

秋田地域に分布する新第三系のケロジェンのカイネティック特性

木幡 信弘*・中山 一夫*

Kinetic characteristics of kerogen from Neogene formations in the Akita area, Northeast Japan

By

Nobuhiro Kowata and Kazuo Nakayama

Abstract

It has been generally accepted that kerogen is the source matter of petroleum. Since Tissot and Welte(1978) had first presented the mathematical model based on kinetic characteristics of typical kerogen types (I, II, and III), efforts of quantitative basin modeling had directed to evaluate how much oil were generated from kerogen during geologic past. However, it seems that geochemical aspect of each sedimentary basin is characterized uniquely in relation to its sedimentary environment.

The authors have developed a new method in order to determine the kinetic parameters (Genetic Potential : X_0 , Activation Energy : E , Frequency Factor : A) for kerogen degradation from Rock-Eval data.

The method has been applied to the Akita Neogene basin, Northeast Japan. The Neogene formations may be divided into two groups according to their geochemical characteristics. Following standard stratigraphy in the Akita basin, the Nishikurosawa and Onnagawa Formations have the higher initial potential of petroleum than that of the Funakawa and Tentokuji Formations. It is suggested that the characteristics differs depending on the preservation of source materials affected by the sedimentary environments, such as the presence of Oxygen Minimum Layer with relation to the basin configuration and ventilation of sea water.

The method proposed here should be utilized to increase an accuracy in the quantitative evaluation of hydrocarbon generation from source rocks. The geochemical information derived by this method could be also applied to the paleoenvironmental analysis in addition to the lithological and biostratigraphic informations.

はじめに

ケロジェンからの石油生成に関する数値モデルが一般的に使われるようになり、その入力となるケロジェンのカイネティックパラメータの重要性が最近増

大しつつある。

現在では未熟成の岩石サンプルを昇温速度をいろいろ変化させて熱分解実験 (=ロックエバル分析) を行ない、生成される炭化水素量を測定することによって、それらのパラメータを逆算する方法が一般に用いられている。しかしながら、この方法には次のような問題がある。

- 1) 高温で、短時間で行なった室内熱分解実験に基づいたパラメータ値が、比較的低温で地質時代とい

* 石油資源開発株式会社探鉱部, Exploration Department, Japan Petroleum Exploration Co. Ltd., 17-22, Akasaka 2-chome, Minato-ku Tokyo, 107, Japan.

う時間スケールの下で行なわれた熱分解 (= 石油の生成) にもはたして有効であるかどうか?

- 2) 試料として用いられる未熟成の岩石はあまり埋没を受けていない堆積盆周辺部に堆積したものが多いのに対し、実際に石油が生成された場所は堆積盆中心部の熟成域と推定される。それ故、堆積盆の周辺部と中心部での堆積環境の違いがケロジェンの質に反映されている可能性がある。

一方、近年根源岩のロックエバル分析がルーチン化され、これまでに種々の熟成レベルでの分析値が数多く蓄積されている。筆者らは、これらの分析値を利用してケロジェンの初生的な石油生成に関するカイネティックな特性 (活性化エネルギーの分布) を推定する方法の開発を試みた。

本稿では、これまでの石油生成モデルの流れを総括し、台頭しつつある数値モデルの概要を述べるとともに、入力すべき地化学パラメータについて説明する。次にロックエバル分析値を用いて、これら地化学パラメータをどのように求めるかについて述べ、最後に秋田地域の応用例について述べる。

石油生成モデル

堆積盆の石油地質学的評価の一部としてこれまで用いられてきた石油生成モデルには次の2種があった。

- 1) 石油/ガスの生成量を熟成度 (例えばビトリナイト反射率など) の関数と考え、その関数係数を与える。
- 2) 石油/ガスが生成される反応をケロジェン量に対する一次反応系と考え、反応速度論に基づいた数学モデルを用いる (Tissot モデル)。

正確な入力パラメータ値が得られるならば、後者の数学モデルの方が生成量や生成時期などの予測において優れているが、Tissot and Welte (1978) が提唱したケロジェンのタイプ別パラメータ値が、どれだけ一般性があるか疑問であった。それ故に、前者の方法も簡便法としてモデル化する際に取り入れられてきた (Welte and Yukler, 1981; 中山, 1983; Nakayama, 1987)。しかしながら、近年後者の入力パラメータの推定法が確立され、数学モデルを用いるのが世界的趨勢となっている (Ungerer *et al.*, 1984; Nakayama and Lerche, 1987; Burhnam and Braun, 1989)。その推定法とは、未熟成の根源岩又はケロジェンサンプルを用い、何通りかに昇温速度を変えた熱分解実験を行い、その結果から入力パラメータを逆算するものであ

る。

Tissot 型モデルと地化学パラメータ

Tissot and Welte (1978) は、石油の生成がケロジェンの熱分解過程であり、 n 個の一次反応系列が互いに独立に並行して起こっているものと仮定した。そこでは、各系列について、

$$Ck_j = X_{0j} \exp [-k_j t] \quad (1)$$

が成り立つ、ここで Ck_j はケロジェンの濃度、 X_{0j} は初期ケロジェンの濃度、 k_j はその時点における反応速度、 t は時間、 j は j 番目の反応系であることを示す。

さらに、 k_j は Arrhenius 式を用いて、

$$k_j = A_j \exp [-E_j / (RT)] \quad (2)$$

と表わされる。ここで A_j は頻度定数 (Frequency Factor)、 E_j は活性化エネルギー (Activation Energy)、 R はガス定数 (1.986 cal/mol)、 T は絶対温度 ($^{\circ}K$) を示す。

さて、時間 t までに j 番目の反応系で生成された炭化水素量 Ch_j は、

$$Ch_j = X_{0j} - \int Ck_j dt$$

で表され、(1)、(2) 式から、

$$Ch_j = X_{0j} [1 - \exp \{-A_j \exp (E_j/RT)t\} dt] \quad (3)$$

となる。これが、いわゆる Tissot タイプと呼ばれている石油生成の数値モデルの基礎である。尚、式の詳しい由来については、Tissot and Welte (1978) または Nakayama (in press) を参照されたい。ここで温度 (T) は、時間の関数として与えられるので、(3) 式における未知のパラメータは各反応系列について、

ケロジェンの初期濃度 (Genetic Potential) (X_0)

活性化エネルギー (Activation Energy) (E)

頻度定数 (Frequency Factor) (A)

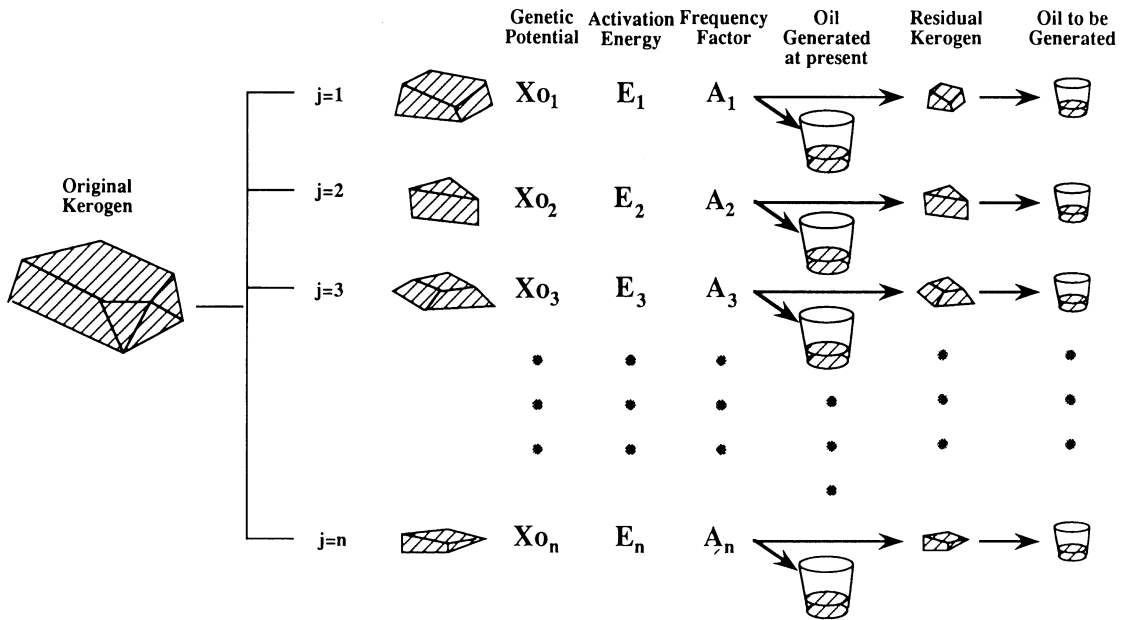
の3つである。これらを石油生成モデルに必要なカイネティックパラメータと呼ぶ。

対象地域の温度履歴 (埋没史と地温勾配) が既知であれば、あるサンプルが過去に生成したであろう炭化水素生成量 (CH) は、 Ch_j を反応系列数だけ積算したものになる (第1図)。すなわち、

$$CH = \sum Ch_j$$

$$= \sum [X_{0j} [1 - \exp \{-A_j \exp (-E_j/RT)t\} dt]] \quad (4)$$

初期の Tissot のモデルでは、6つの反応系列が仮定されているので、合計18の独立したパラメータ値を与えなくてはならない。一般に仮定する反応系列数を n とすると、 $3n$ の未知パラメータが生じる。Tissot



第1図 Tissot 型数値モデルにおける石油生成反応の概念図. 石油生成に関しては, ケロジェンを n 個に分割し, 各々の系列で一次反応が並行して起こっていると仮定する.

and Welte (1978) では, ケロジェンを3つのタイプに分けそれぞれのパラメータ値を提案し, パリベースンの白亜系やアルジェリアのサハラ砂漠地域のシル系根源岩評価に応用している.

しかし, これらのパラメータ値が本邦の油ガス田にそのまま応用できるか疑問があった. 実際, 秋久 (1977a, 1977b, 1978) は同様の方法を用いて秋田地域の未成熟ケロジェンからもっと低い活性化エネルギーの分布を引き出している. このことから, 汎世界的には堆積盆毎にパラメータ値は異なることが予想されるため, 堆積盆毎に何らかのキャリブレーションを行う必要がある (Tissot and Welte, 1984). これらのカイネティックパラメータは, モデルの出力結果である生成量や時期の推定に大きく影響する点で重要である.

ケロジェンのカイネティック特性推定法

通常の室内熱分解実験では, 高温下で実際にケロジェンから生成される炭化水素量を測定する. 一般に, Tissot 型石油生成数値モデルでは頻度定数, 活性化エネルギー, 生成ポテンシャルの3つのパラメータが必要である. 室内実験によって異なる熟成レベルを人工的に作り出し, そのときの生成量を測定すれば,

これらのパラメータ値を逆算することができる. Tissot によれば, この反応系列数 (n) は6であったが, 近年では12, 20, あるいは90というように数多くする傾向にある. 理論上は $3n$ 以上の測定値があれば, 最小二乗法によって $3n$ 個の未知数, つまりパラメータ値を求めることができる. しかし, n が多くなるに従い, 計算時間は約2乗に比例して多くなる.

ここでは, 基礎地化学から次のような制限を採用し, 未知のパラメータ数の減少を図った.

- 1) 反応系全体の初期濃度 (X_o) の分布は正規分布である.
- 2) 活性化エネルギー値 (E) は, 35-70 kcal/mol の範囲に限定する.
- 3) 頻度定数 (A) は E 値によらず一定とする.
(3.16×10^{27} /my)

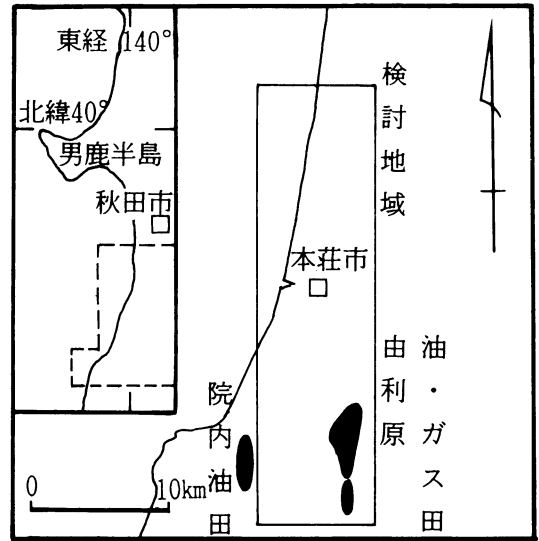
このように, 活性化エネルギーの分布を規制することにより, ケロジェンの熱力学特性を分布の平均値 (E_{ave}) と標準偏差 (σ), それに生成ポテンシャルの総量 ($\sum X_{o_j}$) のみで表現できる.

一方, 初生状態における $\sum X_{o_j}$ が同一と見做すことのできる種々のレベルの HI 値 (そのレベルにおける残存生成ポテンシャル) を持つサンプル群を考えると, その差 $\sum X_{o_j} - HI$ は, 岩石がその熟成度に達する

までに生成したであろう炭化水素の量，すなわち室内実験における測定生成量と同等である。

このようにパラメータ群の単純化を図ったうえで，熱分解実験の生成量測定値の代替として ($\Sigma X_{O_2} - HI$) 値を用いることによって，既に熟成が進んだサンプル群の堆積直後のケロジェンの未知パラメータを推定することができる。いわば自然状態で地質の時間をかけた熱分解実験の結果を用いた解析である。計算の手順としては，未知パラメータである ΣX_{O_2} や E_{ave} ， σ を直接求めることはできないので，次のような試行錯誤法を用いる。

はじめに未知のパラメータの第一次近似値を仮定し，与えられた地史の下で熟成させ残存炭化水素量 (HI_{CALC}) を計算する。すなわち各々のサンプルと同じ深度条件で同様の計算を行ない， HI_{CALC} 値と HI 値との平均二乗残差 (Mean Square Residual = MSR) を求める。以上の手順を未知パラメータの値を変えて試



第2図 検討地域位置図

| 地質時代 | 層序 | 柱状図 | 岩相 | 底生有孔虫化石帯 | 隆起 | 沈降 | 海退 | 海進 |
|---------------|--------|-----|--|-------------------------------------|----|----|----|----|
| 更新世 Ma 1.8 | 西目層 | | 砂、礫を主としシルトを挟む | <i>Criboelphidium yabei</i> | | | | |
| | 笹岡層 | | 灰色砂質シルト岩および細～中粒砂岩よりなる | <i>Uvigerina subperegrina</i> | | | | |
| | 上部天徳寺層 | | 灰色～緑灰色シルト岩を主とし、時に砂岩、凝灰岩を挟む | | | | | |
| 鮮新世 4.3 | 下部天徳寺層 | | 緑灰色シルト岩～シルト質泥岩を主とし、中下部では細～中粒砂岩、砂質凝灰岩を多く挟む | <i>Miliammina echigoensis</i> | | | | |
| | 船川層 | | 暗灰色泥岩からなり、砂岩、凝灰岩まれに泥灰岩を挟む | | | | | |
| 中新世 6.3 | 女川層 | | 褐灰色硬質頁岩を主とし、砂質～シルト質凝灰岩、砂岩、泥灰岩を挟む | <i>Spirosigmollinella compressa</i> | | | | |
| | 西黒沢層 | | 最上部は灰色～褐灰色凝灰質泥岩からなり、シルト質～泥質凝灰岩を挟む 上部は濃緑灰色浮石質～泥質酸性凝灰岩からなる 中下部は暗緑灰色玄武岩層および同質火砕岩からなり、所によりドレライトの貫入岩が発達する | <i>Hopkinsina morimachiensis</i> | | | | |

第3図 検討地域の模式層序

み、最小の MSR を示すパラメータの組み合わせを探し出す。このようなカイネティック特性を共通とする一群のケロジェンを含む岩相単位をここでは地化学相と定義することにする (Nakayama, in press)。

秋田地域の地化学相

地質概説

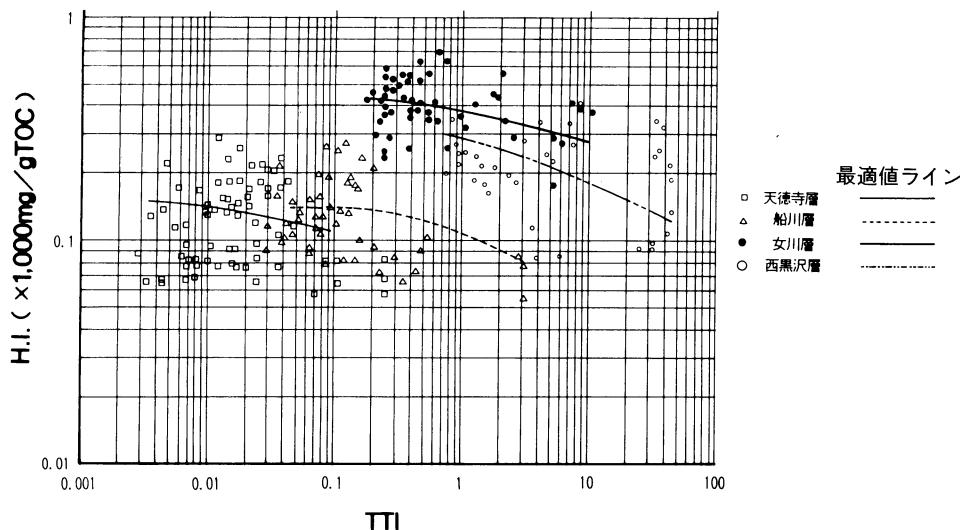
由利地域から由利原地域に至る地域が検討地域であり (第2図)、本地域には下位より西黒沢層、女川層、船川層、下部天徳寺層、上部天徳寺層、笹岡層、西目層が発達している (第3図)。岩相及び微化石調査から、海進は西黒沢期に始まり、女川期にピークを迎え、船川期中～後期から海退に転じたと推定される。下部天徳寺期にはいわゆる出羽変動とあいまって一部隆起・陸化し、それ以後海退が継続する。西黒沢階の堆積環境は暖海流が支配するやや深海の環境にあり、層厚も比較的安定している。女川階～船川階下部は岩層が広域に亘り泥質で安定しており、層厚変化も少なく、比較的冷温な海流の支配下にある深海の環境と推定される。これ以後は浅海化し、タービダイト相などの発達が見られ、層厚変化が顕著となる。

坑井データ及び地震探鉱記録から、船川階下部以降時代と共に層厚変化が顕著となり、堆積盆の分化が進行するが、堆積の中心は全般的に内陸側から西方沖合いに移動し、形態的には西方に開いた海へ変化していったとされている (天然ガス鉱業会ほか, 1982)。

各累層のカイネティック特性と定量評価

熟成過程を溯るためには、その試料が現在まで経てきた熱変質の程度を知る必要がある。根源岩の熟成度指標として様々な方法があるが、本稿では熟成過程を時間と温度の関数として扱い、その程度を数値化した TTI (Time-Temperature Index) を用いて各累層のカイネティック特性を求める。尚、種々の熟成レベルにあるそれぞれの試料の TTI 値を求めるために、次のような時間、温度のパラメータを与えた。時間パラメータは下位よりグリーンタフ上限、女川層基底、Spirosigmoinella compressa 帯上限、下部天徳寺層、上部天徳寺層基底の5層準を選んだ (第3図)。尚、Spirosigmoinella Compressa 帯は、東北日本日本海側の新第三系では広域的に発達し、船川層下部を特徴づける底生有孔虫帯であり、対比上大きな意味を持つためマーカーの1つに加えた。温度パラメータは、地表温度を15℃に固定し、各抗井の物理検層時に得られる坑底温度データから3.5~4.2℃/100mの地温勾配を与えた。また、過去において著しい地温勾配の変化がなかったものと仮定した。

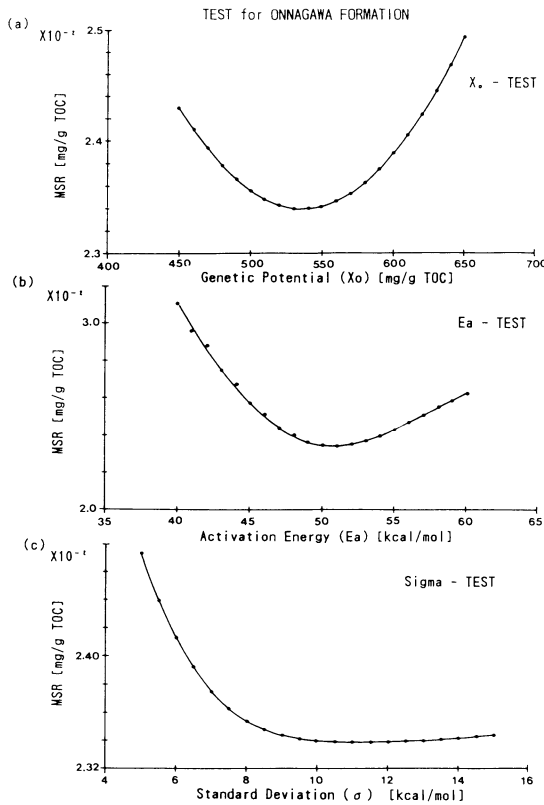
第4図に上記パラメータから求められる TTI 値とロックエバル分析により得られた HI 値をプロットしたものである。この図では HI 値の違いから、西黒沢層および女川層と船川層および天徳寺層の2つのグループに分けることができ、前者の方が根源岩として (あるいは、炭化水素生成能力の点で) 定性的に優れていることがわかる。



第4図 TTI 値とロックエバル分析から得られる水素指数 (HI) 値のプロット

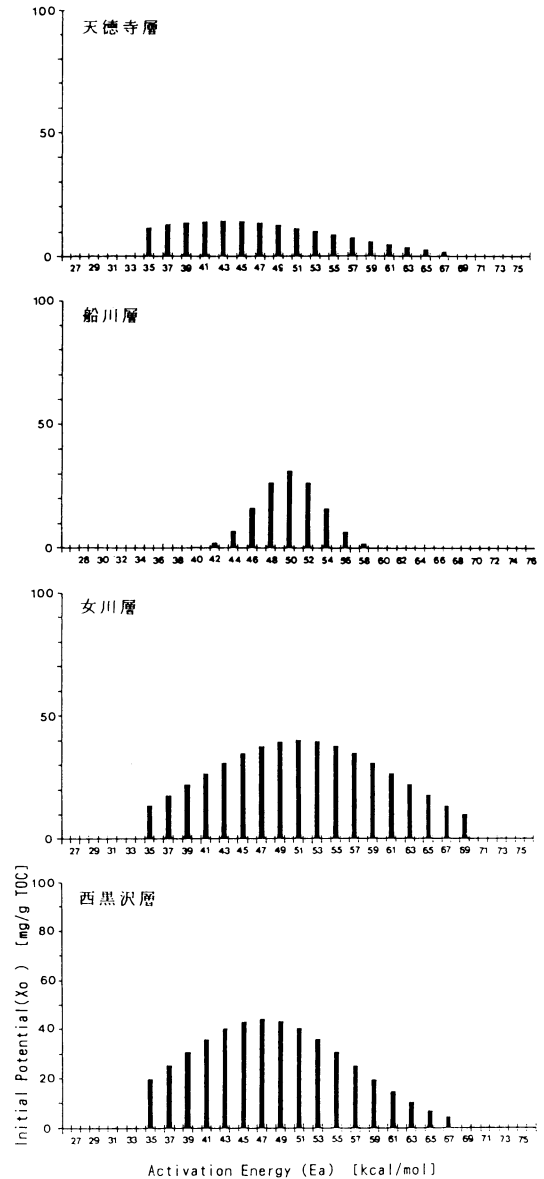
第1表 累層毎の平均有機炭素量とカイネティックパラメータ

| 累層 | TOC (%) | Xo (mg/gTOC) | Eave (kcal/mol) | σ (kcal/mol) | MSR ($\times 10^{-2}$ mg/gTOC) |
|------|---------|--------------|-----------------|---------------------|---------------------------------|
| 天徳寺層 | 0.86 | 140 | 43 | 12.5 | 0.70 |
| 船川層 | 0.96 | 190 | 50 | 3.5 | 0.98 |
| 女川層 | 1.43 | 540 | 47 | 11.0 | 2.34 |
| 西黒沢層 | 0.99 | 510 | 51 | 9.5 | 1.85 |



第5図 簡略化したサーチによって求めた3種のパラメータの最適値(女川層の例)(a)生成ポテンシャル, (b)活性化エネルギー平均値(Ea), テスト, (c)活性化エネルギー分布の標準偏差(σ)

前述の推定法を用いて, 各累層の観測値に対するカイネティックパラメータ (X_o , E_a , σ) の最適値を計算した. 第1表には各累層の平均有機炭素量と求められたカイネティックパラメータの最適値, さらにそれを用いた場合の観測値との残差 (MSR) を示す. また, 第5図には最適値サーチの例として女川層での結果を



第6図 各累層の活性化エネルギー分布図

示すが、他の各累層についてもこの例と同じ様な傾向を示す。第6図にはこれらのカイネティックパラメータから求まる活性化エネルギー分布を示す。尚、この図の中で活性化エネルギー分布が正規分布を示していないものがあるが、これは分布範囲の制限（35-70 kcal/mol）というモデルの条件によるものである。

第5図を見ると、活性化エネルギーの分布を規定する σ が、XoとEaveに比べ最適値サーチの精度が低いことがわかる。これは第4図に示す女川層の例から明らかのように、観測点のばらつきが大きく、様々な活性化エネルギーを持つ有機物が存在するためと考えられる。第4図に示した最適値ラインは熟成過程での炭化水素生成率（カーブの傾き）に急激な傾きの変化がなく、常に一定の炭化水素を生成し続けるような活性化エネルギーの分布（ σ 値の大きな分布）を示している。もし、ある熟成レベルで炭化水素生成率が大きくなる（急激にHI値が小さくなる）のであれば、その活性化エネルギーで熱分解する有機物の頻度が高くなり、 σ の値が小さくなると考えられる。すなわち、この例においては観測点の熟成度が限られている（特に熱履歴時間が短い）ため、本来の生成率の変化を見落としている可能性がある。

活性化エネルギーの平均値（Eave）は、全般に50 kcal/mol前後であるが、天徳寺層ではやや小さな値である（第1表）。これは推定されるケロジェンの初期濃度（Xo）が小さく、標準偏差（ σ ）が大きいことから、同じ地化学相と同定される観測点のばらつき具合に依存しているためと考えられる。すなわち、天徳

寺層に関しては生成ポテンシャルを異にするいくつかの地化学相が混合している可能性がある。以上のような問題を解決するために、岩相変化を考慮に入れた細かい地化学相の同定が必要であると考えられる。

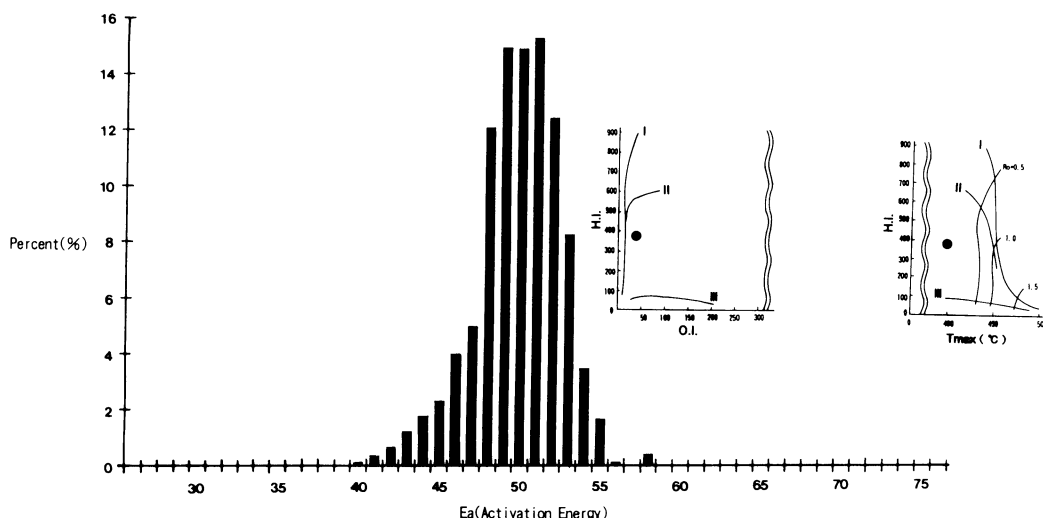
地表に露出する未熟成の女川層の試料について、昇温速度を変えた室内分解実験から求めた活性化エネルギー値は40~60 kcal/molを分布範囲とする正規分布を示し、その平均値（Eave）は50 kcal/molである（第7図）。この値は第1表の女川層の活性化エネルギーの平均値（Eave）とほぼ一致しており、ロックエバル分析値を用いるカイネティックパラメータ推定法の妥当性を示唆している。

平井（1982）は秋田地域のビジュアル・ケロジェン分析を行い、西黒沢層から下部天徳寺層までは不定形質ケロジェンの比率が80~90%と高く、根源岩としてそれほど差異がないと評価している。しかしながら、第1表のように西黒沢層および女川層は、船川層および天徳寺層に比べ約3倍の初生的な石油生成能力（Xo）を持つことが明らかとなった。この見解の相違は簡単には議論できないが、有機物のタイプを視覚的に同定するという点と、岩石中の熱分解実験による生成物の量を測定し、それに対し評価を行うという方法の違いに起因すると考えられる。

一般に熟成過程で生成される炭化水素量は、

$$[\text{生成量}] = V \times \{ [\text{初期生成能力}] - [\text{残存能力}] \}$$

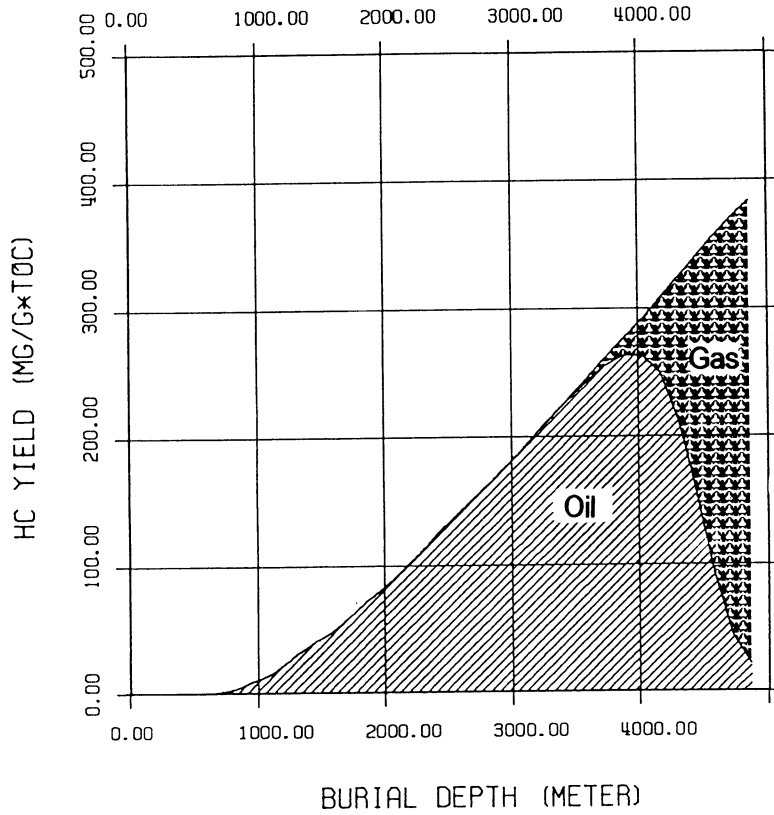
と表すことができる。ここで、Vはある熟成レベルにある根源岩の有効容積を示す。この式の中で既知であるのは残存能力（HI値）だけである。



第7図 未熟成サンプルの室内実験によって求めた女川層ケロジェンの活性化エネルギー分布図

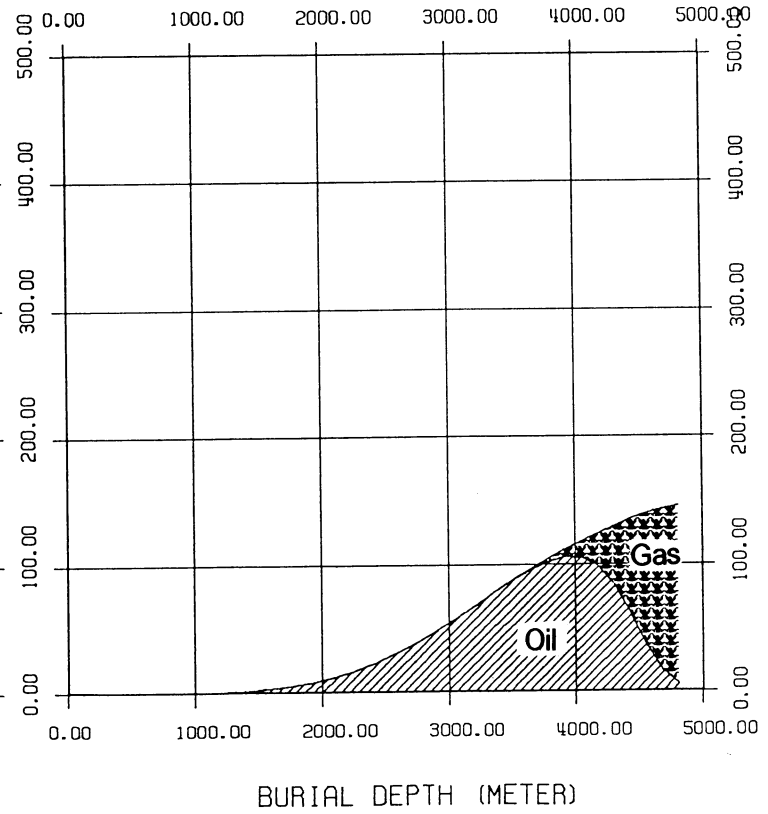
ONNAGAWA FM

ABSOLUTE GENERATION
BY TISSOT MODEL
MG/G*TOC

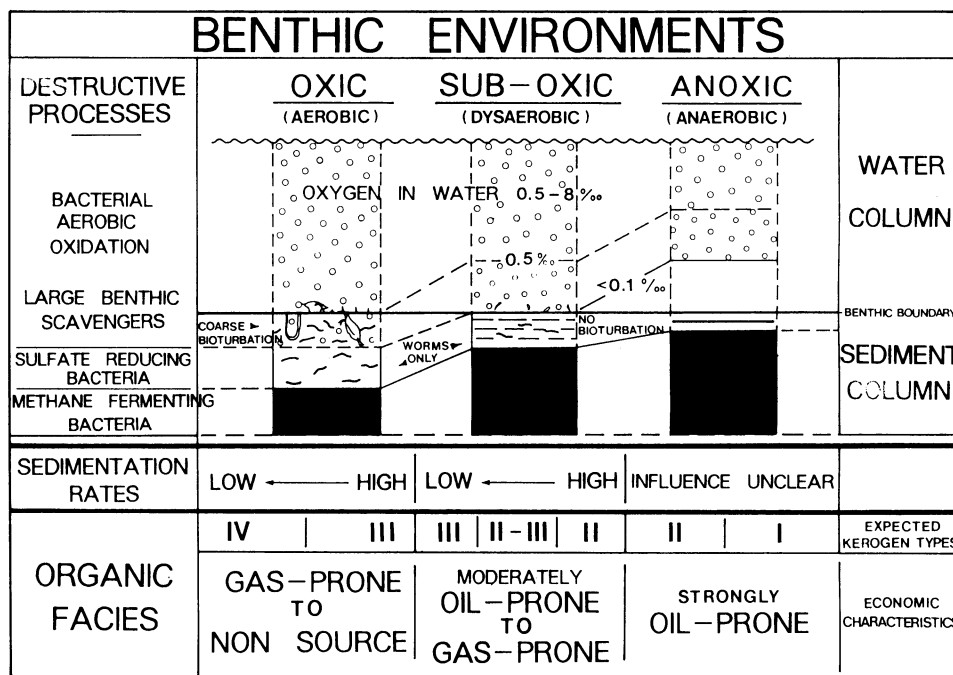


FUNAKAWA FM

ABSOLUTE GENERATION
BY TISSOT MODEL
MG/G*TOC



第8図 女川層及び船川層ケロジェン特性から推定される炭化水素生成カーブ



第9図 有機物が堆積物中に保存される環境図 (Demaison et al., 1983 より)

第8図は前述の2つのグループを代表して、女川層と船川層のカイネティックパラメータを入力し、埋没深度に対する炭化水素生成量を示したものである。このシミュレーションでは地温勾配を3.5℃/100mとし、ガスは活性化エネルギーが55kcal/molで油のクラッキングのみから生成すると仮定した。

油の生成は両累層ともに約4,000mの埋没深度で最大になるが、その時の相対生成量は女川層においては初生的な生成能力のほぼ半分であるのに対し、船川層では約75%に達している。しかし、その絶対生成量については、女川層が約260mg/gTOCであるのに対し、船川層は約100mg/gTOCであり、根源岩としての定量的な能力に明瞭な差が認められる。この結果は女川層の石油根源岩としてポテンシャルが高いという従来の評価と整合的であり、初生状態での炭化水素生成ポテンシャルと熟成過程での生成量を定量的に評価できた点で有意義である。さらに根源岩の有機炭素量と熟成に達した地層の体積が分かれば、堆積盆で生成されたであろう全炭化水素量を推定することも可能である。

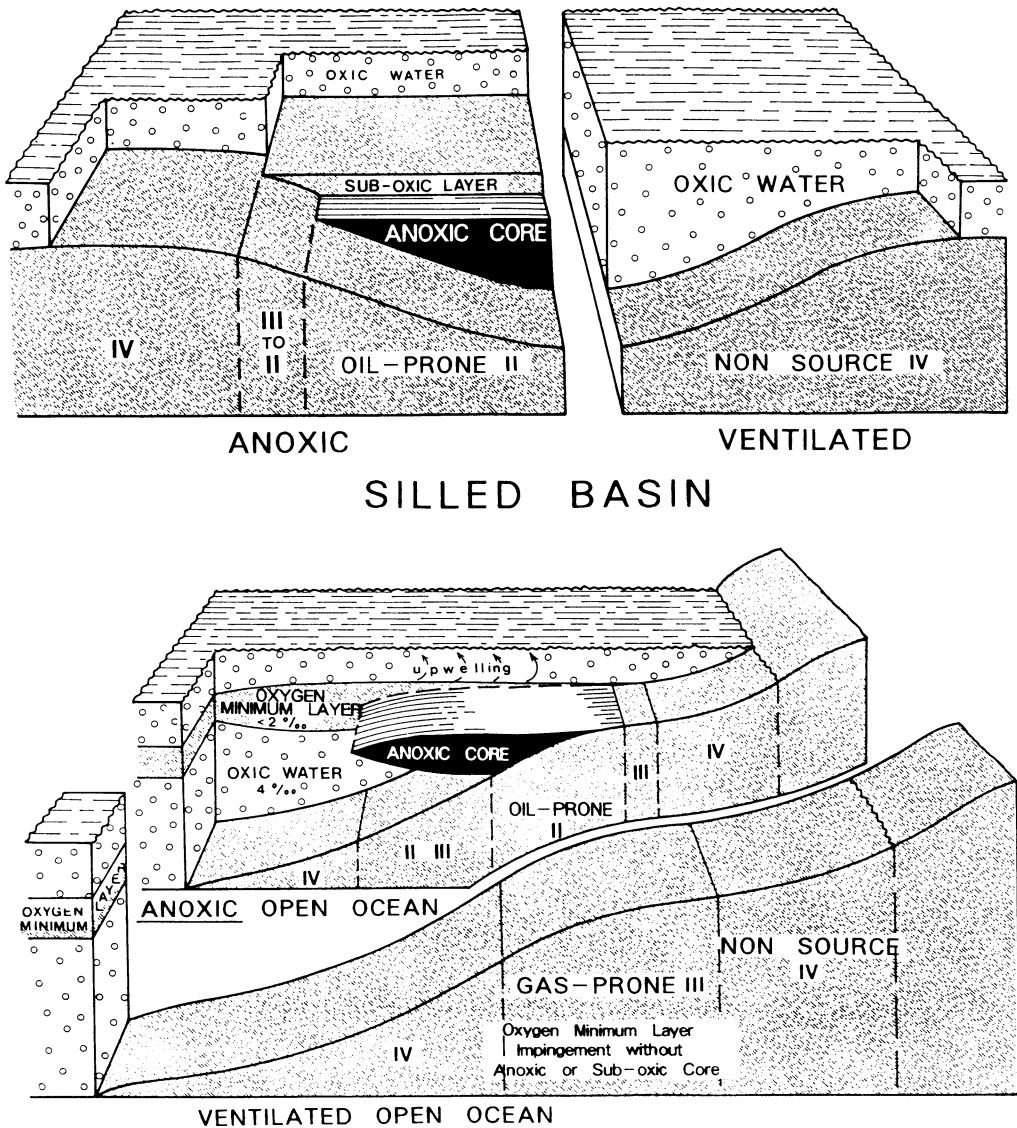
熱力学特性の環境解析ツールとしての可能性

秋田地域では、下位の累層（西黒沢層および女川層）と、上位の累層（船川層および天徳寺層）との間でカイネティックパラメータに違いが認められる。

一般に、有機体の発生・棲息する環境（水の循環と水深に関係）とその有機体の死後、堆積物中に保存される場所の環境（第9図）との間には密接な関係があり、有機物の存在を考えた場合、以下のことが重要であると言われている (Demaison et al., 1983)。

- ① 酸化作用 (Oxidizing agents)
酸素極小帯 (Oxygen minimum layer) の存在と堆積場の関係
- ② 堆積速度 (Sedimentation rate)
堆積の表面上が底水へ接する時間
- ③ 有機物質の型 (Type of organic material)
酸化やバクテリアの分解 (Biodegradation) に対する強度

石油生成ポテンシャルは有機物の質と量に依存しているが、上記の3つの要因のうち、①および③は有機物の質に、①および②は有機物の量に強い影響を及ぼ



第10図 堆積盆における水中の溶存酸素量と有機物相との関係 (Demaison et al., 1983 より)

す。したがって、根源岩となり得る地層が堆積する条件として①の影響が特に大きいと思われる。このことから、水の循環系の中で酸素極小帯がどのような場所に形成されたのかをその当時の古地理を考慮に入れて考える必要がある。

Demaison et al. (1983) は、概念的な堆積盆における水中の溶存酸素量と有機物相との関係を示している(第10図)。この概念図を見ると、堆積盆の形態や海水の循環浄化(Ventilation)が酸素極小帯を規定し、石油生成能力(例えば TOC や HI 値)を大きく左右す

る有機物相の分布に違いを生じさせていることがわかる。このモデルによれば、還元型シルド盆地(Anoxic Silled Basin)や還元型外洋(Anoxic Open Ocean)で酸素極小帯が存在する場所では油指向型(oil prone)の有機物が優勢であるが、循環型シルド盆地(Ventilated Silled Basin)や循環型外洋(Ventilated Open Ocean)ではガス指向型(gas prone)ないし非生成型(non source)の有機物しか堆積しない。

ここで各累層の TOC および前述の方法から求めた X_o から推定される環境と、Demaison et al. (1983) の

モデルの対応を考えると、西黒沢階および女川階が還元型に、船川階および下部天鳥寺階が循環型に相当すると考えられる。また、堆積盆の形態と岩相を考慮をすれば、西黒沢階および女川階がシルド盆地に、船川階および下部天徳寺階が外洋に相当すると考えられる。

本応用例からも明らかなように、堆積環境は有機物の質、ひいてはそのカイネティックパラメータに重大な影響を及ぼしていると考えられる。したがって、この方法から得られるデータは、定量的な根源岩評価としての利用に加え、岩相や微化石による堆積環境解析を支援するツールとしての利用も可能であることを示唆している。

ま と め

通常のロックエバル分析値として蓄積されている水素指数 (HT 値) を用いて、ケロジェンの熱力学特性を共通とする一群の岩相単位 (地化学相) に区分し、その特性を Tissot 型の炭化水素生成数値モデルの入力パラメータである ΣX_o , E_a , σ で表すことが可能である。秋田地域の、西黒沢層および女川層と、船川層および天徳寺層で有機物の堆積当時のカイネティック特性が異なるという結果を得た。これは堆積環境の違いを反映した初生的な有機物の違いに起因すると考えられ、秋田地域に分布する新第三系の岩相や微化石から推定されることと整合的である。すなわち、このような情報は単に累層の石油ポテンシャルを評価するにとどまらず、堆積時の古環境の推定に役立つ可能性がある。今後さらにロックエバルデータを蓄積し、層準ごと、地域ごとに地層のカイネティック特性を検討する必要がある。

謝 辞

試料の公表を許可された石油資源開発㈱に厚く感謝する。本稿を草するにあたり、石油資源開発㈱常務取締役片平忠實博士、同社探鉱部長荒木直也氏並びに同社探鉱部主査加藤進博士には有益な助言を賜った。また、同社探鉱部および技術研究所の諸氏には有意義な討論をして頂いた。以上の方々から感謝する。

参 考 文 献

秋久国男ら, 1977a : 石油根源岩に関する反応熱力学的研究 (第1報) Kerogen の低温熱分解実験に伴う bitumen の生成. 石技誌, 42 (3), 179-188.

秋久国男, 1977b : 石油根源岩に関する反応熱力学的研究 (第2報) Kerogen の低温熱分解実験に伴う O-N-S 複合化合物の生成. 石技誌, 42 (6), 363-369.

秋久国男, 1978 : 石油根源岩に関する反応熱力学的研究 (第3報) 反応速度論的石油根源岩評価法に関する考察—特に O-N-S 複合化合物について—. 石技誌, 43 (1), 1-8.

Burham, A. K. and Braun, R. L., 1989 : A detailed kinetic and thermodynamic model of petroleum formation, destruction, and expulsion, Lawrence Livermore National Laboratory Reprint UCRL997-76.

Demaison, G. J. and Holck, A. J. J., 1983 : Predictive Source Bed Stratigraphy : An Application of the Organic Facies Concept to Basin Evaluation 11th World Petroleum Congress

平井明夫, 1982 : 秋田・新潟地域の根質岩の有機物相. Res. Org. Geochem., 3, 46-49.

Ikebe, Y. and Maiys, S., 1981 : Neogene of Japan — Its biostratigraphy and echronology —, IGCP —114. National Working Group of Japan, Shizuoka Japan, 68-75.

Nakayama, K., 1987 : Hydrocarbon expulsion model and its application to Niigata Area, Japan, AAPG Bull., 71, 810-821.

Nakayama, K. and Lerche, I., 1987 : Basin analysis by model simulation—Effects of geologic parameters on 1-D and 2-D fluid flow systems with application to an oil field : Gulf Coast Association or Geological Society Transaction, 37, 175-184.

Nakayama, K., 1990 : Determination of kinetic parameters for kerogen degradation from Rock—Eval data (abstract), AAPG. Bull., 74, 692.

Nakayama K., in press : Geochemical facies derived from routine pyrolysis data. —Application to the Peace River Arch area, Alberta, Canada—, in Dore A. G. ed., Basin Modeling ; Advances and Applications, Norwegian Petroleum Society.

天然ガス鉱業会ほか, 1982 : 日本の石油・天然ガス資源. 101-148.

Tissot B. P. and Welte D. H., 1978 : Petroleum Formation and Occurrences. Springer-Verlag, New York, 538p.

- Tissot B. P. and Welte D. H., 1984 : Petroleum Formation and Occurrences. (2nd Edition), Springer-Verlag, New York, 699p.
- Ungerer, P., Bessis F., Chenet, P. Y., Durand, B., Nogaret, E., Chiarelli, A., Oudin, J. L., and Perrin, J. F. : Geological and geochemical models in oil exploration ; principles and practical examples, in Demaison, G., and Murriss, R. J., eds., Petroleum geochemistry and basin evaluation, American Association of Petroleum Geologists Memoir 35, 53-77.
- Welte, D. H. and Yukler, A., 1981 : Petroleum origin and accumulation in basin evolution—A quantitative model—, AAPG. Bull., 65, 1387-1396.

この研究論文の筆頭著者である木幡信弘氏は、この論文を島根大学地質学研究報告に投稿中、平成3年8月26日不慮の病のためご逝去されました。享年31歳の若さでした。この論文は木幡さんの遺稿となります。木幡さんは昭和58年3月、島根大学を卒業し、石油資源株式会社に入社されました。石油資源開発業界での元気な活躍ぶりは、よく知れわたっておりました。ケロジェンの石油生成カイネティクスに関係した先駆的な本論文からも、木幡さんのめざましい活躍ぶりを伺い知ることができます。本論文が多くの人々を刺激し、木幡さんのめざしたことが更に発展させられることを願ってやみません。ここに、謹んで哀悼の意を表し、心からのご冥福をお祈りいたします。

島根大学地質学研究報告第10号 編集委員会