

日本における石油地質学の進歩

小松直幹*・猪間明俊**

Advance of petroleum geology in Japan

Naomoto KOMATSU* and Akitoshi INOMA**

Abstract A large amount of geochemical data concerning the origin of oil deposits come to light during the 1970's. As a result, it has come to be accepted by many researchers that oil was generated in the later stage of diagenesis. Regarding reservoir geology, new informations on the turbidite sand reservoirs and volcanic rock reservoirs were added to the petroleum geology in Japan.

As for technology in exploration, the information on subsurface geology increased remarkably with the introduction of modern geophysical tools. Meanwhile, with the advance of oil exploration in the offshore areas, new sedimentary basins were discovered, and many new geological information became available.

はじめに

1970年代は、石油鉱床成因論に関係した多くの地球化学的なデータが蓄積され、大勢として、石油は堆積岩続成過程の後期に形成される、という考え方が支配的になった時期である。このことについては第4部に田口が述べているので、ここでは触れないことにするが、この点が1970年代の日本の石油地質学の上でのいちばん大きな進歩である。

そのほか、石油地質学の進歩としては石油の移動や貯留岩に関する新知見、物理探査技術の進歩とその結果についての地質的解釈、物理検層の解析技術の進歩および新しく探査が始まった地域についての知識の集積などがある。

これらのうち主として石油の移動と集積、貯留岩および新地域についての知見を紹介する。

石油の移動と集積

1970年代を通じて最も熱心に討論された問題は、石油の移動が堆積岩の続成作用の前期か後期かということであった。また、一方では、石油の移動には水の移動が密接にかかわっているということも議論

された。

1970年代の前半には石油の移動は地層の続成作用の初期におこるという考え方が支配的であった。

片平(1974)は火山岩貯留岩への炭化水素の移動について論じた中で、石油類を含む水が根源岩よりしぼり出され、多孔質な貯留岩中に移動し、その後帽岩が十分に発達したのちに、貯留岩中で石油と水とに分離したという考えをのべた。これは1970年代における早期移動説の最後の論文であった。この論文は石油の移動の時期と石油鉱床成立の時期を区分し、鉱床の成立には帽岩能力が必要であるという点に言及した点で、重要な論文であろう。

1977年に石油技術協会は「石油の移動と地層の圧密」というシンポジウムをおこなった。このシンポジウムを境にして、わが国の石油地質家の中に石油の移動は堆積岩の続成作用の後期に起るという考えが支配的になり、石油成因論ではケロジン成因説がほぼ定着した。このシンポジウムでは、石油の移動には間隙水が媒体になるということが暗黙の了解事項になっていたようにみえる(河井, 1977)。

青柳・浅川(1977)は、ケロジンから炭化水素が形成されるのに必要な温度は約100℃前後であり、この温度条件と地層の圧密による水の排出が大きくなる時期の一致が石油の一次移動と集積に好ましい条件であるとした。間隙水の排出は地層の埋没の初期に大きく、その後、減少してゆき、泥質岩の孔隙率が

* 帝国石油(株). Teikoku Oil Co., Ltd., 31-10, Hattagaya 1 Chome, Shibuya-ku, Tokyo, 151 Japan.

** 南海石油開発(株). Nan-kai Petroleum Exploration Co., Ltd., 17-22, Akasaka 2 Chome, Minato-ku, Tokyo, 107 Japan.

30 % 前後のところで一度安定する。すなわちこの時期には間隙水のほかに粘土鉱物中の層間水と一緒に放出されて、水の排出が見掛け上安定したようになる。この時期が炭化水素の一次移動に最も重要な時期であるとのべた。

藤田(1977a)は、地下の泥質岩中に孔隙圧の正の異常が生じ、そこから低圧部に向って水と炭化水素が絞り出され、またこれが流体の垂直移動に対して障壁となり、炭化水素鉱床を形成する上での帽岩の役割を果たすとのべた。その具体的な例として、藤田(1977b)は石油化度の変化を挙げた。石油化度は一般的には深度とともに増加するが、部分的に減少するところがある。これは石油炭化水素が根源岩から水と一緒に外に排出されたことを示しているとした。

1980年に東海大学海洋研究所の主催で“堆積盆中の流体移動”のシンポジウムが開かれた。その中で、真柄(1981)は、石油やガスの移動集積には地層水が重要な役割を果たし、圧密による水の移動が重要である、とのべた。

しかしながら、炭化水素の移動に水が媒体として重要な役割を果たしているという考えにも問題点が残されている。すなわち、どのような形で炭化水素が水によって運ばれるかという問題である。藤田(1981)は炭化水素の一次移動には水に対する溶解相と独立相があることをのべ、この問題は1980年代の大きなテーマになるだろうとしている。1980年代は炭化水素の移動に水がどれだけ関与したかという問題と、片平(1974)がのべたように、帽岩の形成をも含めた炭化水素の一次移動と集積の問題について、議論が展開されるものと予想される。

貯留岩の研究

1. 砂岩貯留岩

砂岩貯留岩は日本の油田においても重要である。1970年代に、わが国で、砂岩を貯留岩とする新油・ガス田の発見は阿賀沖油・ガス田と磐城沖ガス田だけであったことを反映して、砂岩貯留岩の研究には著しい進歩はなく、ほぼ1960年代の手法を踏襲してすすめられた。

すなわち、古流系から砂岩層の分布を推定する手法である。坑井におけるディップメーターの記録から、砂岩体の堆積構造を示すものを取り出して、そ

れから古流系を推定しようとする試みは1960年代後半からおこなわれてきた(猪間・小林, 1969)。1970年代にはいって、ディップメーターが3極から4極のものになり、精度も上ってきたことによって、より正確な堆積構造を識別できるようになった(猪間, 1973; 市村, 1976)。

阿部(1978, 1980)は、コアの岩相とディップメーター記録のマイクロログの抵抗曲線の対比を基礎にして、ディップメーター曲線から詳細な岩相の判定を可能にした。この方法によって、新潟県の南阿賀油田で椎谷層中の油層について詳細な解析をおこない、油層を構成する砂岩層の下部はchannel fill型で、上部はturbiditeであることを明らかにした。電検解析から砂岩貯留岩の岩相解析を可能にした面ではこの研究は高く評価される。

新潟県下の西山層と浜忠層の砂岩層は、ディップメーターと坑井資料によると、古流系に違いがあることがわかった。西山期以降になると、古流系の方向が現在の地質構造に強く規制されるようになり、粗粒の砂や礫などは地形低所に主として分布することが明らかにされた。古地形は構造運動と密接に関係し、古流系もこの古地形に強く支配されたと考えられ、西山期以降の砂岩貯留岩の分布状況が予測できるようになった(MORITA *et al.*, 1973)。

同様な方法で、北蒲原地区では、椎谷層の貯留砂岩層はturbidity currentsで堆積したものであり、西山層の砂岩層は海底扇状地の堆積物であろうとされた(鈴木ほか, 1979)。

わが国における砂岩貯留岩は主としてタービダイトであるために、タービダイト以外の砂岩貯留岩については、長坂(1978)がインドネシアのマカハムデルタから報告したにすぎない。マカハムデルタの新第三系中には、海側に前進する礁と汽水～淡水域に堆積した砂岩と海域に堆積した砂岩とがある。物理検層の解析によると、海成砂岩層の孔隙水は40000ppmの塩分をもつものに対して、デルタプレーンに堆積した砂岩層のそれは10000ppm以下であり、古い堆積環境を示す水が地層水として保存されていることが明らかにされた。

砂岩貯留岩の性質についての研究は1970年代にはほとんど公表されなかった。砂岩貯留岩の一次孔隙を支配する要因、埋没に伴う孔隙の変化、二次鉱

物の沈澱・溶解などの問題については、青柳(1974)が“貯留岩の絶対孔隙率は堆積物の初生孔隙率が堆積後の種々の物理的および化学的過程によって変化したものであるから、貯留岩の評価は孔隙の起源に関与する過程を地域的・量的に解析することである”と概括したにとどまった。この問題は、二次孔隙の形成をも含めて1980年代の研究テーマとして残された。

砂岩層中に存在する炭化水素鉱床を物理探鉱の手段で直接探知しようという試みは、1960年代の終りから試みられるようになった。これには堆積学的にそこに砂岩層が分布する可能性を検討した上で物理探鉱データの検討がおこなわれて成功が収められている。

坂本ほか(1975)は、ナイジェリア沖合地域のよう比較的圧密の少ない地層で砂岩・頁岩よりなる場合には、浅層のガスは物理探鉱記録上で明瞭に認められるし、ある程度の深度のものも、地質構造と堆積学の知識を加味すれば、炭化水素鉱床を検知できるという実例を示した。

同様に、砂岩層の尖滅状況を地震探鉱記録から読みとる事例を公手ほか(1978)が公表した。これによると、秋田県釜谷沖と新潟県白根での実例が挙げられ、坑井資料と物理探鉱記録とのつなぎ合せをおこなうことによって、詳しい岩相の変化を知ることができるとしたが、物理探鉱の精度をあげることがいちばん重要であるとのべている。

この手法も1980年代以降に炭化水素の探鉱での重要な手段になるものと思われる。

砂岩貯留岩の物理検層解析技術の進歩はめざましいものがあつた。個々の油・ガス田での検層解析の精度をあげるにはいろいろな方法がある。その一例として岡部(1977, 1978)は阿賀沖油・ガス田において formation factor (m) と saturation component (n) をこのフィールドに合うようにコントロールすることによって、解析の精度をあげることができた。

2. 炭酸塩岩貯留岩

わが国における炭酸塩岩貯留岩は秋田県の福米沢油田に例があるだけであつて、資料はきわめて少ない。このために、炭酸塩岩貯留岩についての研究はわずかししか公表されなかった。

大島(1977a)は、中東のアブダビ海域のムバラス

油田の炭酸塩岩油層について、孔隙率は深度と共に減少するが、これは圧密によるものとし、浸透率は含有される泥質物の量に大きく影響されることを示した。また、孔隙径の大きな油層では、水飽和率の増大(油飽和率の減少)に伴って sparite の沈澱があつて、孔隙率が減少するとした。

油層を形成している grainstone 層の発達とは白亜紀における広範囲の海水準変動に関係しているのではないか、ということも大島(1978)によつてのべられた。

わが国の石油企業が海外で探鉱・開発している油・ガス田の中には、炭酸塩岩を貯留岩とするものがいくつもあるので、そこでの研究はかなり進歩していると思われるが、いずれも企業秘密の上から公表されていない。大島の研究はその例外的なものに属する。しかしながら、1980年以降には、これらのデータが順次公表されてわが国の炭酸塩岩についての研究のレベルアップにつながることを期待したい。

3. 火山岩貯留岩

1958年の見附油田の発見以降、1960年代には、新潟県下で火山岩を貯留岩とする片貝(1960年)、雲出(1961年)、関原(1963年)、藤川(1964年)、吉井(1968年)の各ガス田があいついで発見された。1970年に東柏崎ガス田が発見されたが、その後1979年に新片貝・南長岡ガス田が発見されるまで、火山岩を貯留岩とする油・ガス田は発見されなかった。したがって、1970年代は主として1960年代に発見されたガス田から得られた知識をもとにして火山岩貯留岩が研究されてきた。

西島(1969)は、藤川・片貝ガス田の火山岩ガス層において、背斜の頂部付近に掘りこんだ坑井の open flow potential が翼部に掘りこんだ坑井よりも大きいことを挙げ、これは構造運動(背斜を形成する時の)による fissure の発達に関係するであろう、とのべた。

見附油田においては、良好な貯留岩となっているのは幅数100m、長さ約1.5km以内の小さな溶岩丘様のものであつて、この溶岩丘に伴う fracture と vug が貯留岩の孔隙を形成していると考えた(西島, 1971a)。

片平・鶴飼(1976)および KATAHIRA & UKAI (1976) は日本の火山岩貯留岩についての知見を総括した。

それによると、火山岩貯留岩となっているのは流紋岩～安山岩の溶岩や凝灰角礫岩であって、**vug** や **fracture** をもっている。これらの **vug** や **fracture** は溶岩噴出時の自破碎によるか、構造運動によるかのいずれかである。吉井ガス田では直径2～4kmの孔隙に富む溶岩丘様の火山岩体の塊が五つほどある。

1960年代には、火山岩貯留岩のコアは十分に採集されなかったので、物理検層結果とコアとの対比はよくできなかった。また、新しい物理検層技術が吉井・東柏崎ガス田の開発後に導入されたという事情から、1970年代には、火山岩貯留岩についての知識は不十分であった。最近発見された南長岡・新片貝ガス田で火山岩貯留岩についての研究が精力的に進められているが、その実態の把握にはまだ時間がかかると思われる。現状では、世界的にみて珍しいタイプの貯留岩であるが、将来はいろいろな場所で発見される可能性があるので、この研究が進展することが大いに期待されるところである。

油・ガス田成立条件についての地質学的検討

トラップの形成時期は多くの場合地質学的手法によって推定できる。鉱床を形成するだけの炭化水素の移動と集積はトラップの形成以後であるから、地質学的手法によって炭化水素の移動時期をある程度推定できる。

構造の成長過程を追うには、今でも最も有効な方法として等層厚線図が用いられる。順次累重していく各層の等層厚線図を重ね合わせていくことによって、貯留岩を含むトラップが形成されていく過程を復元できる(たとえば大島, 1977b)。

1970年代の初期には、石油の移動・集積は続成作用の初期であるという考えが優勢であったので、この観点から研究が進められた。

西島(1971b)は、ガス田はその地層の堆積時の等層厚線図の上で地層の薄い部分、すなわち堆積時の高まりに一致する、とのべている。同様な研究は鈴木ほか(1977)によって新潟県の北蒲原地区においてもなされた。

このような移動集積のタイミングについてのアプローチのほかに、地質調査所第三系堆積盆地研究グループ(1974)は新潟堆積盆地についての総括的な研究を公表し、石油地質についてもさまざまな面から

検討した。この中で、鈴木ほか(1974a)は第1級の石油鉱床は貯留岩が七谷～寺泊期の根源岩と思われる地層と近接している所に成立していることを示し、油田成立の条件として貯留岩と根源岩の位置関係が重要であると指摘した。また、鈴木ほか(1974b)は、長さ30km以上に及ぶ第1級の褶曲構造は基盤のブロック運動の反映であり、長さ5～30km程度の第2級の褶曲構造は基盤のブロック運動の反転によってもたらされたものであることを指摘した。第1級と第2級の褶曲構造の間には形成のメカニズムとタイミングに違いがあり、この面からもトラップの形成時期についての検討が可能になった。小玉ほか(1974)、藤井(1974)、衣笠(1974)によって基盤ブロックモデルによる被覆層内の応力分布が解析され、これによって油田内の構造解析の基礎ができた。

これらの研究は、トラップが早期に形成されることが油田成立の第一条件である、という点を主張したものであり、石油の移動集積のタイミングからすれば早期移動に焦点を合せたものである。地質学的なアプローチとしては1960年代の考え方の延長上にあるものである。

相場(1977a, b)は、圧密水流が石油の一次移動に重要な役割を果たすことを認めた上で、油田が成立するための条件の一つとして、帽岩能力が重要であり、この能力を検討することによって集油のタイミングを知ることができるとした。すなわち、泥質岩の帽岩能力は深度と孔隙率の関係からとらえられ、泥質岩がその油田での帽岩となる埋没深度を求めることができる。たとえば、申川油田のI層は160mの油柱をもっているが、この油柱をシールするためには、帽岩は最低4kscのスレッシュホールド圧力をもたねばならない。これを泥質岩についての深度－孔隙率－スレッシュホールド圧力のプロットからみると、孔隙率35～40%であって、埋没深度は1000mぐらいとなる。集油はすくなくとも、この深度にまで申川I層が埋没したのちにおこなわれたとみるべきであろう。この考えは、石油がどのような相で移動するにしても、帽岩の成立するタイミングが鉱床成立の条件として重要である、ことを指摘した点で意義がある。

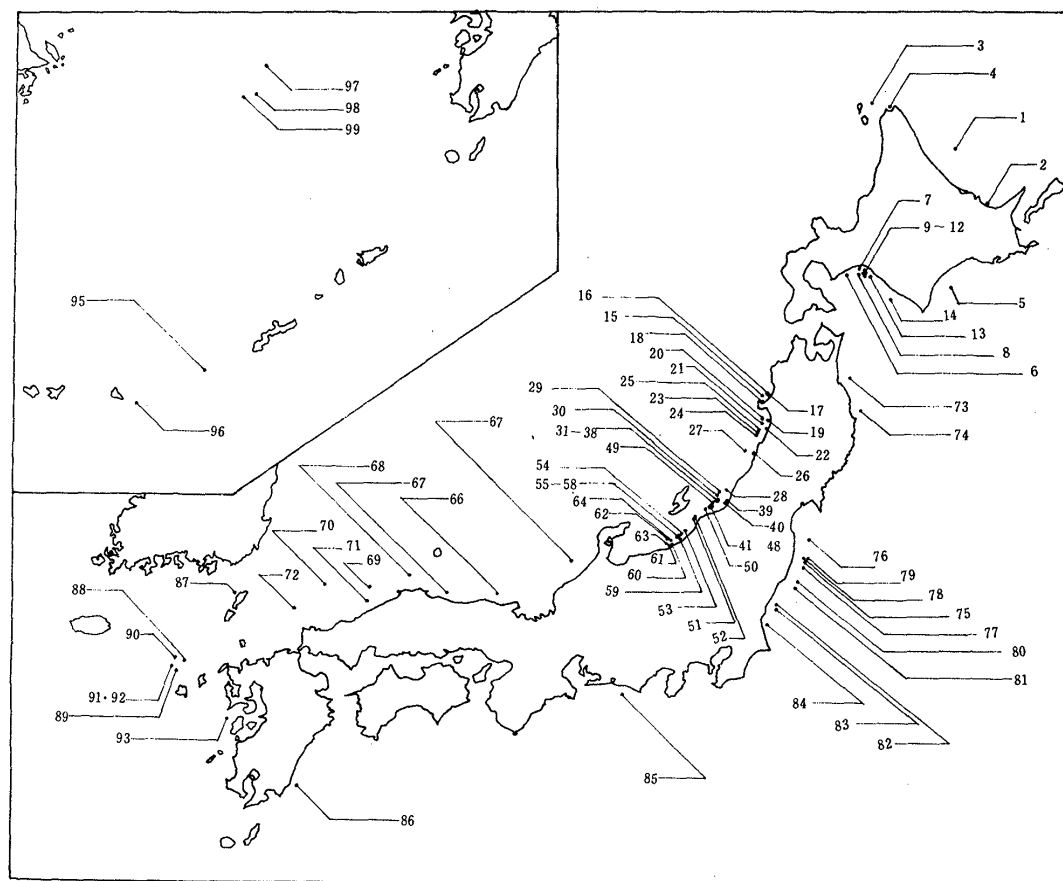
池辺ほか(1978)も、火山岩貯留岩への炭化水素の集積をのべた中で、“炭化水素は上方・側下方の泥質



第1図

a (上): 1968-1982年に日本周辺海域で行われた国の基礎地震探鉱測線。

b (下): 1971-1983年に実施された日本周辺海域における石油探査井位置図。



第1表 日本周辺海域石油探査井 (1971-1983)

番号	坑 井 名	実 施 者	実施年	掘削深度m	水深m	掘 止 層 準
1	紋別沖-1	JPX/UN	1978	2146	153	ジュラ/先ジュラ系
2	知床沖-1	NOO	1980	1994	81	
3	稚内沖-1	MOECO/UN	1978	2801	109	石狩統
4	宗谷沖-1	JPX/UN	1979	3008	39	幌内統
5	基礎試錐十勝沖	MITI	1982-83	4457	285	中部中新統
6	白老沖-1	JPX	1978	3500	67	滝ノ上層
7	苫小牧沖A-1	"	1977-78	3503	42	"
8	" C-1	"	1978	3005	60	"
9	勇払沖B-1	"	1976-77	4030	41	石狩層群
⑩	" B-2	"	1978-79	3200	55	"
11	" B-3	"	1979-80	3823	62	基盤岩
⑫	" B-4	"	1980-81	3583	51	石狩層群
13	鶴川沖A-1	"	1977	3802	15	滝ノ上層
14	襟裳えか-1	SNO	1977	3967	200	川端層
15	能代沖SI-1	JPO/ID	1973	2360	67	女川層
16	浅内沖SI-1	"	1977	2007	35	"
⑬	釜谷沖SI-1	"	1977	2306	14	"
18	琴川沖SI-1	"	1979	2300	29	門前層
19	秋田沖北部SI-1	"	1971	3003	40	西黒沢層
20	由利沖北部SI-1	"	1971	4015	56	女川層
21	由利沖中部SI-1	"	1973	2771	60	船川層
22	芦川沖SI-1	"	1982	4080	37	西黒沢層
⑭	本荘沖IA-1	ID	1974	3418	172	女川層
24	" IA-2	"	1974	2662	119	下部天徳寺層
25	" IA-3	"	1980	2950	165	船川層
26	庄内沖SI-1	JPO/ID	1974	2004	66	青沢層
27	基礎試錐最上川沖	MITI	1983	2391	362	花崗岩
28	村上沖IA-1	ID	1976-77	3662	75	七谷層
29	阿賀沖北西IA-1	"	1973	2565	114	西山層
30	阿賀沖西IA-1	"	1976	3050	113	椎谷層
⑮	阿賀沖北IA-1	"	1973	1599	93	"
⑯	" IA-2	"	1973	2233	94	寺泊層
⑰	" IA-3	"	1981	2200	88	"
⑱	" IA-4	"	1981	1804	89	椎谷層
⑳	" IA-5	"	1981-82	1550	91	"
㉑	" IA-6	"	1982	1450	89	"
37	阿賀沖北東IA-1	"	1982	2153	88	寺泊層
38	阿賀沖北北IA-1	"	1982	1946	95	椎谷層
㉒	岩船沖SIM-1	JPX/JPO/ID/MG	1983	2860		寺泊層
40	" SIM-2	"	1983			
41	阿賀沖SI-1	JPO/ID	1971	2040	71	西山層
④	" SI-1A	"	1971-72	3505	73	寺泊層
④	" SI-2	"	1972	4574	75	七谷層
④	" SI-3	"	1972	3511	78	寺泊層
④	" SI-4	"	1972	2400	84	椎谷層
46	" SI-5	"	1972	2610	83	"
47	" SI-5A	"	1973	3445	84	寺泊層
④	" SI-6	"	1972-73	2400	90	椎谷層
49	" SI-7	"	1974	2300	92	"
⑤	信濃川沖SI-1	"	1980	5315	76	七谷層

⑤①	寺泊沖IA-1	ID	1978-79	3823	126	基盤岩?
52	" IA-2	"	1982	3085	131	寺泊層
53	柏崎沖IA-1	"	1977	3774	138	"
54	新米山沖-1	TOC	1980	2501	86	"
55	柿崎沖-1	"	1972	2511	95	"
⑤⑥	" TSI-1	TOC/JPO/ID	1982	2305	96	"
57	" TSI-2	"	1983	1470	93	"
58	" TSI-3	"	1983	2805	99	難波山層
59	北米山沖-1	TOC	1981	2705	41	寺泊層
60	頸城沖-5	"	1973	2069	34	"
61	新黒井沖-1	"	1982	2805	41	"
62	基礎試錐直江津沖北	MITI	1981	4509	212	七谷層
63	直江津沖-1	TOC	1972	3005	48	寺泊層
64	直江津IA-1	ID	1974	3352	115	難波山層
65	金沢沖-1X	TOC/GULF	1978	3003	240	
66	香住沖-1X	"	1978	3002	202	岩稻層
67	基礎試錐鳥取沖	MITI	1981-82	3276	291	古浦層
68	隠岐-1	WJO	1973	2050	164	下部中新統
69	浜田-1	"	1971	3343	147	"
70	山口沖-1	"	1973	2502	192	中部中新統
71	国府-1	"	1971-72	4009	138	下部中新統
72	萩-1	"	1971	3462	132	"
73	八戸沖-1X	TOC	1978	3501	104	ジュラ系?
74	久慈沖-1X	"	1977	3030	130	白亜系
⑦⑤	磐城沖-1	TOC/ESSO/EJO	1973	3986	153	ヘトナイ統
76	" -2	"	1973-74	3664	139	"
24	" -3	"	1974	3702	154	"
⑦⑧	" -4	"	1974	3007	151	"
⑦⑨	" -5	"	1974	2875	155	"
⑧⑩	" -6	"	1974	3511	175	"
⑧①	" -7	"	1974-75	3101	210	"
82	常陸沖-1	"	1974	4420	120	"
83	" -2	TOC	1975	3903	128	"
84	鹿島沖-1	JPX/ESSO	1979	2163	38	白亜系
85	基礎試錐御前崎沖	MITI	1983-84			
86	鶴戸沖-1	TOC/GULF	1975	4010	116	上部中新統
87	対馬つこ-1	SNO	1978-79	3420	209	
88	" つく-1	"	1979-80	4117	147	中部中新統
89	" つけ-1	"	1978	3123	150	
90	福江沖北-1	WJO	1973	2967	128	
⑨①	福江沖-1	"	1972	4068	140	
⑨②	" -1A	"	1972	2228	143	
93	天草沖-1X	TOC/GULF	1975	4010	116	始新統
94	吐喇とか-1	SNO	1978	2985	84	
95	沖縄沖-1X	TOC/GULF	1977	3043	210	基盤岩
96	基礎試錐宮古島沖	MITI	1980-81	3711	286	八重山層群
97	JDZ-V-1	NSK/TEXACO	1980	3397	95	
98	" VI-2	NSK/HAMILTON	1980	4190	80	
99	" VII-1	"	1981	4474	86	

番号は第1図bと対応, ○で囲んだのは出油ガス井. 実施者略号 JPX: 石油資源開発, UN: 米国ユニオン, NOO: ニッポンオフショア石油, MOECO: 三井石油開発, MITI: 通産省, SNO: 新日本石油開発, ID: 出光石油開発, MG: 三菱ガス化学, TOC: 帝国石油, GULF: 米国ガルフ, WJO: 西日本石油開発, ESSO: エッソ, EJO: 東日本石油開発, NSK: 日本石油開発, TEXACO: テキサコ, HAMILTON: ハミルトン

根源岩から移動してきたものであるが、帽岩は泥岩のこともあり、凝灰岩のこともある。炭化水素は凝灰岩が未凝固の間にこれを通過して貯留岩に達したものである。凝灰岩は、炭化水素が貯留岩に達したのちに、緻密な帽岩になったと考えねばならない”とのべている。これは、たとえば礁タイプの炭化水素鉱床のように、帽岩の位置にある泥質岩から炭化水素が移動してきたのちに、その泥質岩が帽岩になるというメカニズムを検討しなければならないことを示しており、今後の研究がまたれる。

重川・浅川(1978)は、八橋油田の炭化水素の組成の垂直変化を検討し、浅層と深層とでは組成に違いがあり、各々の層の石油は八橋背斜に接する深い向斜部で生成されて、地層面に沿って側上方に移動したとのべた。この場合には、すでに八橋背斜のトラップでは、帽岩が存在していたということになる。

炭化水素の移動集積についての研究は、個々の油・ガス田での地質学的・地化学的な検討によってより詳細なタイミングの決定という方向に進みつつあるとみてよからう。

コンピューターシミュレーション による堆積盆評価

ケロジン根源説に立脚した石油・天然ガス鉱床成因論が体系化されてきたことによって、石油・天然ガスの生成から移動・集積に至るまでのプロセスをコンピューターを用いてシミュレーションを行い、堆積盆地全体、あるいは堆積盆地の一部または個々の構造の評価をしようという試みが行われるようになった。日本では、公表されたものとしては、中山(1981a, b)のもののみであるが、企業内では日常的に用いられている。

中山のシミュレーションモデルの基本概念は、ある地質断面線に沿って等間隔に地域を区切り、各区域の地層を時間単位で区切った“セル”の中の根源物質が時間の経過と埋没によって熟成し、発生した油やガスが泥質岩セルについて考えられる炭化水素の保持能力(臨界炭化水素飽和率)を越えてセルに蓄積されると、過飽和分の油やガスが隣接のセルに排出され、砂質岩中では、浮力によって移動するというもので、入力パラメーターとして、地質断面、堆積物の粒径、ケロジンのタイプ、有機物濃度、地温勾配、流体密度、圧密曲線、孔隙径曲線、残留水飽

和率曲線、ガス生成曲線が与えられ、コンピューターの中で隣接したセルの間での流体移動の有無、および、それがあつた場合にはその移動量が計算される。こうして、どの時代にどの層準にどれだけの炭化水素が発生し、地層の埋没や構造の形成によってそれがどの方向にどれだけ移動し、最終的にどこにどれだけ集積するかをシミュレートする。

石油・天然ガス鉱床形成のプロセスの中で、第1次移動のメカニズムがよく判っていないので、有機物の熟成の部分だけをとりあげて、TTI (time temperature index) の概念に基づいて、発生する炭化水素量を時代を追って計算し、根源ポテンシャルの面から堆積盆地を評価するプログラムが開発されている。

探鉱技術の進歩

石油地質学の進歩は地下地質情報を得るための各種の技術の進歩に負うところが大きい。技術の進歩が“石油地質学”の進歩そのものではないにしても、石油地質学は工学的な面をもっているのだから、技術の進歩はみのがすことはできない。

1. 地震探鉱

地下の地質情報をとる上で地震探鉱技術の進歩は最も重要である。

震源については、1974年にバイブレーターが導入されてバイブロサイズが行われるようになり、地域によっては調査のスピードアップにつながった。海域の調査では、1968年に石油資源開発(株)が物理探鉱船拓洋丸を造って以来、それまで使われていたダイナマイトやスパーカーに代って、エアーガンが用いられるようになった。エアーガンの容量もしだいに大きくなり、震源エネルギーが強化されてきた。

調査にあたつては、地震探鉱記録に入ってくる雑音を消去し、反射記録を増幅させることを目的とした共通反射点水平重合法が1960年代半ばに導入された。1970年代にはこの重合数がしだいに大きくなる傾向にあり、これによって深部まで鮮明な記録が得られるようになった。また、地下構造を三次元的に明らかにしようとする三次元探査も導入され、地下の状況をより詳しく把握できるようになりつつある。

地震探鉱は従来地下地質構造の解明を目的として

行われてきたが、これに加えて振幅、周波数、速度、波形などの情報を詳しく解析することによって、地下の岩石物性をより詳細にとらえられるようになりつつある。これによって、炭化水素の直接検知や岩相の変化がわかるようになり、いわゆる seismic stratigraphy が新たな部門として登場してきた。これは今後ますます進歩していく部門であろう。

2. 物理検層

経済的な理由からコア掘りをほとんど実施しない石油坑井では、油・ガス層の検知および評価(孔隙率、水飽和率、浸透性の評価)における物理検層の役割は極めて大きい。この目的で測定される地層の属性としては、電気抵抗(または導電率)、音波伝播速度、密度、水素原子濃度、放射性物質質量などがあるが、そうしたものの測定ツールや測定結果の解析原理は1960年代までに基本的には開発・確立され、日本にも1970年代以前に導入されていた。したがって、1970年以後は測定精度や分解能の向上、解析手法の精緻化、解析の高速化に重点が置かれるようになった(伊藤, 1982)。

検層データを油層評価以外に利用する面では、音波検層データを用いた堆積物の圧密度の計算や、密度検層データと組合せて、地震探鉱で得られるのと同様の記録(合成地震記録または合成音響インピーダンスログ)の作成が日常化してきた。前者は堆積物の埋没史、ひいては石油・ガスの生成・移動・集積の考察に有力な手がかりを与え、後者は地震探鉱記録と坑井地質との対比に極めて有効である。

海域における探鉱の実績と知見

日本周辺海域における石油探鉱は1950年代から行われていたが、急速に進展したのは1968年に物理探鉱船拓洋丸が造られ、エアーガンによる地震探鉱が行われるようになってからである。1971年に半潜水式掘削リグ第二白竜号が日本の技術で造られ、それまでジャッキアップ式リグ第一白竜号では掘削不可能であった水深35 m以上の地点でも掘削可能となったこと、石油開発公団(現石油公団)による海域探鉱への投融資が行われるようになったことも海域探鉱の発展を支えた。第1図a, bおよび第1表は1968年度以降に日本周辺海域で実施された地震探鉱(国による基礎調査のみ)および1971年以降の試

掘の実績を示したものであるが、地震探鉱は水深2000 mまでの範囲では、粗くとも40 km メッシュで実施されており、それ以上の水深域にまで及んでいる。1983年3月迄に国および企業によって行われた地震探鉱の総測線長は約20万 km (うち国によるもの5.6万 km)で、重合数は概ね12-48重合である。したがって、日本周辺の海底地質に関するデータは石油探鉱業界に大量に蓄積されていることになるが、公表されたものはごく限られている。

試掘もこれまでいろいろな海域で実施され、1971年以後1983年迄に掘られた坑井は合計99坑に達している。このうち、出油・ガスを見た坑井は11構造24坑に及ぶが、稼行油・ガス田になったのは1972年発見の阿賀沖、1973年発見の磐城沖、1981年発見の阿賀北の各油・ガス田であり、岩船沖(1983年発見)も商業化が期待されている。

国による基礎物理探査の断面図の一部は天然ガス探鉱会・大陸棚石油開発協会(1982)に公表されている。

基礎試錐のうち関東地方の春日部、藤岡、大佐和、新潟の蒲原GS-1, 2, 大湊、下五十嵐、升潟、吉田、真人、月潟、頸城、秋田の能代、西目沖、野石沖、山形の遊佐、北海道の空知、稚内、浜勇知、九州の天草の各坑井資料は石油技術協会(1973)に発表され、各地域の地下地質を知る上での貴重な資料となった。

海洋油田については、TAKEI *et al.* (1977)が阿賀油・ガス田についての構造と貯留層についての報告をおこなっただけで、その他の油・ガス田についての情報は公開されなかった。

1979年に石油技術協会は「日本周辺海域における堆積盆地の分布と性格」というシンポジウムを開いた。この中でそれまで企業内に蓄積されてきた資料が公開され、日本周辺の海域の堆積盆地の状況が明らかにされた。このシンポジウムの内容は石油技術協会誌(44巻5号)に発表され日本の地質学界にすくなくとも貢献をした。

文 献

- 阿部正名, 1978: 南阿賀油層砂岩の堆積機構について。石油技協誌, 46, 398-406。
 ABE, M., 1980: The sedimentary history of Minami-Aga sandstone in Niigata Basin Japan. *Offshore South East Asia Conference 1980, Seapex Session*, 7p.

- 相場惇一, 1977a: 地史的考察による石油の初期移動. 石油技協誌, **42**, 117-128.
- , 1977b: 裏日本における主要油田・ガス田の成立条件. 藤岡一男教授退官記念論文集, 9-37.
- 青柳宏一, 1974: 石油貯留岩の堆積岩石学的な評価法とその実例. 石油技協誌, **39**, 269-278.
- , 浅川 忠, 1977: 継変作用下における炭化水素の第1次移動. 同上, **42**, 76-89.
- 第三系堆積盆地研究グループ, 1974: 新潟第三系堆積盆地の形成と発展, 層序編, 構造地質・地球化学編. 地質調査所報告, no. 250-1, no. 250-2.
- 藤井敬三, 1974: 基盤の地塊化運動に伴う地殻上部層中の応力分布に関する二, 三の考察. 地調報告, no. 250-2, 145-157.
- 藤田嘉彦, 1977a: 炭化水素の移動集積における porosity anomaly の重要性. 石油技協誌, **42**, 107-116.
- , 1977b: 炭化水素の移動集積に関する一考察と探鉱への応用. 藤岡一男教授退官記念論文集, 79-113.
- , 1981: 石油の生成と一次移動. 堆積盆中の流体移動. 5-26, 東海大学出版会.
- 市村隆三, 1976: 坑井におけるディップの研究(平木田坑井を例にとって). 西田彰一教授退官記念論文集, 303-310.
- 池辺 穰, 1979: 石油探鉱からみた日本周辺海域の地質. 日本地質学会第86年学術大会講演要旨, 1-6.
- ・片平忠實・宮崎 浩, 1978: 我が国における石油地質学的諸問題. 日本の新生代地質(池辺展生教授記念論文集), 205-216.
- 猪間明俊, 1973: Dipmeter による堆積学—石油探鉱の一手段として. 海洋科学, **5**, 463-469.
- , 小林正直, 1969: 坑井における古流系の研究. 石油技協誌, **34**, 305-313.
- ・佐々木栄一, 1979: 東海沖の堆積盆地の分布と性格. 同上, **44**, 272-278.
- 伊藤寿恒, 1982: 石油井における物理検層の現状(その1, 2, 3). 物理探鉱, **35**, 95-102, 161-170, 207-215.
- 片平忠實, 1974: 新潟堆積盆地のグリンタフ中に胚胎する炭化水素鉱床. 石油技協誌, **39**, 337-356.
- ・鵜飼光男, 1976: 新潟県の油・ガス田にみられる火砕岩貯留岩. 西田彰一教授退官記念論文集, 297-302.
- KATAHIRA, T. and UKAI, M., 1976: Petroleum fields of Japan with volcanic rock reservoirs. *Circum Pacific Energy and Mineral resources, Memoir*, no. 25, A. A. P. G., 276-279.
- 衣笠善博, 1974: 基盤ブロックの昇降運動による被覆層内の応力分布について. 地調報告, no. 250-2, 159-174.
- 小玉喜三郎・鈴木尉元・小川銀三・丸田美幸, 1974: 箱型褶曲の内部構造について—スケール・モデル実験による研究—. 同上, no. 250-2, 121-143.
- 公手 忠・井川 猛・猪間明俊, 1978: 砂岩鉱床探鉱の事例. 石油技協誌, **43**, 382-390.
- 河井興三, 1977: 石油の移動と地層の圧密(序論). 同上, **42**, 71-75.
- 真柄欽次, 1981: 堆積盆地内での圧密水・続成水・天水の移動と石油の集積. 堆積盆中の流体移動, 27-36, 東海大学出版会.
- MORITA, K., KATAHIRA, T., INOMA, A., YAMAMOTO, H., and SUZUKI, K., 1973: Preliminary basin analysis based on sedimentary structures in the Niigata sedimentary basin, central Japan. 石油技協誌, **38**, 343-353.
- 長坂 満, 1978: インドネシア・東カリマンタン・マカハム・デルタの探鉱. 同上, **43**, 407-415.
- 中山一夫, 1981a: 探鉱のためのシミュレーションモデル. 同上, **46**, 221-236.
- , 1981b: 炭化水素の生成・移動及び集積のシミュレーションモデル. 堆積中の流体移動, 79-105, 東海大出版会.
- 西島 進, 1969: 火山岩ガス層に関する2・3の地質学的考察—藤川ガス田を主として—. 石油技協誌, **34**, 207-304.
- , 1971a: 火山岩油・ガス層開発についての一考察. 同上, **36**, 249-255.
- , 1971b: 新潟県の天然ガス鉱床の研究(III) —とくに等層厚線図(西山・椎谷層)からみたガス鉱床のあり方. 岩鉱, **66**, 156-170.
- 岡部史生, 1977: 阿賀沖油・ガス田の検層解析(前編). 石油技協誌, **42**, 370-378.
- , 1978: 阿賀沖油・ガス田の検層解析(後編). 同上, **43**, 9-15.
- 重川 守・浅川 忠, 1978: 八橋油田原油の地球化学的特性とその地質学的意義. 同上, **43**, 185-194.
- 大島一精, 1977a: ムバラス油田の炭酸塩岩の地質学的特徴. 同上, **42**, 387-396.
- , 1977b: ムバラス油田の構造成長と石油の移動時期. 同上, **42**, 238-245.
- , 1978: 海水準変動により生ずる炭酸塩岩類堆積物の特徴とその調査法について. 琉球列島の地質学的研究, **3**, 199-204.
- 坂本 紇・山田順一・菊地芳朗, 1975: ナイジェリア沖合地域における炭化水素直接探知法(ブライト・スポット), 石油技協誌, **40**, 78-89.
- 石油技術協会, 1973: 日本の石油鉱業と技術.
- , 1977: シンポジウム「日本周辺海域における堆積盆地の分布と性格」. 石油技協誌, **44**, 253-365.
- 鈴木勝王・藤田 実・工藤修治, 1977: 北蒲原平野における石油ガスの移動集積機構に関する一考察. 同上, **42**, 139-147.
- 鈴木尉元・三梨 昂・影山邦夫・宮下美智夫・島田忠夫・小玉喜三郎, 1974a: 新潟堆積盆地の構造発達史の概要と石油・天然ガス鉱床の成立. 地調報告, no. 250-1,

307-319.

_____. _____ . _____ . _____ . _____ .
_____, 1974b: 新潟第三系堆積盆地に発達する褶
曲の形成機構について. 同上, no. 250-2, 53-78.

TAKEI, T., INOMA, A. and SAITO, T., 1977: Offshore

Petroleum exploration in Japan. *ESCAP, CCOP, Technical Bulletin*, **11**, 97-110.

天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1982: 日本の石
油・天然ガス資源—技術報告書. 455p. 天然ガス鉱業会.