

東シベリアの石油資源ポテンシャル*

財団法人 日本エネルギー経済研究所

プロジェクト事業ユニット 主任研究員 中島敬史**

1. はじめに

シベリア地域の原油を太平洋側のナホトカまで運ぶ「太平洋ルート原油パイプライン」の建設計画が次第に具現化しつつある。しかしパイプラインの建設計画を進めるにあたっては、十分な原油供給量の確保が問題である。シベリア地域には大量の原油が埋蔵することが知られているが、そのほとんどは西シベリア堆積盆地に分布している。東シベリア地域でこれまでに発見された原油埋蔵量では、原油供給可能量は年間3,000万トン程度に留まるというのが、ロシア側の一般的な見解である。一方、我が国としては、本パイプラインによって原油の中東依存度が軽減できると期待されるだけに、同パイプラインを流れる原油量はできるだけ大きい方が望ましく、年間9,000万トン¹⁾(ナホトカへ5,000万トン、中国側へ3,000万トン、地元供給1,000万トン)という案も出されている²⁾。東シベリアでは既にいくつかの巨大油田が発見されているものの、付近に原油パイプラインがないため開発の見通しが立たないのが実情である。行き場のない原油を太平洋側に運ぶことが可能になれば、これらの油田の開発生産が進むと共に、東シベリア地域の石油探鉱も少なからず活況を呈し、原油の確認可採埋蔵量はさらに追加されることになろう²⁾。

では、そもそも東シベリアは、それだけの原油ポテンシャルが地質的に期待できる地域なのであろうか。その点を解明するには、東シベリア地域における“特殊な地質状況”について知ることが必要である。「太平洋原油パイプライン」計画が進むに従い、この問題が益々重要となってくると考えられる。本論は東シベリアの原油資源量について、最近の資料に基づき考察を試みたものである。考察の結果として、東シベリア地域における新しい地質プレイ概念「基盤岩構造頂部プレイ」を紹介した他、筆者が独自に実施した東シベリア地域における石油資源量の試算評価結果についても示した。

* 本レポートの内容(東シベリアの石油資源量の試算値と試算方法)は、2003年11月28日のナホトカ勉強会(日本エネルギー経済研究所主催、経団連、旧石油公団、関連民間企業の有志より構成)において報告したものである。

** プロジェクト事業ユニット 主任研究員、技術士(応用理学部門・地質)

1) 9,000万トンを30年間供給するには、凡そ200億バレル相当の原油可採埋蔵量を要する。

2) 兼清賢介(2003):シベリア原油パイプラインの意義と実現に向けての基本要件、エネ研ホームページ(2003年12月)。同報告では「まず西シベリア原油の輸送から開始し、将来は東シベリア原油も供給力に加わる」との構想が示されている。

2. シベリア地域の地質概要

シベリアは西側と東側で地質状況が大きく異なる。西半分に広がる西シベリアは地球上で最も広大な低地の一つ、西シベリア低地となっている。この広大な低地は地質学上、ウラル山脈とエニセイ川との間に広がる堆積盆地³⁾(西シベリア堆積盆地)であり、面積は250万km²に及ぶ(図1)。西シベリア堆積盆地は、二畳紀末から三畳紀始め(今から凡そ2億5,000万年前)に基盤岩⁴⁾の沈降が始まり、それに伴って周囲から大量の陸源堆積物が流入し続けた結果形成されたものである。堆積作用は二畳紀から第四紀までの長い期間に亘って行われ、二畳~三畳系、ジュラ系、白亜系、第三系、第四系から成る厚さ3,000mから8,000mの堆積層となっている。

米国地質調査所(USGS)が2000年に行った世界の937地質区の石油資源評価では、西シベリア盆地は世界の炭化水素究極可採埋蔵量の14%を占め、世界第1位である⁵⁾。



(出所) 日本エネルギー経済研究所作成

図1 西シベリア堆積盆地とシベリア卓状地の位置図

- 3) 堆積盆地とは、周囲の地層から削られた岩片が低地に流れ込んで再堆積した地層(堆積岩)が厚く分布した場所である。
- 4) 基盤岩とは、主として先カンブリア系(5.4億年前より古い岩石)や古生界(5.4~2.5億年前に形成された岩石)の火成岩(マグマが地中で冷えて固まった深成岩や、地表に出た溶岩)や変成岩(地下深部で高温・高圧の条件下で組織や組成が変化した岩石)から成り、大陸地殻を形成する。
- 5) USGS (2001), U.S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000, USGS Web-site

一方、東半分にはエニセイ川とレナ川との間にシベリア卓状地⁶⁾が広がる(図1)。シベリア卓状地は、今から25億年前よりも古い始生代に形成された結晶質変成岩や結晶質火成岩で構成されている。これらの古い結晶質岩石⁷⁾は、一括して“基盤岩”と呼ばれ、安定大陸地塊(クラトン)の一部を成す。

基盤岩は、リーフェイ期(原生代後期、16.5~6.5億年前)の初期に断層による開口化(リフト活動)を起こし、いたるところに陥没性のリフトが形成され、リフト内には碎屑岩⁸⁾や炭酸塩岩⁹⁾が厚く堆積した(USGS, 2001)¹⁰⁾。基盤岩はリーフェイ層群(大部分は16.5~6.5億年前の原生界上部)と古生界最下部¹¹⁾により覆われている。それより若い地層は比較的薄い(USGS, 2001)¹²⁾。古生界最下部のベンド系は、シベリア卓状地のほぼ全域を覆う。ベンド系(6.5~5.7億年前)は、石英質砂岩、珪岩、頁岩から成る下部と、硬石膏層を挟在するドロマイトから成る上部とで構成される(USGS, 2001)¹⁰⁾。

シベリア卓状地の周縁は地下で切り立った断層で境され、陥没地となっている。陥没地は、古生界から新生界¹³⁾におよぶ非変成堆積層や噴出/貫入火山岩が厚く堆積し、一連の帯状の堆積盆地を形成している(図1)。これらの陥没型の堆積盆地は、卓状地北縁のエニセイ・ハタンガ盆地、レナ・アナバル盆地、卓状地北東縁辺のベルホヤンスク盆地、卓状地東縁辺のレナ・ピリュイ盆地である。なおシベリア卓状地と周囲の陥没地を併せた面積は370万km²(日本の面積の10倍)に及ぶ。

3. 東シベリア地域の既存油田

今日広く受け入れられている石油探鉱セオリーに基づくと、油田やガス田が形成されるには、各地質区の中で「石油システム」¹⁴⁾の存在が不可欠である。堆積盆地は、こうした石油システムが成立しやすい地質状況にあることから、炭化水素の主要な探鉱対象とされてきた。

-
- 6) 卓状地とは、花崗岩や片麻岩から成る大陸地殻の一部が台地状に上昇して形成されたものである。
 - 7) 地下深部の高温・高圧の条件下で変成作用を受けて再結晶化した緻密な岩石(孔隙がほとんどない)。
 - 8) 岩石が風化・侵食によって破壊され、その破片が水や風によって移動・堆積し、固結したものの。
 - 9) 珊瑚など生物遺体が積み重なったものや、海水から化学的に炭酸カルシウムが沈澱し固結したものの。
 - 10) USGS(2001), Petroleum Geology and Resources of the Nepa-Botuoba High, Angara-Lena Terrace, and Cis-Patom Fore deep, Southeastern Siberian Craton, USGS Web-site
 - 11) 始生代に形成された地層のうち最も古いもので、一般にカンブリア系(5.4~5億年前)を指す。
 - 12) USGS(2001), Petroleum Geology and Resources of the Baykit High Province, East Siberia, Russia, USGS Web-site
 - 13) 6,500万年以降の地層で、さらに第三系と第四系に分けられる。
 - 14) 「石油システム」とは、油ガス田が生成されるために必要な各要素(根源岩、貯留岩、帽岩、上載地層)と形成過程(油ガス生成、移動、集積、トラップ構造)を総括した一連の地質的機構をいう。

一方、始生界¹⁵⁾の基盤岩から成るシベリア卓状地と、その上に堆積した原生界¹⁵⁾から古生界最下部の地層は、地球上で最も古い地層である。東シベリア地域では、これら原生界(先カンブリア系)および古生界最古層(下部カンブリア系下部)の砂岩および石灰岩やドロマイトに原油と天然ガスが胚胎¹⁶⁾しているのである。ドロマイトは、石油貯留層として世界的に一般的な岩相であるものの、先カンブリア系や下部カンブリア系は、油・ガスを胚胎する地層として世界最古であり、一般に貯留岩性状¹⁷⁾が悪く根源岩¹⁸⁾にも乏しいことから商業的な油ガス田発見を目的とした探鉱の主要対象層とは見做されていない。このような地球上で最も古い地層中に大量の原油が胚胎する油田地帯は世界的にも例をみず、東シベリアの重要な特徴といえよう。

そのような地質状況にありながら、1954年にイルクーツクの西方130kmのオサで掘削された坑井により、深度1,560m地点(古生界最下部のドロマイト層、5.5億年前)より原油を産出した。商業量の産出ではなかったものの、東シベリア地域における初めての原油生産となった。その後、地質構造探査が進められ、シベリア卓状地南東部において長径1,000kmに及ぶネパ・ボツオバ大規模地壘構造¹⁹⁾の存在が明らかとなり、最初の原油生産に成功したオサは、ちょうど同地壘構造の最南端部に位置していた。これらを契機に、東シベリア地域の石油探鉱が活発化し、巨大油ガス田の発見に繋がった(本村、1980)²⁰⁾。

3.1 既発見油ガス田の分布区域

シベリア卓状地における結晶質基盤岩はリフト活動²¹⁾により断層ブロック化している。断層による落差は数百から数千mに及び、それに伴って基盤岩上面に著しい起伏が形成された。基盤岩上面が相対的に下がった低地部分では、カンブリア系以新の若い地質時代に形成された地層(古生層)が厚く分布している。そこには大量の有機物が堆積したと期待でき、探鉱対象として有望視される。一方、基盤岩上面が盛り上がった部分(ロシアでは

15) 先カンブリア紀を2つに分けたうち古い地質時代を始生代(地球創生~25億年前)といい、その時代に形成された岩石や地層を始生界と呼ぶ。なお、新しい方を原生代(25~5.4億年前)および地層を原生界と呼ぶ。

16) 地層中に原油やガスが資源として存在することを「胚胎する」と表現することが多い。

17) 多孔質で浸透性のある岩石で、その孔隙が原油やガスで満たされるものを貯留岩といい、孔隙率や浸透率の程度を貯留岩性状と呼ぶ。

18) 炭化水素を発生させる能力を有し有機物に富む堆積岩で、主に黒色泥岩や頁岩などを指す。

19) 断層によりブロック化した基盤岩が、断層を境に周囲より隆起した部分を地壘(horst)と呼び、周囲より沈降した部分を地溝(graben)と呼ぶ。

20) 本村真澄(1980):シベリア卓状地の地質と炭化水素ポテンシャル(その1)-レナ=ツングースカ地域-、石油の開発(石油公団)1980年10月号。

21) 大陸プレート(地殻)が割れて(分離)次第に拡大する活動で、一般に引張り応力が働いて基盤岩が断層ブロック化する。

anticlise「大規模背斜」と称する)ではそれを覆う古生代以新の堆積層が薄いため有機物の堆積量が比較的少なく、探鉱対象と見做せない。ところが、これまでの探鉱活動の結果は逆であり、卓状地上で基盤岩上面が落ちた堆積層の厚い部分や卓状地の周辺に分布する帯状陥没堆地では主要な油田の発見はなく、むしろ、結晶質基盤岩が盛り上がった地壘構造側に大規模油ガス田が集中的に発見されているのである。

シベリア卓状地上で、結晶質基盤岩が特に盛り上がった大規模地壘構造が3箇所知られている。これらは各々「アナバール・アーチ」、「バイキット・アーチ」、「ネパ-ボツオバ・アーチ」と呼ばれる(図2)。本レポートでは、特に大規模な地壘構造を「アーチ(arch)」と呼び、アーチの頂部に形成されたドーム型の小規模な盛り上がり部を「ハイ(high)」と呼んで区別した。3つの大規模アーチ構造のうち、東シベリアの既発見油・ガス田は、2つの大規模地壘構造「バイキット・アーチとネパ-ボツオバ・アーチ」に集中している。なお、残る「アナバール・アーチ」は、卓状地で最も盛り上がった部分であるものの、その頂部一帯は結晶質基盤岩が地表に露出しており、基盤岩上の斜面には古生界堆積層が比較的薄い。従って、これまで探鉱対象とはなっていない。

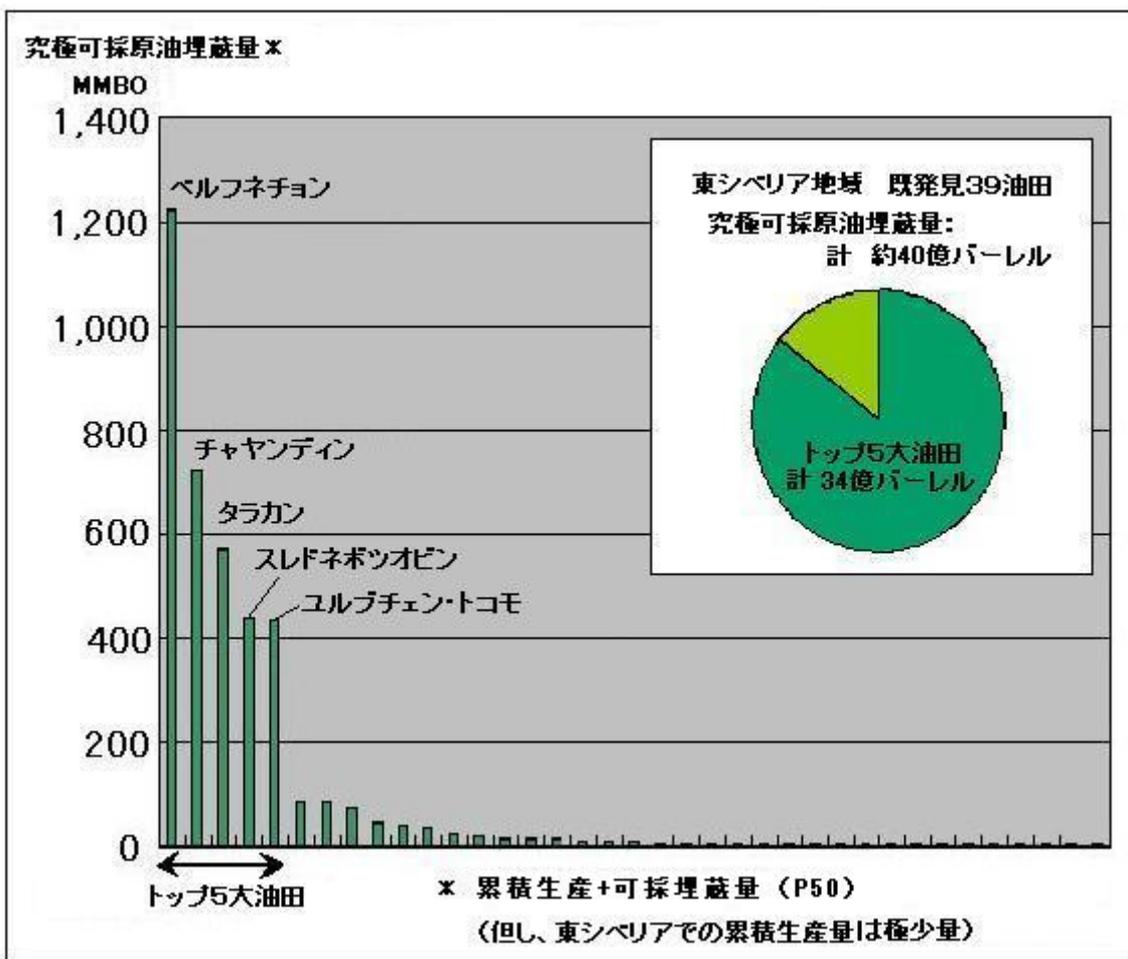


(出所) 日本エネルギー経済研究所 各種資料より作成

図2 シベリア卓状地に分布する主な大規模地壘(ホルスト)構造

3.2 原油可採埋蔵量の集中分布区域

東シベリア地域ではこれまで99の油・ガス田が発見されており、そのうち39が油田および油・ガス田で残りの60は天然ガス田となっている（IHS エナジー社²²⁾（以降IHSE社と記す）、2002）。39の油・ガス田の原油究極可採埋蔵量²³⁾は合計で約40億バーレルに及ぶが、その85%に相当する34億バーレルが、上位5大油・ガス田（表1）に胚胎している（図3）。



(出所) IHSE 社データ等を基に日本エネルギー経済研究所が作成

図3 東シベリア地域における既発見油田の究極可採原油埋蔵量
(究極可採埋蔵量1,000万バーレル以上の油田のみ)

²²⁾ 石油産業の上流部門に関する世界中の情報を収集・提供する国際的に著名なサービス会社。

²³⁾ 原油究極可採埋蔵量 (URR) とは、累積原油生産量と原油可採埋蔵量 (P50: 確認埋蔵量と推定埋蔵量の一部に相当) の総和である。東シベリア地域では、累積生産量が極少量であり、URR のほとんどが原油可採埋蔵量である。

これら5大油・ガス田は、1位から4位までが「ネパ・ボツオバ・アーチ」上に分布し、5位が「バイキット・アーチ」上に位置している。しかも、それらの油・ガス田は、各地壘構造上の頂部でさらに基盤岩が盛り上がった部分に位置している。これらの頂部盛り部は、各々「カモフ・アーチ」、「ネパ・ハイ」と呼ばれる(図4)。すなわち、東シベリア地域の原油可採埋蔵量の大部分(85%)は、堆積盆地ではなく、シベリア卓状地上の2つの地壘構造上、しかもその最頂部に集中分布しているのである。以下に各地壘構造(アーチ)について詳述した。

表1 東シベリア地域における上位5大油田

順位	油・ガス田名	西側評価 * 可採埋蔵量 (P50 ケース)	ロシア連邦の評価 ** 可採埋蔵量 (A+B+C1)
1位	ペルフネション	1,220MMBO *** + 1.1TCF	1,148MMBO + 0.4TCF
2位	チャヤンダ	730MMBO + 5.6TCF	306MMBO + 13.4TCF
3位	タラカン	570MMBO + 1.0TCF	760MMBO + 1.2TCF
4位	スレドネ・ボツオピン	440MMBO + 5.5TCF	390MMBO + 5.3TCF
5位	ユルブチェン・トホモ	430MMBO + 3.2TCF	420MMBO + 3.3TCF
	上位5大油田 合計	3,390MMBO + 16.4TCF	3,024MMBO + 23.6TCF

* IHSE社、2002:「IHSE-Field&Reservoir Reserves April 2003」によると、P50 ケースの値は米国地質調査所における「技術的に採掘可能な資源量」に相当する、また西側定義では確認可採埋蔵量と推定可採埋蔵量の一部の和に相当する

** ESI (国家地下資源省) 2001年1月現在

*** MMBO : million barrel of oil

(出所) 日本エネルギー経済研究所作成

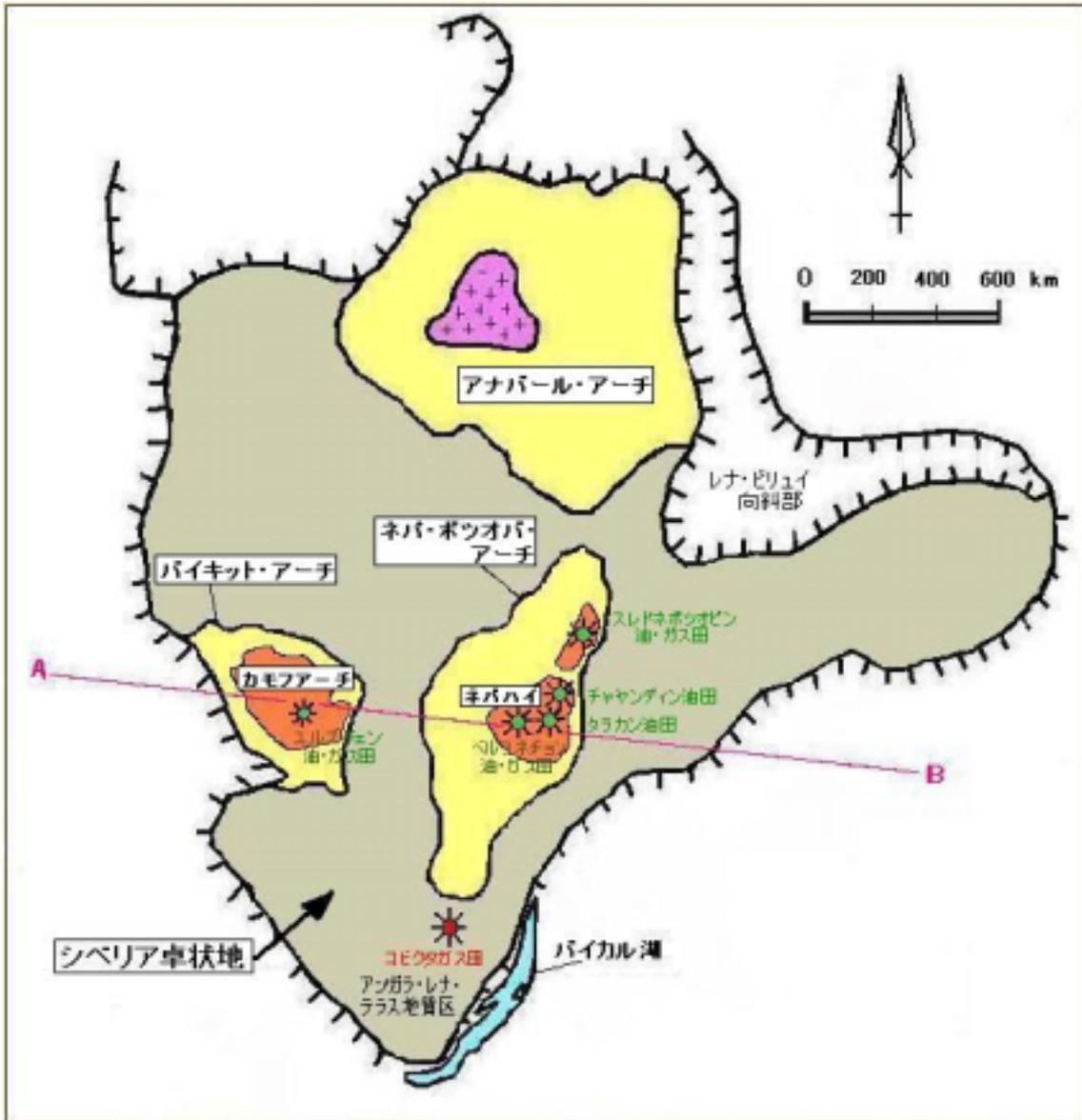
4. アーチ構造と原油の胚胎状況

4.1 バイキット・アーチ構造

バイキット・アーチ構造は、始生界(25億年前より古い)および古生界最下部の結晶質花崗岩²⁴⁾・片麻岩²⁴⁾から成る基盤岩が隆起した結果として形成された、500km×500kmの

24) 花崗岩は大陸地殻を構成する主な岩石で、地下でマグマが固まった深成岩であり、海洋地殻(大洋底)には存在しない。また花崗岩質岩が地下深部の高温・高圧の条件下で再結晶化した変成岩を片麻岩と呼ぶ。一般に、これらの岩石は油ガス鉱床と関係が少ないと言われる。

大規模な地壘構造である(図4)。結晶質基盤岩の上位には、基盤岩を構成する変成岩や火成岩が侵食風化して再堆積して形成された碎屑岩層を挟み、その上位に原生代中期から後期(16.5~6.5 億年前)に堆積した炭酸塩岩層や碎屑岩層から成る先カンブリア系リーフェイ層群が分布する。さらにその上位に原生代後期(6.5~5.7 億年前)に堆積した炭酸塩岩から成るバンド系が分布する。



(出所) 日本エネルギー経済研究所 各種資料より作成

図4 3大地壘構造(アーチ)と巨大油ガス田の位置

バイキット・アーチ構造上には、いくつかの基盤岩隆起部（ハイ）が分布し、そのうち中央部で局所的に盛り上がった最大規模のハイが「カモフ・アーチ」(350km×250km)である。バイキット・アーチで最大規模の「ユルブチェン - トホモ油・ガス田」(可採埋蔵量では東シベリアで上位5位にランク、表1)は、「カモフ・アーチ」の頂部一帯を占める。

ユルブチェン-トホモ油・ガス田

図5に、「バイキット」と「ネパ・ボツオバ」の両アーチを切る東西方向の地質断面図を示した(断面線:図4のA-B)。「ユルブチェン - トホモ油・ガス田」における油・ガスの主要な貯留層はリーフェイ層群(16.5~6.5億年前)の石灰岩やドロマイト(14~10億年前)であり、リーフェイ層群の侵食面がユルブチェン油・ガス田の構造形状を規制している。さらにその上位層である先カンブリア系バンド層群の陸成砕屑岩層に天然ガスと少量の原油が含まれる。原油は、炭酸塩岩の孔隙(孔隙率0.35~2.4%)中や裂罅(岩石の割れ目)中²⁵⁾に胚胎しており、貯油プール²⁶⁾の地質構造は複雑で、坑井1本当たりの生産性は低い。バンド系最下部と中央部の砂岩層(バナバラ層とオスコバ層)にもいくつか貯油プールがある。バナバラ層の有効層厚は0~7.6mと薄く、砂層のせん滅によって原油がトラップしている(Beiline et al., 2002)²⁷⁾。

ユルブチェン - トホモ油・ガス田の原油究極可採埋蔵量は4.3億バレルおよび天然ガス3.2TCFと評価されている(IHSE社、2002)。貯油プールは基本的に断層ブロック化しており、坑井で未確認のブロックが広大に残っている。従って、今後の探掘により確認埋蔵量が増加するであろう。同油・ガス田について、ロシア関係者は埋蔵量成長が著しい油・ガス田と見ている。ロシア側の公式評価(ロシア連邦政府、地下資源省2001)では、A+B+C1埋蔵量区分²⁸⁾で4.28億バレルと評価しており、西側評価のP50(確認可採埋蔵量+推定可採埋蔵量の一部)²⁹⁾の一部に近似する(表2)。一方、推定可採埋蔵量+予想可採

25) 裂罅(れっか)とは岩石が地下の応力で破壊した結果として生じる割れ目であり、フラクチャー(fracture)とも言う。炭酸塩岩や火山岩から成る貯留岩では油・ガスが胚胎できるだけの有効孔隙を有していることも多い。ユルブチェン油田では孔隙率6.5%を有するとの報告がある。

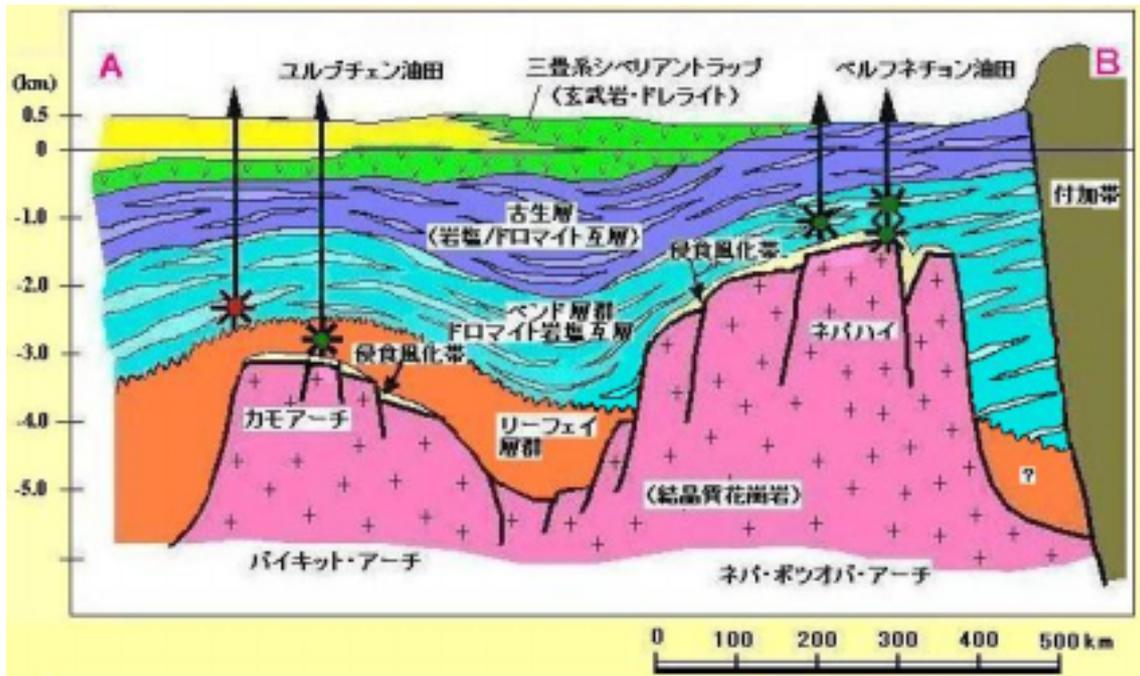
26) 非浸透性の岩石で囲まれた炭化水素の溜まり場をプール(pool)と呼ぶ。油ガス田は通常、プールが複数集まって形成される。

27) Beilin Yu.A., et al.(2002): Geology and Developmental Perspectives of Oil, Gas and Herium Resources of the Lena-Tunguska Petroleum Province, Energy Cooperation in Northeast Asia, The 3rd International Conference ECNEA-2002, Sept., 2002

28) ロシアの埋蔵量区分については、「石油公団天然ガスプロジェクト企画部(2001):胎動するロシア連邦東シベリア地域の石油・天然ガス田開発、石油/天然ガスレビュー(石油公団)2001年3月号」に詳述されている。

29) 西側および我が国では、埋蔵量をその存在確度に応じて「確認(proved)」「推定(probable)」「予想(possible)」に区分している。また地下に存在する量を原始埋蔵量(reserves in-place)と呼び、技術的および経済的に採取可能な量を可採埋蔵量(recoverable reserves)と呼ぶ。

埋蔵量の一部である C2 を含めた A+B+C1+C2 区分では、原油 26.7 億バレルと天然ガス 14.6TCF となっており、ロシア側は C2 区分（今後の探掘により確認される見込みの埋蔵量分）を高く評価している（表 2）。



（出所）USGS 2001(5)や IHSE 社データを基に日本エネルギー経済研究所が作成

図 5 2 大地壘構造の地質断面図

バイキット・アーチのその他の油田

「カモフ・アーチ」上には、さらに「クユンビン油田」と「テルスコ・カモフ油田」が存在する。ロシア側はこれらの油田における C2 区分（推定 + 予想可採埋蔵量一部）も大きく評価している。それだけ探鉱余地が大きく、今後の試探掘により埋蔵量がかなり拡大する可能性があることを示している。「ユルブチェン - トホモ油・ガス田」に加えて、これらの油田でもロシア側評価の C2 区分埋蔵量が追加探鉱によって C1 区分に格上げされることになれば、バイキット・アーチは 70 億バレル以上の膨大な可採埋蔵量（確認 + 推定）を抱える一大油田地帯になる（表 2）。

バイキット・アーチの原油成分の特徴と根源岩

USGS(2001)¹²⁾によると、同アーチ上で確認された原油の性状は軽質(42~45°API)で、低硫黄(0.2~0.3%)パラフィン系およびナフテン系に属す。アスファルテンはないが、レジンが21~27%と多い。また「どのようにして油田が形成されたか」という「石油シス

テム」¹⁴⁾については多くの疑問点がある。まず根源岩が特定できておらず、また油ガスの生成と移動時期も特定できていない。ただし、少なくともベンド系には根源岩相当層が発見されていないことから、USGS は下位のリーフェイ層群に根源岩の存在を類推している¹²⁾。

表2 バイキット大規模地壘構造の頂部「カモフ・アーチ」に分布する油ガス田

油ガス田名	西側評価 (IHSE 2002) 可採埋蔵量 (P50 ケース)	ロシア連邦の評価* 可採埋蔵量 (A+B+C1+C2)
ユルブチェン・トホモ	430MMBO + 3.2TCF	2,670MMBO + 14.6TCF
テルスコ・カモフ	10MMBO	2,830MMBO
クユンピン	< 10MMBO	1,530MMBO + 10TCF
カモ・アーチ 合計	<450MMBO + 3.2TCF	7,030MMBO + 24.6TCF

* ESI (国家地下資源省) 2001年1月現在

(出所) 日本エネルギー経済研究所 作成

4.2 ネパ・ボツオバ・アーチ構造

ネパ・ボツオバ・アーチは1,000km×500kmの規模を有するアーチ構造である(図4)。同アーチ構造は、シベリアクラトン(安定大陸地塊)³⁰⁾を構成している始生界～原生界下部を基盤岩として大規模な地壘構造を形成したもので、その上位を先カンブリア系およびカンブリア系下部の堆積層が不整合³¹⁾で覆う。これらの堆積層はベンド系(原生界最上部、6.5～5.7億年前)の碎屑岩および炭酸塩岩であり、バイキット・アーチに見られた古い原生界下部リーフェイ層群が欠如している(図5)。ベンド系およびその上位の堆積岩はカンブリア系および岩塩層を挟在するオールドビス系³²⁾から成る。ネパ・ボツオバ・アーチ上にはいくつかの基盤岩隆起部「ハイ」が分布しており、そのうち最大の隆起部が同アーチ南部に分布し、「ネパ・ハイ」と呼ばれる。この基盤岩の隆起形状が同アーチ上の油ガス田分布を規制している(USGS, 2001)¹⁰⁾。

東シベリア地域で発見された39の油田および油・ガス田のうち半数以上の22がネパ・ボツオバ・アーチ上に分布し、同産油地域の原油可採埋蔵量約40億バレルの87%を占める(IHSE, 2002)。また、東シベリア地域で発見された油田のうち最大規模の3つ; 第1

30) 造山運動などのない安定した大陸地殻で、先カンブリア系の岩石で構成される。楕状地(shield)ともいう。シベリア楕状地はその代表で、他にカナダ楕状地、ブラジル楕状地、バルト楕状地など。

31) 地層が風化または削られ、その侵食面に新しい地層が堆積したとき、両者の関係を不整合という。

32) オールドビス系は古生界下部(5～4.4億年前)の地層。

位：ベルフネチョン油ガス田、第2位：チャヤンダ油ガス田、第3位：タラカン油田（表2、図3）は、いずれもネパ・ボツオバ・アーチ上の局所的な高まり（基盤岩上面が形成する最頂凸部「ネパ・ハイ」200km×200km）に位置し、第4位の「スレドネ・ボツオピン油田」は「ネパ・ハイ」北方の局所的なハイ上に位置する（図4）。これらの油/ガス田における油ガス貯留層は主にベンド系（原生界）の陸成砂岩、ベンド系およびカンブリア系（古生界最下部）のドロマイトである。

ベルフネチョン油ガス田

東シベリア地域で最大規模のベルフネチョン油ガス田は、隆起部ネパ・ハイの西翼部に位置する。同油ガス田は不規則に発達した断層によりブロック化している。

ベンド系の地層は層厚2～18mで変化しており、原油を胚胎する層準は4～5mの層厚で、その上下は8～10m層厚の泥岩で挟まれる。主要な貯油層準であるB13層は同油ガス田構造全体に分布しており、北方でせん滅する。その層厚は、下位の基盤岩の凹凸形状に応じて0～18mと変化している。油層の有効層厚は0.7～5.5mで、貯留岩中の孔隙は10～20%、浸透率は300～400mD³³⁾である。貯油部分はブロックに分割され、砂岩やドロマイトのせん滅により原油がトラップしている（層位封鎖型トラップ）³⁴⁾（Beilin他、2002）²⁷⁾。

Beilin他によると、さらに、基盤岩上面には基盤岩自体が侵食して再堆積した砂岩層が分布し、そこにも原油が集積しており、いくつかの坑井で産出を確認している。また油田の北東部には、堆積層と下位の基盤岩を100m切っている断層がある。断層周辺の地層圧が周囲に比べて2Mpaも大きいことから、これらの断層は油ガスの移動集積に深く関与したことは疑いがなく、と述べている²⁷⁾。

チャヤンディンガス・油田

東シベリア第2位のガス・油田で、隆起部ネパ・ハイの東翼部に位置する。主要な貯留層はせん滅型の砂岩層で、トラップは層位封鎖型および断層トラップ型である³⁵⁾。産油層の層厚は2～26mと変化し、孔隙率は9～16%である。ガス・油田の南部は貯油プールが断層ブロック化しており、各々のブロック内で異なる油ガス接触面を有している（Beilin他、2002）²⁷⁾。

33) 地層の中を流体が流れる際、その流れやすさ（浸透率）を表す単位で、通常ミリダルシー（mdまたはmD）で示す。

34) 貯留層である砂岩層が傾斜の上方に向かって薄くなり、せん滅した部分では、周囲を泥岩などで囲まれ、炭化水素が逃げられない。こうした形態を層位封鎖型トラップと呼ぶ。

35) 地層は著しく古いため、永い地質年代を経て圧縮を受けており、堆積時における砂層の分布状況が反映しているとは限らない。むしろ断層により砂層がレンズ状にブロック化している可能性もある。少なくとも我が国の第三系における層位封鎖型とはかなり様相が異なるであろう。

タラカン油田

東シベリア第3位のタラカン油田は、隆起部ネパ・ハイの南部に位置し、貯油層はバンド系砂岩層とオサ層群のドロマイトである。バンド系砂岩層の貯油部は層位封鎖型で、層厚は5m、また貯油層は断層ブロック化している。孔隙率は8~10%、浸透率は10mD程度である。一方、ドロマイトはその周囲を石灰岩片(礁成ビルドアップ³⁶⁾と解釈されている)が覆い、層厚は30~35m、孔隙率は12~19%、浸透率は200~250mDに及ぶ。ドロマイト貯留層における原油も層位封鎖型でトラップしている。

ネパ・ボツオバ・アーチの原油成分の特徴と根源岩

ネパ・ボツオバ・アーチで発見された原油の比重は37~45°API、低硫黄(0.1~0.3%)、アスファルテンはない。バイキット・アーチでは原油中にレジンが多いが、ネパ・ボツオバ・アーチではレジンは0.8~5.9%と少ない。またほとんどの油ガス田で窒素含有率(5~8%)とヘリウム含有率(0.2%)が高く、ガス部ではエタン以上の重い成分が多く、炭酸ガスは少ない(1%未満)(USGS、2001)¹⁰⁾。

バイキット・アーチではリーフェイ系に根源岩が含まれると期待されているが、ネパ・ボツオバ・アーチではリーフェイ系の地層自体が欠如しており、結晶質基盤岩を直接覆うバンド系およびカンブリア系最下部に炭化水素が胚胎する。バンド系の砕屑岩を地化学分析した結果、全有機炭素量(TOC)³⁷⁾は0.1~0.3%で、岩塩層の直下にあるドロマイトや岩塩層と互層を成すドロマイトもTOCが0.2%未満であり、根源岩がない。従って、これらの地層内で石油システム¹⁴⁾を満足させることはできない。一方、原油自体のバイオマーカー分析³⁸⁾では、高熟成域で生成されたものと結論づけられており、どこか他の根源岩を想定しなければ石油システム¹⁴⁾が成立しない(USGS、2001)¹⁰⁾。

4.3 巨大ガス田

90の天然ガス田(油・ガス田を含む)のうち巨大ガス田(究極可採ガス埋蔵量が3.5TCFを超えるもの)が7つあり、これらのうち3つは上述した2つの大規模地壘構造頂部に存在し、その他はアンガラ・レナ・テラス、レナ・ビリュイ向斜部³⁹⁾、エニセイ・ハタンガ盆地に分布する。

最大規模の埋蔵量を有するコピクタガス田はイルクーツク市の北東350kmに位置する。

36) 珊瑚礁が上に成長してドーム形状を形成したもので、周囲を泥岩に囲まれ油ガス層を形成する。

37) 根源岩の炭化水素生成能力を示す指標の一つ。

38) 発見された原油がどの根源岩からもたらされたかを知るための地化学分析法の一つ。

39) 褶曲構造の一部で、地層が下方に凸の地質構造を成すもの。上方に凸の形態を背斜構造と呼ぶ。

ちょうどネパ・ボツオバ・アーチの南方（アンガラ・レナ・テラス）に相当し、いずれのアーチにも属さない（図4）。ルシア石油は2003年6月時点の同ガス田の埋蔵量評価を、C1区分：1.407兆 m^3 、C2区分：0.572兆 m^3 （C1+C2区分：約70TCF）と報告した⁴⁰⁾。また膨大なガス量に伴い、コンデンセート埋蔵量も大量の8,337万トン、と報告した。

コビクタガス田は、北北東に傾く層厚150mの砂層（先カンブリア系、ベンド層群下部）中にガス・コンデンセートが貯留しており、構造のアップディップ側（地層傾斜面に沿って上る方向、ここでは南南東方向）は山岳地域のため震探データが得られておらず、ガス田を構成するトラップ構造の全貌はまだ把握できていない。従って、アップサイド側には大量の天然ガス埋蔵量が未確認で残っている可能性が高く、同ガス田の埋蔵量値はさらに大きくなる可能性がある。

ヘリウム⁴¹⁾の含有率が0.26%と高いことも、同ガス田の特徴である。この巨大ガス田の成立は大規模アーチ構造では説明できず、何か特別な地質概念が必要であろう。

5. 東シベリアの巨大油田における原油の移動集積メカニズム

5.1 東シベリア地域における重要な地質的特徴

東シベリア地域は全体的に探鉱が進んでいないものの、ネパ・ボツオバ・アーチに限ればこれまでに1,000本以上の探鉱井が掘削されており（USGS、2001）¹⁰⁾、発見油ガス田の傾向や特徴について議論が可能である。ネパ・ボツオバ・アーチにおける重要な地質的特徴を列挙すると次のとおりとなる。これらの特徴は、バイキット・アーチにおける特徴とも一致している。

- 1) 発見された大部分の原油は、基盤岩が上昇して形成されたアーチ構造の頂部隆起部（ハイ）上に集中して胚胎していること。
- 2) 周辺の油ガス田にヘリウム⁴¹⁾の含有量が0.2~0.6%と高いこと。
- 3) 世界で最古の地層（先カンブリア~カンブリア系）中に油ガスが胚胎すること⁴²⁾。
- 4) 原油は古い地層に発達した裂隙中に閉じ込められていること。
- 5) いくつかの断層は堆積層から基盤岩まで切っており、変位も認められること（これ

40) 2004年3月8日に上海で開催された「第8回北京アジア天然ガスパイプライン国際会議」

41) 宇宙と太陽では二番目に多い物質で、水素に次いで軽い不活性ガス。ヘリウムは地球深部でウランやトリウム放射性崩壊（アルファ崩壊）により発生するものであり、地球の地表近くにはごく少ない。一般に花崗岩地帯に多く産し、地質的に古く限られたガス田において天然ガスに伴って産出する（主に米国）。

42) 世界の原油究極可採埋蔵量のほとんどは、数億年も若いジュラ紀（今から約2億年前）や白亜紀（約1億年前）および第三紀（6,500万年前以降）に堆積した地層中で発見されている。

らの断層は油・ガスの移動機構に直接関与した可能性が高い)。

- 6) 基盤岩上面が侵食・再堆積した碎屑岩層(基盤岩の一部)にも原油が胚胎すること。
- 7) 油ガスを胚胎する地層は側方連続性に乏しく、それゆえ層位封鎖型トラップ³⁴⁾が成立していること。こうした地質状況下では、油の長距離移動は考え難い。

5.2 基盤岩構造頂部プレイ

これらの傾向を満足させる油移動機構について試案を下記に述べた。本レポートでは、これを「**基盤岩構造頂部プレイ**」と呼ぶ。

「基盤岩上面の侵食面は不整合面となっている。不整合面は、地層や塊状の岩石に比べて相対的に高い浸透性を有する連続的な面である。従って、深部より上昇した炭化水素流体は、基盤岩上面(不整合面)の非常にわずかな隙間を経由して基盤岩上面の形状に沿ってアップディップ側⁴³⁾に移動し、最終的に基盤岩上面が形成する地壘構造の頂部の砂岩層中(基盤岩の上面が侵食し再堆積した部分)に集積したと考えられる(図6)。頂部に集まった油・ガスは、裂罅を通じて上位の薄い地層中に浸透し、層位封鎖型トラップにて油ガス田を形成したものと考えられる。」

5.3 東シベリアにおける油ガスの起源

原油の根源に関しては、リーフェイ層群に熟成根源岩の存在が期待されているものの、未だ確認されていない。さらに、最も原油が濃集しているネパ・ボツオバ・アーチ周辺では、リーフェン層群自体が欠如している。シベリア卓状地上で、基盤岩上面が比較的陥没した低地では堆積物が厚く、その底部で熟成根源岩が存在する可能性がある。しかし、そこから油・ガスが生成されたケースを想定した場合、「浸透性の悪い地層中を、大量の原油が数百 km という長距離に及んで水平方向に移動し続けた」という無理な状況を想定しなければならない。

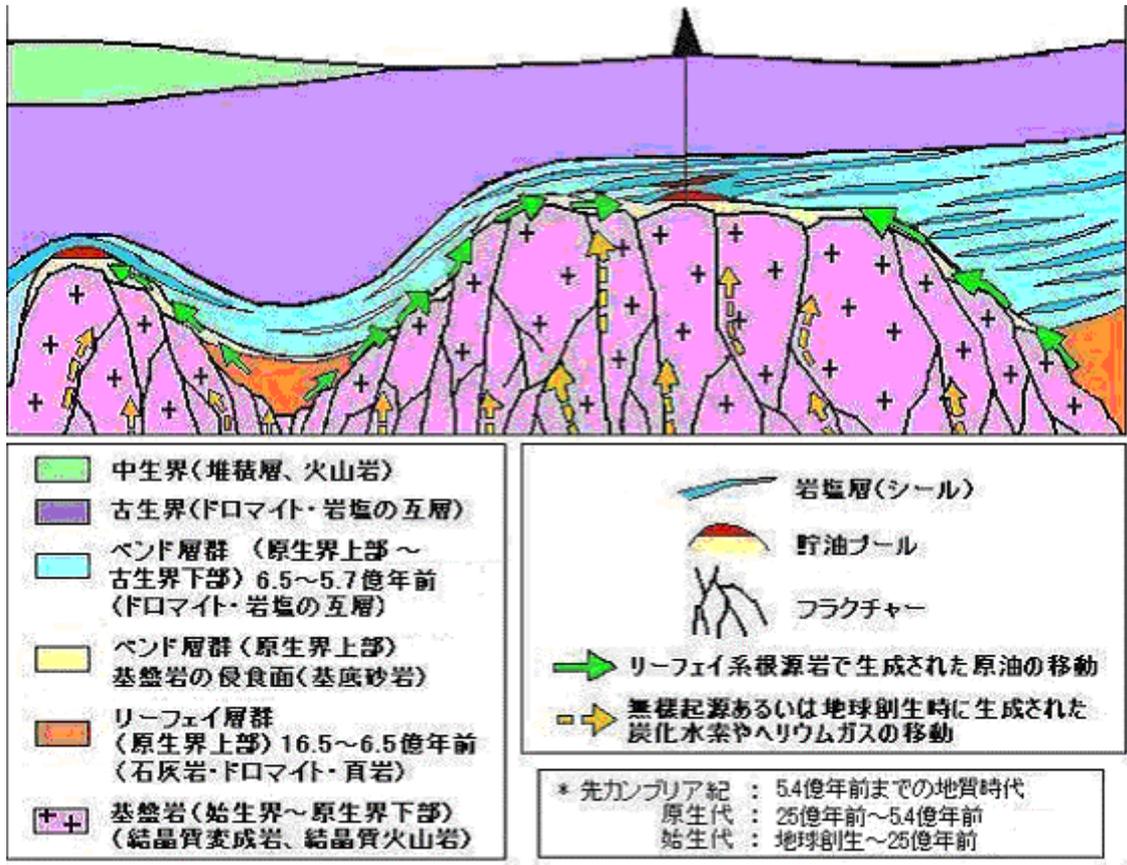
根源岩が付近にないことや、ヘリウムが多いなどの特別な地質的状況証拠から、筆者は、東シベリアでは、1) 無機起源の炭化水素⁴⁴⁾や、2) 地球創生期に取り込まれた地球外起源の炭化水素がヘリウムを伴い、基盤岩中の裂罅を経由して上昇した可能性⁴⁵⁾など、非在来型の探鉱プレイ⁴⁶⁾も考慮に入れる必要があると考える(図6)。

43) 地層傾斜が上方に向かう方向。ここでは不整合面(基盤岩上面)形状に沿った斜面の上方側を指す。

44) マグマ中の無機物質に由来した炭化水素。

45) 米国コーネル大、ゴールド名誉教授(天文学)の「地球深層ガス説」が著名である。地球深層ガス(1988) トーマス・ゴールド著、脇田宏訳、日経サイエンス(原題: Thomas Gold 1987, Power from the Earth)。

46) 石油・ガスのトラップを形成する可能性が高い地質構造や貯留岩、トラップ形態など地質的な条件を共有しているものをプレイと呼ぶ。また、試掘対象となるプロスペクト(prospect)やリード(lead)を、ある共通する条件でグループ化したものである。



(出所) 日本エネルギー経済研究所作成

図6 「基盤岩構造頂部プレイ」による油・ガスの移動を示す模式断面図

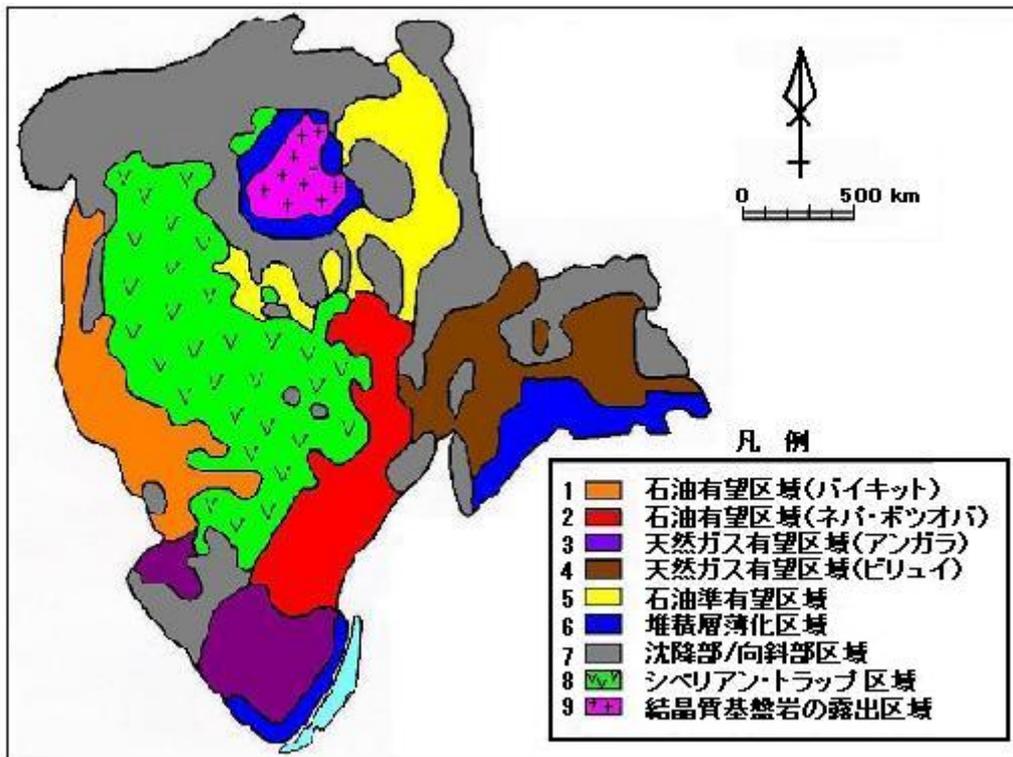
6. 東シベリアの石油資源量評価

本項では、筆者が実施した東シベリア地域(卓状地縁辺の堆積盆地を含む)の石油資源量評価を示す。今回の資源量試算は「バーレル/エーカー・フィート(bbl/AC・ft)法」⁴⁷⁾により実施した。この資源量評価では、1)シベリア卓状地では「基盤岩構造頂部プレイ」を狙った探鉱を行う、2)縁辺堆積盆地においては、盆地内に形成された背斜構造を対象とする従来の探鉱プレイを狙う、ことを想定している。

⁴⁷⁾ 「bbl/AC・ft法」とは、既探鉱面積あたりの既発見埋蔵量を基に未探鉱地域における究極資源量推定する手法で、未探鉱エリアの資源量を評価する一般的な手法である。

6.1 地質エリア区分

まず、現存するシベリア地域地質図⁴⁸⁾と深部地下構造図⁴⁹⁾に基づき、1) 地質区分(岩相/地質時代)と 2) 基盤岩上面の形状、などの地質状況の違いから東シベリア地域を9つの地質エリアに区分した(図7)。



(出所) 日本エネルギー経済研究所 各種資料より作成

図7 石油ポテンシャル別の地質エリア区分 分布図: 東シベリア

既発見油・ガス田が集中分布する2つの石油有望区域(1: バイキット、2: ネパ・ボツオバ)をまず抽出した。次に、ネパ・ボツオバ・アーチの北方延長部に連続して分布する基盤岩上面の高いゾーンを抽出し、これを 3: 石油準有望区域とした。また、コビクタガス田の位置するアンガラ・レナ・テラス地質区と、堆積盆地中央に発達したハプチャガイ隆起帯⁵⁰⁾に沿って分布する一連の中規模ガス田を含むレナ・ビリュイ向斜部を、各々天然ガス有望区域(4: アンガラ、5: ビリュイ)として区分した。さらに、その他のシベリア

48) 東シベリア地域および極東地域の500万分の1地質図(旧金属鉱業事業団編集、1987年版)

49) Tectonic Map of Oil and Gas Fields in Soviet Union, 1970, 1:2,500,000

50) 本村真澄(1980): シベリア卓状地の地質と炭化水素ポテンシャル(その2) - レナ=ヴィリュイ地域及びエニセイ=ハタンガ地域 -、石油の開発(石油公団) 1980年12月号。

卓状地外縁の陥没堆積盆地について7:沈降部/向斜部区域として一括し、結晶質基盤岩が露出するアナバル・アーチは9:結晶質基盤岩の露出区域として区分した。そして、結晶質基盤岩が露出する区域の周囲で堆積層が1,000m以下の薄い区域を抽出し、8:堆積層薄化区域として区分した。同様に、シベリア卓状地南東方の火成岩分布地帯に隣接する区域も、火山岩を覆う堆積層は次第に薄化していることが明白であり、8:堆積層薄化区域に含めた。最後に、筆者は、玄武岩質シル(sill:地層中を溶岩が平板状に貫入した併入岩)が厚く分布する区域を地質図より抽出し、6:シベリアン・トラップ分布区域とした(図7)。

シベリアン・トラップ

今から2.5億年前のP/T境界(古生代末の二畳紀と中生代初期の三畳紀との境界で、古生代に栄えた生物種の96%が短期間に地球から一掃された)に何か地球規模で急激な環境変化(全地球的酸素欠乏状態)が起こったことが知られており、その原因として隕石衝突説が有力である⁵¹⁾。最近、その証拠となる直径数十kmの隕石孔が、豪州北西沖の2.5億年前の地層中に発見され、話題を呼んでいる⁵²⁾。

この時期、シベリア各地で断層ブロック化が起こり、西シベリア地域が沈降を始めたことが地質状況から知られている。また同時に東シベリア地域では玄武岩およびドレライト(粗粒玄武岩)が広大に地表を覆い、三畳紀に入ってから火成活動が激しく続き、ドレライト(粗粒玄武岩)成分のシル(上述)が東シベリア楕状地の西部、中央部、北西部の一帯の地層中に貫入分布した。ドレライトシルの厚さは数100mから厚いところでは1,000mにも及び、これら一連の玄武岩質シルの分布域をシベリアン・トラップ(シベリア台地溶岩)と称する⁵³⁾。

シベリアン・トラップによって広域にマスクされた地域では、その下位の地質構造を震探により探鉱することが困難である(地震弾性波の減衰、高速度層である玄武岩層の下位に生じる擬似構造“プルアップ”現象などの阻害要因による)。従って、シベリアン・トラップの下位層にも油ガスが賦存する可能性は高いものの、探鉱活動に困難性がある特殊地域として、6:シベリアン・トラップ分布区域を区分した。

51) Powell, J.L. (1998): 白亜紀に夜が来る - 恐竜の絶滅と現代地質学 -、寺嶋英志/瀬戸口烈司 (2001) 訳、青土社、373頁。

52) Becker L., Poreda J., Basu R., Pope O., Harrison M., Nicholson C., Iasky R. (2004): A Possible End-Permian Impact Crater Offshore of Northwestern Australia, Science Express Research Articles (source: MSNBC News, May 13, 2004: Scientists find suspect in “Great Dying” impact, Did cosmic impact near Australia spark extinction?)

53) Nalivkin D.V. (1962): The Geology of the U.S.S.R., Tomkeieff 訳、Pergamon Press、p.18-p.38

6.2 既探鉱区域と炭化水素の期待発見率

東シベリア地域における炭化水素資源量の評価は、「油・ガスの期待発見率(EDR)」という概念に基づいて行った。区分した各地質エリア毎に、EDR 値を定め、それに地質エリア面積を乗じて資源量を試算した。EDR 値と資源量は次の式で求めた。

$$\text{EDR (期待発見率)} = A / B$$

ここで、

A : 各地質エリアにおける既知可採埋蔵量の合計 (C1 + C2 区分相当に換算したもの)

B : 既探鉱区域の面積 (km²)

$$\text{炭化水素資源量} = \text{EDR} \times C \times D \times E$$

ここで、

C : 各地質エリアにおける探鉱可能区域の割合 (%)

D : 各地質エリアにおける地壘 / アーチ構造または背斜構造が分布する割合 (%)

E : 各地質エリアの面積 (km²)

ここに提案した EDR 値は、今後各地質エリアの未探鉱区域において探鉱が進むことにより発見が期待される炭化水素量を、C1 + C2 区分相当量で示した指標である。

A : 既知埋蔵量 (C1+C2 相当量への換算)

西側の埋蔵量定義に基づいた、東シベリア地域の P50 ケース可採埋蔵量 (IHSE 社データ) の地質エリア分布を図 8 に示した。これによると、原油可採埋蔵量は 2 つの地質エリア「石油有望区域 (1: バイキット、2: ネパボツオバ)」に集中している。一方、ガス可採埋蔵量は 4: ガス有望区域 (アンガラレナ) に集中するが、5: ガス有望区域 (ピリュイ) や 7: 沈降部 / 向斜部区域にも分布している。

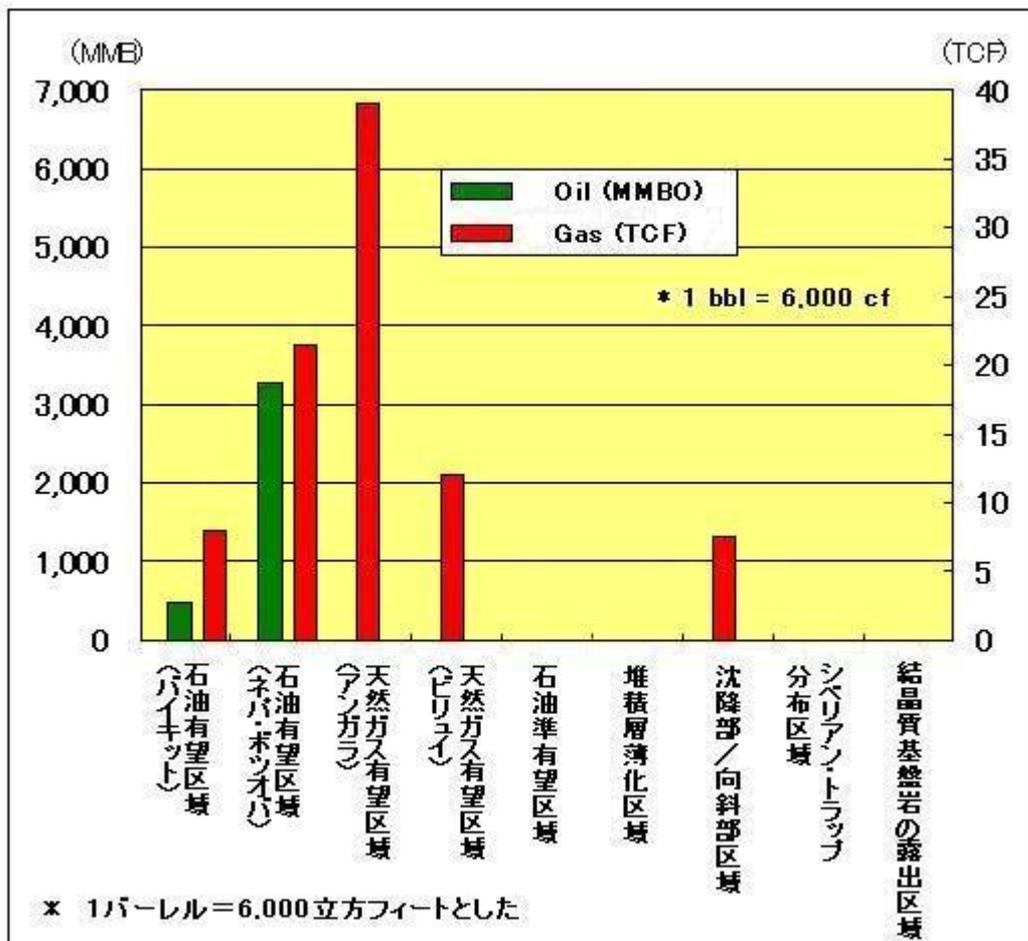
今回実施した資源量評価では、東シベリア地域の“地質”が本来持っている固有の石油資源ポテンシャルを掴むことを目的としている。従って、西側定義の P50 可採埋蔵量値 (確認+推定の一部) からロシア側定義の C1 + C2 相当量 (確認 + 推定 + 予想可採埋蔵量の一部) を求め、それを評価に用いた。C1 + C2 相当量は下記の式により、原油とガス各々について求めた:

$$\text{C1 + C2 相当量} = \text{P50 可採埋蔵量 (西側定義)} \times \text{R/W 比率}$$

ここで、

R： 5つの巨大油田のC1+C2埋蔵量値（ロシア側定義）の合計（原油の場合）

W： 5つの巨大油田のP50可採埋蔵量（西側定義）の合計（原油の場合）



(出所) IHSE 社データ等に基づき日本エネルギー経済研究所が作成

図8 地質エリア区分別のP50可採埋蔵量の比較

R/W比率は、東シベリア地域における5大油田と5大ガス田の埋蔵量値に基づいて求めた(表4)。巨大油・ガス田では多くの試掘井と評価井が掘られており、小規模油田に比べて埋蔵量評価がかなり進んでおり、ロシア側評価と西側評価との有意性のある比較が可能と考えた。両者の違いは、基本的に埋蔵量定義の違いに因る。従って、埋蔵量評価がよく進んだ油・ガス田においては、このR/W比率は本来、一定の値に落ち着くべき性格のものである。事実、ロシア側のA+B+C1区分の埋蔵量と、西側によるP50可採埋蔵量(確認+推定の一部)は極めて近似している(表1)。

表4 東シベリア地域の上位5油田と上位5ガス田の埋蔵量合計値

ロシア側評価と西側評価の比較

	ロシア側評価 (C1+C2) ロシア連邦 (2001) *	西側評価 (P50 可採埋蔵量) IHS Energy (2002)	R/W比率
原油 (MMBO)	5,928.1	3,381.2	1.75 倍
天然ガス (TCF)	137.6	56.1	2.45 倍

* ESI (国家地下資源省) 2001年1月現在

(出所) 日本エネルギー経済研究所作成

B : 既探鉱区域

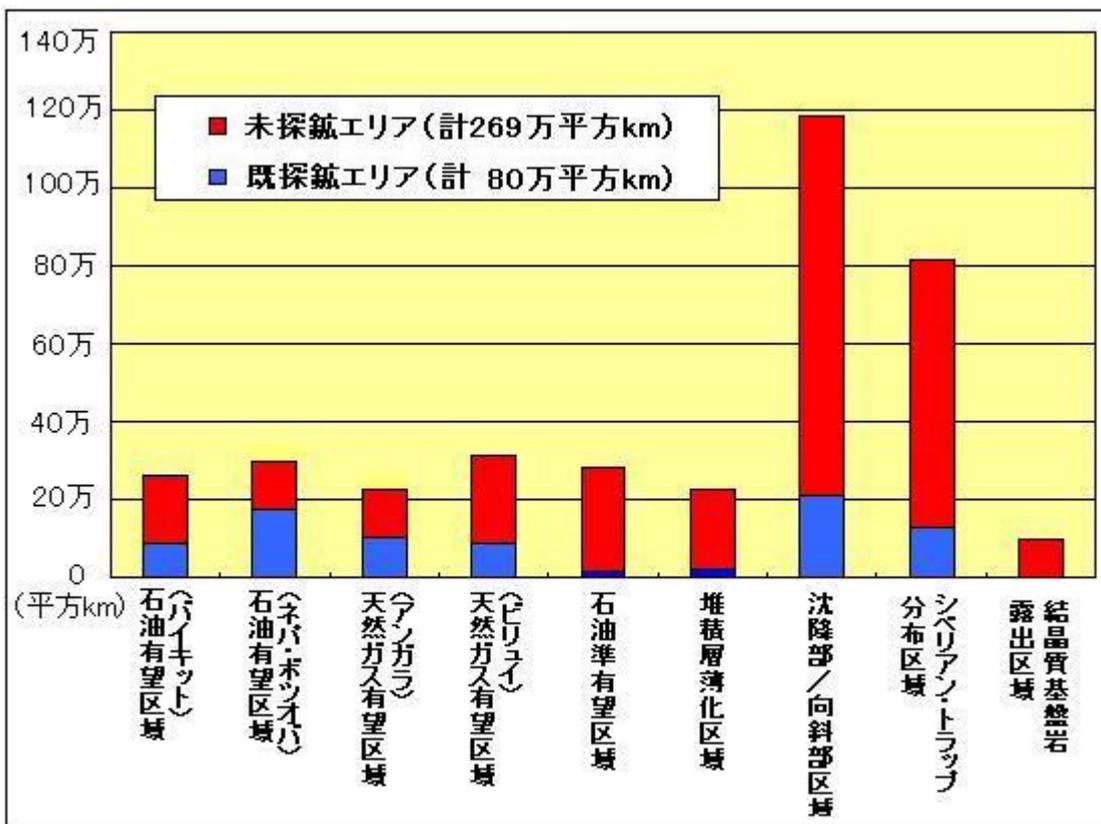
東シベリア地域で発見された油・ガス田のうち、原油可採埋蔵量 (P50) が数億バレルを超える油ガス田の貯油プール規模が凡そ 2,500km² に及ぶことから、筆者は、巨大油田を目指した探鉱が実施された区域と未探鉱区域との敷居値を「坑井密度 1 坑 / 2,500 平方 km」と設定した。すなわち、50km × 50km のグリッド内で試掘井が 1 坑以上あれば 10 億バレル (1BB0) 規模の巨大油田を目した探鉱が既に行われたものと見做した。

この基準に基づくと、東シベリア地域の計 368 万 km² に対して、その 22% である約 80 万 km² が既探鉱区域、残りの約 290 万 km² が未探鉱区域となる。各地質エリアにおける既探鉱区域と未探鉱区域の区分を図 9 に示した。既探鉱区域は主に 2: ネパ・ボツオバ区域、7: 沈降部 / 向斜部区域、6: シベリアン・トラップ区域である。

各地質エリア区分毎の既知可採埋蔵量 (P50) を示した図 8 と比較すると、既発見油・ガス埋蔵量は必ずしも既探鉱面積に比例しないことがわかる。これは、東シベリア地域において各地質エリア毎に炭化水素賦存の偏在性が存在することを示唆している。

C : 探鉱可能区域の割合

ドレライトシル (粗粒玄武岩質併入岩) は、6: シベリアン・トラップ区域のみならず他の地質エリアにも点在する。ドレライトが分布するそれらの区域では、効果的な地震探鉱を実施することが技術的に難しい。そこで、地質図からドレライトが分布しない区域を抽出し、各地質エリアにおいてその面積割合を「探鉱可能区域の割合」として求めた。また、堆積層が欠如する区域についても石油探鉱に適さないことから、それらも考慮して「探鉱可能区域の割合」を設定した。



(出所) IHSE 社データ等に基づき日本エネルギー経済研究所が作成

図9 地質エリア別の既探鉱エリアと未探鉱エリアの比較

D：地壘/アーチ構造または背斜構造が分布する割合

シベリア卓状地においては、「基盤岩構造頂部プレイ」によって油・ガス田が成立することを想定していることから、各地質エリアで基盤岩の地壘構造が存在すると目される区域を重力基盤構造の図面情報⁴⁹⁾から求めた。また、ピリュイやハタンガなどの堆積盆地においては、盆地内に発達したハプチャガイ隆起帯⁵⁰⁾などの局所的な背斜構造で油・ガス田が成立している。そこで、7：沈降部/向斜部区域と5：ガス有望区域(ピリュイ)では、地壘構造に代わって、背斜構造が存在する面積割合を想定した。各地質エリアにおけるこれらの面積比率を「地壘・背斜構造分布率」として設定した。

6.3 東シベリアの究極資源量の試算結果

上述した各種の想定パラメータを用いて、東シベリア地域における石油資源量試算の結果(表5) 東シベリア地域全体で原油：189 億バレル(可採埋蔵量 C1+C2 相当)と天然ガス：386 兆立方フィート(可採埋蔵量 C1+C2 相当)の値が得られた。原油資源量では、石油有望区域(2：ネパ・ボツオバ、1：バイキット)で各々92 億バレルと 19 億バレル

ル（共に可採埋蔵量 C1+C2 相当）また 5：石油準有望区域では 72 億バレル（可採埋蔵量 C1 + C2 相当）と試算された。これら 3 地域の合計は、全体の 97%を占める結果となった。

表 5 東シベリア地域における原油ガス資源量試算結果

地質区	EDR*を求めるパラメータ		資源量試算用パラメータ					油ガス資源量 試算結果
	埋蔵量 P50 × 1.75(油) P50 × 2.45(ガス)	既探鉱区域 (km ²)	EDR(原油) (MMB/km ²)	EDR(ガス) (TCF/km ²)	探鉱可能 区域(%)	地壘・背斜 分布率(%)	区域面積 (km ²)	
石油有望区域（バイキット）	原油 822.5 MMB ガス 19.6 TCF	90,000	0.00913	0.00021	70	100	260,000	1,908 44
石油有望区域（ネバ・ポツオバ）	原油 5,775 MMB ガス 51.5 TCF	170,000	0.03371	0.00031	85	100	292,500	9,240 84
天然ガス有望区域（アンガラ）	ガス 95.6 TCF	102,500	0.00091	0.00093	100	20	225,500	22 118
天然ガス有望区域（ピリュイ）	ガス 29.4 TCF	85,000	0.00091	0.00034	100	10	312,500	21 37
石油準有望区域	未発見	7,500	0.03371	0.00031	100	80	275,000	7,214 66
堆積層薄化区域	未発見	15,000	0.00913	0.00009	5	30	225,000	29 <1
沈降部／向斜部区域	ガス 19.6 TCF	207,500	0.00091	0.00009	100	10	1,185,000	89 27
シベリアン・トラップ区域	未発見	122,500	0.03371	0.00093	5	30	812,500	349 10
結晶質基盤岩の露出区域	未発見	0	0.00913	0.00093	0	10	97,500	<1 <1
東シベリア地域 計	6,597.5 MMB 215.7 TCF	800,000	* EDR: 油ガス期待発見率				3,685,500	18,872 386

（出所）日本エネルギー経済研究所作成

東シベリア地域における今後の主要な探鉱対象区域は以下のようにまとめられる：

- 1) 2：石油有望区域（ネバ・ポツオバ）および 1：（バイキット）における既存の油・ガス田の周辺に未探鉱で残っている断層ブロック。
- 2) 2：石油有望区域（ネバ・ポツオバ）および 1：（バイキット）で既に存在が知られているハイ構造（ネバ・ハイ、カモフ・アーチや、その他の小規模な基盤の盛り上がり構造）。
- 3) 探査が遅れているバイキット・アーチ北方延長部（1：石油有望区域内）における未確認地壘構造やハイ構造。
- 4) ネバ・ポツオバ・アーチの北部延長部である 5：石油準有望区域における未確認地壘構造やハイ構造。

6.4 アップサイドポテンシャル

バイキット・アーチの頂部一帯には、広大な未探鉱エリアが分布する。それゆえ、同アーチにおける現在の埋蔵量評価、特に C2 区分（推定 + 予想可採埋蔵量の一部に相当）は、評価者によるバラツキが大きい。実際、ロシア側が評価した 70.3 億バレル（A+B+C1+C2 区分）（表 2）は、西側が確率分布手法により評価した F5（未発見資源量、アップサイド）^{54）}の 29.8 億バレルに比べてもかなり大きい。ロシア側の評価に基づいた場合、バイキット・アーチにおける EDR（原油期待発見率）は 0.00913 から 0.078MMB/km² に跳ね上がり、これを東シベリア地域全体の地質エリアに適用すると、原油資源量は 672 億バレル（可採埋蔵量 C1+C2 相当）となる（表 6）。この膨大な原油資源量の可能性を否定する理由は、現在のところ見当たらない。

表 6 東シベリア地域、原油資源量ポテンシャル 評価結果
（アップサイドケース）

地 質 区	資源量試算用パラメータ				原油資源量 (MMBO)
	EDR(原油) (MMB/km ²)	探鉱可能 区域(%)	地塁・背斜 分布率(%)	区域面積 (km ²)	
石油有望区域（バイキット）	0.078	70	100	260,000	14,196
石油有望区域（ネバ・ボソオバ）	0.078	85	100	292,500	19,398
天然ガス有望区域（アンガラ）	0.078	100	20	225,500	3,518
天然ガス有望区域（ピリュイ）	0.078	100	10	312,500	2,430
石油準有望区域	0.078	100	80	275,000	17,160
堆積層薄化区域	0.078	5	30	225,000	263
沈降部／向斜部区域	0.078	100	10	1,185,000	9,243
シベリアン・トラップ区域	0.078	5	30	812,500	951
結晶質基盤岩の露出区域	0.078	0	10	97,500	0
東シベリア地域 計	* EDR: 油ガス期待発見率			3,685,500	67,200

（出所）日本エネルギー経済研究所作成

7. 結 語

今回、東シベリア地域の原油資源量を試算した結果、189～672 億バレルという値が得られた。これはロシア側の C1+C2 区分の可採埋蔵量に相当する値である。一般的に、探鉱

^{54）} 米国地質調査所が確率分布手法により評価したバイキットアーチの未発見資源量で、F95（95%の確度：0.15 億バレル）、F50（50%の確度：10.1 億バレル）、F5（5%の確度、アップサイド：29.8 億バレル）が導かれている。詳細は USGS(2001)：Petroleum Geology and Resources of the Baykit High Province, East Siberia, Russia, USGS Web-site

が進んでいない地域で原油資源量を「バーレル/エーカー・フィート法」で算出する場合、想定される根源岩の原油生成能力および原油排出能力から積み上げて試算することから、試算結果は「原始埋蔵量」見合いの数値で表すことが多い。しかし、今回の原油資源量評価では、既存の油田における可採埋蔵量値をベースに試算していることから、出された値は「可採埋蔵量」見合いである。もし、これを「原始埋蔵量」見合いで表すと600~2,200億バーレル（回収率を30%と想定した場合）相当になる。

今回の試算結果である189億バーレル（原油可採埋蔵量見合い）とは、年間8,800万トンで30年間の原油供給量に相当している。ただし、今回の試算で用いられたEDR（期待発見率）は「既探鉱区域内で今後大規模油田の追加発見がない」との前提に基づく値であり、それに基づいて試算された原油資源量は控え目な値と位置付けられよう。今回便宜上、既探鉱エリアと設定した区域内においても、少なくとも油層面積が50km×50kmに及ばない中規模クラスの油田は、今後さらに発見が続くものと考えられる。なお、2004年6月17日に東京で行われた「エネルギー・セミナー」では、ユーコス社副社長のLeonard氏は、ユーコス社が東シベリアの石油ポテンシャルについて評価した結果は166億バーレル（原油可採埋蔵量見合い）であると発表した（C1、C2×0.5、C3×0.25、D1×0.1、の総和）⁵⁵⁾。地質評価や試算方法が異なるものの、両者の評価結果は近似している。

東シベリアは、基本的に堆積盆地ではなく、逆に基盤岩が広大に盛り上がった地域である。こうした地質地域で石油探鉱が行われた事例は世界的に稀である。その西隣には世界で最も炭化水素ポテンシャルが高い西シベリア堆積盆地が分布するにも関わらず、そこでの探鉱事例が全く活かせない。ましてや、東シベリア地域では、未だ根源岩および石油システムが確立しておらず、これまで世界的に受け入れられてきた石油地質の概念を導入したのでは、同地域の石油ポテンシャルは解明できないのではないかと筆者は考える。

そうした地質状況にありながらも、ロシアではこれまで独自に探鉱を進め、ネバ・ボツオバ・アーチでは実に1,000坑の試探掘が行われており、もはや探鉱フロンティア地域とは言えないだけの地質的な絞り込みが完了しているようである。そして、世界最古の貯留岩に大量の原油が濃集していることが明らかなのである。既存概念に囚われず、従来無かった新たな地質概念を持ち込み、チャレンジしていく者にのみ、新規大規模油田を発見する権利が与えられるのであろう。

筆者は、これまでに述べたように、既発見油田は「基盤岩構造頂部プレイ」によって説明が可能と考えている。この「基盤岩構造頂部プレイ」の地質概念に基づき、今後の探鉱

⁵⁵⁾ 平成16年6月17日、キャピトル東急（東京）にて行われた「エネルギー・セミナー」における講演「Russian Oil Reserves, Production and Export Capacity」Ray Leonard, Vice President for Exploration and New Ventures, Yukos

対象として次のようなプレイが有望であると考え。まず第1に、ネパ・ハイやカモフ・アーチに代表されるような既知地壘／アーチ構造である。第2に、バイキット・アーチの北方延長部やネパ・ボツオバ・アーチ北部、並びにその北方延長部（5：石油準有望区域に相当）における未確認の基盤岩盛り上がり部（ハイ）である。

ベトナム沖では、花崗岩基盤岩の内部に発達した裂罅中から大量の原油を産出する事例が複数確認されつつある^{56) 57)}。また、ウェブ上の未確認情報によると、西シベリア盆地にも、原油および天然ガスの産出層の一部あるいは全体が結晶質基盤岩となっている⁸⁰の油ガス田が現存し、そのうちイエリーイガイ油ガス田、マローイチスコイエ油ガス田では、結晶質基盤岩内部（基盤岩トップより深度800～1,500m間）から原油と天然ガスを産出しているらしい（ウクライナ国家科学アカデミー、クラユシュキン教授⁵⁸⁾。「基盤岩プレイ」における「石油システム」は議論のあるところである。これら「基盤岩プレイ」の成功事例が増え、地殻深部から無機起源炭化水素が上昇している可能性が肯定されることにでもなれば、花崗岩基盤岩が広大に隆起している東シベリア地域においては、基盤岩上面付近の砂岩層やドロマイトのみならず、基盤岩自体（内部に発達した裂罅を貯留部とする）が新たな探鉱対象と見做されることになる。

原油供給地（東シベリア地域）と太平洋側の市場とが原油パイプラインで繋がれば、東シベリア地域において、こうした新規の地質概念を含む探鉱活動が促進されるであろう。そして、石油探鉱における新たな地質概念が各種評価されることになる。こうして東シベリア地域は、太平洋パイプラインを新規発見油田の原油で満たすだけでなく、世界規模の大型産油地域になる可能性を秘めている。逆に、パイプラインが無いままでは、既発見油田の開発も滞ったままで、ましてや新たな探鉱意欲も現れず、膨大な資源を眠らせたままである。

いつの時代でも、探鉱とは、誰もが想像しなかった地域にこそ最大のチャンスがある、と言えるのではないだろうか。 以上

お問い合わせ：ieej-info@tky.ieej.or.jp

56) 三菱石油(現 新日本石油開発)はベトナム沖のランドン油田から1998年より原油生産中であるが、同油田の油層は花崗岩基盤岩内のフラクチャーである(新日本石油開発(株)ホームページより引用)。

57) SOCO Vietnam社は、2002年にベトナム沖で4つの花崗岩基盤岩構造を掘削し、全ての坑井で原油の産出を確認した。そのうちNguua 0-1XとCa Ngu Vaug-1Xでは、各々花崗岩部分のみ389m間及び850m間をテストし、それぞれ330 b/dと3,100 b/dの産出を確認している(SOCO International社ホームページより引用)。

58) 出所：<http://www.gasresources.net/VAKreplytBriggs.htm>