の総説あるいは本シンポジウムにおける河井の序論を参照されたい。

筆者は最近の石油地化学的知見ならびに泥質岩の圧密と caprock 機能に関する知見を総合した炭化水素類の移動集積に関する考察を通じ、泥岩の porosity anomaly

が探鉱 target zone の摘出に有効であるとの結論に達したのでこれを報告し、諸賢のご批判を仰ぎたい。

ただし、テクトニクスをあまり受けていない砕屑岩累層を対象とし、水溶性ガスも除外する。

本論では porosity anomaly の役割と鉱床との関係を中心に報告する。これは地化学的必要条件が満足されている前提に立つものであるが、それについての詳細は別報にゆずり、ここでは基本的観点を述べるにとどめた。

2. 炭化水素の生成・移動の時期

量的観点から鉱床規模の炭化水素の生成はケロジンの分解に待たねばならない。したがって根源岩中の有機物

*昭和51年5月27日、第41回石油技術協会総会地質・探鉱シンポジウム講演、秋田大学藤岡一男教授退官記念論文集に投稿した内容の1部と重複する。

**帝国石油開発技術研究所

Fig. 1 The ratio of extractable heavy hydrocarbons to organic carbon in natural dried coal, in relation to some coalification parameters and oil and gas generation (HOOD & GUTJAH, 1972 with additions by TEICHMÜLLER).

LOM: Level of Organic Metamorphism;

a.f : ash-free

w.a.f: water-, ash-free;

Ro : reflectance of vitrinite under oil.

(after TEICHMÜLLER, M., 1974)

の量、それが石油型かガス型かの質とその熟成度を重視する。

各種熟成度スケールに対応した“主たる石油生成域”が世界的に提案され（たとえば Fig. 1）1つの概念として流通している。当然これに対する異論もある。筆者自身の考えは本論ではひとまずおくが、いずれにしても実際問題として、どの熟成段階が根源岩として良好なのかということの立証はかなり難しいことである。それには貯留岩と根源岩中の炭化水素の対比が不可欠であるが、まだ解決されたとは思えない。後述する鉱床と根源岩をユニットで区分する考え方は両者の対比の足しになると考えている。

移動の時期はケロジンから流体の石油が生成されてからであると考えているが、粘性等、質的に動き易い段階が当然であるであろう。石油が生成（通念に従う）されてからであるという証拠の1つとして“石油化度の負の異常帯”（藤田ら1975, 1976）の存在をあげたい（Fig. 2）。

理由は、ある条件下から深度とともに増加する“石油化度”が減少している負の異常帯が、根源岩から炭化水素が移動した結果生じたものと考えられること、その方向が次節で述べる移動の方向と合致すること、および異常帯の位置から、これが形成されたのは根源岩がいわ

る石油生成域まで埋没してからと考えられることによる。

3. 移動のエネルギーと媒体について

生成された石油の移動のエネルギーは間隙流体ポテンシャル（正常静水圧を上まわる過剰圧成分）で、その勾配の負の方向であれば3次的にどの方向にでも移動する。いわゆる、粘土の層間水が自由水化した水（POWERS, 1967; BURST, 1969; JONES, 1970）であってもこの法則に従って移動すべきであろう。

一般に、間隙流体がポテンシャルを有するゾーンは泥岩の圧密過程で排水効率の低さから生ずる（RUBEY & HUBBERT, 1959）もので、これを porosity の垂直変化で見た場合、正常に圧密を受けた“normal porosity trend”に対して、圧密が遅れている“porosity anomaly”ゾーンを呈する（Fig. 3）。これに関しては真柄（1966〜）が一連の報告を発表しているのでそれらを参照されたい。真柄（1967）がこれにより下方移動を提起した功績は高く評価される。

層間水が自由間隙水化する際に相変化で生ずるポテンシャルは層間水の比重が間隙水のそれと大差無い（BURST, 1969）ことから大きくないと思うが、閉塞さ

Fig. 2 Variation of " ϕ " and "Ch/Co" with burial, in relation to primary oil migration.

ϕ : fractional shale porosity;

Ch/Co: the ratio of carbon in hydrocarbons to total organic carbon in rock.

Left: MITI-Yoshida well, Niigata, Japan.

Right: a well in Niger Delta, Nigeria.

れた系内での熱膨張で生ずるポテンシャルはひとまずおきたい。また、はじめに断わったごとくテクトニクスによるポテンシャルは除外する。

初期移動の媒体となる水の起源に関し、層間結合水が重視されている Gulf Coast の第三系泥岩は80%が粘土鉱物で、その80%がモンモリロナイトである (BURST, 1969; JONES, 1970) という特殊な地層であることは留意すべきである。日本のように、この種の粘土含有量が少ないところでは初生的間隙水を重視したい。

移動の媒体として層間水説を唱える人々は圧密水流が埋没後数100mで無くなると考えているが、初生的間隙水が相当の深度まで残存することを次に示そう。

泥岩が正常な圧密により porosity 20%に達する埋没深度はどのくらいであろうか。

正常な圧密を受けた泥岩 porosity (ϕ) の深度 (Z)

Fig. 3 Schematic vertical distribution of shale porosity. (after MAGARA, K., 1968)

Fig. 4 Relation of normal compacted shale fractional porosity (ϕ) to burial depth (Z), for various values of α (in Fig. 5), assuming average initial porosity of 0.65.

Fig. 5 Crossplot of ϕ_{0a} and α . In this crossplot five groups are recognized.

ϕ_{0a} : apparent initial porosity which is obtained from the extention of the normal porosity trend (cf. Fig. 3) to the present surface;

α : a gradient index of normal compaction trend line, and takes values of between 0 and 1.

分布は normal trend の直線を呈し (Fig. 4)

$$\phi = \phi_{0a} e^{-c\alpha Z}, (c = 1.42 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1})$$

なる一般式で表わされる。ここで ϕ_{0a} , α は圧密の特性を表わすパラメーターで、その新潟における例は Fig. 5 に示すごとくである。

式から明かなように ϕ_{0a} は ϕ の初期値であるが、削剝量を考慮して見掛けの初期値として扱った。上式が適用できる範囲での真の初期値 ϕ_0 としてはいろいろ検討した結果 0.65 (Fig. 4) を暫定的に用いている (藤田ら 1973)。

α は Fig. 4 に見られるごとく直線の勾配を示し、 $0 \leq \alpha \leq 1$ の範囲の値をとるが、 $\alpha = 1$ の場合の勾配が ATHV (1930) の例 (Fig. 5 の A) と一致するように定数 c を定めてある。

Fig. 5 に見られるごとく新潟でも、堆積速度、埋没後の時間経過、岩相等の影響により圧密特性に差があり、西蒲原、新潟、北蒲原、頸城の順序で α が大きくなるが全体として α 値は 0.3~0.6 の範囲にある。

したがって porosity すなわち含水率 20% になる埋没深度は Fig. 4 で $\phi = 0.2$ になる深度 2,700~1,400m (α 値と同順) である。

Fig. 4 は $\phi_0 = 0.65$ からスタートしているが、現在の深度は Fig. 4 で得られた埋没深度から当該 α の線上で ϕ_{0a} に達する深度、すなわち削剝量を読んで差引けば得られる。

以上は堆積物が静水圧下 (頸城のような例外もあるが今は保留する) にある場合の統計で、 α は CHAPMAN (1972) の δ と式上は同じであるが定数の持つ意味は異なるものである。

4. Caprock 機能について

トラップに集積し得る炭化水素コラムは caprock 機能に対応する。水にくらべて比重の軽いガスの場合 caprock の threshold pressure は非常に重要である (石和田, 1963; 高崎ら, 1975)。この圧力は埋没により porosity が低下するにつれて大きくなる。

筆者らのデータによれば、泥岩が 15KSC の threshold pressure を得る、すなわち約 150m のガスコラムを被覆し得るために要求される平均 porosity は 20% である (高崎ら, 1975)。そしてこれに達する埋没深度が 2,700~1,400m であることは前節で見たごとくである。

他方、porosity anomaly ゾーンは、それ自身の有する間隙水のポテンシャルにより有力な caprock として作用する。次にこれが比較的早期に形成されることについて述べたい。

Fig. 3 で Ze は RUBEY & HUBBERT (1959) により“圧密平衡深度”と定義されたものである。その意味は

圧密が極限状態まで、すなわち深度 Z におけるポテンシャルが0になるまで圧密された時に得られる深度であった。その意味では Z_e が観念的な深度であって、現実には存在し得ないものであることはFig.3の深度 Z のanomaly部分の Z_e が、その上位のnormal trendの下限よりも浅くなるという不合理性から容易に理解される。

CHAPMAN (1973) は Z_e の現実的な意味を、深度 Z におけるポテンシャルが少なくとも深度 Z_e あるいはむしろより浅い時点から生成し始め、porosityを漸減しながら現在に至ったところにあるとした。

筆者(藤田ら, 1973)も同じ見解で、これは多くの事

例で確かめられている。anomalyのあるものはporosity 40%前後で、きわめて浅い深度が Z_e になっている。

5. Porosity Anomaly と鉱床

筆者は上述のごとく、porosity anomalyが炭化水素の移動集積において(1)流体(水+炭化水素)移動のポテンシャル源として、(2)流体の垂直移動に対し、正常圧密normal trendの場合よりも早くから、barrierすなわち炭化水素に対するcaprockとして、重要な2役を演じていることを強調したい。

これにより鉱床と根源岩は1つのユニットとして取扱われるべきである(藤田ら, 1973)ことは1973年のシン

Fig. 6 Structure on top of the Shiya (late Miocene) in the Niigata plain. Pools of hydrocarbon are shaded. The up dip wedge-out of sand with the north-plunging Niitsu anticline forms the Minami-Aga trap. Contour interval is 500 m, circles show wells, and lines show geological sections. Large circles are shown on sections 4-4', D-D' and B-B'. See figures 7, 8 and 9.

ポジウムならびに本島ら (1974) で報告した。

以上から鉱床が形成される1つの過程が推察される。すなわち porosity anomaly で挟まれる1ユニットの根源岩層がすべて、あるいは down dip の一部で、有機物の熟成度が主たる石油生成域にある場合、側方移動により、根源岩ユニットに介在する多孔質浸透性の地層より成るトラップに鉱床が形成される可能性がある。この場合、石油生成のタイミングは圧密水流の有効深度内で行なわれることが鉱床形成に有利なことはいうまでもない。これについて初生的間隙水がかなりの深度まで維持されることはすでに述べたが、地温勾配の高いことが望まれる。

石油生成域に達した根源岩からの正常な圧密上昇水流も porosity anomaly がまったく認められない normal trend のところでは、threshold pressure にもよるが鉱床形成には不利と思われる。

また、掘さく申ししばしば深部で遭遇する異常高压帯は掘り抜いた例は少ないが、上方に負のポテンシャル勾配が連続するところでは移動が続き、高压帯の中にはトラップされないであろう。だが下向きに負になるような傾向が認められれば、これは異常高压帯自身が解消される可能性を示すもので、これを掘り抜いた下部に存在する多孔質浸透性トラップに鉱床の形成が期待される。

従来、構造トラップが多いので鉱床成立には構造が重視され、探鉱するためにはそれが正攻法であった。筆者

はけっしてこれを否定するものではない。しかしながら、その産出層準が anomaly に支配されている事実も重視されなければなるまい。porosity anomaly と関連している鉱床は多い。

たとえば、新潟の南阿賀油田 (後述)、吉田油層 (Fig. 2)、図は省略するが中央油帯のグリーンタフ鉱床、真柄 (1967 a, b) により指摘された紫雲寺グリーンタフ鉱床、長岡火山岩鉱床、そして秋田の八橋油田の深層 (本島ら, 1974; 鍋谷ら, 1973) のほか、外国ではアフリカのニジェール・デルタ (Fig. 2) そしてカナダのマッケンジー・デルタ (EVANS et al., 1975) などがあげられる。

はじめの2つを除けば構造的要因の方が強いが、それでも鉱床の層準と anomaly は関係している。これが down dip, gathering area と考えられる位置での、いわゆる層序試錐的坑井における porosity anomaly を重視するゆえんである。特に探鉱が難しい層位封塞鉱床に対してはそれが重要な手掛りとなろう。

6. Anomaly と南阿賀油田

南阿賀油田 (Fig. 6) は油層を形成する砂が構造頂部に尖滅するため産油範囲が構造の北方かつ東翼沈降部に著しく偏している層位トラップで、発見がきわめて難しいタイプの油田であることは周知のごとくである。この南阿賀をあらためて porosity anomaly から眺めてみよ

Fig. 7 Cross section (4-4') across the Minami-Aga oil field. Two porosity anomaly zones "A" and "B" are shaded. The B zone lies immediately above the 2,230m zone, and is better developed in Momozu-1 well area. Oil is producing from Minami-Aga 2,230m layer. Producing zone is shown in black.

Un: Uonuma G.; Hz: Haizume F.; U.Ny: Upper Nishiyama F.; L.Ny: Lower Nishiyama F.; Sy: Shiya F.; Td: Teradomari F.; Nt: Nanatani F.

Fig. 8 Cross section (D-D') across the Minami-Aga oil field obliquely. Two porosity anomaly zones "A" and "B" are shaded. The B zone lies immediately above the 2,230m zone, and is better developed in Otsuki MT-1 well area. Oil is producing from Minami-Aga 2,230m layer. Producing zone is shown in black.

Fig. 9 Longitudinal section (B-B') along the axis of Niitsu-Minami-Aga anticlinal structure. In addition to the "A" and "B" porosity anomalies, "C" zone is shown in this section. This C zone is located at the formation boundary between Shiya and Teradomari.

う。

Fig. 7～9は勾配を2倍に誇張した地質断面に泥岩 porosity の垂直分布を重ねて示したものである。断面線は Fig. 6に示した。坑井と斜交する点群が porosity の対数プロットで、その normal trend を直線で示した。porosity のスケールは図に示されているが、坑井位置(岩相を示した柱の左側の線)が20%になるように配置されている。

構造を横断する断面 4-4' (Fig. 7), D-D' (Fig. 8)に

よれば、南阿賀周辺、西は小阿賀、大蔵から、東は大月、百津にかけて、地層とは必ずしも平行ではないが、下部西山層準 (L. Ny) から椎谷層準 (Sy) 上部にかけて比較的顕著な porosity anomaly が認められる。これをB帯と仮称する。

また、良く見ると灰爪層準 (Hz) から上部西山層準 (U. Ny) にかけても anomaly の萌芽が認められる。これをA帯と仮称する。A帯の porosity は40%前後で、これは前述した anomaly は比較的早期に形成され得る

という1例でもある。

次に、構造方向の断面 B-B' (Fig. 9) の北部を見ると、上記A, B帯のほかに MITI- 大淵では椎谷層準 (Sy) 下部から寺泊層準 (Td) 上部にかけて anomaly が認められる。これをC帯と仮称する。C帯は南阿賀の南、新津油田に近い東新津でも認められる。

以上のごとく、南阿賀周辺にはA, B, C 3帯の porosity anomaly がある。ただし、蒲原 GS-2 (Fig. 7) はB帯の層準まで達していないが、他の地質データから見て新潟平野西部にはB帯が存在しない可能性が強い。またB帯は北方、東新潟・松崎方面では存在はするが南ほど顕著でない。

B帯が顕著に発達するのは南阿賀東方、北蒲原東部で、Fig. 6の範囲を越えた地域まで連続的に広く分布している。そして南阿賀油層 (2,230m層) 相当砂層はこのB帯の下、南阿賀北・東部に広く分布している。

この2,230m相当層を介する根源岩ユニットの上限は問題なく上記B帯の中である。下限はややあいまいで、砂のすぐ下に認められるまだB帯のグループとみなせる anomaly の中としても良さそうに見えるが、ここでは幅を持たせてC帯の中としたい。すなわちC帯の下の寺泊層は根源岩として参加していないと考えているのであるが、これはペリレン・ポルフィリン等のデータから支持を得ている (石油開発公団 TRC, 工藤修治談, 1973)。

2,230m相当層の分布が広いことはすでに述べたが、このことはB帯により側方移動を強制された gathering area が広いことを意味し、この場合B帯はその下位に探鉱の target zone のあることを示唆している。そして実際にはこの砂が新津背斜北方沈降部に対し、南・西に向かって尖滅するところに南阿賀油田は形成されている。

南阿賀では砂層とB帯が接し、B帯が caprock の機能を果している。この場合砂が尖滅した位置より若干 updip 側 (南阿賀13, 16号井) の同層準の泥岩中にも anomaly の正常化現象が認められることは注目したい。すなわち、これにより target area がある程度絞られるであろう。

さて、南阿賀への migration pass は、単純に updip 方向というほど簡単ではなさそうである (小松, 本シンポジウム)。しかしながら2,230m相当層に接する泥岩の圧密が進み (porosity が低い)、その割には層厚のある大月 (Fig. 8) そして百津 (Fig. 7) のやや西方、背斜を越した付近からはそれだけ多量の水が2,230m相当層に対して供給されたはずである。そしてこれを後押しするB帯の発達規模も著しいことから見て大月～百津地域が

源となっているものと考えている。

なおB帯が層準的に下がっている小阿賀 (Fig. 7) 方面からは、2,230m相当層より下位の新津のいわゆる金津産油層に向って移動が行なわれたものと推定される。

筆者は以上において anomaly のポテンシャルに関しては定性的に扱って来た。それは“anomaly の深度とその圧密平衡深度間の単位断面積当りの含水堆積物柱の浮力を差引いた荷重に等しい” (RUBEY & HUBBERT, 1959) という近似式から一応計算されるので検討してみたのであるが、堆積地史や水理地質学的と考えられる問題点が多過ぎるので保留した次第である。これについては最近、さく井の分野で掘進率と関連して研究されている dc 指数 (田中ら, 1975) 等のデータの蓄積を待って検討を続けたい。それにより移動の具体的な方向の推定も可能になるものと予測される。

7. ま と め

泥岩の圧密の遅れで形成される porosity anomaly は炭化水素の移動集積において一石二鳥の作用をする。すなわち、まず、泥岩より成る根源岩中の有機物の熟成度が石油生成域に達すると、炭化水素を含む流体移動のポテンシャル源として作用する。また、流体の垂直移動に対しては normal trend の場合よりも早期から、そして石油生成の時期よりも早期から barrier を成し、炭化水素の集積に対して完全な caprock として作用する。

それ故、移動集積の問題は上下2つの barrier の間を1ユニットとして考えることができる。このユニットの中で porosity anomaly の有するポテンシャルは、炭化水素が貯留層へ側方移動することを強制し、鉱床形成に寄与していると考えられる。

porosity anomaly と関連している鉱床は多い。従来、構造トラップが多いので鉱床成立には構造の方が主と考えられて来たし、探鉱するためにはそれが正攻法であることは否定しないが、その産出層準が anomaly に支配されている事実も重視されなければならない。すなわち、downdip 側の層序試錐的坑井で porosity anomaly がどのように存在するか注目すべきである。

層位封塞型の南阿賀油田に対し、B帯の anomaly の存在は少なくとも探鉱 target zone の割出しに役立ち、これと他の地質データと総合すると、ある程度まで極隆部以外の target area も推定可能と考えている。これについては anomaly のポテンシャルの定量的検討が今後の問題として残されている。

謝 辞

本稿中の資料の公表を許可されたナイジェリア石油開発株式会社ならびに帝国石油株式会社のご好意に感謝す

る。

帝国石油(株)常務取締役荒川洋一氏、同理事・技術研究所長竹内敏雄氏には日常研究に関するあらゆるご便宜とご鞭撻をいただいている。同本社小松直幹博士には本稿のテーマに対し絶えず激励をいただいた。また高崎真和、関口嘉一の諸兄を初めとする同社技術研究所の諸氏は基礎的資料の作成にまた日頃の討論に協力を惜しまれなかった。以上の諸氏のご好意に対し記して心から謝意を表する。

引 用 文 献

- ATHY, L.A. (1930): Density, porosity, and compaction of sedimentary rocks, *A.A.P.G. Bull.*, vol. 14, no. 1, p.1-24.
- BURST, J.F. (1969): Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration, *A.A.P.G. Bull.*, vol. 53, no. 1, p.73-93.
- CHAPMAN, R.E. (1972): Primary migration of petroleum from clay source bed, *A.A.P.G. Bull.*, vol. 56, no. 11, p.2185-2191.
- (1973): Petroleum geology, Elsevier Scientific Publishing Co.
- EVANS, C.R., McIVOR, D.K., and MAGARA, K. (1975): Organic matter, compaction history and hydrocarbon occurrence-Mackenzie Delta, Canada, PD 3(2), 9th WPC.
- 藤田嘉彦, 高崎真和, 関口嘉一(1973): 泥質岩における堆積継変作用に関する研究——Compaction に関して, 帝国石油(株)技術研究所報告, no. 406.
- , 関口嘉一, 宮本泰行(1975): 根源岩通常有機物分析値の垂直分布にみられる負の傾向異常の探鉱への応用(要旨), 石技誌, vol. 40, no. 5, p.283-284.
- , 浅川忠, 工藤修治(1976): 石油探査における地球化学の役割, 地球化学, vol. 10, p.53-57.
- (1977): 炭化水素の移動集積に関する一考察と探鉱への応用, 秋田大学藤岡一男教授退官論文集(投稿中)
- 石和田靖章(1963): 遊離型天然ガス鉱床の形成における Cap Rock の重要性について, 石技誌, vol. 28, no. 1, p.16-21.
- JONES, P.H. (1970): Geothermal resources of the northern gulf of Mexico basin, U.N. Symposium on the development and utilization of geothermal resources, PISA.
- 小松直幹(1976): 松崎・南阿賀系列における炭化水素の移動と集積, 石技誌(投稿中).
- 真柄欽次(1966): 検層データーによる異常高圧層の判定, 石技誌, vol. 31, no. 2, p.67-70.
- (1967 a): 紫雲寺ガス田における下方移動の可能性について, 石技誌, vol. 32, no. 1, p.1-8.
- (1967 b): 長岡平野における泥質岩の圧緊と圧緊水流, 石技誌, vol. 32, no. 3, p.111-119.
- (1968): 上方移動と下方移動に関する考察(1), 石技誌, vol. 33, no. 4, p.228-235.
- MAGARA, K. (1968): Compaction and migration of fluids in Miocene mudstone, *A.A.P.G. Bull.*, vol. 52, no. 12, p.2466-2501.
- 三土知芳(1960): 石油の移動についての考察——特に日本の油田に言及しつつ, 石技誌, vol. 25, no. 5, p.200-239.
- 本島公司, 工藤修治, 藤田嘉彦, 浅川忠(1974): 石油・ガス鉱床の地球化学的研究面における最近の諸問題, 地球化学, vol. 6, p.56-65.
- 鍋谷裕夫, 藤岡一男(1973): 秋田油田における異常高圧層の発達, 石技誌, vol. 38, no. 2, p.79-86.
- POWERS, M.C. (1967): Fluid release mechanism in compacting marine mudrocks and their importance in oil exploration, *A.A.P.G. Bull.*, vol. 51, no. 7, p.1240-1254.
- RUBBY, W.W. and HUBBERT, M.K. (1959): Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting, *Bull. Geol. Survey of America*, vol. 70, p.167-205.
- 田口一雄(1975): 最近の石油成因説——統成作用後期成因説の再抬頭, 石技誌, vol. 40, no. 1, p.8-23.
- 高崎真和, 藤田嘉彦, 牧直夫(1975): 層位封塞のガス鉱床の探鉱における threshold pressure の重要性について(要旨), 石技誌, vol. 40, no. 5, p.282.
- 田中彰一, 林輝己, 佐々木芳郎(1975): 掘進率による地層圧の推定について—— d 及び dc 指数, 石技協, 作井技術研究会, 掘進率小委員会報告.
- TEICHMÜLLER, M. (1974): Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls, *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, Band 24, s. 65-112.

<質 疑 応 答>

河井 異常高圧は時間とともに次第に解消していくのではないか。したがって、日本の場合、Cretaceous のものなどでは、Neogene と違って解消してしまっている場合はないか。

藤田 小規模のものではあり得ると思う。しかし cap

rock 機能に関して threshold pressure は考慮すべきと思う。

池田 porosity anomaly を threshold pressure と関連させて探鉱の指針とする考え方を carbonate reservoir にも適用できるか。

藤田 carbonate と水溶性ガスは対象外としているので答えられない。

田口 abnormal pressure (zone) は2役に使われるであろう。すなわち、水の移動に使われる場合と、cap になる場合である。この abnormal zone からの水の移動（減少）は断層によるものではないか？

藤田 abnormal zone からの水の減少は potential 勾配によるものと考えている。

秋久 abnormal pressure zone がなくとも trap は可能でないか。つまり、normal porosity zone には炭化水素はプールされないのか？

藤田 abnormal pressure zone がなければ threshold pressure の理論を出したい。threshold pressure が小さければ、また abnormal pressure がなければ無効移動が続く。多くの鉱床は、abnormal pressure zone の下にある。

秋久 reservoir となる砂では abnormal pressure がなくとも、up-dip 方向へ流体が移動するのではないか。

藤田 圧密 current は原則として上方へ移動する。なお、砂の中をいわゆる側方移動でトラップする炭化水素については前問で答えた。