

題名	波に魅せられて
Title	Falling in Love with Waves
著者名	金森 博雄
Author(s)	Hiroo Kanamori
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	23
受賞年度	2007
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	Inamori Foundation
発行日 Issue Date	7/1/2008
開始ページ Start page	142
終了ページ End page	165
ISBN	978-4-900663-23-9

波に魅せられて

金森 博雄

私は、1936年（昭和11年）、金森家の6番目の子どもとして生まれました。その時、私の両親は、父が50歳、母が41歳で、6番目の子どもが生まれる頃には子どもの育て方には熟達していたものと思われます。子どもにはあまり細かいことを言わず、他人の迷惑にならない限り、なるべく本人の好きなようにさせるのがよいと思っていたようで、ほとんどすべてについて私の思うようにさせてくれました。このことを、私は両親に深く感謝しています。もちろん、両親は、黙ってはいても、私がとてつもなく道を踏み外すことのないようにいつも気を配っていたに違いありません。両親は子どもに似ず、大変に賢明であったようです。

私の子どもの時の最も大きな事件は第2次世界大戦でした。これは私が幼稚園にいる時に始まり、小学校（当時は、国民学校）の3年の時に終わりました。連日連夜の空襲、食糧不足、物資不足、先生の不足で、私の小学校時代の生活は極めて混乱していました。ところが今から考えてみると、それが大変辛かったという記憶はあまりないのです。ただし、食べ物がなかったことだけは今でも覚えています。それでも、母が超人的、献身的な努力によって切り抜けてくれました。そのおかげで、学校らしい学校にも行かず、本もノートも鉛筆もなく、何か質問があってもそれを尋ねるような人もあまりいなかったにもかかわらず、毎日私なりに楽しんでいたように記憶しています。特に終戦後は、焼け跡から拾ってきたガラクタを集めて小さな変圧器やモーターを自分なりに考えて作ったりして、毎日遊んでいたのを覚えています。このような経験を通して、私は本を読んだり、他人に聞いたりする前に、まず自分で考えて、たとえ不器用でも自分なりに問題を解決するという習慣を身につけたのかも知れません。私はこの習慣を、その後の研究生生活を通して持ち続けたように思います。これは誰にでも勧められることとは思いませんが、要するに誰かに聞いて答えを得るよりは、自分で考えて解決する方がずっと面白いと思っただけです。ただし、これの欠点は、どうしても自分で解決できない問題は、そのまま未解決に終わってしまうのが多いことです。もっと他人の意見を聞いていれば、もう少し気の利いたことができたかも知れません。

その頃、私の将来に大きな影響を与えたと思われる一つの出来事は、戦争中に短期間、長野県に疎開した時に偶然、雪を被った日本アルプスの雄大な景色を見たことで（Fig. 1）。これには本当に感激して、自然の力がどうしてあのような雄大な山を

Falling in Love with Waves

Hiroo Kanamori

I was born in 1936 as the sixth child of the Kanamori family. My father was fifty and my mother was forty-one at the time, so by the time their sixth child was born, they had become old hands at child rearing. They seemed to have believed that parents should let children have their own way as long as they wouldn't be a bother to others, rather than directing every little detail. In fact, they let me have my way in nearly everything, for which I am deeply grateful. Though they did not think of meddling in my affairs, I'm sure that they always saw to it that I wouldn't stray too far from the proper course in life. Unlike me, my parents were quite sensible.

The biggest event that occurred in my childhood was the Second World War, which broke out when I was in kindergarten and ended when I was a third grader in elementary school. Between air raids day and night, and a shortage of food, goods, and schoolteachers, my life as an elementary school pupil was quite chaotic. Looking back, however, I don't remember it as such a painful experience. However, I do still remember that I was always hungry. Even so, my mother somehow managed to get through the difficulties with her selfless and almost superhuman efforts. Thanks to her dedication, I was able to enjoy myself every day, even though I had no regular classes to attend, no books, no notebooks, nothing to write with, and no one to ask questions I had. After the end of the war, I vividly remember playing every day with junk that I gathered from burnt-out areas, figuring out ways to assemble small transformers and motors. Probably through this experience, I gained the habit of thinking for myself first before asking someone else or consulting books. I would come up with a solution myself, even though it might take longer. I think that I retained this basic attitude throughout my professional life in my later years. I don't think this is something I can necessarily recommend to anyone, but I simply found it far more interesting to work out solutions myself, rather than merely asking someone for an answer. One drawback to this approach is that problems that you cannot possibly solve for yourself often end up remaining unanswered forever. If I had listened more to what others had to say, my achievements might have been a bit more elegant.

It was at that time that I had an experience, which I believe had a great influence on my future. While I was briefly in Nagano for safety during the war, I happened to see a spectacular view of the snow-capped Japan Alps (Fig. 1). I

造るのかと、漠然とした興味を持ち始めました。

私の中学校での経験は少し波乱含みでした。両親は黙ってはいましたが、私がいまにも野育ちになったのを心配して、私を大変良い中学校（教育大学附属、現・筑波大学附属）に入れてくれたのだと思います。ところが、私は小学校時代に自分勝手なことをしていたので、学業の方は全く身についていなかったのです。例えば、戦時中は英語は“敵性語”であったので、私は“ABC”さえ知らなかったのです。ところが、私の学友の多くは大変良い家庭で育っていたので、多少の英語を知っていて、私はクラスについて行けず、いつもクラスの席次の下の方を泳いでいたようでした。にもかかわらず、私は大変良い先生や親切なクラスメートのおかげで、いつも幸せにのんびりとクラスの末尾にくっついていました。多分、先生や、両親、特に母は大変心配していたことでしょう。私の兄弟は皆優等生だったので、母に学校のことで心配をかけたのは、兄弟の中で私だけでした。

それでも、高等学校に行く頃には、どうやらクラスに人並みについて行けるようになり、私の適性が理科系であることが明らかになってきました。というよりは、文科系にはまるで素質がないことが分かったということかも知れません。

雄大な自然の働きと理科についての興味の組合せということで、大学では、自然と地球物理の方に進むことになりました。その後、大学の物理のクラスで波動方程式などを覚え、地球の中は我々の目では見ることはできなくても、地震波をうまく使うと、地球の中で起こっていることが目で見えるように分かるらしいことを習いました。大学院にいる頃にそのようないくつかの例を見て大変感激したのを覚えています。例えば、地震動を理論的に計算することができるのです（Fig. 2）。もっとも、本当の地震動はずっと複雑なことも知りました（Fig. 3）。そのような地震動でも、もう少し複雑な式を用いると、うまく解析できることも覚えました。

その後、私は1965年にカリフォルニアに行く機会に恵まれました。カリフォルニアでは、サンアンドレアス断層を初めて見ました（Fig. 4）。何回かの大地震の結果、川が数十メートルも横にずれているのを見て、またまた、自然の働きに感動しました。また、カリフォルニアに滞在中の1966年にパークフィールド地震が起こり、その時に、国道46号線が横ずれを起こしたのを見ることができました（Fig. 5）。さらに自分で見たわけではないのですが、1964年のアラスカ大地震の際にできた海岸

was so impressed with the view that I began to develop a vague interest in how such natural grandeur had been created.

My experiences during junior high were somewhat difficult. My parents put me in a very prestigious junior high school affiliated with the Tokyo University of Education (now University of Tsukuba). I suppose that they were concerned that I was too untutored, although they did not explicitly say so. Having spent my elementary school days as fancy took me, I did not make much progress in my schoolwork. For instance, because English was the “language of the enemy” during the war, I did not even know the alphabet. However, many of my schoolmates were from very good families and knew some English. Unable to keep up with classes, I was always hovering in the lower middle of class ranking. Nevertheless, with excellent guidance from teachers and the friendship of my classmates, I somehow managed to follow along at the tail end of my classes, and passed them both happily and comfortably. I’m sure that my teachers and parents—my mother in particular—worried very much about me. All of my other siblings were doing well at school, and I was the only child whose academic performance worried her.

By the time I went on to high school, I was able to keep up with the class like the other students. It was then becoming clear that I had an aptitude for science, or rather that I simply had no talent for the humanities.

The combination of my interest in science and in the grand forces of nature eventually led me to geophysics at college. Learning a wave equation, among other things, in a physics class there, I realized that although we cannot truly see the inside of the earth, we can discover what is happening there, as if we could see it, by using seismic waves properly. I can still remember how excited I was to witness some such examples when I was in graduate school. For instance, we are able to make a theoretical estimation of seismic motions (Fig. 2), although I also learned that actual seismic motions are far more complicated (Fig. 3). However, I learned that such complex seismic motions could also be analyzed well if a slightly more complicated equation is used.

In 1965, I had the opportunity to visit California, where I was able to see the San Andreas Fault for the first time (Fig. 4). After several major earthquakes, the lower stream of a river had moved sideways from the upper stream by several tens of meters. Once again, I was deeply moved to witness the great workings of nature.

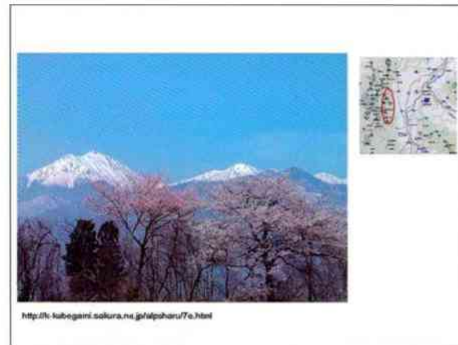


Fig. 1 安曇野から見た日本アルプス。昭和19年に上田付近から見たものと同様の景色
The Japan Alps seen from Azumino (similar to the view I had from Ueda, Nagano prefecture, in 1944)

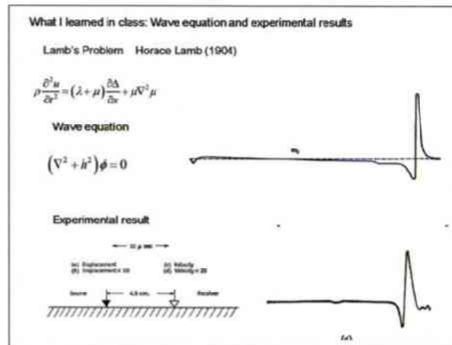


Fig. 2 弾性体の表面に力を与えた時に発生する波上：理論的に計算した波形 下：実験結果
Waves generated when force is applied to the surface of an elastic body
Top: Theoretically calculated wave
Bottom: Experimental result



Fig. 5 1966年のカリフォルニアパークフィールド地震によって生じた道路の横ずれ
Sideslipped road resulting from the 1966 Parkfield earthquake, California



Fig. 6 アラスカミッドルトン島の海岸段丘。大地震の繰り返しでできたもの
Marine terraces, Middleton Island, Alaska, formed by repeated major earthquakes

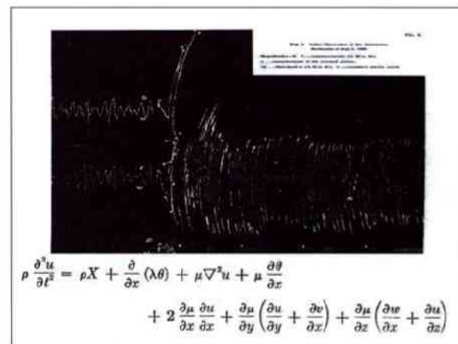


Fig. 3 東京で記録された大正12年の関東地震の記録
The 1923 Kanto earthquake as recorded in Tokyo



Fig. 4 カリフォルニアサンアンドレアス断層で繰り返し起きた地震によってできた川の横ずれ
Sideslipped river resulting from repeated earthquakes along the San Andreas Fault, California

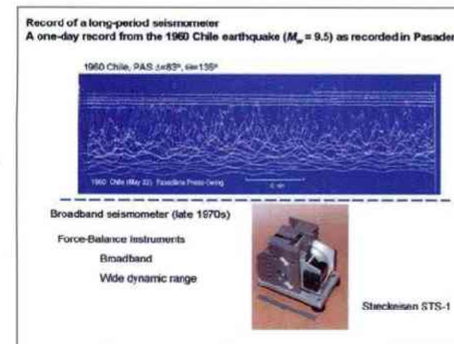


Fig. 7 上：長周期地震計によってバサデナで記録された1960年チリ地震の一日分の記録
下：1970年の終り頃から使われ始めた広帯域地震計
Top: A one-day record from the 1960 Chilean earthquake as recorded in Pasadena
Bottom: Broadband seismometer that came into use around the end of 1970

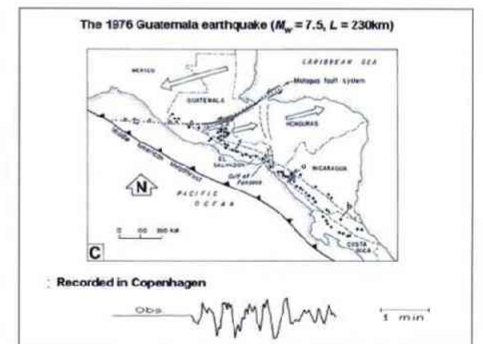


Fig. 8 コペンハーゲンで記録された1976年ガテマラ地震の記録。多数のパルスは複雑な断層運動を意味する
The 1976 Guatemala earthquake as recorded in Copenhagen (The presence of a large number of pulses indicates complicated fault movement)

段丘の話を知り、写真 (Fig. 6) を見せてもらったりし、本当に自然の力が大地を上下自在に動かしているということがよく理解できました。そこで、せっかく覚えた波動方程式を使って、自分自身で地震や火山活動から発生する波の解析をやってみようと思ったのは極めて自然な成り行きでした。実際にはこのような研究は既に地震学で広く行われていたのですが、この頃から得られるようになった新しいデータを効果的に使うには、より良い方法を開発する必要がありました。私は波動方程式などに少し真剣に取り組み、新しい方法を考え、それを使うと物事はさらによく見えてくることを知り、新しい現象を見つけるたびに感激して論文を書いたものです。その頃から、このような研究に病みつきになったと言っても良いと思います。もっとも、それは学位をとって、大学で研究生活を始めてからのことです。

次にいくつかの例をあげます。

1960年以前には長い周期 (30秒以上) の地震波を測れる地震計はほとんどありませんでした。実際には、地震から出る波には人体には感じられないような長い周期 (1時間程度) の波があります。1960年頃に開発された地震計でそのような波を観測することができるようになりました。Fig. 7上はカリフォルニア工科大学 (Caltech) で観測された1960年のチリ大地震の一日分の記録です。記録紙の下の辺りに見られる波は周期10分程度の波ですが、地震の起こった日の終り頃でも、まだ地球が揺れているのが分かります。私はこの波を見て、大きな地震というのはこういうものかと大変感激して、このような波を用いて地震の大きさをきちんと決められたら良いと思います、解析を始めました。その結果、この地震はそれまでに観測された地震の中で、最も大きいものであることが分かり、エネルギーにすると、1923年の関東地震の250倍、1995年の阪神淡路大震災の8000倍にもなります。自然の力がこのように大量のエネルギーをわずか数分の内に出すということに、改めて驚いたわけです。

1970年の終り頃から今度は全く新しいタイプの地震計が開発され、地震動をさらに広い周期範囲で精度良く測れるようになりました (Fig. 7下)。このような地震計で地震動を見ると、地震の際の断層運動は極めて複雑であることが分かりました。それはある程度、古い地震観測でも気づかれていたのですが、新しい地震計の観測によって、大変はっきりとしてきたのです。例えば、Fig. 8は1976年に起きたガテマラ地震のコペンハーゲンでの記録ですが、非常に多くのパルスが見られ、この地震の破

While I was living in California, the 1966 Parkfield earthquake occurred, and I was able to see the Highway 46 moved sideways (Fig. 5). It was also during this time that a friend of mine told me about the marine terraces created as a result of the 1964 Alaska earthquake and showed me photos (Fig. 6), though I did not see it in person. These experiences made me clearly realize that the forces of nature actually deform the earth with relative ease. And so, it was quite natural that I decided to analyze the waves that earthquakes and volcanic activities produce by using the wave equation that I had learned. In reality, such an attempt was nothing new to the field of seismology. Nevertheless, in order to make the most of the new type of data that became available then, a better analytical approach had to be developed. I thus set about working on the wave equation somewhat seriously, devised a new technique, and found that using it helped me to see things more clearly. Whenever I discovered a new phenomenon, I would become greatly excited and write a paper on it. I would say that ever since then I have been addicted to my studies.

Let me give you some examples.

Before 1960, there were few seismometers capable of measuring seismic waves with a period longer than 30 seconds. In reality, seismic waves contain long period motion lasting about one hour that humans cannot feel. A seismometer that was developed around 1960 made it possible to observe such waves. Shown in Figure 7 (top) is a one-day record of the 1960 Chilean earthquake taken at the California Institute of Technology, or Caltech. The waves towards the bottom of the paper have a period of about ten minutes. You can see that the earth was still trembling at the close of the day of the earthquake. Having seen these waves, I was thrilled to know what a great earthquake is all about. I then began analyzing them, hoping to use such waves to determine the magnitude of an earthquake precisely. As a result, I learned that the Chilean earthquake was the largest that had ever been observed. The seismic energy released by this earthquake was as much as 250 times more than that of the 1923 Kanto earthquake and 8,000 times more than that of the 1995 Great Hanshin-Awaji Earthquake. Once again, I was awed at the fact that the forces of nature can release such a large amount of energy within a span of only a few minutes.

Then, towards the end of 1970, a completely new type of seismometer was developed, which made it possible to measure seismic waves accurately over a

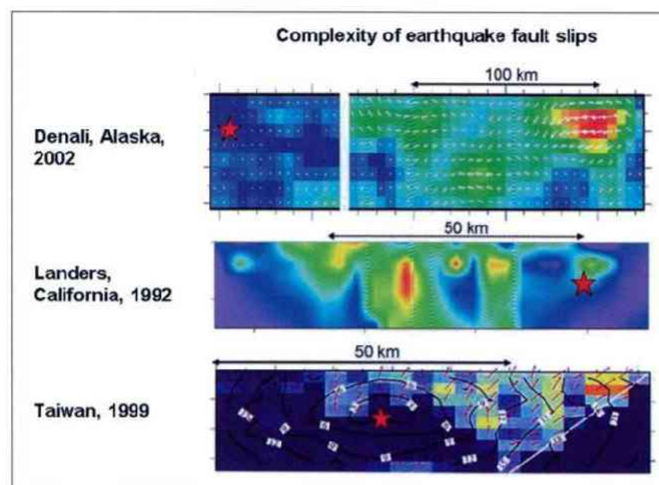


Fig. 9 断層上でのすべり分布
Slip distribution along the fault

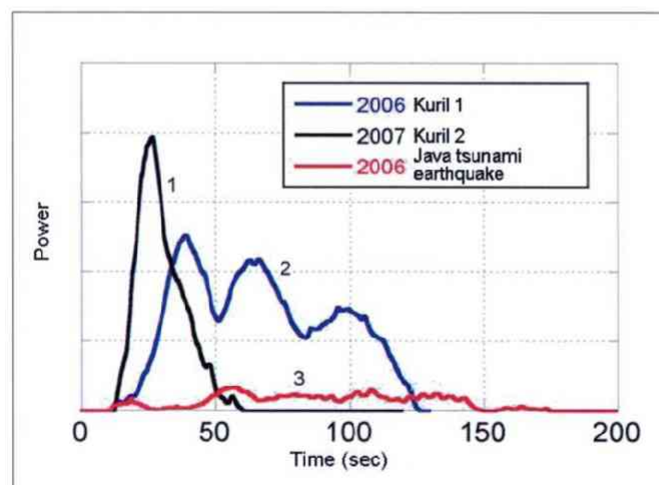


Fig. 10 大地震によるエネルギー放射の多様性
Differences in how the energy of a major earthquake is released in time

wider range of periods (Fig. 7, bottom). Analysis of seismic waves measured by such a seismometer revealed that fault movements during an earthquake are highly complicated. Older seismometers had detected this complexity to a degree, but observations with the new instrument made it crystal clear. Figure 8, for instance, is a record of the 1976 Guatemala earthquake taken in Copenhagen. A sequence of pulses recorded indicates that the fault rupture of this earthquake was extremely complicated. Back then, not many details were recovered from these records, but much progress has since been made in this area of research, and we now have a very good idea of how a fault rupture occurs. As shown in Figure 9, the slip motion is not uniform on the fault. Furthermore, it has become known that the speed of slips differs greatly at different locations, although this figure alone doesn't reveal this. Such complexities of earthquakes provide a highly important clue to understanding the physics of earthquake occurrences. The nature of seismic motions, which can damage buildings, is determined by the complexity of the fault movements. Thus, such research findings are playing an increasingly important role in relation to the design of earthquake-proof buildings.

Another finding was that a great earthquake's rupture process could be very fast or very slow. An example is shown in Figure 10. Shown here is how energy was released from an earthquake over time. Numbers 1 and 2 indicate earthquakes that recently occurred in the Kuril Islands. Number 1 represents an earthquake that occurred on the boundary between the oceanic and continental plates, similar to the 1923 Kanto earthquake and the 1946 Nankai earthquake. Number 2 occurred within the oceanic plate along the trench, which is comparable to the 1933 Sanriku earthquake in Japan. Number 3 occurred in Java in 2006, comparable to the 1896 Sanriku earthquake in Japan. A comparison between Number 1 and Number 2 shows that the latter released a large amount of energy over a short period of time. In other words, it was a very severe earthquake accompanied by strong seismic motions. Because most earthquakes are similar to Number 1, and those resembling Number 2 are relatively rare, not much has been done to deal with the latter type of earthquake. Since this type of earthquake did occur off Sanriku in 1933, however, this kind of earthquake needs to be taken into account for planning disaster reduction measures for future earthquakes. Earthquakes such as Number 3 release their energy very slowly, and so do not generate strong seismic motions. However, because of the large crustal movements that accompany

壊が極めて複雑であったことが分かります。その当時の記録では、あまり詳しいことは分からなかったのですが、その後この種の研究は非常に進み、今では断層の破壊の様子が大変よく分かるようになりました。Fig. 9に見られるように、断層上の場所によってすべりが大きくなったり、小さくなったりしています。また、この図からだけでは分かりませんが、すべりの速さも場所によって大きく変わることが分かってきました。このような地震の複雑さは、地震発生の物理を知る上で極めて重要な手がかりとなります。また、建物に被害を与えるような地震動の性質もこのような断層運動の複雑さによって決まるのです。というわけで、このような研究は地震に対して強い建物を造るために重要な役割を果たしつつあります。

また、一口に大地震といっても、その破壊のスピードが大変速いものと大変遅いものがあることが分かりました。Fig. 10に示すのは、一つの例です。これは震源でのエネルギーが時間とともにどのように放出されたかを示す図です。1と2は最近、千島列島に起こった地震ですが、1は沈み込み帯の地震で、関東地震や南海地震のようなものです。2は海溝沿いに起こった地震で、1933年（昭和8年）の三陸地震のようなものです。また、3は、去年ジャワ島で起こった地震で、日本でいえば1896年（明治29年）に起こった三陸地震のようなものです。2の地震では1の地震に比べて、短時間に大きなエネルギーが出たことが分かります。一口に言えば、大変激しい地震で、強い地震動を発生すると考えられます。大部分の地震は1のタイプで、2のタイプの地震は比較的珍しいため、対策が十分に立てられていないようです。しかし、三陸沖では実際に起こっているのですから、将来の地震防災のためにはこのような地震を考慮に入れる必要があります。3の地震ではエネルギーが非常にゆっくり出るために強い地震動は出ません。しかし、それに伴う地殻変動は大きいので、大きな津波を発生します。このような地震は“津波地震”と呼ばれ、大変始末の悪い地震なのです。地震動はあまり大きくないので、大した地震ではないと思っていると、やがて大きな津波が来て、多数の犠牲者を出すことがあります。明治の三陸地震では、そのために大惨事となり、2万人以上が亡くなりました。このような地震についての対策も不十分でしたが、やっと最近、新しい解析法が進歩したので、このような問題にも地震学が役に立つようになると思います。

波動方程式というのは、その基本的な形は大変に簡単なものです。ところが、それ



Fig. 11 火山噴火とそれによる大気の変動。右の図は人工衛星が捉えた赤外線によるピナツボ火山を中心とする大気温度変化を表す
Volcanic eruption and accompanying atmospheric oscillation
On the right is an infrared image as captured by satellite of the atmospheric temperature change, with Mount Pinatubo at the center

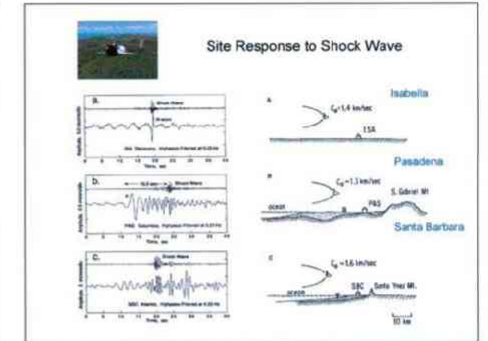


Fig. 12 スペースシャトルの通過によって発生した地震波
上：平坦な場所の上空を飛ぶ時には、衝撃波だけが発生する
中と下：高層ビルや山がある所の上空を飛ぶ時には、衝撃波が建物や山にぶつかった時に発生する波も発生する
Seismic waves generated by the passage of a space shuttle
Top: Only shock waves occur when flying over level land
Middle & bottom: Waves generated as a result of shock waves hitting buildings and mountains are also observed when flying over skyscrapers or mountains

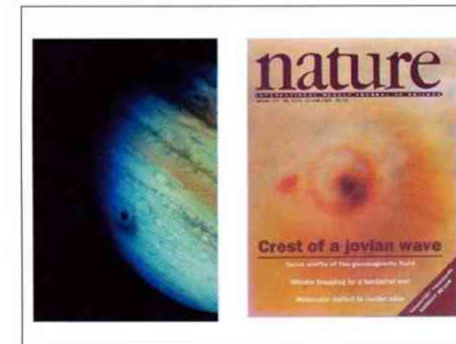


Fig. 13 1994年に彗星（SL9）が木星大気に衝突した時に発生したリング状のパターン
Ring-shaped patterns created when Comet SL9 collided with Jupiter's atmosphere (1994)

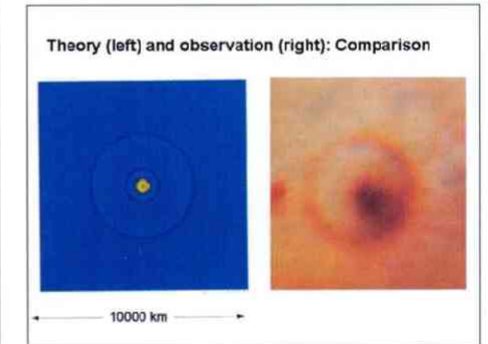


Fig. 14 リング状のパターンは木星大気の中を伝わる重力波と考えられる
左：計算した波 右：観測された波
The ring-shaped patterns are believed to be gravitational waves traveling through Jupiter's atmosphere
Left: Calculated waves
Right: Observed waves



Fig. 15 地震災害
Earthquake hazards

を使う目的に応じて変形すると、実にいろいろな自然現象を調べるのに使うことができます。始めは、地震の研究にだけ使っていたのですが、そのうちに、大気や海の中を伝わる波や、火山の噴火の時に出る波 (Fig. 11)、スペース・シャトルの出す衝撃波 (Fig. 12)、彗星が木星大気に衝突した時に出る波 (Fig. 13, 14) にも使えるということがわかり、次から次へと面白い現象を調べることができました。もちろん、このような研究は、海洋学や気象学では広く行われていたことですが、地震学の立場からこのような波を使うには多少の工夫が必要で、それがうまくいくと、また面白いのです。どうも、私は極めて単純にできているのかも知れませんが、子どもの頃から知りたいと思っていたいろいろな自然現象が、波動方程式の応用により次から次へと解明されていくのは本当に素晴らしいことでした。

このような研究は大変面白く、私の科学的な好奇心を十分に満足させてくれました。残念なことに、同じ自然現象は大きな自然災害をも引き起こすのです (Fig. 15)。私が地震学に進んだ一つの理由は、学術的な研究の結果を少しでも地震災害軽減に役立てたいということでした。おそらく、地震学者であれば、誰でもそう考えることと思います。ところが、実際にどうすればよいかということになるとあまりはっきりした

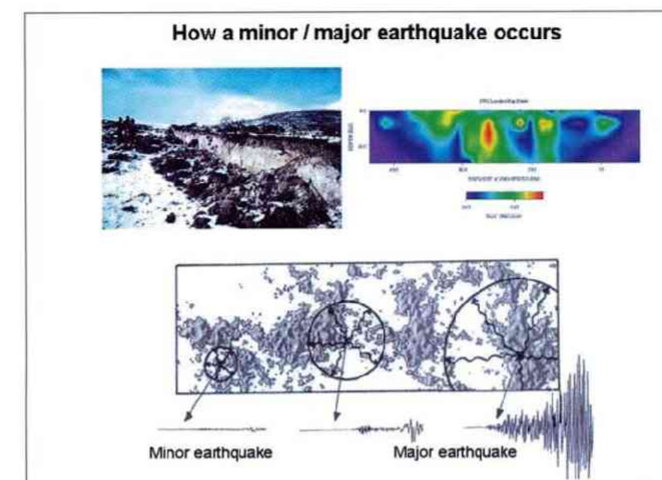


Fig. 16 断層破壊の複雑さ。小さい地震が成長すると大地震になる。小さな地震の成長がいつ止まるかを正確に予測することは難しい
Complex fault rupture: A minor earthquake grows to become a major one. It is difficult to accurately predict when a minor earthquake will stop growing

them, large tsunamis occur. These earthquakes are called “tsunami earthquakes,” and are very difficult to deal with. Because their seismic motions are not so large, they tend to be underestimated. The massive tsunami that follows, however, can claim many victims. Because of this false appearance, the 1896 Sanriku earthquake turned out to be a major disaster, claiming over 20,000 lives. Precautions against such earthquakes had been unsatisfactory, but new analytical methods have been developed recently, and seismology will be used more effectively for solving this issue.

The basic form of wave equations is itself quite simple. However, if you modify it to suit your purposes it can be used for investigating a great variety of natural processes. Initially I used it only for seismic studies; however, I eventually found that the equation could be applied to waves that travel in the atmosphere or the oceans, waves generated during volcanic eruptions (Fig. 11), shock waves generated by space shuttles (Fig. 12), and waves generated when a comet collides with Jupiter’s atmosphere (Figs. 13 & 14). And so, I studied one interesting process after another. Needless to say, such research attempts had been widely practiced in the fields of oceanography and meteorology, but it takes some ingenuity to use

考えは私にはなかったのです。しかし、1980年代の終り頃から、この問題を真剣に考えるようになりました。最初に頭に浮かんだのは、地震予知です。しかし、これは大変難しいのです。地震発生につながる物理現象の解明というのは学問的に大変に面白い問題で、それなりにかなりの成果を収めたのですが、実際にそれを普通の意味で地震予知に使うのはそう簡単ではないのです。

地震予知というのは、高速道路での事故を予知するのに似ています。高速道路が混んでくると、事故の起こる確率は高くなります。これは、地殻の中に溜まった歪みが増えてくると、地震の起こる確率が高くなることに対応します。しかし、いつ大事故が発生するかは、他のいろいろの条件で決まります。一人のドライバーが不注意で前の車に追突すると、それは大事故の引き金になります。しかし、他のドライバーが注意深ければ、大事故にならず、単なる追突事故で終わるかも知れません。大事故になるかどうかを予知するためには、一人ひとりのドライバーの能力や、一台一台の車の性能を、前もってすべて知らなければなりません、これは非常に難しいことです。同様に、一つ小さな地震が起こった時、それが他の地震を誘発して大地震になるかどうかは、地殻の細部の性質や歪みの溜まり方をすべて知る必要がありますが、これは大変困難です (Fig.16)。“車の衝突の物理学”や“一つの地震の物理学”はある程度わかっている、きっかけとなった現象がどのような相互作用でより大きい現象に成長するかは、極めて多数の要素で支配されるために、正確に予知することは難しいのです。よく、前駆現象をとらえれば良いと言われますが、たとえ、何か前駆現象のようなものがあっても、必ずしもそれが大地震につながるとは限りません。高速道路の例でいえば、一人の運転ミスがあると、その影響で車の流れに乱れが起り、これが一種の前駆現象です。しかし、この乱れが大事故になるかどうかは、他のドライバーの腕に因るわけで、その結果を正確に予知することはできません。

このように考えてくると、地震の“予知”あるいは“予測”に関する研究は科学研究としては重要ですが、それだけでは地震災害軽減にはすぐに結びつきません。そこで頭に浮かんだのが、「リアルタイム地震学」です。これは何も特別なものではなく、地震が起こったら、その地震の場所やマグニチュード、地震動の強さを迅速に推定して、その情報をいろいろなユーザーに提供し、地震災害軽減に役立てようというだけのことです。この考えは昔からあったわけですが、私が実際にやろうと思いはじめたのには一つのきっかけがありました。1987年10月1日の朝早く（7時40分頃）にロサンゼルス付近にM=5.9の地震が起こりました（Whittier Narrows地震）。

these waves in a seismological context. It has been a truly wonderful experience to see that many natural processes that I had been curious about since my childhood were elucidated one after another by application of the wave equation.

Doing research in this way is very exciting, and it more than satisfied my scientific curiosity. Unfortunately, however, natural processes can also trigger major natural disasters (Fig. 15). One of the reasons why I chose the field of seismology was my genuine wish to make use of scientific research findings for the mitigation of seismic hazards. I believe that every seismologist shares this same motive. When it came down to specific courses of action to be taken, however, I had only vague ideas. At any rate, I began to give serious thought to this issue from the late 1980s onward. The first thing that came to my mind was earthquake prediction. However, this is extremely difficult. Understanding the physical processes that lead to the occurrence of earthquakes offers a highly interesting academic subject, and a good progress has been made, but it wouldn't be so easy to put these findings to practical use in the prediction of earthquakes.

Predicting earthquakes is like predicting traffic accidents on highways. The more congested a highway is, the greater the chance of an accident. This can be compared to earthquake probability becoming higher as more strain accumulates in the crust. However, the specific timing of a major accident is determined by many other conditions. If one driver is careless and bumps into a car ahead of him, it could trigger a major accident. However, if other drivers are careful, such an accident could be avoided, resulting only in the occurrence of a mere rear-end collision. In order to predict a major accident, you need to know about the skills of each driver and the performance of each car, and this is, of course, quite difficult. Similarly, if you want to know whether a minor earthquake can trigger other earthquakes and thus form a major earthquake, you need to have every piece of data, including detailed information on the properties of the crust and how strain has accumulated, which is also very difficult (Fig. 16). We now have a reasonably good knowledge of “the physics of a car crash” and “the physics of an individual earthquake.” However, it is difficult to accurately predict an earthquake since an extremely large number of factors govern how each triggering event interacts with others to collectively develop into a larger phenomenon. It is often said that we can predict an earthquake if we identify a precursory phenomenon, but even if such an event occurs, it will not necessarily lead to a major earthquake. To

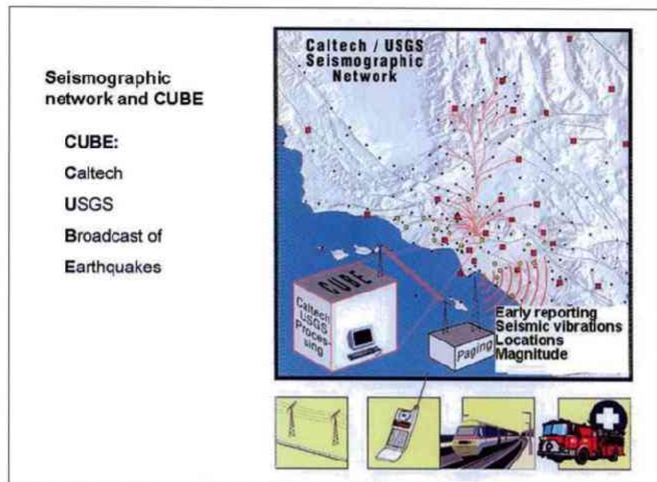


Fig. 17 地震のリアルタイム監視。地震直後に地震動の情報をいろいろな機関に配信する
 Real-time earthquake monitoring
 Distributes seismic motion data to various agencies immediately after an earthquake occurs

ちょうどその時、私はアレン教授と私の部屋で話をしていました。突然大きな揺れがきて、天井のパネルが落ちてきたり、本棚から本が落ちたり、引き出しの中の物が飛び出したりしました。体で感じた地震動の様子で、すぐ近くの地震だとは思いましたが、北の山の方か、南のロサンゼルスの方かは分かりませんでした。山か街かによって、採るべき対策等も違うので、それをすぐに知りたいと思ったのですが、当時の観測網では、震源、マグニチュード、メカニズム等を知るのに2~3時間がかかったと思います。これでは困ると思って、南カリフォルニアで「リアルタイム地震学」を始めたいと思ったのです。しかし、このように事業的なことは、大学ではなかなかやりにくいのです。幸いにして、当時アメリカ地質調査所 (USGS) のパサデナ支所の責任者であった、ヒートン博士も同じような考えを持っていたので、その他、大変たくさんの方の協力を得て、CUBE (Caltech-USGS Broadcast of Earthquakes) というプロジェクトを始めました (Fig. 17)。これは文字通り、地震の情報をCaltechとUSGSが地震直後にいろいろなユーザーに配信するというプロジェクトですが、最も重要なことはユーザーもプロジェクトに参加したことで、その結果、大学、政府機関とユーザーの間の連携が緊密になり、地震対策がスムーズに行われるようになりました。幸いにして、CUBEは大変に評判が良く、プロジェクトへの参加者も増え、南

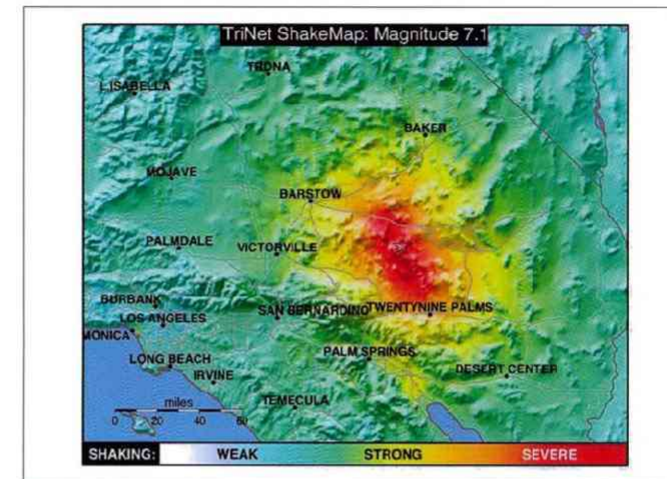


Fig. 18 1999年カリフォルニアヘクターマイン地震の直後につくられた ShakeMap (地震動の分布図)
 ShakeMap (seismic shaking distribution map) created immediately after the 1999 Hector Mine earthquake, California

use the analogy of a freeway once more, a single driver's mistake can disrupt the flow of vehicles. This is a kind of precursory phenomenon. But whether or not this disruption will eventually result in a major accident is dependent on the skills of other drivers, and so the final outcome cannot be accurately predicted.

The scientific study of earthquake "prediction" or "forecasting" is indeed important, but pure research alone does not help to mitigate earthquake hazards. Then, the idea of "real-time seismology" came about. This in itself is nothing special, but the general idea is, when an earthquake occurs, to immediately estimate its location and magnitude as well as the intensity of seismic motions, and then provide various kinds of users with this data so as to mitigate earthquake hazards. I had mulled over this idea for quite some time, but one particular experience motivated me to move ahead. Early in the morning at around 7:40 on October 1, 1987, an earthquake with a magnitude of 5.9—now known as the Whittier Narrows earthquake—hit the city of Los Angeles. At that time, I was having a conversation with Professor Clarence Allen in my office. Suddenly, a major quake occurred, with ceiling panels falling, books dropping from the shelves, drawers opening, and items being jolted out of them. Judging by the earthquake motions I felt, I soon realized that it was very close, but I wasn't sure if it was in the mountains to the north

カリフォルニアでの地震情報システムとして定着しました。さらに、これをきっかけとして、地震直後に地震動の分布を配信する「ShakeMapプロジェクト」も始められ、アメリカ地質調査所の努力によりアメリカ全土に普及しています(Fig. 18)。この一連の発展は、大学と政府機関の緊密な協力に因るところが多く、研究的な意味での地震学と、防災科学としての地震学を地震災害軽減に用いるためには、このような協力が最も有効だと思います。

その後、計算機的能力、通信技術の進歩、地震データの解析技術の進歩に伴って、地震情報の伝達のスピードがいよいよ速くなり、地震の早期警報という考えを押し進めることになりました。これは、地震が起こった後、震源近くのデータを用いて、その地震の大きさや、地震動の強さを数秒以内に推定して、その情報を震源から少し離れた所に有線あるいは無線で送ることにより、そこで実際に地震動が始まる前に警報を出そうというものです。日本では、新幹線等で早くから行われていたことです。この考えは、最近日本で、防災科学研究所(NIED)と気象庁(JMA)によって実用化されつつあります。アメリカでは、いろいろな基礎研究を行っていますが、実際に大きな地震がないと、なかなか実用化は進みません。それでも、将来のため、独自の方法を開発するための基礎研究は着実に続けられています。

一般の方は、地震予知ができないのでは、地震学者はあまり役に立たないと思われるかも知れませんが、“予知”や“地震”をあまり狭い意味で考えない方が良いでしょう。“地震”を断層の瞬間的なすべりと定義し、その発生を正確に予知しようと思うと、前に述べたように、いろいろな困難が伴います。しかし、地震を長期にわたる地殻現象と思えば、ある意味では“地震はすでに起きている”のであり、その推移を予測することが地震予知ということになります。地震現象が物理現象である限り、現在までの観測結果と地震の物理の知見を用いて、将来の地震活動をある程度予測できるはずですが、もちろん、理論もデータも不完全ですから、かなりの不確定さを伴うことは止むを得ません。

一方、地震を地面の揺れと考えて、ある時点での地震動の観測を基にすれば、波の伝播の物理学はよく分かっているので、かなり正確に将来の地震動を予測できます。これは“地震動予知”と言ってもよく、前に述べたように、最近のリアルタイム地震学の著しい発展を見ると、実用の段階に近づいていると思います。これからは、その

or in urban areas of Los Angeles to the south. I wanted to know the answer immediately, because the necessary action would be dependent on whether the earthquake was in the mountains or city area. With the seismographic network available at that time, however, it took two to three hours before we learned the source location, magnitude, and mechanism, as well as other data on the earthquake. I felt that this was very unsatisfactory, and wanted to start a “real-time seismology” system in Southern California. However, at a university, it is not as easy as one might think to embark on such a large project that serves the public interest. Fortunately, Dr. Thomas Heaton, then the head of the U.S. Geological Survey Pasadena Office, had a similar idea. With help from Dr. Heaton and many others, we set about a project known as CUBE, or Caltech-USGS Broadcast of Earthquakes (Fig. 17). As its name suggests, this is a joint project between Caltech and the USGS to distribute data concerning an earthquake that has just occurred to a variety of users. What made this project so special was the users' involvement in the project. Such involvement facilitates closer communications between universities, government agencies, and users, prompting a smooth execution of earthquake damage mitigation measures. Fortunately, CUBE earned an excellent reputation, and even more parties became involved. This resulted in the establishment of CUBE as a comprehensive seismic information system for Southern California. The success of this project eventually led to the “ShakeMap Project,” a service for providing near-real-time maps of ground motion which, thanks to dedicated efforts by the USGS, has spread throughout the United States (Fig. 18). This series of developments never would have been possible without close cooperation between academia and government agencies. This sort of cooperative framework would seem to be the most productive way to make effective use of seismology—both as a field of research and as a disaster reduction science—for the mitigation of earthquake hazards.

Subsequent progress in computer performance, communication technology, and seismic data analysis method has increased the speed of seismic data communication, advancing the idea of an earthquake early warning system. Such a system uses seismic data collected near the source of an earthquake to estimate the magnitude and the intensity of seismic motions within a matter of seconds. It then transmits the information by wired or wireless methods to locations some distance from the seismic source in order to issue warnings before the seismic

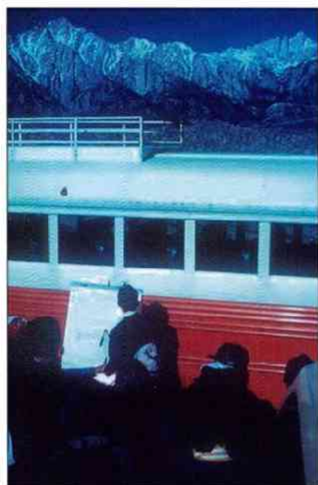


Fig. 19 シエラネバダを背景としたカリフォルニア工科大学の講義
Outdoor class at Caltech with the Sierra Nevada Mountains
in the background

有効な利用のために工学者との緊密な協力が不可欠だと思います。

私の仕事上で一番難しかったことの一つは、英語です。私は、戦争中および戦争直後に子ども時代を過ごしたため、英語に出会ったのが極めて遅く、英語の読み書きや会話を覚えるのに大変苦労しました。アメリカに来て35年になる現在でも、まだ苦労が絶えません。しかし、一つ良いことがあるように思います。私は自分の英語が十分でないことをよく知っているので、英語で論文を書いたり、話したりする時には、その準備に長い時間をかけます。その結果、私の書いた論文や話は、エレガントではないにしても、一応きちんとした論理構造を持っているようで、大抵の人は、非常によく分かると言ってくれます。自国語では、よく考えずに、しばしば論理的にはっきりしない文章を書いたり、話をしたりしてしまふことがあります。

もう一つの困難は、ものを教えることです。自分のよく知っていることを教えるのは、それほど難しくもないかも知れません。ところが、幸か不幸か、私は研究生活を通じて、次から次へと恐ろしく頭の良い学生や研究者と付き合うことになったのです。その結果、私のほとんど知らないようなことについて、意見を求められることがしば

waves actually reach such areas. In Japan, this system has long been used for bullet trains and other applications. More recently, the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) and the Japan Meteorological Agency (JMA) have put this system into practical use. In the United States, various kinds of basic research are conducted, but the stage of practical application has not been reached yet. Nevertheless, steady efforts are being made in basic research fields for the future and for the development of new methods.

The public at large might think that seismologists are useless if they are unable to predict earthquakes, but we should not think of “prediction” and “earthquakes” in a narrow sense. If you define an “earthquake” as an instant slip of a fault and try to predict its occurrence accurately, as I explained earlier, you will end up encountering a number of difficulties. If, however, you define “earthquake” as a crustal process that occurs over a long period of time, in effect an “earthquake has already begun.” If you think in this way, predicting an earthquake actually involves estimating how it will develop. Insofar as the seismic process is a physical process, it should be possible to predict future seismic activities to some extent based on observation data collected thus far. Needless to say, because neither the theories nor the data are complete, a considerable degree of uncertainty is unavoidable.

On the other hand, if you think of an earthquake as shaking of the ground, you can predict future seismic motions with considerable accuracy, based on observation data of seismic motions at a certain point in time. This is because the physics of wave propagation is well understood. You might call this the “prediction of seismic motions.” As I mentioned earlier, considering the rapid progress in real-time seismology in recent years, we are approaching the stage of practical application of this technique. I believe that close cooperation with engineers will be essential for its effective use.

One of the biggest challenges I have faced during my professional career has been the English language. Having spent my childhood during and immediately after the Second World War, I encountered English quite late in my life, and so I experienced great difficulty in learning to read, write, and speak the language. Thirty-five years after I moved to the United States, my difficulties still continue. However, there is a positive side. Because I know my English is deficient, I spend

しばでした。とてもすぐには答えられないので、聞かれたことについて、後で一生懸命勉強する以外に方法はありませんでしたが、それもそう簡単ではありません。しかし、もしかすると、私が満足に答えられなかったことが学生にはかえって良かったかもしれません。それは、自分でものを考える結果になるからです。これは前にも述べたように私自身が実行したことでもあったのです。また、私自身ではうまく教えられなくても、自然の力を借りたらうまくいくかと思い、カリフォルニア工科大学での講義をシエラネバダの山を背景にして行ったこともあります (Fig.19)。これが実際に効果があったかどうかは分かりませんが、学生にとっても先生にとっても大変気持ちの良い経験でした。

私の研究生生活を振り返ってみると、一番やりたいと思ったことをやることができ、本当に幸せだったと思います。私はとても次の世代に助言ができるような柄ではありませんが、もし助言をするとすれば、「富や名声を得たいという欲望に人生を任せずに、自分の本当にしたいと思うことをすると良い」ということと、「他人の助言を鵜呑みにするな」ということになるかと思っています。

many hours in preparation when I write papers or give speeches in English. Thanks to this, it seems that these papers and speeches usually have a proper logical structure, although they may not be elegantly written, and most people seem to find them easy to follow. In Japanese, on the other hand, I may sometimes do a rush and sloppy job in writing and speaking.

Another challenge has been teaching. It may not be so difficult to teach something that you are familiar with. However, for better or worse, throughout my life as a researcher I have had to deal with exceptionally bright students and researchers. This means that in many cases, I was asked for opinions on matters about which I had not even the foggiest idea. When there was no way to answer immediately, I had no choice but to desperately study afterwards the things I had been asked to comment on. In retrospect, however, my inability to give satisfactory answers in such cases was often beneficial for the students, in that it forced them to think for themselves. As I said at the outset, this approach is something that I have practiced myself. One time I held a class for Caltech students outdoors with the Sierra Nevada Mountains in the background (Fig. 19). I thought that, despite a lack in teaching ability, the power of nature would make it possible for me to perform better. I don't know whether that attempt worked or not, but it was indeed a very pleasant experience for both the students and myself as a teacher.

Looking back on my career as a researcher, I consider myself very fortunate that I have been able to do what I like doing best. I don't consider myself qualified to give any advice to the next generation, but if I had to, I would say that you should "do what you like best and not let the desire for wealth and fame dictate your life," and that you should "not simply blindly accept someone else's advice."

稲盛財団 2007——第23回京都賞と助成金

発 行 2008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 URL <http://www.inamori-f.or.jp/>

ISBN4-900663-23-9 C0000