

日本のホウ素資源と水溶型ホウ素鉱床—その2

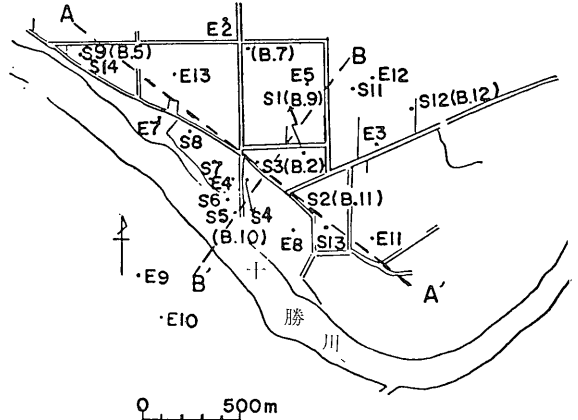
福田 理 (海外地質調査協力室)
Osamu FUKUTA

10 十勝川温泉

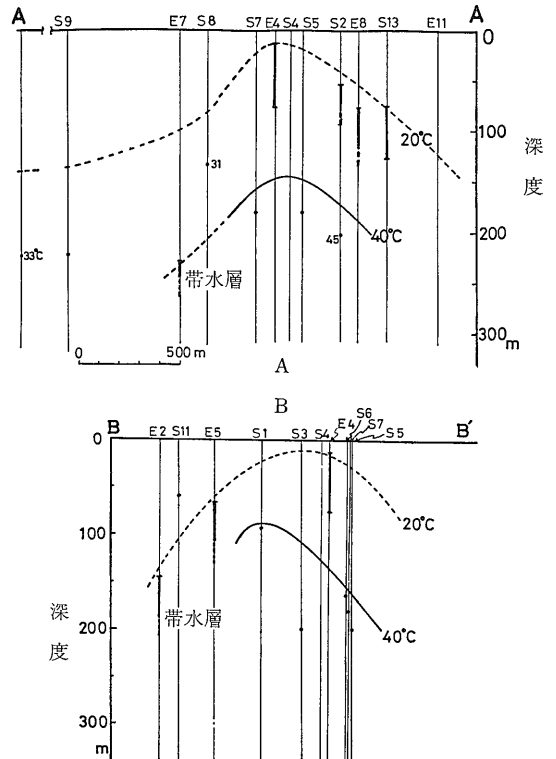
十勝川温泉は根室本線帯広駅の東方約8kmの十勝川中流左岸にある。本温泉および周辺の温泉には単純泉が多いが、天水の影響を受けた化石海水型であるのに加えて HBO₂ に富む1例が知られている。これらは長谷川信治泉源の名で呼ばれているもので、十勝川温泉の北東端に位置している(第20図のS12)。断面図(第21図)のA-A'および第22図から読みとれるように、長谷川泉

第10表 十勝川温泉長谷川信治泉源の概要と泉質
(二間瀬 1979)

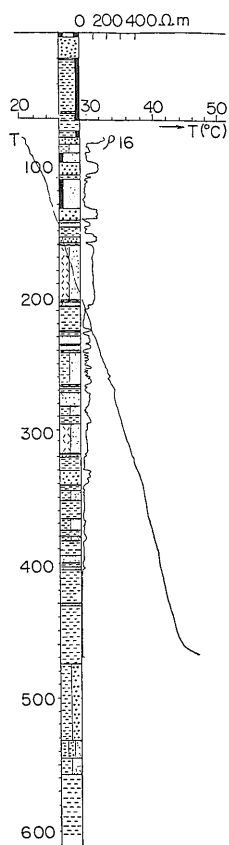
深度m		601
孔明管m	300~435	以下裸孔
静水位m		-12.0
揚湯量 l/min		201 (エアリフト)
分析年月		52.9
泉温		42.9
pH		8.0
T. S. M. mg/l		13648
Ca ²⁺	〃	297.6
Mg ²⁺	〃	53.8
Na ⁺	〃	4790
K ⁺	〃	84.3
Fe ²⁺	〃	0.35
Fe ³⁺	〃	0.25
Al ³⁺	〃	0.77
Mn ³⁺	〃	0.40
Cu ²⁺	〃	tr
Zn ²⁺	〃	0.005
As ³⁺	〃	0.000
Cl ⁻	〃	7717
HCO ₃ ⁻	〃	205
SO ₄ ²⁻	〃	0.0
F ⁻	〃	0.28
HBO ₂	〃	432.5
SiO ₂	〃	68.2
CO ₂	〃	13.8
H ₂ S	〃	0.00
備考		
Br ⁻	〃	29.9
I ⁻	〃	9.3
淡黄褐色		
ガス付随		



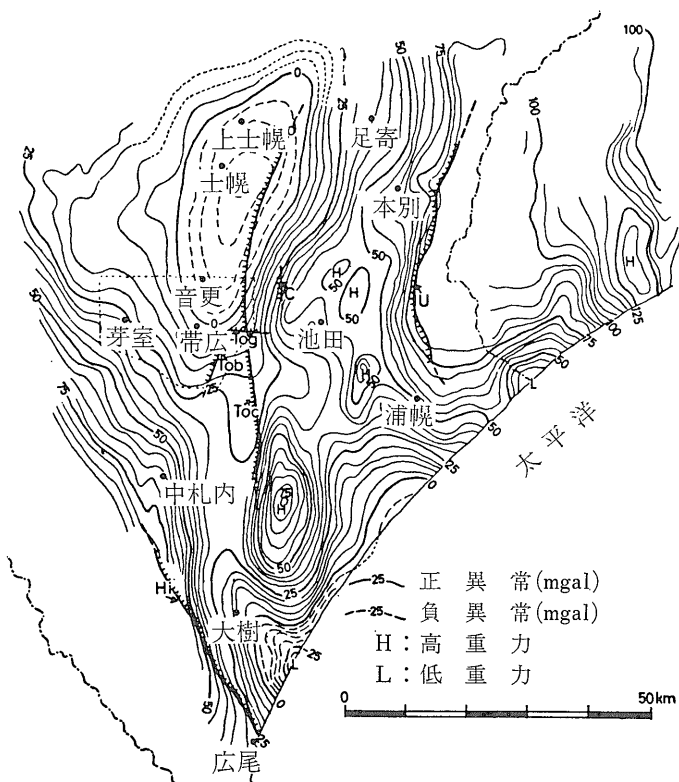
第20図 十勝川温泉の地球物理学的調査測点図
(二間瀬 1979)



第21図 A-A', B-B' 断面における温泉水の垂直分布
(浦上ら 1978)



第22図
長谷川泉源地質柱状図



第23図 十勝地方の重力異常図 (岡 1976)
C: 千代田断層 U: 浦幌断層
Toc: 十勝中央部断層 Tog: 十勝川断層
Tob: 途別川断層 Hi: 広尾断層
ケバの方向が落ち側

源S12はむしろ深度対応水温の低いところに当たっている。それにも拘らず 本泉源は第10表に示すようなきわ立った特徴を示している。

この温泉では HCO_3^- はこの地方に多い単純泉より少ないが HBO_2 が後者より著しく多く また $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ は5.53もあり 後者のそのの平均値1.97の2.81倍もある。この長谷川泉源については 第22図として示したような地質柱状図 比抵抗および坑井内温度の2曲線が公表されている。それによれば 裸孔部分の460mあたりから温度が急上昇しているが それ以浅の地温勾配はおおよそ $8.33^\circ\text{C}/100\text{m}$ と推定される。この坑井内温度急上昇部分以下532m付近までは 地質柱状図によれば 礫岩と泥岩の等量互層となっており 温泉は孔明管部よりもむしろこの互層部から出ているようである。水溶型ホウ素鉱床としての規模は この互層部の発達状況如何にかかっていると思われる。泉質の特異性からみて 長谷川泉源が断層——おそらく十勝川断層 (第23図)——

とかかわりをもっていることは まず間違いあるまい。

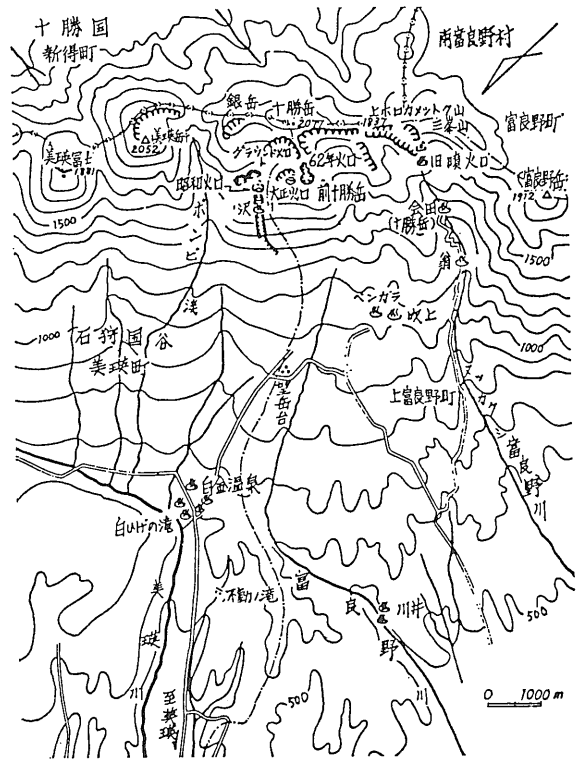
11. 十勝岳周辺地区

大雪—十勝火山列は 延長およそ80kmに達し 標高1,500~2,000m級の多数の火山で構成され 北海道の屋根を形成している。十勝火山群はこの火山列の西南端に位置する。本地区の地質および温泉については 横山 (1979) によってまとめられている。それによれば 本火山群の基盤は 先白亜紀の日高層群 先中新世の美瑛層 鮮新世の変質安山岩 丸山熔岩 および美瑛川凝灰集塊岩層からなる。これらの基盤岩類を被って 第三紀末 または第四紀初期に流紋岩質熔結凝灰岩が噴出した (石川ほか3名 1969)。この熔結凝灰岩をもたらしたマグマの上昇によって 基盤岩類の差別的な隆起と断層活動が起り その活動後にカルデラ活動があった (高橋 1960)。

洪積世末から沖積世にかけて 熔結凝灰岩の噴出およ

第11表 十勝岳周辺地区の HBO₂ に富む 3 温泉の概要と泉質
および共産ガス (横山 1979)

所在地	湯の沢	十勝岳	十勝岳
泉源名	湯(熊)の沢	旧噴火口	凌雲閣上流
深度 m	自湧	自湧	自湧
湧出量 l/min	254	162	300
分析年月	52.7	52.7	52.7
泉温 °C	79.1	92.6	25.0
pH	1.8	2.1	2.8
T. S. M. mg/l	9494	2130	834
Ca ²⁺	287.3	66.9	43.3
Mg ²⁺	200.8	19.1	10.3
Na ⁺	168.9	9.4	17.8
K ⁺	36.2	5.5	7.6
Fe ²⁺	46.08	11.94	0.41
Fe ³⁺	57.36	28.02	2.24
Al ³⁺	131.40	52.98	31.00
Mn ²⁺	2.69	0.70	0.63
Cu ²⁺	0.025	0.008	0.009
Zn ²⁺	0.516	0.127	0.061
As ³⁺	0.260	2.872	0.063
Cl ⁻	1441	240.0	93.0
HCO ₃ ⁻	0.0	0.0	0.0
SO ₄ ²⁻	5748	1345	405.8
F ⁻	0.04	3.42	0.80
HBO ₂	396.5	353.5	357.9
SiO ₂	323.7	343.2	125.4
遊離 CO ₂	3991	1221	311.5
H ₂ S	2.39	0.11	0.00
O ₂ vol. %	0.00	—	—
Ar	0.04	—	—
CO ₂	93.57	—	—
CH ₄	0.00	—	—
CnHm	0.00	—	—
N ₂ ほか	3.09	—	—
備考	酸味	安政火口より 約 4 km 引湯, 濁りあり, 右岸では酸味	火口から 150 m 下流 酸味



第24図 十勝岳周辺の温泉分布 (齊藤 1962)
注 北が左下になっていることに注意されたい。

の滝があり また近年には富良野市街で掘削・開発された温泉もできた。これらの諸温泉のなかで ホウ素鉱床といえそうなのは 湯の沢および十勝岳温泉群の一部である。これらのなかで 350 mg/l 以上の HBO₂ を含む 3 温泉の概要 (横山 1979) をまとめて示しておく (第 11 表)。

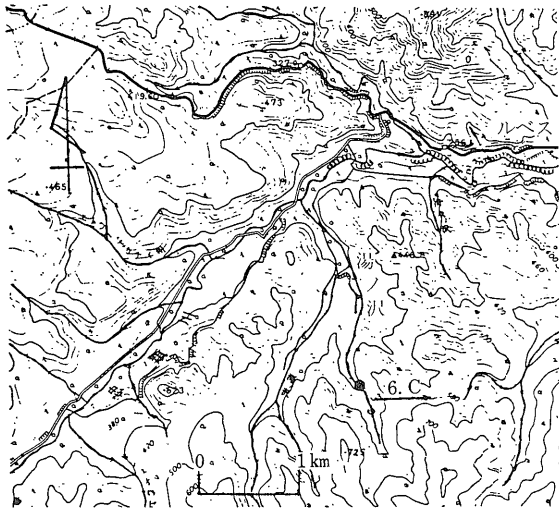
第 11 表のなかでとくに注目されるのは次の 4 点であるう。

- i) いずれも強酸性を示す。
- ii) いずれも SO₄²⁻ が無い。
- iii) いずれも遊離 CO₂ が無い。
- iv) SO₄²⁻ HCO₃⁻ および Cl⁻ の濃度は著しく変化するにも拘らず HBO₂ は 350~400mg/l の間にあって あまり変らない。

以上の 3 温泉の湧出量の合計は 716l/min すなわち 1,031kl/day もあり HBO₂ の加重平均濃度は 370.6mg/l もあるから 扱い方によっては これらの合計がホウ素鉱床となり得ると考えられる。

びカルデラ形成に重要な役割を果たした北東方向および北西方向の弱線に支配されて 十勝岳火山群が活動した。この火山群には 古期 中期 および新期の 3 時期の活動が認められ 古期および中期に 16 火山が また新期に 7 火山が形成され この活動は現在まで続いている (横山 1979)。

第 24 図に示したように 温泉は火山主列の北西側に分布しており 山頂付近では旧噴火口 (安政火口) 昭和火口 (新々噴火口) および湯の沢 (熊の沢) で 活発な噴気活動に伴って高温の温泉が湧出している。さらに裾野にかけて 翁 ベンガラ 吹上 白金 および川井などの温泉がある。このほか周辺地域の新得町管内には湯



第25図 湯の沢 (ルベス温泉) 泉源 (6.C) 位置図

12. 標津町の2温泉

北海道東部の標津郡標津町内の温泉のうちルベスおよび川北の両温泉の4源泉は湧出量は少ないがいずれも350 mg/l以上のHBO₂を含んでおり水溶型ホウ微鉱床の成立を考える上に重要な資料を提供していると考えられるのでおもに松波(1980)の記載に準拠して概要を紹介しておく。

ルベス(湯の沢)温泉は忠類川の上流約23kmの右岸の支沢湯の沢の上流約2kmにあり(第25図)俣落岳東側山麓に当る。発見などについては不明で現在まったく利用されていない。付近の地質は中新世の忠類層に属する安山岩質緑色凝灰岩および凝灰角礫岩から構成されている。温泉はこれら凝灰岩の亀裂から湧出しているとみられる。

温泉徴候は湯の沢沿いの約200m間にわたってみられ水酸化鉄が各所に沈殿している。温泉湧出点は湯の沢右岸にあり周囲に石灰華の発達のみられ温泉はこの石灰華中から湧出している。泉温は41.8°Cまた湧出量は53.3 l/minである。

川北温泉の国鉄標津線川北駅の北西方位12kmに位置し忠類川の支流イケショマナイ川の上流約4kmの左岸枝沢にある(第26図)。温泉湧出地はこれより下流約500mの左岸枝沢(石油の沢)にもみられる。川北温泉は古くアイヌの時代から利用されており明治時代は竹沢の湯などと呼ばれていた。その後も断続的に利用され現在は標津町営の保養センターが冬期間を除いて営業している。

川北温泉付近の地質は中新世の地層とそれらを被覆す

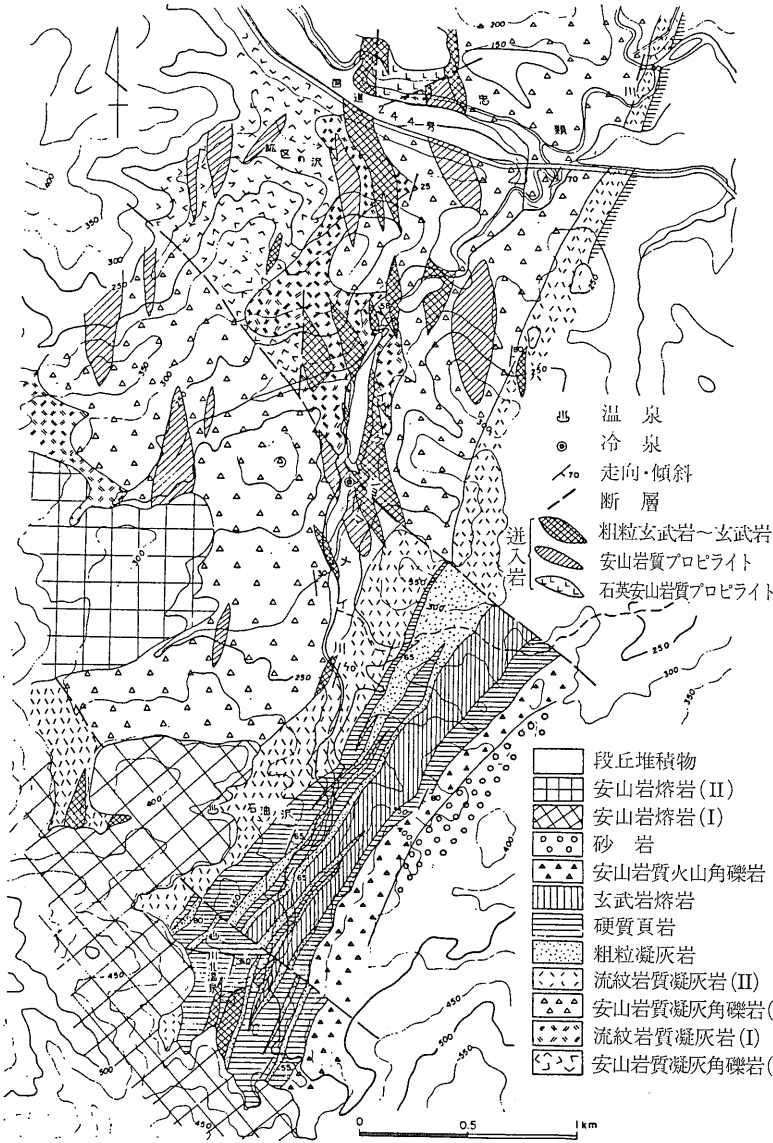
る新期安山岩熔岩から構成されている。中新世の地層は下位より安山岩ないし流紋岩質凝灰岩・凝灰角礫岩層と硬質頁岩・凝灰岩互層(玄武岩質熔岩を伴う)に大きく2分される。地質構造は一般に東方に傾く単斜構造を示すがイケショマナイ川流域では50°~80°という急傾斜を示す。この地域の温泉は流紋岩質凝灰岩・硬質頁岩・凝灰岩互層中の小亀裂から湧出している。いずれも節理の発達の良い部分であるがそれらは特定方向の亀裂から湧出しているわけではない。また温泉湧出地は地層傾斜が急な部分であり緩傾斜の部分では温泉の自然湧出はみられない。

この地方で湧出量のもっとも多い部分はイケショマナイ川左岸枝沢にあり硬質頁岩と凝灰岩との境界付近に相当しほぼ径75mの円形状に凝灰岩の粘土化と硬質頁岩の脱色が行われている(第27図)。温泉変質はクリストバル石を主体とし若干のモンモリロン石を伴っている。温泉はこの部分の数か所から自然湧出している。そのうち1か所の温泉を溜め浴室へ引湯している。最高泉温は74.3°Cまた総湧出量はほぼ50 l/minである。このほかイケショマナイ川の河床の数か所に温泉徴候がある。それらはいずれも凝灰岩と玄武岩の小亀裂から湧出しており湧出量はきわめて少く泉温も27.5°C~37.0°Cしかない。

川北温泉の北方約500mのイケショマナイ川左岸の支沢(石油の沢)の上流300mにも温泉が湧出している。湧出地点は崖堆積物で被われているが安山岩熔岩の最下部付近から湧出しているらしい。周囲には水酸化鉄の沈殿を伴う。泉温は36.1°Cまた湧出量は11.9 l/minである。

松波(1980)によるとHBO₂の多いルベス温泉および川北温泉に属する4温泉の概要は第12表のようにまとめられる。

ルベス・川北両温泉の湧出量は必ずしも多くはないがルベス温泉でHBO₂が1,204 mg/lという宮城県実沢鉱泉に次ぐ日本第4位の値を示しておりかつ湧出量も53.3 l/minとかなり多いところからここに紹介しておくことにした。ルベス温泉の主要陽イオン組成はNa⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺また主要陰イオン組成はCl⁻≫SO₄²⁻>HCO₃⁻であるから塩類ではNaClを主体としていることになる。川北温泉もH₂Sを含む典型的なNaClタイプの温泉でHBO₂もかなり多い。上に示した4源泉については温泉ガスの記載がないが川北温泉-D源泉についてはO₂が0.14 (vol. % 以下同様) Arが0.10 CO₂が87.58 CH₄が7.08 C_nH_mが0.61 またN₂その他が4.49というガス組成が与えられている。



上の4泉源においてもこのようなCO₂を主成分とする若干の温泉ガスが おそらくみられるであろう。

13. 長万部温泉とガス田

長万部温泉におけるHBO₂の最高濃度は294 mg/lで必ずしも高くないが揚湯量が大いので本稿でもとりに上げることにした。

長万部町は内浦湾の北西岸に面した町で長万部温泉は長万部駅の北方約200mにあり泉源も温泉街の近くにある。長万部温泉付近では古くから深度100m前後の井戸から地下水とともに天然ガスが湧出して

た。昭和29年(1954)天然ガス採取を目的とする深度617mのOR-1号井が掘削され400m³/dayのガスとともに400l/min すなわち576kl/dayもの49°Cの付随水(温泉)を自噴で得ることができた。昭和31年(1956)には町および町民の組合により試掘が実施され深度700mまで掘削して天然ガスおよび付随水の噴出をみたが少量の原油を伴うため天然ガスは利用されたが付随水は温泉として利用されず現在は廃止井および休止井となっている。

町と帝国石油(株)は昭和33年(1958)から同35年(1960)にかけて沿岸沿いの低地で深度位500~1,700mの試掘を11坑実施したが結果は芳しくなく1坑井

を除いて すべて廃止井となっている。

また 昭和38年(1963) 町は OR-3 号井を掘削して ガスと温泉が出たが 油気があったため これも休止井となっている。

昭和 48 年 (1973) 既開発地域の反対側の長万部市街の南西約 2 km の大浜地区に門馬商事によって深度760mの MonR-1 号井が掘削され 深度426~460m間から初日産 700m³ のガスと 39°C の塩水 800kl の自噴に成功した。

翌昭和 49 年 (1974) 長万部町は合同資源産業(株)と共同鉱業権を設定し この南西部地域の開発に着手するとともに 市街地付近の再開発を始めた。すなわち同年 OR-3 号井の南々西470m付近に深度928mの OR-6 号井が また MonR-1 号井の北西250m付近に深度1,266mの GR-1 号井が掘削され 前者では初日産2,000m³ のガス 3kl の原油 および 51°C の塩水の自噴に成功し また後者ではガスリフトによって 1,400m³ のガスと 42°C の塩水を得ることができた。さらに 昭和 50 年 (1975) には温泉地内に深度 620m の OR-7 号井 紋別川下流域に深度 936m の GR-2 号井 また深度 811m の GR-3 号井が掘削された。このうち GR-2 号井は 1,500 m³/day のガスと 53°C の塩水 1,500 kl/day また GR-3 号井は 1,500 m³/day のガスと 47°C の塩水 1,500 kl/day をそれぞれガスリフトで得た。

長万部ガス田が伏在している噴火湾西北部の海岸平野の周辺には 中新世から更新世にわたる地層が 低地帯に向って順次重なる大きな半盆状構造をとって発達している。さらに これらは N-S 系および E-W 系の 2 方向の断層と流紋岩の貫入によって やや複雑な地質構造を呈する。低地帯の表層近くには厚さ 12~105m の沖積層が発達し この下位に更新統以下の地層が伏在している。

そのうち最上位の瀬棚層は下部更新統に層し 深度 120~240m 間にみられ OR-1 号井付近では薄く 厚さは 120m ほどであるが これを中心に北東および西方に向って順次厚くなり R-8 号井では 200m また R-6 号井では 240m に達して おもに砂・礫から構成されて いるが 一般に OR-1 号井から東側では砂が多く 西側では礫または礫まじりの砂が多くなっている。

瀬棚層の下には 不整合を挟んで 黒松内層が厚く発達している。瀬棚層基底下の深度400~600m間では

第12表 HBO₂ に富む標津町ルベス・川北両温泉の4源泉の概要と泉質 (松波 1980)

所在地	標津町ルベス	標津町川北	標津町川北	標津町川北
泉源名	ルベス温泉	川北温泉A	川北温泉B	川北温泉C
深度m	自湧	自湧	自湧	自湧
湧出量 l/min	53.3	17.4	4.3	3.0
分析年月	49.9	49.9	49.9	49.9
泉温 °C	41.8	58.1	51.4	74.3
pH	6.3	6.1	6.1	6.5
Ca ²⁺ mg/l	1224	98.7	79.7	144.7
Mg ²⁺ //	189.9	21.1	118.1	27.3
Na ⁺ //	2981	2755	2018	4545
K ⁺ //	186.0	205.5	176.2	130.6
Fe ²⁺ //	18.60	0.29	1.03	9.01
Fe ³⁺ //	0.20	0.04	0.00	0.45
Al ³⁺ //	2.39	1.22	0.80	0.84
Mn ²⁺ //	0.04	0.94	1.45	0.16
Cu ²⁺ //	0.041	0.020	0.020	0.029
Zn ²⁺ //	0.033	0.018	0.015	0.041
As ³⁺ //	24.980	0.000	0.009	0.044
Cl ⁻ //	5883	4336	3197	7380
HCO ₃ ⁻ //	1227	427.0	396.5	431.9
SO ₄ ²⁻ //	1123	24.0	17.0	92.0
F ⁻ //	0.18	0.13	0.16	0.16
HBO ₂ //	1204	475.5	350.0	669.4
SiO ₂ //	75.9	133.7	146.4	136.1
遊離CO ₂ //	206.8	168.5	103.8	—
H ₂ S //	0.00	13.23	5.05	5.92
備考	炭酸味 塩味 鉄沈殿物	H ₂ S 臭 僅かに濁り。 塩味	H ₂ S 臭 塩味	H ₂ S 臭 塩味 黒色沈殿

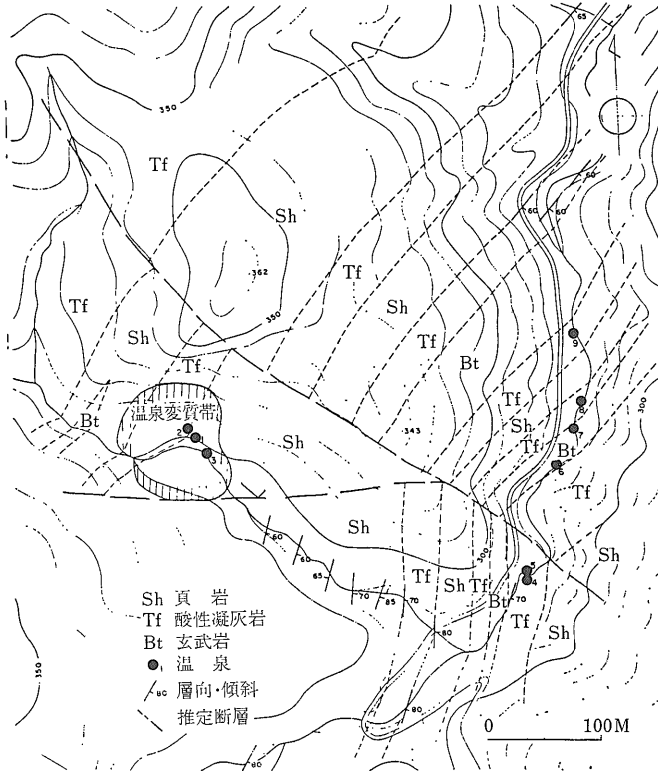
泥岩 シルト岩 砂質泥岩 細粒砂岩と泥岩の互層など 泥質の岩層が発達している。この下位には 砂岩の卓越した泥岩との互層が厚く続いており 礫質砂岩 凝灰質砂岩 および角礫凝灰岩などを挟んでいる。なお 帝国石油(株)が実施したボーリングのうち数本は 最深部が八雲層およびさらに下位の訓縫層に達しているという考え方もある。長万部ガス田を含む道南の層序については 第13表にまとめて示されている。

島田(1972)によると 長万部ガス田の地下構造は NW~NNW 方向の延長をもつ 2~3 条の背斜が これに並行ないしやや斜交する 4 本の断層で転移したかなり複雑なものであるらしい(第28図)。全体的にみると 黒松内層の基底は東側で浅く 西側に行くにしたがって深くなり R-6 号井付近がもっとも深く 1,700m 前後とされている。

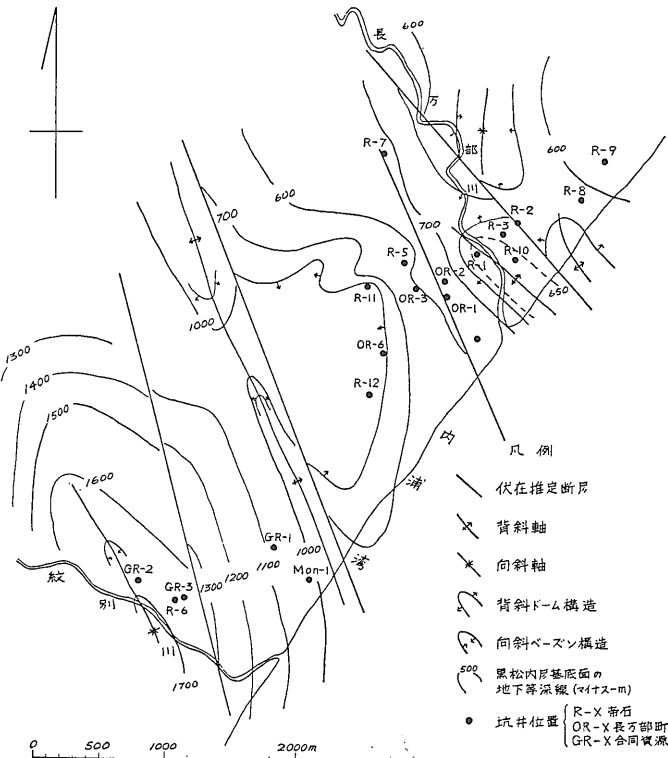
長万部の OR-1, 2, 3, 6 および 7 号井の資料によれば 天然ガスおよび付随水(温泉)の貯留層は 黒松内層下部の砂岩に富む泥岩部層中の砂岩層が主体であろうとされている。

第13表 北海道南の層序
(正谷ほか 8名 1982)

絶対年代 (Ma)	時 代	道 南	
		八 雲	館・渡島
1.86	第四紀 更新世	沼川階	
		更別階	
		勇知階	瀬棚層 鶴 層
5.25 10.0 15.0	新第三紀 中新世	鮮新世 戸間階	黒松内層 館 層
		稚内階	厚沢部層
		増観階	八雲層 木古内層
		鬼志別階	調経層 調経層
		宗谷階	関内層 吉岡層
			太櫓層 福山層
23.0 38.0	古第三紀 始新世	海嶺世 紅葉山階	
		観内階	
		石狩統	
53.5 65.0	白 垂 紀 晩新世	後期	ヘトナイ統
		中期	浦河統
		初期	ギリヤク統
90.0 120.0	先白垂紀		富古統
			(岩 泉 帯 北部北上帯)



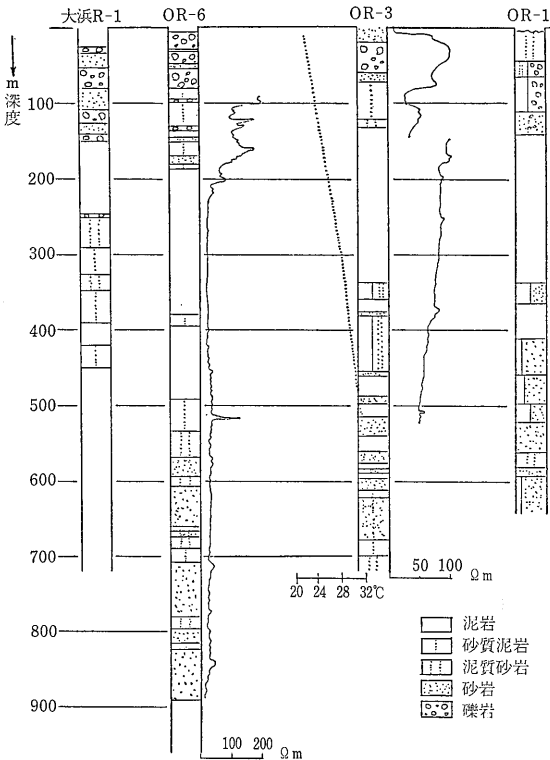
第27図 川北温泉付近泉源分布図 (松波ほか 1976)



第28図
長万部ガス田地下構造図
(北海道鉱業 振興委員会 1979)

第14表 長万部地区石油・天然ガス・温泉一覧表（斉藤 1976）

所有者	坑井名	完成年月	口径 (in)	深度 (m)	仕上げ深度	当初の状況					現況
						揚湯 方法	ガス量	油量	水量	温度	
長万部町	OR-1	S.30.2	8"-6"-4"	613	411m~552m以下 裸孔	自噴	350m ³ /d	なし	450l/min	49℃	(リフト)ガス300m ³ /d, 水量 320l/min, 水温37℃休止
"	OR-2	S.32.9	8"-6"-4"	662	420m~556m以下 裸孔	リフト	340m ³ /d	原 油 50l/d	550l/min	44.5℃	廃止井
"	OR-3	S.38.9	8"-6"-4"	654 (731)	472m~654m以下 埋立	"	540m ³ /d	原油微量	430l/min	47.1℃	休止井
"	OR-5					(帝石R-2を名称変更したもの)					採油井
"	OR-6	S.49.10	8"-6"-4"	893	440m~893m	リフト	900m ³ /d	600l/d	700l/min	51℃	油処理施設工事中
"	OR-7	S.51.1	8"-6"-4"	610	582m~610m	"	400m ³ /d	なし	300l/min	50℃	利用中,(リフト)ガス200m ³ /d 水量300l/min, 水温50℃
温泉組合	OOR-1	S.32.10	8"-6"-4"	(703) 640	490m~574m以下 裸孔, 640m以下埋立	"	300m ³ /d	原油微量	350l/min	43.7℃	廃止井
門馬商事	大浜R-1	S.48.2	8"-6"-4"	718	426m~460m 464m~684m	自噴	700m ³ /d	なし	590l/min	39℃	(自噴)ガス400m ³ /d, 水量400 l/min, 水温35℃
帝國石油	R-1	S.33.7		1,300	試油 418m~495m		30m ³ /d	原油少量	少量	42℃	廃止井
"	R-2	S.33.11		923	試油 892m~923m	ガス少量, 原油100l/d, 採油					採油中, 自噴, 採油量20kl/年
"	R-3	S.34.3		1,672	試油 903m~918m	ガス30m ³ /d, 原油100l/d, 1時採油					廃止井
"	R-5	S.34.3		987	試油 939.5m~973m	油徴候微弱, 昭36.3, 天然ガスと油噴出					"
"	R-6	S.34.4		1,539		油徴候微弱					"
"	R-7	S.34.4		1,000		"					"
"	R-8	S.34.6		1,250		"					"
"	R-9	S.34.6		1,200		"					"
"	R-10	S.34.9		910		"					"
"	R-11	S.35.4		1,550		ガス30m ³ /d, 油20l/d					"
"	R-12	S.35.4		1,000		油徴候微弱					"
サムドラ	R-1	S.50.1		780	600m	(リフト)水量60l/min, 水温26℃					休止井



第29図 長万部地区坑井柱状図 (齊藤 1976)

昭和30年(1955)2月から同51年(1976)1月までに完成した諸坑井の概要をまとめて示したのが第14表である。それによれば 長万部町所有の坑井のうち 615 m 以浅で仕上げた坑井では ガスと付随水(温泉)が湧出しているが それより深い層位で仕上げた坑井では 石油を伴ってきている。これは 黒松内層下部の砂・泥岩互層の上部には石油がないが それ以下では石油を伴っていることを示している。帝国石油(株)の各坑井はいずれも深部をテストしている。しかし R-6号井のほかは 多量のガス付随水(温泉)が湧出した記録はない。これは 黒松内層下部の砂・泥岩互層にはもともと地層水が少ないことを意味する。

第29図には OR-1号井および大浜 R-1号井の坑井内温度分布と その他の坑井の湧出温度と孔明管理設深度区間とが示されている。これからみると 深度550 m 付近までの平均地温勾配はおよそ 7.0°C/100m であるが それ以深では 地温勾配がかなり小さくなっているようである。これは この深度付近で地層の固結度が急に高くなり 熱伝導率が大きくなっていることを意味する。

長万部ガス田の諸坑井のうち 100mg/l 以上の HBO₂ を含むガス付随水(温泉)を産出する2坑井の天然ガス

第15表 HBO₂に富む長万部ガス田の2源泉の概要と泉質および共産ガス(齊藤 1976)

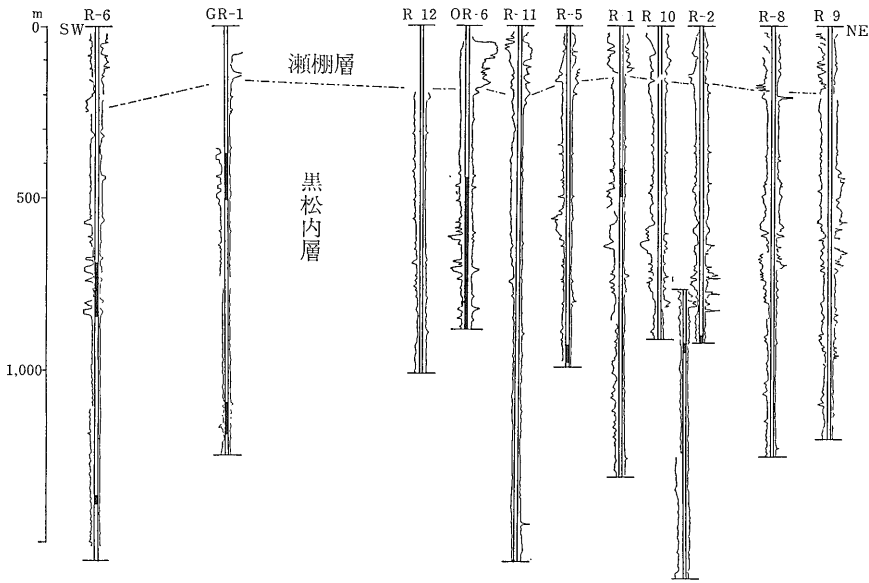
所在地	長万部町大浜	長万部町高砂町
泉源名	門馬 R 1	OR-6
深度 m	718	893
孔明管	426~460 464~684	440~893
口径 mm	200~100	200~100
動水位 m	+1.0	—
湧出・揚湯量 l/min	f 344	AL 296
分析年月	48.7	50.7
泉温 °C	36.7	53.2
pH	7.7	7.6
T. S. M. mg/l	22238	30705
Ca ²⁺ "	175.7	1273
Mg ²⁺ "	105.2	60.3
Na ⁺ "	8190	9624
K ⁺ "	181.5	335.9
全 Fe "	6.76	1.22
Fe ²⁺ "	—	1.22
Fe ³⁺ "	—	0.00
Al ³⁺ "	0.27	0.14
Mn ²⁺ "	0.23	1.70
Cu ²⁺ "	0.003	0.003
Zn ²⁺ "	0.018	0.013
As ³⁺ "	0.002	0.016
Cl ⁻ "	12968	17669
HCO ₃ ⁻ "	775.9	66.5
SO ₄ ²⁻ "	0.0	0.0
F ⁻ "	0.45	0.31
HBO ₂ "	255.3	193.4
SiO ₂ "	112.3	129.6
遊離 CO ₂ "	22.0	15.2
H ₂ S "	—	0.02
O ₂ vol. %	—	0.98
CH ₄ "	—	90.93
N ₂ etc. "	—	7.54
CO ₂ "	—	0.10

注 f:自噴

AL:エアリフト (酒匂ほか7名 1976による)

鉱床学的ならびに温泉学的諸性質をまとめて示しておく(第15表)。

ただし 大浜の門馬 R-1号井(第28図の Mon-1)のガス付随水については pH 7.3 Cl⁻ 12,781mg/l HCO₃⁻ 922mg/l 遊離 CO₂ 161mg/l NH₄⁺ 5mg/l KMnO₄ 消費量 158 mg/l 全 Fe 0.25 mg/l Ca²⁺ 205 mg/l Mg²⁺ 107 mg/l I⁻ 47 mg/l および HBO₂ 294 mg/l という地質調査所の分析値も公表されている(齊藤 1976)。これは本ガス田の付随水中の I⁻に関する唯一の公表された資料でもある。この I⁻の値を Cl⁻ が標



第30図
長万部ガス田坑井電検対比図
(北海道鉱業振興委員会 1979)
黒部分が油層ないしガス層

準海水並みの 19,864mg/l の場合に換算すると 73mg/l となる。これは本井のガス層に相当するものを下り傾斜側で開発すれば ヨウ素工業を起すことが十分可能であることを示している。Cl⁻の値が増せば常識的には HBO₂の値も増すことが予測されるから このようなところを選んで 計画的に開発すれば ガス ヨウ素 ホウ素 および温泉の4者を兼ねた企業化も 必ずしも夢ではないであろう。

このような観点から第28図を検討してみると 紋別川下流の北々西—南々東走向の西南西落ちの断層の西側のブロックが 開発候補地として浮び上ってくる。このブロックの基本構造は 北西—南東の軸をもつ盆状構造で すでに触れたGR-2号井はその軸近くにある。本坑井の東南東約 800m のGR-3号井は 前者より少し上り傾斜側にあり その100mほど西南西の帝国石油(株)R-6号井も 層位的にGR-2号井より少し上り傾斜側にある。このことと念頭において 斉藤(1976)がまとめた本ガス田の坑井電検対比図(第30図)をご覧いただきたい。R-6号井は不成功井とされているが その上位のガス層が GR-6号井のガス層であることは間違いなく 水溶型ガス井としてテストされていたら 本井も成功井となっていたであろう。以上に述べた諸坑井のうちGR-1~3の3坑井は 第14表には含まれていない。

本ガス田のガス付随水について注目されるのは 公表された分析値が比較的多いことである。そのなかから HBO₂を含む主要な分析項目について示したのが第16表である。本表から読みとれる重要なことは HBO₂の濃度とその他の地球化学的に注目されるイオンの濃度

および Ca²⁺/Mg²⁺ 比との間に はっきりした関係がみられないことである。これは HBO₂の探鉱上まことに困ったことであるが 事実として認識してかかるほかない。

14. 象潟ガス田

象潟ガス田は秋田県由利郡象潟町を中心とし 同町および北隣りの金浦町にわたる海岸地域を占め 延長約10km 幅約1.7~2.5kmの狭長な日本海岸沿いのガス田である(第31図)。本ガス田の東南方には小滝油田 東方山地には 北より 院内 西小国および桂坂の各油田が開発されている。本ガス田の東南方およそ20kmに聳える鳥海山(高さ2,230m)は 出羽富士の別名に恥じない 秀麗な円錐型火山である。

象潟といえば かつては芭蕉の「奥の細道」で知られた景勝の地であった。当時象潟は直径4kmほどの浅い海で 九十九島と呼ばれた風致に富んだ島々は 松の緑でおおわれ 海面は鳥海山の美しい姿を映し 松島とともに絶景を賞されていたが 文化元年(1804)の大地震の際 地盤の隆起によって 一変して陸地と化してしまった。当時の緑の島々は水田・畑地のなかに小山として残っている。

本地域および周辺丘陵地は 天然ガス賦存地帯として古くから注目されていた。昭和9年(1934) 旧旭石油が金浦地区で上総掘りて試掘したのに続いて 翌昭和10年(1935) 象潟地区でも試掘が行われた。その後 旧大日本石油 旧帝国資源 および帝国石油(昭和16年

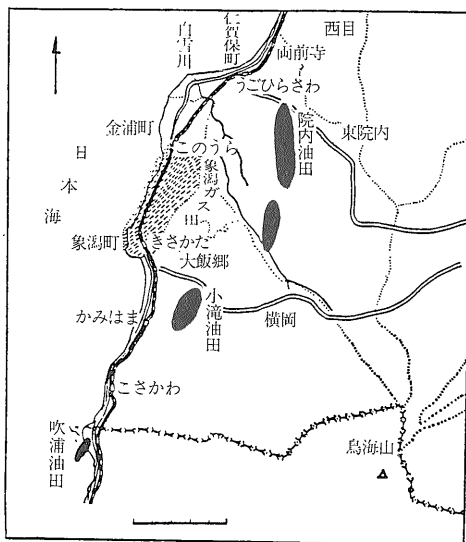
第16表 長万部ガス田ガス付随水の主要成分 (酒匂ほか7名 1976より 一部加筆)

坑 井	水温 ℃	pH	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	HBO ₂ mg/l	Ca ²⁺ /Mg ²⁺
門間 R 1	48.7	7.7	175.7	105.2	12968	776.9	255.3	1.67
OR 1	33.1	8.2	141.8	35.9	6344	592.0	79.6	3.95
OR 3	48.0	8.2	147.5	36.1	8254	731.0	89.6	4.09
OR 7	50.0	7.8	84.8	47.2	8201	549.2	55.4	1.80
OR 1	47.5	8.0	103.2	24.2	6079	581.1	70.1	4.26
OR 6	53.2	7.6	1273*	60.3	17669	66.5*	193.4	21.11

*表示された分析値に多少疑問がある

関係会社が統合されてきた国策会社)の各社による石油を目的とした試掘が行われたが 油井として成功したものはない。昭和25~27年(1950~1952)ガス鉱床の探鉱を目的として 象瀧 R-A 号井 同 B号井の試掘に成功し ガスは都市ガスとして利用された。続いて昭和29年から30年(1954~1955)にかけて 帝国石油(株)が 象瀧地区で5坑を掘削し そのうち3坑を仕上げて成功した。

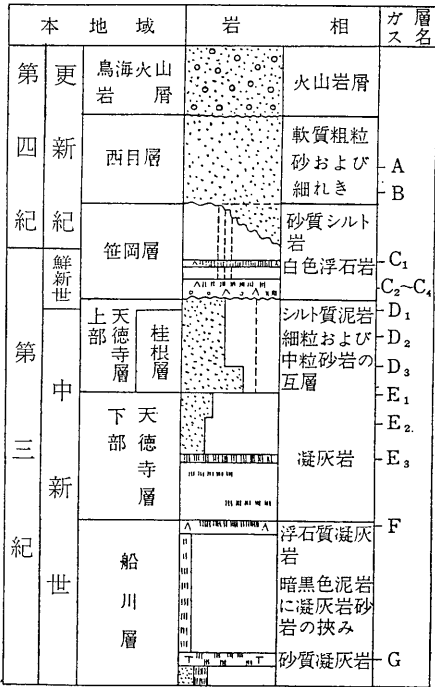
しかし 象瀧ガス田の開発が本格化したのは 昭和34年(1959) 秋田県天然ガス輸送(株)が設立され 象瀧・秋田間を結ぶ70kmのパイプラインが完成したところから 八橋油田の減退が激しくなったためである。すなわち 昭和38年(1963) 象瀧地区で8坑 また金浦地区で16坑 計24坑が掘削され うち22坑が成功井となった。開発対象層は 坑井の大部分が笹岡層のC層と下部天徳寺層のD層とを同時仕上げており 産ガス量は平均して 700~1,000 m³/day またガス水比は 1前後であった。翌昭和39年(1964)にも6坑が掘削された。このなかの象瀧17号井は 下部天徳寺層のD層の構造頂部を狙って掘削されており 生産経過とともにガス量が増加し ガスリフトで初日産が 1,120 m³/day であったものが 昭和40年(1965)3月には 6,500 m³/day また同年8月には 8,600 m³/day となった。これはもともと水溶性ガスのほかに遊離ガスがあったため 従来の「水溶性ガス井としては巨井として成功した」という見方はおかしい。その後の象瀧ガス田の開発はこのD層中心に行われた。昭和40年(1965)2月 象瀧地区北方で 深層の探鉱を目的とする蛸満寺1号井が掘削され下部天徳寺層中のガス層 E₃を完掘し 下部層より順次試ガスされたが 結局 D₁層を仕上げ てかつリフトにより ガス量 1,600 m³/day また水量 300 kl/day を得た。同年8月には象瀧 D 18号井が掘削され D₁層を試ガスし 制限孔 12.5 mm で ガス量 4,800 m³/day また水量 230 kl/day という好結果を得た。



第31図 象瀧ガス田の位置 (矢島 1967)

この年11月には 象瀧町東方約 1 km の位置に 本ガス田今後の開発の布石として 蛸満寺2号井が掘削され D₁層と D₂層を仕上げ ガスリフトでガス量 2,500 m³/day また水量 800 kl/day を産出 両ガス層がこの地点まで延長していることが確認された。さらに 昭和41年(1966)には3坑の探掘井が掘削されている。この時点までに本ガス田で掘削された諸坑井の細部については 矢島(1967)がまとめた一覧表を参照されたい。

その頃までに象瀧ガス田の開発は一段落し 翌42年(1967)には 蛸満寺2号井を中心とする南部開発が開始された。そして 昭和44年(1969)1月には 本ガス田の生産量は 39,143 m³/day を記録した。当時の稼動坑井は38坑 また平均ガス水比は 3.22 m³/kl であった。その後は次第に枯渇し 昭和53年(1978)6月には 稼動坑井は23坑 平均ガス水比は 2.61 m³/kl また生産量は 18,500 m³/day となった。枯渇はその後も進み 昭



第32図 象瀉ガス田の地質層序 (矢島 1976)

造的隆起部でも薄化し 大飯郷背斜の極隆部では 削剝されてほとんどなくなっている。 下位層との関係は不整合のようである。 南関東ガス田の上総層群にはほぼ対比される笹岡層は おもに砂質シルトからなり その基底は桂坂凝灰岩 (白色浮石岩) によって特徴づけられている。 下位層とは不整合をもって接し 一部では傾斜不整合となっている。 層厚は120~150mで 2,800mという層厚をもつ上総層群とは 対照的である。

下部天徳寺層は灰色シルト質泥岩またはシルト岩と細粒ないし中粒砂岩の互層で 厚層は大きいところで200mほどあるが 不整合による削剝のため 東方に向けて薄くなっている。 下部天徳寺層は灰色泥岩および暗灰色泥岩と細粒砂岩の互層からなり 砂岩勝ちである。 中央部には 上小国凝灰岩として知られたベントナイト質凝灰岩が広く分布する。 これを境として 下部には泥岩が発達し 細粒砂岩および凝灰岩を挟有している。 また 前川地区の背斜部およびその北方沈降部の北金浦SK 1 では 本層上部層は顕著な厚い砂岩として発達している。 層厚は250~300mである。

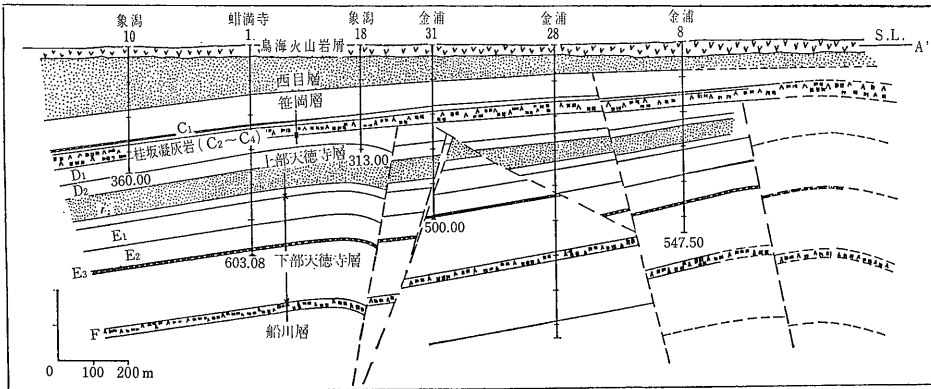
船川層は黒色泥岩を主とする地層で 上部七座凝灰岩に当る白色浮石質凝灰岩を上限とし 凝灰角礫岩および凝灰質砂岩を挟有する。 上述の凝灰岩のおよそ200m下位にも 連続性のよい灰白色砂質凝灰岩があり ガス層Gとされている。 本ガス田で船川層に達しているもっとも深い坑井は象瀉2号井で 600m近く掘り込んでいる。

象瀉ガス田はもともと大飯郷背斜西翼の単斜構造部における水溶型ガス田として開発されてきた。 しかし 開発の進展による坑井資料の累積の結果 笹岡層までは単斜構造であるが 上部天徳寺層以下では構造を異にしており 開発地域に曲隆部の存在することが明らかになった。 第33図および第34図に示されているように 本ガス田には笹岡層まで及んでいない断層が多いようであ

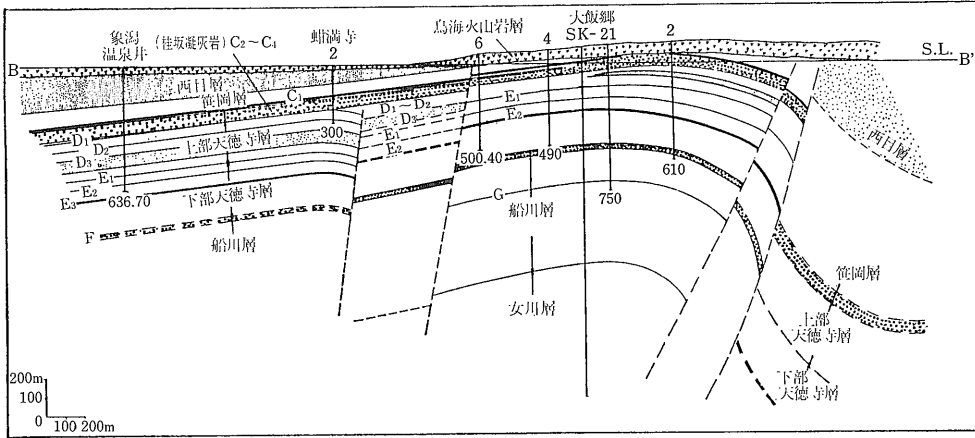
和59年 (1984) 9月には閉山の止むなきに至った。

象瀉ガス田の地質については 表土 海岸砂丘砂 新期火山岩屑などに被覆されているため 地表調査によって得られる資料を欠くが 坑井資料から 第32図に示すような地質層序が知られている。 本図で注意する必要があるのは笹岡層の基底に不整合があり 天徳寺層の最上部が欠失していることである。

西目層は中粒ないし粗粒砂からなり 基底付近には砂質粘土および礫を伴う。 層厚は海岸近くの坑井では170m前後であるが 県R-A号井の方向に薄化し 象瀉R-6号井では50m以内となっている。 また 東方の構



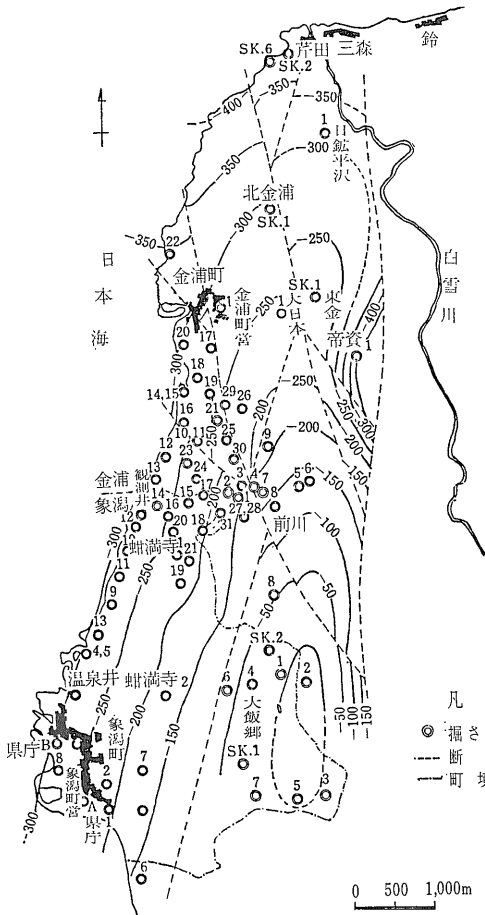
第33図 象瀉ガス田地質断面図 (矢島 1976)



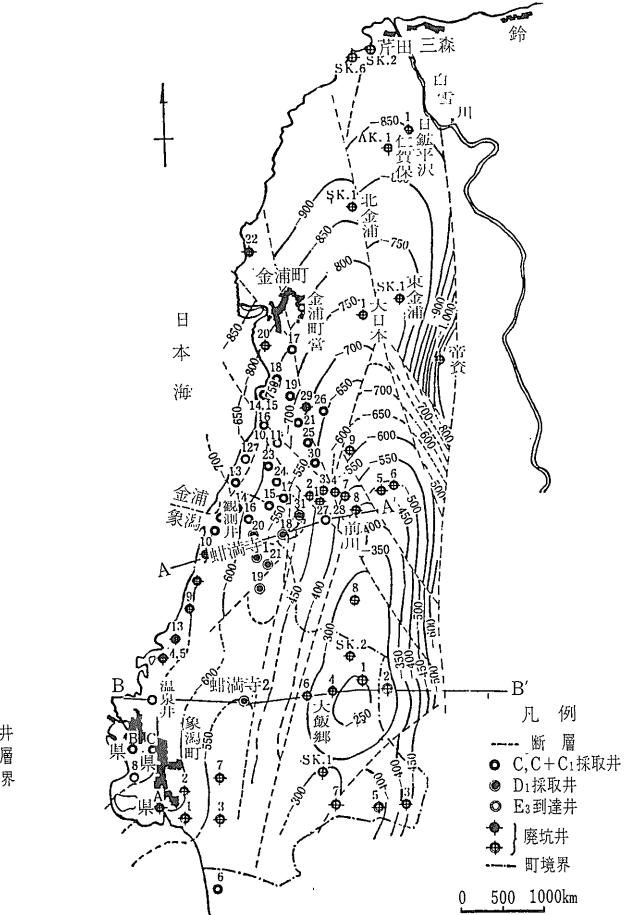
第34図
象湧～大飯郷地質
断面図
(矢島 1976)

る。本ガス田の坑井の分布および3次元な構造については 第35図および第36図を参照されたい。なお第36図には第33図および第34図の断面線 A-A' および

B-B' も示されている。また ガス層の部分については インダクションおよびソニックの両検層の記録が公表されているので 第37図として引用させていただいた。



第35図 象湧・金浦周辺C₂-C₄層上限地下構造図(矢島 1967)



第36図 象湧・金浦周辺E₃層地下構造図(矢島 1967)

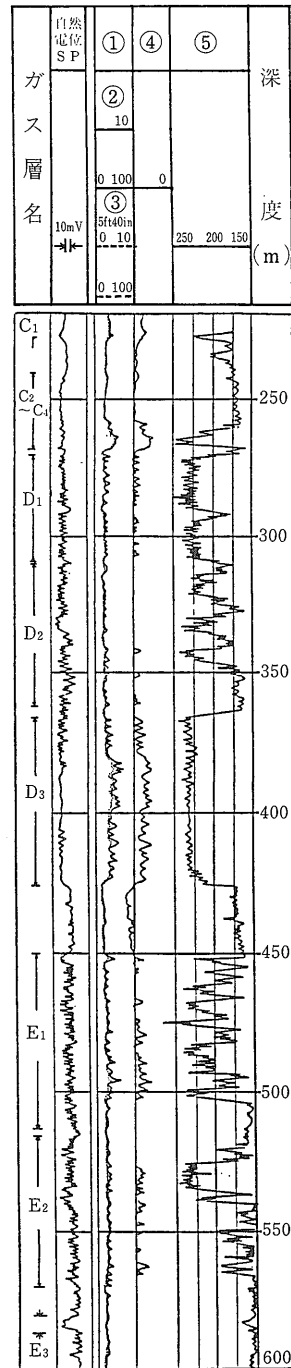
ガス層 D₁ については 第17表に示したようなコア試験の結果が公表されている。浸透率は平均192md(ミリダルシー)もあるが これより上位のガス層 C のそれはおそらくこれ以上の浸透率を示すものと思われる。したがって 本ガス田の主要ガス層は 浸透率の点では申し分がない。ただし コア試験は在来法によって行われているので 間隙水の塩素量 (ppm で示された Cl⁻) は実際には 表示されたものより少し大きいはずである。また 本ガス田の主要採取層のガス水比の計算値 (飽和ガス水比) としては 第 18 表のような計算結果が与えられている。実際の初産ガス水比は これを上まわっているものが多い。

本ガス田のガスの組成については He H₂ および Ar を欠く不完全なものであるが 第 19 表のような分析値が公表されている。その範囲についていえば 1) CH₄ は上方に向かって増加している 2) D層以下には重炭化水素も認められる 3) B層のガスには N₂ が 6.9 vol. % も含まれている 4) 幾つかの例外はあるが CO₂ は下方に向かって減少する という一般傾向に合った変化が認められる。ただし CO₂ は南関東ガス田のような一般的なものよりも多い。

ガス付随水の性状については 第20表に示したような分析値その他が公表されている。それによれば 大局的にみると pH は下方に向かって増している。すなわちよりアルカリ性になっている。しかし 第20表にみられるもっとも大きな特徴は HCO₃⁻ が 1,000 mg/l 以上もあることであろう。次に注目されるのは 地質年代から予想されるものより Ca²⁺/Mg²⁺ が大きい例がかなりあることである (第21表)。こも両イオンの比は南関東ガス田では 0.617 程度であり それより古い宮崎県下の佐土原ガス田では 2.17 程度である。ちなみに象潟ガス田の C₂₋₃ 層の年代は 宮崎県下の 佐土原ガス田のそれに近い。

地球化学的にさらに重要なことは Cl⁻ (塩素度) が標準海水並みになるように換算した Br⁻ および I⁻ (第21表の Br* および I*) を 前者と縦軸 また後者を横軸とした直角座標 (Br⁻-I⁻ ダイアグラム) 上にプロットすると 大部分の点が南関東ガス田のそれより左上側にくることである (第38図)。これはグリーンタフ地域の若い海成層の地層水に共通的な特徴で Br⁻ が後から付加されたことを示している。

本稿の主題であるホウ素関係の分析値として公表されているものは 象潟県-B のガス付随水に関する秋田大学のものがあるだけである。それ (金原ほか 7名 1957) によれば C層上限深度 (海水準から) 310 m; ガス水比 0.91; Cl⁻ 14, 310mg/l; HCO₃⁻ 1,000mg/l; Na⁺ 8, 498



第37図 蛸満寺-1 ガス層部検層図 (矢島 1967)
 注 ①Resistivity (比抵抗 ohms m²/m)
 ②Normal (ノルマル ohms m²/m)
 ③Induction (インダクション ohms m²/m)
 ④Conductivity (導電率 millimhos/m)
 ⑤Interval Transit Time (走行時間 μsec/ft)

第17表 帝石象潟21号井のコア試験結果 (矢島 1967)

深 度	ガス 層名	岩 質	比 重 (見か け)	飽和度 (%)		孔げ き率 (%)	浸透率 (md)	含水量 (g/ 100g)	Cl ⁻ (ppm)
				油	水				
282.07~282.17	D ₁	砂質シルト岩	1.66	0	97.8	56.3	263	33.22	8,460
282.65	"	"	1.61	0	98.8	57.7	230	35.35	8,280
283.05~282.20	"	細粒砂岩	1.92	0	70.9	39.9	122	14.74	9,190
283.20~282.40	"	砂質シルト岩	1.74	0	97.6	45.7	152	25.69	8,930

注 在来法で試験されているため、孔隙率および含水量は過大に、また塩素量 (ppm) は過少に算出されているであろう(本島・永田 1973参照)

第18表 象潟ガス田の主要採取層のガス水比 (矢島 1967)

坑 井 名	採取層	仕上げ深度 (m)	温 度 (°C)	NaCl(mg/l)	坑底圧力 (ksca)	〔計算値〕 溶解ガス水比 (m ³ /Kl)
象 潟 9	C	273~330	34	20,900	31.5	0.66
金 浦 14	C	268~339	33	20,000	29.5	0.63
蛸満寺 1	D ₁	271~285	31	18,996	25.0	0.56
象 潟 21	D ₁	245~307	35	17,269	27.7	0.62

注 算出方法からみて 本表の溶解ガス水比は 正確に言えば飽和メタン水比に当たるものである

第19表 象潟ガス田の天然ガスの性状 (矢島 1976)

坑 井 名	層名	組 成 (vol%)							計算熱量 (kcal/m ³)	計算比重	摘 要
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	O ₂	N ₂	CO ₂			
象潟県一A	B	85.9	—	—	—	0.4	6.9	6.8	8,222	0.610	?
" 一B	C	94.0	—	—	—	—	—	6.0	8,949	0.615	マススペクトル法
金 浦一20	C	96.0	—	—	—	—	—	4.0	9,189	0.595	"
象 潟一9	C	93.1	—	—	—	—	0.4	6.5	9,868	0.619	"
象 潟一18	D	99.0	0.1	Tr	0.1	—	—	0.8	9,474	0.566	ガスクロマト法
象 潟一21	D	97.7	Tr	—	—	—	—	2.8	9,801	0.577	"
象潟温泉井	E ₁ +E ₂	94.6	0.1	—	—	—	—	5.8	9,023	0.607	マススペクトル法
金 浦一10	F	97.1	1.2	0.1	0.1	—	—	1.5	9,802	0.577	"

mg/l; K⁺ 453mg/l; Ca²⁺ 286mg/l; Mg²⁺ 289mg/l; H₂S 1.3mg/l; HBO₂ 444.5mg/l; pH 7.1 である。

本ガス田は全体的に長万部ガス田に似ているので HB O₂の値は変化に富んでいてよさそうなものであるが 帝国石油(株)技術研究所の未公表資料によると 最低値 89.0 mg/l を除くと 155 mg/l から 404 mg/l にわたる

23例の平均値は 300mg/l で 変動幅はむしろ小さい。これに関連して重要な地温勾配については 確かな資料を欠くが 昭和45年(1970)当時 かん水産出量が多かった金浦一10においては 採取深度248~330m(中心深度289m)の産出水温が 35.0°C であるということから 地温勾配が 8.4°C/100m を超え

第20表 象潟ガス田のガス付随水の性状 (矢島 1976)

(単位: mg/l)

坑井名	層名	pH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	SO ₄ ⁻	Br ⁻	I ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	KMnO ₄ cons	水温 (°C)
象潟県一A	B	7.00	6,563.1	1,088.2	?	Tr	0	0	21.6	10.6	4,276.0	?	?
象潟県一B	C	7.53	12,952.6	1,703.0	0	1.2	102.0	48.4	222.1	51.2	8,419.2	167.7	16
金浦一29	C	7.59	10,606.2	1,563.0	0	2.2	83.9	36.0	135.4	80.4	6,893.4	164.5	17
象潟一9	C	8.27	12,635.5	1,618.1	0	0	104.4	7.6	179.6	75.3	5,213.0	170.7	5
金浦一14	C	7.89	12,085.4	1,514.6	0	?	82.5	21.7	147.7	78.7	7,855.5	138.3	15
象潟一18	D ₁	8.06	11,096.9	1,616.5	206.6	1.5	80.5	37.2	81.0	41.1	7,213.0	151.4	6
金浦一31	D ₁	7.80	10,645.0	1,946.2	126.6	0	82.6	29.8	76.2	26.8	6,854.3	121.3	11
蛸満寺一1	D ₁	7.75	11,512.4	1,813.2	157.2	1.0	84.7	37.2	94.7	63.6	7,483.0	166.1	6.5
蛸満寺一2	D ₁	7.82	11,512.4	2,274.2	133.0	0	85.6	36.2	77.4	62.6	7,483.0	?	17
象潟温泉井	E ₁ +E ₂	7.82	13,269.8	1,477.9	89.7	0	101.5	52.2	142.5	100.5	8,625.4	180.8	16
金浦一10	F	8.10	10,313.6	1,946.2	143.6	2.0	52.7	16.8	11.7	16.2	6,707.1	213.0	16
金浦一23	C+D+ F+G	8.93	9,659.1	2,238.5	162.1	1.5	50.4	12.0	22.4	9.3	6,278.4	213.4	16

(注) 帝国石油(株)秋田鉱業所試験室分析; 水温は分析時のもので産出水温ではない

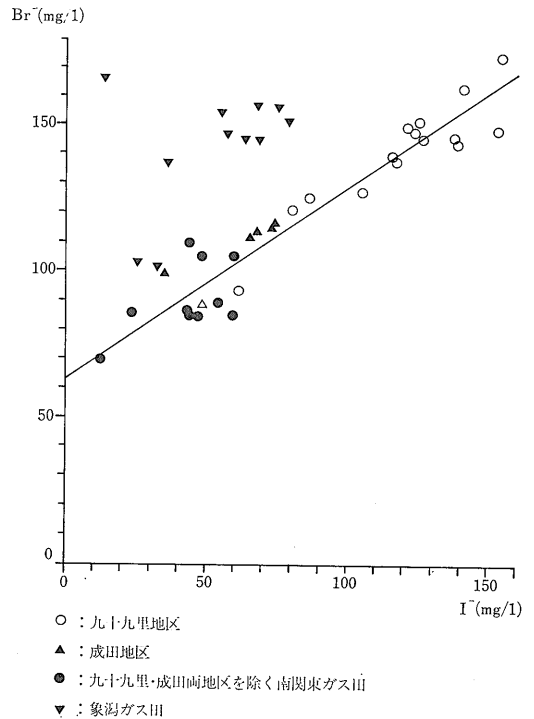
第21表 象潟ガス田のガス付随水の性状 (Ca²⁺/Mg²⁺ および標準海水の塩素度推算 Br⁻ と I⁻)

坑井	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	Br ^{-*}	I ^{-*}
象潟県一A	2.04	0	0
象潟県一B	4.34	156.4	74.2
金浦一29	1.68	157.1	67.4
象潟一9	2.39	164.1	11.9
金浦一14	1.88	135.6	36.7
象潟一18	1.97	144.1	66.7
金浦一31	2.84	154.1	55.6
蛸満寺一1	1.49	146.2	64.2
蛸満寺一2	1.24	147.7	56.3
象潟温泉井	1.42	151.9	78.1
金浦一10	0.72	101.5	32.4
金浦一23	2.41	103.4	24.7

* 第16表のBr⁻およびI⁻の値に 標準海水の塩素度19864 mg/lを同表のCl⁻で除した商を乗じたもの

ることは間違いないであろう。その頃 象潟ガス田からは年間967 tもの H₂BO₃ (メタホウ酸) すなわちホウ酸 (H₃BO₃) 換算で1,364 t ものホウ素資源が捨てられていたことになる。この象潟ガス田のホウ素資源の回収はやり方によっては企業化できたと考えられるのでかえすがえすも惜しいことをしたものである。

(未完)



第38図 南関東ガス田および象潟ガス田のガス付随水に関する Br⁻-I⁻ ダイアグラム
Br⁻ および I⁻ は Cl⁻ を標準海水並とした場合の値 (第21表の Br⁻ および I^{-*}) でプロットされている。