

英語から広がる創造的な学び

－生徒の好奇心を広げる教科横断の取り組み－

乾 まどか¹・井村 有里¹・深澤 義成¹・古川 裕介¹・山口 耕司¹・平川 尚毅²

¹大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎 ²大阪教育大学

抄録：本稿は、1つの共通テーマについて教科横断学習を行った実践報告である。対象学年は高校1年生であり、5科目（英語、物理、数学、地学、音楽）の必修授業で実施したものである。テーマ設定に関しては、中学カリキュラムで生徒が学んできたものをさらに深めるような素材を検討し、本校の特色を生かした授業実践である。この実践を通して教科横断の取り組みを生徒がどのように感じ、どのような成長が見られるのかを明らかにする。

キーワード：CLIL、教科横断、カリキュラムマネジメント、協同学習、宇宙

1. はじめに

大阪教育大学附属高等学校3校舎には、それぞれ与えられた特色ある。天王寺校舎は、かつてより、中学校で自由研究、高等学校でSSH課題研究を行ってきた。中学校の自由研究やその発表が生徒たちの学びの基礎を作り、それぞれの学びや関心を深めている。そのため、天王寺校舎の特色として、STEAM教育を柱とする指針が中学、高等学校に大学より与えられた。それを受けて、高等学校研究部は、STEAM教育、教科横断を研究部の5年間計画とし、2021年4月にスタートした。英語科では、以前より英語教育でよく活用されているCLIL（Content and Language Integrated Learning）の手法を使うことを決めた。つまり、共通の内容を複数教科で学習する試みである。

I. 背景

1-1

このCLILというアプローチは、日本へは2000年頃、本場ヨーロッパから導入され、CLILを教育のプラットフォームに見立てそこに教科横断型のコンピテンシー育成が加わり、日本CLIL（J-CLIL）として活用されている。実践校として、上智大学が有名である。この度、ご縁があり上智大学英文学科池田真先生に指導助言をいただき、実践研究を行った。今回の研究会では英語科を中心として、教科横断授業を行うこととし、英語、数学、物理、地学、音楽の順で授業を行った。この順にも意味があり、英語での導入を数学で現実のものとして捉えて学び、その後、物理でこの小惑星の軌道のStrangeな部分を残しつつ、地学では英語で書かれた研究者たちの見立てを共有し、そして、最後に音楽で一人ひとりの感性を導き出すというものである。



図1 CLILの4Cと言語の役割

図1に示すように、CLILには4つのCというものがある。4つのCとは、Communication「言語力を中心」に、Content「各教科の単元内容や教科横断型トピックを設定」し、Culture「協同学習や国際意識」、Cognition「暗記・理解・応用」と言いた低次思考力から「分析・評価・創造」といった高次思考力へと学習者を導くアプローチである。この4つのCを意識的に教材、教案、授業、評価に反映し、実現するという点である。今回の実践は、英語を用い、小惑星Oumuamuaをテーマとして選んだ。

1-2. 教科横断の仲間探し

本校のカリキュラムを眺めた。本校は高校2年生まで選択科目がなく必修である。また理科は物化生地のすべてを学ぶ。それらの特色を活かし立案を始めた。英語表現Iの授業を核として、他教科と連携を考える際に、まず地学基礎との連携をスタートさせた。それは一緒に何か始めましょう、という簡単な会話で始

まった。そこで一番に始めたのは、対象生徒の思考の過程である。1年生の授業を担当している教員への声かけを行った。生徒目線で今の学びが自然と教科横断の授業へと進行していくことを優先した。テーマを「宇宙に関わること」と大雑把に決定し、内容面に着目した。最近のニュースで小惑星 Oumuamua の話題があることを朝日出版社 CNNe の教材を通して、知った。その小惑星の軌道について数学が加わり、宇宙の音楽ということで音楽が加わった。また、物理も可能であることが担当者間で上り、物理教員へこのプロジェクトの話をするのと快諾だった。このような流れで4教科5科目の教員が同じ教材を共有し、CLIL のアプローチを使い授業実践することとなった。

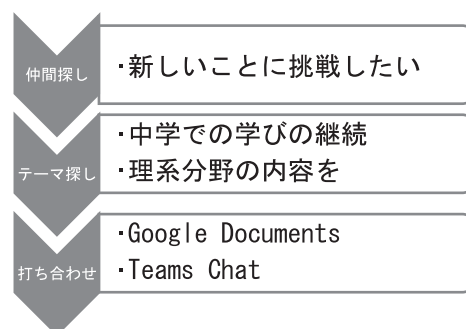


図2 プロジェクトチーム結成まで

1-3. テーマの設定

生徒の行事で宇宙に関わる行事がある。それは、夏に行われる SSH 選択生徒対象「つくば研修」、「西はりま研修」であり、また高校2年生の研修旅行での選択制行き先の1つである「種子島」である。また、現在高校1年生までのカリキュラムを考えると中学理科では特徴的な学びの過程が設定されている。中学1年生地質、中学2年生気象、中学3年生で宇宙と学びが地面から空に向かっていくことがわかった。それを踏まえて、高校1年生では、中学での学びの継続性を考え、地学との連携を考えた中で宇宙の内容を海外のニュースから探した。また、生徒たちが家庭で普段から試聴していると



図3 行事について

話していた National Geographic から探してみた。そして、Cengage 出版 READING EXPLOREER FOUNDATION に至った。そのテキストにある UNIT 1. Mysterious Visitor Oumuamua をテーマとしようとした。

1-4. 教員間の連絡・調整

2018 年秋より大阪教育大学の実証実験と Google Classroom が生徒、教員に導入された。また、2020 年には大学より教員間の連絡ツールとして Microsoft Teams が使用できるようになった。そのため、教材の共有（音声を含む）は Google Drive のフォルダーで保管し、教員間の打ち合わせは Teams のチャットで行った。日々の忙しさの中で、対面での会議は難しいが、Teams チャットでのやり取りは、互いの空き時間を有効活用でき、またそこでの議論は全て記録され、残るものとなった。そのやり取りを通して、対面での議論の必要を感じるきっかけになることもあった。結果として、対面で打ち合わせを行ったのは数回であるが内容面ではかなり深い意見を交わす機会となった。それ以外は、互いの教科の指導を尊重し、「教えたい、重点を置きたいポイント」の共有で立案することができた。

1-5. 生徒観

本校では、SSH 選択の生徒だけでなく、理科教育が全生徒に徹底されており、校外でのコンテストや大会で賞を受賞する生徒は SSH 選択生徒だけとは限らない。理科に関しては、高校1年、2年の2年間に物化生地を全員が履修するカリキュラムになっている。文系・理系の区別がない。高校3年生になって初めて選択科目となる。そのような特徴的なカリキュラムの中で生徒たちの理科・数学への関心は高く、進んで学ぶ姿勢が見られる。

Ⅱ．授業実践の内容

1. 日時：令和 3 年 1 0 月 1 8 日（月）3 限目～7 限目
2. 対象クラス：I 年 A 組
3. 場所：I A 教室，物理講義室，地学教室，音楽室
4. 授業者：乾 まどか（英語），深澤 義成（数学），山口 耕司（物理），井村 有里（地学），古川 裕介（音楽）
5. 教材：READING EXPLORER FOUNDATIONS
UNIT 1 A Strange Visitor Oumuamua
6. 目標：4 教科 5 科目が同じテーマを扱い，生徒の学びを深める
7. 指導助言者：池田 真 教授（上智大学 文学部英文学科）

（1）英語科の取り組み

次期指導要領にある『外国語によるコミュニケーションにおける見方・考え方』とは，外国語によるコミュニケーションの中で，どのような視点で物事を捉え，どのような考え方で思考していくのかという，物事を捉える視点や考え方であり，「外国語で表現し伝え合うため，外国語やその背景にある文化を，社会や世界，他者との関わりに着目して捉え，コミュニケーションを行う目的や場面，状況等に応じて，情報を整理しながら考えなどを形成し，再構築すること」であると書かれている。社会と密接に関わり情報を自然なスピードで理解し，それに個々人が意見を持ち，発表する能力が必要とされる。そのため，英語授業の立案においては，実際のニュース映像と記事を活用した。その素材を生徒が現在までの知識をベースに，他者を尊重した対話的な学びの中で社会と世界との関わりを通じて情報や考えを伝え合う言語活動を立案した。

1. 指導計画

教科書 MAINSTREAM（以下，教科書と記載）を使用している。会話表現が多く，生徒の生活に身近な言語習得を目的とした表現が多く載っている教科書である。文法に関してもその会話で使用する文法に限られており，会話表現をするための教材として優れている。今回は教科書で今回の授業に必要な文法事項をほぼ学んだ後に教科横断授業の流れに入った。小惑星 Oumuamua の学習の前に，NASA が打ち上げた探査機 Perseverance についての CNN ニュースを視覚的教材として視聴した（図 4，5，6）。視覚的な補助があるため比較的内容理解がしやすかった。協同学習の手法 JIGSAW 法を用いて文章に書かれた内容理解を進めた（図 6）。この過程は生徒にとって宇宙に触れる内容を増やしただけではなく，難しいと思わせないための工夫でもある。また，使用言語の習得のために行った授業でもある。生徒たちの宇宙に関する興味関心を授業者が把握する上で役にたった。そのような助走をすることで，生徒たちに小惑星 Oumuamua の神秘性と生徒の心的動きを引きだすための経過になった。特に小惑星 Oumuamua を読み進めていく上で，ワクワクした気持ちを引き出すための位置付けとした。

表 1

ステップ	時間数	学習内容およびねらい	技能別				
			L	R	S	S	W
1	2	NASA Succeeds in Making Oxygen on Mars（図 4，5） CNN ニュースの動画を視聴し，火星探知機について知る ・生のニュースを耳にすることで，視覚的補助を得ながら，どれくらい内容を理解できているのかを Note-taking をすることを目指す。それをグループで共有しながら進める。	○	○	○		
2	2	1) To think about the Solar System and Planets 2) Make Sure the Name of the Planets in English ・英語で論文を読む際の語彙の習得を目指す。		○	○		
3	3	A Strange Visitor Oumuamua（本時） ・次の教科への導入的な位置付けとする			○	○	○

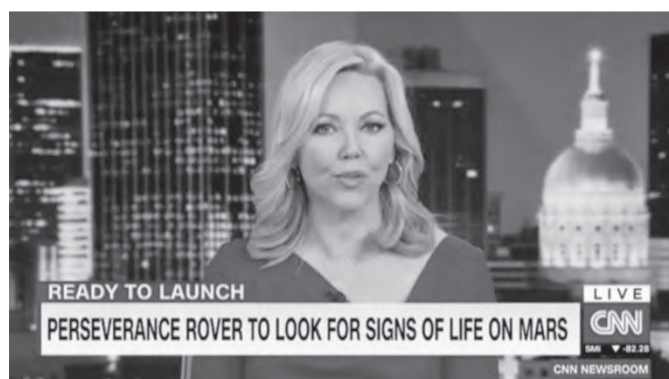


図 4 CNN ニュース



図 5 ニュースから情報を得る

A) This could prove cheaper and easier than transporting air tanks from Earth. “Oxygen isn’t just the stuff we breathe,” a NASA official says. “Rocket propellant depends on oxygen, and future explorers will depend on producing propellant on Mars to make the trip home.”	B) Well, call it a breath of fresh air. NASA has taken another leap forward in its efforts to explore Mars. The U.S. space agency has produced oxygen from the Red Planet’s thin air for the first time.
C) The extraterrestrial breakthrough came through Perseverance. That is the name of the rover that successfully landed on Mars in February.	D) NASA says it took about three hours to convert some of the carbon dioxide-rich atmosphere into 5.4 grams of oxygen. That is enough for an astronaut to breathe for 10 minutes. The process uses extreme heat to separate oxygen atoms from carbon dioxide molecules.

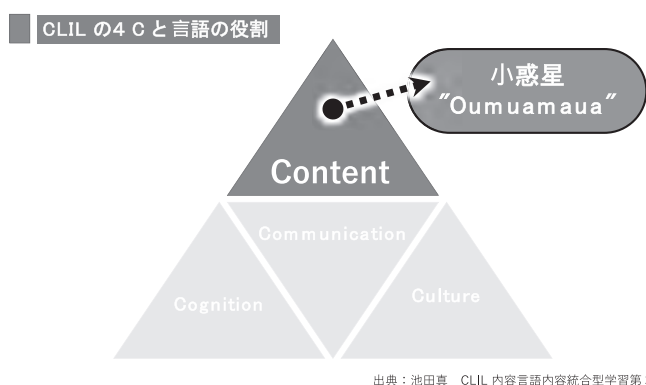
図 6 JIGSAW 法で使したプリント NASA Succeeds in Making Oxygen on Wars

2. CLIL の 4 つの C

1 Content

CLIL を実践する上での中心核になる 4 つの C (図 7)。この 4 つの C をもとにすべての項目を当てはめていった。

まず、Content (知識力) として、教科内容、横断トピックを検討し、小惑星 Oumuamua をテーマに選んだ。この題材を耳からリスニングし、ノートテイキングの練習をした。ペアで聞き取れた箇所の確認をし、3 回目にリスニングする前には、互いに聞き取れていない箇所を中心に聞くようにと促した。それにより、集中して聞くべき箇所の確認ができていた。スキミング活動である。その後、初めて文章 (図 8) を目にして新出単語の確認を英英で行い、語彙の定着を図った。接頭語 (astro-) (inter-)、接尾語 (-oid)、派生語の学習もここで行った。



出典：池田真 CLIL 内容言語内容統合型学習第 3 巻

図 7 4C の Content

READING EXPLORER Foundations THIRD EDITION

Unit 1A A MYSTERIOUS VISITOR

In October 2017, astronomers in Hawaii saw something surprising. A **strange** object was moving through the solar system. They had seen many asteroids before, but this was something different. It was long and **thin**—like a cucumber. The object’s **speed** and direction also showed something surprising. This was an interstellar object—the first ever seen.

The object was named ‘Oumuamua—Hawaiian for “visitor from afar.” Nobody is sure exactly what it is. The simplest idea is that ‘Oumuamua is a strangely shaped piece of rock. Perhaps it was **knocked** out of a far-off star system. However, astronomers saw that its speed increased after passing the sun. Some scientists therefore suggest a different theory.

“‘Oumuamua could be a piece of alien technology,” says Professor Abraham Loeb from Harvard University. Loeb believes this could explain the object’s long, thin shape, and also its change in speed. **Maybe** ‘Oumuamua was a spaceship that came to **explore** our solar system. “All possibilities should be considered,” says Loeb.

‘Oumuamua can no longer be seen from Earth. But astronomers continue to study the information they got from it. It is still not clear if the object was a large rock, or something else altogether. ‘Oumuamua will likely be a mystery for many years to come.

図 8 Mysterious Visitor Oumuamua 本文

ここでの文法的な学びは以下のようである。

(1) something + 形容詞

- a) astronomers in Hawaii saw something surprising.
- b) this was something different.
- c) The object’s speed and direction also showed something surprising.

(2) 受け身

教科書 MAINSTREAM(以下、教科書と記載)では、Lesson 9 で学習済みである。教科書でも現在形、過去形の受け身と助動詞の受け身のみを扱っている。

それを Oumuamua の本文では以下のような文が見られた。

- a) The object was named Oumuamua. (過去形受け身)
- b) Perhaps it was knocked out of a far-off star system. (過去形受け身)
- c) All possibilities should be considered. (助動詞受け身)

(3) 助動詞 could (図 10)

教科書で既習事項である助動詞の中で、could に着目して、その使い分けとして ability なのか、possibility なのか、をワークシートを使って理解させる。

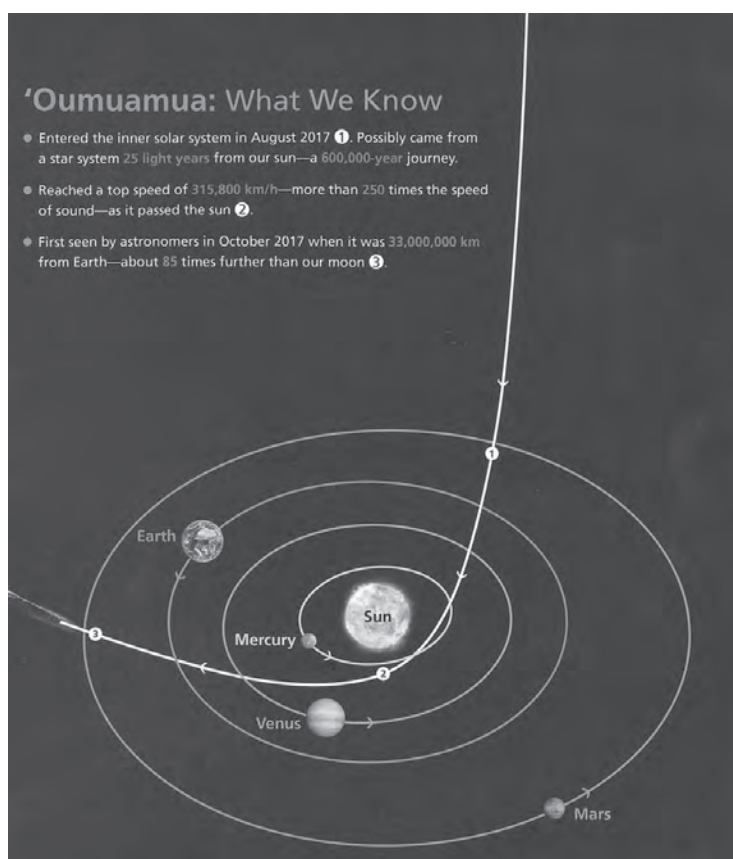


図 9 Mysterious Visitor Oumuamua 軌道

4 人 1 つのグループでワークシートに時制と意味に丸をつけさせる方法で協同学習を行った。10 分を与え、その後、答え合わせはグループ発表を行ったが、文の意味を訳すだけでなく、グループの答えに至った経緯を話すように指示をした。生徒の単語レベルには差があり、互いに知っていることを言いながら補って学習することができていた。また、正答が得られなかったグループからは、その経緯説明の途中で思わず声上がることもあり、生徒たちの理解の過程がよくわかった。

また、本文には可能性の低さを表す表現が見られる。maybe や likely の副詞である。この表現からこの惑星 Oumuamua については、研究者たちが得られた事実から想像し、仮説をたて、「こうであろう」と考え論文にしている、ニュースになっていることが読み取れる。その可能性を指し示す語があることにより、読み手はワクワクさせられ、未知なることが如何に面白いかということを読者は理解し、読み進める必要を感じる。それが感じることができると、wonder であることが full になり、wonderful という気持ちに突き動かされるのである。

★Using Could to Express Possibility					
Does could express past, present, or future time? What is the meaning: ability or possibility?					
Sentence	Past	Present	Future	Ability	Possibility
1. I could be home late tonight. Don't wait for me for dinner.					
2. Thirty years ago, when he was a small child, David could speak Swahili fluently. Now he's forgotten a lot of it.					
3. A: Where's Alicia? B: I don't know. She could be at the mall.					
4. When I was a child, I could climb trees, but now I'm too old.					
5. Let's leave for the airport now. Yuki's plane could arrive early, and we want to be there when she arrives.					
6. A: What's that on the carpet? B: I don't know. It looks like a bug. Or it could be a piece of fuzz.					

図 10 助動詞 could ワークシート

2 Communication（言語知識・対人スキル）

Communication（図 11）では、読む・聞く・書く・話す 4 技能と、言語形式への気づき、定着のための練習が含まれてくる。これを意識した活動として、Oumuamua の本文は見ずに、音を意識し、耳から内容を得るようにした。2 度本文を聞かせ、一旦、4 人グループで聞き取れた内容を共有し、再度、1 度音声流した。それにより、聞くポイントが明確化され、Keywords を中心に聞くような姿勢が見られた。また、語彙の中で知らない語彙を見出すことができていた生徒もいた。ここでは、内容と言語は交互に意識された。その後、本文をプリントで手渡し、リーディングとして読む。その際には、聞こえていなかったことが露わになった。それを 4 人グループで内容を確認することで、他者の読み取りより自分の理解へと繋げることができていた。

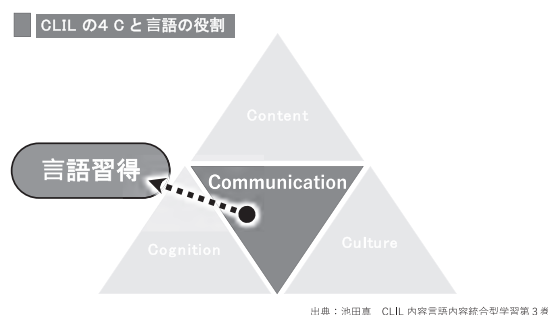


図 11 4C の Communication

3 Cognition（批判的・論理的思考）

Cognition（図 12）の技術を習得するためのディスカッションを行った。ハワイの科学者たちが見た惑星 Oumuamua の存在に関する議論である。形は Cucumber であり、回転しながら私たちの太陽系へと入り、そして消えていったという記述がある。科学者の中にはさまざまな受け取り方がある。「宇宙人の存在をありとするか、なしとするか」、「Oumuamua は UFO なのか何であるのか」の問いを投げかけ、それを議論させた。

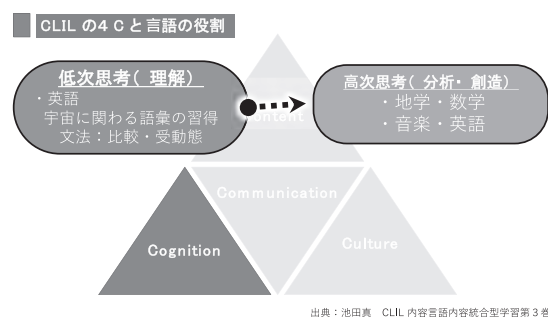


図 12 4C の Cognitioncommunication

4 Culture（協学）

Culture（もしくはCommunity, 協同学習, 地球市民意識）の要素である（図 13）。これについては、議論の中で宇宙人の存在の有無を尋ねた際に、「私たちも宇宙人である」と答えた班が、各クラスに 1 班は存在した。宇宙の中の地球に生きている自分達の存在を意識し、その存在として、宇宙とどのように関わって生きていくのかという議論も発生した。「宇宙ごみ」の話を出した班もあった。ここでは、人種を超え、国を超え、地球上の生物として未来のために何をすべきか、という話ができた。

また、発問での学びを深めるために、本文を繰り返し読み、深く読むために、display question (fact-finding question), inferential questions, を行い、

最後には referential questions (personal questions) を行った。

Big Question として以下の 2 点について、授業内で 4 人グループで話し合い、発表の機会を設けた。これは生徒同士の価値観や知識力、また互いの発言を尊重する姿勢を育てるために設定したものである。

- 1) The image of “aliens” in Japan is a little difference from other countries.
- 2) What is an example of a famous alien in traditional Japanese stories?

3. 生徒のエッセイと感想

5 科目全ての授業を終えた後、生徒たちは、学びのまとめとして英語でエッセイを書いた。通常は 400 語程度の文章を書くことがあるが、今回は 500 語以上 1000 語を目指して書くことを目標にした。その中で、2 名の興味深い内容を紹介する。

ある生徒は、彼の学びを「オズの魔法使い」仕立てで書いてきた（図 14）。自由な発想であり、大変興味深いものである。それと共に、Oumuamua について詳細に書かれている箇所がある。

“This is a treatise about how Oumuamua was shining. The brightness of usual objects is almost the same because they rotate regularly. HOWEVER, the brightness of Oumuamua changed drastically. And this treatise says this is because the axis of Oumuamua goes through the center of its cucumber-like shape in a vertical way, not a horizontal way,” she explained. She also mentioned the color and the shape of it. “Why do so many people do research Oumuamua?” I asked. “Because it might not be a legend anymore. An object similar to Oumuamua came close to our planet recently,” she replied. All of us then went to sleep.

また、別の生徒はエッセイの中で数学に興味があり、分析をやりたいといていた。そのため、アンケートを無記名の状態で渡した。以下のように分析してきた。

クロス集計表による分析

まず、「初めて英語の授業で教科横断型授業について聞いた時、どのように思いましたか？」の問いにおいて面白いと思わなかったことにより理解が浅くなることが面白いと思った場合の何倍であるかを調べた。数学 2.47 地学 1.99 音楽 2.23（小数点第三位を四捨五入）※物理には理解に関する質問項目がなかったため行っていない。地学の三項目目は取り組んだものにより差が出る可能性があるため、この分析は行っていない。これより、教科横断型授業の取組みについて面白いと思った人のほうがその後の理解が深まるという傾向があるかもしれないと言える。次に、上記と同じ手法で問いを「英語の授業について【テーマ】Oumuamua の導入について」に変えて行った。数学 1.97 地学 1.95 音楽 2.89（小数点第三位を四捨五入）これより、導入の授業で興味を持った人のほうがその後の理解が深まるという傾向があるかもしれないと言える。授業スタイルへの興味、導入授業で興味を持たせることが大切であるかもしれないと言える。※かもしれない理由は興味→理解の単純な流れではない可能性をまだ否定しきれないからである。

CLIL の 4 C と言語の役割

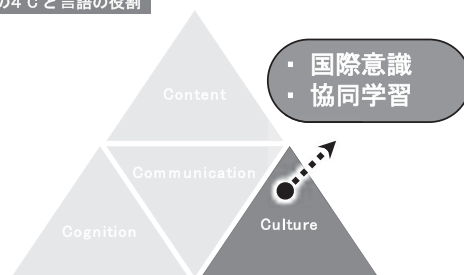


図 13 4C の Culture

What and How I Know About Oumuamua

On a bright sunny day, I got off the train and walked to school. On my way from the station to the school, I wanted to look up at the sky for some reason. It was very clear. I felt like I could see space. I thought about how strange and curious space is.

I like space and astronomy because many things are still unknown. Also, the scale is extremely big, so big that it makes me feel I am very small, and this somehow cures my exhausted, pressured mind. I can forget my concerns for a while. Studying astronomy is like an oasis for me.

When I look up at the sky, I always feel like I'm flying, but this time was different. I WAS flying. I went into the sky. I felt a little curious at first, but soon, I started feeling scared. I didn't know where I was going. Then, I lost consciousness.

Minutes, or maybe hours later, I woke up. I was at a place I didn't know. There were lots of people around me. "Where am I? Why am I here? How do I go home?" I asked, but no one answered. They seemed to think I was crazy. I was at a loss.

A girl came up next to me. She looked kind and seemed to be worried about me. "What's wrong? I'm Lucia. Do you need some help?" She asked. I told her everything that happened. I said that I somehow came here, and I have nowhere to go. She then offered to let me stay in her house. I accepted it.

In her house, Lucia and I talked about ourselves. She said she was full of curiosity, and she was always looking or something interesting. She knows lots of things, so maybe she can tell me how to go home, I thought, and I asked her that. "I'm afraid I have no idea, but maybe the Wizard of Maa knows the answer," she said. "I got this crystal from my grandma, but I don't know anything about it. I've always wanted to show him this crystal and learn what it is." She showed me the crystal. We then decided to go and see the Wizard of Maa.

The next morning Lucia and I left her house for the Wizard of Maa. On the way, we met a traveler. "Hi. I'm Lucia, where are you going?" she said. "My name is Koji. Now I'm thinking about where to go," said the traveler. "Why don't you come with us? We are off to see the Wizard of Maa." "That sounds fun, but should I go with you?" I said, "Come on, Koji. Let's go. I will ask the Wizard of Maa how to get home. And Lucia will ask him to tell her what this crystal is." "Okay. Then I will ask him to make me more talkative. I'm not good at talking with people." We started walking, talking about ourselves.

Walking for a couple of hours, we got hungry. We saw a market. "Let's buy something to eat. I'm starving," I insisted. "Okay. Let's go," Lucia said. At the market, we saw delicious fruit and we decided to buy it. "We'll take these." "Thanks. By the way, I found something interesting. Want to see?" the seller asked us. "Yes, please!" Lucia answered in a cheerful voice. He took us to a room and started talking about math. "Hello. I'm Yosi. Now, I'll explain my latest research," he said. "We have a legend called Oumuamua. It's a story about a strange object that flew near our planet, and I used math to unveil how strange its orbit is. To understand my research, you need to study math a little. Is that all right?" "Sure. I like math, so it's no problem," I replied. He continued the lesson. "First, you get speed by differentiating displacement, and if you differentiate it again, you get acceleration, right? Let the mass of the sun be M and the mass of Oumuamua m. Next, let's use Newton's equation of motion. Now, you get the relation between the mass of the sun and the mass of Oumuamua. Okay, next..." "All right. That's enough. We're running out of time, so we've gotta go. Goodbye, Yosi," said Lucia. We got back on our way and started walking.

After walking for a long time, it became dark. "Let's stop walking and rest until tomorrow," I said. "But is there somewhere to rest?" Lucia found a house and was someone observing the stars. "Let's ask her to stay in her house." "But will she accept that? I don't think so," said Koji. "It's all right. Trust me," said Lucia.

"Hi there. I'm Lucia. What's up? What are you doing now?" "Hello. I'm Yuri. I'm observing stars, which is actually my hobby. See?" said Yuri. She was very friendly. "Wow, it's beautiful," I said with surprise. After looking at the stars, Lucia asked, "By the way, will you let us stay in your house? We are heading for the Wizard of Maa, and we have nowhere to stay." "That's no problem. Here, you can stay in this living room." "Thank you. That's so kind of you," said Lucia. I realized how friendly Lucia is.

We spent the night talking with Yuri. She was also doing research about Oumuamua. She showed us some of her favorite treatises. "This is a treatise about how Oumuamua was shining. The brightness of

usual objects is almost the same because they rotate regularly. HOWEVER, the brightness of Oumuamua changed drastically. And this treatise says this is because the axis of Oumuamua goes through the center of its cucumber-like shape in a vertical way, not a horizontal way," she explained. She also mentioned the color and the shape of it. "Why do so many people do research Oumuamua?" I asked. "Because it might not be a legend anymore. An object similar to Oumuamua came close to our planet recently," she replied. All of us then went to sleep.

The next day, we went to the castle and stood in front of the Wizard of Maa's room. We knocked on the door, and then we heard a voice. "Hi there. I'm the Wizard of Maa. Enter my room one by one." Lucia went in first. After a while, she came back. She said "I didn't see him, but he looked like a lion. I asked him to tell me what this crystal is, but he didn't answer. Instead, he told us to report about what and how you know about Oumuamua." "Oh, really," I said. I was a little surprised. "I'll go next." Same as her, I asked him how to get home, but he asked me to report about Oumuamua. However, one thing was different: the Wizard of Maa seemed to be some kind of dragon. Finally, Koji went in, but the result was the same, except for one thing: he looked like burning fire. I wondered why he made us tell him about Oumuamua. "Maybe he wants to know about Oumuamua," Lucia said. "Let's make a report," I said.

In the report, we wrote what Yosi, and Yuri told us and how we met them. "We've written some information, but that's not enough. We need more information. Do you guys know anything about Oumuamua?" I asked. "I checked the abstract, but I don't know professional things like Yosi and Yuri. How about you?" Lucia asked Koji. "Well, I'm a little bit good at physics, so maybe I can help you." "Oh, you are familiar with physics? In that case, please tell us about it," Lucia said, and I agreed with that. "Okay. Lucia, you said it is strange, right? So, let's start with telling why Oumuamua is a strange object. The closer Oumuamua is to the sun, the more universal gravitation it gets, so the orbit should be like this." Koji explained with pictures. It was much easier than Yosi's explanation. "However, Oumuamua actually moved like this. This is strange, isn't it? That's why it is said to be an alien technology." As he explained, he looked like he was having more and more fun. He talked a lot and finally, he started singing. That was how I learned that he was actually talkative, he was just shy. We added what Koji told us, too.

The next day, we went back to the Wizard of Maa's room. "Did you finish your report?" he asked. "Yes. Here it is," I replied. Minutes later, he allowed us to enter his room. There was a big screen and the shadow of the Wizard of Maa was on it. "So, what are your wishes?" he asked in a strong voice. Lucia and I were scared, but Koji was not. Koji felt strange and went next to the screen. Then, he said, "I found it. What you see is not the Wizard of Maa. THIS is the right person." He came back with a small man: the actual Wizard of Maa. "I'm sorry for tricking and scaring you," he said. "I'm not a good wizard, I'm a good man, though." "Then, how will my wish come true?" Koji asked. "You said you wanted to be more talkative, right? You already ARE talkative. I heard you enjoy yourself as you talked with these friends." "Then, can't you tell me what this crystal is?" Lucia asked. "You already should know it. You did research on Oumuamua, right? Didn't you see the crystal?" he said. All of us looked at it carefully. "Now, you know the answer, right? It's a piece of Oumuamua." "Really!?" Lucia said. Lucia and Koji looked happy to know that, but I wasn't satisfied. I started crying. "Then, how do I go home? You're not a wizard, right?" "Calm down. When you wish something on the crystal of Oumuamua, it comes true, right?" "That's just a legend. It can't be true." I was disappointed. "How about you try it?" "All right." And I tried it. When I wished to go home on the crystal, I started feeling like I was flying-just like the time when I came here. "How amazing!" I shouted. "Goodbye, Lucia and Koji. I'll miss you, but I'll never forget you," I shouted with tears. "Goodbye," Lucia and Koji were crying too. Soon after I flew over and went back to the earth. I looked at my watch. It was almost the time for school to start. "Oh, what is this?" I found some pieces of paper. "It says... 'Report About Oumuamua.' Maybe the Wizard of Maa gave me a copy of our report." I picked it up and rushed into school.

About a week later, I decided to publish a short novel about what happened to me, based on my report, What and How I Know About Oumuamua, and I added some more content about what happened after that. I hope this novel becomes famous.

図 14 ある生徒のエッセイ

（2）数学の取り組み

オウムアムアの軌道は双曲線を描く。これを知識として受け入れるのではなく、運動方程式と初期条件から数学的に導出することを目指した。

高校 1 年程度の数学で飛躍なく理解できるように以下の授業プリントを作成し、これに従って授業を進めた（研究授業は 2.（1）まで）。

極限をとる前の微分の定義の式の分子、分母および分子 / 分母がグラフ上でそれぞれ何を表しているのかをおさえてから、極限をとることで微分すると接線の傾きが得られることを生徒から引き出すことができた。これを踏まえた上で、位置を時間で微分するとどうなるかたずねてみると、（瞬間の）速度になると生徒が答え、微分を視覚化したことで理解を深めることができた。

万有引力を空間の各方向成分に分解するとき、三角形の相似を使って求められることに気づき発表した生徒や、空間内の 2 点間距離は三平方の定理を 2 回使って求められることを発表した生徒など主体的に取り組む姿勢も見られた。

授業プリント 2.（2）以降は、10/23（土）、11/6（土）、11/13（土）、12/11（土）に希望者対象で授業を行い、1 月現在、3.（19）まで終了している。

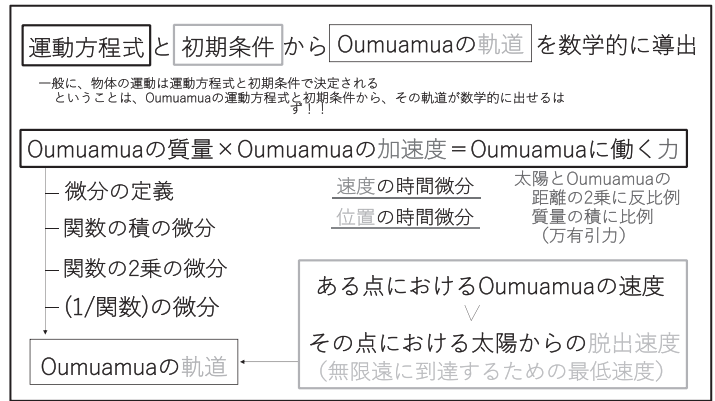


図 15 授業の設計

一般に、物体の運動は

$$\begin{cases} \text{運動方程式：(その物体の質量)} \times (\text{その物体の加速度}) = (\text{その物体に働く力}) \\ \text{初期条件：その物体のある時刻での位置と速度} \end{cases}$$

により決定される。

そこで目標：Oumuamuaの運動方程式と初期条件から、その軌道を数学的に導出する!!

1. 微分の定義に従い、以下の(i),(ii)を示せ。

<微分の定義>

関数 $f(t)$ に対し、

h を限りなく 0 に近づけると、 $\frac{f(t+h)-f(t)}{h}$ が限りなくある一定の値に近づくと、その値を $f'(t)$ で表す。 $f'(t)$ を求めることを $f(t)$ を t で微分するという。

・ $f'(t)$ を t で微分したもの $(f'(t))'$ を $f''(t)$ で表す。

・ 時刻 t の関数 $x(t)$ に対し、 $x'(t)$ を $\dot{x}$ で表し、 $x''(t)$ を $\ddot{x}$ で表す。

・ $f'(t)$ を $\frac{d}{dt}f(t)$ とも表す。

(i) 空間を運動するある物体の時刻 t における位置座標を $(x(t), y(t), z(t))$ とすると、

この物体の時刻 t における $\begin{cases} \text{(瞬間の) 速度の } x \text{ 成分, } y \text{ 成分, } z \text{ 成分は } \dot{x}, \dot{y}, \dot{z} \\ \text{(瞬間の) 加速度の } x \text{ 成分, } y \text{ 成分, } z \text{ 成分は } \ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z} \end{cases}$

(ii) 定数 a, b と関数 $f(t), g(t)$ に対し、 $(af(t) + bg(t))' = af'(t) + bg'(t)$

2. 太陽とOumuamuaが互いの万有引力を受けながら空間内を運動しているとする。

太陽 (Oumuamua) が Oumuamua (太陽) から受ける万有引力は以下の通り。

大きさ：太陽とOumuamuaの $\begin{cases} \text{距離の2乗に反比例} \\ \text{質量の積に比例} \end{cases}$ (定数部分が万有引力定数 G)

向き：太陽 (Oumuamua) から Oumuamua (太陽) に向かう半直線の向き

(1) 太陽とOumuamua、それぞれについて運動方程式を立てよ。1. (i) を用いてよい。

ただし、 $\begin{cases} \text{太陽の質量を } M, \text{ 位置座標を } (x_0(t), y_0(t), z_0(t)) \\ \text{Oumuamuaの質量を } m, \text{ 位置座標を } (x_1(t), y_1(t), z_1(t)) \end{cases}$ とする。

(2) (1) の方程式を、太陽に対するOumuamuaの相対運動を記述する方程式に書き直せ。

すなわち、 $\begin{cases} \text{太陽から見たOumuamuaの位置座標を } (x(t), y(t), z(t)) \\ \text{太陽とOumuamuaの質量の和を } \mu \end{cases}$ として、

(1) の方程式を $x(t), y(t), z(t), \mu, G$ で表せ。1. (ii) を用いてよい。

(3) 関数 $f(t)$ と $g(t)$ の積 $f(t)g(t)$ を、微分の定義に従って、 t で微分せよ。

(4) 定数 C を、微分の定義に従って、 t で微分せよ。

(5) (2) の $x(t), y(t), z(t)$ とその時間微分 $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ を用いて、点 $P(y\dot{z} - z\dot{y}, z\dot{x} - x\dot{z}, x\dot{y} - y\dot{x})$ を定義する (P の x, y, z 座標にOumuamuaの質量をかけると、角運動量の x, y, z 成分)。

(3),(4) を用いて、点 P は任意の時刻に対して一定の位置にあることを証明せよ。

(6) 互いに異なる 3 点 $O(0, 0, 0), A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2)$ について、

$x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2 = 0$ ならば $\angle AOB = 90^\circ$ であることを証明せよ。

(7) Oumuamuaの運動は次の 2 直線を含む平面内に限定されることを証明せよ。

・ 太陽とOumuamuaを結ぶ直線

・ 太陽に対するOumuamuaの相対速度の向きを表す直線

3. 太陽から見た Oumuamua の運動は, 2. (7) の平面内で考えて一般性を失わない。

以下, 2. (7) の平面内に x 軸, y 軸を取り直し, この平面内で運動を考える。

(1) 太陽と Oumuamua, それぞれについて運動方程式を立てよ。1. (i) を用いてよい。
ただし, $\left\{ \begin{array}{l} \text{太陽の質量を } M, \text{ 位置座標を } (x_0(t), y_0(t)) \\ \text{Oumuamua の質量を } m, \text{ 位置座標を } (x_1(t), y_1(t)) \end{array} \right.$ とする。

(2) (1) の方程式を, 太陽に対する Oumuamua の相対運動を記述する方程式に書き直せ。

すなわち, $\left\{ \begin{array}{l} \text{太陽から見た Oumuamua の位置座標を } (x(t), y(t)) \\ \text{太陽と Oumuamua の質量の和を } \mu \end{array} \right.$ として,

(1) の方程式を $x(t), y(t), \mu, G$ で表せ。1. (ii) を用いてよい。

(3) (2) の $x(t), y(t)$ とその時間微分 $\dot{x}, \dot{y}$ について,
 $x\dot{y} - y\dot{x}$ を t で微分し, (2) および 2. (3),(4) を用いて, 定数を 1 つ見つけよ。

(4) $\{f(t)\}^2$ を, 微分の定義に従って, t で微分せよ。

(5) $\frac{1}{f(t)}$ を, 微分の定義に従って, t で微分せよ。

(6) (2) の $x(t), y(t)$ とその時間微分 $\dot{x}, \dot{y}$ について,
以下 2 つを t で微分し, (2)~(5) および 2. (3),(4) を用いて, 定数を 2 つ見つけよ。

$$(x\dot{y} - y\dot{x})x$$

$$(x\dot{y} - y\dot{x})y$$

(7) (3),(6) から $x(t)$ と $y(t)$ の関係を表す式を求めよ。

(8) XY 平面において直線 $aX + bY + c = 0$ と点 (x, y) との距離を求めよ。

(9) (2) の $x(t), y(t)$ について, (7),(8) を用いて, 以下を示せ。

点 $(x(t), y(t))$ は, ある定点からの距離とある定直線からの距離の比が一定となる点

4. 3. の極座標版への準備

(1) 円周率 π の定義を述べよ。

(2) 弧度法の定義に従い, θ (ラジアン) $= \left(\frac{180}{\pi}\theta\right)^\circ$ を示せ。

< 弧度法の定義: 以下に定めるラジアンを単位として角を表す方法 >

O を中心とする半径 1 の円周上に定点 P_0 がある。

点 P が P_0 から円周上を θ だけ進んだ (反時計回りが正の向き) とき,
半直線 OP (動径) が, 半直線 OP_0 (始線) から回転した角 (反時計回りが正の角) を
 θ (ラジアン) と定義する。

・以下, $^\circ$ のついていない角度の単位はラジアンである

・ラジアンは特に必要がない限りかかない。

(3) 半径 1 の円に内接する正 n 角形の周の長さ ℓ_n を n で表せ。

(3a) n を限りなく大きくすると, (3) の ℓ_n は限りなくどのような値に近づくか。

(3b) n を限りなく大きくすると, $\frac{\sin \frac{\pi}{n}}{(\frac{\pi}{n})}$ は限りなくどのような値に近づくか。

(3c) θ を限りなく 0 に近づけると, $\frac{\sin \theta}{\theta}$ は限りなくどのような値に近づくか。

(4) 以下を証明せよ。

$$(4a) \triangle ABC \text{ において, } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

$$(4b) \begin{aligned} \cos(\alpha - \beta) &= \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta \\ \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \text{ (複号同順)} \end{aligned}$$

$$(4c) \begin{aligned} \sin A - \sin B &= 2 \cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2} \\ \cos A - \cos B &= -2 \sin \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2} \end{aligned}$$

(5) 微分の定義に従って, $\sin \theta, \cos \theta$ を θ で微分せよ。

(6) y が u の関数 $y = y(u)$ であり, u が t の関数 $u = u(t)$ であるとする。

微分の定義に従って, y を t で微分せよ。

(10) 方程式 $f(x, y) = 0$ が表す図形を $\left\{ \begin{array}{l} (y \text{ 軸を基準に}) x \text{ 軸方向に } a \text{ 倍} \\ (x \text{ 軸を基準に}) y \text{ 軸方向に } b \text{ 倍} \end{array} \right.$ だけ拡大・縮小

した後, $\left\{ \begin{array}{l} x \text{ 軸方向に } p \\ y \text{ 軸方向に } q \end{array} \right.$ だけ平行移動した図形を表す方程式を求めよ。

(11) 方程式 $x^2 + y^2 = 1$ はどのような図形を表すか。

(12) 方程式 $\left(\frac{x-p}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-q}{b}\right)^2 = 1$ はどのような図形を表すか。

(13) 方程式 $x^2 - y^2 = 1$ が表す図形を原点を中心に反時計回りに 45° 回転させた図形の
方程式を求め, 方程式 $x^2 - y^2 = 1$ がどのような図形を表すか述べよ。

(14) 方程式 $\left(\frac{x-p}{a}\right)^2 - \left(\frac{y-q}{b}\right)^2 = 1$ はどのような図形を表すか。

(15) (9) の比の値を e とする。(9) の定直線と y 軸が平行になるように座標系を取り直し,
(7) が描く図形を e の値により分類せよ。

(16) (2) の $x(t), y(t)$ とその時間微分 $\dot{x}, \dot{y}$ について, (3),(6) で見つけた 3 つの定数以外に
 $\dot{x}^2 + \dot{y}^2$ と $\sqrt{x^2 + y^2}$ が絡む定数を (2),(4) を用いて 1 つ見つけよ。

(この定数に Oumuamua の質量をかけると Oumuamua のもつ力学的エネルギー)

(17) (16) の定数, (3),(6) で見つけた 3 つの定数, および G, μ の関係を式で表せ。

(18) (16) の定数, (9) の比の値 e , (3) の定数, および G, μ の関係を式で表せ。

(19) Oumuamua の初期条件から, その軌道が表す図形は (15) の分類のいずれになるか,
(18) を用いて決定せよ。

< Oumuamua の初期条件 >

ある点における Oumuamua の速度はその点における太陽からの脱出速度より大きい
・脱出速度: 無限遠に到達するために必要な最低速度

At its closest point to the sun (almost a quarter of our distance from the sun, on 2017
Sep 9), it was moving at 87.71 km/s relative to the sun.

(<https://projectpluto.com/temp/2017u1.htm>)

5. 3. の極座標版

(1) 3. (2) において, 太陽を原点とすると, Oumuamua は点 $P(x(t), y(t))$ で表せる。

原点と P との距離を $r(t)$, x 軸と動径 OP のなす角を $\theta(t)$ とする。

(1a) $x(t), y(t)$ を $r(t), \theta(t)$ で表せ。

(1b) $\dot{x}, \dot{y}$ を $r, \dot{r}, \theta, \dot{\theta}$ で表せ。

(1c) $\ddot{x}, \ddot{y}$ を $r, \dot{r}, \ddot{r}, \theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ で表せ。

(1d) 3. (2) の運動方程式を以下の方向ごとにわけて書き下せ。

$\left\{ \begin{array}{l} \text{直線 OP 方向 (動径方向): } r \text{ が増える方向が正の向き} \\ \text{直線 OP と垂直な方向 (方位角方向): } \theta \text{ が増える方向が正の向き} \end{array} \right.$

(2) 方位角方向の運動方程式 (1d) から定数を 1 つ見つけよ。

(3) $\frac{1}{r} = u$ とおき, u を θ の関数とみる。「 $'$ 」は θ による微分を表すものとする。

(3a) $\dot{r}$ を u' と (2) の定数で表せ。

(3b) $\ddot{r}$ を u, u'' と (2) の定数で表せ。

(3c) 動径方向の運動方程式 (1d) を u, u'', G, μ と (2) の定数で表せ。

(3d) 関数 u からある定数を引いた関数を v とおくと, (3c) の方程式は v, v'' だけで表
せる。これを実行せよ。

(3e) (3d) の方程式の両辺に v' をかけ, 定数を 1 つ見つけよ。

(3f) (3d) の関数 v をある定数でわった関数を w とおくと, w, w' だけの関係式が得ら
れる。この関係式を求めよ。

(3g) (3f) の関数 w を ϕ の関数 $w = \cos \phi$ とみて, ϕ を θ の関数とみる。 ϕ' を求めよ。

(3h) $f(\theta) = \theta$ とする。微分の定義に従って, $f(\theta)$ を θ で微分せよ。

(3i) θ の関数 ϕ, v, w, u, r を θ の式で表せ。

(4) (3i) より (1) の点 P について以下がいえることを示せ。(3. (9) と同じ結論)

点 P は, ある定点からの距離とある定直線からの距離の比が一定となる点

(5) (1b) において, $\dot{x}^2 + \dot{y}^2$ を, (3) の u, u' , および (2) の定数で表せ。

さらに, $\dot{x}^2 + \dot{y}^2$ を (2), (3e) の定数, (3d) のある定数, および r で表せ。

(6) (5) と Oumuamua の初期条件 3. (19) から (4) の比の値がどのようになるか判定し,
Oumuamua の軌道が表す図形は 3. (19) と同じになることを示せ。

（3）物理の取り組み

1. 授業設計のスタンス

今回の教科横断的取り組みにおける英語以外の教科の役割は、各教科の専門性に基づいて小惑星オウムアムアについて扱い語ること
で生徒の英語学習に深みを生み出させる、というものであった。しかしながら物理基礎の授業では、高校物理を超える高度な理論を持ち出したり小惑星オウムアムアに関する特別な補足資料を提示したりするというのではなく、終始、「英語の授業で用いている教科書を前から順に読み進め、その途中に時間や速さといった物理量に紐づく記述や挿絵が現れたら、物理的に考えを巡らせたり物理基礎の教科書を開いたりしてみる。」というスタイルを取った。その理由は、次のとおりである。

図 16 物理基礎の授業の骨子

- ① 「今回のような学びのスタイルを取ることで、英語の学習に限らず、日頃の学習活動あるいは生活内の身近な物事を出発点にいつでも自身の学びを広げ深めていくことができる。」という、主体的な学びの可能性を生徒に実感してもらうことを物理基礎の回の目標の 1 つに設定した。
- ② CLIL 的学習指導における重要な要素の 1 つとして一般に挙げられている、「内容学習と語学学習の比重を 1 : 1 に近づける。」という点を意識した。
- ③ 物理基礎の授業時間をあてる以上は、学習指導要領等の示す物理基礎の学習内容から逸脱しすぎず、その単元事項を一定程度達成する授業としたかった。即ち、CLIL 的学習指導が英語科のみにメリットのあるものではなく、関わる全教科にとって十分に関わりがよいもの（この先広く一般に学校現場に浸透しうるもの）であることを実践的に確認したかった。

2. 年間の物理基礎の学習との繋がり

小惑星オウムアムアの話そのものや英語の教科書の構成が、次のような点で物理基礎の学習と非常に高い親和性を有しており、生徒にとっても授業者にとっても有意義な授業とできた。

- ① この授業を行った 10 月中旬は、単元「様々な力とその働き」の導入時期であった。この単元では、物体の運動は力 force によって決まるのだということ（ニュートンの運動方程式 $ma=F$ ）を扱うが、小惑星オウムアムアの話の根幹はまさにこの部分にある。生徒にとっては、これから学ぼうとしている事柄が宇宙規模の現象の理解にも適用できるような、普遍的で価値のあるものなのだと期待を膨らませ、今後の学習意欲を大いに向上させる機会となったと考えられる。
- ② 一般に物理基礎の教科書では、ニュートンの運動方程式を見出すための実験として「力学台車に手で力を加えて加速度を調べる」というものが紹介される。しかしながらこの実験において力学台車には手による力以外にも重力、垂直抗力、摩擦力、空気抵抗といった力がはたらく。特に摩擦や空気抵抗については、「いまこれらの影響は小さく問題にならない」などと補足がされるものの、初学者である生徒にとっては引っかけが残りやすい部分である。その点、宇宙空間を飛来する小惑星オウムアムアには摩擦力や空気抵抗は生じず、初学者にとって考えやすい理想的なシチュエーションであるといえる。また、このことをきっかけに、地球環境が基本で宇宙空間が特別なのではなく、むしろ相互作用の少ない宇宙空間のような状態が基本で地球環境が特別なのだ、という物理的に重要なものの捉え方について話題に繋げることができた。
- ③ 英語の教科書には小惑星オウムアムアの軌道の図が大きく載せられているものの、距離や速さなどの物理量については「25 光年 (25 light years)」や「音速の 250 倍 (250 times the speed of sound)」といった間接的な表現にとどめられていた。生徒にこれらを純粋な距離 [m] や速さ [m/s] に換算させるという、適度な難度と量の作業性を持たせることができた。この作業にあわせて、物理を学習する際には文章や静止図から実際の運動の様子を正確に捉えイメージできるかは重要な要素で、時間を掛けて丁寧に考えなければならない、といった話題にも繋げることができた。

3. 授業の展開と指導のねらい

表 2 物理基礎の授業内容並びに指導のねらい

	授業内容 並びに 指導のねらい	所要時間 (分間)
i	The object's speed and direction also showed something surprising. However, astronomers saw that its speed increased after passing the sun. という教科書中の 2 つの文を振り返らせ、次の発問をした。 <u>発問</u>：小惑星オウムアムアは、なぜ大きく世間を騒がせたのであったか。 求める回答：「小惑星オウムアムアの運動に驚くべき点があったから」 「具体的には、太陽付近を通過後に速さが増したということが観測されたから」 ⇒ 今回の話題の根幹が何であるか確認し共通認識を持たせた。	4
ii	教科書中には言及がない、次のことを考えさせた。 <u>発問</u>：そもそも、なぜ太陽付近を通過後に速さが増してはいけないのか。 通常はどのような運動でなければならないのか。 ⇒ 今回の授業で理解したいことを明確にさせた。	3
iii	Possibly came from a star system 25 light years from our sun - a 600,000 year journey. Reached a top speed of 315,800 km/h - more than 250 times the speed of sound - as it passed the sun. First seen by astronomers in October 2017 when it was 33,000,000 km from Earth - about 85 times further than our moon. という教科書中の 3 つの文を振り返らせ、光速や音速の具体的な値を物理基礎の教科書で確認させた。 また、距離と時間の情報があれば速さを計算することができることを押さえ、小惑星オウムアムアの速さを大まかに見積もらせた。 ⇒ 太陽から遠いところでは遅く、太陽付近では速く運動したことを確認させた。 ⇒ 物事を物理的な見方で捉えようとする姿勢の育成となることを期待した。	18
iv	小惑星オウムアムアの運動について web 上で様々に掲載されているアニメーションのうち 2 つ提示した。 ⇒ 太陽から遠いところでは遅く、太陽付近では速く運動したことを確認させた。 ⇒ 教科書中の静止図から想像した運動と実際の運動がどの程度一致していたか、確認させた。	3
v	ニュートンの運動方程式 $ma=F$ と万有引力の法則 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ について、演示実験を交えながら概説した。 また、2 式を連立すると $a=G\frac{M}{r^2}$ という式が得られることを示した。 ⇒ 今回、生じる加速度の大小は太陽との距離のみから推察できるということを確認させた。 ⇒ 現象を数式で表したり処理したりすることの有用性を感じてもらえることを期待した。	5
vi	太陽付近通過前、通過中、通過後の 3 点について小惑星オウムアムアに生じる加速度を図示させた。 ⇒ 小惑星オウムアムアの運動が力によって決められていることを確認させた。 ⇒ 加速度は、運動の速さを変える成分と向きを変える成分に分けて考えられることを確認させた。 ⇒ 万有引力のみを考える場合、太陽付近を通過後に速さが増すことはないことを確認させた。	7
vii	理論的に起こりそうにないことに思えても、実験・観測の事実は真摯に受け入れて理論を見直していくというのが科学の立場であり科学の営みであるということを述べた上で、次の発問をした。 <u>発問</u>：ここまでの学習を踏まえて、「太陽付近を通過後に速さが増した」という観測事実をどのように説明するか。どういったことが起きた可能性があるかと挙げられるか。 求める回答：「万有引力と別に、太陽から遠ざかるような向きの力がはたらいたと考えられる」 ⇒ v, vi で確認した物理的な見方に沿って考えようとする姿勢を取れているか確認した。 ⇒ 世界の著名な天文学者も悩んだ、高次の問いに挑戦させた。	7
viii	<u>発問</u>：小惑星オウムアムアの形状や物質科学的な組成は、特異な運動に関係あるだろうか。 ⇒ 次の時限（地学基礎）で学ぶことについて確認した。	3

R3.10.18 物理基礎（1年）
・Ourmanua

文章や図からどういった物理量が読み取れるか

● page 9 line 5
The object's speed and direction also showed something surprising.
何と書いてある？

⇒ 物理では、向きと大きさを合わせもつ量を ベクトル量 といふのであった。
⇒ 向きと速さを合わせもつ量を といふのであった。
⇒ 今回、どういった点に驚きがあったと書かれているの？

● page 9 line 12
However, astronomers saw that its speed increased after passing the sun.
何と書いてある？

⇒ これの何が驚きだったの？ 通常はどのようにないといけないの？

● page 10 "What We Know"
1つ目： Possibly came from a star system 25 light years from our sun
- a 600,000-year journey

※ 速い時もあれば遅い時もあっというし、ずっと一直線に運動してきただけではなかったらけれど、
どの程度のスケールと距離を測ることができるか。

● page 10 "What We Know"
2つ目： Reached a top speed of 315,800 km/h - more than 250 times the speed of sound
- as it passed the sun.

● page 10 "What We Know"
3つ目： First seen by astronomers in October 2017 when it was 33,000,000 km from Earth
- about 85 times further than our moon.

運動は何によってどのように決められるか

- なぜ、速くなったり遅くなったりしたの？
- なぜ、このような形の軌道になったの？
- 今回、どういった点に驚きがあったと言われているの？

- ニュートンの運動方程式
運動方程式
 $m\vec{a} = \vec{F}$
 m (kg) 質量 (mass)
 a (m/s²) 加速度 (acceleration)
 $\vec{F}$ (N) 力 (forces)
- 万有引力の法則
万有引力の法則
 $F = G \frac{Mm}{r^2}$
 G (N·m²/kg²) 万有引力定数
 M (kg), m (kg) それぞれの物体の質量
 r (m) 物体間の距離

物体の間にはたらく万有引力の大きさ、 m
万有引力定数
それぞれ物体の質量
物体間の距離

- 今回、力 force が運動を変化させる様子

$a =$ ★ いつでも、力 force が運動を変化させる。力が加速度（運動の変化）を生む。
★ 今回、加速度の向きは太陽向き、大きさは太陽に近いほど大きい。

今回、力 force が運動を変化させる様子

向きを
変えさせる
より
速くさせる
 a (m/s²)

v (m/s)

今回、「太陽に最も近い点を通過後にも加速した（軌道が外に膨らんだ）」ということが
観測されているが、なぜだと考えられるか？

図 17 物理基礎の授業プリント

（4）地学の取り組み

学習指導要領高等学校理科では、「科学的に探究するために必要な観察、実験、調査等に関する基本的な技能を身に付けさせることが重要である。」とされている（文部科学省 2018）。また、「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考える」という「理科の見方・考え方」を働かせることを目標としている。さらに、「地球や地球を取り巻く環境については、生徒が観察、実験をすることが難しいものも含まれるため、地球や宇宙に関する調査、観測などにより得られた情報や資料を基にした実習も大切である。」ことから、研究授業では、OUMUAMUAに関するMeech et al. 「A brief visit from a red and extremely elongated interstellar asteroid」Nature 552, 378-381（2017）を題材として用いた。

研究授業までに、2学期の授業では天文分野に取り組んだ。また、通常の授業においては、教科書に記載されている用語の英語表記にも触れ、英語とのつながりを意識させている。また、他の単元においても、教科書の記載事項について研究の過程や、関連するニュースなどを紹介している。

研究授業の授業過程は表3に記載する。教科書の記述の題材となるデータの解釈を理解させることに加えて、科学論文の構成および記述の特徴を理解させることを目的とした。Figure1では地学基礎の授業で扱った彗星と小惑星の特徴をもとにOUMUAMUAを分類し、Figure2では太陽系の軌道面に対するOUMUAMUAの軌道を、Figure3では反射光の強さからOUMUAMUAの形と動きを、Figure4では反射スペクトルからOUMUAMUAの起源を解釈した（図19～21、（ ）内は生徒プリントでは空欄）。

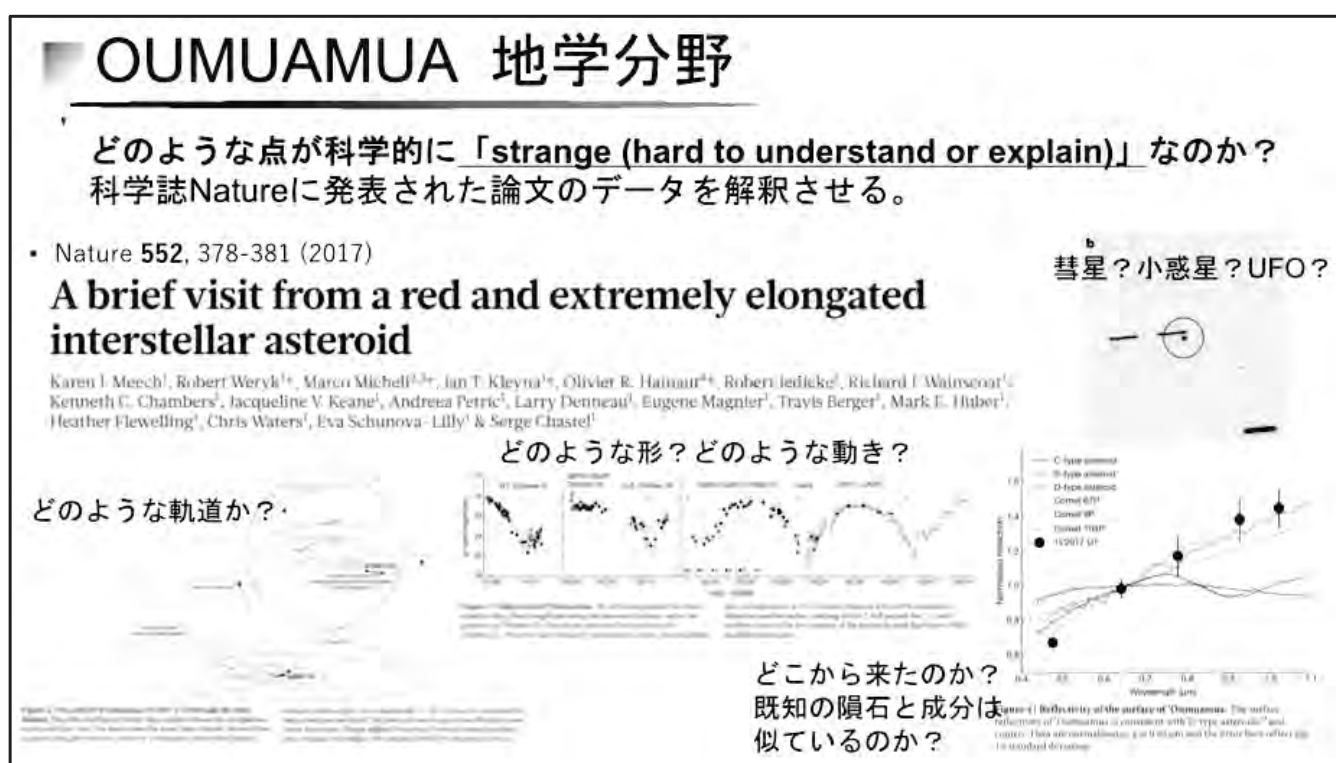


図 18 授業の設計

表3 地学の授業過程

学習活動	留意点
論文の構成と、本時の役割分担 ・ 科学論文の構成について ・ 4人班で、読解するFigureの分担	初めて科学論文を読むにあたり、論文の構成について説明する。FigureとTableのデータが論文の大きな構成要素であることを理解させる。
Figureの解釈 ・ 担当Figureごとに4つのグループに分かれ、議論しながら読解 ・ もとの4人班でFigureの情報を共有	論文本文の考察部分を示すとともに、プリントを穴埋め形式にして読解のヒントを与え、思考の過程を誘導する。データのどの部分に着目すれば良いか、議論を促す。
解釈の確認 ・ 科学論文の記述の特徴について ・ 各Figureの解釈の確認	科学論文は、「～ suggest that～」などの表現が主に使われることに気づかせる。教科書や資料集で既習事項を確認するとともに、キュウリを用いてグラフのデータを解説する。

『A MYSTERIOUS VISITOR』 地学編

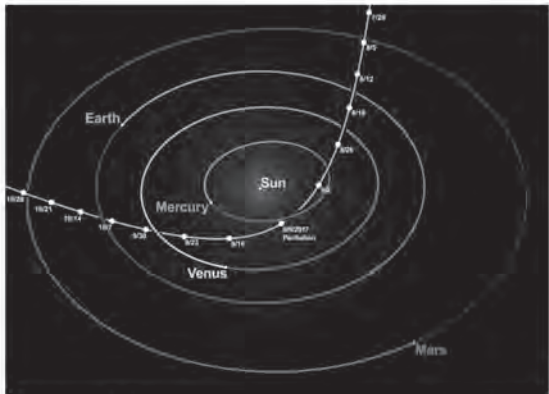
Oumuamua は「A *strange* (hard to understand or explain) object」と表現されているが、どのような点が「hard to understand or explain」なのか。科学誌 Nature に発表された論文を読んで考える。

Nature 552, 378-381 (2017)

A brief visit from a red and extremely elongated interstellar asteroid

Kanao J. Morish, Robert Weryk^{1,2}, Marco Micheli^{3,4}, Jan T. Kleyna⁵, Olivier B. Hainaut⁶, Robert Jedicke⁷, Richard I. Watson⁸, Kenneth C. Chambers⁹, Benjamin S. Kuvshinov¹⁰, Andrew P. Wyke¹¹, Larry Dones¹², Eugene Magnier¹³, Travis Berger¹⁴, Mark E. Helser¹⁵, Jonathan Brummage¹⁶, Chris Waters¹⁷, Eric Schawinski^{18,19} & Sjoerd Joeri van den Bergh

Abstract None of the approximately 750,000 known asteroids and comets in the Solar System is thought to have originated outside it, despite models of the formation of planetary systems suggesting that orbital migration of giant planets ejects a large fraction of the original planetesimals into interstellar space. The high predicted number density of icy interstellar objects (2.4×10^{-4} per cubic astronomical unit) suggests that some should have been detected, yet hitherto none has been seen. Many decades of asteroid and comet characterization have yielded formation models that explain the mass distribution, chemical abundances and planetary configuration of the Solar System today, but there has been no way of telling whether the Solar System is typical of planetary systems. Here we report observations and analysis of the object 1I/2017 U1 (Oumuamua) that demonstrate its extrasolar trajectory, and that thus enable comparisons to be made between material from another planetary system and from our own. Our observations during the brief visit by the object to the inner Solar System reveal it to be asteroidal, with no hint of cometary activity despite an approach within 0.25 astronomical units of the Sun. Spectroscopic measurements show that the surface of the object is spectrally red, consistent with comets or organic-rich asteroids that reside within the Solar System. Light-curve observations indicate that the object has an extremely oblong shape, with a length about ten times its width, and a mean radius of about 102 metres assuming an albedo of 0.04. No known objects in the Solar System have such extreme dimensions. The presence of Oumuamua in the Solar System suggests that previous estimates of the number density of interstellar objects, based on the assumption that all such objects were cometary, were pessimistically low. Planned upgrades to contemporary asteroid survey instruments and improved data processing techniques are likely to result in the detection of more interstellar objects in the coming years.



<https://www.eso.org/mediasection/view/130527a>

【参考】数学 2次曲線の種類

1) 放物線

(1) 放物線の定義
2点Fと、Fを通らない直線lとから等距離にある点Pの軌跡を放物線といい、この点Fを放物線の焦点、直線lを準線という。

2) 楕円

(1) 楕円の定義
2点F、F'からの距離の和が一定である点Pの軌跡を楕円といい、この点F、F'を楕円の焦点、線分FF'の中点Oを楕円の中心という。
直線FF'と楕円の交点をA、A'、中心Oを通り直線FF'と垂直な直線と楕円の交点をB、B'とするとき、1点A、A'、B、B'を楕円の頂点といい、線分AA'を長軸、線分BB'を短軸という。

3) 双曲線

(1) 双曲線の定義
2点F、F'からの距離の差が一定である点Pの軌跡を双曲線といい、この点F、F'を双曲線の焦点、線分FF'の中点Oを双曲線の中心という。
直線FF'と双曲線の交点A、A'を双曲線の頂点、直線AA'を主軸という。

図19 授業プリント1

1 Which is Oumuamua, Comet or Asteroid?

On 2017 October 19 the Pan-STARRS1 telescope system detected an object moving rapidly west at 6.2° per day (Fig. 1a). A search of images from previous nights found that the object had also been imaged on October 18.

Figure 1 | The asteroidal appearance of 'Oumuamua. a, Pan-STARRS1 discovery image of 'Oumuamua on 2017 October 19: 'Oumuamua is the faint trail centred in the red circle. Red regions are masked pixels. b, CFHT image obtained on October 22 guided at the rate of 'Oumuamua, which shows up as a point, whereas the stars are trailed. There is no extended scattered light around 'Oumuamua, that is, no hint of a dust coma.

2017 年 10 月 19 日 the Pan-STARRS1 telescope system
Oumuamua は恒星間を 1 日 6.2° の速さで「西」へ移動している。
→ Oumuamua は「彗星」もしくは「小惑星」か？

2017 年 10 月 22 日 the Canada-France-Hawaii telescope (CFHT)
Oumuamua は「点」がなかった。
→ Oumuamua は「小惑星」である。

観測態勢
Immediately after its discovery, telescopes around the world, including ESO's Very Large Telescope in Chile, were called into action to measure the object's orbit, brightness and color. Urgency for viewing from ground-based telescopes was vital to get the best data. (In: Elgriff, J. Oumuamua - NASA Data Search Examination)

2 What Speed and Direction is Oumuamua?

Figure 2 | The path of 'Oumuamua (11/2017 U1) through the Solar System. The orbit of a typical Halley-type comet is shown for comparison as the solid grey line. The inset shows the inner Solar System; the solid line segment along the trajectory taken by 'Oumuamua (otherwise dashed) indicates the short window of two weeks during which it was bright enough (median light-curve magnitude $V = 20-24$ mag) to be studied by large telescopes on Earth. The path is shown in grey when the object was below the ecliptic. Image adapted from <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/interstellar/>, Brooks Bays/SOEST Publication Services/University of Hawaii, Institute for Astronomy.

Two of NASA's space telescopes (Hubble and Spitzer) tracked the object traveling about 85,700 miles per hour (38.3 kilometers per second) relative to the Sun. Its outbound path is about 20 degrees above the plane of planets that orbit the Sun. The object passed Mars's orbit around Nov. 1 and will pass Jupiter's orbit in May of 2018. It will travel beyond Saturn's orbit in January 2019; as it leaves our solar system, 'Oumuamua will head for the constellation Pegasus.

(In: Elgriff, J. Oumuamua - NASA Data Search Examination)

Oumuamua の明るさが $(20 \sim 24)$ 等級のときの位置が分析された。
→ Oumuamua は太陽に対して秒速 (38.3 km) で移動した。
→ Oumuamua は太陽系惑星の軌道面に対して約 $(20^\circ \sim 30^\circ)$ 傾いた方向に向かっている。

図 20 授業プリント 2 表面

3 What Shape is 'Oumuamua'?

An analysis of the light curve of 'Oumuamua (Fig. 3, see Methods) indicates that its rotation period is 7.34 ± 0.06 h under the customary assumption

Figure 3 | Light curve of 'Oumuamua. All of the magnitudes have been scaled to the g-band magnitude using the measured colours, and to the geometry of October 25. Epochs are corrected for travel time for October 25. The error bars indicate 1σ photometric errors. The red dotted line corresponds to a 10:1:1 triaxial ellipsoid with a 20% variation in albedo across the surface, rotating with a 7.34 h period; the 'e' and 'x' symbols identify the two minima of the double-peaked light curve. MJD, modified Julian date.

The highly elongated shape of 'Oumuamua that is implied by its large light-curve range is very unusual. An albedo of 0.04 results in an object with dimensions of $800\text{m} \times 80\text{m} \times 80\text{m}$.

Oumuamua は (7.34 時間) の周期で「明るさ」が変化していた。
→ Oumuamua の形状として最も適当と考えられるものはどれ？

①球形

②等なる直方

③丸盤形

④不規則な直方

⑤円柱形

【理由】

→ Oumuamua は (800×80) のような形の小さな惑星である。

* Modified Julian Date (修正ユリウス日): ユリウス通日 (紀元前 4713 年 1 月 1 日正午から数えた経過日数) から 2,400,000.5 を差し引いたもの。

4 What Color is 'Oumuamua'?

Figure 4 | Reflectivity of the surface of 'Oumuamua. The surface reflectivity of 'Oumuamua is consistent with D-type asteroids¹⁰ and comets. Data are normalized to 1 at $0.65 \mu\text{m}$ and the error bars reflect the 1σ standard deviation.

Its red surface colour is consistent with the organic-rich surfaces of comets, D-type asteroids and outer-Solar-System small bodies (Fig. 4). This uniform colouring suggests that the reflectivity of 'Oumuamua is indistinguishable from that of small bodies in the Solar System; but the inferred shape is unique.

Oumuamua の表面は「赤」色であった。
Oumuamua の反射スペクトル分布は「D」型の小惑星に近似していた。

小惑星の反射スペクトル型
C-type asteroid: thought to be rich in carbon molecules, such as organics, and minerals containing water.
S-type asteroid: primarily composed of silicates. ex) Itokawa
D-type asteroid: mainly found in the outer Solar System, further from the Sun than either S-type or even C-type. They are expected to be very rich in both organics and Water-containing minerals. ex) Ryugu JAXA YouTube: What are D-Type asteroids?

→ Oumuamua は「有機物」や「含水鉱物」を含んでいると考えられる。

【感想】

1 年 組 番 氏名

図 21 授業プリント 2 裏面

（5）音楽の取り組み

高等学校学習指導要領芸術（音楽Ⅰ）では、「音楽の幅広い活動を通して学習が行われることを前提とし、音楽的な見方・考え方を働かせた学習活動によって、生活や社会の中の音や音楽、音楽文化と幅広く関わる資質・能力を育成することを目指すこと」を目標としている。今回の研究授業では鑑賞領域を扱い、「音楽的な見方・考え方を働かせた学習活動」をどのように展開していくのかを、

教科横断の視点から考えた。音楽的な見方・考え方とは、感性を働かせ、音や音楽を、音楽を形作っている要素とその働きの視点で捉え、自己のイメージや感情、音楽の文化的・歴史的背景などに関連付けることである。生徒たちは小惑星 Oumuamua について実に様々な視点から学びを深めた上で、今回の音楽の学習に臨むこととなる。「宇宙っぽいと思う音とは？」という問いから授業は始まり、生徒たちはいろいろな音を頭の中に思い浮かべる。その際宇宙をテーマにした映画音楽や電子オルガンのコスミックの音色を実際に聴くことで、宇宙っぽさを感じる音は無限にあり、そのイメージは1人ひとりの経験から自然に生まれてくるものであることを知る。そして、P. スパークが作曲した「宇宙の音楽」の鑑賞へとすすむ。知覚・感受したことを言語化し、お互いに伝えあう活動を通して、新たな価値観と出会い、音楽の多様性を理解することにつながると考えた。

鑑賞領域の学習をする上で、まず楽曲に対し興味を持つことが欠かせないが、研究授業当日の朝から英語・数学・物理・地学と同じテーマについて学習してきた生徒たちの知的好奇心は非常に高くなっており、音楽の授業を開始するその瞬間から、音楽を深く学ぼうとする主体性を強く感じた。目に見えない音を「聴く」という営みは一見簡単そうで難しく、かなりの集中力が求められる。ただ単に「聞く」のではなく、音に耳を傾け「聴く」姿勢をもたせるための場の雰囲気づくりが鑑賞領域の学習における重要な要素であるということ、今回の実践を通して改めて実感した。

宇宙と音楽

宇宙を切り口に知覚・感受を促し、「感性を高める」

・音楽Ⅰ学習指導要領[共通事項]より

ア 音楽を形づくっている要素や要素同士の関連を知覚し、それらの働きを感受しながら、知覚したことと感受したこととの関わりについて考えること。

知覚…聴覚を中心とした感覚器官を通して音や音楽を判別し意識すること
感受…音や音楽の特質や雰囲気などを感じ、受け入れること

学習内容

- ・宇宙を感じる音や音楽について考える
- ・西洋音楽史をたどる ～古代ギリシアの音楽観～
- ・宇宙をテーマにした楽曲の鑑賞【鑑賞分野】

図 22 授業の設計

表 4 音楽の授業過程

学習活動	留意点
宇宙を感じる音や音楽について考える ・宇宙を感じる音とは？ ・宇宙をテーマにした曲を聴いてみる	本授業の目標を達成するための重要な導入であり、生徒と対話しながら、ていねいに知覚・感受を促していく。
西洋音楽史をたどる～古代ギリシアの音楽観～ ・音楽の考え方「ムーシケー」について ・哲学者ピュタゴラスについて ・「ムジカ・ムンダーナ」（宇宙の音楽）について	P. スパーク「宇宙の音楽」を鑑賞するために最低限必要な音楽史の知識（古代ギリシアの音楽観や当時の宇宙に対する考え）を学ぶことで、より深く音楽を理解したうえで、音楽を聴くことにつながる。
宇宙をテーマにした楽曲の鑑賞 ・P. スパーク作曲 「宇宙の音楽」	個人ワークとグループワークを併用し、1人で楽曲と向き合う時間と、感じたことを他者と伝えあう時間の両方をバランスよくとれるようにする。

芸術 特別編「宇宙と音楽」 1年()組()番 名前()

本日の流れ

- ・「宇宙」を感じる音・音楽について考える
- ・西洋音楽史をたどる ～古代ギリシアの音楽観～
- ・「宇宙の音楽」鑑賞

メモ

【鑑賞】宇宙の音楽 Music of the Spheres フィリップ・スパーーク 作曲

THE BIG BANG	
どのような雰囲気がありますか？	どのように感じた理由（音楽的な気付きや特徴・音楽を形作っている要素がどのように変化しているのか？）

Oumumua (Music)

The piece reflects the composer's fascination with the origins of the universe and deep space in general.

1

The title comes from a theory, formulated by Pythagoras, that the cosmos was ruled by the same laws he had discovered that govern the ratios of note frequencies of the musical scale. ('Harmonia' in Ancient Greek, which means scale or tuning rather than harmony – Greek music was monophonic). He also believed that these ratios corresponded to the distances of the six known planets from the sun and that the planets each produced a musical note which combined to weave a continuous heavenly melody (which, unfortunately, we humans cannot hear). In this work, these six notes form the basis of the sections MUSIC OF THE SPHERES and HARMONIA.

2

The pieces open with a horn solo called t = 0, a name given by some scientists to the moment of the Big Bang when time and space were created, and this is followed by a depiction of the BIG BANG itself, as the entire universe bursts out from a single point.

3

A slower section follows called, THE LONELY PLANET which is a meditation on the incredible and unlikely set of circumstances which led to the creation of the Earth as a planet that can support life, and the constant search for other civilizations elsewhere in the universe.

4

ASTEROIDS AND SHOOTING STARS depicts both the benign and dangerous objects that are flying through space, and which constantly threaten our planet, and the piece ends with THE UNKNOWN, leaving in question whether our continually expanding exploration of the universe will eventually lead to enlightenment or destruction.

図 23 授業プリント

Ⅲ. 大学教員の視点から見た今回の授業

授業の流れ	Content		生徒とContentの関わり	
	英語	科学記事	背景知識・Contentへの動機付け	追体験者の 市民性の育成
	数学	天体の軌道計算	軌道計算の基礎を理解する	
	物理	二体間の力、速度、軌道	観測事実から何が謎なのか理解する	
	地学	太陽系(系外)小天体	物質科学的に謎を解き明かす	
	音楽	宇宙を感じる楽曲	生徒一人一人のものへと還元する	

図 24 本実践の展開と構造

(1) CLIL の観点から見た本実践の構造

実践の展開を図 24 に示す。本実践は英語記事をきっかけにその科学的側面を深掘りする形で数学、物理、地学へと横断し、最後に音楽を通して天体や宇宙といったテーマを生徒一人一人の考えや感じ方へと帰着させたものである。

CLIL では学ぶ内容 (Content) と言語の両方に焦点が置かれる (Coyle et al. 2010)。本実践をひと言で言えば、オウムアムアという天体について英語を用いながら学習するものであるのだが、特筆すべきは Content がさらに教科レベルに分けられた点である。数学、物理、地学、音楽それぞれの専門家がその切り口でオウムアムアを詳しく語った。英語の授業では背景知識の活性化や天体分野の語彙の学習を通して、Content への動機付けを行い、さらに深く学んでいくための準備を行う。数学、物理、地学における学習は「オウムアムアの科学」であるが、英語の盛り込み方が工夫されている。数学では理論をしっかり押さえる。物理では英語の教科書の文章を活かしながら、speed (スカラー量) と velocity (ベクトル量) を押さえ

て、力と運動との関係について学ぶ。地学ではNature誌を扱いながら、ハワイの研究者の研究成果について読み解く、しかもグループワーク（Communication）を通して、このように各教科で扱う英語の分量や中身を工夫して、次第にそして自然に、英語のレベルを上げていくのである。各教科の専門家が授業することでCognitionを低次から高次まで保証し、言語としての側面は「学ぶための言語（language for learning）」から「学びを通しての言語（language through learning）」へと学びの幅が変容していく。そして最後に音楽の授業を通して帰着するのは、オウムアムアというContentが生徒一人一人にとってどのようなものなのかという、自分自身の意識である。客観性が重要視される科学に対して、音楽は個々人の感性も重要である。自分事として捉えつつ、他者の感性や意見を受け入れながら育まれるのがCultureではないかと考えられる。Cultureで育まれる市民性が、英語の授業から音楽の授業までの一通りを通して大成されている。また、本実践後英語科において、生徒一人一人が授業を通じてのエッセイを書くことにより、学びが表出された。

（2）科学的な側面から見た本実践の意義

2-1 科学教育的な側面

科学的な成果を得るためには、まず初めに先行研究によって明らかにされている理論がある。それに対して、新たな観測結果や実験結果によって、説明すべき課題や謎が生まれる。仮説立て、実験分析を繰り返す、一つの結論に至る。このようなことを繰り返すのが、科学が展開される一つの道筋ではないだろうか。

オウムアムアの例に当てはめてみる。太陽系天体の運動を律する法則はすでに明らかにされている。しかし、ハワイ大学の観測ではオウムアムアの妙な動き、つまり太陽近傍を通過後に謎の加速運動が観測された。これはどのように説明がつくのか。幾らかの実験・分析によると、オウムアムアは太陽系外から飛来した天体であり、その構成物は多くの有機物や水を含むと考えられるDタイプ小惑星や彗星によく似ていると分かった（Meech et al. 2017）。軌道を乱したと考えられる原因は、太陽付近での天体からのアウトガスではないかと考察された（Micheli et al. 2018, Jackson and Desch, 2020）。本実践はこのような科学者の研究手順を追体験できる構成になっている。まず初めに数学の授業の中で、太陽系天体の運行を支配する法則を運動方程式から求めた。次に物理の授業で、観測されたオウムアムアの運動の不可思議な点について明らかにした。ここでオウムアムアの運動を理解するためには、オウムアムアそのものの物質科学的な特徴を明らかにすることが重要であると動機づけられる。そして、地学の授業でオウムアムアがどのような天体なのか、ライトカーブや反射スペクトルなどを使って具体的に解き明かした。このように本授業構成は、オウムアムアを科学的に解き明かすための手順を生徒たちに追体験させている。

2-2 惑星科学的な側面

惑星科学のテーマは非常に多岐にわたる。我々の太陽系の形成史、惑星の構造や表層大気、物質科学、比較惑星、太陽系小天体、そして近年では太陽系外惑星や生命の起源研究（アストロバイオロジー）など、とにかく様々である。では惑星を科学するためにはどのようなアプローチがあるか。分かりやすいのは望遠鏡を用いた観測であり、古くはガリレオ・ガリレイが行った木星や土星の観測が思いつくが、現在ではALMA(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)やLBT(Large Binocular Telescope)、すばる望遠鏡など世界各地の大型望遠鏡が天体の姿を捉えている。オウムアムア以降2例目の恒星間天体であるボリソフ彗星も（観測施設MARGOにて）地上の望遠鏡から発見された（例えばGuzik et al. 2020）。これまで運用されてきたスピッツァー宇宙望遠鏡やケプラー宇宙望遠鏡の活躍、そして先日（2021年12月24日）打ち上げられたジェームズウェッブ宇宙望遠鏡など宇宙からの観測という手もある。運用のためには天体の位置を計算することが必要であり、また光学系から得られるデータを読み解いて、天体の物理化学的な性質を明らかにすることができる。

隕石や宇宙塵などの地球外物質を回収して分析するという手もある。地球外の物質を解き明かす直接的な証拠ではあるものの、地球環境による汚染や風化が強敵である。そこで昨今、先進国が切磋琢磨しながら進めているのが地球外探査というわけで、探査機がその場で分析したり、サンプルリターンしたりして地球外物質をできる限り新鮮な姿で理解しようと試みている。2020年のはやぶさ2の帰還は記憶に新しい。注目すべきは水を含んだ鉱物である含水鉱物とともに、有機物の存在である。溶媒に可溶な成分として、アミノ酸や糖などといった有機分子が隕石などから抽出されている（Kvenvolden et al. 1970, Furukawa et al. 2019）。こういった生体関連有機物の存在が、そのまま地球上生命のルーツに関わる問題として、積極的に

研究されている。

他にも理論を立てて、計算機でシミュレーションを行うという手立てがある。太陽系の形成を考える古典的な理論では塵の集積による微惑星の形成、微惑星の衝突合体による惑星の形成が現在の惑星の位置で生じたと考えられている。しかし、この標準モデルには課題があり、例えば各惑星の形成に必要な時間がかかり過ぎる問題やメートルサイズ以降の合体成長の困難（ガス抵抗による角運動量の減少に伴って、太陽への落下が速くなる）などである。こういった問題に対応しながら、もっともらしい形成論を見つけていくためにシミュレーションが大事になる。太陽系外においてたくさんの惑星系が見つかるようになり、今後それらに見られる多様性もうまく統一的に説明できるようになるかもしれない。

これらに加えて最後に重要なアプローチが実験である。これは仮説立てとも、検証とも言える。ある天体の条件下でどのような現象が起こり得るのか、理論によって予測されることが実際に確認できるのかなど、人の手で再現するのである。

以上のような様々なアプローチを組み合わせることで、惑星科学の幅広いテーマの解明が進められている。複数の立場から、現象や理論の確からしさを構築していく。テーマやその手段の幅広さを見てわかる通り、惑星科学の中では、光学、分析化学、気象学、地質鉱物学、スーパーコンピュータ、宇宙生物学、その他非常に多くの現代の科学が活躍している。言い換えれば、惑星科学という題材は分野横断が当然のことのようである。本実践の話に戻るが、上記の意味で、惑星科学を地学の教科内だけでなく、数学や物理と横断できたことに大きな意味がある。また、上記のような惑星科学への様々なアプローチの枠組みで考えると、観測系の研究者に近かったように思われる。運動方程式に始まる古典理論の出発点に立つことや、観測データを分析的に解釈する姿勢などが、実践内容として高校生レベルで準備されていたものと考えられる。実践を通して、高校生たちが個々に違った方向の関心を持ったことであろうし、今後もアプローチを変えれば、幅広いテーマが惑星科学の中にまだまだ発見できるのではないかと考える。

本実践の授業構成から、中でも特筆されると考えられる点を以下にまとめる。

- ・ Content が分割され、各教科の専門家によって語られたこと。
- ・ 教科を横断しながら、学習言語の幅が広がっていったこと。
- ・ 生徒が科学者の経験を追体験できたこと。
- ・ 運動方程式に始まる古典理論の出発点に立つことや、観測データを分析的に解釈する姿勢などが、実践内容として高校生レベルで準備されていたこと。
- ・ 科学による客観性を大事にしながらも、最終的には生徒一人一人の自分事に還ること。

IV. 教科横断アンケート結果

1 英語

(1) 初めて英語の授業で教科横断型授業について聞いた時、どのように思いましたか？」の問いに対し、大変面白そう（32.60%）、面白そう（48.60%）、普通（7.20%）、関心なし（0.70%）であった（図 25）。教員が突然、何か新しいことを複数の教員でやろうとしているというのは、生徒にも楽しそうだと共感してもらえるものになった。



図 25 アンケート 1

記述アンケートをテキストマイニングで分析した（図 28, 29）。ワードクラウドによると、スコアが高い単語を複数選り出し、その値に応じた大きさで図示。単語の色は品詞の種類で異なり、青色が名詞、赤色が動詞、緑色が形容詞、灰色が感動詞を表す。生徒たちにとって、協同学習の手法の JIGSAW 法が印象に残る学びであり、「宇宙」「オウムアムア」という内容語、「単語」に関しては単語帳を使っている学びとは違う長文の中で出てくる科学用語の学びも印象に残ったということが読み取れる。何よりも「残りやすい」という語も頻度が高くなっている。

また、頻度出現順（図 29）では、「楽しい」という感情表現が一番多かった。協同学習で友と共に学べる楽しさ、そして、内容に関してこの学びが楽しかったことがわかる。また、「できる」「英語」「面白い」「思う」といった語がその後に続いている。英語で学ぶことが楽しいにつながっていることがわかる。

2 数学

全体としては難しいと感じる生徒が多いようだが、微分とは何かを理解できた生徒は多かったように感じる。どのクラスでも当てた生徒は正解を答えている。これは、極限をとる前の微分の定義の式の分子、分母、分子/分母がそれぞれグラフ上で何を表すかをおさえた上で極限をとることで、視覚的に微分を捉えることができたからだと考えられる。研究授業後の希望者対象授業では、参加した生徒は内容を理解できたと答えており、興味を持って高度な内容に挑戦し、理解した生徒も一定数見られた。

3 物理

『今回の物理の授業を受けたことで、今後の「英語」の学びに対する意欲はどう変化したか』という問いに、「高まった」または「やや高まった」と回答した生徒の割合は 37.2%であった。『何かの科目を学ぶ際に他の科目の領域のことであっても合わせて調べたり学んだりすることは「自分にとって有益だ」と感じるようになった』と回答した生徒の割合は 56.2%であった。1. ①で述べた、教科横断的な学びや主体的な学びの有効性を感じてもらいたいという目標を一定程度達成できたと考える。また、記述式アンケートへの回答には「物理を使えば、科学者と同じような考え方で物事を見ることができると感じた」、「物理を使うことで、日常生活や宇宙など沢山の物理現象が分かったと分かった。」、「力の話で全ての運動が説明できる（はず）だと分かり、さらに興味が増した。」「物理という分野に対して抵抗があったけど、授業を受けている中で、そういえば、数式で全部表せるって、凄いことやん！と世界が開く瞬間があった。」といった類の記述が複数あった。3. iiiやvで示した、物事を物理的な見方で捉えようとする姿勢の育成や現象を数式で表したり処理したりすることの有用性を感じてもらいたいという指導のねらいも、一定程度達成できたと考える。「この小惑星以外にもおかしな動きをしている物体がないか気になりました。」という、探究心の発芽といえる記述も見られた。授業者として特に興味深かったのは、「宇宙でも力が働くのは少し不思議だと思いました」という、重力場や近接作用説・遠隔作用説といった高度な考え方に繋がる気付きの記述があったことである。これらの考え方は上位科目「物理」で扱う内容であるが、教師主導ではなく生徒が今回の学びの中から自然とそうした上位概念の入り口を見出したということに、広がりや自由さのある学習テーマでの学びや教科横断的な柔軟な学びのもつ可能性を感じた。

4 地学

生徒の記述より、「英語の文章を読んでいて今までに習ったことが出てきた際、すごくワクワクした。」と、2学期に天文分野の学習をした効果が見られた。また、「地学の専門用語や、地学に適切な表現が英語の教科書では誰でも読めるように簡単に表されていることが衝撃でした。英語の教科書の長文は読めても、自分は英語がまだまだなんだなと思いました。」、「英語の授業だけではオウムアムアが彗星かもしれないと思われていたなんて事は知りえなかったし、いつもは論文を和訳していただけたので先生にグラフから読み取らなければならない、ということ言われてこれからは付属の図からも読み取ろうと思った。」など、科学論文を用いることで、英語の題材から科学研究へも興味を広げることができたことがわかる。さらに、科学論文を読解する際にジグソー法を用いたことで、「普段なら絶対英語のままの論文なんて読まないけど、4つに分けて協力しながら読んでみると意外と理解出来ることが多くて楽しかった。」、「同じ図を、選んだ人同士で協力して解決することで自分の分かっていることを相手に伝え、相手の分かっているところを教えてもらい、結果として全員が理解出来るというのは良いやり方だと思った。」など、手法が有効であることに加え、

「英語の論文を読むのは初めてでしたが、数値や、論文に特徴的な構文を読み取ることによって情報を得られたので、面白いと感じました。」と、科学論文の特徴を理解し、読解する達成感があったことがわかった。

5 音楽

記述解答（生徒アンケートより）

- ・宇宙という人間には計り知れないものを想像して音楽を作ることにとっても感動を覚えた。人それぞれ宇宙への感じ方は異なるが音を聞いたら宇宙を想像できるという人間の想像力にも驚かされる。
- ・最初は一体どのようにしてオウムアムアに繋げるのかが不思議でしたが宇宙の曲を通して音楽の無限大の可能性を学ぶことを知りました。有限な楽器の種類から無限大の宇宙を表現することがとてもすごいとおもいました。音は無限大の宇宙，言語と同じようなものなのかも知れないと感じました。これまで不思議な小惑星について色々な視点からの授業を受けてきたから，メロディーを聞いた時に自分の中の宇宙にずっと入り込んでイメージを膨らませることができた。ひとつの塊の中でもメロディーが変化して行って，ストーリーがあるようで面白いと思った。
- ・一曲の音楽で様々な工夫がされており，それが聞く人にとっていろいろな受け取り方をされていて，音楽には素晴らしい力が秘められていると思われました。
- ・自分の意見と全く正反対の子もいて，改めて音楽性というものは人それぞれなんだと感じた。

生徒アンケートより，わずか 50 分という限られた時間の中で，生徒たちは感性を働かせ，幅広い視点から様々なことを感じ取ったのを見て取れる。決められた知識を順序立てて学ぶのではなく，感じ方から音楽を深めるといった思考の流れは，多様化する社会においてますます重要になっていくであろう。コロナ禍でマスク着用がスタンダードとなる中，表情が半分見えないという状態で日々生活している。そのような状況だからこそ私たち人間がコミュニケーションする上で，「感じる力」は重要であり，音楽の授業を通して，人それぞれの感じ方を大切にしたい自己表現力を高める取り組みをすすめていきたい。

6 全体

教科横断の取り組みは生徒にとって，教員の研究に携わることができた，という喜び，そして，新しいやり方に対する期待感が大きい。授業が終わってからも，「次はいつ教科横断をするのですか？」や「どの教科と繋がるのですか？」といった質問も受けた。生徒自体の感覚として，教科横断の取り組みは成功したのではないかなと思う。

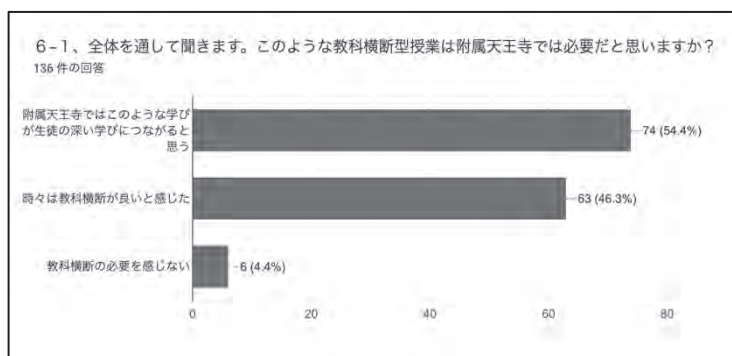


図 30 全体アンケート 1

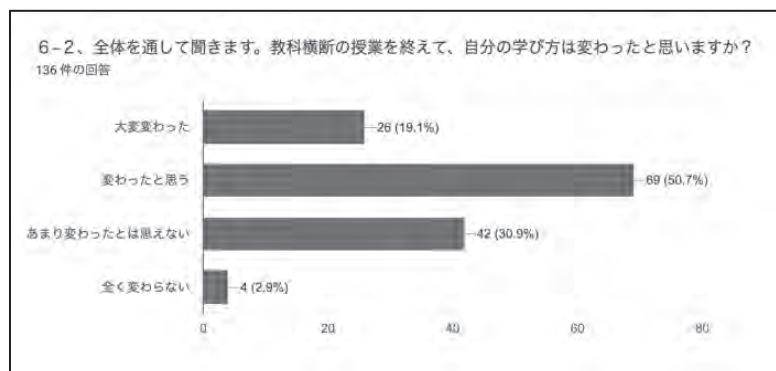


図 31 全体アンケート 2

学び方の変容（図 31）については，約 50 % の生徒が変わった，20 % が大変変わったと答えている。多角的に学ぶことができたということがよくわかる。

6-3、6-2で「大変変わった」、または「変わった」と思うを選んだ人はどのような変容があったと思いますか？

自分一人でやる時には気づけなかったところに気づけたり、必要な能力（協調性、コミュニケーション能力）などが身についたように感じた。

凄く多角的な物の見方をすることが出来たと思います。英語のみの学習だと、オウムアムアについてではなく英文法や単語についての記憶が強いですが、他の授業も同じく沢山の視点から見ることで1つの物事を内容深く知ることが出来るようになりました！

一つの教科だけを頑張るよりも、いろんな教科と一緒に学んで行った方が、楽しいし学びも深まると感じるようになった。

教科ごとに線引きをせずに、連立させて考えることでより理解が深まり、ほかの分野に対する興味も湧いてくるということを体感し、普段の学習でも活かしていきたいと思うようになった。

図 32 全体アンケート 3

6-4、全体を通して感想を最後をお願いします

複数教科を跨いで同じテーマで学習するのは斬新ですごく楽しかった。準備や時間を取るのが困難という点があると思いますがまた機会があればやってみたいです。

今回5教科のみの教科横断でしたが、本来全ての物事は色々な物の見方があるのであって英語・数学・物理・地学・音楽だけでは全てを表しきれないと思った。普段から英語は英語の授業、国語は国語の授業、だけでなく沢山の教科から見て視点を変えてみようと思う。

一つのトピックをたくさんの教科を通して学ぶというのは初めてのことで最初は戸惑っていましたが振り返ってみるとそのトピックについて深く理解を得られると共に各々の教科についても学ぶことができ一石二鳥のような授業システムで画期的な構想だと感じました。面白かったです。

英語の教科書に書かれていた注目すべきワードについて、それぞれの教科で様々な視点から考えることによって私たちのoumuamuaに対する理解を深めることが出来て、各教科の繋がりを考えることが出来た。これからもやって欲しいと思うほど良いものだった。

図 33 全体アンケート 4

記述では、「協調性、コミュニケーション能力が身についた」とある。また、単に英文を読むのでは深まらなかったであろう事柄が、他教科の学びを通して、英文の深い読みにつながったということがよくわかる（図 32, 33）。

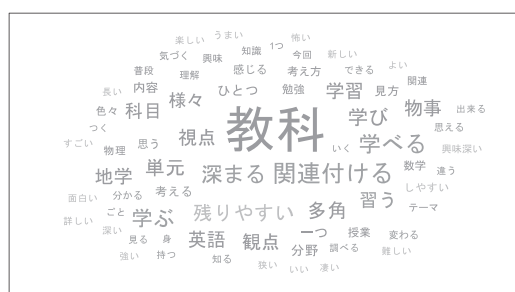


図 34 全体アンケートのテキストマイニング

1つ1つの「教科」があり、「関連づける」ことで、「学べる」「深まる」。また、その学びが「多角的」「残りやすい」ものとなっている。

教科横断とは、それぞれの教科の知識が基盤にあり、その知識が移転（transfer）することが重要である。生徒が各教科での学びのつながりを意識し、知識の断片ではなく構造化された知識となることが明らかになった。

IV. 最後に

年度の当初には教育研究会には英語の発表を考えていたが、この研究の初まりは、CLIL を専門としている池田真先生に助言を求めたいというところから始まった。他校の取り組みや研究論文から刺激を受け、教科横断へと向かうよう後押しされたように感じる。教科横断といってもさまざまである。今回は1つのテーマに基づき、専門性を生かした教科横断の形をとった。次期指導要領を見ても、社会の流れが、生徒の思考を統合的に捉え、それを生かして将来社会へと出た際に活用できる能力が求められていることがわかる。英語の役割は、単なる導入にすぎず、専門的な学びを経て、再び英語教材を生徒が見ると自然な流れの中で深い学びへ導かれていたことがわかった。この実践を通して教員自身にも協同性が求められ、その中で教員の個性を活かしながら専門性が求められていることがわかった。他教科との連携は、自分の教科の進度、目標だけでなく、他教科の狙いや内容も理解して協同する必要があることを感じた。また、教員5人が連携し、楽しそうに授業を準備、実践している姿を生徒に見せることこそ、生徒の学びの喜びにつながっていることを生徒から教えられた。本校は、行事を通して、高大連携ができており、生徒たちが近い将来、大学で身に着けることを見据えて、高等学校での学びがあることを意識する必要があると感じた。教科横断を実施してみて気づいたことが多く、見直すべき点も見つかった。今後は、コンテンツだけではなく、コンピテンシーでの教科横断も視野に入れながら次年度の研究に繋げていきたい。

謝辞

上智大学池田真教授には、5時間連続で授業を見ていただき、それぞれにご指導のお言葉をいただきました。またコロナ感染が広がる中、1月29日（土）教育研究会に大阪までお越し頂き、教科横断の英語の位置付けについてご指導賜りました。感謝申し上げます。

参考文献

- ・MAINSTREAM English Expression I Second Edition 増進堂 平成28年3月17日
- ・NATIONAL GEOGRAPHY READING EXPLORER FOUNDATIONS THIRD EDITION STUDENT BOOK (2019)
- ・池田真, 渡部良典, 和泉伸一 CLIL 内容言語統合型学習第3巻 上智大学出版 (2016)
- ・高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 外国語編英語編 文部科学省 (平成30年)
- ・STEPHEN HAWKING “BRIEF ANSWERS TO THE BIG QUESTIONS from Stephen Hawking” John Murray Publishers Ltd (2018)
- ・高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編理数編 文部科学省 (平成30年)
- ・白井俊 OECD Education 2030 プロジェクトが描く教育の未来 (2021)
- ・<https://www.cnee.jp> 朝日出版
- ・K. J. Meech, R. Weryk, M. Micheli, J. T. Kleyna, O. R. Hainaut, R. Jedicke, R. J. Wainscoat, K. C. Chambers, J. V. Keane, A. Petric, L. Denneau, E. Magnier, T. Berger, M. E. Huber, H. Flewelling, C. Waters, E. Schunova-Lilly and S. Chaste. A brief visit from a red and extremely elongated interstellar asteroid Nature 552, 378-381 (2017)
- ・高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 芸術編音楽編 文部科学省 (平成30年)
- ・Music of the Spheres - Concert Band - Philip Sparke ホームページ
<https://www.philipsparke.com/music-of-the-spheres-concert-band>
- ・D. Coyle, P. Hood, D. Marsh. Content and Language Integrated Learning. Cambridge University Press, Cambridge. (2010)
- ・M. Micheli, D. Farnocchia, K. J. Meech, M. W. Buie, O. Hainaut, D. Prialnik, N. Schörghofer, H. A. Weaver, P. W. Chodas, J. Kleyna, R. Weryk, R. J. Wainscoat, H. Ebeling, J. V. Keane, K. C. Chambers, D. Koschny, A. E. Petropoulos. Non-gravitational acceleration in the trajectory of 1I/2017 U1 (‘Oumuamua). Nature, 559, 223-233. (2018)
- ・S. J. Jackson, A. P. Detch. 1I/ ‘Oumuamua as an N2 Ice Fragment of an Exo-Pluto Surface II: Generation of N2 Ice Fragments and the Origin of ‘Oumuamua. Journal of Geophysical Research: Planets, 126, e2020JE006807. (2018)
- ・P. Guzik, M. Drahus, K. Rusek, W. Waniak, G. Cannizzaro, I. Pastor-Marazuela. Initial characterization of interstellar comet 2I/Borisov. Nature Astronomy, 4, 53-57. (2020)
- ・K. Kvenvolden, J. Lawless, K. Pering, E. Peterson, J. Flores, C. Ponnampetuma, I. R. Kaplan, C. Moore. Evidence for Extraterrestrial Amino-acids and Hydrocarbons in the Murchison Meteorite. Nature, 228, 923. (1970)
- ・Y. Furukawa, Y. Chikaraishi, N. Ohkouchi, N. Ogawa, D. P. Glavin, J. P. Dworkin, C. Abe, T. Nakamura. Extraterrestrial ribose and other sugars in primitive meteorites. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116(49), 24440-24445. (2019)

CLIL-Based Learning Throughout Five Subjects

～ Cross-curricular Initiatives to Expand Students' Curiosity ～

INUI Madoka ・ IMURA Yuri ・ FUKAZAWA Yoshinari ・ FURUKAWA Yusuke
YAMAGUCHI Koji ・ HIRAKAWA Naoki

Abstract: This is a practical report regarding cross-curricular classes on a common theme. The target grade was the first year of high school, and the class was conducted as a compulsory class in five subjects (English, physics, mathematics, geology, and music). In setting the theme, we considered materials that would expand on what the students had learned in the junior high school curriculum with a focus on science, which is characteristic of our school. In this study, we will examine how students felt about the cross-curricular activities and what kind of growth can be seen.

Key Words: CLIL, Cross-curricular, Curriculum Management, Collaborative Learning, Oumuamua