

(3) 受賞者と業績 2003 C&C Prize Reipients

グループA Group A

甘利 俊一 博士

理化学研究所脳科学総合研究センターセンター長、
東京大学名誉教授

Director of Riken Brain Science Institute
Professor Emeritus, University of Tokyo

Dr. Shun-ichi Amari

ニューロコンピューティングおよび脳の数理情報科学への先駆的かつ指導的貢献

For Pioneering Leadership in Research on Neurocomputing and Mathematical
Nueroscience

グループB Group B

Dr. Gordon E. Moore

Chairman Emeritus, Intel Corporation

ゴードン E. ムーア博士

For Outstanding Leadership in Moving the Integrated Circuit Industry forward by Presenting the
Guidelines for the technical Innovation known as Moore's Law

ムーアの法則として知られるシリコン集積回路の技術開発の指針を示して半導体産業の隆盛を
導いた指導的貢献

(4) 甘利博士略歴



甘利 俊一 博士

理化学研究所脳科学総合研究センター センター長
東京大学名誉教授

ニューロコンピューティングおよび脳の数理情報科学への
先駆的かつ指導的貢献

・略歴と主な業績

■甘利俊一博士は、1936年東京都に生まれ、1958年に東京大学工学部応用物理学科（数理コース）を卒業、1963年に同大学大学院を修了し工学博士の学位を授与された。同年九州大学工学部通信工学科の助教授に就任、その後東京大学工学部計数工学科助教授、教授を経て、1996年に定年により退官、名誉教授の称号を受けられた。この間、パリ大学、ルーバンカソリック大学、香港中文大学などの客員教授を務められた。

1994年より、理化学研究所国際フロンティアシステム・グループディレクターを兼任、1997年脳科学総合研究センターの設立後は同センターのグループディレクターとして脳の理論的研究に当たられ、現在同センター長を務めておられる。

これまでに、日本学術会議会員（第17期）、国際神経回路網学会会長、数理統計学および確率論ベルヌーイ学会理事、電子情報通信学会副会長などを歴任、現在同次期会長であられる。また、「Neural Networks」誌創刊共同編集長、「応用数理」初代編集長をはじめ、国内外の多数の学術誌の編集にあられた。

■博士は中学の頃から数学が好きで、熱心な先生にも恵まれた。都立戸山高校では数学クラブに入り、そこでも先生から数学の斬新な発想と考え方を学ばれた。大学では工学部では珍しい数理コースを専攻され、自由な雰囲気の中で伸び伸びと育つことができた。九州大学に移り、異文化に触れ刺激を受けられ、東大に戻り、数理工学を体系的に考究し、この中でニューラルネットワークの基礎を築き、情報幾何学と名付けた分野を創設するなど、研究の視野を格段に広げられたのである。

■このように、博士は数理工学の幅広い分野で活躍するなかで、脳の情報処理の仕組みに興味を持ち、神経回路網のモデルとその数学的な解析を研究してこられた。その動機は脳という非常に多くの要素からなる、複雑怪奇なシステムを数理工学の立場から整理してみたかったことである。1960年代に早くも神経回路網モデルの学習アルゴリズムを提唱したが、これはその後に見られた誤差逆伝播学習法と同じものである。また、連想記憶モデル、神経集団のダイナミックス、神経場の理論、脳の自己組織原理など、多数の研究を世界に先駆けて発表されている。これらは神経回路網理論の体系を築く基礎となっている。

■1970年代後半には、情報科学の新しい方法論として情報幾何学を発表された。これは現代微分幾何学に新しい概念を持ち込んだもので、統計学、情報理論、システム理論、学習理論、パターン認識などの分野を結ぶ共通の方法論として確立された。情報幾何学を主題とした国際会議が世界各国で開催されるなど国際的に認められ、現在は人工知能への応用が広がっている。

■博士の研究意欲は東京大学退官後も衰えることなく、現在は理化学研究所において、脳科学総合研究センターのセ

ンター長として脳科学の総合的推進を指揮するかたわら、脳数理研究チームを自ら率い、情報幾何学をもとに脳のモデルを構築する新しい研究を始められた。神経回路網の分野では自然勾配学習法、信号処理と統計学の分野では独立成分分析の幾何学理論など、新しい構想による理論を展開して、今なお世界の学界を主導されている。

■甘利博士は囲碁、ブリッジ、TVゲーム、ピンポン、テニス、スキーと多彩な趣味人でもある。これが常にあふれ出る研究のエネルギーの源泉であろう。

・主な受賞など

- | | |
|-------|----------------------------------|
| 1987年 | 電子情報通信学会米澤ファウンダーズメダル記念特別賞 |
| 1987年 | 著書「バイオコンピュータ」(岩波)で講談社出版文化賞、科学出版賞 |
| 1987年 | 国際AI財団よりAI学術賞 |
| 1992年 | IEEE Neural Networks Pioneer 賞 |
| 1995年 | 日本学士院賞 |
| 1997年 | Caianiello 賞 |
| 1997年 | IEEE Emanuel R. Piore 賞 |
| 2002年 | 日本統計学会賞 |

(5) Biography of Dr. Amari



Dr. Shun-ichi Amari

Director of Riken Brain Science Institute
Professor Emeritus, University of Tokyo

For Pioneering Leadership in Research on Neurocomputing
and Mathematical Neuroscience

• Professional Career

Professor Shun-ichi Amari was born in Tokyo, Japan in 1936. He graduated from the University of Tokyo in 1958, majoring in mathematical engineering at the Department of Applied Physics, and received a Doctorate of Engineering in 1963. In the same year, he took an associate professor position at Kyushu University in the Department of Communication Engineering. Several years later, he returned to the University of Tokyo in the Department of Mathematical Engineering and Information Physics where he retired as a full professor in 1996 and became Professor Emeritus. He also served as a visiting professor at the University of Paris, the Catholic University of Leuven, and the Chinese University of Hong Kong. In 1994, Professor Amari joined the RIKEN Frontier Research System as the Group Director. The Frontier Research System then established the RIKEN Brain Science Institute in 1997. Since its founding, Professor Amari has been focusing on theoretical approaches to brain science and has had various leadership roles, including Team Leader and Group Director. He is currently serving as the director of the institute.

Professor Amari's highlights among his professional affiliations and honors include: Member of the Japanese Council of Scientists (1997-2000), President of the International Neural Network Society (1989), Council Member of the Bernoulli Society for Mathematical Statistics and Probability Theory (1995-1999), and Vice President of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) (1995-1997). He has recently been appointed as the President-Elect of the IEICE. Professor Amari also has served in various editorial capacities, including founding co-editor-in-chief of "Neural Networks" and founding editor-in-chief of "Applied Mathematics."

Professor Amari has had great enthusiasm for mathematics since junior high school, where he was inspired by a devoted math teacher. He joined the math club at Toyama Metropolitan High School and learned innovative ways to think about the discipline. At the University of Tokyo, he enjoyed the freedom of studying a vast array of subjects that interested him without having any time constraints. He majored in engineering with an emphasis on mathematical aspects, a theoretical approach that was not common at that time. Upon completing his graduate degree, Professor Amari relocated to the southern island of Kyushu to lecture at Kyushu University, where he was inspired by different cultures with whom he worked. When he returned to the University of Tokyo, he took a systematic approach to mathematical engineering and made many contributions that expanded his fields of vision in mathematics and engineering.

Professor Amari has been involved in many areas of mathematical engineering and applied mathematics. In particular, he has a strong interest in the mechanisms of information processing in the brain, and he devoted himself to the mathematical foundations of neural network theory. His motivation in brain science originated in his eagerness to understand the complexity of a brain system in which information is distributed over a large number of neural elements from mathematical points of views. Indeed, the algorithm Professor Amari created as a learning model of layered neural networks back in the 1960's was later reinvented by others and became well known as "error-backpropagation". In addition, he has made a considerable number of significant contributions such as the "associative memory model", the "dynamic theory of

neural assembly", the "theory of neural fields", and "neural self-organization". These have served as bases for establishing the foundation of today's neural network theory.

In the late 1970's, Professor Amari initiated a new approach of information science, called "Information Geometry". His approach brought together new concepts in modern differential geometry, which is connected with statistics, information theory, control theory, general learning theory, and pattern recognition. Today, information geometry has been established globally as a powerful new method for information sciences, and its applications continue to be widely discussed at many international conferences in the context of new challenges and in many areas, including brain science and artificial intelligence.

Professor Amari's enthusiasm has continued to grow even after retiring from the University of Tokyo and moving to the RIKEN Brain Science Institute. While he leads his own laboratory in Mathematical Neuroscience, he also manages the institute as its director, promoting comprehensive research for brain science. Professor Amari continues to lead the academic community with new ideas such as the natural gradient algorithm that integrates neural network theory and information geometry and independent component analysis for signal processing.

Perhaps Professor Amari's energy and enthusiasm for research can be attributed to his various non scholarly pursuits. Not only is he well known for his skill in IGO (a Japanese strategy game), but he also enjoys skiing and playing bridge, video games, ping-pong, and tennis.

• Major Honors and Major Awards

- 1987 Yonezawa Special Awards from the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)
- 1987 Koudansha Best Scientific Publication Award for "Biocomputer" published by Iwanami
- 1987 Academic Research Award from the International Foundation for Artificial Intelligence (AI)
- 1992 Neural Networks Pioneer Award from the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- 1995 Japan Academy Award
- 1997 IEEE Emanuel R. Piore Award
- 1997 Caianiello Memorial Award
- 2002 Special Award of Japanese Statistical Society

(6) ゴードン E. ムーア博士の略歴



ゴードン E. ムーア博士

インテル社名誉会長

ムーアの法則として知られるシリコン集積回路の技術開発の指針を示して半導体産業の隆盛を導いた指導的貢献

・略歴と主な業績

■ムーア博士は1929年1月3日に米国カリフォルニア州サンフランシスコの病院で生まれた。両親はサンフランシスコの南方約70キロのベスカデロという小さな農村に住み、博士はその土地の学校に通い、二年間サンノゼ州立大学に通った後、カリフォルニア大学バークレー校に移り、そこで1950年に化学の学士号を取得された。ついで1954年にカリフォルニア工科大学において化学と物理学の博士号を取得された。

■博士は1953年にジョンズ・ホプキンス大学の応用物理研究所に研究員として入所して物理化学の基礎研究に従事された。博士は1956年にトランジスタ発明者の一人のウィリアム・ショックレー博士が設立したショックレー半導体研究所に入所し、そこで初めて半導体とシリコンプロセス技術に触れられた。1957年にムーア博士と他の7人の技術者と科学者はショックレー半導体研究所を離れ、拡散型シリコントランジスタの開発と生産を目的とするフェアチャイルド半導体会社を設立した。当時、その種のトランジスタは研究試作品段階であり、商用品の開発をめざした。

■ムーア博士とロバート N. ノイス博士は1968年にフェアチャイルド半導体会社を離れ、インテル社を設立した。ムーア博士は当初インテル社の副社長を務め、1975年には社長および最高経営責任者 (CEO) となり、1979年から会長および CEO を務められた。博士は1987年まで CEO であり、アンドリュー S. グローブ博士がその後を継いだ。ムーア博士はその後数年間会長職を務め、インテル社の役員定年を過ぎた今は名誉会長である。

■ムーア博士が科学に初めて興味を持ったきっかけは、11歳の頃、隣家の少年がクリスマスプレゼントに買った化学実験セットだった。その化学実験セットでできる様々なこと、特に爆発に関連することに大変刺激を受けた。彼は大きな実験室を自分の家に作り、そこでニトログリセリンや他の爆薬を多量に作りながら化学への知識を深めた。

■博士はフェアチャイルド社では、最初の二重拡散シリコントランジスタを開発するグループを率い、責任者としてそれを生産ラインに乗せた。そこで、ノイス博士の指示によって開発されたプロセスであるフォトリソグラフィを初めてトランジスタ製造に使用した。この時期に、フェアチャイルド半導体会社を興した8人の中の一人のジーン・ホーニー博士がプレーナ・トランジスタ構造を発明したが、このトランジスタは拡散トランジスタの一種であり、接合部分を酸化シリコン膜で覆ったもので、これによって信頼性が従来よりも大幅に向上した。ノイス博士はこのプレーナ構造の考え方を拡張し、トランジスタやダイオードと共に抵抗やコンデンサーを作り込む方法、またこれらの電子素子を相互に接続したり分離したりして完全な回路機能を実現する方法を生み出した。テキサス・インスツルメンツ社のジャック・キルビー氏は既に半導体を素子として集積回路 (IC) の研究試作品を作製していたが、ノイス博士によるホーニー博士のプレーナ概念の拡張こそが初めて IC 構築の実際的なアプローチをもたらした。

(キルビー氏は IC の発明に対し 2000 年にノーベル賞を受賞したが、ノイス博士が 1990 年に不運にも他界していなければ共同受賞していたことであろう。) ノイス博士の IC 構想が出たすぐ後でムーア博士はノイス博士の後継の R & D 担当役員となり、ノイス博士の構想を実現する責任者になられた。

■ムーア博士はフェアチャイルド社の R & D 担当役員を 1959 年から、1968 年にインテル社を設立するために同社を離れるまで務められた。この間に IC 技術は飛躍的發展を遂げ、ムーア博士は 1965 年にエレクトロニクス誌に「より多くの素子を IC に詰め込むこと」という論文を寄稿して、次の十年間に予測される進展について述べられた。回路の複雑さの指数関数的増加を示したこの予測が、最初に発表された「ムーアの法則」となった。同じくこの時期に、最初の安定な MOS トランジスタがフェアチャイルド研究所で製作され、アンドリュー・グローブ博士による精力的な研究がおこなわれ、シリコンとシリコン酸化膜の界面に関する理解と、その制御能力が格段に向上した。これらの進歩は半導体産業が継続して発展していくために非常に重要なものであった。

■ムーア博士とノイス博士は親会社の経営問題に直面して 1968 年にフェアチャイルド社を離れ、同年 7 月にインテル社を設立した。「インテル」という名は integrated electronics (集積電子技術) のイニシャルからとられた。新会社の計画は、その時期に製造されていたいづれの IC よりも、さらに複雑な大規模集積回路 (LSI) を開発し販売することだった。彼らは複雑な LSI に良く適合する新しい半導体技術を選択した。特に彼らはシリコンゲート・MOS 技術の開発を選択し、それは今日の回路を製造する主流技術へと進化した。彼らの最初の製品は種々のタイプの記憶回路であり、それらは最初に商用化された SRAM、DRAM、EPROM 等であった。

■インテル社は 1969 年に最初のメモリ製品を市場に出したすぐ後で、LSI の記憶機能以外の機能を探索した。マーシャン・(テッド)・ホフ博士は、電卓を調査している時に、1 個のチップに汎用コンピュータのアーキテクチャを載せ、それがソフトウェアで制御されるようにすれば、電卓に限らず他の多くの制御機能も 1 個のチップで実現できるということに気がついた。マイクロプロセッサ構想の誕生である。嶋正利氏を含むチームがそのようなチップを開発する役割を担い、その結果、新しい電子技術革命の発端となる 4 ビットマイクロプロセッサ 4004 が生まれた。インテル社はこの最初のマイクロプロセッサを 1971 年 2 月に出荷した。

■IBM 社はそれから十年後の 1981 年に、Intel 8088 マイクロプロセッサを搭載したパーソナル・コンピュータ (PC) を発表した。これはマイクロプロセッサを搭載した最初の PC という訳ではなかったが、かの IBM が製品に採用したということはマイクロプロセッサ事業の確立のために重要なことであった。表計算の「ビジュアル」のような初期の応用プログラムが PC の新しい市場を切り開いた。1985 年にインテル社は記憶回路事業を縮小して、大部分の企業資源をマイクロプロセッサ事業に投入することを決定した。

■ムーア博士は適切な時期に適切な場所に居合わせたことを

幸運だったと考えている。博士はちょうどシリコントランジスタの開発が始まったときに半導体産業に入り、ICの誕生時にフェアチャイルド社に居合わせ、またインテル社ではマイクロプロセッサの発展を目の当たりにした。

■名誉会長になったムーア博士と夫人は、人生の質の向上に継続的積極的影響を及ぼすプログラムの支援を行うために、ゴードン・アンド・ベティ・ムーア財団を設立された。この財団の主な関心分野は高度な教育、科学の研究、そして全世界にわたる環境保全である。

・ムーアの法則について

■ムーア博士は1965年4月19日に発行されたエレクトロニクス誌の創刊35周年記念号に、半導体素子の将来に関する招待論文を寄稿した。博士は次の十年間に何が起るかを予測するように依頼されたのである。その当時の市場で最も複雑な集積回路(IC)は、トランジスタ、抵抗、コンデンサーなどの約30ヶの素子からできていた。研究室ではほぼその2倍の複雑さのものが試作されていた。1959年に最初のプレーナ・トランジスタが登場して以来、市場において最も複雑なチップ上の素子数は毎年ほぼ2倍になっていくことに博士は気がついた。そこで博士はその勢いが次の十年間も継続することを大胆に仮定し、複雑さは毎年2倍になって1965年の60素子は1975年には6万素子になるだろうと推定した。博士がこのような予言を行った目的は、ICこそがエレクトロニクスの価格を大きく引き下げることに繋がるのだという考え方を示すことにあった。このことは当時のICの価格からすると決して自明のことではなかったが、その後この予測は驚くほど正確なものであることが判明し、カリフォルニア工科大学のカーパー・ミード教授によって「ムーアの法則」と名付けられた。

■1975年には博士はこの予測の期間をさらに延長したが、傾斜を半分緩さ、すなわち1年で2倍から、2年で2倍に修正した。その理由は、最初の予測時の重要な寄与因子の一つがすでにこの時には使い尽くされていたからである。1975年以来、産業界はこの新しい予測に近く推移している。今日ではチップは数億個のトランジスタを搭載している。インテル社の博士の仲間一人であるデイビッド・ハウス氏は、計算速度はトランジスタの増加数よりも速い速度で向上していると言う提案を行ったが、その理由はトランジスタそれ自身も技術革新によって速度を増しているためであるとした。彼はコンピュータの性能は18ヶ月毎に2倍になると予測した。これはムーア博士の最初の予測からの推論であると考えられる。

■産業界の者は通常、ムーアの法則の予測に遅れると技術的には落伍者になってしまうので、この法則について行かぬばならないことを認識している。この点からこの法則は自己実現型の法則となった。

■このように先例の無い傾向が持続しているのは、技術が進展し続けているからであり、特に微細加工技術の進歩が続いてきたからである。しかし通常のリソグラフィは技術の限界に近づきつつある。たとえリソグラフィの技術的限界を越えることに成功したとしても、すでに分子の寸法に近づきつつあり、いままでに遭遇しなかった多くの新規な現象と闘わねばならなくなっている。物質が個々の原子によって構成されているという事実からすれば、寸法を絶えず縮めようとし続けてきた我々の能力はまもなくその限界に到達する。ムーアの法則は今後十年くらいは継続するだろうが、その後は集積度が2倍になるペースは今までよりもっと長くなるのかもしれない。

・主な受賞など

| | |
|------|---|
| 1978 | AFIPS Harry Goode Medal |
| 1978 | IEEE Fredrik Philips Medal |
| 1978 | IEEE McDonald Award |
| 1984 | Elected to National Academy of Engineering |
| 1985 | ACM Medal for Achievement in Research |
| 1985 | NAE Founder's Medal |
| 1990 | National Medal of Technology |
| 1993 | AAES John Fritz Medal |
| 1997 | IEEE Founder's Medal |
| 2001 | Caltech Milliken Medal |
| 2001 | Chemical Heritage Foundation Othmer Medal |
| 2002 | Franklin Institute Bowers Medal |
| 2002 | Presidential Medal of Freedom |
| 2003 | Elected Foreign Member of the Royal Society of Engineering (UK) |

Eleven honorary doctoral degrees

(7) Biography of Dr. Moore



Dr. Gordon E. Moore

Chairman Emeritus, Intel corporation

For Outstanding Leadership in Moving the Integrated Circuit Industry forward by Presenting the Guidelines for the Technical Innovation known as Moor's Law

• Professional Career

Dr. Moore was born in San Francisco, California, on January 3, 1929, because it had the most convenient hospital. His parents lived in Pescadero, a small farming community about 70 kilometers south of San Francisco. He attended local schools, including two years at San Jose State College, before transferring to the University of California in Berkeley, where he received his Bachelor of Science degree in chemistry in 1950. This was followed by a Ph.D. in chemistry and physics from the California Institute of Technology in 1954.

In 1953 he joined the technical staff of the Applied Physics Laboratory at Johns Hopkins University, where he did basic research in chemical physics. He joined Shockley Semiconductor Laboratory in 1956 shortly after it was established by Dr. William Shockley, one of the inventors of the transistor. Here he received his first exposure to semiconductors and to silicon processing technology. In 1957 Dr. Moore and seven other engineers and scientists left Shockley and founded Fairchild Semiconductor Corporation with the goal of developing and manufacturing diffused silicon transistors. While laboratory samples of such devices had been made previously, no such devices were available commercially.

In 1968 Dr. Moore and Dr. Robert N. Noyce left Fairchild and founded Intel Corporation. Dr. Moore was initially Executive Vice-president of Intel and became President and CEO in 1975 and Chairman of the Board and CEO in 1979. He was CEO until 1987, when Dr. Andrew S. Grove took on the title. Dr. Moore remained Chairman of the Board for several more years and now, having passed the mandatory retirement age for Directors at Intel, is Chairman Emeritus.

Dr. Moore's early interest in science was stimulated by a chemistry set that his neighbor received for Christmas when he was about 11 years old. He was stimulated by the experiments that one could perform, especially those related to explosives. He went on to build a large home laboratory in which he produced quantities of nitroglycerine and other explosives while deepening his chemical knowledge.

At Fairchild Dr. Moore was responsible for the group that developed the first double-diffused silicon transistor to go into production. This included the first use of photolithography for transistor manufacture, a process developed under the direction of Dr. Noyce. During this timeframe Dr. Jean Hoerni, another of the eight men who founded Fairchild Semiconductor, invented the planar transistor structure, a version of the diffused transistor that retained the silicon oxide over the junctions, resulting in a much more reliable transistor. Dr. Noyce saw how the planar structure could be extended to produce resistors and capacitors along with transistors and diodes and how these electronic components could be interconnected and isolated to produce complete circuits. Mr. Jack Kilby of Texas Instruments had made a laboratory model of an integrated circuit using semiconductors for the components, but Noyce's extension of Hoerni's planar concept resulted in the first practical approach to building integrated circuits. (Kilby received the Nobel Prize in 2000 for his invention; Dr. Noyce would have shared the Prize had he not met an untimely death in 1990.) Shortly after Dr. Noyce's conception of the integrated circuit, Dr. Moore

succeeded him as Director of R&D, becoming responsible for the realization of his ideas.

Dr. Moore held the position of Director of R&D at Fairchild from 1959 until leaving to co-found Intel in 1968. During this period integrated circuit technology advanced rapidly, resulting in Moore publishing an article entitled "Cramming More Components onto Integrated Circuits" in Electronics magazine in 1965 projecting the advances expected in the next ten years. This projection of exponential growth of circuit complexity was the beginning of "Moore's Law". Also during this period the first stable MOS transistors were made in the Fairchild laboratory, and extensive research under the direction of Dr. Andrew Grove led to a major increase in our understanding of the silicon-silicon oxide interface and in our ability to control it. These advances have been very important in the continued development of the industry.

Management problems at the parent company led Moore and Noyce to leave Fairchild in 1968 and found Intel Corporation in July of that year. The name "Intel" was derived from the first letters of "integrated electronics". The plan for the new company was to develop and market large-scale integrated circuits (LSI) significantly more complex than anything being produced at that time. They chose new directions of semiconductor technology that were well suited for complex LSIs. In particular they chose to develop silicon-gate MOS technology, which has evolved into the mainstream technology for making circuits today. Their first products were various types of memory circuits including the first commercial SRAMs, DRAMs and EPROMs.

Soon after getting the first memory products to market in 1969 Intel was looking for other LSI functions. In investigating the electronic calculator, Dr. Marcian (Ted) Hoff realized that not only calculators but many other control functions could be realized by a chip that had a general purpose computer architecture and was controlled by software. The idea of the microprocessor was born. A team including Mr. Masatoshi Shima undertook the task of designing such a chip, resulting in the 4004, a 4-bit microprocessor that started a new revolution in electronics. Intel shipped the first microprocessors in February of 1971.

Ten years later in 1981 IBM Corporation introduced a PC using the Intel 8088 microprocessor. While this was not the first personal computer to be made using a microprocessor, the prestige that IBM brought to the product was important in getting it established. Such early applications as the "Busicalc" spreadsheet drove new markets for PCs. In 1985 Intel decided to de-emphasize memory circuits and concentrate most of its resources on microprocessors.

Dr. Moore considers himself lucky to have been in the "right place at the right time". He entered the semiconductor industry just as silicon transistors were being developed. He was at Fairchild for the birth of the integrated circuit and at Intel to see the development and growth of the microprocessor.

Since becoming Chairman Emeritus, Dr. Moore and his wife have established the Gordon and Betty Moore Foundation to support programs with lasting positive impacts on the quality of life. Major areas of interest for the Foundation are higher education, scientific research and world-wide conservation.

• On Moore's Law

Dr. Moore wrote an invited article on the future of semiconductor devices for the 35th anniversary issue of Electronics magazine published on April 19th, 1965. He was asked to predict what might happen over the next decade. At that time the most complex integrated circuits on the market had about thirty components—transistors, resistors, capacitors, etc. - and ones about twice that complex were being developed in the laboratory. He noticed that starting with the first planar transistor in 1959 the number of components on the most complex chip available in the market had about doubled every year. He boldly assumed that such a rate could be maintained for the next decade and projected that the complexity would double each year, going from sixty components in 1965 to some 60 thousand in 1975. While his goal in making this prediction was to promote the idea that integrated circuits were the path to much less expensive electronics, something that was not obvious from the prices of early integrated circuits, the prediction proved surprisingly accurate and was named "Moore's Law" by Prof. Carver Mead at Caltech.

In 1975 Moore extended the projection, but with only half the slope—a doubling every two years—because one of the important contributors to the original had been exhausted. The industry has been near this new projection since 1975. Today chips contain hundreds of millions of transistors. One of Moore's colleagues at Intel, Mr. David House, proposed that computing speed actually improved faster than the number of transistors because the transistors also become faster with evolution of the technology. He estimated that computer performance doubles about every 18 months. This might be considered a corollary of the original prediction.

Participants in the industry generally recognize the need to keep up with the Law's projections or fall behind technologically. In this respect it had become a self-fulfilling projection.

Continuation of this unprecedented trend depends on continuing technological advances, especially with respect to making smaller features. We are nearing the limit of conventional lithography. Even if we succeed in getting around that technological barrier, we are approaching molecular dimensions and must contend with a variety of new phenomena. The fact that materials are made of discrete atoms might soon limit our ability to continue to shrink dimensions. Moore's Law will probably continue to hold for another decade or so. Then the slope might change to a longer doubling time.

• Major Awards and Honors:

| | |
|------|---|
| 1978 | AFIPS Harry Goode Medal |
| 1978 | IEEE Fredrik Philips Medal |
| 1978 | IEEE McDonald Award |
| 1984 | Elected to National Academy of Engineering |
| 1985 | ACM Medal for Achievement in Research |
| 1985 | NAE Founder's Medal |
| 1990 | National Medal of Technology |
| 1993 | AAES John Fritz Medal |
| 1997 | IEEE Founder's Medal |
| 2001 | Caltech Milliken Medal |
| 2001 | Chemical Heritage Foundation Othmer Medal |
| 2002 | Franklin Institute Bowers Medal |
| 2002 | Presidential Medal of Freedom |
| 2003 | Elected Foreign Member of the Royal Society of Engineering (UK) |

Eleven honorary doctoral degrees