

盲点の内側に光を当てると瞳孔反射の量が増えることを発見  
～感知できないはずの光を感知する～

1. 発表者： 村上郁也（東京大学大学院人文社会系研究科基礎文化研究専攻心理学専門分野准教授）

2. 発表のポイント：

- ◆私たちの眼は光が当たると1秒弱遅れて瞳孔が縮小しますが、盲点（注1）の内側とそれ以外の網膜上に同時に光を当てると、この瞳孔反射の量が増強することを発見しました。
- ◆盲点に対応する網膜上の部位には光を感じる視細胞が存在しないため、盲点の内側に当たった光は知覚に一切のぼらないにもかかわらず、瞳孔反射の量に影響しました。
- ◆本研究のように盲点という網膜上の特異な場所を用いることによって、反射や概日リズムといった、網膜上の光照射を受け取って適応的な制御が生じる過程に関して、ますます研究の道筋が拓ける可能性が期待されます。

3. 発表概要：

東京大学大学院医学系研究科の宮本健太郎日本学術振興会特別研究員 PD と同大学院人文社会系研究科の村上郁也准教授は、健康な成人において盲点の内側に当たる光は知覚されないにもかかわらず、光が当たるか、当たらないかによって瞳孔反射の量に違いが生じることを発見しました。

私たちの眼の網膜には、光を感じる視細胞が約1億個あり、それらの細胞に光が当たるとその情報が脳に伝えられ、光を認識します。ところが、盲点に対応する網膜上の部位は、血管や視神経の通り道であるため視細胞が存在しません。したがって、盲点の内側に光が当たっても私たちにはそれが一切見えません。一方で、盲点を囲むドーナツ型の光が当たると、実際には盲点に光が当たっていても盲点の内側にも光が当たっているかのように感じます。

同様に眼に光が当たると、瞳孔では1秒弱遅れて瞳孔径が縮小する対光反射（注2）が起きます。対光反射は、当たった光の面積に応じた反応であることが知られています。これまで、当たっている光の面積と知覚される光の面積が異なる盲点と対光反射についてはその関係が明らかではありませんでした。

今回の発見では、視細胞のない盲点の内側だけに光を当てても対光反射はまったく起きない一方で、盲点に青色や白色などの短い波長を含む光を当てながら網膜の別の場所で光を同時に当てた場合に、対光反射の量が増強されることがわかりました。

このような一見相反するような結果は、光に対して感受性をもつ内因性光感受性網膜神経節細胞（注3）という種類の神経細胞の軸索が盲点を通過しており、この神経節細胞がそこで光を受容している可能性があることを示唆しています。

本研究のように盲点という網膜上の特異な場所を用いることによって、私たちが物を見る、認識する仕組みの理解が深まるとともに、反射や概日リズムといった、網膜上の光照射を受け取って適応的な制御が生じる過程に関して、ますます研究の道筋が拓ける可能性が期待されます。

#### 4. 発表内容：

私たちの眼の網膜には、光に感受性をもつ視細胞が約1億個あり、それらの細胞に光が当たると神経信号に変換されて脳に情報が伝えられ、物を視覚的に認識します。ところが、盲点に対応する網膜上の部位は、血管や視神経の通り道である視神経円板（注4）であるため、通常の網膜上にあるような視細胞が存在しません（左図参照）。したがって、盲点の内側に視覚刺激を提示しても、まったく意識にのぼりません。

一方、眼に光を照射すると、1秒未満の時間遅れで瞳孔径が縮小する対光反射が生じます。照射光の面積が大きいほど強い反射が生じます。今回、宮本PDと村上准教授は、盲点内側に存在するもしくは知覚する光の面積に応じて反射に違いが生じるかを探りました。

盲点を囲むドーナツ型の白色光を提示すると、知覚的充填という現象が起こり、白色の面が盲点内側にまで広がって知覚されます。このおかげで、盲点があるからといって視野上に穴が空いて見えることはありません。とすれば、盲点の内側に光が広がって知覚される場合、知覚される光の面積に応じて、対光反射が強まるのでしょうか。

本研究では、健常成人を対象に右眼のみに白色光を照射して瞳孔径の変化を測りました。まず、盲点の内側に限局して光を照射しても対光反射はまったく生じませんでした。次に、盲点を囲むドーナツ型の白色光を照射すると、盲点でない場所に同じドーナツ型で照射したときと同じ量の対光反射が生じました。このとき、知覚的には盲点の内側にも光が充填して感じられるため、知覚的な面積は物理的な面積の2倍ですが、知覚とは無関係に、対光反射はあくまで物理的な光面積に応じて生じます。ところが、盲点を囲むドーナツ型と盲点の内側に同時に白色光を照射すると、不思議なことに今度は、対光反射の量が2倍になりました。盲点でない場所にこれら両者を同時に照射したときには、一方を単独で提示したときに比べて2倍の反射が生じるのですが、それと同様の強い反射が生じました。

視細胞が存在しないのに、なぜ、盲点の内側の光の有無に応じて、対光反射の量が変化するのでしょうか。ドーナツ型単独の照射なのか、盲点内外の同時照射なのかは、知覚的にはまったく区別が付きません。それでも脳のどこかでは、両者の違いを知っていることになります。また、盲点を囲むドーナツ型をやめ、視野内のどこか別の場所に光を当て、それと同時に盲点の内側に光を当てると、盲点の内側に光を当てない場合に比べて、やはり対光反射が強まるという結果が得られました（右図参照）。したがって、盲点の内側に光が同時に照射されることによって、視野上の任意の場所に出された光に対する瞳孔反射が増強するという一般的な関係がわかります。さらに、白色光を赤色光や緑色光に変えると、これまで述べた反射の増強が消えてしまいますが、青色光に変えると同じ効果が生じます。ですから、この現象に関わるメカニズムは、波長の短い青色光に対して特に感度をもつといえます。もともとの白色光には、青色光に存在する波長成分も含まれているため、上記の白色光を用いた実験でも同様の効果が観察されたと示唆されます。

さらに、本研究により、盲点の内側のどの場所に光を照射するかが重要であることがわかりました。右眼盲点は右視野にあります。左視野の大きな領域に光を当てると、これに対して瞳孔反射が生じます。このとき、右眼盲点の内側のうち右半分は青色光を当てても効果がなく、左半分は青色光を同時に当てると、反射が増強しました。この結果は、左視野の光を受け取った神経メカニズムは、盲点の内側の左半分の光の有無に応じて、神経活動に影響を受けるのだと説明できます。

このような現象の背景になるメカニズムのひとつの可能性は、盲点の内側から光が跳ね返されて生じる眼内の光の散乱です。この散乱光が再び網膜上に落ちると、視細胞を用い

て光を受け取れます。しかしこの解釈では、盲点内側の光の有無が知覚的に区別できないことの説明が難しいし、盲点の内側の位置依存性も説明できません。

もうひとつの可能性が、内因性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC) の関与です。網膜神経回路の中には、視細胞からの信号を脳に伝える網膜神経節細胞という種類の細胞があります。それらの神経軸索は束になって視神経をなし、眼から脳へと視覚信号を出力します。こうした細胞のうち、メラノプシンという光感受性色素を含み、自分自身が光を受け取って神経信号に変換することのできる種類が近年発見されました。この ipRGC は、視細胞からの信号を受け取り、対光反射や概日リズムなど、眼内への照射光量に応じて適応的な反応を起こす経路へ連なる細胞として注目されています。ipRGC はメラノプシンを神経軸索にも発現しているため、理論的には、視神経円板への照射光によって神経活動に変化が起きる可能性が示唆されます。視細胞での光受容に始まる対光反射の神経経路のうち、網膜神経回路の中で主要な役割を果たす中継細胞が ipRGC であると考えられています。その細胞に直接光が照射されることにより信号強度が修飾されるという関係を浮き彫りにする重要な機会として、視神経円板への光照射がおよぼす影響を探ることが有用です。

睡眠・覚醒をつかさどる概日リズムを外からリセットする機能などをはじめ、知覚像を成立させるシステムとは別に、視覚入力を用いた適応的な制御をするシステムが私たちには備わっており、その機能を解明する重要性が、ipRGC の発見とともにますます強まっています。今後は、意識的・無意識的な視覚的判断に、盲点刺激が影響を与えうるかを調べ、脳内の多重の情報処理経路に関して理解を深めていく予定です。

## 5. 発表雑誌：

雑誌名：「Scientific Reports」 (オンライン版：6月26日)

論文タイトル：Pupillary light reflex to light inside the natural blind spot

著者：Kentaro Miyamoto & Ikuya Murakami\*

DOI 番号： 10.1038/srep11862

## 6. 用語解説：

### (注1) 盲点

ヒトの眼には、その構造上、視野の中で、光が当たってもそれを検出できない部位が存在する。その部位は盲点 (マリオット暗点) と呼ばれている。盲点は、視野角約 5~7 度の広い領域にわたっているが、盲点の存在が通常意識されることは少ない。盲点周辺の視野の情報によって盲点における視野欠損が補完される知覚的充填と呼ばれる現象が生じるためである。

### (注2) 対光反射

眼への光の入射に対し 1 秒未満の遅れで生じる、瞳孔径を小さくすることで網膜に届く光量を調整する瞳孔反射のことを対光反射という。対光反射の大きさ (縮瞳量) は眼へ入射する光量が大きいほど甚だしいことが知られている。

### (注3) 内因性光感受性網膜神経節細胞 (ipRGC)

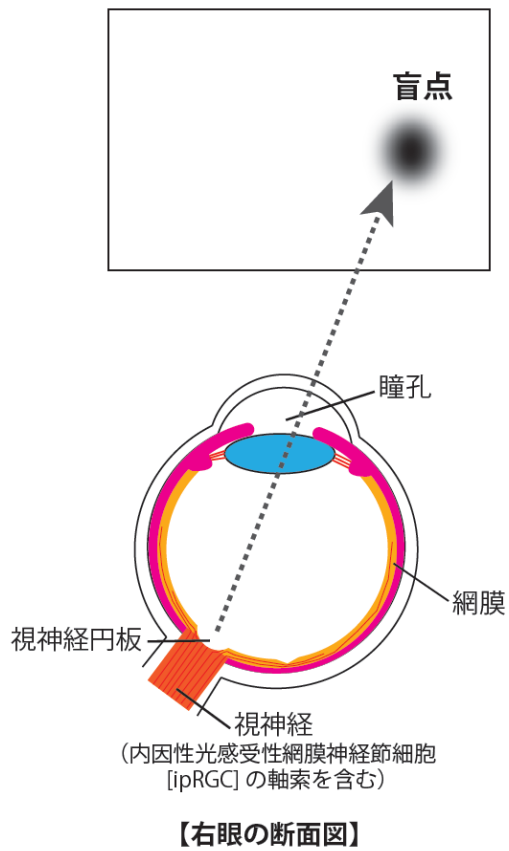
網膜神経節細胞とは、視細胞で受容した光情報を網膜内部の神経ネットワークで中継し、視神経を伸ばして眼から脳へと伝える役割をもつ神経細胞であり、ipRGC は、ヒトを含む哺乳類の網膜上にある、自ら光受容の機能をもつ網膜神経節細胞である。その存在は近年発見された。この ipRGC は、青色の短波長光に対する感受性をもつ光感受性色素メラノプシンを発現して

おり、時間の遅れはあるが単体でも光刺激に対して神経応答を示し、かつ、視細胞からも入力を受けている。ipRGCは瞳孔反射を司る神経回路において重要な役割を果たすと考えられているが、ipRGC自体の光応答性と視細胞からの入力がどのように相互作用し、瞳孔反射に貢献しているか、過去に解明されていない。

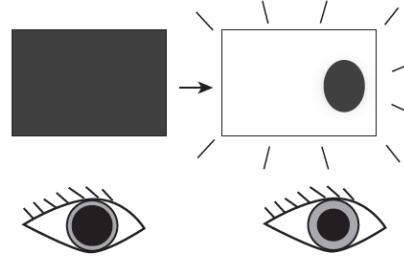
#### （注4）視神経円板

盲点に対応する眼内の網膜上の部分のことを視神経円板という。網膜にある網膜神経節細胞の神経軸索線維が集まり、網膜を貫いて眼球の外に出るこの領域には、意識的視覚に関わる視覚信号の入力段階である視細胞が存在しない。一方で、近年発見された光感受性色素メラノプシンは、内因性光感受性網膜神経節細胞（ipRGC）の神経軸索にも発現することが知られ、視神経線維束の出口である視神経円板上にも存在することが示唆される。

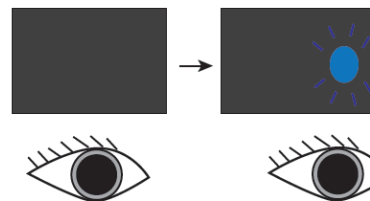
7. 添付資料：



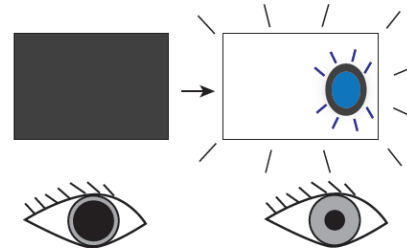
1) 背景光を明るくすると対光反射が生じる



2) 盲点に知覚されない青色光を当てても対光反射は生じない



3) 背景光を明るくするとともに、盲点に知覚されない青色光を当てると、対光反射量が増大する



図：盲点の外側と内側に光を当てた場合に見られる瞳孔の対光反射

左図：網膜と眼内の視神経円板の関係。

右図：実験結果の模式図。各パネルにおいて、白色光と青色光はそれぞれ、盲点の外側、内側に当てた光を表す。