

題名	好きなことを貫く―素晴らしい人生をおくるために
Title	Building on Strengths and Finding One's Purpose
著者名	サイモン・アッシャー・レヴィン
Author(s)	Simon Asher Levin
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	21
受賞年度	2005
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	Inamori Foundation
発行日 Issue Date	7/1/2006
開始ページ Start page	130
終了ページ End page	162
ISBN	978-4-900663-21-2

## 好きなことを貫く—素晴らしい人生をおくるために

サイモン・アッシャー・レヴィン

### 1. はじめに—秩序の発見、探求すべき専門分野との出会い

「生きるために働くよりも働くために生きる方がよい」[Fig. 1] という格言を私は正しいと思っています。私たちは自分が楽しめない仕事をして、人生のあまりにも多くの時間を無駄にしています。そんななか、私はこの仕事を選択でき、非常に幸運だと思います。大多数の人は、自分の好みに合う仕事を選ぶ贅沢を味わわないまま、生活のための職業選択を余儀なくされています。ですから、私が今から皆さんにお話しする内容は、意思決定の話であると同時に、幸運と特権に関わる話でもあると言えるでしょう。

私は今もなお、自分の生涯の仕事に繋がる選択をしなかった多くの学生や同僚に出会いますが、私がいつも自分の学生に理解してもらおうとしている事柄を皆さんにもお話しできるこの機会を非常にうれしく思います。人は、自分自身の決断を他人任せにはできません。自分が情熱を傾けられることに課題を見つけ、それを自らのものとするのです [Fig. 2]。もし他人の言うとおりに行動し、彼らの夢に従うならば、他人の人生を生きていることになります。もし自分のすることが自分の心を動かさないものなら、他人の心も動かすことはないでしょう。人生は発展し続けるシステムのようなものです [Fig. 3]。そこには、意思決定の瞬間があり、些細な事が大きな影響をもたらす時でもあります [Fig. 4]。このような瞬間がいつ訪れるかを予想できるわけではありませんので、好機を活かせるよう、前もって準備をしておく必要があります。

私は子供のころ、イギリス人がよく言う「算数問題」や「謎解き」をして遊んでいました。他の事より算数が実際よくできたのかどうかはわかりませんが、少なくとも他の子供たちは、算数以外のことの方がはるかに得意だったでしょう。算数が好きな子は少し変わった奴だと思われていました。私はおそらく人とは少し違っていただったのかも知れません。また、母 [Fig. 5] は私にもっと算数をするようにと、本を買い与えてくれました。やがて数字が私の頭の中で特別な場所を確保するようになり、私が他の事に気をとられている時には数字が頭の中でひとりで計算するようになり始めたのです。普通の人は眠るとき羊の数を数えますが、私は眠るときに羊の数で掛け算をしたり、実際には行く必要のない場所に羊を行かせることにすればどれくらいのスピードで走らなければならないかなどと考えたりしていました。後に、私が教える学生たちも含め、数字に関しては私よりもはるかに長けている人々に出会いました

## Building on Strengths and Finding One's Purpose

Simon Asher Levin

### 1. Introduction: Finding discipline and finding a discipline

I believe in the aphorism that it is better to live to work than to work to live (Fig. 1). We spend too much of our lives working to waste that time on things we don't enjoy. I also realize, however, how lucky I am to have had this choice. Most people don't have the luxury of choosing their professions to suit their tastes; making ends meet dictates decisions for them. So the story I will tell is one of good fortune and privilege, as much as it is of determination. Still, I have seen so many students and colleagues who have not taken the options they had to guide their own careers that I welcome the opportunity to tell others what I try to engrain in my students: Don't let others make your decisions for you. Choose problems to work on about which you are passionate, and take possession of them (Fig. 2). Otherwise, if you do the bidding of others, and follow their dreams, you will be living their lives. If the work that you do does not inspire you, it is unlikely to inspire others. One's life is like any developing system (Fig. 3): There are decision points where a small amount of leverage can have huge influence (Fig. 4). When those moments will occur is not always predictable, so prepare yourself in advance to take advantage of those opportunities.

As a child, I did sums, as the British say, and I did puzzles. I am not sure that I was any better in mathematics than I was in other things, but other people were much worse in mathematics than they were in other things. Anyone who liked mathematics was regarded as something of an oddity, and I guess I liked being an oddity. My mother (Fig. 5) bought me books to do more and more sums; and, eventually, numbers found their own private place in my brain, so that they could add themselves up when I was busy with something else. While others fell asleep counting sheep, I fell asleep multiplying them, or figuring out how fast they would need to run to get somewhere they didn't really need to go. I have met others since, including my own students, who are much better with numbers. But not then, and it became clear to me that this facility conveyed almost an obligation to do mathematics. My brother (Fig. 6) especially encouraged me in this, because he saw I enjoyed it; I think that it was also his way of having me prepare myself for those decision points by making sure I had the extra tools that enable adaptability. I liked mathematics because it seemed to dismiss the



が、そのときはそうではありませんでした。そして、数字に対するこの才能は半ば義務に近い形で私に数学への道を歩ませてきたことが、だんだんはっきりしてきました。私の兄 [Fig. 6] は特に熱心に、数学をするようにと勧めてくれました。私が数学を楽しんでいることを知っていたからです。また、適応力を発揮させるツールを私が余分に備えていることをあえて認識させることが、重要な意思決定の瞬間に私自身が備えられるようにするための彼なりの方法だったのだと思います。私が数学を好んだ理由は（これはゲーデルを知る前の話ですが）、他の教科における曖昧さや人生そのものの曖昧さを否定してくれるように思えたからです。数学の分析的で、理路整然としているところが好きだったのです。

私の父 [Fig. 7] は科学と自然を愛し、大衆文学を片っ端から読む人でした。しかし私のような職業選択の贅沢は許されず、手に職を持つようにとの私の母の強い押しもあり、薬剤師になりました。薬学は素晴らしい立派な専門職です。私は父のこともあり、常に薬剤師には親しみを覚えます。特に、小さな村にあるようなこぢんまりとした伝統的な薬局、薬剤師が人々の健康管理の専門家として信頼を集めている、そんな薬局がとても好きです。しかし、もし父に自ら歩める人生プランがあったなら、彼が薬剤師になったかどうかは疑問です。許されたのであれば、父は医者道を歩んでいたかも知れません。そんな父は、兄に医者になるように言いました。兄は医者になったのですが、本当は医療の現場よりも研究の方に関心を持っており、生物化学の研究をしました。薬剤師であった父は兄に、薬剤師ではなく医者になりなさいと説き、医者の兄は私に、医者ではなく何でも好きな仕事をしなさいと説いたのでした。

数学以外で私が好きだったのは森林火災についての単元です。手が付けられなくなった火が持つ破壊力、そして森林火災の発生メカニズムにおける人の関与に関心を持ちました。森林火災は、健全な森林の営みにおいてなくてはならないものだと学んだのですが、人間は林業を通じ森林を極度に単純化し、そしてその軽率さによって、本来の森林火災が持つ役割以上にその破壊力を発揮させてしまうのです。私は森林火災の問題をきわめて深刻に捉え、この問題を自分のできる範囲で文書で提起し、森林監視員の帽子をかぶり自然環境を大切にするようにと訴える人懐っこい「熊のスモーカー」[Fig. 8] のメッセージを心の底から受け止めました。私にとって最も大事な教訓は、人間は自然体系を破壊し得る、そして思慮のない自己中心的な一部の人間によって多くの人々が被害を受けることになる、という点でした。これが私にとって後のライフワークの中心となる主題「グローバル・コモンズ（地球という共有

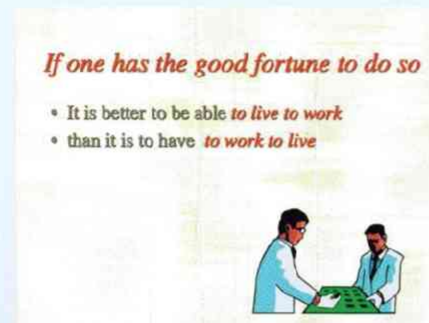


Fig. 1

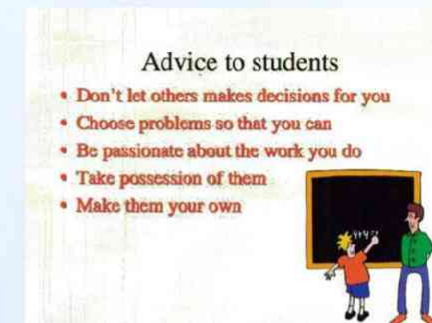


Fig. 2

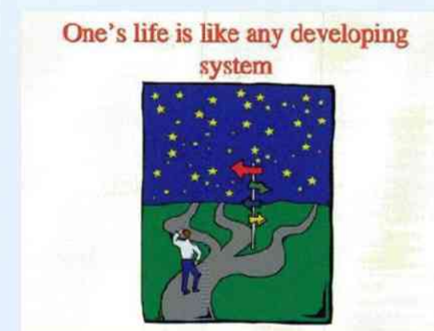


Fig. 3

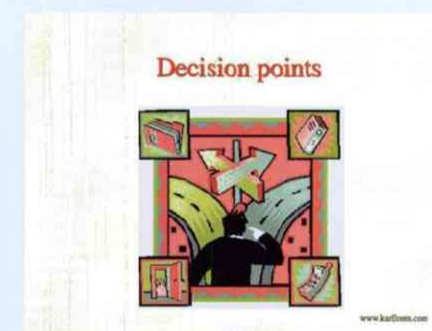


Fig. 4



Fig. 5

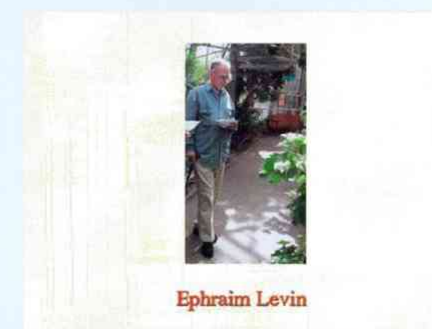


Fig. 6



地)」への序章となりました。

父と兄と私は毎週土曜日には決まってハイキングに行きました。父は大変な釣り好きでもあり、魚釣りにもよく連れて行ってくれました。夏になると私は子供キャンプに参加し、そのうち水泳やカヌーを教えたり、自然散策を先導するようになりました。このような経験、そして子供のころに熊のスモーキーが大好きだったことなどが、のちに生態学の道をとるための準備だったのだと、あるとき気がつきました。妻と一緒に全国を旅する間、国立公園をできる限りくまなく回って、生態遷移のような生態学の基本を学びましたが、そのときに運命は決したのです。バラバラだったパズルが完成するのはもう時間の問題でした。

私はジョンズ・ホプキンス大学 [Fig. 9] で数学を学びました。ジョンズ・ホプキンス大学は素晴らしい大学です。学部自体は純粋に数学を追求していましたが、私は物理学や生物学、オペレーションズ・リサーチのコースも取りました。そしてオペレーションズ・リサーチの分野で同大学院に進みかけました。しかしその分野での奨学金を辞退し、メリーランド大学で数学の研究を続けることにしたとき、私の指導教官であった有名な数学者バーナード・ドワーク教授 [Fig. 10] は安堵して、「もう君を失ったかと思った」とおっしゃいました。私はこのとき初めて、優れた数学者の多くがその応用に対して持つ明らかな蔑視を感じました。しかし、私がメリーランド大学を選んだのは応用数学に秀でているからで、幸運なことに、私はここで応用数学の発展に生涯をかけて取り組んでいるモンロー・ハーニッシュ・マーティン研究所長 [Fig. 11] に個人教授していただいたのです。研究所は、数理生物学という新しい学問分野の発展に特に力を注いでおり、私は手当たり次第に本を読み始めました。メリーランド大学を卒業した際、モンロー・マーティン先生は、彼の同僚で、やはり有名な数学者であるトバイアス・ダンツィグ先生の息子、ジョージ・バーナード・ダンツィグと共に、私をカリフォルニア大学バークレー校の博士研究員として送り出しました。ジョージ・ダンツィグは線形計画法の問題を解決する方法として、シンプレックス法を提案した人物で、オペレーションズ・リサーチの第一人者でもあります。ダンツィグとは気の合うところがあり、彼も応用が好きな数学者で、生物学に関心を持つようになった人でした。バークレーは知的な面でもまた文化面でも非常に刺激的な新しい環境でし、ダンツィグは私にとって素晴らしい助言者でした。彼の関心は社会規範に縛られることがなく、自分のしたいことを研究し、新しい分野を学ばなければ解決できないような問題にも臆さず取り組みました。私は、彼から学んだこの取

ambiguities of other subjects (this was before I knew anything of Gödel), and of life. I liked mathematics because it was analytical, and reasoned.

My father (Fig. 7) was in love with science and Nature, and read whatever he could in the popular literature. But he did not have the luxuries of choice I had, and became a pharmacist largely because my mother insisted that he have a profession. Pharmacy is a great and noble profession, and I always feel a kinship with pharmacists because of my father. I especially love small and classic pharmacies, in small villages, in which the pharmacist is the trusted health care professional. But I am not sure that my father would have chosen pharmacy had he had a life plan he could follow; he would have chosen medicine, and so he convinced my brother to do that. My brother became a physician; but he really preferred research to health care, and carried out studies in biochemistry. My father, the pharmacist, encouraged my brother not to be a pharmacist, but to be a physician; my brother, the physician, encouraged me not to be a physician, but to be what I wanted, whatever that was.

Beyond mathematics, I think that my favorite unit in school was about forest fires, the destruction they could cause if they got out of hand, and the role of humans in starting them. Forest fires, I have since learned, are vital events in the life of a healthy forest. But humans oversimplify forests through forestry practice, and increase disturbance rates beyond what is good by their carelessness. I took the forest fire problem quite seriously, writing for materials I could display, and taking to heart the message of Smokey the Bear (Fig. 8), the friendly animal in the ranger cap that warned us to be more responsible about our natural environment. The most important lesson for me was that humans had the capacity to destroy natural systems, and that the many would suffer from the thoughtlessness and selfishness of the few. This was my introduction to the Global Commons, a theme that would dominate my later career.

My father and brother and I took hikes every Saturday. My father was also an avid fisherman, and occasionally took us along. I spent my summers at children's camps, eventually instructing swimming and canoeing, and leading trips into Nature. This, and my earlier love affair with Smokey the Bear, also preadapted me for a career in ecology, once I found out what it was. When my wife and I crossed the



り組み姿勢をその後の決断に生かしてきました。1年が経とうとするころ、私はコーネル大学 [Fig. 12] で数学の助教授として教鞭をとるため、パークレーを後にしました。

パークレーを去るとき、数学者たちは、数学から離れて1年ものブランクがあったにもかかわらずキャリアを持続させている私のことを運がいいと言いました。これには吃驚しました。パークレーでの1年間は非常に生産的で、赤血球の膜を介してナトリウムが活発に運ばれるような良い仕事を行ってきたと感じていたからです。私にとってはまさに有意義な1年でした。ダンツィグのやり方に倣い、数学における既存の社会的規範に縛られることのないようにしようと、私の意志はより堅固になりました。コーネル大学が私を雇い入れたのは応用数学の発展に寄与させるためでしたから、私にとっても専門家としての経歴を積み始めるには申し分のない場所でした。しかし、時はまだ1965年でした。2005年どころか1985年にもなっていなかったのです。数学学部多くは、応用数学の分野、特に数理生物学のように数式化が始まったばかりの分野に対し、全面的に取り組むという姿勢がまだ整っていない時代でした。このような数理生物学の黎明期において、ここではすべての名前をあげることができないほどの多くの人々が私の活動を支え、数学と生物学の融合は実現できると確信させてくれました。一方で、異を唱えた人々にも、同様に負うところが大きいと思います。反対意見の前にあって、自分の姿勢をさらに確固たるものにすることができたからです。私は、自分のしている事を正しいと信じなければ、成功はないという事に気づきました。また、常に私を突き動かしてきたのは、人類のための問題を解決することが大切だという、父から学んだ教えでもありました。基礎科学と人類の関心事の融合の必要性はまた、稲盛博士のビジョンでもあります。私は京都賞の審査委員会がこの点において、これまでの私の努力が何らかの成果を出したと認めて下さったことに対し、非常に嬉しく、また身に余るものだと感じています。

ともかくコーネル大学は思いがけない様々な理由から、私の目標を達成するための理想的な場所となりました。応用数学センターと工学部は、学部を超えて応用数学の発展を全面的に支持するという姿勢でしたし、生物科学学部のリチャード・オブライエン学部長からの熱心な支援もありました。私がコーネル大学で教鞭をとり始めた最初の数年間で、生態学・分類学学科は国内屈指の生態学の研究部門として成長し、私の生態学に対する関心をこれ以上満たす場所はないと思えるほど、素晴らしい学科となりました。リチャード・ルートやロバート・ウイテッカーなどの支援を受け、

country, visiting every national park we could and learning about basic ecological principles like succession, the die was cast. It was just a matter of time until the pieces of the puzzle could be assembled.

I studied mathematics at the Johns Hopkins University (Fig. 9), a superb institution; the department was very pure, but I also took courses in physics, biology and operations research. I nearly went to graduate school in operations research at Hopkins; when I turned down a fellowship to study that field at Hopkins, in order to continue with mathematics at the University of Maryland, my advisor, the famous mathematician Bernard Dwork (Fig. 10), expressed relief. "I thought that we nearly lost you," he said. This was a stark introduction to the disdain that many great mathematicians felt for applications. I chose Maryland, however, because of its strength in applied mathematics, and there I had the good fortune to fall under the tutelage of the Director of the Institute, Monroe Harnish Martin (Fig. 11), who had committed his career to fostering the development of applied mathematics. The Institute was encouraging, among other things, the development of the new field of mathematical biology, and I began to read whatever I could. When I left Maryland, Monroe Martin sent me off to do postdoctoral work at the University of California, Berkeley, with George Bernard Dantzig, the son of his colleague Tobias Dantzig, a well-known mathematician in his own right. George Dantzig was the inventor of the simplex method for solving problems in linear programming, and one of the great men of operations research. Dantzig was a kindred spirit, a mathematician who loved applications, and who had become interested in biology. Berkeley was an exciting change of venue for me, intellectually and culturally, and Dantzig was the perfect mentor because his interests were unconstrained by social norms—he worked on what he wanted, and did not hesitate to tackle problems that required that he learn new fields. I absorbed lessons that have guided my decisions ever since. At the end of the year, I left to accept a position as an Assistant Professor of Mathematics at Cornell (Fig. 12).

When I left Berkeley, mathematicians told me that I was lucky my career had so far survived a year away from mathematics. This surprised me, since it had been a very productive year, in which we did what I felt was some nice work on active transport of sodium across the membranes of red blood cells; it had seemed like time well spent to me. It only strengthened my resolve to follow Dantzig's



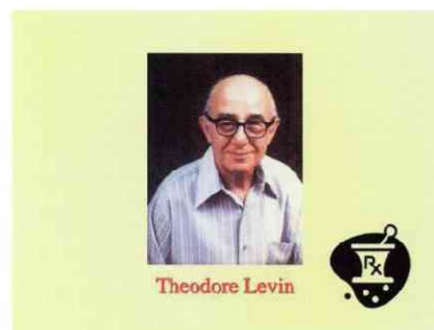


Fig. 7

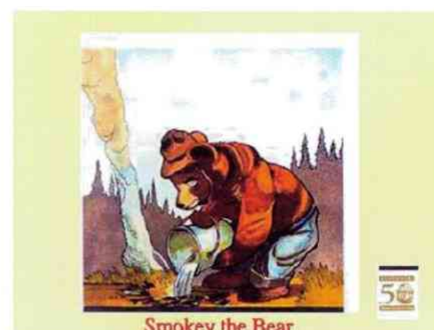


Fig. 8

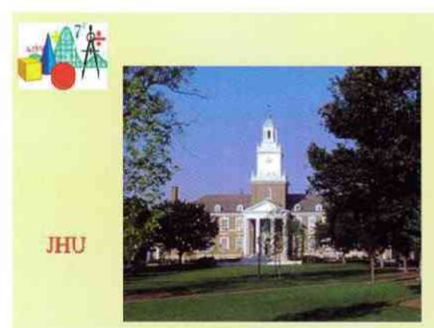


Fig. 9

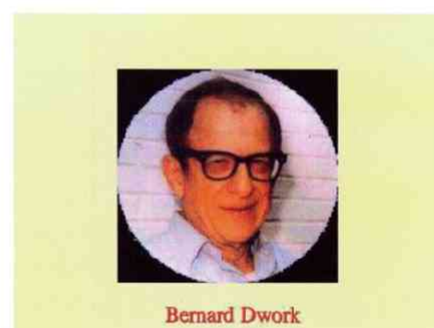


Fig. 10

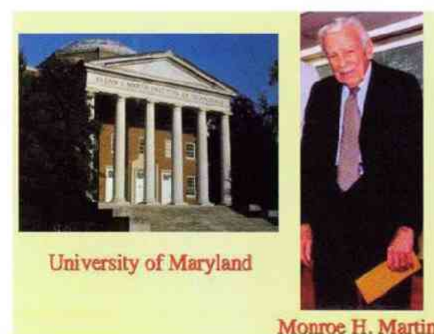


Fig. 11

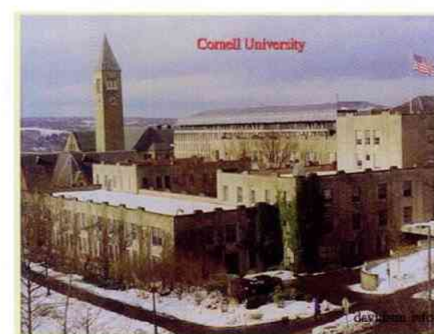


Fig. 12

model and not be constrained by the existing social norms within mathematics. After all, Cornell had hired me to help develop applied mathematics there, so this seemed the perfect place to begin my career. But this was 1965, not 2005, or even 1985, and most mathematics departments were not ready for a real commitment to applications, especially to fields like biology where the mathematization was just beginning. I owe much to many, too numerous to mention here, who encouraged my activities during those early years, and convinced me that the marriage of mathematics and biology could be achieved. I probably owe as much, however, to those who discouraged me, because they toughened my attitude. I realized that I better believe in what I was doing, or else I would not succeed. In all of this, I was driven as well by the need to do work that solved the problems of humanity, which I learned from my father. The need to unite basic science and humanity's interests is also the vision of Dr. Inamori, and I am very gratified and humbled that the Prize Committee has felt that my efforts in this regard have met with some success.

In any case, it turned out that Cornell, for reasons I could not have predicted, was the ideal place for me to achieve my goals. The Center for Applied Mathematics and the School of Engineering were fully committed to developing applied mathematics across departments; they found an eager partner in Richard D. O'Brien, the Director of the Division of Biological Sciences. The Section of Ecology and Systematics had grown in my early years at Cornell to be the leading ecology department in the country, and could not have been a better or more willing fit to my ecological interests. Within a few years, through the encouragement of Richard Root, Robert Whittaker and others, I became by degrees a full member of the Ecology and Systematics Section and, in 1974, its Chair. I had found my discipline.

## 2. The early history and development of mathematical biology

Mathematical biology has a rich and long history (Fig. 13). The Nobel laureate, Sir Ronald Ross, developed mathematical models a century ago to assist in his studies of malaria; and, even earlier, Francis Galton had developed the method of correlation to address problems in evolutionary biology. Epidemic theory also got an early start, and Kermack and McKendrick's 1927 paper remains as fresh and important



2、3年の内に私は生態学・分類学学科の正式な一員となり、1974年には学科長となりました。私は自分の進むべき学問を見出したのです。

## 2. 数理生物学の初期およびその発展

数理生物学は豊かで長い歴史を持っています [Fig. 13]。ノーベル賞を受賞したロナルド・ロス卿は1世紀も前に数理モデルを構築し、自身のマラリアの研究に役立てました。これ以前にもフランシス・ガルトンが進化生物学の問題を解き明かすため、相関を用いた方法を確立しています。また、伝染病流行の理論にも長い歴史があり、ケルマックとマッケンドリックが1927年に発表した論文は、当時と変わらず今でも新鮮で重要なものです。

生態学では偉大な数学者のヴィト・ヴォルテラが、義理の息子であり著名な漁業生物学者でもあるウンベルト・ダンコナに説得され、アドリア海の漁獲高がなぜ大幅に変動するのかを研究することになり、この変動は単に異なる種類の魚の相互作用によって発生していることを明らかにしました。ヴォルテラと（異なる観点から同じ方程式を構築した）科学者のアルフレッド・ロトカ [Fig. 14] の名を冠したロトカ・ヴォルテラ方程式は、現在でも多くの文献で主題として取り上げられています。20世紀前半の数理生物学における数少ない功績の一つがヴォルテラの研究と言えますが、シュワール・ライト、ロナルド・フィッシャー卿、そしてJ・B・S・ホールデンらによって、集団遺伝学の理論も著しい発展を遂げました。私が大学院に進学し数学がどのように生物学に貢献するのか研究しようと決めた1961年当時、参考文献はほんのわずかしかなかった。このため、比較的簡単にこれら文献の内容の全てを把握することができたのですが、そこからさらに発展できるものはほとんどなかったのです。このころ遺伝子コードの解明はまさに大きな飛躍を遂げようとするところでした。1953年、フランシス・クリックが、ケンブリッジのバブ「イーグル」で、同僚のジェームス・ワトソンと共にDNA構造の解明に成功したと研究仲間に発表しました。この発見によって、生命を司るアルファベットの魅惑的なパズル解明の基礎が確立されました。残った課題は、DNAを構成する核酸がどのように構成され、たんぱく質の基盤である20のアミノ酸へどのように翻訳されるのかを解明することでした。1950年代は、数多くの非常に有能なグループが素晴らしい推論を打ち立てた時代でもありました。なかでも最も大きな貢献をしたのが、後にノーベル賞を受賞した

today as when it was written.

In ecology, the great mathematician Vito Volterra was convinced by his son-in-law, the distinguished fisheries biologist Umberto d'Ancona, to consider why the fisheries of the Adriatic seemed to exhibit oscillations in abundance, and showed how these fluctuations could arise simply from the interactions between different fish species. The equations that bear his name, together with that of the chemist Alfred Lotka (who developed identical equations in another context), remain staples of the literature (Fig. 14). The first half of the Twentieth Century counted Volterra's work among the few triumphs in mathematical biology, along with the remarkable development of the theory of population genetics, led by Sewall Wright, Sir Ronald Fisher, and J.B.S. Haldane. In 1961, when I began graduate studies and resolved to explore what mathematics could contribute to biology, the literature was very sparse. That meant I could gain a command of it rather easily, but that there was little to build on. The great advances in deciphering the genetic code were just beginning: Francis Crick had announced, to his colleagues in 1953 in the Eagle Pub in Cambridge, the early successes that he and his colleague James Watson achieved in deducing the structure of DNA, and this provided the basis for solving the fascinating combinatorial puzzle of the alphabet of life. The basic problem became to understand how the sequence of nucleic acids in the DNA translated into the twenty amino acids that form the basis of proteins, and the 1950s were a time of brilliant speculation by many high-powered groups. One of the most important contributors was the young future Nobel, Marshall Nirenberg, and his successes led to his invitation to lecture at the Institute for Fluid Dynamics and Applied Mathematics, where I was a graduate student. This was truly an electric occasion.

Neurobiology was also emerging as a quantitative science (Fig. 15), and developmental biology was not far behind. The Spanish neurobiologist Lorente de No, one of the greatest of neuroscientists, included some of the most sophisticated early quantitative analyses of nerve conduction in his studies. It was, however, the remarkable equations of A.L. Hodgkin and A.F. Huxley in 1952 that really set the subject of membrane potential and neuroscience on a firm foundation on which others could build. Fitzhugh and Nagumo provided simplifications of these, and McCulloch, Pitts, Rall, Cowan, Hopfield and others then were able to consider



若きマーシャル・ニレンバーグです。この成功によって、彼は大学院生として、私が学んでいた流体力学・応用数学研究所に招聘されることになったのです。これは本当に胸が高鳴る出来事でした。

神経生物学もまた定量的科学として進展し始めたところで [Fig. 15]、発生生物学もその後が続いていました。最も偉大な神経科学者の一人であるスペイン人の神経生物学者、ロレンテ・デ・ノーは、その研究の中で神経伝導に関する高度な初期の定量分析を行っています。しかし細胞膜分野の可能性を打ち出し、神経科学の基盤を確立させて、後続による更なる進展を可能としたのは、1952年のA・L・ホジキンとA・F・ハックスレーによる素晴らしい方程式でした。フィッツヒューと南雲はこれらの方程式を簡素化し、マカロック、ピッツ、ロール、コーワン、ホップフィールドなどが神経の相互作用のネットワークを研究することができたのです。また実際の神経系の研究から多くを学ぶ形で、人工知能の分野も新たに誕生しました。

また同時期、優れた数学者であるアラン・チューリングが発生生物学の問題に強い関心を持つようになり、やはり同じ1952年に、生物が進化する際、なぜ設計図もなしに確固とした同じパターンが形成できるのかについて、有名な研究論文を発表しました [Fig. 16]。チューリングは自ら課題を掘り下げる前に亡くなりましたが、散逸構造に導く拡散不安定性の重要性に関する彼の提案は、内因性パターンの発生形態についての反直感的かつ魅惑的な概念となったのです。

このように豊かなが限定的な、つづれ織のような理論によって、数理生物学に興味を持つ者はこの分野に入り込む隙を求めることができたのです。数学は徐々に遺伝学や生態学、疫学、神経生物学、発生生物学などの分野へと裾野を広げていきましたが、このときはまだ統一を待つ個別の分野であり、伝統的な理論物理学の中に理論生物学を発展させることが必要だったのです。この点に関し世界で最も進んでいた学派が、ニコラス・ラシェフスキーが創設したシカゴグループでした。ラシェフスキーが初めてシカゴに渡ったのは1934年でしたが、ラシェフスキーの優秀さをもってしても、ここでの努力は受け入れられませんでした。抽象概念を統一しようとする、生物学的な根拠を喪失させてしまうと考えられたからです。ルネ・トムのカタストロフィ理論 (Thom, 1969) もまた統一を試みっていますが、これも支持者があまりに多くのことを説明しようとして、カテゴリー理論 (Rosen, 1991) や自己組織化臨界現象 (Bak, 1997) など後に発表された数多くの理論と同様、多くの文献の中に埋もれてしまったようです。しかしその後、大きな変動が起きました。1960年代末に、

networks of interacting neurons. The field of artificial intelligence was also born, and drew much from the study of real neural systems.

Coincidentally, the brilliant mathematician Alan Turing became fascinated by problems in developmental biology; and, also in 1952, he published his famous paper showing how pattern could arise in a developing organism robustly and without a detailed blueprint (Fig. 16). He died before he could do a great deal more on this problem himself, but his suggestion of the importance of diffusive instabilities leading to dissipative structures continues to be one of the most counterintuitive and appealing notions about how endogenous pattern formation can occur.

It was against this rich, but limited, tapestry that those interested in mathematical biology could look for points of entry into the subject. Mathematics had made inroads into genetics, ecology, epidemiology, neurobiology and development, but these were separate literatures crying for unification, and the development of a theoretical biology in the tradition of theoretical physics. The most developed school in the world was the Chicago group built by Nicholas Rashevsky, who first went to Chicago in 1934; but this effort, for all the brilliance of Rashevsky, fell into disfavor because the search for a unifying abstraction seemed to rob the work of its biological grounding. Rene Thom's development of catastrophe theory (Thom, 1969) also sought unification, but similarly disappeared into the archives because its adherents seemed to explain too much, a fate shared by numerous other later efforts like category theory (Rosen, 1991) and self-organized criticality (Bak, 1997). In a major upheaval, Jack Cowan replaced Rashevsky at Chicago, and rebuilt this group from the bottom up at the end of the 1960s, instilling a new tradition integrating experiment and theory that helped transport the subject into the mainstream of science.

The late 1960s and early 1970s represented the watershed period for mathematical biology; it would never look the same. My decision to enter the field then, of course, was happenstance, since it coincided with my own personal transmogrification; but I could not have chosen a better or more exciting time. Biologists like Crick, C.H. Waddington (Fig. 17), John Maynard Smith and Lewis Wolpert (Fig. 18) were unafraid of mathematics, and recognized that in mathematical approaches could come the unification that they sought. Physicists and quantitative



ジャック・コーワンがラシェフスキーと交代劇を演じ、シカゴグループを一から立て直して実験と理論を統合し、この分野を科学の主流にするという新たな伝統を根付かせたのです。

1960年代後半から1970年代初頭にかけては、数理生物学にとって分岐点となり、これ以降、状況が一変しました。当時私がこの分野に入ったのはもちろん偶然のことで、これは私自身の変革の時期とも一致していました。これ以上にタイミングが良く、刺激的な時期を選ぶことはできなかったと思います。クリックやC・H・ワディントン [Fig.17]、ジョン・メイナード・スミスやルイス・ウォルパート [Fig.18] といった生物学者は数学を恐れず、数学的なアプローチによって彼らが求めている統一も期待できるのではないかと考えました。物理学者と定量的科学者がこの分野に集まり、両者とも、求められているのは集団現象の力学に対応できる原理であると認識しました。しかし、この複合的な原理は非常に複雑で多様性に富み、常に進化を続けているものであったのです。自己組織化や相乗効果、パターン形成、複雑適応系などといった言葉は互いのグループに論拠を示すためのものでしたが、基本的な考え方は同じでした。国際生物科学連合 (IUBS) はワディントンに、先端の思想家を集めサミット会議を主催するよう勧めました。このサミット会議は1966年から1969年にかけて、コモ湖のヴィラ・セルベッローニ・ホテル [Fig.19] にて開催されましたが、過去の同様の主題に関する会議と比べても、最も有能な科学者が集う会議となりました。これらの会議を受けて4冊の本が発行されていますが、これらは事実と推論を方々から集めて記述しており、現在でも一読の価値があると思います (Waddington, 1968, 1969, 1970, 1972)。

1968年、私は雑誌『サイエンス』で、生物数学に関するゴードン・リサーチ・コンファレンス開催を知り、申し込むことにしました。これは私にとって個人的な分岐点でした。会議の内容は必ずしも優れたものばかりではありませんが、十分刺激的で、翌年の1969年にも親しい同僚のヘンリー・デヴィッド・ブロックと参加しました。ブロックは1970年にコンファレンスの議長となり、私は共同議長を、そしてデヴィッド・カーダスが副議長を務めました [Fig.20]。私たちはこれらの会議が、生物数学が必要としていた刺激剤になると気づき、新しい顔ぶれの学者を多く招きました。セルベッローニの会議は既に閉幕しており、ゴードン・コンファレンスが自然とその後継者となる位置づけであったため、タイミングが重要でした。私たちはセルベッローニ会議の参加者や、新世代を担うであろう理論生物学者にたくさ

scientists flocked to the subject, and together recognized that the principles that were needed were ones that dealt with the dynamics of collective phenomena, but where the assemblages were complex, highly diverse, and continually in evolution. Terms like self-organization, synergetics, pattern formation and complex adaptive systems resonated with different groups, but the basic ideas were the same. The International Union of Biological Sciences induced Waddington to organize a series of summit meetings of leading thinkers at the Villa Serbelloni, on Lake Como, in 1966-9 (Fig. 19), and the group he brought together was certainly the most high-powered assembly of scientists that had ever met to discuss these issues. The four books these meetings produced provided a rich collection of fact and speculation, still worth reading today (Waddington, 1968, 1969, 1970, 1972).

In 1968, I discovered in the journal *Science* an announcement for a Gordon Research Conference in Biomathematics, and decided to apply. For me, this was a personal watershed. The conference was mixed in quality; but I was stimulated enough to go again in 1969, together with my close colleague Henry David Block. Block became the Chair in 1970, I was his Co-Chair, and David Cardus served as Vice-Chair (Fig. 20). We recognized the potential of these meetings to give the field a needed stimulus, and to bring in a whole new group of scholars. The timing was important, because the Serbelloni meetings were finished, and hence the Gordon Conference was the natural successor. We were able to attract many of the Serbelloni participants, along with others who were to be the new generation of theoretical biologists. In 1971, I chaired the Gordon Conference, with Walter Freeman of Berkeley as Vice-Chair, and the Conference went on to become the most important meeting place for theoretical biology for decades thereafter. Indeed, it continues to meet and to provide one of the key sources of continuity and coherence in theoretical and mathematical biology.

### 3. The decades of the 1970s and 1980s

Cornell was my first real job. Monroe Martin had written to me that it would be a good place to begin my career, but neither of us contemplated that I would stay there for 27 years. The Department of Mathematics at Cornell was excellent, but very pure, even by the standards of mathematics departments throughout the world. But the world of mathematics was beginning to take note of the emergence



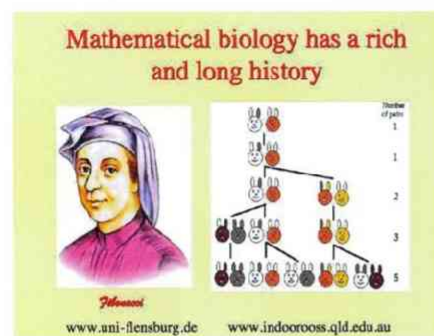


Fig. 13

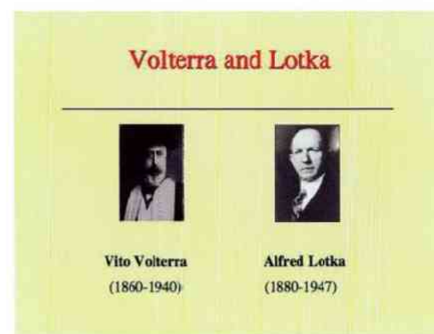


Fig. 14



Fig. 19



Fig. 20

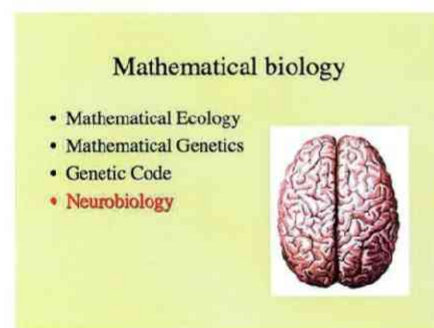


Fig. 15

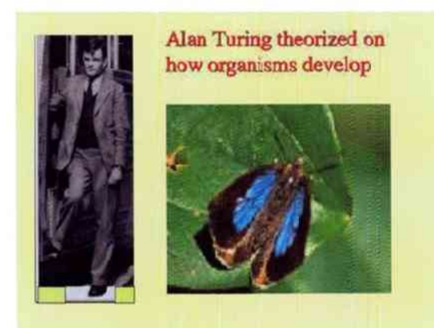


Fig. 16

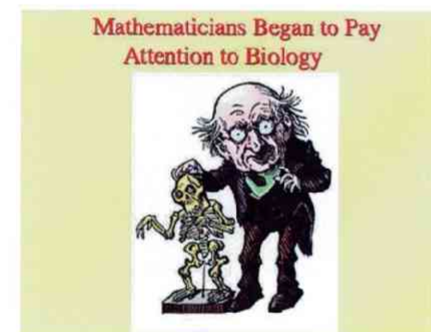


Fig. 21



Fig. 22

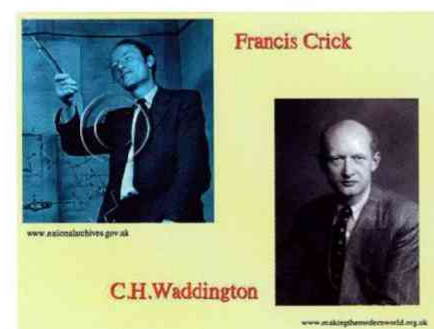


Fig. 17

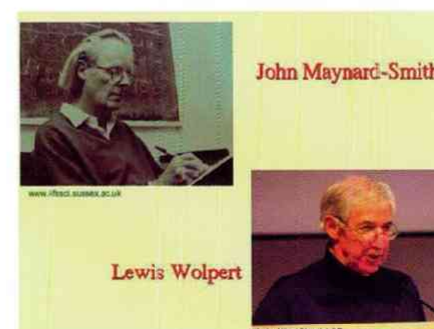


Fig. 18

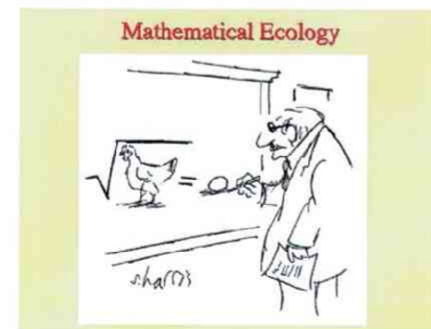


Fig. 23



Fig. 24



ん参加してもらうことができました。1971年、私は、パークレー校のウォルター・フリーマンを副議長に、ゴードン・コンファレンスの議長を務め、この会議はその後数十年間、理論生物学の最も重要な会議となりました。ゴードン・コンファレンスは現在でも恒例の会議として、理論および数理生物学の継続性と一貫性に重要な役割を果たしています。

### 3. 1970年代と1980年代

コーネル大学での仕事は、私にとって初めての本格的な仕事でした。モンロー・マーティン先生は、キャリアを積む最初の場所としてコーネル大学は良い場所だと手紙に書き送ってこられました。先生も私も、その後27年間にわたり私がコーネル大学に留まることになるとは考えてもいませんでした。コーネル大学の数学学部は非常に素晴らしい場所で、純粋に数学を追求するという姿勢を忘れておらず、世界中の大学の数学学部と比べてもこの点は突出していると言えるでしょう。しかし、数学の世界では生物学との関係が強まってきており、これは数学自体の進展を刺激するものであるとの認識も出てきていました [Fig. 21]。伝統を誇る米国数学協会は、生命科学における数学委員会を設立し、米国応用数理学会と合同で年一度のシンポジウムを開催して、シンポジウムに関する出版物を発行し始めました。これまで生物学から数学的課題を定義付けようとする活動はほとんどありませんでしたが、シンポジウムに関する一連の書物が発行されたことによって、伝統的な分野ばかりではなく、これまで古典的文献のなかった分野、例えば免疫学における数学の応用なども扱った、基本的な文献が提供されることになりました。最も重要な初回シンポジウムの運営は、ペンシルベニア大学のマリー・ガーステンハイパーが行うことになりました。ガーステンハイパーは当時も今も著名な代数学者であり、生物学は彼が扱う課題ではありませんでした。しかし、彼はその問題に興味を持ち、また重要であると認識し、最初の会議を刺激的で素晴らしいものにしました。その後、会議の運営はジャック・コーワンに、そして5年後には私に引き継がれました。

このころには機運が熟してきました。『理論生物学ジャーナル』や『数理生物科学』のような専門誌の人気の高まり、シュプリングー出版も『数理生物学ジャーナル』を刊行しました。そして、ニーズの増加に応じて、シュプリングー出版は、『生物数学』のハードカバーを出版し、1974年には『生物数学講義ノート』(LNBM)を

of biology as a client (Fig. 21), and as a stimulus for the development of mathematics itself. The venerable American Mathematical Society established a Committee on Mathematics in the Life Sciences, and joined with the Society of Industrial and Applied Mathematics to organize an Annual Symposium, and to publish a series of books from those Symposia. Until then, there were few efforts to define the challenges for mathematics from biology; this series of books began to establish a basic library, touching on the classical areas as well as developing applications in fields like immunology that had no classical literature. The task of organizing the initial, and hence most important, symposium, fell to Murray Gerstenhaber, at the University of Pennsylvania. Gerstenhaber was and is a distinguished algebraist; biology was not part of his personal agenda. But he found the problems intriguing and important, and organized a wonderfully stimulating first volume before handing the reins over to Jack Cowan, and five years later, to me.

Momentum was building. Journals like the *Journal of Theoretical Biology* and *Mathematical Biosciences* were gaining in popularity, and Springer-Verlag added its *Journal of Mathematical Biology*. But Springer saw the need for more, and started two new series—its hardcover *Biomathematics* books and, in 1974, *Lecture Notes in Biomathematics* (LNBM) (Fig. 22). LNBM was the extension of Springer's famous *Lecture Notes in Mathematics*, which has published nearly 2000 volumes since its inception. When Alice Peters approached me in 1974 with the idea of starting such a series in biomathematics, for which authors would receive no royalties, I thought that it couldn't succeed. I was wrong. I somehow agreed to edit the series, and over the next 20 years or so we published 100 volumes. We found a ready store of authors looking for such an outlet for their work, and a surprisingly broad clientele eager for anything to read at the border of mathematics and biology (Fig. 23). It is hard today, when the field of mathematical biology is so richly developed in so many dimensions, and when computational biology is one of the hottest areas within biology, to realize how difficult it was then to make inroads into conventional departments. There is a lesson to be learned here: Discipline-based departments, like any other social groupings, tend to foster conservatism and inhibit the development of novel innovations. Interdisciplinary and multi-disciplinary research, in particular, needs special encouragement and protection. I believe firmly that such interdisciplinary efforts must be grounded in outstanding disciplinary foundations, but those disciplinary traditions should not stifle innovation.



発行しました [Fig. 22]。LNBMは発刊以来2000巻を刊行した、シュプリンガー出版の有名な『数学講義ノート』の姉妹版でした。1974年、アリス・ピーターズから、著者には著作権料を支払わない形で『講義ノート』の生物数学版を出さないかとの話をいただいた時、これは成功しないだろうと思いました。しかし、この考えは間違っていました。私はとりあえず編集をすることに合意し、その後約20年間で100巻が発行されました。当初から、数多くの研究者が自らの研究を発表する場を求めており、数学と生物学の境界線を扱った書物を求める熱心な読者も予想以上に多かったのです [Fig. 23]。数理生物学が様々な方面で豊かに進展し、生物学の中でもコンピュータを利用した生命工学が最も注目を浴びている現代においては、当時、伝統的な学術分野の枠を超えることがいかに難しかったかは、想像しづらいと思います。ここでの教訓は、専門分野に特化した学部は他の社会的集団と同様、保守的になりがちで、新たな革新的取り組みを妨げようとする傾向があるということです。特に学際的、また他部門にまたがる研究は、社会的に奨励され、保護される必要があります。このような学際的な取り組みは、優れた各専門分野の学部に根ざすべきであるとは思いますが、同時に、このような学部の伝統によって、革新への探求が押さえつけられてはなりません。

生態学は生物学の中でも、数学者や物理学者の参画から恩恵を受けた最初分野の一つでした。私はゴードン・コンファレンスの初期にジョエル・コーエンと、そしてその数年後にはロバート・メイ（卿）と出会いました [Fig. 24]。彼らは今でも私の最も親しい同僚です。また、優れた蓋然論者でもあるマーク・カツツは、物理に関する問題に取り組んでいる数学者が物理学者になり、研究課題を自分のものとし、他人が出した問いではなく、自ら問いを投げかけられるようになって初めて数理物理学は成熟したと、以前何かの書物に書いていました。私はこの言葉に深い感銘を受け、心からこれを受け止めました。コーネル大学でできるだけ早く生物科学学部へ移籍し、数学者ではなく生物学者の専門知識を指針にしようとしたのです。ロバート・メイも同様の行動をとり、プリンストン大学で、早世したロバート・マッカーサーの後を継ぎました。真の博学者であるジョエル・コーエンは、キャリアの積み始めの段階でこの方向が賢明だと考えており、当初から生物学に基盤を置いていました。数学者や物理学者の多くが生物学部へ籍を置くようになった今日の学生にとっては、これは極めて当然のように思えるかも知れません。今では数学学部での優秀な教え子だった学生や博士研究員の多くが、生物学や生態学の枢要な地位についています。しかし、当時

Ecology was one of the first areas of biology to profit from the influx of mathematicians and physicists. I met Joel Cohen at an early Gordon Conference, and (Lord) Robert May a few years later (Fig. 24), and they have remained the best of colleagues. Marc Kac, the brilliant probabilist, wrote somewhere that mathematical physics reached its maturity only when the mathematicians addressing problems in physics became physicists, making the problems they studied their own, and asking their own questions rather than those posed by others. This made a deep impression on me, and I took it to heart, moving my appointment at Cornell as soon as I could into the Division of Biological Sciences so that I would be guided by the craft standards of biologists, not mathematicians. Bob May made a similar transition, replacing Robert MacArthur at Princeton after his untimely death. Joel Cohen, a genuine polymath, had recognized the wisdom of this path early in his career, and chose a base in biology from the beginning. This may seem natural to many students today, when mathematicians and physicists populate many biology departments; many of my best mathematics students and postdoctoral fellows occupy keystone positions in biology and ecology programs. But at that time it was highly unusual, and I feel a debt of gratitude to institutions like Cornell, Princeton, Harvard, and the Rockefeller Institute for opening their doors to my colleagues and me.

It was, of course, not just in the United States that mathematical biology began to flourish in the 1970s and 1980s. The number of centers is too numerous to enumerate, but special mention must be made of the legacies of James Murray (Fig. 25) at Oxford, and Ei Teramoto (Fig. 26) at Kyoto. Each led through their own research, but also through mentoring and by creating a rich environment for visitors. I first visited Kyoto University with my family for a month in 1983–4, through the sponsorship of the Japanese Society for the Promotion of Science, and at the invitation of Ei Teramoto. I had worked very closely for a decade with Akira Okubo (Fig. 27), the brilliant oceanographer and ecologist; Akira was determined that I must visit Kyoto, and brokered an invitation to Teramoto's lab. Yoh Iwasa (Fig. 28), one of Teramoto's most brilliant students and now one of the leading ecologists in the world, had just arrived in my laboratory as a postdoctoral fellow, and helped prepare me for my visit by teaching me enough so that I could begin my first lecture in Japanese. There was, of course, great relief in the audience when I reverted to English. We fell in love with Kyoto and Japan, with the temples



そのような動きは珍しく、私や同僚たちにそのような道を開いてくれたコーネル大学や、プリンストン大学、ハーバード大学、そしてロックフェラー研究所には非常に感謝しています。

1970年代と1980年代に数理生物学が大きく花開き始めたのは、もちろんアメリカだけではなく。数え切れないほど多くのセンターがありましたが、オックスフォード大学のジェームス・マレー [Fig. 25] と京都大学の寺本英 [Fig. 26] は特筆すべきでしょう。二人とも自らの研究で後続を率いてきましたが、同時に指導教育も行い、客員研究者にも豊かな環境を提供してきました。日本学術振興会の助成と寺本教授の招待を受け、1983年から1984年にかけて一ヶ月間、私は初めて家族を伴い京都大学で研究生活を行いました。私は、優秀な海洋学者で生態学者でもある大久保明 [Fig. 27] とともに約10年間、研究協力をしていたのですが、私が京都大学を訪問すべきだと強く感じていた彼は、寺本研究室との橋渡しをしてくださいました。また、寺本教授の最も優秀な教え子の一人であり、世界でも著名な生態学者である巖佐庸 [Fig. 28] がちょうど私の研究所に博士研究員としてやって来たところで、最初の講義を日本語で始められるだけの日本語を私に教えてくれるなど、訪日の準備を助けてくれました。もちろん、聴講者は、私の講義が英語に戻ったときには胸を撫で下ろしましたが。私たちは、寺院や庭園も訪れ、そして伝統や文化にも触れて、京都と日本を大変好きになりました。また、日本の科学者とのより緊密な交流を通じて、学術面でも非常に多くのことを得なければならないこと、さらに寺本教授が打ち立てた実績の素晴らしさに気づきました。以来20年、寺本教授の遺産である巖佐庸、重定南奈子、山村則男、そして故東正彦や川那部浩哉、三村昌泰、故安部琢哉などといった科学者と交流を持ってきましたが、この経験は私の科学的知識や人生を豊かにするものでした。彼らはまた、世界の数理生物学に対しても決して消えることのない功績を残しています。

#### 4. 今日と明日—将来への課題

私はプリンストン大学 [Fig. 29] で教鞭をとるため、1992年にコーネル大学を後にしました。それは、新たな課題に取り組み、新鮮さを失わないようにするためであり、またスティーブ・パカラと自分に対し、新たなプログラムと向き合うチャンスにするためでした。コーネル大学は私にとって素晴らしい故郷であり、今でも非常勤の

and gardens, and with the traditions and culture. I also learned, however, how much I had to gain academically from increased interactions with Japanese scientists, and what a tradition Teramoto had built. In the twenty years since, my interactions with scientists from the Teramoto heritage, such as Yoh Iwasa, Nanako Shigesada, Norio Yamamura and the late Masahiko Higashi, as well as with others such as Hiroya Kawanabe, Mayan Mimura, and the late Takuya Abe, have greatly enriched my science and my life. They have also left an indelibly positive mark on the development of mathematical biology in the world.

#### 4. Today and tomorrow: Challenges for the future

I left Cornell in 1992 to join the faculty at Princeton University (Fig. 29), mainly because I felt I needed new challenges to stay fresh, and because it gave Steve Pacala and me a chance to build a new kind of program. Cornell had been a wonderful home for me, and I remain an Adjunct Faculty member there; Princeton has been equally wonderful, and has provided me a new set of colleagues to join my old ones. Science and scientists alike need regular freshening. As in any complex adaptive system, the infusion of new elements provides the stuff for selection to operate, so that robust health can be maintained. In the 1990s and the first years of the new millennium, mathematical biology grew because new scientists entered, and because new scientific questions took center stage. The sequencing of large genomes led to great challenges for mathematicians, and to a new synthesis of molecular and organismal biology. Yet new challenges lie ahead; were they to stop coming, the subject would lose its freshness. No area of mathematics is outside the realm of what might prove useful in biology, and this is not escaping the notice of distinguished mathematicians of all persuasions, as well as of biologists. The oceans and atmosphere provide exciting new frontiers (Fig. 30), as vast amounts of data are becoming available, and as computational resources expand.

From an intellectual point of view, I think that the greatest challenges facing us are dealing with ecosystems, socioeconomic systems and the biosphere as complex adaptive systems (Fig. 31)—that is, as systems made up of lots of distinct agents that pursue their own selfish agendas, but collectively produce patterns at higher levels of organization (Levin, 1999). Evolutionary biology strives to show



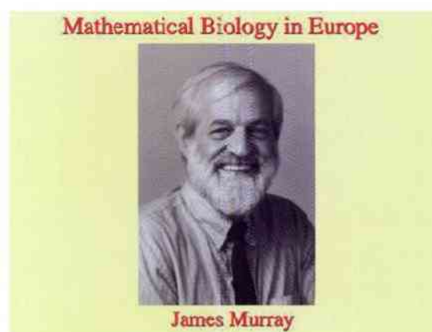


Fig. 25

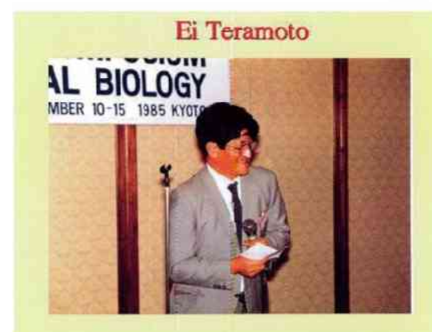


Fig. 26

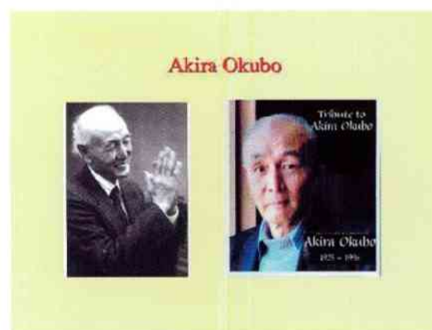


Fig. 27

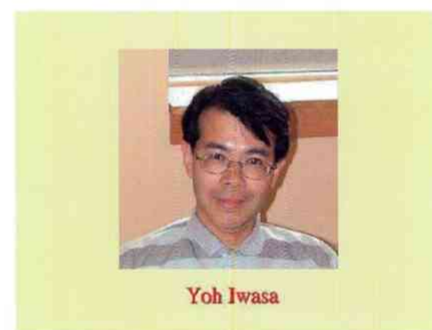


Fig. 28



Fig. 29

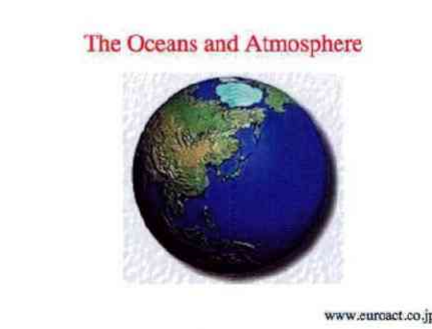


Fig. 30

how these processes at different levels of organization, and different scales of space and time, relate to one another, and how to extrapolate from nucleotide sequences to how organisms function to ecosystems and the biosphere. The problems in socioeconomic systems are similar, but comparable evolutionary theories are lacking (Fig. 32). The challenges for mathematics and computational science are daunting, but irresistible. Recognition of the universality of these challenges has for two decades brought together some of the most original scientists I have ever met at the Santa Fe Institute in New Mexico, and I will continue to spend as much time there as I can. Much of my effort over the next decades will be directed to these problems, especially for the marine systems that provide so many of the services humans derive from Nature. Infectious diseases also represent a persistent threat as new diseases emerge, and old ones reemerge; these too will occupy much of my time.

From a societal point of view, the greatest challenges are in developing true theories of applied ecology (Fig. 33): that is, principles to guide the management of our natural systems. Scientists have an obligation to use the knowledge they gain to help better humanity's situation—that is the thesis behind Dr. Inamori's vision. Our global environment is deteriorating, largely due to our consumptive activities, our overuse of antibiotics and our aggressive tendencies (Fig. 34). As our environment deteriorates, we lose the services Nature provides. We need to have a better understanding of what those services are, how they depend on different components of biodiversity, and what is needed to stabilize them. This will involve partnerships between natural scientists, social scientists and economists, addressing the problems of monetizing ecosystem services, characterizing the dynamics and robustness of coupled social and ecological systems, and understanding the social norms that play such a role in human behavior. I believe that we cannot solve the great problems facing us unless we understand the social forces that so guide our actions, and how those social forces emerge as the collective results of individual activities.

I have been fortunate in the past decades to become associated first with the Beijer Institute of Ecological Economics, in Stockholm (Fig. 35), led by Karl-Goran Maler, and later with the International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), in Laxenburg, Austria (Fig. 36), directed by Leen Hordijk. Beijer has



教授として籍を残しています。プリンストンも同様に素晴らしい大学で、新たな仲間と巡り会うことができました。科学も科学者も定期的にリフレッシュすることが必要です。どんなに複雑な適応系でもそうであるように、新たな要素が与えられることで機能上の選択肢が提供され、健全な状態が保たれるのです。1990年代と21世紀最初の数年間において、数理生物学はまた成長を見せました。新たな科学者が現れ始め、新たな科学的問いが脚光を浴び始めたからです。巨大ゲノムの連鎖は数学者に大きな課題を投げかけ、分子生物学と有機生物学が融合した新たな分野を生み出しました。しかし、更なる挑戦が待ちうけています。新たに取り組むべき課題がなくなれば、数学もその新鮮さを失ってしまいます。生物学に寄与しない数学分野はありません。この点は、様々な考えを持つ著名な数学者や生物学者の誰もが認識しているところです。新たに大量のデータが提供され、コンピュータが進化し、海や大気は新しいエキサイティングな研究対象となってきました [Fig. 30]。

知的側面から考えると、私たちが直面する最大の課題は、生態系、社会経済システムそして生物圏を、複雑適応系つまり、各々の利己的な目的を追求しながら、集合体として高次元の行動様式を生み出す多数の因子で構成される系 (Levin, 1999) として捉えることです [Fig. 31]。進化生物学では、これらのプロセスが生物の体制の異なるレベルで、また異なる空間的、時間的規模において、どのような相互関係を持つのかを把握し、スクレオチド配列から推定して、生態系や生物圏で生物がどのように機能するのかを解き明かそうとしています。社会経済システムの問題もこれと似通ってはいますが、同様の進化論的理論が欠如しています [Fig. 32]。このような課題は、数学およびコンピュータ科学にとっては非常に手ごわいものではありませんが、同時に非常に魅力的でもあります。これら課題の普遍性への認識が、私が出会った中でもとりわけ独自の発想をもつ科学者たちを、過去20年間にわたり、ニューメキシコのサンタフェ研究所に集めてきました。私も、この研究所での活動に時間の許す限り参加したいと思っています。今後数十年間は、主としてこれらの課題に取り組み、特に人類が享受できる自然の恩恵が豊かに存在する海洋システムに注目したいと考えています。新たな病気の出現や古い病気の再来など、感染症も依然として大きな脅威となっています。この分野にも注力していきたいと思います。

社会的な観点から見た最大の課題は、真の応用生態学理論を構築することでしょう [Fig. 33]。つまり、自然分類の管理の指針となる原則を打ち立てることです。科学者はその知識を活用し、人類のために役立てなければなりません。これは、稲盛博士の

confronted the interdisciplinary challenges by bringing together some of the leading economists and ecologists in the world, to find ways to develop common language and common approaches to sustainability in a global commons; my interactions there have been remarkably stimulating, and full of promise for the future. IIASA explicitly focuses on the policy dimensions, and in interfacing good science with good policy. These interactions will continue to be crucial for me as I turn more attention to the science-society-policy interface.

I have identified so far some of the challenges that face humanity from the point of view of pure science, and those that face science from the point of view of society. We cannot complete the cycle, however, unless we also confront the challenges to society from the point of view of humanity. The problems that I have discussed are not the unique province of developed nations, and neither therefore are the solutions. We must work incessantly to build partnerships with the scientists and other peoples of developing nations as well, understanding their perspectives and increasing their capacities to achieve our common goals. Both Beijer and IIASA devote a major portion of their efforts to such international cooperation and capacity building, but one other organization demands special mention here. I have, for a quarter of a century, been a regular visitor to the International Center for Theoretical Physics (ICTP), in Trieste, Italy. ICTP was the vision of the late Pakistani Nobel physicist, Abdus Salam, and today continues under the inspired leadership of Kathepalli Sreenivasan. It is not only a great research institution, but also the most effective center for outreach in the world for scientists from developing nations. My years there have been immeasurably rewarding, and I hope to be a part of ICTP's inestimably valuable future.

I am deeply indebted to the Dr. Inamori and the Inamori Foundation for their vision, for selecting me for the Kyoto Prize, and for allowing me the opportunity to deliver this lecture. I also thank all those who have supported me over many years—public and private foundations, my mentors, my staff, my students and postdoctoral fellows (Fig. 37), my colleagues, but especially my family (Fig. 38). My wife Carole, in particular, has been a sounding board, support, and source of inspiration for more than 40 years. We have all been on a wonderful journey together.



### Ecosystems, Socioeconomic Systems and the Biosphere are Complex Adaptive Systems



Fig. 31

### We live in a global commons, in which

- Individual agents, including nations, act largely in their own self-interest
- Social costs are not adequately accounted for
- Hence it is no surprise that the collective actions of individuals can lead to environmental degradation



Fig. 32

From a societal point of view, must develop true *theories* of *applied* ecology

Fig. 33

### Threats

- Overconsumption
- Emerging Diseases
- Overuse of antibiotics
- Aggression and tribal warfare



Fig. 34



Beijer Institute, Stockholm

Fig. 35



IIASA, Laxenburg, Austria

Fig. 36



Students and staff

Fig. 37



Family

Fig. 38

## 5. Bibliography

- Bak, P. 1997. *How Nature Works: The Science of Self-organized Criticality*. Oxford University Press.
- Kermack, W.O. and A.G. McKendrick 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*. **115**: 700-712.
- Levin, S.A. 1999. *Fragile Dominion: Complexity and the Commons*. Reading, MA: Perseus Books.
- Rosen, R. 1991. *Life Itself: A Comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life*. Columbia University Press.
- Thom, R. 1969. Topological models in biology. *Topology* **8**: 313-335.
- Waddington, C.H., ed. 1968. *Towards a Theoretical Biology. Vol. 1 Prolegomena*. Edinburgh University Press.
- Waddington, C.H., ed. 1969. *Towards a Theoretical Biology. Vol. 2 Sketches*. Edinburgh University Press.
- Waddington, C.H., ed. 1970. *Towards a Theoretical Biology. Vol. 3 Drafts*. Chicago: Aldine Publishing Company.
- Waddington, C.H., ed. 1972. *Towards a Theoretical Biology. Vol. 4 Essays*. Edinburgh University Press.



ビジョンの背景にあるテーマでもあります。私たち地球の環境は悪化してきており、その主な原因は消費活動、抗生物質の乱用、そして人類の攻撃的な性向にあります [Fig. 34]。環境が悪化すると、自然の恩恵が得られなくなります。私たちは自然の恩恵がどのようなものかという理解を深め、多様な生態系の各構成要素とどのような依存関係を持っているのか、またこの相互関係の安定化には何が必要かを理解しなければなりません。そのためには、自然科学者や社会科学者、エコノミストとの協力を通じ、生態系のサービスから資金を得る方法を考案し、社会システムと生態系の融合がどのような原動力や強固さを持つのかを明らかにして、人間の行為の背後にある社会規範を理解しなければなりません。私たちの行動のけん引役となっている社会的な力を、また個々の活動の集積がどのように社会的な力を形成しているのかを理解しなければ、私たちが直面している大きな問題を解決することはできないのです。

過去を振り返りますと、まず、カール・ゲラン・メーラーが所長を務めるストックホルムのバイエ生態経済学研究所 [Fig. 35]、そしてその後は、リーン・ホーディックが所長である、オーストリアのラクセンブルグにある国際応用システム分析研究所 (IIASA) [Fig. 36] などの会員となることができ、非常に幸運でした。バイエ研究所は、世界でも先端のエコノミストや生態学者などを集め、学際的な問題に真っ向から対峙し、グローバル・コモンズ（地球という共有地）の持続可能性に取り組むための共通の言葉やアプローチを模索していました。この研究所での交流は私にとって非常に刺激的なもので、将来への大きな展望を感じさせてくれました。IIASAが明確に焦点を当てているのは政策の分野で、良い科学と良い政策の接点でした。このような交流は、今後、科学・社会・政策の接点に関心を高めていくにつれ、私にとって非常に重要なものであり続けると思います。

これまで、純粋な科学の見地から人類が直面する課題について、そして社会の観点から科学が直面する課題について提示してきました。しかし、この考えを一つのサイクルとして完結するには、人類の見地から社会が直面する課題に取り組む必要があります。これまでお話ししてきた問題は、先進国だけに限定されたものではありませんし、そのために解決策もないのです。私たちは、開発途上国の科学者やその他の人々ともパートナーシップを築くため、たゆまぬ努力をしなければなりません。彼らの視点を理解し、お互いの共通のゴールを達成するために彼らの能力を高めなければならぬのです。バイエ研究所もIIASAも、このような国際協力と能力開発に多大な労力を費やしてきました。さらに、ここでもう一つ、ぜひ皆さんにご紹介したい機関があ



ります。私はこれまで四半世紀にわたり、イタリアのトリエステにある国際理論物理学センター（ICTP）を頻繁に訪問してきました。ICTPはパキスタン人のノーベル物理学者、故アブドゥス・サラムのビジョンを体現したもので、彼の影響を受けたカテバリ・スリーニバサンが今日ではセンターを率いています。ICTPは研究機関として充実しているばかりではなく、開発途上国の科学者に対して非常に効果的に研究を支援する機関となっています。ICTPで過ごした期間は、非常に価値あるものでした。今後も、測り知れない価値を持つICTPの未来に参画できることを願っております。

今回は京都賞受賞の栄誉を賜り、またこのような講演の機会をいただき、稲盛博士、そして稲盛財団のビジョンに心から感謝しております。また、これまで長きにわたり私を支援してくださった公的機関あるいは民間機関、ご指導いただいた方々、スタッフや学生 [Fig. 37]、博士研究員の皆さん、同僚の皆さん、そして特に家族 [Fig. 38] に心からお礼を申し上げます。とりわけ、妻のキャロルは40年以上にわたって、良き相談相手であり、支えであり、そしてインスピレーションの源泉でありました。私たちはこの素晴らしい道程を、共に手を取り歩んできたのです。

## 5. 参考文献

・英文参照



稲盛財団2005——第21回京都賞と助成金

発 行 2006年7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-f.or.jp](mailto:admin@inamori-f.or.jp) URL <http://www.inamori-f.or.jp/>

**ISBN4-900663-21-2 C0000**