

日本人の黄斑色素濃度分布の測定

川島 祐貴・永井 岳大・山内 泰樹

山形大学 大学院理工学研究科
〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16

1. はじめに

網膜中心窩とその周辺部には黄斑部と呼ばれる黄色に染まって見える領域が存在する。黄斑部が黄色く見えるのは、この領域に多く黄色の黄斑色素が集中しているためである。黄斑色素は主にルテインやゼアキサンチンといったカロテノイドから形成され、網膜内の内網状層やヘンレ繊維層に多く存在する。黄斑色素の濃度は網膜内で均一ではなく、中心窩が最も高く、中心窩から離れるにつれて指数関数的に減衰することが知られている¹⁾。

黄斑色素は460 nmをピークとする短波長光を吸収する特性を有する²⁾。この分光吸収特性があることで黄斑色素には、黄斑部の網膜細胞に変性を起こす青色光から視細胞を保護することや、色収差を低下させ視覚解像度を上昇させるといった役割があるとされている。これらの仮説を支持する直接的な証拠はまだ得られていないが、疫学的研究ではルテインやゼアキサンチンの摂取量と加齢黄斑変性(ARMD)との関係が示されている³⁾。また、黄斑色素濃度はARMDの患者の方が低くなっていると考えられており⁴⁾、ARMD患者の中でも、高い黄斑色素濃度を有するものは視覚感度が保たれることが示されている⁵⁾。

これまでに、黄斑色素濃度の測定は主に欧米の白人を対象として行われてきた^{4,6-8)}。それ以外では、アフリカ系民族は白人よりも高い黄斑色素濃度を持つことが示されている⁹⁾。アジア系民族については、中国人が欧米人より平均

的に高い黄斑色素濃度を持つことが報告されているが¹⁰⁾、日本人を含めたアジア系民族の黄斑色素濃度分布についてはまだほとんど調べられていない。

本研究では日本人被験者の黄斑色素濃度分布を調べ、中国人や欧米人で報告されている黄斑色素濃度と比較した。

2. 実験方法

黄斑色素の光学的濃度(Macular Pigment Optical Density, 以下MPOD)を交照法により測定した。交照法では、異なる波長の参照光とテスト光が高速で交替呈示される。被験者はテスト光の強度をちらつきが最小または消失するまで調整する。テスト光と参照光の波長はそれぞれ470 nm, 570 nmとした。これらの波長は、図1の黄斑色素の分光吸収率²⁾が示すように、黄斑色素によって吸収される波長と吸収されない波長である。このような交照法による調整を中心視と周辺視でそれぞれ行い、テスト光の強度を比較する。黄斑色素は中心窩にのみ存在し、周辺視野ではほとんど存在しないため、中

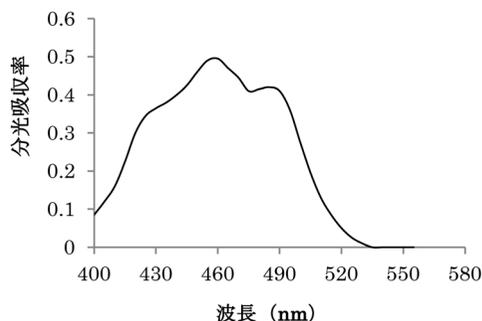


図1 黄斑色素の分光吸収率²⁾。

心視野と周辺視野では特に黄斑色素による吸収波長において輝度差が強く生じるはずである。中心窩に存在する黄斑色素によって吸収された光の量を反映すると考えると、MPODは式(1)で表すことができる。

$$MPOD = \log \left(\frac{I_c}{I_p} \right) \quad (1)$$

I はマッチングしたテスト光の強度、添字の c は中心視、 p は周辺視条件をあらわす。呈示刺激の交替周波数は20Hz、参照光の強度は一定である。

2.1 実験装置と刺激

実験装置の概略図を図2に示す。装置はLEDを取り付けた積分球と直径40cmの半球ドームで構成した。ドームの内側はN5相当の灰色で塗られ、内部を2本のD₆₅蛍光灯で照明した。中央には直径8.5mmの開口部を設け、その左右に固視点をマークした。開口部と固視点は6°離れている。固視点近傍の輝度は47cd/m²であった。積分球は半球ドームの開口部の位置と一致したアパーチャを持ち、積分球内部に挿入した2つのLED(470nm, 570nm)からの射出光が刺激となる。参照光の測色的輝度は4.8cd/m²である。被験者の頭部はあご台と額当てによって固定し、半球ドーム中央の開口部までの観察距離を30cmとした。刺激のサイズは直径1.6°である。

黄斑色素濃度は中心窩をピークとして、周辺

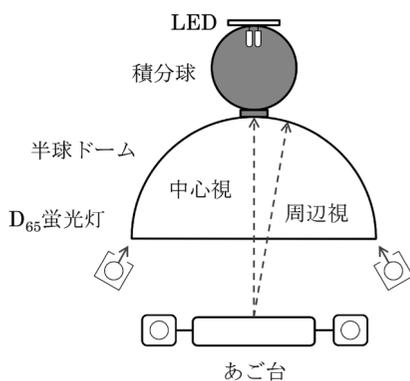


図2 実験装置の概略図。

に離れるに従い指数関数的に減少することが報告されているが、交照法によりMPODを測定したこれまでの研究では1°の刺激を用いたものが多い。そこで、今回の実験では刺激サイズ1.6°での測定の加えて、1°の刺激を用いてMPODを測定した。その際には開口部までの視距離を48cmにすることで刺激サイズを変化させ、その他の条件は刺激サイズ1.6°の測定時と同様である。

2.2 手続き

被験者は蛍光灯で照明された半球内部を観察しながら3分間順応した。その後実験を開始した。まず、テスト光をちらつきがはっきりと知覚できるように弱い強度でテスト光を呈示し、中心視でちらつきが感じられないようにテスト光強度を調整させた。その後、同様に弱いテスト光強度からの調整を周辺視で行わせた。中心視の調整では刺激光を直接見るように教示し、周辺視では固視点を注視するように教示を行った。次に、テスト光をちらつきがはっきりと知覚できる強い強度で刺激を呈示し、中心視と周辺視とで調整を行わせた。これを左右眼で3回ずつ繰り返して1セッションとし、各被験者は3セッションの実験を行った。一部被験者においてセッション数は3未満であった。

一部の被験者では測定終了後、開口部までの視距離を変え、刺激サイズを1°として同様の実験を右眼でのみ再度行った。

2.3 被験者

刺激サイズ1.6°の実験に参加したのは、19～57歳の100名の被験者である。男性が92名、女性が8名であり、ほとんどが山形大学の学生であった。刺激サイズ1°で実験を行ったのは1.6°の刺激を用いた測定に参加した20代の男性10名である。

3. 実験結果

図3に左眼と右眼におけるMPODを0.1刻みで求めたヒストグラムを示す。両眼ともにピークは0.3～0.4であり、度数の分布はこのピークに対してほぼ対称に分布していることがわか

る。平均MPODは、左眼では0.36 (SD=0.14), 右眼で0.35 (SD=0.1)であり, 両眼間の平均MPODに有意な差はみられなかった ($p=.94$).

図4に各被験者における刺激サイズ1.6°と1°のMPODを示す。グラフ上の直線は縦軸と横軸で同じ値となる点を表し, 誤差棒は標準誤差である。被験者10名のうち, 6名は1.6°刺激より1°刺激を用いたときMPODは有意に高くなったが(シンボルに*がついたもの, $p<.05$),

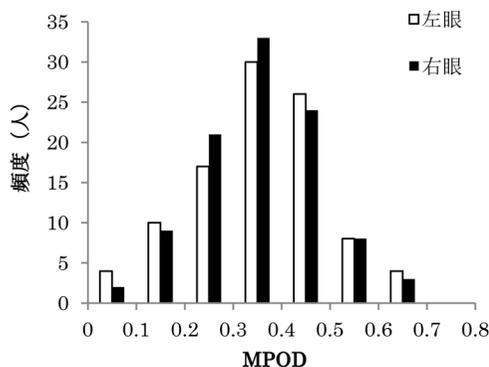


図3 被験者の黄斑色素濃度分布.

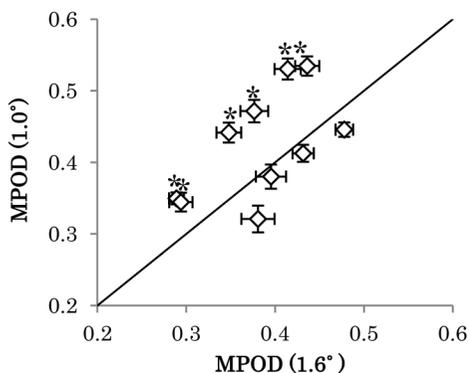


図4 刺激サイズ1°と1.6°のMPOD.

残りの4名では両者に有意な差はみられなかった。刺激サイズ1°で再度測定を行った10名の平均MPODは1.6°刺激では0.38 (SD=0.06)であったのに対し, 1°刺激では0.42 (SD=0.08)であり, 両者の平均MPODには有意な差がみられた ($p<.05$).

4. 考 察

本実験により, 100名の被験者を用いた日本人の黄斑色素濃度分布が求められた。その分布形状は正規分布状になっており, 左右眼で平均MPODに違いはみられなかった。本研究で得られたこのような傾向は, 過去に様々な国や地域で行われた黄斑色素濃度測定の結果と同様である¹¹⁻¹³。

黄斑色素濃度分布は白人を中心としてさまざまな人種・民族を対象として調べられており, さまざまな測定手法が使われている。本研究と同様に, 交照法によってMPODを測定した過去の多くの研究では, 1)テスト光の波長として460nmを, 2)刺激サイズとして1°を使用している。一方で, 本研究のテスト光波長470nm, 刺激サイズは1.6°であるため, 測定したMPODをそのまま比較することはできない。そこで, 1)テスト光波長に関しては, 図1の黄斑色素の分光吸収率に基づき, 本研究で得られたMPODを460nmのものに補正した。また, 2)刺激サイズに関しては, 本研究で得られた100名におけるMPODを, 1°の刺激を用いて実験を行った10名の結果に基づき, 補正した。その結果, MPODの平均値は0.43 (SD=0.15)となった。

表1に中国, インド, アメリカおよびヨー

表1 先行研究でのMPOD

	民族 (人種)	被験者数	刺激サイズ	平均MPOD (SD)
Tang et al., 2004 ¹⁰⁾	中国	67	1°	0.48 (0.23)
Raman et al., 2011 ¹¹⁾	インド	161	1°	0.50 (0.21)
Ciulla et al., 2001 ⁶⁾	アメリカ	239	1°	0.208 (0.131)
Beatty et al., 2001 ³⁾	ヨーロッパ	46	1°	0.289 (0.156)
Nolan et al., 2004 ⁷⁾	アメリカ	45	1°	0.329 (0.193)
Innaccone et al., 2007 ⁸⁾	アメリカ	148	1°	0.37 (0.19)

ロッパで行われたMPOD測定値の結果を示す。本研究で得られた平均MPODと先行研究で得られたMPOD値とをウェルチの検定により比較したところ、アメリカ・ヨーロッパにおける被験者のMPODとは有意な差がみられたが、中国・インドにおける被験者のMPODとは有意な差がみられなかった($p < .05$)。したがって、日本人における黄斑色素濃度分布は白人より中国人・インド人に近く、特に中国人とはアジア系人種で同様の傾向であるといえる。

文 献

- 1) B. R. Hammond, Jr., B. R. Wooten and D. M. Snodderly: Individual variations in the spatial profile of human macular pigment. *Journal of the Optical Society of America A*, **14**, 1187–1196, 1997.
- 2) G. Wyszecki and W. S. Stiles: *Color science. Concepts and methods. Quantitative data and formulae*. John Wiley & Sons, 1982.
- 3) J. M. Seddon, A. A. Umed, R. D. Sperduto et al.: Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. *JAMA.*, **272**, 1413–1420, 1994.
- 4) S. Beatty, I. J. Murray, D. B. Henson, D. Carden, H. Kob and M. E. Boulton: Macular pigment and risk for age-related macular degeneration in subjects from a Northern European population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **42**, 439–446, 2001.
- 5) B. R. Hammond, B. R. Wooten and D. M. Snodderly: Preservation of visual sensitivity of older subjects: Association with macular pigment density. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **39**, 397–406, 1998.
- 6) T. A. Ciulla, J. Curran-Celantano, D. A. Cooper et al.: Macular pigment optical density in a midwestern sample. *American Academy of Ophthalmology*, **108**, 730–737, 2001.
- 7) J. Nolan, O. O'Donovan, H. Kavanagh et al.: Macular pigment and percentage of body fat. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **45**, 3940–3950, 2004.
- 8) A. Iannaccone, M. Mura, K. T. Gallaher et al.: Macular pigment optical density in the elderly: Findings in a large biracial midsouth population sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **48**, 1458–1465, 2007.
- 9) U. E. Wolf-Schnurrbusch, N. Rösli, E. Weyermann et al.: Ethnic differences in macular pigment density and distribution. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **48**, 3783–3787, 2007.
- 10) C. Y. Tang, H. S. Yip, M. Y. Poon, W. L. Yau and M. K. Yap: Macular pigment optical density in young Chinese adults. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **24**, 586–593, 2004.
- 11) R. Raman R, R. Rajan, S. Biswas et al.: Macular pigment optical density in South Indian population. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **52**, 7910–7916, 2011.
- 12) B. R. Hammond and K. Fuld: Interocular differences in macular pigment density. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **33**, 350–455, 1992.
- 13) B. R. Hammond Jr. and M. Caruso-Avery: Macular pigment optical density in a southwestern sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **41**, 1492–1497, 2000.