

## かぐやデータを活用した教材アクティビティ 一月長期滞在ミッション候補地を探そうー



宇宙航空研究開発機構（JAXA）の月周回衛星「かぐや」は、2007年9月14日に種子島からH-IIA ロケットで打上げられ、月を回る軌道に投入されてから約1年半の間、月の表面や周囲の観測をしました。

その「かぐや」が取得した貴重なデータを用いて作成した教材を、学校の授業などに使ってみませんか？

### <対象>

理科指導における知識と経験を有する教師

例) JST の CST (コアサイエンスティーチャー)

### <目的>

このアクティビティは、月環境に関する様々な情報や既存知識、観測データを元に、ディスカッションとグループワークを行い、論理的な思考力の伸長を図るものです。課題解決型の学習（アクティブラーニング）教材としてもご利用できます。

## Activity Guideline

このアクティビティについて

【概要】

月環境に関する様々な情報をまとめ、そこから滞在地として適した候補地を提案します。また、JAXA による研究成果を研究者の解説による動画で視聴し、より新しい知識に基づいた議論を展開します。

【目的】

既存知識や観測データを元にディスカッションとグループワークを行うことで、以下を目的とします。

- ・論理的な思考力の伸長
- ・知識を整理する段階で、学びあいをおして議論を進め、個々の知識活用力 / 深化力の伸長
- ・協働作業による視点の多様化
- ・提案に対する課題（デメリット・不確実性）を見抜く洞察力を伸長
- ・全く別の領域だと思われていたことにもヒントと関連性があることに気づく新たな発見

所要時間

1 ユニット (45 ~ 60 分)  
~ 2 ユニット

必要な環境

拡大投影が可能な普通教室

必要なもの

- 3D ムーンナビおよび必要周辺機器類 または 月面図
- シンキングボード (A3 程度のホワイトボード) \*注
- シンキングボードに応じた文具 (必要であれば付箋紙なども)
- シンキングボードを拡大投影できる ICT 機器 (iPad などのタブレット端末から撮影して画像取り込み後出力または直接出力、その他ビデオカメラからのライン出力など)

<MEMO>

・このアクティビティでは、グループディスカッションの成果を一度全体で見渡し、課題探しを行います。課題認識からよりよいアイデアを導くために、先端科学とは真逆の人類史の始まりをひもときます。そこから新たな新しいアイデアが実現可能かどうかを、研究者による解説で理解し、その後得られた知識を元にさらなる思考活動を行います。最終的な思考活動は、対象とする年齢や状況に応じた課題設定が可能です。

<MEMO>

・ICT 機器は、必要な箇所が拡大でき、発表内容を焦点化させやすいように工夫するとよいでしょう。

<MEMO>

・SESSION 1 :

これまでの活動経歴によってさまざまに取り組むことができます。

例えば、上記 Preliminary Activity を経験済みの場合は、短時間でのディスカッションとなります。その他以下の形式を想定しています。

- 個人ワークシート + 調べ学習
- グループシンキングボード (ワークシート付き) + ディスカッション
- グループシンキングボード (ワークシートなし) + フリーディスカッション

また、SESSION1 に関連した動画による家庭学習で、

- 反転学習スタイルでのディスカッションも可能です。

・SESSION 2 :

全体のまとめの課題では、プラント資材・基地建设に必要な重機などについて着目を促します。

・SESSION 3 :

このアクティビティでは、ものを持たない先人たちの住環境について考えます。SESSION 2 では、洞窟という考えがなかなかでないかもしれません。このセッションで新しい視点を提供するというスタンスでよく、「メリット」についてすこしディスカッションまたはまとめを行います。

・SESSION 4 :

JAXA で月の地形についての資料・論文を調べてみます。ほんとうに月には洞窟があるのか？と前セッションによって知的好奇心の高まりを持って調べます。

・SESSION 5 :

このセッションはまとめでもありますが、次へのステップとなります。小学生なら個人で月基地の想像図の作成、中学生~高校生なら、グループディスカッションの上グループワークでの想像図を作成などが適しています。

特に年齢が上がるに従って、より快適な生活にするには何が必要かを投げかけるとよいでしょう。その上で、高校生~大学生~成人では、各所属機関を舞台とした避難所運営シミュレーションなど、「最低限」から起案して「快適さ」を考える日常に役立つ取り組みも効果的に行えます。

## Teaching Plan

要素	活動の属性	時間	セッションの概要
導入 活動の主題 まとめ	SESSION 1 		【月環境を調査せよ！】 □地球とくらべて、月面はどんな環境だろう？
	SESSION 2 	~25min	基地の候補地はどこだろう？ ・地図やムーンナビで候補地を探しに行こう ・グループの候補地を決めよう ・候補地を発表しよう（どこ / おすすめの理由） ・全体のまとめ：課題はなんだろう？
	SESSION 3 	5min	温故知新！原点回帰で新アイデア ・歴史をひもとう ・洞窟のいいところは？
	SESSION 4 	10min	かぐやミッションで分かった新事実 ・先端探査が解き明かしたこと
	SESSION 5 		想像してみよう ・月の洞窟での生活を想像してみよう

# Detailed plan

## Session 1：月環境を調査せよ！

はじめに：

月長期滞在ミッションで最初にしなければならないことはなんでしょうか？このセッションでは、最初にすべきことはなにか？から始めます。

<準備>

- ディスカッションボードと必要な文具
- 必要に応じてワークシートを準備します

<展開>

【導入】月長期滞在ミッションを成功させるための最初の仕事とは？

- 月の環境についてデータをまとめておくこと
- 月までの移動についてもデータをまとめておくこと

【グループディスカッション】月環境に関する情報を集めよう

- これまでに preAct について取り組んでいれば、それらの復習になりますが、学習者間の学びあいを促し、できるだけ多くの項目についての気づきを目指します。

【まとめ】長期滞在を前提以降のディスカッションを行うのに必要な項目についてまとめます。

- 月の表面の温度
- 月の1日
- 月の地形
- 月面の様子
- その他、地球から月までの距離など

## Session2：基地の候補地はどこだろう？

はじめに：

月環境に関する情報を収集したら、次に滞在するための基地の候補地を考えます。

<準備>

- ディスカッションボードと必要な文具
- 月面の地図またはかぐや3Dムーンナビ

<展開>

【導入】先のセッションで出た観点を活用して、基地の候補地をディスカッションすることを伝えます。

【ディスカッション】基地の候補地はどこだろう？

- 月面地図をみながらどのような場所に基地を作るのがよいかをディスカッションします。
- かぐや3Dムーンナビは必須ではありませんが、その場合は月面地図など臨場感のある資料を準備します。
- 候補地の選定理由、アピールポイントをまとめて、グループごとの発表に備えます。
- 学習者のディスカッションの様子をみながら、基地をどのように設営するかも考えるよう促します（ただし、必須ではありません）。

【まとめ】

- グループごとに候補地の発表を行います。
- 候補地の場所について、優劣は付けなくてよいでしょう。さまざまな考え方があり、それぞれにアピールする観点が学びます。

□このセッションは、月をテーマとしたグループワークの経験の有無によって実施時間が左右されます。すでに取り組んだことがある場合は、教室内で作業に使う時間の比重を軽くする事も有効です。同じ観点から、ワークシートは学習者の実情に合わせて準備してください。すでに月環境について学びを深めているなら、「長期滞在ミッションには何を知っておくべきか」という問いから、学習者自身が必要な項目を抽出することができるでしょう。

□月の赤道付近の観測では、昼間で約110℃、夜の場合約-170℃で、その差はとても大きくなります。これは、月面にはほとんど大気がないためです（ほとんど=地球の大気の10京分の1ほどの希薄さのため、真空といってよいでしょう）。大気は毛布のように温度を一定に保ってくれる役割もありますが、これがないために極端に暑く・寒くなるのです。

□月の一日は、地球のおよそ29日分です。地球の約15日にわたる昼と夜が交互にやってきます。長い昼と夜のため、さきほどの昼と夜の温度差が大きくなってしまいます。

□月には海と高地があり、起伏に富んでいます。しかし、月の地震（月震）は地球のように大きなものはほとんど発生しません。

□地球との平均距離は地球中心から月の中心までの平均距離は38万4403kmあり、月までの距離はおよそ38万kmとしてよいでしょう。

□学習者が、かぐや3Dムーンナビの操作に慣れていないなど状況がそろっていれば、ぜひこの場面で活用してください。また、大人対象の研修などでは、3Dムーンナビを始めから用いてもディスカッションが進むでしょう。判断基準としては、かぐや3Dムーンナビをツールとして活用し、手段が目的化しない状況となります。

□参考までに、アポロ11号（初めての人類月面探査）の着陸地点決定には、2年間を費やされ安全・確実に着陸できる場所を念入りに選定しています。その基準は、できるだけ広くなめらかな地形であること（近くに複雑な地形があると月着陸船の着陸レーダーが高度を認識する原因となる）、探査機の推進材の消費量が最も少ないこと、着陸が出来ない場合など非常事態には月軌道へ自由に戻れることなどさまざまな条件が考慮されました。しかし、事前の綿密な計画による着陸地点も非常に険しい地形だったことから、実際には宇宙飛行士が着陸船を操作し、8kmほど離れた地点に着陸しました。計画段階で着陸候補地を選ぶのに使われたデータの解像度が十分ではなかったことも一因です。

## Detailed plan

### Session3：温故知新！原点回帰で新アイデア

はじめに：

このセッションでは、Session2 までの取り組みに「壁」をつくり、それを突破する発想力を求めています。

<準備>

- ・ディスカッションボードと必要な文具

<展開>

【導入】月基地建設の盲点とは

- ・月基地建設に関わる候補地を前セッションで検討しましたが、基地建設について資材面の盲点を示します。
- ・資材をどのように調達するのかについて全体に問いかけます。
- ・資材に関する考察がすでに考慮されていたグループがあれば、そのグループの案を好例として用い、例えば建設までには巨額の投資と時間がかかること(地球から資材を複数回に分けて運ぶ、など)、月面作業の技術革新が必要なこと(月の岩石を利用してレンガをつくる、など)をまとめます。
- ・基地建設について資材面で一挙に解決できる方法があることを示し、これについて問いかけます。
- ・学習者の様子を見ながら、「初期の人類の生活の工夫とは？」をヒントとして示します。

【グループディスカッション】新しいアイデアを探そう

- ・もちろん、先のセッションの段階で洞窟に関するアイデアが出ていれば、それを活用してグループディスカッションを行います。
- ・資材面だけでなく、他にもあるメリットを探します。

【まとめ】生きるための工夫と知恵

- ・モノをもたない先人たちが、経験知から選んだ場所はやはり科学的にも住み心地の良い環境であること、また、月面滞在という科学技術の先端のような場面でも、その経験知が活かされることなどをまとめます。
- ・ほんとうに月の洞窟はあるのだろうか？かぐやの観測なら見つけているのかもしれない、ほんとうのところを確認してみよう、と次のセッションにつなげます。

### Session4：かぐやミッションでわかった新事実

はじめに：

これまでの学習者のディスカッションの経緯は、研究者たちの手立てと同じ経路です。この分野の研究者による研究成果と新たな事実について、論文や資料を調べて読み、ディスカッションします。

<準備>

- ・論文、資料

<展開>

【導入】月基地の建設について、宇宙研究の最前線では、どう考えられているのか？ JAXA の研究者の意見を調べてみようと呼びます。

【資料】月面で発見された縦穴や月の洞窟に関する資料

- ・ ISAS ニュース：SELENE (かぐや) 搭載カメラによる月面の縦穴発見 ～月面下の溶岩チューブ (溶岩トンネル) 存在の可能性～ その裏話  
<http://www.isas.ac.jp/j/mailmaga/backnumber/2009/back267.shtml>
- ・ 日本惑星科学会誌：第 5 回月と火星の縦穴・地下空洞探査研究会開催報告  
<https://www.wakusei.jp/book/pp/2015/2015-2/2015-2-130.pdf>
- ・ Exploration of Lunar Holes, Possible Skylights of Underlying Lava Tubes, by Smart Lander for Investigating Moon (SLIM)  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/tastj/10/ists28/10\\_Pk\\_7/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tastj/10/ists28/10_Pk_7/_article)

【まとめ】

- ・ かぐやミッションが明らかにした事実：洞窟は発見できなかったが、それに変わる縦穴の発見についてまとめます。
- ・ これまでの成果をまとめ、次のセッションにつなげます。

□月面では、気温差や強力な宇宙線から生命を守る必要があります。よって基地建設は不可欠となります。またその素材についても、地上では軽くて丈夫な一般的なプラスチック素材、木材なども、過酷な環境ではすぐに老朽化してしまいます。金属など、宇宙線に耐久性のある素材を使う必要があります。

□地球上における原始の人々の洞窟の活用は、家そのものを自然の造形に求めたといえます。雨や風がしのげること、気温の変化が少なく、夏や冬などに過ごしやすいことなどの利点がありました。

□これまでの議論の積み重ねや知識の活用をもって、実際の研究の最前線に関する調査の素地作りとしています。

□資料では、洞窟という生活空間のメリットについての解説もあり、これまでのディスカッションを振り返ることができます。

□論文や資料は、こちらからも調べることが可能です。

JAXA/ISAS News  
<http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/>

月周回衛星「かぐや (SELENE)」  
[http://www.kaguya.jaxa.jp/index\\_j.htm](http://www.kaguya.jaxa.jp/index_j.htm)

JAXA HP  
<http://www.jaxa.jp/>

Google Scholar  
<https://scholar.google.co.jp/>

## Detailed plan

### Session5：想像してみよう

はじめに：

このセッションが、このテーマのアクティビティのまとめにあたります。月長期滞在ミッションについて得た知識をオープンエンドに活用しますが、ここでは学習者の年齢に応じたまとめ方を提案します。

<準備>

- 必要に応じてディスカッションボードなど

<展開>

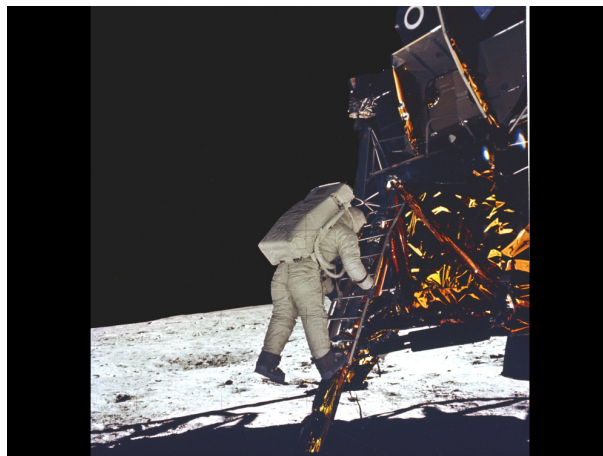
【個人活動・グループディスカッションなどの取り組み例】

- 小学生なら・・・個人で「月のおうち」「月基地の想像図をつくってみよう」
- 中学生～高校生なら・・・グループディスカッションの上グループワークで「月面滞在・月面基地想像図の作成」
- 学習者の年齢が上がるに従って、より快適な生活にするには何が必要か？を投げかけるとよいでしょう。
- その上で、高校生～大学生～成人では・・・「月面滞在・月面基地想像図の作成」を経た上で、各所属機関を舞台とした避難所運営シュミレーションなどを行うとよいでしょう。月長期滞在に関するディスカッションは、非日常場面での創造活動ですが、「生きるために必要な最低限の条件」から起案して「滞在するための快適さ」を考えるという同じステップがあります。このように、日常へと創造・想像場面を移行させ、それらの取り組みを効果的に行えます。

## 使用データ（静止画・動画）・問いの例

Q1：どこか不思議なことは・・・？

- ここはどこだろう
- いまは昼？それとも夜？
- 太陽はどの方向にあるのだろうか？

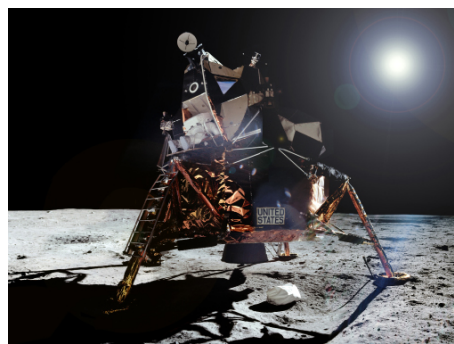


A1：

右上の写真は、1969年7月20日（日本時間7月21日）のアポロ11号による月面着陸の写真です。歴史上初めて人類を月面に到達させた宇宙飛行でもあり、That's one small step for (a) man, one giant leap for mankind.（これは一人の人間にとっては小さな一歩だが、人類にとっては偉大な飛躍である）という、アームストロング船長の言葉は有名です。

単に写真を見ると、まるでフィクションのように見えますが、じっくりと観察すると地球との環境の違いも見えてきます。

探査機の足下にはその影が色濃く伸びています。宇宙飛行士の少し向こうの小さなくぼみにも影ができています。太陽はこの写真の右手やや奥に位置しています。アポロ11号が着陸したの地球から見た表側の静かの海近くです。下の写真は、アームストロング船長の後にオルドリン飛行士が着陸船から出てくる様子です。



Q2：ここは月のどこだろう？

かぐやが撮影した画像です。地球は北が上になっていて、アラビア半島あたりがみえています。地球の形は、まるで満月の数日前のように見えます。

- 太陽はどこにあるのでしょうか。
  - 撮影地点は月のどこでしょう。
- 月の地平線が見えることに着目してください。
- 地球から見ると月はどのように見えるのでしょうか。



A2：「かぐや」撮影のハイビジョンカメラの映像から切り出した静止画です。

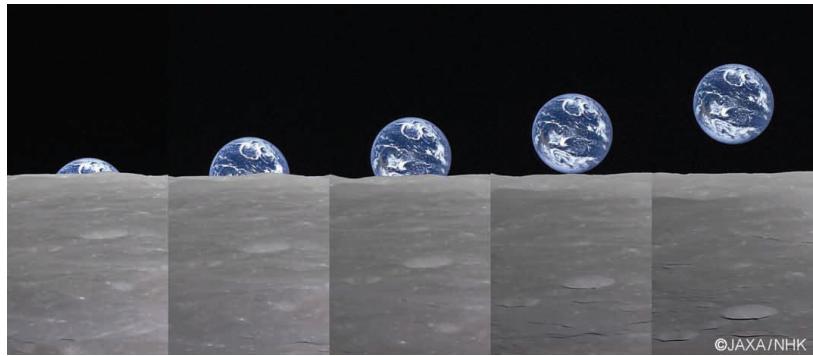
2007年11月7日（日本時間）に撮影された映像で、月の北極付近を飛行している際に撮影されました。太陽は後方のやや右側にあります。月面のクレーにおちた影からも太陽の方角がよくわかります。影が長く伸びコントラストが高いことに着目すると、この地点から振り返ると太陽は月の地平線近くに見えるでしょう。

一方地球は、月で例えるなら満月の少し前のように見えます。逆に地球からみると、月の向こう側に太陽があるのですから、月は新月近くのはずです。この写真でみている地球は、太陽があたる昼間だということもわかります。北極を上として、地球からこの月を眺めると、左側がわずかに太陽に照らされて見える新月直前の月となります。月はこのあと、画面の右方向に、地球の周りを公転していきます。



Q3:月の地平線から出てくる「地球の出」です。時間は左側から右側へと移り変わります。かぐやによる画像ですが、どうやって撮影したのでしょうか。

- 太陽はどこにあるでしょう。
- かぐやは止まった状態で撮影したのでしょうか？それとも動いていたのでしょうか？
- かぐやがいる場所は、月の表側でしょうか？裏側でしょうか？



A3:

太陽はこの写真に向かった状態で後ろ側にあります。ですから、地球が明るく見えます。地球のお昼側を見ていることになり、この写真では、実は南半球が上になっています。

月面のクレーターに着目してください。同じクレーターにだんだんと近づいている様子がわかります。右端の写真がわかりやすいのですが、クレーターの内部には濃い影がみえ、この写真の月面には、すでに太陽が当たっていることがわかります。月の昼側から地球の昼側が見えるのは、月面の「裏側」上空を飛行しているときのみです。実際には、かぐやは月の裏側を南極に向かって飛行して撮影された写真です。



#### ハイビジョンカメラによる「地球の出」と「地球の入り」の撮影

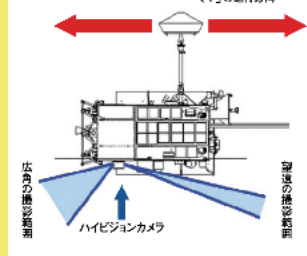
月はいつも同じ面を地球に向けているため、月面に立つと地球は常に同じ位置に見えています。「地球の出」や「地球の入り」が撮影できるのは、「かぐや」が月を周回しているからです。「かぐや」のハイビジョンカメラの取付け位置は下の図の通りで、「広角」および「望遠」での撮影が可能です。2007年10月、「かぐや」が月周回軌道に入ったときには、広角カメラが「かぐや」の進行方向を向いていました。その後、北極付近での「地球の出」は広角で、南極付近での「地球の入り」は望遠で撮影されました。その後、2008年4月3日に「ヨーアラウンド」という姿勢の変更が行われ、望遠カメラが進行方向を向くようになりました。そのため、2008年4月5日の南極付近での「満地球の出」は望遠で撮影されました。



2007年11月4日に「地球の出」を撮影したときの「かぐや」と地球、月の位置関係

#### ハイビジョンカメラの取付け位置

2007年10月に月周回軌道に入ったときの「かぐや」の進行方向  
2008年4月3日に「ヨーアラウンド」を行った後の「かぐや」の進行方向



2007年12月4日に「地球の入り」を撮影したときの「かぐや」と地球、月の位置関係

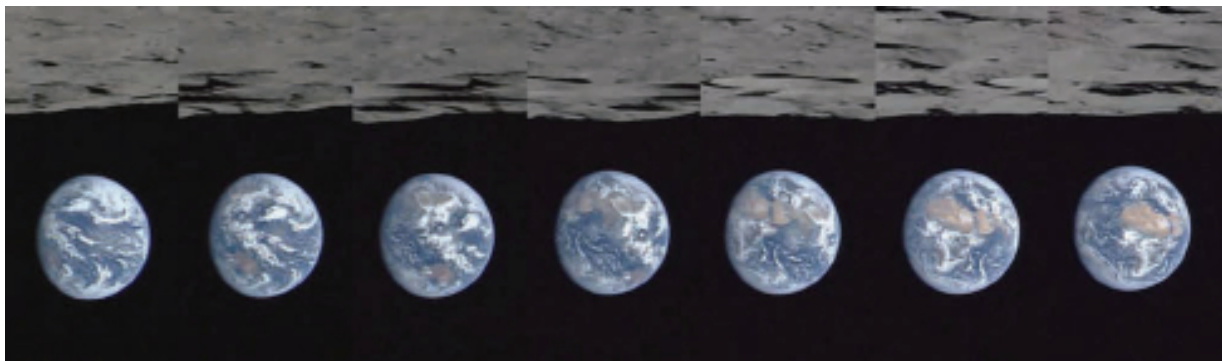


2008年4月5日に「満地球の出」を撮影したときの「かぐや」と地球、月の位置関係

Q4:動いているのは?

時間は左から右へと移り変わります。

- 太陽はどこにあるのでしょうか。
- いったい何がどう変わっていく写真なのでしょうか。



A4:

かぐやが2008年5月2日から3日にかけて撮影した自転する地球の様子です。よく見てみると地球は北が上で、左端の画像には太平洋とオーストラリア大陸が見えます。太陽は写真に向かって私たちの背面やや右側にあります。かぐやは、月の南極付近の上空にいて、月面のクレーターの様子からは、位置をあまり変えずに地球の写真を繰り返し撮っていたこともわかります。

【かぐやデータを活用した教材アクティビティ—月長期滞在ミッション候補地を探そう—】

発行：2016年7月 初版発行

製作：宇宙航空研究開発機構（JAXA）、高須佳奈<島根大学>

問合せ：宇宙教育センター <https://edu.jaxa.jp/contact/>