

石油天然ガスなどの資源は百年先まで十分ある

— 重質油・シェールオイル・シェールガスの開発に よって埋蔵量評価が増大した炭化水素資源

(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構主席研究員 本村眞澄



1. 石油時代は環境浄化と森林回復 をもたらした

石油は、近代文明を支える代表的な資源と見なされている。そのせいか、大気汚染や熱帯雨林での森林伐採など近代文明の否定的な面についても、石油が元凶であるかのようなイメージが付いて回る。あたかも石油それ自身が自然破壊をもたらす物質であるかのようにである。しかし筆者は、実態はその真逆であることを強調したい。

ランプ油採取のために乱獲されていたクジラは、19世紀後半に石油が出現してランプ油の原料に取って代わってから、その個体数を回復することができた。石炭の塵埃で霧に覆われていたロンドン

は、第2次大戦後の石油の普及で、元の清潔な街に戻ることができた。自動車や航空機が石油なしでは動かないことは言うまでもない。石油の最大の功績は、人類のかなりの部分を過酷な労働と劣悪な環境から救ったことにある。

安藤広重の東海道五十三次などを見ると、江戸時代の日本の風景というものは、樹木が随分とまばらなのに驚く。人々はエネルギー源として主に木を切って使っていたからである。広重の他の浮世絵を見ても、木の少なさは共通している。森林に対する「過干渉」の時代は幕末・明治と続き、伐採が進んで森林は減少し続けてきた。しかし、エネルギー源を石炭そして石油に転換してからは回復に向かい、山からの砂の流出も大きく減少した。アマゾンなどで報じられている森林伐採

は、商品性のある木が生えている場所か、焼き畑農業などで農地転用が進められている場合であり、石油はむしろ森林の拡大に貢献している。バイオエネルギーへの依存が高すぎると自然破壊がもたらされ、化石燃料の使用によって環境に好影響が表れているのが実態である。

今はむしろ「山に芝刈りに」行く人がいなくなつて、日本では森林は一転、「管理放棄」となっていることが問題視されている。これへの反省から、例えばバイオマスエネルギー発電を普及させることにより、山での間伐材の採取がよい収入を生むようにして、適切な「森林管理」を取り戻す政策が試みられている。

化石燃料の第1号は石炭であった。それから、石油、そして天然ガスが利用されるようになった。即ち、固体、液体、

気体へと「進化」してきた。ただ、この中で一番扱い易いのは液体の石油である。

エネルギー革命は、まず石炭の利用から始まったが、石炭は大量の燃え滓を排出し、石炭の硫黄酸化物(SO_x)、窒素酸化物(NO_x)による汚染も凄まじいものがある。19世紀の終わりころに内燃機関が発明されたこと、20世紀に入って石油生産量が大きく増加してきたことを背景に、石炭から石油への転換が熱心に主張され始めた。英国では海軍の軍艦の燃料として石炭から石油への転換が論議されるようになった。石油は石炭の4分の1の重量で同じ出力があった。また、最大出力に達するまでに、石炭では4〜9時間もかかるところ、石油なら5分以内でピークへの到達が可能であった。また、搭載できる燃料の規模から、軍艦の行動半径では、石油艦は石炭艦の4倍の広さになったという。

しかし、何よりも石油が魅力的だったのは、燃料補給に要する手間が劇的に改善したことである。クレーンもなかった時代、石炭では水夫による袋運搬で積み込むより他なく、500人を動員して栈橋から甲板まで担ぎあげるのに5日間かかるところ、石油ならポンプによる給油で、12人ついて12時間で済むといった具合である。

合である。

1912年4月に、大英帝国の海軍大臣であったチャーチルは、英国海軍の主要艦に関して石油を燃料とするよう転換することを決定した。英国は石炭が豊富にあるものの、当時石油は全く産しないことから、これへの反対論が英国国内にもあった。石油の供給をバクーやベネズエラなどの情勢不安定な外国に頼るのは賢明でない、ウェールズなどで産する石炭に依存する限りエネルギーは安全ではないか、とする見解である。これに対して、チャーチルは石油の「供給源の分散化」によって、エネルギー供給の安全が保証される、そして安定して確実な石油の供給はビジネスを多様化することで可能になると反論した。実際、石油は供給の迅速性と柔軟性において大英帝国の安全保障に決定的な強みを発揮したと言える。チャーチルの展開した議論は、今日におけるエネルギーの安全保障論の嚆矢となっている。

2. 石油はあと何年あるのか？

(1) 石油の可採年数とは「その年まで販売できる石油を確保済み」という意味資源の指標の一つに「可採年数(Res-

erves/Production)」というのがある。埋蔵量をその年の生産量で割って得られる値である。これを特定の鉱山に対して使うならば「あと何年でこの鉱山は採り尽くす」という意味になるが、単一の鉱床ではなく資源全般に使うのであれば、意味は全く異なる。可採年数の本来の意味は、「何年先まで手当済み」ということである。もしも石油会社、油田から石油を生産して販売しながら、新たに石油を見つける努力を一切しなければ、言われてきた可採年数を経ると、石油会社には石油の「在庫」がなくなってしまう。しかし、当然のことではあるが、石油会社は資金を使い、新しい油田を発見する努力を世界中で展開している。こうして「資源の手当済み期間」は毎年先送りされていく。あくまで適切な技術を踏まえることが前提だが、多くの資金を使って探鉱を展開すれば、発見される石油の量も多くなる蓋然性が高くなる。資源量は個別の発見鉱床では所与のものかも知れないが、全世界で見るとそれは「投資の関数」とであると言って良い。

金属で見ると、銅の可採年数は37年と言われている。銅は殷の時代から、3000年以上使われて来た。あと37年でなくなってしまうと思う人はいないだ

ろう。1年経つと、可採年数が自動的に1年分減るといふ、機械のメーターのような世界ではない。今後の37年間というのは、世界の銅資源にとっての「手当済みの期間」であるに過ぎない。

(2) 石油で重要なのは「生産量と発見量の置き換え (Replacement)」という概念

40年前、石油はあと30年と言われていた。40年経ったら、石油はあと50年と言われていている。手当済みの期間が先送りされるだけでなく、可採年数自体が延びて来ている。何故だろうか？ 石油開発会社は生産した原油を販売しながら、さらに探鉱・開発を行い、新規の油田を発見していく。この時、毎年消費する石油を毎年発見される石油の量が上回っていれば、可採年数も延びて来る。また同時に、既存油田では3次元地震探鉱や水平井掘削技術の採用、各種の増進回収法によって石油の回収率を高め、確認可採埋蔵量を増加させることが可能である。このような可採年数はより延びてくる。

年間の新規確認分と生産量とを比較した「石油の置き換え率 (replacement-ratio)」が100%以上であれば「在庫」は嵩上げされていく。この半世紀間は、新規の油田発見が次々と成功し、更に石

油の探鉱・開発技術が大きく向上した。こうして世界レベルで石油・ガスの「在庫」が嵩上げされた時代と言える。

現状、石油は約50年先まで、つまり2070年頃まで手当済みであり、同時に新規の油田が発見されて埋蔵量に追加される営みが継続されている。21世紀の石油産業は極めて安泰であると言って良いのではないか。

3. 近未来ピークオイル論の問題点

2000年代に入った頃は、2010年前にもピークオイルが来るとする「近未来ピークオイル論」の議論が盛んであった。石油はあと数十年だと言っても、前述の通りこれまでも先延ばしになっており、今更驚く人はいない。しかし、あと数年で石油生産量がピークを迎え、以降石油生産が減少していけば、油価は高騰し、世界は少なくなった石油資源の争奪で大きな地政学的問題を抱える。とこう言えば緊迫感がでる。2005年、06年にはこの手の本が数多く出版された。

しかしながらピークオイル論者の手法は、当初から低めに見積もった地球の石油資源量を前提に石油生産予測をモデリングで求めたものであった。08年のリー

マンショックで世界経済が落ち込み、09年には世界の石油消費量もマイナス成長となった。これを捉えてピークオイル論者は、08年がピークオイルの年である、と宣言した。しかし、09年には米国の量的緩和策(QE)が始まって経済は持ち直し始め、10年には石油消費量も回復を見せ始めた。石油の消費量が減少したのは、経済が縮小したからであって、石油資源量に限界が見えたからではない。経済が回復すれば消費も伸び、供給もそれにつられて伸びる。こうして、ピークオイルというものが実態とかけ離れた議論であることが明らかになった。ピークオイル論者は自らのウェブサイトでピークオイルを示した図を削除せざるを得なくなり、この議論は急速に忘れ去られた。

ピークオイルの議論と並行して、石油資源に限界があるならば原子力で対処すべしという意見が出て来て、当時「原子力エネルギー」と呼ばれたことも記憶されねばならない。その頃、筆者の職場にも、ピークオイルを主張する人が「議論しましょうよ」と言って何度も電話を掛けてきたことがあった。この人は某商社のOBで原子力を担当していた。エネルギーの論議の背景には、関係する業界の利権構造があることを認識しておく必

要がある。

同時に、地球や環境の議論になると、地球に破滅が来るかのような議論が定期的に出てくることにも注目したい。古くは1798年に、マルサスが『人口論』を書き、人口は幾何級数的に増加するが生活資源は算術級数的にしか増加しないので、生活資源は必然的に不足する、と警鐘を鳴らした。1910年に地球がハレー彗星の尾を通過する際、天文学者が問題ないと言っているにも拘らず、新聞は人類が彗星の尾のガスで呼吸困難になると書き立てた。1972年にはローマクラブが『成長の限界』を発表して、人口の爆発的増加と経済成長が続いた場合には、人口、食糧生産、資源、環境などの問題で、100年以内に地球の成長は限界に達するとした。

これらの警告は結果的にはいずれも外れている。未来の「予定調和」を無条件に信じる訳にはいかないが、人類にはこのように時々主張される破滅キャンペーンを克服するだけの創造的な能力が備わっているのではなからうか。筆者は、このような現象から「恐怖はビジネスになる」と感じている。テレビなどでは定期的な「このままでは世の中は大変なことになる」と主張する論者が現れて話題となる

が、これは論者とテレビが組んだ新手的ビジネスの類であろう。米国の小説家マイケル・クライトン（1942～2008）は『恐怖の存在』という地球温暖化を壟断した自身の小説の中で、さる老人にこう呟かせている。「政治家は国民をコントロールするために恐怖を必要とする。弁護士は訴訟と金儲けのために恐怖を必要とする。マスコミは販売部数や視聴率のために恐怖を必要とする」

4. 非在来型資源（重質油、シェールオイル）の展望は

重質油・シェールオイルに関しては、2008年12月に米国商品取引委員会が、従来の非在来型という分類を廃して、通常の石油資源と見なすとしたことから、世界の石油確認埋蔵量は約3割増えた。これは、採取方法が異なっているにもかかわらず、市場に流通してしまえば差異はないとの考えによるものである。近年、石油の可採年数が大幅に延びた理由の一つがこれである。世界的に重質油の多い国はカナダとベネズエラで、ともに西半球にある。このため、石油埋蔵量世界第1位はベネズエラ、2位がサウジアラビア、3位がカナダとなっている。

シェールオイルは、主に石油の根源岩に対して水平坑井を掘削し、水圧破砕を何段も行って石油を産出するもので、2000年代に実用化された画期的な新技術である。その対象となるのは既知の油田地帯に分布する石油根源岩であり、生産のための集油パイプラインなど、かつての油田地帯にあったものが再活用されることが多い。油田の二毛作とも言えるので、新規の油田地帯が出現した訳ではない。米国エネルギー省の評価では、石油資源量を1割引き上げると推定されている。特にロシアの西シベリアは、米国の上回る資源量があると指定されているが、14年のウクライナ問題に端を発するEU、米国による対露経済制裁で、シェールオイルに関する技術の輸出は禁じられた。ロシアは独自技術で対応を試みているが、捗々しい成果に結びついていない。この他、アルゼンチンのアンデス山脈の麓にあるネウケン盆地で小規模ながら商業的な生産が始まっている。いずれも、地球の石油資源量は上乗せされる傾向にあり、長期的には可採年数の延びが期待される。

シェールオイルは近年米国の石油生産量を5割増しの日量900万バレル台に引き上げ、これが世界の石油供給過剰を

生み、14年以降の油価の下落に繋がった。16年2月には1バレル26ドルにまで下がった。17年1月から、OPECは減産で油価の引き上げを図っている。市場の課題は、過剰となった石油の在庫をいかに減らしていくかで、ようやく取り組める目途が立った段階である。

5. 今も新規油ガス田の発見は続いている

(1) 油田の新規発見

ピークオイルが近々やって来るという主張の根拠の一つは、近年は巨大油田の発見がなく、「発見ピークが過ぎれば生産ピークがそれに続く」状態になるからというものであった。しかし、実際には、2000年代に入っても在来型資源で有力な巨大油田発見のニュースが続いている。これらが、すぐに生産へと移行できるか、その油田の技術や経済の条件、或は石油価格の見通しなどにもよるが、中長期的には資源の世界に有利な状況を作ってくれるものである。

2000年代は、高油価を反映して新規の探鉱は活況を呈し、注目すべき新規発見が相次いだ。油価の低迷している現状では、新規の投資は当然控えらる傾向

向にあるが、今後油価100ドル台はあり得ないにしても、数10ドル台で安定すれば、探鉱活動は順調に進捗するものとの期待される。

この10数年間の、新しい油田やガス田が発見された地点を図1に示す。特筆すべきこととして、北カスピ海の巨大油田、ブラジル沖や西アフリカ沖合の10000m以深にある油田、豪州沖、東アフリカ

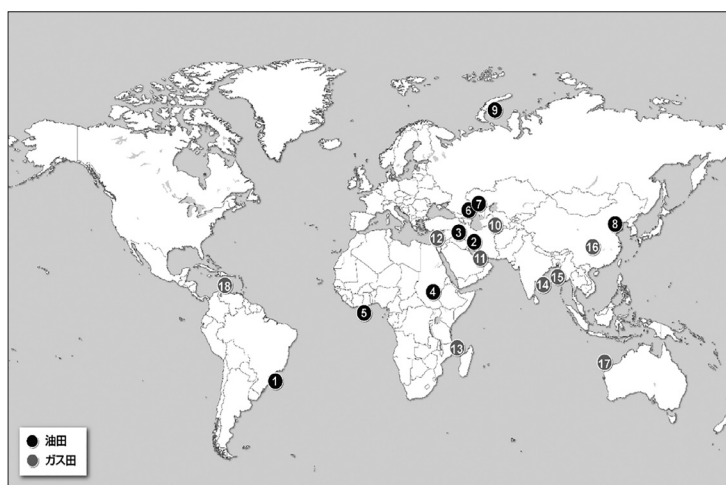


図1 近年の新規発見油・ガス田の地域分布(番号は表1、2参照)

沖の巨大ガスなどがある。特に、大水深技術の進歩が、油田開発の活動領域を大きく広げた。また、東アフリカ、東地中海等、従来評価の高くなかった地域で成功が相次いでいることは、3次元地震探鉱等の探査技術そのものの進歩も大きく貢献していることを示していると言つてよい。今後もこの効果は大きく続くものと思われる。それらの新規発見油田の一覧を表1に、同じくガス田の一覧を表2に示す。

新規発見油田に関しては、2000年から14年の15年間に発見された5億バレル以上の巨大油田は9地域を数える。その内訳は、南米のブラジル、特にリオデジャネイロ沖のサントス (Santos) 盆地(図中番号①)の岩塩層下位(プレッソルト)で8油田が発見されており、最大の新規油田地帯となった。特に2010年にはフランコ (Franco) 油田(可採埋蔵量54・4億バレル)、リブラ (Libra) 油田(50・0億バレル)等超巨大油田が発見され、その後もトゥピ (Tupi) 油田、ジュピター (Jupiter) 油田、イアラ (Iara) 油田、カリオカ (Carioca) 油田などの発見が続いている。ブラジルの大西洋岸では、更に北の海岸でも発見が続いており、対岸のアフリカ西岸でも成

表 1 2000年から2014年までの主要な発見油田

番号	国	堆積盆地	油田名	発見年	埋蔵量 (億バレル)
①	ブラジル	Santos	Franco 油田	2010	54.4
		同上	Libra 油田	2010	50.0
②	イラン	中央 Arabian	Yadavaran 油田	2001	35.9
③	イラク	Zagros	Shaikan1 油田	2009	22.0
④	南スーダン	Melut	Palogue 油田	2003	9.6
⑤	ガーナ	Tano	Jubilee 油田	2007	7.0
⑥	ロシア	北 Caspian	Filanov 油田	2005	11.1
⑦	カザフスタン	同上	Kashagan 油田	2000	130
⑧	中国	渤海	南堡(Nanpu) 油田	2005	10.4
⑨	ロシア	カラ海	Pobeda 油田	2014	10.0

功の報がある。大西洋の両岸は今後とも有望視される。中東では8油田が発見され、このうち超巨大油田として2001年のイランのヤダバラン(Yadavaran)油田②(35・9億バレル)、09年のイラクのシャイカ

表 2 2001年から10年までの世界の主要な発見ガス田

番号	国	堆積盆地	油田名	発見年	埋蔵量 (兆cf)
⑩	トルクメニスタン	Am-Darya	Galkynysh	2004	147
⑪	イラン	Rub' AlKhali	Kish	2005	48
	同	同	ForoozB3	2010	18.5
⑫	イスラエル	Levantine	Tamar	2009	9.1
	同		Leviathan	2010	16.0
⑬	モザンビーク	Ruvuma	Windjammer	2010	7.5
	同	同	Lagosta	2010	5.6
	同	同	Barquentine	2010	4.3
⑭	インド	Krishna-Godavari	Dhirubhai1,2	2002	7.0, 6.0
⑮	ミャンマー	Rakhine	Shwe	2004	4.7
⑯	中国	四川	普光Puguang	2003	12.4
⑰	オーストラリア	NorthCarnarvon	Pluto,Wheatstone	2004	4.6, 4.0
⑱	ベネズエラ	Perla	UpperGuajira	2009	10.5

ン(Shaikan)油田③(22億バレル)がある。アフリカでは03年のスーダン(現南スーダン)のパロゲ(Palogue)油田④(9・6億バレル)があり、アフリカ西岸では07年のガーナのジュビリー(Jubilee)油田⑤(7・0億バレル)の

発見も注目される。

旧ソ連ではロシア・カスピ海のフィラノフ(Filanov)油田⑥(11・1億バレル)、カザフスタン・北カスピ海のカシャガン(Kashagan)油田⑦(130億バレル)がある。カシャガン油田は30年来の大発見と言われ、昨年9月からいよいよ生産開始となった。日本企業も開発に参加している。

アジアでは05年の中国・渤海という伝統的地域において南堡(Nanpu)油田⑧(10・4億バレル)が発見されている。全くの新規地域としては、14年にエクソンモービルによる北極海のカラ海で、ポベダ(Pobeda)油田⑨(10・0億バレル)の発見があった。これは北極の石油の有望性を示すものとして注目されるが、ウクライナ問題の時期と重なり、欧米から技術供与が禁止されたため、事業はストップしている。

(2) ガス田の新規発見

次に新規発見ガス田に関して01年から10年までの10年間に発見された埋蔵量3兆立方フィート(以下cf)以上のガス田は35ある。地域別の発見ガス田の数としてはアジア・オセアニア地域が15と最も多くなっている。

この10年間で最大の発見は中央アジア

のトルクメニスタンで04年に発見されたガルキニシュ (Galkynsh、旧Yolotan-Osman) ガス田^⑩ (147兆cf) である。これは、膨大は埋蔵量を有しており、十分ロシアに対抗できる規模である。

中東ペルシャ湾のイランでは、05年に発見されたキシ (Kish) ガス田^⑪ (48・0兆cf)、10年のフォロズ (Forooz) B3ガス田 (18・5兆cf) がある。イランが、天然ガスの埋蔵量で大きな伸びを見せていて、BP統計では12年からイランがガス埋蔵量でロシアを抜いて世界一になっている。

注目されるものとしては東地中海イスラエル沖で09年に発見されたタマル (Tamar) ガス^⑫ (9・1兆cf)、次いで翌年発見されたこれを上回る埋蔵量を有するリバイアサン (Leviathan) ガス田 (16・0兆cf) がある。イスラエルはガスを自給できるようになり、更にはガスをLNGにして輸出できる可能性がある。東地中海の地質評価に大きな影響を与える大発見と言える。エジプト地中海のナイルデルタ沖でも、15年にガス田が発見されており、これからも東地中海では探鉱が活発化するものと期待される。

アフリカでは東のモザンビーク沖^⑬で10年に次々と発見されたウィンジャマー

ル (Windjammer) ガス田 (7・5兆cf)、ラゴスタ (Lagosta) ガス田 (5・6兆cf)、バルケンティン (Barguentine) ガス田 (4・3兆cf) がある。東アフリカは従来、タンザニア沖に小規模なガス田があるだけで、東地中海と並んでポテンシャルは低いと認識されてきたが、これらの発見により期待資源量の引き上げがなされてゆくと思われる。

アジア・オセアニア地域の新規地域としては、インド南東沖のクリシュナ・ゴダバリ (Krishna-Godavari) 盆地^⑭で02年に発見されたディルバイ (Dhirubhai) 1ガス田 (7・0兆cf)、同2 (6・0兆cf) があり、近隣でも複数のガス田が見つかっている。ミャンマー西岸では、04年に発見されたシュウェ (Shwe) ガス田^⑮ (4・7兆cf) があり、13年に中国の昆明までガス・パイプラインが引かれた。

既存地域としては03年の中国四川盆地の普光 (Puguang) ガス田^⑯ (12・4兆cf) 等や、オーストラリア北西大陸棚^⑰の4ガス田がある。その他ではベネズエラ沖のペルラ (Perla) ガス田^⑱ (10・5兆cf) がある。

このように、新規油ガス田の発見は順調に続いており、将来的な危機は当面予

想されない。

6. エネルギーの未来は予想するのではなく主体的に構想するべき

推定できる資源量を根拠に21世紀を通じてのエネルギー利用を構想するとまず、通減するとはいえ21世紀を通じて世界の人口は増加を続けると見込まれ、エネルギーも引き続き供給を増やしていかなければならない。これに対して、石油、天然ガス、石炭、原子力とその他の再生可能エネルギーをどう組み合わせていくかが問題となる。

2070年頃までの石油の資源量は既に手当て済みで、2100年まであと30年分の資源をこれから発見してゆかなくてはならないが、これまでの技術的経験則を当てはめれば達成に本質的な困難があるとは思われない。20世紀と21世紀の200年間で、石油は約4兆バレルが消費される。石油の既往消費量は1・2兆バレル、確認可採埋蔵量は重質油も含めて1・6兆バレルある。今後、既発見資源量から期待される埋蔵量成長と未発見資源量を合わせて、1・2兆バレルが必要となるが、これは現在の活動の成果に比較してそう難しい話ではない。

同時に、石油の需要に関しては2040年頃をピークに、以降はガスへの転換を増やす政策的誘導を図り、石油消費量を制限しつつ22世紀まで温存させたい。

天然ガスは、2011年の米国エネルギー省のレポートによれば、可採年数が53年分、未発見の残存資源量の可採年数が42年で、ほぼ100年分がある。更に世界のシェールガスを加えると59年分あり、21世紀のガス利用は安泰である。しかもこの推定には中東やカスピ海周辺は入っておらず、これを含めれば22世紀までガスの時代は問題なく続くであろう。再生可能エネルギーの利用については、先進国は勿論、途上国にまで拡大できるよう、技術革新とコストダウンを常に進めて、化石エネルギーはできる限り温存してゆく努力が求められる。

未来をどう構想するかという点に関して、エネルギー政策論の世界では「バックキャストイング」という考え方が広く取り上げられている。通常、過去のトレンドを未来に外挿的に延長することで未来を見据えた予測をする手法は、「フォークキャストイング」と言っている。そこではモデリングの手法が重用される。ピークオイルの主張もこのような方法論の一つであった。しかし、モデリングの有効

性は、予測と現実のマッチングの程度で推定されるに過ぎない。私たちはモデルに従い、ベルトコンベアに乗せられるように、或る定まった未来へと連れて行かれるのだろうか？そこには私たちの意思は反映されないのだろうか？

これに対して、「バックキャストイング」とは、在り得べき未来を構想し、そこから振り返って、それぞれの時点でのなすべき政策選択を導き出す (Setting policy goals and then determining how those goals could be met) という考え方である。21世紀を通じてエネルギーをどうするか、これは予測されるものではなく、適切な投資戦略を組んで主体的に選び取るものであろう。前述の通り、資源の埋蔵量は投資の関数であり、どのように投資するかを決めるのは我々自身である。

交通や石油化学の分野では、依然として石油が主要な資源として活用されると思われる。一方、発電、給熱ではガスへのシフトが進められるであろう。1次エネルギーの内電力はその4割程度であり、再生可能エネルギーがあくまで電力であることを踏まえると、これだけでは必ずしもエネルギー問題解決の切り札とはなり得ない。合理的な推計に基づいた

資源量を踏まえ、最適な未来社会を構想する議論が求められる。

このような考え方は、決して新奇なものではない。雄弁家として知られたアテナイの政治家ペリクレス(前490〜前429)も、「大切なのは未来を予測することではない。いかにそれに備えるかである」と述べている。バックキャストの考え方は、2500年前からあったのである。

(2017年4月6日・公開フォーラム)

筆者略歴(もとむら ますみ)

1977年東京大学大学院理学系研究科地質学専門課程修士修了。博士(工学)。77年石油開発公団(当時)入団、98年計画第一部ロシア中央アジア室長。2001年オクスフォード・エネルギー研究所客員研究員。04年独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)調査部 主席研究員(ロシア担当)。

著書『石油大国ロシアの復活』(アジア経済研究所)、『化石エネルギーの真実』(石油通信社)、『日本はロシアのエネルギーをどう使うか』(東洋書店)