



平成22年1月7日

名古屋工業大学

## 赤と緑を見分ける視覚タンパク質の構造解析に初めて成功

### 色を決定する構造的要因の解明に光明！

私たちの目の中には、明暗を感じる1種類の光センサータンパク質と、色（赤・緑・青）を感じる3種類の光センサータンパク質が存在します。

このうち明暗を感じるタンパク質はロドプシンと呼ばれ、ウシやイカから大量の試料が調製できることから多くの研究が行われてきました。X線結晶構造解析による立体構造も報告されており、ロドプシンが光を信号へと変換するメカニズムが、原子レベルでの構造情報をもとに明らかになりつつあります。

ではロドプシンがわかると視覚の謎が解き明かされるのでしょうか？ 実は普段、私たちは物を見るためにほとんどロドプシンを使っていないので

す。それがよくわかるのは、昼中に映画館に入った場合です。急に暗くなると私たちは周りが全く見えなくなりますが、少し時間が経過すると座席などが見えるようになります。これが「ロドプシンで見る世界」です。一方、暗い映画館の中でも明るいスクリーンを見ると「赤・緑・青の光センサーで見る世界」が復活します。映画は白黒でも、主に色センサーを使って見ていることとなります。このように、目の中の細胞の数はロドプシンを含む桿体視細胞の方が圧倒的に多いのですが、目のレンズがフォーカスする部分はほとんど錐体視細胞であるため、普段、私たちは「赤・緑・青の光センサーで見る世界」で生活しているわけです。

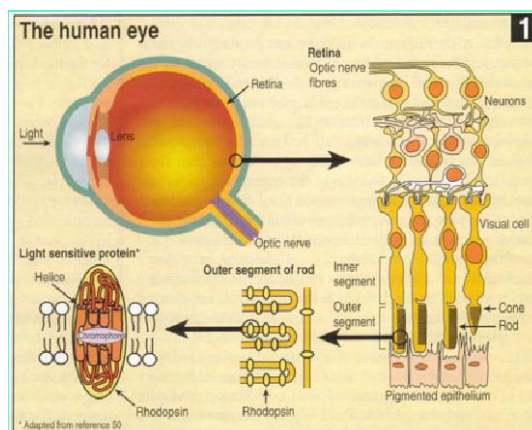


図1：目の構造 網膜に存在する円柱型の桿体視細胞（Rod Cell）にはロドプシンが、円錐型の錐体視細胞に（Cone Cell）には赤・緑・青の光センサータンパク質のいずれかが含まれる。



図2：ロドプシンで見る世界（左）と赤・緑・青の光センサーで見る世界（右） 写真は別府の海地獄。色の識別は、特定の色を吸収する光センサータンパク質によって行われる。左の図は同じ写真をグレースケールにしただけなので、真のロドプシンで見る世界はもう少しぼやけている（ピントが合っていない）ことに注意。

それでは赤や緑や青を感じるタンパク質はどのような構造をしていて、どのように色を見分けているのでしょうか？ ロドプシンの場合と異なり、色を識別するタンパク質の研究は試料調製が困難であることから、分子や原子といったレベルでの構造研究はほとんどありませんでした。アミノ酸を変異させて色がこう変わったからこのアミノ酸はこういふはたらきをしているだろう、といった遺伝子レベルでの研究はあっても、原子レベルでの研究はほとんどなく、何が色を決めているかについての構造的な説明は不可能でした。

今回、大学院未来材料創成工学専攻 ナノ・ライフ変換科学分野の大学院生 片山耕大君、古谷祐詞助教（現 分子科学研究所 准教授）、神取秀樹教授は、サルの赤色と緑色を感じる光センサータンパク質に対して赤外分光法を用いることにより、原子レベルでの構造解析に成功しました。京都大学霊長類研究所 今井啓雄准教授との共同研究の成果です。世界で初めての構造解析が実現したことにより、今まで謎とされてきた私たちヒトが色を認識するメカニズムを解明する新たな切り口になることが期待されます。

実験において片山君らは培養細胞を用いてサルが赤色、緑色を感じる光センサータンパク質を大量に作製しました。そして、神取グループがこれまで開発してきた高精度の低温赤外分光装置を用いることで、世界初となる赤と緑の光センサータンパク質の構造解析が実現したわけです。実験によって得られた色を感じる光センサータンパク質のデータは、ロドプシンのデータとは大

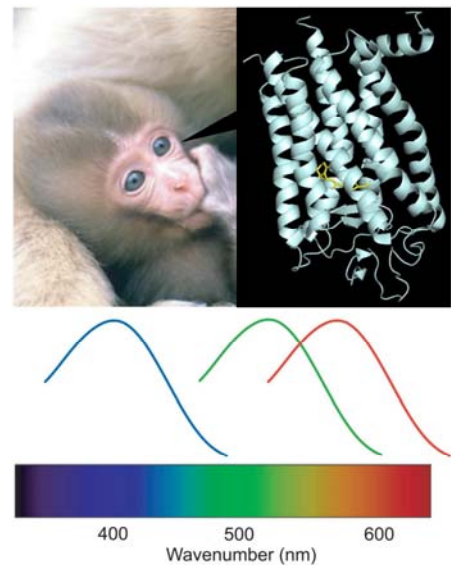


図3：ロドプシンの立体構造（右）およびヒトの赤・緑・青の光センサータンパク質の吸収スペクトル（下）

ロドプシンの立体構造は解明されたが、色を見分けるタンパク質については、立体構造もないし、構造的な情報はほとんどなかった。吸収スペクトルは認識する色に対応しており、特定の波長の光に対して光センサーが興奮することで脳は決まった色を認識する。

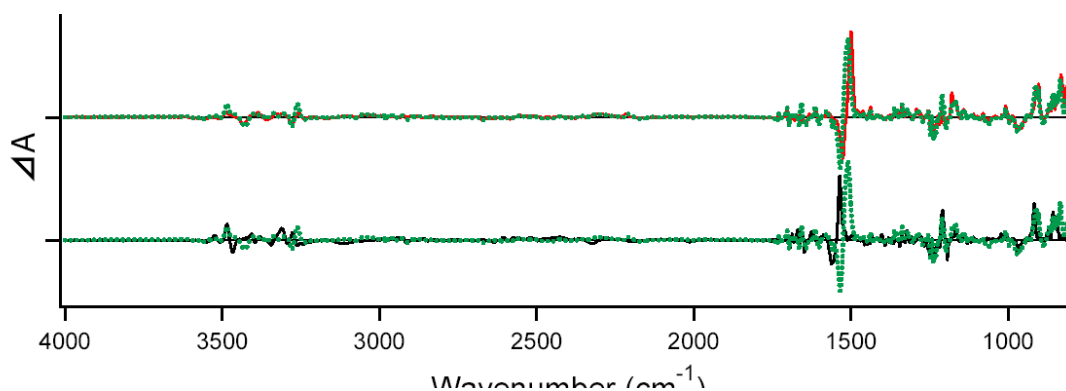


図4：サルの赤・緑を感じる光センサーの最初の構造データ

赤、緑、黒はそれぞれサルの赤色センサー、緑色センサー、ロドプシンの赤外スペクトルを示す。この中に赤と緑を見分ける構造的な要因が含まれている。特に、4000-2000  $\text{cm}^{-1}$  の領域は神取グループが最も得意とする水素結合相互作用を観測する領域である。

大きく異なっていました。同様に光を感じるタンパク質でありながら、薄明かりのもとではたらく視覚と色を見分ける視覚を担うタンパク質が、それぞれの目的に合った構造をもつらしいことがわかりました。さらに、赤と緑を感じる光センサータンパク質の間でも違いが見られました。

本研究は、色の認識、特に、なぜ私たちが赤色と緑色を見分けられるのかといったメカニズムを解明する重要な切り口になることでしょう。

本研究の成果は、ドイツの化学雑誌 *Angew. Chem. Int. Ed.* の電子版に1月5日に掲載されています。

【論文名】

“An FTIR Study of Monkey Green- and Red-Sensitive Visual Pigments”

Kota Katayama, Yuji Furutani, Hiroo Imai, and Hideki Kandori

*Angew. Chem. Int. Ed* in press (2010).

【本件に関する問い合わせ先】

神取秀樹（かんどり ひでき）

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

名古屋工業大学工学研究科 未来材料創成工学専攻 ナノ・ライフ変換科学分野

電話&FAX:052-735-5207 電子メール:kandori@nitech.ac.jp