

# 角膜トポグラファーにおける マップ読み取りのポイント

—— ペンタカムの情報を100%使いこなすために ——

ペンタカムに代表されるスリットスキャン式角膜トポグラファーは、角膜前面のみならず、角膜後面や角膜厚の分布についての精密な計測・解析を可能とした。これにより、角膜疾患やLASIK後の白内障術前検査において、極めて有用な情報が得られるようになった。しかし一方で、ペンタカムの情報量の多さが、結果の解釈の複雑さにつながっていることは否めない。「たくさんのマップをどう読んだらいいのかわからない」といった声もよく聞かれる。そこで本稿では、ニューユーザー向けにペンタカムで得られる情報を使いこなすための、基本的なマップ読み取りのポイントについて解説する。



大阪大学大学院医学系研究科  
視覚情報制御学寄附講座

教授 前田 直之

## マップを見るための手順とポイント

### 最初にデータの信頼性を確認する

ペンタカムのマップは、オリジナルデータではなく加工されたものである。したがって、マップを読む前にまず、データの信頼性を確認する必要がある。検査クオリティレベル(QS)の表示が白ならば問題はないが、赤の場合はデータの信頼性が低いため要注意である。再度撮影して、QSの表示が白(または黄色)であることを確認してから次のステップに進む。また、撮影は最低2回行って、データの再現性を確認することも重要である。

### 目的に応じたマップの選択が大切

ペンタカムでは、標準マップとユーザーが選択した4マップを表示することができる。角膜形状異常の診断や光学的特性の評価などの目的に応じたマップを選択することが大切である。一般的には、トポグラファーデータとしてElevation(Anterior best-fit-sphereとPosterior best-fit-sphere)、Axial power、角膜厚データとしてPachymetryを表示する標準的な4マップを用いる。この4マップ表示は角膜形状異常と光学的特性評価に有用であることから、ルーチン検査に推奨される。

また、LASIK前のスクリーニングにはBelin/Ambrósio エンハンスドエ

クタシア、角膜不正乱視の定量化にはZernike解析、白内障には白内障術前スクリーニングプログラムが有用である。

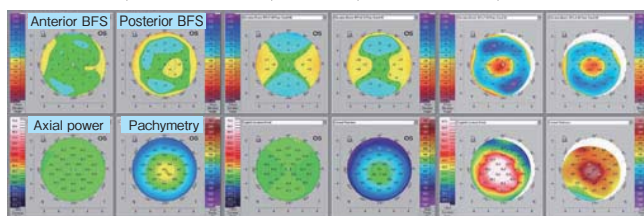
### スケールの設定の固定、マップの系統的な解釈も重要

多数の症例をぶれることなく診断するためには、スケールの設定を固定して、いつも同じ条件でマップを読むことが大切である。大阪大学のスケール設定(図1)のようなカラースケール表示を用いれば、従来の解析装置でなじみのある色の配置になる。

マップを読み取る際には、いつも同じ手順で系統的に見ることが重要である。系統的に解釈することで見落としを避けることができ、診断能力の向上にもつながる。

図1 スケールの設定 赤や青があれば異常

	Reference surface (直径)	スキャン数	スケール表示	カラースケール表示
Anterior BFS	8.0 mm	25	5.0 $\mu\text{m}$ ステップ	American Style
Posterior BFS	8.0 mm	25	10.0 $\mu\text{m}$ ステップ	American Style
Axial power	9.0 mm	25	1.5 D ステップ	Standard1.50D Fix
Pachymetry	9.0 mm	25	10.0 $\mu\text{m}$ ステップ	American Style



正常

直乱視

円錐角膜

図2 正常角膜

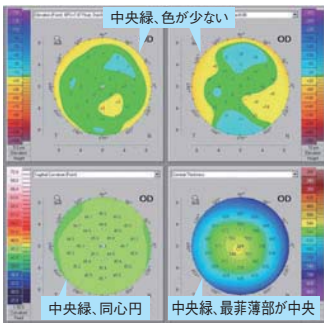


図3 直乱視

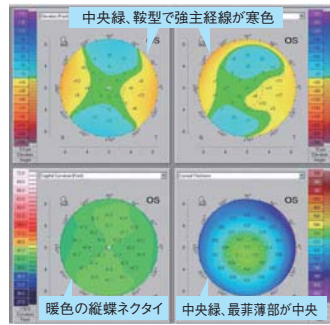


図4 軽度円錐角膜

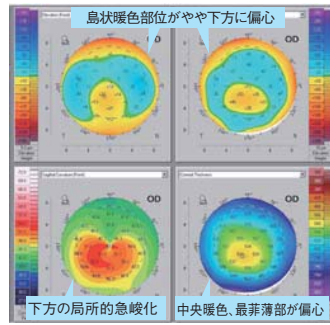
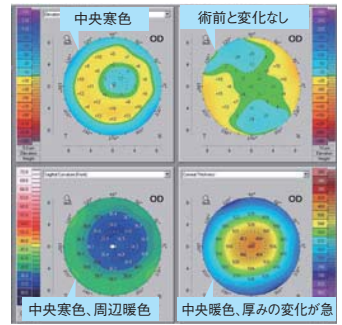


図5 近視LASIK



## 4マップにおける角膜形状のパターン比較

正常角膜のマップパターンを図2に示す。マップの解析に先立ち、QS値の表示が「OK」であり、2回撮影したマップが同じパターンであることを確認する(この手順は以後省略)。正常角膜のElevationは、中央が緑で色の変化が少なく、角膜形状が基準の球面に近いことを示している。Axial powerは緑で同心円状である。Pachymetryは中央が緑で、周辺にいくにしたがって厚みが増すため青の表示になり、最菲薄部が中央に位置している。

直乱視のマップ(図3)では、中央が緑で鞍型のパターンとなる。強主経線では角膜が基準の球面より下にあるので寒色になり、弱主経線では反対に基準の球面より上にあるので暖色になる。Axial powerも同様の鞍型のパターンを示す。Pachymetryは中央が緑で、周辺にいくにしたがって厚みが増すので青になる。

軽度円錐角膜のマップ(図4)では、島状の暖色部位がやや下方に偏心しており、この部分が円錐状に突出していることがわかる。ペンタカムではElevationの数値を確認することができる。Axial powerマップにも、円錐角膜に特徴的な下方の局所的急峻化が認められる。Pachymetryでは、中央部が薄く暖色で表示されており、最菲薄部が偏心する特徴的な所見がみられる。

近視LASIKのマップ(図5)では、Anterior best-fit-sphereの中

央部が寒色であることから、角膜前面の中央部がLASIKによりフラットになっていることがわかる。Posterior best-fit-sphereには鞍型のパターンがみられることから、近視性乱視に対してLASIKを受け、乱視が消えている状態であると推測される。Axial powerは中央がフラットであるため寒色となり、Pachymetryでは中央部が薄くなっているために暖色になり、厚みの変化が急になっていることがわかる。

角膜内皮移植(DSAEK)と全層角膜移植(PKP)の症例を図6に示す。DSAEKのマップは直乱視とよく似ているが、移植片の厚みのために、Pachymetryでは青や紫などに表示されている。これに対してPKPのマップには、糸の影響と思われる不規則なパターンがみられるが、角膜の厚みは正常であることがPachymetryから読み取れる。

## Belin/Ambrósio エンハンスドエクタシアのマップ

Belin/Ambrósioエンハンスドエクタシアは、LASIK前のスクリーニングに有用である。円錐角膜のスクリーニングプログラムでは、通常のElevationと、最菲薄部を中心とする直径3.5mmを除外して計算したElevationの差をとることで円錐角膜を高感度に検出する。

正常角膜(図7)あるいは直乱視(図8)のマップをみると、全体がほぼ緑一色であり、インデックスも正常範囲内であることを示す白色であるのに対して、円錐角膜のマップ(図9)では中央部が菲薄化しているため、マップには前後面とも赤色が現れ、インデックスは異常を示す赤色になる。また、軽度円錐角膜(図10)でもマップには赤色が現れ、インデックスは赤色である。

一方、これまで検出の難しかった円錐角膜疑いの症例(図11)についてみると、通常のElevationのマップでは、一見すると正乱視のパターンにみえるが、Belin/Ambrósioエンハンスドエクタシアのプログラムを使うと、マップに赤色が現れ、インデックスも赤色で異常が検出されている。このプログラムを使うことで、これまで検出が難しかった円錐角膜疑いの症例についても、確信を持って診断することができるであろう。

図6 角膜内皮移植(DSAEK)と全層角膜移植(PKP)

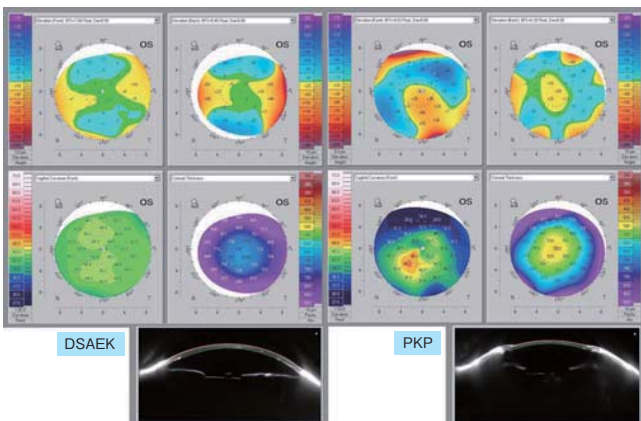


図7 正常角膜

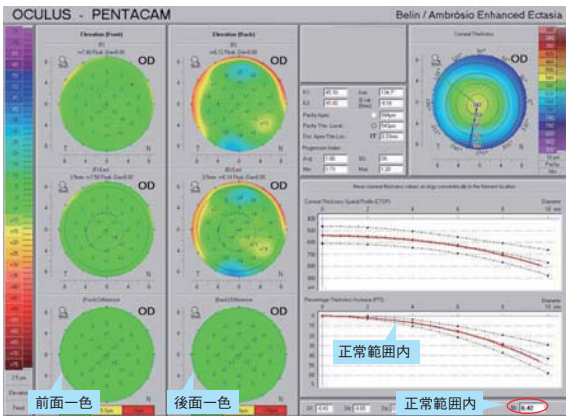


図8 直乱視

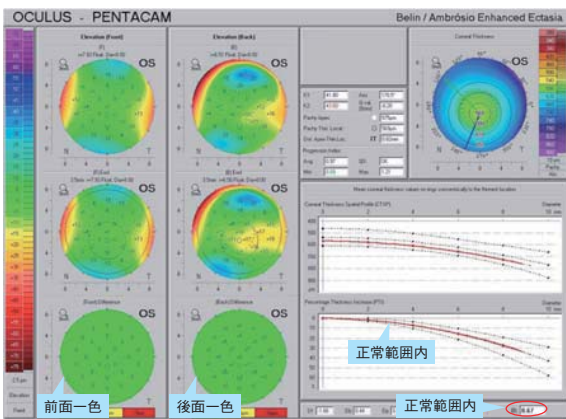


図9 円錐角膜

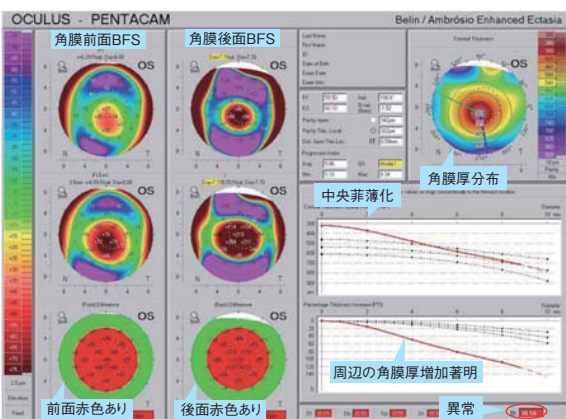


図10 軽度円錐角膜

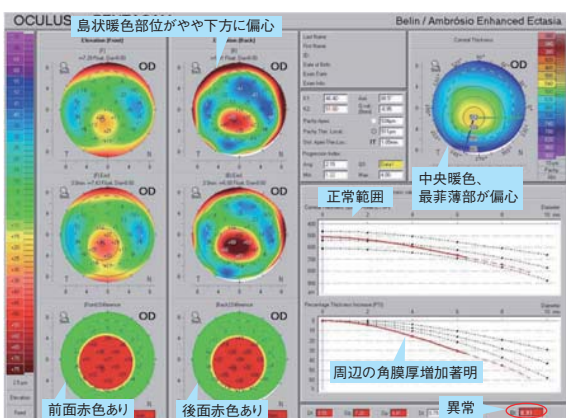
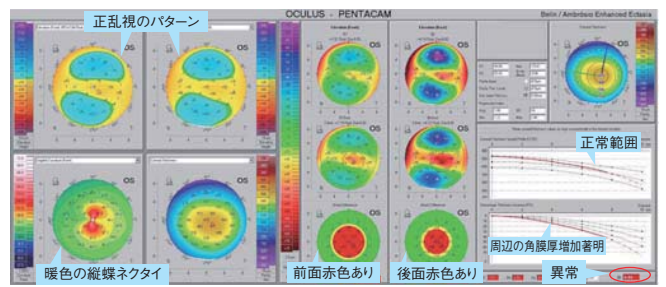


図11 円錐角膜疑い



## Zernike解析結果の表示

Zernike解析は、角膜の高次収差を形状的に評価するとき用いられる。ペンタカムでは、以前から高さのZernike解析を行えたが、2009年4月以降の装置では角膜の高次収差を角膜前面と後面、あるいは前後面で解析することが可能となった。

昼間の見え方を基準とする場合、解析におけるMaximum Calculation Diameterは4mmに設定し、Zernike Orderは6次まで表示すればよいであろう。直乱視の解析結果を図12に示す。RMSが0.3以上では不正乱視と判定されるが、この症例は0.041であり、不正乱視は認められない。また、軽度円錐角膜の解析結果(図13)では、RMSは0.249となり、垂直のコマ収差が増えることで高次収差が増加していることがわかる。

図12 直乱視

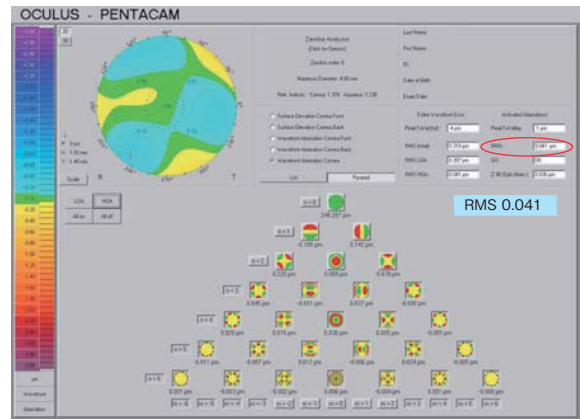
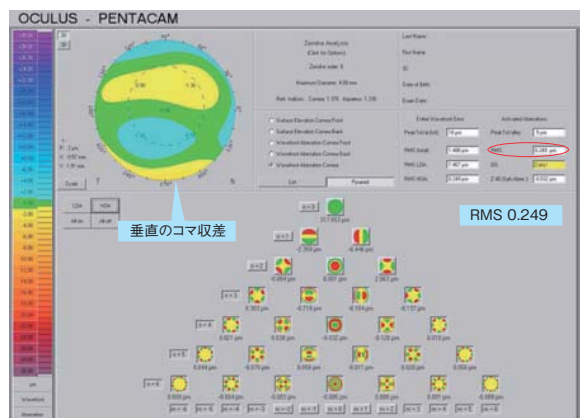


図13 軽度円錐角膜



## 白内障手術における 角膜形状解析の必要性

従来の白内障手術においては、角膜形状解析は必要とされていなかったが、最近では、この傾向は変わってきている。その理由として次のようなことが挙げられる。

術前の視力が不良であった以前と比べて、現在では白内障が比較的軽度で、術前視力が不良とは限らない。そのため、術後視力に対する患者の要求は高まっており、角膜不正乱視は術後視力に対する不満の原因となる。また、IOLの度数計算においても精度が要求されるようになっており、LASIK後の患者も増えていることから、裸眼視力を向上させることが求められている。さらに、ニューテクノロジーIOLの登場によって、球面、非球面、多焦点、トーリックの4種類の中から選択するために、角膜不正乱視の有無の評価が必要になっている。最近ではトーリックIOLによる乱視の矯正も注目されており、術後の視機能をより向上させることが要求されている。

以上の理由から、今後、白内障術前の角膜形状解析は必須となると考えられる。

## 白内障術前 スクリーニングプログラム

現在、オクルス社に白内障術前スクリーニングのプログラムを依頼中である(図14)。Axial powerは通常のマップとして読み、Total refractive powerで角膜前後面の屈折力をみる。Thicknessでは切開部位の厚みが十分であるかどうかを確認する。また、Scheimpflug imageでは前房深度と白内障の病態を確認することができる。さらに、角膜の正乱視、球面収差、不正乱視、前後面比など、Powerやレンズの適応を決めるための数値情報が得られる。

LASIK後の症例(図15)では、K値に比べてTotal refractive powerは1.3D低いが高次収差は高くない。球面収差は正常よりも高いことから、非球面眼内レンズの適応と考えられる。また、このような形状異常がある場合、多焦点レンズは避けたほうがよい。

軽度円錐角膜の症例(図16)では、角膜中央部でもTotal refractive powerに4.7Dの差があるので多焦点レンズは避ける。球面収差がマイナスの場合、マイナスの球面収差をもつ非球面レンズでは不正乱視が増加するので、円錐角膜にはむしろ球面のIOLを使用する。

深層層状角膜移植(DALK)後に白内障手術を行った症例(図17)では、角膜移植後の乱視があり、球面収差も若干上がっていたが、得られた数値からPowerの計算を行う。

以上、ペンタカムによって得られる角膜の光学特性、あるいは形状異常に関する詳細な情報を、診断の一助としていただければ幸いです。

図14 白内障術前スクリーニング 正常眼

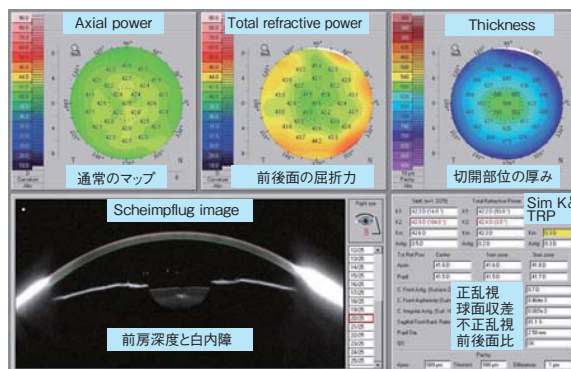


図15 LASIK 後の症例

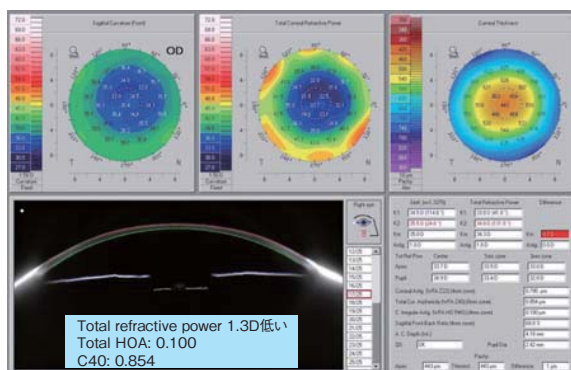


図16 軽度円錐角膜

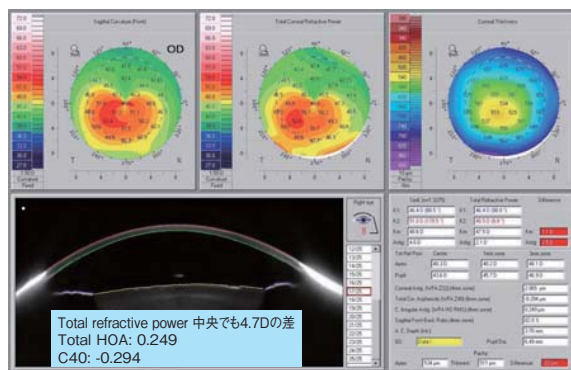


図17 深層層状角膜移植(DALK)

