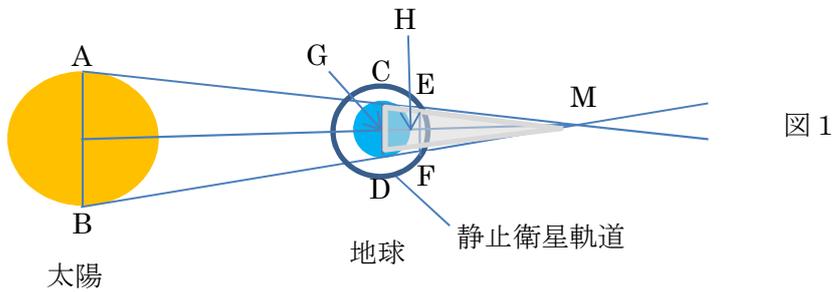


1. 静止衛星軌道上での地球の影の大きさ



まず、地球の影の長さを求める。図1で三角形 MAB と MCD は相似なので、地心から影の交点 M までを影の長さとする、次の式が成立する。

$$AB : CD = (\text{太陽と地球の距離} + MG) : MG \quad (1)$$

(1)より、MG を求めると、138.9 万 km となる。次に EF の長さを求める。三角形 MEF と三角形 MCD は相似なので、次の近似式が成立する。

$$CD : EF \approx MG : (MG - (\text{静止軌道上の高さ} + \text{地球の半径})) \quad (2)$$

これを計算すると、EF は、地球の直径の 0.97 倍となる。

一方で南中時の影の天球上の大きさは、三角形 EHF の内角の大きさと等しいので、内角の大きさを θ とすると、次の式が成立する。

$$EH \times \sin(\theta/2) = EF/2 \quad (3)$$

(3)より θ は、 15.5° となる。方位が東より、あるいは西よりになると、この値は小さくなる。

2. 地球の影の天球上の位置

地球の影の天球上の位置は、黄道上にあり、太陽の丁度 180 度反対側にある。また、大きさは(3)で求めたように南中付近では直径が 15.5° の円形となる。

地球の影の天球上の移動は、太陽の移動と同様で、1 日におよそ 1 度、西から東へ黄道上を移動し、1 年で天球上を一周する。春分では、太陽の赤経、赤緯はそれぞれ、(0h, 0°) なので、影は、赤経、赤緯が、(12h, 0°) となる。春分、夏至、秋分、冬至の太陽の位置の座標と地球の影の位置の座標は次の通りとなる。

表(1) 太陽と地球の影の天球上の位置

	太陽				地球の影			
	黄経	黄緯	赤経	赤緯	黄経	黄緯	赤経	赤緯
春分	0°	0°	0h	0°	180°	0°	12h	0°
夏至	90°	0°	6h	+23.5°	270°	0°	18h	-23.5°
秋分	180°	0°	12h	0°	0°	0°	0h	0°
冬至	270°	0°	18h	-23.5°	90°	0°	6h	+23.5°

3. 藤岡氏撮影画像について

先ず、撮影場所の緯度、経度、時刻、M42 の方位角を明確にする。画像のキャプションとステラナビゲータで、求めると次の通りとなる。

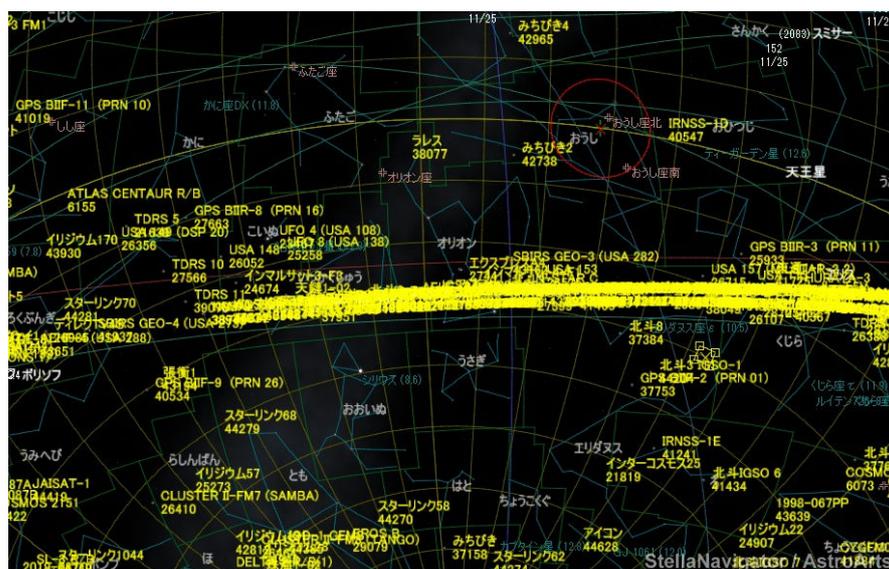
緯度：北緯 36.0 度 東経 138.2 度 撮影開始時刻：2019 年 11 月 25 日 00:38
 M42 の方位角：168 度(キャプションでは、171 度とあるが、これは画像の西端?)

ステラナビゲータによると、撮影時の太陽の黄経が、241° 47'、赤経・赤緯が (15h59s, -20° 31') なので、地球の影の座標は、次の通りとなる。

黄道座標 (黄経、黄緯) : (61° 47', 0°)
 赤道座標 (赤経、赤緯) : (3h59s, +20° 31')

M42 の赤経、赤緯は、5h35m、-5° 24'で、静止衛星の赤緯(-5° 24')と同じで、地球の影と大きくかけ離れており、静止衛星は影に入らない。下図はステラナビゲータで作成した地球の影の位置で、赤丸で表示してある。衛星の位置は黄色で表示してある。

画像 (1) 地球の影の位置



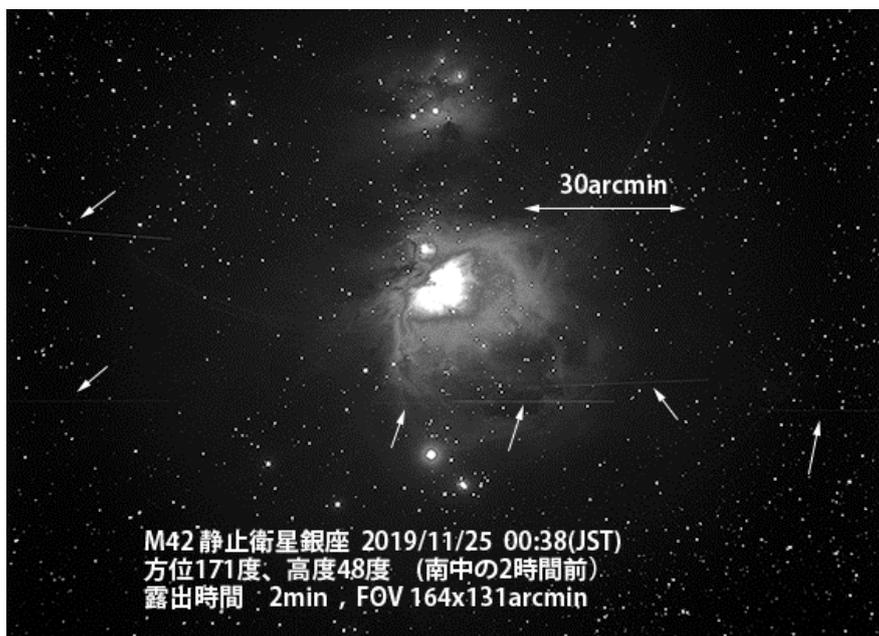
撮影時に写る静止衛星の東経は、静止衛星サイトで調査の結果 144 度～146 度であった（表（2）参照）。観測地の経度と静止衛星の経度の差 δ は、球面三角形を平面三角形に近似すると次の式で求まる。

$$\tan(\alpha) \doteq \delta / \text{緯度} \quad (4) \quad \text{ここで、}\alpha\text{は南方向と撮影方位との差}$$

該当の値を入れて求めると、 δ は 7.7 度となる。観測地の経度が 138.2 度なので、撮影される画像東端の衛星軌道の東経は、138.2 度 + 7.7 度 = 145.9 度となり、調査結果と符合する。撮影静止画像の一覧は表(2)を参照。

天体撮影時に静止衛星を画像に入れたいためには、静止衛星を地球の影に隠す必要がある。即ち、春分や秋分の時期に、赤道付近の天体でかつ赤経としては、0h あるいは 12h 付近の天体では可能性がある。しかしながら、M42 の赤経は 5h35m なので、撮影時に静止衛星が地球の影に入ることはありえない。

画像(2) 藤岡氏撮影の M42 と静止衛星



衛星名称	国	NORAD-ID	東経
NMIQ2	Canada	27632	146.1°
NUSANTAR	Indonesia	44048	146.0°
Himawari7	Japan	28937	145.0°
Sky Master 2	Australia	41794	144.8°
Hokuto 3G1	China	43683	144.5°
Super Bird C2	Japan	33274	144.0°

表（2）撮影静止画像の一覧（画像の東側から順番に記載）