

## 視 覚 の 話

### 6. 中心視の障害 (1) 光学系の異常とその対策

国立障害者リハビリテーションセンター病院第二診療部長

仲 泊 聡

#### 1. はじめに

白木邦彦は、大阪市立大学眼科の教授で、とあるインタビューに際し「患者さんと接するうち、何とかもう一度視力を取り戻し、豊かな Q O L を与えてあげたいと願望するようになりました。」と、そのきっかけを述べた。インタビュアーは彼について「初対面の印象は物静かな学者、やさしいお医者様でした。しかし患者さんや研究内容に話が移ると、とたんに内に秘めた情熱が吹き出す、そういう先生でした。」と述べている。また、志水英二は、大阪市立大学の名誉教授でありながら、今もなお現役のコンピュータエンジニアとして活躍中の、まさに現代のお茶の水博士だ。この二人が、手を携えて開発した装置が「電子めがね」だ。

中学の理科で習う基礎光学の一つに凸レンズを通る光の軌跡がある。このレンズを通過する光の軌跡を予測するための重要ポイントは、「レンズの光軸と平行に進んできた光は、そのレンズで屈折し焦点を通る」という法則と「レンズの中心を通る光は屈折しないで直進する」という二つの法則だ。この二番目の法則に則り、すべての光が眼の光学系のレンズ中心を通るように眼内に入ると、その目のレンズがどんな度数であってもスクリーンとなる網膜にくっきりした像を投影することができる。このような光学系を、その発見者の名を冠してマックスウェル視光学系と呼ぶ。

白木らが開発した「電子めがね」は、このマックスウェル視光学系を活用している。つまり、角膜や水晶体などの目の光学系の透明

性さえ維持できていれば、どんなに強い近視や乱視があっても網膜上にきれいな像を作ることができる。しかも、与える映像は一回デジタル化しているので、その時点でコントラストを上げたり、明るさを加減したり、像を拡大したりすることができる。そのため、ロービジョンの患者がこの電子めがねをかければ、普通の眼鏡では得られないより鮮明な視環境が得られるだろうというのが彼らの考えだ。

今回のテーマは、「光学系の異常とその対策」だ。まず、読者は眼球の光学系について「3. 視覚のしくみ」を復習していただきたい。本稿では、これが侵される代表的な疾患を挙げ、その病態と対策について解説する。

#### 2. 光学系の異常

##### 1) 眼瞼下垂

眼球に何ら異常がなくても目を開けなければ見えない。自明のことだ。目を開けたり閉じたりするのは目の周りにある筋肉のはたらきだ。開けるときにはたらく筋肉は眼瞼挙筋とミューラー筋だ。眼瞼挙筋は動眼神経によって、ミューラー筋は交感神経によってコントロールされている。これらの神経が不調になると目を開けることが困難になる。怪我などで動眼神経麻痺が生じると瞼が下がったままとなる。このように瞼が下がってしまう状態を眼瞼下垂という。眼瞼下垂には、生まれつきのものもあり、先天眼瞼下垂という。程度がひどく、常時瞳孔を覆う場合、弱視の原因になる。

眼瞼下垂をきたす疾患のうち、とくに注意を要するものに重症筋無力症がある。これは神経の麻痺によってではなく、神経から筋肉に向かって放出されるアセチルコリンという神経伝達物質の筋肉側の受容体がうまくはたらかなくなることによって生じる。全身に生じると生命に関わるが、軽症例や初期症例では眼瞼にだけこの症状が現れる。筋肉細胞の表面に存在する受容体に対する自己抗体が作られることがその原因と考えられている。

眼瞼下垂の治療は、原因が重症筋無力症の場合はアセチルコリンを分解する酵素のはたらきを阻害する薬を内服し、それでも効かない場合は自己抗体の力を弱めるためにステロイドホルモン製剤を内服する。しかし、これで改善しない場合や他の原因の場合は、眼瞼挙筋やミューラー筋を短縮する手術が必要だ。眼瞼挙筋は目が上転するときと同時にほたつき、下転するときには緩むようにできている。したがって、この筋肉を短縮してしまうと緩むべきときにちゃんと緩むことができなくなるため、下方視しても瞼が降りてこなくなり不自然な表情になる場合があるので注意が必要だ。

ちなみに目を閉じるときにはたらく筋肉は眼輪筋だ。眼輪筋はその名のごとく目の周りを輪状に取り囲んでいる。眼輪筋をコントロールしている神経は顔面神経だ。だから、顔面神経麻痺では目を閉じられなくなる。これを兔眼という。兔眼では、角膜が乾燥し、ひどい場合は角膜が濁ってしまう。つまり、瞼が開かなくなっても閉じなくなっても光学系に異常をきたすことになる。

## 2) 眼瞼けいれん

眼輪筋がけいれんを起こすと瞼が閉じてしまい目を開けられなくなる。原因はまだ特定できていないが、ジストニアと呼ばれる筋肉が不随意に収縮する症状が眼輪筋に生じたものと考えられ、これを眼瞼けいれんと呼んでいる。読者の多くが疲れたときなどに経験している目の周りがびくびくと動く症状は、眼

瞼ミオキミアといって眼瞼けいれんとは異なり、開瞼困難に至ることはない。また、頭蓋内で隣り合う血管の拍動によって顔面神経が刺激され生じる片側顔面けいれんも眼瞼けいれんとは区別されており、このような場合は、脳外科で手術による治療が可能だ。

眼瞼けいれんが激しく瞼を開けていられないほどの場合、各種内服薬の投与が行われてきたがその治療効果は不十分で、最近ではボツリヌス毒素で眼輪筋を麻痺させる治療がしばしば行われている。ボツリヌス毒素はボツリヌス菌が作る神経毒で、眼輪筋に直接注射することで、そこに辿り着いている顔面神経を部分的に麻痺することができる。効果は3～4ヶ月であり、繰返しの治療が必要であるが、逆に副作用がでて一時的なので比較的 안전한方法といえる。

眼瞼けいれんの患者の多くが、目の乾き感と羞明を訴える。しかし、これらの発生のしくみは不明で、目の乾き感は人工涙液の点眼などのドライアイの治療では改善しない。また、羞明に対しても対症療法としての遮光眼鏡装用が行われているだけだ。

## 3) 近視・遠視・乱視

眼球のレンズ系が正常であっても、眼球自体が前後に長いと焦点は網膜に届かない。逆に眼球が短いと網膜の後方に焦点が行ってしまったりやはり網膜上に焦点を結ばなくなる。目を安静にしたとき、前者のような状態になる場合を近視、後者のようになる場合を遠視という。目には水晶体の曲率変化に基づく調節機能があるため、軽度の遠視では調節をはたかせて網膜後方の焦点を網膜上に持つてくることができる。したがって、とくに子どもの頃はこのはたらきが存分に効くため、遠くから近くまでくっきりと見ることができる。自分は目がいいと思っている方は、軽度の遠視である場合が多い。しかし、このような人は調節力が加齢に伴って減弱すると老視になりやすい。

乱視には、正乱視と不正乱視がある。正乱

視は、眼球の全体的な歪みから生じ、ほとんどの人が多かれ少なかれ持っている。ゴムボールを上下に圧をかけて歪ませたところをイメージしてほしい。このボールを上から見ると円形だが、歪ます前の球の輪郭と比べると押しつぶされている分だけやや大きくなっている。この円弧にあたる部分に角膜がある。角膜の曲率半径は、押しつぶす前に比べ長くなっている。つまり、この方向での焦点は後方にずれる。それに対し、このボールを横から見たときを考えると押しつぶされた楕円に似た形になっていることがわかる。この先端に角膜がくる。この曲率半径は、押しつぶす前に比べ短く、この方向では焦点距離が短縮する。つまり、90度異なった角度から観察したときに角膜の曲率半径が大きく異なるという状態では、焦点は縦方向と横方向で異なることになる。ちなみに斜めはというとその両者の焦点距離の間を連続的に変化している。つまり、焦点は一点には結ばない。これが正乱視の目の光学系だ。一方、不正乱視はこのような秩序だった歪みではない。怪我で角膜が凸凹になった場合、えんすいかくまく円錐角膜という角膜が円錐状に変形した場合など、さまざまである。

近視・遠視・乱視の対策は、ご存知、眼鏡だ。近視と遠視は球面レンズを目の前に置き焦点距離を補正すればいい。近視の場合は焦点距離が不足しているので、凹レンズで焦点距離を伸ばせばよく、遠視の場合は凸レンズで短くすればよい。この凹レンズや凸レンズの表面は球面であるため、これらを球面レンズという。レンズの強さはジオプトリ (D) という単位で表現される。焦点距離が A (m) のレンズの強さは A 分の 1D だ。焦点距離が 1m なら 1D, 2m なら 0.5D, 0.5m なら 2D だ。凸レンズは実像ができるのでそのまま +1D, +0.5D, +2D となるが、凹レンズの場合は虚像が逆方向の等距離にできるため、-1D, -0.5D, -2D と表記して区別する。

問題は、乱視の矯正だ。まず、不正乱視はレンズでの補正はできない。正乱視は、乱視用のレンズで補正できる。では、正乱視用の

レンズとはいかなる形状をしているのだろうか。ここで、さらに想像力をはたらかせて極端な例について考えてみよう。縦と横で曲率が大きく異なる立体をガラスで作ってみよう。たとえば上から見ると一定の曲率をもち、横から見るとまったく曲率をもっていないという形を想像できるだろうか。答えは円柱だ。つまり、ガラスの円柱を柱の方向と平行にスパッと切って作ったレンズに平行光線が差し込んだ場合の光の軌跡を考えると、ある方向では焦点を結ばず平行光線のままとなり、それと直行する方向では焦点を結ぶ。このようなレンズを円柱レンズという。すなわち、正乱視の縦と横の曲率の差に合わせた円柱レンズを凸レンズや凹レンズの球面レンズと併せて用いることで正乱視は矯正可能なのだ。

#### 4) スティーブンス・ジョンソン症候群

皮膚に赤い斑点が出て、高熱と吐き気を生じ、目にも症状が現れ、失明することもある。結膜がただれ、涙腺が破壊され、涙が出なくなる。また、角膜がただれ、混濁し、眼球結膜と眼瞼結膜が癒着を起こす。考えただけでも恐ろしい事態、スティーブンス・ジョンソン症候群だ。これがどうして起こるか今もわかっていない。薬害が疑われるのが約半数、他は原因不明で、ウイルス感染などによって生じた何らかのアレルギー反応ではないかと考えられている。

ステロイドホルモン製剤の全身投与、血しょう交換療法で治療する。しかし、後遺症を残すことが少なくない。炎症の結果、角膜は強く白濁し、光を通して網膜に像を結ぶことはなくなる。程度が軽く角膜の透明性が保たれたとしても、ひどい不正乱視が残る。眼球内は侵されないため、角膜移植をすると一時的に視覚が回復するが、涙の分泌が障害されているために移植角膜はすぐに再び白濁してしまう。角膜移植後に人工涙液の点眼を頻回に行うことで、なんとか視覚を維持することが試みられているが、患者にとってはそれも辛い日々だ。

## 5) 角膜潰瘍・角膜白斑

角膜上皮はとても再生力が強い。コンタクトレンズなどで傷ついても一晩眠れば大抵は修復される。角膜上皮の傷害のみの場合、医学的には角膜びらんと呼ばれる。しかし、常時角膜表面を傷つける原因がある場合などで、病巣がより深いところまで進展し、ボーマン膜を侵し、角膜実質に至る場合、これを角膜潰瘍かいようという。角膜潰瘍の原因は、外傷、細菌などの感染、自己免疫疾患などさまざまだ。

自己免疫疾患というのは、自分の体に本来備わっている自己防衛のしくみが、どういふわけか自分自身の組織を攻撃してしまうようになって生じる一連の疾患を指す。血液やリンパ液などの体液中には、白血球はっけつきゅうとよばれる細胞がある。血液をとって試験管に入れ、遠心分離器にかけると主に三つの層に分かれる。一番下が赤い赤血球せっけつきゅうの層で、一番上が液体の血しょうだ。その境目に薄い白い層ができる。ここに白血球が多数みられる。

白血球には、さまざまな種類があり、そのほとんどが体外から入ってきた敵をやっつけるためにはたらきを持っている。ある種の白血球は、細菌を食べる。ある種の白血球は、異物に対して攻撃するミサイルのような抗体を作る。またある種の白血球は、さまざまな化学物質を放出し、他の白血球が効率よくはたらくことができるようにする。白血球が自分自身の細胞を攻撃しないで、外敵にだけ反応するのは、自己じこと非自己ひじこを区別するしくみがあるからで、もしこのしくみが破綻すると自分の白血球が自分自身の体を攻撃することになる。これが自己免疫疾患のからくりだ。すなわち、角膜潰瘍を起こすような自己免疫疾患では、白血球の攻撃対象が角膜自体になってしまっている。

角膜潰瘍は治っても、角膜に白濁を残すことが少なくない。白濁が重症の場合、これを角膜白斑かくまくはくはんという。角膜白斑は、単に角膜がひどく白く濁っている状態を指す用語なので、その原因は問わない。生まれつき角膜が強く濁っている場合でも、外傷の痕でも、そう呼

ばれる状態はある。幼少時は何ともなくても、加齢に伴って次第に角膜が濁り、視力に影響を及ぼすものに角膜ジストロフィーがある。ジストロフィーというのは、生まれたときはほとんど問題がないのに成長と加齢に伴ってじわじわと出てくる病気で、大抵は特定の細胞内に余計なものが溜まっていて生じる。これが角膜で起こってくるのが角膜ジストロフィーだ。有名なジストロフィーに「筋ジストロフィー」があるが、これは筋肉に余計なものが徐々に溜まり、年齢とともに次第に動けなくなる病気だ。また、中途失明の原因として有名な「網膜色素変性症もうまくしきそへんせいしょう」は、別名「網膜ジストロフィー」だ。いずれもジストロフィーは徐々に進行し、そして特定の細胞がはたらかなくなる。全身にジストロフィーが生じればそれは老化であるといってもいいかもしれない。しかし、これが体の一部にそして通常の老化に比べて早く生じると疾患として認識されるのだ。

## 6) 水疱性角膜症

角膜が濁ってしまう疾患の中で、また別のしくみで生じるものに水疱性角膜症すいほうせいかくまくしょうがある。この疾患の原因は、角膜内皮細胞のはたらきにある。角膜内皮細胞は、前房に接する角膜の最も内側に存在する。角膜内皮細胞を顕微鏡で見ると正六角形の集合体で蜂の巣のようなきれいな構造で並んでいる。この角膜内皮細胞は、前房から酸素や栄養を角膜内に取り込み、角膜実質内に溜まっている水を前房側に汲み出すはたらきを持っている。生まれたときは十分な数の角膜内皮細胞があるが、加齢とともにこの数が減ってくる。角膜内皮細胞に及ぶ傷害が生じててもこの細胞は増殖することがないため、ただただ減っていくことになる。そして、ある数を下回るほどに減少すると角膜実質内の水を汲み出しきれなくなり、その結果、角膜は一気に白濁する。こうして生じるのが水疱性角膜症だ。

昔、トラホームなどの重症感染症になったような人や初期の技術の白内障手術を受けた

ような人には、角膜内皮細胞が相当数脱落している場合がある。このような人が年を取ると自然経過として角膜内皮細胞がさらに減少し、そのときは何もなかったのに急に角膜が濁るといことが生じる。この病態は、従来、角膜移植しかその対処法はないと考えられてきた。しかし、最近、角膜移植でも全層の角膜を移植するのではなく、角膜内皮だけを移植するという技術が発達し、とくに初期の水疱性角膜症は、みごとに回復させることができるようになった。

## 7) 白内障・先天白内障

白内障を辞書で引くと「そこひ」と出る。「そこひ」は『眼球内に障害があって物の見えなくなる病気。ひとみの色によって、白そこひ（白内障）・青そこひ（緑内障）・黒そこひ（黒内障）とよばれる。』で、これと対になる言葉に「うわひ」があり、こちらは『ひとみの上に曇りができて物が見えなくなる眼病』だ。つまり、昔、目の病気は表面的にわかる「うわひ」と中に何かがあって表面からはよくわからない「そこひ」に分けて考えられていた。

白そこひは、現代の医学用語では白色瞳孔だが、その瞳孔に見える白いものは、ほとんどが水晶体の白濁、つまり白内障だ。水晶体の主成分、クリスタリンは生涯作られるが、水晶体内は閉鎖空間のため、クリスタリンは周辺部から中央に向かって重なり合い、時間とともに硬くなっていく。その結果、水晶体の厚みは次第に増し、曲率半径は短くなる。また、弾力性もなくなる。クリスタリンがさらに重なり合うと透明性が維持できなくなって白濁する。しかし、若くしてこの病態が生じることもある。とくに生まれながらにして白内障が生じていると初期の視覚の発達に多大な影響を及ぼすことが知られている。白内障を合併しやすい全身の状態としては、アトピー性皮膚炎、糖尿病、眼外傷後、ステロイド製剤の長期投与後などを挙げることができる。老年期に至らない年齢層で白内障が見つ

かった場合、全身的な疾患が潜んでいないかを考慮しなければならない。

白内障の治療は手術だ。白濁した水晶体を取り除き、樹脂でできた人工水晶体を移植する。水晶体の大きさは直径が約1cmあるが、眼球にそれに相当する傷をつけると影響が大きく、昔は術後に長期間の安静を要し、これによって生じる乱視の強さはただならぬものであった。しかし、手術方法の進化とともに、術後安静期間は短く、乱視量は少なくなり、今や白内障手術は日帰り可能な「屈折矯正手術」の一つとして数えられるまでになった。

しかし、このように革命的な進化を遂げた白内障手術でもまだ解決できていない点が残されている。それは、水晶体が本来有する調節機能の再建だ。現時点で遠近両用の人工水晶体が開発されてはいるものの、その完成度は決して高くない。老視が進んだ高齢者の場合、この点はさほど問題にはならないが、若年者の白内障の場合、その代償として調節機能が失われることを認識しなければならない。これは、先天白内障に対する手術においてとくに大きな問題となっている。

先天白内障は、生まれながらにして白内障を有している場合で、弱視の原因になりやすい。程度によるが発見されれば早期に手術をすることが多い。しかし、現時点での白内障手術では調節機能が失われるため、ピントが合わないことによる弊害を踏まえて判断されることになる。原因は不明だが、他の先天異常や妊娠中の母体の風疹などの感染症による場合もある。術後の屈折矯正が視機能管理に極めて重要となるため、人工水晶体を入れた方がよいとする意見もあるが、人工水晶体の眼内異物としての成長に伴う弊害を危惧し、入れない方がよいとする意見もあり、現時点では眼科医の統一見解が得られていない。

## 8) 第一次硝子体過形成遺残

硝子体の疾患には、第一次硝子体過形成遺残がある。これは、眼球発生の異常の一つだ。胎児の水晶体が発生する頃に、視神経乳

頭から水晶体に向かって硝子体動脈<sup>しょうしだいどうみやく</sup>という血管が発生する。この血管の辺り一帯を第一<sup>だいいち</sup>次硝子体<sup>じしゅうしだい</sup>という。後にこの周囲に第二<sup>だいに</sup>次硝子体<sup>じしゅうしだい</sup>が発生し、これが生後の硝子体となる。第一次硝子体は出生前に消え、硝子体管<sup>しょうしだいかん</sup>と呼ばれる抜け殻だけになるのが通常だが、異常に増殖して眼内に留まることがある。こうなると水晶体と視神経乳頭<sup>しんけいじゆとう</sup>の間に白い柱ができてしまう。

第一次硝子体過形成遺残が前方で強く生じると水晶体自体にも大きく影響するため、眼球の光学系が侵されることになる。水晶体が大きくなって前方にせり出し、緑内障を起こすこともある。水晶体後面に白色の組織を作るため、白色瞳孔により発見されることもある。一方、後方に強く生じると網膜にひだを作ることがあり、これが視力に影響を及ぼす。

同様の網膜ひだを生じる疾患には未熟児<sup>みじゆくじ</sup>網膜症<sup>もうまくしょう</sup>や家族性滲出性硝子体網膜症<sup>かぞくせいしんしゅつせいしゅうしだいもうまくしょう</sup>、網膜異形成<sup>もうまくいけいせい</sup>（先天鎌状網膜剥離<sup>せんてんかまじょうもうまくはくり</sup>）など網膜血管や網膜自体の発生異常に起因するものがある。これらは第一次硝子体過形成遺残とは異なる病態であるが、合併して生じることがあり、見た目だけで厳密な区別をすることは難しい。

### 3. おわりに

眼球の光学系の異常は、そのほとんどが濁りと歪みだ。したがって、濁りを取り除き、その代替物で置き換えるというのがその主な対策ということになる。これにより透明性が復活する。しかし、これだけでは網膜上にきれいに焦点を結ぶまでには至らない。焦点を結ばせるためには、さらにレンズとしてのほたらきを精密に再建しないとイケない。最近、角膜表面をレーザーで整形し、光学系の屈折を矯正することができるようになった。これは、主に近視矯正手術に使用されているが、他の光学系の異常に対する対策としても重要なデバイスと考えられる。開発当初は、この方法の副作用として角膜混濁や水疱性角膜症が生じるのではないかと危惧されたが、

現時点ではほとんど問題になっていない。しかし、この技術をもってしても、すべてのタイプの屈折異常を矯正できるとはいいきれない。

目の光学系がある程度透明性さえ維持されていれば、手軽に焦点を結ばせる昔ながらの良い方法がある。それは、「針穴写真機<sup>はりあなしゃしんき</sup>」の原理を使う方法だ。眼前にピンホール（針穴）を置き、これを通してみると近くも遠くもどこにでもピントが合う。基礎光学の二つの法則のうち、レンズをどんどん小さくしていくと一番目の法則「レンズの光軸と平行に進んできた光は、そのレンズで屈折し焦点を通る」はどんどん無効になり、二番目の法則「レンズの中心を通る光は屈折しないで直進する」だけが残ることになり、極限的には「近くも遠くもどこにでもピントが合う」ことになる。しかし、これは嘘で、しっかりピントが合うためには、レンズ直径（ピンホールの直径）は0にしなければならない。これでは、光は通らず見えるわけがない。そして、それに近い状態であっても得られる像は暗く、視野は狭い。この二律背反の関係があるため、これまでピンホールを使った屈折矯正は日の目を見ることはなかった。

しかしここに、映像技術の進歩が加わり情勢が変わってきている。カメラの小型化の技術革新の中で、レンズ系は0.8mmのピンホールで代用されるようになった。これでは像が暗くなるが、その暗い像でも鮮明に受像できる高感度CCDが開発され、十分な映像を得ることができるようになった。逆に、眼前にピンホールを置き、その前に高輝度の液晶モニターを置いてこれを見れば、それなりの明るさでこれを見ることができる。そして、ピンホールの精度をさらに上げ、暗くなることの弱点を補うために登場したのがマックスウェル視光学系ということになる。「電子めがね」の発想はここから生まれ、もうすぐ手に入るまでになっている。

デジタルデバイスを用いて、ロービジョンエイドを作ろうとすると、つい拡大機能を主

題にしてしまいがちだ。今時は携帯電話についているデジタルカメラでさえズーム機能がついていることからわかるように、デジタルカメラのズーム機能は極めて容易な技術だと認識されているからだろう。もちろん、これは重要なオプションとして備えていてほしいが、拡大用のエイドは他にもある。他のロービジョンエイドには見られない「電子めがね」の最大の強みは、本稿で述べた光学系の異常に対する万能矯正器具としてのほたらきだ。そして、常用するためには、倍率は1倍を基調とし、軽く、見た目が自然なものというのが、今後の「電子めがね」に求められる点なのではないか。

最近、筆者は南米コロンビアの視覚障害者支援の国家プロジェクトに関わった。コロンビアは、美しい自然と豊富な資源に恵まれているにもかかわらず、現在も内戦状態にある貧富の差が著しい国だ。その遠隔テレビ会議において、先方から「もっとお金をかけないで手に入るロービジョンエイドはないのか」と聞かれた。筆者は、そのときに手元にあったコーヒーの紙コップについていた蓋をとって目に当てて見せた。その蓋には空気穴として直径が1mmくらいのピンホールが開いていた。見ようとする物が見えない場合、大きくすれば見える。大きくするには目に近づけれ

ばいい。しかし、目に近づけるとピントが合わなくなる。筆者のように老眼が進んでいるとこれはなおさらのことだ。そこで、登場するのがピンホールだ。筆者の場合、眼前3cmでもピントがある程度合った。これは30cmで見たときの10倍の大きさに見えたことと同等だ。10倍の手持ち拡大鏡がなくてもピンホールがあれば、3cmで見ることで同等の拡大が得られる。これは安い。しかし、通訳付きテレビ会議でこれを伝えるのは困難だった。テレビモニターに映しだされた地球の裏側の人々は皆一様に狐につままれたような表情であった。

### 謝辞

本稿を執筆するにあたり、白木邦彦先生にご校閲賜りました。ありがとうございます。昨年、白木先生は、志水先生とともに筆者の職場をご訪問下さり、電子めがねの説明をしてくださいました。筆者は、以前よりその原理と可能性について感銘を受けていましたが、直接お話をお聞きして、開発した器機を製品化して販売するということの困難さをあらためて感じました。この場をお借りして先生方のご努力に敬意を表するとともに、電子めがねの普及を祈念します。