

ガンマスペクトル検層の較正技術

小 鯛 桂 一 (環境地質部)
Keiichi KODAI

1. はじめに

地層中には天然の放射性元素としてカリウム トリウムとウランが含まれる。これらガンマ線スペクトルを測定することにより種々の地質的情報を得ることができる。

すなわち これら3元素のガンマ線スペクトルの測定により知れる3元素の含有量とその量比から分類されるタイプを通して どのような地層下(地殻変動や熱水変化など)に推移してきたかの過程を年代的に推論できる。これは油層探査をはじめとして 学術的地質年代の決定や地熱探査に応用されているが 地下水探査目的の応用はまだあまり例をみない。

本文は先に地質ニュース no. 334号に掲載した『地下水探査のためのガンマスペクトルとパルス中性子の検層技術』の内容のうち ガンマ線スペクトル測定の地球化学的意義と共に その検層の較正技術についての追加的情報を与える。ガンマ線スペクトル測定により粘土分とその種類を推察できることから 地下水探査目的の検層法として砂分量とその透水性(有効間隙率)推算に逆利用する際の測定精度 これの影響因子 そしてこれの除去技術について検討を加えている。

2. ガンマ線スペクトル測定における地球化学

地層中に天然に含まれる主要な放射性元素であるカリウム トリウム とウラン;これらはKの1.45MeV ピーク U 娘核 (Bi-214)の1.76と2.2MeV そして Th 娘核 (Tl-208)の2.62MeVピーク 夫々のガンマ線エネルギーを放射している。

カリウムには3種の同位元素がある; ^{39}K ^{40}K と ^{41}K これらは93.10 0.0199と6.88の各%で地殻中に存在する。このうち ^{40}K だけが放射性をもつ $^{40}\text{K}/\text{全K}$ の比は非常に安定しており 同密度・同重量のカリウムの計数率と%分は両対数グラフ上で線形関係を示す。したがって ^{40}K 分の決定は地層中のK合計の指示を与える。堆積岩の平均 K_2O 濃度は火成岩が3.13%であるのに対してこれよりも小さい2.87%である。粘土鉱物の長石と雲母は風化の度合につれて破壊され カリウム全濃度の一部は粘土層中に入るが大部分は水中に

解け 場所により川から海へと移動する。しかし 乾燥地域では大部分が残留する傾向がある。

^{232}Th はただ一つの長寿命のトリウム放射性元素である(このトリウムの地殻中の平均濃度は約12ppmである)。他の同位元素である ^{234}Th と ^{230}Th は ^{238}U の娘核としてウラン系列に含まれ比較的短寿命なので検出がまれである。トリウムは不活性で非常な酸化安定度もち降下火山灰の原位置変化で形成されるポーキサイト カオリナイト ベントナイトのような残留沈澱物中に比較的豊富である。これら粘土鉱物に含まれる総量は熱的続成作用のために一定となり 粘土層中で8~20ppmの範囲内にある。

ウラン系列は ^{234}U ^{235}U と ^{238}U の3種の天然同位原素を含み これら全てが放射性である。そしてこれらは0.005 0.072 と99.27の各%で存在する。 ^{238}U イオンは CaCO_3 中に固着するので特に高い。これらの半減期は ^{234}U の 2.5×10^5 年 ^{235}U の 7.1×10^8 年そして ^{238}U の 4.4×10^9 年と全て永く全体の95%平衡は 3.5×10^5 年である。

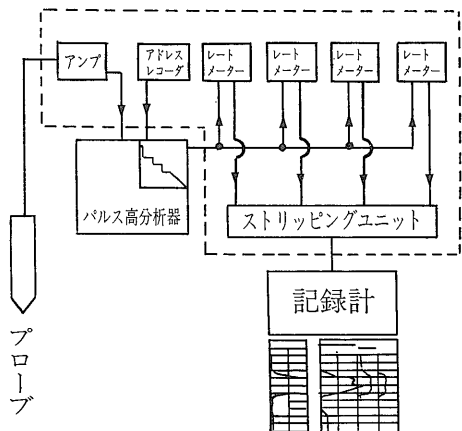
3. 3元素のスペクトルエネルギー間の相互干渉とその除去(ストリッピング)

カリウム トリウム ウランの主要な各ガンマ線スペクトルエネルギーピークは下表のようである。

	K	Th	U
ガンマ線エネルギー (MeV)	1.46	0.58 0.98 <u>2.62</u>	0.61 1.12 <u>1.76</u> 2.20

表中トリウムとウランの下線を付した数値は各元素のもつ最大ピークであり スペクトル解析には便利上このピークだけを弁別・検出して用いる。そのため 第1図に示したように 装置は3つ以上の弁別器と計数器が必要となる。そして 弁別器の各エネルギー弁別窓は第2図に示すような幅で設定される。

3元素のスペクトルエネルギーを連続的にみると第3



第1図 装置の概要

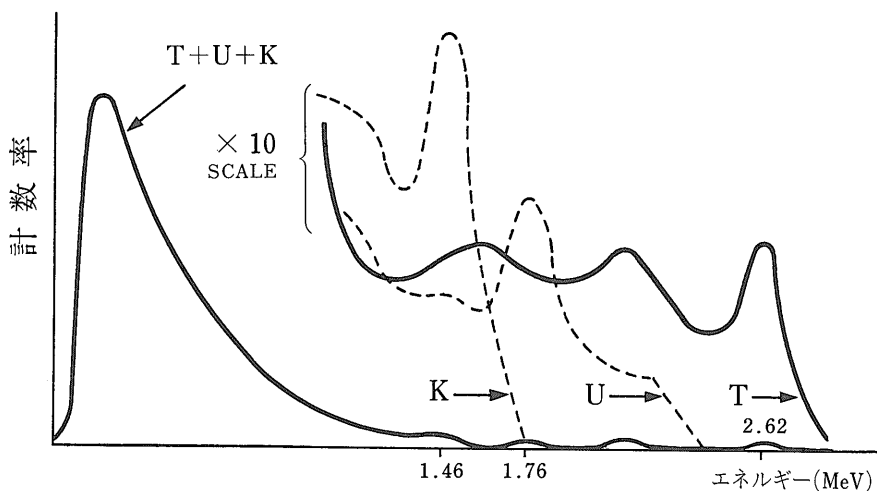
図のような性状であり これら3元素を同時に含む地層のガンマ線を測定する場合は図のような合成曲線となる。したがって カリウムのエネルギーピーク計数はトリウムとウランの計数に そしてウランのエネルギーピーク計数はトリウムの計数に夫々干渉される。これらの余分な応答計数を除去するためのストリッピング技術が幾つかの方法で開発されている。

第4図は その1例を示したものであり その概略を説明すると低エネルギー散乱放射能の乱れと エネルギー増大ともなるNaIクリスタル吸収増により 高エネルギー放射性元素が低エネルギー放射性元素の測定に影響される結果 出力 K_M と U_M はKとUの原位置測定の自然ガンマ線を単独に表わさない。

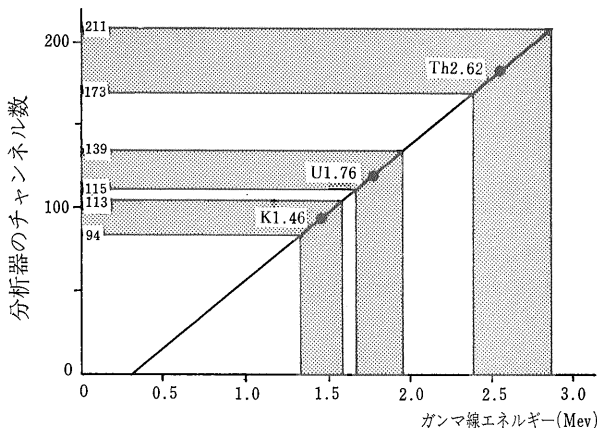
$$K_C = K_M - R_1 U_C - R_2 Th_C$$

$$U_C = U_M - R_3 Th_C$$

$$Th_C = Th_M$$



第3図 3元素の応答曲線



第2図 各エネルギーピークの窓幅

ここに R_1 と R_2 はKエネルギー帯中へのUとThそれぞれの計数率貢献度 R_3 はUエネルギー帯中へのThの計数貢献度 (R_1, R_2 と R_3 はストリッピング計数とよばれる)。

4. スペクトルエネルギーの坑井影響の較正

放射性元素間の影響率は坑井条件の相違によっても変動するのでこれを考慮して較正する必要がある

一般的にいって 地層を構成する各種元素の分布は歴史的堆積環境にすべて依存するので 検層による原位置記録はこれを反映するものといえるが 坑井内で実際に検層して得られるスペクトル性状はコア試料を室内分析したものと同じにはならない。検層から得たデータは 坑サイズ 坑内プローブ位置 (同軸か側壁) 空坑か水充満坑 裸坑かケーシング坑 ケーシングのサイズと厚さ などの坑条件の相違に影響される。

これらの影響因子は検出部に到達するガンマ線計数の

減少や吸収停止をまねき 結果的にオリジナルスペクトルの一部を退化させ 全体的にみてオリジナルのものとは幾分異なるレベルを示すことになる。しかしこの現象は1 MeV以下の低エネルギーレベルで顕著だが それ以上のレベルでは低率になるものとみられる。

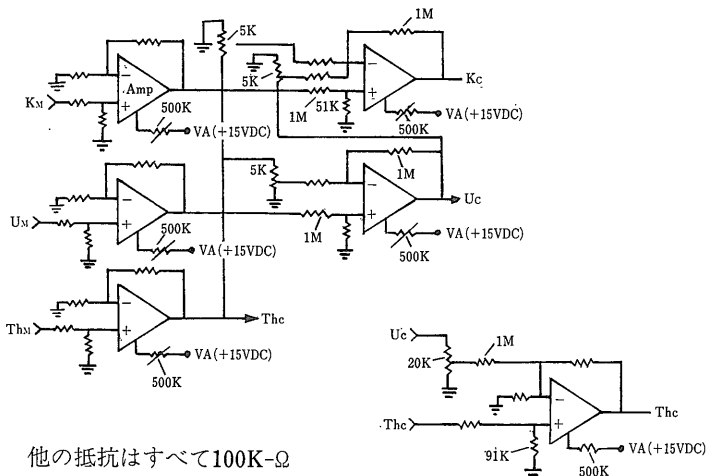
Wilson ら(1979) によると空坑の場合坑サイズ影響は観察されない。水充滿坑の場合もカリウムとウランは観察されないが ケーシング層厚の大きい大坑径井でやっと僅か2%のトリウム減少が観察される(第5図)。これは前節の3元素合成曲線の説明からわかるように 高エネルギー放射性元素は低エネルギーのその測定に影響するが Th は最も高エネルギーなので無影響であり トリウムのデータがカリウムとウランのデータに比べ計数的に安定で高い統計精度をもっている。したがって 少ない変動ではトリウムだけが信頼できることを意味する。

坑内水に影響される検層計数は空坑計数と水充滿坑計数の比で求めた水係数を未校正の野外検層計数に乗じてやることにより校正できる。

Wilson らによると 坑径4.5インチから12インチ間の係数校正率は3~50%の範囲であり 坑径4.5インチとプローブ径2インチに対するそれは K信号の23% U と Th 信号の15%前後である。そして坑径12インチの U と Th の信号のそれはプローブの同軸位置での100%に対して側壁位置ではほぼその半分の50%でありこの場合それ以上坑径が増大しても変化は一定となる(第6図)。

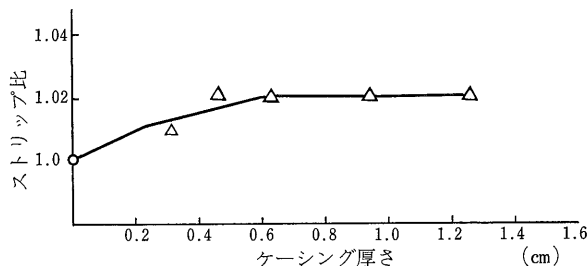
文 献

1. Serra, O., Baldwin, J. and Quirein, J. (1980) Theory, interpretation and practical applications of natural gamma-ray spectrascopy; Trans. SPWLA 21 th annual logging simposium, p. Q·1-Q·28.
2. Stromswold, D.C. and Wilson, R.D. (1981) Calibration and data correction techniques for spectral gamma-ray logging; Trans. SPWLA 22 th annual logging simposium, p. M·1-M·18.
3. Wilson, R.D., Stromswold, D.C., Evans, M.L., Jain, M. and Close, D.A. (1979) Spectral gamma-ray logging II (borehole correction factors); Trans. SPWLA 20 th annual logging simposium, p. EE·1-EE·16.

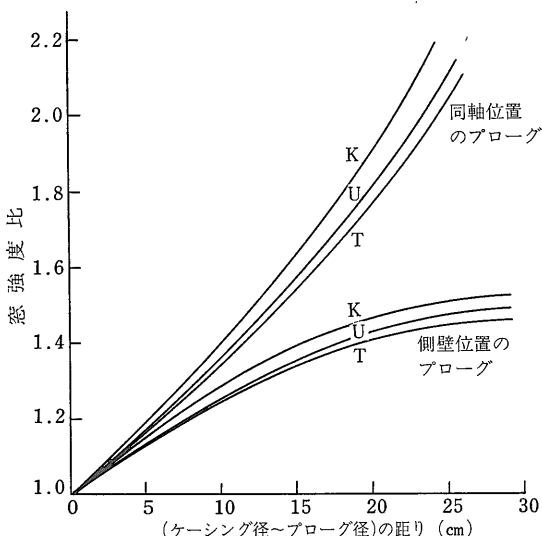


他の抵抗はすべて100K-Ω

第4図 ストリップ回路 (米国特許, No. 3,940,610).



第5図 ケーシングの厚さによるストリップ比の変化。(Wilson ら1979, による)



第6図 3元素の水係数校正。(Wilson ら と Stromswold らによる)