

## 第十九回国際生物学賞受賞者

### 井上 信也 博士

生年月日 1921年1月5日 (82歳)  
国 籍 アメリカ合衆国  
現 職 ウッズホール海洋生物学研究所 勲功科学者、  
生細胞の構造動力学 研究長

連絡先 Marine Biological Laboratory  
7 MBL Street,  
Woods Hole, MA 02543-1015  
U.S.A.



#### 略 歴

1944年	東京大学卒業 (動物学理学士)
1951年	プリンストン大学大学院修了 (生物学博士)
1951年-1953年	ワシントン大学 解剖学助手
1953年-1954年	東京都立大学 理学部助教授
1954年-1959年	ロチェスター大学 生物学研究員・副教授
1959年-1966年	ダートマス医科大学 細胞学部教授・学科長
1966年-1982年	ペンシルベニア大学 生物学部教授、 細胞生物物理学 研究長
1979年-1987年	ウッズホール海洋生物学研究所 分析・定量顕微鏡技術 主任講師
1986年-現在	ウッズホール海洋生物学研究所 勲功科学者、 生細胞構造動力学 研究長

#### 栄 誉 歴

1947年、1953年、1975年	昭和天皇御進講
1955年-1958年	アメリカ癌協会 癌研究スカラー (Scholar in Cancer Research, American Cancer Society)
1971年-1972年	グッゲンハイム財団 フェロー (Fellow, John Simon Guggenheim Foundation)
1971年	アメリカ芸術科学アカデミー フェロー (Fellow, American Academy of Arts and Sciences)
1982年-1996年	米国・国立衛生研究所 メリット賞 (MERIT Award, National Institutes of Health, USA) MERIT: Method to Extend Research in Time
1988年	英国・王立顕微鏡協会 名誉会員 (Honorary Fellow, Royal Microscopical Society, UK)
1992年	アメリカ細胞生物学会 ウィルソン賞 (E.B. Wilson Award, American Society for Cell Biology)
1993年	米国・科学アカデミー 会員 (Member, National Academy of Sciences, USA)

## 研究業績

井上信也博士は、細胞生物学の中心的な課題のひとつである細胞分裂を中心に研究してきたが、その長い研究生活を通じて、生きている細胞で実際に起きていることを直接観察することを一貫して追究してきた。生きている細胞の中で活動する高分子やその集合体（超分子構造）等の変化を直接観察することは不可能であろうと思われていたが、井上博士は新しい光学顕微鏡技術を次々と開発することによってそれらの動的変化を可視化することに成功し、細胞分裂、細胞骨格、細胞運動などの分野に多大の貢献をしてきた。さまざまな工夫を凝らした博士の光学顕微鏡は、多くの画期的な画像をもたらして人々の細胞に対するイメージを大きく変えたが、この顕微鏡は研究者の間では尊敬をこめてシンヤスコープと呼ばれている。

### 生物用偏光顕微鏡の開発と光学顕微鏡技術等の改良

井上博士はその長い研究生活を通じて、細胞が如何にして分裂するかを理解しようとして一貫して努めてきた。そのために、生きた細胞を用いて、その分裂に伴う超分子構造の動的変化を直接観察する技術を開発してきたが、特に光学顕微鏡技術の開発において大きな貢献をし、その偉大なパイオニアとして世界から賞賛されている。井上博士の偏光顕微鏡は、30年代に開発された位相差顕微鏡に続いての主たる進歩を細胞生物学にもたらし、生きた細胞内できちんと配向している高分子を可視化することを可能にした。

偏光顕微鏡は光学的異方性をもつ試料の複屈折性を観察・測定するもので、岩石片や鉱物片などの結晶構造の観察に用いられていた。結晶に比べて生体構造の複屈折性は一般に極めて微弱であり、鉱物観察用の偏光顕微鏡では検出できない。井上博士は、生物試料の観察に適する偏光顕微鏡を開発するために技術改良を重ね、レクチファイ偏光光学系 (rectified polarization optics) の発明という画期的な成果を挙げた。この発明によって、微弱な複屈折性の検出感度が飛躍的に向上するとともに偏光顕微鏡の収差が解消し、偏光顕微鏡は最も解像力の良い光学顕微鏡となった。

また、偏光紫外線のマイクロビームと分光光度計による複屈折の測定を用いて、昆虫の針型精子核では、DNA・タンパク質複合体がコイル内コイル構造をとっていること、ならびに染色体がタンデムに並んでいることを明らかにした。

80年代に入ると、井上博士はビデオカメラを巧妙に利用することによって生きた細胞のイメージを増強し、「超分解能」を得る技術の開発にもパイオニアとして大きな貢献をした。この技術は、単一の高分子（より正確にはその散乱像）を可視化するもので、これが端緒となって細胞およびその構成要素の動的イメージング技術が発展し、いまや単一モーター分子の運動を観察するなど、細胞生物学に空前の技術をもたらすに至っている。

井上博士は顕微鏡光学系ならびにイメージング系の質の改良を現在も続けており、今世紀に入って、生きた細胞における微細構造の動的な成層や配向の研究に有用な遠心偏光顕微鏡を発明した。また、ごく最近には、細胞生物学や分子生物学において賞用されている緑色蛍光タンパク質に蛍光異方性を見出すとともに、平行偏光子を用いることによって蛍光異方性の検出感度を大幅に上げること成功している。

## 紡錘体微小管の動態に関する研究

井上博士は、ウニの受精卵など生きた細胞を自ら改良した偏光顕微鏡で観察し、当時固定剤によって生じた人工産物と広く信じられていた紡錘体が、生きた細胞に実在する構造で、娘細胞への染色体の分配に関わっていることを1953年に明らかにし、半世紀にわたる論争に決着をつけた。同時に、紡錘体が非常に不安定な直線状の繊維からなることを予測したが、電子顕微鏡観察によってその実体が微小管であることが確定するまでには10年を要した。博士は50年代初期から70年代中葉におよぶ一連の精緻な研究を通じて、生きた細胞における紡錘体繊維集合の動態を複屈折遅延の測定により定量化することを試みた。その結果、紡錘体ならびに星状体の繊維が動的なものであることを示すとともに、i) これらの繊維を構成する微小管は、細胞質のサブユニットプールと動的平衡にある、ii) 微小管形成の動力学が紡錘体の形態形成と染色体移動の原動力発生と強く共役している、という重要な予測を行った。また、細胞を分裂毒であるコルヒチンで処理したり、冷やしたりすると、微小管が可逆的に消滅（脱重合）することを発見したが、これらはコルヒチン結合アッセイに基づくチューブリン（微小管の主要なサブユニットタンパク質）の発見と、温度を上下することによってチューブリンの重合・脱重合を繰り返すチューブリン精製法の確立とを生化学者にもたらした。なお、井上博士は分裂毒であるコルセミドを与えた細胞に366nmのマイクロビームを照射して局所的に不活性型のルミコルセミドに変え、生きた細胞において微小管の重合を局所的に制御する方法を確立している。

井上博士は紡錘体が動的な自己集合系であるという概念を、いまや古典となった1967年の論文で練り上げているが、細胞分裂、細胞運動、発生と分化などにおける微小管の形成とその制御に関する分子機構の今日的な理解は、すべて彼の動的平衡概念に立脚するものであるといっても過言ではない。また、予測ii) に関しては、染色体や中心体を引っ張る力は紡錘体微小管の消失（脱重合）によって、押す力はその形成（重合）によって発生すると提案しているが、この仮説を支持するデータがますます集っている。

当時、細胞のイメージは主に電子顕微鏡観察に基づいて構築された静的なものであったが、井上博士の発見は細胞のイメージを動的なものへと大きく転換させた。このような見解は、現代細胞生物学における常識、すなわちアクチン繊維や細胞の膜系を始め、細胞を構成する要素の多くが本質的に動的なものであって、集合と脱集合を常時繰り返しているという概念のまさに魁をなすものであった。

これらの博士の業績は、細胞ならびにその構成要素である超分子構造等の動的な構造変化を理解する上で欠くことのできない知識をもたらすと同時に、現代細胞生物学の基本的な技術である、生きた細胞ならびにその中で活動する超分子構造等のイメージング技術に画期的な貢献をしたものである。細胞生物学のみならず細胞の理解を通じて生物学全体の進展に多大な貢献をしたものといえる。