

題名	果てしなき科学の世界
Title	The More We Learn
著者名	レナード・アーサー・ハーツェンバーグ
Author(s)	Leonard Arthur Herzenberg
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	Inamori Foundation: Kyoto Prize & Inamori Grants
受賞回	22
受賞年度	2006
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	Inamori Foundation
発行日 Issue Date	8/1/2007
開始ページ Start page	108
終了ページ End page	133
ISBN	978-4-900663-22-0

果てしなき科学の世界

レナード・アーサー・ハーツェンバーグ

昨日の授賞式の冒頭で、私は「自分が何でも知っていると思ったら、それは大きな間違いだ」(Fig. 1) という意味の日本の古い諺を引用しましたが、この言葉を選んだのは自分の謙虚さを示すためでも、日本の皆様の歓心を買うためでもありません。これまで私は、過度にもったいぶった理論やすべてを達観したかのようなイデオロギーを振りかざしたり、宗教的信仰に基づく超俗的な「啓示」を追い求めたりすることはしない、と自らを諫めてきました。研究者、教師、そして政治活動家として私が実践してきたのは、それが免疫システムであれ、放射線による遺伝子への悪影響であれ、はたまた声高に唱えられた、豊富な石油資源を擁する中東の某国における大量破壊兵器の脅威であれ、ある対象に関する理解の深化に役立つ事実を自らが突き止め、そして他者が突き止める手助けをすることでした。

今回、京都賞受賞の対象となりました蛍光励起細胞分取装置FACSも、実はこうした探究心から生まれました。私がこの装置を作り、そして完成後何年もかけて改良を加えていった理由というのは取りも直さず、細胞の特性や機能の記録を行う、正確かつ事実に基づいた手法が私の研究室に必要だったためです。皆様もご存知のように、現在、FACSは動物や植物の細胞の同定ならびに特定を行う装置として、医学、生物学の研究に幅広く使用されています。人が、生命の本質についてあれこれ思いを巡らせるのは自由ですが、我々はそういうわけにはいきません。我々が唯一欲しているのは確かなデータであり、それ以外は一切必要ありません。昔、アメリカで人気のあった刑事ドラマ『ドラグネット』の主人公ジョー・フライデー刑事の口癖を借りて言うなら、「肝心なのは事実だけ」なのです。

こうした事実の探求という我々の試みにおいては、アインシュタインによる相対性理論の発見およびそれに勝るとも劣らない金字塔とも言うべきダーウィンの自然選択説が重要な道標となりました。同時に、我々は自らが発見した事実、つまり実世界の観察によって得られたデータを用いて、当時我々が最も信頼を置いていた理論に対してさえ、その正当性を試すという作業を適宜行うようにしていました。時には、我々が突き止めた事実をすべて説明することができないため、それまで正しいと信じられてきた理論を捨て去り、より生産的かつ予言的な説明が可能な新たな理論に乗り換える必要に迫られることもありました。

The More We Learn

Leonard Arthur Herzenberg

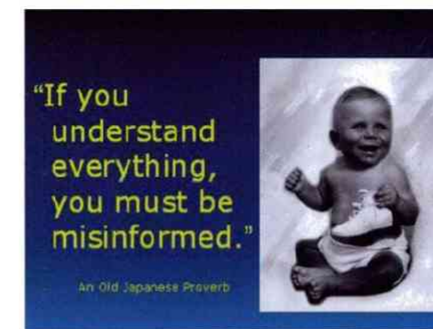


Fig. 1

At the award ceremony for the Kyoto Prize, I began by quoting an old Japanese proverb: “If you understand everything, you must be misinformed [Fig. 1].” In choosing this quote, I was not just being modest or diplomatic. I have always shied away from overly grand theories, all-encompassing ideologies, and the faith-based pursuit of some other-worldly revelation. My life’s work as a scientist, teacher and political activist has been to find—and to help others find—facts that improve understanding, whether of the immune system, the genetic dangers of nuclear radiation, or the loudly proclaimed threat of weapons of mass destruction in some oil-rich country in the Middle East.

The Fluorescence Activated Cell Sorter (FACS), for which I am now being honored, grew out of this quest. I built it, and perfected it over the years, because my colleagues and I needed an accurate, factual way of describing the properties and functions of cells. Now, as many of you know, it is broadly used by medical and biological scientists to identify and characterize animal and plant cells. Others can speculate about the nature of life; my colleagues and I want—and need—hard data. Like Sgt. Joe Friday in the old television detective series *Dragnet*, our driving interest remains “Just the facts, Ma’am. Just the facts.”

Theories such as Albert Einstein’s monumental discovery of relativity, or Charles Darwin’s equally powerful view of natural selection, play a vital role in guiding our search for these facts. But we repeatedly use the facts we find—the

これこそがまさに科学のあるべき「道」なのです。我々が私のおよび公的な場において選択を行う際も、こうした事実至上主義的なアプローチを取るべきではないかと私は考えています。これに関して思い出すのは、私がハーマン・カーンを始めとするいわゆる「冷戦の闘士」と交えた論戦です。当時、彼らはアメリカには核シェルターがあるから核兵器を使って旧ソ連を攻撃しても安全である、という主張を展開していました。彼らは、自分たちは「物事を深く考えている」と嘯きながら遺伝学の「いろは」さえ顧みず、爆発で命を落とさなかった人々も、爆心地からの距離にかかわらず継続的に放射能に晒されることによって生命に危険が生じるという懸念を公の場で口をきわめて否定していたものでした。彼らの主張はまったくの誤りであり、私はそれを指摘しました。その後、私は広島、長崎の被爆者の方々を対象とする原爆傷害調査委員会の一員として、私の主張が正しかったという証拠をおどましいほど微に入り細にわたって目にするようになりました。政治、ビジネス、宗教界の指導者がどんな戯言で我々を言いくるめようとしても、事実は事実なのです。

こうした現実的な物の見方が身に付いたのはまだ小さい頃でした。生まれはニューヨークのブルックリン。合理的な考え方が導かれる土地柄です。両親はロシア、東欧からの移民の二世でした。父は衣料品店に営業として採用され、その後マネージャーにまで昇進しました。母は弁護士の秘書をしていました。家庭の事情でやむなく高校を1年で中退しなければならなかった母ですが、自学自習で学問を身に付けていました。母は、自分が成就できなかった学業の楽しさを私に教えてくれました。また、本の虫だった彼女の影響で私も読書が大好きになりました。

また、私は人に頼らず自分の判断を大切にする術も身に付けました。第二次大戦中のある時期、両親共に仕事が忙しくて帰りが遅いため、私はニューヨーク州北部の寄宿学校に入れられていました。当時私はまだ10歳かそこらで、ブルックリンにあった歯科で毎週矯正治療を受けていました。毎週金曜日、学校が終わると一人で電車に乗ってマンハッタンのグランド・セントラル駅まで行き、間違えることなくブルックリン行きの地下鉄に乗り換え、目的の駅で降り、そこから数ブロック歩いてその歯医者に通っていました。治療が終わると、父の衣料品店まで歩いて帰ったものでした。大都市の交通システムを迷うことなく使いこなす、というこの時の経験は、自分に必要なことは一人でできるという、ある種、自分の能力に対する自信のようなものを私

observable data from the real world—to test even our most cherished theories. And because, as sometimes happens, our old theories can no longer explain all the facts we have found, we must be prepared to adopt new theories that offer more productive and predictive explanations.

This is the way, the Tao, of science. A similar focus on hard data should also, in my opinion, guide the choices we make in our personal and public lives. I still remember battling Cold Warriors like Herman Kahn, who insisted that fall-out shelters would protect us so we could defeat the Soviet Union in a nuclear clash. Ignoring basic genetics, these “deep thinkers” with loud public voices completely downplayed the threat that continuing radiation even quite distant from the bombsite would pose to anyone who survived the initial blast. They were simply wrong, and I said so. Later, I saw the proof of my argument in agonizing detail when I served on the Atomic Bomb Casualty Commission studying the survivors of Hiroshima and Nagasaki. Facts are facts, no matter what nonsense our political, business, and religious leaders try to sell us.

I came to this tough-minded approach early in life. I was born in Brooklyn, New York, a very hardheaded place. My parents were second-generation immigrants from Russia and Eastern Europe. My father worked in a clothing store, first as a salesman and then as a manager. My mother worked as a legal secretary. Hard times had forced her to leave high school in her first year, but she was a very bright woman and educated herself. From her, I gained a love of the schooling she never completed, and a passion for good books, which she never stopped reading.

I also learned to rely on myself and my own judgment. For a short while during World War II, my parents were both working long hours and they sent me to a boarding school in upstate New York. I was only 10 and 11 years old and still had weekly appointments with my orthodontist, who was in Brooklyn. So every Friday I took the train by myself from the school to Grand Central Station in Manhattan, found the right subway train to get to Brooklyn, got off the train at the right stop, and walked several blocks to the dentist's office. After the appointment, I walked to the clothing store where my father worked. Doing this—navigating the big city transportation systems without ever getting lost—gave me the kind of security in

に与えてくれました。後に私は技術的な知識は皆無に等しかったにもかかわらずFACSの開発に着手するわけですが、こうした自分の能力に対する自信なしにはそれは到底不可能であったと思います。

寄宿学校での生活に馴染めなかった私を見て、両親は私を家の近所にある公立の第99小学校に転校させ、下校後の私の面倒を見るシッターを雇いました。しかし、自分は何でも一人でできるのでシッターは要らないと両親に納得してもらうのにさほど時間はかかりませんでした。私は学校から帰ると自分でおやつを用意し、毎日のように近くの公立図書館に通っていました。図書館では、時には司書が薦めてくれた本を、また時には自分が選んだ本をゆっくりと楽しんで読むことができました。確か5、6冊だったと思うのですが、一度に借りることのできるだけの本を借りて自宅で楽しむこともしばしばでした。好きなジャンルはノンフィクションで、そうした本から私は世界について学びました。また、この頃に読んだ理科の本のおかげで、生物学やその周辺分野への興味が培われ、本から仕入れた知識を実践してみることによってその興味はますます大きなものとなっていったのです。

高校では友人と化学部を立ち上げ、毎週何回か集まっては主に私の自宅の地下室で活動していました。ある部員の父親で当時、地元の別の高校で校長をしていたモリス・マイスターという方がいらっしゃいました。この方はもともと化学を教えておられ、後にブロンクス科学高校の校長として広く名前を知られるようになるのですが、実験用にと私たちの好奇心をくすぐるような化学薬品を色々と下さいました。ある時はバナナに似た匂いのする酢酸イソアミルなど、様々な酢酸塩を混ぜて香水や食品の匂いを人工的に作ったりしました。マイスターさんは部会にも時折顔を出してくれましたが、私たちはいただいた薬品を使って実験をしたり、化学に関する本や専門書を読んだりして自らの知識を深めていきました。

当時は化学薬品や器具を売っている店がたくさんあり、足りない薬品があればどこでも買うことができました。ある時、私たちは灯油に浸けて保存された固体ナトリウムを買ってきました。もちろん、ナトリウムが燃えることも、水と反応させると爆発を起こすことも承知の上です。私たちはキッチンナイフでナトリウムを小さく刻み、乾いた瓶に入れてわざと緩めに蓋をして、雨水用の排水管に放り込みました。

my own ability to do what is necessary, which later gave me the courage to embark on the FACS development project, even though I was not in any way an engineer.

I never really liked the boarding school, so after a while my parents put me back in my neighborhood school, P. S. 99, and hired a nanny to look after me when I came home. I soon convinced my parents that I didn't need the nanny and that I was perfectly capable of taking care of myself. I made my own snack when I came home from school, and on most days I walked to the nearby public library, where I felt secure and happy reading every book that the librarian let me check out. She sometimes suggested books for me; other times, I picked them myself. Often, I checked out my limit of five or six books and took them home to read. My favorite books were non-fiction, which taught me about the world. My interest in biology and related fields grew from the science books I read and the way I used what they taught.

When I started high school, my friends and I formed a chemistry club, which met several days a week, mostly in my basement. Morris Meister, the father of one of the boys, had been a chemistry teacher before becoming a local high-school principal and going on later to become a well-known principal of the Bronx High School of Science. Dr. Meister gave us all kinds of interesting chemicals to work with, making it possible for us to learn to make perfumes and food smells by mixing various acetates, including isoamyl acetate, which smelled like bananas. He joined us for some of the meetings, but mostly we learned from experimenting ourselves with the chemicals we had and from reading chemistry books and manuals.

In those days, we could go to any of a number of chemical supply stores to buy whatever we didn't have. We bought solid sodium in oil, which we knew would burn and explode in water. We cut the sodium into little pieces with a kitchen knife, put them into a dry bottle with a loose cap, and tossed it into the storm sewer. As we expected, the water got into the bottle and created a nice little explosion. We then got braver—or more foolish—and put bigger pieces of sodium into the bottle. Those explosions sent water gushing up from the sewer on the opposite side of the street. Fortunately, no one got injured, but our parents yelled at us and told us to stick to less dangerous chemicals.

我々の計算通り、瓶に水が入って小さな爆発が起こりました。これに気を良くした私たちは、悪乗りして今度はもう少し大きなナトリウムを瓶に入れてみました。その時の爆発たるや、通りの反対側の排水管から下水が噴き出すほどの大きなものでした。幸いケガをした人はいませんでしたが、私たちは親からどやされ、危険な薬品は使わないようにと釘を刺されました。

私は主にニューヨーク市の公立学校に通っていましたが、その教育の質は非常に高いものでした。高校時代は、数学と科学の科目をできる限りたくさん取りましたが、成績の方は決してトップという訳ではありませんでした。私の学問の才能が目覚めるのは、大学に進んで、より自由ではあるがその分、個人の努力も求められるカリキュラムに触れてからのことです。市立大学の唯一の入学要件である大学入学資格試験で優秀な成績を修めることのできた私は、基本的に授業料を納める必要はなく、自分が通っていた高校とは向かいのブルックリン大学に進むことにしました。

当時、ブルックリン大学には素晴らしい先生方がいらっしゃいました。授業も私にとって興味深いもので、特に数学と科学ではオールAを取ることができました。生物と科学の先生は課外研究を目的とした学生の自主組織のサポートもしてくれていました。入学して最初の学期に、私は化学部、それに生物・医学研究会に入ったのですが、当時の研究会のメンバーはそのほとんどが第二次世界大戦の帰還兵で、復員兵援護法を利用して医学部進学課程に進み、医師を志している人たちでした。彼らは会費こそ納めていたものの、会合にはほとんど顔を出すことがなかったので、活動の比重は私を含めて出席していた学生の関心がより大きかった生物に置かれることになったのです。

ブルックリン大学には寮がなかったので、学生は全員通学生でした。バスや地下鉄で通っている者もいましたが、私はと言うと、たくさんの本を抱え、レインコートや分厚いコートを着込んで自転車で通学していました。幸い、生物・医学研究会は、大学の庭に植えるための花や草木を栽培していた温室を使う許可を生物学部から得ていましたので、私には昼夜を問わず、友人と話をしたり、授業がある時は荷物置き場として使ったりできる、暖かい場所があったのです。

Most of my formal education came from the New York City public schools, which were truly excellent. Throughout high school, I took all the math and science courses I could, but I have to admit that I was never a top student. It took the more independent and challenging college curriculum to get me going. To attend any public university in New York City, I needed only to do well in the College Board examinations, which I did. I then decided to go to Brooklyn College, which was essentially free and just across the street from my high school.

The Brooklyn College faculty was outstanding. I found their math and science courses much more interesting and got straight A's in them. The biology and chemistry professors also sponsored extracurricular student organizations. In my first semester, I joined the chemistry club and the Society of Biology and Medicine, whose members were mostly World War II veterans using the G.I. Bill of Rights to study pre-med, intending to become medical doctors. They paid dues, but rarely came to meetings. Those of us who did attend were more interested in biology than medicine.

Brooklyn College had no dormitories; the students were all commuters. Some came on buses or subways, while I rode my bicycle to college every day, carrying all my books along with a raincoat or heavy winter clothing. Happily, the Biology Department had given our Society of Biology and Medicine a greenhouse full of ornamental plants and flowers for the college's beautifully maintained gardens. So I had a warm place to meet my friends and park my belongings when I went to class, either during the day or in the evenings.

Early on, I got elected to head the Society's program committee, which allowed me to choose speakers for our weekly meetings. I kept this position for the entire four years of college and was able to invite a long list of excellent, well-known, and sometimes famous scientists from the many fine universities in the NYC area. As program chairman, I got to introduce the speakers before their talks and, very important for me, to take them to lunch with our faculty members. I was really thrilled to be able to spend time talking to these famous scientists, and to listen to them talking to our faculty—all paid for by the club dues.

The Society offered other advantages as well. We sponsored parties to which

私は入会後まもなく生物・医学研究会の企画委員長に選ばれ、毎週行われる会合に誰をスピーカーとして招くかを決めていました。私は在学中ずっとこのポストを務めることとなり、地元の名門大学から優秀かつ著名な、そして時には全国レベルの知名度を誇る研究者を数多く招きました。講演に先だってスピーカーを皆に紹介し、彼らをブルックリン大学の教授を交えたランチに連れて行くのが企画委員長としての私の役目でしたが、特にランチは大きな楽しみでした。著名な研究者の話を直に聞けるだけでなく、教授との会話も傍聴できるというのは大きな喜びでした。しかも、その費用は研究会の予算で支払われていたのです。

研究会のおかげで、別のチャンスも訪れました。新入生勧誘会と銘打ってパーティーを開いていたのですが、そこに女子学生も来たのです！4回生も間もなく終わりを迎え、ブルックリン大学を卒業してカリフォルニア工科大学の大学院に進む準備を進めていた頃、私はそのパーティーで当時新入生であったレオノール（リー）・アドラー・スタインに出会ったのです（Fig. 2）。それから1年半後に我々は結婚し、彼女はハーツェンバーク家の一員となりました。それからというもの、私は彼女が一流の免疫学者になる過程を見守り、時には彼女の研究の手助けもしてきました。結婚してから53年になりますが、私たちは、公私ともに仲良く、そして生産的にお互いの力を合わせてきました。今回の受賞対象となっている私の業績のほとんどが、彼女の全面的な協力なしには成し得なかったものであり、今回の京都賞が妻との共同受賞とならなかったことが心残りです。

ブルックリン大学ではたくさんの優れた恩師に恵まれましたが、私にとって特に大切な方がお二人いらっしゃいます。そのうちの一人、シーモア・フォーゲル教授（Fig. 3）はミズーリ大学でトウモロコシの遺伝を研究されていた方で、ブルックリンのど真ん中、大学横の敷地に作られたトウモロコシ畑で研究を続けていらっしゃいました。入学してまだ間もない頃、私はフォーゲル教授に何か一緒に実験的な研究をさせてもらえないか、と頼んでみました。教授はご自身で集められたトウモロコシの乾燥種子を使って、種類の異なる種子の吸水率を調べては、と提案して下さいました。

これは学部生の研究には格好のテーマでした。というのも、高価な装置は一切必要

we invited potential recruits, including girls! At the end of my senior year, just as I was getting ready to leave Brooklyn and become a graduate student at Caltech I met Leonore (Lee) Adlerstein, who was just starting her first year at the college [Fig. 2]. A year and a half later, I married Lee, changed her name to Herzenberg, and over the years watched her—even helped her—become a leading immunologist. We have happily and productively collaborated in science and life for some 53 years, and she has participated fully in most of the work for which I am now being honored. I am sorry that the Kyoto Prize committee could not include her as winner along with me.

At Brooklyn College I had many good teachers, but two were particularly important to me. Professor Seymour Fogel [Fig. 3] had studied the genetics of corn (maize) at the University of Missouri, and was continuing his research in the heart of Brooklyn, in an urban cornfield next to the college. Early in my freshman year, I asked him if I could do some experimental research with him. He had his own collection of dry corn seeds, and suggested that I study the rate at which different seeds took up water.

This was a good undergraduate project because I would not need any fancy equipment: just a few small dishes; some filter paper I could moisten; a balance on which I could weigh the seeds; and some graph paper on which I could plot a series of curves to show how much water each of the seeds absorbed over time. As I pursued the work, I learned the importance of measuring, recording and analyzing quantitative data. I also saw that there was no correlation between visible characteristics of the seeds, such as color, and the amount of water they took up.

In addition, in doing this project, I learned how experimental research often leads in completely unexpected directions. In the moist environment of the dishes, my seeds naturally became contaminated with bacteria. Since I was taking a biology course at the time with a professor who had been a co-discoverer of the antibiotic streptomycin, I asked him if it might inhibit the bacterial contamination. He gave me some and it worked to kill the bacteria.

This was interesting, but the surprise came when I completed the experiment and planted the seeds in our college greenhouse. Growing up in the big city, I had

なかったからです。必要なのは小皿が数枚、水分を含ませることのできるフィルターが数枚、種子の重さを量る秤、それとそれぞれの種子が時間とともにどれだけの水を吸収したかを示す曲線を書き入れるためのグラフ用紙だけでした。実際に作業を進めるにつれて、私は定量的なデータの測定、記録、分析を行うことの大切さを学びました。また、色などの視覚的特徴と吸収する水の量には相関関係がまったくないこともわかりました。

また、この研究を進めていくうちに、実験的な研究は、しばしば研究者がまったく予期していなかった方向に展開することがあることを知りました。実験用の皿に用意された湿潤環境の中で、当然のことながら種子はバクテリアに汚染されてしまいました。当時、私はストレプトマイシンという抗生物質の共同発見者である教授が担当していた生物学のクラスを取っていたので、その教授にストレプトマイシンを使ってバクテリアの汚染を阻止できないものか、と相談してみました。教授にいただいたストレプトマイシンで私はバクテリアを殺すことに成功したのです。

これだけでも十分に刺激的な経験でしたが、実験終了後、大学の温室にその種子を植えるとさらに驚くべきことが起こりました。都会育ちの私は、トウモロコシの苗木がどのように成長していくのかを知らず、その姿を一目見るのを楽しみにしていました。新芽は緑色をしていたのですが、苗木の中には白い縞模様が入っているものも数多くありました。それをフォーゲル教授に見せると、教授もこれは非常に珍しいことだと言われました。顕微鏡を通してよく見てみると、通常の緑の葉緑体だけでなく、白い葉緑体が見えたのです。また、その白い縞模様はストレプトマイシンによって漂白された葉緑体を持った特定の細胞から伸びてきていたのです。

そう、私はストレプトマイシンが葉緑体に突然変異を起こすという「発見」をしたのです。私は早速学会で研究成果を発表したのですが、スウェーデンのあるノーベル賞受賞学者が既に「私の発見」について発表を行っていたことを知らされました。世間に向けて最初に発表するのが自分でなかったことは残念でしたが、私は著名な研究者が行ったばかりの発見を自分でも知らないうちにしていたのです。学部生にしてはなかなかの成果ではないでしょうか！これで私は研究に夢中になり、大学在学中はフォーゲル教授のトウモロコシ畑で種子の研究に勤しんでいました。独自に研究をす

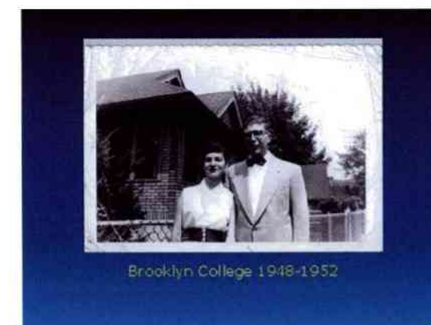


Fig. 2

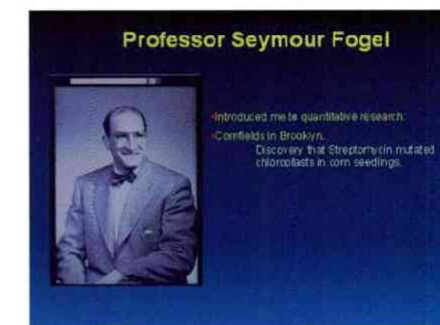


Fig. 3

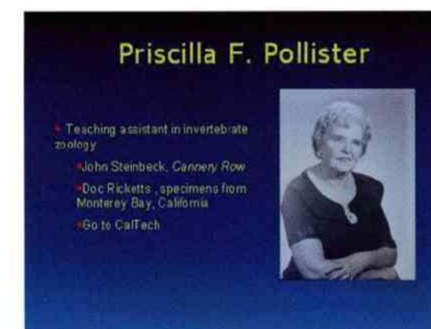


Fig. 4

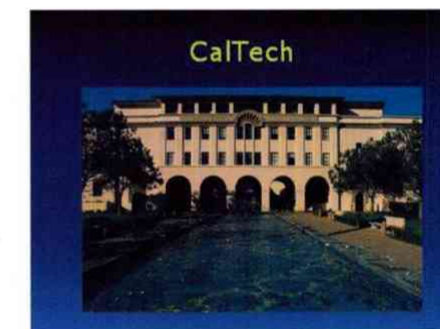


Fig. 5

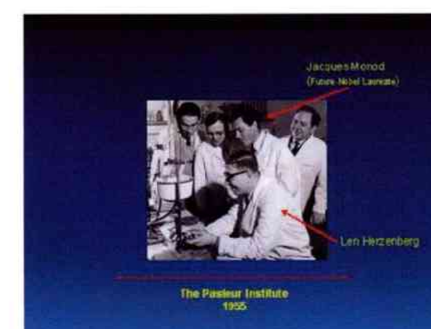


Fig. 6



Fig. 7

る術を学んだのはこの時でした。

私が大きな影響を受けたもう一人の大学の恩師は、プリシラ・ポリスター教授 (Fig. 4) という大変聡明かつ興味深い女性でした。ポリスター先生は毎年春学期に無脊椎動物学を教えていらして、私を助手にしてくださいました。授業はありとあらゆる背骨のない動物について研究し、学ぶというものでした。先生はカリフォルニア州のモンレーで、アメリカの有名作家ジョン・スタインベックが小説『キャナリー・ロウ』で「ドク」として描いた実在の人物、エドワード・E・リケッツのために集めた標本を見た時のことを私たちに生き生きと語ってくれました。彼女の研究室にあるガラスのキャビネットにはその時に持ち帰った標本が数多く飾られており、標本が収められた瓶にはスタインベック直筆のラベルが貼ってありました。

助手の仕事は在学中の4年間ずっと続けました。卒業を間近に控えてどの大学の博士課程に進むべきか思案している私を見て、先生は当時まだ発展段階にあった分子生物学を学ぶのであれば、とカリフォルニア工科大学を勧めてくださいました。両親や両親の友人は私が東海岸に残ってハーバード大学に進むことを望んでいました。ハーバードなら彼らもよく知っているし、故郷にも近いから、というのです。両親はカリフォルニアの地震も気になっていたようです。まるで私が地球の果てから落下してしまうかのような心配の仕様でした。さて、私はポリスター先生やフォーゲル先生を始めとするたくさんの人々から強力な推薦状をいただき、カリフォルニア工科大学だけでなくハーバード大学からもすぐに合格通知が来ました。両親には申し訳ないのですが、結局私はカリフォルニア工科大学へ進む決心をしたのでした。

カリフォルニア工科大学 (Fig. 5) ではライナス・ポーリング、ジョージ・W・ビードル、アルフレッド・H・スタートヴァントを始めとする偉大な研究者と話をする機会に胸を躍らせました。私はハーシェル・ミッチェル博士の研究室に籍を置くこととなったのですが、ある日、博士は私にアカパンカビの遺伝に関する研究についてお話をしてくださいました。アカパンカビというのは、ビオチンというビタミン一種類と砂糖などのエネルギー源さえあればいたってシンプルな培地の上で生育する、普通アカパンカビです。ミッチェル教授は、生育がゆっくりしているので「のろま」と俗に呼ばれていた母性遺伝のアカパンカビの変異体を研究してはどうか、と私に勧めて下さ

never seen how corn seedlings grew and I was curious to find out. The shoots came up green, but a number of the seedlings had white stripes. I showed them to Dr. Fogel and he agreed that they were highly unusual. Looking under the microscope, I saw white chloroplasts along with the normal green ones. I also found that the white stripes grew from individual cells whose chloroplasts the streptomycin had bleached.

What a discovery I had made! Streptomycin caused mutations in the chloroplasts. I went to a scientific meeting to present my results, only to discover that a Swedish Nobel laureate had just published “my finding.” I was disappointed that I was not the first to publish, but I had reproduced what a famous scientist had just found. That wasn't so bad for an undergraduate! It really turned me on. I worked all through college in Dr. Fogel's cornfield and with his seeds. That's how I learned to do independent research.

The other teacher who greatly influenced my college career was a very bright and interesting woman, Professor Priscilla Pollister [Fig. 5]. Every spring semester, she taught invertebrate zoology and allowed me to be her teaching assistant. The course consisted of examining and learning about all kinds of animals without backbones. I will never forget how colorfully she told us how she had gone to Monterey, California, where she saw the specimens that the famous American writer John Steinbeck had collected for Doc Ricketts, a real character whom Steinbeck immortalized in the novel *Cannery Row*. The glass cabinets in her classroom housed lots of specimens she had brought back from that visit. They were housed in jars with labels written by hand by John Steinbeck.

I stayed as Dr. Pollister's teaching assistant for the four years I was at Brooklyn College. In the last year, when I was considering where I should go for a Ph.D., she urged that I apply to Caltech in California, which would be ideal for my interest in the developing field of molecular biology. My parents and their friends would have preferred that I remain on the East Coast and go to Harvard, which they knew much better and which was closer to home. My family also worried about the earthquakes in California, fearing that I might fall off the end of the earth. Dr. Pollister, Dr. Fogel and others gave me very strong recommendations. Caltech accepted me immediately, as did Harvard. To my parents chagrin, I chose Caltech.

いました。この研究の成果は、1955年に発表した私の博士論文「アカパンカビにおけるシトクロム破壊系に関する研究」にまとめました。

博士課程の終了後、私はパリのパスツール研究所に赴き、博士研究員として最初の研究を開始しました。パリでは分子生物学が専門のジャック・モノー博士と一緒に研究を行いました (Fig. 6)。この研究所での私の仕事の一部は、後にモノー、フランソワ・ジャコブ、アンドレ・ルwoffらがノーベル賞を受賞することになる、遺伝子発現の調節に関する重要な発見にいくらか貢献しています。

パリで1年半ほど過ごした後、2年間の義務兵役の履行を求める通知が来ました。当時、冷戦が悪化していたこともあって、米軍は私に祖国のために銃を持つことを求めてきたのですが、私は銃ではなくピペットを持つことを選び、米国公衆衛生局のポストを得ることに成功しました。私の赴任地は首都ワシントンDCの近くにあった国立衛生研究所で、ハリー・イーグル博士と共にそこで2年を過ごすことになりました。

国立衛生研究所のイーグル博士のグループは、哺乳類細胞を培養する技術と培地の開発に成功していました。私はこの技術を使って、以前にアカパンカビやバクテリアの遺伝の研究を行っていた時とまったく同じ方法で哺乳類の体細胞の遺伝に関する研究を行うことを思い付きました。当初、私は薬剤耐性のあるマーカーを使っていましたが、実際に研究を始めてからすぐにH-2抗原やその他の細胞表面マーカーを試してみるようになりました。実はこの試みが後にFACSの発明へと結びつく研究に直接繋がっていたのでした。

哺乳類細胞を用いた私の実験は、ジョシュア・レーダーバーグ博士がノーベル賞を受賞したバクテリアに関する研究から概ねヒントを得ていました。ですから、レーダーバーグ博士が私の研究に関心を示して下さり、当時、スタンフォード大学医学部で博士が創設に携わっていた遺伝学科にスタッフとして参加しないかとお声をかけていただいた時は二重の喜びでした。スタンフォード大学医学部は、サンフランシスコからパロ・アルトのスタンフォード・キャンパスに移転を進めており、一流の教授陣を招き、当時アメリカで最も活気に満ちた研究・教育機関となりつつありました。ス

At Caltech [Fig. 5], I was thrilled to have the opportunity to talk with great scientists such as Linus Pauling, George W. Beadle and Alfred H. Sturtevant. I was assigned a desk in the laboratory of Dr. Herschel Mitchell, who talked to me about genetic studies with *Neurospora* (a common bread mold that grew on very simple salt media with only one vitamin, biotin, and an energy source like a sugar.) Mitchell suggested I start by studying a maternally inherited *Neurospora* mutant called “poky” because it grew slowly. This work led eventually to my thesis, “Studies on a cytochrome-destroying system in *Neurospora*”, which I completed in 1955.

Next, I went to do my first postdoc at the Pasteur Institute in Paris, where I worked with the molecular biologist Jacques Monod [Fig. 6]. Some of my work there contributed in a small way to a fundamental discovery in gene regulation for which Monod, François Jacob and Andre Lwoff later won the Nobel Prize.

After about a year and a half in Paris, I got my draft notice, which ordered me to report for two years of compulsory military service. With the Cold War escalating, the United States Army wanted me to carry a rifle for my country. I preferred to carry a pipette by finding a position in the United States Public Health Service. I ended up working for two years with Dr. Harry Eagle at the National Institutes of Health (N.I.H.) near Washington D.C.

Eagle and his group at the N.I.H. had developed methods and media for growing mammalian cells in culture. I decided to use this technology to study the genetics of mammalian somatic cells, much the way I had been studying *Neurospora* and bacterial genetics. Although I initially used drug resistance markers in these studies, the work soon led me to explore the use of H-2 antigens and other cell surface markers. This, in turn, took me directly to the studies that led to the invention of the Fluorescence Activated Cell Sorter.

My experiments with mammalian cells were largely inspired by the work on bacteria for which Joshua Lederberg had won the Nobel Prize. So, I was doubly delighted when Dr. Lederberg took an interest in my work and invited me to join the new genetics department he was founding at the Stanford University School of Medicine. The medical school was moving from San Francisco to the Stanford

スタンフォードの遺伝学科には、レーダーバーグ博士と彼の妻であるエスター・レーダーバーグ博士、ノーベル賞学者アーサー・コーンバーグ博士ならびに博士がセントルイスのワシントン大学から学科ごと引き連れてきたスタッフ、生命科学の分野で将来を嘱望された若き博士たちが集まり、客員教授も免疫遺伝学を始め、遺伝学の範疇でも特に注目を集めていた分野を専門とする研究者が数多く招かれていました (Fig. 7)。

1959年、私は哺乳類細胞の培養をスタンフォードに移し、さらなるH-2抗原の研究を始めました。妻のリーに頼んで、培養細胞表面のH-2抗原を検出する抗体を作ってもらい、今も続く共同作業の絆を一層深いものとししました。我々の初期の論文で特に重要なのはリーが書いたもので、自分のものとは異なるH-2抗原を持つ子を産んだメスのマウスに、抗H-2抗体が存在することを報告したものでした。これは人間のRh系に似たシステムがマウスにも存在することを示す最初の発見であり、その医学的な意義は明らかでした。人間では、血液型がRhマイナスの女性がRhプラスの子供を身ごもると、その女性はRh抗原に対して免疫ができてしまいます。次の妊娠で、胎児がまたRhプラスであった場合、母親の体内にできた免疫が胎児のRhプラス細胞に対する反応を誘発し、当時「青色児症候群」と呼ばれていた重度の貧血を引き起こします。妻の論文はマウスを使ってこの疾患の研究を進める可能性を示したのです。

この他にも、私たちがスタンフォード大学で行った初期の研究には、ノーベル賞受賞者であるピーター・メダワ博士の「H-2はDNA抗原である」という説を修正するきっかけとなった、H-2抗原の化学的性質とその細胞膜上の位置の研究があります。この研究の一環として妻と私はH-2抗原に結合する抗体に蛍光分子を付着させ、この抗体を使って表面H-2抗原を持った細胞を蛍光顕微鏡で見えるようにしたのです。こうした手法は1940年代の初頭にハーバード大学のアルバート・クーンズ博士によって編み出されたものです。もともと視力が悪いのに、目を凝らして蛍光細胞を一つ一つ観察しているうちに、機械を使えば数百万の細胞の分別、分取を手早くしかも簡単に行えるのでは、というアイデアが閃いたのです (Fig. 8、9)。

時間を節約し、目への負担を軽減する方法を探すうち、私は、ロスアラモス国立研

campus in Palo Alto, and was attracting a stellar faculty, making it the most exciting research and teaching school in the country. My new colleagues would include Joshua and Esther Lederberg, the Nobel laureate Arthur Kornberg and his entire department from Washington University in St. Louis, some of the top young Ph.D.s in the life sciences, and an exciting stream of visiting professors in Immunogenetics and other hot areas of genetics [Fig. 7].

Bringing my mammalian cell cultures to Stanford in 1959, I set out to pursue further studies of the H-2 antigens. I asked my wife Lee to make antibodies that would detect these antigens on our cells, thus solidifying our life-long collaboration. Among our first publications was an important paper by Lee showing the presence of anti-H-2 antibodies in female mice whose earlier litters had different H-2 antigens. This was the first finding of a human Rh-like system in mice. The medical significance was obvious. In humans, an Rh-negative woman who carried Rh-positive babies would become immunized to the Rh antigen. If in a subsequent pregnancy she had another Rh-positive child, her immunity would trigger a reaction against her baby's Rh-positive cells, causing a profound anemia known at the time as "blue baby syndrome." Lee's paper opened the possibility of using mice to do further research on the problem.

In other early studies at Stanford, we focused on the chemistry of the H-2 antigens and their location on the cell membrane, correcting the view of Nobel laureate Peter Medawar that H-2 was a DNA antigen. As part of this work, Lee and I attached a fluorescent molecule to antibodies that would stick to H-2 antigens and used these antibodies to make cells with surface H-2 antigens visible with a fluorescence microscope. This was a technique pioneered by Albert Coons at Harvard in the early 1940s. Straining my weak eyes to see the fluorescent cells one by one, I realized that it would be a lot quicker and easier to identify and sort millions of cells with a machine [Fig. 8, 9].

My search for such a time-and-eye-saver took me to the Los Alamos National Laboratory, where my country had developed the atomic bombs that we dropped on Hiroshima and Nagasaki and was (belatedly) working on determining the effects of radioactive fallout. I had heard that scientists at Los Alamos had created a machine to measure and sort particles in the lungs of animals they had sent up

究所へと行き着きました。この研究所はアメリカが広島、長崎に投下した原爆が作られたところで、大変遅きに失していましたが、当時、放射性降下物の影響に関する研究を行っていました。私は、ロスアラモスの研究者が地上核実験で発生したきのこ雲の中に動物を気球に乗せて送り込んだ後、動物の肺の中に存在する粒子の測定、分取を行うことのできる装置を作ったという話を聞いていました。ちょうど私がロスアラモスを訪ねた頃、マック・フルワイラー博士のグループが、サイズの多いのが哺乳類細胞の粒径範囲に概ね近い、こうした粒子のボリューム測定、分取を効率的に行うことのできる装置を開発したところでした。

そうした装置が実際に存在することに感激した私は、それに蛍光検出機能を付け、細胞についても有用かつ興味深い測定を行えるようにしてはもらえないだろうかというフルワイラー博士たちにお願ひしてみました。彼らの答えは、そうした作業は自分たちの「使命」の範囲を超えている、というものでしたが、丸一日かけて説得した甲斐あって、図面をスタンフォードまで持ち帰り、学内のエンジニアの手によってその装置を私の望むような仕様に改造する許可を得ました。

ロスアラモスで開発された装置に蛍光検出機能だけでなくその他にも必要な機能を追加する作業は、思っていたよりもずっと困難で費用が嵩むものでした。しかし、我々はロスアラモスという、ある意味世界で最も破壊的な研究所が作り出したこの装置を、人々の治療に大いに役立つ装置へと作り変えることに成功しました (Fig.10、11)。科学には自立的な思考が必要であることは事実ですが、同時に奇妙なコラボレーションからも科学が利することがある、というのもまた真実なのです。

事実、科学の世界で私が行ってきた仕事の多くは同僚との共同作業によるものです。彼らの興味は時には私と大きく異なっていましたが、そのおかげでお互い単独では成し得なかったであろう研究成果を上げることが可能になったのです。これもまた科学の「道」であり、私の科学者としての人生における重要な要素なのです。

半世紀を超える年月の間に私が発表した論文のリストを見ると、光栄にも共に研究することができた数多くの共同研究者のことが思い出されます。その共同研究者の第一号は妻のリーであり、彼女はカリフォルニア工科大学時代からずっと私を支え、逆

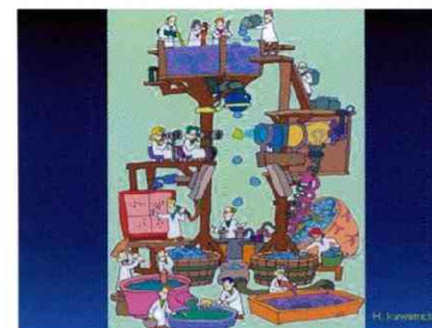


Fig. 8

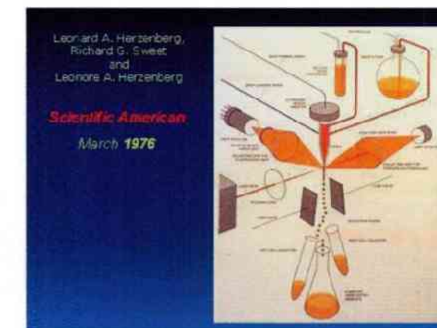


Fig. 9

in balloons into the mushroom clouds created by above-ground atomic bomb testing. Indeed, when I arrived at Los Alamos, I found that Mack Fulwyler and his colleagues had developed an efficient volume analyzer and sorter for such particles, many of which were in the size range of mammalian cells.

I was delighted that such a machine existed and asked Mack and his colleagues if they would add fluorescence detection to the machine, so that it could also make useful and interesting biological measurements on cells. They replied that this would be beyond their “mission.” Finally, after a full day of discussion, they agreed to let me take plans of their machine back to Stanford where I could get some engineers in our department to do whatever I wanted with it.

Adding a fluorescence capability and making several other necessary changes to the Los Alamos machine turned out to be substantially more difficult and more expensive than I had hoped. But eventually my colleagues and I succeeded in turning this machine, which had been built as part of the world’s most destructive enterprise, into a powerful force for healing [Fig. 10, 11]. If science requires independent thinking, it also depends on some very strange collaborations.

Much of my work in science, in fact, has involved collaborations with

に私も彼女の研究を支えてきました (Fig. 12)。我々は専門こそ違え、研究対象へのアプローチに関して頻繁に意見の交換を行っていたため、気がついた時には一方が他方の論文の共著者となっていることもしばしばありました。同様に、学生の指導、共同研究、日常的な研究室の運営においても、我々は常日頃からお互いを補完し合い、また讀え合ってきました。

我々の人生は、大学院生、医学生、博士研究員、エンジニア、コンピュータ科学者、医師を含む何百という人々の協力によってより実り多いものとなりました。教師という職業は、その子供、教え子、またその教え子が何を成し遂げたかによって評価が下されるものです。その意味で、私たち夫婦は三代以上にわたる聡明な教え子たちの業績を非常に誇りに思うと共に、彼らと家族ぐるみの付き合いができていることを幸せに思います (Fig. 13, 14)。

言うまでもなく、我々の4人の子供たちがこれまでに成し遂げてきたことにも大きな誇りと喜びを感じています (Fig. 15)。自転車屋を営むベリーは自転車のメンテナンスや安全に関わる教育プロジェクトを主宰しています。シンガーソングライターのジェイナは、規模は小さいけれどファンには一目置かれるジャズ専門のレコード会社を運営しています。一番下のエリックは大工の見習いをする傍ら、焼物の制作にも才能を発揮しています。ダウン症のマイケルは私たちにとっては特にかわいい子供で、今はグループ・ホームに住み、私たちの研究所で簡単な仕事を手伝ってくれています。養子縁組をして我が家で育った孫のミーガン・フィリップスは、研究所の手伝いをしながら科学者への道を歩んでいます。こうした学生、研究員、子供たちの活躍と同様に嬉しいのが蛍光励起細胞分取装置、FACSの成功です。この装置は、現代の科学、医学の様々な現場において欠かせない存在となっています (Fig. 16)。

我々の研究室では、様々な医療分野におけるFACSの応用を試みています。HIV/AIDSに関しては、ヘルパー T細胞の減少量を測定することによって疾病の進行状況を把握するためにFACSが用いられています。この分野では、我々はこうした細胞の減少や、病気の進行と共に生じる酸化ストレスを特定することを可能にしました。ガンの治療においては、FACSを用いて腫瘍の識別、モニターを行い、以前はその罹患は不治の病に等しかったような疾病の治療を可能にし、前臨床段階の研究は概



Fig. 10

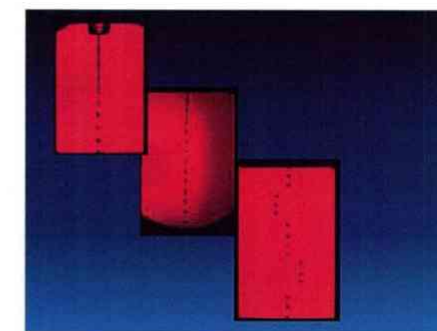


Fig. 11

colleagues whose interests, sometimes quite different from mine, have opened the way to studies that neither they nor I could have done independently. This, too, is part of the Tao of science, and is very much a part of the fabric of my life as a scientist.

Looking back at my list of publications over more than a half century, I am reminded of the many collaborators with whom I have had the privilege of working, starting with Lee, who began working with me at Caltech and has worked with me—or I with her—ever since [Fig. 12]. Although we have separate research interests, our approach to these is usually so interactive that more often than not we wind up as coauthors on each other's papers. Similarly, in teaching, in collaborations and in doing the day-to-day work of running a laboratory, we complement (and compliment) each other much of the time.

Our life, of course, has been enriched by hundreds of co-workers, from graduate students and medical students to postdoctoral fellows, engineers, computer scientists and physicians. Teachers are best remembered by the accomplishments of their children, their students and the students of their students. Lee and I take enormous delight in the accomplishments of more than three intellectual generations, and enjoy many of them and their families as friends [Fig. 13, 14].

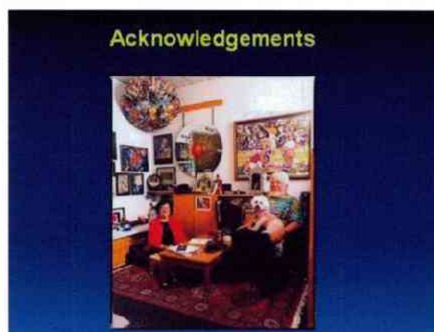


Fig. 12



Fig. 13



Fig. 14



Fig. 15

ね終了する一方で、骨髄移植の共同研究が始まっています。嚢胞性線維症に関しては、肺損傷の主な原因を突き止め、現在は延命や生活の質の向上を目指した臨床試験を行っている段階です。このように改良を重ねることによって、FACSを使って、幾多の疾病や苦しみを将来軽減してくれるであろうヒト胚幹細胞の特定や分離を行うことが可能になりました。ただし、この有益な研究を継続してゆくためには、これを阻止しようとする、宗教的信仰に基づいて行動する政治家に邪魔をされないことが前提になります。

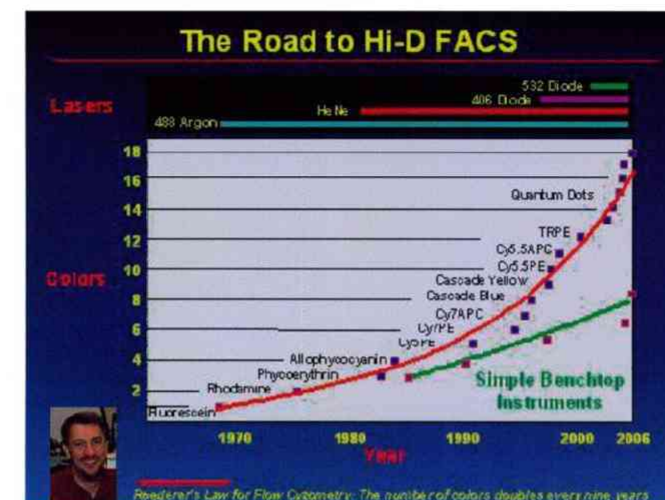


Fig. 16

Of course, we also take great pride and enjoyment from the accomplishments of our four children [Fig. 15]: Berri, who runs a bicycle shop and education project of bicycle maintenance and safety; Jana, a singer/songwriter who runs a small but prestigious jazz record company; and our youngest, Eric, who is an apprentice carpenter and an accomplished potter. Michael is our special Down syndrome child who lives in a group home and does simple tasks in our lab. Megan Phillips, an adopted granddaughter, who was raised in our home, now works at the lab and is on her way to becoming a scientist. In addition, as with our students, fellows and children, we take great pleasure in the successes of the Fluorescent Activated Cell Sorter, or FACS as we and many others call it, that have made this instrument central to so many aspects of modern science and medicine [Fig. 16].

In our own laboratory, we have ventured into a number of medical areas where FACS is important. In HIV/AIDS, where FACS is used to chart the progress of the disease by measuring the loss of helper T cells, we have helped characterize

皆様もご承知の通り、ブッシュ大統領とその支援者の一部は、中絶児のヒト胚から幹細胞を採取することは認めず、採取済みの細胞株を使用すべきである、という声明を発表しています。しかし、ブッシュ大統領は大きな過ちを犯しています。既に存在する細胞株のほとんどは損傷を受けており、また、移植を行うこともできません。事実は事実であり、彼らの宗教的信仰がいかに強いものであっても、それを変えることはできないのです。ヒト胚からの幹細胞採取を認めるか、もしくは無数の人々が体に障害を持ったまま一生を終え、激しい痛みに苦しみ、助かるはずの命を落としていくのを見過ごすかの二者択一なのです。ブッシュ大統領とその支持者が、自ら信じる神の教えに従い、幹細胞の研究によって可能となった治療を拒むのは自由です。しかし、他人に不必要な痛みを与える権利を神は彼らに与えてはいないのです！

思えば私も、ブルックリン大学で簡単な実験器具を使って失敗を繰り返し、トウモロコシの種子やショウジョウバエの神秘を学んでいた若かりし頃は、いつの日か科学がこの世のあらゆる事象を解明してくれるであろうという幻想を抱いていました。これから人類は多くのことを知り、我々には想像もできないような新しい技術を開発していくことですが、私たちの教え子、そして彼らの教え子の代になっても、謎が尽きることはないでしょう。研究者として、そして他人を指導するものとして、我々が携わっているのは絶えずその形を変える、終わりのなき実存の探索であり、そこには熱烈な宗教信奉者が追い求めている、普遍的真理が入り込む余地は一切ありません。人類が森羅万象を知り尽くすことは今後もないでしょうが、私たちはそれにできるだけ近づく努力を怠るべきではないのです。

これこそが科学の喜びであり、力であります。我々科学者は、あたかも自分たちは「真理」を得たものと思い込んでいる人々からの不合理な攻撃を今後も退けていかなければなりません。

the loss of these cells and the oxidative stress that occurs as the disease progresses. In cancer, where the use of FACS to distinguish and monitor tumors has enabled cures in diseases that used be death sentences, we have largely done pre-clinical work but have collaborated in bone marrow transplantation studies. With cystic fibrosis, we have identified a major cause of lung damage and are currently carrying out clinical trials that promise to extend life expectancy and improve quality of life. And, by continuing to develop and improve the FACS, we have made it possible to characterize and isolate the human embryonic stem cells that may one day alleviate so much disease and suffering—provided, of course, that this productive line of research is allowed to continue unimpeded by the faith-based politicians who would kill it.

As many of you know, President Bush and some of his supporters have declared that scientists no longer need to take stem cells from aborted human embryos, but can rely instead on strains already collected. Mr. Bush is simply wrong. Almost all of the existing strains are damaged, and none of them can be transplanted. Facts are facts, and no amount of religious certainty can change them. Either we take stem cells from human embryos, or we condemn untold numbers of us to remain paralyzed for life, endure terrible pain, or die preventable deaths. Mr. Bush and those who agree with him can refuse for themselves any treatment that comes from stem cell research, if this is what their God demands. But they have no God-given right to condemn the rest of us to needless suffering!

When I was a young student blowing things up with my chemistry set or learning the mysteries of corn seeds and fruit flies at Brooklyn College, I might have indulged the fantasy that science would, in time, lead us to understand everything. But now I hope I know better. As our knowledge expands, and as we develop new technologies that we cannot now imagine, our students and their students will always find more questions than they can answer. As scientists and teachers, ours is an unending, ever-shifting, existential quest, with none of the cosmic certainty that religious zealots seem to crave. We will never understand everything, but we must never stop trying to come as close as we can.

This is the joy and the strength of science, which we must once again—and forever—defend against the irrational attacks of those who think they already know the Ultimate Truth.

稲盛財団 2006——第22回京都賞と助成金

発 行 2007年8月1日

制 作 財団法人 稲盛財団

〒600-8411 京都市下京区烏丸通四条下ル水銀屋町620番地

Phone: 075-353-7272 Fax: 075-353-7270

E-mail admin@inamori-for.jp URL <http://www.inamori-for.jp/>

ISBN4-900663-22-0 C0000