

日経サイエンス

サメの 電子感覚



SCIENTIFIC
AMERICAN
日本版

2007
11

目の動きから心が見える

太陽光レーザーが 拓く新エネルギー



どこでも計算センター
多年生穀物で農業革新
山火事予測システム
人がいなくなった世界
黒人向け医薬の虚実

現代からくり拝見
次世代DVDを解剖

定価1400円

日経サイエンス

2007
11

2007年11月号(第11号) 発行 毎月1回(第11号) 1972年1月(第1号)創刊
第三七號第十二号 通巻四三五号 発行日経サイエンス社

発売 日本経済新聞出版

〒100-0001 東京都千代田区千代田1-1-1
電話 03-3281-3111

本誌の印刷は環境に配慮して行っています

眼球運動の不思議

目の動きから心が見える

かつて“神経系のけいれん”にすぎないと軽視されていた目の小さな動きが人間の視覚を支える重要な要素であることが明らかになってきた
このような目の動きには人の隠れた心が表れているらしい

S. マルチネス = コンデ / S. L. マクニック (パロー神経学研究所)

この文章を読んでいる時、あなたの目は左から右へと小刻みにジャンプし、視線は次々と文中の単語に向けられていく。また、だれかの顔をじっと見つめている時にも、あなたの視線は目や鼻、口など特徴的な部分に立ち止まりながら、いろいろな場所へ動いていく。このように日常生活での目の動きに注意してみると、本のページや人の顔、風景を見ている時に、目の筋肉がさかんに働いていることに気付く。

しかし、サッカードと呼ばれるこのような眼球運動は、目の筋肉が日々行っている激務のごく一部にすぎない。私たちの目は視線がある場所にとどまっているように見える時でも、例えば人の鼻を見つめたり水平線の上で揺れ

る帆船を眺めたりしている時も、決して動くのをやめない。起きている時間の80%は私たちの視線はどこかにとどまっているが、その間も目は常にジャンプしたり細かく揺れ動いたりしている。そしてこのような目の小さな動きが、見る能力に必要不可欠であることが明らかになってきた。何かを注視している時にこの目の小さな動きを止めてしまうと、静止したシーンは私たちの視界から消え去ってしまう。

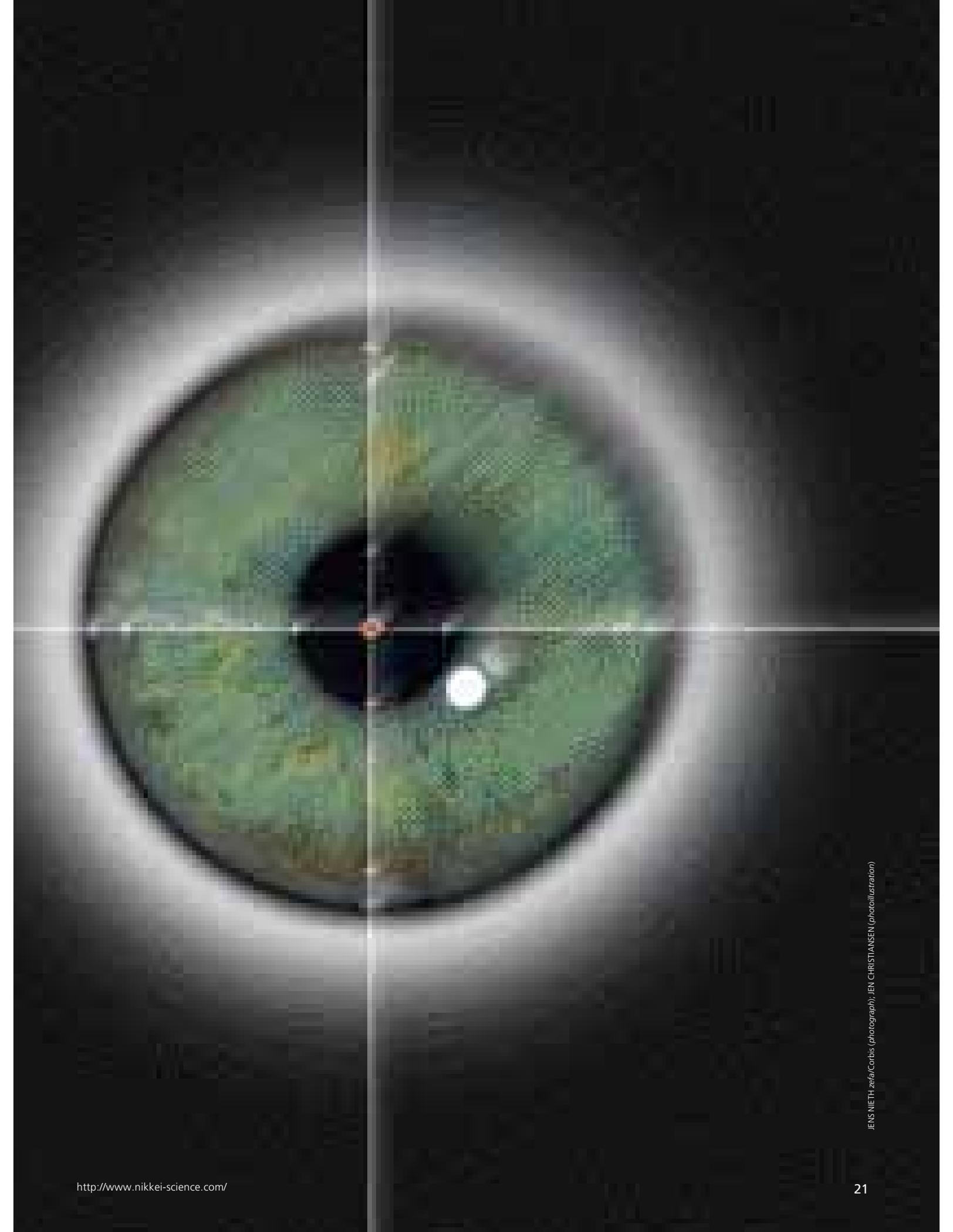
このような“視線が止まっている間”の目の動きがもつ奥の深い重要性を研究者が正しく評価するようになったのはごく最近のことだ。こうした微小な眼球運動の中で1回の動きの幅が最も大きいものを「マイクロサッカード」

マイクロサッカードの働き

視線が同じ場所にとどまっている時でも目は常に動き続けている。「固視微動」と呼ばれる動きで、これが人の視力にきわめて重要であることがわかった。

固視微動の中で、1回の動きの幅が最も大きいものを「マイクロサッカード」という。マイクロサッカードにどのような意味があるのかについては何十年間も議論が続いてきた。著者らは近年、人の視線が同じ場所にとどまっている時にマイクロサッカードが視覚を生み出していること、そして動きが大きくて速いマイクロサッカードほど視覚を生み出す能力が高いことを示した。

マイクロサッカードには人が心の中で密かに思っていることが表れているらしい。最近の研究によると、視線がどこを向いていたとしても、無意識のうちにその人の注意を惹きつける物の方へマイクロサッカードの向きが偏るようだ。



JENS NIETH zéa/Corbis (photograph), JEN CHRISTIANSEN (photillustration)

と呼ぶが、ここ50年間、この運動が何か特別な役割を果たしているのかについて激しい論争が続いてきた。目が動けば網膜（目の奥にある数層からなる細胞群）に映る像がぶれてしまうから、マイクロサッカドは視覚にとって妨げになるはずだと唱える研究者もいた。しかし最近、アリゾナ州にあるパロー神経学研究所のマルチネス＝コンデ（著者の1人）が示した実験結果によると、静止した世界を眺めている時に視覚が消えてなくなるのは、この微小な目の動きのおかげらしい。

一方、マイクロサッカドは脳がどのように視知覚を認識しているのかを探るのにも役立っている。ここ数年の間に、私たちや他の研究グループがこの微小な眼球運動と相関性のある神経活動を見つけており、このような神経活動が人間の視覚の大部分を生み出し

ていると私たちは信じている。それだけではない。マイクロサッカドは人間の隠れた心を知る窓とも言える。この小さな眼球運動の向きは不規則ではなく、たとえ視線が別の場所に向いていたとしても、密かに注意を向けている物体の方に偏っている。つまりマイクロサッカドには人の隠れた考えや欲望が表れているのだ。

動き続ける目

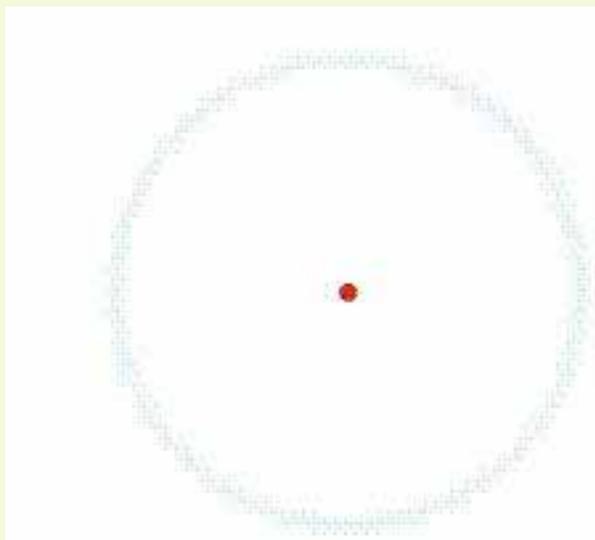
目が常に動いていることは何世紀も前から知られていた。例えば医者であり物理学者でもあったドイツのヘルムホルツ（Hermann von Helmholtz）は1860年に、目の動きを完全に止めたままにするのは難しいと指摘し、“視線がふらふらと動く”ことで、網膜が同じ刺激に対して慣れてしまうのを防いでいると考えた。

動物の神経系は環境の変化を検出する能力を進化の過程で獲得してきた。変化がわかれば生存競争を勝ち抜くには有利だからだ。視野の中の動きは、捕食者が近づいてくる、あるいは獲物が逃げようとしていることを告げてくれる。このような変化があれば視覚のニューロン（神経細胞）はすぐに反応し、電気化学的な信号を発生する。逆に変化しない物体は一般に動物にとって脅威とはならないから、脳と視覚系は変化しない物体に気付くようには進化しなかった。このような特性が顕著に表れた例がカエルだ。カエルには静止しているどんな物体も見えず、壁にじっと止まっているハエが見えない。しかしハエが飛び立つやいなや、カエルはすぐに気付き、あっという間に舌で捕まえてしまう。

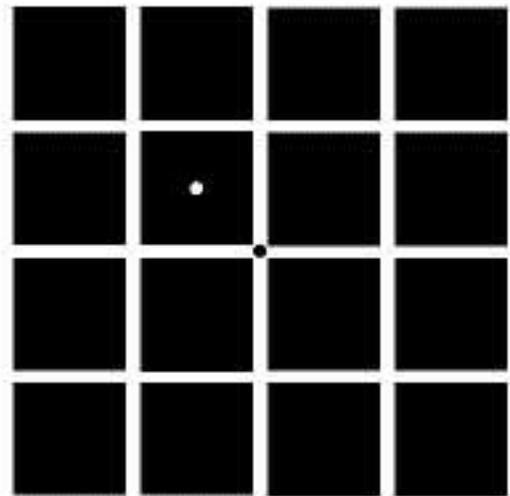
カエルに静止した物が見えないのは、

固視微動の効果を見る

下の3つの錯覚から、いつもは気がつかない固視微動の様々な視覚効果がわかるだろう。



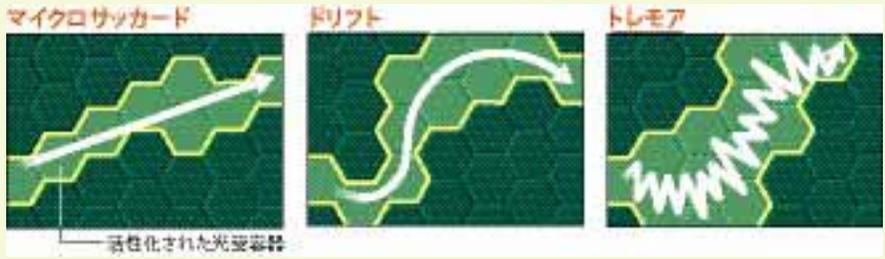
トロクスラーテスト 1804年、スイスの哲学者トロクスラーは、ある物を注視していると視野の周辺部分にある静止した画像が消えて見えなくなることを見つけた。この現象は読者も簡単に体験できる。上の図の青い円に注意を払いながら、中央の赤い点をじっと見てみよう。しばらくすると青い円は消えて見えなくなり、白い背景の上には赤い点だけが見えるようになる。ここで目を動かすと、青い円は再び見えるようになる。



目の動きを見る 自分の固視微動を“見る”には次のようにすればよい。上の図には白い格子で囲まれた黒い正方形が並んでいる。中央の黒い点を1分ぐらいずっと見続け、次に、隣の黒い正方形の中にある白い点を見てみよう。すると、格子が黒い残像となって細かく動き続けるのが見えるだろう。この細かい動きこそ固視微動が生み出したものだ。

網膜の上を動く光の刺激

固視微動には、マイクロサッカード(直線状の動き)、ドリフト(波状の動き)とトレモア(ドリフトの上に重なったジグザグ状の動き)がある。これらの動きにより、網膜に映った視覚イメージはモザイク状に並んだ光受容器の上を移動し、それらを次々と活性化する。



ヘルムホルツの仮説のとおり、変化しない刺激に神経が慣れてしまい、視覚系のニューロンが出力を調整してその入力に対する反応をやめてしまうためだ。このような神経活動の適応は、神経活動で消費するエネルギーを節約する半面、知覚認識を狭めてしまう。

変化しない刺激に慣れてしまうのは人間のニューロンも同じだが、人間の視覚系は静止した物体を見るという点ではカエルの視覚系に比べてはるかに優れている。人間は目を動かすことで

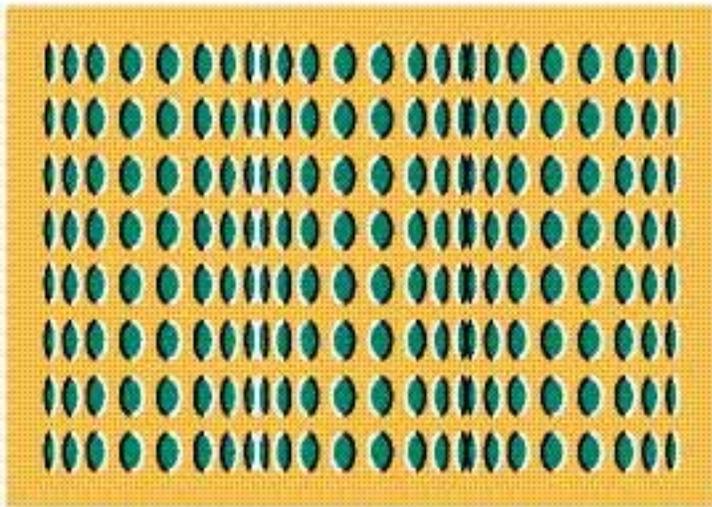
網膜に映る像の動きを自ら作り出しているからだ。つまりある物を注視している間に目が動けば、目で捉えているシーン全体が網膜の上を移動するため、ニューロンの活動が呼び起こされて同じ刺激に慣れるのを防ぐことができる。このようにして、静止している物体の視覚が消え去るのを防いでいるのだ。この注視中の微小な眼球運動は「固視微動」と呼ばれている。

1804年にスイスの哲学者トロクスラー (Ignaz Paul Vital Troxler) は、

固視微動の減少に伴って視覚が消失する現象を初めて報告した。ある物をじっと注視すると網膜に映る画像が安定して、視野の周辺部(周辺視野)にある物が次第に消失して見えなくなるとトロクスラーは述べている(左ページの囲み左の図、および28ページの囲みを参照)。

このような消失現象は毎日の生活の中でだれの目にも起きています。ある物をじっと注視すると、固視微動の動きが遅くなったり頻度が下がったりする。固視微動による神経活動のリフレッシュ効果は視野の周辺ほど弱いので、固視微動がわずかに減少しただけでも、視野の周辺部の視覚能力は大きく低下する。しかし、このような視覚能力の低下には人は普段ほとんど気付かない。なぜなら注意の焦点は注視している物に向いていて、周辺視野の見えなくなってしまう物には向いていないからだ。

目の動きを完全に止めることは研究室の中でしかできない。1950年代の初期に、複数の研究チームが小さなスライドプロジェクターをコンタクトレンズに取り付け、そのコンタクトレンズを眼球に吸着・固定して網膜像を完全に静止させる実験装置を編み出した。この装置を装着した人がプロジェクターによって投影された画像を見ると、目の動きにあわせてその画像も同じように動くので、網膜に映る像は止まったままになる。このような技術を使って網膜像を完全に静止させると、視覚系ニューロンの活動が適応し、視覚イメージは知覚されなくなる。なお最近



動きの錯視 上の模様をぼんやりと眺めてみよう。すると、3つの“ローラー”が回転しているように見えるだろう。しかし中央にある緑色の点のどれかをじっと注視すると、ローラーの回転はゆっくりになり、場合によっては止まってしまう。視線の動きを止めると動きの錯視が見えなくなることから、著者たちはこの錯視を見るには固視微動が必要ではないかと推測している。ただし、どうしてそうなるのかについて正確なことはまだわからない。この錯視は立命館大学の北岡明佳氏の作品だ。

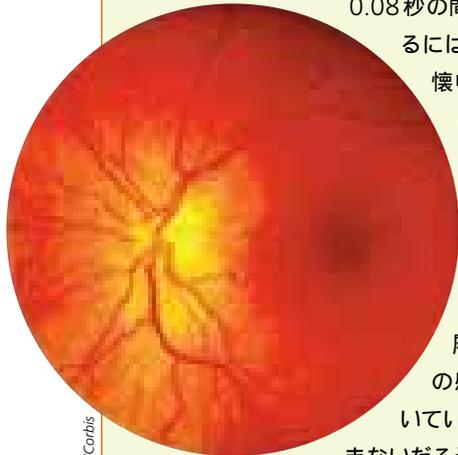
消える血管

デューク大学の神経科学者コッポラ(David Coppola)とパービス(Dale Purves)は、網膜の中を走る血管(これは目に対して常に静止している)がたった

0.08秒の間に視界から消失することを示した。これを確かめるには次のようにすればよい。まぶたを閉じて、小さな懐中電灯(ただし明るすぎないものを使う!)で左右どちらかの目の脇を照らしておく。懐中電灯をすばやく動かすと、視野の周辺部分に網膜の血管がちらっと見えるかもしれない。ただし、血管の像はあっという間に消えて見えなくなってしまう。

神経活動の適応現象は、触覚も含めあらゆる感覚において起こる。例えば、出かける前に靴を履く時には靴が足に触れていると感じるが、その感覚はやがてなくなってしまう。ともかく、靴を履いている感覚を外出中ずっと意識することなどだれも望まないだろう。しかし、靴の中で足の指をびくびくと動かすと、靴の感覚はよみがえってくる。これと同じように、固視微動は網膜に映っている画像を常に“びくびくと動かす”ことで、視覚が適応して物が見えなくなってしまうのを防いでいる。

(S. マルチネス=コンデ/ S. L. マクニック)



STEVE ALLEN Brand X/Corbis

では、目の動きをカメラで測定してそのデータをプロジェクター側に送り、目の動きを相殺するように投影像を動かすことで、同様の効果を作り出せるようになっている。

1950年代の終わりになると、眼球運動の中でマイクロサッカードだけを取り出してその役割を議論できるようになった。ある研究チームは、動きの幅が大きいサッカードを含むすべての眼球運動を停止させた後に、投影像を動かして網膜にマイクロサッカードと同様の効果をもたらすと、いったん消失した視覚が復活することを見いだした。ところが別の研究グループは逆に、眼球運動を完全に停止させたあとでマイクロサッカード様の効果を与えても何の影響もないと報告した。

当時は網膜像を静止させる技術がどれも完全ではなかったため、真実はわからなかった。例えば実験中にコンタクトレンズの位置がずれてしまうこともあった。そのため知覚の復活が装置の限界によって除ききれなかった目の

動きによるものなのか、網膜に映った像のマイクロサッカード様の動きによるものなのかを区別できなかった。

神経系のけいれん?

ほぼ同じころ、固視中の眼球運動の中にはマイクロサッカードの他にもドリフトとトレモアの2種類の動きがあることが明らかにされた。ドリフトは、くねくねと曲がるゆっくりとした動きで、マイクロサッカード(素早くまっすぐな動き)の合間に起こる。一方、トレモアは小さく素早い振動で、ドリフト上に重なった小さなジグザグ状の運動だ(前ページの上図)。

マイクロサッカードはこれらの中で動きの幅が最も大きく、1回のマイクロサッカードで網膜に映る像は数十から数百の光受容細胞〔細かい物や色を見分けるのに必要な情報をもたらす錐体と、暗い視野や周辺視野で働く桿(かん)体など〕の上を横切る。逆にトレモアは1回の動きの幅が最も小さく、その振幅は1つの光受容器と同程度に

すぎない。しかし、これらタイプの異なる固視微動がそれぞれどのような役割を担っているかはまだよくわかっていない。

実際、数十年間多くの研究者は、これらの固視微動、特に最もよく研究されているマイクロサッカードが視覚を維持する役割を担っているのか疑わしいと考えていた。このような疑問が生じる理由の1つに、マイクロサッカードを2秒間ほど停止させても視野の中心の知覚は消失しないことがある。これは読者も簡単に体験できる(22ページの囲み、トロクスラテストを参照)。この例では、マイクロサッカードが短時間止まると視野の周辺にあるリングは消えて見えなくなるが、視野の中心にある赤い点はずっと見えたまま。他にもライフル銃を撃つ、あるいは針に糸を通すといった精密な作業を行う時、マイクロサッカードは自動的に抑制される。

精密な視覚情報が必要な時にマイクロサッカードがなくても視覚機能に問題が生じないのなら、マイクロサッカードは視覚にとって不要と言える。1980年にメリーランド大学の心理学者カウラー(Eileen Kowler)とスタインマン(Robert M. Steinman)は、マイクロサッカードは“神経系のけいれんのようなもの”にすぎず、視覚の維持には役立っていないと結論した。

この分野における研究状況はしばらく変化がなかったが、1990年代の終わりに、固視微動が目や脳でどのような神経活動を引き起こすのかが研究され始めた。1997年に私たちはハーバード大学医学部のノーベル賞受賞者ヒューベル(David Hubel、大脳1次視覚野に特徴抽出細胞があることを電気生理学の手法によって発見した)とともに次のような実験を開始した。

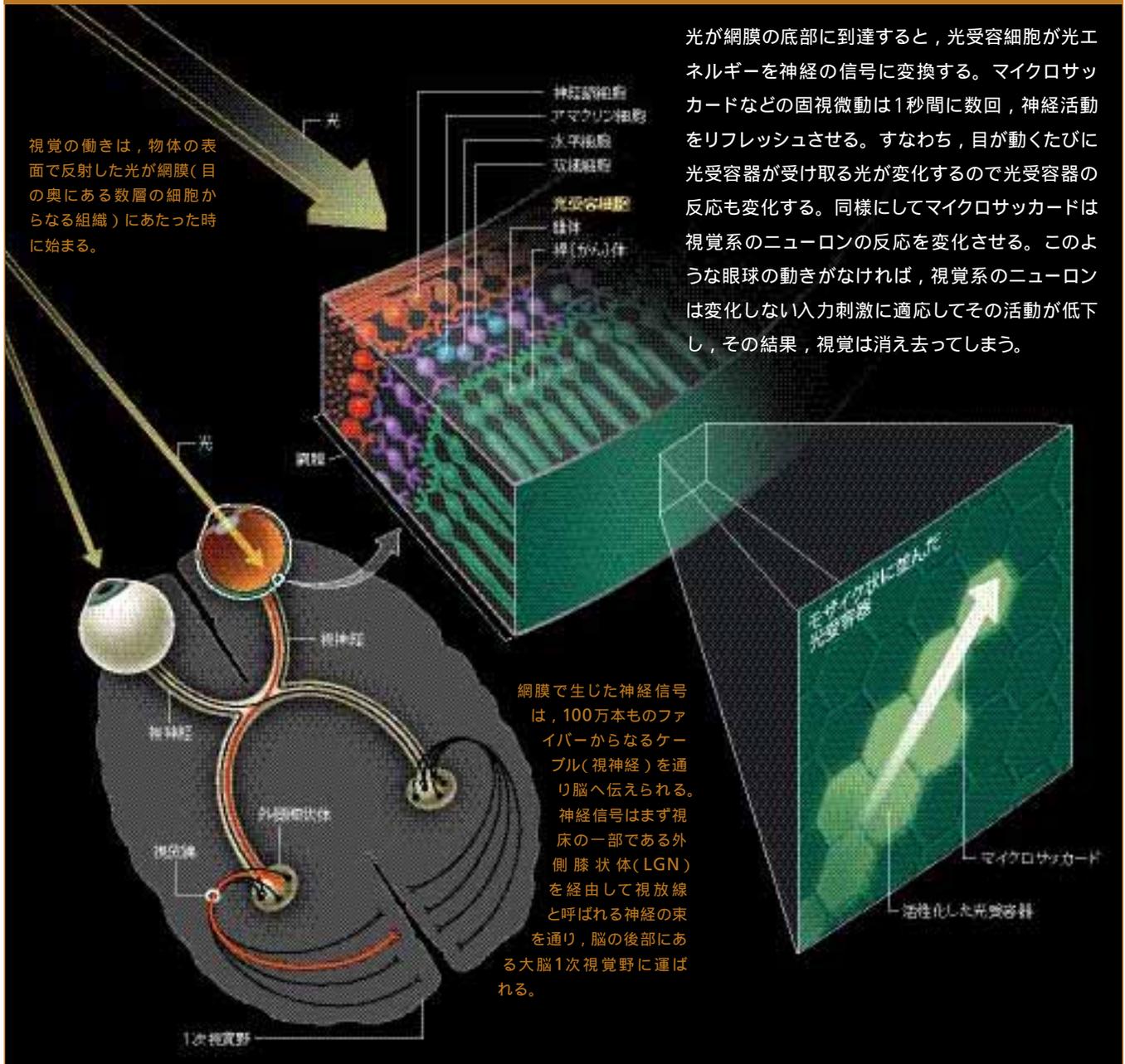
まずサルを訓練してコンピューターの画面に表示された小さな光のスポッ

トを注視するようにさせた。画面の別のどこかに静止したバー(棒)も一緒に表示する。サルが光のスポットを見つめている間、私たちはサルの目の動きを測るとともに、中脳の外側膝状体(LGN)と後頭部にある大脳1次視覚野のニューロンの活動を記録した。これらのニューロンが最も活発に電気的活動(神経スパイク)を生じるような位置にバーを配置した。

この結果、ニューロンの受容野(そのニューロンの活動を呼び起こす視野内の領域)に静止した光のバーを出したり入れたりした時、マイクロサッカードによって外側膝状体や大脳視覚野のニューロンのスパイク頻度が増加することが明らかになった(2000年と2002年に学術誌で発表)。この発見から、視覚の消失を防ぎ視覚イメージを維持するうえでマイクロサッカードが

重要な役割を演じていることがわかる。マイクロサッカードがこのような役割を担っているのなら、見えている物を視覚系がどのように符号化するか(どのように情報を表現しているか)という問題も私たちの研究から解明していける。例えば上の実験においてマイクロサッカードは、散発的なスパイクではなく激しく連続的なスパイクの発生をもたらす傾向が見られた。こ

神経活動をリフレッシュさせる



jen.christiansen

した激しく連続的なスパイクは、“何が見えている”ことを示す信号として機能していると考えられる。

ついに明らかになった真実

視覚系のさまざまな部分を調べた他の研究の結果、マイクロサッカードが同じような神経活動の反応を引き起こすことがわかった。しかしそれでもなお、静止網膜像の実験での矛盾する結果があったために、視覚におけるマイクロサッカードの重要性は疑問視され、この分野の研究者の悩みは完全には解消されなかった。そこで今から2~3年前、パロー神経学研究所で私たちは、これまでとは全く異なる技術を用いてマイクロサッカードと視覚能力の関係を直接計測する実験に着手した。

この実験で被験者たちはトロクスラテストと同様の課題を与えられた。具体的には、小さなスポット光を凝視しながら、視野の周辺部分に表示された静止した標的が見えるかどうかを判断した。被験者が自然にスポット光を注視していると、ある時点で標的が見えなくなり、(注視が弱くなると)再び見えるようになる。標的が見えている時だけボタンスイッチを押してもらい、私たちは被験者の固視微動を高精度ビデオによって計測した。

私たちが事前に予想していたように、被験者のマイクロサッカードは、標的

が消えて見えなくなる直前に頻度が下がり、動きは小さく、ゆっくりになった(下の囲み)。このことは、マイクロサッカードが起きなくなると、あるいはマイクロサッカードが通常よりも小さく遅くなると、神経系が慣れてしまい知覚の消失が生じることを示している。さらに、周辺視野の標的が再び見えるようになる直前には、逆にマイクロサッカードの頻度が増え、動きの幅は大きく、速さが増していった。この結果もまた私たちの仮説と一致する。

2006年の論文で発表したこれらの結果は、視線が一定の場所にとどまっている時に視覚を生み出しているのはマイクロサッカードであり、動きが大きくて速いマイクロサッカードが視覚をもたらすうえで最も有効であることを初めて立証したものだ。人間の視線はほとんどの時間、どこかに停留している(視線を意識的に動かす大きなサッカードの間で休んでいる)のだから、人間の視知覚の大部分においてマイクロサッカードは決定的な役割を担っていることになる。

これまで述べてきた研究成果は単に理論的な意味だけでなく、治療の観点からも重要な意味をもつ可能性がある。視知覚における固視微動の重要性についての理解が深まれば、このような眼球運動に障害をもたらす病気について手がかりが得られるかもしれない。例

えば眼球運動の制御の大部分を担う眼球運動神経系の麻痺によって、固視微動が起こらなくなることがある。

また固視微動の異常は、弱視(lazy eye(怠惰な目)とも呼ばれる)においてもよく見られる。この病気は病理学的には何ら異常が見つからないのに、細かい物を見る能力が減退してしまう疾患で、20代から70代にわたる広い世代において視力を失う主要な原因になっている。重度の弱視患者はドリフトが多すぎる一方でマイクロサッカードの頻度が低すぎるため、注視中に物体や視野の広範囲が消えて見えなくなってしまふ。

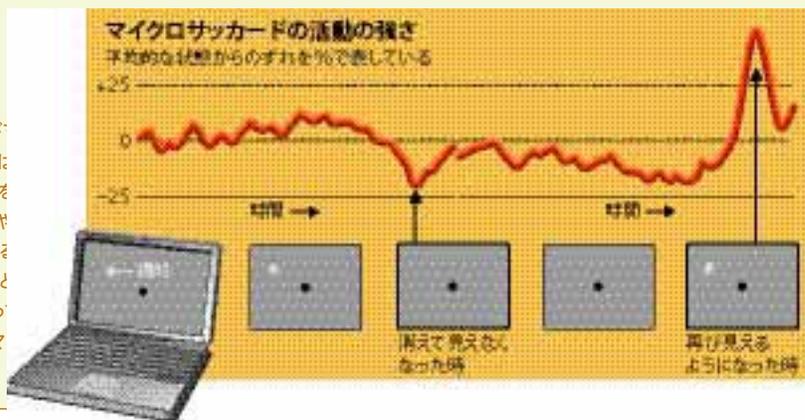
固視微動が少なすぎると注視中の視覚が失われてしまふし、多すぎると視覚が不安定になってしまうから、眼球運動系は固視微動が多すぎず少なすぎないように微妙なバランスをとらなくてはならない。脳がどうやってバランスをとっているのか理解できれば、このシステムが不調を来した時にそれを正して治療できるようになるかもしれない。固視微動に影響を与える疾患が数多くあることを考えると、この分野は手つかずの問題が数多く残されている研究領域だと言える。

心を読む

マイクロサッカードは視覚を超えた問題についても重要な意味をもってい

マイクロサッカードによって物が見える

著者たちは最近、視線が1点に固定されている時の視覚がマイクロサッカードによって生まれることを示した。この実験では被験者はコンピューター画面上に表示された小さなスポットを定める。すると、視野の周辺に表示された静止した標的はや視野から消えて見えなくなるが、しばらくすると再び見えるようになる(右図の下)。この時のマイクロサッカードを調べると、標的が見えなくなる直前にマイクロサッカードの頻度が下がくなり、逆に標的スポットが再び見えるようになる直前にマイクロサッカードの頻度は高くなる(右図のグラフ)。





AD1/3

BRIAN MARANAN PINEDA

あなたの関心はどこに？ あなたはテーブルに1つだけ残ったケーキや、魅力的な異性から目をそらして関心のないふりをするが、マイクロサッカードの頻度や向きはあなたの注意が本当はどこに向いているかを暴いてしまう。でもご心配なく。普通の人はこのような目の動きであなたの心を読めないから。

るようだ。この小さな眼球運動から、人が密かに考えていることがわかるかもしれないのだ。心理学者がすでに明らかにしているが、人の注意は視線がある物体に向いている時でも無意識のうちそこから離れて、興味を惹きつける別の物体に向けられることがある。近年の研究によると、マイクロサッカードを調べると、その人がどこに注意を向けているかがわかるようだ。なぜならマイクロサッカードの向きは完全にはランダムでなく、たとどこに視線が向いていようと注意を惹きつけている物体がある方角に偏るからだ。

マギル大学の視覚科学者ハーフェド (Ziad M. Hafed) とクラーク (James J. Clark) は、次のような実験を行っ

た。被験者たちはコンピューター画面の中央に表示されたスポットを注視しながら画面の周辺部に提示される別のスポットに注意を払う。後者のスポットは途中で色が変わるようになっており、被験者たちはその色が変わったらすぐにそれを報告しなくてはならない。

この課題の最中の固視微動を計測したところ、被験者たちが画面の中央を注視していても、マイクロサッカードの向きは本当に注意を向けている方角(色の変化を報告すべきスポットがある方角)に偏っていることが明らかになった。

2002年の論文で報告されたこの発見は、人の密かな考えをマイクロサッカードが映し出しているだけでなく、

網膜に投影される画像を完全に静止させるには、本文に書かれているように、コンタクトレンズを使って目の動きを相殺する方法の他に、薬物を使って眼球を動かす筋の働きを麻痺させる方法などがある。私自身は静止網膜像の状態を経験したことはないが、実際に経験した人の話や書物によれば、視覚像が消失する際の印象は劇的なものらしい。また、消失していく時には、像全体が一様にぼやけていくのではなく、像を構成する線分などを単位として消えていくという。

見えなくなる物体

本文でも述べられているように、固視微動が原因となって生じる錯視現象は多数ある。23ページの囲み記事で紹介されているローラーの錯視は、最も著名な錯視研究者の1人である立命館大学の北岡明佳氏によるものだ。このような錯視図形は、視覚系が画像を処理するメカニズムに基づいて緻密に設計されている。彼のホームページ「もっと知るには…」を参照)に「動く錯視」の見本が多数あるので、興味のある読者はぜひご覧いただきたい。トップページから動く錯視がずらりと続いている。

固視微動にかかわる錯視としては、この他にジター錯視と呼ばれるものがある。これは、東京大学の村上郁也氏(当時の所属はNTT基礎研究所)がハーバード大学のカバナー(Patrick Cavanagh)と共に報告した現象で、視野周辺部だけ不規則に動くノイズの画像を見た後で静止した画像を見ると、最初から静止していた中心部がしばらくの間ゆらゆら動いて見える。これは視野周辺部の動くノイズに視覚系の動き検出メカニズムが適応した後で、適応していない視野中心部の動き検出能力が相対的に高くなっていることを利用して、固視微動を自分の目で見えるようにしたものだ。この現象の見本やその仕組み、さらには研究の意義はホームページ「もっと知るには…」を参照)で見ることができる。

本文ではある物体を注視していると周辺視野にある物体が見えなくなる現象(トロクスラー効果)が何度も登場するが、この現象は比較的簡単に体験できる(ただし、私の被験者の中にはなかなか体験できない人も稀にいる)。囲み記事にも具体的な例が掲載されているが、紙面で物体が見えなくなる現象を体験できない場合は、お絵かきソフトを使ってパソコン画面上に自分で画像を作ってみるとよい。まず、一様な色の背景(例えば白や灰色)を用意して、その中央に注視すべき場所を示す点や十字(注視点)を描き、端に近い場所に(ただし近すぎない方がよいかもしれない)小さな丸や四角形(標的)を描く。こうして作った絵を画面全体にフルスクリーン表示して、中央の注視点をじっと眺めてみる。すると、数秒から10数秒後に、標的が消えて見えなくなるのがわかるだろう。この時、背景の明るさ(色)と標的の明るさ(色)が近いほど標的は消えやすいので、なかなか消えない場合は標的の明るさや色を背景に近づけてみよう。

なお、この現象は背景を同じ色で一様に塗りつぶしておかなくても生じる。例えば背景に一樣な模様やパターンを描いて画面の中央を注視すれば、標的は同じように消えて見えなくなり、標的が見えなくなったあとの部分には背景と同じ模様が知覚される。ラマチャンドラン(Vilayanur S. Ramachandran)の論文によれば、背景として新聞紙を貼り付けると、標的が消えたあとは新聞の文字のようなものが見えるという(ただし、何の文字であるかは判断できないそうだ)。

標的が消えて見えなくなる時には背景が標的を塗りつぶすように見えるので、この現象は知覚的充填、あるいはフィリングインと呼ばれる。私たちがふだん網膜内の血管や盲点の存在に気付かないのは、フィリングインのメカニズムによって像の欠けた部分を埋め合わせる機能が働いているためだ。フィリングインの神経メカニズムはまだ解明されていないが、視覚系の初期段階において周囲の情報を表現する神経活動が、像が欠けている部分を表現する部分に対して広がっていくためではないかと考えられている。

フィリングインの生じやすさ(標的が消えて見えなくなるまでの時間)は、標的と背景の関係や標的の位置、サイズに大きく影響される。一般に標的が小さく標的が視野の中心から離れるほど、また標的と背景がよく似ているほど、標的は消失しやすい。ただし標的と背景の明るさを逆にすると(明るさの差は一定だが)消失するまでの時間が変わる、標的が視野の上下方向にある方が左右方向にある場合よりも早く消失するといったように、フィリングインの起こりやすさには複雑な性質がある。このような性質は見ている画像の違いにより固視微動の性質が変化するためかもしれない。

目の動きと心

本文では固視微動が視覚の維持に重要であることに加えて、心の中の動きが固視微動の変化として表れることがテーマになっている。「目は口ほどに物を言う」という言葉があることから、もわかるように、(固視微動であるかどうかは別として)目の動きに心の動きが表れることは私たちが日常的に経験している。以前、私の研究室の大学院生は、日本人学生が英語と日本語の聞き取り課題を行う時の眼球運動の違いを調べたが、この時には英語聞き取り課題中の方が日本語聞き取り課題中に比べて眼球運動(固視微動ではない)の頻度が低下する(つまり、視線がある場所に停留している)傾向が明確に表れていた。ただし、このような違いがどのような原因で生じたのか(例えば脳内の情報処理の負荷の違いか、集中力や注意の違いか、緊張感の違いか)は明らかではない。

瞳孔の大きさが心や情動を反映していることはよく報告されているが、眼の動きと心や情動との関係についてはまだわかっていない。(阪口豊)

潜在的な注意の方向がマイクロサッカードの向きに影響を与えていることを示している。

ドイツのポツダム大学の計算神経科学者エンゲベルト (Ralf Engbert) と認知心理学者のクリーグル (Reinhold Kliegl) は、マイクロサッカードの“頻度”にも、その人の注意を密かに惹きつける物体があるかどうかの情報が含まれていることを見いだした。

2003年の彼らの論文によれば、周辺視野に急に何かが出現するとマイクロサッカードの頻度がいったん低下し、その後急激なりバウンドが生じて通常の状態よりも高くなる。さらに、検出されたマイクロサッカードの向きは、刺激が提示された方角に偏っていた。つまり、注意を惹きつけるような突然の環境変化を伝える視覚刺激が周辺視野に現れると、その変化に関する情報がマイクロサッカードの頻度と方向に表れてしまうのだ。

このことからわかるように、テーブ

ルの上に1つだけケーキが残っている時、あるいは、部屋の向こうに魅力的な異性が立っている時に、あなたがそこから目をそらしていても、マイクロサッカードの頻度や方向を調べると、あなたの注意がどこに向いているかわかってしまう。

ただ現実には、どこに注意を向けているかが他の人にばれてしまう心配はない。科学者たちは実験室の中で小さな眼球運動を検出・計測して、注意に関する脳の働きを探ることができるが、あなたの周りにいる普通の人たちには小さな眼球運動からあなたの心を読み取ることは簡単にはできないから今のところは。

訳者 阪口 豊 (さかぐち・ゆたか)

電気通信大学大学院情報システム学研究所人間情報学講座准教授。生体情報論、特に、脳メカニズムに関する計算論的モデルや行動実験が専門で、感覚・知覚、運動など身体にかかわる情報処理メカニズム、脳における情報表現や学習に関する研究を行っている。

AD1/3



著者 Susana Martinez-Conde / Stephen L. Macknik
マルチネス=コンデは、アリゾナ州にあるバロー神経学研究所の視覚神経科学研究室長。スペインのサンティアゴ・デ・コンポステラ大学で内科と外科のPh. D.を取得した。マクニックはバロー神経学研究所の行動神経生理学研究室長で、ハーバード大学から神経生物学分野のPh. D.を取得した。

原題名

Windows on the Mind (SCIENTIFIC AMERICAN August 2007)

もっと知るには...

MICROSACCADES AS AN OVERT MEASURE OF COVERT ATTENTION SHIFTS. Z. M. Hafed and J. J. Clark in *Vision Research*, Vol. 42, pages 2533-2545; 2002.

MICROSACCADES UNCOVER THE ORIENTATION OF COVERT ATTENTION. R. Engbert and R. Kliegl in *Vision Research*, Vol. 43, pages 1035-1045; 2003.

THE ROLE OF FIXATIONAL EYE MOVEMENTS IN VISUAL PERCEPTION. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik and D. H. Hubel in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pages 229-240; 2004.

FIXATIONAL EYE MOVEMENTS IN NORMAL AND PATHOLOGICAL VISION. S. Martinez-Conde in *Progress in Brain Research*, Vol. 154, pages 151-176; 2006.

MICROSACCADES COUNTERACT VISUAL FADING DURING FIXATION. S. Martinez-Conde, S. L. Macknik, X. G. Troncoso and T. A. Dyar in *Neuron*, Vol. 49, pages 297-305; 2006.

北岡明佳氏の錯視のサイト: <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/>

村上郁也氏のサイト, ジター錯視:

<http://www.brl.ntt.co.jp/people/ikuya/demo/visualjitter/VisualJitter-j.html>

マルチネス=コンデ研究室のサイト: http://www.neuralcorrelate.com/smc_lab