

超小型衛星Stars-AOによる観測研究計画 ～宇宙からISSを撮影する～

Stars-AO衛星観測研究計画立案プロジェクト(全37名)
林 大晟、豊田 聖 (高2) 【浜松学芸高等学校】

1. 研究の背景・目的

Stars-AOは、静岡大学工学部能見研究室と民間の技術者が協力して開発した。超高感度カメラを搭載した10cm立方の超小型衛星であり、星空や地表を観測できる。

2018年8月6日および20日に、「Stars-AO衛星観測研究計画立案プロジェクト」が、中高生37名が参加して行われた。Stars-AOの性能(表1)を活かした観測計画について、中高生が案を出し合い、観測実現性を検討して発表した。

現在、地表から国際宇宙ステーション(ISS)や人工衛星の損傷状態を確認することは技術的に困難である。我々のグループは人工衛星から人工衛星を撮影すれば地表よりも近距離の宇宙から高精度な画像を撮影できるのではないかと考えた。将来の技術開発に向けた試行観測として、Stars-AOからISSを撮影することを目指し、その実現性を検討した。

表1. Stars-AOの性能

軌道	高度613 km 軌道傾斜角97.8 度
角度分解能(1ピクセル)	0.14 度(視野中心)
画角	103.6 度
感度	露光時間0.1 秒で 6 等星まで検出可能
ダイナミックレンジ	256 倍

2. 手段

Stars-AOからISSを観測するための条件について、角速度、明るさの2点に着目して検討した。

3. 結果

【Stars-AOからISSまでの距離】

Stars-AOは、地表から $h_1=600$ km(図1.実線)、ISSは地表から $h_2=400$ kmの上空を巡回している(図1.破線)。地球の半径 $R=6400$ kmであり、ISSがStars-AOに最接近したときの距離は $a=200$ kmである(図1.○)。しかし、Stars-AOがISSに最接近したときには、撮影時に明るい地球がISSの背景に入ってしまう撮影には適さない。地球がISSの背景に入らない最短距離は $b=540$ kmである(図1.黒丸1)。同様に、地球がISSの背景に入らない最も遠い位置は $c=5100$ kmである(図1.黒丸2)。

【Stars-AOからISSを観測したときの角速度】

各衛星の速度 v を次式 $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ を用いて求めた。このとき、万有引力定数 $G=6.7\times 10^{-11}$ m³kg⁻¹s⁻²、地球の質量 $M=6.0\times 10^{24}$ kg、地球の半径 $R=6400$ km、Stars-AOの高度 $h=600$ kmとした。計算結果は、Stars-AOの秒速は $v_{AO}=7.57$ km/sで、ISSの秒速は $v_{ISS}=7.67$ km/sであった。

一番観測条件が厳しい、Stars-AOからみたISSの角速度が最大となる場合を検討する。相対速度が最大となるのはお互いの軌道面が一致しているが、回転方向が真逆かつ、最接近したときであり、 7.57 km/s+ 7.67 km/s= 15.2 km/sとなった。

Stars-AOからみたISSの角速度 ω が最大になるのは最

接近時である。この時、 $\omega=\frac{15.2}{200}=0.076$ rad/s= 4.4 度/sなので、視野は $\frac{103}{4.4}=25$ sとなり、25 秒でStars-AOの視野から外れてしまう。ISSを1ピクセル(0.14 度)に収めるには $\frac{0.14}{4.4}=0.03$ sでシャッターを切る必要がある。

【Stars-AOからISSを観測したときの明るさ】

Heavens aboveのWebサイトを参考にすると、地表から距離411 kmのとき、地表の観測者からみたISSの等級は-3.9 等級であった。我々のグループは、2月上旬に地表からISSを観測して、他の星との明るさを比較して、ISSの等級を確認する予定である。

距離の2乗に明るさは反比例することから、Stars-AOからみたISSの明るさをポグソンの式 $m-n=-2.5\log\left(\frac{I_m}{I_n}\right)$ を用いて推定した。また、Stars-AOの感度から、対応する露光時間を求めると以下ようになった(表2)。ただし、 I_m 、 I_n はそれぞれ m 、 n 等級の星の明るさとする。

表2. Stars-AOからみた距離の違いによるISSの等級と撮影の露光時間

	距離	等級	露光時間	
a	Stars-AOとISSの距離が最も遠いとき	200 km	-5.4 等級	10^{-4} s
b	背景に地球が入らない最も近いとき	540 km	-3.3 等級	$10^{-4}\sim 10^{-3}$ s
c	Stars-AOとISSの距離が最も遠いとき	5100 km	1.5 等級	$10^{-2}\sim 10^{-1}$ s

4. まとめ

Stars-AOからISSをみたとき、距離が最も遠いときに1.5等級で観測できる。Stars-AOがISSに最接近したとき、最も速くても4.4 度/sである。これらの予想からStars-AOからISSの観測は可能であると考えられる。

5. 参考文献

Heavens above <https://www.heavens-above.com>

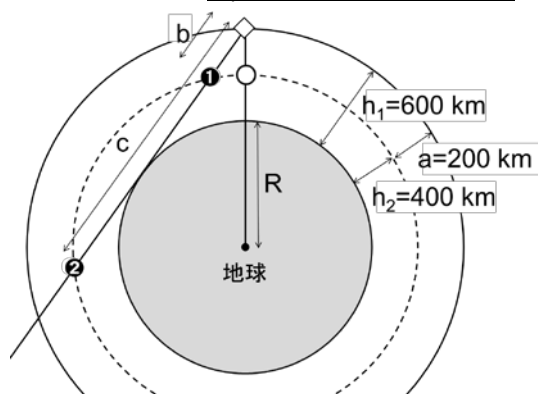


図1. 地球を巡回するStars-AOとISSの軌道
実線: Stars-AOの軌道 破線: ISSの軌道

- ◇: Stars-AO
- : ISSがStars-AOに最接近したとき
- ①: 地球がISSの背景に入らない最も近い位置
- ②: 地球がISSの背景に入らない最も遠い位置