地層温度の推定

——検層時坑底温度の補正法とその問題点*——

佐々木 詔 雄**

(昭和59年2月15日受付, 59年5月17日受理)

An Empirical Method and A Few Problems For Estimating Formation Temperature from Bottom-hole Temperature Recorded during Logging

By

Akio SASAKI

Abstract: A theoretical Horner-type analysis of temperature which have been proposed by DOWDLE and COBB (1975) is recently used to obtain static formation temperature ($T_{F \text{ build}}$) from bottom-hole temperature (BHT) recorded during logging operations.

Reservoir temperature recorded in conjunction with bottom-hole pressure surveys (T_{BHP}), temperature recorded during drill stem test (T_{DST}) and $T_{F \text{ build}}$, which are regarded as true formation temperature (T_F), are related to the BHT associated with the first log run. Hence, the following equation is derived:

$$T_F = K \cdot BHT + \alpha \cdots \cdots \text{Eq. 1}$$

The coefficient K of Eq. 1 varies from 1.04 to 1.71 with the increase of geothermal gradient determined from the T_F . For examples:

$$T_F = 1.54 BHT - 9.8 \quad \text{at } 5.62 - 5.75^\circ\text{C}/100\text{m}$$

$$T_F = 1.13 BHT + 1.4 \quad \text{at } 2.10 - 2.60^\circ\text{C}/100\text{m}$$

It has been pointed out that the values in recorded BHT are too low in the high geothermal gradient area. The above regression lines gather at an intersecting point of $BHT = 25^\circ\text{C}$ and $T_F = 30^\circ\text{C}$, approximately. When the intersecting point is an origin of new co-ordinates, the Eq. 1 is given by;

$$T_F = A \cdot BHT \quad (A \doteq K, BHT \geq 25^\circ\text{C}) \cdots \cdots \text{Eq. 2}$$

The coefficient factor A of Eq. 2 is expressed as a function of geothermal gradient (GG_{BHT}) determined from the BHT .

$$A = 0.21 \cdot GG_{BHT} + 0.73 \cdots \cdots \text{Eq. 3}$$

$$(1.36 \leq GG_{BHT} \leq 4.49^\circ\text{C}/100\text{m})$$

The estimated formation temperature ($T_{F \text{ eq}}$) can be calculated from the BHT by the Eq. 2 and 3.

It is necessary to consider that the BHT rapidly rises after mud circulation stopped in the high geothermal gradient area, and changes by the effect of mud circulating time.

This empirical method is useful to determine the estimated formation temperature from the BHT , when the Horner-type analysis is not applicable.

1. ま え が き

近年, 石油・天然ガスの探鉱において, 地下深部の正確な地層温度分布や地温勾配を知ることが重視されるよ

うになった。地層温度は有機物の熟成, 自生鉱物の晶出, 貯留岩の特性変化などに重要な役割を果たし, 地質学および油層工学的考察を行う上で欠かせない要素の一つである。また, 泥水・セメンチングなどの掘削計画や機器材の選定・管理など掘削・生産技術の分野においても基礎的資料として重要である。

* 昭和58年6月3日石油技術協会第47回個人講演会において一部講演

** 三井石油開発㈱

地下深部の真の地層温度を連続的かつ正確に測定することは、経済的・時間的に多くの困難がある。そのため、地層温度分布を知る方法として、油・ガス層の坑底圧測定時に記録される最高温度（以下、坑底圧測定時温度と呼ぶ）、掘削後の試油・試ガス時に測定される最高温度（以下、DST時温度）、検層測定時に得られる各坑底最高温度（以下、検層時坑底温度）から求められた補正温度や温度検層による温度などが利用されている。

坑底圧測定時温度や DST 時温度は、ほぼ真の地層温度を示すと見なすことができるが、一般にこれらの測定は油・ガス田の坑井に集中する。一方、検層時坑底温度から真の地層温度を推定する方法が DOWDLE and COBB (1975), FERTL and WICHMANN (1977), NWACHUKWU (1976) や田中・佐藤 (1976) などによって提案されている。

最近の坑井では、DOWDLE ら(1975)の Horner Build-up 法を使って検層時坑底温度を補正し、得られた値を地層温度 (Static Formation Temperature, $T_{F\text{ build}}$) としている。しかし、古い坑井では、同一深度で連続的に実施された数種の検層時坑底温度の値や泥水循環時間などの記録が整っていないため、Horner Build-up 法による温度補正ができない。

そこで、田中・佐藤 (1977) は、坑底圧測定時温度 (T_{BHP}) がほぼ真の地下温度を表すことに注目し、検層時坑底温度 (T_{ES}) との関係を求め、 $T_{BHP} = K(T_{ES} - 15) + 15$ の経験式を提唱した。この補正係数 K ¹⁾ は新潟地域で 1.31、秋田地域で 1.35~1.50、北海道地域で 1.12~1.18 であるという (田中ら, 1977; 板橋ら, 1978; 正谷, 1980; SEKIGUCHI, 1984; 佐々木ら, 1982a, b)。田中らの経験式を使ってより正確な補正温度を求めようとするとき、この補正係数の値を幾つにするか? が問題となる。

本報告では、この補正係数の地域性とその要因について考察し、あわせて検層時坑底温度から真の地層温度を求める補正式を示す。

2. 油・ガス田における補正係数

泥水循環を停止した直後の坑底温度は、循環泥水の冷却によって真の地層温度より低くなっているが、放置しておくとも時間の経過とともに上昇し、次第に真の地層温度に近づき平衡状態になる。坑底圧測定時温度 (T_{BHP}) や DST 時温度 (T_{DST}) は、泥水循環の停止から温度測定までの経過時間が長いので、現在の真の地層温度に近似するであろう。検層時坑底温度を基に DOWDLE ら(1975)の Horner Build-up 法により求められた補正温度 (T_F

図1 油・ガス田における地層温度と検層時温度の分布および補正係数

T_{DST} : 試油・ガス時測定温度, $T_{F\text{ build}}$: DOWDLE and COBB (1975) による補正温度, $R_{AW\text{ BHT}}$: 検層時温度, T_{sf} : 年平均気温, T_0 : 地表温度, K : 地層温度による地温勾配と検層時温度による地温勾配の比

1) 坑底圧測定時温度による地温勾配と検層時温度による地温勾配の比。

build) は、理論的に比較的真的地層温度に近い値を示すと考えられる。

本文では、 T_{BHP} 、 T_{DST} および $T_{F\text{ build}}$ を現在の真的地層温度に等しいと仮定し、これらを総称して地層温度(T_F)と呼ぶ。また、泥水循環の停止から最初に測定された検層時坑底温度を検層時温度(BHT)とする。

図1は、地温勾配が異なる代表的な油・ガス田における地層温度(T_F)と検層時温度(BHT)の分布、並びにそれぞれの値から最小2乗法により求めた地温勾配と田中ら(1977)の補正係数 K の値を示す。新潟油田地域の補正係数 K がほぼ1.31である(田中・佐藤, 1977; 小椋, 1983)に対して、地温勾配が2.18°C/100mと低い基礎試錐遠別では検層時温度と地層温度の差が小さく、補正係数は1.18である。また、地温勾配が5.67°C/100mと著しく高いDARAガス田(タイ)では、検層時温度と地層温度の差が大きく、補正係数は1.61である。この補正係数の地域的差異は、地温勾配の高い地域ほど大きい。すなわち、地温勾配の高い地域における検層時温度は、地温勾配の低い地域のそれと比較して、著しく低い温度を測定している。

地温勾配に対する検層時温度の違いと補正係数の地域的差異を考察するため、ほぼ同一条件下で温度測定が実施された坑井を選び(AADLAND and PHOA, 1981)、その関係を図2に示す。

これらの坑井は、Horner Build-up 法による地層温度 $T_{F\text{ build}}$ が222°F~223°F(105.6°C~106.1°C)、泥水循環時間(t_R)が1~3時間、泥水循環の停止から最初の検層開始までの経過時間(Δt)が4.5~6時間とそれぞれの

図2 検層時坑底温度の変化と地温勾配の関係

GG_{TF} : 地層温度より求めた地温勾配, GG_{BHT} : 検層時温度より求めた地温勾配, K' : 地層温度と検層時温度の比

条件が類似している。

地温勾配が6.0°C/100mと高い坑井 Well-Aの検層時温度は、155°F(68.3°C)と低く、経過時間 Δt の増加とともに急速に上昇する。また、地層温度との差は、68°F(37.8°C)と大きく、補正係数に相当する両者の比(K_2')は1.44倍である。それに対して、地温勾配が2.97°C/100mと低い坑井 STRAITSの検層時温度は、198°F(92.2°C)と高く、地層温度との差およびその比(K_1')は、それぞれ25°F(13.9°C)と1.13倍を示し、いずれも小さい。地温勾配3.67°C/100mの坑井 JS6A-1は、両坑井の中間的値($K_2'=1.26$)である。

検層時温度に与える地温勾配の影響がいかなる地質学的・熱力学的諸要因に支配されているのか解明されていないが、一つの考えとして泥水が坑底に達するまでの所要時間の差と岩石の熱伝導率の違いによるものと考えられる。そこで、地温勾配に対する検層時温度の変化を単純な地質モデルを使って考察する。均質な泥岩層を掘削した地温勾配の低い(GG_1)坑井 Well-Xと地温勾配の高い(GG_2)坑井 Well-Yの地質モデルを想定する(図3)。この泥岩層は埋没続成によって正常な圧密を受け、埋没深度の増加とともに次

図3 均質な泥岩層モデルにおける地温勾配の低い坑井 Well-Xと高い坑井 Well-Yの孔隙率、熱伝導率、泥水の循環所要時間および検層時温度の比較

第に泥岩の孔隙率が減少すると仮定する。坑井 Well-X と Well-Y において、地層温度 T_i に対応する深度と泥岩孔隙率は、それぞれ Z_1 と Z_2 ($Z_1 > Z_2$) および ϕ_1 と ϕ_2 ($\phi_1 < \phi_2$) である。

泥水が一定の速度で坑内を循環している時、泥水が坑底に達するまでの所要時間(t)は、泥水が循環中に坑壁から加熱される時間とみなすことができる。所要時間の長い(t_1) Well-X の坑底温度は、所要時間の短い(t_2) の Well-Y より高くなるであろう。

もう一つの要因と考えられる熱伝導率は、一般に孔隙率、温度、水飽和率や石英、長石・泥の含有量などの増減によって変化する。そして、同質の堆積岩の熱伝導率は、主に温度と孔隙率の変化に支配される(SEKIGUCHI, 1984; GRETENER, 1981)。泥岩・砂岩の熱伝導率と孔隙率との関係(図4)から、泥岩の熱伝導率は、一定温度のとき、孔隙率が減少するにしたがって増加する。図3で示されるように、Well-X の ϕ_1 に対応する熱伝導率 λ_1 は、Well-Y の ϕ_2 に対応する熱伝導率 λ_2 より大きい。すなわち、熱伝導率の大きい Well-X の泥岩は、Well-Y に比べて熱を伝え易く、周辺の泥水をより早く暖める。その結果、Well-X の深度 Z_1 における坑底温度(BHT_1)は、相対的に Well-Y の深度 Z_2 における坑底温度(BHT_2)より高くなるであろう。

上述のごとく、等しい地層温度(T_i)において、地温勾配の低い坑井 Well-X では、地温勾配の高い坑井に比べて、熱伝導率が大きく、また、泥水が坑底に達するまでの所要時間が長いため、Well-X の検層時温度(BHT_1)は、Well-Y の検層時温度(BHT_2)より相対的に高くなり、地層温度に近い値を示す。その結果、Well-X の補

正係数は小さくなるものと推察される。

3. 地層温度と検層時温度の関係

田中ら(1977)は、地表温度(T_0)を年平均気温 15°C に等しいと仮定し、検層時温度の補正式を $T_{F\text{eq}} = K(BHT - 15) + 15$ で示した。この式を一般化すると、次式で表わされる。

$$T_{F\text{eq}} = K \cdot BHT + \alpha \quad (1)$$

SEKIGUCHI (1984) は、新潟・秋田地域の油・ガス田における地層温度と検層時温度との関係を統計的に処理し、 $T_{F\text{eq}} = 1.31 \cdot BHT - 2.2$ の関係式を導いた。また、佐々木(1982b)は秋田地域で $T_{F\text{eq}} = 1.37 \cdot BHT - 0.9$ 、北海道地域で $T_{F\text{eq}} = 1.18 \cdot BHT - 1.3$ を用いて温度補正を行っている。

前述の考察のように、検層時温度と補正係数がともに地温勾配の大小によって変化するため、地温勾配の範囲を限定して地層温度と検層時温度の関係について考察する。

地層温度から得られた地温勾配が $5.62\text{--}5.75^\circ\text{C}/100\text{m}$ および $2.10\text{--}2.60^\circ\text{C}/100\text{m}$ の範囲にある坑井を選び、地層温度と検層時温度との関係を求めると、地層温度は、地温勾配の大小にかかわらず検層時温度と直線関係にあり、次の一次回帰で表わされる(図5)。

$$T_F = 1.54 \cdot BHT - 9.8 \quad (5.62\text{--}5.75^\circ\text{C}/100\text{m})$$

$$T_F = 1.13 \cdot BHT + 1.4 \quad (2.10\text{--}2.60^\circ\text{C}/100\text{m})$$

同様に、地温勾配(GG_{TF})が $6.53^\circ\text{C}/100\text{m}$ から $2.1^\circ\text{C}/100\text{m}$ 以下の坑井を7グループに区分し、両者の関係を求めた結果、地層温度は、いずれも検層時温度の一次回帰で表わされる(図6)。そして、図6の回帰直線の傾きに相当する(1)式の補正係数 K は、地層温度および検層時温度から得られた地温勾配(GG_{TF} および GG_{BHT})が低くなるにしたがって次第に小さくなり、1.71から1.04の値を示す。

ここで注目されることは、これらの一次回帰がいずれもほぼ検層時温度(BHT) 25°C と地層温度(T_F) 30°C の交点に集束することである。この集束する現象がいかなる地質的意味を持つのか不明であるが、この交点を新しい座標原点とする座標軸(図6の太線)を設定すると、(1)式は次の近似式で表される。

$$T_{F\text{eq}} = A \cdot BHT \quad (2)$$

ただし、 $BHT > 25^\circ\text{C}$, $T_F > 30^\circ\text{C}$

この係数 A は(1)式の K にほぼ等しく、検層時温度から得られた地温勾配 GG_{BHT} と直線関係(図7)にあり、次の一次回帰で表わされる。

2) 田中らの式 T_{BHP} は T_F に、 T_{ES} は BHT に相当し、本文の地層温度 $T_{F\text{build}}$ と区別するため $T_{F\text{eq}}$ とする。

図5 地層温度 (T_{BHP} , T_{DST} , $T_{F\text{ build}}$) と検層時温度 (BHT') の関係

図6 地層温度 (T_F) と検層時温度 (BHT) の関係, および $BHT=25^{\circ}\text{C}$ と $T_F=30^{\circ}\text{C}$ の交点を原点とする新しい座標軸

図7 $T_F = A \cdot BHT$ の係数 A と検層時温度 (BHT') から求めた地温勾配 (GG_{BHT}) の関係

帰と一次回帰との差は小さい。そのため、本報告では実用性の高い一次回帰を用いた。このように、地層温度 ($T_{F\text{ eq}}$) は、検層時温度 (BHT) とそれから得られる地温勾配 GG_{BHT} の一次関数で表わすことができる。

$$T_{F\text{ eq}} = (0.21 \cdot GG_{BHT} + 0.73) \cdot BHT \quad (4)$$

ただし、 $BHT > 25^{\circ}\text{C}$, $1.36 \leq GG_{BHT} \leq 4.49^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (4)式の GG_{BHT} が $1.29^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 以下のとき、求められた地層温度 ($T_{F\text{ eq}}$) は、実際に測定された検層時温度より低くなり理論的に矛盾する。この矛盾は、(3)式の一次回帰がすべての坑井に適用できないことを示唆するもので、今後、著しく地温勾配の低い坑井資料を収集

$$A = 0.21 \cdot GG_{BHT} + 0.73 \quad (3)$$

この回帰分析は、指数回帰³⁾でも可能であるが、地温勾配 GG_{BHT} が $1.36 \sim 4.49^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の範囲では指数回

3) $A = 0.84 e^{0.18X}$ ($X = GG_{BHT}$) 相関係数 $r = 0.99$

図8 Horner Build-up 法による地層温度 $T_{F\text{ build}}$ と(4)式による地層温度 $T_{F\text{ eq}}$ の比較

し、係数 A と GG_{BHT} との関係をより明確にする必要がある。

次に、(4)式に基づく地層温度 $T_{F\text{ eq}}$ と Horner Build-up 法による地層温度 $T_{F\text{ build}}$ を比較し、その相関性と $T_{F\text{ eq}}$ の信頼性を検討する (図8)。

$T_{F\text{ eq}}$ は $T_{F\text{ build}}$ と直線的関係にあり、比較的良く一致する。ここで、 $T_{F\text{ build}}$ が真の地層温度に等しいと仮定すると、 $T_{F\text{ eq}}$ 値は検討総数 116 の内約 60% が $\pm 7\%$

以内の誤差範囲に入る。しかし、 GG_{BHT} $3.8^\circ\text{C}/100\text{m}$ (GG_{TF} $5.5^\circ\text{C}/100\text{m}$)以上の高温地域の $T_{F\text{ eq}}$ は、 $T_{F\text{ build}}$ と比べて大きい値を示す傾向が認められる (図8の $\blacktriangle$ 印)。高温地域におけるこの現象は、次章で述べる検層時温度の時間的変化が大きいことと $T_{F\text{ build}}$ がしばしば T_{DST} より低い値を示すこと (図5の 矢印) に起因するものであろう。

(4)式から得られる地層温度 $T_{F\text{ eq}}$ は、約 $5.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 以上の高温地域を除くと、Horner Build-up 法による地層温度 $T_{F\text{ build}}$ に近似し、十分に実用性があるものと考えられる。

4. 検層時温度の問題点

前述のごとく、(4)式を用いて地層温度を推定する方法は、すべて検層時温度に基づいて算出される。

DOWDLE and COBB (1975) によれば、坑底温度は、主に泥水の循環時間 (t_K) と泥水循環の停止からの経過時間 (以下、経過時間と呼ぶ。 Δt) に支配されるという。そこで、検層時温度に与える時間の影響について若干の考察を試みる。

4.1 経過時間 (Δt) の影響

経過時間に対する坑底温度の変化を検討するため、ほぼ同一条件のもとで坑底温度を測定した坑井を選んだ (図9)。これらの坑井は同一深度で連続的に坑底温度が測定され、泥水循環時間 (t_K) が2~3時間、検層時温度の経過時間 (Δt) が5~6時間とそれぞれの条件が類似している。

図9 検層時坑底温度の上昇変化と地温勾配の関係

地温勾配が $2.7^\circ\text{C}/100\text{m}$ 以下の坑井、BUAT-1、TBF-1X および Well-C の坑底温度は、経過時間の増加とともに緩やかに上昇し、地層温度 $T_{F\text{ build}}$ との差が小さい。そして、時間当たりの温度上昇率⁴⁾ (以下、温度上昇率, Rate of temperature rise) は、 $0.4 \sim 1.1^\circ\text{F}/\text{時間}$ ($0.2 \sim 0.6^\circ\text{C}/\text{時間}$) である。

それに対して、地温勾配が $4.8^\circ\text{C}/100\text{m}$ 以上の坑井、Well-A、Well-B および 204-327 の坑底温度は、経過時間の増加とともに急激に上昇し、その温度上昇率は $2.0 \sim 3.5^\circ\text{F}/\text{時間}$ ($1.1 \sim 1.9^\circ\text{C}/\text{時間}$) と大きく、前者の2~4倍である。地温勾配 $3.2 \sim 4.4^\circ\text{C}/100\text{m}$ の坑

4) 坑底温度の差と経過時間の差との比。

図10 検層時温度差に対する地層温度 ($T_{F\text{eq}}$) の変化

井, NW BERAU-1, SIGLI-A1, RINI-1 の温度上昇率は, 1.7~2.3°F/時間 (0.93~1.3°C/時間) で両者の中間の値を示す。

このように, 時間の経過とともに坑底温度は, 地温勾配の低い坑井では緩かに, 高い坑井では急激に上昇する。

4.2 地層温度 $T_{F\text{eq}}$ の変化

上述の経過時間の差に対する坑底温度変化は, (4)式から得られる地層温度 $T_{F\text{eq}}$ にも影響を与える。いま, 経過時間 Δt_1 と Δt_2 における検層時温度をそれぞれ T_1 と T_2 ($T_1 < T_2$) とすると, (4)式から求められる地層温度 $T_{F\text{eq}1}$ と $T_{F\text{eq}2}$ は, 次式で表わされる (図10)。

$$T_{F\text{eq}1} = A_1 \cdot T_1 = (0.21 \cdot GG_1 + 0.73) T_1 \quad (5)$$

$$T_{F\text{eq}2} = A_2 \cdot T_2 = (0.21 \cdot GG_2 + 0.73) T_2 \quad (6)$$

$$T_2 = T_1 + \Delta T \quad (7)$$

$$GG_1 = \frac{T_1 - T_0}{Z_i} \times 100 \quad (8)$$

$$GG_2 = \frac{T_1 + \Delta T - T_0}{Z_i} \times 100 \quad (9)$$

ここで, 深度を Z_i , 地表温度を T_0 , T_1 と T_2 の差を ΔT , T_1 および T_2 から得られる地温勾配をそれぞれ GG_1 と GG_2 とする。地層温度 $T_{F\text{eq}1}$ と $T_{F\text{eq}2}$ の差 $\Delta T_{F\text{eq}}$ は, (5)式~(9)式を展開することによって得られ, (10)式で示される。

図11 泥水循環の停止から No.1 検層測定開始までの経過時間とその頻度

$$\Delta T_{F\text{eq}} = \Delta T \left(0.21 \cdot GG_1 + \frac{21 \cdot T_2}{Z_i} + 0.73 \right) \quad (10)$$

例えば, 深度1,000mにおける検層時温度が $T_1 = 45^\circ\text{C}$ から $T_2 = 50^\circ\text{C}$ に変化したとき, 両者の地層温度差 $\Delta T_{F\text{eq}}$ ⁵⁾ は 12.05°C となる。

このように, (4)式から得られる地層温度 $T_{F\text{eq}}$ は, 絶対値でなく検層時温度の差によって変化し, その変化の幅は地温勾配が高い地域ほど大きい。

しかし, 検層時温度の測定は, 一般に泥水循環の停止から4~7時間後に実施されることが多い (図11)。検層に伴う作業が通常の時間で実施された場合, 検層時温度はこの時間の範囲内で測定されたとみなすことができる。この範囲内における検層時温度の差は, 比較的小さく (図2および図9), これから求められる地層温度 $T_{F\text{eq}}$ の信頼性は高いものと考えられる。

4.3 泥水循環時間の影響

地層温度より温度の低い泥水が坑内を長時間循環すると, 坑壁周辺は, 冷却され次第に泥水温度に近づく。EDWARDSON *et al.* (1962) は泥水循環に起因する地層温度の変化について論じた。

PAUL (1977, MS) は, 泥水循環時間 (t_K) が 11.6 時間と 3 時間のモデルを設定し, EDWARDSON *et al.* (1962) の方法を用いて経過時間 (Δt) の増加に対する坑底温度の上昇変化を試算した (図12)。それによると, 泥水循環が長い時の坑底温度は, 短い場合に比べて, 低く, 緩かに上昇するという。

個々の坑井において, 坑底温度に与える泥水循環時間の影響を推定することは実際問題として困難である。

しかし, 順調に掘削された坑井の泥水循環時間は, 統計的に3時間以内が82%を占め, 6時間を超すものは数

5) T_0 を 15°C と仮定した。

図12 泥水の循環時間 (t_K) に対する坑底温度の反応曲線 (PAUL, 1977 MS) 図13 泥水循環時間とその頻度
(検層実施深度：2000～4000m)

%にすぎない(図13)。このことから、泥水循環時間が数時間以内の正常な坑井では、泥水循環による検層時温度の変化は、無視しても差し支えないであろう。それに対して、異常高圧、ガス噴出や著しい崩壊など特殊な坑内状況のため、泥水を長時間循環した坑井の検層時温度は、泥水循環の冷却によって低い値になっていることを考慮する必要がある。

5. まとめ

検層時坑底温度から地層温度を推定する方法は、田中ら(1977)の指摘のとおり、時間と温度の関数として取り扱い、DOWDLEら(1975)やFERTLら(1977)のHorner Build-up法から求めるべきである。しかし、検

層時坑底温度の上昇値、泥水循環の停止からの経過時間や泥水循環時間の資料が整っていない坑井の場合、地層温度の推定は、簡便的に検層時温度を基に(4)式から求められる。この方法は、検層時温度が泥水循環時間、経過時間の影響やその他の要因によって変化することを考慮しなければならないが、掘削・検層作業が通常の時間内で実施された坑井では、信頼性が高く、実用性がある有効な温度補正法と考えられる。

謝 辞

本研究に際して、資料検討の機会を与えられ、その結果の公表を許可され石油公団、石油資源開発(株)、帝国石油(株)、東南アジア石油開発(株)ならびに三井石油開発(株)に対し深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- AADLAND, A.J. and R.S.K. PHOA, 1981: Geothermal Gradient Map of Indonesia. *Indonesian Petroleum Asso.*, 1-43.
- DOWDLE, W.L. and W.M. COBB, 1975: Static Formation Temperature from Well Logs—A Empirical Method, *JPT*, **27**, 1326-1330.
- EDWARDSON, M.J., H.M. GIRNER, H.R. PARKISON, C.D. WILLIAMS and C.S. MATTHEWS, 1962: Calculation of formation temperature disturbances caused by mud circulation, *JPT*, 416-426.
- FERTL, W.H. and P.A. WICHMANN, 1977: How to determine static BHT from well log data, *World Oil*, **184** (1), 105-106.

- GRETENER, P.E., 1981: Geothermics: Using Temperature in Hydrocarbon Exploration, *AAPG Education course Note Series*, **17**, 1-71.
- 板橋金忠, 菊地芳朗, 柳沢恒雄, 1978: 秋田堆積盆の地下温度, 石技誌, **43** (4), 248 (要旨)。
- 正谷 清, 1980: 北海道地域における石油の生成と移動の時期の推定, 石技誌, **45** (6), 393-404.
- NWACHUKWU, S.S., 1976: Approximate Geothermal Gradients in Niger Delta Sedimentary Basin, *AAPG*, **60** (7), 1073-1077.
- 小椋伸幸, 1983: 石油根源岩有機物熟成度の予測—その
1. 古地温の推定—, 石技誌, **48** (3), 227-238.
- PAUL, D., 1977 MS: Heat Flow • Geothermal Gradients • Thermal Conductivities of Rocks, *Union Oil Co., of Cali., Research Center Report*, 1-77.
- 佐々木詔雄・藤岡展价・藤岡一男, 1982 a: 埋没続成下における堆積層中の沸石帯の生成要因, 石技誌, **47** (1), 1-11.
- ・——・——, 1982 b: 古地温勾配の推定—自生鉱物の沸石帯を利用して—, 石技誌, **47** (6), 367-373.
- SEKIGUCHI, K., 1984: A Method for Determining Terrestrial Heat Flow in Oil Basinal Area, *Tectonophysics*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 67-79.
- 田中 隆・佐藤勝義, 1977: 東北日本の油田地域における地下温度の推定, 石技誌, **42** (4), 229-237.