JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	エネルギー問題と地球環境の長期展望
Author(s)	弘岡，正明
Citation	年次学術大会講演要旨集，27: 807-810
Issue Date	2012-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11144
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

Japan Advanced Institute of Science and Technology

２Ｈ１０

エネルギー問題と地球環境の長期展望

○ 弘岡正明（テクノ経済研究所）

9/4F

昨年の東日本大震災を境に日本の環境は大きく変化した。エネルギー問題に対する懸念が増幅し、特に原子力への不安と拒否反応が大きなうねりとなって暗雲をもたらしている。今後のエネルギー問題を見直し、その長期展望が改めて必要である。また、地球環境問題も深刻さを深めてきており、今後の対応が求められている。そこで、エネルギー問題と地球環境の長期展望を改めて検討する。特に石油資源がそのピークを過ぎて、減耗の時代に入っていることから、今後の脱石油の対応をどうするのか、この問題は避けて通れない。また、地球の人口の加速度的な増大とともに、地球環境が次第に深刻となり、二酸化炭素問題を含めて抜本的な対応が必要である。これらの諸問題に対して長期的な展望を試みる。

１．石油資源の展望と課題

現代社会は石油漬けの世界であり、石油なしには成り立たない。しかし、その資源量についての危機感は極めて薄く、現代社会はこのことに頓着せず、漫然と過ごしていると言わざるを得ない。石油は極めて希少資源であり、図１に示すように、そのほとんどが 1.3 億年前以降の白亜紀に生成したものであり、遅くとも第 3 紀の 2,000 万年前までに生成したもので、それ以前にもそれ以後にも生成されたことがない極めて特異な、希少資源である。

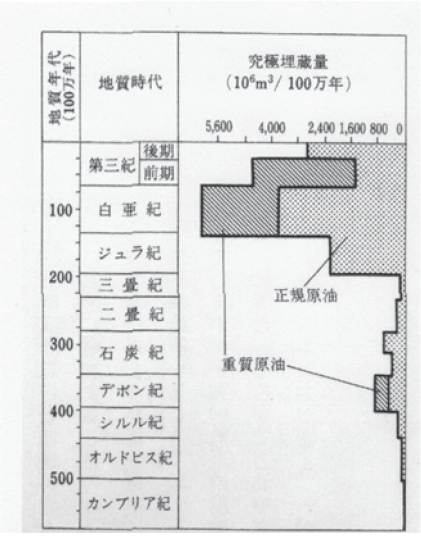

図１　石油の限定的生成時期

その石油の希少性を訴え、すでにピークを過ぎた現在、急速に減耗が進む衰退期にあるという認識が必要である。そのことを強く訴えて来たのが、Campbell,C.であり、欧州で彼の主導する ASPO（Association for the Study of Peak Oil）が精力的に検討を進めてきた。その結果、世界の石油埋蔵量はすでに 2006 年にピークを過ぎてしまい、現在は次第に減衰する衰退期に入っているということである。その根拠としたのが Hubbert peak の概念である。1971 年にアメリカの地質学者、King Hubbert が、アメリカの石油資源の埋蔵量を調べた結果、採掘のピークを過ぎて、減耗に転ずる経過が、対称形の釣鐘型となり、そのピークの位置を知ることによって、総採掘可能量を予測できることを発見した。このピークを Hubbert peak と言い、そのピークの位置を知ることによって、総採掘可能量を予測できるこがわかった。この Hubbert peak の問題は Deffeyes K.S.によって詳細に解明された。さらに、Heinberg R.が‘The Party's Over – Oil, War and the Fate of Industrial Societies’, Clairview Books (2003)と題して、今後の石油問題がどう展開するのか、その詳細を論じている。その中で、図 2 は Campbell が世界の石油の産出と消費の将来動向を詳しく予測し、すでにピークが過ぎた現実を直視すべきだと論じた資料である。すでに石油が減耗の時代に入ったことはかなり深刻な問題であり、そう遠くない将来に抜本的な対策が必要となる。ではどんな解決策があるのか？その対案として自然エネルギーを挙げる向きがあるが、現在使用している石油と同等の量と価格を自然エネルギーに期待することはできない。特に問題なのは、自然エネルギーのエネルギー得率、EPR（Energy Profit Ratio、エネルギー産出エネルギーと利用可能エネルギーの比率）が著しく低いことで、

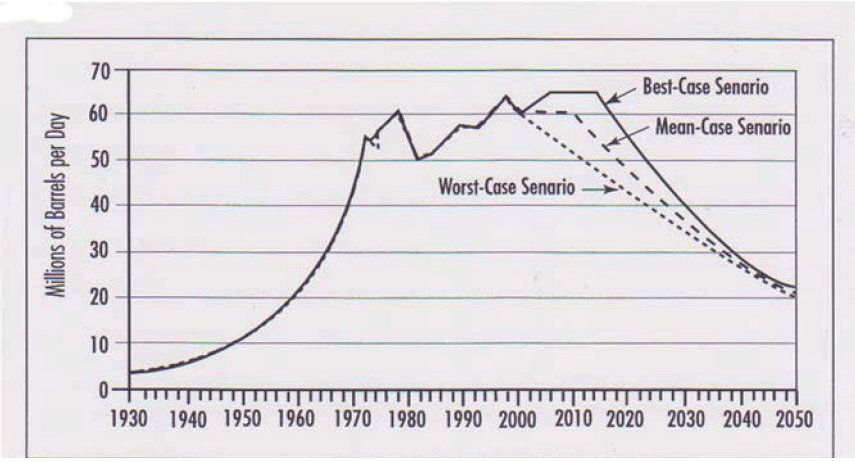

図 2 世界の石油生産動向と Hubbert peak

ある。石油の EPR は昔は 100 を超えていたが、戦後 20 余りとなり、現在は 8 程度である。これは石油の減耗に伴い、採掘条件が次第に厳しくなってきているためである。一方、水力発電は 15 あり、原子力は 17 と高い。これはガス拡散法（6.6）と遠心濃縮法（28.2）の平均値であり、その後ウラン濃縮技術が進み、全量が遠心濃縮法となり、さらに技術が進み、プラントの運転の稼働率などの条件が改善されれば、40 を超えることも不可能ではなく、大幅に改善される余地を残している。一方、自然エネルギーの EPR は、太陽光で 2 程度、波力 1.9、潮力 2.5、海洋温度差発電で 1.9 などと著しく低い。これらの状況から、将来の石油の代替エネルギーとしては原子力エネルギーが最も有力なものと考えなければならない。しかし、今回の福島原子炉の壊滅的な崩壊事故で原子炉に対する疑惑と反発は著しく高まっている。それではどうするのか？政府当局として今のところ具体的な対案を未だに示すことができないでいるのが現状である。

２．ポスト石油資源の展望と課題 - 原子力エネルギーへの期待と諸問題

石油に代わる量と質を備えたエネルギー資源としては原子力エネルギーしかないといっても、福島原発事故と同じ原子力発電方法をそのまま受け入れることはできないから、どうするのか具体的代案が必要である。これまでの原発事故では炉心溶融が起こることで致命的な事故になっている。では炉心溶融が起こらない原子力技術というものがあるのかといえば、それはトリウム溶融塩炉に求めることができる。トリウム溶融塩炉というのは、ウランの代わりにトリウムを用いる原子炉のことであり、1950 年代にアメリカ、エネルギー省（DOE）が開発し、1960 年代に実証運転が成功した実験炉である。その実験炉は 1965 年に臨界に達し、69 年 12 月まで無事故で 26,000 時間の運転実績を積んで、成功裏に終了した。しかしその成果が採用に至らなかったのは、すでにウラン原子力発電所が 1966 年から 1974 年にかけて建設ブームになっていたことがある。日本では、1979 年、南極越冬隊長でもあった京大の西堀栄三郎教授が「原子力エネルギー開発の新方向」と題して、トリウム溶融塩炉が炉心溶融の起こらない理想的な炉であることを指摘していた（1979 年 7 月、日本工業倶楽部 206 回産業講演会）。当時、西堀は従来のウラン軽水炉には多くの問題があると指摘、特に 1979 年 3 月に起こった米国スリーマイル島の原子炉事故（レベル５）を解析し、ウラン原子炉の問題点を解明、トリウム溶融塩炉が炉心溶融の起こらない優れた原子炉であることを強調した。西堀が指摘したウラン軽水炉の問題点とは、１）第一に炉心を流れる冷却水が 150 気圧という高圧で流れていることである。スリーマイル島での事故はこの加圧器にある安全弁が閉まらなかったことによって起こった。２）第二に、燃料棒の中心温度が 2000℃という高温になるのに対して、それを吸収する冷却水は 150 気圧に高めても 300℃が限度で、大きな熱ギャップが存在するということである。この熱ギャップが熱膨張を起こして、事故の原因となる。

その後、1986 年 4 月にウクライナのチェルノブイリ事故（レベル７）が起こり、ウラン原子炉の危険性が改めて見直されることとなった。この問題は福島の原子炉事故で対岸の火事ではなくなり、日本でも原子力発電への激しい抵抗が芽生えた。しかし、このような状況下でもフランスは原子力依存性 70%台を維持し、ドイツは原発依存性ゼロを決定したが、フランスからの電力融通を受ける権利を留保している。アメリカは最近になって原子力発電所の建設再開を決定した。このような世界の動きは、エネル

ギー資源の原子力依存性を無視できない状況を明確に示している。その中で日本はどうするのか、長期的なシナリオ作りを迫られている。その解決策はウラン原子炉ではなく、トリウム原子炉を選ぶ選択肢が唯一残された対応ではないか。さもなければ、日本のエネルギー政策はいずれ破綻する運命にある。

３．地球環境と人口・食糧問題

地球環境問題はこれからの一番深刻で、重大な問題であると思われる。地球の人口は 2100 年ごろまで増加し続け、2010 年に 70 億を越えたばかりだが、2100 年には 100 億人を超えると予測されており、地球のキャパシティーを上回る伸びを示し、すでに自らを律する制御能力が失われている状態である。しかし、地球の耕地面積は、戦後 15 億 ha とほぼ限界に達し、もはや拡大の余地は残されていない。ブラジルの森林を伐採すれば多少の余地はあることになるが、森林資源のこれ以上の減少は何としても避けなければならない。それどころか、地球の耕地は次第に劣化しつつあり、砂漠化が進み、頼みの米国でも地味の劣化は覆うべくもない状況にある。

地球の潜在的可耕地面積は 30 億ヘクタールであるが、実質の耕地面積は 15 億ヘクタールで、この 30 年の間これを上回ることはできないできた。しかし、世界の穀物生産量は 1970 年の 11 億トンから 2006 年には 21 億トンに増大し、生産性の向上で何とか需要の増大が賄われてきた。これからも人口の増大が続くから、一人当たりの耕地面積は減少の一途であり、多少の農業の技術革新はあっても、食料事情はかなりのペースで急速に悪化する。さらに、地味の劣化、砂漠化の進行、地下水の枯渇、灌漑による塩害の発生などの問題に対処しなければ悪化の一途を辿ることになる。世界の途上国の人口は 1970 年から 2005 年までに 2 倍に増えたが、一人当たりの所得は 7.8 倍に増大している。発展途上国の生活レベルが向上すれば、肉食が増えることで、畜産に必要な穀物は単位肉量の数倍から 10 倍を必要とするので、食料事情はさらにタイトになる。世界で最も広大な農業国は中国であるが、農耕地の地味は低く、今後の拡大は期待できない。農産物の最大の輸出国はアメリカであるが、もはや生産の拡大は期待できず、土壌の劣化、水資源の制約から、現状維持が難しい。唯一期待ができるのは南アメリカであり、ブラジルの農業にはなお拡大の余地はあるが、森林保全も重要であり、また世界の穀蔵になるだけの容量は期待できない。また、近年の中国、インドの経済発展は目覚ましく、食料需要も大きく増大している。このような事情から、世界の食糧事情は急速に逼迫に向かっている。2005 年では世界の 8.5 億人、2009 年で 10.2 億人が栄養不足にあり、毎日 2.5 万人、年間 900 万人が餓死している。世界の多くの先進国では食料の自給率が 100%を越えているが、唯一日本は 40%を切り、穀物においては 27%しかない。これは北朝鮮の 53%を下回り、大きなリスクを抱えているのである。一方日本の人口は 2010 年で 1 億 2535 万人、5 年前より 37 万人減り初めて減少に転じ、2050 年には 1 億人を割ると予測されている。徳川時代、鎖国の 300 年間は 2700 万人が維持されてきたが、現在の日本の耕地は江戸時代の 300 万 ha から現在 480 万 ha になっている。それでも日本の包容力は 4,300 万人分しかないのである。

４．二酸化炭素温暖化論への所見

気候変動に関する政府間パネル IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)が 1988 年に設立された。これは、国際連合環境計画（United Nations Environmental Program: UNEP）と国連の専門機関である世界気象機関（World Meteorological Organization: WMO）によって設立された組織である。本来は、気候変動枠組条約とは直接関係のない組織であったが、科学的調査を行う機関の設立が遅れたために、IPCC が数年おきに出してきた評価報告書(Assessment Report)が活用されるようになってきた。2001 年の第 3 次報告書に地球の気温が 1900 年頃から急上昇を始め、その原因が産業革命以来の人間の排出した二酸化炭素による温暖化のためだと決めつけた。これを受けて気候変動防止枠組条約が締結され、2003 年には各国が二酸化炭素排出削減の枠組みを決めた京都議定書が締結された。しかし、最大の排出国アメリカは、自らの国益に合わないとして、京都議定書から離脱してしまった。さらに、2007 年に出された第 4 次報告書では、第 3 次報告書で温暖化の証拠として目玉であった、ホッケースティック図を、統計的なデータ処理が不適切であったとして、報告書から削除することを余儀なくされた。

これまでのところ IPCC が主張する二酸化炭素が地球温暖化の要因であるという証拠はどこにもない。確かに、二酸化炭素は温室効果ガスであるが、それが地球温暖化を引き起こしているという直接的な証拠は見当たらない。今から 4.5 億年前のオルドビス紀からシルル紀にかけて、二酸化炭素は 4000ppm と今の 10 倍以上もあったが、これまでの氷河期の中でも特に寒冷な氷河期で、二酸化炭素の温暖化効果というものは起こっていない。産業革命以降、地球の二酸化炭素は次第に加速しながら増大している。

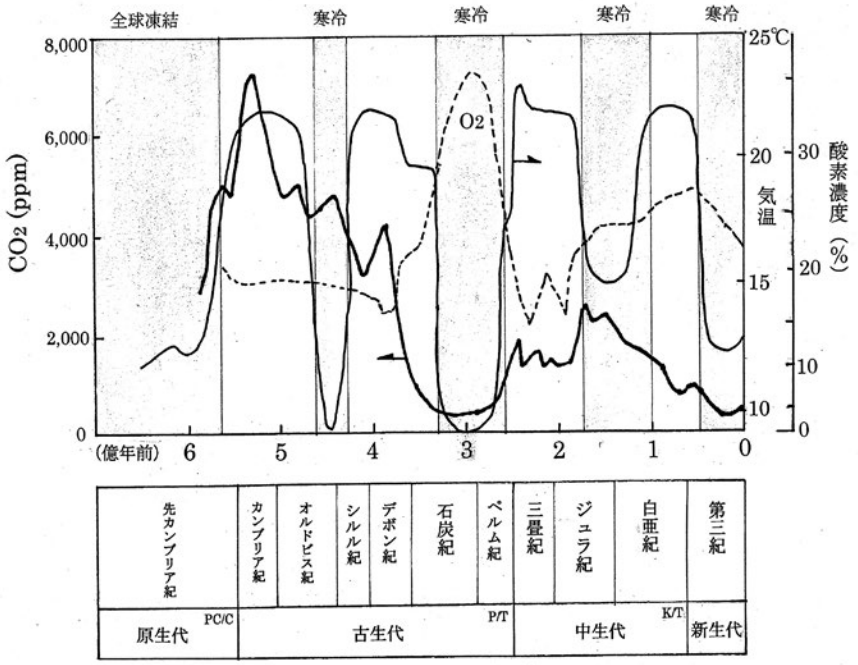

図 3　顕世代 6 億年の地球環境変化

この間地球の気温は 1910 年から 1940 年頃まで黒点数が増えて太陽活動が活発になって、上昇して行ったが、1940 年から 1970 年にかけては黒点数が減少し、それにつれて気温も低下して行った。このことは、地球の気温は二酸化炭素の増加とは関係なく、太陽活動を直接反映して変化していることを示している。また、1991 年にフィリピンのピナツボ火山が大噴火し、地球の気温が 2 年間ほど上がらなかった。このことは二酸化炭素濃度が増加しても、気温が上がらないことを示している。これら三つの現象は二酸化炭素が地球の温暖化に直接影響していないことを示すものといえる。

５．マグマ活動と気候変動

図 3 からもう一つ判ることは、石炭紀から三畳紀にかけて空気中の酸素が現在の 21%に比べ 5 割も多い 35%を超えていたことである。このことはそれ以前のシルル紀、デボン紀、石炭紀前半の高温、高二酸化炭素濃度の恵まれた環境で植物の光合成が極めて活発となり、多量の植物が繁茂、それが埋もれて石炭層を形成した。それに伴い植物の光合成が生み出す酸素の増加に伴い、動物の繁殖も旺盛となり、巨大なトンボが飛び交い、恐竜が闊歩する恵まれた気候環境となった。

図 3 の顕世代の気温の変化はおよそ一億年余りの周期で起こっていることがわかる。これは地球のマグマ活動の周期的変化と関連がある。地下のマグマがスーパープルームとして上昇し、超大陸に吹き上がり、火山活動が活発となって超大陸の分裂を引き起こすと、気温が上昇し、反対にコールドプルームがマントルに沈み込むと、大陸が集まって超大陸を形成し、寒冷な氷河期が訪れる。地球はこのような超大陸の分裂と形成を繰り返してきた。6 億年以前の全球凍結時代はゴンドワナ大陸の形成に伴う氷河期であり、その超大陸が南太平洋スーパープルームで分裂し、いわゆる生物のカンブリア爆発を経て、生物の大進化が進んだ。3 億年前前後には石炭紀からペルム紀にかけてパンゲア大陸が形成され、再び氷河期となった。この超大陸はアフリカスーパープルームの上昇で分裂し、今日に至っている。1.5 億年前の白亜紀は南太平洋スーパープルームで温暖であったが、3000 万年前頃から寒冷化が始まり、200 万年前から本格的な氷河期に入り、今日に至っている。現在は幸運にもその間氷期にあるので、温暖な束の間を享受している。一万年余り続いた間氷期はほどなく終焉を迎え、あと 10 万年は続くと思われる氷河期に復帰する寸前にある。特に石油枯渇寸前の今、これからの本格的な氷河期に備えて最も急がねばならないのは、十分なエネルギー供給体制の確保であろう。それにはやはりトリウム原子力が最も有力な候補であると思われる。

1) 深井有、「気候変動とエネルギー問題」中公新書 2120 (2007)
2) Heinberg R., *The Party's Over - Oil, War and the Fate of Industrial Societies*, Clairview Books (2003)