総合論文

植物の運動を引き起こす化学物質—生物時計による就眠運動のコントロール

上 田 実*・山 村 庄 亮*

Chemical Substances Controlling the Leaf-movement of the Plants: How does Biological Clock Control the Plant Movement?

Minoru UEDA* and Shosuke YAMAMURA*

Many plants close their leaves in the evening like sleeping and open early in the morning. Such a circadian rhythm has been known to be controlled by their internal clock. Moreover, rapid seismonastic movement was also observed in *Mimosa pudica* L.

Since Ricca's ingenious experiments suggested that some chemicals play an important role in leaf-movement of *Mimosa pudica*, many biologists and chemists have attempted to search for leaf-closing substances, and a number of compounds have been obtained, particularly, by Schildknecht *et al.* But, we have now demonstrated that the genuine leaf-movement factor of *Mimosa* is the mixture of three chemical substances, two of the three were identified as potassium L-malate and magnesium *trans*-aconitate. The mixture of these substances was effective at 10^{-8} – 10^{-9} M.

On the other hand, we have isolated chemical substances that control the nyctinastic leaf-movement from several nyctinastic plants. Each substance was effective at 10^{-6} – 10^{-7} M only for the original plant, but not for other nyctinastic species. Thus, different leaf-movement factors exist in every nyctinastic plants. This is contrary to the old theory established by Schildknecht. This movement is controlled by the change in the balance of two inversely effective factors, leaf-closing and opening factor. MeOH-extracts of a nyctinastic plant, *Lespedeza cuneata* G. Don. collected in the daytime and at night showed inverse bioactivity. Thus, the balance of concentration between two leaf-movement factors in this plant which is controlled by biological clock was really inversed through a day. This mechanism for the control of nyctinastic movement is common among all nyctinastic plants.

Key words: Nyctinasty, Biological clock, Bioactive substance, Plant, Leaf-closing substance, Leaf-opening substance, *Mimosa pudica* L.

はじめに

オジギソウや、食虫植物ハエトリソウといった「動く植物」は、小・中学生の自由研究の題材として大変人気がある(図1)。これらはいずれも、手を触れたり、虫を捕らえたりすると素早く葉を閉じる運動で有名である。しかし、この誰もが熟知している身近な生物現象でも、これらの運動がどのようにして起こるのか、と問われたと

きに答えられる人は誰もいない。また、マメ科植物の多くは、周りの環境に影響されない一定のバイオリズムを持っており、夜になると葉を閉じて「眠り」、朝には「起きる」(図2)。この運動は生物時計によりコントロールされることが知られており、就眠運動と呼ばれている。就眠運動は、動物の場合と異なり、運動細胞という特殊な細胞に、水が出入りすることによって起こる。このような植物の運動は古代から人々の興味を引き続け、その最も古い観察記録は紀元前、アレキサンダー大王の時代にまでさかのぼる。その後、「種の起源」のC. ダーウィンや「昆虫記」のJ.H. ファーブルといった、幾多の大科学者が植物の運動に興味を持ち、観察記録を残している。特

* 慶應義塾大学理工学部化学科

()

* Faculty of Science and Technology, Keio University ()

Fig.1 Leaf-movement of *Mimosa pudica* L. (left: before touch, right: after touch).

Fig.2 Nyctinastic leaf-movement of *Albizzia julibrissin* Durazz. (left: daytime, right: night).

にダーウィンは、膨大な観察に基づき、「植物の運動力」¹⁾を著して、今日まで続く植物生理学の一大分野を拓いた。また、18世紀には、オジギソウの就眠運動の観察より、生物時計が発見された。生物時計は、21世紀のサイエンスにおいて解決されねばならない最大の難問の1つであるが、その起源がオジギソウの運動であることは意外に知られていない。その後、20世紀初頭の1916年になって、これらの運動がなんらかの化学物質によって引き起こされることが証明され²⁾、ようやく我々化学者の出番となった。しかし、その後約80年の歳月が過ぎた

が、世界中の研究者による精力的な研究にもかかわらず、この化学物質の正体はようとして知れなかった。

1. オジギソウの刺激伝達物質

1983年に、ドイツのSchildknechtらは、オジギソウの運動を引き起こす化学物質としてターゴリン(1-4)と呼ばれる化合物群を単離した(図3)³⁾。彼らによると、就眠運動のみを行い、素早い運動を行わないネムノキ、アカシア等の植物もターゴリンを持っており、これらの就眠運動もターゴリンによってコントロールされるとのこ

Fig. 3 Structure of bioactive substance for the rapid leaf-movement of mimosa.

とである。すなわち、ターゴリンはすべての植物の葉の運動を制御する新しい植物ホルモンであるというのが彼らの説である。しかし、この説には反対意見もあり、オーストリアの Umrath らは、ターゴリンは真の活性物質ではなく、オジギソウの運動をコントロールする「刺激伝達物質」は、精製を進めると容易に失活する非常に不安定な「オキシ酸」であると報告した⁴⁾。彼らによるとオジギソウには2種類の運動を引き起こす物質が含まれており、1つは活性本体と考えられる「オキシ酸」(substance E)、もう1つは活性が弱く、グルコシダーゼ処理で失活する substance G である。彼らはまた、オジギソウの抽出液をグルコシダーゼで処理しても活性が変化しないことから、Schildknecht らのターゴリンは活性本体ではないとした。このように、オジギソウの刺激伝達物質に関する研究は混迷を極めており、その単離は半ば不可能と考えられ、進展は全く認められなかった。筆者らはこの状況を打破すべく研究に着手した。

Schildknecht らのターゴリンをみると、不思議なことに気付く。分子中の硫酸基が遊離型なのである。一般に植物体内は中性から弱酸性であり、生体内でこのような強酸性の官能基が遊離型で存在するとは考えにくい。実際彼らの論文を読むと、酸性条件下で分離を行っていることがわかった。オジギソウは酸や大量の塩等に対して応答し、葉を閉じる。実際、筆者らの実験では、希硫酸は約 10⁻² g/L で活性を示した。従って、ターゴリンの活性は分子中の硫酸基によるものと予想される。実際、オジギソウよりターゴリンを分離してみると、ターゴリンは植物体内ではカリウム塩(5)として存在しており、これは非常に弱い活性を示すのみであることがわかった。従って、Schildknecht らのターゴリンは活性本体ではない。このように酸性条件下での分離は誤った結果を

与えることから、オジギソウの真の活性物質を単離するためには、中性条件下での分離が必須であることがわかった。

大学構内の畑でオジギソウを栽培して、約 50 kg を採集し分離を行った。オジギソウの刺激伝達物質の分離はオジギソウの葉を用いた生物検定法に基づいて行った。オジギソウの葉を切って蒸留水に漬け、これに分離したものを加えると、活性がある場合には葉の付け根の方から「パタパタ」と葉が閉じていく(図4)。しかし、この生物検定は真夏にしか良い再現性を示さないうえに、オジギソウの葉は風などにも反応して閉じるため、無風状態にして行う必要があった。種々の工夫を施して分離条件を組み立て、分離を行うと、水層に非常に強い活性が認められた。しかし、分離を進めていくと、突然生物活性が消失してしまった。これは、Umrath らの報告通りの結果であった(図5)。しかし、生物活性の消失があまりに突然であること、常に同じ精製段階で活性の消失が見られることなどから、この活性の消失が Umrath らのいう化合物の不安定性に起因するという考えには疑問をもった。また、同じころ、10年以上前に得られたオジギソウの抽出液を用いて分離を行っても抽出液の活性が保持されていることを見いだして、「問題は化合物の不安定さなどではない」と考えるに至った。そこで不安定ゆえに分離によって失活するのではなく、そもそも分離すると活性がなくなるものなのではないかと仮定した。活性消失後直ちに、分離した各画分を色々な組み合わせで再度混合した。すると、そのうちの1つに顕著な活性の回復がみられた。これは、分離した画分にカラム洗浄画分を加えたものであった。すなわち、HPLC での分離によって、カラムに強く吸着される化合物が活性には必須だったのである。ちなみに、このカラム洗浄画分

Fig. 4 Isolation procedure of the bioactive substance for the rapid leaf-movement of mimosa.

Fig. 5 Bioassay for the detection of bioactive substance inducing the rapid leaf-movement of mimosa.

だけでは活性は全く検出されなかった。後は、このカラム洗浄画分の混合で、活性を示す化合物をHPLCで分離した。活性物質は極めて極性が高く、精製の最終段階では、カラムを3本連結したHPLCでもほぼ1ピークとなった。このピークを前、真ん中、後ろ、とハートカットで分離して、千回を超えるHPLC分離の後に、活性物質は3種の化合物(L-リノゴ酸(6), *trans*-アコニト酸(7), ジメチルアンモニウム塩(8))の混合物であることを突き止めた(図3)⁹⁾。このうちの1つ、L-リノゴ酸はオキシ酸であり、これがUmrathらの言うところの「不安定なオキシ酸」の正体であろう。このような比較的簡単な化合物がどのようにして運動を引き起こすのか、今後に残された非常に興味深いテーマであると考えている。

2. 植物の就眠運動をコントロールする化学物質

植物の葉の運動には、上記の素早い運動以外にもゆっくりとした運動がある。マメ科植物のほとんど全てにみられる就眠運動である。これまで述べたような素早い運動はオジギソウとその仲間、*Biophytum*, ハエトリソウといったごく限られた植物のみにみられるが⁶⁾、就眠運動は植物界では比較的良好にみられる運動である。この運動は生物時計によってコントロールされ、各植物固有のバイオリズムがみられることから、多くの科学者の関心を集めてきた。生物時計は、単細胞生物から人間まですべての生物に共通に存在するとされるが、その発見の発端は、18世紀にフランスの科学者 du Fay が行ったオジギソウの就眠運動の観察であるとされている⁷⁾。彼は、オジギソウを真っ暗な洞窟の中に移してもその葉は同じリズムで運動を続けることから生物体内に存在する固有のリズムを発見した。この就眠運動もオジギソウと同じくターゴリンによって引き起こされるとする説が定説であったが、前節で述べたようにターゴリンは真の活性物質とは考えにくい。また、Umrathらは、植物の運動を引き起こす化学物質は全ての植物で異なるとする説を提唱しており⁴⁾、Schildknechtらがターゴリンの単離に際し、すべての植物についてオジギソウの葉の運動を指標とした点も問題である³⁾。筆者らは、生物検定に可能なかぎり抽出したものと同じ植物を用いて、植物の就眠運動を引き起こす化学物質を再検討した。植物の葉は、茎

Scheme 1 Total synthesis of phyllanthurinolactone (11) and its diastereomers.

深い。また、フィルリン(15)は、海洋生物以外から初めて単離されたアミジン基を持つ化合物である¹⁵⁾。さらに、光学活性のD-イダル酸カリウム(10)、フィランツリノラクトン(11)について、立体化学と生物活性の関係を調べた。種々の糖類を用いて合成した10の立体異性体(図8)¹⁸⁾、ならびに、森らによって合成された11の立体異性体(スキーム1)¹⁹⁾を用いた生

物検定試験より、生物活性は立体化学特異的であり、天然型のものだけが活性を示すことが明らかになった。この結果は、就眠物質による運動のコントロールに、何らかのレセプターが関与していることを示唆する結果であり、大変興味深い。このように、植物の就眠運動は、植物ホルモンのようなすべての植物に共通の化合物で引き起こされるのではなく、各植物種に固有の活性物質によってコントロールされていることがわかった。特に、カワラケツメイ、メドハギ、コミカンソウについては、就眠・覚醒の両方の物質を単離することができた。オジギソウの就眠物質についてもすでに単離を完了しており、芳香族酸の配糖体であることがわかっている²⁰⁾。不

Fig. 8 Structures and bioactivities of potassium D-idarate (10) and its diastereomers.

思議なことに、これらの植物では、いずれの場合も就眠・覚醒物質のどちらかが配糖体型であり、現在までのところ例外はない。この発見が「植物の運動」の化学を後に大きく展開させることとなった。

3. 生物時計により制御された植物の就眠運動

最も興味ある問題の1つは、一日周期の就眠運動がこれらの化学物質によってコントロールされるメカニズムである。就眠・覚醒の両物質は互いに拮抗し、両方の濃度のバランスを変化させることで、自然状態と同じ葉の動きを再現することができた。さらに筆者らは、種々の就眠運動を行う植物を昼間および夜間に採集して、抽出

液を調整し、その活性を調べた。その結果、葉の開いている昼間に採集した植物より調整した抽出液は覚醒活性を示すが、葉の閉じている夜間に採集した場合には就眠活性を示すという大変興味深い現象を見いだした^{12,14,21,22}。これは、植物体内で就眠・覚醒両物質の濃度のバランスが昼夜で逆転していることを示す結果である。また、どの植物についても同様の現象が見られることから、このバランスの逆転は、すべての植物に共通する機構と思われる。

そこで、就眠・覚醒両物質がすでに単離・構造決定されているメドハギ^{18,23}、コミカンソウ²²についてこれらの植物体内での濃度変化を分析した。酸性条件下の分析では、これらは良好な分離を示し、その結果、いずれも配糖体型の活性物質の濃度が変化していることを確認することができた。すなわち、メドハギでは覚醒物質レスペデジン酸カリウム(14)の濃度が昼間に上昇し、夜には低下する。また、コミカンソウでは就眠物質11の濃度が夜になると上昇する。この結果は、植物の就眠運動が植物体内における就眠・覚醒両物質の濃度バランスの変化によって引き起こされることを示している。また、いずれの場合も、配糖体型活性物質の濃度のみが変化し、非配糖体型の濃度は一定であった。メドハギにおいては、配糖体型覚醒物質(14)の減少に伴い、そのアグリコン(18)の増加が認められたことから、14の濃度は酵素グルコシダーゼの作用によって変化している可能性が考えられた。そこで、メドハギを昼間および葉の閉じ始める夕方に採集して酵素活性の測定を試みた。グルコシダーゼはかなり基質特異性が高いため、基質としては合成した覚醒物質14を用いた。その結果、グルコシダーゼ活性は夕方にのみ観測され、昼間には全くみられなかった。こ

のことから、グルコシダーゼの活性は、生物時計によってコントロールされており、決まった時間になるとグリコシド結合を加水分解して、活性物質を不活性なアグリコンへと変換すると考えられる(図9)。従って、生物時計は、グルコシダーゼの活性をコントロールすることで、就眠運動を一定の周期に調節していることが明らかになった。以上のように植物体内には、就眠・覚醒の両物質が共存しており、これらのうちいずれかは配糖体型、他方は非配糖体型である。植物の葉はこの2つの活性物質間の微妙な濃度バランスで開いたり、閉じたりする。この濃度バランスの変化を調節するのが生物時計である。生物時計は酵素グルコシダーゼを活性化することで配糖体型の活性物質を不活性化して、この2つの活性物質間の濃度バランスを変化させ、就眠運動をコントロールしている。また、就眠運動を行う植物には2種類があり、1つはメドハギのように配糖体型の覚醒物質をもち、グルコシダーゼが夕方に活性化を受けるもの、もう1つのはコミカンソウのように就眠物質が配糖体型であり、グルコシダーゼが明け方に活性化を受けるのである。このように、筆者らは、世界に先駆けて、生物時計による就眠運動の調節機構を分子レベルで明らかにすることができた(図10)^{22,24}。生物時計が生物現象を制御する機構を、有機化学レベルで解明した研究は他に例がない。

上に述べたように、植物体内の配糖体がグルコシダーゼの作用により加水分解されて活性を示す例としては、茶²⁵や花²⁶の香りのような植物の香気成分や、アブラナ科植物のファイトアレキシン²⁷などがある。しかしこれらの例では、前駆体である配糖体は「不活性型」で、これが酵素の作用で加水分解されることにより「活性型」の香

Fig.9 Chemical mechanism of the control of nyctinastic leaf-movement in *Lespedeza cuneata* G. Don.

Fig.10 Universal mechanism of the control of nyctinastic leaf-movement.

気成分やファイトアレキシンが放出されるのであり、配糖体が「活性型」である就眠・覚醒物質とは逆である点が興味深い。このように、生体内における配糖体の加水分解が生物活性発現に大きな意味を持つ例は他にも多く存在すると考えられる。植物における配糖体の機能に係わる生物有機化学的研究のさらなる発展が期待される。

4. オジギソウの就眠運動をコントロールする化学物質

最近、オジギソウの覚醒物質ミモプジン(16)を単離・構造決定した(図7)¹⁶⁾。この化合物は、分子内のアミノール部位が非常に不安定で単離が難しく、また、種々のパルス NMR 実験を行うと、長時間の測定中に分解してしまうため、構造決定は大変難航した。この構造決定には、Linked scan ESI MS によるフラグメント解析が

Fig.11 Structure determination of mimopudine (16).

大変有用であった(図11)。この化合物はオジギソウの葉を夜でも開いたままにするが、面白いことにこの化合物で開いたままになった葉は、手で触れると応答して閉じるのである。つまり、オジギソウのお辞儀をする素早い運動と就眠運動とは全くメカニズムの異なる運動であるということである。この2つの運動は、従来しばしば混同されており、同じ化合物によって引き起こされるとする考えが良く見受けられた。筆者らの結果は、この見解を完全に否定するものであると考えている。また、すでに述べたように、オジギソウの就眠物質は配糖体である。この化合物は、ゆっくりとした閉葉運動のみを引き起こし、また、刺激伝達物質と比べて閉葉活性が低いことから、Umrathらの“Substance G”に対応するものと考えている⁴⁾。

5. 植物はなぜ眠るのか?

最後に「植物は何のために眠るのか?」について考えてみたい。

Darwinの実験にみられるように、葉を閉じる1つの理由は、昼間に比べて気温の下がる夜間に葉の表面からの熱蒸散を抑制する防御機構と考えられるが、さらに重要な点は、生物時計により制御されたバイオリズムに係わる基本原理であろう。生物時計の世界的権威であるBünningは、植物が葉を閉じるのは、月明かりなどのわずかな光でも生物時計のリズムが影響を受けてしまうのを防ぐためであると述べている²⁸⁾。生物時計によって制御される就眠運動は、直接生存に係わる場合を除いて、様々な器官を休止状態にさせ、その間植物は自分自身のオーバーホールを行うのではないかと考えられる。現在、植物の生物時計について、分子生物学、生物化学、植物生理学などの分野からの精力的なアプローチが試みられているが、動物の場合と異なり、特筆すべき成果はほとんど得られていない。筆者らは、就眠・覚醒両物質をツールとして生物時計の解明に少しでも近づくことができればと考えている。

また、葉の運動は、茎と小葉との繋ぎ目部分にある葉枕と呼ばれる器官の運動であるため、必然的に葉が閉じれば根からの水の供給がストップされて、水ストレス状態が作り出され、気孔が閉じる。植物が夜になると「眠る」今一つの理由として、このような気孔閉鎖の誘導も考えられるのではないだろうか。植物における気孔の運動は就眠運動と同じく植物体内での水の動きに起因する運動であり、一般に、植物ホルモンのアブシジン酸によって制御されると考えられているが、アブシジン酸が気孔閉鎖の真のメッセンジャーであるかという点に関し

ては疑問も多い²⁹⁾。

おわりに

かつて、ある高名な先生が、「どんなに些細な生物現象も突き詰めていけば生命の根幹に関わる問題につき当たる」と書かれたものを読んだことがある。生物の行う不思議な現象に対する好奇心から始まった筆者らの研究も、このように突き詰めていけば、生命現象の根幹である「生物時計」といった問題に突き当たることになる。そんな風に、想像をたくましくしながら、今後のストーリーの展開を楽しんでいきたい。

(平成11年1月12日受理)

文 献

- 1) C. Darwin, *The Power of Movement in Plants*, John Murray, London (1880)
- 2) U. Ricca, *Nuovo G. Bot. Ital. (Nuovo Series)*, **23**, 51 (1916)
- 3) H. Schildcknecht, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **22**, 695 (1983)
- 4) W. Bielenberg, H. Esterbauer, M. Hayn, K. Umrath, *Phyton*, **24**, 1 (1984)
- 5) M. Ueda, S. Yamamura, *Curr. Org. Chem.*, **2**, 437 (1998)
- 6) 柴岡孝雄著, 動く植物, 東京大学出版会(1981)
- 7) du Fay, *Historie de L' Academie Royale des Science Paris*, **1729**, 35
- 8) E. Miyoshi, Y. Shizuri, S. Yamamura, *Chem. Lett.*, **1987**, 511
- 9) (a) H. Shigemori, N. Sakai, E. Miyoshi, Y. Shizuri, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **30**, 3991 (1989); (b) *idem.*, *Tetrahedron*, **46**, 383 (1990)
- 10) M. Ueda, M. Niwa, S. Yamamura, *Phytochemistry*, **39**, 817 (1995)
- 11) M. Ueda, T. Shigemori-Suzuki, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **36**, 6267 (1995)
- 12) M. Ueda, T. Ohnuki, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **38**, 2497 (1997)
- 13) M. Ueda, C. Tashiro, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **38**, 3253 (1997)
- 14) M. Ueda, T. Ohnuki, S. Yamamura, *Phytochemistry*, **49**, 633 (1998)
- 15) M. Ueda, M. Asano, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **39**, 9731 (1998)
- 16) M. Ueda, S. Yamamura, *Tetrahedron Lett.*, **40**, 353 (1999)
- 17) (a) D.G. Lynn, K. Nakanishi, S.L. Patt, J.L. Occolowitz, S. Almeida, L.S. Evans, *J. Am. Chem. Soc.*, **100**, 7759 (1978); (b) L.S. Evans,

- M.S. Almeida, D.G. Lynn, K. Nakanishi, *Science*, **203**, 1122 (1979)
- 18) T. Ohnuki, M. Ueda, S. Yamamura, *Tetrahedron*, **54**, 12173 (1998)
- 19) (a) K. Mori, G. Audran, Y. Nakahara, M. Bando, M. Kido, *Tetrahedron Lett.*, **38**, 575 (1997); (b) G. Audran, K. Mori, *Eur. J. Org. Chem.*, **1998**, 57
- 20) M. Ueda, S. Yamamura, in preparation.
- 21) M. Ueda, Y. Sawai, Y. Shibazaki, C. Tashiro, T. Ohnuki, S. Yamamura, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **62**, 2133 (1998)
- 22) M. Ueda, M. Asano, Y. Sawai, S. Yamamura, submitted.
- 23) M. Ueda, T. Ohnuki, S. Yamamura, *Chem. Lett.*, **1998**, 179
- 24) H. Toriyama, M.J. Jaffe, *Plant Physiol.*, **49**, 72 (1972)
- 25) M. Yano, K. Okada, K. Kubota, A. Kobayashi, *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 1023 (1990)
- 26) N. Watanabe, S. Watanabe, R. Nakajima, J.-H. Moon, K. Shimokihara, J. Inagaki, H. Etoh, T. Asai, K. Sakata, K. Ina, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **57**, 1101 (1993)
- 27) K. Monde, M. Takasugi, T. Ohnishi, *J. Am. Chem. Soc.*, **116**, 6650 (1994)
- 28) E. Büning, *The Physiological Clock, Third Edition*, English Univ. Press; London (1973)
- 29) 高橋信孝, 増田芳雄共編, 植物ホルモンハンドブック, 培風館 (1994)

書 評

化学の未来へ—ケミカルパワーが時代をつくる

近畿化学協会編

化学同人 A5判・238 ページ 定価 2,200 円+税

本書の内容は近未来のさらに一步先を見据えたものであり、化学に専念する研究者に指針と勇気を与えるばかりでなく、一般読者にもケミカルパワーを理解する機会を与えるものである。それは、以下に挙げる目次の項目からも容易に察しがつく。

1) 脳細胞の神秘にせまる; 2) 脳からみた未来のロボテックス; 3) 「こころ」の病気を薬でなおす; 4) 分子医学革命; 5) ダイエットに化学で挑む; 6) 繰り返されるウイルスとの闘い; 7) キラルテクノロジーの拓く世界; 8) 新コンピュータ時代の幕開け; 9) 21世紀は光の時代; 10) 情報を記録する未来技術; 11) 21世紀の食料生

産を担う; 12) 新時代のプラスチック産業; 13) 未来のクリーンエネルギー。

まさに国際的にも学際的にも第一線で活躍されている研究者や企業のトップが執筆されているので、各要所の論拠にも説得力があり、“化学”の可能性と底力を再認識させるに十分である。しかも、読み物としても肩肘を張ることなく読み切ることができる本である。

近畿化学協会が80周年記念事業の1つとして、21世紀はケミカルサイエンスの時代であると確信し、化学に関する「元気の足る本」の出版を企画されたものであるが、企画どおりの珠玉の書である。 (竜田邦明)