

## 視 覚 の 話

### 3. 視覚のしくみ－光学系・情報処理系・制御系－

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

井上達二は、東京のお茶の水にある井上眼科病院の第7代目院長だ。彼は、東京大学医学部眼科を創設した井上達也の次男で、1906年に日露戦争の傷痍軍人の調査を行った。その頃、旧式の銃で頭部を打たれると頭蓋骨が砕け即死だった。しかし、当時の新型ロシア式銃 (Mosin-Nagant Model 91) は、銃弾が小さく、速度が速かったため、この銃で撃たれた者の中には、頭部を銃創が貫通しているものの命を取り留める者がいた。その中に、視野障害のある患者がいて、これが井上の目に留まった。

古来、医学は哲学であり、哲学的推論をもとに理論が構築されていた。視野の中心を司る脳の部位は、当然、脳の中に近いところにあると当たり前のように考えられていた。その時代に、井上は銃創が後頭部後端をかすめると視野の中心が障害されることに気がついた。深く当たった場合は、周辺視野がやられ、中心はむしろ保たれた。彼は、このことを世界で初めて論文にした。しかし、他の西洋の大学者の論文の陰になり、彼の論文は注目を集めるには至らなかった。

80年の歳月が流れ、脳科学の進歩とともに彼の偉大な業績は再発見された。1988年のサイエンティフィックアメリカン誌にその業績が紹介されたのだ<sup>1)</sup>。そして現在、生きている人の脳と網膜との対応関係を機能的MRIという方法で可視化できる時代となり、この井上の洞察が正しかったことは明白になった。

今回は、視覚の成立に関わる3つのシステ

ムについて解説する。第一は、目で光を受けるときのカメラの役目である「**光学系**」だ。角膜、前房、水晶体、硝子体そして眼球自体がその主な構成要素で、これに涙の膜、涙膜と瞼を加える。第二は、網膜に映った像を脳が見えるようにする「**情報処理系**」だ。網膜にはたくさんの種類の神経細胞が詰まっている。そして、神経節細胞という大きな神経細胞が長い足を伸ばし、それが集まって視神経となる。これが脳に向かって走り、脳の中にある別の神経細胞に繋がり、複雑なネットワークを構築する。そして、そこにさらに関わる第三のシステムが「**制御系**」だ。制御系は、見たいもののある方向に目を向け、見ている映像の明るさやピントを調節する。これらができて初めて目はものをしっかりと見ることができるようになる。

#### 2. 光学系

目で光を受けるときのカメラの役目をするのが「**光学系**」だ。**角膜、前房、水晶体、硝子体**そして**眼球自体**が主な要素で、これに**涙膜**と**瞼**を加える。瞼は、医学用語では**眼瞼**という。光は目の外からやって来て、最初に涙膜を通る。涙は水分だから表面はとても滑らかだ。そして、水槽に光が差し込んだときに起きるのと同じような光の**屈折**が生じる。空気中から水中に光が差し込むとこのような大胆な屈折が起きる。これは、空気と水とでは物質のもつ性質の一つ、**屈折率**が大きく違うために生じる。屈折率は、物質の中を光が通るときの速度によって決まる。光の速度は、

どのような物質の中を通るかで微妙に変わる。真空中での光速をその物質中での光速で割った値が屈折率だ。気温が0度で1気圧のときの空気の屈折率は1.000292で、気温が20度のときの水の屈折率は1.3334だ。隣り合って境界面を作る二つの物質の屈折率の差が大きければ大きい程、光はその境界面で大きく曲がる。

涙膜に入った光はそのまま角膜に入る。涙膜と角膜の間でも境界面があるので僅かな屈折が起きるが、涙膜(1.33)と角膜(1.37)の屈折率はほとんど同じなので、そこで起きる屈折はほんの僅かだ。そして、角膜を抜けるとき光には再び屈折のチャンスが訪れる。そこは**房水**という液体で満たされた前房という空間だ。しかし、ここでも角膜と房水の屈折率はあまり変わらず、その境界面での屈折はほとんど生じない。そして、光は前房を抜けて水晶体表面に達する。水晶体は英語でレンズと呼ばれる、まさにきれいな凸レンズの形をした部分だ。水晶体の屈折率は1.43と比較的大きいので、この前後がほとんど水に近い物質なのにもかかわらず、光は水晶体表面で屈折する。しかし、その程度は、空気と接する涙膜の表面ほど大きくはなく、その3分の1くらいだ。そして、この涙膜表面と水晶体前・後面で屈折した光は、透明な硝子体を通して網膜という目のフィルム上に焦点を結ぶ。こうして、私たちの目の奥にあるスクリーンに見ているものの映像が投影される。

眼球自体をこの仲間に入れたのはどうしてか。眼球が前後に短かったり長かったりすると焦点がうまく合わなくなる。眼球が前後に長過ぎると焦点はスクリーンに届かない。しかし、このような眼を持った人が目の近くにあるものを見ようとすると焦点は後方へ延び、スクリーン上にきれいな映像を結ぶ。これが**近視**だ。一般的には近眼というが、医学用語では近視だ。このように、くっきりとした映像を得るためには、レンズの曲率だけではなくスクリーンまでの距離が重要な要素になっている。この眼球自体を作っている主な部

分(白いところ)を**強膜**という。

眼瞼は、光の入り口を開閉するとともに涙を生成し、角膜を保護する。眼瞼をつまむとコリコリした軟骨のような部分があることがわかる。**瞼板**だ。ここに**マイボーム腺**という涙の油分を分泌する**涙腺**の一つが埋まっている。瞼の縁には**睫毛**、つまり、まつ毛が生えていて、眼の中に汗やゴミが入るのを防いでいる。眼瞼の裏はツルツルで、この表面にある粘膜は、**眼瞼結膜**といって薄い透明な膜だ。これが奥の方で反転して**眼球結膜**と繋がる。眼球結膜は、いわゆる白目の表面にある粘膜だ。これらの結膜には、小さな涙腺が多数あり、粘液をジワジワと分泌する。これらの涙腺は、マイボーム腺とともに**副涙腺**と呼ばれ、泣いたときなどに出るいわゆる涙を分泌する**主涙腺**とは別の涙の源泉になっている。

涙膜は、表面から**油層**、**水層**、**粘液層**の三層構造を持つ。角膜は、起きた状態だとほぼ鉛直に切り立っている。ここに液体の涙膜が存在し続けるのには無理がある。これに一役かっているのが粘液で、水分を角膜にくっつけるはたらきを持つ。そして、水分の乾燥を防いでいるのが最表面の油層だ。年をとると副涙腺からの粘液分泌が減り、涙膜の水分保持が困難になり、乾きやすくなる。

角膜は、表面から**角膜上皮**、**ボーマン膜**、**角膜実質**、**デスメ膜**、**角膜内皮**の5層構造を持つ。角膜上皮は、細胞が多数重なってできている。とても再生力がつよい。ボーマン膜とデスメ膜は、細胞ではなく**コラーゲン**を主成分とする。角膜実質は、規則正しく並んだコラーゲン線維で、この中の水分が過剰になると光が散乱し白く濁る。この水分を房水中にかき出すのが角膜内皮だ。角膜内皮は、一層に規則正しく並び、その細胞密度は、生まれたときが約4000個/mm<sup>2</sup>と最多で、年とともに数が減少し、成人では約2500個/mm<sup>2</sup>くらいになる。これが500個/mm<sup>2</sup>以下になると角膜実質の水分を十分にくみ出すことができなくなり角膜の透明性が失われる。

前房は、房水で満たされている。房水の成分は、髄液とほぼ同じだ。これは、眼が脳から発生することを思い出すと理解できる。房水は、毛様体にある色素のない細胞で作られ、**後房**（毛様体と水晶体の間の空間）に分泌される。このほとんどは、瞳孔をすり抜けて前房に入り、**前房隅角の線維柱帯**から吸収され、前房を出て行く。前房隅角は、角膜と虹彩がなす角で、前房の隅にあたる部位のことだ。ここにスポンジ状の多数の穴のあいた構造をもつ線維柱帯があり、房水はそこで吸収される。吸収された房水は**シュレム管**という管を介して静脈の中へ吸収される。眼内にはこのような房水の循環があり、この出入りのバランスにより、眼内の房水圧すなわち**眼圧**が調節されている。

水晶体は、**クリスタリン**という蛋白質を30%も含み、屈折率が高い。発生の段階で、脳から伸びてきた網膜の基になる**眼杯**の接触する皮膚が刺激を受けて水晶体に変化する。妊娠3ヶ月以降は硝子体側からの血管で栄養されるが、この血液供給ルートは、妊娠7ヶ月で消失する。生下時には、水晶体の後ろに血管はなく、硝子体の中にその名残りとなる**硝子体管**を残すのみとなる。クリスタリンは生涯作られる。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。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。

硝子体は、99%が水分のゼリー状のコラーゲン線維だ。かつては、単に眼球内を埋めているものとしてしか認識されていなかったが、近年、その構造がわかり、眼球の発生や眼病の発症に大きく関わるということが知られるようになった。硝子体が周囲に癒着している部分が3カ所ある。網膜の最周辺、**視神経乳頭**周囲、そして**黄斑部**だ。視神経乳頭は、**神経節細胞**の軸索が集まって視神経となって眼内から出て行く部分のことだ。また、黄斑部は、

網膜の中心部分で視線方向からの映像が映るところだ。若いうちは、硝子体が内側から網膜を支えているが、年とともに硝子体自体がやせてきて、この3カ所で網膜を引っ張るようになる。また、硝子体内部の後ろのあたりが年とともに液化して、**硝子体ポケット**とよばれる液胞になる。これらの構造上の問題がいろいろな病気の原因になっている。

さらに細かく見ると、網膜も実は光学系の一部だ。それは、光を感じる視細胞が、網膜の中でも深いところにあり、双極細胞や神経節細胞などを通過して光があたるので、これらの部分に出血などのトラブルがあると視細胞に光が届かなくなるからだ。

### 3. 情報処理系

情報処理系は、網膜から脳までの莫大な数の神経細胞からなる。網膜にある光を感じる神経細胞は、**視細胞の杆体と錐体**の2種だけだ。とつい最近まで信じられていた。しかし、ここへきて、その「常識」が覆された。神経節細胞のうち数%を占める**メラノプシン含有神経節細胞**という特殊な細胞が光を感じることが示されたのだ。したがって、今はこれらの3種の光感受性細胞があるというのが正しい。杆体は、一つの目に約1億ある。その網膜上の分布は均質ではなく、黄斑部には少なく、周辺の20度くらいで多く、さらに周辺にいくとまた密度は減る。とくに中心窩と呼ばれる黄斑部の中心にあるくぼみには全くない。一方、錐体は、一つの目に約500万ある。これは、中心窩に密集し、周辺へいくほど少なくなる。杆体は、細胞内器官が豊富に存在する**内節**と**視物質**の**ロドプシン**を無数に蓄える**外節**をもつ。錐体も同様の構造を持っているが、外節の形が、杆体の円柱状とは異なり、円錐状をしている。この形状が、両者の名称の由来になっている。

錐体には光の波長感受性が異なる3つの視物質がある。短波長(420nm)にその吸収のピークをもつ**S オプシン**、中波長(534nm)の**M オプシン**、長波長(564nm)の**L オプ**



シンだ。S, M, Lは洋服のサイズ表記と同じだが, small, middle, largeではなく, short, middle, longの略だ。これらのうちのどれか一つが一つの錐体の中に集まっている。したがって, その視物質の種類により, 錐体は, S錐体, M錐体, L錐体と分類される。

メラノプシン含有神経節細胞は, その名の通りメラノプシンという視物質を持つ。メラノプシンは, ホヤの仲間ナメクジウオの眼の視物質として知られていた。それが, ヒトの眼にあることが2002年にわかった。その後, メラノプシン含有神経節細胞のはたらきが調べられ, 日内リズムや瞳孔反応に関係していることがわかった。メラノプシンで感受性の高い波長は485nmあたりと推定されていて, 薄明時の空の色がこれにあたる。最近の研究では, 羞明との関係も疑われている。

じつは, ヒトの体にはもう一つ, エンセファロプシンという視物質しょうかたいが松果体にある。松果体は, 大脳を中心辺りにある, まさに日内リズムを調整するホルモンを作るところで, メラノプシン含有神経節細胞が繋がっている。下等な生物では, 松果体が体表近くにあったが, 大脳の発達に伴って脳の奥深くに位置を変え, ヒトでは光を直接受けることがなくなったのだ。

さて, 杆体と錐体に話を戻そう。これらの視細胞は, 整然と並んでまるでデジタルカメラの光電素子のように光を「電気」に換えている。各種オプシタンパクは, 光子が1粒当たただけでその立体構造を変えたとんでもない光感受性を持っている。この形が変化するとオプシンは酵素のはたらきを持つようになり, 視細胞内の休んでいた別の多数の酵素の目を覚ます。そして, その酵素は, また別の多数の酵素の目を覚ます。こうして, 一つのオプシンの変化をスタートとして無数の酵素が一斉に目を覚ますことになり, 大きな化学反応が一気に引き起こされる。その結果, 視細胞の内と外の間のイオンの分布が変わり, 細胞膜を境にして電位差を持つことに

なる。この電位差が神経信号として次の神経細胞に伝えられる。網膜のほとんどの部位では, いくつかの視細胞が一つの双極細胞に繋がわり, いくつかの双極細胞が一つの神経節細胞に繋がる。その間に, 水平方向に情報を伝達する神経細胞が加わり, 網膜の中に神経回路網が形成される。これらは, ちょっとしたコンピュータの働きをしている。そして, 眼内にある100万個の神経節細胞は, それぞれ1本の長い足を伸ばし, これが集まって視神経になる。

ヒトの神経節細胞は, 20種類以上に分類される。これには小さいのも大きいのもあり, はたらきも様々だ。それらのうち, 比較的よくわかっているものとして, 以下の5つのグループがある。1) ミゼット細胞, 2) パラソル細胞, 3) 小型二層性神経節細胞, 4) メラノプシン含有神経節細胞, 5) 上丘へ直接投射する神経節細胞じょうきゅうの5つだ。ミゼット細胞は, 小型の細胞で, 錐体からの情報を受け, 形や色の情報処理の元データを集める働きをもつと考えられている。パラソル細胞は, 大型で広い範囲の視細胞からの情報を受け, 位置・速度・加速度の情報処理の元データを集める働きをもつと考えられている。小型二層性神経節細胞は, S錐体からの情報を主に受け, 色の情報処理に関与することが考えられているが, その詳細は不明だ。メラノプシン含有神経節細胞は, 前述のように日内リズムや瞳孔反応に関与する情報を集めている非常に大型の神経節細胞だ。5番目の上丘へ直接投射する神経節細胞は, 眼球運動に関わるもので, 系統発生的に古いものだ。他の神経節細胞が網膜から外側膝状体がいそくしつじょうたいに線維を伸ばしているのに対して, このグループの神経節細胞は, 外側膝状体ではなく, 中脳の背側にある上丘という組織に直接繋がっている。

網膜内のコンピュータで処理された情報は, デジタルカメラの光電素子から記憶ディスクに蓄えられるものとはかなり異なる。デジタルカメラでは, 単に赤, 緑, 青の強さ情報が整然と並んでいるだけであるが, 網膜ではそ

れぞれの神経節細胞の得意とする情報に特化される。あるミゼット細胞は「赤緑チャンネル」と呼ばれ、赤成分と緑成分の比をその活動電位の頻度に載せて出力する。また、あるものは運動を知覚するために特化した情報を専門的に扱っている。前述したメラノプシン含有神経節細胞もまたしかりだ。杆体は1億、錐体は500万あったが、視神経は100万本しかない。デジタルカメラも撮った画像は、元データは何十メガバイトにもなっていて、これを携帯電話で送ろうとするととても時間がかかる。そこで、画像圧縮という技術を用いて、ほぼ同じ画像に再生できるような軽い情報に組み直して送信する。網膜での情報処理は、まさにこの画像圧縮だ。その加工された情報が視神経の中を伝わっているのだ。

神経節細胞の足が眼底で集合しているところが視神経の始まりだ。これは、眼底検査で丸い白っぽい組織、すなわち視神経乳頭として見る事ができる。その元になる神経節細胞のある位置とその足が通る視神経乳頭の内部の位置には対応関係がある。黄斑部の神経節細胞の足は視神経乳頭の耳側から中央を通る。視神経乳頭に近いところにある神経節細胞の足は視神経乳頭の中央付近を、視神経乳頭から遠いところにある神経節細胞の足は視神経乳頭の周辺付近を通る。

視神経は、左右の眼の後ろから脳を目指して走る。途中、頭部のほぼ中央でX字型に左右の視神経が交叉する。この部分を視交叉という。視交叉では、神経線維が特殊な通り方をする。鼻側網膜由来の視神経だけが交叉し、耳側網膜由来のものは交叉しない。すなわち、ここで左右の目の右側網膜由来の視神経は右側へ、左側網膜由来の視神経は左側へと分かれている。したがって、視交叉以降はその情報内容が変わり、名称も視神経から視索に変わる。そして、両側の視索は、間脳の後端下部の外側膝状体と呼ばれる神経核（神経細胞の集まり）に繋がる。

左右の外側膝状体では、両眼の左右網膜の情報それぞれ伝達され、左右眼の情報はそ

れぞれ別々の層に入る。ここでは、神経を乗り換え、脳の奥へと進むために準備される。眠気や疲れは、ここで信号を減弱する。外側膝状体から出た神経は、脳内の側脳室という髄液が溜まっている部屋の外側の壁となって大脳の白質として後ろへ進み、後頭部にある後頭葉の鳥距溝というしわの周りにある灰白質に到達する。これは、大脳の最も後ろに当たる部分にある。

外側膝状体からの線維がたどりつく鳥距溝周囲の部分の灰白質を一次視覚野とかV1と呼ぶ。ここでは網膜部位との対応関係があり、網膜の上側からの線維は鳥距溝の上側に、網膜の下側からの線維は鳥距溝の下側に繋がる。そして、網膜の黄斑部からの線維は、V1の後ろの方に、周辺網膜からの線維はV1の前の方に繋がる。この事実を発見したのが、井上達二だ。

V1は、他の大脳の部位と同様に6層構造をもつ。脳の表面から第1層、第2層と名付けられ、第6層までである。第1層の神経細胞は、ご近所付き合いが得意だ。周辺と手を繋ぎ合っている。第2層と第3層の神経細胞は出力係だ。大脳の他の遠いところへ足を伸ばす。第4層の神経細胞は、受付係だ。他の遠い所の神経細胞の足がここにたどりついている。第5層と第6層の神経細胞は、覚醒や命に直接関わっている脳幹部と呼ばれるより古い脳部位と繋がっている。

外側膝状体からの足はV1の第4層に入る。そして、V1の縦構造の中での情報処理が行われ、第2層と第3層から次のV2やV3などに向かって足を伸ばしている。現在、それぞれが別々の網膜部位対応をもつ領域として10数個の独立した高次の視覚野が見つかっている。それぞれの視覚野では、それぞれに特徴的な情報処理が同時に行われ、これらが再びV1へ戻る。V1は、目からの情報を振り分け、そしてそれを統合するはたらきをもっているのかもしれない。高次の視覚野のはたらきについてはまだわからないことが多く、ともかくこれらが全体としてうまく働いて私た

ちの視覚が作り上げられている。

#### 4. 制御系

制御系は、まず、見たいもののある方向に目を向ける。また、見ている映像が明るすぎる場合や暗すぎる場合、それを調整する。そして、ピントを合わせる。

目を向けるために必要なものは、眼の周りについている筋肉だ。目には、6本の筋肉が付いている。目を外に向けるのが**外直筋**、内に向けるのが**内直筋**だ。他の4本は、ちょっとややこしい。目が内側に向いているときと外側に向いているときにはたらしきが違う。いずれにしても上下に動かすのと目を視軸にそって回転させるはたらしきがある。視軸にそって目が回転することを**回旋**という。目の上側に**上直筋**と**上斜筋**が、目の下側に**下直筋**と**下斜筋**がある。

脳幹部の**中脳**、**橋**、**延髄**には、目を動かすための**神経核**がある。そこからは、**動眼神経**、**滑車神経**、**外転神経**が出て、これらが6本の筋肉に行き、動かしている。右眼を右に動かすには右の外直筋をはたらかさないといけないが、このとき左眼では外直筋はむしろ緩ませ、内直筋をはたらかさないといけない。頭を左右に倒すと視軸に対して像が回転する。このようなとき、眼球は反対方向に回旋する。そして、目を上へ向けたり斜めに向けたりすると大変複雑な情報処理が必要になる。

眼球運動は、その神経回路から考えて大きく4つに分けて考えることができる。第1は、視線を変える運動だ。これは、とても速い動きだ。視野の周辺的目標物に対して、それを中心窩でとらえる。これを**衝動性眼球運動**という。第2に、動いているものに合わせて視線を追従する目の動きがある。中心窩をある対象物にロックするはたらしきだ。映画「スターウォーズ」の戦闘シーンで、戦闘機に乗った主人公がミサイルを撃つとき、モニターに映った敵艦の映像に照準を合わせロックする。あれだ。これを**滑動性追従眼球運動**と

いう。これら二つの動きに大事なものは中心窩のはたらしきだ。それに対して第3の眼球運動は**周辺網膜**が重要なはたらしきをもつ。**鉄道眼振**だ。電車に乗って窓から外を見ている人の目は左右にカタカタ揺れている。何かを見ているわけでもなくても反射的に揺れる。これは、周辺網膜からの映像を頼りに目が勝手に動いて網膜像を静止させようとする反射だ。医学的には**視運動性眼振**という。ゆっくりとした動きに対してこの反射が生じ、ある範囲以上は動かないので、そこで目を速い動きで戻す。この繰返しが眼振として観察される。そして、第4の眼球運動は、この視運動性眼振とともに網膜像を安定化させるしくみで、**前庭眼反射**という。ある場所をじっと見て、その状態で頭や体を振っても、眼球がその動きとは正反対の方向へ動いてくれて網膜像はさほど揺れない。これは、首や耳の中にある姿勢を判定する神経系からの入力を眼球運動中枢が受けて自動的に補正をかけることから起きる。

衝動性眼球運動では意識的に目を動かすことができるのに対し、他の3つの眼球運動は反射的に生じていると言われる。しかし、衝動性眼球運動も、そのほとんどは意識的ではない。本を読んでいるときの眼の動きを観察すると、本人は滑らかに字面を追っているようでも目はカタカタと動いている。衝動性眼球運動で視線を跳躍的に替えながら読んでいるのだ。このとき、次にどこの文字に目を動かそうかなどとは思ってもいない。これら4つの眼球運動のうちの3つは、視覚の入力と切り離すことができない。どうもこの眼球運動のもとになっている視覚情報が、外側膝状体を通る視覚経路だけではなく、直接、上丘に繋がる経路によって仕組みられているはずなのだが、この詳細がほとんどわかっていない。

さて、次に明るさの調節について述べる。私たちの視覚には、3種の明るさ調節機構がある。一つは瞳孔での調節だ。虹彩には**瞳孔散大筋**と**瞳孔括約筋**という二つの直行する筋肉があり、これらが相互にはたらい、そのバランスにより瞳孔を大きくしたり、小さく



したりする。瞳孔が大きくなるのを散瞳さんどうとい  
い、小さくなるのを縮瞳しゆくどうという。目に光を  
入れると縮瞳する。対光反射たいこうはんしゃだ。近くを見て  
も縮瞳する。これを近見反射きんけんはんしゃという。また、  
目をぎゅっと閉じると瞼の中でこれまた縮瞳  
する。眠いと縮瞳する。一方、暗がりに入  
ると散瞳する。気合いが入ると散瞳する。恐ろ  
しいと散瞳する。怒ると散瞳する。若いと散  
瞳傾向にあり、年を取っていると縮瞳傾向  
にある。このように、瞳孔の大きさというも  
のは光の量ばかりによらず、大きくなったり  
小さくなったりする。これは、散瞳には交感  
神経こうかんしんけいが、縮瞳には副交感神経ふくこうかんしんけいが作用している  
からだ。これらの自律神経じりつしんけいは、様々な状況に  
合わせて勝手にはたらいて身体の恒常性を保  
っている。

通常の瞳孔径は約2mmから8mmだ。面積  
でも16倍の違いしかない。それに対して環境  
光は、星明かりが $10^{-4}$ cd/m<sup>2</sup>、直射日光下の  
白い色が $10^4$ cd/m<sup>2</sup>とその比は10の8乗だ。  
この違いがあっても私たちの視覚は、うまく  
ものを見分けることができる。したがって、  
瞳孔での調節だけで明るさの調節が完結でき  
ているはずはない。二つ目の明るさ調節のし  
くみは網膜にある。杆体と錐体のはたらきだ。  
杆体は暗いところではたらき、錐体は明るい  
ところではたらく。そのため、環境によって  
役割分担ができる。しかし、これをもってし  
ても10の8乗の幅広い変動にスムーズに対応  
することは困難だ。最後の砦が脳にある。  
あるはずだ。残念ながらこのことはよくわか  
っていない。しかし、筆者らはそのしっぽを  
掴んだ。両側後頭葉の下側に脳梗塞のある患  
者は眩しがらないのだ。

焦点調節にも筋肉が関わっている。虹彩の  
裏面と地続きの毛様体にある毛様体筋もうようたいきんだ。毛  
様体にはチン小帯ちんしょうたいとよばれる線維が多数付  
いていて、これが水晶体の周辺に付いている。  
毛様体は、水晶体をぐるっと取り囲むように  
あり、均等に力がはたらくようにして水晶体  
を引っ張っている。そのため、水晶体は円盤  
状に引き延ばされてレンズ状の形状が保たれ

る。毛様体の輪状筋が収縮するとこの内径が  
減る。すると水晶体を引く力が緩む。水晶体  
は弾力に富んだ組織なので、周辺に引く力が  
減れば、自らの弾力性で膨らみ、その結果、  
焦点距離が短くなり、目に近いところにある  
ものの焦点が網膜上に結ばれる。力を抜いて  
水晶体を引く力を戻せば逆に遠くが見えるこ  
とになる。

この焦点調節のことを眼科用語では調節ちようせつ  
という。単に調節というと眼科では焦点調節  
のことで、眼の位置や明るさの調節のことで  
はない。調節は、見ているものの距離に応じ  
て自動的に行われている。しかし、このしく  
みは、赤外線センサーのようなものではなく、  
視覚映像の解析による。調節との間の相互作用  
でボケを最小にするようなくみが存在し  
ているはずだ。

## 5. おわりに

光学系に異常があると全体的にぼやけた  
映像が得られ視力が低下する。これと同時  
に「なに」経路のはたらきが悪くなり、目の  
前にあるものが何であるかがわからなくなる。  
情報処理系では、その障害部位により様々な  
異常が現れるが、とくに光学系とは異なる異  
常としては周辺視野が侵される場合で、この  
場合は「どこ」経路がうまくはたらかなくなり、  
目の前にあるものがどこにあるのか、自  
分がどこにいるのかが把握しづらくなる。

その一方で、制御系の障害は、視力と視野  
という物差しでは表現しづらい困難を患者に  
与えることが多いため、教育だけでなく医療や  
福祉の現場でも、これまであまり注目されて  
こなかった。そしてさらに、研究面でも入力  
と出力の両面があるにも関わらず、出力の面  
だけが研究対象となっていて、その入力面の  
知見があまりにも少なすぎる。視覚障害を有  
する人たちを支援するにあたり、低い視力、  
狭い視野への対応だけでない、より幅広い視  
点からの方策を練らなければならない。

井上達二の先見性は、何も神懸かり的な  
ものではない。しかし、今で言う、EBM

(evidence based medicine, 科学データに基づいた医学)をその時代に行ったことは特筆すべきことだ。客観的に捉えた現実の中にこそ真実を見いだす手がかりがある。理念、あるいは既知の概念に囚われすぎると真実が見えなくなる。「視力、視野がいいのにどうしてこの患者は、こんなに見えないと訴えるのだろう。」、逆に「視野がこんなに狭いのにどうしてこの患者はこんなに身動きがいいのだろう。」、「そうだ。検査のときに嘘をついているに違いない。」と思うことは、眼科臨床を長くやっていると一度や二度のことではない。これは、もしかしたら視力や視野という

既知の概念に囚われてしまった結果かもしれない。真実を見つけるために、現実の患者の状態をもっと深く観察し、科学データを多角的に評価し、それに基づいて客観的に判断する。医学は、哲学的考察を伴うものだが、決して言い伝えに基づく迷信であってはならない。

#### 参考文献

- 1) グリックスティン N. 視覚野の発見と井上達二の業績. サイエンス18, 9-19, 1988.