

環境を考える経済人の会 21

寄附講座 第6回 2005.11.17

ゲスト：加藤 尚武氏（鳥取環境大学前学長／京都大学名誉教授）

テーマ：「環境倫理学の現在」

—持続可能性とは何か 石油のなくなる日—

松下和夫 本日は人間と環境を考える環境倫理について、加藤尚武先生をお招きしています。加藤先生について簡単にご紹介します。

加藤先生は、昭和12年にお生まれになりまして、現在は、日本学術会議の会員でいらっしゃいます。東京大学文学部哲学科を卒業されて、東北大学、千葉大学を経られて、平成6年4月から、平成13年3月まで京都大学文学部教授として教鞭をとられました。平成13年4月からは鳥取環境大学で学長として活躍され、今年の春に退任されました。

主な著書としては、「環境倫理学のすすめ」「バイオエシックスとは何か」「ヘーゲル哲学の精神と世界」などがあります。現在は、研究者として哲学・倫理学会をリードするほか、環境倫理学の立場から地球温暖化など環境問題について、たくさんの発言を続けられています。

本日は、「環境倫理学の現在」ということで、「持続可能性とは何か、石油のなくなる日」というテーマでお話をいただきます。それでは、加藤先生よろしくお願ひします。

ブルントランド委員会で確立した持続可能性の概念

加藤尚武 本日は、「環境倫理学の現在」というお話をします。ディープエコロジーに対して、プラグマチックエコロジーが出てきたことが、哲学的な環境論の最近の状況です。しかしそれは、哲学者の内部争いであって、やはり一番大きな問題は、「持続可能性とは何か」ということではないかと思ひます。

私が京都大学にいるときから、「先生、持続可能性とは何か。コメントをつけて下さい」という質問に、「いろいろな考え方がありますから」と逃げ回っていて、きちんとした答えを出さなかったときもありました。英語の教科書では、「ハード・サステナビリティ」（厳密に物理的に持続可能性を追求する）の立場と「ソフト・サステナビリティ」（厳しい規制を要求しない）の立場を区別して書いているものがよくあります。

どのような条件が成り立てば持続できるのでしょうか。「今、私たちが使うことのできる地球の資源をずっと同じレベルで使えるようにしておかなければならない」という考え方になるわけですから、これは厳しいことです。例えば、山の中に10個の金の塊があったとして、「10個の金の塊をずっと持続してほしい」と言うのであれば、もうこれは使えません。ですから持続可能性を本気で考えると、それは物理的に不可能だとい

う意見もあるくらいです。

それに対して、なるべくものがなくならないようにしようではないか、なるべく我慢しよう、という持続可能性の概念もあって、厳密に持続可能性を考える考え方と、割合やわらかく持続可能性を考える考え方が、英語の教科書では、違うものとして扱われているのです。

持続可能性の概念そのものは、国連の機関でつくられたブルントランド（Dr. Gro Harlem Brundtland：ブルントランド女史はもともと女医で、ノルウェーの総理大臣を務めたかた）委員会によって確立されました。この委員会は、これほど難しい問題について、まとまった報告書を出しただけでも相当な力量だろうと思います。生命倫理学では、イギリスから出たワーノック委員会（Committee of Inquiry into Human Fertilisation and Embryology）の報告というものがあって、これもメアリー・ワーノック（Mary Warnock）という女性の学者がまとめたものですが、日本で百年経ってもまとまらないと思われるようなことをまとめています。ブルントランド委員会も、まとめることがとても難しいことをまとめているという点では、素晴らしいものだと思います。この中から四つの点だけを拾い出してみました。

1. 「持続可能な開発とは、未来の世代が自分たち自身の欲求を満たすための能力を減少させないように（without compromising the ability of future generations）現在の世代の欲求をみたすような開発である。」

「現在の世代が消費する能力と同じだけの能力を残すような開発である」というと、非常に厳しいことになりますが、「欲求充足のレベルが、未来世代と現代世代でほぼ同等である」というと、少しソフトになります。もっとハードな路線だと、「現在の世代の消費レベルと未来の世代の消費レベルが同一でなければならない、という条件を満たした場合に持続可能な開発と言える」というようになったと思います。それを少し弱めて、欲求充足のレベルに置き換えています。

2. 「持続的な開発は、地球上の生命を支えている自然のシステム——大気、水、土、生物——を危険にさらす（endanger）ものであってはならない。」

例えば、「温暖化は大気を危険に晒すものと言えるのかどうか」というようなことが問題となります。おそらくこれは、誰もが文句を言わないところだと思います。

3. 「持続的な開発のためには、大気、水、その他自然への好ましくない影響を最小限に抑制（minimized）し、生態系の全体的な保全を図ることが必要である。」

これも非常に難しいです。「好ましくない影響を最小限」ではなく、「好ましくない影響をゼロ」にして、生態系を完全に保全しなければならないとなれば、もっと強い路線になります。「好ましくない影響を最小限」と「生態系の全体的な保全を計ることが可

能である限度に抑制」ということは、前と後ろの文章がお互いに制限する関係になっていて、その辺もいろいろな解釈の余地を残しておくという工夫があるのではないかと思います。

4. 持続的開発とは、天然資源の開発、投資の方向、技術開発の方向付け、制度の改革がすべて一つにまとまり、現在及び将来の人間の欲求と願望を満たす能力を高める (enhance both current and future potential) ように変化していく過程をいう。

これは随分厳しいと思います。大まかに言うと、現代世代の要求と未来世代の要求とが対立し合わないようにすることが、持続可能性の基本的なコンセプトだと思います。

人類は資源の枯渇に直面すると 19 世紀に指摘しているミル

「それでは、そのようなことを今までに考えた人がいたのか」ということで、ロックの話をしたと思います。John Locke (1632~1704) とは、現代の民主主義社会の基本を考えた人で、アメリカの独立宣言やフランスの権利の章典、私たちの憲法など、いわゆる近代民主主義社会の考え方の中で、ロックのお陰を被っていないものは一つもありません。つまり、近代民主主義社会の一番の基本を考えた人です。その中で特に重要な点は「所有権は神聖にして侵すべからず」ということで、人の持ち物を勝手に巻き上げてはいけないという取り決めを、はっきりと法律や憲法上の規定として確立するということが、近代社会で行われたという点です。

それ以前は、例えば、大阪の淀屋さんが財産をたくさん貯めたということだけで、財産没収になってしまう、お金をうっかり貯めるとお上に召し上げられてしまうというひどいことがありました。フランスでは、テンプル教団という莫大なお金を貯めていた教会が、ブルボン王朝によって没収されてしまうというひどいことがありました。近代社会が成立するためには、「所有権を保護する」という前提をつくらなければならなかったのです。

それでは、「どのようなものが私有財産なのか」ということですが、ロックはこのようなことを言いました。

「労働は、労働した人の疑いもない所有物なのだから、少なくとも共有の物が他人にも十分に、そして同じようにたっぷりと残されている場合には、ひとたび労働が付け加えられたものについては、彼以外の誰も権利を持つことができない。」

つまり、「私が田んぼを耕して稲をつくったら、それは私のものだ」という当たり前のことです。ただし、その当たり前のことに、ロックはこのような条件を付けておきました。「少なくとも共有の物が他人にも十分に、そして同じようにたっぷりと残されている場合...」と言うのですから、山の中に金の塊が 10 個あったときに、私が山の中に入って、金の塊を黙って持って行くと、次に来た人は 9 個しかないので、「同じようにたっぷりと」という条件は成り立たない。ロックに「そんなこと言っても、次に来る人

の取り分が減ることは当たり前じゃないですか」と言う、「われわれが社会をつくり始めたときには、現在のアメリカ大陸と同じように、必要にして十分以上の自然資源が与えられていた」と言うのです。つまり、「必要にして十分以上の自然資源が与えられていた」ので、私がこの土地を「自分の土地だ」と旗を立てて宣言しても、その次の人は、まだ使いきれないほど土地があるというわけです。

ロックよりもあとで、19世紀後半まで活躍したジョン・スチュアート・ミル(John Stuart Mill : 1806~1873) の場合は、「人類は、いつかは必ず資源の枯渇というものに直面して、経済活動全体の拡張が不可能になるような状態に到達するに違いない。そうなったときには、自由主義経済というものは、それまでのやり方と全く行き方を変えなければならない。あるいは、社会主義社会はそこから成立し始めるのではないか」という趣旨のことを、19世紀後半に述べています。

ミルは、資源の枯渇に直面した時には、社会体制を変えなければならないと考えていたのです。

持続可能性を保障するためには 資源の枯渇と廃棄物の累積の回避が必要

それに対して、デイリー (Herman E Daly : 1938~) の三条件というものがあります。デイリーは、私より一つ年下の 1938 年生まれの人で、今はメリーランド大学で先生をされています。第 1 回ローマクラブ報告 (1972 : 「成長の限界」 大来佐武郎監訳、ダイヤモンド社) にデイリーの名前が 2~3 ヶ所出てくるのですが、その後、何度もデイリーの名前が環境問題では出て来ています。今度初めて日本でデイリーの翻訳が出ました。(「持続可能な発展の経済学」 新田・藏本・大森訳、みすず書房)

ここに述べたデイリーの三条件というものは、

1. 土壌、水、森林、魚など再生可能な資源の持続可能な利用速度は、再生速度を超えるものであってはならない。

魚というものは、捕り過ぎると絶滅してしまう。最近日本には、イワシやサンマなどについて、再生可能な限度を理論的に割り出したカードがあります。あまり捕り過ぎないようにしたほうが、毎年の収穫量の全体が増えるという理論が出来上がり、水産資源の保護が有効に行われるようになりました。

2. 化石燃料、良質鉱石、[地層に閉じこめられていて循環しない] 化石水など、再生不可能な資源の持続可能な利用速度は、再生可能な資源を持続可能なペースで利用することで代用できる限度を超えてはならない。

例えば、「循環していない化石水があつて、この水を飲まないといふ飲み水がなくなってしまうという条件があつたとして、だからと言って、この水を飲んでもいいのか」といふと、飲むと持続可能がなくなるということはお分かりだと思います。それでは、水の代わりに何か別のものがある、その別のもの置き換えられる限度内であつたなら

ば、「これを飲んでもいいだろう」ということになります。水の代用としてジュースでもいいのですが、お代わりが適度にできるという限度内でしか使ってはいけません。

石油の場合は、今年使った分だけの石油と、同じだけの循環系エネルギー資源をあてがうことのできる範囲内であったならば、その石油を使ってもいいということになります。例えば、石油を使ったのならば、使った分だけのカロリーをもたらすアルコールを補てんしておくことにすれば、全体としてストックが目減りしないわけです。「再生不可能な資源は、再生可能な資源で補てんできる限度にしてください」ということになるわけです。

3. 汚染物質の持続可能な排出速度は、環境がそうした物質を循環し吸収し無害化できる速度を超えるものであってはならない。

つまり、自然に汚染物質が分解されるスピードを超えてはならない、ということです。

このデイリーの三条件は、「資源を再生可能な資源と再生不可能な資源に分けて、再生可能資源は再生率を上回ってはならない。再生不可能な資源は、再生可能な資源で埋め合わせができる限度を超えてはならない。廃棄物は累積してはならない」と言っているわけですから、ばかばかしいほど当たり前のことです。「食べたものはなくなります。使ったら減ります」ということと同じレベルのことです。

そこで、持続可能性とは、

1. 枯渇型の資源への依存からの脱却
2. 廃棄物累積の回避
3. 永続的循環系の保存

ということになります。

「資源の枯渇と廃棄物の累積を避けるためには、いったいどうしたらいいのか」ということが持続可能性の保障であるのだろうと思うのです。「現在の工業文明は、石油や石炭などの枯渇形資源への依存によって成り立っているのだから、持続可能性は成り立たない」と言っていることと同じくらい悲観的な見通しなので、このようなことは受け入れられないという人もいるわけです。実際、工学部の先生は、「石油が枯渇しそうになったら、別の資源を探すということは当たり前のことであって、同じ枯渇型資源であってはならないなど、そのようなばかな条件を付ける人はいません」と言われますが、確かに工学部的に言えば、それが常識なのだと思います。結局、資源の枯渇と廃棄物の累積を回避しなければならない、これが、持続可能性の保障です。

石油価格高騰によって採算があつてきた非通常型オイルの開発

では、実際にどのようなことが起こっているか。枯渇型資源の使い回しについてお話しします。

Unconventional Oil : oil sand, heavy oil, oil shale

非通常型オイルという言葉があって、oil sand, heavy oil, oil shale が、今の石油が採れなくなったときに、身代わりとして使われる石油です。oil sand とは、砂の中に混ざっているオイルで、heavy oil とは重いオイル、oil shale とはドロドロのオイルということです。要するに、さらさらの液状の石油から、今度はドロドロや泥んこや砂交じりなどの石油に開発の目を向けて行こうということです。これまで、石油価格が1 バレル 20 ドルくらいでは、これらの Unconventional Oil は経済性が成り立たないが、もし1 バレル 80 ドルになれば、すべて採算ベースに乗るだろうと言われていました。しかし、現在 60~70 ドルの間なので、今まで「採算がとれないから開発することはやめよう」と言っていたことに対して、石油価格の高騰によって採算点に到達したということが、今年の大きな出来事の一つに入るのではないかと思います。

Unconventional Gas : tight sand gas, coal bed methane, shale gas,
geopressured gas, methane hydrate

非通常型ガスの中で、日本で一番有名なものは methane hydrate で、現在、静岡県沖と新潟県沖で試掘が行われていて、日本列島に沿ったかたちで methane hydrate の採掘可能な地帯がずっと続いているのではないかとされています。methane hydrate の開発によって、もしかすると、日本は石油の輸入が止まっても生き残って行くという道を切り開くことができるかも知れないということで、場合によっては、大きなお金が動くかも知れないと言われています。また、これを安全に処理する技術が確立されるかどうかということも含めて、これからいろいろと話題になると思います。

石油が枯渇しそうになったからといって、今までは、危ないから、または採算が合わないからという理由で手をつけなかった、石油に代わるもっとドロドロとした石油や天然ガスなどに手を付けると、結局これは、「枯渇型資源が枯渇しかかったので、別の枯渇型資源に利用の場所を移していく」ということになるので、われわれから見ると、枯渇型資源そのものが持っている限界を超えることにはならないと思うのです。だから、「枯渇型資源そのものをやめるという方向付けをすればどうだ」と言うと、工学部の先生は真面目な顔をして、「それは間抜けだ。資源が枯渇すれば別の資源をとるなんて当たり前のことではないか」と言うのです。今までは、資源が枯渇しても「減った」というレベルなのですが、今度は工業社会全体が行き詰まるかも知れないと思います。

さまざまな問題を引き起こすであろう非通常型資源の開発

そこで、Unconventional Resources (Unconventional Oil や Unconventional Gas) に依存する経済に転換していった場合に、どのような問題が起こるのでしょうか。

1. 温暖化対策の無視

まず、メタンを燃やすと、石油を燃やすよりも遥かに温暖化効果が高く、たくさんCO₂が出ます。1カロリー当たりのCO₂排出量も多いので、Unconventional Oil や Unconventional Gas などが温暖化対策として望ましいということはないと思います。現在、温暖化防止を何とかしようということで、CO₂の排出を抑制しようということは、無駄になってしまいます。

それから、温暖化防止のためにCO₂の排出量を抑制するのではなく、人間の生理的な限界に到達しないようにするために、CO₂の排出を抑制する必要もあります。

産業革命が起こったときの、大気中の炭酸ガス含有量の2倍までは許容しようというわけです。

石油に代わる資源開発をした場合に、温暖化対策や炭酸ガス対策が進まなくなるということは、当然だと思います。

2. 代替エネルギー開発に消極的

代替エネルギー開発に力こぶを入れると、循環型資源としてのエネルギー開発に対して消極的になってしまうだろうと思います。

3. 同世代間の資源獲得競争→国際軍事対立

資源のある国とない国、石油の採れる国と石油の採れない国とがあって、同世代間の資源獲得競争というものが、ずっと続くことになるわけです。

リンダ・マックウェルという人の「ピーク・オイル (Peak Oil)」という本で、「アメリカが軍事力を使って石油を確保しなければならないという路線は、キッシンジャー (Henry Alfred Kissinger : 1923~) が引いてずっと今まで伝わってきたことで、ブッシュさんが独創的に発見したものではない」ということが書いてありました。結局、資源獲得戦争が20世紀の戦争の非常に大きな原因になっていて、資源獲得という目的があるから国際軍事対立が起こるという関係で、そこから世界が脱却できないという現状がずっと続くということになるわけです。

4. 未来世代との決定的利害対立

今までは、「将来なくなると困るので、腹八分目で我慢してください」という程度の資源枯渇でしたが、例えば、今使っている石油がなくなったとして、その次に燃料として使える非通常型の石油、石炭、ガスなどを全部使うとすると、現在世代と未来世代の関係は、地球にたくさん残っている備蓄を使っている現在世代と、より少ない備蓄を使っている未来世代との関係ではなく、備蓄が全くなくなってしまう未来世代が必ずいつか出現する、そのような関係になります。

人類は長い間、このような工業社会を開発したり、さまざまな医学を発達させたり、いろいろな文化の発達をすれば、それは、必ず現在の世代よりも未来の世代の方が、よ

り安全で、より快適で、より幸福な生活ができると思っていました。そして、世界全体が進歩という軌道の上に乗っかっている、そのような確信に基づいて、われわれは工業社会を維持し、科学技術を開発してきたのです。ところが、今、地球上に残っている、燃やせるものを全部燃やしてしまって、あと燃やせるものが何もなくなってしまうということは、未来世代に同じ条件では生きられなくするという事です。それは、われわれが長いこと進歩というかたちで科学技術や医学を開発した「未来世代にはよりよい生活を与えています」という条件がなくなってしまうことなのです。だから、現代世代と未来世代の利害の対立が、存在するものとゼロという対立関係になってしまうし、そのようなことを人類全体が選択していること自体が許し難いことではないかと思うのです。

当然、平和の問題を考えると、枯渇型資源への依存を止めるような工業技術体系ができたとしても、戦争はなくなるかも知れない。戦争はイデオロギーや文化の摩擦と大国の利権とが絡み合ったかたちで起こるのだが、石油の利権が存在しなくなれば、地域的な摩擦が戦争にまで発展する決定的な原因はなくなるだろうと思うのです。領土争いがなくなるかという、領土というよりも、そこに石油が採れないか、資源があるかないかということが、非常に大きな領土争いの原因になるわけです。

確率レベルで変わってしまう石油埋蔵量

石油がだいたい 40 年で枯渇するという予測は、専門家で支持者が多い。ただし、枯渇するということの意味を正しく捉えておかなくてはならない。石油の埋蔵量の算出方法も、さまざまな条件で変化するので、ともすると埋蔵量はつねに増大しているという錯覚まで生まれかねない。

石油の枯渇も地球に石油という退職金が貯まっていて、使っていくと減っていくという構造になっているかという、どうもそうではないようです。「石油の埋蔵量が変化するので、固定した埋蔵量を前提とする石油枯渇予測は意味がない」という主張がよくなされます。実は石油枯渇予測は固定した埋蔵量を前提にしているのではなく、変動する埋蔵量予測に基づいて算出されているのです。

毎年埋蔵量が変わっていくが、それに対して消費量も変わっていくので、埋蔵量 R (reserve) を分母として生産量 P (production) を分子とする比をとる。それが可採年数と見なされる。小山茂樹氏の「石油はいつなくなるのかー検証・エネルギー問題のすべて」(時事通信社：1998) では「58 年をピークとして始まっている R/P の緩やかな下降は、79 年にボトムを打ったのではなく、その後も実は続いている」(同 77 頁) とあります。

これについてはキャンベルという人が有名で、現在の枯渇問題は、キャンベル予測問題であると言ってもいいほどです。大部分の素人向けの本はキャンベル予測に尾ひれをつけた解釈であって、キャンベル予測を論駁したとか、別のデータを使っているものな

どはほとんどないので、石油関係の本を見るときには、キャンベル予測をどう評価しているかというところで、見ていかなければならないと思います。

石油地質学者キャンベル (Colin J. Campbell and H. Laherrere “The End of Cheap Oil” Scientific American, March 1998 peak oil で検索) のモデルによると、「1996年現在、世界の累積生産量は約7,850億バレル、残存可採埋蔵量は85,000億バレル、未発見埋蔵量は1.8兆バレルになる。需要がこのまま年2%の増加を続けると既生産量が究極可採埋蔵量の二分の一に達するのは、2001年となる。つまり、それ以後、衰退が始まる。」(小山氏著 85頁)

今までの石油埋蔵量の報告の変化と、生産量の変化と、その変化率の変化を計算して、割合わかり易いモデルを立てて、それがある程度までの中したので、キャンベル予測が的中するかどうかというかたちで、石油の予測がいろいろ議論になっているわけです。

埋蔵量の変化は「存在の確率レベルでの違い」で、ほとんど確証できるかどうか分からないというところから、50%くらい確率があると計算すれば、客観的な埋蔵量はあることになってしまうのです。何%まで見込むかという確率レベルで埋蔵量が変わってしまう。

それから、「技術レベルの違い」、これが一番大きなレベルの違いです。今は、「石油を掘り当てた」と言うと、そこに熱を加えたり、界面活性剤というものを加えたりして、溶かして掘り出すというかたちにまでなります。そのように、今までは液状のものをポンプの原理で汲み上げて行くというかたちだったものに対して、とても液状ではないようなものを何とかして地上まで運んで来るというかたちになって来ています。今までの技術では掘れなかった石油に関しても、新しい技術を使えば掘れるというかたちで、埋蔵量が増えるということが、実際に起こっています。

石油埋蔵量を左右する政治的理由と採掘技術

もう一つは、「経済レベルの違い」で、1バレル20ドル以下で採掘できる石油が主流となっている時には、1バレル1,000ドルで採掘できる石油を埋蔵量にカウントしても、全く意味がないわけです。ところが、石油価格は、20ドルから34ドル代、今は50～60ドル代、60～70ドル代まできました。採算レベルから考えると、埋蔵量は極めて大きく増えたと言えることができるわけです。石油そのものが変動しなくても、石油の埋蔵量という概念そのものは、どうしても変化します。その中で、予測を立てていかなければならない。

環境経済学の本を見ると、石油資源全体の見込みについていろいろな学説がありますが、ここでいくつか代表的なものを出してみます。

R.K.ターナー、D.ピアス、I.ペイトマン「環境経済学入門」のデイリー批判。「物理的な意味において、化石燃料のエネルギー資源はもちろん有限である。しかし、実際に存在する資源の新たな発見はつねになされている。したがって、確定埋蔵量は探査や採

取の技術が発展するにつれて、時間とともに増加する傾向がある。」(同 48 頁)「物理的には有限であるが、経済学的には当面は無限である」。したがって、定常状態仮説を採用する必要がない。

定常状態仮説とは、ロックの後のミルがたてて、デイリーが踏襲していると見なされるものです。実際に埋蔵量の統計をとると、増えているということがあります。増えていることがどのようなことを含んでいるかについては、次の小山さんの文章をご覧ください。

小山茂樹「87年に埋蔵量の大幅修正が行われた(88年と89年の論争をどう見るかということが、大きな論争点になると思います)。イラン、イラク、アラブ首長国連邦、ベネズエラは残存埋蔵量を倍増もしくはそれ以上に修正している。この結果、87年末には1,933億バレルの埋蔵量の増加が行われた。これは87年の世界の新規埋蔵量発見の90%に匹敵する。89年、サウジアラビアは同年末の確認埋蔵量を2,550億バレルに上方修正を行い、前年末に比較して850億バレル増、1.5倍増とした。これは同年末の世界の新規埋蔵量発見の72%に該当。OPEC(石油輸出国機構)加盟国内では生産枠の割り当てをめぐって熾烈な競争が演じられていた。埋蔵量の多寡は生産枠獲得のための強力な材料とみなされ、また産油国のステータスを示すものとされていた。」(75頁)

これを読むと、埋蔵量を増やしたということが、政治的に増やしたと読めるわけですが、これが単に政治的な理由なのか、ある程度科学的な根拠をもった修正なのか、その辺が問題で、これを単に政治的に嵩上げしたものとは言えないかも知れません。

次に出す「埋蔵量の成長」についての文章は、日本の石油科学者の発言からとったものです。

米国地質調査所(USGS)2000(96年初の評価)では、新たに導入した原油の埋蔵量成長6,880億バレルを含めて原油の究極可採資源量を3兆210億バレルというこれまでの値と比較して大幅に増加した資源量評価を発表した。これを根拠に近年では、将来の革新的技術の導入による埋蔵量成長を期待する資源楽観派が多く現れている(藤田和男「石油・天然ガス資源の世界的状況」第43回原子力総合シンポジウム講演論文集、30頁)。

結局、これは「採掘技術が向上することによる埋蔵量の増加というものは、今後も続くであろう」という予測を米国地質調査所のデータに基づいて主張する、その主張が多くなってきているということです。中には、今でも石油は地下でつくられているという説もありますが、そのような説とは別です。

エネルギー消費効率が高くなっても一考に減らないエネルギー消費総量

石油利用技術についてもいろいろな観点が成り立ちます。これも先程と同じ環境経済学入門です。

技術の発達によってエネルギー消費効率が向上する。R.K.ターナー、D.ピアス、I.

ベイトマン「環境経済学入門」、「技術の変化により、一定の天然資源から、ますます多くの経済活動を引き出すことができる。換言すると、資源の生産性は時間を通じて上昇し利用可能な資源がますます存続できるようになる。」(同 44 頁) 1970 年を 100 とする GNP の一定単位を生産するのに必要なエネルギーが、1990 年代に日本やイギリスでは 70 以下。

例えば一番単純な場合は、鉄鋼生産をするために必要なエネルギーの総量は、「日本では石油危機の間を通じて、30%以上の技術革新によって節約することができた」と言われていますが、例えば、鉄鋼生産のエネルギー消費効率を高めるといえるものがあるれば、明らかに一定の経済活動をするために必要な石油の価格と量は減るわけです。

もう一つの別の要素は、例えば、産業全体が重厚長大と言われるようなエネルギーをたくさん消費する産業から、通信や情報などを中心とするエネルギー消費の相対的に少ない産業に移っていった場合、例えば、100 ドルのお金を稼ぐために必要なエネルギーコストは、それによって減るわけです。ですから、経済活動に必要なエネルギーという観点を見ると、技術革新によって、同じものをつくっても少ないエネルギーで済むようになったという意味での効率の向上と、たくさんエネルギーを使わなくてもたくさんお金が稼げるような産業部門に、産業全体が移動していくことによる効率化の両方の要素があります。石油が 30 ドルになったら世界経済が破綻するということは、何年か前の経済についての予測の本を見ると、たくさん書いてあったのですが、石油が 1 バレル 60 ドルや 70 ドルと言われても世界経済が腰を抜かして破綻するということがなくなっている。それは、このような二重の意味での、石油の経済活動に対する相対的な役割の減少ということが言えるからです。

そこで、C.D.コルスタット「環境経済学入門」(細江守紀、藤田敏之監訳、有斐閣 2001)からの引用ですが、「人為的な資本(機械、ビル)や知識は、自然資本、とくに天然資源の代わりになる。世界のエネルギー資源を利用し尽くしていくにつれ、われわれはより少ない資源でうまくやっていく方法を開発し、また、エネルギーの利用を減らす機械や、太陽からエネルギーを取り出す機械を作り出している。より多くの石油が自然によって作り出されたためではなく、抽出や利用の技術進歩の方がその枯渇よりも急速である。」(同 38 頁)

ここで気になることは、「より多くの石油が自然によって作り出されたためではなく、抽出や利用の進歩が進んだためである」と言うのであれば、私は「その通りです」と言うのですが、そこで「枯渇よりも急速である」と言った途端に、「これは危ない」と言わざるを得ないのです。今は、枯渇そのものについて予測するということが非常に難しい問題だと言いましたが、枯渇よりも進歩の方が急速であるというように、将来に渡って予測することができるかと言えば、それはできないと思います。

エネルギー消費効率が高くなっても、一向にエネルギー消費の総量が減っていない。毎年 2%の増加というのは、もしかすると、2%よりももっと増加する可能性がある。

残存の石油埋蔵量が減れば減るほど、技術開発によってエネルギー消費効率がよくなるという相関関係がない。技術開発によってエネルギー消費効率がよくなっていたという過去のデータは、未来について何も予告してはいない。また、「抽出や利用の技術進歩の方がその枯渇よりも急速である」という状態の原因について、この「理論」は何も触れていない。ただ、過去のデータを見ると、枯渇よりも技術開発のスピードの方が高かった一時期があるというだけです。石油の枯渇問題の中で非常に大きな問題は、技術開発について予測ができるかということです。これは、哲学者のカール・ポパー（1902-1994）が「できない」と言ったことで有名です。

地球の未来、四つのシナリオ

次に、技術予測の「法則」と称される理論についてお話しします。

「技術開発の可能性を示す原理の発見とその応用例の開発の時間差は短縮される傾向にある」というのです。

エルステッドが電流の磁気作用の原理を発見（1820）してから、フレミングなどが発電機を開発（1885）するまでに65年を要したが、アインシュタインが相対性原理を発見（1916）してから原子爆弾が製造（1945）されるまでに29年を要している。

ですから、だんだん短縮されていくのだ、科学技術が開発され、原理が発見されると、すぐにそれが応用されるようになるという説があるのです。エルステッドの言った電気とフレミングが言った電気が同じであると言えるかどうか、という議論になります。

日本で原子力発電が開始されるときには、「遅くとも1985年までには、核融合の制御技術が開発されるだろう」という予測を皆さんは舞台裏でしていました。その舞台裏の話で、この短縮の法則は使われていました。そこで、今問題になることは、「核融合反応の制御技術を開発することによって、エネルギー問題のボトルネックを抜け出す道が、本当にあるのか」という問題を含めて、われわれの地球の未来を考えてみたいと思います。

「地球の未来の四つのシナリオ」

a. 化石エネルギーへの依存から脱却して温暖化が防止される。

環境省でそのように言っている訳ではないが、本当に温暖化が防止できるのかと言うと、環境省がコマーシャルしているように6%の削減では防止できないということはよく分かっていることです。70%か、場合によっては90%削減しないと防止できないと言っているのだが、そうすると、温暖化に対して防止という対策が成り立ち得るのかということも問題だと思えます。

b. 温暖化によって気候が変動し石油が枯渇する前に工業文明が大打撃を受ける。先進国は相互援助で生き延びるだろうが、先進国の援助がとまった開発途上国が取り残

される。

温暖化によって海水の状態が変化すると、メキシコ湾流が熱を運ぶ機能が衰えてしまって、メキシコ湾流によって極度の寒冷から守られていたスカンジナビア半島やヨーロッパ北部が全体として寒冷化してしまう。「The Day After Tomorrow」は、この因果関係を誇張した映画なのです。文明の中心地に巨大な寒冷化が起こるといような可能性が指摘されていますが、しかし、これは実際に起こる可能性ではなく、過去のデータをそのまま当てはめると、そのような可能性があるということです。

- c. 石油の枯渇によって温暖化の原因の一つは消滅するが気候変動は防げないという帰結が見えてくる。気候変動に対処するための財源がなくなっている。
- d. 石油以外の化石燃料によって工業文明が生き延びて温暖化自体は防げないが有効な対処をする。

このdの可能性が、一番可能性として高いのではないかと思うのです。「aだといい」と皆さんは思うでしょう。これは全く口先だけで、実現の見込みが全くありません。それでは、化石燃料がなくなった後、いったいどのようなことが考えられるかと言うと、結局、化石燃料を全部使い果たしてしまう路線に、世界全体が向かっているのではないかと思うのです。Unconventional Oil や Unconventional Gas もいつか使い果たしてしまうことになるので、そのようになると、化石燃料の次は自然エネルギーだ、あるいは核融合反応だという、大まかに言うと、二つの選択肢が成り立つわけです。

せめて、「化石燃料の利用を抑制して、徐々に自然エネルギーに転換する」という方向に向かえばいいのですが、実際には、化石燃料を次から次へと開発しまくっていくとかたちで、やむを得ず自然エネルギーに転換するというようなペースにしかなくなっていないのではないか。

核融合の見込みが「30年後に実用化に必要な技術的なデータがそろうだろう」（狐崎晶雄・吉川庄一「新核融合への挑戦」）というのが、もっとも核融合に好意的な見方であるとすると、核融合制御技術の開発は、上手くいっても石油の枯渇の時点に間に合わない。

「30年後に実用化に必要な技術的なデータがそろうだろう」とあっても、それが可能なデータなのか不可能なデータであるかわからないのです。

今人類がしていることは、未来世代に対する焦土作戦

そこで、人類が生き残るためには、生物をエネルギー資源として使うという道が確実な道として残されるわけですが、これは、電力研で調査したデータで、古くて大雑把なデータですがご覧下さい。

再生可能エネルギーについては、太陽光発電や風力発電は、エネルギー密度が

20kWh/m²程度で、それは家庭の消費密度の3分の2、バイオマス発電のエネルギー密度は2kWh/m²以下、石炭火力と原子力発電は、9560kWh/m²と1万2400kWh/m²、太陽光発電の500倍、バイオマス発電の5000倍というデータがある。E.O.ウイilsonが推薦する未知の生物種に遺伝子操作を行ったとしても、生物資源の効率には絶対的な限界があるでしょう。

つまり、どんなに上手く風力発電や太陽光発電を利用したとしても、それが生み出す面積あたりのエネルギーの総量に限度があって、石炭や原子力には絶対に敵わない。だから、石炭や原子力を止めて、すべて自然エネルギーに変換した場合に、巨大なエネルギー資源の畑が必要で、人間の住む場所がなくなってしまうという可能性があります。

E.O.ウイilsonの「生命の未来」は素晴らしい本で、そこには、「人間が生物資源をどれほど使い残しているか」ということが書かれています。E.O.ウイilsonによると、植物は、全世界に25万種あるそうです。その25万種の中で、穀物に使われているものは約20種で、人類が命を繫いでいるものは、実は3種類（米・小麦・とうもろこし）しか使っていません。まだ残された資源を遺伝子操作するということまで考えれば、植物には無限の可能性があるとことを言っているのですが、しかし、植物を改良してそこからバイオマスエネルギーをつくった場合に、そのエネルギーの面積あたりの効率がいくら変わったとしても、この電力研の出したデータを引っ繰り返す可能性は、ほとんどないのではないかと思います。

40年後なのか、500年後なのかは分かりませんが、人類の文化史が存続するためには、必ず、化石燃料を使うこと自体を止めるということを実行表に入れて、その展望のもとに、われわれの文化が維持されていかなければなりません。

この間、ベルリンに行った時に選挙をやっていて、選挙の看板が出ていたのですが、「さすがだ」と思ったことは、「緑の党」の選挙ポスターに「石油は止めよう (Öl Weg!)」という文字が書いてありました。あれを日本で出すと、たいへんなスキャンダルになって、大騒ぎになるのではないかと思います。

しかし、人類は「石油を止めよう」ということを、「ばかばかしい提案」としてではなく、いつか必ず引き受けなければならない提案になる時が来る、ということを受け止めなければなりません。

戦争で負ける兵隊が、その土地に残る人たちが住むことができないために、森林に火を点ける、あるいは、油田に火を点ける、そのようにして、後の人間が住めないようにして逃げるという、焦土作戦という作戦があるのですが、現在、人類が採用している作戦は、未来世代に対する焦土作戦である。これをどうするかという問題が、環境倫理学の、一番大きな問題ではないかと、私は思うのです。

松下 加藤先生、ありがとうございました。石油という枯渇型資源を取り上げて、人類

の持続性について語っていただきました。それでは、質問を受けたいと思いますが、その前に、私の方からコメントと質問をさせていただきます。

今日は、石油を取り上げられて、資源の枯渇問題を論じられたのですが、資源枯渇の問題ともう一つは、地球温暖化を初めとする地球汚染の問題があります。すなわち資源枯渇という問題が進行する一方で、汚染や温暖化の進行があつて、これは、どちらが先になるか、どちらをより優先して対処すべきか問題があると思います。二点目として、化石燃料の中で石油を例にされていたのですが、一つの大きな論点として、石炭が相対的に安くて大量に残っている。すると、石油が枯渇しても、当面は天然ガスや石炭でいくのであらうと言われていています。特に、温暖化対策で石炭はたくさん CO₂ が出ますが、最近の議論としては、石炭火力発電所から出る CO₂ を固定化する。そのような議論もされています。これは、私自身が必ずしも納得しているわけではないのですが、それでやる方がいいという議論が、前よりも影響力が増えています。それについて、どのようにお考えなのかお伺いしたいと思います。三点目として、再生可能エネルギーについて、やや悲観的という話がありましたが、現実的には、例えばヨーロッパ（ドイツ、デンマーク、スペイン、スウェーデン）では、政策的なてこ入れもあり、風力発電もバイオマス利用も相当増えています。もちろん、全てを賄いきれないにしても、ある程度、たとえば電力の 10%~15%は現実化しています。再生可能エネルギーの拡大は、政策的な介入でかなり改良できるのではないかという印象を受けています。

炭酸ガスなどの廃棄物の累積回避に社会全体で取り組む必要

加藤 最初に、「資源の枯渇と廃棄物の累積とはどちらが重要か」ということですが、私は以前、「環境倫理学のすすめ」を書いたときに、「資源の枯渇など心配する必要ない。その前に廃棄物の累積の方が人類を追い詰めていくだろう。だから、人類は資源を枯渇させる前に、廃棄物の累積に追い詰められた結果、枯渇を結果的に回避することになるだろう」という予測を述べていますが、これは、中京大学の河宮信郎教授から聞いた話で、彼がエントロピー学会で話した内容を使いました。

実際問題として、今の大量エネルギー消費が続けば、実際に南氷洋の氷が溶けた、台風が毎年激しくなる、損保会社の経営が成り立たなくなる（毎年の損保会社が支払う費用は 5,000 億円を超えて、経済的に経営が成り立たなくなる）、そのように温暖化（廃棄物）の影響がどんどん大きくなるということが、十分考えられると思うのです。ただ、人々が、廃棄物の結果であると認識せずに、「あれは別の原因ではないか、台風が暴れるようになったことは、温暖化とは関係ない」などと言い張っていると、温暖化は進む一方です。人間の対策としては、結局、炭酸ガスという廃棄物の累積を放置していく可能性があるということが問題で、もっと皆がきちんと認識して、炭酸ガスを含めた廃棄物の累積の問題をしっかりと考えなければなりません。そして、循環型経済を確立する

という方向付け、それを社会全体として取り組まなければならないということが、廃棄物の累積を回避する社会的な大きな手段だと思えます。

それから、石炭の可能性ですが、これは確かにそうです。先程 Unconventional Oil と Unconventional Gas の話をしましたが、例えば、ビョルン・ロンボルグも石炭の可能性を指摘しますし、茅陽一氏も石炭を勘定に入れた未来構想を出していて、いわゆる化石燃料の消費という点から言うと、「石炭は非常に有望で、量もたくさんある」ということになるので、おそらく、石炭をまた開発することになると思えます。日本の電力会社の石炭導入は随分進んだと思えます。今では、石油から電力をつくっている量は、非常に減って、5%以下になったと思えます。ほとんど100%石炭を使っている電力会社もあって、日本の電力会社の「石油から石炭へ」の転換は非常に進んでいるので、そのようなかたちで石炭にシフトするということは確かだろうと思えます。しかし、石炭は枯渇型燃料なので、枯渇型燃料を次から次へと開発することが、だんだん危険な領域に繋がっていくとすると、その危険を危険でなくするための、別の代替エネルギーの開発が並行して進まなければならないのですが、実際は全然進んでなくて、まず、手っ取り早く使えるものを使うという方向に、全体としては行っているのではないかと、ということが私の心配です。

三番目に、バイオマスエネルギーや風力エネルギーの可能性を、もう少し高く評価してもいいのではないかと話ですが、「電力研」試算によると、全てのエネルギーをバイオマスで賄ったとした場合に、どのくらいの面積が必要かという問題があります。それから、太陽光発電をつくる際には、金属の純度を0.999999以上の高い純度の金属を精錬しなければならないのに、そのためにエネルギーが出ているわけです。ですから、太陽光発電の経済的なペースが合うということと、エネルギー消費の経済性が成り立つという点ではまだまだ厳しい状況で、以前、電力研でやった計算では、太陽光発電自体はエネルギー的に赤字です。特に、櫓を組んでその上に太陽光発電を貼り付けて、その櫓の撤去まですると、赤字になってしまいます。屋根に貼り付けるのは黒字になるのですが、櫓をつくと太陽光発電は赤字になるので、結局、エネルギーを減らすことになるという説明がありました。今は通産省の保護などもあって、開発を進めてはいますが、いわゆるエネルギーのプラスマイナスの点でまだ厳しいものもあると思えます。

松下 ありがとうございます。それでは、会場から質問を受けたいと思えます。

会場 水素社会とはかなり身近な問題と囁かれています、車が水素で走るという時代がもうすぐ来るのではないかと予想されていますが、これに対しての評価はいかがでしょう。

加藤 数年前は水素工業が発達するというので、水素ブームになったのですが、水素は、水素をつくるためにまたエネルギーが必要なのです。ですから、裸の水素がどこからか入手できるわけではありませんので、あれはエネルギーの元になるものを運送しやすくするという意味では、いろいろ使い道が開発されなければならないが、エネルギー資源そのものの評価となると、そう高い評価は出せないというように、最近では変わってきたのではないかと思います。

会場 環境の問題を考えるにあたって、自然科学的なデータというものは、やはり自然科学の世界から持って来なければならないという、文化系の勉強をしている人間としてはそのようなジレンマが常にあって、今のお話を伺っていると、自然科学の研究に基づいたお考えを述べておられる部分が多く、その辺の難しさを感じているのですが、先生としては、その辺をどのように考えて進めていくべきだと考えておられるでしょうか。

加藤 例えば、原子力発電の廃棄物処理場の問題というものがあるのですが、原子力発電の高レベル廃棄物というと、半減期が1億年を超えるものはざらにあります。ところが、実際にはその処理場の施設を50億年の安全ということで計算して、技術的にカバーすることはできません。実際、どのようなことをやっているかと言うと、値切って1000年にしているのです。つまり、原子力発電から出る高レベル廃棄物の処理施設が、穴を掘って、そこに埋めて、ガラス硬化体という大きなボトルの形をしたものがまだ熱を出しているので距離を置いて、配置して行って、それ全体が、地面の下、数百mから、場合によっては1,000mくらいの深さで巨大な収納庫をつくって、そこに埋めることが一つの典型的な案です。例えば、セメントを使った場合、セメントそのものは、既に人類はピラミッドで使っているもので、5000年くらいの歴史があるのですが、今使っているタイプのセメントは、約150年前に開発されたものなのです。そうすると、今、われわれが使っているセメントが、1000年間安全性を維持できるかどうかということ、どうやって確かめるかという問題が起こるわけです。普通、確かめるということは、同じことを何度も繰り返して、例えば、ガリレオ・ガリレイが重力の加速度を計算したときは、玉を転がして、随分誤差の大きなことをやったのですが、その後の人類が、あらゆるかたちで何度も何度もテストしたわけです。それによって重力の加速度というのが、ある安定した数値を保っているのです。しかし、原子力発電施設の安全性の基準となるデータについては、例えば、設計した人は、「このようなデータに基づいて、1000年間の安全の設計をしました」と言うわけです。そして、ガラス硬化体を囲っている周

りの腐食に強い金属は、1年に最大このくらい腐食する、1000年経っても、まだ中身の安全性は保たれると計算するわけです。しかし、その計算の元になったデータが1000年間もつかと考えると、私は、それは「分からない」としか言えないと思うのです。

松下 どうもありがとうございました。石油はいつか枯渇することを前提とし、長期的な将来社会のビジョンを描きそれを達成することが、人類が平和的に生き残る最終的な可能性であるというお話だと受け止めました。たとえ現在は、技術的にも経済的にも不可能と思われることでも、「化石燃料に頼らない社会」をビジョンとして描いて、そこに向かってあらゆる工夫と努力をしていくことが必要であろうかと思います。例えば、BP (British Petroleum) という会社がありますが、この会社はもともと石油を供給する会社ですが、現在は「自分たちは石油会社ではなく、エネルギーを供給する会社だ」と言っていて、再生可能なエネルギーにも力を入れています。今では、「BP は Beyond Petroleum (石油を超えた会社) である」という人もいるくらいです。

それから、加藤先生のお話では石油を巡って、世界で戦争が起こっているわけですが、一方で、「太陽を巡る戦争はない」とも言われています。太陽から派生する風力、水力、バイオマスなどで、できる限り賄っていく、そのような次の時代をビジョンとして描き実現していきたいと思います。今日は、加藤先生、大変貴重なお話ありがとうございました。改めて拍手をお願いします。