

高校生のための相対性理論

長 一真*

The Theory of Relativity for High School Students

Kazuma CHO

要旨 筆者の勤務校である大東学園高等学校で開講されている高等学校理科「物理」の授業では、第3学年に「物理基礎（週2時間：必修）」と選択科目として学校設定科目「物理A（週2時間）」がカリキュラムとして用意されている。物理Aの授業を選択している生徒の中には、物理学に興味や関心をもっている生徒も多く、相対性理論についても学んでみたいという要望もあり、物理Aの授業の中で、相対性理論の内容を取り入れた授業を展開した。高校生にも相対性理論がどのような学問なのかを理解できるように、視聴覚教材等を用いて、高校生が相対性理論を学ぶことの意義について考察する。

キーワード：高等学校物理 理科教育 物理教育 数学教育 相対性理論

1. はじめに

筆者の勤務校である大東学園高等学校で開講されている高等学校理科の授業では、第1学年に「化学基礎（週3時間：必修）」、第2学年に「生物基礎（週2時間：必修）」、第3学年に「物理基礎（週2時間：必修）」がカリキュラムとして用意されている。その他、選択科目（学校設定科目）として、第2学年に「化学実験（週2時間）」、「地学基礎（週2時間）」、第3学年に「物理A（週2時間）」、「化学A（週2時間）」、「生物実験（週2時間）」がカリキュラムとして用意されている。

筆者の勤務校で開講されている高等学校理科「物理」の授業について、第3学年の必修「物理基礎」では、主に、物体の運動とエネルギー（速さと速度、加速度、運動の法則、運動方程式、仕事、運動エネルギーと位置エネルギー、力学的エ

ネルギーの保存）の内容を扱うことを前提として開講している。選択科目（学校設定科目）「物理A」では、必修の物理基礎で扱わない内容を取り入れることを前提に「電気」、「熱」、「波」、「音」、「エネルギーとその利用」について理解を深めることとしている。

物理Aの授業を選択した生徒25名にアンケート調査を行った結果、物理学に興味や関心をもっている生徒も多く、相対性理論という語を聞いたことはあるが、どんな学問なのかは詳しくは知らないため、学んでみたいという声もあり、物理Aの授業の中で、相対性理論の内容を取り入れた授業を展開した。なお、具体的なアンケート調査の方法とその結果については、2章で述べる。

高校生にも相対性理論がどのような学問なのかを理解することができる授業展開および高校生が相対性理論を学ぶことの意義について考察する。

本論文の構成は以下の通りである。2章では、アンケート調査の方法・質問項目・結果・考察を

* ちょう かずま 大東学園高等学校

述べる。3章では、相対性理論の内容を取り入れた授業の実践方法について考察する。最後に、今後の課題について4章でまとめる。

2. アンケート調査の方法

2-1 ねらい

物理Aの授業をはじめるとあって、生徒がどれくらい物理学に興味や関心をもって本授業を選択したのか、また、高等学校3年間で理科の授業を選択科目(学校設定科目)も含めて、どれくらい学習してきたのか等を確認するためにアンケート調査を行った。このアンケート調査では、相対性理論に関する質問項目もいくつか用意し、相対性理論の授業を展開する前段階で、生徒がどれくらい知識を身に付けているのかを明らかにする。

2-2 調査方法と質問項目

今回は、物理Aの授業をはじめるとあって(相対性理論に関する質問項目も含む)質問紙法により合計11項目について回答を求めた。

1つ目は、物理Aという授業に対するイメージを尋ね、自由記述とした。

2つ目は、なぜ、物理Aを選択したのかを尋ね、自由記述とした。

3つ目は、高等学校理科で学ぶ4科目「物理」、「化学」、「生物」、「地学」の中で一番興味があるものを尋ねた。また、そのように答えた理由について、具体的に記述するように指示をした。

4つ目は、筆者の勤務校で開講している選択科目(学校設定科目)をどの程度選択し、学習してきたのかを尋ねた。この質問事項については複数回答可とした。

5つ目は、相対性理論を知っているかどうかを尋ねた。「知っている」と答えた者には、どこでその言葉を聞いたことがあるのかを具体的に記述するように指示をした。

6つ目は、物理学者「アインシュタイン」を知っているかどうかを尋ねた。「知っている」と

答えた者には、どこでその人物の名前を聞いたことがあるのかを具体的に記述するように指示をした。

7つ目は、「タイムマシン」は、存在可能かどうかを尋ねた。また、そのように答えた理由について、具体的に記述するように指示をした。

8つ目は、相対性理論に関する書籍(本・漫画・雑誌)を読んだことがあるかどうかを尋ねた。「読んだことがある」と答えた者には、どのような書籍を読んだことがあるのかを具体的に記述するように指示をした。

9つ目は、相対性理論に関する映画やテレビ等を視聴したことがあるかどうかを尋ねた。

10番目は、過去に戻ることができたら、何をしたいかを尋ね、自由記述とした。

11番目は、未来に行くことができたら、何をしたいかを尋ね、自由記述とした。

以上の11項目がアンケートの項目である。なお、回答者の属性については尋ねなかった。

2-3 調査対象

調査対象は、筆者の勤務校である大東学園高等学校の高等学校理科における選択科目(学校設定科目)「物理A」を選択した第3学年の生徒25名とした。

2-4 アンケート調査の集計結果とその分析

1つ目の質問項目について、結果を表1にまとめた。

表1 物理Aという授業に対するイメージ

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> 難しい(8票)<input type="radio"/> 計算が多い(7票)<input type="radio"/> もう少し物理を詳しく学べそう(2票)<input type="radio"/> ほぼ数学<input type="radio"/> この学校でも希少な理系科目<input type="radio"/> 理科系の科目である<input type="radio"/> 実験があるイメージ<input type="radio"/> おもしろそう<input type="radio"/> 楽しそう<input type="radio"/> 物体にはたらく力を計算で求めるイメージがある<input type="radio"/> 物理を具体的に学んだことがないので、どのような授業なのかを学びたい |
|--|

2つ目の質問項目について、結果を表2にまとめた。

表2 なぜ、物理Aを選択したのか

- 大学で物理を使うと思ったから (4票)
- 苦手意識を克服したいから (4票)
- 進路および受験対策に必要 (3票)
- 理系が好きだから (2票)
- 将来使えると思ったから (2票)
- 理学部に行く時に必要だと思ったから
- 調理系に行く時に必要だと思ったから
- プログラミングを学ぶ時に必要だと思ったから
- 小説を書く時に必要だと思ったから
- 物理を学ぶことで、釣りをする時に活かすことができると思ったから
- ギタークラフトの専門学校に進学するにあたって、弦の張力などの力のかかり方を求められるようにしたいから
- この学校では理系の選択科目が少ないから
- 物理に興味があったから
- 地学が好きで、物理にも興味があったから
- どんな授業なのか気になったから

3つ目の質問項目について、結果を表3にまとめた。

表3 高等学校理科で学ぶ4科目の中で一番興味がある科目について

科目名	回答数
物理	13
化学	1
生物	8
地学	3

表3より、物理Aを選択している生徒に実施したアンケートであったということもあり、高等学校理科で学ぶ4科目の中で一番興味がある科目は「物理」が最も多い結果が得られた。また、そのように答えた理由について、以下に各々の科目ごとにまとめた。

物理を回答した者は、将来一番使う科目であると感じる、おもしろそうである、物理を学ぶことで身近で起こっていることがよく分かるようになる、自分のやりたいことに一番直結する科目である、数学で学んだベクトルを活かすことができそうである(ベクトルが好きだった)等の理由によるものであった。

化学を回答した者は、数学で学んだことを化学の計算問題などで活かすことができるという理由によるものであった。

生物を回答した者は、生物を学ぶのが一番楽しくておもしろい、動物をはじめ生き物が好きである、計算問題が他の科目に比べて少ない等の理由によるものであった。

地学を回答した者は、地学を学ぶと理科全般の事象を説明することができると思う、2年生の時に地学基礎を選択して興味をもった等の理由によるものであった。

4つ目の質問事項について、結果を表4にまとめた。なお、物理Aについては、アンケートを実施した調査対象である生徒25名全員が選択し、履修しているため、物理Aは除いた上で結果をまとめた。

表4 筆者の勤務校で開講している選択科目(学校設定科目)をどの程度履修したか

科目名	回答数
化学実験	1
地学基礎	2
化学A	7
生物実験	8

表4より、筆者の勤務校で開講している選択科目(学校設定科目)について、物理Aを除いた4科目全てを選択した者はいなかった。また、物理Aを除いた4科目のいずれも選択していないと答えた者は、11名であった。いずれも選択していないと答えた者のうち、理科の中でも、物理以外に興味がないと答えた者もいた。

5つ目の質問項目について、相対性理論を、16名が「知っている(聞いたことがある)」と答え、9名が「知らない(聞いたことがない)」と答えた。「知っている(聞いたことがある)」と答えた者のうち、どこでその言葉を聞いたことがあるのかを尋ねたところ、テレビやネットで相対性理論には特殊相対性理論と一般相対性理論があるということを知った、アインシュタインの伝記を読ん

だ時に聞いたことがある、科学に関する動画を視聴した時に聞いたことがある等の回答があった。相対性理論という言葉は聞いたことがあるものの、具体的な内容については分からないと回答した者もいた。

6つ目の質問項目について、物理学者「アインシュタイン」を、24名が「知っている（聞いたことがある）」と答え、1名が「知らない（聞いたことがない）」と答えた。「知っている（聞いたことがある）」と答えた者のうち、どこでその人物の名前を聞いたことがあるのかを尋ねたところ、博物館に行った時に知った、本や漫画で見たことがある、舌を出している写真が印象的である、電気に関する発明を行った人である、理科や数学の授業で聞いたことがある等の回答があった。「知っている（聞いたことがある）」と答えた24名のうち、1名がアインシュタインは、相対性理論について考えた人物であると答えた。

7つ目の質問項目について、「タイムマシン」を、9名が「存在可能である」と答え、16名が「存在不可能である」と答えた。「存在可能である」と答えた者の理由として、光の力を使って未来に行くことはできるが、光の速さを超える物質が無いと過去に戻ることはできないということを知ったことがあるから、光の速さを超えることにより、自分の流れる時間が遅くなり、未来に行けると聞いたことがあるから、未来人がいると言われているから、人間がタイムマシンを使いこなせるかどうかは別として、存在させることは可能であると思ったから、意識だけなら、過去や未来にとばすことができると思うから等の回答があった。一方「存在不可能である」と答えた者の理由として、タイムマシンを存在させることは不可能であると思うし、実現させることはできないと思うから、光より速いものを発明することはできないから、今の技術では発明することは難しいと思うから等の回答があった。「存在可能である」、「存在不可能である」と答えたその理由を「光の速さ」という語を用いて説明した者は4名であっ

た。

8つ目の質問項目について、相対性理論に関する書籍（本・漫画・雑誌）を、3名が「読んだことがある」と答え、22名が「読んだことがない」と答えた。「読んだことがある」と答えた者のうち、どのような書籍を読んだことがあるのかを尋ねたところ、『ニュートン (Newton)』の雑誌、『アインシュタインの伝記』、『炎炎ノ消防隊』の漫画で読んだという回答があった。本校の学校図書館には『ニュートン (Newton)』の雑誌がテーマごとに揃えられているということもあり、学校図書館を利用したことで知ったという回答もあった。

9つ目の質問項目について、相対性理論に関する映画やテレビ等を、5名が「視聴したことがある」と答え、20名が「視聴したことがない」と答えた。「視聴したことがある」と答えた5名のうち、3名は8つ目の質問項目で、相対性理論に関する書籍（本・漫画・雑誌）を読んだことがあると回答した者であった。

10番目の質問項目について、結果を表5にまとめた。

表5 過去に戻ることができたら、何をしたいか

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ◇勉強をもっとする（5票） ◇分からない（4票） ◇宝くじを買う（2票） ◇宇宙ができた理由や仕組みが分かる手がかりになるものを探す ◇特にやりたいことはない ◇歴史に名前を刻みたい ◇後悔した時に戻りたい ◇過去の失敗をやり直したい ◇賭け事で一儲けしてみたい ◇自分の本当にやりたいことをする ◇今までに発明された物の技術を理解し、自分が発明した世界に作り変える ◇受験をする ◇もっと充実した毎日にする ◇自分に起きた過去の出来事を変える ◇自分の性格を変える ◇旅をする ◇自由に過ごす |
|---|

11番目の質問項目について、結果を表6にまとめた。

表6 未来に行くことができたなら、何をしたいか

◆未来の自分に会いたい (11票)
◆分からない (5票)
◆思いつき遊びたい (3票)
◆結婚生活を体験したい
◆旅をする
◆元の世界に戻る方法を探す
◆最新の技術を使って幸せに過ごす
◆今後の世の中がどうなるのかを見たい
◆宝くじの当選番号を見に行く

以上のアンケート調査の集計結果とその分析を踏まえて、相対性理論の内容を取り入れた授業の実践方法と指導の現状について次の項目でまとめる。

3. 相対性理論の内容を取り入れた授業の実践方法

ここでは、筆者の勤務校で開講されている選択科目(学校設定科目)物理Aにおいて、高校生にも相対性理論がどのような学問なのか理解することができるように授業展開の実践方法についてまとめる。

3-1 相対性理論の内容を取り入れた授業の展開例(2019年度実施分)

時間数を1時間あたり50分の授業として、合計10時間の授業を展開した。

1時間目は、相対性理論とは何かを生徒に問いかけ、相対性理論の授業前アンケートを実施した。アンケート内容の詳細は2章で述べたものである。アンケートの後、相対性理論に関する動画(約5分程度)を視聴させ、相対性理論とは、どのような学問なのかを簡単にイメージできる内容とした。

2時間目は「過去に行けるということ」、「未来に行けるということ」とは、一体どういうことなのかを考えさせる内容とした。相対性理論にはアインシュタインが先に発表した「特殊相対性理論」と「一般相対性理論」の大きく分けると2種類があることを説明した。その後「相対」という語の対義語(反対語)は何に値するのかを調べさ

せ、「相対」という語句の意味を重点におくことを図る内容とした。また、時間の進み方は、世界のどこでも同じである(時計が日本にあらうがアメリカにあらうが、月面上にあらうが宇宙空間にあらうが、どこに置いても同じ速さで時間が進む)ということを伝えた。また、あるトンネルの長さをゆっくり歩きながら測った場合と高速で移動しながら測った場合とで値が変わることもないということを伝え「絶対時間」と「絶対空間」について説明をした。

3時間目は、アインシュタインの疑問『光速で動いたら、目の前の鏡に自分の顔は映るのか?』について、この疑問について、自分自身の考えを書かせながら、電車の速さは立場によって変わることを図や具体例を用いて説明をした。具体例として『時速100kmで走っている電車と同じ向きに時速50kmで走っている車に乗っている人が時速100kmで走っている電車を見ると、どうなるか。』、『時速100kmで走っている電車と同じ向きでかつ、同じ時速100kmで車が走った場合、車に乗っている人が時速100kmで走っている電車を見ると、どうなるか。』ということを考えさせ、観測者が動くものの速さの見え方も変わるということを理解させる内容とした。

4~9時間目は、相対性理論の内容(特に時間の進み方および遅れ方という点に重点を置いた)を理解させるために『バック・トゥ・ザ・フューチャー』の映画をパート1からパート3まで視聴させ、過去に戻るということ、未来に行くということについて考える授業を展開した。映画を視聴する上で、映画の内容について問う(一問一答式)問題や自分の言葉でまとめるレポート課題をいくつか提示した。その例を4つピックアップし、表7にまとめた。

10時間目は、さらに相対性理論の内容の理解を深めることができるように「双子のパラドックス」の内容を取り上げ、授業を展開した。双子のパラドックスについては、図等を載せたプリントを配布し、双子の兄と弟の歳の違いの要因は、兄

の慣性系が「行き」と「帰り」で違う、つまり、運動の方向を変えているという点について説明し、この双子のパラドックスの現象が起きることを理解させる授業を展開した。双子の兄の運動、つまり、方向転換の様子については、図1を用いて説明をした。

表7 映画『バック・トゥ・ザ・フューチャー』を視聴する上でのレポート課題の例

- (1) パート2では、ビフがスポーツ年鑑を手に入れ、過去に戻り、幼い頃の自分に手渡したことにより、別の1985年を作り上げたことで、元あった1985年とは、180度違う世界となってしまった。もし、ビフと同じように、未来でスポーツ年鑑を手にした場合、あなたならどのような行動を取りますか？そして、どのような世界を作り上げますか？
- (2) ドク博士は、映画のシーンの場面でよく「自分の未来は知らない方が良い」と言っていたが、それはどうしてだと思いますか？
- (3) 主人公のマーティとドク博士のように、「タイムマシン」を作り、過去や未来をタイムトラベルしたいと思いますか？
- (4) 『バック・トゥ・ザ・フューチャー』をパート1からパート3まで視聴したが、もし、パート4を上映するとしたら、どのようなあらすじで上映したいと思いますか？

3-2 授業実践についての考察 その1

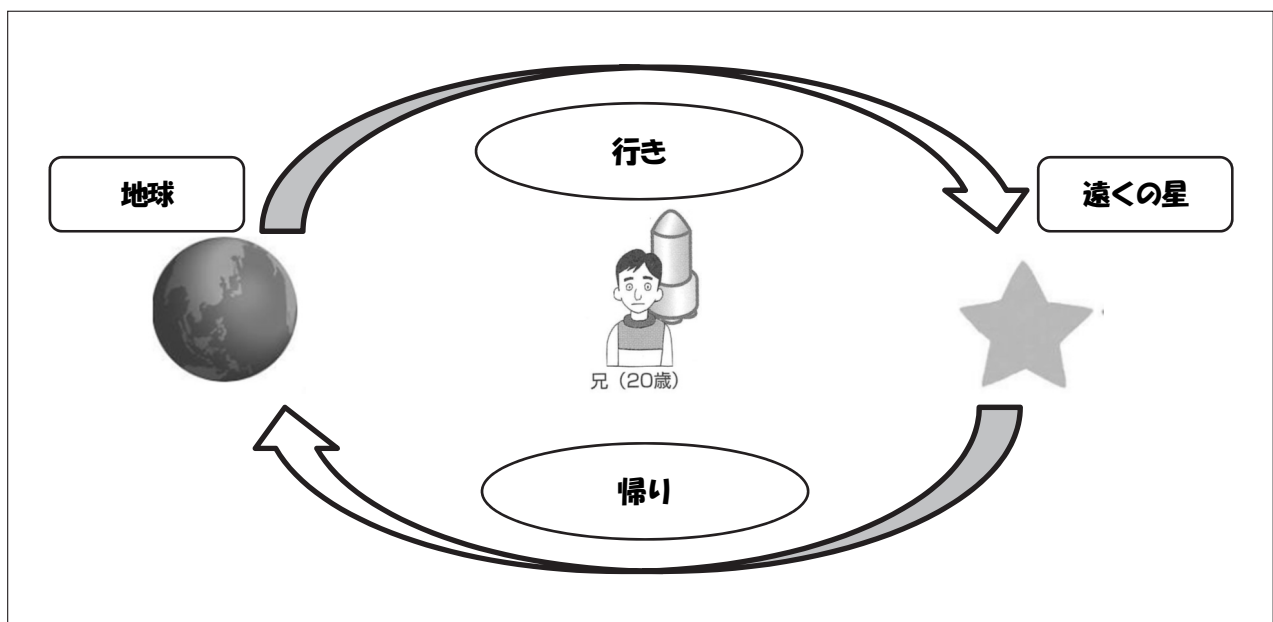
ーレポート課題の生徒の記述内容からー

3-1 表7で示した映画『バック・トゥ・ザ・フューチャー』を視聴した上でのレポート課題(1)~(4)をもとに、生徒の反応も踏まえながら考察する。

表7(1)について、映画の登場人物のビフと同じく、お金持ちになって少し楽な生活をしたいとの記述があった。高校生からすると、少しでもお金を多く持って、自分の趣味や興味をもっていることにお金を使いたいということであると考えられる。2章で示したアンケート結果の表5, 6で示したように「自由に過ごすこと」や「宝くじの当選番号を見に行く」等に魅力を感じる年代でもあると考えられる。

表7(2)について、自分の未来を知ってしまうと、何度も変えたくなくなってしまうから、未来はまだ知らないことなので、自分自身でつくることができると思うから、自分のやりたいように行動することで、周りにも大きな影響が出るかもしれないから(歴史を変えてしまうことになる恐れがあるから)との記述があった。表7(1)のレポート課題では、少し楽な生活や自分自身の都合

図1 双子の兄弟の「兄」の運動(方向転換)の様子



に合わせた生活に憧れや魅力を感じる一方で、やはり、未来について知りすぎることについては決して良いことではないという認識をもっている生徒が多いということが考えられる。

表7(3)について、過去や未来をタイムトラベルしたいと思うと答えた者が11名、したと思わないと答えた者が10名、分からないと答えた者が4名であった。主人公のマーティやドク博士のようにタイムトラベルをしたいと答えた者の意見としては、歴史に興味があるので、過去に行き、人類の誕生も含めて自分の目で確かめたいから、タイムトラベルをすることで、歴史や未来が変わり、大変なリスクを背負うことになることは分かっているが、やはり、今後の自分の将来が気になるし、過去に失敗してしまった場面に戻り、やり直したいと思うからとの記述があった。一方、タイムトラベルをしたいと思わないと答えた者の意見としては、タイムトラベルをすることによって、歴史が些細なことで変わってしまうことに恐怖を感じるから、未来を知り過ぎると、今後の人生がつまらなくなるからとの記述があった。タイムトラベルをしたいかどうか分からないと答えた者の意見としては、タイムトラベルをすることで、メリットもあれば、デメリットもあるので、タイムトラベルをすることが良いかどうかを決めることはできないとのことであった。

表7(4)について、パート4を上映するとしたら、どのようなあらすじで上映したいと思うかについて課題を提示した結果、様々なストーリーの展開例が見られた。タイムトラベルを続けるストーリーの展開もあれば、タイムトラベルを続けることは、良くないことを招く恐れがあるため、タイムマシンを破壊していくというストーリーの展開もあった。

表7で示した4つのレポート課題では、生徒が『バック・トゥ・ザ・フューチャー』を視聴した上で、時間の遅れ方や進み方についての理解を深めることができるように、そして、自由な発想や意見を記述することができるような内容とした。

『バック・トゥ・ザ・フューチャー』の映画が相対性理論の内容理解を深める視聴覚教材として適しているかどうかは定かではない部分もあるが、この映画を視聴させることで、タイムトラベルをするということについて考えるきっかけを与える教材であると考えられる。

3-3 授業実践についての考察 その2

—第49回物理合宿研究会での報告を終えて—
科学教育研究協議会・東京物理サークル主催「第49回物理合宿研究会」において、相対性理論の内容を取り入れた授業の展開例(2019年度実施分)を報告する機会があった。そこで得たことをもとに考察する。

今回、相対性理論の内容理解を深める視聴覚教材として『バック・トゥ・ザ・フューチャー』を用いたことについて、次のような議論があった。バック・トゥ・ザ・フューチャーはフィクションであるが、相対性理論はフィクションではないため、フィクションを見せて、フィクションでないものを生徒に検討させることについて、賛成という意見もあれば、反対という意見もあった。ただし、バック・トゥ・ザ・フューチャーを視聴させることで、時間の遅れ方を生徒に考えさせるきっかけとなるのであれば、バック・トゥ・ザ・フューチャーを教材として用いることは有りであろうということであった。

第49回物理合宿研究会では、理科という教科、特に物理という科目において大切なことは生徒が『あ！なるほど！分かった！』等、ワクワクするような場面や内容を取り入れながら、概念の習得を目指すべきであるとの議論がなされた。そのことを踏まえると、バック・トゥ・ザ・フューチャーを視聴覚教材として授業で用いること、そして、高等学校物理で扱う内容をはるかに超える内容であるとしても、高校生に対して相対性理論の授業を展開することは適切であると考えられる。

4. 今後の課題

高校生にも、相対性理論がどのような学問なのか理解することができるように、相対性理論の初歩的な内容を中心に考える授業の展開として、本研究では、授業の実践方法とその展開例を示した。

今回の授業実践では『バック・トゥ・ザ・フューチャー』を視聴覚教材として用いることで、時間の遅れ方や進み方についての理解を深めることが出来るような授業を計画したが、2章のアンケート調査の方法でも述べたように『ニュートン (Newton)』の雑誌、『アインシュタインの伝記』、『炎炎ノ消防隊』の漫画を読んで、相対性理論について知ったという生徒の回答もあったことから、いくつかの書籍を用いて理解を深める授業を設定する必要性もあると考えられる。そのような授業を実践していくにあたって、学校図書館を多いに活用し、生徒自身が書籍等を手にし、自らの言葉や図、イラスト等を用いて、分かったことを相手に伝えることができるようなレポート課題等を設定する必要があると考えられる。

また、相対性理論に関する内容をより一層深めていくには、数学の授業で得た知識を活用させることも必要であるため、数学科と理科の教員が連携して授業を実践していく必要も考えられる。

2022年度から高等学校では、新学習指導要領に基づいた授業が展開されるということも踏まえて、数学と理科、すなわち、理数教科はもちろん、他教科とも連携し、生徒の興味や関心を引き立て、探究心を高める授業の実践方法を検討していく必要がある。

そして、本研究では、高校生を対象に相対性理論がどのような学問なのかを理解させることに焦点を置いたが、参考文献2の書籍では、幼稚園に通う娘が誕生日プレゼントに『ドラえもののタイムマシンがほしい!』と言ったと述べられていた。著者である二間瀬は幼稚園の子どもでも、未来や過去に行くことに興味があることに驚いたと述べていたが、小学生や中学生にも未来や過去に

行くこと、すなわち、タイムトラベルをすることに興味をもっている者が存在するのではないかと考える。そのことを踏まえて、小学生や中学生にも、相対性理論の内容を理解することができる授業の実践方法とその展開例を検討していくことが今後の課題である。

5. 謝辞

本論文を作成するにあたり、終始ご指導頂きました文教大学 教育学部 学校教育課程 理科専修物理学研究室 長島 雅裕 教授に深謝致します。

また、相対性理論の授業実践の報告の機会を与えて頂いた科学教育研究協議会・東京物理サークルの皆様へ深謝致します。

参考文献

- 1) 三澤信也『図解 いちばんやさしい相対性理論の本』彩図社, 2017.
- 2) 二間瀬敏史『理系脳をきたえる! はじめての相対性理論と量子論 タイムマシンって実現できる?』誠文堂新光社, 2019.
- 3) 二間瀬敏史『図解雑学 よくわかる相対性理論』ナツメ社, 2005.
- 4) ロバート・ゼメキスほか『バック・トゥ・ザ・フューチャー パート1』1985, (DVD).
- 5) ロバート・ゼメキスほか『バック・トゥ・ザ・フューチャー パート2』1989, (DVD).
- 6) ロバート・ゼメキスほか『バック・トゥ・ザ・フューチャー パート3』1990, (DVD).