内暈（又は日暈、22 度ハロ）について

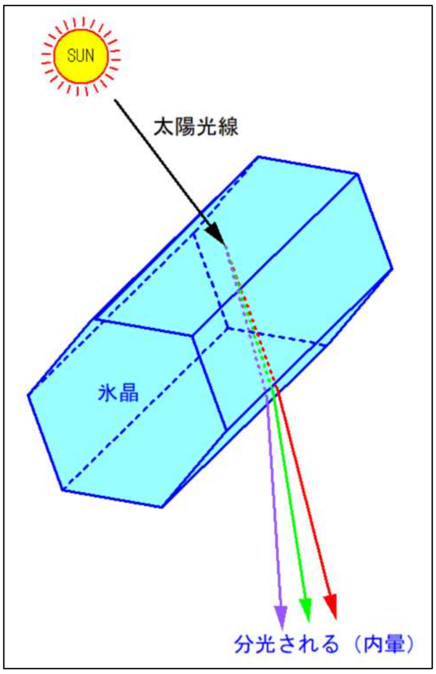
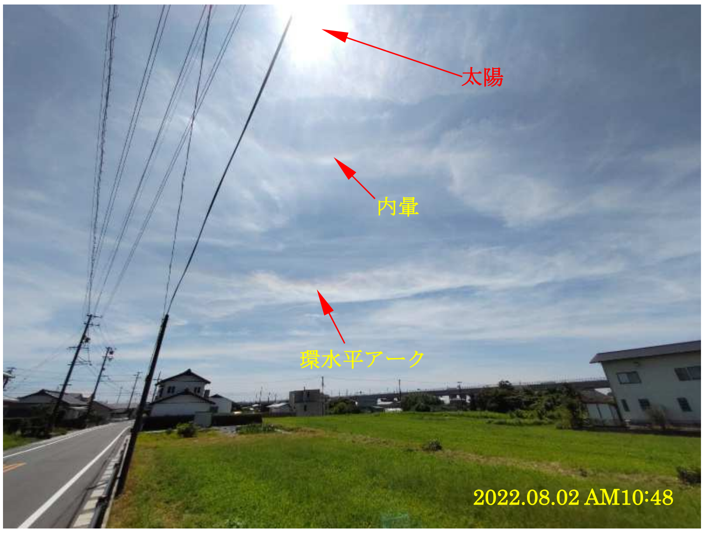


図１　内暈の原理



今回撮影された（と思われる）「内暈」は、上空に浮かぶ「氷の粒（氷晶）」によって生成されます。

原理は、図１のように、六角柱状の氷晶の側面に光が入射し、氷晶柱を光が進むうちに波長毎に分光され、大気中に射出されます。それを地上から見上げ、虹のような姿が見られる。このとき、太陽からの視野角として約 22°離れた位置に現れるとされています。

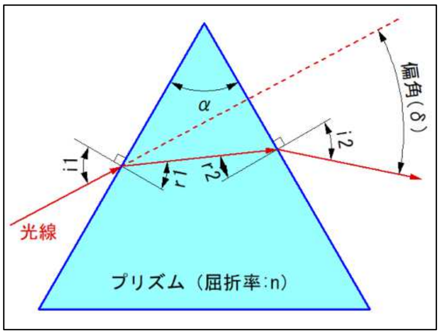


図２　プリズム内の光線経路

これを光学的に解説します。図２は、頂角「α」のプリズムの左側面に光が入射し、右側面から射出する様子を示しています。プリズムへの入射角「*i1*」、プリズム内への屈折角「*r1*」、右プリズム面への入射角「*r2*」、大気への射出角「*i2*」、そして入射光線と射出光線の角度差を「偏角（δ）」とします。

この図から幾何学的に次式が求められます。

$$(i1-r1)+(i2-r2)=\delta \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(1)$$

一方、次式も成立します。

$$(90-r1)+(90-r2)+\alpha=180 \text{ から } \quad r1+r2=\alpha \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(2)$$

(2)を使って(1)を書き換えると次式が得られます。

$$i1+i2-\alpha=\delta \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(3)$$

そして、スネルの法則から次式が成立します。

$$sin\,i1=n\times sin\,r1 \text{ 、 } sin\,i2=n\times sin\,r2 \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(4)$$

(4)を使って(3)を書き換えると次式が得られます。

$$\delta=i1+sin^{-1}(n\times sin(\alpha-sin^{-1}(\frac{sin\,i1}{n})))-\alpha \quad \cdot\cdot\cdot\cdot\cdot(5)$$

これで、入射角「*i1*」・屈折率「*n*」・プリズム頂角「α」を与えると「偏角（δ）」が計算できます。これを「氷晶（正六角形ですので、プリズム頂角は 60°になります）」に適用して計算した結果が、図３になります。

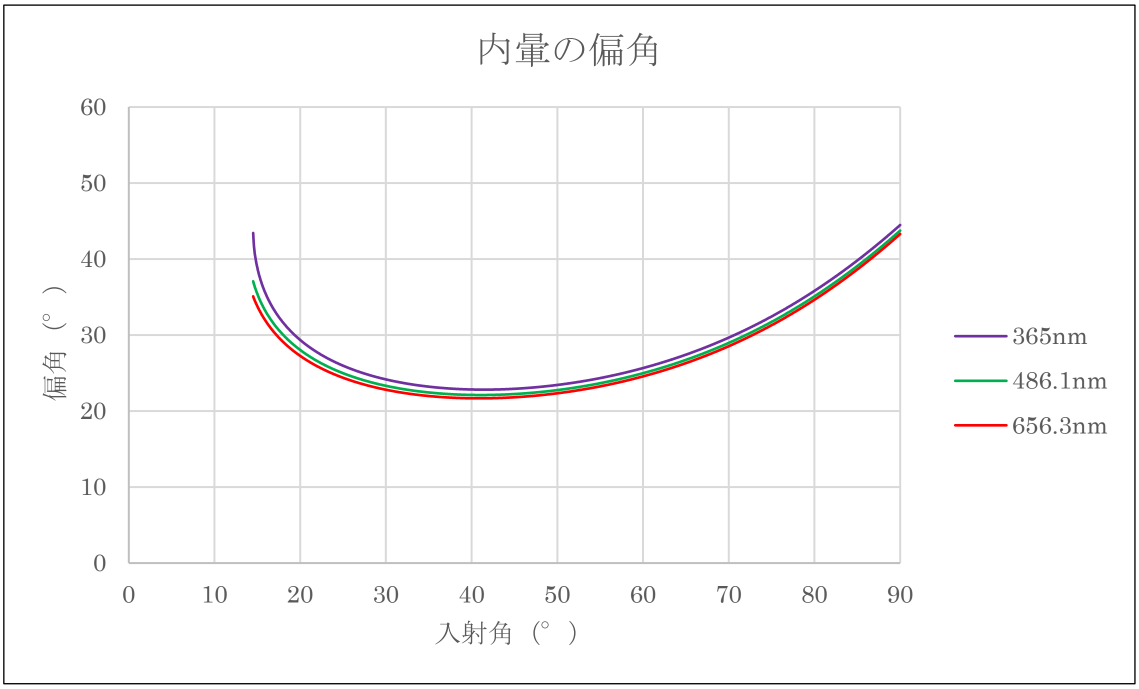


図３　内暈の偏角計算結果

ここで、グラフを見ると分かりますが、「偏角」は、ある「入射角」で「最小値」をとることが分かります（この時、プリズムへの入射角「$i1$」とプリズムからの出射角「$i2$」が等しくなります)。これを光学専門用語で「**最小偏角**」と言います。

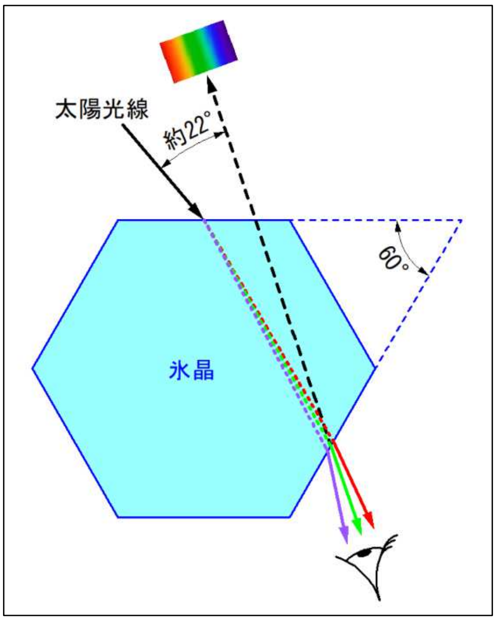


図４　内暈の観察方向

さて、この「氷晶」では、「**最小偏角**」が「約22°」になっていることが分かりますし、グラフから、入射角が変化しても「**最小偏角**」の近くの「偏角」は大きく変わっていないことが分かります。これはとりも直さず、我々が実際に「内暈」を観察したとき、そこそこの長い時間に渡って観察できる理由を示していると思います。（つまり現実的には、22°付近でしか見られない、ということ。）

さて、これを今回の「内暈」に適用した場合、図４に示すようになり、太陽から約22°離れた方向に「内暈」が観察できることになります。

因みに、この「約22°」という角度は、人が腕をいっぱいに伸ばし、手（指）を「パー」に広げた場合、目から見て親指の先端から小指の先端まで張る「角度＝視野角」が「約22°」に相当しますので、実際に空を見上げてみて「視野角」がほぼ合っているかどうかを確認できます。（当日実際に手で確認しました。）

あと、実はこの「**最小偏角**」の性質を使って光学上の重要な特性値を決めていますが、それは本稿の最後で示します。

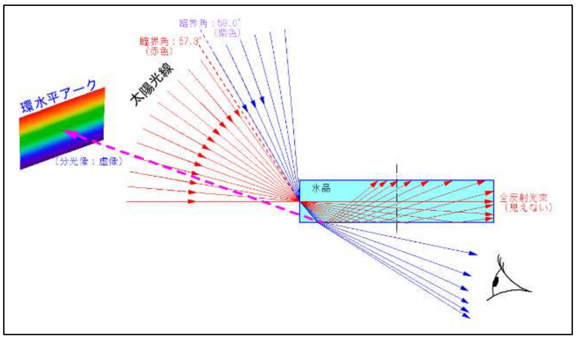


図５　環水平アークの光線経路

さて、丁度１年前「環水平アーク」を観察したことをお伝えしましたが、今回内暈と同様「偏角」を同様に計算しました。図５に示すように、環水平アークの場合のプリズム頂角は「90°」になります。しかも太陽高度は、約 58°以上ないと見ることができませんでした。これを踏まえて計算した結果を図６に示します。

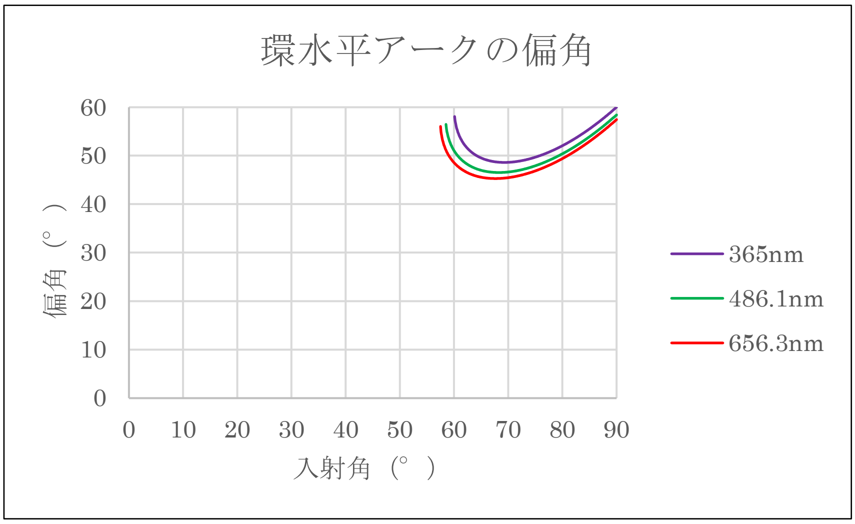


図６環水平アークの偏角計算結果

内暈の偏角と比較できるようにグラフの両軸とも尺度を合わせています。このグラフから、環水平アークの見える位置は、視野角で太陽から約 46°方向に見えることが分かります。内暈の位置の約２倍強の位置になり、冒頭の写真とも符合しています。

さて、光学上最も重要な数値の一つに「屈折率：n」があります。この数値は非常に重要で精度よく求められていないとレンズ設計に大きな影響を及ぼします。これを決める方法の一つに「**最小偏角**」が利用されています。図３や図６の偏角の最小値を「δ_{min}」とすると、プリズム頂角「α」が分かれば、屈折率は次式で計算できます。

$$n = \frac{sin\dfrac{\alpha + \delta_{min}}{2}}{sin\dfrac{\alpha}{2}}$$

この方法の優れたところは、「δ_{min}」や「α」を例えば角度で１秒程度の正確さで測ると、屈折率は「10^{-5}の精度」で求めることができること、です。

小職も以前ガラス素材メーカーに、あるガラスの屈折率を計測してもらったことがあり、メーカーは依頼したガラスブロックからプリズムを削り出して測ったということです。