
事例報告

国際宇宙ステーション (ISS) の教材化

山本 明利

北里大学理学部

星が失われた夜空

天体の観察は、われわれ人類の唯一のすみかである地球の、宇宙における位置づけを理解する上で重要な教材である。理科の学習指導要領は小学校から高等学校まで一貫して4本の通し柱で構成されているが、その一つが「地球」である。小学校では太陽や月の動き、四季の星座など、いわば天動説的な立場に立って、足元の大地を基準にして宇宙を見上げる。これにコペルニクスの転回を加えるのが中学校の地学分野の学習である。そこでは太陽系を外から俯瞰し、地球を太陽系内の小さな惑星の一つとしてとらえる視点の育成が求められる。およそ500年前に人類が経験した天動説から地動説へのパラダイムシフトを生徒にも経験させるわけである。

太陽や月の日周運動が実は地球の自転による相対運動であること、四季の星座の移り変わりや、季節による平均気温の昇降が地球の公転運動の結果であることなどを地動説的モデルによってとらえ、日常の天動説的感覚から離脱できることが中学校での学習の目標となる。

そこで天体の観察ということになるわけだが、今やわが国の都市部の夜空は市街光のためにあまりに明るく、よほど郊外に出向かなければ、天の川はおろか星座の形をたどることさえ難しい。肉眼で見える天体は太陽、月、五大惑星ぐらいしかないのが、人口の大半が集中する都市部の実情である。

ところで、そんな市街光にも負けずに燦然と輝く人工天体がある。国際宇宙ステーション (International Space Station : 以下ISS) である。筆者は、誰でもどこにいても比較的簡単に観察できて、天体としての地球や科学の成果をイメージできる、21世紀的な新しい理科教材としてISSの教材化を提案してきた。高校現場を経て、大学で教職課程を担当するようになってからも、新しい教材として理科教員を目指す学生に毎年紹介してきた。そうした十数年の取り組みを振り返り、ここに報告する。

ISSの概要

ISSは、地表から約400 km上空を周回する人類史上最大の人工衛星で、差し渡しがサッカーコートほどもある巨大な有人宇宙実験施設である。NASA（アメリカ）、ロスココス（ロシア）、JAXA（日本）、ESA（ヨーロッパ）、CSA（カナダ）の5つの宇宙機関による国際共同プロジェクトで、1998年に宇宙での建設が始まり、順次モジュールを追加して、2008年には日本の実験棟「きぼう」が設置され、2011年7月のスペースシャトル退役をもって一応の完成をみた。最近では2021年にロシアの多目的実験モジュール「ナウカ」が追加されている。

ISSの主な役割は、真空の宇宙空間や微小重力環境という人工衛星ならではの特殊な環境を利用したさまざまな実験や研究を長期間にわたって行うことである。地球周回軌道上での研究やステーションの運用は上記5つの宇宙機関が派遣する訓練された宇宙飛行士（その役割によりコマンダー、パイロット、ミッションスペシャリスト、ペイロードスペシャリストなどと区別される）が行うが、近年はISSへの輸送手段が増えて、ロシアや米国民間企業による民間人の搭乗も実現している。直近では、2021年12月に前澤友作氏が自費でISSに滞在したことが記憶に新しい。無重力環境を利用しての映画の撮影やCMの制作も行われるなど、商業ベースの利用も増えつつあり、宇宙が比較的身近に感じられるようになってきた。

ISSの教育利用

国民の理解や後進の育成を目的として、ISSを活用した各宇宙機関による教育プログラムも当初から力を入れて行われている。地上の学校とISSを中継で結んで生徒と搭乗員が対話するプログラムや、生徒たちが提案・考案した実験をISSの搭乗員が無重力環境のもとで演示する企画も頻繁に行われている。そうした映像素材を編集した番組もインターネット上の番組として数多くのライブラリが提供されている。一例として文献1を挙げておく。

残念ながらこうしたプログラムへの直接参加の機会が得られるのはごく限られた数の学校のみであり、応募すればいつでも参加希望がかなうわけではない。競争率はかなり高いと言わざるを得ない。既成のライブラリの中から教材として適合するものをチョイスして授業に使うというところが一般的な利用法である。

ISSの観察

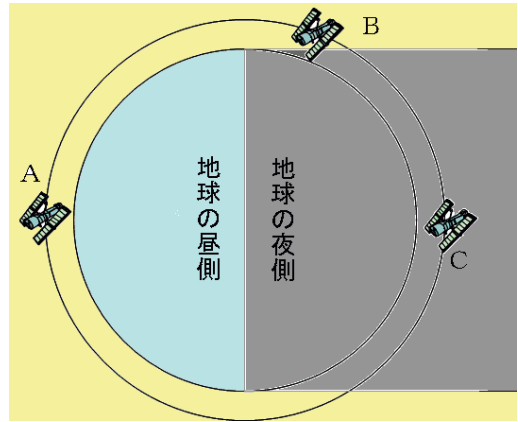
ところで、ISSを地上から直接観察することは意外にたやすい。宇宙を飛行しているとは言っても、ISSの軌道は地表から約400 kmの地球近傍にすぎず、サッカーコート並みに大きな構造物でもあるため、太陽の光を反射してかなり明るく輝いて見える。とはいえ400 kmも先の目標だから、視角は角度の1分足らずであり、肉眼では点にしか見えないが、

明るさは最大で-4等を超えることがある。「明けの明星」「宵の明星」でおなじみの金星の最大光輝時の明るさに匹敵するので、背景が暗い空であれば誰でも簡単に肉眼で視認することができる。観察に当たり、特別な道具は必要ない。見た目の感覚としては「すごく明るい星が音もなくゆっくりと動いていく」という感じである。

もちろん、見上げればいつでもISSが見えるというわけではない。ISSが観察できる条件は一般の人工衛星と共通で、次の4条件を満たす必要がある。

- ①ISSが地平線より上を通過中であること
- ②雲に遮られていないこと
- ③ISSに太陽光が当たっていること
- ④観測地は日没後・日の出前で空が暗いこと

①②④は月や星を見る場合と同じである。
③についてはISS自体は光を発しておらず、太陽光を反射しているだけだから、陽が当たっていることが必須条件となる。右の図で言えば、A地点は昼間なので空が明るくて見えず、C地点はISSが地球の影に入って陽が当たっていないので見えない。B地点のように地表は暗くて、上空を通過中のISSにはまだ陽が当たっているというタイミングをとらえて観察する必要がある。したがって、基本的には観察の機会は宵の口あるいは未明の時刻となる。



各地でISSを観察できる時刻の予報はいくつかのWebサイトで得ることができるが、ここでは「KIBO宇宙放送局・#きぼうを見よう」²と「Heavens Above」³を紹介しておく。前者はJAXAの支援を得てKIBO宇宙放送局が運営するISS可視情報サービスである。いずれも最新の軌道要素を元に随時予報を更新しており、観測地を指定すると直近の可視時刻、見える方位と高度を示してくれる。

大学の授業では「Heavens Above」³からの情報を抜粋して観測しやすいものを抽出し、
12月7日 木 16:59:27 10°北西→17:02:48 84°北東→17:06:07 10°南東
のように学生に示している（後の資料1、2参照）。

本年12月7日に実際に観察した写真を次ページの図に示す。まだ薄明の残る夕空で、見えている星はあまりないが、中央上にISSの明るい光点が写っている（矢印）。その左下の光点は木星（光度-3等級）であり、ISSの方が明るい。スマートフォンのカメラでも静止画や動画として撮影することができる明るさである。

ISSの見かけの速さは航空機のそれに近いので、航空機の通過が多い観測地では、次の点に注意して、航空機と見分ける必要がある。

- ・航空機は赤や緑の航空灯をつけているが、ISSは基本的に白色で色はない。

- ・ 航空機の多くは点滅する衝突防止灯をつけているが、ISSは点滅しない。
- ・ 航空機は途中で進路を曲げることがあるが、ISSは決して進路を曲げない。
- ・ 航空機は爆音が聞こえることがあるが、ISSから音が聞こえることはない。
- ・ ISSはおおむね予報通りに現れ、それ以外の時刻・方角には現れない。



なお、臨時あるいは計画的な軌道修正により、予報時刻に数分の差が生じることはある。

理科教材としてのISSの観察

ISSを運用する各宇宙機関も教育プログラムに力を入れていることは前述の通りであるが、ここでは肉眼での観察を前提として一般の理科授業の中でのISSの取り上げ方を考えよう。

まずISSの公転周期の話題である。ISSの軌道の地表高度は約400 kmである。地球の半径約6400 kmと合わせて、ISSの軌道速度（第1宇宙速度）約8 km/sを与えれば中学生でも容易に公転周期が約90分となることを求めることができる。高等学校の物理では、円運動の運動方程式と万有引力の法則から第1宇宙速度を求めることは、教科書でも取り上げる基本的な課題である。実際のISSを見上げれば400 km先での8 km/sの動きを実感できる。数km先を数百km/h程度の速さで進む航空機と見かけの動きが近いものになることも中学生以上なら計算で理解できる。ついでにISSのサイズが100 m程度であることも示して、そのスケールの違いを実感させるとよい。

ISSはタイミングが合えば一晩に2回観察できることもある。その時間間隔は上記の公転周期約90分の倍数となる。しかし、一周して戻ってきた時に同じコースを通過することはない。ISSの軌道は宇宙空間に対して同じ向きの平面を保つのに対して、その下にある地面は地球の自転によりずれていくからである。90分間の地球の自転角は約22.5°となる。地表に投影したISSの軌道はこの角度ずつ西へずれていく。このようすは、例えば前記「#きぼうを見よう」²のサイトの軌道図やアニメーションを示すと理解しやすいだろう。月や人工衛星の軌道面や地球の自転軸が宇宙空間に対して常に同じ方向を向いているという理解は基本的で重要である。それが角運動量保存則に由来することは、やがて大学の物理

で理解することになる。

地上で観察しているとISSは必ず西の空から現れる。この理由を考えさせるのも良い教材になる。人工衛星の速度は第1宇宙速度（約8 km/s）を超えなければならないが、打ち上げロケットの燃料節約のため、西から東に回る地球の自転の勢いを利用して東向きに打ち上げるのが普通である。このため地球を周回するISSは自転する地球の地面よりも速く東向きに移動していくことになる。したがって地上の観測者から見ると、ISSは常に西側から現れ、観測者の上空を通過して東側に消えていく。

ISSの軌道傾斜角（地球の赤道面に対してISSの軌道面がなす角）は 51.6° である。このためISSの軌道を世界地図に投影した曲線は、北緯 51.6° と南緯 51.6° の間でサインカーブ状となり、赤道とは 51.6° の角度で交わる。したがって日本上空を通過する際には北西→南東または南西→北東のようなコースをとることになる。このことは予報データからも読み取ることができ、実際に観察して確かめることもできる。宇宙から俯瞰した立場で見たISSの地球周回軌道と、地表から見上げるISSのコースが関連付けられることは、中学校で求められる宇宙の空間把握の重要なポイントである。

前述のように地球の自転および公転運動の影響で、地表に投影したISSの経路は次第にずれていく。このため同じ観測地点ではISSが見える時期と見えない時期が交互に訪れることになる。東京から夕方に見える可視期間を例にとると、現在の軌道要素では、奇数月の中旬に南西→北東コースが見え、その約2週間後の偶数月の月上旬に北西→南東コースが見える、というサイクルを2箇月ごとに繰り返す。高等学校レベルの探究課題としてその理由を考えさせるのもよいだろう。なお、軌道要素は運用の都合で変更になることがある。

以上の他、SNSやZoomで別の場所にいる観測者（200～500 km程度離れているとちょうどよい）を結んでの同時観測を行えば、ISSが日本上空を移動していく様子が時間のずれとして実感できる。第一宇宙速度が、例えば大阪～東京間を約1分で通過する速さであることを体験することができる。さらに仰角や方位の同時測定ができれば、三角測量法による軌道高度や距離の算出も可能である。

逗子市立久木中学校の実践例

コロナ禍の中で未だ不自由な生活が続いていた2021年1月20日（水）、神奈川県逗子市立久木中学校の自然科学部+有志の生徒たち12名がISSの上空通過に合わせて、アマチュア無線で直接交信を試みるイベントがあった。「ARISS(Amateur Radio on the International Space Station)スクールコンタクト」というこのイベントは、NASAの教育プログラムの一環としてアマチュア無線の国際組織が運営している⁴。国内でもこれまでに約100件の交信例があるという。久木中の場合、卒業生も所属する地元の「逗子・葉山アマチュア無線クラブ」（石井康生会長）が提案・支援して実現にこぎ着けた。

同校理科担当で顧問の黒柳めぐみ総括教諭から事前に情報を得ていたので、筆者も当日

藤沢市の自宅屋上にノートPCを運び、久木中からのYouTube生中継を見ながら、よく晴れた南西の空に注目して待った。ISSが目視できる高度に達すると無線がつながった。久木中の屋上に設置したアンテナとISSが直接電波で結ばれたのである。ISSが強い輝きを放ちながら頭上を通過していく間、久木中の生徒たちは矢継ぎ早にシャノン・ウォーカー宇宙飛行士に英語で質問をしていた。そしてISSが北東の空に去ろうとするそのとき、「久木中学校がんばれー」という日本語で、予定にはない野口聡一宇宙飛行士の声が飛び込んできた。最高のサプライズプレゼントだった。

本物のISSを肉眼で見上げながら、生徒達の交信の様子をリアルタイムで共有する。筆者も初めての体験だった。生徒たちはこの日に備えて、ISSについての学習や英会話の練習に精を出してきたという。宇宙との直接交信は文字通りの総合的な学習になっただろうし、何よりも強烈な印象を生徒たちの心の中に残したに違いない。

当日の生中継動画はまだYouTubeに残っていて視聴できる⁵。当時の新聞各紙の記事もWeb上で参照できる^{6,7,8}。さらに、JAXAのサイト⁹や野口聡一宇宙飛行士のtwitter（現X）¹⁰にも記事がある。また、この取り組みの経緯は「逗子・葉山アマチュア無線クラブ」によって単行本¹¹にまとめられていて、詳細を知ることができる。

教職課程での指導

本学の教職課程の講義では、中高理科の免許状取得を目指す1年次生対象の「教育課程論」の中で、新しい時代の教材の一例としてISSの観察を紹介している。一度観察を体験して「こういう風に見えるものだ」という感覚をつかんでおけば、中学や高校の理科のいろいろな場面で話題にすることができると考えている。

教材として後に掲載した資料1や資料2を配布し、1週間～数日前に予報を示して、観察できたらその場からメールで報告するように指示している。予報は「Heavens Above」³のサイトから、最大高度が30°以上になるものを抽出して示す。この条件を満たしていれば、誰が見てもそれとわかる明るさになり観察もしやすい。

当日空に雲がかかっていれば観察できないが、後期4箇月の講義期間中には十数回のチャンスがあるから、そのどれか一回を捉えて報告すればよいことにしてある。報告メールには、観察した日時・場所・どの方角にどのように見えたか（明るさ、色、見かけの速さなど）を言葉で記載することになっている。これらの記事があれば、妥当な観察であったかどうかは判定できる。中には写真や動画を添えてくれる学生もいる。手持ちのスマートフォンでも簡単に撮影できるのである。

これまで述べてきたように、ISSの観察は予報を入手すれば比較的簡単で、市街地の明るい夜空でも、家の窓からでも、誰にでも観察可能である。あとは本人に、時刻を定めてそのために空を見上げる意思があったかどうかにかかっている。知識や技術の有無に左右されず、いわゆる「関心・意欲」や「主体的に学びに向かう態度」を測る良い指標となる

と考えている。

国際宇宙ステーションの将来展望

2022年2月以降、ロシアによるウクライナ侵攻に伴い、米欧とロシアの政治的対立が鮮明になっているが、ISSにおいては双方の協力関係は維持されていて、宇宙飛行士を往復させる宇宙船も米露の相互乗り入れが一応続いている。ロシアは2025年以降に独自の宇宙ステーションを打ち上げ、ISSから撤退する方針を示しているが、少なくとも2028年までは現状が維持される見込みである。

ISSそのものも宇宙での建設開始から25年を経過して、一部施設には老朽化も懸念されており、2030年までの維持運用は決まっているが、その後の対応は明確にされていない。わが国も2030年まではプロジェクトに参加することを決めているが、その後は未定である。

一方、中国は独自の宇宙ステーション計画「天宮計画」を立ち上げ、2021年から運用を開始している。こちらは「中国宇宙ステーションChinese Space Station(CSS)」と呼ばれ、最大6名の宇宙飛行士が滞在できる宇宙施設となっている。CSSもISSと同様に地上から肉眼で観察することができ、最大光度は -2 等級ほどになる。ISSよりは一回り小規模であるが、仮にISSが退役すると、将来はCSSを理科教材として取り上げるようになるかもしれない。

まとめにかえて

以上紹介してきたように、ISSは誰でも簡単に観察できる天体として、理科教材として取り上げる価値がある。人工天体とは言うものの、都市部でも観察可能で、比較的頻繁に観察できることは、むしろ天然の天体よりも教材として優れている点でもある。観察には特別な道具を必要とせず、生徒は自分の目で見た体験を元に考察することができ、実感を伴った学習ができる。

ISSはもとより科学の粋を集めた宇宙建造物であり、最先端の科学・医学研究が行われている場であるが、そこに人間がいることを意識できる点が重要である。生徒は映像による疑似体験や直接交信を通じて宇宙環境を意識すると共に、宇宙飛行士の視点で地球を俯瞰することができ、天動説から地動説へのパラダイムシフトを達成しやすくなる。

ISSがその名の通り国際協力の場であることも重要である。日本もその中で重要な役割を果たしている。ISSが平和の象徴として今後も夜空に明るく輝き続けることを願ってやまない。

参考文献

- 1 宇宙教育教材・JAXA宇宙教育センター
<https://edu.jaxa.jp/materialDB/>（2023/10/31最終確認）
- 2 KIBO宇宙放送局・#きぼうを見よう
<https://lookup.kibo.space/>（2023/10/31最終確認）
- 3 Heavens Above <https://www.heavens-above.com/>（2023/10/31最終確認）
- 4 ARISSスクールコンタクト <http://www.ariss.jp/>（2023/10/31最終確認）
- 5 逗子・葉山アマチュア無線クラブ「逗子市立久木中学校 ARISSスクールコンタクト
ライブ配信」（2021/01/20）
https://www.youtube.com/watch?v=Bnp__wl2rVQ（2023/10/31最終確認）
- 6 朝日新聞「逗子市立久木中の12人、国際宇宙ステーションと交信」朝日新聞デジタル
2021年1月23日
<https://www.asahi.com/articles/ASP1Q72GGP1PULOB003.html>（2023/10/31最終確認）
- 7 神奈川新聞「逗子から宇宙へコール 久木中生徒がISSと無線交信」カナロコ2021
年1月22日
<https://www.kanaloco.jp/news/life/article-374226.html>（2023/10/31最終確認）
- 8 タウンニュース「ISSとの交信『大成功』久木中生が宇宙飛行士に質問」タウンニュー
ス逗子・葉山版2021年2月5日
<https://www.townnews.co.jp/0503/2021/02/05/561074.html>（2023/10/31最終確認）
- 9 JAXA「野口宇宙飛行士ウィークリーレポート Vol.8（1/15～1/21）」
<https://astro-mission.jaxa.jp/noguchi/report/210125-072597.html>（2023/10/31最終確認）
- 10 野口総一「逗子 市立久木中学校と #ISS をつないでアマチュア無線交信、無事成功！」
twitter（現X）
https://twitter.com/Astro_Soichi/status/1351816435144638465（2023/10/31最終確認）
- 11 逗子・葉山アマチュア無線クラブ（2021）「宇宙飛行士と交信せよ 逗子市立久木中学
校ARISSスクールコンタクト」Next Publishing Authors Press

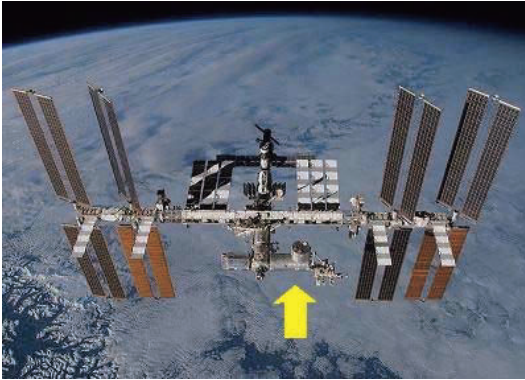
資料 1

20230926-30 講義資料

国際宇宙ステーション (ISS) を見よう

国際宇宙ステーションとは

国際宇宙ステーション (ISS) は、アメリカ、ロシア、日本、カナダ、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)が協力して建設した巨大な有人の人工衛星です。地上約 400km の宇宙空間で地球や宇宙の観測や、無重力や真空という宇宙環境を利用したさまざまな実験・研究を行うことを目的とし、1999 年に組み立てが開始され、2011 年 7 月に完成しました。



▲ 図 1 (JAXAのWebページより)

2008 年 6 月には星出彰彦宇宙飛行士の活躍により日本の宇宙実験棟「きぼう」の船内実験室 (図 1 矢印) がとりつけられました。

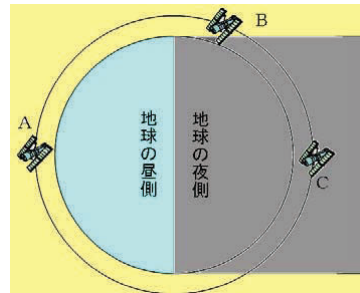


図 2▶

国際宇宙ステーションはいつ見える？

ISS は実は一日に何回も日本の上空を通過していますが、400km という遠さなので点のようにしか見えず、昼間は気づきません。

図 2 で左側から太陽の光が当たっているとき、A の位置では空が明るくて見えず、C の位置では光が当たらないので見えませんが、B の位置なら地上では空が暗く、上空の ISS にはまだ光が当たっているため、ISS が夜空をバックに明るく輝いて見えます。このような条件は日の入り後と、日の出前のわずかな時間に限られます。

国際宇宙ステーションはどのように見える？

ISS は星のように明るく輝く点に見えます。明るさは全天一明るく 4 等ほどにもなります。最も明るいときの金星と同じぐらいの明るさです。飛行機と同じぐらいの速さで夜空を横切って動いていきますが、飛行機のように光が点滅したり、音が聞こえたりすることはありません。音もなくまっすぐ通過していきます。

課題：ISS 目視レポートをメールで送る

下の予報のように ISS の上空通過が見られます。これを観察してメールで報告してください。

予報： 10月2日月 19:24:42 10° 北西→19:26:40 31° 西北西→19:26:40 31° 西北西

10月3日火 18:36:24 10° 北西→18:39:44 73° 北東→18:40:41 43° 東南東

10月4日水 17:48:12 10° 北西→17:51:22 39° 北東→17:54:32 10° 東南東

10月5日木 18:36:41 10° 西北西→18:39:40 31° 南西→18:42:03 14° 南

10月6日金 17:48:03 10° 北西→17:51:22 61° 南西→17:54:39 10° 南東

Web に詳しい予報があります。<https://lookup.kibo.space/>

メール宛先：ayamamot@st.kitasato-u.ac.jp ↓ ↓ 講座名を間違わないように

件名 (タイトル) の書き方：20231003 教育課程論 AB12345

↑ ↑ 日付・学籍番号は半角で ↑ ↑

メール本文：何時何分に、どこで見たか、どのように見えたか (色や明るさなど) を簡潔に書く。

※すべての通過を観察する必要はありません。都合のよい時間帯を選んで、講義期間中に一度は目視を成功させましょう。報告は最低 1 回で結構ですが、2 回目以降の報告も歓迎します。

資料2

2023/11/25,28 講義資料

古川さんが乗っている国際宇宙ステーション (ISS) を見よう

課題：ISS目視レポートをメールで送る

古川宇宙飛行士が搭乗中のISSの上空通過が、下の予報のように見られます。これを観察して報告してください。報告はメールで下記のように行います。曇っていて見えない時は中止します。

予報：12月4日月 17:48:34 10° 北西→17:51:50 48° 北東→17:52:14 45° 東北東
12月6日水 17:48:08 10° 西北西→17:51:23 47° 南西→17:54:36 10° 南南東
12月7日木 16:59:27 10° 北西→17:02:48 84° 北東→17:06:07 10° 南東



「#きぼうを見よう」に詳しい予報があります。<https://lookup.kibo.space/>

↑↑

メール宛先：avamamot@st.kitasato-u.ac.jp

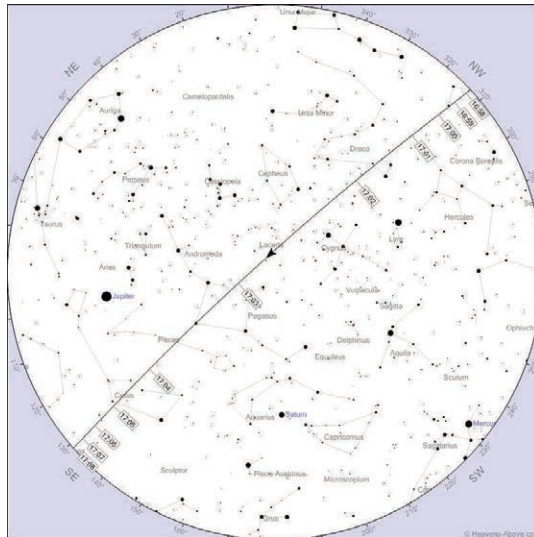
観測した日付↓↓ ↓↓講座名を間違わないように

件名(タイトル)の書き方：20231207 教育課程論 AB12345

↑↑日付・学籍番号は半角で↑↑

メール本文：何時何分に、どこで観察し、どのように見えたか(色や明るさなど)を簡潔に書く。

※すべての通過を観察する必要はありません。都合のよい時間帯を選んで、一度は目視を成功させましょう。過去に目視成功の報告をした人は、今回は必須ではありませんが、2度目以降の報告も歓迎します。



12月7日木 16:59の予報経路(東京)

国際宇宙ステーションはどのように見える？

ISSは星のように明るく輝く点に見えます。最大の明るさは西空の金星と同程度の-4等ほどにもなり、夜空で一番明るく輝きます。飛行機と同じぐらいの速さで夜空を横切って動いていきますが、飛行機の標識灯のように赤や緑の明瞭な色はなく、点滅もしません。また、航路を変えることなくまっすぐ通過していき、爆音が聞こえることもありません。予報時刻が若干ずれることもありますので、数分前から待機しましょう。