

地殻内での炭素サイクルと石油の起源に関する問題について*

L. M. ALEKSEEV*

小 笹 実** 訳

岸 本 文 男*** 監修

N. A. KUDRYAVTSEV (1959), N. S. BESKROVNY (1967) その他多くの研究者は石油の無機起源説に立って、炭化水素地質学に少なからぬ貢献をもたらした。彼らが大きく貢献したのは内因性熱水有機化合物の研究分野である。彼らは熱水鉱床の専門家よりも先に、熱水生成体内に固体瀝青が存在することに注目したのである。しかも有機化学の専門家でもない彼らが生成規模のきわめて小さい固体瀝青の形成に関心をもち、それを無機起源の石油形成の証拠としている。

われわれはもっぱら地質学的前提、とくに地殻内における炭素サイクルについての現在までの認識から出発して、石油の無機起源（と有機起源）の可能性を簡単ながら検討してみた。

気圏—地殻系での炭素サイクル

炭酸塩岩の構成成分として地殻中に集積している炭素についてはさておき、まず有機炭素の蓄積について述べることにする。

光合成の結果、炭素は生物有機体（とくに植物）中に蓄積され、死後それが陸成堆積物か海成堆積物に加わる。埋没条件が適当であれば、植物・動物の遺骸は完全な分解（有機体が分解する場合、炭素は酸化物の形で気圏に帰って行く）を免がれ、地殻の地史的法則に従った発達過程にまき込まれる。

続成変質作用と広域変成作用、とくにその初期段階に有機物の気状成分・液状成分が分離し、それが多孔質岩石ないし割れ目系に沿って上方、圧力の低いところへ向かって上って行く。

堆積岩と同生の有機物の大部分は終りまでその堆積岩と「運命」をともし、造進広域変成作用の全段階を経て超変成作用および花崗岩化作用に至るまで連続的な変成過程を辿る。

緑色片岩相（千枚岩相）に相当する岩石中では、同生有機物は完全に黒鉛となっている。さらに変成作用が増進するにしたがって、黒鉛は再結晶作用を受け、その全部が不純物を放出して純度を大きく高める。花崗岩化作用条件下（マグマ—メルト中）ではある臨界温度を超えると炭素が黒鉛としてもはや存在し得なくなり、気体の形（ CO_2 , CO , CH_4 ）に変わる。炭素のこの気体状生成物の大部分はマグマ留を離れ、深在断層に沿ってもっぱら気相ないし気液相として（熱水溶液とともに）地表に向かって上昇する。

炭素の一部は固体瀝青および液体瀝青として、また少量の気体集積体としてエマネーションの通路や熱水溶液の通路を固めてしまうが、これによく似た炭素化合物の内因性熱水生成体はきわめて小規模であって、炭素の気体状生成物の大部分は地表に達し、気圏に帰って行く。

炭酸塩の炭素は地殻中に存在する炭素総量の80.2%を占めている（USPENSKII V. A., 1956）。面白いことには、炭酸塩岩が有機炭素化合物と反対に熱条件（熱力学条件）の指標にならないのに、地殻中における炭素サイクルの最終段階は互いにきわめてよく似ている。すなわち、賦存深度が大きくなり、高温の花崗岩化条件になってくると、炭酸塩岩は分解して CO_2 を放出し、その CO_2 は地表に向かって上ってくるようになる。

全体として以上のように、気圏と地殻上殻部との間の炭素サイクルが完結する。

地球内部に集まっている無限ともいべき量の炭素がそこに密に「封じ」こまれ、そこから地殻外殻

*Л. М. Алексеев (1970): К вопросу о кругообороте углерода в земной коре и о проблеме происхождения нефти: Советская геология, стр. 138—142.

自由業 *鉱床部

には全く達し得ないものと仮定することは難かしい。だが、おそらくその過程はきわめて徐々に、宇宙の発達速度水準で進行し、大量の炭素が上記の方向に移動し得るには地球の地質史でも不十分であったろう。もし内殻から外殻への炭素の移動がかなりはっきりした規模で行われるのであれば、その移動が炭素のバランスに与える影響は避けられないだろうが、その場合、おそらく気圏構成成分中の炭酸ガス含有量は一定の減少をみるとは限らない。その減少は地表で生命活動が形作られ始めた段階になって初めて認められるのである。

石油無機起源説の諸命題に対する反論 石油の有機起源説支持者と無機起源説支持者の論争の中では大きく異なった論拠が用いられることが多い。有機説論者が一般に大規模な現象を取り扱うのに対し、無機説論者はそれほど大きくない規模の諸事実(広域深在断層、未知の深部留一炭化水素の源)を進んで利用する。論拠とした現象の規模のこのような不一致は相方の対立を助長している。

無機説論者には主として次のような反論が加えられている。

1. 無機説論者の考え方は石油鉱床が弱変成堆積岩とそれほど密接に結びつけられていない。未知の深部から断層によって持ちこまれる炭化水素は貫入岩山塊中や片麻岩・千枚岩など深部変成岩コンプレックス中に発達する角礫化帯、片状化帯、各種の弱い割れ目帯や剝離面(すなわち「貯留体」と考え得る部分)に可採油層を形成していてもよいはずであるが、実際にはそれが認められない。基盤岩中での可採石油濃集体のそれほど多くもない賦存例のほとんどが基盤の「石油胚胎」地塊に接した被覆堆積岩(ルーフ)の弱変成岩に石油が胚胎されているためと簡単に説明することもできるのである(DVALI M. F., 1968)。

2. 無機説論者は、深部からの炭化水素の供給を論証しながら、断層帯中にみられる固体脈状瀝青(kerite, atraksolite など)をなぜか「石油瀝青」と呼び、それを石油の古期における移動の証跡とし、当該構造の石油・天然ガス胚胎可能性の論拠と考えている。しかし、これらの有機化合物(ナフトイドであってナフトイドではない)は一般に内因性熱水過程の結果であって、石油の胚胎とは全然関係のないことである。この場合、無機説論者は彼らの仮説を論証するためにそれ自体証明を要する命題をもち出している。

3. 炭化水素の無機合成と可採油層の無機生成の可能性に関する無機成因論者の成因論構成は理論的な前提を無視し、豊富な事実資料、すなわち固体瀝青と液体石油状分離物の多くの化学分析結果にもとづいたものであり、しかも同じような化学組成の化合物が異なる条件下でも生じ得るということが考慮されていない。物質の可採濃集体が形成される条件か、単に鉱物学的集積体が形成される条件かを混同してはならない。

元素の濃集作用の特性を説明する好例として、種々の金属の鉱石、とくにウラン鉱の生成体の場合をみてみよう。周知のように、初成ウラン酸化物、すなわち閃ウラン鉱や瀝青ウラン鉱(マグマ源、堆積源、堆積-変成源、熱水成)が生成しない地質環境をみいだすことは難かしい。マグマ源および熱水成のいわゆる内因性ウラン鉱化作用はきわめて広い鉱化温度幅を備えているが、マグマ源鉱体、とくに高温熱水成(または熱水-気成)鉱体の場合でも多くの、ときには高品位の優れたウラン鉱石が十分賦存し得るにもかかわらず、世界の主な可採ウラン鉱石の鉱量(ただし内因性ウラン鉱の鉱量)は低温ないし中一低温熱水成鉱床に集中している。

石油の起源についての「和解困難な」見解の相違は上記の例と比較できないだろうか。いい換えると、少量の石油滴(または石油様の炭化水素化合物)はさまざまな方法で生じ得るであろうが、可採油層の生成は卓状地凹地および地向斜凹地の弱変成堆積層に関係があり、地質断面中に分布する有機物の変質現象と関係がある。

かくして、科学アカデミー会員 V. I. VERNADSKII の説、すなわち自然界には無機成石油も存在するであろうが、しかしそれは稼行価値を備えてなく、わずかに鉱物学的意義しかもっていないとする説が有力といえる。

有機説の主な論拠の容認 無機論者たち(N. A. KUDRYAVTSEV, P. N. KROPOTKIN, V. B. PORFIR'YEV, I. V. GRINBERG, N. S. BESKROVNY ほか)は、そのエネルギー的な努力によってみても、反論者たち

の主張を論駁し得ないだろう。ほとんどすべての油層は多孔質、弱変成堆積岩中に賦存する。この問題がまだ完全には解明されていないとはいえ、有機体の変質と石油の生成との間に相関関係があることははっきりしている。石油貯留岩の変成と石油の胚胎性との間の相関関係は理論面でも実際面でもきわめて重要で、その相関性は天然の有機化合物の変質作用の性質にも現われている。

石炭の変成と石油・天然ガス胚胎性との間に相関関係があることを最初に認めたのが H. D. ROGERS (1860, 1863) である。さらに DAVID WHITE (1915, 1921) は炭素係数 (石炭の総有機体量に対する非揮発性炭素の割合, %) の理論を組み立て、その後 V. L. FULLER (1920) らがこの理論を発展させ、そして M. T. TEICHMÜLLER (1958) が石油貯留岩の変成の性質を決めるため、石炭に代えて岩石中に賦存する顕微鏡的な植物化石を利用し始めたことによって炭素係数の理論の前に大きな可能性が開けてきたのである。

ソ連のこの分野における研究の先達は N. B. VASSOEVICH であり、炭素係数の理論の発展を示す興味ある論文が I. I. AMMOV (1961) と G. M. PARPAROVA (1962) らによって発表されている。

ソ連や諸外国では最近の10—15年に石油と堆積岩の有機物に共通する成分を比較対照した論文が多く発表され、さらに堆積物の続成変質や変成の過程における有機物の分解時の当該諸成分の分別様式 (石油生成過程) も明らかになってきた (N. B. VASSOEVICH, 1967; E. T. DEGENS, 1967; V. A. USPENSKII, O. A. RADCHENKO, 1954; J. M. HUNT, 1961)。そして、幾人かの研究者 (O. A. RADCHENKO, 1969; Ye. A. ROGOZINA, 1964) は、続成変質の過程および有機物の変成変質の初期 (褐炭の段階から長焰炭の段階への移過期) に、濃集することによって石油と天然ガスの可採集積体を作り得るような気液成分が分離するという結論を出している (炭化作用の進んだ堆積岩の有機物も主要なものではないにしても石油を作る炭化水素の起源の一つとして無視するのはおそらくまだ早すぎる)。これらの研究およびこれに類似する研究の内容は、生物源石油生成作用の観点から炭素係数理論を科学的に説明するものとなっている。

石油の有機成因説に有利な伝統的論拠は有機成因論者の新しい資料によるだけでなく、その反論者が提起した多くの命題自体によってさえ是認されている。換言すれば、無機成因論者の主な結論が石油の有機成因説をいささかも打ち砕いておらず、かえって有機成因説を証明し、ときには有機成因論者の理論構成の中で解明されていない石油生成現象に解明の道を与えていることさえあるのである。

炭化水素の根源となっているのはやはり堆積岩の有機物 (分散した形のものも、濃集した形のもの) である。内因的な要素 (広域断層、マグマ作用現象、熱水溶液現象、エマネーション現象) は石油の胚胎に関しておそらくエネルギー論的な意義を備えているに違いない。すなわち、これらの内因的な要素とそれに密接な関係を有する熱エネルギーは岩石の有機物の分解、気体・液体成分の移動を促進し、そのことが当該成分の集積に適した条件が存在するときに可採油層の形成をもたらすことになるのである。

その際、内因的な諸過程が、広域変成作用の結果として、岩石中に賦存する有機物の造石油分解が進むよりも前に、弱変成堆積岩に当然加わってくることはいうまでもない。その上、断層は造石油流動体が熱的要素の関与なしに、地圧の減少の結果だけで貯留岩中に移動する通路の役割と移動の誘因をなしている。

油層形成作用の観点からすると、結果として含金属鉱岩層の構成岩石または地質断面下部の岩石から熱水溶液によって溶脱された成分が再配分され、局部的に濃集する場合に似た、低温熱水過程と石油生成作用との間に幾つかの類似性が指摘できる。両者の場合とも、油層・鉱体の分布にみられる構造要素の重要な役割、油層・鉱体のありとあらゆるトラップと遮蔽岩への胚胎状況、油層・鉱体と母岩との境界の不鮮明さ、褶曲構造と油層・鉱体との密接な関係、各種岩石中での胚胎状況、層序断面中での反復胚胎性などがそうである。

しかし、低温熱水鉱体に較べると、油層は大規模であり、断層との結びつきはそれほど鮮明でないが、それはおそらく油層が全体として深部から供給される熱水溶液に規制される程度がはるかに小さいためであろう。岩石に対する熱作用の結果として有機物の分解も進み、石油の気液成分の移動を保障し

た本来の「熱水」溶液もしくは「変成源」溶液の「居場所」に集中し、結局は可採油層を形成したのである。

地質学者の努力によって蓄積された事実資料にもとづいて、地殻内のさまざまな深度条件下における炭素循環過程で生じている天然有機化合物の組成の基本的な特徴を判断し得る可能性が今では生れているのである。高分子炭化水素と酸素—炭素化合物 (CO_2 と CO は除く) は堆積岩圏の最上部殻にだけ特有のもので、そこに石油と天然ガスのほとんど全鉱量が集中している。有機物を含んでいる岩石が深く沈降・積載されるに従って(すなわち、広域変成作用の強さとそれ相応の温度の増大に従って)有機物の安定炭化、すなわち酸素・水素含有量の減少と炭素含有量の増大がみられ、後者は最大 100% に近くなる。緑色片岩相条件下で生成する黒鉛は花崗岩化作用によって炭素の気状生成物 (CO_2 , CO , CH_4) に変化し、その大部分はおそらくマグマ留を逸出して地表に達し、かつて気圏が失った炭素の大部分をそこに戻すことになる。

過去の地質時代に地表であった部分に炭素の気状生成物が移動する通路は、古期断層帯や死火山の火口に液体瀝青およびガス集積体が賦存することに現われている。上述の気状生成体は一般に現世断層帯、活火山火口、温泉湧出口で認めることができる。

しかし、無機成因論者さえも石油炭化水素 (CH_4 を除く) のはっきりした量のを確認することがいかなる場所でも成功していない。石油炭化水素の起源を地下深部に求めている無機成因論者や堆積岩の有機物と石油の間には全く関係がないとする無機成因論者の主張がもし正しいとすれば、油層は多孔質堆積岩中だけでなく、どのような変成相の岩層中や貫入岩体内の適当な構造的弱化帯に形成されていても然るべきである。貯留空隙の存在という観点からすれば、地向斜—褶曲系の基盤および結晶質山塊を構成している深部被変成岩コンプレックスは実際にみられる産油堆積岩よりも有望とさえいえるだろう。もし地殻中の有機物の変質の一般的な特性から結論をひき出すとすれば、大部分の石油成分は深部に簡単には存在し得ない筈である。石油賦存の全歴史(その生成、移動、消滅)は堆積岩圏の上部殻と密接な関係をもっている。もし「深部」の炭素と石油の結びつきについて述べ得ることがあるとすれば、その結びつきは大気圏を経、さらに堆積過程に加わった植物と動物の化石を経て実現するというのである。おそらく、石油構成物質が深部起源であると主張する無機成因論者の試みは不首尾に終るであろうが、彼らが主張している油層の分布に対する内因的諸要素の影響についての論旨の価値を再評価することは無理である。多分、同生有機物を含んだ堆積岩に対する内因性諸作用と関係した熱作用は石油の生成、その移動、可採油層の形成を促進するのであろう。

石油の生成のすべての問題とはいわれないが、しかし基本的な問題の解決にはなお粘り強い、長期にわたる総合的な研究が必要である。だが、この多面的な総合的研究の中で、おそらく、次の2つの研究方向がとくに重要な実的な意義をもつであろう。

- 1) 含油層の変成と石油胚胎性との間の相関関係の特徴を解明すること(炭素係数理論の完成)。
- 2) 内因的諸要素を研究し、その可採油層の分布に対するその影響を明らかにすること。

上記の研究の過程で到達し得る肯定的な結果は新しい石油有望地域のより確かな選択を助け、当該地域における探査試錐の効果的な集中を助けつつある。

文 献

- I. I. Аммосов (1961) Стадии изменения осадочных пород и парагенетические отношения горючих ископаемых (堆積岩の各変質段階と燃料鉱物の共生関係). "Советская геология", No. 4.
- N. B. VASSOEVICH (1967) Теория осадочно-миграционного происхождения нефти—исторический обзор и современное состояние (石油の堆積—移動成因論—歴史的概観と現状). Изв. АН СССР, серия геол., No. 11.
- V. I. ВЕРНАДСКИЙ (1954) Углерод и живое вещество в земной коре (地殻中の炭素と生物). "Избранные сочинения", т. I, М., изд-во АН СССР.

M. F. DVALI (1968) О гипотезах неорганического происхождения нефти и об оценке перспектив нефтегазоносности с позиций этих гипотез (無機石油成因説とその説による石油・天然ガス胚胎性の展望の評価について). Тр. ВНИГРИ, вып. 267.

E. T. DEGENS (1967) Геохимия осадочных образований (堆積生成体の地球化学). М. изд-во "Мир".

G. M. PAPPANOVA (1962) Изучение обугленных растительных остатков Джугуртино-Гиланского района Чечено-Ингушской АССР петрографическим методом в свете теории углеродного коэффициента (炭素係数論に照した岩石学的方法によるチェチェン=イングーシュ自治共和国ドジュグルチン=ギリヤン地区炭化植物化石の研究). Геол. сб ВНИГРИ, вып. 190, No. 7.

O. A. RADCHENKO (1969) Об особенностях химического преобразования ископаемого органического вещества различного генетического типа в процессе углефикации—связи с проблемой генезиса нефти (炭化過程における各種成因タイプの化石有機物の化学的変質の特徴について—石油の成因問題に関連して). "Химия твердого топлива", No. 1.

Ye. A. ROGOZINA (1964) К вопросу о газовой стадии органического вещества пород (岩石の有機物の気体段階に関する問題によせて). "Геология нефти и газа", No. 11.

V. A. USPENSKIИ, O. A. RADCHENKO (1954) О происхождении нефти (石油の起源について). "Нефтяное хозяйство", No. 8.

V. A. USPENSKIИ (1956) Баланс углерода в биосфере в связи с вопросом о распределении углерода в земной коре (地殻内の炭素の分布問題と関連した生物圏中における炭素のバランス). М., Гостоптехиздат.

J. M. HUNT (1961) Distribution of hydrocarbons in sedimentary rocks. *J. Chem. Soc.*, v. 22, No. 3.