

細胞発見とその意義

湯浅 明*

1. 細胞発見への雰囲気

ギリシア時代に Aristoteles (Aristotles 384~322 B.C.) は “De Partibus Animalium” を著わし, Theophrastus (731~286 B.C.) は “Historia Plantarum” を著作して, この中に, 生物体は, ある場合には組織から成り, またある場合には器官から成立っていることが示されているが, さらに組織の内部に入りこんだ研究はなされていなかった。

一方, 生物体の構造研究は人体解剖にまで進み, 解剖学は著しく進歩して, 生物体の細かなつくりへと, 次第に研究が深められていった。ついに1665年の輝かしい細胞の発見となったが, ここにくる迄には, 二つの自然科学上の研究の流れが進められている。一つは上述の解剖学の発展であり, 他の一つはレンズ製作技術の発展および顕微鏡の発達であった。

生物体の正確なつくりと, その細かな成立ちとを究めるために解剖学が進んだが, これについて優れた知識をもっていたのはイタリアの Galen (Galenus 130~200) である。人体解剖が禁じられていたたので, ブタやサルなどを解剖して人体の構造と比較し, 解剖学的知見を増していったが, 16世紀にイタリアの Vesalius (1514~1564) が現れ, またフランスには Vesalius の師, Jacobus Sylvius (1478~1555) がおり, イタリアに Fallopius (1523~1563), Eustachius (1524~1574) があって, これらの学者の研究によって解剖学は著しく進んだ, Fallopius の弟子にはイギリスに血液循環の法則をうち立てた William Harvey (1578~1667) が出ている。

解剖学の進歩は必然的に器官の構成成分として, 組織の研究に注意を向けさせる結果となった。この傾向を助成するかのように, 顕微鏡の発明があった。顕微鏡はイタリアの Galileo Galilei (1564~1642) がつくったともいわれ, 1609年に望遠鏡をつくり, 複式顕微鏡をつくっているが, 1637年にはフランスの数学者, 哲学者 Decartes (1596~1650) は複式顕微鏡を図解している。しかし, オランダではレンズの製造が進み, Jans Janssen と Zaccharias Janssen 父子によって望遠鏡がつくられ, つづいて1590年に複式顕微鏡がつくられた。

顕微鏡の発見と微細構造を見ようとする探求心とは, やがて1665年の細胞の発見へと導いていった。細胞の発見はロンドンの物理学者 Robert Hooke (1635~1703) によっておこなわれたが, 彼の観察は主として細胞の外廓, すなわち, 細胞膜であって, 後に細胞の中味が注意を引くようになり, 1700年代に原形質が発見されることとなった。

Robert Hooke は, いろいろな材料を顕微鏡で見ているうちに, 木炭やコルクやその他

* 一般教育教授 生物学

の植物組織は顕微鏡的小箱でできていることを知り、この小箱に細胞 (cell) という名を与えた。彼の観察の結果は、他の生物学的研究とともに “Micrographia” (顕微鏡図譜) として Royal Society of London に提出された。この書物の第18章の表題は “Of the schematism or texture of cork, and of the cells and pores of some other such frothy bodies” で、この章に細胞についての記載がある。また、“Micrographia” は正確には、“Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon” という。

細胞の発見は Robert Hooke によるのであるが、もし彼の発見がなかったとしても、早晚、発見される運命にはあった。すなわち、この発見の直後、イギリスの Grew (1641～1712) は、その著 “The Anatomy of Plants” (1682) の中に “vesicle”, “bladder” とよんで細胞を見ており、イタリアの Malpighi (1628～1694) は “Anatome Plantarum” (1675～1679) の中で、細胞を “utricule” とよび、それを植物体の構造の単位らしいとしている。

オランダの Leeuwenhoek (1632～1723) は、“Arcana Naturae Detecta” (1695) の中に、植物の顕微鏡的構造について多くの観察をし、細胞説に先じて植物の細胞構造を見ており、この細胞に当るものを “globule” とよんでいる。

しかし、生物体がすべて細胞を単位としていると断定するまでには、なお 170 余年の歳月を経なければならなかった。この経過と、これ以後の細胞学の発展は、顕微鏡の発達に密接に関係している。

Janssen 父子が初めて作ったといわれる顕微鏡は、両面が凸面になった対物レンズと両面が凹面になっている接眼レンズとを組合せたものであるが、17世紀頃には望遠鏡のような形をした人の背丈くらいの巨大な顕微鏡もあった。

Robert Hooke も顕微鏡を自分でつくって用いたが、現今の顕微鏡とほとんど大差なく、油を燃やして、その焰の光をガラス球によって集め、さらにレンズによって針に当て、針の先に材料をつけ、これからくる光を鏡筒に入れて、接眼レンズで見るとしくみであった。一方、Leeuwenhoek はきわめて単純な拡大鏡をつくった。板にレンズをつけ、この前にある針に材料をつけ、ネジで針を左右上下して、レンズの前の小孔から覗いて拡大された材料を見る装置である。

日本では織田信長のころに拡大鏡が入って来たが、江戸時代の中頃、明和2年(1765年)には後藤光生(梨春)の“紅毛談”中に顕微鏡の記述があり、森島中良の天明7年(1787年)完成の“紅毛雑話”中にも顕微鏡の図説がある。桂川圃周は“顕微鏡用法”を享和2年(1802)に著わしているから、顕微鏡についての知識は、このころから日本に入ってきており、また、顕微鏡自体も長崎を通じて輸入された。そのために顕微鏡を使用する人も現われ、宇田川榕菴(1798～1846)は、顕微鏡を用いて細胞や組織を見ており、天保4年(1833)に“理学入門、植学啓原”を著わして、植物について、日本で初めて“細胞”という言葉を使い、その意味を理解していた。江戸時代の末期になって本草学者、飯沼慾斎(1683～1865)や岩崎濯園(1786～1842)なども顕微鏡をつかっている。

細胞説の提唱(1838, 1839)も顕微鏡の発達によるところが多く、この頃からレンズの改良がしきりに行われて、すぐれた顕微鏡がつくられるようになり、1837年にはフランスの Chevalier (1770～1840) が色収差のない achromatic lens を工案し、1866年には Carl Zeiss が Abbe と共力して Zeiss 株式会社を創立して、レンズや光学器械製造に貢献した。

2. Robert Hooke の業績

このような学問的雰囲気の中において、Robert Hooke がその研究を始めたであった、Robert Hooke は1635年7月18日にイギリスの Wright 島の Freshwater に生れた。弾性についての Hooke の法則を発見し、いろいろな方面で研究を続け、物理学者として活動した。1655年に Boyle の空気ポンプをつくるために有名な化学者 Robert Boyle に雇われ、5年後に、弾性の法則を発見した。この法則は固体（たとえば金属、木材）の伸張は、それに加えられる力に比例するという法則であるが、この研究を彼は腕時計の平衡輪のためのラセン・ぜんまいの製作に応用した。1662年にロンドン王立協会の実験管理人に任命され、翌年、会員に選ばれた。

Gregory 反射望遠鏡をつくった最初の人で、1664年にオリオン星座の第5番目の星を発見し、木星がその軸のまわりに回転していることを示唆した。彼の火星についての詳しいスケッチは、19世紀に、この惑星の回転率を決定するのにつかわれた。1665年に彼は、Gresham 単科大学の幾何学の教授に任命された。“Micrographia” (1665; “Small Drawing”) に雪片の結晶構造の研究と説明を入れ、カイコの糸をつむぐと同じ過程で人工繊維をつくる可能性を論じ、またコルクの顕微鏡的の蜂巢状の孔に、はじめて“cell” (細胞) という言葉を用いた。顕微鏡的に化石をしらべ、進化説の提案者の1人となった。

1666年に重力はふり子運動を利用して測れることを示唆し、地球や月は太陽のまわりをだ円の道で通ることを示そうとした。1672年に光の廻折現象を発見し、それを説明するのに光の波動説を提案した。1678年に恒星の運動を記述する逆平方の法則 (inverse square law) を述べたが、後に Newton がこれを変形して用いた。Hooke はこの法則が十分に信頼されないことを不満に思い、Newton と激しい論争をした。Hooke は、一般にすべての物質は熱すると伸張し、空気は比較的大きな距離で互いに分かれた粒子から成立していると述べた最初の人である。

Hooke の父は教区の長老で、彼を教会に入れようとしたが、虚弱体質で勉強が充分できず、早くから機械をいじる天分があったので、1648年に父が死んだ後、Sir Peter Leley の工場から Busby 博士の家につつまれ、後、Westminster 学校の教員となった。ここで、古典や数学のすばらしい進歩をみせ、1653年には Oxford の Christ Church の校僕生となり、10年後には修士の学位をえたが、これは大学の名誉総長 Clarendon 卿の特別な推薦によるものであった。1655年後、Hon. Robert Boyle に雇われ、援助されて Boyle の有名な空気ポンプの製作に力をつくした。

Hooke の発明能力は各方向に発揮され、1657～1659年に30の異なる飛翔方法を工案し、時計の運動を平衡バネを用いて制御することを発明した。1675年に彼の時計の発明に関して Huygens との間に活発な論争があった。Hooke の元来の考え方は正しいのに、実際の利用の面では、バネの巻き方で Huygens の方が正しかった。1662年11月12日に Hooke は王立協会の実験管理人に任命され、それ以後、非常な熱心さと熟練とをもって、この仕事に努力した。1664年に Sir John Cutler が Hooke のために年50ポンドで機械についての講義を設立し、次の年には Gresham College の幾何の教授に指名されて、そこに住んだ。1666年に大火があって市の再建のために市街建設のモデルをつくったが、その評価は高かったのに、Wren のモデルが採用された。しかし、この再建計画中に彼は測量師として働き、数千ポンドの金をえた。彼の死後、古い鉄の箱の中に、この金が貯えられていた。

彼は Oldenberg の 1677 年の死去の後、5 年間、王立協会の秘書の役をつとめた。Oldenberg は Philosophical Collections という新聞を出していた。Hooke は平面のものを見るのに望遠鏡が利益があると主張して、Hevelius と長く論争したが、このことが多少、彼を不信用にした。彼の理論は正しかったが、その積極的な議論の仕方が人々に不快感を抱かせ、彼を不評判にした。後年、彼の生活には苦しい数々の条件が加った。

永年、彼と一しょに住んでいた姪 Grace Hooke 夫人の死は、彼を深い苦悩に陥らせた。彼の俸給についての Sir John Cretler との法律上の訴訟も、彼を長く悩ませたが、後に彼に有利に展開した。発明をくり返して、これを優先しようとする病的な精神状態であったが、大衆の尊敬を失ってはいなかった。1661年12月7日に Doctor's Commons で医学博士 (D.D.) を与えられた。また、王立協会は 1696 年に発明ができるようにと彼に奨学金を与えたが、この研究中に疲労と病気のため1703年3月3日に死を迎え、Bishopsgate の St. Helen's Church に葬られた。

Hooke は風貌は上らず、からだは曲り、四肢はちぢんでいた。髪の毛は乱れた束になり、やれた顔の上にたれ下っていた、神経質で、物惜みし、孤独であった。しかし、道徳的には非難するところもなく、宗教には敬虔であった。彼の科学的業績は、もしもあんなに多様でなかったら、もっとすばらしいものであったであろう。彼の創作は多いが、完成は少なかった。光の波動説を説き、天体の運動を機械的であるとした最初の人で、著しく万有引力の発見に近づいていた。彼は天気予報の方法や望遠鏡による信号系を示唆し鳴るベルに粉をふりかける Chladni 実験に先鞭をつけ、音の性質を知り、呼吸や燃焼における空気の働きを研究した。重力の測定に振子をつかう考察をはじめておこなった。

このような数々の発見や発明の間に、彼ははじめて細胞の発見をなしとげたのであった。この背影には、彼が元来、物理学に精しく、顕微鏡をも製作し、また、異常にまでに凝り性で熱心であるという性格から、生物体の微小構造を見出そうとした、はげしい情熱と努力の結果があった。

3. “顕微鏡図譜”について

Robert Hooke の観察は、小箱のような構造を見た、そして、これに細胞という名を与えたという。それだけの単純な観察であるか、あるいは細胞と名づけられた構造を見て、それが生物体の基礎構造であり、生物体の構造と機能の単位であることを予見しているのかという二様の考え方がある。

前者と見れば、それほど重大な観察ではなく、事実、彼と同様な観察をしており、このつくり名称を与えた人は他にもある。前述のイギリスの Grew (1641~1712)、イタリアの Malpighi (1628~1694)、オランダの Leeuwenhoek (1632~1723) などは、これである。

Hooke の細胞の命名に重大な意味をもたせるのが生物学者のふつうの考え方で、Locy はその著名な著書 “Biology and Its Makers” (1908, 1915) 中にもこのことは認められる。しかし、アメリカの細胞学者 Sharp は、その著 “Introduction to Cytology” (1920, 1926, 1934) 中に、また、同じくアメリカの細胞学者 Wilson はその著 “The Cell in Development and Heredity” (1925, 3rd ed) 中に、Hooke の業績を単なる微細構造の命名者と見ている。一方、Hooke の母国イギリスでも、その業績を細胞の発見者ということ以外は余り重く見ていない。その証拠に Encyclopaedia Britannica の1929年の第14版に

は、Robert Hooke の項には、Micrographia の著述は記されているが、細胞の発見には全くふれていない。また、1974年の第15版にはコルク組織に細胞という言葉をつかったことのみ記されていて、生物学界の彼の冷遇ぶりが見える。

Robert Hooke の Micrographia 中の、細胞についての彼の記載は次の通りであるが、なかなか錯綜した文章である。

Hooke, Robert : 1665, Micrographia (顕微鏡図譜)。London. —— 拡大鏡による微小体の生理学的記載。——

“私が観察したものが何であるか、つぎの記述で示そう。簡単にいうと、それらはひじょうに小さい小体であるか、ひじょうに小さい孔であるか或はひじょうに小さい動きであるかである。その各々の、あるものについては読者は次の記述中に見出すであろう。そして私は思うのに、そのような構造（少くともそれらの多くのもの）は新しく、またおそらくは奇しいもの、各々の或る標品について読者は、相つく記載を見るであろうし、事実、私の望む以上に記載があるにちがいない。以来、私は完成する時がくるもの以上に、多くを印刷しようと時々考えた。それ故、私の手許にあるものの中で、ただ少数の問題を選んだ、それらは、ある詳しい点については大部分観察しうるものであるが、その他のものは、現在の考え方には余計のものとしてとり去ったが……。

私はきれいなコルクの一片をとって、レザーのように鋭いペンナイフで一片を切り、ひじょうに滑かな表面を残した。そこで熱心に顕微鏡でしらべ、それが少し孔状であることを見かけたように思う。しかし、それが孔であると、確かには区別できなかったし、ましてや、どんな形であるかは見分けられなかった。しかし、コルクの軽いことから判断して、また、その性質からみて、たしかに、このようなつくりは奇妙とは思えないし、可能でもある。もし、もっと熱心にしらべたら、顕微鏡で見分けうるものであったであろう。私は前記の滑かな表面をひじょうにうすい切片に切って、それが白い片であるので、黒い板の上におき、その上に凸レンズで光を投じ、きわめて明らかに孔があいていることを見、孔がミツバチの巣のようになっていることを見た、孔は規則正しくはなかった……。

しかし、私の観察に戻るとして、これらの孔について数行語ることとする、1インチの18分の1の中に端々相接しておく約60のこれらの小部屋がふつうにあることを見た。それ故、結論的には1インチの長さの中には、約1100あるいは1000以上はあるにちがいない、それ故1平方インチには約100万すなわち1平方インチに1166400、そして1立方インチには12億あるいは1259712000個あり、ほとんど信じられないことで、顕微鏡で目に見え確めえないものである。自然の仕事は驚くほどふしぎで、これらのはっきりした孔でさえ、水路あるいは管で連絡しているようで、これを通して植物の栄養液あるいは自然液は運搬され、ちようど知覚のある生物の静脈導管や他の脈管に匹敵するように見える……。

このような特殊のつくりはコルクのみに限らず顕微鏡でしらべると、ニワトコの髓あるいは、ほとんどすべての木材の髓、数種の他の植物のつるの中空の茎、ウイキョウ、ニンジン、ゴボウ、ナベナ、シダ、他の種類のヨシなどというようなものは、コルクについて最近、私が示したような組織をもっている、ただ、これらの孔はたてに並んで、茎の長軸と同じ方法で並んでいるのに、コルクでは横に並んでいることがちがっていることをも発見した。

しかし、私は私の顕微鏡をもって、息を吹こんでみても、私の試みた他の方法によってみても、一つの腔から他の腔への通路を発見できなかったが、そのために、植物の栄養液

あるいは適当な汁がそれらの腔を通すものではないと結論はできない。何故ならば、これら植物の数種では、緑色の時に、顕微鏡で充分明かに、これらの細胞すなわち孔が汁液で充され、次第に浸出させていることを発見しているからである。

さて、私は一心に、木材や髓の顕微鏡的の孔の中に、動物の心臓、静脈、その他の通路における弁のようなものがあるかどうか、それが開いて含んでいる汁液をこの方法で通し、閉出し、液体の逆戻りを妨げるのかどうかを発見しようと努力した。ありそうに思われることは、自然はこれらの道路について、動物体と同じように、ひじようによいしくみや工夫をもっていて計画を行い、最後に通過させるように思われる。この観察は不可能ではなく、熱心な観察者がもっとよい顕微鏡に助けられて時たつとともに発見することであろう。”

4. 細胞学説への展開

Robert Hooke の細胞の発見と前後して、細胞は数人の人々によって観察されているが、これを明かに記載、命名したのは、Hooke がはじめてである。やがて細胞の存在が次第に知られて、1833年には Robert Brown によって核が発見され、さらに生物体の構造単位は細胞であるという細胞説が認められるまでに、細胞の発見から約 170 年の歳月を経ている。

1835年にフランスの Dujardin は生物体の構成単位は細胞であるという考えの一步手前まで来ているが、その事実を明確に表現できなかった。しかし、ついに1838年には植物について Schleiden、動物では1839年に Schwann によって生物体の単位は細胞であるという、いわゆる細胞説の提案となるのである。

Hooke は光についての研究の一環として複合顕微鏡をつくり、そのむしろ副産物として細胞発見に成功したのであって、細胞説の基礎を発見したとは、思ってもいなかった。Encyclopaedia Britannica には、したがって、1974年版(第15版)には単に“コルク組織に細胞という言葉をつかった”と言ふれてあるのみである。

しかし、Hooke が考えていなかった生物体の細胞構造という概念に向って研究は進展していった。1831年には細胞には核が一つづつ入っていることが Robert Brown によって明示され、細胞が増殖することについては、Hugo von Mohl, Wilhelm Hofmeister, F. T. F. Meyen, Franz Urgan, Carl von Nägeli などによって研究され、細胞は分裂によってふえることで示された。これらの人々の中には、von Mohl のように細胞は分裂によってふえ、また、細胞中に細胞をつくる方法でふえんとする人もあった。Remak (1841) や Nägeli (1844) は細胞は既存の細胞によってのみふえんとし、Virchow (1857~1859) は“すべての細胞は細胞からくる”(Omnis cellula cellula) と述べている。

これら研究の基礎には、生物体の構成単位は細胞であるという考えがあり、1838年、1839年の Schleiden, Schwann の細胞説は、この考えの基礎原理として、現代に至る迄不変の重要事実である。

細胞分裂に先立って核分裂のあることは von Kölliker (1843) によって観察され、Hofmeister (1848) も細胞分裂の際に、これに先立って核膜や仁は消えるが、核の内容は二つにわかれることを確信し、また、今日、染色体(chromosome)とよばれているものと同一物が、細胞分裂の両極に分けられるようすをムラサキツユクサ(*Tradescantia*) の花粉母細胞に生体観察した。これが植物における染色体観察のはじめである。Remak

(1841, 1851) はひなの胚の血球細胞を観察して、細胞分裂の方法として、仁、核、細胞質、細胞膜は単なるくびれによって分裂すると信じた。

細胞分裂における核の行動が詳しくわかり、その意味が示されたのは、受精や発生の研究と関連してずっと後のことである。1879年に Strasburger は核は既存の核からのみ由来することを明かにした。Flemming (1882) は動物細胞の研究から同じ結論に達し、“すべての核は核より来る”と述べた。

Robert Hooke の発見した細胞は、彼の論文に示されているように、細胞といっても実は細胞膜で、それと細胞間隙を孔として認めており、細胞の中味について見ていなかった。細胞の中味が細胞の生活のおこなわれるところとして関心が引かれるようになったのは、1772年の Corti のシャシクモ (*Chara*) の細胞内の汁液—今いう細胞質と細胞液にあたる—の流動の観察に始まる。これは原形質流動であり、後に Treviranus (1811) や Olive (1819) も観察している。

細胞の中味として 1835 年にフランスの Felix Dujardin は下等動物の生活の単位を“sarcodé”および、1844年にはドイツの von Mohl が植物の生活の単位として“Schleim”あるいは“Protoplasma”という言葉を用いた。細胞の中味として“Protoplasm”すなわち原形質の重要であることは Nägeli (1846) や Payen (1846) によっても認められ、さらに Payen や Cohn (1850) は動物の“Sarcodé”と植物の“Protoplasma”は根本的に同一であると結論するようになり、1861年には Max Schulze が生物の単位は原形質で、この物質は一般にすべての細胞において同一であるとした。

かくして細胞の概念としては単に細胞膜ではなく、細胞膜もその中味の原形質をもふくめるものであることが明かとなり、また、細胞に核の重要であること、その内部に遺伝要素をふくむことは1900年前後の研究から、しだに明かとなった。

5. 要 約

Robert Hooke は細胞を発見したが、それが生物体の構成単位であるとはまだ認めていなかった。このことが認められるにはなお、170 年余の歳月を要し、1838年に Schleiden によって植物について、1839年には Schwann によって動物について、その構造単位は細胞であることが認められ、細胞説の提案となった。

また、Hooke の観察したのは、細胞の膜であり、その中味の原形質が認められるまでにはなお100年の年月を要し、Corti の1772年の観察まで待たなければならなかった。

核の発見は1831年、Robert Brown によってであり、核が遺伝と関係のあることは1884～1885年に O. Hertwig, von Kölliker, Weismann, Strasburger などによって、ほとんど同時に唱えられ、核中に遺伝の単位があり、これを gen とよんだのは Johannsen (1909) である。

参考文献

- Amici, G.B. 1830. Ann. Sci. Nat. Bot. I, 21 : 329-332.
 Brown, R. 1831. Trans. Linn. Soc. London.
 ——— 1833. ib. 16 : 685-745. (Paper read and privately printed in 1831.)
 Cohn, F. 1850. Nova Acta Acad. Caes. Leop. Carol. Nat. Cur. Bonn 22 : 605-764.
 Corti, B. 1772. Observationi misc. sulla Tremella etc, Lucca 1774.
 Dujardin, F. 1835. Ann. Sci. Nat. Zool. II 4 : 364-377.

- Encyclopaedia Britannica 1875 (9th ed.), 1929 (14th ed.), 1974 (15th ed.)
- Flemming, W. 1882. Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung. Leipzig.
- 1882. Arch. Mikr. Anat. 20 : 1-86.
- Gotoh, Kosei (後藤光生) 1765. 紅毛談.
- Grew, N. 1682. The Anatomy of Plants. London.
- Hertwig, O. 1884. Jennische Zeitschr. 18 : 276-318.
- Hooke, R. 1665. Micrographia. London.
- Johannsen, W.L. 1903. Erbllichkeit in Populationen und reinen Linien. Jena.
- Katsuragawa, Hosyu. (桂川甫周) 顕微鏡用法. 1802.
- Locy, W.A. 1908, 1915, 1953. Biology and its Makers. New York.
- Malpighi, M. 1674. Anatome Plantarum.
- Nägeli, C. von 1844-1846. Zeit. Wiss. Bot. 1, 3.
- Morishima, T. (森島中良) 1781. 紅毛雜話.
- Payen, A. 1846. Mem. Acad. Paris 9.
- Remak, R. 1841. Arch. Anat. Physiol. 177-188.
- Schleiden, M.J. 1838. Beitrage zu Phytogenesis. Arch. Anat. Physiol. Wiss. Med. 137-176.
- Schwann, Th. 1839. Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Thiere und Pflanzen. Berlin. Prel. statement : Forriep's notizen No. 91 : 103, 112.
- Sharp, L.W. 1934. Introduction to Cytology. New York and London.
- Strasburger, E. 1879. Die Angiospermen und die Gymnospermen. Jena.
- 1880. Ueber Zellbildung und Zelltheilung. Jena.
- Treviranus, L.C. 1811. Beitrage zur Pflanzenphysiologie.
- Udagawa, Y. (宇田川榕菴) 1833. 理学入門植学啓原.
- Virchow, R. 1858. Die Cellularpathologie, usw. (Transl. by Chance, 1860)
- von Kölliker, A. 1845. Zeitschr. Wiss. Bot. 2.
- von Mohl, H. 1844. Bot. Zeit. 2 : 273-277, 289-294, 305-310, 321-326, 337-342.
- Wilson, E.B. 1925. Cell in Development and Heredity. 3rd. ed. New York.
- Yuasa, A. 1948. 日本植物学史 (日本生物学誌第8巻). 東京.
- 1983. Bull. Aobagakuen Jun. Coll. 7 : 27-35.
- 1983. 新旧細胞学の接点と展開. 東京.