LED ヘッドライトを用いた耳鏡検査における 耳鏡の分光性能

正会員 松本 光広 (神奈川大学)

Spectroscopic Performance of Otoscopes during Otoscopic Examination by LED Headlight

Member Mitsuhiro Matsumoto (Kanagawa University)

ABSTRACT

We evaluated the spectroscopic performance of an otoscope during otoscopic examinations using a headlight with an LED source. We used the mechanisms and the specifications of the objects measured with the otoscope and so on to evaluate the spectroscopic performance. Experimental equipment was built using the existing otoscope and headlight, and we demonstrated methods of measuring the spectral irradiance of the otoscope. We demonstrated methods of evaluating the spectroscopic performance using the spectral irradiance ratio and chromaticity by the measured spectral irradiance. We measured the spectral irradiance of the otoscope using the measuring methods. We found that the spectral irradiance distribution in the otoscope is greatly affected by the spectral distribution in the headlight source. We evaluated the spectroscopic performance of the otoscope using the evaluation methods. The spectroscopic performances of the reflected light onto the surface of, and the direct and reflected lights in, the otoscope differ and are affected by differences in shape, surface condition, length, and the diameter of the wide mouth. The spectroscopic performance of the direct and reflected lights in the otoscope is affected by differences in the diameter of a narrow mouth and the distance and angle between the otoscope and the headlight.

KEYWORDS : otoscope, headlight, otoscopic examination, LED, spectrum

1. 緒言

耳鏡検査では、耳内部における鼓膜や外耳道について、色調や形態の変化を視診する¹⁾。鼓膜における色調の変化において、正常な鼓膜は真珠様灰白色の半透明の光沢に見える¹⁾。病的な鼓膜では、発赤および充血は赤く見えて、混濁は光沢が消失して、黄色調変化は水飴色や淡黄色に透けて、青黒色調変化は青や黒く見える¹⁾。耳鏡検査では、これらの色調の変化を正確に判断する必要がある。耳鏡検査では、光源、額帯鏡および耳鏡を用いる²⁾。光源からの光を額帯鏡で反射して、耳鏡を通して耳内部を照らす¹⁾。光源には、白熱電球が用いられる³⁾。額帯鏡は光源、額帯鏡および耳鏡の位置関係に制約があるので、不便である⁴⁾。そのため光源および額帯鏡の代わりに、光源を内蔵するヘッドライトがある⁵⁾。内蔵される光源には、LEDが用いられる⁶⁾。光源である白色電球とLEDを比較すると、光の色調およびスペクトルが異なる^{6,7)}。耳内部を照らす光は、光源からの直接光、および耳鏡の表面に反射する反射光がある⁸⁾。耳内部を照らす光における直接光と反射光の割合は、耳鏡の仕様における形状、表面の状態、長さ、および広口および狭口の直径、および耳鏡とヘッドライトの距離および角度の違いにより異なる⁸⁾。耳鏡の表面は黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢があり、それぞれの分光反射率が異なる。耳内部を照らす光は、耳鏡における仕様の違いや耳鏡とヘッドライトの位置関係によって、光源の色調やスペクトルとは異なる分光放射照度になる

と考えられる。分光放射照度が異なれば、耳内部の色調が変わる。また色調の変化について、医師は視診において、色調の違いに惑わされる可能性や、違和感を持つために、慣れる必要があると指摘されている^{6,7)}。したがって耳鏡における仕様の違いや耳鏡とヘッドライトの位置関係によって、分光放射照度および色度がどのように変化するかを示せれば、医師が正確な色調を判断する手助けとなりうる。

本論文では、ヘッドライトを用いた耳鏡検査における耳鏡の分光性能を評価する。性能を評価する耳鏡などの測定物について、構造および仕様を示す。実際の耳鏡およびヘッドライトを用いた測定装置を構成して、耳鏡の分光放射照度を測定する方法を示す。測定した分光放射照度を用いた分光放射照度比および色度から、分光性能を評価する方法を示す。評価方法を用いて、耳鏡の分光性能を評価する。

2. 測定物

ヘッドライトを用いて、耳鏡について分光性能を評価する。耳鏡の構造、および耳鏡とヘッドライトの関係を述べる。図1に耳鏡の構造および耳鏡とヘッドライトの関係を示す。(a)は左側面図を、(b)は正面図を、(c)は右側面図を、(d)は正面図の断面図を示す。耳鏡は、中心軸を中心とした広口および狭口を持つ。ヘッドライトは、耳鏡の広口側に設置する。ヘッドライトの中心軸にある焦点から発せられた光は、広口から耳鏡に入る。耳鏡に入った光は、表面に反射しないで狭口に達する直接光、もしくは表面に反射して狭口に達する反射光である。直接光および反射光により、狭口を照ら

図1 耳鏡の構造および耳鏡とヘッドライトの関係

Fig. 1 Mechanism of otoscope and relationship between otoscope and headlight.

す。耳鏡の中心軸方向の長さを l 、広口の半径を r_w 、狭口の半径を r_N とする。半径 r_w および半径 r_N を用いて、広口の直径は $2r_w$ 、狭口の直径は $2r_N$ となる。ヘッドライトの焦点から狭口の中心までの距離を d 、耳鏡の中心軸とヘッドライトの中心軸のなす角度を θ とする。

耳鏡における直接光を評価する穴、および耳鏡を測定物とする。表1に測定物の仕様を示す。測定物には、仕様によって測定物番号を付ける。測定物の種類は、穴および耳鏡である。穴の測定物番号はHkとして、 k は1から3までの自然数とする。耳鏡の測定物番号をOmとして、 m は1から21までの自然数とする。番号H1から番号H3の穴は、耳鏡における直接光を評価するために用いる。穴は、耳鏡の長さ l に相当する厚みを持たない。番号O1から番号O15は、購入した耳鏡である。製造元は、第一医科および松吉医科器械である。耳鏡の形状は、朝顔型および漏斗型である。表面の状態

表1 測定物の仕様

Table 1 Specifications of measured objects.

Hk, Om	Object type	Manufacturer name	Shape	Surface condition	l [mm]	$2r_w$ [mm]	$2r_N$ [mm]
H1	Hole	-	-	-	-	-	3
H2	Hole	-	-	-	-	-	4
H3	Hole	-	-	-	-	-	5
O1	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Black	34.1	21.7	3
O2	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Black	34.1	21.7	4
O3	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Black	34.1	21.7	5
O4	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed matte	34.1	21.9	3
O5	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed matte	34.1	21.9	4
O6	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed matte	34.1	21.9	5
O7	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed gloss	34.1	22.1	3
O8	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed gloss	34.1	22.1	4
O9	Otoscope	Daiichi medical	Bell	Chromed gloss	34.1	22.1	5
O10	Otoscope	Matsuyoshi	Bell	Chromed gloss	35.1	20.7	3.1
O11	Otoscope	Matsuyoshi	Bell	Chromed gloss	35	20.7	3.9
O12	Otoscope	Matsuyoshi	Bell	Chromed gloss	35	20.7	5
O13	Otoscope	Matsuyoshi	Funnel	Chromed gloss	34.8	12.4	2.9
O14	Otoscope	Matsuyoshi	Funnel	Chromed gloss	34.5	13.2	4.1
O15	Otoscope	Matsuyoshi	Funnel	Chromed gloss	34.8	13.6	5.1
O16	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.8	12.4	2.9
O17	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.5	13.2	4.1
O18	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.8	13.6	5.1
O19	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.8	12	2.9
O20	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.5	15.2	4.1
O21	Otoscope	-	Funnel	Aluminized gloss	34.8	17.6	5.1

図2 耳鏡における形状の比較

Fig. 2 Comparison of shape in otoscopes.

図3 作成した耳鏡の画像

Fig. 3 Images of created otoscope.

は黒色，クロムメッキによるつや消し，およびクロムメッキによる光沢である．長さ l ，直径 $2r_w$ および直径 $2r_N$ は，ノギスを用いて0.1 mm単位で測定物を測定した値である．番号O1から番号O9を比較すると，表面の状態が異なっても，長さ l ，直径 $2r_w$ および直径 $2r_N$ はほぼ同じである．番号O7から番号O12を比較すると，形状が同じであっても製造元が異なると，長さ l および直径 $2r_w$ は異なる．番号O10から番号O15を比較すると，形状が異なると，長さ l および直径 $2r_w$ は異なる．番号O16から番号O18は，番号O13から番号O15における表面の違いを評価するために作成する，表面の状態をアルミ蒸着による光沢とする耳鏡である．番号O16から番号O18における長さ l ，直径 $2r_w$ および直径 $2r_N$ は，それぞれ番号O13から番号O15と同じである．アルミ蒸着による光沢は，タカハラコーポレーション社のビバミラーフィルムを用いた．ビバミラーフィルムはアルミ蒸着された厚さ0.1 mmのPETシートに，厚さ0.06 mmの保護コートがなされたフィルムである．アルミ合金で成形した耳鏡の形状において，内面にフィルムを貼り付けた．番号O19から番号O21は，松本が示す集光最適化の設計により作成された耳鏡を示す⁸⁾．番号O13から番号O15と比較して，長さ l および直径 $2r_N$ は同じとして，直径 $2r_w$ が異なる．耳鏡の作成は，番号O16から番号O18と同様である．

表1に示す朝顔型および漏斗型の耳鏡における形状を比較する．図2に耳鏡における形状の比較を示す．(a)は左側面図を，(b)は正面図を，(c)は右側面図を示す．画像には，番号O8，番号O11および番号O14の耳鏡を示す．耳鏡における表面の状態，広口および狭口が分かりやすいように，透明な板の上に設置している．(a)に耳鏡の広口および表面，(b)に外形，(c)に狭口の様子を示す．番号O8および番号O11を比較すると，形状が同じ朝顔型であっても製造元が異なると，外形は小さく異なる．番号O11および番号O14を比較すると，形状が異なると，広口および外形は大きく異なる．

表1に示す番号O16から番号O21の耳鏡は，作成した．図3に作成した耳鏡の画像を示す．(a)は左側面図を，(b)は正

図4 測定装置の画像

Fig. 4 Image of measuring equipment.

面図を，(c)は右側面図を示す．画像には，番号O17の耳鏡を示す．耳鏡における表面の状態，広口および狭口が分かりやすいように，透明な板の上に設置している．(a)に耳鏡の広口および表面，(c)に狭口の様子を示す．表面は，アルミ蒸着により光沢する様子が分かる．

3. 測定方法

耳鏡の分光性能を評価するために，図1に示した耳鏡とヘッドライトの関係について，実際の測定物およびヘッドライトを用いて測定装置を構成する．構成した測定装置を用いて，測定物の狭口における光の分光放射照度を測定する．図4に測定装置の画像を示す．測定装置はヘッドライト，減光フィルタ，測定物，分光放射照度計，パーソナルコンピュータおよびデータ管理ソフトウェアで構成される．ヘッドライトは，アズワン社のナビスLEDヘッドライトを用いる．ナビスLEDヘッドライトは白色LEDを光源として，光源の焦点から光を発する．ナビスLEDヘッドライトはLEDの明るさを変更できるが，測定装置では最も暗い状態で固定して用いる．減光フィルタは，富士フィルム社のND-0.7を用いる．ND-0.7は，360 nmから760 nmまでの範囲における波長 λ について，15%から35%までの範囲における透過率であ

表2 測定条件

Table 2 Measuring conditions.

Mn	d [mm]	θ [°]
M1	132.3	0
M2	198.3	0
M3	264.4	0
M4	132.3	5
M5	132.3	10.1

る。ND-0.7はナビスLEDヘッドライトから発する光の明るさを下げて、分光放射照度計の測定範囲に合わせるために用いる。測定物は、表1に示す穴および耳鏡を用いる。分光放射照度計は、コニカミノルタ社のCL-500 Aを用いる。CL-500 Aは、360 nmから780 nmまでの範囲における波長 λ について、1 nmごとに分光放射照度を測定できる。パーソナルコンピュータは、パナソニック社のCF-RZ5を用いる。データ管理ソフトウェアは、コニカミノルタ社のCL-S10wを用いる。CL-S10wは、CF-RZ5にインストールされる。CL-500 Aは、CF-RZ5と接続して、CL-S10wを用いることで測定値を取得できる。耳鏡の広口側にナビスLEDヘッドライトを設置する。ナビスLEDヘッドライトにおいて、焦点の設置位置を変えることで距離 d および角度 θ を設定する。測定物の狭口に、CL-500 Aを設置する。測定装置はナビスLEDヘッドライト以外の光を遮断するために、暗室に設置する。分光放射照度はナビスLEDヘッドライト以外の迷光を取り除くために、ヘッドライトが切りおよび入りでそれぞれ測定して、それらの差分で示す。

表2に測定条件を示す。測定装置を用いた測定について、測定条件ごとに測定番号を付ける。測定番号は Mn として、 n は1から5までの自然数とする。番号 Hk および番号 Om の測定物を用いて、距離 d および角度 θ を設定して測定する。距離 d について、132.3 mmはナビスLEDヘッドライトの焦点から12.8°で広がる光が、直径 $2r_w$ に一致する距離とする。132.3 mmは直径 $2r_w$ が最も大きい、番号O7から番号O9に一致する距離である。198.3 mmおよび264.4 mmは、額帯鏡の焦点距離に準じて決めた。額帯鏡の焦点距離について、楕は170 mmから200 mm、加我は200 mmから250 mmと示した^{1,2)}。角度 θ は、番号O21における広口から狭口までの表面の傾きに準じて決めた。表面の傾きについて、角度は10.1°である。表2に示す測定条件に基づいて、各測定装置を構成した。

4. 評価方法

図4に示す測定装置、および表2に示す測定条件を用いて、表1に示す測定物の分光放射照度を測定する。測定から、各波長 λ に対する分光放射照度の分布が得られる。また、測定した分光放射照度から、耳鏡の表面における反射光のみの分光放射照度を求める。各波長 λ に対する反射光の分光放射照度における分布が得られる。分光性能の評価において、耳鏡を用いることによる分光放射照度の変化を明確に示すために、分光放射照度比を用いる。また色調を示す色度を用いる。

反射光の分光放射照度は、耳鏡における分光放射照度から

表3 式(2)における番号 Hk 、 Om および Mn の対応Table 3 Correspondences of numbers Hk , Om and Mn in Equation (2).

Hk	Om	Mn
H1	O1, O4, O7, O10, O13, O16, O19	M1
H2	O2, O5, O8, O11, O14, O17, O20	M1
H3	O3, O6, O9, O12, O15, O18, O21	M1, M2, M3, M4, M5

穴における分光放射照度を差し引くことで求める。表1および表2に示す番号 Hk および番号 Mn について、分光放射照度を $i_{Hk,Mn}$ とする。表1および表2に示す番号 Om および番号 Mn について、分光放射照度を $i_{Om,Mn}$ とする。分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ から分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ を差し引くことで、反射光のみの分光放射照度 $i_{Om,Mn}-i_{Hk,Mn}$ となる。表面の状態についてのみ反射光の分光放射照度 $i_{Om,Mn}-i_{Hk,Mn}$ を比較するために、測定条件を番号M1、穴の測定物番号をH3と固定する。反射光の分光放射照度は、 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ となる。分光放射照度比は、穴における分光放射照度に対する、耳鏡における分光放射照度の比である。例えば、穴の分光放射照度に対して耳鏡の分光放射照度に変化がなければ、分光放射照度比は1となる。分光放射照度における値の大きさによらず、分光放射照度の変化を判断できる。耳鏡の表面における反射光のみの分光放射照度比を f_s とする。直接光および反射光を合わせた耳鏡全体の分光放射照度比を f_0 とする。

分光放射照度比 f_s を求める。分光放射照度比 f_s により、耳鏡の表面における反射光のみの影響を評価する。反射光のみの分光放射照度 $i_{Om,Mn}-i_{Hk,Mn}$ を分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ で割ることで、分光放射照度比 f_s となる。分光放射照度比 f_s は、

$$f_s = \frac{i_{Om,Mn} - i_{Hk,Mn}}{i_{Hk,Mn}} \quad (1)$$

と表せる。分光放射照度比 f_s では、測定条件を番号M1として、番号H3の穴に対して、番号O3、番号O6、番号O9、番号O12、番号O15、番号O18および番号O21の耳鏡を用いる。直径 $2r_N$ が5 mmおよび5.1 mmについて、形状、表面、長さ l および直径 $2r_w$ の違いによる、耳鏡の表面における反射光のみへの影響を評価する。分光放射照度比 f_0 を求める。分光放射照度比 f_0 により、反射光および直接光を合わせた耳鏡全体を評価する。

反射光および直接光を合わせた分光放射照度は、分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ である。さらに分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ で割ることで、分光放射照度比 f_0 となる。分光放射照度比 f_0 は、

$$f_0 = \frac{i_{Om,Mn}}{i_{Hk,Mn}} \quad (2)$$

と表せる。分光放射照度比 f_0 では、直径 $2r_N$ が5 mmおよび5.1 mmについて、形状、表面、長さ l および直径 $2r_w$ の違いによる、反射光および直接光を合わせた耳鏡全体への影響を評価する。また直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ の違いによる、反射光および直接光を合わせた耳鏡全体への影響を評価する。表3に式(2)における番号 Hk 、 Om および Mn の対応を示す。

色度は、反射光の分光放射照度および耳鏡における分光放射照度から、等色関数を用いて求める。反射光の分光放射照度 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ および分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ について、反射光、および直接光および反射光の色度 x および色度 y を求める。

図5 測定した分光放射照度

Fig. 5 Measured spectral irradiances.

図6 反射光の分光放射照度

Fig. 6 Spectral irradiances of reflected light.

380 nmから780 nmまでの範囲における波長 λ について、1 nmごとの等色関数を用いた。

5. 性能評価

5.1 測定した分光放射照度

評価方法を用いて、耳鏡の分光性能を評価する。図5に測定した分光放射照度を、図6に反射光の分光放射照度を示す。波長 λ における、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ 、分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ および分光放射照度 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ の分布を示す。図5に示す結果から、分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ は、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ より大きい。またすべての分布において、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ および分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ が0となる、波長 λ の最大範囲は360 nmから409 nmまで、および741 nmから780 nmまでである。図6に示す結果から、表面の状態と比較すると、分光放射照度 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ は、黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢の順番で大きくなる。図5および図6に示す結果から、すべての分布について、波長 λ が450 nm付近および540 nm付近で、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ 、分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ および分光放射照度 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ がピークを持つ。これは測定装置において、ヘッドラ

図7 反射光の分光放射照度比

Fig. 7 Spectral irradiance ratios of reflected light.

イトに白色LEDの光源を用いたためであり、白色LEDの分光分布と同様である。したがって分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ 、分光放射照度 $i_{Om,Mn}$ および分光放射照度 $i_{Om,M1}-i_{H3,M1}$ の分布は、ヘッドライトの光源における分光分布が大きく影響する。

5.2 反射光の分光放射照度比

図7に反射光の分光放射照度比を示す。波長 λ における、分光放射照度比 f_s の分布を示す。分光放射照度比 f_s は、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ が0となると値を示すことができない。したがって図5に示す結果から、波長 λ の範囲は分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ が0ではない410 nmから740 nmとする。

分光放射照度比 f_s は、形状で比較すると、朝顔型より漏斗型で大きくなる。表面で比較すると、黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢の順番で大きくなる。長さ l および直径 $2r_w$ で比較すると、朝顔型では、長さ l が大きく、かつ直径 $2r_w$ が小さい方が大きくなる。漏斗型では、直径 $2r_w$ が大きい方が大きくなる。

すべての分布について、波長 λ が410 nmから420 nmまで、および690 nmから740 nmまでの範囲において、分光放射照度比 f_s は大きく増加する。増加率は、形状で比較すると、朝顔型より漏斗型で大きくなる。表面で比較すると、黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢の順番で大きくなる。長さ l および直径 $2r_w$ で比較すると、朝顔型では、長さ l が大きく、かつ直径 $2r_w$ が小さい方が大きくなる。漏斗型では、直径 $2r_w$ が大きい方が大きくなる。波長 λ が420 nmから690 nmまでの範囲において、表面が黒色では、波長 λ が増加しても分光放射照度比 f_s はほぼ変化しない。クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢では、増加する。アルミ蒸着による光沢では、波長 λ が470 nmから490 nmまでの範囲で増加する。波長 λ が490 nmから690 nmまでの範囲ではほぼ変化しない。

表4に反射光の色度を示す。色度 x および色度 y は、形状で比較すると、朝顔型より漏斗型で大きくなる。表面で比較すると、黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢の順番で小さくなる。長さ l および直径 $2r_w$ で比較すると、朝顔型では、長さ l が大きく、かつ直径 $2r_w$ が小さい方が小さくなる。漏斗型で

表4 反射光の色度
Table 4 Chromaticity of reflected light.

O_m	M_n	x	y
O3	M1	0.3053	0.2982
O6	M1	0.3026	0.3002
O9	M1	0.3012	0.299
O12	M1	0.2988	0.2965
O15	M1	0.3008	0.2998
O18	M1	0.2922	0.2901
O21	M1	0.2925	0.2915

は、直径 $2r_w$ が大きい方が大きくなる。

図5に示す分光放射照度比 f_s の分布と、表4に示す色度 x および色度 y を比較する。波長 λ が410 nmから420 nmまで、および690 nmから740 nmまでの範囲における分光放射照度比 f_s の増加率と、色度 x および色度 y を比較する。形状、および漏斗型における長さ l および直径 $2r_w$ では、正の相関がある。表面、および朝顔型における長さ l および直径 $2r_w$ では、負の相関がある。波長 λ が420 nmから690 nmまでの範囲における分光放射照度比 f_s の増加と、色度 x および色度 y を比較する。表面がクロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢では、負の相関がある。したがって耳鏡の表面における反射光の分光性能は、耳鏡の形状、表面、長さ l および直径 $2r_w$ の違いが影響する。

5.3 直接光および反射光の分光放射照度比

表5に図8から図15および表6から表13における番号 O_m および M_n の対応を示す。図8から図15に直接光および反射光の分光放射照度比を示す。波長 λ における、分光放射照度比 f_o の分布を示す。分光放射照度比 f_o は、分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ が0となると値を示すことができない。したがって図5に示す結果から、波長 λ の範囲は分光放射照度 $i_{Hk,Mn}$ が0ではない410 nmから740 nmとする。表6から表13に直接光および反射光の色度を示す。

図8に示す分光放射照度比 f_o の分布と、図6に示す分光放射照度比 f_s の分布を比較する。分光放射照度比 f_o は、分光放射照度比 f_s より大きいが、それぞれの分布は変化しない。表6に示す結果から、色度 x および色度 y は、形状で比較すると、朝顔型より漏斗型で大きくなる。表面で比較すると、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、アルミ蒸着による光沢、および黒色の順番で小さくなる。長さ l および直径 $2r_w$ で比較すると、朝顔型では、ほぼ変化しない。漏斗型では、直径 $2r_w$ が大きい方が大きくなる。表6に示す直接光および反射光と、表4に示す反射光の色度 x および色度 y を比較する。色度 x および色度 y は、反射光よりも、直接光および反射光で小さい。また形状、表面、および漏斗型における長さ l および直径 $2r_w$ では、正の相関がある。したがって直接光および反射光を合わせた耳鏡全体の分光性能は、耳鏡の形状、表面、長さ l および直径 $2r_w$ の違いが影響する。しかし耳鏡の表面における反射光の分光性能とは異なる。

図9から図15に示す結果から、直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ の違いにより、分光放射照度比 f_o に差が生じる。図9か

表5 図8から図15および表6から表13における番号 O_m および M_n の対応

Table 5 Correspondences of numbers O_m and M_n in Figure 8 through Figure 15 and Table 6 through Table 13.

Figure	Table	O_m	M_n
8	6	O3, O6, O9, O12, O15, O18, O21	M1
9	7	O1, O2, O3	M1
		O3	M2, M3, M4, M5
10	8	O4, O5, O6	M1
		O6	M2, M3, M4, M5
11	9	O7, O8, O9	M1
		O9	M2, M3, M4, M5
12	10	O10, O11, O12	M1
		O12	M2, M3, M4, M5
13	11	O13, O14, O15	M1
		O15	M2, M3, M4, M5
14	12	O16, O17, O18	M1
		O18	M2, M3, M4, M5
15	13	O19, O20, O21	M1
		O21	M2, M3, M4, M5

図8 番号O3および番号M1, 番号O6および番号M1, 番号O9および番号M1, 番号O12および番号M1, 番号O15および番号M1, 番号O18および番号M1, および番号O21および番号M1における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 8 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O3 and M1, O6 and M1, O9 and M1, O12 and M1, O15 and M1, O18 and M1, and O21 and M1.

ら図15におけるそれぞれの図を比較すると生じる差は、形状で比較すると、朝顔型より漏斗型で大きくなる。表面で比較すると、黒色、クロムメッキによるつや消し、クロムメッキによる光沢、およびアルミ蒸着による光沢の順番で大きくなる。長さ l および直径 $2r_w$ で比較すると、朝顔型では、長さ l が大きく、かつ直径 $2r_w$ が小さい方が大きくなる。漏斗型では、直径 $2r_w$ が大きい方が大きくなる。

分布について、波長 λ が410 nmから420 nmまで、および

表6 番号O3および番号M1, 番号O6および番号M1, 番号O9および番号M1, 番号O12および番号M1, 番号O15および番号M1, 番号O18および番号M1, および番号O21および番号M1における直接光および反射光の色度

Table 6 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O3 and M1, O6 and M1, O9 and M1, O12 and M1, O15 and M1, O18 and M1, and O21 and M1.

Om	Mn	x	y
O3	M1	0.2912	0.2849
O6	M1	0.2964	0.2924
O9	M1	0.296	0.2923
O12	M1	0.2958	0.2925
O15	M1	0.2984	0.2964
O18	M1	0.2917	0.2893
O21	M1	0.2921	0.2906

図9 番号O1および番号M1, 番号O2および番号M1, 番号O3および番号M1, 番号O3および番号M2, 番号O3および番号M3, 番号O3および番号M4, および番号O3および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 9 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O1 and M1, O2 and M1, O3 and M1, O3 and M2, O3 and M3, O3 and M4, and O3 and M5.

690 nmから740 nmまでの範囲において、直径 $2r_N$ が大きいと、分光放射照度比 f_0 は大きく増加する。表面がクロムメッキによるつや消し、およびクロムメッキによる光沢では、直径 $2r_N$ および距離 d が小さいと、大きく減少する。表面がアルミ蒸着による光沢では、直径 $2r_N$ および距離 d が小さいと、大きく増加減少する。波長 λ が420 nmから690 nmまでの範囲において、表面が黒色では、波長 λ が増加しても分光放射照度比 f_0 はほぼ変化しない。表面がクロムメッキによるつや消し、およびクロムメッキによる光沢では、増加する。増加率は、直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ の違いにより、ほぼ変化しない。表面がアルミ蒸着による光沢では、波長 λ が470 nmから490 nmまでの範囲で増加する。増加率は、直径 $2r_N$ が大きい方が大きくなる。

図10 番号O4および番号M1, 番号O5および番号M1, 番号O6および番号M1, 番号O6および番号M2, 番号O6および番号M3, 番号O6および番号M4, および番号O6および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 10 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O4 and M1, O5 and M1, O6 and M1, O6 and M2, O6 and M3, O6 and M4, and O6 and M5.

図11 番号O7および番号M1, 番号O8および番号M1, 番号O9および番号M1, 番号O9および番号M2, 番号O9および番号M3, 番号O9および番号M4, および番号O9および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 11 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O7 and M1, O8 and M1, O9 and M1, O9 and M2, O9 and M3, O9 and M4, and O9 and M5.

表7から表13に示す結果から、直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ の違いにより、色度 x および色度 y に差が生じる。色度 x および色度 y は、直径 $2r_N$ で比較すると、表7、表8、表10および表11に示す結果から、直径 $2r_N$ の違いによりばらつく。表9に示す結果から、直径 $2r_N$ が大きい方が小さくなる。表12および表13に示す結果から、直径 $2r_N$ が大きい方が大きくなる。距離 d で比較すると、表7から表13に示す結果から、距離 d が大きい方が小さくなる。角度 θ で比較すると、表7、

図12 番号O10および番号M1, 番号O11および番号M1, 番号O12および番号M1, 番号O12および番号M2, 番号O12および番号M3, 番号O12および番号M4, および番号O12および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 12 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O10 and M1, O11 and M1, O12 and M1, O12 and M2, O12 and M3, O12 and M4, and O12 and M5.

図13 番号O13および番号M1, 番号O14および番号M1, 番号O15および番号M1, 番号O15および番号M2, 番号O15および番号M3, 番号O15および番号M4, および番号O15および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 13 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O13 and M1, O14 and M1, O15 and M1, O15 and M2, O15 and M3, O15 and M4, and O15 and M5.

表8および表12に示す結果から、角度 θ の違いによりばらつく。表9から表11に示す結果から、角度 θ が大きい方が大きくなる。表13に示す結果から、角度 θ が大きい方が小さくなる。したがって色度 x および色度 y と、直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ がばらつかずに相関する耳鏡は、番号O7から番号O9、および番号O19から番号O21である。番号O7から番

図14 番号O16および番号M1, 番号O17および番号M1, 番号O18および番号M1, 番号O18および番号M2, 番号O18および番号M3, 番号O18および番号M4, および番号O18および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 14 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O16 and M1, O17 and M1, O18 and M1, O18 and M2, O18 and M3, O18 and M4, and O18 and M5.

図15 番号O19および番号M1, 番号O20および番号M1, 番号O21および番号M1, 番号O21および番号M2, 番号O21および番号M3, 番号O21および番号M4, および番号O21および番号M5における直接光および反射光の分光放射照度比

Fig. 15 Spectral irradiance ratios of direct and reflected lights in cases of numbers O19 and M1, O20 and M1, O21 and M1, O21 and M2, O21 and M3, O21 and M4, and O21 and M5.

号O9は、形状が朝顔型、表面がクロムメッキによる光沢、長さ l が小さく、および直径 $2r_w$ が大きい耳鏡である。番号O19から番号O21は、形状が漏斗型、表面がアルミ蒸着による光沢、および直径 $2r_w$ が大きい集光最適化の設計をされた耳鏡である。これらの耳鏡を用いることで、色度 x および色度 y と、直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ との、それぞれの相関

表7 番号O1および番号M1, 番号O2および番号M1, 番号O3および番号M1, 番号O3および番号M2, 番号O3および番号M3, 番号O3および番号M4, および番号O3および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 7 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O1 and M1, O2 and M1, O3 and M1, O3 and M2, O3 and M3, O3 and M4, and O3 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O1	M1	0.2922	0.2857
O2	M1	0.2913	0.2849
O3	M1	0.2912	0.2849
O3	M2	0.2901	0.2833
O3	M3	0.2896	0.2826
O3	M4	0.2914	0.2858
O3	M5	0.2904	0.2848

表8 番号O4および番号M1, 番号O5および番号M1, 番号O6および番号M1, 番号O6および番号M2, 番号O6および番号M3, 番号O6および番号M4, および番号O6および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 8 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O4 and M1, O5 and M1, O6 and M1, O6 and M2, O6 and M3, O6 and M4, and O6 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O4	M1	0.2967	0.2921
O5	M1	0.2956	0.2916
O6	M1	0.2964	0.2924
O6	M2	0.2946	0.2897
O6	M3	0.2935	0.2882
O6	M4	0.2968	0.293
O6	M5	0.2976	0.2943

表9 番号O7および番号M1, 番号O8および番号M1, 番号O9および番号M1, 番号O9および番号M2, 番号O9および番号M3, 番号O9および番号M4, および番号O9および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 9 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O7 and M1, O8 and M1, O9 and M1, O9 and M2, O9 and M3, O9 and M4, and O9 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O7	M1	0.2991	0.2956
O8	M1	0.2988	0.2952
O9	M1	0.296	0.2923
O9	M2	0.2934	0.2887
O9	M3	0.2931	0.2879
O9	M4	0.2961	0.2926
O9	M5	0.2972	0.2941

表10 番号O10および番号M1, 番号O11および番号M1, 番号O12および番号M1, 番号O12および番号M2, 番号O12および番号M3, 番号O12および番号M4, および番号O12および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 10 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O10 and M1, O11 and M1, O12 and M1, O12 and M2, O12 and M3, O12 and M4, and O12 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O10	M1	0.2971	0.2937
O11	M1	0.2974	0.2942
O12	M1	0.2958	0.2925
O12	M2	0.294	0.2897
O12	M3	0.2933	0.2886
O12	M4	0.2964	0.2933
O12	M5	0.2977	0.295

表11 番号O13および番号M1, 番号O14および番号M1, 番号O15および番号M1, 番号O15および番号M2, 番号O15および番号M3, 番号O15および番号M4, および番号O15および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 11 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O13 and M1, O14 and M1, O15 and M1, O15 and M2, O15 and M3, O15 and M4, and O15 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O13	M1	0.2984	0.2956
O14	M1	0.2982	0.2957
O15	M1	0.2984	0.2964
O15	M2	0.2946	0.2909
O15	M3	0.2927	0.2884
O15	M4	0.2998	0.2985
O15	M5	0.305	0.305

表12 番号O16および番号M1, 番号O17および番号M1, 番号O18および番号M1, 番号O18および番号M2, 番号O18および番号M3, 番号O18および番号M4, および番号O18および番号M5における直接光および反射光の色度

Table 12 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O16 and M1, O17 and M1, O18 and M1, O18 and M2, O18 and M3, O18 and M4, and O18 and M5.

<i>Om</i>	<i>Mn</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
O16	M1	0.2902	0.2872
O17	M1	0.2911	0.2884
O18	M1	0.2917	0.2893
O18	M2	0.2893	0.2842
O18	M3	0.2882	0.2826
O18	M4	0.2918	0.2896
O18	M5	0.2917	0.2902

表 13 番号 O19 および番号 M1, 番号 O20 および番号 M1, 番号 O21 および番号 M1, 番号 O21 および番号 M2, 番号 O21 および番号 M3, 番号 O21 および番号 M4, および番号 O21 および番号 M5 における直接光および反射光の色度

Table 13 Chromaticity of direct and reflected lights in cases of numbers O19 and M1, O20 and M1, O21 and M1, O21 and M2, O21 and M3, O21 and M4, and O21 and M5.

O_m	M_n	x	y
O19	M1	0.2907	0.288
O20	M1	0.2913	0.2892
O21	M1	0.2921	0.2906
O21	M2	0.2896	0.2855
O21	M3	0.2886	0.2836
O21	M4	0.2915	0.2893
O21	M5	0.291	0.288

を把握できる。これらの相関から、医師は正確な色調を判断しやすくなる。

図9から図13に示す分光放射照度比 f_0 の分布と、表7から表13に示す色度 x および色度 y を比較する。波長 λ が410 nmから420 nmまで、および690 nmから740 nmまでの範囲における分光放射照度比 f_s の増加減少と、色度 x および色度 y を比較する。直径 $2r_N$ では、正の相関がある。表面がクロムメッキによるつや消し、およびクロムメッキによる光沢における角度 θ では、負の相関がある。波長 λ が420 nmから690 nmまでの範囲における分光放射照度比 f_s の増加と、色度 x および色度 y を比較する。表面がクロムメッキによるつや消し、およびクロムメッキによる光沢における角度 θ では、正の相関がある。表面がアルミ蒸着による光沢における直径 $2r_N$ では、正の相関がある。したがって反射光および直接光を合わせた耳鏡全体の分光性能は、耳鏡の直径 $2r_N$ 、距離 d および角度 θ の違いが影響する。

6. 結言

本論文では、ヘッドライトを用いた耳鏡検査における耳鏡の分光性能を評価した。本論文で得られた結果を以下に示す。

1. 分光性能を評価する耳鏡などの測定物について、構造および仕様を示した。実際の耳鏡およびヘッドライトを用いた測定装置を構成して、耳鏡の分光放射照度を測定する方法を示した。測定した分光放射照度を用いた分光放射照度比および色度から、分光性能を評価する方法を示した。
2. 測定方法を用いて、耳鏡の分光放射照度を測定した。耳鏡における分光放射照度の分布は、ヘッドライトの光源

における分光分布が大きく影響する。

3. 評価方法を用いて、耳鏡の分光性能を評価した。耳鏡の表面における反射光の分光性能は、耳鏡の形状、表面、長さおよび広口の直径の違いが影響する。直接光および反射光を合わせた耳鏡全体の分光性能は、表面、長さおよび広口の直径の違いが影響する。しかし耳鏡の表面における反射光の分光性能とは異なる。また耳鏡における狭口の直径、および耳鏡とヘッドライトの距離および角度の違いが影響する。
4. 形状が朝顔型、表面がクロムメッキによる光沢、長さが小さく、および広口の直径が大きい耳鏡、もしくは形状が漏斗型、表面がアルミ蒸着による光沢、および広口の直径が大きい集光最適化の設計をされた耳鏡を用いることで、色度と、狭口の直径、およびヘッドライトと耳鏡の距離および角度との、それぞれの相関を把握できる。これらの相関から、医師は正確な色調を判断しやすくなる。

参考文献

- 1) 桧学：「現代の耳鼻咽喉科学」，金原出版，pp. 159-167 (1983).
- 2) 加我君孝：「新耳鼻咽喉科学」，南山堂，pp. 63-64 (2013).
- 3) 森山寛：「中耳・外耳」，メジカルビュー，p. 26 (2000).
- 4) 調所廣之：「ファイバー光源による額帯鏡」，耳鼻咽喉科展望，29-5, pp. 583-586 (1986).
- 5) 大塚，野中，渡邊：「SUCCESS耳鼻咽喉科」，金原出版，p. 23 (2017).
- 6) 五島，矢部：「耳鼻咽喉科外来ヘッドライトの自作・改造」，耳鼻咽喉科展望，49-3, pp. 142-144 (2006).
- 7) 庄司，児嶋：「HMRの概要と観察所見—高輝度白色LEDによる額帯鏡代替器—」，耳鼻咽喉科臨床，98-9, pp. 682-683 (2005).
- 8) 松本光広：「ヘッドライトを用いた耳鏡検査における耳鏡の集光性能評価および集光最適化設計」，照明学会誌，104-2, pp. 61-68 (2020).

(受付日2020年8月25日／採録日2021年2月18日)

松本 光広 (正会員)
 神奈川大学工学部経営工学科
 〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋3-27-1
 昭和54年2月20日生まれ。平成23年3月筑波大学大学院博士後期課程修了。平成28年神奈川大学工学部経営工学科勤務。現在同

大学准教授。博士（工学）。照明学会会員。