

光源の色を変えると通信に影響がでるのか？

静岡大学教育学部附属島田中学校
2年 佐藤蓮太郎

1 探求 I. 音を光に載せて通信できるのだろうか？

(1) 動機

僕は宇宙に興味があり、宇宙についての本を読んでいました。読んでいく中で疑問に思ったことは、遠く離れた人工衛星との通信は、なぜ地球上のように無線通信で必要な中継基地がないのに通信できてしまうのかということです。宇宙にある人工衛星と中継基地なしで通信できるのなら、地球上でもその技術を活用すれば何個も基地局を作らなくてもいいのではないかと思いました。まず、人工衛星との通信について調べていくと、電磁波を利用して通信をしているということがわかりました。

僕は昨年自由研究で、身近な家電製品から出る電磁波の強さと周囲に電磁波がどの程度出ているかを計測しました。電磁波は一方向だけに出ているわけではなく、どの方向にも電磁波は出ていることや、電界と磁界をそれぞれ計測し、総合的に電界の方が遠くまで出ていることなどがわかりました。研究を進めていく中で、実験を継続するには電磁波の高度な知識や技術を要することが判明し、電磁波の研究継続が難しくなり、図書館の本で見た「光通信」に興味を持ちました。

「光通信」は宇宙で活用されており、研究のきっかけである宇宙での通信方法に繋がるもので、電磁波に代わる次世代の通信方法であることがわかりました。

「光通信」は、電磁波と同じように波を使って通信していて、電磁波より早く多くの情報を運べるという特徴があります。今後、技術が進化し宇宙の開拓が進むと、人間が活動する範囲は月にとどまらず火星や小惑星へと広がることが予想されます。そこで必要となるのは人と人、人と物、物と物を繋ぐために、速く多くの情報を運べる通信方法です。今使われている電磁波での通信では、電磁波が強くなるほど届く距離が短くなる、水中は届かない、距離が遠いと時差が生じてしまうなどの課題があることが昨年の自由研究でわかりました。しかし、「光通信」は光の速さで通信ができるため通信で起こる時差はほとんどありませんし、光は電磁波よりも出す波の数が多いため、運べる情報量は多いという利点があり、次世代の通信方法として期待されています。

そこで僕は、「光通信」についての知識やその伝達の仕組みについて知らない部分が多くあるので、まず「光通信」のメカニズムについて実際に調べてみることにしました。「光通信」を行うための市販の実験キットはなかったので、図書館の本を参考に自分で部品を揃え、自分で組み立てて実験して確かめることにしました。

(2) 仮説

光での通信はできると思うが、現在使われている電磁波の通信より質が落ちたり、使い勝手が悪かったりするのではないかな。

なぜなら光通信の方が通信の質がよかったら、今現在、電磁波より「光通信」が使われていると考えたからです。また、光は周りの光に影響されやすかったり、障害物の影響を受けたり、光の届く範囲内でないと使えなかったりするのではないかと考えたからです。

(3) 実験方法

「光通信」を行うための市販の実験キットはなかったので、図書館の本を参考に自分で部品を揃え、実験装置を組み立てました。

実験装置では音を電気信号に変換し、その発光ダイオードの光をソーラーパネルで受け取りま

す。受け取った光信号を電気信号に再度変換し音を出すという流れで通信実験を行います。

右図のように作った装置で通信を試みました。

- ア 電気信号を送信
- イ 電気信号を光信号に変換して送信
- ウ 受け取った光信号を電気信号に変換し電気信号を送信
- エ 受け取った電気信号をもとに音がでる

(4) 実験

手作りした実験装置にタブレットを使用して音の信号を送り、音を光に載せて通信ができるのか実験を行いました。

音の計測は、スマホの「サイエンスジャーナル」というアプリを使用、スマホ内蔵のマイクで読み取りました。

(5) 実験結果

音を送る「光通信」に成功し、スマホのマイクで 35.8dB の音を計測できました。音は聞いた感じだと、実験前、思っていたより質の良いものでした。

(dBとは音の大きさ・強さ「音圧」という言葉で表され、そのレベルを表す単位)

実験を行う装置については、なかなか発光ダイオードがつかなくなったり、音がうまく光に変換されなかったり、接触不良が多かったりと、この装置作りに多くの時間がかかり苦労しました。うまく音に変換されなかったのは本に載っていた回路図が間違っていたこと（このことは、実験を繰り返すうちに、本の回路図が違っていることを見つけました）や、ブレッドボード自体が悪いこと（ブレッドボード内の配線に不具合があった）、接触不良が原因でした。光に音のデータがうまく変換されないため、本にあるものとは回路を変更し、またブレッドボードは配線をする場所を変更し調節するなど時間をかけ、一つずつ問題点を改善しました。

(6) 考察

実験する前は、音を光に変えることができるのか、質はいいものなのか疑っていました。実験を行って音を光に変えることができ、音は聞く分には問題ない質の良さであることも分かりました。また音量も十分でした。あまり周りの光に影響はうけていない様子でした。

(7) 結論

何回も組み立て直して、一つ一つ点検し直し音を光で通信することができました。また、音質は思っていた以上に安定した通信ができました。

実験を進める中で無線の光通信を行っている時に、光源が素早く点滅していることに気がきました。点滅について観察すると低い音は点滅の間隔が大きく、高い音は点滅の間隔が小さいことが判明しました。このことから、光が「点く」と「消える」で0と1を表していると考えました。なぜなら、電気信号も電気の「あり」と「なし」で0と1を表して、情報を送信しているからです。つまり、僕が製作した光通信の装置は音の電気信号、電気の「あり」と「なし」に連動して光が「点く」と「消える」を行っているということです。この実験を通して無線の光通信の仕組みについて理解することができました。

次の実験では、「光通信」で通信できた音は本当に質が良いのか、自分だけでなく他の人でもしっかり音程がとれた音で聞こえているか、楽器を音源にして音程を数値で表すことができるか実験してみることにしました。

尚、「光通信」は光の点滅で情報を送信していますが、周りの明るさが変わった場合に通信の質、音程が変わるのかについても調べることにしました。



2 探求Ⅱ. 光通信で音程は変わるのか？

(1) 動機

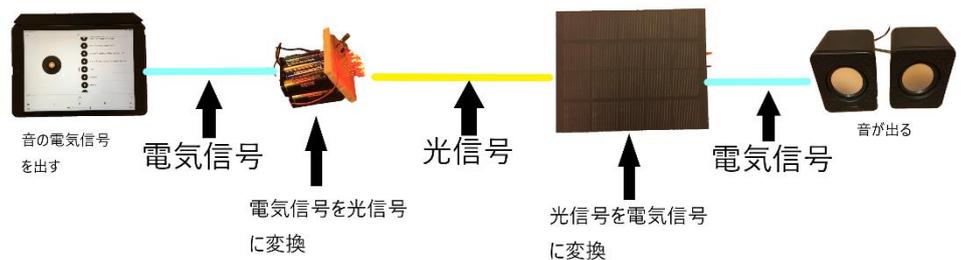
「光通信」で音を通信した送信元の音源と受信先での音源で音程の違いが出るのか、耳で聞くとあまり違いはないが細かく比べると違いが出るのか確かめたいと考えました。また、音程が違ったら何が影響しているのかを突き止めたいと思いました。

(2) 仮説

探求Ⅰの実験で音楽を流した時、自分では光通信で送信した音楽は音程に違いはないように感じたので、音程はあまり変わらないのではないかと。また、他の光による妨害がなく光の波長がしっかりとソーラーパネルに伝われば、音程に大きな違いは生まれないのではないかと。

(3) 実験方法

右図のような仕組みで光通信をしています。
電気信号→光信号→電気信号と変換して通信しています。



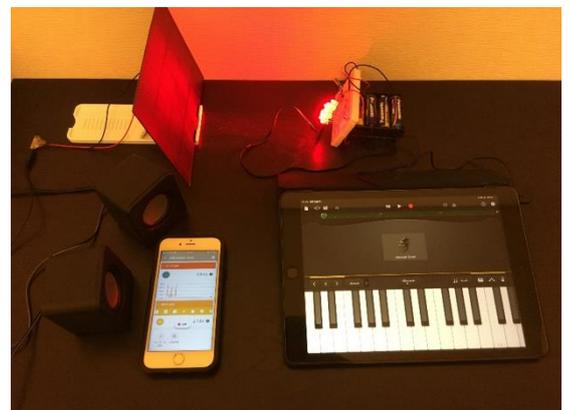
ド (C₄) ~ド (C₅) の音源を送信し、受信部のスピーカーからどの音程の音が出ているかスマホの「サイエンスジャーナル」というアプリを使い計測します。

尚、毎回音程があっているか確認するため、それぞれ10回計測します。この10回計測するというのは、音を1回出すごとに、その時に計測できた数値（1回当たり8~12の数値が計測されます）の平均値を算出し、比べていきます。

光通信の妨げになりそうな周りの光も同時に計測します。

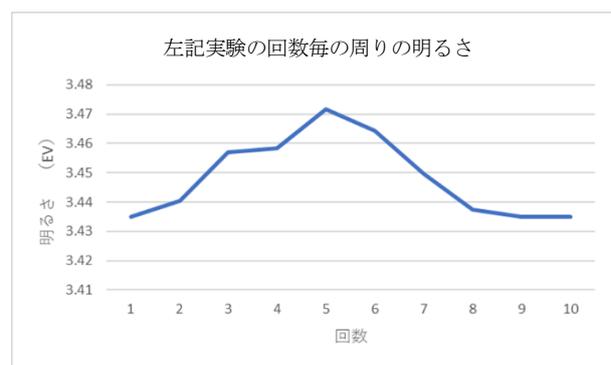
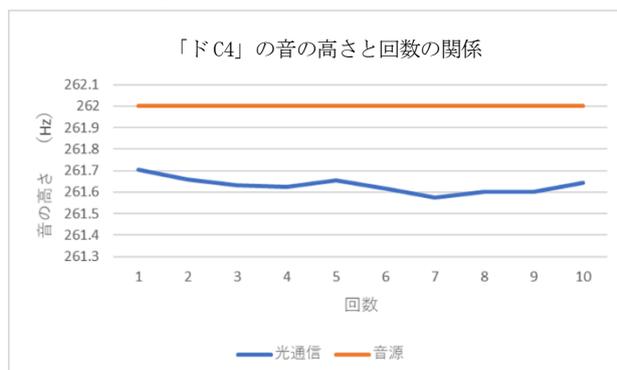
右図のように実験装置を組み合わせ準備します。

- ア タブレットを音源として、信号を出し、その信号を発光ダイオードの光に載せて送信
- イ 送信された信号をソーラーパネルで受信
- ウ 受信した信号をもとに、スピーカーから音を出す
- エ 出た音をスマホで計測



(4) 実験

周りが明るいところで通信を行った場合と周りが暗いところで行った場合の条件を変えた2パターン実験を実施しました。音階ごとに明るいところと暗いところの両方のデータをまとめたグラフを作成し、検証しました。



グラフに、Hz とありますが Hz とは音源が一秒間に振動する回数（周波数）を表します。

そして、数字が大きいほど高い音になります。

「明るさ」のグラフで、単位が EV となっていますが EV とは、明るさの単位のことです。今回明るさの計測はスマホで計測しました。

(5) 実験結果

ア 「光通信」で通信した音程と、元の音程、正式な周波数をまとめたグラフから、

周りが明るいところより暗いところの方が音源との音の高さの差がありませんでした。

イ 明るいところは最大約 3 Hz～0.5 Hz くらいの差がある一方で、暗いところは最大約 1 Hz～約 0.2 Hz の差となっていることがわかりました。

ウ 音程の中で最も光通信の音と音源で差が少なかったのはソ (G₄) でした。

エ 今回の実験値で正式な周波数に最も近かったデータは以下のようになりました。

ド C ₄ : 261.8 Hz	レ D ₄ : 294.0 Hz
ミ E ₄ : 330.0 Hz	ファ F ₄ : 349.3 Hz
ソ G ₄ : 392.3 Hz	ラ A ₄ : 440.7 Hz
シ B ₄ : 494.7 Hz	ド C ₅ : 524.7 Hz

オ 音源との音程の差が小さいのは暗いところで行った実験でしたが、正式な周波数との音程の差が小さい音程が多かったのは明るいところで行った実験でした。

(6) 考察

音階には正式な周波数があり、以下のようになっています。

ド C ₄ : 261.6 Hz	レ D ₄ : 293.6 Hz
ミ E ₄ : 329.6 Hz	ファ F ₄ : 349.2 Hz
ソ G ₄ : 391.9 Hz	ラ A ₄ : 440.0 Hz
シ B ₄ : 493.8 Hz	ド C ₅ : 523.2 Hz

「光通信」に音源の音程の差はありましたが、実験前の予想より誤差は少なかったです。そして、音源と最も近い音程を出していたのは暗いところで行った場合で、周りの光による妨害が少なかったことが誤差を縮めることに繋がったのではないかと考えました。

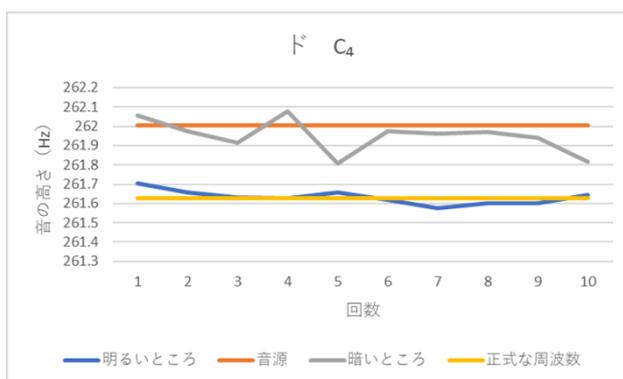
正式な周波数に近い音程を出していたのは明るいところで行った実験でした。これは音源が正式な周波数より高く、明るいところで行うと周りの光に妨害され、音程が少し下がったことが要因ではないかと考えました。

(7) 結論

暗いところで通信した方が送信された音に近い音が出ることがわかりました。明るいところで通信した場合、光通信の音と、音源の音に音程の差が大きく出たことから、周りの光が通信の際の光を妨害し、正しい音源をうまく伝えることができなかったのではないかと考えました。またうまく光信号を受け止められなかったのは、発光ダイオードとソーラーパネルの距離が遠かったことや、光が広がって一方向に集められなかったことが原因ではないかと考えました。

また、実験をする中で、音の電気信号を光信号に変換できるのであれば、音源を電気信号から人間の声にしても、同じように光信号に変換して通信ができるのではないかと考えました。イメージとしては、小学校の理科の授業でやった糸電話の糸が光になるようなものです。

そこで、次の実験では音源を電気信号から人間の声にして、声を光に載せて通信できるのかということについて調べることにしました。



3 探求Ⅲ. 自分の声を光に載せて通信できるのだろうか？

(1) 動機

音を光に載せること、載せた音の音程がほぼ変わらずに通信できることがわかりました。そこで、次は自分の声を音源として光に載せれば実用的に使えるのではないかと考え、確かめることにしました。また、音程が変わらず声を通信できれば、糸電話のようにメッセージを受けとることが可能だと考え、自分の声を光に載せやすい条件についても実験で調べてみることにしました。

(2) 仮説

探求Ⅰの実験で音楽を流した時、自分では「光通信」で送信した音楽はほぼ同じ様に聞こえたので、人間の声も光信号に変換できれば（光の波長がソーラーパネルに伝われば）同じ様に通信できるのではないかと考え、また光の角度や光の明るさによって通信に影響があるのではないかと考え、

(3) 実験方法

同条件で比較するために、自分の声を録音して音源とし、どのくらいの大きさの音が出ているかスマホの「サイエンスジャーナル」というアプリを使って計測します。

尚、毎回音程があっているか確認するためそれぞれ10回計測します。この10回計測するというのは、音を1回出すごとに、その時に計測できた数値（1回当たり8～12の数値が計測されま

す）の平均値を算出し、比べていきます。「光通信」の妨げになる周りの光は同条件にするために真っ暗な部屋の中（明るさは-3.1EV）で実験を行います。尚、光の反射角度によっても、影響があるのか調べるために、反射角度を10度から80度まで計測しながら実験しました。

(4) 実験

ア 右図のように実験装置を組み合わせます。この装置はアルミホイルの所で話すとアルミホイルが振動し光がアルミホイルに反射し、その振動が光となって、声の信号が光信号へ変換されます。

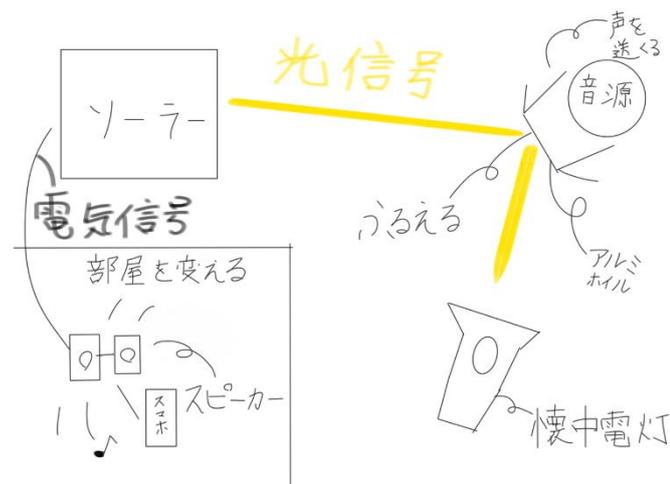
イ 光に載せて信号を送信し、送信された信号をソーラーパネルで受信し受信した信号をもとに、スピーカーから音を出します。

ウ その音をスマホで計測します。

※音を送信するアルミホイルと信号を受信するソーラーパネルは80cm離す

※光を絞ったり、光の入射角度を変えたりして実験しました

※懐中電灯の代わりにレーザー光でも実験しました



(5) 実験結果

ア 20度で光を反射させて通信を行った時に最も音量が出た。（通信状態が良かった）

イ 光を絞って行った実験では1cmの穴で絞った時に最も音量が出た。（通信状態が良かった）

ウ 今回の実験結果の中で最も音量が大きかった（通信状態が良かった）のはレーザー光を20度で反射させた実験だった。

エ レーザー光と懐中電灯の通信を比較すると、レーザー光の方が音量が大きかった。（通信状態が良かった）

光の入射角度を10度から80度まで10度ずつ変化させて実験したところ、光を20度で反射させる時が最も音が大きく聞こえること（平均・最大値）がわかりました。

20度

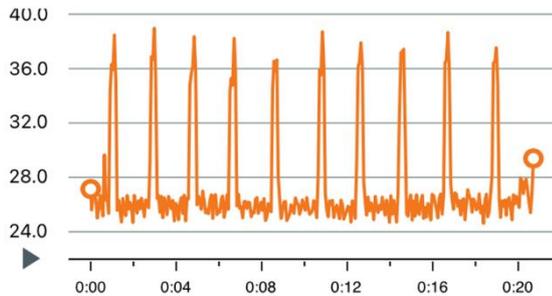
2021/09/18 15:16

時間

20秒

音量 (dB)

最小値	平均	最大値
24.6	27.4	39.0



(6) 考察

実験する前は、人の声を載せた「光通信」でも電気信号にした音を載せた「光通信」と大きな違いがなく通信が可能ではないだろうかと考えました。実験の結果、やはり人間の声を光信号に変換できれば（光の波長がソーラーパネルに伝われば）電気信号の音と同様に通信できることがわかりました。また、実験を通して、この実験の装置では光の反射する角度や光の種類、周りの明るさによって通信状態が変化するということがわかりました。

尚、今回の実験では、レーザー光で通信した時の音量が最も大きくなりましたが、レーザー光は一点に集中して強い光を送るため、ソーラーパネルが多く光を受け、懐中電灯より多く発電できたのではないかと考えました。

(7) 結論

音と同じように人間の声を光に載せて通信できることがわかりました。但し、この実験装置では電気信号の音とは違い、人間の声を通信させるには、各種条件（①光の入射角度 ②光線の明るさ ③アルミホイルの状態）が揃わないと全く通信ができませんでした。

特にアルミホイルの反射具合や懐中電灯の明るさの調整など事前準備に時間を要し、通信するまでに2、3日時間が掛かるケースもありました。アルミホイルについては、

ア 鏡の様にしわの無いきれいな状態であること

イ アルミホイルの厚さがうすく声によって振動しやすいものが良いことが判明するまでは、苦劳しました。

また、懐中電灯については、明るさが求められるため、より明るい懐中電灯で実験をすることで、安定的に通信ができるようになりました。

その上で、光の反射角度によっても通信状態が変化するため10度から80度まで、反射角度を変えて実験したところ、反射角度20度の状態が、最もうまくいくことを突き止めました。

また、20度の場合にはレーザー光で声を通信させることにも成功しました。

結果として、サイエンスジャーナルのデータでは、レーザー光を使い、20度で反射した時に最も大きな音が出ました。角度や光で通信状態はあまり変わらないと思っていましたが、音程は変わらず音量が変わるということがわかりました。実験をする中で、レーザー光の色を変えたら、通信状態は変化するのかという新たな疑問が生まれたため、次の実験では光源の色を変えると通信に影響がでるのかについて調べることにしました。

4 探求IV. 光源の色を変えると通信にどんな影響がでるのか？

(1) 動機

光も電磁波と同じように波を発していますが、光の色によって、発する波の数が異なります。そこで、光源の色によって通信状態が変化するのではないかと考えました。光の三原色である赤色、青色、緑色を光源として通信した場合に、通信状態に違いがでるのか確かめることにしました。また3色の内、どの色が通信に適しているのか実験を行うことにしました。

(2) 仮説

光源の色で通信に影響が出るのではないかと。特に光の三原色で比べると最も周波数が高い、青色が通信の質が良いのではないかと。なぜなら、探求Iの実験で光通信は光が点くと消えるという2つで0と1を表していることが半明しましたが、この0と1の切り替えが早い方がたくさんの情報が送れて、安定した通信ができるのではないかと考えたからです。

(3) 実験方法

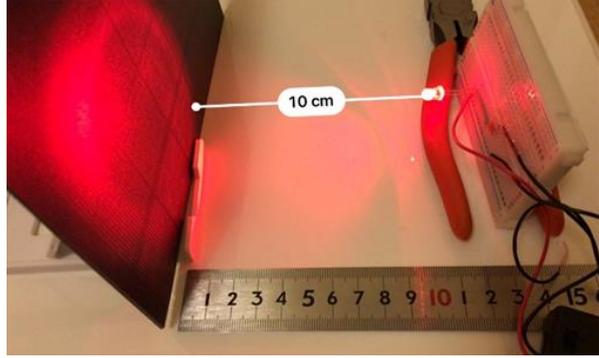
光通信の光源の色を光の三原色である、赤色、青色、緑色の3色で実験し比較します。条件を等しくするため、同じ電圧(3V)をかけて同じ負荷のかかる3色のLEDを使用しました。それぞれの色でド(C₄)〜ド(C₅)を通信して正式な周波数との差を比べます。

また、誤差を減らすため、それぞれ10回実験を行います。この10回計測するというのは、音を1回出すごとに、その時に計測できた数値(1回当たり8~12の数値が計測されます)の平均値を算出し、比べていきます。音はスマホの「サイエンスジャーナル」というアプリを使って計測します。

(4) 実験

右図のように光源とソーラーパネルとの距離は10cmとして条件を同じにしました。

尚、通信は周りが暗い所だけでなく日常の中で使われることを考慮し、周りの明るさについては、部屋の明かりを利用し、3.1EVに合わせて同一条件の下で実験しました。



(5) 実験結果

ア 各音階の正式な周波数との誤差を、それぞれの平均を出して比較しました。尚、平均については、小数第四位を四捨五入し少数第三位までとして比較しました。赤色は0.012Hz、青色は0.025Hz、緑色は0.035Hzでした。

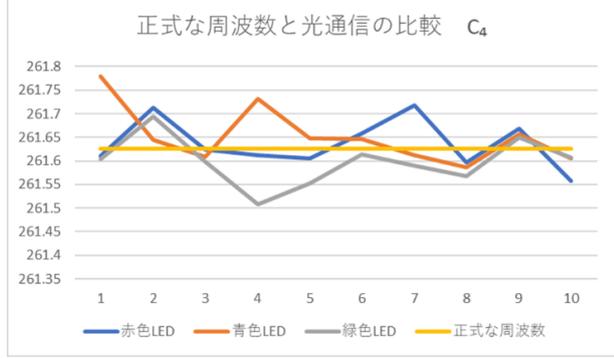
このことから、赤色が三色の中で最も正確に送信できるということがわかりました。

イ グラフが一定ではないことから、どの色も一定の音を通信し続けることは難しいことがわかりました。つまり、通信が不安定であるということです。

ウ 各色、音階ごとの正式な周波数との差を求め比較すると、各色とも最も正式な周波数に近い音階を出していたのは、ド(C₄)であることがわかりました。

エ 実験は日常的な光(明るさは3.1EV)が周りにある環境下でしたが探求IIと比べて正式な周波数に近い音階で通信することができました。

オ ほとんど誤差が少ない状態で光通信が可能であるということがわかりました。



(6) 考察

実験の結果から、やはり音源の色により通信に影響が出るということがわかりました。通信の質が最も良い色は実験する前に考えていた、周波数の一番高い青色ではなく、赤色であることがわかりました。

色によって周波数が異なることが、通信の質が変わる原因ではないかと考えますが、周波数の高さや通信の質に相関関係はなく、周波数は光通信の質への影響は大きくないことがわかりました。

(7) 結論

今回の実験から、光源の色を変えることで通信に影響がでることがわかりました。また、光の三原色である赤色、青色、緑色を光源の色として比較した結果、赤色が最も正確に通信できることがわかりました。このことから、赤色の点滅が最も認識しやすいということや、ソーラーパネルも受信しやすい色であるということが言えると考えました。

実験は探求Ⅱと同様に10回計測しましたが、まったく同じ数値が出ることはありませんでした。原因として、受信側のソーラーパネルが周りの光の波長を受け止めていることが考えられます。ソーラーパネルは情報を送信している光源以外の周りの光も受信するため、誤差が生まれてしまうのではないかと考えました。他にもLEDの性能（光の点く、消えるがはっきりしている）やソーラーパネルの性能（発電効率が良い）によって感度が変わる可能性もあるのではないかと考えました。

今回の実験では、探求Ⅱの実験より正式な周波数に近い音が出せましたが、その理由として探求Ⅱの後に自作の光通信装置の回路を改善したことが考えられます。自作の光通信装置は光の点滅で情報を送信しているため、送りたい情報の電気信号を無駄なく回路に送ることができるように、音の電気信号が来た時にだけ、電源が入るように回路を単純化させたことが良かったのだと思います。尚、今回の実験は、探求Ⅲまでの光通信の装置と違い、一つのLEDで通信を行いました。一つのLEDでも光通信が可能であることがわかりました。このことから少量の電気でも通信が可能ということが言えます。

現在SDGsの認知度が高まり、地球にやさしい電子機器が求められています。僕が自作した光通信装置は今の地球環境に適した次世代の通信手段の可能性に一步近づけたのではないかと思います。

5 研究のまとめ

今回の実験を通して「光通信」の装置を自作する難しさや、「光通信」を行うこと自体の難しさがわかりました。僕は光通信の装置を自作したため、失敗も多くありました。それでも質の良い光通信を実現するために諦めず、試行錯誤し、改良を続けたことで、納得のいく結果を導くことができました。

「光通信」が実用的に使われるようになるには、もっと離れたところでも通信できるようにはなりません。例えば人工衛星などは、宇宙空間での通信が必要となります。僕は今回の研究では最大80cmの距離でしか通信をすることができなかつたので「光通信」が可能な距離を延ばすために、光の強さ（明るさ）、光の種類（レーザー光、赤外線）などの条件を変えて研究を続けていきたいと思っています。

また、「光通信」は送信する側の装置だけ改良しても、それを受信する側の装置が上手く受信できなければ距離を延ばすことは難しいと思います。だから、受信する側の装置についても、より光を受信しやすいように改良したいと思います。

僕は動機に記載したように宇宙に興味があり、昨年の電磁波の研究から発展して、今回「光通信」について研究をしました。自由研究として取り組んだこの「光通信」は、人と人、人と物、物と物を繋ぐために速く多くの情報を運べる通信方法ということが、今回の研究を通してより理解することができました。

僕のやった研究は小さな一歩ですが、これからも無線での「光通信」に興味を持ち続け、「光通信」の発展の過程を追っていききたいと思います。そして、将来宇宙関連技術者として活躍したいと考えています。

6 最後に

この2年間の自由研究は、僕ひとりでは成し遂げられませんでした。自由研究を進めるにあたってアドバイスをいただいた静岡STEMアカデミーの熊野先生、増田先生、そして静岡STEMアカデミーの関係者のみなさま本当にありがとうございました。

7 参考文献

タイトル：「子どもと楽しむ工作・実験・自由研究レシピ」 出版社：実教出版株式会社

著者：曾江久美 種村雅子 石井恭子 大西ハルカ 小川賀代 興治文子 発行者：戸塚雄式

使用したアプリ：Arduino Science Journal (iPhone版) 提供元：Arduino