

太陽エネルギーの化学的変換ならびに貯蔵

Chemical Conversion and Storage of Solar Energy

長 倉 三 郎^{*}

1. まえがき

われわれの生活に欠くことのできない化石エネルギーは、かつて植物のいとなむ光合成を通して太陽エネルギー蓄積貯蔵されたものであることはよく知られている。一年間に全地球上にふりそそぐ太陽エネルギーの量は約 5×24 Jで、大雑把にいわれわれ人類が必要とする年間エネルギー消費量の1万倍に匹敵する。換言すれば、全地球上にふりそそぐ太陽エネルギーの1時間分で全人類が1年間に必要とするエネルギーをまかなうことができる。この巨大でグリーンで普遍的なエネルギー源——それはしばしばいわれているように、希薄であるという欠点をもっているにしても——を活用することは人類の将来にとって本質的な問題であり、とくに地球上における資源エネルギーの偏在と公害問題に悩まされてきたわが国にとって、太陽エネルギーがきわめて魅力的かつ将来性にとむエネルギー源であることはいまさら説明するまでもない。

かつてフランスの原子力委員会の委員長をつとめた、Joliot-Curieはその講演の中で「私は原子エネルギーの将来を信じ、その開発の重要性を疑いませんが、エネルギー生産における真の大変革は葉緑素に類似なあるいは質の面でそれより優れているような分子の大量合成が実現されたあかつきに初めてふみだされるだろうと考えています。この目的を実現するには、なによりもまずこのタイプの分子と光合成のメカニズムとを詳しく研究しておく必要があります」と述べている。現在の知識からみて葉緑素は光合成機能をもつ単位としての葉緑体に改められるべきであり、それに伴って分子は分子系に改められるべきであろう。しかし、いづれにしてもここにもらわれている基本的な考え方は、われわれの共感を呼ぶものであり、エネルギー問題の

現状からみてもますます重要性をましているといつてよいであろう。

太陽エネルギーを蓄積し利用する方法は、よく知られているように、多岐にわたっているが物理・化学的方法と生物的方法とに大別されるであろう。さらに前者は、太陽エネルギーを直接熱として利用するか、主に可視光に注目して光として利用するかによって熱利用と光利用に別れる。化学は熱容量の大きい材料の開発など前者にも関連をもっているが、ここでは光利用その中でも化学物質を通して太陽エネルギーを分子の内部エネルギーまたは電気エネルギーに変換貯蔵し利用する場合を“太陽エネルギーの化学的変換ならびに貯蔵”の研究を主な対象とする。もちろん研究の本質である意外性を尊重する観点から現状においては広く可能性を探り、そこから生れた優れた芽を育てて新しい方法に発展させることがエネルギー問題の解決にとって重要である。こうした観点から、関連する基礎研究分野を含めて研究組織を築きあげてゆく必要がある。

2. 研究体制整備の経緯

故小泉正夫教授（東北大学）が色素増感の研究を始めるに当たって、太陽エネルギーの化学的利用への発展を考慮されていたことを先生御自身からうかがったことがある。戦後それほど経過していない時期ではあったが、こうした先見の明をおもちの化学者は、われわれの先輩や同輩の中に他にも多数おられ、独立に優れた成果を挙げておられたように思う。しかし、太陽エネルギーの化学的利用について、わが国で組織的な研究計画の検討が始められたのは日本化学会に企画構想委員会が設けられたことによる点が多い。

昭和50年に日本化学会に設けられた企画構想委員会において最初にとりあげた問題はわが国化学工業の将来構想に関するもので児玉信次郎先生を委員長とする

^{*} 東京大学物性研究所教授

小委員会を設け審議を進めた。その報告は日本化学会の機関誌「化学と工業」に掲載されているが、審議の過程でエネルギー多消費産業である化学工業の将来にとってエネルギー問題がきわめて重要であることが指摘され、別に小委員会を設けてこの問題を検討することとなった。

こうした経過で、昭和51年にエネルギー小委員会が向坊現東大学長を委員長として企画構想委員会の中に設けられ、エネルギー問題についての問題点と将来の動向を化学ならびに化学技術の立場から検討することになった。この小委員は基礎分野と応用分野に別れて審議が進められたが、泉美治、今村昌、柴田和雄、田中郁三、坪村宏、徳丸克己、長倉三郎、松尾拓の諸委員からなる前者において主として太陽エネルギーの化学的利用の問題が検討された。この基礎グループの討論と審議を通じてその後特定研究としてまた現在特別研究の一環として進められている。「太陽エネルギーの化学的変換ならびに貯蔵」の研究構想の大筋はまとめられたとあってよい。

一方、文部省においては水科篤郎京都大学教授を座長とする懇談会を設け、多角的にエネルギー問題の審議検討を進めていたが、昭和53年度から、かねて工学関係の研究者の間で計画されていた「エネルギーの有効利用に関する工学的研究」が特定研究としてスタートした。この特定研究の中に光電池を中心とする太陽エネルギーの化学的変換ならびに貯蔵の研究の1部が含まれていた。他方、科学技術庁関係においても理化学研究所を中心にして太陽エネルギー利用に関する研究推進の計画が進められた。すなわち「太陽エネルギー変換研究調査委員会」が昭和52年に理化学研究所に設けられ、太陽エネルギーの生物的、化学的、物理的変換の研究調査が進められたが、その後この委員会「太陽エネルギー委員会」に発展し活動が続いている。

昭和53年5月に開かれた日米首脳会議において、当時の福田首相が「光合成による太陽エネルギー変換」について日米共同研究に提案して以来、太陽エネルギーの生物学的変換と共に化学的変換の研究が注目される脚光をあげる事となった。

この福田提案に基づいて、エネルギーに関する日米共同研究の一つのプロジェクトとして「光合成による太陽エネルギー変換」の共同研究が推進されることとなり、そのための実施取りきめ作成の作業が続いている。また昭和54年度には日米交流のための予算が認められ、文部省の関係では関係分野の指導的研究者から

なる5班の代表団が米国に派遣された。これらの代表団は米国各地の関連する研究機関を訪問し、共同研究を進めるための相互理解の増進に貢献した。昭和55年度においては共同研究のための研究者派遣および研究費の予算が認められ派遣研究者の公募と選考が進められている。これら「光合成による太陽エネルギー変換」の日米共同研究における文部省関係の具体的計画の推進は分子科学研究所を中心にして進められており、そのための「研究計画委員会」が設けられている。

日米首脳会議を通して、いわば上から押し進められた「エネルギーに関する日米共同研究」は研究推進に強力なインパクトを与えた点で評価すべきであるが、計画を具体的に推進する立場からみて今後考えなければならぬ問題点も多かったように思う。今後は関係する両国の研究者の間で研究推進計画の十分な検討が行なわれそれに行行政の準備が整った上で、こうした共同研究が提案され推進されることを希望したい。

「光合成による太陽エネルギーの変換」の日本共同研究の準備段階においては、国内における化学以外の分野や文部省外の機関との計画調整などで苦い経験をし楽しくない思い出もあるが、この共同研究にともない国内の研究体制を整備するため、「太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵に関する基礎研究」が特定研究として組織され昭和53年度にスタートしたことは大変喜ばしいことであった。先に述べたように、日本化学会のエネルギー委員会で研究計画や組織の検討が十分に行なわれていたのできわめてスムーズに特定研究を組織しスタートさせることができた。また化学という共通の基盤を中心にして研究分担者の強い責任感と連帯感のもとに特定研究の運営も順調に進められた。

その後昭和54年9月に、文部省学術審議会研究体制特別委員会の中にエネルギー問題専門小委員会が設けられ、その審議をへて「エネルギー特別研究」が組織された。この特別研究は昭和55年から水科京都大学教授を代表としてスタートしたが、上記の特定研究もその中に包含されることとなった。当初3年の計画でスタートした特定研究「太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵に関する基礎研究」は上記の事情で2年間に短縮されることになったが、それにもかかわらず、注目すべき成果をあげることができたのは、研究分担者のこれまでに蓄積された高いポテンシャルエネルギーと問題の解決に対する熱意に負う例が多いと考えている。

3. 太陽エネルギーの変換ならびに貯蔵の研究と化学

すでに述べたように、昭和53年に特定研究「太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵に関する基礎研究」が発足するに当たっては、日本化学会の企画構想委員会の中に設けられたエネルギー小委員会の基礎研究グループの検討結果に基づいて基本構想がまとめられ、次の3つの課題がとりあげられた。

- 1) 高エネルギー物質の光化学的生成
- 2) 光合成初期過程モデル
- 3) 光化学電池系による太陽エネルギーの変換・貯蔵

1) は光化学的に高エネルギー物質を生成し、太陽光エネルギーを物質内の内部エネルギーに変換して貯蔵した後、適当な触媒の利用などによりもとの物質に戻すと共にその際放出される熱エネルギーを利用しようとするもので、最も直接的な太陽エネルギーの化学的変換方法といえる。高エネルギー化合物としては立体的に大きな歪をもつ分子や不安定な原子価状態にある異性体など種々の分子系が考えられる。こうした目的に適合した分子系を設計し合成することは、これまでに分子構造論、有機無機光合成、触媒化学など関連諸分野で蓄積された知識と経験を駆使して化学者が挑戦すべき魅力ある課題といえる。この問題については本特集において京大吉田教授の解説があるのでこれ以上述べないが、わが国の関連分野の高いポテンシャルを反映して研究者の層も厚く、国際的にみても優れた研究成果がえられている。

2) の課題は、植物のいとむ光合成と類似の機能をもつ分子系を設計し合成して太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵を効率よく進めようとするものである。そのためには植物の光合成のメカニズムを解明する努力ももちろん必要であるが、しかし忠実にそのシステムを再現することが問題解決の最善の道とは考えていない。むしろ植物の光合成の機能の特色を化学的に分解して段階的に捉え、各段階において類似のあるいはより優れた機能をもつ分子系を設計し合成することが戦略的に優れているのではないかと考えている。こうした立場に立って植物の光合成の機構をみれば、数100個のアンテナクロロフィル分子が太陽光を吸収してそのエネルギーを迅速にしかも効率よく反応中心に集める光濃縮機能、反応中心においておこる電荷分離機能、分離した正負の電荷が酸化系、還元系に接続して水を酸化して酸素を発生し、二酸化炭素を還元して炭水化物を生成する機能に別けられる。最後の段階はかならずしも炭水化物の生成にこだわる必要はなく、他の炭素化合物や水素を生成してもエネルギー源または

炭素資源として利用できる。こうした光濃縮系、電荷分離系、酸化還元系の各々に対して現在いくつかの興味深いシステムが提案され合成されている。そうした現状については本特集において九大松尾教授が解説されている。自然は限られた種類の元素と限られた化学的環境のもとで数億年の長い年月をかけて光合成系を完成したわけであるが、物質構造解析、反応機構解析、物質機能解析、分子設計、物質合成についてこれまで化学者が蓄積した知識と経験を基にすれば、比較的短い期間で所期の物質系の合成は可能であると考えるのはあまりにも楽観的であろうか。しかしいずれにしても、光合成と類似の物質系の合成は内外の研究者の努力によって最近目覚ましい進歩をとげている。個人的見解としては、実験室レベルにおけるモデル系の合成は予想外に早く実現するのではないかと考える。

(3)の課題は、光誘起界面電子移行を基本過程とする太陽エネルギーの化学エネルギー(たとえば水素生成)ならびに電気エネルギーへの変換・貯蔵を目的とするもので、湿式と乾式の二つの方法に大別される。とくに半導体電極に関する本多・藤島効果を中心に研究が進められているが、この効果は、最近欧米諸国においても注目され基礎と応用の両面から活発な研究が行なわれている。ここでとりあげた3課題の中では最も実用化に近づいている課題であり、今後の発展に期待する所が大きい。この課題については本特集の東大本多教授の解説を参照していただきたい。

4. おわりに

太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵の研究は、エネルギー問題の解決に寄与することが期待されるばかりではなく、地球上に普遍的に存在する二酸化炭素と水を原料とする新しい化学工業の展開の原動力となることが期待される。こうした夢のある点が研究者にとって大きな魅力の一つとあってよいであろう。

太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵の研究は、実用化に近づきつつあるものもあるが、エネルギー問題の戦略的見地からみれば、長期的な立場からその解決に寄与することが期待される課題といえる。したがって関連する基礎研究の発展の上に応用研究の展開をはからなければならない研究が多い。こうした意味において、今後わが国で独自に開拓された基礎研究の豊かな土壌の上に、応用研究の展開が進められ、エネルギー問題の最終的解決をもたらすような実用化の金字塔がうちたてられることを期待したい。