

# エネルギーと持続可能な社会

Energy and Sustainable Societies

## フランス科学アカデミーと日本学術会議による ICSUに対する共同提案プログラム

### 1. 始めに

「持続可能な開発(Sustainable Development)」の概念は、環境と開発に関する世界委員会から1987年に提出された「我々の共通の未来(Our Common Future)」と題され、「ブルントランド委員会報告書(Brundtland Report)」として知られている報告書において定義された。この報告書では、緊急ではあるが相互に矛盾をはらんだ二つの目標を追求することの難しさが指摘されている。つまり、世界の環境(すでに極めて重大な段階に到達している)の悪化を予防すること、及び、国民生活の質を改善するためにも開発途上国の経済開発を早急に追求することの二つである。「持続可能な開発」は、当面、明快な解決策を何ら見出し得ない問題として位置付けることができる。

数十年にわたって、「経済成長」や「社会開発」並びに「環境維持」を同時に達成する方法を見出そうとして、政府間の討議や交渉が行われてきた。科学コミュニティは、地球規模の環境を観察し分析する上で目覚ましい努力を払い、環境的にも健全な技術を開発することを通して、特にこのプロセスに貢献してきた。

そのような討議の場では、「エネルギー」は持続可能な開発を達成するための最も中心的な手段になるものとして強調され続けてきた。UNCED(リオ・デ・ジャネイロでの1992年の環境と開発に関する国連会議 - 地球サミット - )のフォローアップとして、特に「エネルギー及び運輸」の課題に取り組むために、CSD-9(ニューヨークにて2001年に催された持続可能な開発に関する委員会の第9回セッション)が開催された。国連のイニシアチブの下で実施された「世界エネルギー・アセスメント」は、現在入手可能な関連知識や情報の大要を国際社会に提供した。「エネルギー及び持続可能な開発」は、2002年9月に予定されている「持続可能な開発に関する世界サミット」において、引き続き最優先トピックとして取り上げられることとなっている。ICSUは、パートナーである他の団体と共に科学・技術コミュニティを代表して、上述のプロセスに積極的に参画し、エネルギー問題に取り組む上での科学・技術コミュニティの役割や責任を、並びに、利害関係者全てが関与することの大切さを確信するに至った。

本提案は、次のような両提案者の確信に基づくものである。すなわち、科学は、持続可能なエネルギー戦略を展開するためのひとつの基盤として、統合された科学知識を社会に提供し続けるべきであり、「エネルギー」のテーマを巡る新しい学際的なプログラムを推進することによってこのプロセスを促進することがICSUの役割である。ここに提案したアプローチにより、異分野の研究者らはより密接な協力を促進することにもなるだろう、と期待される。更には、社会における諸々の利害関係者間での相互の会話をも促進するものと期待される。

## 2. ICSUの経験

他の学際的団体と共に、あるいは、合同イニシアチブの下に、ICSUは国際的な環境問題との取り組みの場で、主として次に示す学際的なプログラムを通して、重要な役割を演じてきた：

WCRP（気候変動国際協同研究計画）：1980年にWMOと合同で設立。後にIOCも加わった。

IGBP（地球圏・生物圏国際協同研究計画）：1986年に設立。

IHDP（地球環境変化の人間の次元の国際研究計画）：ISSCとの協力の下に1995年に設立。

DIVERSITAS（生物多様性科学国際共同プログラム）：2000年に設立。

これらの科学研究プログラムは、意思決定に必要なとなる科学関連情報を提供することによって、世界的規模の環境変化の分野における国際的な政策の立案に当たってその影響力を発揮してきた。特に気候変動のケースでは、ICSUは科学コミュニティの意見を公式発表する上で重要な役割を演じ、政策決定者の関心を二酸化炭素の役割や地球温暖化に向けることに成功した。これはIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の設立を促し、このパネルは政策決定者のコミュニティに対して、FCCC（気候変動枠組み条約）に基づいた国際交渉のための基盤として、気候変動に関する総合的な科学知識を提供することになった。

「エネルギー」の主題については、ICSUファミリー内では共同の具体的な努力はまだされていない。しかしながら、エネルギーの課題は持続可能な開発の中心部に位置していることから、ICSUが上記にまとめた他の分野で培ってきた経験をもとに、この主題に関しても新たな国際的、かつ、学際的な研究プログラムを立ち上げるべくイニシアチブを取ることは適切であろうと考えられる。

## 3. エネルギーおよび持続可能な開発：新たな学際的アプローチの必要性

火の獲得以来、人類は風力、水力、石炭、石油、天然ガス、そして、最近では太陽エネルギーや原子力エネルギー、等の種々のエネルギー源を開拓し続けて来た。産業革命を引き起こした蒸気機関の発明は大規模エネルギーの使用を可能なものとし、その結果急速な経済成長や生活水準の改善をもたらした。

歴史的な解析をしてみると、エネルギー消費はGDPと共に増加するが、これら二つのパラメーターの比率は国によって大きく異なっている。特に、急速な開発途上にある国ではエネルギーのニーズを激的に増加させる。このような国では、エネルギーのほとんどは、目下、限られた資源である化石燃料から生産されている。今世紀中これらのニーズに応えられる唯一の化石燃料は石炭であって、これは炭素を最も多く排出する化石燃料でもある（二酸化炭素と煤の形で排出され、これらの影響は地球の温暖化を助長する）。更には、石炭は二酸化硫黄又は一酸化窒素などの他の汚染ガスも排出する。従って、二酸化炭素排出の削減は、エネルギー消費を低減させる必要性、若しくは、代替エネルギー源への転換を示唆するものである。関連する政治的判断の選択肢は、明らかに、エネルギーのコスト若しくはその希少性、予測される人口増加、及び、経済開発の度合/速度によって大きく影響を受ける。

発展した社会や開発途上にある社会による将来のエネルギー使用はどのようなものとなるのだろうか？どれ程の量のエネルギーを必要とするだろうか？どのような問題が生じるだろうか、そして、その問題を解決するためにはどのような研究を必要とするのだろうか？これらの基礎的な問題は定量化を必要とし、他の社会的ニーズの文脈に照らして、経済的、社会的、そして、環境の発展のためのニーズを最適なバランスを維持しつつ組み上げられる最良のシナリオの開発を必要とするだろう。

疑いの余地も無く、エネルギー問題は幾多の研究課題を提起し、それらの課題は学際的なアプローチを必要とする。多くのファクターは広範で長期的な視野に立って研究すべき内容であって、それらのファクターとしては開発途上国の人口増加、先進国や開発途上国の両方の経済成長率および経済構造、社会的ニーズの進化、科学技術の貢献、総合的な環境状態、等が挙げられる。技術的に可能な種々の解決策が許容できるかどうかを査定するためにも、社会科学の役割はこのアプローチにおいては特に重要となる。その種の研究は、解決策の実施に影響を与えることもあるので、そういった解決策が技術的に可能となるまで待つべきではない。この種のアプローチでは、日常生活でのエネルギー消費に対する態度に影響を与えるために、消費者の役割が中心的な存在となることから、モチベーション・リサーチを実施するべきである。

#### 4. 提案プログラムの枠組み：人類及び社会にとってのエネルギーの価値

エネルギー問題はそれぞれ違った利害関係者の間に緊密な協力関係を必要とするとも言える。この協力関係を困難にさせるものは、「人類及び社会にとってのエネルギーの価値<sup>1</sup>」に関して共通な概念を創るために必要となる構造化された知識基盤が未だ確立されていない事である。この概念は必要な知識の全てを統合し、エネルギー問題を俯瞰的に描写することを可能とする枠組みを我々に与えてくれるだろう。

「人類及び社会にとってのエネルギーの価値」を定義するには、エネルギーに関連する知識の全てを体系化するための新しい方法論を設計する必要がある。人文系から始まって、社会科学、自然科学、工学、及びそれらが交錯する領域まで、新たな研究プログラムを提案するに当たっては、この目標を達成するために下記の見方を含めるよう、提言したい：

---

<sup>1</sup> 自然科学でのエネルギーの価値に関する研究は熱力学において発展を遂げてきた。エントロピーや自由エネルギー等に見られるエネルギーの質についての重要な概念が定義され、非平衡状態における熱力学は、最近、その発展が緒についたばかりである。自己組織化説、複雑系、ライフ・パラダイム説、等の最も先端的な学問領域において、この発展が観られる。

工学の分野においては、エクセルギーはエネルギー価値を表現するために試みられた結果のひとつである。エクセルギーは熱工学分野で開発された概念であって、他の科学領域では十分に使われて来たとは言いがたい。エクセルギーはエネルギーの保全および再生可能エネルギーの有効利用の評価では非常に有用な役割を担っている。

一方、エネルギーの経済的価値は基本的には市場によって決定され、電力や燃料といったエネルギー商品の個々の単価として表わされる。人類にとってのエネルギーの価値を考えると、経済性は避けて通ることは出来ない。しかし、自然科学とは対照的に、経済学ではエネルギーに関する不変的な概念は存在しない。経済学においては、それぞれのエネルギー商品だけが存在する。その経済価値は、自然や環境のシステムを配慮して、より長期的かつ広範な人間活動を網羅する必要がある。

その上、必要不可欠な公的なサービスとしての急を要するエネルギーの必要性、或いは、国家の安全保障上からのエネルギーの重要性を考慮に入れる場合、この概念は、非常に広範な学問分野からの支援を総動員し、公平性及び安全保障の課題と取り組むことになるだろう。しかしながら、エネルギーの価値に関する共通の概念を創り出すには、構造化された知識基盤は未だ確立されてはいない。

### エネルギーと文化：

下記の観点から解析を行う必要がある： エネルギー、エネルギーの価値と質、及びエネルギーと文化との間の相関性に関する哲学的考察。ここでは、エネルギー生産における物理的知識の役割をエネルギー消費における人間性と結び付けることができるだろう。エネルギーを単に物理的にしか見ようとししない供給側と、人間的な行為には無限の可能性が秘められているとする需要側との間には、利害の不一致が存在する。如何にして「公衆の関心」という概念をこの利害の不一致に持ち込むべきかを究明することによって、持続可能性は検証される。

### エネルギーと社会経済的ニーズ：

統治概念、エネルギーに関する経済学説の体系化、エネルギー安全保障の総括的研究、並びに、エネルギー消費の結果生じる環境負荷の解析、等に係わるエネルギー政策の政策決定プロセスについての国際的な比較研究が必要である。このアプローチを通して、21世紀に人類が対決せざるを得ない最も高い可能性を秘めた種々のエネルギー・ポリシーに関連する課題に向けてその方向が定められ、諸解決策の方向が提案されるだろう。エネルギーの価値は社会科学の観点から見たひとつの経済的概念として定義されるだろう。

### 技術と社会：

エネルギー技術と社会、過去と将来のエネルギー技術、エネルギー資源と科学技術、及び、エネルギー技術と教育活動、等とのパートナーシップに関する分析が必要となる。人間活動におけるエネルギー技術の役割を研究し、科学、技術、及び社会の間に介在する相互作用の観点から、将来技術的なエネルギーの選択肢を評価することが必要である。

図1は、提案したプログラムの枠組みについてその略図を示すものである。

## 5. ICSUの役割およびICSUにとって可能な研究課題

ICSUは、世界中の研究コミュニティが有する広範な知的資源を動員することによって、代替的な発展の経路を社会が模索する際に、支援を提供することができるユニークな立場にある。そして、それは自然科学内部の異なる分野からだけではなく、工学や社会科学あるいは人文系からも動員することが可能である。ICSUには、研究者とその社会の他の利害関係者、つまり、教育関係者や産業界、政策決定者、及び公衆、等との間のコミュニケーションを促進する役目を演ずることも可能であろう。何故かと言うと、研究者のコミュニティから社会の政策決定者に対する貢献を実現するためには、これら異なるグループ間の相互のコミュニケーションが必須となるからだ。

この役割を全うするためには、研究プログラムの枠内に適当なメカニズムを確立することが必要であろう。研究課題の選定、並びに、プログラム範囲の定義付けに際しては、前の節で提言した枠組みを採用し、注意深い配慮を払うよう要請される。

ICSUのファミリー内のディスカッションには、ICSUが参画することの付加価値を確実にするために潜在的なパートナーを引き入れ、これを継続して行くべきだ、と提言したい。研究課題について幾つかの考え得る事例を下記に示す。これらの事例においては、科学技術のコミュニティからの貢献と他の利害関係者が持つ関心の程度は、両者共大きいものと判断される：

### エネルギー・システムを研究する方法論：

政策決定者に適切な助言を提供するためにも、関連する学際的分野を最も上手く統合する諸々の手法を研究するべきである。例えば、現在、科学的で技術的な知識や情報とポリシーの選択肢とを結び付ける中心的なツールとしては、色々なフォーマルなモデルに基づいたシナリオ開発が用いられている。しかしながら、このシナリオ・アプローチを補強し、補完するような何らかの施策はないものだろうか？シナリオ開発においては、科学技術コミュニティの貢献はどの様にしたら更に強化することができるのだろうか？

### エネルギー使用の効率：

人々の社会福祉を低減すること無くエネルギーを節減することは、工学や自然科学にとっても一大チャレンジであって、これには経済学、社会科学、及び人文系からの貢献を必要とする。エネルギーを巡る経済学説を体系化することによって、エネルギー安全保障を総括的に研究すること、並びに、エネルギー使用の結果もたらされる環境への影響を分析することにより、エネルギー・コストはより正確に査定することができるだろう。エネルギー使用の環境への影響に関するライフ・サイクル評価（LCA）も含め、それぞれ異なった技術や異なったエネルギー政策に関して世界的なエネルギー・システムを解析するための数値モデルを開発することも可能である。

産業セクターにおいては、OECD各国では1990年から1995年の間、エネルギー消費は0.8%低減した。特に、エネルギー多消費型産業の場合は、エネルギー節減に向けて十分な経済的インセンティブを持っている。ICSUとしてはその努力を運輸といった他の領域に集中させることも可能である。この領域は排出を急速に増加している（年間増加率が2.5%）セクターであって、この傾向は継続するものと推測される。自動車によるエネルギー消費の低減は既に進行している。人文科学は、多くのユーザーが自分の所有する乗用車よりも好むような公共交通システムを開発することで、支援を提供することも可能である。国土の空間的な組織化、都市計画、都市サイズの最適化、情報やコミュニケーション技術の開発によって、どのようにしたら輸送のニーズを更に低減することが出来るのだろうか？

### 二酸化炭素の貯蔵：

二酸化炭素の捕獲と貯蔵を実現すると、温室効果ガス排出の削減に貢献することができる。ICSUは幾つかの貯蔵に関する選択肢について、例を挙げると、地質学的貯蔵や海洋貯蔵の選択肢について、それらの実現性や考え得る影響を研究する際に主要な役割を演ずることが可能である。捕獲という解決策はICSUファミリーの外部に居る技術者との協力の下で研究を行うことが出来るだろう。

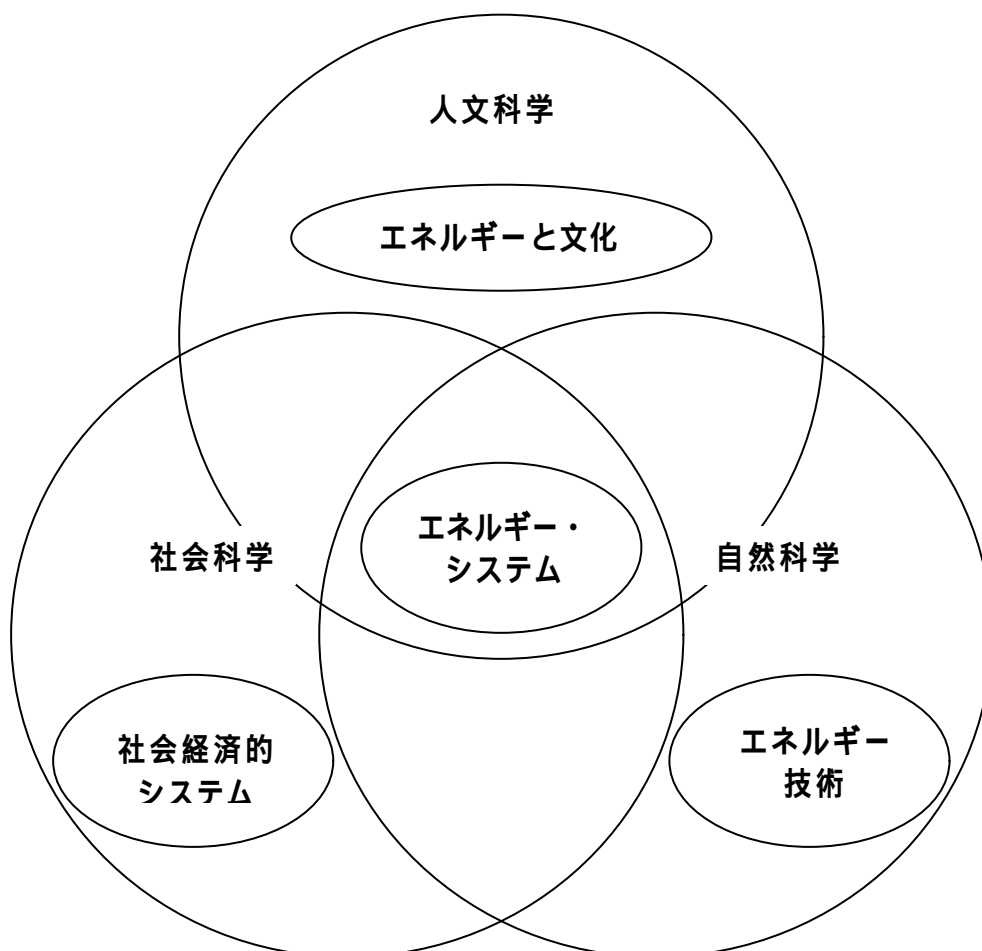
### エネルギー生産と貯蔵のための技術：

科学的には、エネルギー生産の問題は、そのチャレンジが余りにも大きく、如何なる選択肢についても排除せず、考慮の対象には残しておくべきである。化石燃料は全世界の主要エネルギー源である。これらのエネルギー源は有限であり、今日の消費速度が続くと、結果として、地球規模の気候は持続できないほどになってしまう。エネルギー生産手段の更なる潜在性を開拓する上で、ICSUの役割を考慮に入れるべきであろう。

再生可能エネルギー源等の代替エネルギー源の開発努力は継続、かつ、これを更に強化する必要がある。太陽電池の効率改善や生産コストの低減は将来20年以内には達成されるだろう。水力発電、風力エネルギーの変換、地熱発電、バイオマス発電、及び太陽熱発電等の潜在的可能性についても調査を行う必要がある。原子力エネルギーの使用だけが二酸化炭素排出には何等影響を持たない中心的なエネルギー源である。しかし、核廃棄物処理は、将来のエネルギー源の開発とは独立に、更なる研究を必要とする。長期的には核融合も含め、社会的に受け入れてもらうための解決策と並行して、新世代の安全な発電プラントの開発に対してひとつの解決策を見出すには、数多くの科学領域を参画させるべきである。燃料電池は、パワー密度の上昇によりコストが低下するので、電力と熱とを組み合わせた高効率なエネルギー源を提供することができる潜在的な可能性を秘めている。しかし、燃料電池に供給しなければならない水素の生産に関しては、今後の解決が待たれる。

エネルギー貯蔵は、需要ピークを吸収できること、及び、移動用エネルギー源としての液体化石燃料に取って代るエネルギー源として提供することができる事のふたつの観点から、非常に大きなチャレンジとなる。遠隔地で電力を生産すること（例えば、砂漠での太陽電池フィールド）は、この電力を簡単に輸送できるのであれば、興味をそそられる代替手段であろう。しかし、水素経済が現実的かつ安全な選択肢であるかどうかは依然として不確定のままである。

図 1： 提案したプログラムの枠組みの略図



**参考文献：**

Dialogue Paper for the Multi-Stakeholder Dialogue Segment on Sustainable Energy and Transport of CSD 9: “ Discussion Paper Contributed by the Scientific and Technological Communities ” (E/CN.17/2001/6/Add 2), United Nations Economic and Social Council, New York, 2001.

CSD-9での持続可能エネルギーと輸送に関する様々な利害関係者のダイアログ・セグメントのためのダイアログ・ペーパー： 「科学及び技術コミュニティから寄稿されたディスカッション・ペーパー」 (E/CN.17/2001/6/Add 2)、国連経済社会理事会、ニューヨーク、2001年

Secretary-General ' s Note for the Multi-Stakeholder Dialogue Segment of the Second Preparatory Committee Addendum No 8: “ Role and Contribution of the Scientific and Technological Community to Sustainable Development ” (E/CN.17/2002/PC.2/6.Add.8), New York, 2002.

第二準備委員会の様々な利害関係者のダイアログ・セグメントに関する事務総長の覚書、追加事項No.8： 「持続可能な開発に対する科学・技術コミュニティの役割と貢献」 (E/CN.17/2002/PC.2/6.Add.8)、ニューヨーク、2002年

“ World Energy Assessment, ” United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs, and World Energy Council, New York, 2000.

「世界のエネルギー査定」国連開発プログラム(UNDP)、国連経済社会部、及び、世界エネルギー会議、ニューヨーク、2000年