



基調講演
講演概要

「EEFA 5年間の活動と今後の展開」

平成18年12月11日に食料とエネルギーの自給自足を目指して設立されたEEFAも今年で5周年を迎える。本講演ではこの5年間の活動実績と、それを踏まえた今後のさらなる展開について述べる。

学歴：

昭和42年3月 京都大学理学部地球物理学科卒

職歴：

昭和42年4月 石油資源開発㈱入社
昭和61年8月 同 社 退社
昭和61年9月 京都大学工学部講師
昭和63年4月 同大学 工学部助教授
平成8年11月 京都大学大学院工学研究科資源工学専攻教授
平成15年4月 同大学 同研究科 社会基盤工学専攻教授
平成18年12月 NPO 法人環境・エネルギー・農林業ネットワーク理事長
平成19年3月 京都大学定年退職
平成19年4月 京都大学名誉教授

学位：

昭和61年4月 東京大学工学博士

賞罰：

物理探査学会論文賞（昭和55年）物理探査学会論文賞（平成2年）日本材料学会論文賞（平成9年）
物理探査学会功劳賞（平成10年）

主要な役職：

日本学術会議第19期会員、日本学術会議第20期、21期連携会員、(社)物理探査学会元会長、
経産省国内石油・天然ガス基礎調査実施委員会委員長、(社)エネルギー・資源学会理事、
(社)日本工学アカデミー理事、温泉学会理事、(財)協和協会理事

著書：

土木・建設技術者のための物理探査、森北出版
図解 物理探査、物理探査学会
物理探査ハンドブック、物理探査学会
地盤工学への物理探査技術の適用と事例、地盤工学会
地図環境情報学、山海堂

物理探査学会創立 60 周年記念講演

21 世紀は資源争奪の時代
—持続可能・地方分散型社会
構築に向けて—

芦田 譲*



要 旨

現代社会は、電力、工業化学、農業、漁業、運輸等の産業のあらゆる分野において石油に依存しています。まさに石油依存症であります。この頼りとする石油は化石エネルギーであり有限です。したがって、石油に依存している各分野において、脱石油対策を練らなければなりません。これら諸問題の解決策の一環として、地球温暖化の原因の炭酸ガス増加への短絡的帰着、原子力発電拡大への回帰、石油代替エネルギーとしての宇宙発電やメタンハイドレート、バイオマスエネルギー利用技術等への研究開発費の増加等が生じています。科学的根拠に基づいた国家戦略としてエネルギーの基本戦略の早急な策定が必要であります。21世紀の人類の存亡に関わる課題の解決に対する根本思想として、科学技術のみですべての解決を図るのではなく、「もったいない」等の、自然との調和を目指す思想に基づいた持続可能・自給自足・地方分散型社会の構築が必要です。

キーワード：オイルピーク・持続可能・自給自足・地方分散型社会

1. はじめに

最近、国内外の学会、マスコミ、メディア等を通じて「オイルピーク」という言葉を耳にします。これは世界の石油生産がピークを迎え減退に転じるというシナリオであります。石油生因説として有機説をとろうと、無機説をとろうとも、石油は化石エネルギーであり、有限であることに変わりはありません。有限なものを生産、消費するときには、必ず生産のピークがあります。問題はそのピークがいつかあります。それは究極可採埋蔵量、価格/財務条件、インフラ、探鉱投資、回収率等によって変わってきます。究極可採埋蔵量については、3兆バレルであるという説から1.8兆バレルであるという説があります。また、オイルピークの時期については、2005

年だったとする説、2010年頃、いや2050年以降、さらには280年先だとする説が入り交じっています。ピークとかバブルが厄介なのは、その真っ只中にある時はそれと気付かないで、終わってから、あの時がピーク、バブルだったと気付くことでもあります。したがって、先を予測し、SWOT解析を行い、対策を行う必要性があります。

2. 世界のエネルギー事情

現在のエネルギー事情をみると、供給については、北海油田の減退が予想以上に激しく、サウジアラビアの油田に水がついてきています。石油発見のピークは、もう40年前に過ぎています。また、アメリカには石油生産の

ピークは2005年であったという人もいます。

一方、石油の需要は、BRICs 諸国の近代化によって急激に伸びています。石油はなくなりはいませんが減退し、安く豊かな石油から高く乏しい時代になっていきます。現在の石油価格の乱高下の原因としては、ピークオイルの浸透による供給逼迫感、オイルマネーの流入、およびサブプライムローンの破綻によるアメリカ経済の証券会社、銀行の救済が考えられます。当然、需要と供給の関係で油価が値上がりします。2005年は、バレルあたり60ドルでしたが、2008年には一時バレルあたり約150ドル近くになりました。私は70~100ドル位が適切な価格ではないかと予測しています。

エネルギー問題というのは、国家の安全保障上、非常に重要であります。現代社会はエネルギー、工業原料、運輸、食料において石油、天然ガスに依存しています。防衛上の観点からも石油がなければ自衛隊の戦闘機、艦船は機能しません。国内の油、ガス田は一種の地下備蓄と考えられます。地上や洋上タンクとかで現在、150日分の備蓄をしていますが、油、ガス田を見つければ、小なりといえども、10年か20年の備蓄ができるわけです。だから、オイルピークといっても、探鉱をやめると言っているわけではありません。うまく使えばこれほど便利なものはないわけで、もっと探鉱は積極的にやるべきであると考えます。

石油の代替りのエネルギーがあれば問題はありません。石油の主な用途としては発電と工業原料と輸送があります。発電は太陽光、バイオマス、風力、原子力等で賄い、炭化水素は石炭、バイオマスからとってこざるを得ません。だから、戦略としては発電や工業原料は石油、天然ガス以外で賄い、石油、天然ガスを輸送の方に回して、できるだけ長持ちさせようということになります。

燃料電池、水素はどうかというと、燃料電池に必要な水素は、石油・天然ガスからのものを使っています。また、燃料電池の電極触媒に白金を使っていますが、白金の可採年数は、もう30年をきっています。さらに、水素は空気中にはほとんどなく、水という形であり、電気分解するのにコストがかかります。

日本周辺海域には、メタンハイドレートが日本の天然ガスの年間消費量の100年分あるという説があります。メタンハイドレートとはメタンガスがシャーベット状の水の中に含まれています。したがって、井戸を掘っても出てきません。熱を加えるか、減圧して固体を液体が気体にする必要があります。私はメタンハイドレートの開発をやめるべきだといっているのではなく、基礎的な研究はやるべきだと考えます。しかし、現在のところ、資源としては存在しても、エネルギーとしては使えないということです。

資源とエネルギーの違いはコストであります。資源と

して存在しても、コスト的に合わなければ使われません。日本には石炭は資源としてはありますが、採算が合わないためにエネルギーとしては使われていません。資源は、どこに、どういう形で、どのくらいの密度であるかということが重要であります。例えば、太陽エネルギー、海水中のウラン、金等の資源は大量にありますが、密度が薄いです。だから、それを集めるのにコストがかかります。一方、ウランとか金鉱床というのは地球が長い年月かけて凝集してくれました。だから、それを見つけて採り出せばいいわけです。さらに、蜜蜂を考えると、ミツバチが花の中に分散している蜜を集めてくれています。さらに受粉もやってくれます。これを人間がやると、大量のレンゲ畑を作って蜜は採りますが、大量の廃棄物を出すことになります。

エネルギーの利用価値を評価する指標として、EPR (Energy Profit Ratio: エネルギー利得率)があります。これは出力のエネルギーを、それを得るのにかかった入力エネルギーで割ったものです。1なら損得なしです。1以下なら損になります。10のエネルギーを得るのに20使うなら、エネルギー的に損失だからやらない方がいい訳です。我々はEPRでエネルギーを評価すべきであると主張しています。

R/Pというのは、現在の確認可採埋蔵量をその年の生産量で割ったものです。石油のR/Pは40年位前から30~40年で、現在も40年です。だから翻って考えれば40年たっても、まだ40年あるのではないかという議論が出ています。しかし、これは間違っています。なぜかといいますと、40年前は地下を採る技術は大したことなく、アクセスのできる所しか探していませんでした。今は、地下を採る技術は非常に高度な技術になっており、あらゆる所を調査しています。こういう状態の40年というのは非常に厳しい訳です。今までは新規の埋蔵量の発見がありましたが、今後は新規の埋蔵量の発見が少なくなってくる。

表1 石油発見量の歴史と現在の消費量

時 期	年平均石油発見量 (10億バレル)
1945~1960	35
1970~1990	23
1990~1999	6
1990~1999	年平均石油消費量:25

表1に1945~1960、1970~1990、1990~1999年の期間における年平均の発見量と1990~1999年における消費量を示します。これによると、1990~1999年にかけて毎年発見量の4倍もの量を消費しているのがわかり

2008年10月22日創立60周年記念式典

(於 タワーホール船堀 東京)

* 京都大学名誉教授 NPO 法人環境・エネルギー・農林業ネットワーク理事長
〒629-0113 京都府南丹市八木町刑部片山19番地

ます。図1は1930年から現在までの石油の発見量と生産量を示します。これによると、石油発見のピークは1967年であり、1980年には生産量が発見量を超えています。

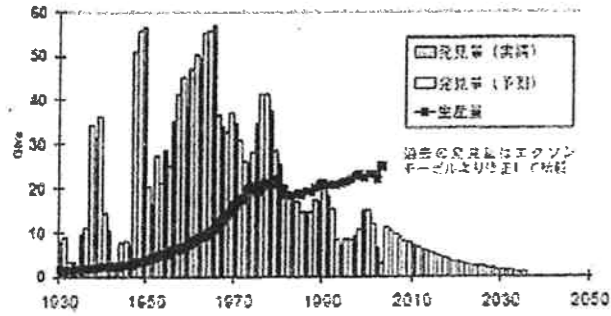


図1 石油発見量と生産量の格差

世界最大のガワール油田は1948年に見つかっていますが、幅50km、長さ280kmもの大きさです。次に大きいのがイラク戦争の時にイラクが火をつけていったクウェートのブルガン油田で、1985年に見つかっています。それに比べて、大慶油田や北海油田は非常に小さいものです。大きなものは当然見つけやすいですから、現在はある程度大きなものは見つけてしまったと言っても過言ではありません。だから、これから小規模なもの、条件の悪い所のものを探していかなるを得ません。

図2はハバートがマルサスの人口増の理論を用いて石油の埋蔵量の予測をしたハバート曲線といわれるものです。マルサスの人口論とは、人口増加は人口に比例するが、病気とか食料事情の悪化による減少は人口の2乗に比例するという説です。ハバートはこの考えを石油の埋蔵量の予測に適用しました。究極埋蔵量をシグモイド関数で近似し、そのパラメータは過去の生産量データから決め、毎年の生産量はシグモイド関数を微分して求めます。キャンベルはこのハバートの予測に基づき、アメリカの石油生産のピークが1970年であり、究極埋蔵量は1.8兆バレルと予測しました。しかし、オイルショックとかがありますと、少しピークがずれてきます。これをとらえてハバートの説は間違いであると言っている人もいます。

一方、石油はまだあると主張する人がいます。価格/財務条件が改善されたり、パイプライン等のインフラが整備されたり、探鉱投資が多くなり、回収率が向上すると、それはどんどん増えていくという楽観論です。

究極埋蔵量の予測に対して一番悲観的なキャンベルは1.8兆バレルだとしています。一方、楽観論者はアメリカの地質研究所です。彼らは数学的なモデルではなく、探鉱、堆積盆地のデータを持っていますから、それによる推定の埋蔵量は3兆バレルであるとしています。しかし、3兆バレルであるということは、これは限りが

あることを自ら認めていることになります。1.8兆バレルで可採年数が41年だとすると、3兆バレルを単純に比例計算しますと68年になります。41年が68年になるだけで、時間稼ぎはできますが、根本的には変わりません。

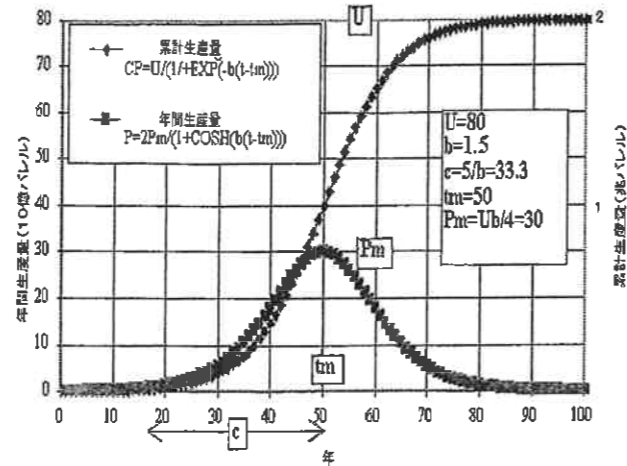


図2 ハバート曲線 (累計生産量と年間消費量)

石油が無くなっても天然ガスがあるという話が出てきます。天然ガスは石油ともともとでき方が同じなのです。石油ができ、さらに温度が上がり熟成が進むと天然ガスになります。天然ガスのR/Pは65年といわれています。楽観的なアメリカの地質研究所は130年だといっています。可採年数は可採埋蔵量をその年の生産量で割っていますから、石油が少なくなって、天然ガスをどんどん使っていくと、例えば生産量が年間5%ずつ増えて行きますと、複利で計算しますから、130年といっても40年になります。

図3は国際エネルギー機関による予測であります。これによると、既存油田からの量は、2004年頃から減退します。新規の生産井の掘削による既存油田からの増産、回収率向上による増産、オイルサンド、オイルシェール等の非在来型油田の開発を加えても、需要を賅うためには、新規の油田を見つけなければなりません。さらに、図4は最大手の石油会社であるExxon-Mobilによる予測です。これによると2004年をピークにして、生産量は減退し、探鉱投資による増産を加味しても、毎年4~6%生産が減少します。したがって、急激に増加する需要を賅うには、新しくエネルギーを調達しなければなりません。一方、日本の経産省の2030年におけるエネルギー需要予測を図5に示します。これによると、油価が上昇すると、それまで生産できなかったオイルサンドやオイルシェールが開発可能となり、2030年でも十分な供給量があるとしています。また、日本の石油連盟の石油・天然ガス資源の供給量に関する見解を図6に示します。こ

れによると究極の可採埋蔵量は280年としています。オリノコ重油やオイルサンドは、生産するのにコストがかかることから、一部の条件のいい所しか開発されていません。したがって、資源量としてあっても、エネルギーとしての利用は当面見通しが立っていないのが実情であります。

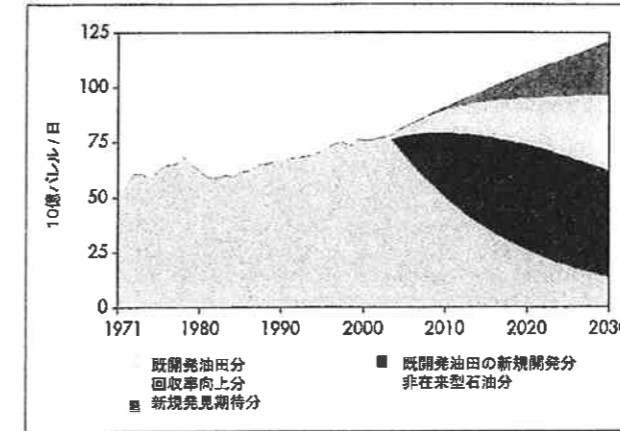


図3 国際エネルギー機関(IEA)による世界の石油需給予測

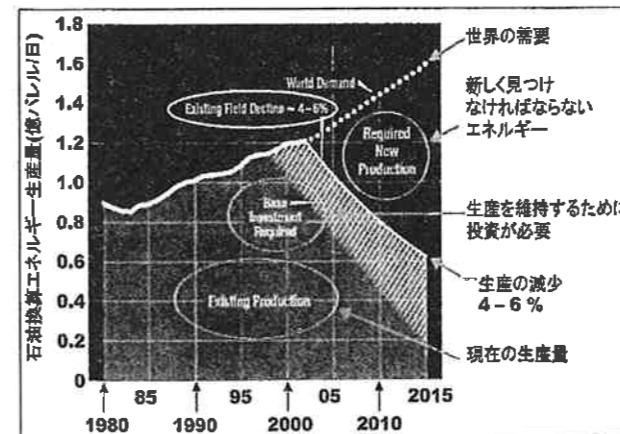


図4 Exxon-Mobilの石油需給予測

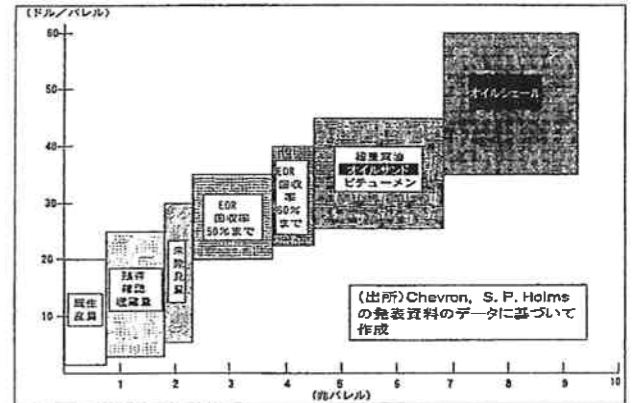
アメリカのブッシュ前大統領は2006年の一般教書で、「脱石油依存症」を宣言し、エタノール燃料の開発に本腰を入れると述べました。オイルピークが2005年か2030年以降であるかによって、リスクの程度が全く異なってきます。したがって、将来を予測し、SWOT解析(Strong, Weak, Opportunity, Threat)し、リスクマネジメントを行い、複数のシナリオを用意する必要があります。

3. 3次元物理探査

地下を詳細に調べるには地下を3次元的に診る必要があります。図7は女性の絵です。これは若い女性とも年をとった方とも、どちらにも見えます。真実は一つです

から、どちらかが間違っています。間違いはもともと3次元のものを2次元に閉じ込めたことから生じています。回転情報を与えれば、どちらかすぐにわかります。そのためには、3次元調査をする必要があります。

海上で3次元調査をするには、図8に示す専用の物理



出典：第1回需給部会配付資料(日本エネルギー経済研究所)

図5 経産省のエネルギー供給予測

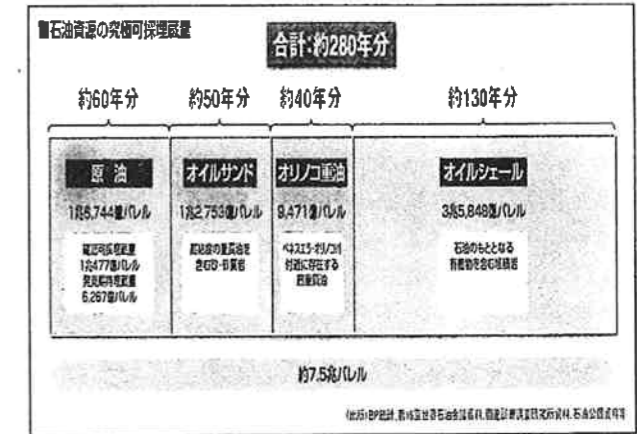


図6 石油連盟の石油供給予測



図7 3次元調査の必要性

探査船が必要です。空気を圧縮して海中に瞬間的に放出

して人工地震を起こし、地震計を25~50m間隔で100個位内蔵したケーブルを10~20本位ほど引っ張り、GPSで位置を測りながら時速5ノット位の速度で3次元調査を行います。3次元調査は30年ほど前から世界では当たり前になっています。

図9の断面は、東北地域での海上の反射法地震探査記録です。2001年、深度4,000mまで井戸を掘りました。ガス層が4層あり、テストした2層から一日28万m³の石炭起源のガスが出てきました。常磐沖から三陸沖、勇払、夕張、稚内、サハリンにかけて、昔、湖だった所が石炭起源のガス田として注目されます。

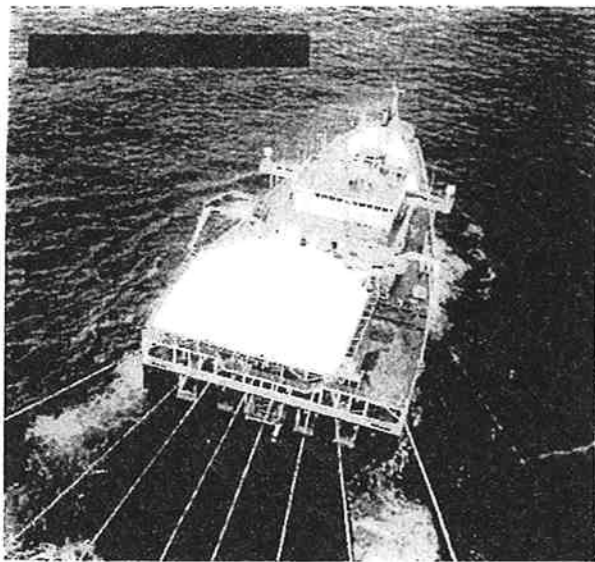


図8 3次元物理探査船「資源」

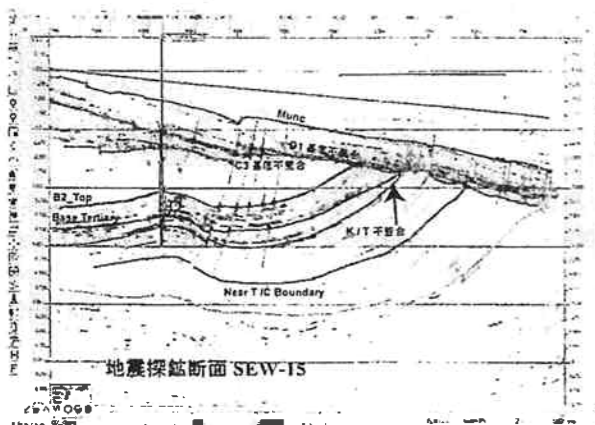


図9 反射法地震探査断面図

図10は岩船沖油・ガス田です。油田の開発にかかる費用は物理探査に数億円、試掘井を1本掘るのに大体3,000m位の深度で数十億円です。現在、掘削リグの賃借料が物すごく上がってしまっていて、1日リグを雇うのに4,000万~5,000万円です。この試掘井で油が見つ

ていますが、廃坑にします。さらに、何本かの試掘井を掘り油田の広がり調べて一番条件のいい所に生産プラットフォームを設置し、そこから、生産井を枝掘りして開発します。生産プラットフォームの建設に大体数百億円かかります。

物理探査:数億円
試掘井掘削:海上、深度3000mで数十億円/1本
プラットフォームの建設:数百億円

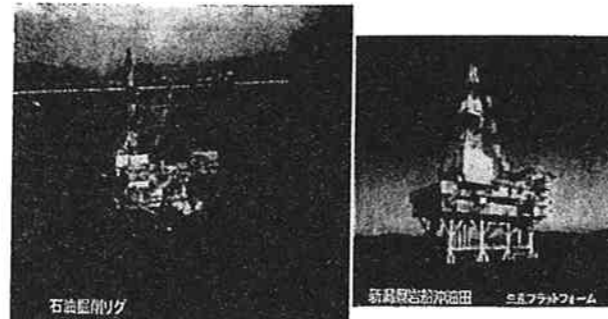


図10 石油開発のための費用

4. 食料・金属資源・水問題

図11に示すように、石油だけでなく、金、銀、銅、鉛、亜鉛等の金属資源の可採年数も、鉄は70年と比較的長いですが、その他は50年を切っています。さらに、液晶パネルの材料であるインジウム、燃料電池の電極触媒としての白金、自動車用薄板に必要なモリブデン、超硬金属用のタングステン、特殊鋼用のクロム等のレアメタルも世界的な工業化によりその供給が問題になっています。さらに、レアメタルには、それ独自の鉱山から採掘されるのではなく、金、銀、銅、鉄の主要鉱物の付属物として生産されます。したがって、主要鉱物の鉱山が閉山すると、レアメタルも採れなくなるという問題があります。この例としては北海道豊羽鉱山の2006年3月の閉山により、世界第2位の生産量を誇っていたインジウムも産出しなくなったことがあげられます。

肥料の3要素である窒素、リン酸、カリのうち、リン酸の供給も問題となっています。リン酸は動物の骨に含まれるリンが、化石として凝集したり、鳥が餌として集め、さらに糞として凝集してできた鉱石を、硫酸で溶かして作られます。世界のリン鉱石の生産量と可採年数を表2に示します。日本はリン鉱石は産出せず、全量を輸入に頼っています。日本のリン鉱石は、最も多く産出するアメリカからは入って来ていません。アメリカは世界最大の産出国でありながら、可採年数が約10年であることから、リン鉱石の輸出を禁止したからです。

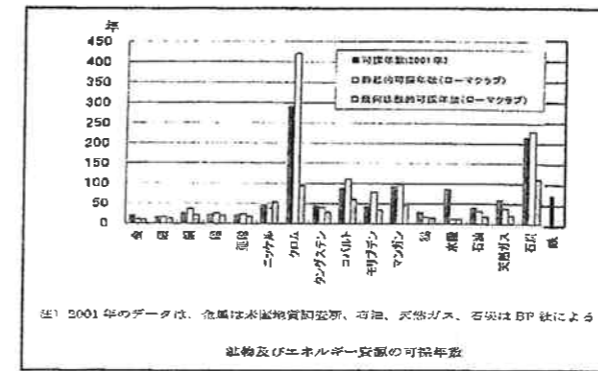


図11 金属資源の有限性

表2 世界のリン鉱石の埋蔵量と可採年数

国	生産量 (%)	可採年数 (確認鉱量による)
アメリカ	24	7-13
中国	17	
モロッコ	17	63
ロシア	8	
チュニジア	6	17-10
ヨルダン	5	1-3
ブラジル	3	1-2
南アフリカ	2	3-22
シリア	2	
その他	16	

図12は主要国のカロリーベースでの穀物自給率の推移を示します。これによると、アメリカ、フランス、ドイツ、イギリスは75%以上、表にはありませんが中国も90%です。一方、日本は1970年の60%から減り続け、現在は40%を切っています。

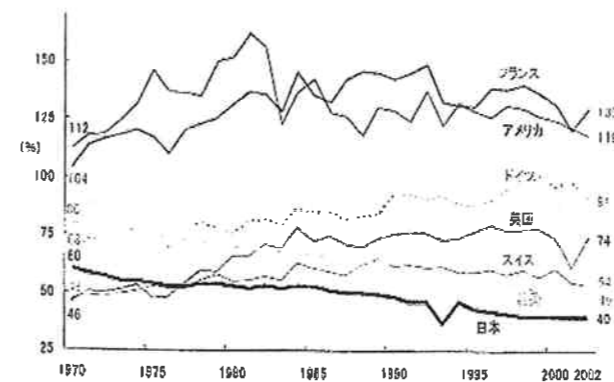


図12 主要国の穀物自給率の推移

地球上には14億km³の水がありますが、そのうち97.5%が海水で淡水は2.5%です。しかも、淡水の大部分は北極・南極の氷で、河川、湖沼の水はわずか0.01%

です。人類は食料なしでは1ヶ月、水なしでは1週間しか生存できません。したがって、飲料水の供給はエネルギーの供給以上に重要な課題です。最近、日本の企業が宇宙航空研究開発機構(JAXA)の協力を得て、最小1千万分の1mmの孔径の逆浸透膜を用いた小型、可搬式の浄水装置を開発しました。これにより海水の安価な淡水化も可能です。

5. 大陸棚画定

日本の領土が、うまくすれば戦争をしないで3倍になります。国連の海洋法条約があり、1996年7月20日に日本が調印しました。7月20日が海の日になったのはこの日に因んでいます。この条約は非常に複雑ということで、国連内に大陸棚限界委員会ができ、科学的・技術的ガイドラインが1999年5月に公布されました。この時から10年以内にレポートを出して国連が審査して認めれば、それはその国の大陸棚になります。だから、今の経済水域の200海里から大陸棚が広がる可能性があります。

大陸棚画定のルールとして、まず通常則として、大陸棚斜面脚部、すなわち、大陸棚斜面の最大傾斜点から60海里、あるいは、堆積層の厚さが大陸棚斜面脚部からの距離の1%になる地点のどちらか遠い方があります。ただし、これには制限則があり、水深2,500m+100海里、あるいは350海里のいずれか遠い方です。しかし、通常則が適用できない場合は陸続きであるということ自分で証明する必要があります。日本は残念ながら堆積層が薄く、水深2,500m+100海里は200海里の中にあります。だから、日本は大陸棚斜面脚部+60海里、あるいは350海里でいくか、陸続きであるということ証明する必要があります。大陸棚の延長が認められない所は、今までどおり200海里です。国連は係争地域、たとえば日韓、日中の大陸棚画定問題には関与しません。

図13は大陸棚の定義を具体的に示します。領海が12海里、排他的経済水域(EEZ)は200海里です。大陸棚の最大変化点+60海里、あるいは堆積層の厚さが大陸棚斜面からの距離の1%になる点のどちらか遠い方で通常則による大陸棚が決まります。ただし、制限則が350海里、あるいは水深2,500m+100海里のどちらか遠い方ということで大陸棚が画定します。大陸棚とEEZは何が違うかというと、EEZは海面以下が含まれます。大陸棚は海底から下ということになります。しかし、実質的には日本の領土になったようなものです。

それをもう少し詳しく説明したのが図14です。破線と陸地の間が新たに大陸棚として認められると、200海里のEEZから外側の部分だけ領土が増えることとなります。

