

著作権法に違反いたしますので、以下の図(文章を含む)などを、柏木豊彦の許可なく、複製することを禁じます。

なお図 B,C,D は、第 51 回日本眼光学学会総会 2015 年 9 月 26 日～27 日、岡山コンベンションセンターにて、柏木豊彦がすでに発表したものです。

多焦点眼内レンズ挿入眼でのランドルト環の網膜像

かしわぎ眼科 柏木豊彦

2015 年 12 月 27 日

網膜にどのように像が結ばれているかを、光学的に計算して、像のコントラストや焦点深度を知っておくことは、視覚に関連した患者様の訴えを理解する時に、参考になると思います。現在では眼球光学系全体の収差を測定することができ、その結果から網膜像を計算することができます。

しかし前記の方法は、白内障手術後に眼内レンズ(IOL)を挿入した場合に、どのように見えるかを術前に予測するものではありません。そこで、ここでは少し方針を変えて、白内障手術前に測定可能なデータを用いて、手術後の網膜像を予測して計算する方法を用いました。

具体的に説明しますと、IOL であれば、その光学的性状がおおよそ正確に分かっているので、角膜形状(乱視、高次収差を含める)を正確に測定し、瞳径、前房深度(角膜と IOL の距離)、IOL の偏心と傾斜などを含めて計算すれば、その結果は、臨床的に十分な精度を持って、実際と一致すると考えられます。そうすれば白内障手術前に、術後に患者さまがどのように見えるかを予測することができますし、IOL の度数決定や IOL の選択にも役立つことになるでしょう。

上記計算は幾何光学的にする方法と波動光学的にする方法があります。幾何光学的計算よりは波動光学的計算の方が正確で、特に瞳径が 3mm 以下や回折型多焦点 IOL (遠近両用 IOL) などの計算をするには、後者の方法が必要となります。以上から、波動光学的計算方法を用いることにしました。

今回は、閲覧される方々が、興味を持たれると思われる、現在日本で使用されている、一部の多焦点 IOL の網膜像を計算してみました。アルコン社の ReSTOR、アラガン社の Tecnis multi、PhysIOL 社の Fine Vision、Oculentis 社の Lentis Mplus 、Lentis Mplus X について、ランドルト指標 logMar0.2(少数視力 0.63)の網膜像を示します。

なお私は現在の多焦点 IOL を推奨している訳ではありません。現在の多焦点 IOL は、光を遠用と近用又は中間用に分けるために、どうしても像のコントラストが落ちます。

特に回折型は回折のもつ基本的性質により、高次の回折光があるため、屈折型に比較して利用されない光を生むこととなります。さらに屈折型でも焦点の合う範囲を欲張ると、コントラストが落ちます。網膜の機能が十分良い比較的若い方であれば、遠近ともに見え

るでしょうが、老化とともに感度が落ちていけば、遠近ともにコントラストが落ちて、見えにくくなっていくと考えられます。

多焦点 IOL を考えておられる患者様は、いくつかある多焦点 IOL の良い点と欠点とをご理解されてから、各社のレンズについて、十分な経験と知識と設備のある施設で、手術を受けられることを望みます。

I 計算方法

イ) 計算方法の概要。

パソコン内で眼鏡、空気、角膜、前房、虹彩、眼内レンズ、硝子体、網膜の、位置や屈折率や各屈折面の形状を与えて、眼前の適当な距離(今回は眼前 5m)の一点から、約 1 万 2 千本ぐらいの光線追跡を行い、眼内レンズ後方での波面収差を計算して、その波面収差から Fresnel-Kirchhoff の回折積分を計算して、点像強度分布(Point Spread function(PSF))を求めます。次にその PSF を畳み込み積分して、前記ランドルト環の網膜像を求めます。瞳径は 3mm としました。ソフトウェアは C++ で自作しました。このソフトウェアでは角膜形状を任意の多項式で表現したり、瞳位置を偏心させたり、瞳の一部を覆ったり、眼内レンズの偏心や傾斜を任意の方向に任意の量で行って計算することができます。

ロ) 光学モデル。

光学モデルを作成するに当たって、特に重要なのは角膜形状です。今回は Gullstrand の角膜形状に準じた角膜光学モデルを用いましたが、実際に測定された形状を適切に数値表現したものに対して光線追跡することもできます。(その方がより実際に近い結果が得られると考えられます。) 眼内レンズの形状は、ReSTOR や Fine Vision の回折構造については、米国特許(ReSTOR は US patent 5,699,142, Dec 16, 1997, Fine Vision は US patent 8.636,796, Jan 28, 2014)に詳細が掲載されているので、アポダイズを含めて、その数値を用いて計算しました。Tecnis Multi の回折構造は実物の写真から、その形状が類推できますので、類推した値を用いました。Lentis mult また Lentis multiX については、HOYA 株式会社 ラウツンデウオ氏が Lentis レンズを実際に測定したデータ(第 51 回日本眼光学学会総会 2015 年 9 月 26 日~27 日、岡山コンベンションセンターにてご発表)を用いました。球面収差は瞳径 3mm でのゼルニケの RMS で、ReSTOR3 は -0.1μ 、Fine Vision は -0.11μ 、(-0.1μ とは角膜面で RMS が 0.1μ 減少させる IOL の 4 次の非球面係数を決めてあるということです。) Tecnis Multi や Lentis mplus および Lentis mplus X については、角膜を含めた光学系全体で球面収差の RMS が 0.0 になるようにしました。各レンズの外観やメーカーによる説明は下記ホームページをご参照ください。

ReSTOR 3.0D

<https://www.myalcon.com/products/surgical/acrysof-ig-restor-iol/innovative-iols.shtml>

Tecnis multi

<http://www.tecnisiol.com/us/physician/multifocal-family-of-iols>

Fine Vision (Trifocal)

<http://www.physiol.eu/en/multifocal-iol/finevision/>

Lentis mplus、 Fig.F Lentis mplusX

<http://www.oculentis.com/lentis-mplus-family.html>

ハ)Defocus。

上記網膜像は指標の眼前からの距離によって defocus して、鮮明になったりぼけたりしますが、今回は眼前に置いた眼鏡度数を変化させて defocus した場合の像の変化を求めました。このように defocus した時の網膜像を求めることにより、遠近両用 IOL の特性を擬似することができます。

II 結果

眼前の眼鏡度数を -4.0 Diop $ter(D)$ (眼前 25 cm の距離に対応)から $+0.75D$ まで $0.25D$ ステップで変化させて、表示しました。図の左上から右下にかけて、眼鏡度数が $0.25D$ ずつ増加していきます。 $0.0D$ のところが遠用部でいわゆる正視のところに対応します。 $-3.0D$ のところは、眼前 $3.0D$ の距離(33 cm)に対応します。もし $-3.0D$ の所でランドルト環像がはっきりと表示されていれば、眼前 33 cm のところがはっきりと見えるということになります。図はスケール(図の右下方の横長の長方形)で表されるエネルギー密度(デシベル)で表示されています。指標の大きさは $\log Mar 0.2$ (少数視力 0.63)としました。各レンズ毎に、PSF とランドルト環の像を示しました。

Fig. A 単焦点 IOL

Fig. B ReSTOR 3.0D

Fig. C Tecnis multi

Fig. D Fine Vision (Trifocal)

Fig. E Lentis mplus

Fig. F Lentis mplus X

III 考察

表示方法によって大分印象が変わります。このことに注意して図を見る必要があります。多焦点は単焦点よりコントラストが悪くなります。多焦点の中でも、Fine vision や Lentis multi X は焦点の合う範囲を広く取ろうとして、全体にコントラストが悪くなっています。後発白内障や老化や黄斑部の疾患などで、網膜感度が低下すると、コントラストの悪い部分は見えにくくなっていくことが考えられます。

角膜の収差や乱視を加えると、多焦点 IOL のコントラストは、図で示したよりもさらに低下するので、実際の眼はかなり悪い条件で見ていることになります。臨床でよく経験す

る皮質白内障などで収差や散乱が大きい眼でも実用視力を維持している患者さまがいることを考えると、多焦点 IOL を挿入された患者さまは、それらと同様に悪い条件で見ているのではないのでしょうか。

今回は多焦点 IOL に関する計算でしたが、次回は乱視と球面収差、乱視とコマ収差の関係について結果を示し、乱視が実際にどのように見えているのか、乱視はどの程度まで矯正すべきかを、示したいと考えています。

Fig.A Monofocal, PSF

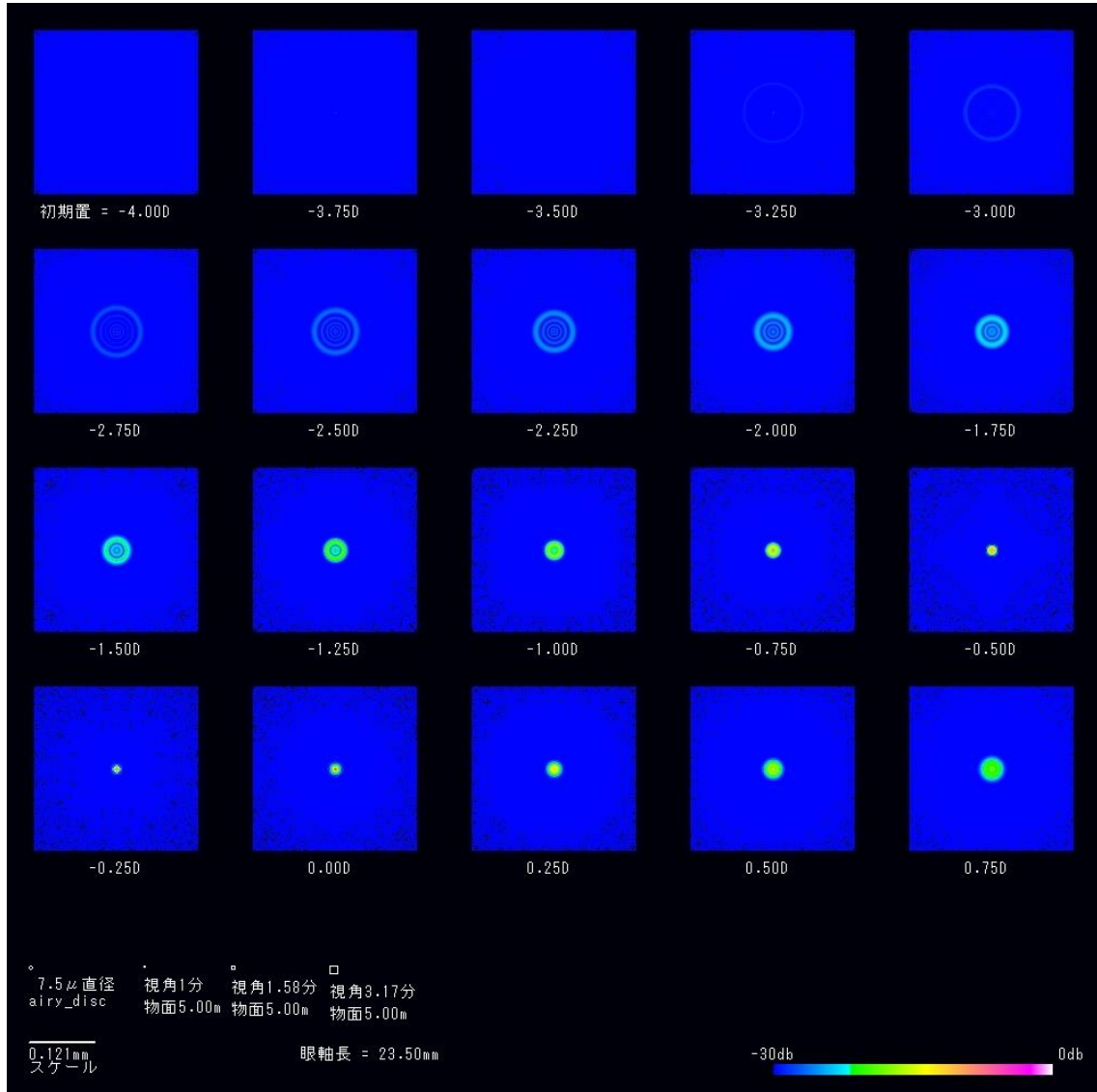


Fig.A Monofocal, Landolt's ring.

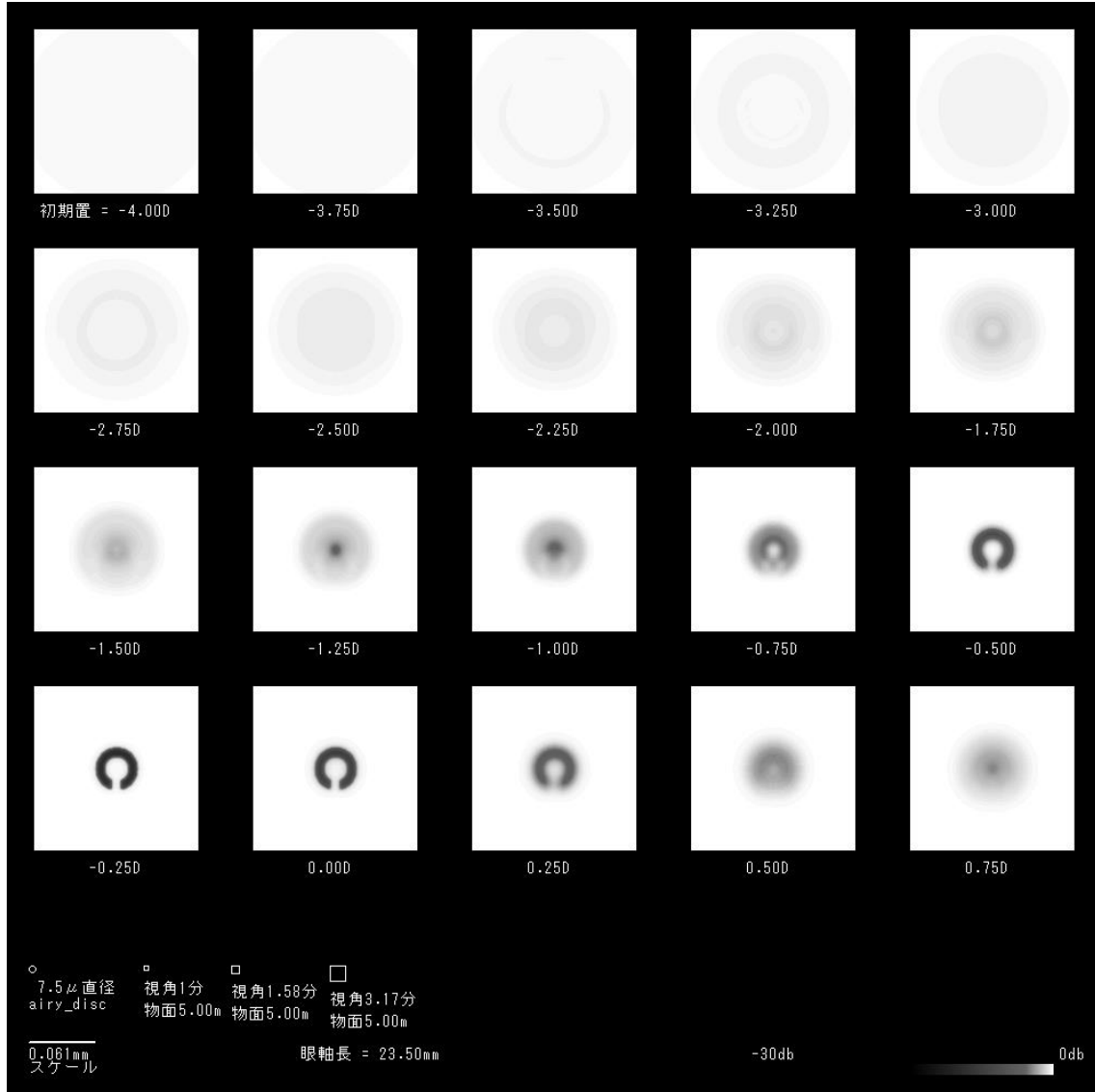


Fig.B ReSTOR, Add 3.0D, PSF

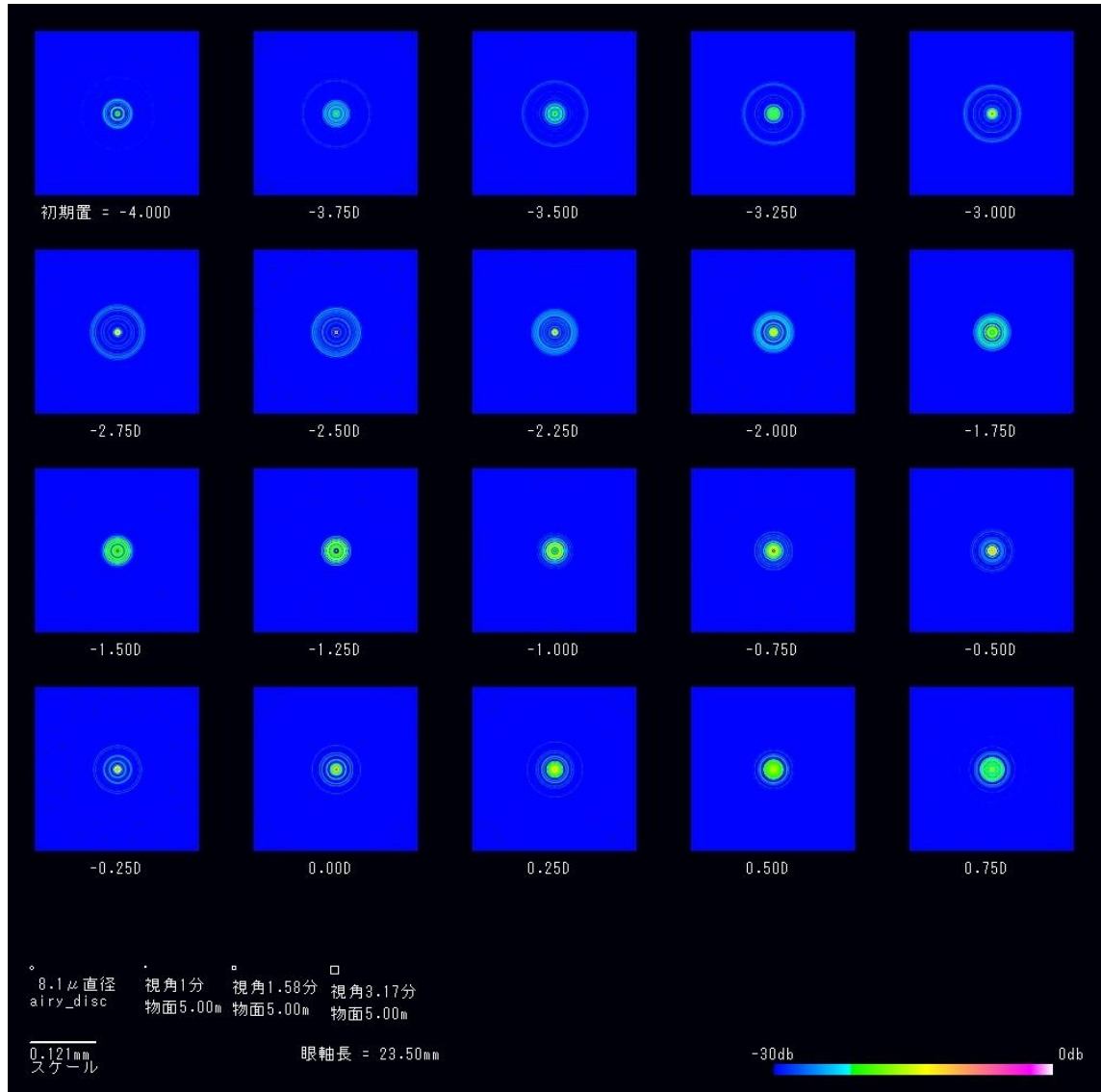


Fig.B ReSTOR, Add 3.0D, Landolt's ring.

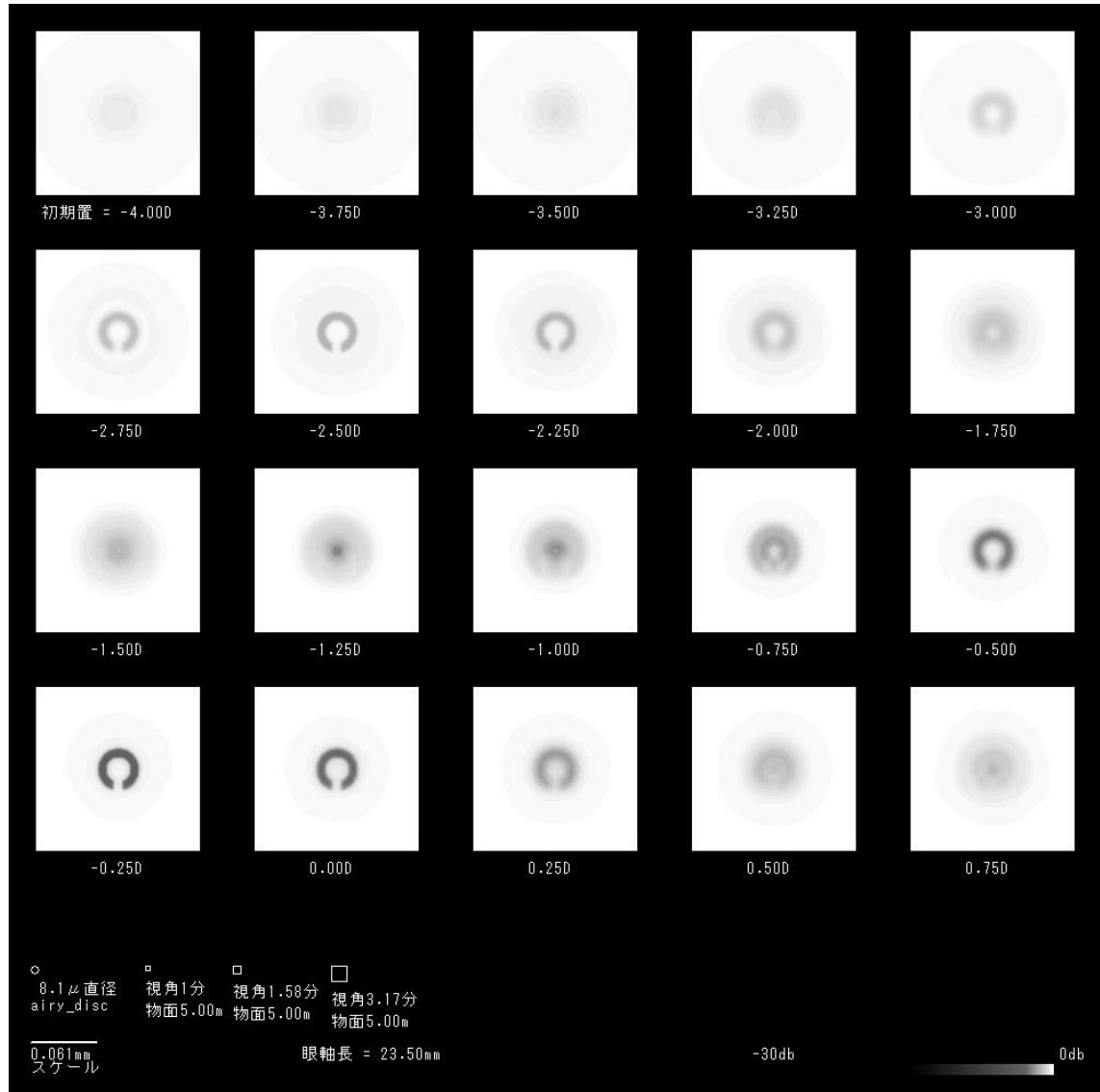


Fig.C Tecnis Multi, PSF

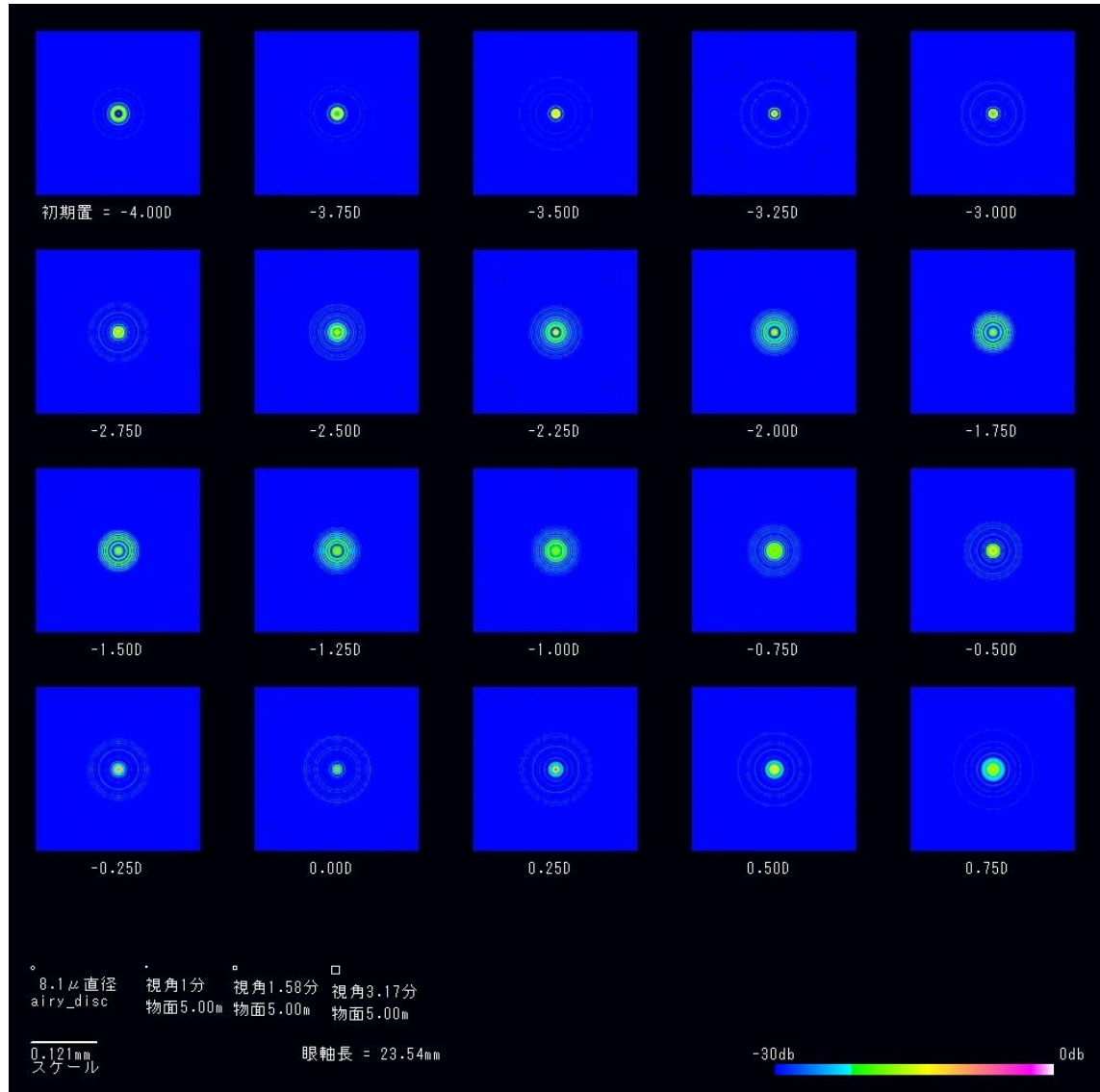


Fig.C Tecnis multi, Landolt's ring.

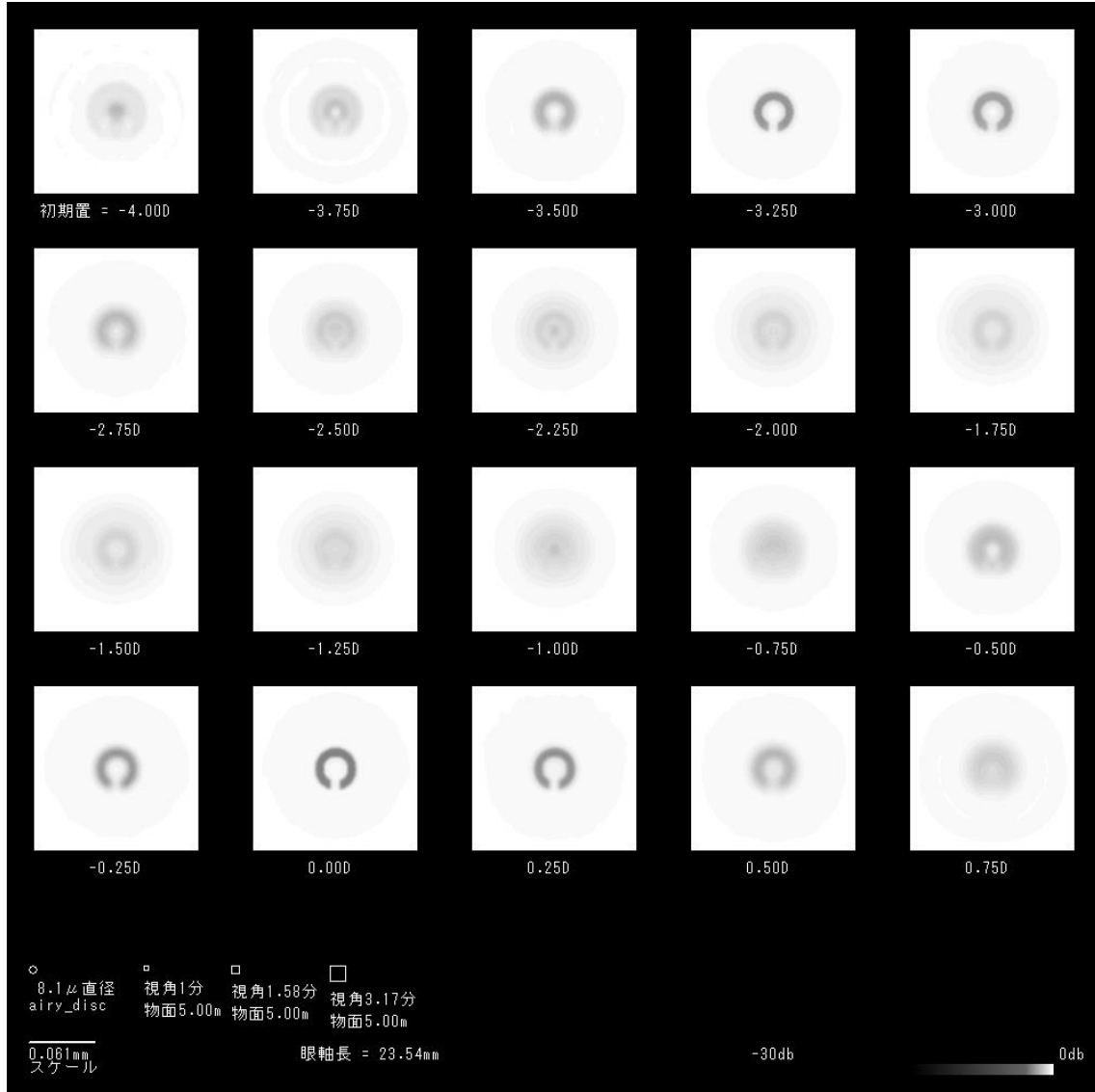


Fig. D FineVision, PSF.

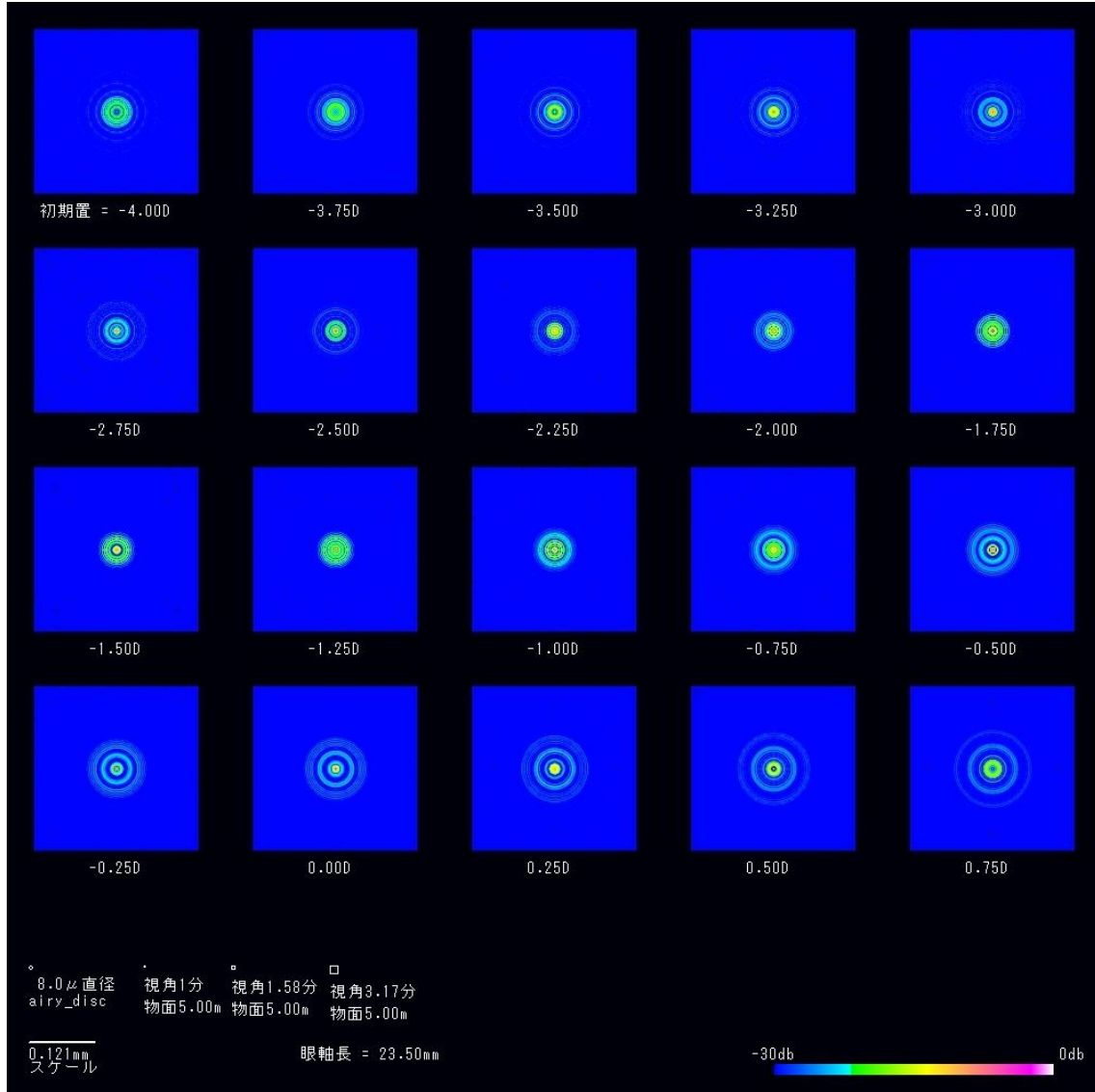


Fig. D FineVision, Landolt's Ring.

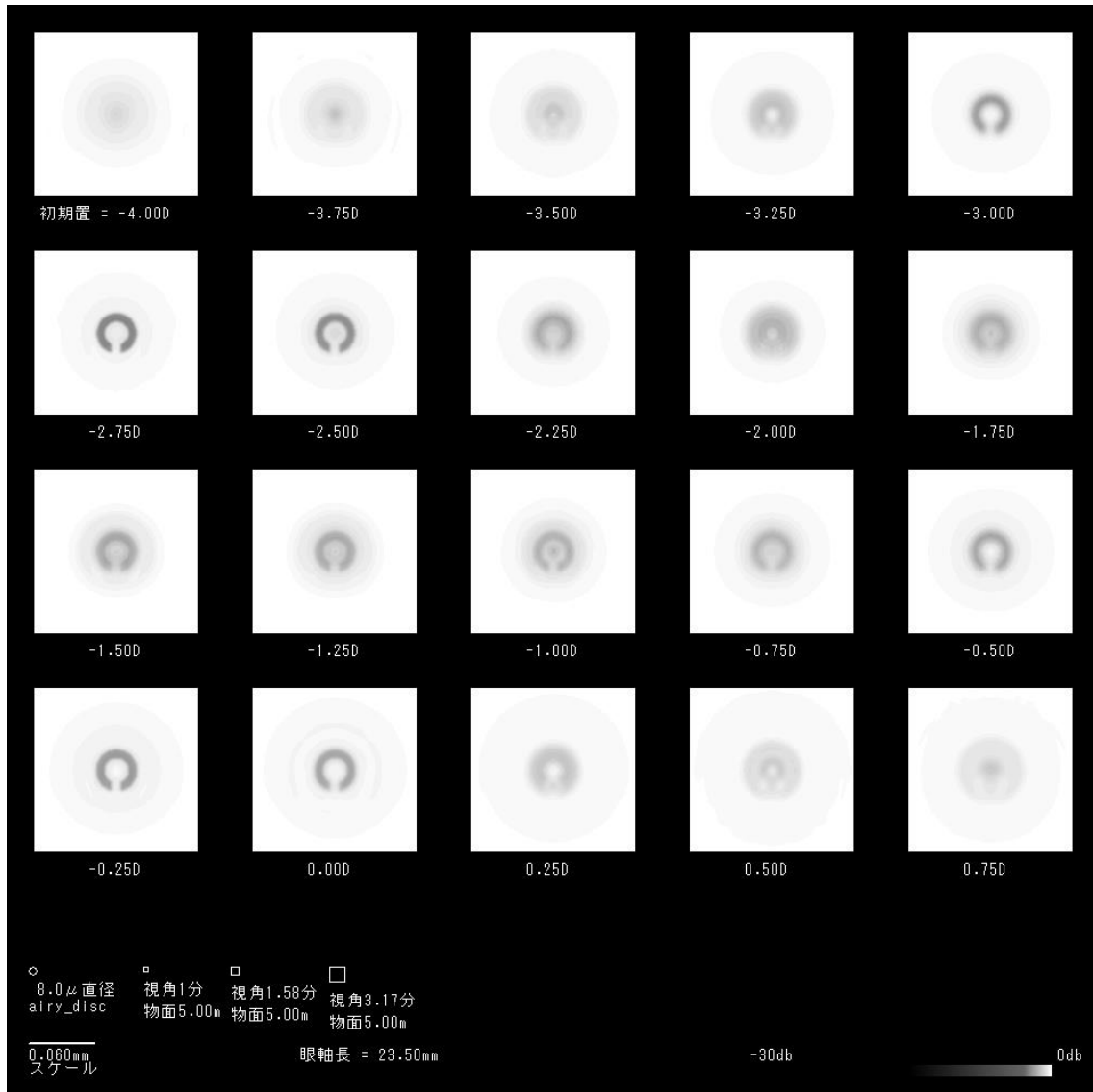


Fig. E Lentis multi, PSF.

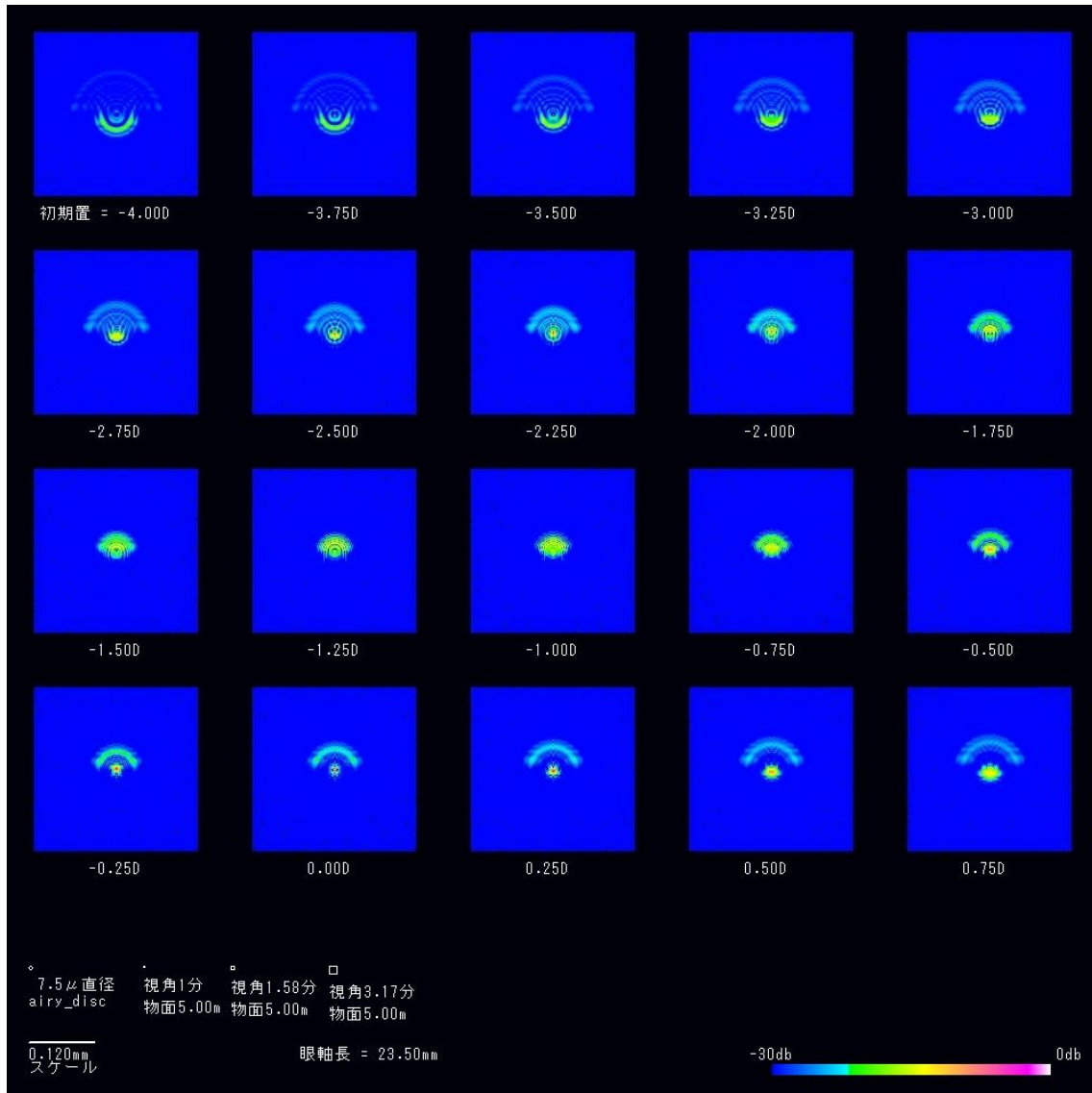


Fig. E Lentis mplus, Landolt ring.

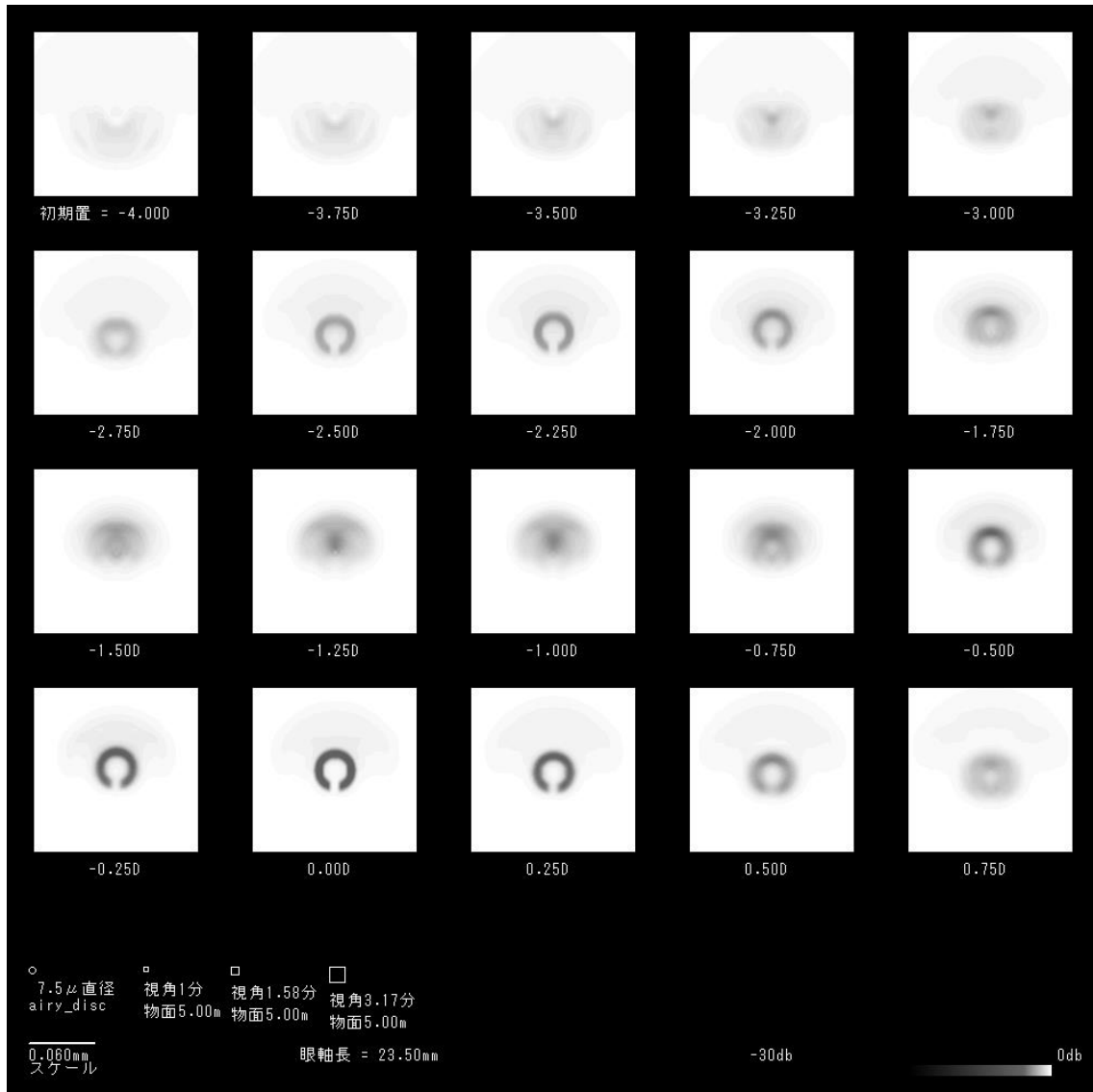


Fig.F Lentis mplusX, PSF.

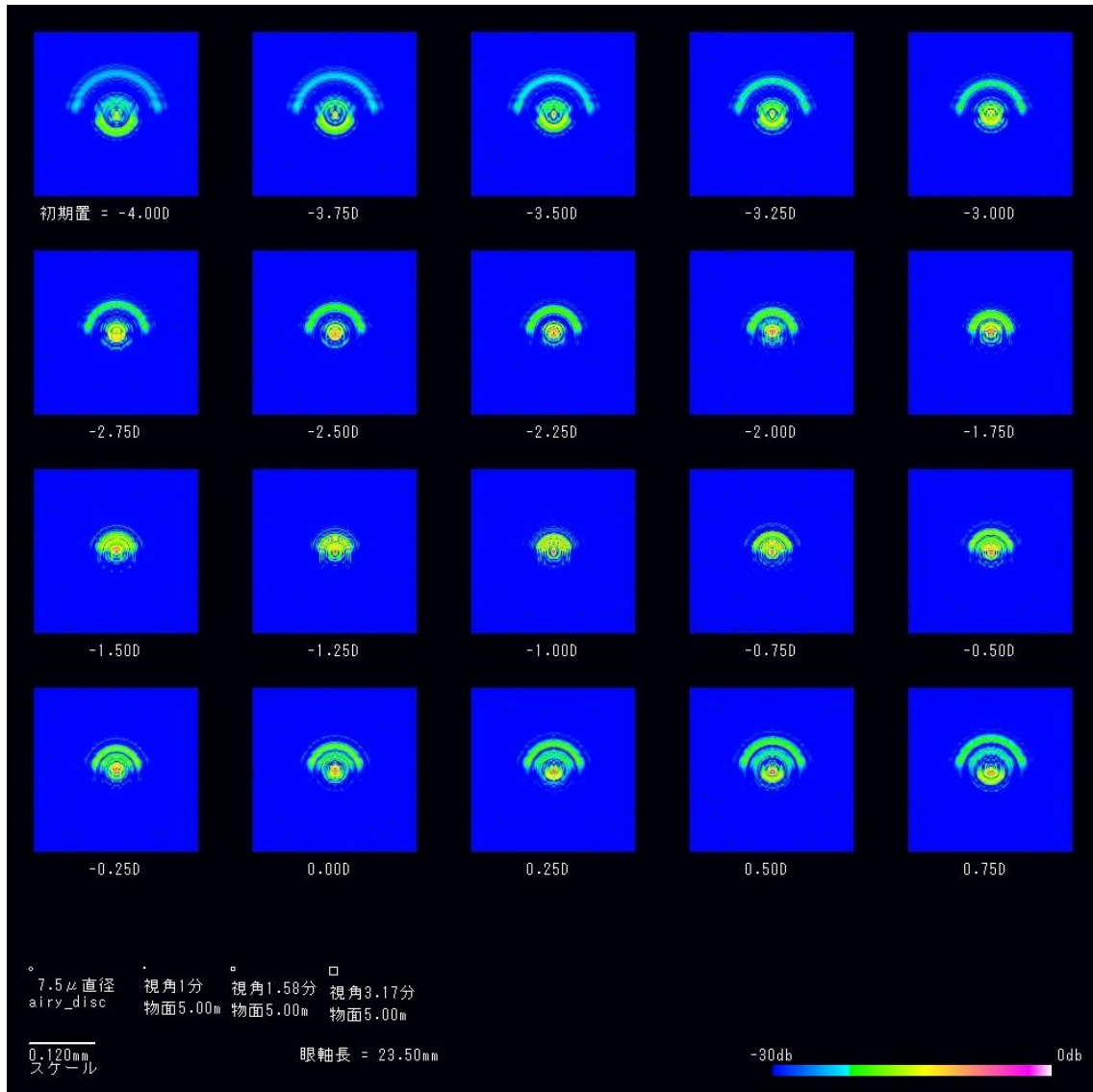
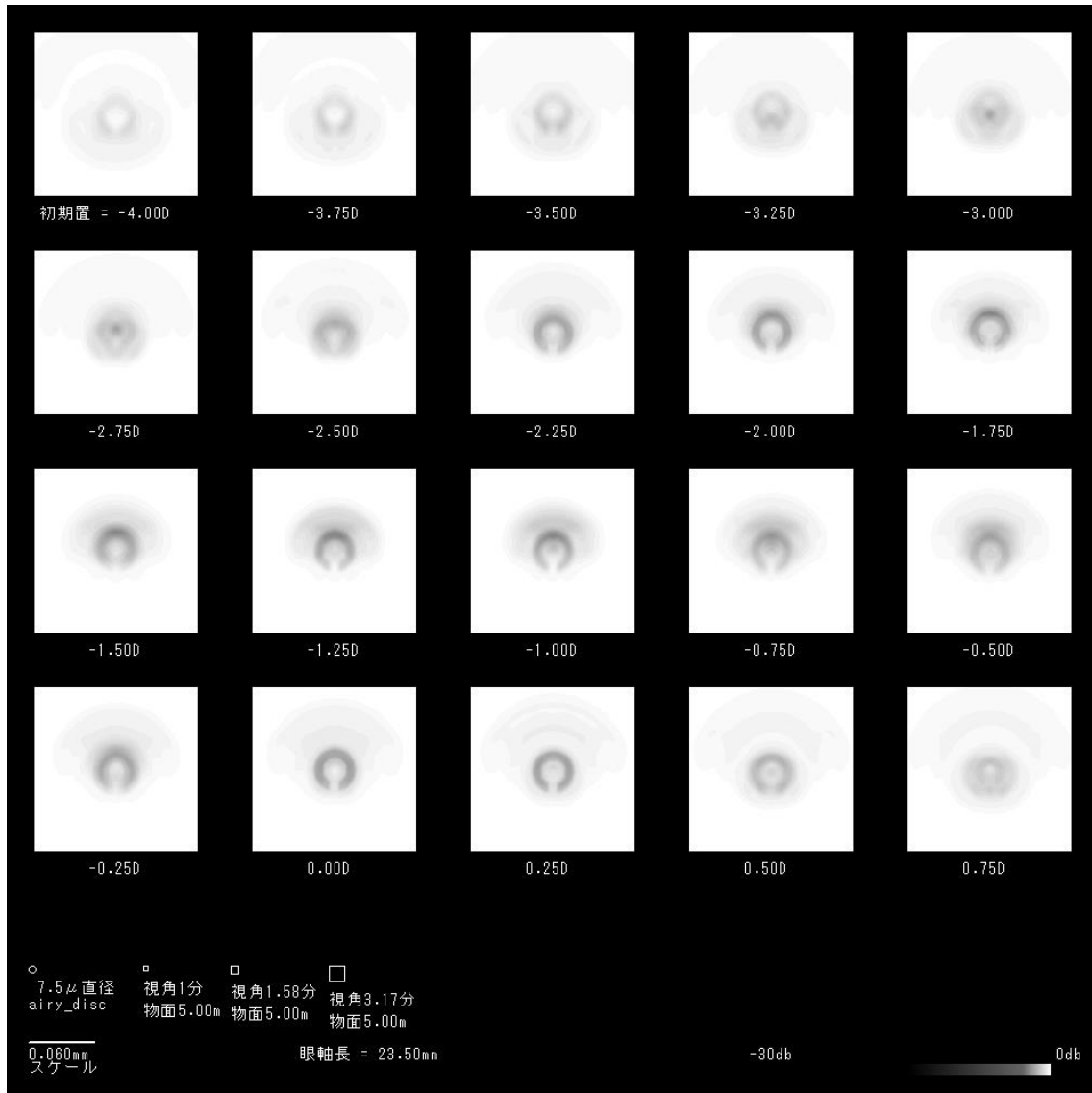


Fig. F Lentis mplusX, Landolt's ring.



以上

2015年12月27日

かしわざ眼科

柏木豊彦