

おがちゃんまんの

Takahashi FC76
天体写真撮影マニュアル

2023/2/2 改訂

おがちゃんまん

目次

	ページ
はじめに	3
第1章. 撮影法の原理	4
1-1. 直接焦点撮影法の原理	5
1-2. エクステンダー・レンズを用いた撮影法の原理	7
1-3. コリメート撮影法の原理	8
1-4. リレー・レンズを用いた撮影法の原理	10
1-5. レデューサー・レンズを用いた撮影法の原理	13
第2章. 天体別撮影法の選択	14
2-1. 月面撮影	15
2-2. 太陽面撮影	17
2-3. 惑星撮影	19
2-4. 星雲・星団・彗星撮影	20
第3章. 合成焦点距離と合成F値	21
3-1. 直焦点撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)	22
3-2. 直焦点撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)	23
3-3. エクステンダー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)	25
3-4. エクステンダー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)	27
3-5. コリメート撮影法での焦点距離(二眼レフカメラ使用)	30
3-6. リレー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)	31
3-7. リレー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)	34
3-8. レデューサー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)	39
3-9. レデューサー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)	40
付 録	41
付録1. 【基礎知識】 凸レンズによる像の位置と大きさ(1)	42
付録2. 【基礎知識】 凸レンズによる像の位置と大きさ(2)	44
付録3. エクステンダー・レンズ利用時の光路長と合成焦点距離の関係グラフ	46
付録4. 太陽面適正露出表	47
付録5. FC-76システムチャート	48
付録6. 保有機材一覧	50
改訂履歴	51

参考資料

- | | | |
|------------------------|------------|--------|
| ・ シグマベスト | 中学理科の精解と資料 | 文英堂 |
| ・ 天体写真マニュアル | 月刊天文編集部編 | 地人書館 |
| ・ 天体写真テクニック | 天文ガイド編 | 誠文堂新光社 |
| ・ チロの天文シリーズ | 藤井旭の天体写真入門 | 誠文堂新光社 |
| ・ 写真/眼視システムチャート(FC-76) | | 高橋製作所 |

はじめに

天体を撮影する方法にはいろいろあり、それぞれに特徴があることから撮影する対象によって撮影方法を選択することになります。私が所有している機器構成においては以下のような選択を基本にしています。

		2-1章	2-2章	2-3章	2-4章
		月	太陽	惑星	星雲・星団・彗星
1-1章 3-1章 3-2章	直接焦点撮影	○ (惑星接近)			○
1-2章 3-3章 3-4章	エクステンダー・レンズ (テレコンバーター・レンズ) を用いた撮影	◎ (※1)	◎ (※1)		
1-3章 3-5章	コリメート撮影	○ (部分拡大)	○ (部分拡大)	○	
1-4章 3-6章 3-7章	リレー・レンズを用いた撮影	○ (部分拡大)	○ (部分拡大)	◎	
1-5章 3-8章 3-9章	レデューサー・レンズを用いた撮影				◎

第1章では、各撮影法の原理について光学的解説をしています。

本来であれば学問的見地から厳格な記載をすべきではありますが、筆者にはその知識が不十分であるためこのマニュアル全体を通して実用的かつ簡易的な説明となっています。

第2章では、天体をどのような撮影法で撮るかについて私が所有している撮影機材(付録6参照)をベースに記載しています。

第3章では、実際の撮影における合成焦点距離をパーツの組合せと共に記述しています。

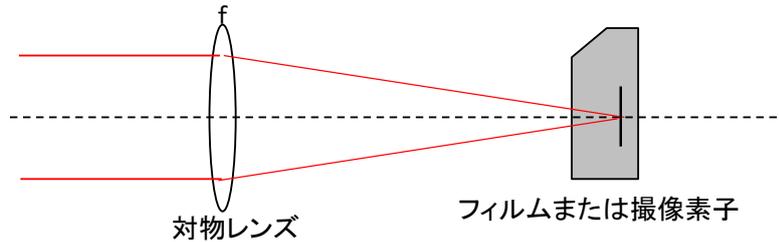
(※1) 全体を撮影する場合はAPS-Cサイズの一眼レフカメラ、部分拡大する場合は1/3インチCMOSカメラが適している。

第1章. 撮影法の原理

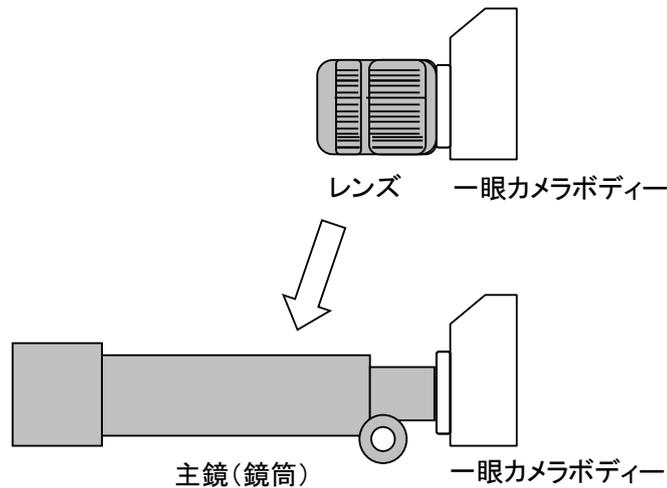
1-1. 直接焦点撮影法の原理

[原理]

直焦点撮影または主焦点撮影ともいいます。
原理はいたってシンプルで、下図のように対物レンズによって出来る天体の像を直接フィルムまたは撮像素子面に結ばせる方法です。



そのため、カメラの場合ではレンズを外し、望遠鏡の主鏡(鏡筒)を取り付けます。望遠鏡はアイピース(接眼レンズ)を使用せず対物レンズのみ使用します。



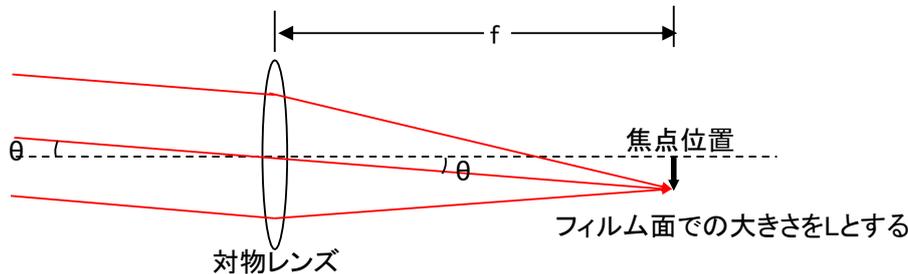
なぜ望遠鏡の主鏡レンズをわざわざ使うのでしょうか？ カメラ・レンズではいけないのでしょうか？ 天体望遠鏡の対物レンズは一般的に以下のような特徴があります。

- ・レンズ構成がシンプル
- ・焦点距離が長い
- ・単一焦点
- ・視野の周辺部において減光や歪が少ない

遠くから届くわずかな光を集め、天体を拡大し、暗い背景を均質に写し、そして星を点として結ばせることが使命であることを考えれば天体望遠鏡の対物レンズを使うことに納得がいくと思います。ただし、カメラ・レンズでお望みの倍率が得られ、周辺減光などの問題がなければ全然問題ありません。むしろレンズの明るさ(F値)などはカメラ・レンズのほうが有利かもしれません。このように、直接焦点撮影は光学系がシンプルであるため撮影しやすく、安定した像を得ることが出来るのです。基本的に撮影倍率は焦点距離に、また適正露出時間は主鏡(対物レンズ)のF値に依存します。

[像の大きさ]

次に、直接焦点撮影におけるフィルム面上での像の大きさについて説明します。
天体は無限遠にあるため、レンズの光軸からずれた点からの光は対物レンズのどの位置からみても斜めかつ並行に入射してくると考えることができます。また、天体の像はレンズの焦点位置に倒立像を結びます。



このとき、実像の大きさ: L は、対物レンズの焦点距離を f 、天体の光軸からずれた点から出た光の入射角を θ とすると以下の式で計算できます。

$$L = f \cdot \tan \theta$$

対象が月および太陽の場合、視直径は約 0.5° (30分角) なので、次の式から焦点距離の約 $1/100$ となります。

$$L = f \cdot \tan (0.5^\circ) \cong f / 100$$

例えば、焦点距離600mmで月あるいは太陽を撮影する場合、像の大きさはおよそ6mmとなるため、Nikon D70s(デジタル一眼レフカメラ)などの撮像素子の大きさが 23.7×15.6 mmのカメラでは丁度良い像サイズとなりますが、35mm判フィルムの場合には、フィルムサイズが 36×24 mmであるため、少し迫りに欠けるかもしれません。

[撮影対象の天体]

私が所有している高橋製作所製のFC76(口径76mm、焦点距離600mm、F8)を使って月や太陽の全体、あるいは月と惑星接近、などを撮影に使う場合にこの撮影方法を用いています。ただし、太陽撮影の場合にはNDフィルターにより十分な減光を行う必要があります。

[望遠鏡とカメラの接続]

望遠鏡にカメラを接続するためには各カメラ・メーカーのマウントに合うTリングという接続リングが必要です。望遠鏡ショップで1,000円前後で購入できます。

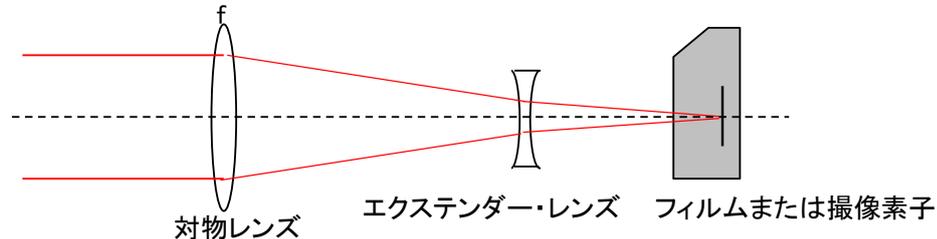
[ピント合わせ]

鏡筒フードにパーティノマスクを装着して天頂に近い星でピント合わせを行います。その際、一眼レフカメラのLiveビューで拡大してピントを合わせます。太陽面を撮影するときはパーティノマスクは使用できないので黒点または太陽の縁を利用してピント合わせを行います。この場合に重要なことはNDフィルターにより十分な減光をすることです。

1-2. エクステンダー・レンズを用いた撮影法の原理

[原理]

テレコンバーターまたはリアコンバーター方式とも呼ばれます。
 凹レンズ系のレンズ(エクステンダー・レンズ)により、対物レンズの焦点距離を延ばすことで直接焦点撮影では倍率が少し足りないときに都合の良い撮影方法です。
 ただし、F値は焦点距離を伸ばした分暗くなります。



FC76にはメーカー純正のエクステンダー・レンズ(オプションのアクセサリ)があり、対物レンズの焦点距離(600mm)を1.6倍(引伸ばし倍率といいます)、すなわち960mmへ延ばすことができます。
 更にエクステンダー・レンズとカメラとの間に延長筒を1個、2個、3個と入れることで、引伸ばし倍率をそれぞれ2.1倍、2.5倍、3.0倍とすることができます。

合成焦点距離は、対物レンズの焦点距離 に エクステンダー・レンズの引伸ばし倍率 をかけた数値になり、 また、合成F値は、合成焦点距離 を 対物レンズの口径 で割った値になります。

$$\text{合成焦点距離(mm)} = \text{対物レンズの焦点距離(mm)} \times \text{引伸ばし倍率}$$

$$\text{合成F値} = \text{合成焦点距離(mm)} \div \text{対物レンズの口径(mm)}$$

FC76に純正エクステンダー・レンズを使用する場合の延長筒数による合成焦点距離と合成F値は下表のようになります。

延長筒の数	引伸ばし倍率(倍)	合成焦点距離(mm)	合成F値
0	1.6	960	13
1	2.1	1260	17
2	2.5	1500	20
3	3.0	1800	24

(FC76+純正エクステンダー・レンズ使用の場合)

[撮影対象の天体]

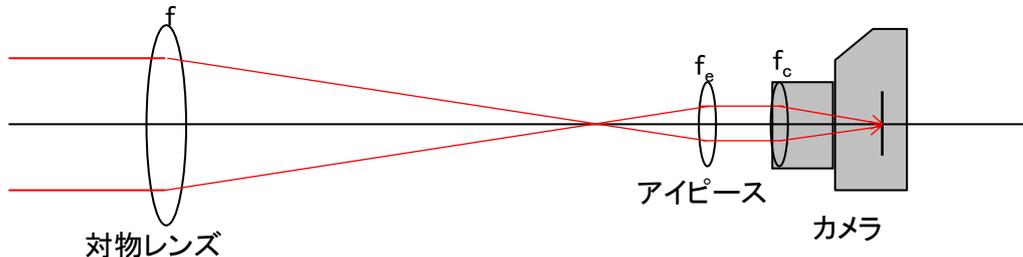
私の場合、FC76(口径76mm, 焦点距離600mm, F8)と35mm版カメラを使って、**月**、**太陽**を撮影する場合、直焦点撮影より数倍の拡大率が欲しい場合にこの撮影方法を用いています。

太陽撮影時の注意点はNDフィルターにより十分な減光を行うことです。

1-3. コリメート撮影法の原理

[原理]

レンズのついたカメラで望遠鏡を覗いて撮影する方法です。

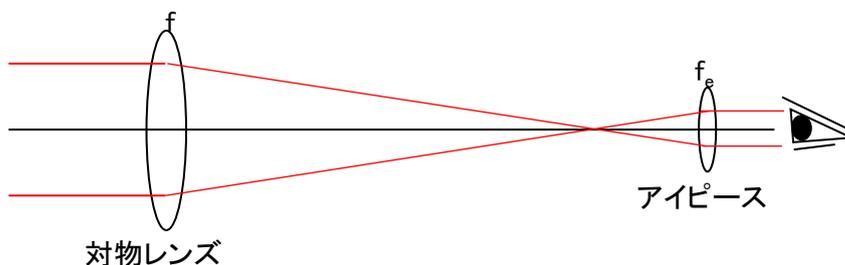


対物レンズ、アイピース、カメラの焦点距離をそれぞれ f 、 f_e 、 f_c とすると合成焦点距離(f_1)は、カメラレンズの焦点距離(f_c)に望遠鏡の倍率(f/f_e)を掛けた値になります。つまり、

$$\text{合成焦点距離 } f_1 = f_c \cdot f/f_e$$

合成F値は、上の合成焦点距離を対物レンズの口径で割った数値になります。

また、コリメート法は、人が望遠鏡を覗いて見ることと同じ原理といえます。つまり、目の水晶体をカメラのレンズに、また網膜をフィルムに対応させて考えることができるからです。



[撮影対象の天体]

私の場合、FC76(口径76mm, 焦点距離600mm, F8)を使って、**金星、火星、木星、土星、月、太陽**を拡大撮影する場合にこの撮影方法を用いています。

(暗い惑星を撮るのには向かないようです)

ただし、太陽撮影の場合にはNDフィルターにより十分な減光を行います。

[ピント合わせ]

カメラを装着する前に望遠鏡を覗いてピントを合わせたら、カメラを装着してオートフォーカス機能でカメラのピントを合わせ直します。このとき被写体が小さかったり、暗い場合にはオートフォーカスでピントを合わせるのは難しくなるため、マニュアルでピントを合わせることになります。

[露出]

被写体が月などの場合は、自動露出(Auto)でカメラ任せにするのが良いようです。自動では適正露出が得られない場合は、マニュアル露出にして、絞り開放、シャッター速度は何枚か撮影して適切と思われる速度の前後も撮影しておきます。

[記録データ]

コリメート撮影法では撮影情報として以下を記録しておくのが良いでしょう。

- (1)主鏡の焦点距離(mm)と有効口径(mm) または 鏡筒名
 - (2)エクステンダーレンズ使用時はバリチューブの数 または エクステンダーレンズによる拡大率
 - (3)アイピースの焦点距離(mm)
 - (4)カメラレンズの焦点距離(mm) (EXIF情報からもわかる)
 - (5)カメラのISO感度
 - (6)露出時間
 - (7)撮影日時 (EXIF情報からもわかる)
 - (8)撮影場所
 - (9)フォーカスモード(AF/MF)および露出モード(M/A/S/P)
 - (10)など
- (1)～(4)の情報から合成焦点距離および合成F値が計算できる。
- ・合成焦点距離(mm) = 望遠鏡の倍率 x カメラレンズの焦点距離(mm)
 - ・合成F値 = 合成焦点距離 ÷ 主鏡の有効口径

1-4. リレー・レンズを用いた撮影法の原理

[原理]

この撮影方法は、対物レンズにより出来た像を、リレー・レンズ(通常、接眼レンズを使用)で拡大し、フィルムまたは撮像素子面に再び結像する方法です。

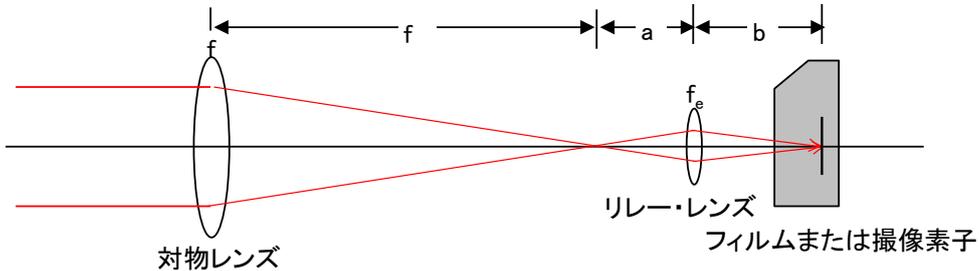


図2-4-1

この原理は太陽投影板に太陽の像を映すときと同じで、対物レンズによる倒立実像B'A'の更に倒立実像A''B''を投影盤上に作ります。この像は倒立の倒立であるから正立実像になります。

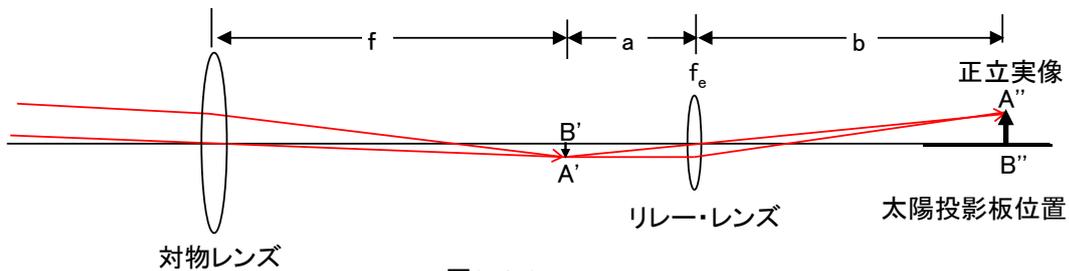


図2-4-2

ここで、合成焦点距離の計算式を求めてみます。

合成焦点距離を f_1 とすると、(4-1式)のように対物レンズの焦点距離 f とリレー・レンズの拡大率 β をかけた値で表すことができます。

$$f_1 = \beta \cdot f \quad (4-1式)$$

なぜならば、「直焦点による撮影」のところの説明したとおり、焦点位置に結像する像の大きさと、レンズの焦点距離は比例するため、リレー・レンズにより像が拡大した割合(拡大率 β)だけ焦点距離が伸びたとみなすことができるからです。このときの見かけの焦点距離を合成焦点距離といいます。

次に、下図のようにリレー・レンズのところだけに注目すると、三角形の相似の関係から拡大率 β は下記式で表せます。

$$\beta = b/a \quad (4-2式)$$

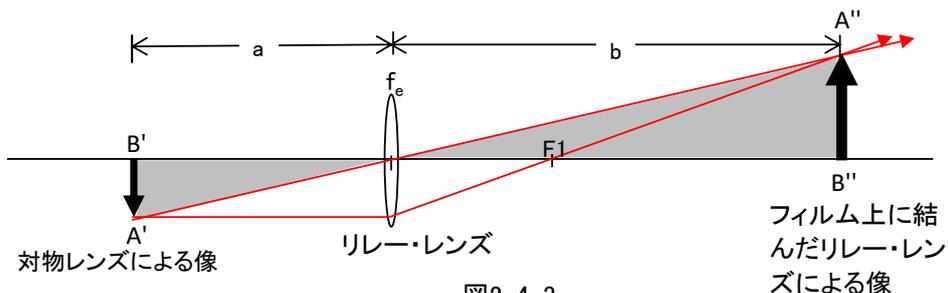


図2-4-3

中学校で習ったおなじみの下記関係式があることから

$$1/a + 1/b = 1/f_e \quad (4-3式)$$

(4-2式)の拡大率 β は、

$$\beta = b/a = b/f_e - 1 \quad (4-4式)$$

以上から、(4-1式)の合成焦点距離 f_1 は以下で計算されます。

$$\text{合成焦点距離 } f_1 = (b/f_e - 1) \cdot f \quad (4-5式)$$

ここで、 b はリレーレンズとフィルム面までの距離、 f_e はリレーレンズの焦点距離、 f は対物レンズの焦点距離です。

(4-4式)から、 f_e を一定とした場合に天体を大きく拡大するには b をより大きくすれば良いことになります。このとき同時に(4-3式)も成立しなければいけないので a の値は小さくなります。なお参考資料(*1)によれば、 b/f_e の値は同じでも b および f_e の値が大きい組合せが良いとされています。

つまりリレー・レンズの位置を光源側へずらすことは拡大率が上がることを意味します。

一般的に天体望遠鏡のドロークューブにリレー・レンズ

とカメラが固定されていますが(図2-4-4)、天体をさらに拡大撮影する場合には

リレー・レンズとカメラの間に延長筒を入れます。(図2-4-5)

このままでは結像位置がそのまま、カメラが図の右方向に移動しているため、

像がフィルム面で結ばないことになります。そこでドロークューブを送り込むと

リレーレンズも一緒に移動するので対物レンズによる像とリレーレンズ間の距離

が狭まると共に、リレーレンズとその象間距離(b)が長くなることにより適当な位置で

フィルム面上に結像させることができます。(図2-4-6)

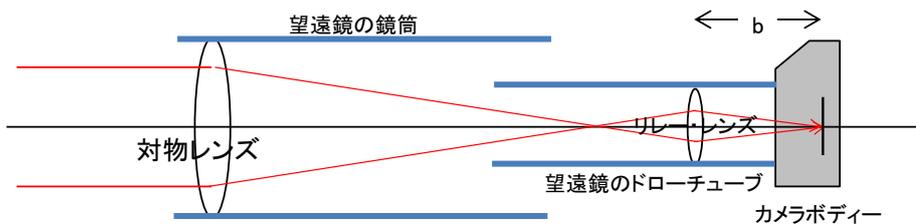


図2-4-4

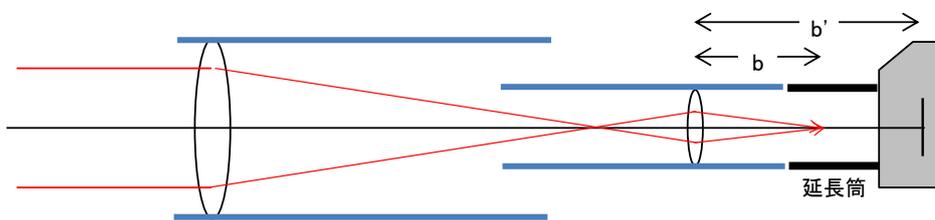


図2-4-5

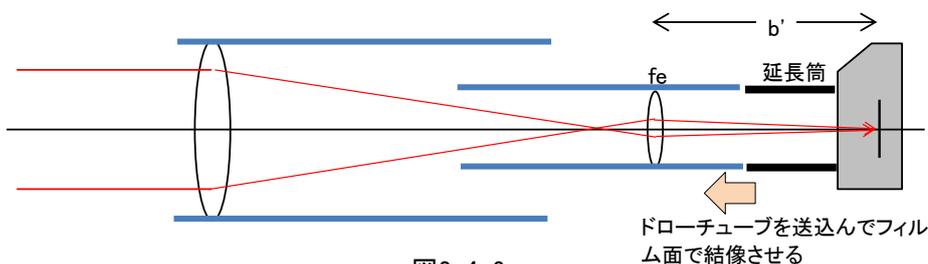


図2-4-6

[撮影対象の天体]

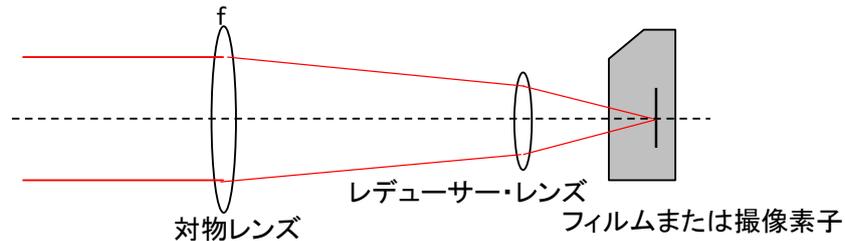
私の場合、FC76(口径76mm, 焦点距離600mm、F8)を使って、主に月や惑星を強拡大して撮影する場合にこの撮影方法を用いています。

(*1) 天体写真テクニック天文ガイド編 誠文堂新光社 P76

1-5. レデューサー・レンズを用いた撮影法の原理

[原理]

この撮影方法では、凸レンズ系のレデューサー・レンズにより、対物レンズの焦点距離を短くし、F値を小さく(明るく)することができます。



FC76にはメーカー純正のレデューサー・レンズ(オプションのアクセサリ)があり、対物レンズの焦点距離600mmを450mm(合成焦点距離)に縮めることができます。この場合、F値は7.9から5.9へと明るくなります。

[撮影対象の天体]

私の場合、FC76(口径76mm, 焦点距離600mm, F8)を使って、主に星雲、星団、彗星などの暗い天体を撮影する場合にこの方法を用いています。また、直焦点撮影で焦点距離が長すぎる場合、焦点距離をより短くする目的で利用することがあります。

第2章. 天体別撮影法の選択

(注意)

天体を撮影する際に使用する各種接続リングやアタッチメントについては、「付録5. FC-76システムチャート」を参照願います。

2-1. 月面撮影

撮影方法にいくつかの選択肢がありますが、それぞれの撮影方法には得意とする拡大率があります。

また、架台や赤道儀へかかる負荷を少なくするためにデジタル一眼カメラではなく軽いCMOSカメラを使うこともできますがパソコンとの接続が必要になります。

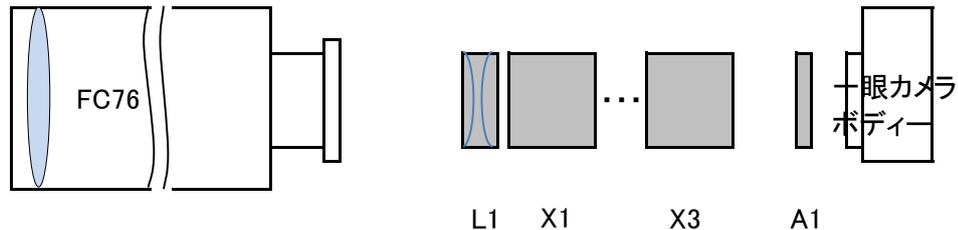
ピントはカメラのファインダーを直接覗いて合わせる方法もありますが、最近の一眼レフカメラではライブビュー機能が付いていますので惑星や明るい星へ向けて像がもっとも小さくシャープに見える位置に調整します。

(1) エクステンダー(テレコンバータ)方式

FC76で月面全体を撮影する場合にほど良い拡大率が得られる方法です。

[特徴]

- ・エクステンダーレンズで対物レンズの焦点距離を引き延ばします(アイピースは不使用)
- ・一眼レフ・カメラボディ使用
- ・FC76では合成焦点距離1,800mmまで



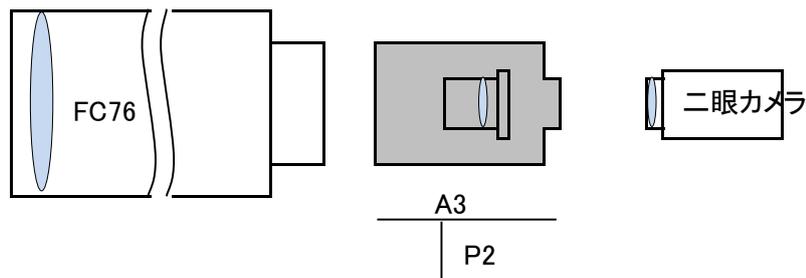
- L1 エクステンダーレンズ(1.6倍)
 X1~3 バリ・チューブ(1個使用で2.1倍、2個使用で2.5倍、3個使用で3.0倍)
 A1 Tリング

(2) コリメート方式(1-3章参照)

月面を拡大撮影する場合に使用します。

[特徴]

- ・アイピース使用
- ・カメラアダプター(BORG SD-1)使用
- ・二眼レフ・カメラ使用
- ・FC76では
 エクステンダーレンズを併用しない場合、合成焦点距離 4,800mmまで。
 エクステンダーレンズを併用する場合、合成焦点距離 14,400mmまで。



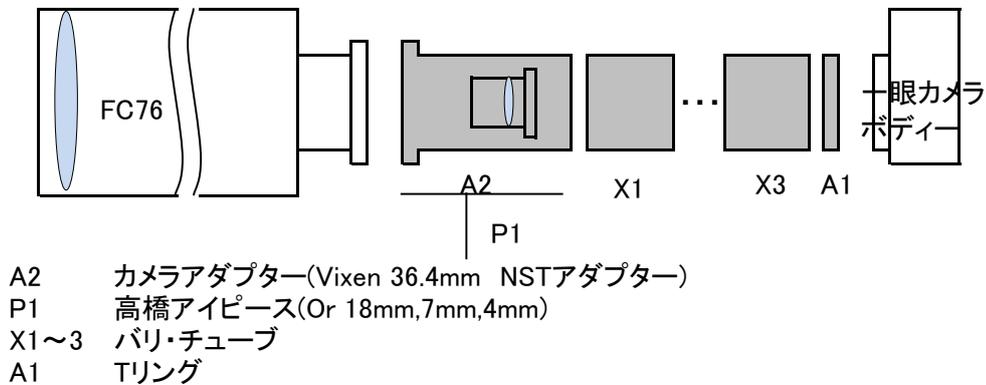
- A3 アトム・カメラアダプター(DX-1)
 P2 アイピース

(3) リレー・レンズ方式

月面を更に強拡大撮影する場合に利用します。

[特徴]

- ・アイピースで像を拡大
- ・カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)使用。
- ・一眼レフ・カメラボディ使用
- ・FC76では合成焦点距離28,000mmまで

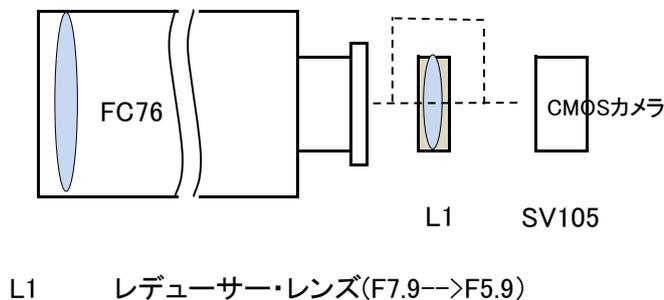


(4) 直焦点撮影法、またはレデューサーを用いた撮影法

APS-Cサイズの撮像素子をもつデジタルカメラでは十分な倍率が得られません。
 1/3インチ CMOSカメラを使用した場合は30~50%程度の範囲を画角に収めることができるため
 惑星が接近するときには月の一部と惑星を同一視野に入れることができます。

[特徴]

- ・CMOSカメラ(SVBONY SV105、ZWO ASI224MC)使用
- ・レデューサーレンズを使用する場合、半月(月齢7~8日)を画角一杯に撮れる。
- ・レデューサーレンズを使用しない場合は満月の30%程度を撮れる。
- ・満月全体を画角に程よく入れることは出来ない。



2-2. 太陽面撮影

太陽面撮影で最も重要なことは、いかにして強烈な熱と光の影響を回避するかです。まず、フードキャップなどを利用して口径を5cm程度に絞ります。解像度を犠牲にしても安全を優先します。次に減光です。以下の説明では、太陽光が光学系に入る前にND400フィルター(下図記号ではF1)を、また対物レンズを通過した後に二枚目のND400フィルター(記号F2)を、更に必要に応じてND2フィルター(記号F3)を入れて、露出倍数を16万~32万倍にまで減光しています。

次に重要なことは太陽への鏡筒の向け方です。望遠鏡のファインダーで太陽を覗くことは厳禁です。

望遠鏡のファインダーには太陽光が入らないように対物レンズへキャップをかぶせておきます。

安全かつ簡単な方法としては鏡筒やファインダーの影を利用することです。その影が最も小さくなる向が太陽の向きになります。倍率が低い場合はこの方法で以外と簡単に太陽を導入できます。

次に太陽面のピント合わせです。十分に減光しているからといってカメラのファインダーを直接覗くのは危険です。NDフィルター製品によっては赤外光を透過するものがあるからです。

(参考: <https://tenkyo.net/iya/eclipse/glass1.pdf>)

ピント合わせはカメラの液晶モニターで行うようにします。

この場合は昼間の明るさのため液晶モニターが見ずらいので輝度を上げておきます。

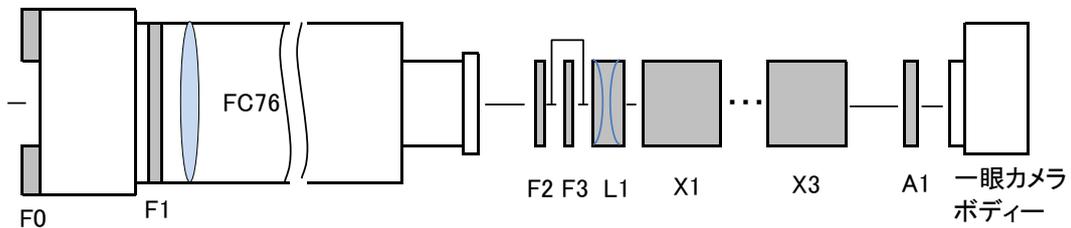
どの程度拡大するかを考慮して以下の3通りの方法から選択します。

(1) エクステンダー(テレコンバータ)方式

太陽は月とほぼ同じ視直径であり全体を撮影する場合にほど良い拡大率が得られます。

[特徴]

- ・エクステンダーレンズで対物レンズの焦点距離を引き延ばします(アイピースは不使用)
- ・一眼レフ・カメラボディー使用
- ・FC76では合成焦点距離1,800mmまで



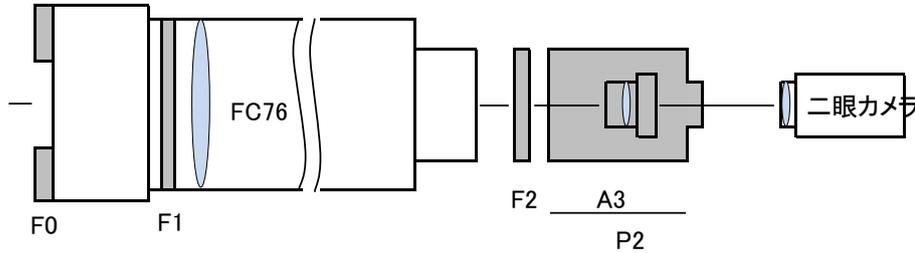
F0	フードキャップ(5cm径に絞る)
F1	ND400フィルター
F2	ND400フィルター(30.5mm)
F3	ND2フィルター(30.5mm)
L1	エクステンダーレンズ(1.6倍)
X1~3	バリ・チューブ(1個使用で2.1倍、2個使用で2.5倍、3個使用で3.0倍)
A1	Tリング

(2) コリメート方式

太陽面を拡大撮影する場合に使用します。

[特徴]

- ・アイピース使用
- ・カメラアダプター(BORG SD-1)使用
- ・二眼レフ・カメラ使用
- ・FC76では、
エクステンダーレンズを併用しない場合、合成焦点距離 4,800mmまで。
エクステンダーレンズを併用する場合、合成焦点距離 14,400mmまで。



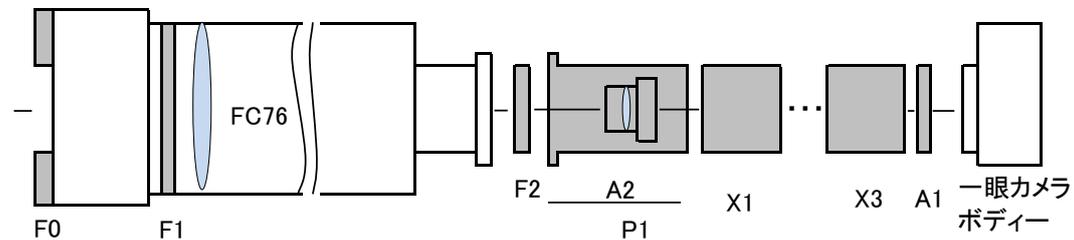
- F0 フードキャップ(5cm径に絞る)
- F1 ND400フィルター
- F2 ND400フィルター(52mm)
- A3 カメラアダプター(BORG DX-1)
- P2 アイピース

(3) リレー・レンズ方式

太陽面を強拡大撮影する場合に使用します。

[特徴]

- ・アイピースで太陽像を拡大
- ・カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)使用。
- ・一眼レフ・カメラボディー使用
- ・FC76では合成焦点距離28,000mmまで



- F0 フードキャップ(5cm径に絞る)
- F1 ND400フィルター
- F2 ND400フィルター(52mm)
- A2 カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)
- P1 高橋アイピース(Or 18mm,7mm,4mm)
- X1~3 パリ・チューブ
- A1 Tリング

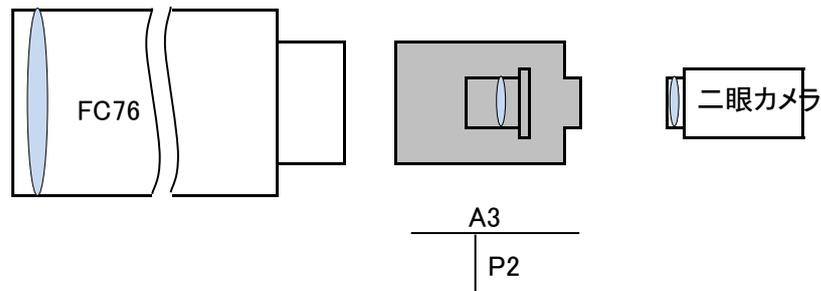
2-3. 惑星撮影

(1) コリメート方式

金星や火星、木星、土星を拡大撮影する場合に使用します。

[特徴]

- ・アイピース使用
- ・カメラアダプター(BORG SD-1)使用
- ・二眼レフ・カメラ使用
- ・FC76では、
エクステンダーレンズを併用しない場合、合成焦点距離 4,800mmまで。
エクステンダーレンズを併用する場合、合成焦点距離 14,400mmまで。



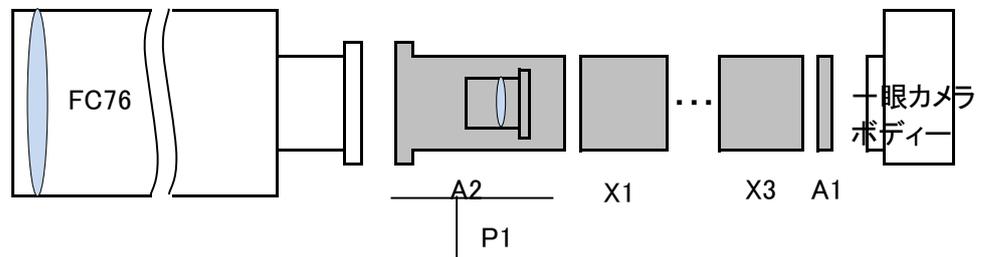
- A3 カメラアダプター(BORG DX-1)
P2 アイピース

(2) リレー・レンズ方式

金星や火星、木星、土星を強拡大撮影する場合に使用します。

[特徴]

- ・アイピースで像を拡大
- ・カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)使用。
- ・一眼レフ・カメラボディー使用
- ・FC76では合成焦点距離28,000mmまで



- A2 カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)
P1 高橋アイピース(Or 18mm,7mm,4mm)
X1~3 バリ・チューブ
A1 Tリング

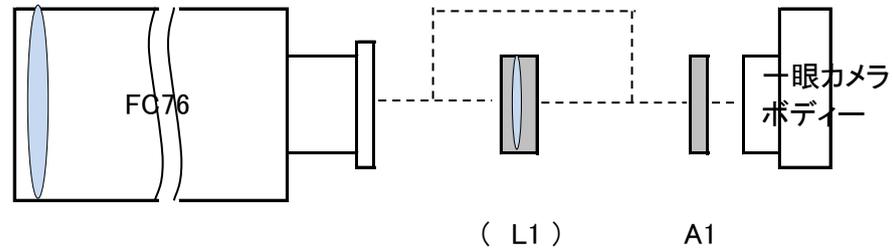
2-4. 星雲・星団・彗星撮影

(1) 直焦点撮影法、またはレデューサーを用いた撮影法

オリオン大星雲やアンドロメダ銀河、プレアデス星団などを適度な画角で撮影できます。
また、彗星のコマを撮影する場合にも有用です。

[特徴]

- ・一眼レフ・カメラボディ使用
- ・星雲など暗い天体や、より短時間で撮影する場合にはレデューサーレンズを使用します
レデューサーレンズを使用する場合 $f=450\text{mm}(F5.9)$ 、使用しない場合 $f=600\text{mm}(F7.9)$ 、
- ・アイピースは不使用



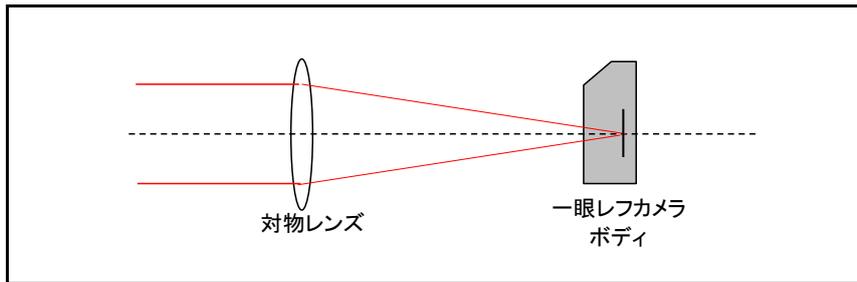
L1 レデューサー・レンズ($F7.9 \rightarrow F5.9$)

A1 Tリング

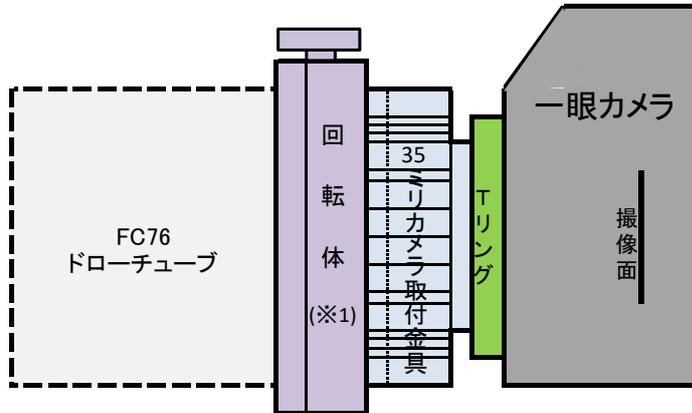
第3章. 合成焦点距離と合成F値

3-1. 直焦点撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)

■ 原理図



■ 接続構成



■ FC76の焦点距離

FC76の焦点距離 600 mm

■ 太陽撮影時のF値

FC76の口径を7.6cmから5cmに絞る場合、直焦点撮影時のF値は8から12(600mm / 50mm = 12)になります。

■ 太陽・月面に対するCanon Kiss x5イメージセンサーの画角

Canon Kiss X5 イメージセンサー・サイズ : 22.3 mm X 14.9 mm

太陽、月の視直径: : 0.53 度 (仮定)

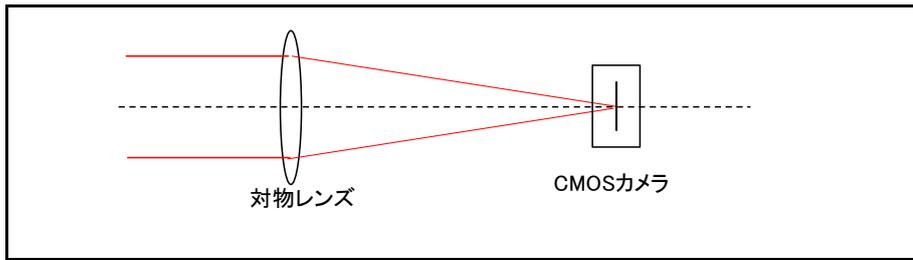
FC76の焦点距離(mm)	太陽の実像直径(mm) ※1
600	5.5

※1. 太陽または月の実像直径の計算に関しては、「1-1. 直接焦点撮影法の原理」に記載しています。



3-2. 直焦点撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)

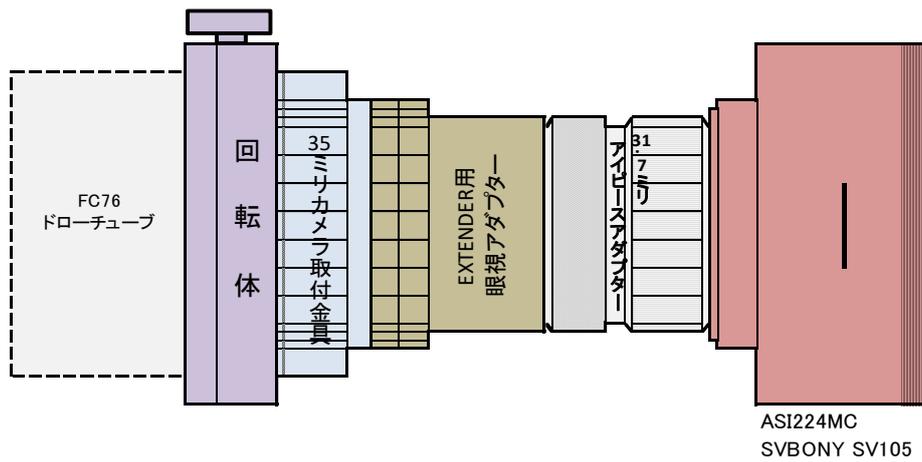
■ 原理図



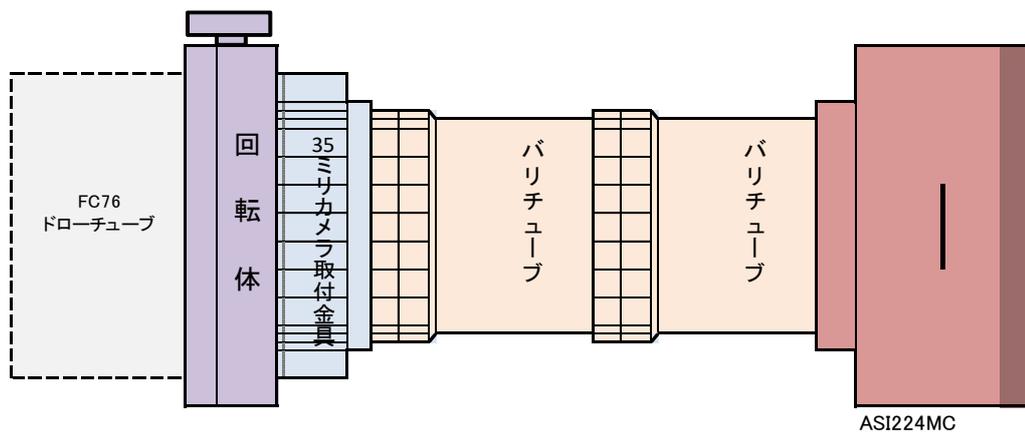
■ 接続構成

カメラ側が31.7mmスリーブか42mmねじ込式などによっていくつかの接続構成があります。

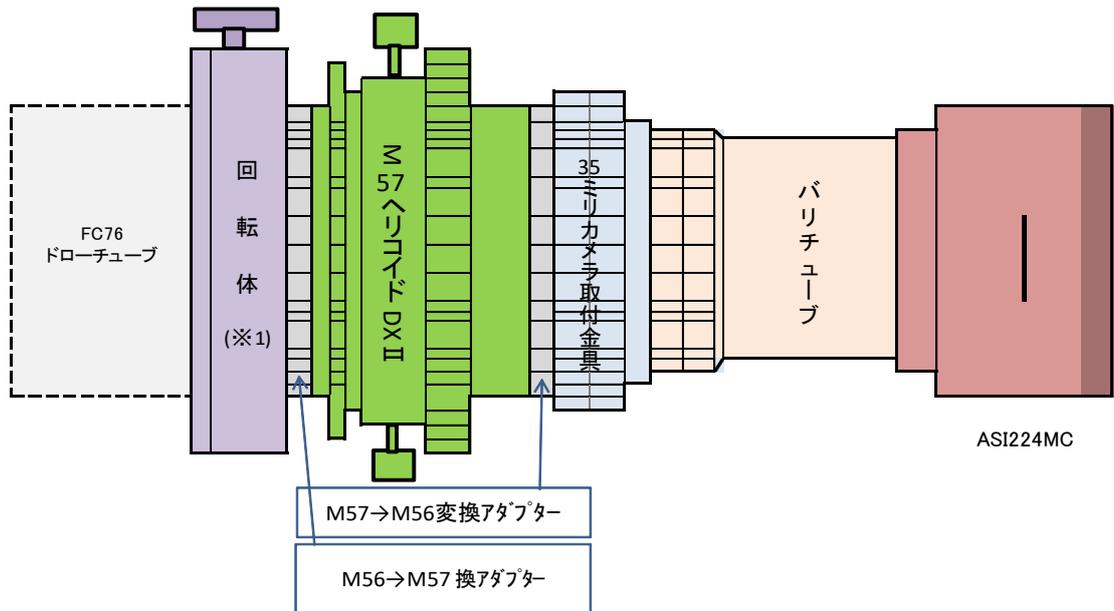
- ・ 31.7mmスリーブ (タカハシ31.7mmアイピースアダプター使用)



- ・ 42mmネジ



・ 42mmネジ（ヘリコイド使用）



(※1) 回転体の背後に52mmフィルターは入らない

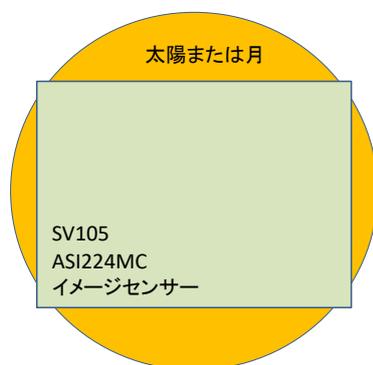
■ FC76の焦点距離

FC76の焦点距離 600 mm

■ 太陽撮影時のF値

FC76の口径を7.6cmから5cmに絞る場合、直焦点撮影時のF値は8から12 (600mm / 50mm = 12) になります。

■ 太陽・月 と イメージセンサーの画角

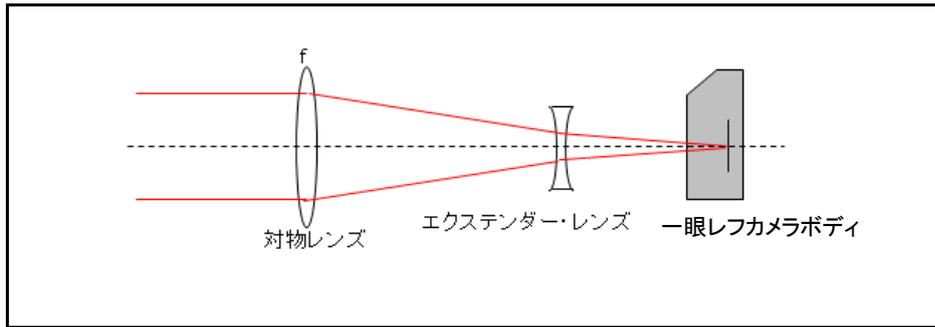


SV105、ASI224MCイメージセンサー・サイズ : 4.8 mm X 3.6 mm
 太陽、月の視直径 : 0.53 度 (仮定)
 太陽、月の実像直径 (※1) : 5.5 mm

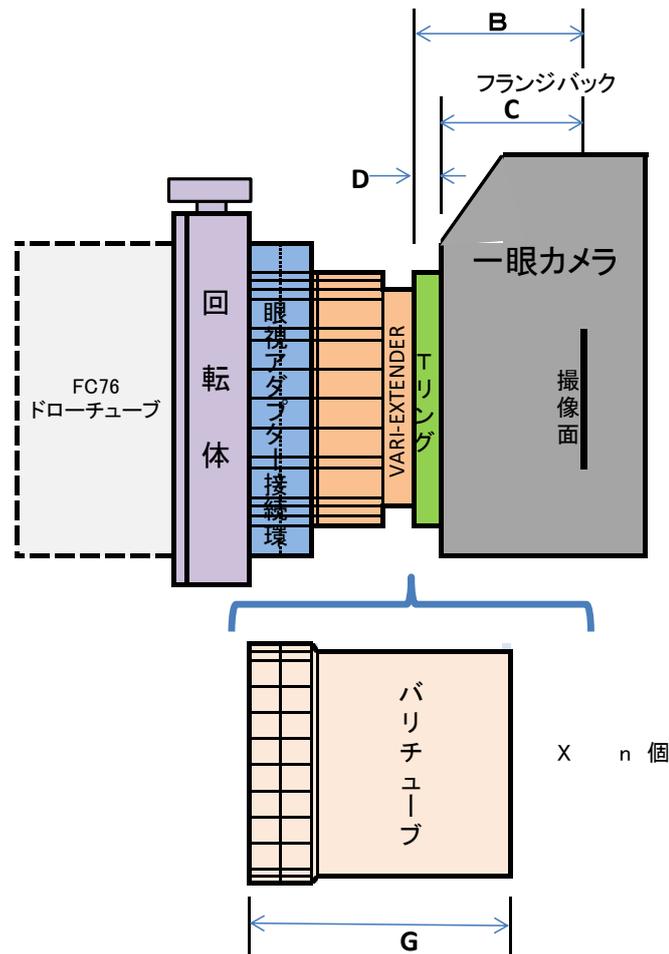
(※1) 太陽または月の実像直径の計算に関しては、「1-1. 直接焦点撮影法の原理」に記載しています。

3-3. エクステンダー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)

■ 原理図



■ 接続構成



バリエクステンダーの右端からカメラの撮像面までの距離(B)とすると

$$B = D + C + n \times G \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

C, D, Gの各値は、下表のとおり。

C(フランジバック)	カメラ	D	Tリング
46.5 mm	Nikon D7100, D70s, F501	8.5 mm	Nikon用
44.0 mm	Canon EOS Kiss X5	11.0 mm	Canon用(AF)
46.0 mm	OLYMPUS	9.0 mm	OLYMPUS用

G	バリチューブ
40.0 mm	高橋エクステンダーレンズ延長筒

当資料をExcelで開いている場合、下記式の太枠内で値を選択することでBが自動計算されます。

$$\begin{aligned}
 B &= D + C + n \times G && (n=0, 1, 2, 3) \\
 &= 55.0 + \boxed{3} \times 40.0 \\
 &= 175 \quad (\text{mm})
 \end{aligned}$$

高橋製作所から純正バリエクステンダーとバリチューブの組み合わせによる拡大率が公開されているので距離Bと一緒に記載すると以下のようになります。

	距離B	拡大率	合成焦点距離	合成F値(※1) (口径76mm/50mm)
① エクステンダーレンズ+バリチューブ0個	55 mm	1.6 倍	960 mm	13 / 19
② エクステンダーレンズ+バリチューブ1個	95 mm	2.1 倍	1,260 mm	17 / 25
③ エクステンダーレンズ+バリチューブ2個	135 mm	2.5 倍	1,500 mm	20 / 30
④ エクステンダーレンズ+バリチューブ3個	175 mm	3 倍	1,800 mm	24 / 36

(※1) 太陽撮影では通常50mm程度に口径を絞ります

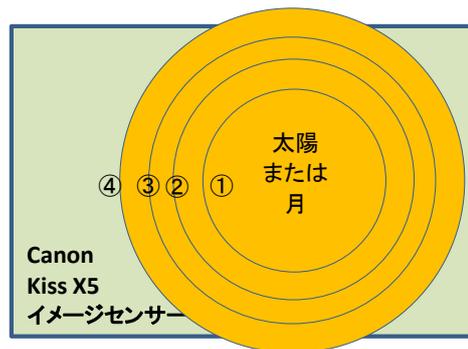
この表を基に距離Bと合成焦点距離の関係をグラフへプロットしたものが付録3です。

■ 太陽・月面に対するCanon Kiss x5イメージセンサーの画角

Canon Kiss X5 イメージセンサー・サイズ : 22.3 mm X 14.9 mm

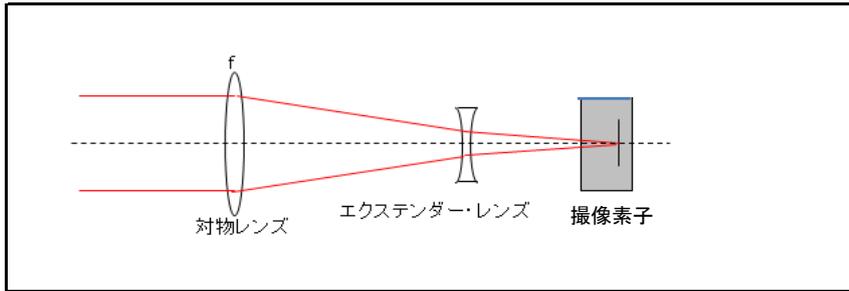
太陽、月の視直径 : 0.53 度 (仮定)

	合成焦点距離(mm)	太陽の実像直径(mm)
① エクステンダーレンズ+バリチューブ0個	960	8.8
② エクステンダーレンズ+バリチューブ1個	1260	11.5
③ エクステンダーレンズ+バリチューブ2個	1500	13.7
④ エクステンダーレンズ+バリチューブ3個	1800	16.5



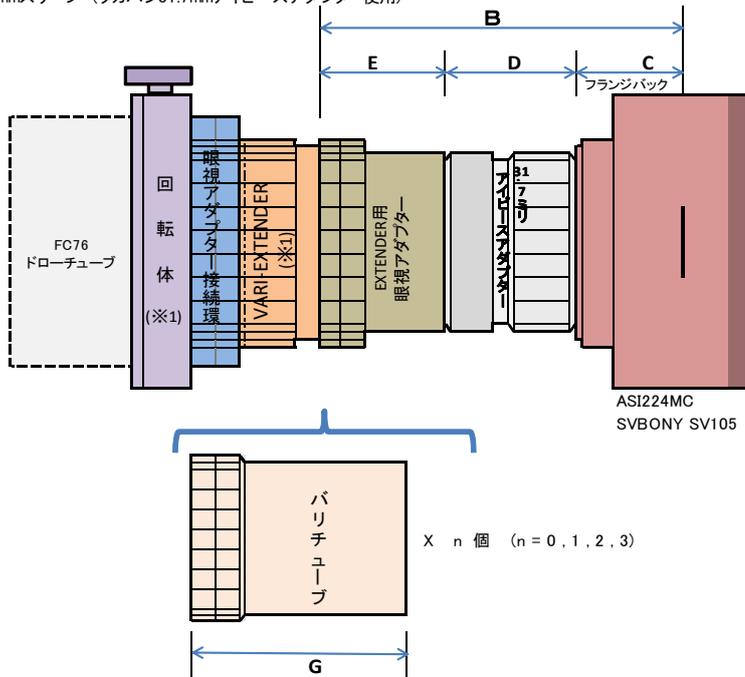
3-4. エクステンダー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)

■ 原理図



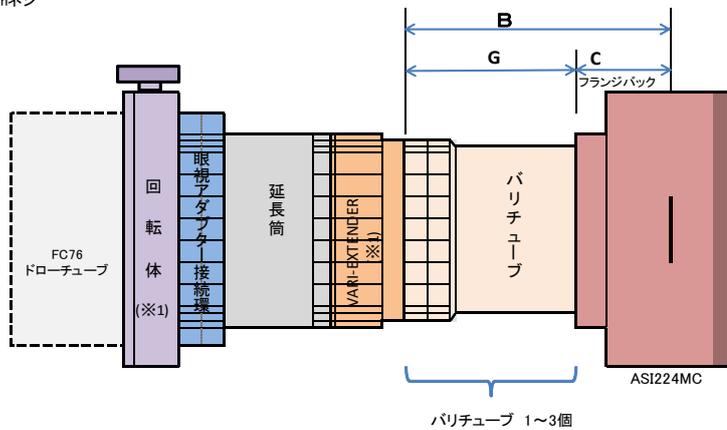
■ 接続構成

- 31.7mmスリーブ (タカハシ31.7mmアイピースアダプター使用)



(※1) VARI-EXTENDERの光源側に30.5mm径のフィルターがねじ込める

- 42mmネジ



(※1) VARI-EXTENDERの光源側に30.5mm径のフィルターがねじ込める

■ 拡大率、合成焦点距離、合成F値

エクステンダーレンズの右端と撮像素子間の距離をBとすると、Bは以下で求められます。

・ SV105 の場合 または、ASI224MCの31.7mmスリーブ使用の場合

$$B = E + D + C + n \times G \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

・ ASI224MC 42mmネジ使用の場合

$$B = C + n \times G \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

C, D, E, Gの値は、下表のとおり。

C (販売元へ確認)	撮像機器	D	アイピースホルダー
6.9 mm	SV105	29.0 mm	高橋31.7mmアイピースアダプター
12.5 mm	ASI224MC (42mmネジ使用)		
14.5 mm	ASI224MC (31.7mmスリーブ使用)		
E	眼視アダプター	G	パリチューブ
28.0 mm	高橋エクステンダー用	40.0 mm	高橋エクステンダーレンズ延長筒

当資料をExcelで開いている場合、下記式の太枠内で値を選択することでBが自動計算されます。

・ SV105 の場合 または、ASI224MCの31.7mmスリーブ使用の場合

$$B = E + D + \boxed{6.9} + \boxed{0} \times G \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

$$= 28.0 + 29.0 + \boxed{6.9} + \boxed{0} \times 40.0$$

$$= 64 \text{ (mm)}$$

・ ASI224MC 42mmネジ使用の場合

$$B = C + \boxed{0} \times G \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

$$= 12.5 + \boxed{0} \times 40$$

$$= 12.5 \text{ (mm)}$$

		パリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
距離B (mm)	SV105	64	104	144	184
	ASI224MC (31.7mmスリーブ使用)	72	112	152	192
	ASI224MC (42mmネジ使用)	13	53	93	133

エクステンダーレンズの右端から撮像素子までの距離(B)を使って合成焦点距離を求めるために付録3のグラフを使います。付録1のグラフは「3-3. エクステンダー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)」を基に作成しています。以下に結果を示します。

SV105	パリチューブ数(n)			
	0	1	2	3
合成焦点処理(mm)	1033	1303	1574	1844
拡大率	1.7	2.2	2.6	3.1
合成F値 (口径76mm/50mm)	14 / 21	17 / 26	21 / 31	24 / 37

ASI224MC 31.7mmスリーブ使用	パリチューブ数(n)			
	0	1	2	3
合成焦点処理(mm)	1088	1358	1629	1899
拡大率	1.8	2.3	2.7	3.2
合成F値 (口径76mm/50mm)	14 / 22	18 / 27	21 / 32.6	25 / 38

ASI224MC 42mmネジ使用	パリチューブ数(n)			
	0	1	2	3
合成焦点処理(mm)	-	956	1226	1497
拡大率	-	1.6	2.0	2.5
合成F値 (口径76mm/50mm)	-	13 / 19	16 / 25	20 / 30

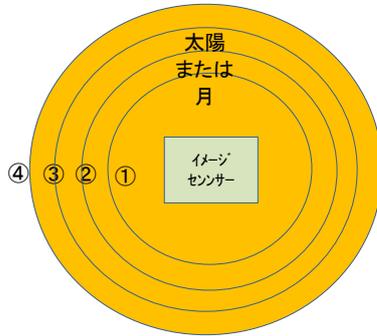
拡大率 = 合成焦点距離 / 600
 合成F値 = 合成焦点距離 ÷ 望遠鏡の口径

■ 太陽・月に対するイメージセンサーの画角

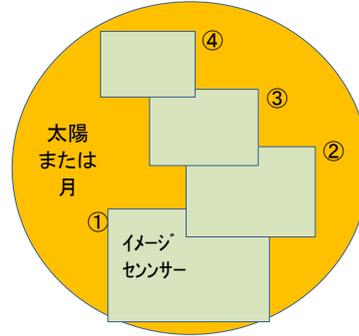
SV105 / ASI224MC イメージセンサー・サイズ : 4.8 mm X 3.6 mm

太陽、月の視直径 : 0.53 度 (仮定)

	合成焦点距離(mm)
①	1033
②	1303
③	1574
④	1844



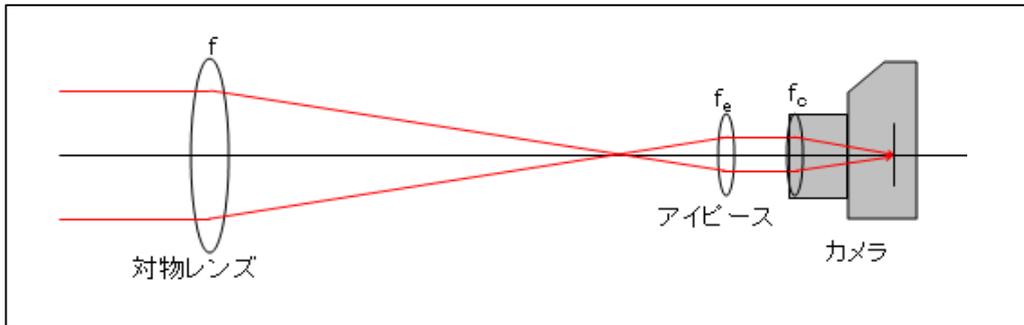
イメージセンサー基準



太陽・月基準

3-5. コリメート撮影法での焦点距離(二眼レフカメラ使用)

■原理図



■主な機材

- (1)二眼コンパクト・デジカメ : 二眼コンパクトカメラ Nikon CoolPix995
- (2)カメラ・アダプター : ボーグ製SD-1
- (3)望遠鏡 : 高橋FC-76
- (4)アイピース : 高橋Or18mm, Or7mm, Hi-Or4mm

■合成F値と合成焦点距離

カメラレンズの焦点距離8mm (ワイド端)の場合		エクステンダー なし	延長筒数(エクステンダーあり)			
			0	1	2	3
Or18mm	合成F値	3.5	5.8	7.4	8.8	11
	合成焦点距離(mm)	267	427	560	667	800
Or9mm	合成F値	7.0	11.2	14.7	17.5	21.1
	合成焦点距離(mm)	533	853	1,120	1,333	1,600
Or7mm	合成F値	9.0	14.4	18.9	22.6	27.1
	合成焦点距離(mm)	686	1,097	1,440	1,714	2,057
Or4mm	合成F値	15.8	25.3	33.2	39.5	47.4
	合成焦点距離(mm)	1,200	1,920	2,520	3,000	3,600

カメラレンズの焦点距離32mm (テレ端)の場合		エクステンダー なし	延長筒数(エクステンダーあり)			
			0	1	2	3
Or18mm	合成F値	14.0	22.5	29.5	35.1	42.1
	合成焦点距離(mm)	1,067	1,707	2,240	2,667	3,200
Or9mm	合成F値	28.1	44.9	58.9	70.2	84.2
	合成焦点距離(mm)	2,133	3,413	4,480	5,333	6,400
Or7mm	合成F値	36	58	76	90.2	108
	合成焦点距離(mm)	2,743	4,389	5,760	6,857	8,229
Or4mm	合成F値	63	101	133	158	189
	合成焦点距離(mm)	4,800	7,680	10,080	12,000	14,400

望遠鏡の焦点距離 :

エクステンダーレンズおよび延長筒を使用して対物レンズの焦点距離を引き延ばすことができ
延長筒の数によって以下ようになります。

エクステンダーレン	1 倍	600 mm
エクステンダーレンズのみ	1.6 倍	960 mm
+延長筒1	2.1 倍	1260 mm
+延長筒2	2.5 倍	1500 mm
+延長筒3	3 倍	1800 mm

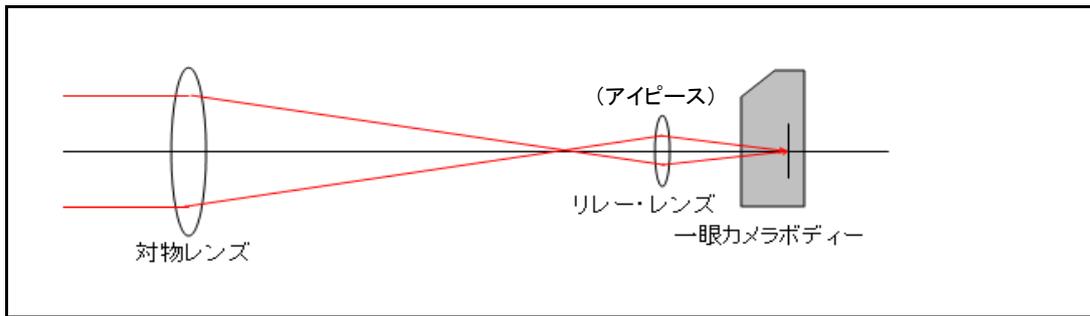
合成焦点距離 : (望遠鏡の焦点距離 ÷ アイピースの焦点距離) × カメラレンズの焦点距離

合成F値 : 合成焦点距離 ÷ 望遠鏡の口径

3-6. リレー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)

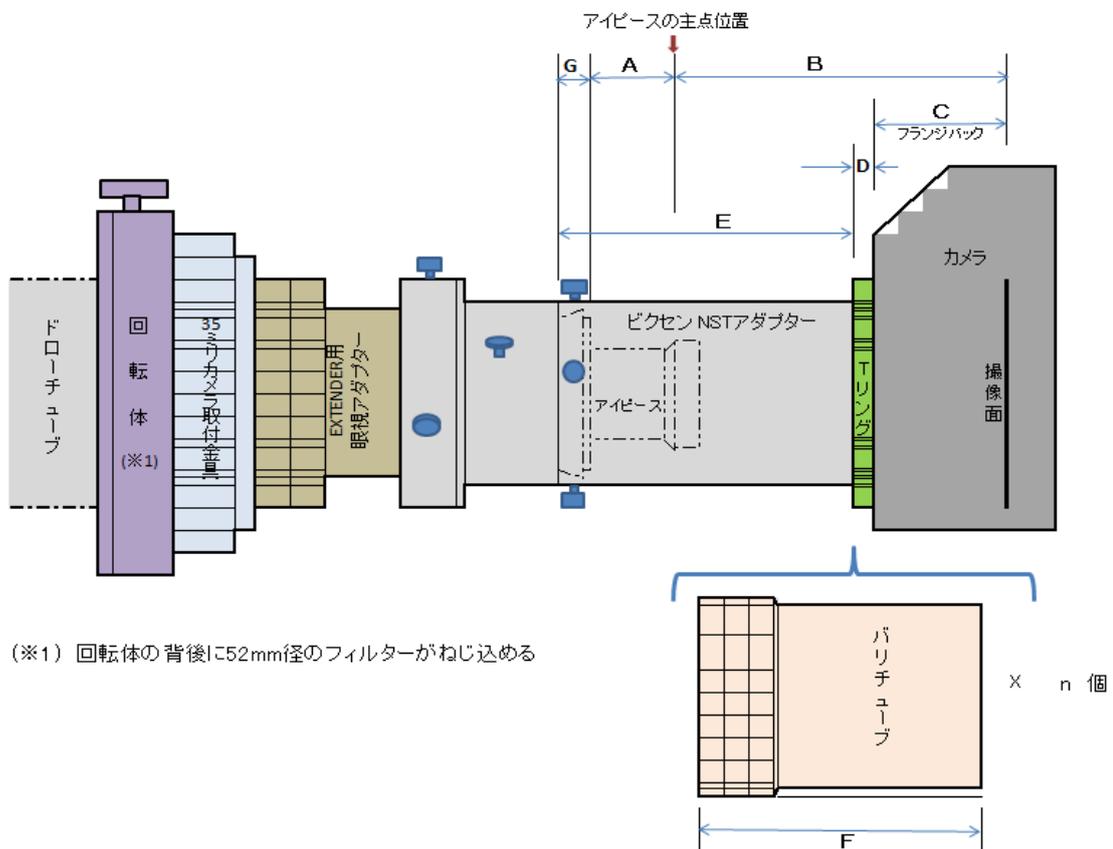
■ 原理図

撮影原理図は下図のようになります。対物レンズが結んだ実像をリレーレンズ(アイピース)で拡大してカメラの撮像面に投影します。



■ 接続構成

下図のように、アイピースやカメラ本体を固定するためにビクセンNTSアダプター、Tリング、バリチューブを使用します。



■ 拡大率、合成焦点距離、合成F値を求めるために必要なパラメーター

リレー・レンズ法で拡大率を決める重要な情報は、アイピースの主点位置と撮像面間距離です。この距離によって対物レンズによって結んだ実像を拡大する率(拡大率)が決まります。拡大率を求める公式の説明は別の章で説明してありますので、ここでは拡大率を求めるために必要なパラメーターとしてアイピースと撮像面間距離(B)を私の撮影セットについて求めています。
Bの値はバリチューブ数の増減でコントロールしますが、撮像面上の像のピントを合わせるためには、アイピースの位置を前後に移動する必要があるため、この操作はドロークチュープの出し入れ操作で行います。

さて、アイピースと撮像面間距離をBとすると、Bは以下で求められます。

$$B = E + D + C + n \times F - A - G$$

(n=0, 1, 2, 3)

A, C, D, E, F, Gの各実測値は、下表のとおり。

A (高橋製作所問合せより)	アイピース	C (フランジバック)	カメラ
18.93 mm	高橋Or18	46.5 mm	Nikon D7100, D70s, F501
5.15 mm	高橋Or7	44.0 mm	Canon EOS Kiss X5
19.67 mm	高橋Hi-Or4	46.0 mm	OLYMPUS

D	Tリング	E	カメラアダプター
8.5 mm	Nikon用	46.0 mm	ビクセン NSTアダプター
11.0 mm	Canon用(AF)		
9.0 mm	OLYMPUS用		

F	バリチューブ
40.0 mm	高橋エクステンダーレンズ延長筒

G (実測値)	カメラアダプター
9.0 mm	アイピースホルダー部分

Tリングの厚み(D)とカメラのフランジバック(C)の両方の値を足し合わせるとメーカーに依存せず55mmになります。当資料をExcelで開いている場合はBを計算する際に下記が利用できます。(太枠内で値を選択することでBが自動計算されます)

$$\begin{aligned}
 B &= E + D + C + n \times F - A - G \\
 &= 46.0 + 55.0 + \boxed{3} \times 40.0 - \boxed{19.7} - 9 \\
 &= 192 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

■ リレーレンズ(アイピース)の主点とフィルム面間の距離B 単位mm(実測値)

		バリチューブ数(n)			
アイピース		0	1	2	3
高橋Or 18 mm		73	113	153	193
高橋Or 7 mm		87	127	167	207
高橋Or 4 mm		72	112	152	192

■ 拡大率、合成焦点距離、合成F値

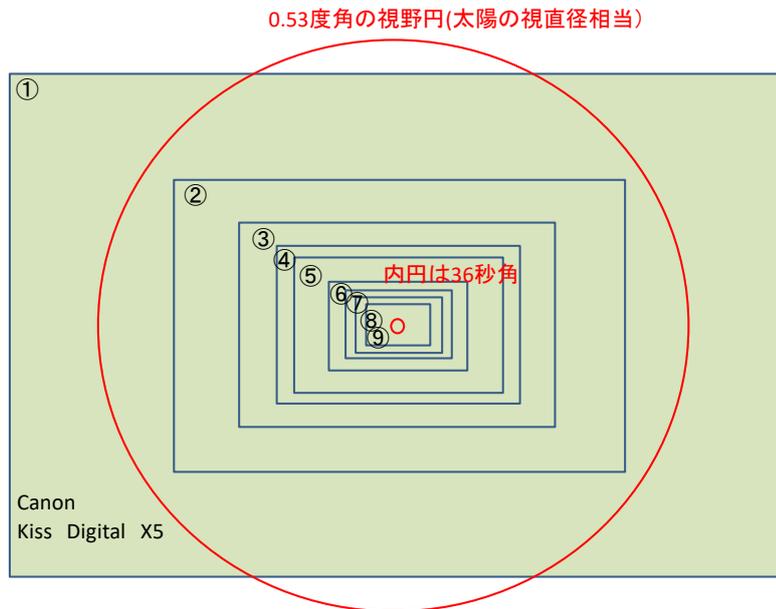
		バリチューブ数(n)			
アイピース		0	1	2	3
Or18mm	拡大率	3.06	5.28	7.50	9.73
	合成焦点距離(mm)	1,840	3,170	4,500	5,840
	合成F値(口径76/50mm)	24 / 37	42 / 63	59 / 90	77 / 117
Or7mm	拡大率	11.4	17.1	22.8	28.6
	合成焦点距離(mm)	6,840	10,300	13,700	17,100
	合成F値(口径76/50mm)	90 / 137	136 / 206	180 / 274	225 / 342
Or4mm	拡大率	17.1	27.1	37.1	47.1
	合成焦点距離(mm)	10,200	16,200	22,200	28,200
	合成F値(口径76/50mm)	134 / 204	213 / 324	292 / 444	371 / 564

拡大率 = B ÷ アイピースの焦点距離 -1
 合成焦点距離(mm) = 拡大率 × 望遠鏡の焦点距離 = 拡大率 × 600
 合成F値 = 合成焦点距離(mm) ÷ 望遠鏡の口径(mm)

■ Canon Kiss Digital X5イメージセンサーの画角

Canon Kiss Digital X5 イメージセンサー・サイズ : 22.3 mm X 14.9 mm

アイピース		バリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
Or18mm	画角番号	①	②	③	④
	合成焦点距離(mm)	1,840	3,170	4,500	5,840
Or7mm	画角番号	⑤	⑥	⑦	⑧
	合成焦点距離(mm)	6,840	10,300	13,700	17,100
Or4mm	画角番号	—	—	⑨	—
	合成焦点距離(mm)	10,200	16,200	22,200	28,200

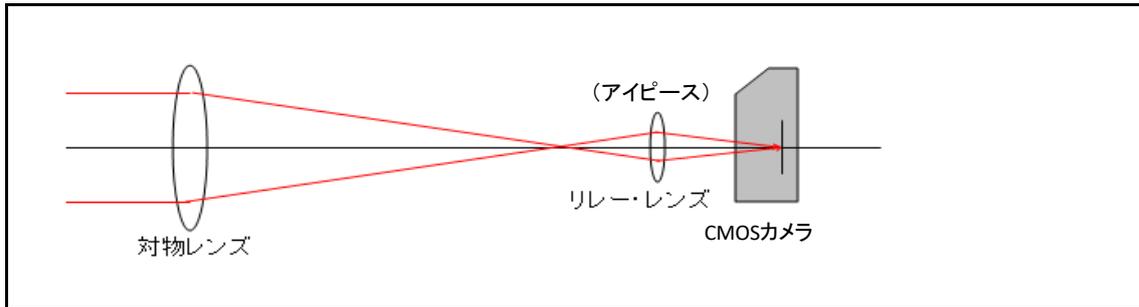


上図は、0.53度角(太陽・月の視直径相当)と36秒角(火星・木星・土星相当)の視野円をイメージセンサーがどのように切り取るかを焦点距離の違いで示しています。

3-7. リレー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)

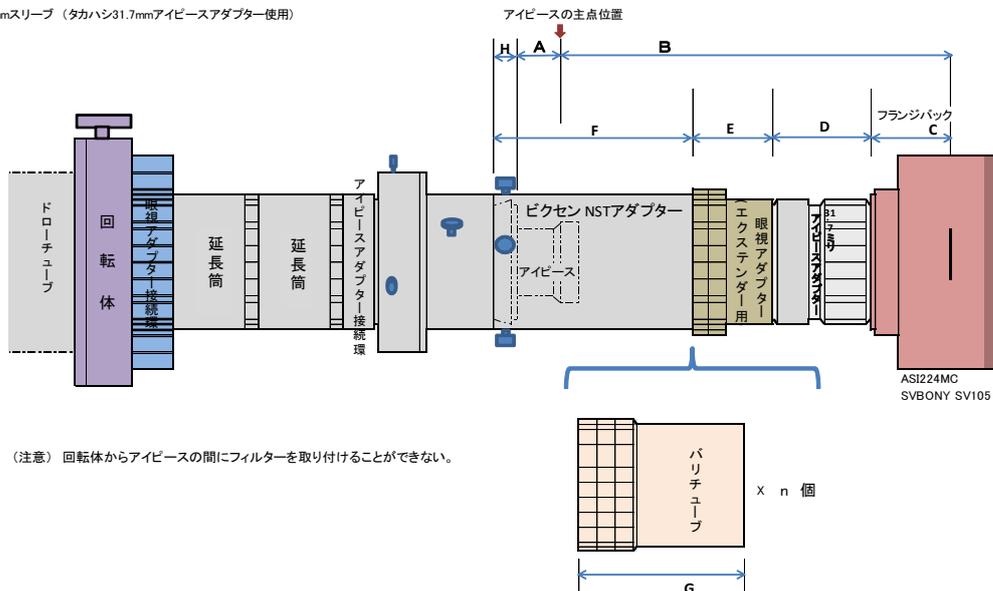
■ リレー・レンズ法の原理図

撮影原理図は下図のようになります。対物レンズが結んだ実像をリレーレンズ(アイピース)で拡大して CMOSカメラの撮像素子面に投影します。

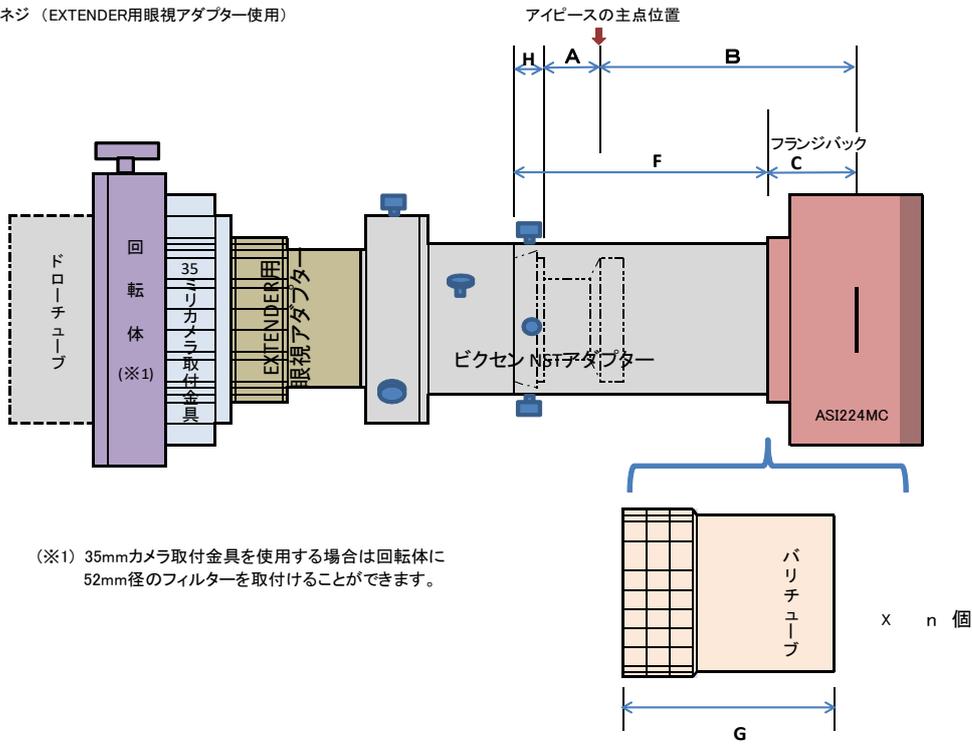


■ 接続構成

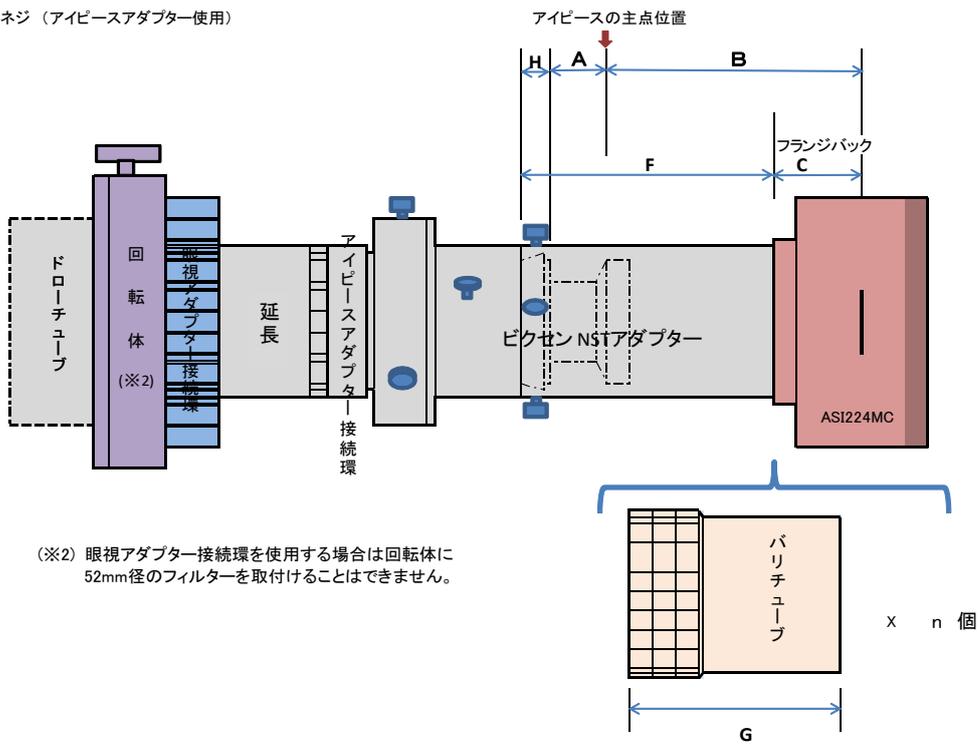
- 31.7mmスリーブ (タカハシ31.7mmアイピースアダプター使用)



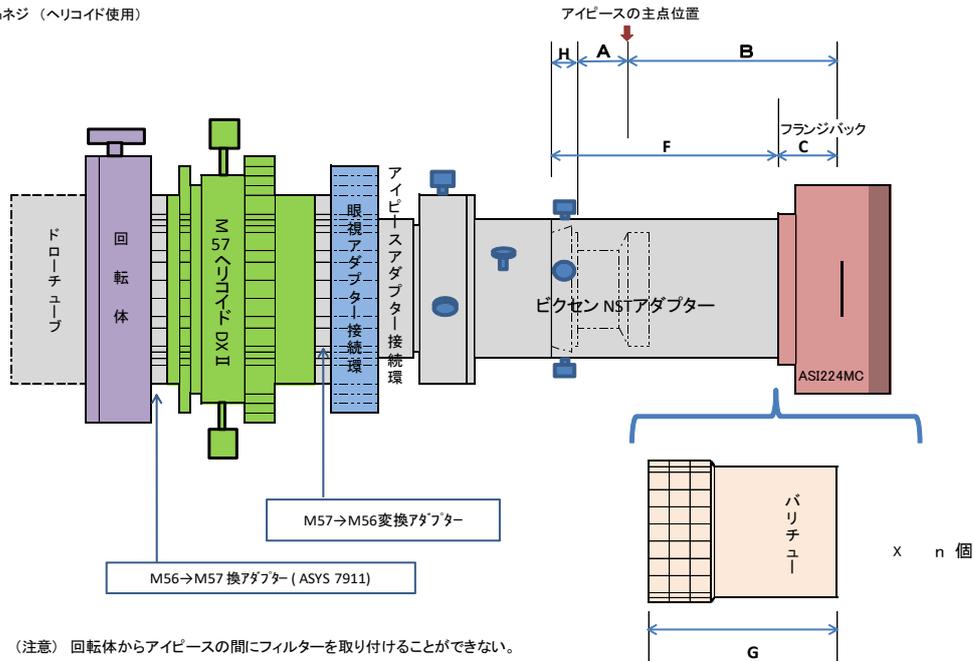
▪ 42mmネジ (EXTENDER用眼視アダプター使用)



▪ 42mmネジ (アイピースアダプター使用)



- 42mmネジ（ヘリコイド使用）



■ 拡大率、合成焦点距離、合成F値を求めるために必要なパラメーター

リレー・レンズ法で拡大率を決める重要な情報は、アイピースと撮像面間距離です。この距離によって対物レンズによって結んだ実像を拡大する率（拡大率）が決まります。拡大率を求める公式の説明は別の章で説明してありますので、ここでは拡大率を求めるために必要なパラメーターとしてアイピースと撮像面間距離（B）を私の撮影セットについて求めます。Bの値をバリチューブ数の増減でコントロールしますが、撮像面上の像のピントを合わせるためには、アイピースの位置を前後に移動する必要があり、この操作はドロートューブの出し入れで行います。

リレー・レンズ（アイピース）と撮像面間距離をBとすると、Bは以下で求められます。

・ SV105 の場合 または、ASI224MCの31.7mmスリーブ使用の場合

$$B = F + E + D + C + n \times G - A - H \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

・ ASI224MC 42mmネジ使用の場合

$$B = F + C + n \times G - A - H \quad (n= 1, 2, 3)$$

A, C, D, E, F, G, H の各数値は、下表のとおり。

A (高橋製作所へ確認)	アイピース
18.9 mm	高橋Or18
5.2 mm	高橋Or7
19.7 mm	高橋Or4

C (販売元へ確認)	撮像機器
6.9 mm	SVBONY SV105
12.5 mm	ZWO ASI224MC (42mmネジ使用)
14.5 mm	ZWO ASI224MC(31.7mmスリーブ使用)

D	アイピースホルダー
29.0 mm	高橋31.7mmアイピースアダプター

E	眼視アダプター
28.0 mm	高橋エクステンダー用

F	カメラアダプター
46.0 mm	ピクセン NSTアダプター

G	バリチューブ
40.0 mm	高橋エクステンダーレンズ延長筒

H (実測値)	カメラアダプター
9.0 mm	アイピースホルダー部分

当資料をExcelで開いている場合、下記式の太枠内で値を選択することでBが自動計算されます。

・ SV105 の場合 または、ASI224MCの31.7mmスリーブ使用の場合

$$B = F + E + D + C + \frac{n}{x} \times G - \frac{A}{H} \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

$$= 46.0 + 28.0 + 29.0 + \boxed{14.5} + \boxed{3} \times 40.0 - \boxed{19.7} - 9.0$$

$$= 209 \quad (\text{mm})$$

・ ASI224MC 42mmネジ使用の場合

$$B = F + C + \frac{n}{x} \times G - \frac{A}{H} \quad (n=0, 1, 2, 3)$$

$$= 46.0 + 12.5 + \boxed{0} \times 40.0 - \boxed{18.9} - 9.0$$

$$= 31 \quad (\text{mm})$$

■ リレーレンズ(アイピース)の主点から撮像面までの距離B 単位mm(実測値)

		バリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
高橋Or 18mm	SV105	82	122	162	202
	ASI224MC(※1)	90	130	170	210
	ASI224MC(※2)	31	71	111	151
高橋Or 7mm	SV105	96	136	176	216
	ASI224MC(※1)	103	143	183	223
	ASI224MC(※2)	44	84	124	164
高橋Hi-Or 4mm	SV105	81	121	161	201
	ASI224MC(※1)	89	129	169	209
	ASI224MC(※2)	30	70	110	150

(※1) ASI224MC 31.7mmスリーブ使用の場合

(※2) ASI224MC 42mmネジ使用の場合

■ 拡大率、合成焦点距離、合成F値

SV106		バリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
Or18mm	拡大率	3.56	5.78	8.00	10.2
	合成焦点距離(mm)	2,130	3,470	4,800	6,130
	合成F値(口径76/50mm)	28 / 43	46 / 69	63 / 96	81 / 123
Or7mm	拡大率	12.7	18.4	24.1	29.9
	合成焦点距離(mm)	7,630	11,060	14,500	17,900
	合成F値(口径76/50mm)	100 / 153	146 / 221	191 / 290	236 / 358
Or4mm	拡大率	19.3	29.3	39.3	49.3
	合成焦点距離(mm)	11,600	17,600	23,600	29,600
	合成F値(口径76/50mm)	153 / 232	232 / 352	311 / 472	389 / 592

ASI224MC 31.7mmスリーブ使用の場合		バリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
Or18mm	拡大率	4.00	6.22	8.44	10.7
	合成焦点距離(mm)	2,400	3,733	5,070	6,400
	合成F値(口径76/50mm)	32 / 48	49 / 75	67 / 101	84 / 128
Or7mm	拡大率	13.7	19.4	25.1	30.9
	合成焦点距離(mm)	8,230	11,657	15,100	18,500
	合成F値(口径76/50mm)	108 / 165	153 / 233	199 / 302	243 / 370
Or4mm	拡大率	21.3	31.3	41.3	51.3
	合成焦点距離(mm)	12,800	18,800	24,800	30,800
	合成F値(口径76/50mm)	168 / 256	247 / 376	326 / 496	405 / 616

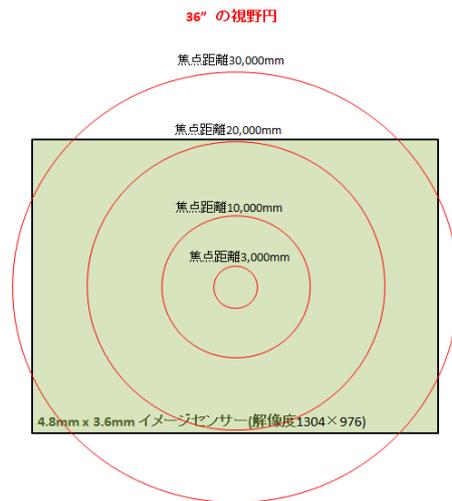
ASI224MC 42mmネジ使用の場合		バリチューブ数(n)			
		0	1	2	3
Or18mm	拡大率	-	2.94	5.17	7.4
	合成焦点距離(mm)	-	1,767	3,100	4,433
	合成F値(口径76/50mm)	-	23 / 35	41 / 62	58 / 89
Or7mm	拡大率	5.3	11.0	16.7	22.4
	合成焦点距離(mm)	3,170	6,600	10,000	13,500
	合成F値(口径76/50mm)	42 / 63	87 / 132	132 / 200	178 / 270
Or4mm	拡大率	6.5	16.5	26.5	36.5
	合成焦点距離(mm)	3,900	9,900	15,900	21,900
	合成F値(口径76/50mm)	51 / 78	130 / 198	209 / 318	288 / 438

拡大率 = (B ÷ アイピースの焦点距離) - 1
 合成焦点距離(mm) = 拡大率 × 望遠鏡の焦点距離(mm)
 合成F値 = 合成焦点距離(mm) ÷ 望遠鏡の口径(mm)

■ 画角

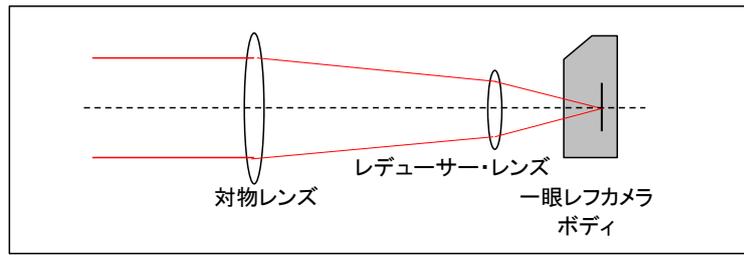
SV105/ASI224MC イメージセンサー・サイズ : 4.8 mm X 3.6 mm

右図は、イメージセンサーが36秒角(36")の視野円をどのように切り取るかを焦点距離の違いで示しています。



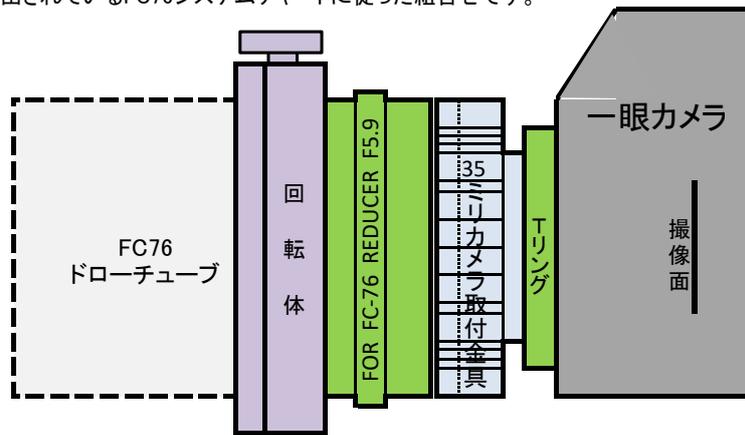
3-8. レデューサー・レンズ撮影法での焦点距離(一眼レフカメラ使用)

■ 原理図



■ 接続構成

高橋製作所から出されているFC76システムチャートに従った組合せです。

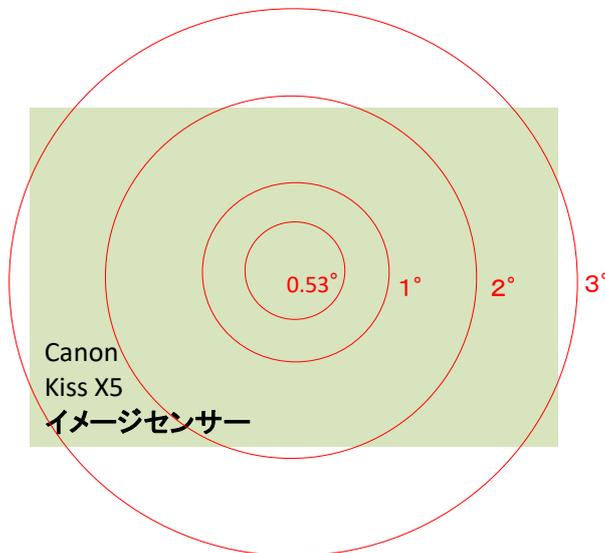


■ FC76+レデューサーによる合成焦点距離

合成焦点距離 450 mm

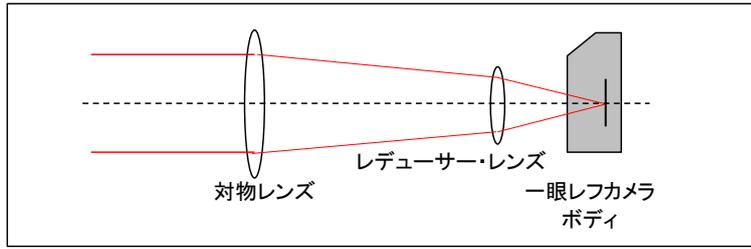
■ Canon Kiss x5イメージセンサーの画角

Canon Kiss X5 イメージセンサー・サイズ : 22.3 mm X 14.9 mm

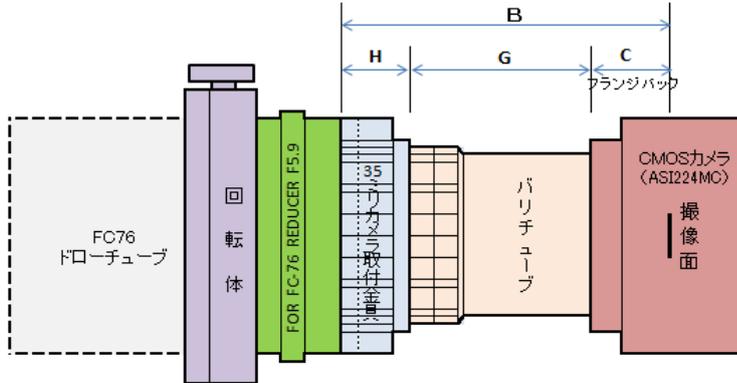


3-9. レデューサー・レンズ撮影法での焦点距離(CMOSカメラ使用)

■ 原理図



■ 接続構成



ASI224MC使用時(42mmネジ使用)、上記構成図における距離Bは、

$$\begin{aligned}
 B &= H + G + C \\
 &= 16.0 + 40.0 + 12.5 \\
 &= 68.5 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

この構成でピントが合わせられるか？
 合った場合の焦点距離は？

高橋製作所から出されているシステムチャートによる構成での実測値Bは、

$$\begin{aligned}
 B &= H + (D + C) \\
 &= 16.0 + 55.0 \\
 &= 71.0 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

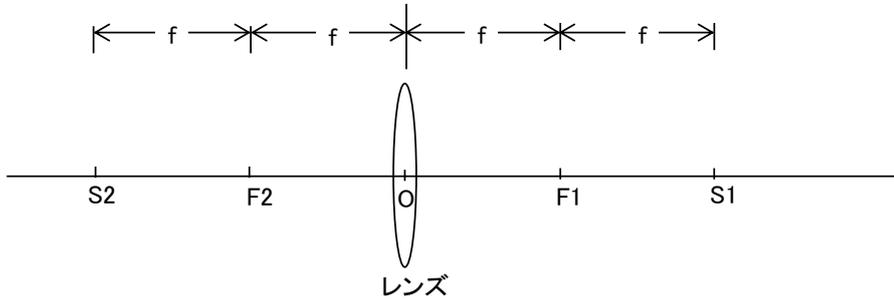
付 録

付録1.【基礎知識】凸レンズによる像の位置と大きさ(1)

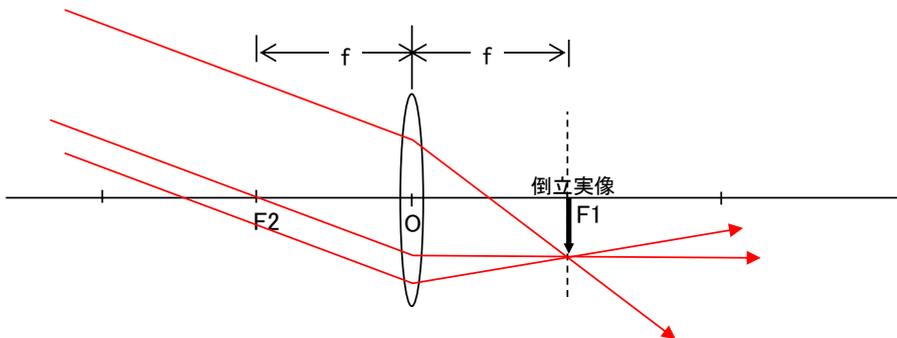
凸レンズによる像の位置と大きさは、物体と凸レンズ間の距離により①～⑥のパターンを考えることができます。

まず、下図のように、レンズの焦点距離を f 、光軸上の焦点位置を $F1$ および $F2$ 、主点を O 、主点 O から焦点距離の2倍の位置を $S1$ および $S2$ とします。

なお、下記①を除いて、文英堂シグマベスト くわしい学習辞典「中学理科の精解と資料」を参考としました。

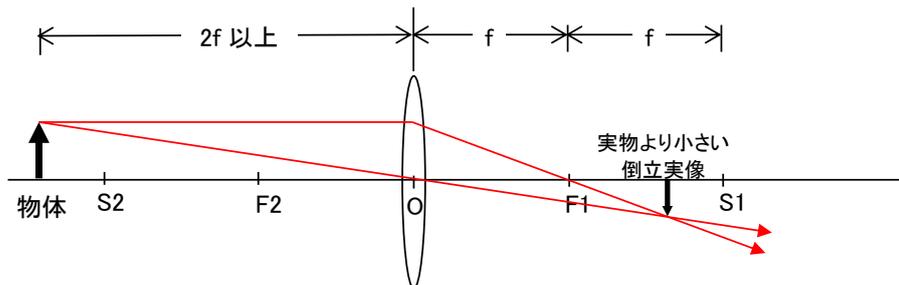


- ① 物体が無遠にあるとき、物体の一点から出た光は、レンズ上のどの部分においても一定の方角から入射してくる。斜めに入射する平行光線は焦点面に収束するため、小さな倒立実像がレンズの反対側の焦点($F1$)位置にできる。

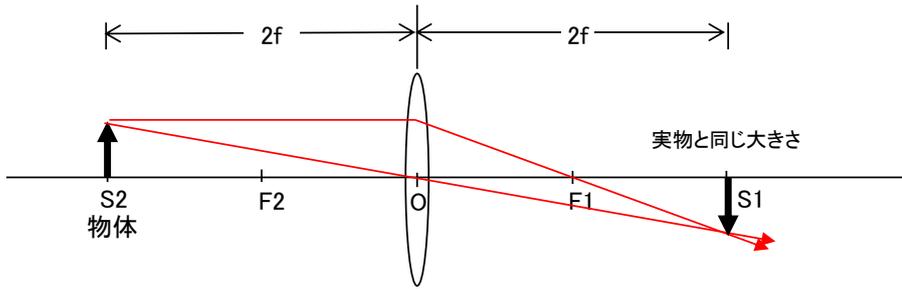


参考：斜めに入射する平行光線の収束の仕方については下記を参照
<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/ishijima/para-04.html>

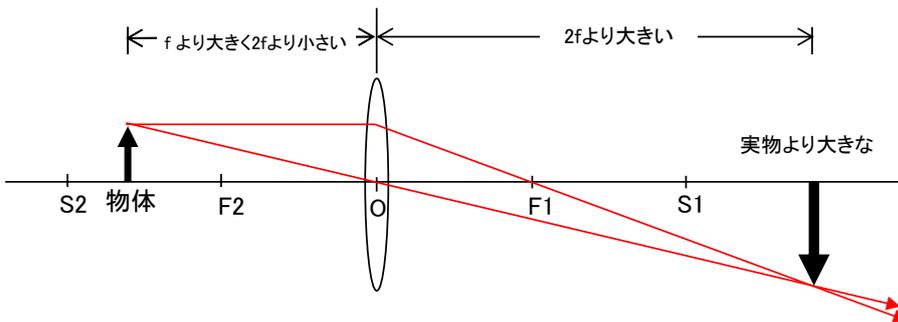
- ② 物体が凸レンズから焦点距離(f)の2倍以上離れているとき、実物より小さな倒立実像がレンズの反対側の焦点($F1$)と焦点距離の2倍の点($S1$)との間にできる。



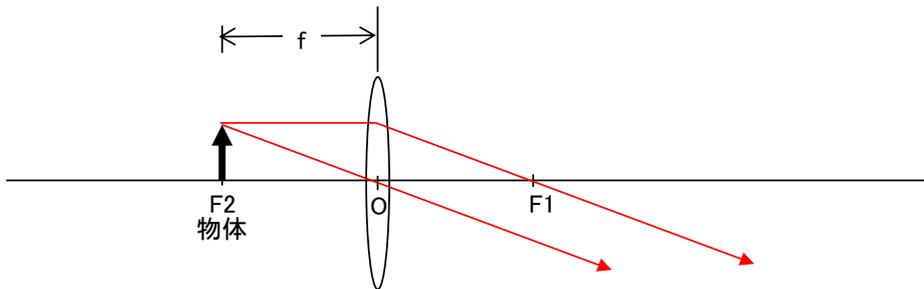
- ③ 物体が焦点距離(f)の2倍の点(S_2)にあるとき、実物と同じ大きさの倒立実像がレンズの反対側の焦点距離の2倍の点(S_1)にできる。



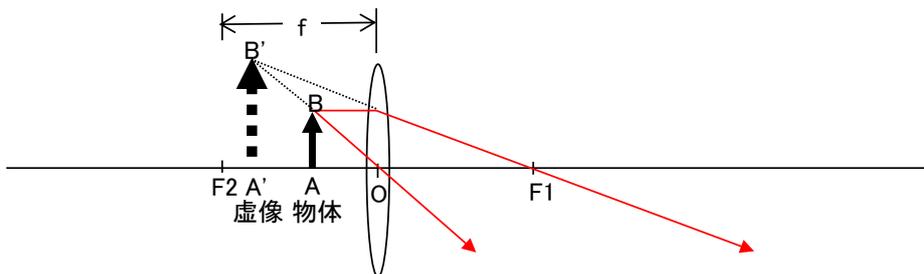
- ④ 物体が焦点(F_2)と焦点距離の2倍の点(S_2)との間にあるとき、実物より大きな倒立実像がレンズの反対側の焦点距離の2倍の点(S_1)より遠くにできる。



- ⑤ 物体が焦点(F_2)にあるとき、物体の一点から出た光はレンズを通過した後並行に進むため実像も虚像も出来ない。



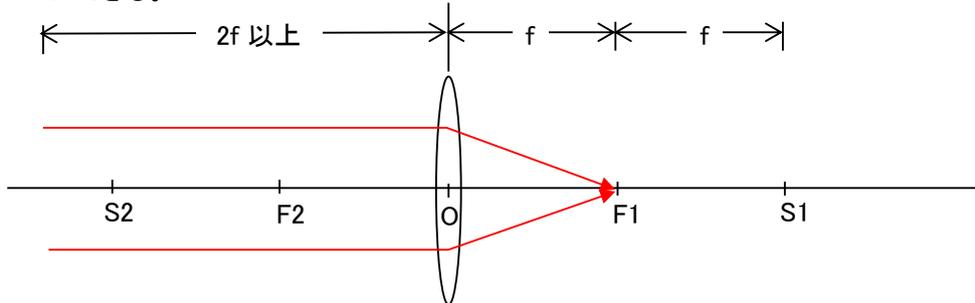
- ⑥ 物体が焦点(F_2)の内側にあるとき、物体の一点から出た光はレンズを通過した後広がりながら進むため何処でも交わらない。そのため実像は出来ない。しかし F_1 側から見ると物体 AB より大きな虚像($A'B'$)が見える。虚像はスクリーンを置いても写らない。



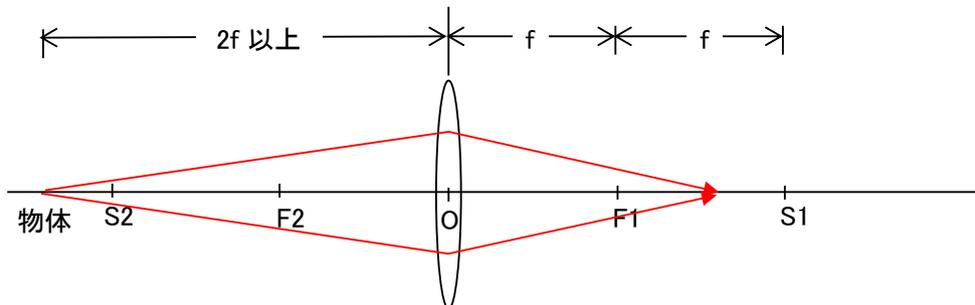
付録2.【基礎知識】凸レンズによる像の位置と大きさ(2)

下記では並行光線および光軸上の点光源の場合を図示しています。

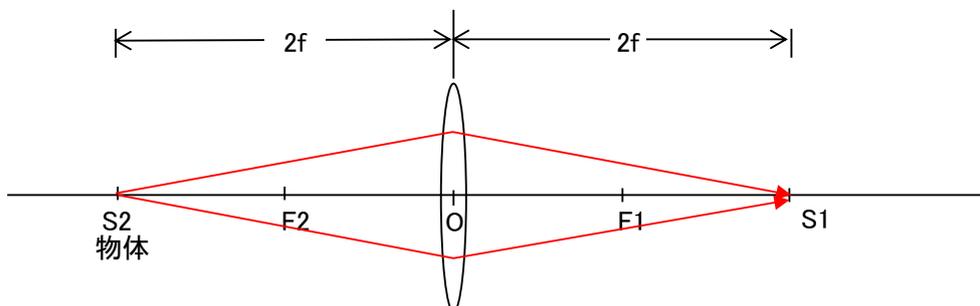
- ① 物体が凸レンズから無限遠にあるとき、倒立実像がレンズの反対側の焦点(F1)位置にできる。



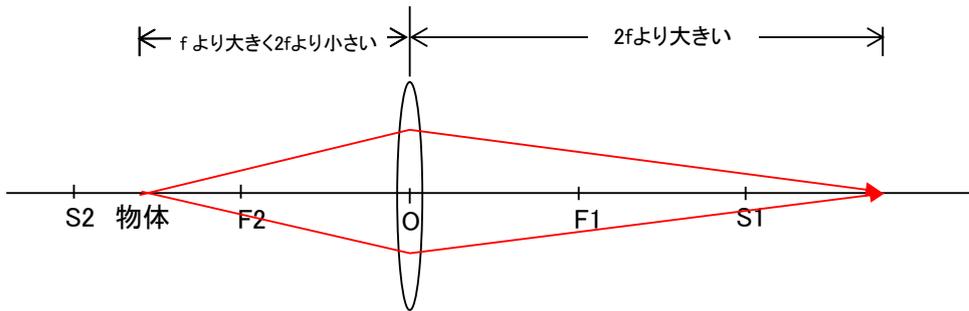
- ② 物体が凸レンズから焦点距離(f)の2倍以上離れているとき、実物より小さな倒立実像がレンズの反対側の焦点(F1)と焦点距離の2倍の点(S1)との間にできる。



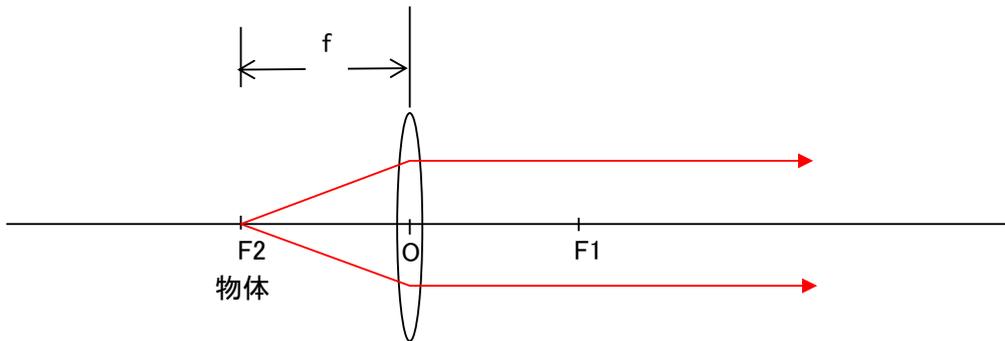
- ③ 物体が焦点距離(f)の2倍の点(S2)にあるとき、実物と同じ大きさの倒立実像がレンズの反対側の焦点距離の2倍の点(S1)にできる。



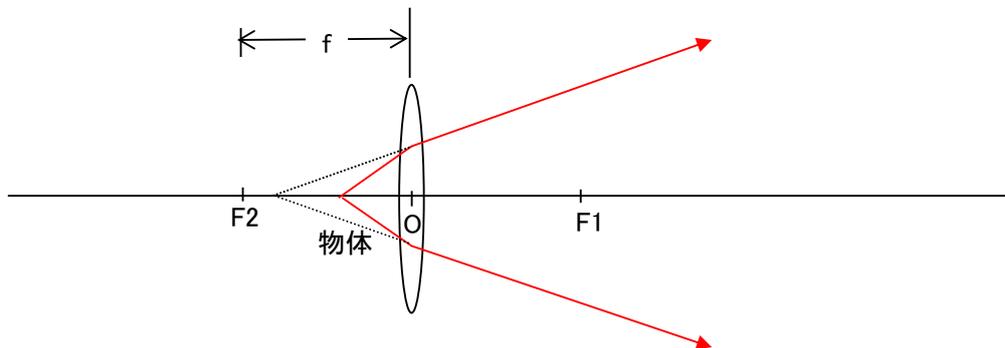
- ④ 物体が焦点(F2)と焦点距離の2倍の点(S2)との間にあるとき、実物より大きな倒立実像がレンズの反対側の焦点距離の2倍の点(S1)より遠くにできる。



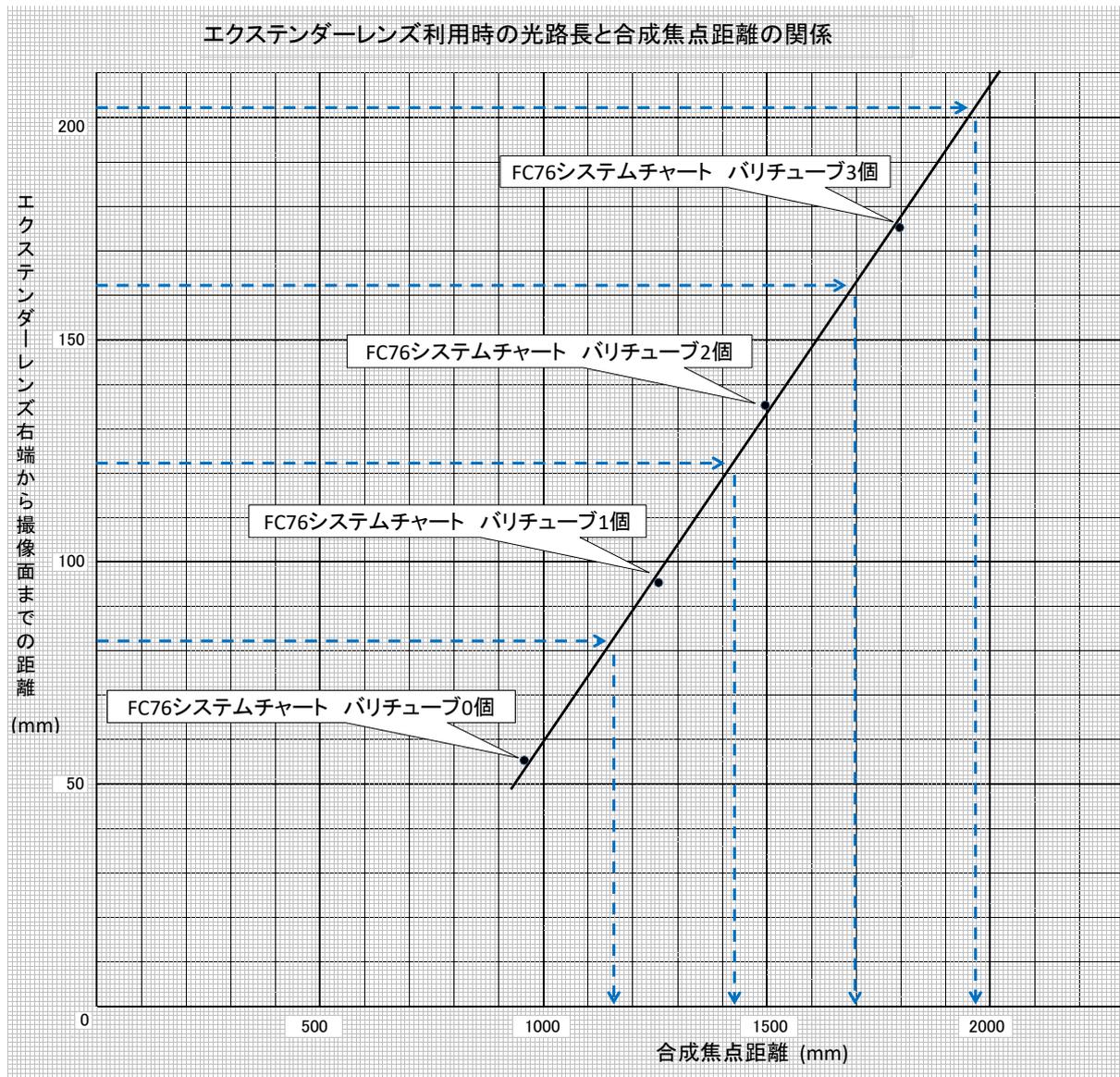
- ⑤ 物体が焦点(F2)にあるとき、レンズを通過した光は並行に進むため実像も虚像も出来ない。



- ⑥ 物体が焦点(F2)の内側にあるとき、レンズを通過した光は広がりながら進むため何処でも交わらない。そのため実像は出来ない。しかしF1側から見ると実像に対して虚像が見える。虚像はスクリーンを置いても写らない。



付録3. エクステンダー・レンズ利用時の光路長と合成焦点距離の関係グラフ



直線の方程式を(1000,59)、(2000,207)の2点から求めると、
 合成焦点距離 = $6.76 \times B + 601$
 ここで、Bはエクステンダーレンズ右端から撮像面までの距離

付録4. 太陽面適正露出表

ND400+ND8(露出倍数3,200倍)使用時の適正露出時間(秒)

ISO 合成F値	6	32	64	100	200	400	800	1600
8	1/1600	-	-	-	-	-	-	-
11	1/800	1/3200	-	-	-	-	-	-
16	1/400	1/1600	1/3200	1/6400	-	-	-	-
22	1/200	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-	-	-
32	1/100	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-	-
45	1/50	1/200	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-
64	-	-	-	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400
90	-	-	-	1/200	1/400	1/800	1/1600	1/3200
128	-	-	-	1/100	1/200	1/400	1/800	1/1600
180	-	-	-	1/50	1/100	1/200	1/400	1/800
256	-	-	-	1/25	1/50	1/100	1/200	1/400
361	-	-	-	1/12	1/25	1/50	1/100	1/200

(注意)上記表の一部は「天体写真入門」藤井 旭著 誠文堂新光社 より抜粋しています。

ND400+ND16(露出倍数6,400倍)使用時の適正露出時間(秒)

ISO 合成F値	6	32	64	100	200	400	800	1600
8	1/800	1/3200	-	-	-	-	-	-
11	1/400	1/1600	1/3200	1/6400	-	-	-	-
16	1/200	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-	-	-
22	1/100	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-	-
32	1/50	1/200	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400	-
45	-	-	-	1/400	1/800	1/1600	1/3200	1/6400
64	-	-	-	1/200	1/400	1/800	1/1600	1/3200
90	-	-	-	1/100	1/200	1/400	1/800	1/1600
128	-	-	-	1/50	1/100	1/200	1/400	1/800
180	-	-	-	1/25	1/50	1/100	1/200	1/400
256	-	-	-	1/12	1/25	1/50	1/100	1/200
361	-	-	-	-	1/12	1/25	1/50	1/100

ND400+ND400(露出倍数160,000倍)使用時の適正露出時間(秒)

ISO 合成F値	6	32	64	100	200	400	800	1600
8	1/30	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	1/8000
11	1/15	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000
16	1/8	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000
22	1/4	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000
32	1/2	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500
45	1	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250
64	2	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125
90	-	-	-	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60
128	-	-	-	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30
180	-	-	-	1	1/2	1/4	1/8	1/15
256	-	-	-	2	1	1/2	1/4	1/8
361	-	-	-	4	2	1	1/2	1/4

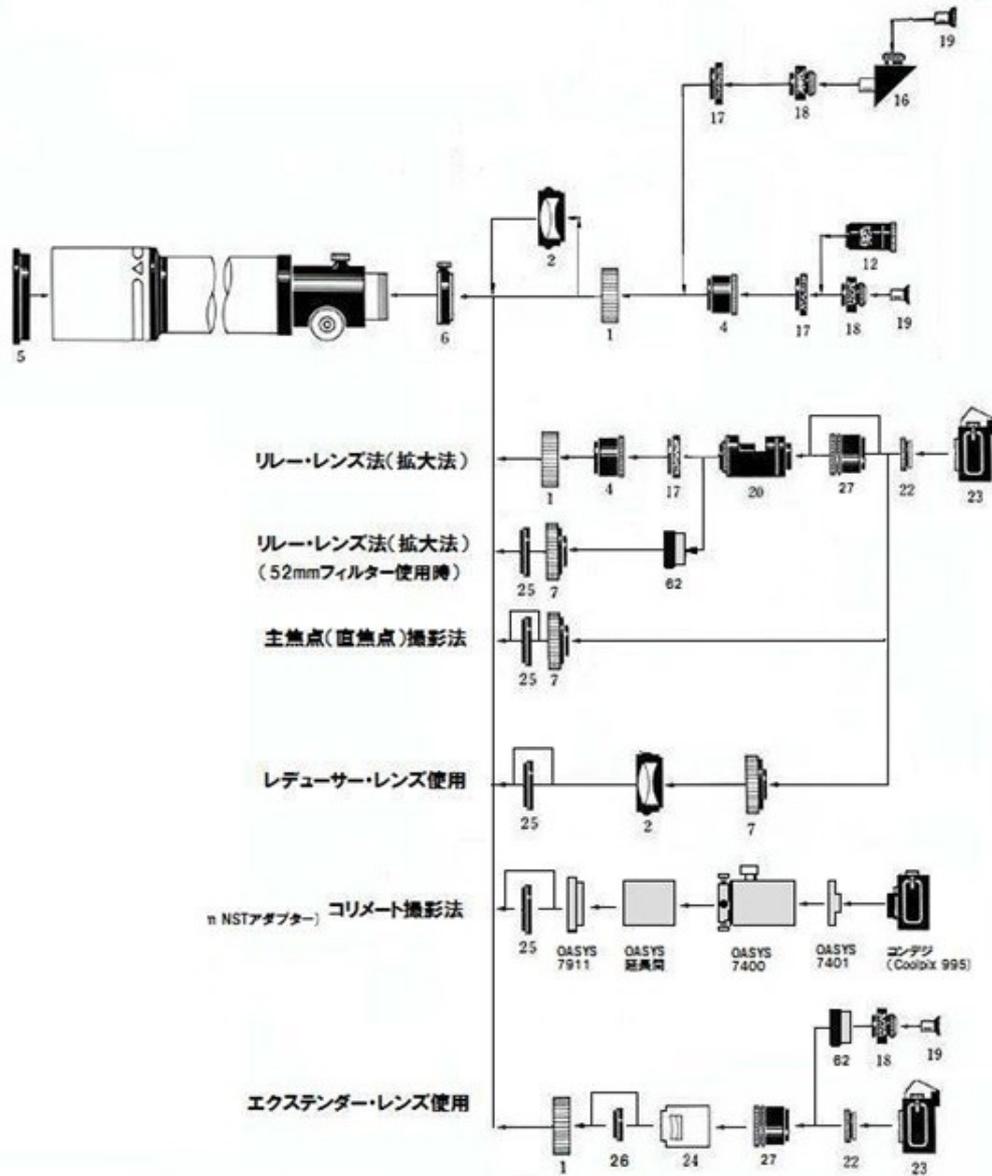
高橋FC76

合成焦点距離(mm)	合成F値	拡大率	パーツの組合せ
600	7.9	-	鏡筒のみ
960	13	1.6	エクステンダーレンズ使用
1260	17	2.1	エクステンダーレンズ+バリチューブ1個構成
1500	20	2.5	エクステンダーレンズ+バリチューブ2個構成
1800	24	3.0	エクステンダーレンズ+バリチューブ3個構成
450	5.9	0.75	レデューサー使用

付録5. FC-76システムチャート

(高橋製作所作成のものを部分的に修正利用)

写真/眼視システムチャート(FC-76)



(高橋製作所作成のものを部分的に修正利用)

1 接眼アダプター接続環	(M56メス→M43メス)
2 FC-76用レデューサーレンズ	(M56メス→M56オス)
3 変換アダプター	(M57P0.75オス→M56P0.75オス)
4 延長筒(F6用)	(M43オス→M43メス)
5 フード絞り	
6 回転本体	(M56メス→M56オス)
7 35mmカメラ取付金具	(M56メス→M42オス)
8 ND400減光フィルター	
9	
10	
12 Or40mmアイピース	
13	
14	
15	
16 天頂プリズム	
17 アダプター接続環(短)	(M43オス→M36.4メス)
18 アイピースアダプター一式	(M36.4オス→24.5mmスリーブ)
19 各種アイピース (24.5mm)	
20 カメラアダプター(Vixen 36.4mm NSTアダプター)	(M36.4オス→M42オス)
21	
22 各種カメラマウント(Tリング)	(M42メス→各種カメラマウント)
23 各種35mmカメラ	
24 エクステンダーレンズ	(M43オス→M42オス)
25 各種フィルター(52mm)	
26 30.5mmフィルター	
27 バリチューブ	(M42メス→M42オス)
62 眼視アダプター(エクステンダー用)	(M42メス→M36.4メス)
OASYS7400 SD-1	(M57P0.75オス→M57P0.75メス)
OASYS7401 M57→M28AD	(M57P0.75オス→M28P0.75オス)
OASYS7603 M57/60延長筒M	(M57P0.75オス→M57P0.75メス)
OASYS7761 M57ヘリコイト DX II	(M57P0.75オス→M57P0.75メス)
OASYS7911 M56→M57/60AD	(M56P0.75メス→M57P0.75メス)

付録6. 保有機材一覧

私が所有している望遠鏡機材は購入後30年以上経っており、昨今のデジタル対応ではありませんが、往年の名機と呼べるもので現在でも特に問題なく使用出来ています。

以下に撮影機材を記載します。

機材	メーカー	製品名・備考
鏡筒	タカハシ	FC-76 (二枚玉フローライト・アポクロマート屈折望遠鏡) 有効径: 76mm 分解能: 1.53秒 極限等級: 11.2等 焦点距離: 600mm 口径比: 1:7.9 集光力: 120倍
赤道儀	タカハシ	EM-1
アイピース	タカハシ	Or40mm (36.4mmねじ込み式) (眼視・撮影用)
	タカハシ	Or18mm (45° 24.5mmスリーブ) (眼視・撮影用)
	タカハシ	Or7mm (40° 24.5mmスリーブ) (眼視・撮影用)
	タカハシ	Hi-Or4mm (24.5mmスリーブ) (眼視・撮影用)
	ビクセン	LV9mm (46° 31.7mmスリーブ) (眼視・撮影用)
	不明	H.M20mm (24.5mmスリーブ) (太陽投影用)
	不明	H.M15mm (24.5mmスリーブ) (太陽投影用)
レデューサー	タカハシ	FOR FC-76 REDUCER F5.9 (FC-76の焦点距離が450mmになる)
エクステンダー	タカハシ	VARI-EXTENDER 1.6倍 バリチューブ 1個使用で 2.1倍 2個使用で 2.5倍 3個使用で 3.0倍
暗視野ガイドアダプター	ビクセン	GA-3 (LR44ボタン電池 x2) (3倍バローレンズ)
フィルター	ケンコー	ND400 77mm (減光用)
	ケンコー	ND400 52mm (減光用)
	タカハシ	ND400 30.5mm (減光用)
	ケンコー	ND16 52mm (減光用)
	タカハシ	ND2 30.5mm (減光用)
	タカハシ	Y48 30.5mm (モノクロ撮影用)
	不明	不明 52mm (光害カットフィルター)
	ケンコー	プロソフトンA・ワイド 62mm (恒星像ニジミ用)
ステップアップリング		58 → 62mm
ステップダウンリング (フィルター用)		82 → 77mm
太陽投影版	ビクセン	投影板直径 205mm
フォーカシングツール	AstroArts	パーティノフマスク (D=80mm)
カメラ、撮像素子	ニコン	D7100 (APS-C デジタル一眼)
	ニコン	Coolpix 995 (コンパクトデジカメ、コリメート撮影用)
	キャノン	EOS Kiss Digital X5 (APS-C デジタル一眼)
	ZWO	ASI224MC (Sony 1/3" CMOS IMX224)
	SVBONY	SV105 (1/3" CMOS 31.7mmスリーブ)
	カメラレンズ	ニコン
ニコン		AF-S NIKKOR 18-200mm 1:3.5-5.6G ED VR (フィルター径72mm)
キャノン		EF-S 18-55mm 1:3.5-5.6 IS II (フィルター径58mm)
		EF-S 55-250mm 1:4-5.6 IS II (フィルター径58mm)
		EF 28-80mm 1:3.5-5.6 V USM (フィルター径58mm)
		EF 75-300mm 1:4-5.6 III USM (フィルター径58mm)

改訂履歴

改訂日付	改訂章	改訂内容
2021/1/1		全面改訂
2023/1/30	3章	高橋31.7mmアイピースアダプター使用に伴う修正