



第 1 図 Submolecular Biology Conference—
Dr.Szent-Györgyi (自宅において)

光化学特に bio-photochemistry の研究は、一つには近時宇宙開発の問題と関連した、エネルギー源として光エネルギー利用の開発的研究、もう一つは生体现象への物理化学的の解明、すなわち biophysics の一方向として、光の原子、分子との相互作用が物質の新しい量子理論に導いたように光と生体の相互作用が、生命体研究への新しい道を開くかも知れないという基礎的研究として、最近とみに重要な課題となってきた。前者の目的のためには、すでに 1955 年米国では Association for Applied Solar Energy が創立されたが、研究の多くは熱エネルギーとしての利用で、光化学の研究は、今後多くの問題が残されており、その研究の重要性にかんがみ、最近米国では空軍研究所に photophysics-photochemistry-photobiology の基礎ならびに応用の総合研究所が充足している現状である。ここでは基礎研究として、いろいろな型のエネルギー移動現象の広汎な研究が計画されている。その一つとして光合成の初期段階の機作の研究もあるが、この光合成の研究は、エネルギー利用の根本問題でもあり、また生命維持の根源でもあり、すでに各国において盛んであるが、1955 年 10 月この photosynthesis に関する会議が米国 Tennessee 州 Gatlinburg においてソ連圏以外の研究者が集まり開催された。その課題は

1. Absorption, Fluorescence, Luminescence and Photochemistry of Pigments in Vitro
2. Absorption, Scattering, Fluorescence, Luminescence and Primary Photochemical Process in Vivo
3. The Possible Role of Cytochromes
4. "Dark" Reactions
5. Kinetics, Transients and Induction Phenomena
6. Formation and Condition of Chlorophyll in the Living Cell

一方、ソ連単独での類似の会議は、1957年 1 月 Moscow においてソ連科学アカデミー主催で行なわれ、下記各課題について 15~20 の研究が報告された。

1. Photochemistry and Spectroscopy of Chlorophyll

米国に光化学を研究して

藤 森 栄 二

- and Other Pigments
2. Formation, State and Conversion of Pigments in Plants
 3. Structure, Biochemistry and Chemistry of Chloroplasts
 4. Bacterial Photosynthesis
 5. Carbon Conversion Paths and the Products of Photosynthesis
 6. Photosynthesis as a Physiological Process and the Productivity Factor
 7. Photo-cultivation of Plants
 8. Photosynthesis of Algae and Productivity of Bodies of Water
 9. Methods of Calculation and Study of Photosynthesis

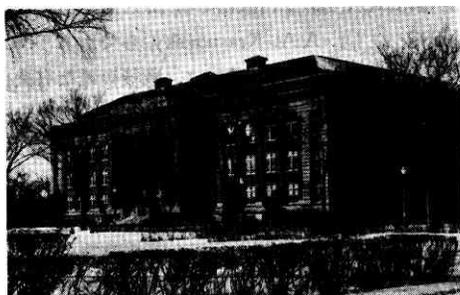
この総合報告は、Moscow University Press として出され、それが米国内で英訳され配布された時、その莫大な研究に目を見はらされたものであり、ソ連がこの方面の研究にも相当な力を入れていることが分かった。このことは最近話題のミサイルばかりでなく、他の分野全体にわたり相当の進歩をつづけていることを示している。ソ連における特にこの分野は、luminescence の研究における Dr. Vavilov 以来の古い伝統が今もつづいており、現在その進歩の推進にあずかっている人は、The S. I. Vavilov State Optical Institute の Dr. A.N. Terenin さらに The A.N. Bakh Institute of Biochemistry, Acad. Sci. USSR の Dr. A.A. Krasnovsky らであろう。

さて、この分野の研究の発展は、戦後複雑な有機化合物の光化学、分光学的研究の進歩によるものである。戦前、California 大学の光化学の故 Prof. Rollefson の有機螢光体の研究、さらに、Chicago 大学の分光学的 Franck-Condon の原理で有名な Prof. James Franck と Minnesota 大学の Prof. Livingston の色素の螢光、燐光、光化学に関する総説が、米国における研究の目新しいものであった。一方、当時欧州では上述のソ連の Dr. Terenin、さらにイギリスの Prof. Bowen, Prof. Weiss ベルギーの Prof. Pringsheim, ドイツの Prof. Kautsky らの開拓的仕事がつづけられ、1938 年イギリスの Faraday Society が discussion として "Luminescence" の問題をとり上げ、これらの人々による討論が行なわれていた。戦時中まったく諸外国の研究情報のとどえていた 1944 年筆者が有機螢光体の研究から、励起分子の

化学反応の問題に入っていたころ、わが国のこの方面の研究はほとんどなされていなかった。戦後外国の研究が明るみに出され、まず California 大学の Prof. G. N. Lewis 一派の研究が注目された。これは、当時 instructor の Dr. Calvin および大学院学生 Kasha を協同研究者とする有機化合物の燐光、その三重項状態に関する研究で、その最初の報文は 1944 年発表されていた。

Prof. Lewis なきあと Prof. Calvin の光合成への追求がつけられ、Prof. Kasha はその後 Florida 州立大学に移り triplet state および関連の研究を活発に行なっている。一方、Chicago 大学の Prof. Franck を筆頭とする Chicago 学派の研究も光合成中心に活発になされ、Minnesota 大学の Prof. Livingston, Illinois 大学の Prof. Rabinowitch さらにそれらの後継者による研究がつけられた。また 1950 年代に至り、すでに欧州において生体酸化還元、筋肉収縮のエネルギー変換と関連して生体エネルギー問題に独自の研究をつづけてきた Dr. Szent-Györgyi は、1947 年米国にわたり、Woods Hole に筋肉研究所を設立、この方向の研究の生体機構の解明への重要性を認め、電子励起、エネルギー移動の問題に入ってきた。博士は、この問題に非常に熱心で、上記米国の研究者その他の多くばかりでなく、欧州の研究者とも密接に連絡を保ちつつ、絶えず新しい道への開拓の歩を進めている。筆者は、まず Minnesota 大学の光化学研究室から、California 大学の bio-photophysical group さらに Woods Hole に滞在 bioenergetics を研究したので、ここでは、地理的にもまた歴史的にも異なる背景を持ったそれぞれの研究室について、研究室の構成、その研究、それぞれの教授の人と研究の進め方など対照的に述べてみたい。

* * *



第2図 Minnesota 大学化学教室

Minnesota 大学は、北米も北、11 月から 4 月まで雪に包まれる Minnesota 州 Minneapolis の市中を流れるミシシッピー川の川べりにある。5 月に入ると急にエルクの樹々は緑をたれ、9 月下旬にはもう美しい紅葉に映える北欧の香り高い自然の美しい所である。この大学の Institute of Technology に属する化学教室(第2図)の物理化学部門には、赤外吸収の Prof. Crawford と

X-線回折の Prof. Lipscomb, それに光化学の Prof.



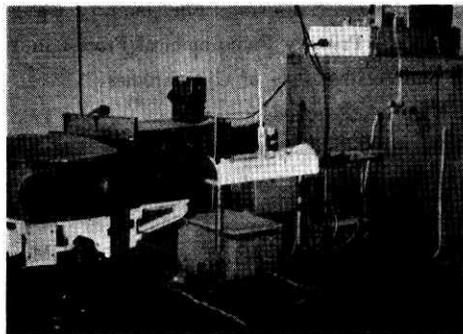
第3図 Prof. Livingston 夫妻

Livingston がおり、他に Associate Prof. 2 名, Assistant Prof. 2 名の陣容である。各研究室には postdoctoral fellow 1, 2 名に大学院学生が 1, 2 名から 3, 4 名いる。毎週水曜日合同の物理化学セミナーが、夕食後 7 時より行なわれる。

Prof. Robert

Livingston (第3

図)は、California 大学で Ph. D. をとり、その後デンマークのコペンハーゲンに留学、化学反応論の泰斗 Prof. J.N. Brönsted のもとで研究、Minnesota 大学に来て 30 年以上研究をつづけてきた老大家である。その間 1938~39 年に Chicago 大学の Prof. Franck とともに仕事をし、これを契機に従来 chemical kinetics を主に研究してきたが、光合成の初期反応、クロロフィルの光化学の研究に入った。1953~54 年にはイギリスの Cambridge 大学 Prof. Norrish の光化学研究室で Dr. G. Porter — Dr. Porter は、1949 年 Prof. Norrish とともに閃光光分解 flash-photolysis の方法を考案し、現在 Sheffield 大学の教授としてこの方法で三重項状態および遊離基の研究を進めている——および Oxford 大学で Prof. Bowen と協同研究した。クロロフィルの光退色、螢光の研究より、光増感反応の研究を進め、準安定状態が光増感反応で大切な役割を演じていることを主張してきたが、これが California 大学の Prof. Lewis および Dr. Kasha らによる三重項状態であることをかれらの剛性溶媒での低温での燐光実験とは別に、Dr. Porter により発見された閃光光分解法により直接確かめた(第4図)。



第4図 閃光光分解装置 (Minnesota 大学)

独日伊その他と国際色まことに豊かである。研究者は、それぞれみずからのテーマをきめ自由に研究を進めているが、教授みずから各研究者の実験室にたびたび足を運ぶことはなかなか難しく、研究者の方から研究の進行状況や結果について話すのが実情である。Radiation Laboratory には定期的に quarterly report を出し、研究がまとまれば、まず Atomic Energy Commission の報告として出し、つづいて学会誌に発表する。毎週金曜日朝7時半よりセミナーがあり、ここで各研究者間の討議がもたれ、Prof. Calvin が他所で総合講演する時などはその予行もここで行なわれる。新学期の初めには、丘の中腹に住む教授の自宅でパーティ、家族同伴で教授の“生命の起源”の会議での Moscow 訪門の映写等で一夕を楽しんだ。なおこの大学の大学院学生は研究に重点を置かれ、研究者に伍して研究に専念する点印象的であった。

さて、Radiation Laboratory に所属する光合成研究室は、光合成の暗反応を追求する生化学者、植物生理学者のグループと光反応を追求する物理学者、物理化学者のグループに大別される。この後者の研究は数年前までは主としてクロロフィルおよびポルフィリンの溶液状態に関するものであったが、in vivo での chloroplast 内の光合成色素の励起状態を solid state physics の立場から解析しようとして試みている。したがって、chloroplast の光現象、なかんずくその発光光の残光特性、その励起および発光スペクトル、温度特性(第7図)、電子スピン共鳴



第7図 chloroplast 発光研究 (California 大学)

吸収による研究に向けられた。これらの現象は、励起一重項を通る励起電子の ionization, recombination によるものと解釈されたが、この場合三重項状態がいかに寄与するか不明である。また ionization の後捕捉される状態が、何であるかも明らかでないが、この半導体的性格の研究のため、モデル物質としてフタロシアニンを用い、その光電導性が電子受容体として coenzyme Q に類似構造のキノ系物質 chloranil 共存での効果その他とともに研究されている。このような生物学的系での半導体性については、古く約 20 年前に、Prof. Szent-Györgyi が 1941 年ハンガリヤの Budapest で Koranyi Memorial Lecture において示唆したものであるが、最近一般有機半導体の研究も盛んになってきた。Prof. Calvin も

1958, 1959 年の夏 2 回 Prof. Szent-Györgyi を Woods Hole にたずね、討論している。筆者が Woods Hole に向けて California を去って以後、光合成研究室の photo-physical group の研究者も次第に去り、現在一時小休止の格好であろう。

* * *



第8図 Woods Hole 臨海実験所

Boston の南 Cape Code の南端 Woods Hole にある臨海実験所(第8図)に達したのはちょうど夏で、実験所は各地からの研究者でにぎわっていた。ここでは6月中旬から夏期講座が開かれるばかりでなく、各大学が夏休みで閑散となるのとまったく対照的に夏期の研究でにぎわうユニークな場所である。この中に Institute for Muscle Research があり、Commonwealth Fund, National Science Foundation, American Heart Association その他いくつかの財団からの資金で運営されている。その所長は、生体酸化還元および筋肉の研究で有名な Dr. Albert Szent-Györgyi (第1図)である。博士はハンガリヤ生まれ、Budapest 大学で M.D. を終え、約 12 年欧州各国を遍歴、その間英国 Cambridge 大学で生化学で Ph. D. を得、生体における酸化還元、エネルギー問題と取り組み、これと関連したビタミンCの仕事ハンガリヤに帰り Szeged 大学で完成、1937 年ノーベル賞を与えられ、Budapest 大学に移り筋肉の研究に入った老碩学で、1947 年再びハンガリヤを去り、米国に渡り、一時 National Institute of Health にいたが、後 Woods Hole にみずからの筋肉研究所を創設、現在まで精力的な研究をつづけている。その研究ばかりでなく、その生活においてもまことに奮闘的な多奇な生涯を送ってきた、いっそうスケールの大きい特異な学者である。その天才的な独創力と透徹した思索、自然の総合的把握は、いくつか未開の分野に新しい道を開いてきたが、電子励起、エネルギー移動、電子易動性の光化学的問題に入ってきたのは、筋肉でのエネルギー変換の解決のためには、この最も大切な基礎的問題が明らかにされねばならぬと確信を持つに至ったからである。

この研究所の研究は、大別して三つのグループに分けられる。一つは、従来の筋肉および筋肉蛋白の生理、生化学的研究で、これにはハンガリヤ、イギリス、ドイツ、

南アフリカからの生化学、生理学者がたずさわり、もう一つは、細胞活動と生長に関する energetics の研究のため、癌および胸腺の研究が主にハンガリヤからの病理学者、生化学者によって行なわれている。しかし、これらの研究は主体ではなく、第三の生体エネルギー問題の理論ならびに実験研究のグループが、この研究所の主流で Dr. Szent-Györgyi と米国の物理学者 Dr. Isenberg, 筆者がこれに当たっていた。この線に沿っての研究は、1950 年頃から Dr. Szent-Györgyi によって始められ、その当初生体物質の電子現象である蛍光およびこれに関連した現象の研究がなされ、氷結状態での三重項状態による燐光現象に進み、あわせて生体物質の共鳴エネルギー移動へと、新しい物理化学の足場で生化学を基礎づける仕事に発展した。さらに最近では、生体物質の電荷移動について、電子スピン共鳴吸収 (第 9 図) および分光



第 9 図 電子スピン共鳴吸収装置 (Woods Hole)

法を駆使して、電子伝達系特に電子運搬体と蛋白質の相互作用について新しい研究を展開している。筆者はここで主に蛋白質の励起状態および蛋白質とプテリン体の電荷移動について研究した。蛋白質の電子、エネルギー移動における役割は、光合成その他生物学的機能の問題において重要であり、今後の発展が望まれる分野である。

この研究所に到着した翌日、博士の自宅で従来の研究その考え方の基礎、独創的な着想について語られ、それに対する筆者の見解をただし、翌日実験を見せていただいた。静かな環境で思索しつつ、非常に小さな変化に絶えずみずからの眼を向けて研究を進めることの大切なことを身をもって行なっている博士の研究態度は、最も教訓的であった。事実、この老大家は、若き研究者と机を並べ、いまだにみずから天秤を使い、試験管を振り、無言で実験室を歩き、深く考えこみながら実験を進めており、新しい道を切り開くためにはみずから実験すべきであるという強い信条に生きていることを目のあたり見る毎日であった。そのため博士の話題は、常にみずからの実験から生み出された新鮮なものであり、研究員への指示と見解は生き生きしたもので、欧州で培われた会話や哲学も豊富であった。研究の主道具である体の鍛錬には特に留意し、すでに 70 才に近い年齢ながら夏は Woods Hole の海で何マイルもの遠泳に、冬は Bermuda 島にとび、真黒になって実験室にあらわれる。精悍そのもので

ある。なお、研究者の独創性を最も尊重し、それだけに確固とした研究の意義と実験結果を用意して随時討議すれば、激励と感謝をもって受け入れられ、その研究の発表の労は惜しまれない。

総員は、研究者 7 名、助手および技術補助員が 7 名で冬期には毎週金曜日の午後 4 時半よりセミナーがあり、各研究者交代に仕事について話すことになっている。年に一度は博士の自宅で大パーティー、昨年はそれぞれ自製のハットのコンテストに始まり、深夜まで踊りまくる一夜であった。これら研究者グループに、さらに夏期の間、外部からの研究者が研究に参画している。特に、Oak Ridge National Laboratory の Dr. Arnold が有機化合物の半導体性と関連して光電導の研究、Florida 州立大学の Prof. Kasha が三重項状態の研究、Paris 大学の Prof. Pullman 夫妻が電子状態の研究に参加している。一昨年夏は、これら夏の研究者も含め、小さなセミナーが“The Seven Winds”と名づけられ風光明媚な博士の自宅で行なわれたが、昨夏はさらにこれを大きなものとし、ドイツから Stuttgart Technischen Hochschule の Dr. Förster, イギリスから Sheffield 大学の Dr. Weber, スウェーデンから Nobel Institute の Dr. Theorell らを招き、2 カ月 Submolecular Biology Conference が行なわれた。初日には Minnesota 大学の Prof. Livingston も見え、久しぶり歓談の機会を持った。つづく 10 月には、この Dr. Szent-Györgyi の提唱した“Bioenergetics”を U.S. Atomic Energy Commission が symposium としてとり上げ、より広く内外の研究者を網羅して Brookhaven National Laboratory で行なわれた。

* * *

以上三つの研究室以外いくつかの大学、研究所、たとえば California 州 Stanford 大学に近い Carnegie 研究所の Dr. French の研究室、Harvard 大学の Dr. Wald の研究室、Boston の近郊にある Brandeis 大学の Dr. Linschitz の研究室、空軍研究所の Photochemistry Laboratory、さらに欧州における英国 Sheffield 大学の Dr. Porter および Dr. Weber の研究室、Oxford 大学の Dr. Bowen の研究室、オランダの Utrecht 大学の生物物理研究室、ドイツの Stuttgart の Dr. Förster の研究室など見学したが、それらの研究状況等僅かの時間に見聞した多くのことは、ここでは省略させていただき、実際に滞在し研究した研究室での研究の進め方、雰囲気等について紹介した。その研究の多くは基礎研究であり、冒頭にのべた開発的研究は今後の課題であり、そうした意味において、すでに発足している米国政府機関である空軍研究所の性格は、興味深いものがある。その開発計画の実施には、もちろん基礎研究援助として、大学およびそれに準ずる研究所に研究資金を出す一方、この研究所員は、Device Development Corporation の Staff scientist として基礎研究と同時に応用研究も進めることになっており、その成果が期待される。(1960.9.5)