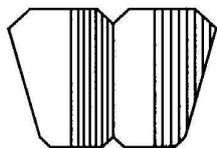


平成 19 年度指定 スーパーサイエンスハイスクール

平成 22 年度 サイエンスⅡ
研究活動報告集

第 4 年次



平成 23 年 3 月

京都府立洛北高等学校

は じ め に

京都府立洛北高等学校
校 長 宮原 芳久

まず、「平成22年度サイエンスⅡ研究活動報告集」が発刊されるにあたり、関係大学の研究室の先生方をはじめ多くの先生方の御指導の下に熱心に取り組を進め、その集大成として充実した内容のある報告集を作りあげてくれた生徒諸君の努力に対して、心からの敬意を表します。

平成19年4月に指定を受けた文部科学省の事業「スーパーサイエンスハイスクール（SSH）」も、今年度で5年指定の4年目に入りました。洛北高校としても、最終年次を前にして、今までの取組や成果をふまえ更に発展させ、時代に対応した新たな課題を追求し続けるべく取組と模索を進めております。

特に、今回の指定は「公立中高一貫校及び公立高校普通科における理数教育についての研究開発」～国際化時代におけるリーダーの育成を目指して～を研究開発課題とし、従来の高大連携を一步踏み込んで、大学研究室訪問研修を大きな柱とし、その過程を通して、高校の教科内容を超えたより高い次元から見た基礎理論の理解、仮説、実験、検証などの科学的方法を理解、習得します。また、見知らぬ世界に入るワクワク感、新しい発見や現象の美しさへの驚きなど「科学する心」を育むことを大きなねらいとしました。

京都大学化学研究所の5研究室、京都工芸繊維大学の4研究室、京都府立大学の4研究室と、あわせて13の研究室の先生方の連続講義、課題の指示とレポート作成、夏季休業中の一週間の研究室訪問研修での講義や実験、討議。そして訪問研修終了後、ポスターセッションや活動報告の完成に向けて取組等・・・長期にわたる取組となりましたが、充実した意義深いものとして大きな成果を上げることができました。

とりわけ、講義や継続的な探究活動を通して、「何故？」という根源的な問いなど科学的な考察力、科学的なものの見方、課題設定や仮説の立て方、推論や検証方法の習得は勿論、また研究室での先生やTAの方々の学問に取り組む姿勢、会話を通して研究者の姿や在り方についての憧れや理解を深めてくれました。また、研修成果発表会に向けて、ポスターの作成、データの整理やまとめの構成など議論の過程で、曖昧、混沌とした中から、方向性や明確な事実が見えてきた時の知的な喜び、興奮など科学する心も刺激されたことと思います。さらに、大学研究室訪問研修も3年目を迎えたことから、大学の先生方と高校の教員との共通理解と課題が共有でき、よりよい取組が工夫されつつあります。

また、本年度は、これらの研究室訪問研究だけでなく、洛北高校創立60周年、京一中創立140周年の節目の年にあたり、10月23日の記念式典では、ノーベル物理学賞受賞者の益川敏英先生をお招きしての記念講演とSSHの生徒発表を行いました。さらに、日英サイエンスワークショップ、筑波サイエンスワークショップ、テクノ愛・発明コンクールをはじめ多くの行事やコンクールに参加しました。これらの取組を通じて、同じ志で努力した“研究者”としての喜びや達成感を共有をすることができました。生徒諸君の意欲向上と今後の活動への自信に少なからず繋がったものと確信しています。

最後になりましたが、このような「研究活動報告集」を冊子として発刊できますことは、多くの御指導や御支援をいただきました関係大学、とりわけ各研究室の先生方の教育者また研究者としての寛大な心と熱心な御指導、そして本校の先生方の御尽力や生徒諸君の積極的な取組の賜と心からお礼と感謝を申し上げます。

目次

理系

透過電子顕微鏡で結晶の構造を探求する	1
嶋田直紘, 須知佑介, 名和野絢, 平竹剛	
超伝導物質を作る	6
青木卓也, 澤辺美樹, 竹内ふみ, 豊永香太	
ガラスの着色	10
新井翔太, 関口周, 古澤香菜, 西幡友香, 森本英暉	
光センサで動くライントレースカー	16
上田樹美, 北澤美紀, 千葉龍一, 西田周平	
表面を操作するテクノロジー	25
入江あゆみ, 水野奈緒, 宮川蘭奈, 山口果	
高分子の性質を調べる	30
鎌田和希, 近藤光雄, 佐田雄亮, 渡邊衛央	
ポリ乳酸繊維の染色における最適条件	35
青木美紗, 後藤沙耶香, 鹿田華子, 只朱里	
微生物の遺伝子を見てみよう	40
菅原聡真, 田畑理, 手島冬陽, 堀江綾香	
ダチョウを用いたインフルエンザ防御用抗体の作成	43
石川絵菜, 宇佐美知沙, 武田惇, 堤友美, 藤原風丸	
塩基配列の解読及び GFP 蛍光タンパク質による細胞観察	47
小谷浩平, 藤川祥亘, 細川智佳, 松崎由莉, 渡部遼	
発光微生物コロニーに出現する発光パターンの謎を探求してみよう	51
植月蓮, 岸田朋也, 杉山賢子, 高木悠輝	
野生植物集団間における遺伝的変異	56
新谷あん, 壇辻さやか, 築地まどか, 藤本亜耶	
里山林における環境の違いによる植生の変化	60
川村真以, 小塩茂々子, 田中順也, 宮城宏維	

文系

ゴミとリサイクル	64	石高周, 小槻陽平
静電気による火花放電	68	上田亜寿奈, 田村萌, 東美華
食事と CO ₂ 排出量	72	木下真里, 村上花
環境評価	76	奥田絵梨, 神鞠子
買い換え	80	戸崎友紀子, 百田朱里, 湯浦真太郎
電気自動車は本当にエコなのか?	84	白数優衣, 藪下紘可, 和田華奈
地球温暖化	88	桂裕幸, 小林洋平, 佐々木駿
グリーンウォッシング	92	増田晴香, 吉田大亮
黒点と温暖化	96	清水葉月, 十代香苗
洛北高校と家庭の CO ₂ 排出量の違いとその対策について	100	前原明友実, 村山温奈, 安田千紘

透過電子顕微鏡で結晶の構造を探索する

嶋田直紘, 須知佑介, 名和野紘, 平竹剛

訪問先研究室 京都大学化学研究所
准教授 倉田博基, TA 麻生亮太郎

要旨

原子間距離の測定をするために炭素膜を張った銅メッシュ上に酸化マグネシウム、金、チタン酸ストロンチウムを載せ、これを電子顕微鏡で観察した。回折像から原子間距離を求めるために、スリットを入れた紙を用いた光の干渉実験を行い、それによってヤングの公式の導出を行った。得られたヤングの公式を用いることによって回折像より原子間距離を求めることができた。

1. はじめに

私たちは普段、定規やメジャーを使って物の長さを測る。では、もっと小さいもの、例えば、「原子」と「原子」との間の距離を測りたい時にはどうすればいいだろうか。もちろん定規を使うことはできない。その方法を探索したのが本研究である。私たちはまず、光の干渉に関するヤングの式を導出する過程において、ミクロンの長さを求めることができた。そこで、さらに小さな距離、つまり結晶の原子間の距離を求めて、透過電子顕微鏡により結晶構造を解析することを試みた。また走査透過電子顕微鏡を使って、原子を実際に見ることに成功した。今回の研究によって、身近にありながら遠い存在であった「原子」というものの理解が深まったように思う。

本レポートでは、第二章で実験方法と結果、第三章で考察、第四章でまとめと今後の課題が述べられている。

2. 実験の方法と結果

2.1. ヤングの干渉実験

2.1.1. 平行スリットの干渉縞

〈方法〉縦 10cm、横 6cm ほどの紙面に平行に 2本の長さ約 4cm の切れ目 (以下スリット) を入れた。レーザー光 (波長: λ ; ここでは $0.6328 \mu\text{m}$)

をスリットに入射し、その像が紙製のスクリーンに結ばれるようにスリットが入った紙を配置した。スリット間の距離 (0.2~1.1mm) を調節し、それぞれの像に見られる図 2 のような干渉縞の間隔を測定した。スリットの間隔 d と干渉縞の間隔 x との関係求めた。この際スクリーンとスリットの距離を $L(2400\text{mm})$ として固定した。図 1 に実験の様子を示している。

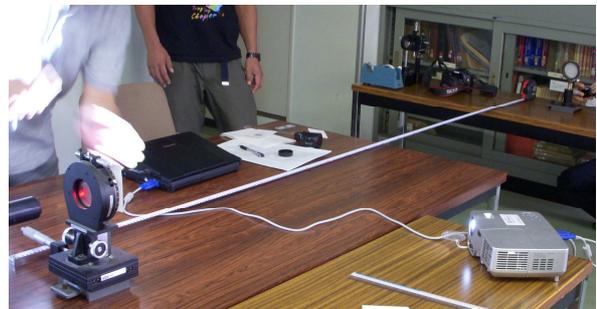


図 1



図 2

〈結果〉実験結果から、スリットの間隔 d と干渉縞の間隔 x の関係を表すものとして $x = \lambda \cdot L/d$ というヤングの式が導かれた。また、この実験において光源とスクリーンの距離 L を変化させると、 L が大きくなるにつれ干渉縞の間隔が広がることがわかった。さらに、ヤングの式より、光源とスクリーンとの距離が等しく、かつ波長が同じ光を実験に用いたとき、干渉縞の間隔とスリット間の間隔の距離を掛けたものは等しいことがわかった。

この式について、実験によって求めた x と d の関係をグラフにすると図3のようになった。このグラフから、スリット間の間隔が広いときには幅の広い干渉縞が得られ、間隔が狭くなると幅の狭い干渉縞が得られることがわかった。

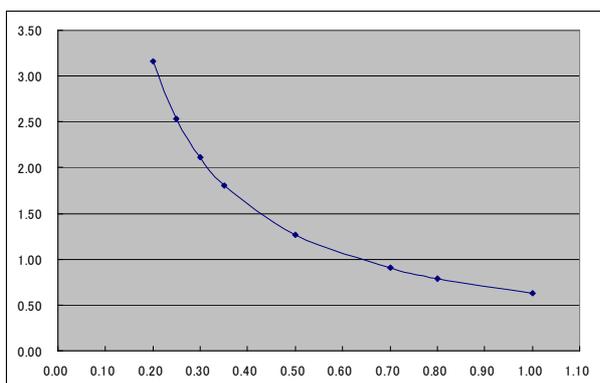


図3 縦軸：干渉縞の間隔 x [mm],
横軸：スリットの間隔 d [mm]

2.1.2. メッシュの干渉縞

〈方法〉スリットの代わりに直径 3mm の銅製メッシュを前述のスクリーンに像が結ばれるように配置し、レーザー光を当てた。

この際、スクリーンに結ばれる像の干渉縞として現れた二点間の距離を測定しその値を元にヤングの式を利用して銅メッシュのメッシュ間の距離を求めた。

$$L=1990\text{mm}, \lambda \text{ 2.1.1 参照}, x=6\text{mm}$$

〈結果〉図4のような、六角形を模した干渉縞が現れた。この干渉縞に関して、2点間の距離を求

め、これをヤングの式にあてはめて計算すると、メッシュ間の距離は計算値 0.1298mm となった。このときの実測値 0.125mm だった。このとき実測値との誤差は 1%以内となっており、求めた式は正しいとわかった。

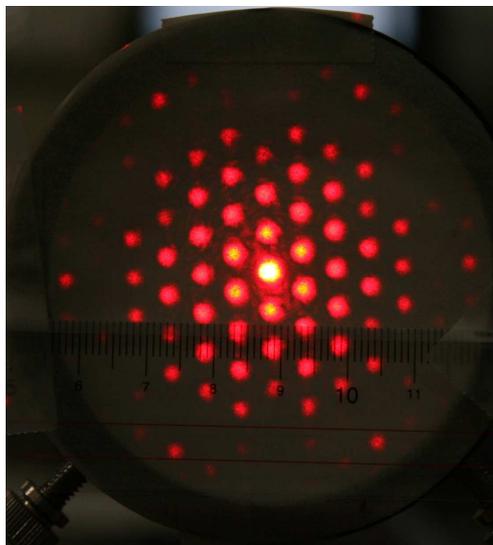


図4

2.2. 電子顕微鏡観察用試料の作製

2.2.1. 真空蒸着法

大きさ 1 cm^3 ほどの NaCl 結晶を、劈開性(分子の層ごとに剥がれやすい性質)を利用し、カミソリで 1mm 以下の薄さに削いだ。それをいくつか作製し、スライドガラスの上に重ならないように並べた。

次に、直径 3 mm 程度長さ 10cm 程度の炭素棒をヤスリで先を鉛筆の先ほどの細さに尖らせ、先を尖らせていない同じ大きさの炭素棒と真っ直ぐに接触させて、真空蒸着装置の中に固定した。

炭素膜が分厚くなりすぎないように、前述のスライドガラスを真空蒸着装置の中についている粉よけの下に置いた。

真空蒸着装置の中を真空に近づけるため、1時間ほど真空ポンプで排気した。十分真空に近づいた後、炭素棒に電流を流して炭素を蒸発させた。

1時間後、中のスライドガラスを取り出すと、さきほどの NaCl 結晶の上に、薄い炭素の膜ができた。

2.2.2. 銅メッシュの作製

次に、シャーレの中に水を張り、その上に炭素膜を蒸着させた NaCl 結晶を静かに浮かせた。すると、NaCl 結晶だけが水に溶解し、炭素膜は水面に浮いた。浮いた炭素膜は非常に見えにくいので、手元を明るくして、ピンセットで挟んだ銅メッシュを用いて水中から炭素膜ごとすくい上げた。これで、炭素膜が付いた銅メッシュが完成した。完成した銅メッシュのうちのいくつかは、炭素を蒸着したのと同じように金を蒸着した。また、金が蒸着されたメッシュのうちいくつかに炭素膜を付けて、そのメッシュに Mg リボンを燃焼させたときに生じる煙 (MgO) を付けた。

ちなみに今回の実験では 5 種類の銅メッシュを作製した。

- i) 炭素膜だけのもの
- ii) 金を蒸着させたもの
- iii) MgO を多量につけたもの
- iv) MgO を適量につけたもの
- v) MgO を少量つけたもの

の 5 種類を作った。

2.3. 透過電子顕微鏡による観察

2.3.1. 酸化マグネシウムの観察

〈方法〉回折像の原子間距離から、ヤングの公式を用いて実際の原子間の距離を求めた。

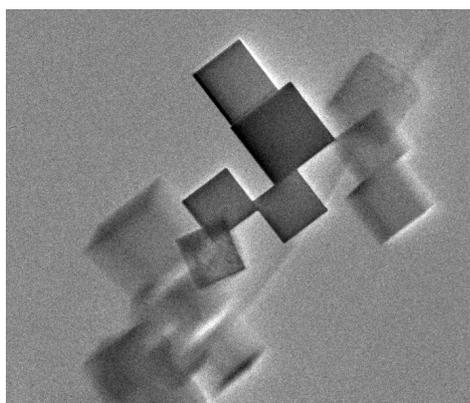


図 5

図 5 が酸化マグネシウムの結晶像である。この結晶は NaCl 型結晶構造であり、立方体であるために平面部を垂直に観察しなくてはならなかった。

格子定数は $a=b=c=0.4211\text{nm}$ である。

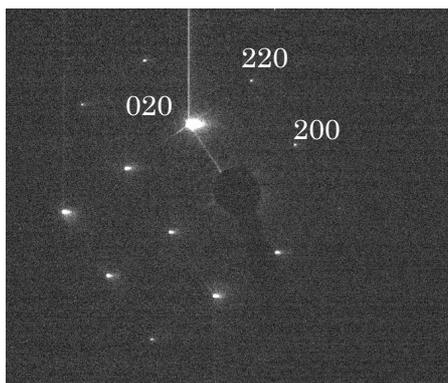


図 6

図 6 は酸化マグネシウム結晶 1 個から得られた回折像である。回折像が正方形に見えるのは酸化マグネシウム結晶を正面から見ているからである。原点から、それぞれの回折点までの距離は、図に記した指数に対応して格子面間隔を与える。100 や 010 のような回折点が現れていないのは反射の消滅則により見えなくなっているからである。

〈結果〉複数の金の回折像における任意の座標 (h,k,l) と金の格子定数 $a=0.407825[\text{nm}]$ を

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

に代入して原子間距離 d_{hkl} を導く。次に、それぞれの干渉縞より求めた x の値から $x \cdot d = \lambda \cdot L$ によりそれぞれの $\lambda \cdot L$ の値を求め、それらの値の平均値を $\lambda \cdot L$ の値として採用した。

回折像における (200) 回折点の距離は $x=2.5$ であり、 $\lambda \cdot L=5.32$ とともにヤングの公式に代入して、 $25.5 \cdot d=5.32$ とし、これより実際の原子間の距離である $d=0.2086$ が得られた。したがって原子面間隔の実際の距離は 0.2086nm と分かった。

また格子定数を求める式に代入して、 $0.2086=1/2 \cdot a$ であり、よって $a=0.4172\text{nm}$ と分かった。ちなみに今回用意されていた酸化マグネシウムの格子定数は 0.4211nm で実際に出された格子定数との誤差は $(0.4172-0.4211)/0.4211 \cdot 100=0.9261 \approx 0.93\%$ だった。

2.3.2. チタン酸ストロンチウムの観察

チタン酸ストロンチウム結晶は大きい板状をしているため傾くことが少なく比較的観察しやすかった。

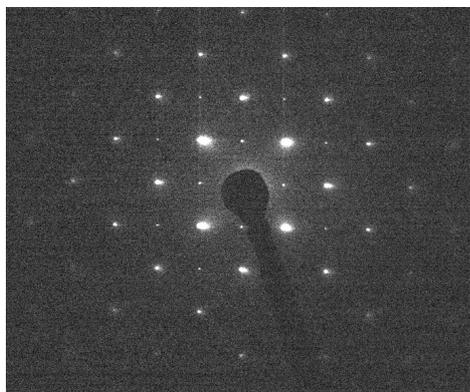


図 7

図 7 のように回折像における点が規則正しく並んでいることから、正面を捉えられていることが分かる。

この結晶の構成原子は、ストロンチウム、チタン、酸素の順に大きく、回折像の点の大きさと強度が異なっているのはこれらの原子の配列によって決まる。

この結晶の格子定数は $a=b=c=0.3905\text{nm}$ である。

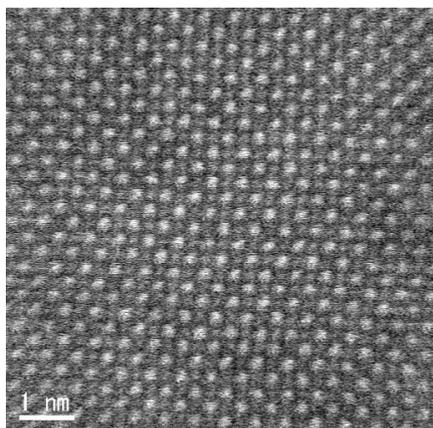


図 8

図 8 は走査透過電子顕微鏡の画像である。一番明るいのはストロンチウム原子、暗く見えるのがチタンと酸素が重なった原子列である。走査透過電子顕微鏡の像は原子番号に依存したコントラストを与えるので、一番軽い酸素原子列はコントラストが弱く見えない。

観察した回折像の画像において $1\text{nm}=18\text{mm}$ という、長さが求まった。このときストロンチウム原子 10 個間の距離は 72mm であった。この数値を用いて

$1\text{nm}:(\text{格子定数})=18\text{mm}:71\text{mm} * 1/10$ という式が出せ、ここから格子定数の実測値 0.394 が求められた。つまりこの数値が原子間の距離であり、実測値との誤差は 0.894% であった。このことより原子の直接観察によっても格子定数が求められることがわかった。

3. 考察

3.1. ヤングの干渉実験

3.1.1. 平行スリットの干渉縞

この実験では、光の回折・干渉に関するヤングの式 $x = \lambda \cdot L / d$ を導いた。この式によりスリットの間隔と干渉縞の間隔との関係が分かり、干渉縞間の距離さえ分かれば、スリットの間隔が計算により求めることができることが分かった。また、横向きや十字に作成したスリットによる実験から、干渉縞は、スリットの向きを 90 度回転した線上に現れることが分かった。

3.1.2. メッシュの干渉縞

平行スリットを使った実験で明らかになった光の回折・干渉の性質とヤングの式を使えば、定規で測れないような小さな距離でも測れることが分かった。つまり、スリットとスクリーンとの間の距離・レーザー光の波長・干渉縞間の距離を求めて、銅メッシュ間の距離のような 1mm 以下の距離がヤングの式から計算できることが分かった。

3.2. 透過電子顕微鏡による観察

銅メッシュ間の距離を導出した原理を、結晶における原子と原子との距離を求める際に応用した。透過電子顕微鏡を用いて回折像を求めることで、結晶の原子間の距離が分かり、結晶構造を求めることができた。

4. まとめと今後の課題

私たちは、今回の研究をするにあたりまず波の性質を学習した。物理の知識として、波が干渉・回折することは知っていたが、その性質を結晶構造の解析に使えるとは驚きだった。今回使用した透過・走査透過電子顕微鏡以外にも用途に応じて原子間力顕微鏡や走査トンネル顕微鏡などが使われる。特に、有機物の場合は電子顕微鏡を使用すると電子線によるダメージを多く受けてしまうために、これらの顕微鏡が活用されている。今後はより分解能の高い顕微鏡や、有機物を電子顕微鏡で観察する技術が開発されることが期待さ

れる。私たちは、今回学んだ光の干渉・回折と顕微鏡の知識を今後の学習に活かしていきたい。

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた倉田博基準教授、および本研究のアシスタントとして助言を頂いた麻生亮太郎氏に感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

超伝導物質を作る

青木卓也, 澤辺美樹, 竹内ふみ, 豊永香太

訪問先研究室 京都大学化学研究所

教授 島川祐一, 准教授 東正樹, 助教 菅大介, 齊藤高志

要旨

超伝導物質とその性質について理解を深めるために、超伝導物質である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ と、その構成元素の一部を他の元素に置換した $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ を実際に作成し、その超伝導性の変化を調べた。また、置換する割合を変えた複数の試料を作成することで、置換する割合を変えることによる超伝導性の変化についても調べた。

1. はじめに

簡単にいえば、超伝導とはある種の物質を一定温度（転移温度）以下にしたとき、電気抵抗がゼロになる性質のことだ。この性質を利用して、送電中に起こる電力のロスをなくすことや、リニアモーターカーの開発などが期待されている。そのため、転移温度ができるだけ常温に近い物質を発見するための研究が進められている。

今回の実験では、高温超伝導銅酸化物である $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)、さらに YBCO を構成する Ba の一部を同族元素の Sr に置換した $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBSCO) も作成し、両者の性質を比較した。

2. 実験の方法

2.1. 実験 1 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 5.0g を二つ作成

酸化イットリウム (Y_2O_3)、炭酸バリウム (BaCO_3)、酸化銅 (CuO) を量りとり、乳鉢で粉末を混ぜた後、圧力を加えて固める。それを 900°C で約 10 時間仮焼きし、再度、乳鉢ですりつぶした後、固めて焼く。

出来上がった試料の磁化率、電気抵抗を測り、格子定数（結晶中の繰り返しの単位である単位格子の、3 辺の大きさ）を求め、成分分析を行い、マイスナー効果を確認する。

2.2. 実験 2 $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ 3.0g をそれぞれ一つずつ作成 ($x = 0.5 \quad 1.0 \quad 1.5 \quad 2.0$)

酸化イットリウム (Y_2O_3)、炭酸バリウム (BaCO_3)、酸化銅 (CuO)、さらに炭酸ストロンチウム (SrCO_3) を量りとり、乳鉢で混ぜた後、圧力を加えて固める。その後、実験 1 と同様に仮焼きした後、すりつぶし、本焼きする。

それらの試料の磁化率、電気抵抗、格子定数、成分分析を行って YBCO と比較し、超伝導体の性質の変化の違いを確認する。 $x = 2.0$ の試料については高圧処理も試みる。

実験 1 と実験 2 について原料材料物質の必要な量、および実際の測定量を以下に示しておく。実験 1 については便宜上 $x = 0.0$ とした。

写真 1 試料をすりつぶしている様子



		実験1		実験2			
		x=0.0; ①	②	X=0.5	x=1.0	x=1.5	x=2.0
必要量(g)	Y ₂ O ₃	0.757	左に同じ	0.4700	0.486	0.504	0.5240
	BaCO ₃	2.644	左に同じ	1.231	0.850	0.441	0.000
	SrCO ₃	0.000	左に同じ	0.307	0.636	0.989	1.369
	CuO	1.599	左に同じ	0.992	1.028	1.066	1.107
	合計	5.000	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000
実際の測定量(g)	Y ₂ O ₃	0.757	0.756	0.471	0.486	0.504	0.524
	BaCO ₃	2.644	2.645	1.231	0.850	0.441	0.000
	SrCO ₃	0.000	0.000	0.308	1.029	0.989	1.369
	CuO	1.599	1.600	0.991	0.636	1.066	1.107
	合計	5.000	5.001	3.002	3.002	3.000	3.000

3. 実験の結果

下の図に見るような結果が得られた。図1は $x = 2.0$ を除く格子定数を表したグラフである。図2は $x = 2.0$ を除く磁化率を表したグラフである。図3は YBCO に磁場をかけた時とかけなかった時での温度と電気抵抗率の関係を示すグラフである。図4は $x = 0.5$ と $x = 1.0$ の温度と電気抵抗率の関係を示したグラフである。図5は図3の 90K 付近を拡大した図である。

X線解析の結果から格子定数を計算し、YBCO ができていることが確認できた。また、Sr で置換した場合、 $x = 0.5 \sim 1.5$ の格子定数の変化を確認した。

転移温度で磁化率が負の値を示す、すなわち YBCO と YBSCO の $x = 0.5 \sim 1.5$ が磁場を排除していることがわかった。

電気抵抗を測定し、YBCO が転移温度で電気抵抗がゼロとなっているのがわかった。

転移温度まで冷却した YBCO 試料をネオジム磁石の上に浮かせると、マイスナー効果が見られた。

また、YBSCO の $x = 2.0$ の試料は成分分析をすると主成分として Y₂O₃、CuSrO₂、Y₂Cu₂O₅ の3種類の物質ができており、YSCO の存在は確認できなかった。

4. 実験結果の考察

まず、格子定数の測定結果であるが、YBSCO では Sr 原子の割合が大きくなるほど格子定数の値は小さくなっている。この原因は、Sr 原子は Ba 原子に比べて原子半径が小さいため、結果的に化合物の格子定数の値も小さくなっていると推測される。

次に磁化率の測定結果であるが、YBCO は温度を下げると (①) 9.2K 付近から磁化率が一気に大きな負の値となり、5.0K で -0.0053emu/g まで下がった。また、5.0K まで冷やしてから、磁場をかけて温度を上げると (①')、磁化率は -0.00981emu/g と、温度を下げて測定したときより負の値が大きくなっている。これは磁場をかけて温度を下げて超伝導性を測定した場合と異なり、5.0K で既に YBCO が超伝導性を示しているため、より磁場が入りにくくなっていたからである。一方 Sr の割合を増やすほど転移温度は低くなり、磁化率が滑らかに変化している。よって、より多くの Sr を置換するほど超伝導性が現れにくくなるのがわかる。

続いて電気抵抗率の測定結果であるが、YBCO は温度を下げると 96K 付近で電気抵抗率が一気に下降している。一方 YBSCO の $x=1.0$ や $x=1.5$ では電気抵抗率は急激に下降することは無く、ま

た、電気抵抗率の変化のしかたも YBCO とは全く違う。

最後に $x=2.0$ についてだが、YBCO 中の Ba 原子を全て Sr 原子で置換すると、Sr 原子は Ba 原子に比べて小さすぎるため、同じような結晶構造の物質になることが出来なかったと考えられる。YSCO を作る時に高圧処理することで、YSCO ができないかと試みたが、結果的にはできなかった。



写真 2 粉末 X 線回折装置

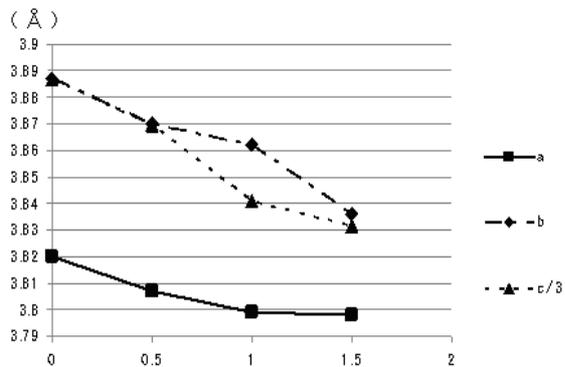


図 1 格子定数の変化

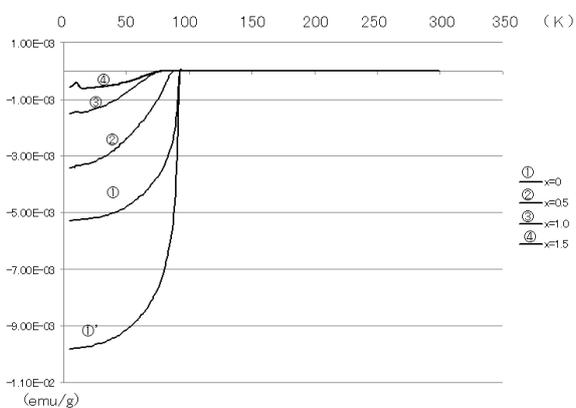


図 2 磁化率の変化

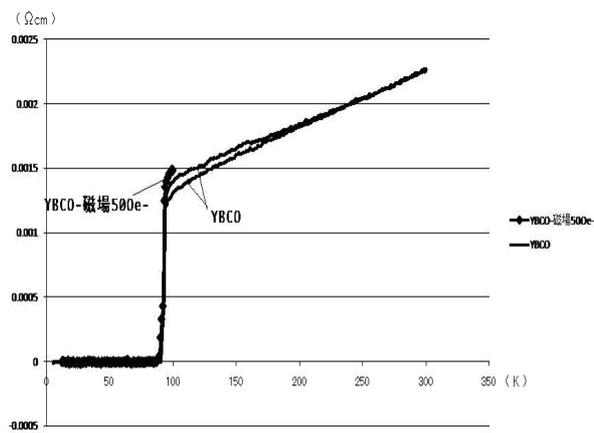


図 3 電気抵抗率 (磁場をかけたときとかけなかったとき)

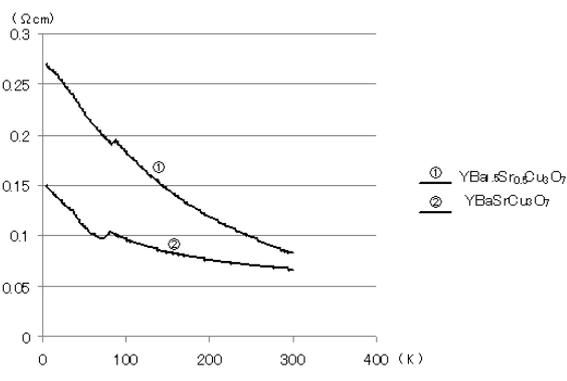


図 4 電気抵抗率 ($x = 0.5, 1.0$)

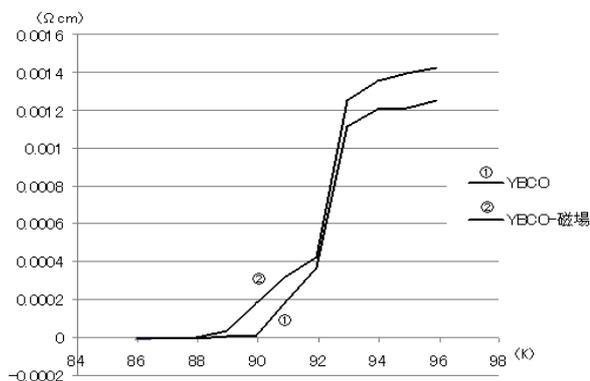


図 5 図 3 の 90K 付近

5. まとめ

YBCO 超伝導物質を実際につくり、磁化率の変化、転移温度でのゼロ抵抗、完全反磁性（マイスナー効果）を確認できた。また、超伝導物質の一部の Ba 原子を Sr 原子で置換していくと置換した割合が増えるにつれて、超伝導転移温度が低くなることがわかった。Ba が全て Sr に置換した試料では、超伝導となる結晶構造の物質は合成できなかった。

今回は YBCO 超伝導物質の Sr 置換を行ったが、他の元素酸化物でも置換を試してみたい。もしくは、高温、高圧で焼き固める方法ではなく、物質を 1 原子層ずつ積み上げる薄膜として超伝導物質を作る方法を試してみたい。

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた東正樹先生、島川祐一先生に感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 「超伝導のふしぎ」 家泰弘

- 2) フリー百科事典ウィキペディア
<http://ja.wikipedia.org/>
- 3) 社団法人日本電気技術者協会
<http://www.jeea.or.jp/course/contents/02101/>
- 4) ダブルブリッジによる低抵抗の測定
http://www.geocities.co.jp/CollegeLife-Labo/6371/jikken/ex1_4.html
- 5) 黒木研究室主な研究成果
<http://www.e-one.uec.ac.jp/~kuroki/Pr247.html>
- 6) 森の里ホームズ 1 口メモ
<http://mh.rgr.jp/memo/za0027.htm>
- 7) 物理研究室 超伝導
<http://laboratory.sub.jp/phy/74.html>
- 8) KKE : News@KEK (鉄を含む新しい高温超電導体)
<http://www.kek.jp/newskek/2008/novdec/LaFeAsO.html>
- 9) 超電導物質を使った実験
<http://www.takasaki.ed.jp/ssh/research/report/h17report-research-7.pdf>
- 10) 科学研究部物理班 超伝導
<http://www.st-h.metro.tokyo.jp/club-page/kakuen/physics/katudou/tyoudenndou.html>

ガラスの着色

新井翔太, 関口周, 古澤香菜, 西幡友香, 森本英暉

訪問先研究室 京都大学化学研究所

教授 横尾俊信, 准教授 徳田陽明, 正井博和, TA 山本和幸

要旨

ガラスの作製を通して化学物質に触れ、遷移金属酸化物による着色の原理を体験的に学び、それを通して大学化学の基礎を知った。

1. はじめに

日常生活の中にはさまざまな色のガラスがある。その色はどのようにして着色されているのか。色はどのようにして決まっているのか。そもそもガラスはどのようにして作られているのか。これらをテーマにして我々は研究をした。論文の構成は、始めに実験内容、次に実験の結果と考察、最後にまとめと今後の課題である。

2. 実験の方法の内容

実験はガラスを自ら作り、光吸収スペクトルを測定して遷移金属と着色の関係を調べた。

まず実験に使うは以下の通りである。

- Na_2CO_3 (分子量: 105.99)
- H_3BO_3 (分子量: 61.834)
- 0.1wt%遷移金属
 - サンプル A (無ドーブ、 Co_3O_4 , MnO_2 , Fe_2O_3)
 $\text{Na}_2\text{O}:\text{B}_2\text{O}_3=13:87$ (物質質量比)
 - サンプル B (無ドーブ、 Co_3O_4 , MnO_2 , Fe_2O_3)
 $\text{Na}_2\text{O}:\text{B}_2\text{O}_3=33:67$
 - サンプル C (無ドーブ)
 $\text{Na}_2\text{O}:\text{B}_2\text{O}_3=45:55$
- トンボ玉用ガラスロッド (キナリ①、②)

次に、操作は以下の通りである。

1. 原料 の質量を 10^{-4}g 単位で秤量して混合する。

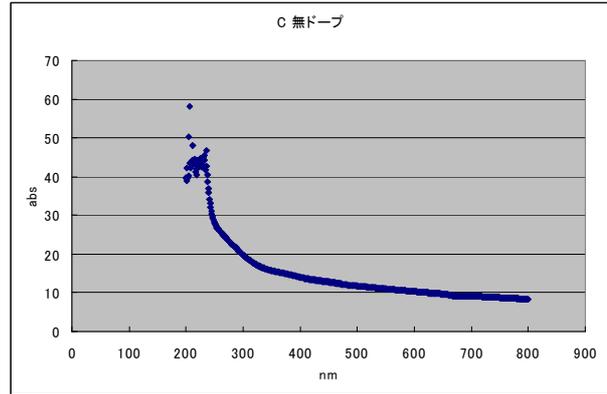
2. るつぽに移し、 1000°C で10分加熱する。ただしトンボ玉用ガラスロッド用の電気炉温度は 1100°C 。
3. 200°C に加熱したステンレス上で急冷
4. 400°C でアニール (ゆっくり冷却)
5. 紙やすりで研磨する。
6. 光吸収を測定する。
7. トンボ玉用ガラスロッドのみ蛍光 X 線を測定する。

各サンプルには以下の分量だけ用いた。

• 無ドーブ	サンプル A	Na_2CO_3	0.5687g
		B(OH)_3	4.4399g
	サンプル B	Na_2CO_3	1.4973g
		B(OH)_3	3.5538g
サンプル C	Na_2CO_3	2.9266g	
	B(OH)_3	2.1067g	
• Co^{2+}	サンプル A	Na_2CO_3	0.5714g
		B(OH)_3	4.4332g
		Co_3O_4	0.0066g
サンプル B	Na_2CO_3	1.4749g	
	B(OH)_3	3.5275g	
	Co_3O_4	0.0069g	
• Mn^{4+}	サンプル A	Na_2CO_3	0.5645g
		B(OH)_3	4.4378g
		MnO_2	0.0050g

	サンプル B	Na_2CO_3	1.4873g
		$\text{B}(\text{OH})_3$	3.5209g
		MnO_2	0.0052g
• Fe^{3+}	サンプル A	Na_2CO_3	0.5739g
		$\text{B}(\text{OH})_3$	4.4587g
		Fe_2O_3	0.0048g
	サンプル B	Na_2CO_3	1.4825g
		$\text{B}(\text{OH})_3$	3.5316g
		Fe_2O_3	9.0057g

サンプル C 無色 (③)



波形の測定方法は研究室にある Hitachi 製「U-3500 Spectrophotometer」を用いた。

• 測定結果について
無ドープ A,B,C 光吸収なし → 無色

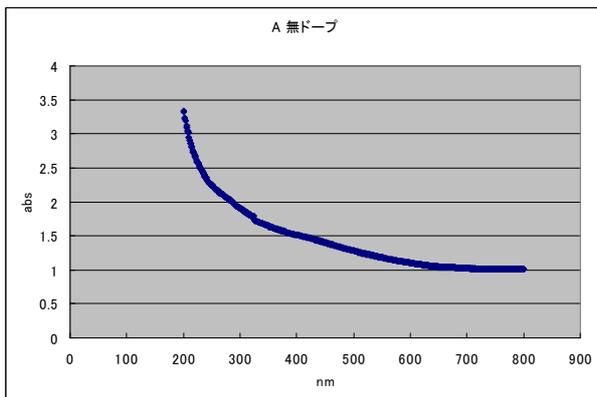
3. 実験の結果と考察の内容

写真は最後に記す。()内に番号明記。

①無ドープ

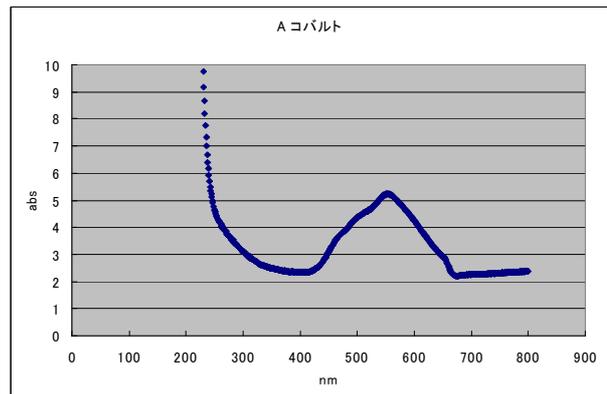
• 色について

サンプル A 無色 (①)

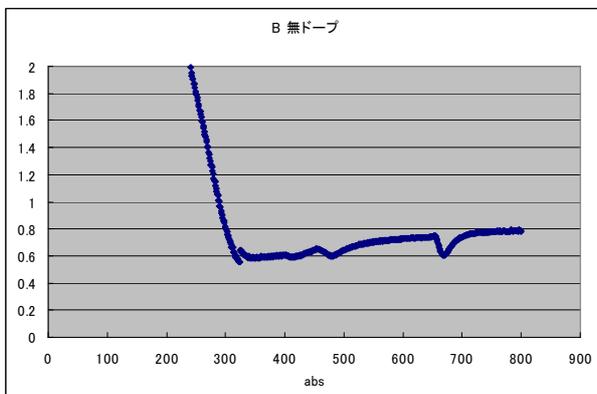


• コバルト
色

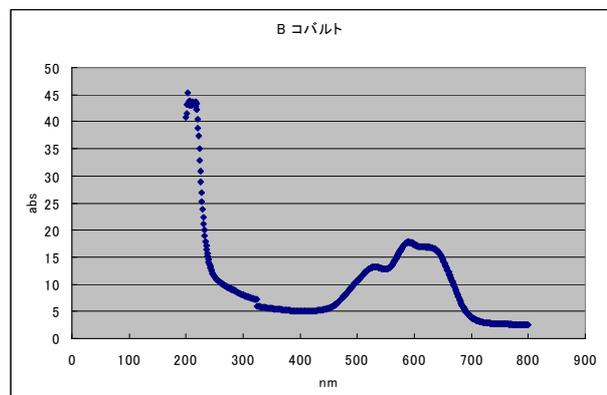
サンプル A 薄い紫色 (④)



サンプル B 無色 (②)



サンプル B 青色 (⑤)



測定結果

サンプル A 530~600nm に光吸収

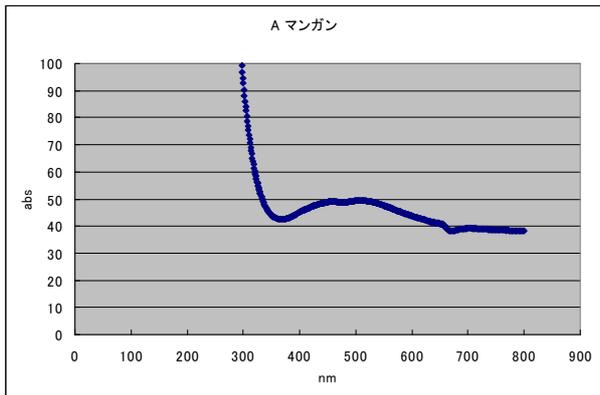
→ 紫色に見えた

サンプル B 600nm 付近に大きな光吸収

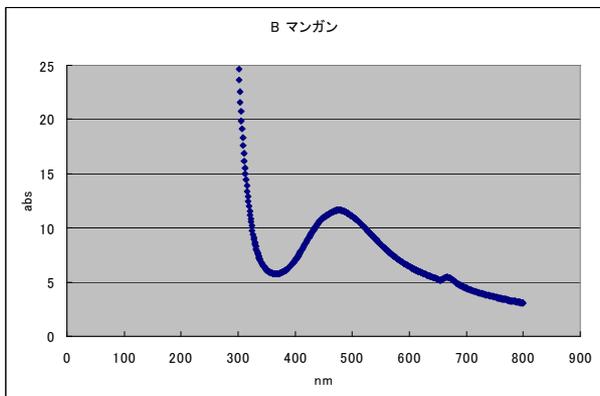
→ 青色に見えた

・マンガン
色

サンプル A 薄い赤紫色 (⑥)



サンプル B 茶色 (⑦)



測定結果

サンプル A 500nm 付近に光吸収

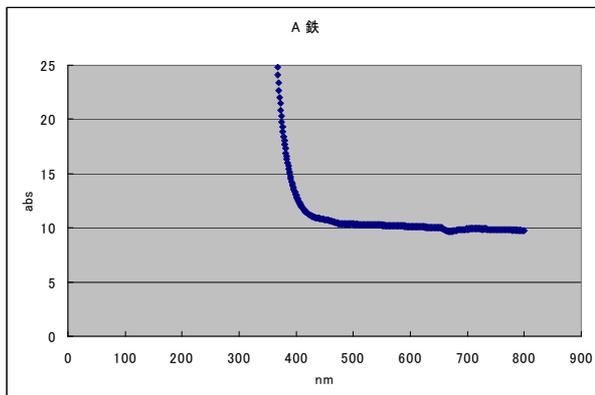
→ 赤紫色に見えた

サンプル B 420~500nm(藍~青)に光吸収

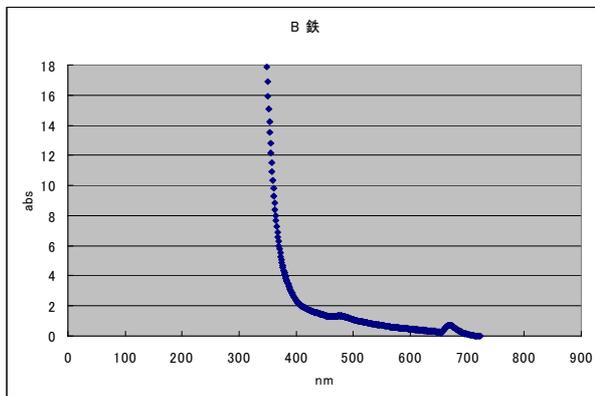
→ 茶色に見えた

・鉄
色

サンプル A 薄黄色 (⑧)



サンプル B 無色 (⑨)



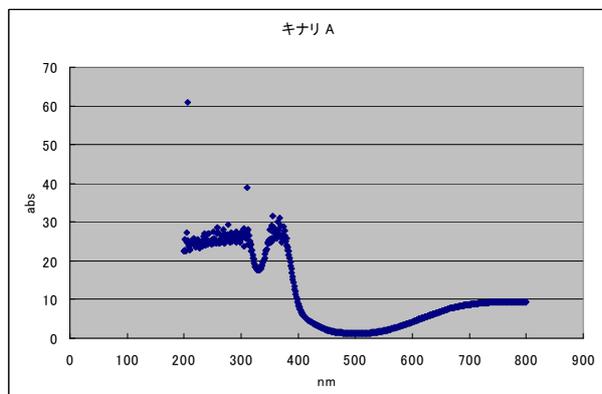
測定結果

サンプル A 大きな光吸収がない

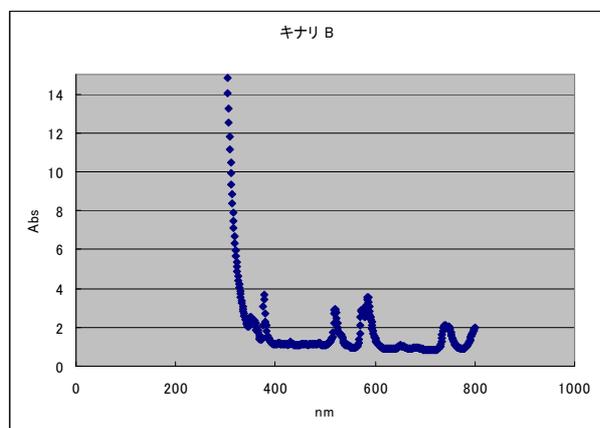
→ 色が薄い

サンプル B 光吸収なし → 無色

- キナリ
色
キナリ A 緑色 (⑩)



- キナリ B 青色 (⑪)



d 軌道とは、原子を構成している電子軌道の 1 種である。方位量子数は 2 であり、 d_{xy} 軌道、 d_{yz} 軌道、 d_{zx} 軌道、 $d_{x^2-y^2}$ 軌道、 d_{z^2} 軌道という 5 つの異なる配位の軌道が存在する。

通常、d 軌道は 5 重に縮退しているが、遷移金属錯体で見られるように、 O^2- や OH^- などの配位子が遷移金属イオンの周りに配位すると、配位子による静電場の影響で d 軌道の縮退が解け、配位の様式に応じて軌道準位が分裂する。これを配位子場分裂とよぶ。

6 個の配位子が正八面体状に配位した場合、3 重に縮退した t_{2g} 軌道と、2 重に縮退した e_g 軌道に分裂する。配位子の方向に電子の存在確率が高い $d_{x^2-y^2}$ 軌道、 d_{z^2} 軌道は配位子による静電反発の

ため、軌道のエネルギーが押し上げられ、2 重に縮退した e_g 軌道になる。また、配位子の方向に電子の存在確率が低い d_{xy} 軌道、 d_{yz} 軌道、 d_{zx} 軌道はエネルギーが低く、3 重に縮退した t_{2g} 軌道になる。

4 個の配位子が正四面体状に配位した場合、3 重に縮退した t_2 軌道と、2 重に縮退した e 軌道に分裂する。配位子の方向に電子の存在確率が高い $d_{x^2-y^2}$ 軌道、 d_{z^2} 軌道は配位子による静電反発のため、軌道のエネルギーが下がり高く、3 重に縮退した t_2 軌道になる。八面体と四面体場では逆になる。

正八面体の場合、d 軌道がちょうど全て充滿した d^{10} 錯体は可視部に吸収をもたず無色の化合物が多いが、d 軌道に不完全に電子が充滿した (e_g 軌道に空きがある) 錯体に白色光を当てると、 t_{2g} 軌道と e_g 軌道のエネルギー差 (Δ_o) に相当する波長の光を吸収することにより、 t_{2g} 軌道の電子が e_g 軌道に遷移し、人間の目には吸収される光の波長の補色にあたる色が見える。このため、一般に遷移金属錯体は色を持つものが多い。吸収される光の波長は中心の遷移金属や配位子の種類によって異なる。

物質はある波長の波を吸収し、それが、発色する原因となる。

例えば波長 530~590nm の、黄緑~黄色の色を示す波を吸収した場合、その物質は私達の目には紫~藍色として認識される。

これが可視光域外となると、私達の目には無色として映る。

同じ物質質量比でも吸収している波長が違うので、色が変わってくる。これがサンプル A、サンプル B においての色の違いの原因である。

電子というのは軌道を持ち、s,p,d,f の順に埋まっていく (高校では K 殻 L 殻... のように、少し違ったタームで習う)。また d 軌道内に配置には二種類あり、それらの形は八面体と四面体である。四面体配置では電子と配位子が一直線上に並び、

これらが最短距離となる。また、電子が遷移可能となっている。これをスピン許容という。これにより、物体の持っているエネルギーが高くなり、波長の短い波を吸収するようになる。さらに、四面体の中心対称性が無いため、四面体構造を持つ物質は、ラポルテ許容という状態にある。(八面体場はすべて禁制。) これにより吸収したコバルト、マンガン A,B において、B の色の方が濃くなった原因である。

八面体構造のものでも同じことが言えるが、八面体はラポルテ禁制である。これがコバルトで起こったと思われる。また、マンガンは四面体構造になることがないので、スピンが禁制から許容に変わったのが色の変化の原因になったといえる。鉄については実験結果で述べたとおり。キナリについては①のほうクロムまたは鉄、②のほうコバルト、銅など、青色を出す物質を含む混合物だと考えられる。

以下写真。

①



②



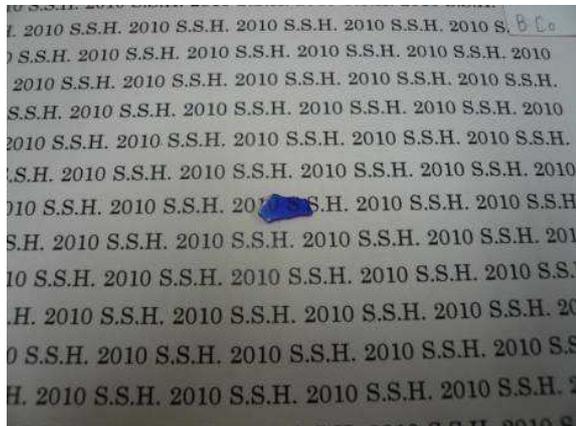
③



④



⑤



⑥



光センサで動くライトレースカー

上田樹美, 北澤美紀, 千葉龍一, 西田周平

訪問先研究室 京都工芸繊維大学

教授 大柴小枝子, TA 西濱瑛太, 森下貴史, 岡田浩之

要旨

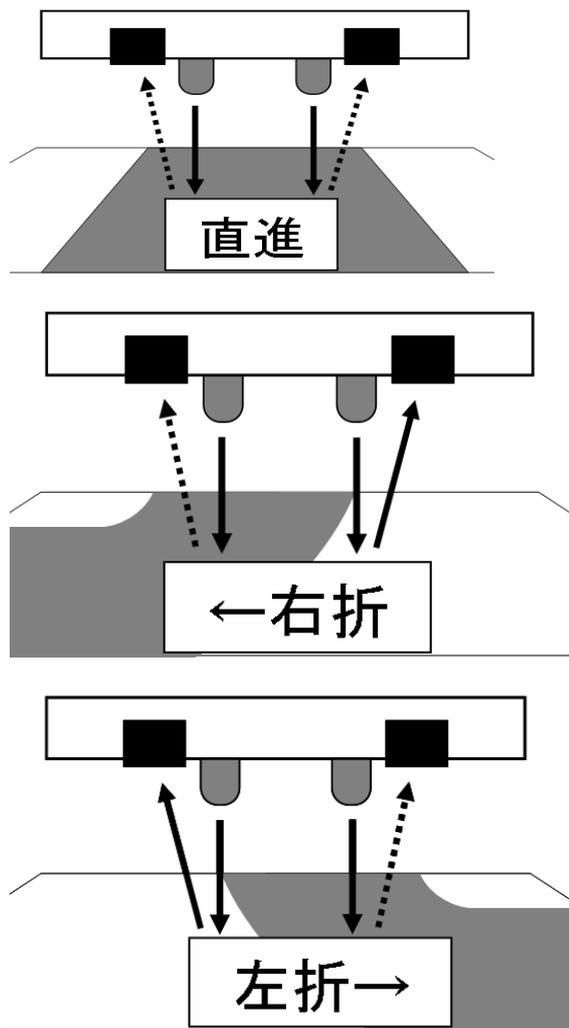
論理回路の基礎を学習し、4つの NAND から構成されるフリップフロップ回路を利用したライトレースカーを作成した。コースを判別するための光センサにはフォトトランジスタとLEDを用い、走らせるコースの色を変えたときのコースからからの反射光とLEDの色の関係など様々な観点からの実験と考察を行った。さらに、それらの検討により得たライトレースカーを正常に動作させるために必要な条件を用いてオリジナルコースを作成した。また、そのコース上を走らせることによって、実機では理論からの予想とどのような差が出るのかについても考察した。

1. はじめに

今回私たちが行った実習では、まず論理回路の基礎的な学習を行い、安全に留意して光センサとフリップフロップ回路を利用したライトレースカーを作成した。そして、実機を用いてうまくコースを自動認識して動作させるためにはどうしたらよいか検討した。さらに、コースを検出するための光センサに用いるフォトトランジスタの感度とその調整、およびLEDの発光する光とコースからの反射光の関係について実験を通して考察した。

ここで、今回使用したライトレースカーの基本動作を説明する。ライトレースカーは本体の下部にLEDと受光素子（フォトトランジスタ）が二つずつついていて、反射する光の強度を検知することで、コースを認識しながら動く。コースライン上にいるときには、ライトレースカーは両方の車輪が動いている状態である。そこから、コースラインの右側に飛び出すと、ライトレースカーの右の車輪は動いたまま、左の車輪が止まる。左側に飛び出した場合には、先述の逆、つまり左の車輪が動いたままの状態、右の車輪が止まる。この動作によってカーブを曲がることので

きる。これをまとめると、右の図のようになる。



この車輪の動作の制御を、光センサとフリップフロップ回路を用いて行っている。

以下に、各実験の詳細と考察、最後に今実習のまとめを述べる。

2. 論理回路

今回のライントレースカーでは、4つの NAND 回路から構成される SR フリップフロップを用いた。NAND 回路はこの回路だけで他の全ての回路が作れる。下の表は論理を立てる上で使用するブール代数の 0 と 1 を用いて回路動作を表したものである。NAND 回路は二つの入力端子 P、Q がそれぞれ 1 を入力するときだけ出力が 0 となる。

P	Q	出力
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 2-1 NAND の入出力表

例えば、AND 回路を作ってみる。AND 回路は二つの入力端子 P、Q が両方 1 を入力するときだけ出力が 1 となる。

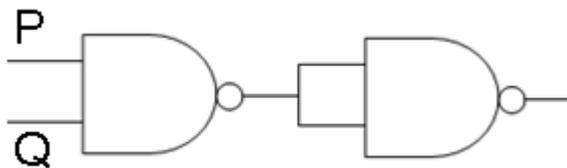


図 2-1 NAND による AND 回路

P	Q	出力
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

表 2-2 AND の入出力表

次に、OR 回路を作ってみる。OR 回路は二つの入力端子 P、Q のうちどちらか一方が 1 を入力

するとき 1 を出力する。

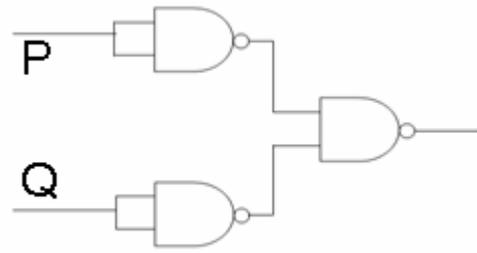


図 2-2 NAND による OR 回路

P	Q	出力
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表 2-3 OR の入出力表

このように、NAND 回路があれば、どんな回路でも NAND 回路をいくつか組み合わせることで作れることがわかる。また、次のような複雑な回路でも作れることができる。この回路は EX-OR 回路という回路である。

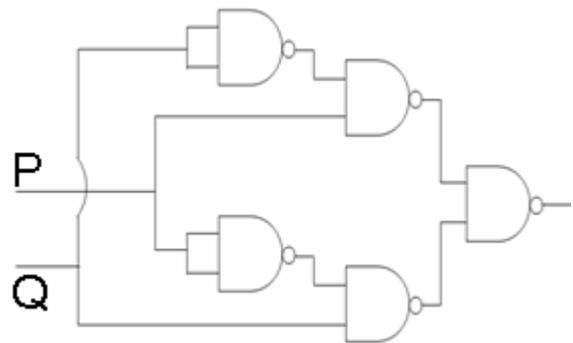


図 2-3 NAND による EXOR 回路

P	Q	出力
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 2-4 EX-OR の入出力表

今回用いたライントレースカーの回路には、フ

リップフロップという回路が使われているが、これは次の図のような回路である。

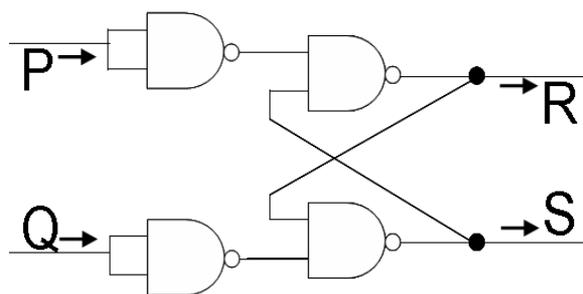


図 2-4 フリップフロップ

この回路は、以下ようになる。

入力		出力	
P	Q	R	S
0	0	保持	
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	1
禁止			

表 2-5 フリップフロップの真理表

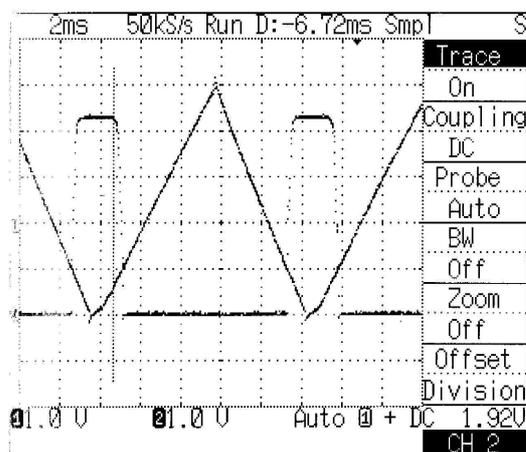
(0, 1) や (1, 0) の入力、カーブを曲がる時などに行われる入力である。ラインから片側がはみ出し、そのはみ出した側の車輪だけが動くことになるので、ライトレースカーは、ラインに沿ってカーブしているように見える。保持というのは、(0, 0) の入力を行う前に行った入力のまま動くことである。つまり、完全にライトレースカーがラインからはみ出しても、上記で先にはみ出した側の車輪がラインに乗るまで動き続ける。(1, 1) 入力は (1, 1) という出力が現れる。ライトレースカーでは、ライン上をまっすぐに走っている状態だ。(1, 1) 入力の後に (0, 0) を入力すると出力が (1, 0) か(0, 1)かの不定となるので、フリップフロップ上では (1, 1) 入力を禁止入力と言う。これは、ライトレースカーが、コースライン上から、まったく同時にコースのない部分へ飛び出した場合である。実際にどのような動作をするかについては、実験を行って確認した。(5-1②参照)

3. 回路素子の動作の調整

3.1. フリップフロップ回路の動作電圧

フリップフロップ回路は入力する電圧の大きさを0もしくは1と認識して動作する。そこで、フリップフロップ回路を構成する NAND 回路素子の0および1と認識する電圧レベルを確認する必要がある。入力した電圧の変化に対する出力電圧の変化を調べるために三角波を用いて次の実験をした。(三角波とは、電圧が強くなったり、弱くなったりという変化をオシロスコープで微調整して三角の波にして表したものである)。この実験はブレッドボードを用いて NAND 回路の入力電圧を 0~5.0V の範囲で変化させてその時にどのような出力が得られるか調べた。

その実験の結果を図 3-1 に示す。三角波が入力した電圧で、他方が NAND 回路からの出力電圧を表している。入力する三角波の電圧が小さい部分では出力電圧が大きい、三角波の電圧が大きくなると出力電圧が急激に0となることが判る。

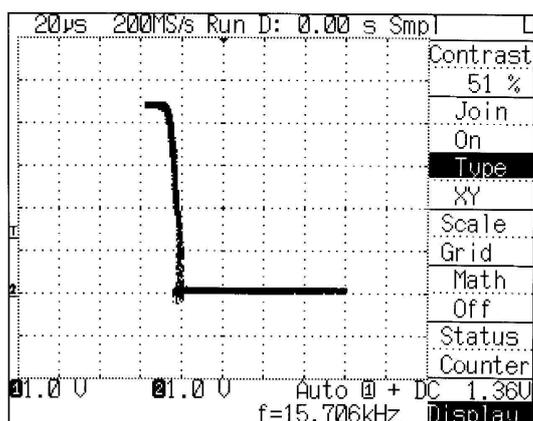


(横軸：時間 2ms/div、縦軸：電圧 1 V/div)

図 3-1 入力(三角波)と出力のグラフ

これにより ON と OFF の切り替わりがどこで起こるかがわかる。そのままだと分かりにくいので入力電圧と出力電圧をそれぞれ X 軸を Y 軸にし

たグラフを作った。(図 3-2 参照)



(横軸:入力電圧 1 V/div、縦軸:出力電圧 1 V/div)

図 3-2 同上(x 軸 y 軸反転)

これにより、入力電圧が約 1 V のところが ON と OFF の切り替えのポイントであることがわかる。回路の定格が記載されている資料によると、2.7V 以上が High(ON)、0.5V 以下が Low(OFF) と定義されていたが、実際の切り替わるポイントは 1.0V であった。(1.0V で切り替わるけれども、High と Low の定義されている出力に差があるのは、誤差を考慮したものである。切り替わりポイントが 2.0V などの場合もあるためである。)

3.2. フォトトランジスタの出力電圧の調整

ロボットカーを完成後に、実際に走らせつつ感度補正のために抵抗の値を変えていると、緑の LED を使用している車のほうの補正が難しいことがわかった。そこで私たちは、LED によるトランジスタの感度の違いを調べるため、下記の回路を作り、実験を行った。

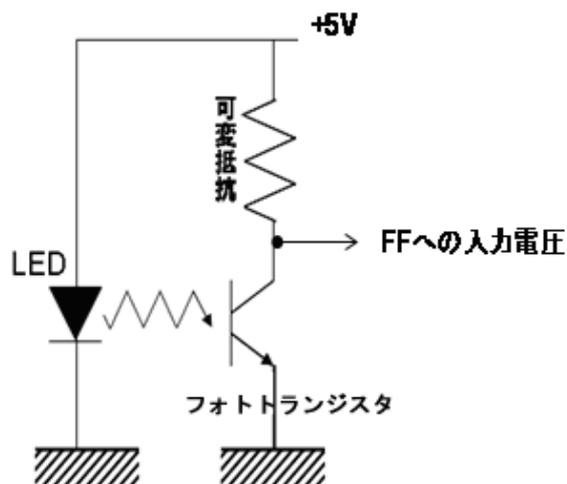


図 3-3 光センサ部の構成 (フォトトランジスタの出力電圧の違いを調べる実験回路)

図 3-3 に示した回路は、光センサ部分の構成である。LED からの光がフォトトランジスタに入力するとフォトトランジスタに光電流が流れるため、フリップフロップへの入力点の電圧が下がる。

3.1 節で明らかにしたように、フリップフロップの切り替わる電圧が 1V であることから、フリップフロップの正確な動作を得るためには、光が入力した場合には 1V 以下、入力していないときには 1V 以上の電圧であることが必要である。この電圧値は、フォトトランジスタと直列に接続された可変抵抗の値で変化させることができる。

そこで、実験では、赤の LED、緑の LED、LED なしのそれぞれの場合における入力電圧の変化を、抵抗器を変えて調べた。結果は以下のようなになった。

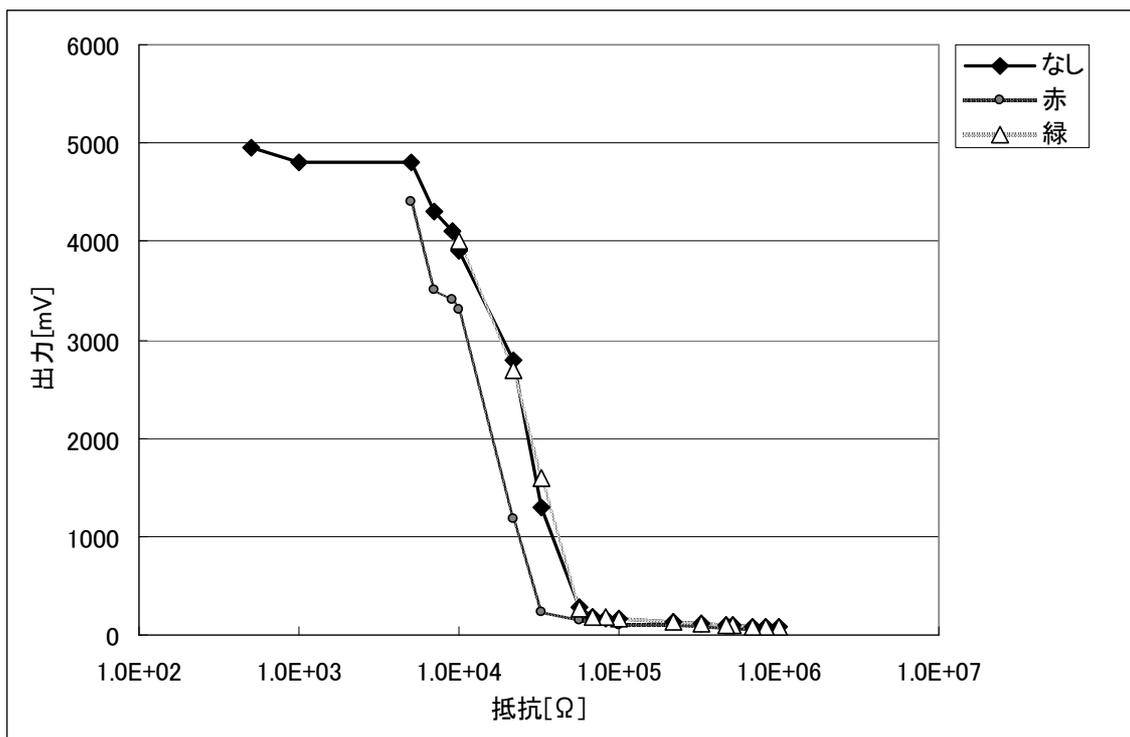


図 3-4 感度の違い (縦軸 出力[mV] 横軸 抵抗[Ω])

今回の実験結果は、普通のグラフではわかりにくいので、対数グラフを用いた。このグラフを見ると、赤色の LED の光を入れた時のグラフは LED なしのグラフよりも電圧値が小さくなっていることが判る。LED なしの状態は、ライトレースカーが黒い道の上にあつて、反射光が弱い状態に対応する。このグラフより、約 $1.0 \times 10^4 \Omega$ の抵抗値を用いたときに、LED 有りでも 1V 以下、LED 光なしでも 1V 以上の電圧値が得られ、安定なフリップフロップ動作が得られることが判った。一方、緑の LED の場合、LED なしの場合とグラフがほとんど同じ状態であった。すなわち、光が入力していないときと入力しているときの電圧値がほとんど同じである。このグラフより、緑の

LED は LED なしの状態とほとんど同じ状態なので、白と黒の区別がつきにくく、赤の LED は区別がつきやすいことが判る。つまり、このグラフに書き換えた際に、LED なしのグラフと差が大きいものほど、正確なフリップフロップ制御が可能になるということである。

4. LED 色とコース色の関係

コースのバリエーションを増やすため、さまざまな色のコースを用意する。感度調節の済んだライトレースカーをその上で走らせた結果が以下の表である。(横にコース色、縦に LED 色を示した)

	黒 (0. 0. 0)	青 (0. 0. 225)	水 (0. 204. 255)	黄 (255. 255. 0)	赤 (255. 0. 0)	緑 (0. 255. 0)
赤	○	○	○	×	×	○
緑	○	○	○	×	○	○
青	○	○	×	×	○	○

表 4-1 LED 色と走れるラインとの対応表

そこで、本体のLED色だけでなく、走らせるコースの色のバリエーションによるライントレースカーの走り方の違いについて考える。ライントレースカーは、LEDの反射光をフォトトランジスタで認識して走っているため、ここではLEDの発す

る光と、印刷されたコースからの反射光とを比べてみることにした。ここでは、コースからの反射光を調べる際、実機を用いて実験をする時の環境となるべく同じになるよう太陽光シミュレータによる白色光を用いた。次にその結果を示す。

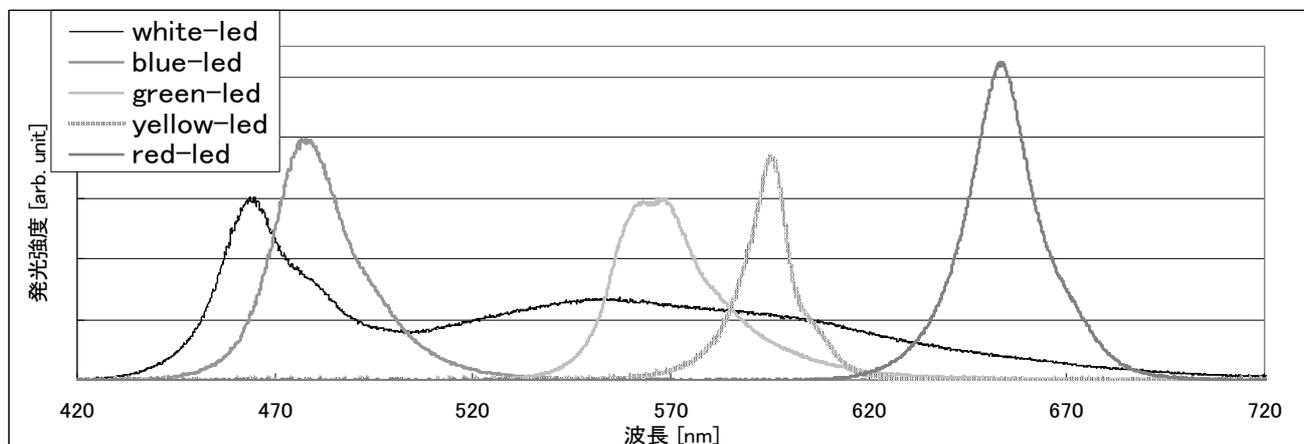


図 4-1 LEDの発する光の波長分布

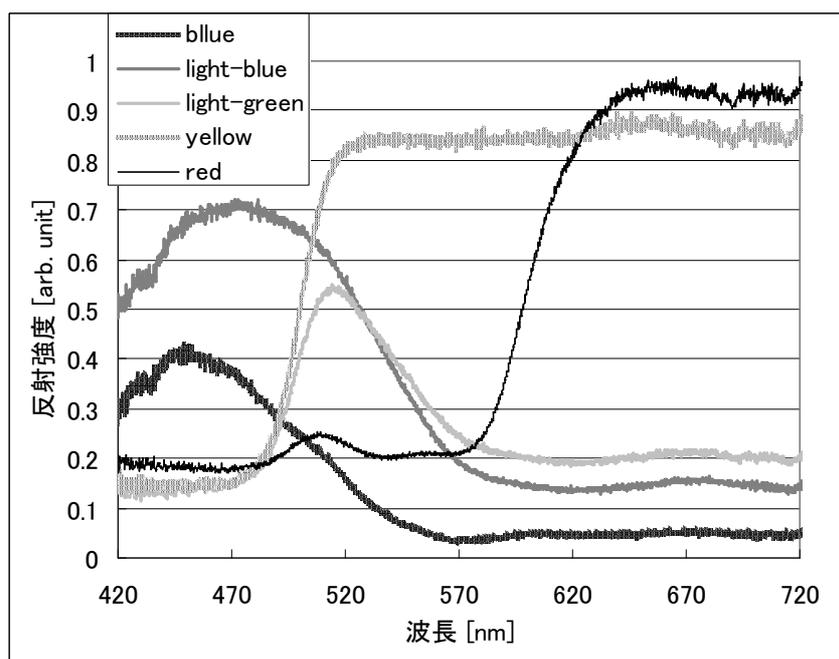


図 4-2 印刷による色つきコースの反射する色の分布(白い部分の反射光により規格化)

図 4-1 より、白色以外のLEDの光の波長はある程度一定の波長を保っていて、また、それぞれの波長があまり被っていないので、はっきりとそれぞれの色の区別がつくことがわかる。それに対して、表 4-2 より、印刷されたコースの反射する光は、それぞれの波長に被っている部分が多く、目

で見ているほどの区別がないことがわかる。特にyellowは幅が広く、redの範囲もすべて含んでいる。また、light-greenの部分を見ると、三原色(ここではred, yellow, light-blueとする)以外の色は、三原色の被っている部分の光だけが反射光として残っていることがわかる(減法混色)。また、

表 4-1 と表 4-2 を見比べてみると、LED の光とコースからの反射光が一致しているとき、つまりトランジスタに光が入り「1」の入力がされているときは、白黒のコースで言えば「白」（コースアウト）と同じ入力であるので、最初に行った実機による実験の結果(表 4-1)と一致している。

さらに、図 4-2 の light-blue と blue の差に注目し、色彩ではなく明度による反射光の差についても調べてみることにする。そこで、新たに明度の違う灰色のコースを 3 色用意し、明度が高いほうから順に black-1、black-2、black-3、黒を black-4 とした。

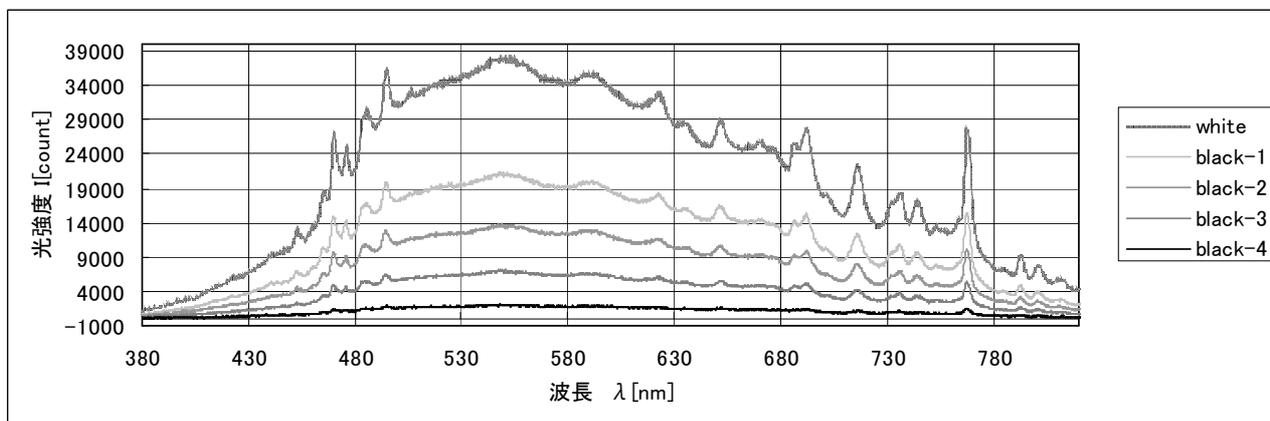


図 4-3 明度違いの灰色のコースからの反射光の分布(非規格化)

すると、光の反射強度に明確に差が現れていることがわかる。つまり、blue と light-blue の差と黒色と灰色の差は同じもので、反射した光の強度によって起こることがわかる。また、後にこれらのコースを走らせて見たところ、上手く感度を調節すれば一番薄い black-1 も走れることがわかった。

5. コースの設計

自分たちで設計したコースをパワーポイントで作り実際に走らせてみた。

5.1. 実験の内容

①細い線

2つのダイオードの間隔よりも細い道を曲がると互いに入力が繰り返されることでどのように動くのかの実験をした。

①結果



図 5-1 ライントレースカーと細い線の図
細い線上を走らせるとトランジスタの幅よりも狭いにも関わらずその線上をジグザグに曲がり続けながらたどることができた。

②T字路

同時に 0 0 入力されることはフリップフロップでは禁止であるが、実際に T 字型の道に垂直にぶつけるとどうなるかを調べるために T 字路を用いて実験をする。直前までに保存されている方向にまがると予想した。

②結果



図 5-2 T 字路

同時にトランジスタに00入力ができることは不可能であり、先に0を入力された方向に向かって普通に曲がる。だが、モーターが同じ出力でも個体値があったため、右のモーターが強ければ左にしか曲がらなかったりした。

③黒から白へのグラデーション

トランジスタの分解能がわかるのではないかと予想し作成した。

③結果



図 5-3 グラデーション

トランジスタは0か1しか認識しないため、人の目にグレーに見えるものでもしっかりと「黒」と認識しほとんど白に近い色になっている左端でしか曲がらず、予想を確かめる実験にはならなかった。これとは違う急激なグラデーションではトランジスタの分解能の明度が測れたかもしれない。

④7色の色分け

使用するダイオードによって「1」と認識する色が違うので、曲がる場所もそれに伴って違うことが観察できると思われる。

④結果

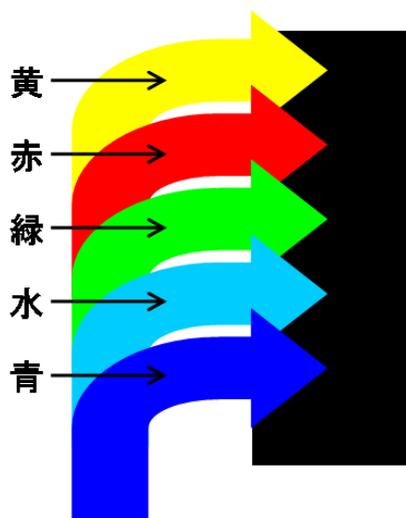


図 5-4 5色に色分けされたコース

やはりトランジスタによってそれぞれ認識する色と認識しない色は実験した表のとおり、曲がる場所を変えることが出来た

6. ライントレースカーを動かす際の注意点

まずトランジスタが入力を受け取ったとしても、モーターに伝達するまでに遅延時間が発生してしまう、また黒か白かを判別する境界はどのダイオードでも黒に近いところにあった。さらに、直線であればラインは細くとも先端を左右動きながらラインをたどることができた。また、左右のモーターに個体差があり、同じ入力であってもまっすぐに進むとは限らないため、どちらかに過負荷をかける必要がある。実験では、このモーターの差によってまっすぐに進ませることができないため、T字路のようなコースは一定の方向にまがる時があった。

まとめると以下ようになる。

- ①十分な余白が必要
- ②カーブの角度が急であるとたどれない
- ③ラインの色は黒であれば明度が高くても良い
- ④ラインの太さは直線であれば二つのトランジスタの間隔よりも細くても正確に作動する
- ⑤左右のモーターの個体差により思ったとおりの方向に進まないことがある

7. まとめ

まずラインレースカーを作成し、実機による実験を行った。ここで、センサーとタイヤの動きの関係や感度調節の必要性、走ることのできるコース色などを体感した。今回の研修では、これらの体験を論理的に考察することによって、ラインとレースカーの制御のために必要な知識を集め、オリジナルコースを製作した。

論理回路を用いると、電流を意図した方向に流すことができ、さまざまな機械はこれにより成り立っている。また、今回作成したラインレース

カーを動作させる回路の中でも重要な働きをしていたのがフリップフロップである。これは、ANDやNANDのような基本的な回路のように瞬間的に働くのではなく、入力がないときはフリップフロップ自身で直前の入力を保存することができ、次の入力があると、それを保存する。この働きにより、ライントレースカーはフォトトランジスタからの入力でタイヤの動きを制御することができる。

LED色とコース色との関係を調べる実験では、コースからの反射光やLEDの発する光の波長を調べることにより、LEDの光と近い波長の光を反射する色のコースや、ほとんどの光を反射する明るい色のコースは走れないということがわかった。

オリジナルコースは、走行可能なコースになるまでに、明度や太さ、曲がる角度、余白等の調整

と、パーツの微調整を繰り返した。これは、実験や測定により得た知識はあっても、実機では状況が違っていたこと、モーターなどの部品にも固体値があったこと等により、予想外の挙動が見られたからである。

謝辞

本研究を指導していただいた大柴小枝子教授、TAの西濱瑛太さん、森下貴史さん、岡田浩之さん、本研究をまとめるのに際し助言を頂いた竹本宏輝先生に感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

表面を操作するテクノロジー

入江あゆみ, 水野奈緒, 宮川蘭奈, 山口果

訪問先研究室 京都工芸繊維大学

教授 川瀬徳三, 准教授 老田達生

TA 岡田武将, 緒方将吾, 誉田豊, 住田祥, 高宮やよい, 野村佳史, Huynh Ngoc Chau, 南愛弓

要旨

界面活性剤とは、一分子中に、水と仲のよい部分(親水基)と、水と仲の悪い部分(疎水基)をあわせ持つ物質である。今回の研究では、界面活性剤の働きを実験で確かめ、その後、界面活性剤を用いて単分子膜を作成した。そして、単分子膜(分子が並んだ厚さがちょうど1分子に相当する薄い膜)を用いて、水も油もはじくカバーガラスを作成し、実生活にどのように役に立つのかを考えた。

1. はじめに

界面とは、ある均一な液体や固体の相が他の均一な相と接している境界で、エネルギー的に変化する境界である。均一相の一方が液体や固体で、他の均一相が気体の場合、その界面を特に表面という。物質の内部では、どの方向からも同じ強さの分子間力が働いているため、均衡がとれているが、表面では内部方向にばかり分子間力が働いていることになる。その結果、表面の分子は内部に比べて過剰エネルギーをもつ。この過剰エネルギーの単位面積あたりの値が表面自由エネルギー(表面張力)である。表面の分子はエネルギー的に高いため、物質は、総エネルギーの一番小さい球形になろうとする。

界面活性剤は、両親媒性分子であり、極性部(親水基)と炭化水素鎖(疎水基)からなる。この炭化水素鎖が水面上に配列して単分子膜を形成するため、界面活性剤は水の表面張力を低下させる。

最初の実験では、界面活性剤を用いて表面張力の変化を確かめる。

2. 表面張力と界面活性剤

まず、実験1、実験2、実験3で、身近にある界面活性剤(洗剤)を用いて、界面活性剤の性質について触れた。

実験1 活性炭の動き

トレイに水を入れ、活性炭の微粉末を水表面上に振り掛ける。そして、洗剤の希釈液を染み込ませた綿棒をトレイの中央に触らせる。その結果、活性炭は綿棒のついた場所から一瞬にして離れてゆき、最終的に沈んだ。

考察として、綿棒が水面につくことで、洗剤分子が水面上を単分子膜状に広がり、活性炭を押しやり、広がったと考えられる。また、活性炭は疎水性であり、洗剤が粒子表面につくことによって、活性炭の多孔に表面張力が下がった水が入りこむようになり、最終的に沈んだ。

実験2 水表面の1円玉

シャーレ3個それぞれに水を入れ、中央に乾いた1円玉をピンセットで静かに浮かべる。この水面上に、次の表の様に、飽和食塩水、エタノール、洗剤を滴下する操作をした。

表1：実験2の結果

シャーレ①	・飽和食塩水をスポイトで静かに1滴ずつ数滴、滴下する。	・1円玉 反応なし
シャーレ②	・エタノールをスポイトで1円玉から離れた場所に5滴、滴下する。 ・1円玉に直接かからないようにしながら、1円玉の近くに1滴ずつ滴下する。 ・その後、よくかき混ぜて新しい1円玉を浮かべる。	・1円玉 浮かぶ ・1円玉 沈む ・1円玉 浮かぶ
シャーレ③	・洗剤の希釈液を綿棒にしっかりしみ込ませ、1円玉から離れた水面に触らせる。 ・何度も綿棒を浸し、新しい1円玉を浮かべる。	・沈む ・沈む

表1から考察すると、エタノールは界面活性剤としての効果は小さく水に拡散するため、1度沈んでも均一にかき混ぜると、また1円玉を浮かべたら浮かぶ。界面活性剤では、水面につくと水面に広がり表面張力を低下させるので、2度目以降は浮かばない。

実験3 樟脳船

カッターナイフで発泡スチロールを好きな形に切る。トレイに水を入れ、作った船に樟脳のエタノール溶液を塗る。エタノールを揮発させたのち、トレイの水面に浮かべる。

その結果、浮かべた直後は勢いよく進んだが、時間が経つにつれゆっくり進むようになった。作った船が円に近い場合、定位置で回った。水面に樟脳が広がっていくことで、樟脳船の前後で表面張力が変化し、前に進むが、水面に界面活性剤が広がりきった時にはこの差がなくなり、樟脳船は停止したと考察される。

3. 単分子膜の作成

「2. 表面張力と界面活性剤」で、界面活性剤の表面張力を低下させる働きを、実験で確認することができた。次に、界面活性剤を用いて単分子膜を作成し、分子の大きさを調べることにチャレンジした。

まず、Wilhelmy法を用いて、表面張力の変化から単分子膜が形成されていることを確認する。

実験4 Wilhelmy法によるSDS溶液の表面張力測定

Wilhelmy法を用いて、界面活性剤の濃度を変えると表面張力がどのように変化するかを測定した。薄い板ガラスなどを液体の表面に触れさせた時、板ガラスの周囲に沿って表面張力がはたらき、板ガラスを液中に引き込もうとする。Wilhelmy法とは、この引き込む力を読み取り、表面張力を測定する方法である。

1.0×10^{-3} , 2.0×10^{-3} , ..., 1.0×10^{-2} mol/L の10種類の濃度のSDS(ラウリル硫酸ナトリウム・分子量288.38)水溶液をメスフラスコとホールピペットを用いて調製し、それぞれビーカーに1cmほど入れる。

表面張力計に板ガラスをセットし、ビーカーを入れて高さを調整し、板ガラスを溶液表面に触れさせ、表面張力を測定する。ここで、純水の表面張力は72mN/mである。結果を図1に示す。

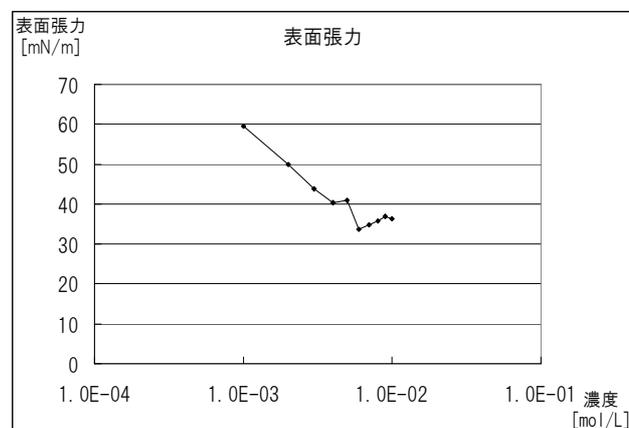


図1：SDS溶液の表面張力

図1から界面活性剤である SDS の濃度が増すと表面張力が下がることがわかる。5.0 × 10⁻³mol/L のデータは、溶液作成の際に、希釈を間違えたためと考えられる。6.0 × 10⁻³mol/L の濃度から、表面張力がほぼ一定になったのは、SDS の吸着単分子膜が表面で完成したためである。

次に、もう一つの単分子膜である展開単分子膜を、機械を用いずに作成し、それを用いて分子の大きさを計算してみた。

実験5 展開単分子膜の形成・ステアリン酸の分子の大きさ

ステアリン酸の集まり方を樟脳片の動きから推測し、分子の大きさを調べるための実験である。ステアリン酸分子が規則正しく並び、密になってくる、つまり、単分子膜が形成されると、樟脳片は動かなくなることを利用する。

実験の手順は次の通りである。トレイをきれいに洗う。バリアをエタノールで拭き、トレイの両端に置き、水面が容器の上部より少し盛り上がる程度まで純水を入れ、水平を確認する。マイクロシリンジによりステアリン酸（濃度：1.0 × 10⁻⁵ mol/L のベンゼン溶液）5 μl を水の表面に展開する。水面が落ち着いた後、樟脳片を水面にのせる。片方のバリアを動かして樟脳片の動きを調べる。

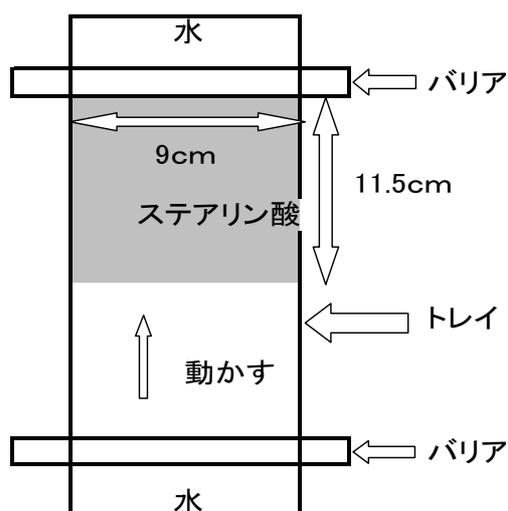


図2：実験5の図

結果は以下の通りである。

水面の広さ	2/3	激しく動く
	1/2	激しく動く
	1/3	動く
	1/4	動く
	1/5	動く

灰色の部分まで片方のバリアを動かした。面積 9 cm × 11.5 cm で樟脳の動きは静止した。この結果をもとに、樟脳の動きが止まった時の面積（展開面積）と展開ステアリン酸の物質量からステアリン酸1分子の占有面積を算出したところ、「ステアリン酸の占有面積 1.7 nm²」が得られた。この値は文献値に比べ非常に大きい。原因として、トレイとバリアの間に隙間ができていた、トレイをおいた台が水平ではなかったなどが挙げられ、今回樟脳が静止した面積は正確ではないことが考えられる。

4. LB膜の作成

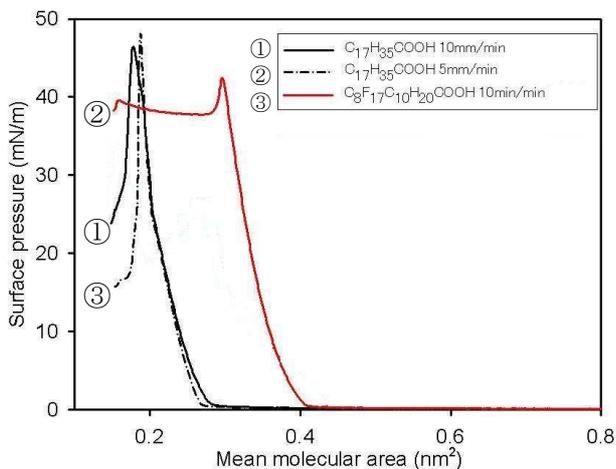
「3. 単分子膜の作成」で、単分子膜が作成されているときの状態を実験で確認できた。次に、LB膜（単分子膜を単離した膜）を作成するため、界面活性剤の展開単分子膜を圧縮していったときに、いつ、一番密な単分子膜ができているのかを調べる。

実験6 脂肪酸単分子膜 BAM 観察

π-A 測定装置のテフロン型トラフに希塩酸を注ぎ、その表面にステアリン酸（分子量 234.47）50 μl、またはセミフルオロカルボン酸（分子量 604.34）50 μl を以下の条件で展開し、圧縮する。

脂肪酸	濃度 (mg/ml)	圧縮速度 (mm/分)
①ステアリン酸	0.2737	10
②ステアリン酸	0.2737	5
③セミフルオロ脂肪酸	0.59155	10

以下のグラフは実験①～③の表面圧と分子占有面積の関係を図式的に示したものである。



膜は、圧縮されるにつれて、液体膨張膜→液体凝縮膜→固体膜と変化する。さらに圧縮されると、単分子膜は崩壊して三次元の崩壊膜となる。

①と②は圧縮速度の違いを調べたが、ステアリン酸の膜の変化の様子や崩壊時の分子占有面積、表面圧にはさほど差がない。③は、①や②に比べて、単分子膜の分子占有面積が大きい。これはセミフルオロカルボン酸の方がステアリン酸よりも一分子の大きさ(断面積)が大きいためである。

この実験で、一番密な単分子膜(固体膜)について調べることができた。次に、LB膜を作成し、撥水性と撥油性を調べるが、その前に、界面活性剤のスピンコーティングにより薄膜を作成したカバーガラスを用いて、接触角測定を体験してみた。

実験7 接触角測定(1)

界面活性剤をスピンコーティングしたカバーガラスにおいて撥水性と撥油性を調べる。

5枚のカバーガラスを洗浄する。1枚を市販品のワイパー用ワックス(自動車用コーティング剤。界面活性剤と同じような働きをする。)、3枚のカバーガラスを次のように界面活性剤でコーティングする。

- サンプル A

(CF₃)₂CF(CH₂)₁₀COOH を 0.2WT% でスピンコーティングしたもの

- サンプル B

CH₃(CF₂)₅(CH₂)₁₀COOH を 0.2WT% でスピンコーティングしたもの

- サンプル B'

同じく CH₃(CF₂)₅(CH₂)₁₀COOH を 0.5WT% でスピンコーティングしたもの

- 1枚は未処理

5枚ともよく乾燥させ、それぞれのカバーガラスに水とデカンを滴下し、それぞれの接触角を測る。

実験結果は次の表2の通りである。

表2: 接触角

	水	デカン
未処理	22°	0°
サンプル A	70°	25°
サンプル B	70°	42.5°
市販品	75°	7.5°
サンプル B'	85° (0秒)	56°
	54° (10秒)	
	49° (20秒)	

未処理カバーガラスと比べると、コーティングしたカバーガラスは、明らかに撥水性が向上したことがわかる。デカンに対しても数値に差はあるがコーティングしたカバーガラスは撥水性を示していることがわかる。

サンプル B' において、時間がたつと水の接触角の数値が小さくなるのは、表面の水と、コーティングした界面活性剤の親水基が引き寄せられたためと考えられる。

次に、LB膜を作成し、撥水性と撥油性を調べた。

実験8 接触角測定(2)

この実験ではLB膜を作成したカバーガラスにおいて撥水性と撥油性を調べる。

3枚のカバーガラスを洗浄する。3枚のカバーガラスを、それぞれサンプル C、サンプル D、サンプル E とし、次の表3で示す条件下で界面活性剤のLB膜を作成する。用いた物質は、セミフル

オロ脂肪酸 [C₈F₁₇C₁₀H₂₀COOH] である。

サンプル C は単分子膜を作成する前にカバーガラスを液体に浸しておき、単分子膜ができたときにカバーガラスを引き上げる。サンプル D は、サンプル C と同様に引き上げたカバーガラスをもう一度浸漬させる。サンプル E は、さらにもう一度引き上げる。サンプル C は単分子膜、サンプル D は 2 分子膜、サンプル E は 3 分子膜の LB 膜である。

3 枚ともよく乾燥させ、それぞれのカバーガラスに水とデカンを滴下し、それぞれの接触角を測る。

表3: LB 膜作成

	溶液濃度 mg/mL	展開 量 μL	引上速 度 Mm/分	表面圧 mN/m
サンプル C	0.59155	50	10	25
サンプル D	0.59155	50	10	25
サンプル E	0.59155	80	10	25

実験結果は次の表 4 の通りである。

表4: 接触角

	水	デカン
サンプル C	35	56
サンプル D	20	4.5
サンプル E	31	54

サンプル C とサンプル E において、未処理に比べ撥水性が向上している。これは、サンプル C は単分子膜で界面活性剤の疎水基が表面にあらわれており、サンプル E は 3 分子膜で、同じように疎水基が表面にあらわれているからである。はっきりと撥水性を示さなかったのは、完全に水が乾いていなかったことによると考えられる。サンプル D は 2 分子膜であり、親水基が表面にあらわれているため、サンプル C と E に比べ撥水性は低い。

また、サンプル C と E は、撥油性も示してい

る。これは、この実験に使った界面活性剤（セミフルオロ脂肪酸）の疎水基にフッ素が含まれているためである。フッ素系は撥油性をもつため、この 2 つのカバーガラスは撥油性を示した。一方、サンプル D は 2 分子膜であり、親水基が表面にあらわれているため、撥油性を示さなかった。

なお、フッ素部分がないと撥油性を示さない。

5. まとめと今後の課題

今回の研修で、界面活性剤とその働き、また界面活性剤を生活のどのような場面で用いることができるのかを学ぶことができた。

界面活性剤とは、表面張力を低下させる働きを持つ物質である。そして、LB 膜とは、界面活性剤の単分子膜を単離した膜のことである。LB 膜の表面に親水基が並んでいるか疎水基が並んでいるかで、水をはじくかどうかが決まる。ただし、疎水基が表面に並んでいるからといって油をはじくとは限らない。フッ素系の物質を含む疎水基が並んでいるときに、油をはじくことが可能になる。

このように、界面活性剤の種類によって、水をはじいたり油をはじいたり、と性質が異なる。親水基と疎水基の組み合わせをいろいろと操作し、水も油もよくはじく膜を作成していくことができれば、車のフロントガラスや、スキーウェアなどにコーティングして、より使いやすくなると思う。

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた川瀬徳三教授、老田達生准教授、また、TA の方々に、感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

「界面化学」 近澤正敏・田嶋和夫 共著

高分子の性質を調べる

鎌田和希, 近藤光雄, 佐田雄亮, 渡邊衛央

訪問先研究室 京都大学化学研究所

教授 金谷利治, 准教授 西田幸次, 助教 井上倫太郎

TA 麻川明俊, 藤原哲明, 松本典大, 濱田孝則

要旨

今、世界にあふれる高分子にはいろいろな性質があります。今回はその中でも「強さ」「光を曲げたり分けたりする」「温度によって結晶の数や大きさが変わる」この三つのことについて調べました。これを調べることによって高分子は鉄より強くなることができるし、まだまだいろいろな可能性があることがわかりました。

1. はじめに

僕たちがこの研究室を選んだ理由は、「僕たちの身近にあるポリ袋などの材質でも内部の構造しだいでは鉄よりも強くなる」ということを知り、感銘を受けたからである。

まず、この研究を始める前にそれに関連していることについてインターネットなどを使い、学習した。その内容は、高分子の基礎知識、長さのスケール、分子構造の調査方法についてである。

僕たちはこの研究を通して高分子についての知識を細かいところまで学んだ。この経験が将来もし研究者になったとき絶対に役に立つと思う。

破断強度の測定は各試料で5回ほど行い、それぞれの平均の破断強度を算出した。

このままでは断面積にばらつきがあり、比較ができないので断面積をそろえる計算をした。

針金と釣り糸と ZYLON の断面は円として扱い、マイクロメーターで直径を測定し断面積を算出した。ZYLON はごく細い繊維の集合なので、よじることで断面を円として扱った。引越し用の紐は平たく伸ばし、断面を長方形とみなして、断面積を算出した。そして、断面積と破断強度は比例するとして、断面積あたりの破断強度を算出し、その違いを試みた。

2. 実験の方法

2.1. 実験 1

図1の「引っ張り試験機」という装置を使い、針金(鉄)、釣り糸(ナイロン)、引越し用の紐(ポリプロピレン)、ZYLON で材質の破断強度を調べた。

具体的な方法としては、まず適当な長さに切った試料の両端に輪を作り、片側は引っ張り試験機に、もう片側にはドライバーに取り付け、引っ張った。このとき、結び目やねじった部分で切れたものは除いた。



図1

2.2. 実験2

高分子の内部構造を調べる一つ目の視点として、光の透過の視点から実験を行った。

まず、偏光板を二枚用いて、片方を固定し、もう片方を回転させることで、完全に光を透過しなくなる角度を調べた。この実験装置（図2）に図3のように、P1とP2に偏光板を、光が完全に遮断されるように取り付け、その二枚の間のSの位置に、高分子物質を設置して回転させ、10°ごとに、36回の計測を行った。

高分子試料には、比較のために無配向フィルムと、配向フィルムを使用し、配向フィルムにはセロファンテープを使用した。



図2

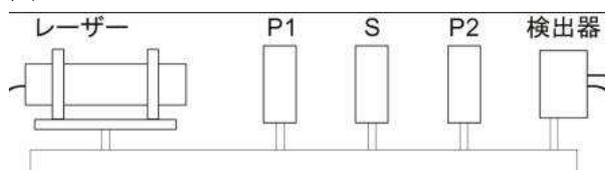


図3

2.3. 実験3

実験2と同じ装置を使用した。赤色（波長：632.8nm）と青色（波長：405nm）のレーザー光源と、格子の大きさが一定の回折格子を用意した。今回は10μmの格子を使った。格子がレーザー光と直角に交わるようにそれぞれを設置した。回折格子を通った光が映るようにスクリーンとなるものを回折格子と平行に置いた。レーザー光が格子を通過すると、スクリーン上で直角座標の格子点の様に光が分かれた。これを回折光という。それらの中心のプロットから一番近いプロットまでの距離と格子からスクリーンまでの距離を

測り、ブラッグの式： $n\lambda = 2d\sin\theta$ （ n =屈折率、 λ =波長、 d =格子の大きさ、 θ =中心に映るレーザー光と一番近いプロットを映すレーザー光の角度）を用いて d を求めた。赤色の場合と青色の場合でそれぞれ調べた。

それを何回か繰り返した。

2.4. 実験4

配向（高分子の並び方）の向きがわからない高分子フィルムを用意した。広角X線散乱測定装置を用意した。あらかじめフィルムの端に一本線を引いておき、その線が床と平行になるように装置にセットして回折光の強度を測定した。

今度は逆に床と垂直になるようにセットし、同様に測定した。

2.5. 実験5

PHB（ポリヒドロキシブチレート）という高分子の素材を用いて各温度における球晶の成長速度を調べた。結晶化の速度が速いことがPHBを使った大きな理由である。

実験の方法は、まずPHBをスライドガラスの上で180℃に熱して溶かし、実験用の試料とした。次に高速温度ジャンプ用光学顕微鏡（図4）を使用して温度ジャンプさせた。この機械のステージは場所によって違った温度に保つことができ、試料を固定してステージだけをスライドさせることによって高温から低温へ一気にジャンプさせることができる。今回の実験では180℃から120℃～50℃のそれぞれの温度へジャンプさせ、違いを調べた。

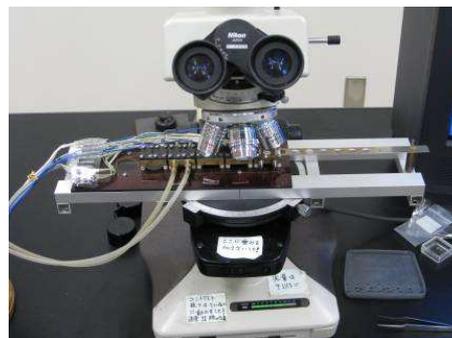


図4

3. 実験の結果と考察

3.1. 実験 1

試料の断面積をそろえずに破断強度を計測すると、結果は表1のようになった。このグラフの横軸は測定した試料で縦軸は破断強度である。釣り糸より約 10N ほど ZYLON の破断強度が強いことがわかった。

そして、断面積あたりの破断強度(N/m²)は表2のようになった。このグラフの横軸は表1と同じだが、縦軸は断面積(m²)あたりの破断強度である(N/m²)。断面積の大きさで規格化すると、ZYLONは鉄(針金)より約 45 倍強いということがわかった。

表 1

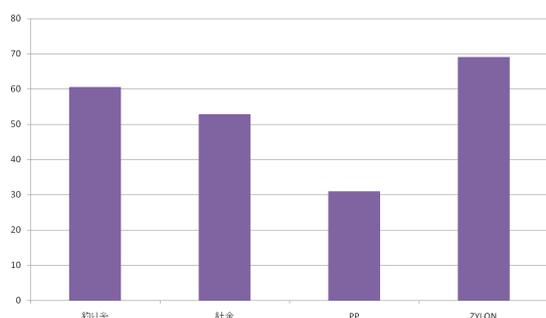
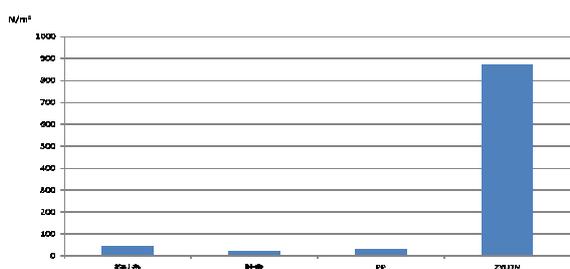


表 2



この実験では同じ高分子でできているものでも強度が大きく変わることがわかる。荷造り紐(ポリプロピレン)と ZYLON の二つに注目してみると、断面積あたりの強度は ZYLON の方が大きい。なぜこのような違いが生まれるかということは、内部構造の違いがひとつの要因となっていることが考えられる。

荷造り紐 (ポリプロピレン) は図5のようにま

っすぐではなく折れ曲がって縮んでいるような分子構造になっており、さらにすべて単結合だけで成っている。これに対して、ZYLON の分子構造は図6のように、ベンゼン環や二重結合が多く含まれているので、それぞれの内部構造より ZYLON の方が強い。なので、このような結果が出たと考えられる。

この実験で、高分子はその内部構造しだいで鉄より相当強いものが作れるということがわかった。しかし、荷造り紐(ポリプロピレン)も ZYLON も縦方向の力には強いが、横方向の力には弱い。おそらく縦方向は原子同士が共有結合の強い結合でつながっているので破断強度が強いが、横方向はファンデルワールス力などの弱い結合でつながっているのでこのようなことになるのだと思う。

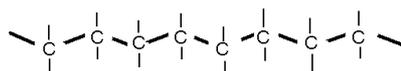


図 5

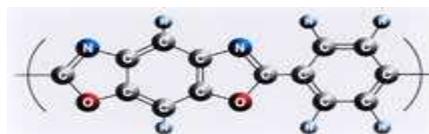
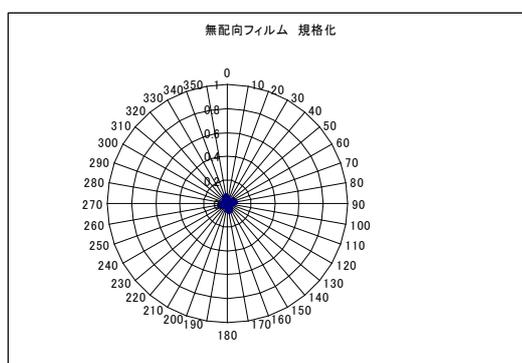


図 6

3.2. 実験 2

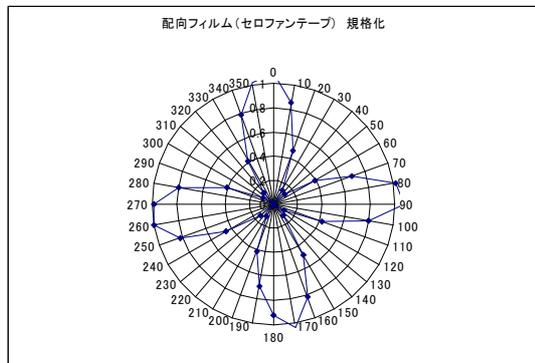
まず無配向フィルムで実験を行ったが、レーザー光はほとんど透過せず、角度によっても変化は見られなかった。表3の円周上の数値が、高分子試料を回転させた角度である。

表 3



次にセロファンテープ（配向フィルム）で実験を行ったところ、表4のように、90° 間隔でレーザー光が強く透過した。

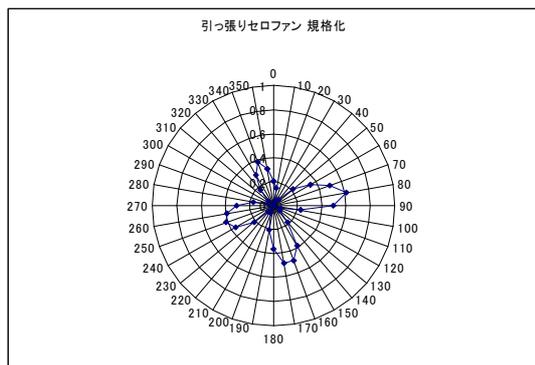
表4



この実験結果より、高分子は透過する光を、入射したときとは違う方向に曲げることができる、複屈折という性質を持っていると考えられる。

また、高分子試料の配向率が高い程、光が強く透過するのではないかと考察し、更に配向率の高い試料で実験を行おうと考え、配向フィルムであるセロファンテープを配向方向に引っ張ることによって、セロファンテープの配向率を向上させて、3回目の実験を行った。表5が結果である。

表5



考察とは異なり、引っ張る前よりも透過光強度は小さくなってしまった。その要因として考えられるのは、引っ張ったことによってセロファンテープにしわが生まれてしまい、光が散乱してしまったことだ。セロファンテープよりも配向率が高

い物質を使用すれば、更に大きい値が得られたのではないかと思う。

3.3. 実験3

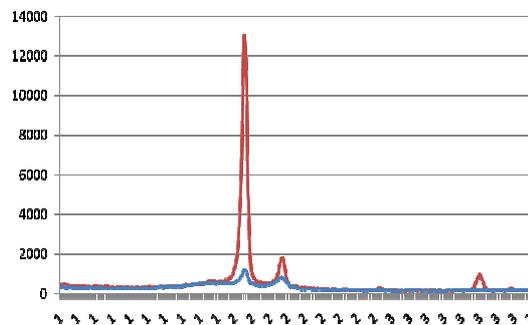
赤色レーザーも青色レーザーもともに縦・横に回折光が現れた。赤色レーザー9.8 μm, 青色レーザー9.2 μm となった。

10 μmの回折格子を通して計算が合わなかったのは、計算に使う数値を測ったのが人の手と目だったからだと思われる。スクリーンも簡単に变形するもので、その上ふつうの定規で測っていた。しかしそれにしては結構近い値だった。青と赤でさらに誤差が出たのは青色レーザーが赤色レーザーに比べて視認しにくかったためと思う。

3.4. 実験4

主に垂直の方向に強いピークが現れた。平行の方向には少しだけ現れた。

表6 赤：垂直，青：平行。



かなり極端でわかりやすい結果のグラフ（表6）が形成された。気にしなくていいレベルではあるが、平行のほうにも若干の強度が出た理由は、高分子フィルムのなかの高分子の配列は完璧に均質なわけではないからだと予想される。

3.5. 実験5

180°C→50°Cの場合は小さい球晶がいくつもでき（図7）、180°C→120°Cの場合は大きい球晶ができた（図8）。

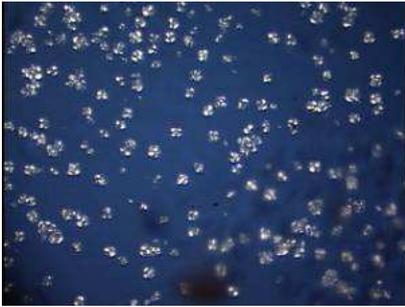


図 7

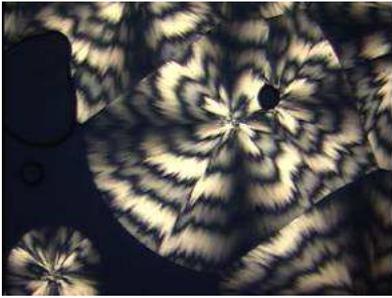


図 8

温度が一定の場合は球晶の大きさは時間に比例し、温度を変えた場合、結晶化速度は 180°C → 90°C が最大であることがわかった。

また、180°C → 120°C と 180°C → 50°C の場合を比べると球晶の成長速度はともに遅いが、球晶の大きさは 180°C → 120°C の方がはるかに大きかった

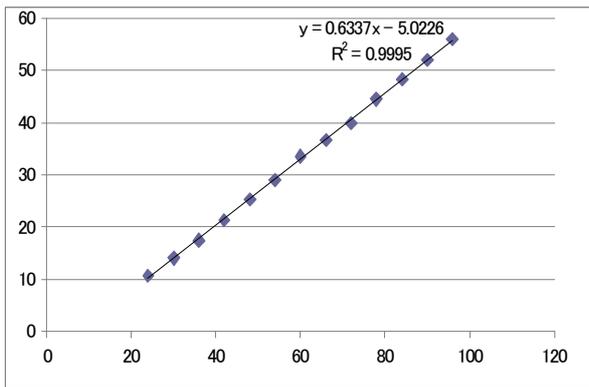


表 7 : 180°C → 90°C へ温度ジャンプさせた時の球晶の半径 (縦軸、単位 : μm) と時間 (横軸、単位 : s)

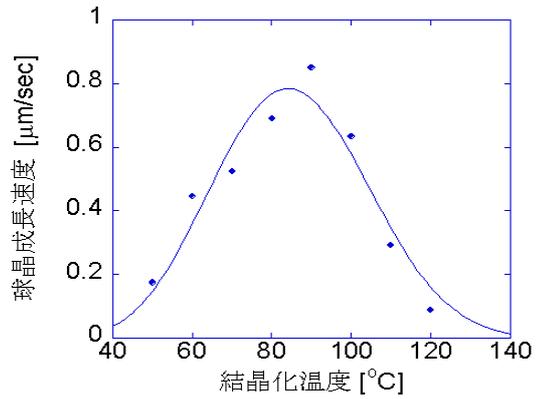


表 8 : 球晶の成長速度 (縦軸) と結晶化温度 (横軸)

グラフから分かるように、結晶化の速度は温度差が大きければ大きいほど速いというわけではない。ここにはガラス転移温度というものが関わっていると考えられる。

グラフで表すと表 9 のようになる、今回の実験のように一気に低温に下げた場合は結晶化する前にガラス状態になるため球晶の成長が遅く、高分子が移動し難いため球晶が一箇所に集まらずに細かい球晶がいくつもできるという結果になったと考えられる。

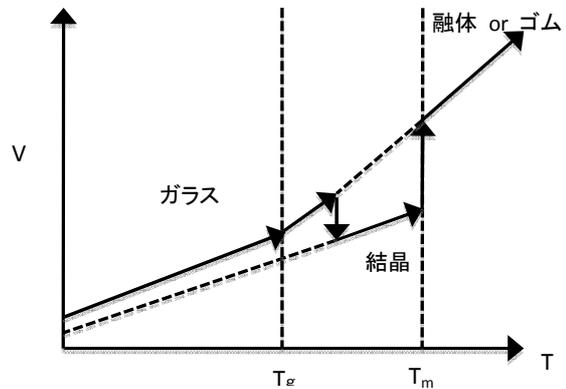


表 9

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた金谷利治氏、また京都大学化学研究所金谷研究室の皆さんに感謝します。本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

ポリ乳酸繊維の染色における最適条件

青木美紗, 後藤沙耶香, 鹿田華子, 只朱里

訪問先研究室 京都工芸繊維大学

教授 浦川宏, 准教授 安永秀計, 綿岡勲, TA 松原孝典

要旨

ポリ乳酸繊維の染色性を調べるため、様々な温度条件とキャリアと呼ばれる染色を促進させる薬品の有無の2点で条件を変え、ポリ乳酸の布帛を計15パターンで染色した結果、ポリ乳酸繊維はより高温で染色する方が鮮やかに染まるという温度依存性があり、キャリアを使って染色した方がより染まりやすい、という結果が得られた。

1. はじめに

エコが叫ばれる今、非常に注目されているポリ乳酸という高分子があります。ポリ乳酸は農産物由来で、土に還すことができます。このポリ乳酸を合成繊維とし衣類などにする、つまり実用化するには染色の工程が欠かせません。本研究ではどのような条件が、一番美しくポリ乳酸布帛を染めることができるのかを調べました。

6,6-ナイロンという有名な合成繊維は私たちの周りにたくさん使われていますが、これは微生物による分解はほとんど受けないとされています。それに対し、ポリ乳酸は、乳酸がエステル結合によって重合し、長くつながった高分子のことで、(図1)また、環境中の水分により加水分解を受け低分子化されます。最終的には微生物により二酸化炭素と水にまで分解されます。

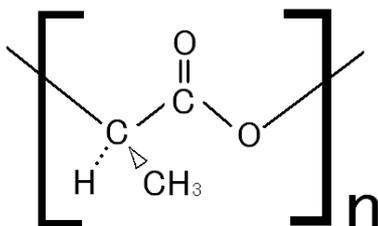


図1：ポリ乳酸繊維の構造式

つまり、ポリ乳酸繊維は土に還すことがで

き、これを実用化することには昨今の環境問題に対して大きな意味があると言えます。

しかしながら、ポリ乳酸繊維は熱に弱く、染色の際には温度耐久性が低いという弱点があります。

染色は染料分子と繊維の分子が親和性を持つことによってできます。染色の仕組みは繊維と染料によって変わります。今回は合成繊維であるポリ乳酸繊維と分散染料を使用しました。分散染料は水に不溶で、分散剤(キャリア)と共に使用することによって水に微粒子状で分散した状態になります。この場合、ポリ乳酸繊維を加熱することによってできた繊維分子間の隙間に染料分子が入り込み、ファンデルワールス力と水素結合で結合されて繊維分子間に染料分子が一つ一つ固定される染着座席につきます。そして繊維が収縮して繊維分子の隙間が閉じることによって染色が完了します。

2. ポリ乳酸繊維の染色性

ポリ乳酸を衣類として実用化するにあたって染色の工程がありますが、ポリ乳酸の染色時の最適条件はわかっていません。そこで、どのような条件でポリ乳酸は美しく染まるのかを実験により確かめることにしました。ポリ乳酸は熱に弱く、

ポリエステル染色における最適温度である120~140℃では繊維がほぐれてしまうため、温度条件のみを変えて実験をすることで低温での染色が可能かを確かめ、さらに、分散染料による染色にどのような影響を与えるかを調べることにしました。

2.1. 温度依存性

ポリ乳酸繊維を5cm×5cmに裁断する。裁断したポリ乳酸に付着しているのりを落とすために洗浄し、乾燥させる。(以後、布帛とよぶ)

まず、温度依存性について調べる。染色には、メスシリンダーに水に溶けない分散染料であるポリロン染料10ml、蒸留水2430mlを混ぜ80℃にした物と、キャリアーEN10ml、蒸留水50mlを混ぜ80℃にした物とを混ぜ合わせたもの(①)を使う。90℃・80℃・70℃・62℃・60℃・57℃・53℃・50℃・40℃・30℃の10コの温度にわけて染色するために、①を300mlずつ10コのビーカーにわける(②)。設定温度になった②に洗浄した後の布帛を入れ、60分かけて染色する。染色された布帛を水道水で色落ちがなくなるまで何度

も洗浄し、ビーカーに蒸留水200mlを入れ、1度すすぐ。次に、手作業で落とせなかった染料を洗い落とすために、洗浄剤であるタナクリンを4ml、塩基性の液体のネオソーダを5ml、還元剤であるヒドロサルファイトを4ml、蒸留水を2000ml入れ、均等になるように混ぜる(③)。③を60℃にしたものに、染色し蒸留水で洗浄した布帛を5枚入れ20分間ゆっくりと混ぜながら、洗浄する。その後、水道水で洗浄し乾燥させる。この作業を10回繰り返す。その後、乾燥した布帛を測色する。その結果を図2~4の●で示した。

2.2. キャリヤー依存性

次にキャリアーの有無で染色に影響を及ぼすかを調べるために、①の溶液を作る際に、キャリアーEN10mlのみを抜き残りの染料や蒸留水は先程と同じ分量で染色液を作る(①')。90℃・80℃・70℃・60℃・57℃の5コの温度に分けて染色するために、①'を300mlずつ5コのビーカーにわける(②')。その後の作業は先程と同じである。その結果を図2~4の▲で示した。

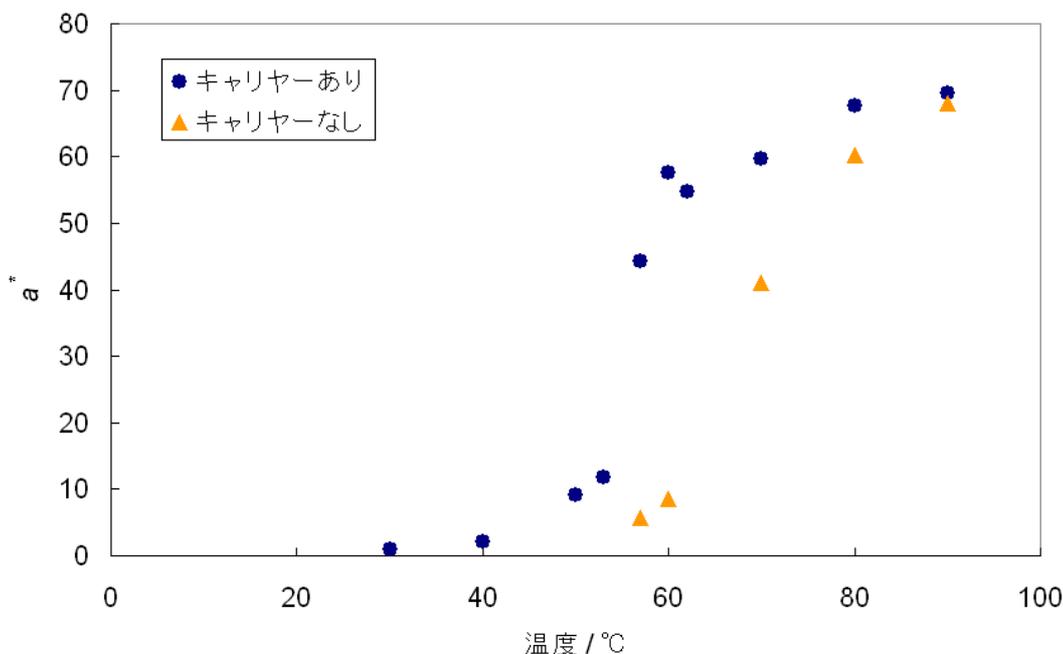


図2 : a*の温度依存性

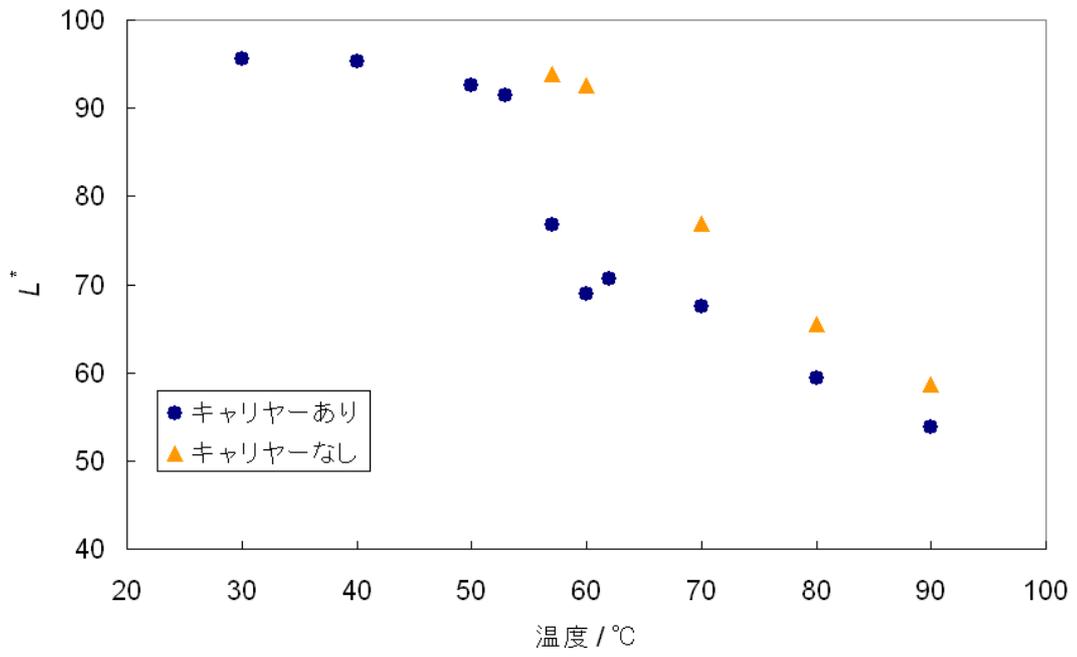


図 3 : L^* の温度依存性

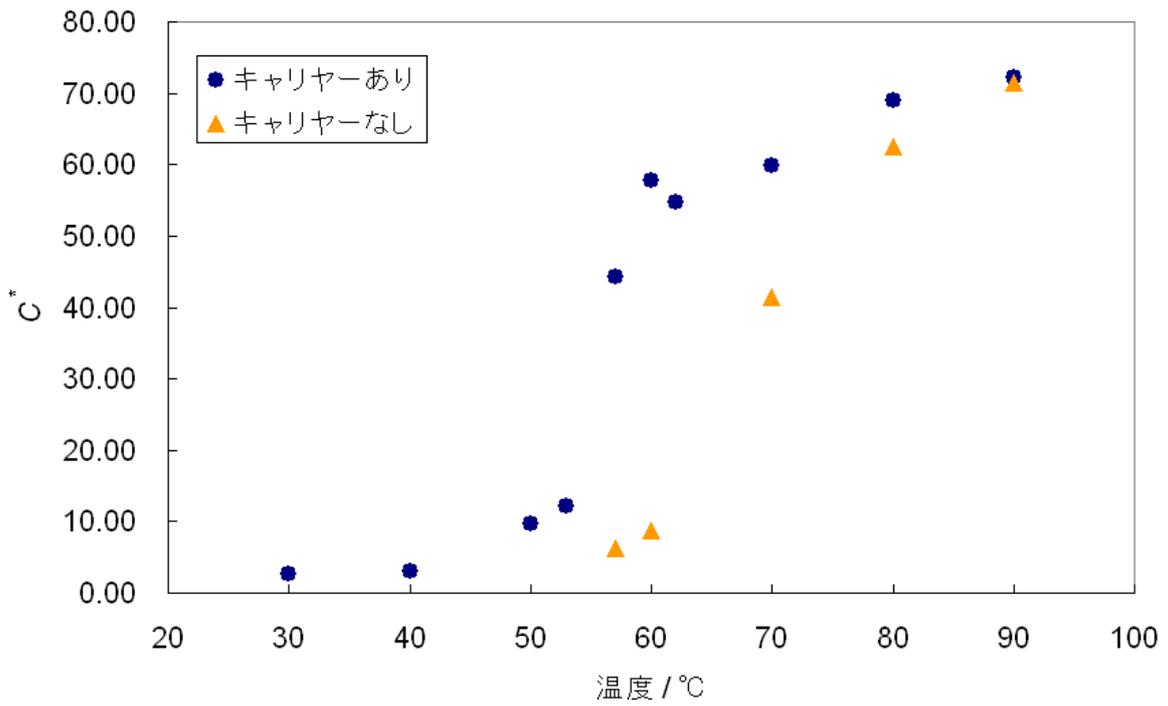


図 4 : C^* の温度依存性

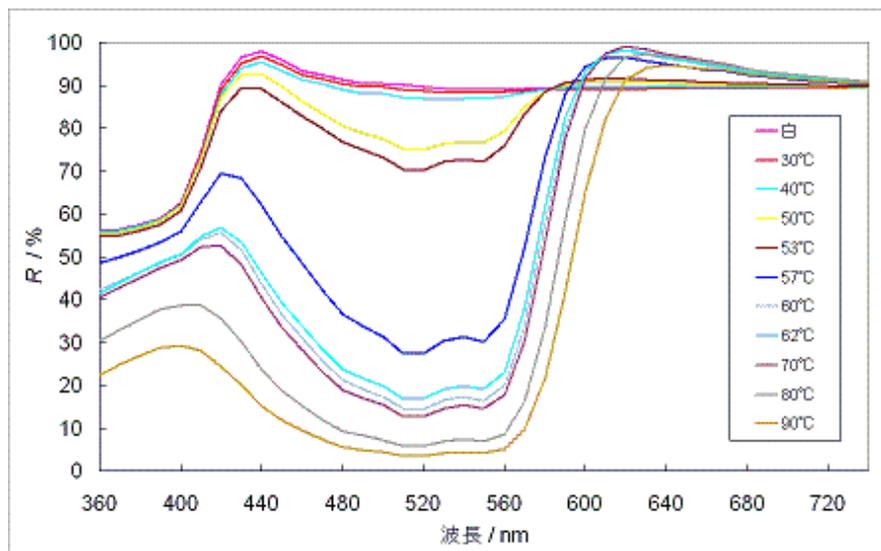


図5：キャリアを用いた時の温度による反射率の変化

3. 実験の結果、実験の考察とまとめ

キャリアを用いた染色と、用いなかった染色の測色結果を $L^*a^*b^*C^*$ に基づいてグラフを制作し図2～図4に示した。 a^* は赤みの変化を表す。値が低ければ緑を表し、高ければ赤を表す。 b^* は黄色みを表す。値が低ければ青を表し、高ければ黄を表す。 L^* は明度を表す。 C^* は次式で与えられ、彩度を表す。

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

今回は赤色の染料を用いたため、 b^* のグラフは除いた。 a^* のグラフを見ると(図2)温度が上昇するにつれて値が高くなっていることから赤みが増しているといえる。また、 L^* のグラフ(図3)を見ると温度が上昇するにつれて明度を表す値が低くなっていることから、布帛が濃く染まっているといえる。 C^* のグラフ(図4)を見ると温度が上昇するにつれて彩度を表す値が高くなっていることから、布帛がより鮮やかに染まっているといえる。これらのグラフ(図2～4)には共通して53°C～57°Cに大きな変化が見られる。図5にキャリアを用いて染色した布帛の分光反射率のスペクトルを示した。分光反射率というのは光源からの光を吸収し反射する割合を表したもの

である。分光反射率のグラフ(図5)を見ても53°Cと57°Cを表す線の間が大きくあいていることがわかる。(610nm以上の波長領域で57°C以上のものが未染色の布帛の白を表す線よりも分光反射率が高くなっているのは、染料に蛍光物質が含まれていたからだと考えられる。)これらの変化は、ポリ乳酸のガラス転移点が57°C付近であったことによって見られたものだと考えられる。

ガラス転移点とは、鎖状高分子において温度が低いと鎖状部分の運動は非常に遅くなりその部分で熱振動を行う「ガラス状態」となる。温度を上げていくことによって構造が絡み合い、鎖状分子同士が結合して網目構造となりゴム弾性を持つようになる。これを「ゴム状態」という。また、絡み合っている部分では分子同士は結合しているが、その間での鎖状部分は自由に運動できる。この「ガラス状態」と「ゴム状態」との間の温度のことを「ガラス転移点」という。染色温度がガラス転移点に達すると、繊維を構成している分子の運動が激しくなり、分子間に隙間ができるようになる。そのため染料分子がその隙間に入り込み繊維が染まりやすくなったと考えられる。

また、図2～図4においてキャリアありの染色結果を見てみると、どの図においてもキャリア

ーを用いていない染色よりも染まり始める温度が低い。このことからキャリアーを用いると低温で染色が可能であるとわかった。よって2.2.のキャリアー依存性が確認できる。染色温度がガラス転移点に達してもキャリアーなしでは染料分子が繊維の中まで入り込みにくいため、染まり始める温度が高くなり、キャリアーを用いた場合は、キャリアーが染着座席まで分子を運ぶことで早く染色できる。

以上のことからポリ乳酸を染色する温度は、57℃以上が望ましい。しかし、本実験において90℃で染色した際にポリ乳酸繊維の布帛に縮みがみられた。よって、ポリ乳酸繊維の耐熱温度は170℃ではあるが、90℃以下で染色するのがよい。

4. 今後の課題

今回の研究はポリ乳酸の染色性についてだけ調べましたが、実用化するためには染色だけではなく、吸水性、防炎性、耐光性などについても調べなくてはなりません。またポリ乳酸は農産物由来で土に還すことが可能です。しかし、どのよう

な条件で分解されるのか、などということも調べる必要があります。実用化するためには多様な問題がありますが、それらを解決することで最適な条件でポリ乳酸を日常的に用いることが可能になるのだと思います。

謝辞

本研究を指導して頂いた浦川氏・安永氏・綿岡氏・松原氏に、施設を提供して頂いた浦川研究室に感謝します。また、今回このような機会を与えてくださった科学技術振興機構に感謝します。

参考文献

- 1) 坪内一秋『新版カラーリング技術』(実教出版株式会社, 2002年)
- 2) 『色を読む話』(ミノルタ株式会社 計測機器国内販売部発行パンフレット)
- 3) 『科学と工業』(大阪工研協会, 2002年)
- 4) 日華化学株式会社
<http://www.nicca.co.jp/nf.html>

微生物の遺伝子を見てみよう

菅原聡真, 田畑理, 手島冬陽, 堀江綾香

訪問先研究室 京都大学化学研究所

准教授 栗原達夫, 助教授 川本純

TA 朴貞河, 青柳美穂, 樽井惇, 技術補佐 宇都宮真知子

要旨

数種類のサンプルを集め、そこに含まれる微生物を培養、観察し、その微生物の rRNA 遺伝子を特殊な薬品を用いて PCR 法で増幅させた後、電気泳動でその存在を確認した。結果、ほとんどの rRNA 遺伝子が原核生物のものであるとわかった。そしてさらに DNA シーケンサーで解析し、塩基配列を調べた。解析結果をデータベースと照合し、種の特定制業を行った。

1. はじめに

我々は今夏、京都大学化学研究所に訪問し、栗原達夫教授や TA の方々の下、「微生物の遺伝子を見てみよう」というスーパーサイエンスハイスクール事業の取り組みとして、さまざまな微生物の遺伝子を解析し、観察した。

本報告書では今回の研究の概要と結果についてまとめた。

2. 実験の概要

まず、微生物を採取するために微生物がいると思われるサンプルを研究所敷地内から数点採取し、付近のスーパーマーケットから市販されている商品を数点用意した (図 1)。



図 1

その後サンプルを水溶し、3 種類の培地に塗布し、温度を 37°C に保って 2 日間培養した (図 2 : 白い部分がコロニー)。



図 2

コロニーが確認できた培地から状態が良い物を 12 点選出し、DNA 二本鎖をそれぞれ異なる方向から複製する「forward」と「reverse」という二種類のプライマーを用いて、それぞれのサンプルに含まれる rRNA 遺伝子の PCR による増幅を試みた。そして電気泳動してその結果、16S rRNA 遺伝子 (原核生物) を増幅させるプライマーセットではほとんどすべてのサンプルの DNA が増幅したが、26S rRNA 遺伝子 (真核生物) を増幅させるプライマーセットではほとんどのサンプル

の DNA が増幅しなかった。(図 3: 実線で囲んだものが 16S rRNA 遺伝子用プライマーセットで増幅させたもの。破線で囲んだものが 26S rRNA 遺伝子用プライマーセットで増幅させたもの。)

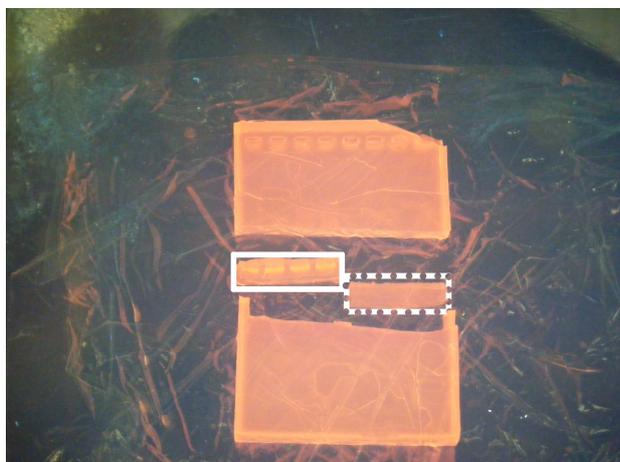


図 3

12 点選出したサンプルの DNA を電気泳動し、DNA シーケンサーを用いて塩基配列を解析した。(「forward」のプライマーではすべてのサンプルの塩基配列を解析できたが、「reverse」のプライマーで塩基配列を解析できたのは IX と X のサンプルのみになった。)

解析した塩基配列を確認・修正して微生物の種を特定した。

3. 実験の詳細

3.1. 使用した培地について

今回使用した培地は、B 培地、Y 培地、LB 培地の 3 種類で、それぞれ一般菌用、カビ・コウジ用、主に大腸菌用とされている。

B 培地には、Yeast Extract と Malt Extract をそれぞれ 3 g/300ml、Agar を 6 g/300ml 用いた。pH は 7.0 になるように NaOHaq で調整した。

Y 培地は、B 培地と同薬品を同量用いたが pH が 5-6 になるように NaOHaq で調整した。

LB 培地は、Tryptone を 3 g/300ml、Yeast Extract を 1.5 g/300ml、NaCl を 3 g/300ml、Agar を 6 g/300ml 使用し、pH が 7.0 なるように NaOHaq で調整した。

3.2. サンプルについて

サンプルは班員各自で研究所敷地内から 1 種類、スーパーで市販されている商品から 1 種類ずつ、研究室が用意した 5 種類で実験をした。

2 日間、37°C で培養し、コロニーが確認できた培地から状態が良い物を選出し、DNA の存在と増加を確認した後、その中から特に調べたいものを 12 点選出した。以下にサンプルを培地の種類とともに列挙する。

- I, 乳酸菌飲料(商品名:カルピス 3 倍希釈用)【B】
- II, 皮膚片(顔面)【Y】
- III, きのこと(サルノコシカケの一種)【LB】
- IV, クリ樹皮【LB】※1
- V, セミの抜け殻【Y】
- VI, 枯葉【Y】※2
- VII, 乳酸菌飲料(商品名:ブルガリアのむヨーグルト)【B】
- VIII, 納豆【LB】
- IX, 皮膚【LB】
- X, 皮膚【B】
- X I, 枯葉【Y】
- X II, クリ樹皮【LB】

※1 同じ培地内に 2 種類のコロニーを確認

※2 同じ培地内に 2 種類のコロニーを確認したが、DNA 濃度が過度に低かったため DNA シーケンサーで確認することを断念した。

3.3. DNA の解析

以上に挙げた各サンプルを、先に記した PCR 法で DNA を増加させた後、DNA 濃度を測定し、電気泳動でその存在を確認した上、シーケンサーで解析した(図 4)。但し、先に記した通り、VI は DNA 濃度が過度に低かったためシーケンサーで解析はしていない。



図 4

また、それぞれのサンプルの DNA 濃度を以下に記す。(単位は $\text{ng}/\mu\text{l}$)

- I … 32.2
- II … 35.0
- III … 70.3
- IV … 26.0
- V … 29.8
- VI … 先述の通り
- VII … 11.8
- VIII … 20.7
- IX … 110.9
- X … 92.4
- X I … 6.7
- X II … 20.2

シーケンサーで解析されて手に入った塩基配列のデータを『blast』という専用のサイトにそのデータを入力してデータベース上の塩基配列と比較して微生物の種の特定作業を行った。

3.4. 実験結果のまとめ

特定できた I ~ X II までの微生物の種を下に列挙する。

- I … 枯草菌の一種
- II … 放線菌目 (*Curtobacterium* sp.)
- III … グラム陰性菌の一種の可能性がある
- IV … 放線菌の一種
- V … グラム陰性桿菌の一種
- VI … 先述の通り
- VII … 連鎖球菌の一種でカタラーゼ陰性のグ

ラム陰性菌

VIII … 枯草菌

IX … ブドウ球菌の一種である可能性がある
(「reverse」でも結果は同様)

X … 表皮ブドウ球菌(「reverse」でも結果は同様)

X I … *Azohydromonas australica* の一種

X II … 土壌菌, グラム陰性菌, アルファルファ根粒菌(土壌微生物)の一種

表記に「~の一種」や「~の可能性はある」という文句が多いのは、先にも記した通り、ほとんどのサンプルで「forward」のプライマーでしか DNA が増幅しなかったため、DNA の限られた一部しか解析できなかったためである。このような問題はプライマーの種類を変えたり、「reverse」のプライマーで DNA を解析する範囲を長くしたりすればより正確な塩基配列が得られ、種の特定の幅も狭まる。

今回は実験期間が短かったこともあり、このようにかかなり広い範囲での種の特定になった。

又、I の乳酸菌飲料から枯草菌の一種の *Bacillus* が見つかったのはサンプルを培地に塗布するときに同時に枯草菌も扱っていたためサンプルの菌が混入したと考えられる。

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた京都大学化学研究所栗原達夫研究室のみなさまに、本研究をまとめるのに際し助言を頂いた栗原達夫氏、並びに TA の方々に感謝いたします。また、本研究は科学技術振興機構の進める、スーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Blast <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>
- 2) Wikipedia
- 3) Weblio <http://ejje.webl.io>

ダチョウを用いたインフルエンザ防御用抗体の作成

石川絵菜, 宇佐美知沙, 武田惇, 堤友美, 藤原風丸

訪問先研究室 京都府立大学
教授 塚本康治, 特任助教 足立和英

要旨

インフルエンザ防御用抗体作製を目的として、ダチョウ卵黄から抗体を精製し、ダチョウ抗体と血清を用いたインフルエンザウイルス血球凝集試験によりその有効性を確認した。

1. はじめに

昨年、豚由来の新型インフルエンザのパンデミックが発生し、その被害は甚大なものとなった。そこで、新型インフルエンザの再流行に備え、ダチョウの卵黄から従来の抗体よりも低コストのインフルエンザ防御用抗体の作成を試みた。第2章では実験の方法と結果、第3章で結果の考察、第4章では今後の展望を述べる。

2. 実験の方法と結果

2.1. ダチョウへの抗原注射、および採血

研究棟の囲いの中で1羽ずつ飼われ、あらかじめブタインフルエンザの抗原注射（以下、抗原注射と記す）が済んでおり、抗体が形成されているメス5羽と、牧場で群れとなって生活し、抗原注射の行われていないオス2羽の頸静脈から血液を5mLずつ採取した。

なお今回、メスの個体に対する抗原注射を体験した（抗原を注射されてすぐに体内に抗体が形成されるわけではないため、先述したように採血をしたダチョウには事前に抗原注射がなされていた）。抗原注射はダチョウの背骨を避けてその横の血管のない（注射器を刺し、少量吸引してみても何も出てこない）箇所に行った。

2.2. ダチョウ血清の分離

次に、採取したダチョウの血液から血清（血液の液体成分）を分離した。

ダチョウの血液をチューブに入れ（抗原注射をしたメス5本、していないオス2本）、遠心分離を行った。溶血が起こったため、分離がきれいに行われなかったものもあった。翌日のHA、HI試験（赤血球凝集、赤血球凝集抑制試験）まで冷蔵庫で保存した。

2.3. 卵黄からの抗体精製

抗原注射により抗体を持ったダチョウの卵を卵黄と卵白に分け、卵黄に混入した薄い膜などを取り除くために濾過した。卵黄に緩衝液（水25mlに薬品A7.5gと水100mlに薬品B35.5gの混合液）を入れ、卵黄に含まれる脂肪分とたんぱく質を分離させた。遠心分離機にかけ、脂肪、水分（抗体を含む）、たんぱく質の3層に分け、水分を取り出した。その水分に抗体を固める物質（277g/L）を入れて遠心分離機にかけた後、抗体を含まない部分を捨て、残った部分に緩衝液30mlを入れて冷却した。再び遠心分離機にかけ、抗体を含む部分を2回透析し、翌日まで冷蔵庫で保存した。翌日、一度濾過して不純物を取り除き、HA、HI試験に用いた。

2.4. HA 試験(赤血球凝集試験)

96穴プレートにPBS(緩衝液)を50 μ Lずつ入れ、1列目の1行目から4行目までヒトインフルエンザウイルス(A型H1N1)を、5行目から7行目までブタインフルエンザウイルス(A型H1N1)を50 μ Lずつ入れ、それぞれの行について二倍段階希釈を行った。その後、ヒト、トリ、イヌの調整血球(0.7%赤血球溶液)を50 μ Lずつ入れ、攪拌して45分間室温で静置し判定を行った。凝集しなかった場合は赤血球が穴の底に溜まり、赤い点となる。凝集すると穴の底に広がる(写真1、表1.1、1.2)。

ヒトインフルエンザで凝集が見られなかった理由としては、ウイルスを長期保存していたためにウイルス力価が落ちていたか、試験に使用したウイルスが赤血球を凝集させないように変化したウイルスであったかのいずれかではないかと推測している。

表 1.1 : ヒトインフルエンザ A 型 H1N1

ヒト	凝集せず
イヌ	凝集せず
トリ	凝集せず

表 1.2 ブタインフルエンザ A 型 H1N1

ヒト	2 ⁷ HAU
イヌ	2 ⁷ HAU
トリ	2 ⁶ HAU

注) HAU…ウイルス力価。2⁷HAU はウイルスを 2⁷倍まで希釈しても凝集が確認できたことを示す

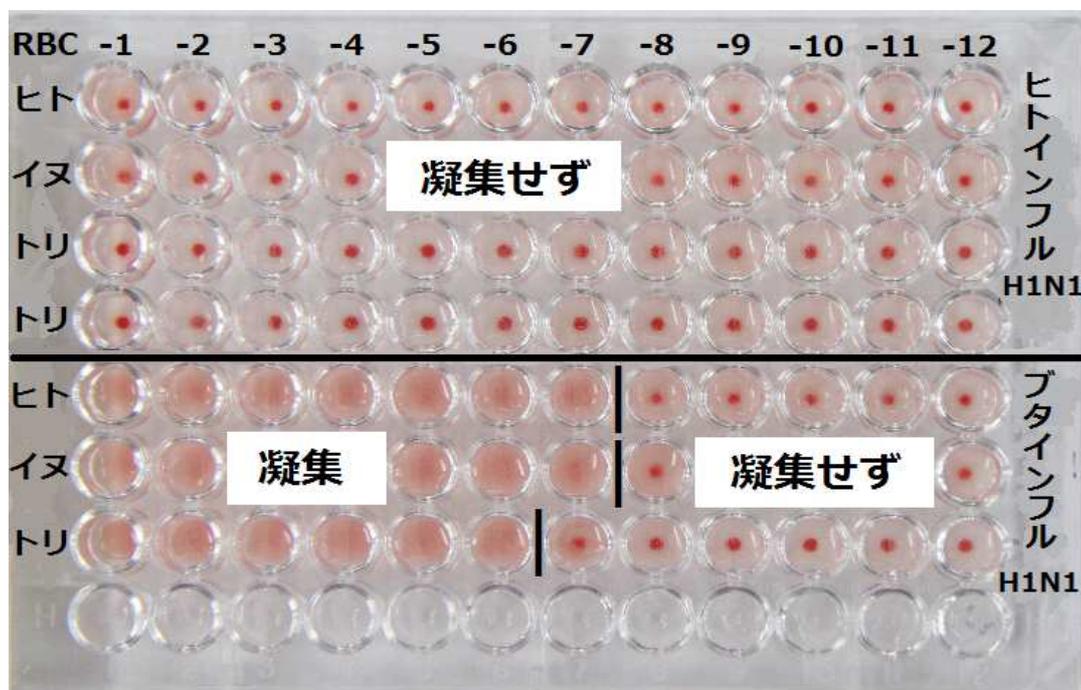


写真 1

2.5. HI 試験(赤血球凝集抑制試験)

96穴プレートの2列目以降にPBSを25 μ Lずつ入れた。その後1列目a~e行に抗原注射を受けたメスの血液から精製した血清を、1列目f行に抗原注射を受けていないオスの血清を、1列目g行に抗原注射を受けたメスの卵から精製した抗体を50 μ Lずつ、一列目h行にPBSを50 μ L入れ、それぞれの行について二倍段階希釈を行った。これにPBSで2³HAUに調整したブタインフルエンザウイルス液(A型H1N1)を25 μ Lずつ加え攪拌し、30分間静置して抗原抗体反応させた。このプレートを3枚用意し、それぞれ、ヒト、イヌ、トリの調整血球(0.7%赤血球溶液)を50 μ Lずつ加えて45分間静置し、判定を行った。

写真2はトリの調整血球を用いたHI試験の結果である。各列に引かれた縦線の左側は凝集しておらず、右側は凝集している(なお、写真1と異なり、凝集した部分にも赤い点が見られるが、これは反応終了後から写真撮影までに時間が経過していたためである)。

3. 実験結果の考察

トリの調整血球を用いたHI試験の結果について考察する(写真2)。

比較	a~e行(抗原注射を受けたメスの血清)とf行(抗原注射を受けていないオスの血清)
結果	a~e行の方が凝集を抑制した

表2

比較	a~e行(抗原注射を受けたメスの血清)とg行(ダチョウの卵に含まれる抗体)
結果	a~e行の方が凝集を抑制した

表3

比較	f行(抗原注射を受けていないオスの血清)とg行(ダチョウの卵に含まれる抗体)
結果	凝集の抑制力は等しかった

表4

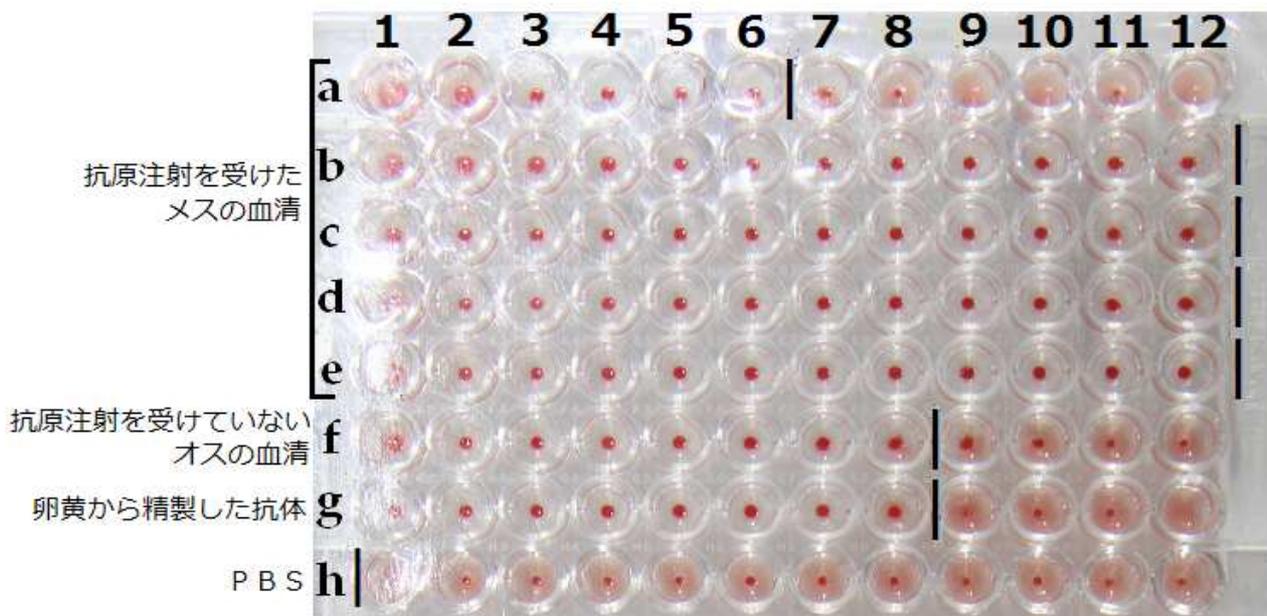


写真2

この3つの比較結果から、抗原注射を受けたメスの卵から精製した抗体は抗原注射を受けたメスの血清よりは凝集の抑制力が弱い、抗原注射を受けていないオスの血清とは凝集の抑制力が等しいことが考察できる。

しかし、この考察には多くの不備があると考えられる。まず表2だが、2つの対象は抗原注射の有無も性別も異なるため、抗原注射による凝集抑制力の変化を調べるためには抗原注射を受けたメスとそうでないメスの比較を行うべきだったのではないかと思う（抗原注射を受けたオスとそうでないオスの比較でも良さそうだが、今回の研究の目的はダチョウの卵からの抗体生成であるため、オスではなくメスでの比較の方が適していると考ええる）。

次に表3だが、メスの血清に凝集の抑制力を持つ何らかの物質が存在するためにもたらされた結果ではないかと考えられる。また、今回の実験時、血清に含まれる抗体濃度と卵黄から精製した抗体のその差について考えが及んでいなかったため、その影響の可能性もある。

最後に表4だが、上記と同じく抗体濃度の影響が考えられる。さらに、オスのダチョウの血清中に様々な抗原に対する抗体が存在し、そのために抗原注射を受けていなくても、卵黄から精製した抗体と等しい凝集の抑制力を示したと考えられる。

4. おわりに

現在もダチョウの研究は進んでおり、商品化されたダチョウ卵黄から精製した抗体を用いたマスク以外にも、ノロウイルス・結核菌などの感染予防素材や腫瘍検査キットなどへの利用が期待される。

謝辞

本研究の実験を指導して頂き、本研究をまとめるに際しても助言を頂いた塚本康治先生、足立和英先生に感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

塩基配列の解読及び GFP 蛍光タンパク質による細胞観察

小谷浩平, 藤川祥亘, 細川智佳, 松崎由莉, 渡部遼

訪問先研究室 京都府立大学
准教授 佐藤雅彦, TA 石崎陽子, 石川美恵

要旨

シロイヌナズナから抽出した 5 種類の DNA を、GFP で標識し、アグロバクテリアを用いてシロイヌナズナに感染させ、顕微鏡で観察した結果、各 DNA の形質発現の場所が特定できた。

1. はじめに

私たちの体を構成する設計図となる DNA。すべての生物が有しているものであり、その違いから、異なった種として我々は存在している。

しかし、たんぱく質の細胞内で発現する場所が DNA の部分により違うのだが、その全ては分かっておらず、機能と発現場所に何らかの関係があるのかも定かでない。そこで、今回はそのような研究の入門として、シロイヌナズナを用いて以下の実験を行った。

実験① 特定の DNA 断片の塩基配列の解読および機能の解析

実験② GFP 蛍光たんぱく質を用いた DNA 断片におけるたんぱく質の発現場所の観察。

そして、この二つの実験から機能と発現場所に何らかの相関があるかを調べた。

2. 実験の下準備

2.1. DNA の抽出

まず、シロイヌナズナの葉を少量切り取り、液体窒素で凍結した後、粉末状になるまですりつぶした。次に DNA 抽出バッファーを加え、さらに組織の原型がなくなるまですりつぶし、よく攪拌し、遠心した。これにより DNA が上清に残る。

上清をとり 100%イソプロパノール、70%アルコールを加え、DNA を析出させた。

2.2. PCR 法

次に、抽出した DNA を PCR 法により増やした。PCR 法(ポリメラーゼ連鎖反応)とは、特定の DNA を複製・増幅させるための方法である。

まず、PCR 法に必要なプライマーや酵素を、抽出した DNA に加える。プライマーとは DNA の特定の部分を切り出すものである。PCR 法では切り出した DNA 断片のみを増やすことができる。ここで 5 人それぞれが違うプライマーを使用し、異なった DNA の部分を切り出した。DNA のどの部分を切り出したのかわからないので、それぞれ切り出した DNA 断片を A,B,C,D,E とした。次に準備のできた DNA をサーマルサイクラーにかけ、PCR 反応を行った。

PCR 法が終わった後、DNA が増えたかどうか、電気泳動で確認した。電気泳動とは DNA が水溶液中でマイナスに帯電しているのを利用し、電気を流すことでプラス極の方に移動させることをいう。細かい網目状のゲルを通過させるため、DNA 断片とそれ以外(元の DNA やたんぱく質)では DNA 断片の方が速く通過するため(長さが短いから)、一定時間電気を流すと、増やした DNA 断片がよりプラス極側に寄る。あらかじめそれぞれの DNA 断片にエチジウムブロマイドを

加えておくことによりトランスイルミネーターで紫外線による観察をした時白く光る。下の画像は電気泳動後のゲルである。白いバンドが DNA 断片である。プラス極側によっていることから DNA 断片が増えたと確認できる。

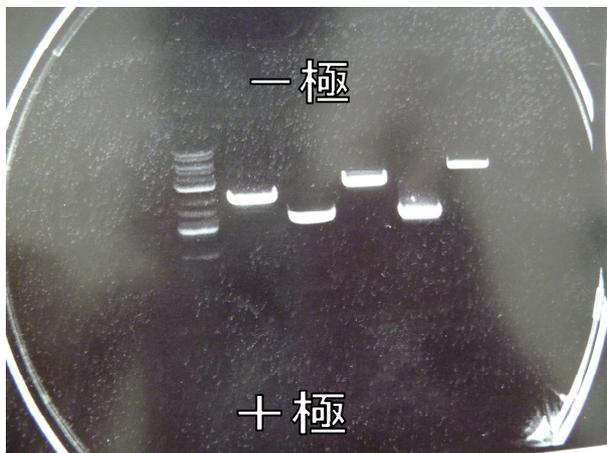


図 1

2.3. PCR 産物の切り出し精製

PCR 反応によって増やした DNA 断片をゲルから取り出す。メスでバンドの部分を取り取り、GenElute Agarose Spin Column(SIGMA)に入れる。その後、液体窒素で凍らせ、解凍し、遠心分離でゲルから DNA 溶液を落とし、できた白膜の下の溶液のみを取り出した。

溶液、酢酸ナトリウム、グリコーゲン、100% エタノールを混合して、遠心分離すると、白色沈殿ができる。沈殿を取らないように上清を捨て、70%エタノールを加えて、再び遠心分離、沈殿を取らないように上清を捨て、アルコールを飛ばすための遠心乾燥ののち、純水を加え、沈殿を溶解させる。溶液をもう 1 度電気泳動し、PCR 産物を確認した。

この操作は、DNA 精製のためのプロセスであり、高分子である DNA よりも低分子のものを取り除ける操作である。

3. 実験① 塩基配列および機能の解析

3.1. シークエンス反応

ここでは A~E の 5 つの DNA 断片がどのよう

な塩基配列をしているのかシークエンサーを使い調べた。

まず、サーマルサイクラーにかける。今回の目的は DNA 量を増やすことではなく、DNA 断片をいろいろな長さにする。これによりシークエンサーが塩基配列を読み取れるようになる。なので、増やす時は 2 つプライマーがいるが、ここでは 1 つのみ入れる。



図 2 : シークエンサー

次に反応産物に、NaAC、EDTA、エタノールを加え不純物を落とした後、Hi-Di ホルムアミド (シークエンサーに必要)を加えた。95 度で 2min インキュベートし、シークエンサーの機械にかけるまで氷上で保存しておいた。これにより DNA 断片が一本鎖に保たれ、シークエンサーが読み取れるようになる。そしてシークエンサーの機械にかけた。

3.2. 機能の解析

シークエンサーの結果によって A~E の塩基配列が分かったため、それを使いインターネット上のデータバンク「Tair」でそれぞれの機能を調べた。以下のとおりである。

A...At4g38970

(Fructose-bisphosphate aldolase, putative)

グルコースを分解してエネルギーを生産する。

B...At3g03920

(Gar1 RNA-binding region family protein)

RNA を必要なところで切り、つなげる (スプライス) 機能がある。

C...At5g53080(kinesin light chain-related)

.タンパク質のひとつ

D...At4g25210(Transcription regulator)

RNA による転写を調節するタンパク質と考えられている。

E...At1g18870(ATICS2__ICS2)

ビタミン K であり合成経路に働く酵素の一つ

4. 実験② DNA の発現状況の確認

4.1. Topocloning

下準備で増やした DNA の量では、この実験②にはまだ足りないので、大腸菌を用いて短時間で大量に DNA 増幅させた。原理としては、DNA 断片をプラスミドと呼ばれる環状 DNA に入れ込み、そのプラスミドを大腸菌に組み込む。そうすると大腸菌が増殖するにつれて、そのプラスミドも複製される。これを Topocloning という。

まず DNA 断片をプラスミドに ligation 反応を用いていた。ligation 反応とは、DNA リガーゼという酵素を使って、プラスミドの一部分を切り取った後、その部分に DNA 断片をくっつける反応である。その後大腸菌をプラスミドの入った溶液に入れ、軽くはじくことにより大腸菌内へとプラスミドを入れた。

その後大腸菌を抗生物質カナマイシンを含んだ培地に撒いた。大腸菌は通常カナマイシンに弱く増殖することができないが、プラスミドはカナマイシン耐性を含んでいるので、プラスミドの入った大腸菌のみが増殖することができる。これにより目的の大腸菌のみ培養することができる。その後、37℃のインキュベートに入れ一晩培養した。

4.2. コロニーPCR

一晩培養した大腸菌はコロニーと呼ばれる集団を形成している。すべてのコロニーが目的のプラスミド入りの大腸菌が構成したコロニーでは

ない。うまく DNA 断片が入らなかったプラスミドを持った大腸菌のコロニーもある。今後の過程でプラスミドを大腸菌より取り出す必要があるため、ここでは目的のプラスミド入りのコロニーを PCR 法を用いて特定した。

それぞれのコロニーから 10 μ l ずつコロニーを取り、どのコロニーの大腸菌なのか判別できるようにした後、サーマルサイクラーにかけた。その後電気泳動を行い、プラスミドの増幅を確認した。増えていなければ違うコロニーを試し、プラスミドが入ったコロニーが見つかるまでこの作業を繰り返した。

4.3. プラスミド調整

ここでは PCR 法により確認したコロニーの大腸菌の体内よりプラスミドを取り出す。

まず、大腸菌の細胞壁を Solution1 (アルカリ溶液) によって壊す。このことにより、大腸菌の内部にあったプラスミドおよび大腸菌内部のものが溶液中に溶け出す。次に solution2 を加え、たんぱく質を変性及び析出させ遠心分離により取り除く。その後 solution3 (酸性溶液) で溶液を中和し、アルカリ性で溶解していたものを析出させる。PCI を加え残りのたんぱく質を変性および析出させる。遠心分離で沈殿を取り除いたあと、イソプロパノールを加えプラスミドを沈殿させる。70%エタノールによりプラスミドについている不純物を落とし、遠心分離。溶液を取り除くと、プラスミドが残る。

4.4. アグロバクテリウムによる形質転換

アグロバクテリウムの性質を使い特定の DNA が入ったプラスミドおよび、GFP 遺伝子をシロイヌナズナに入れ込む。これにより DNA 断片が植物内で発現し、次の共焦点レーザー顕微鏡で観察できる状態になる。

アグロバクテリウムもプラスミドを持っており、それを取り出し、代わりに DNA 断片及び GFP を組み込んだプラスミドを入れ込む。アグ

ロバクテリウムは植物に感染するとプラスミドを植物内に放出するという性質を持つ。プラスミドをいれ代えたアグロバクテリウム溶液の中にシロイヌナズナを漬け込み感染させることによって、発現を確認したい DNA 及び GFP 遺伝子をシロイヌナズナに組み込んだ。

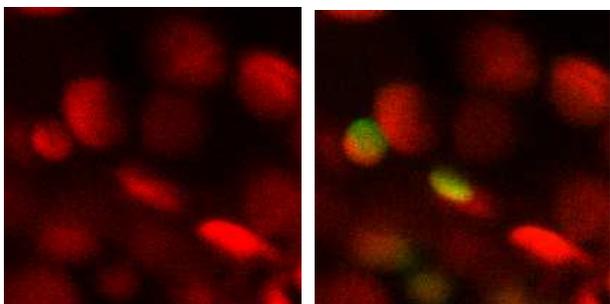
4.5. 共焦点レーザー顕微鏡による観察と結果

GFP で蛍光をつけた DNA の発現を共焦点レーザー顕微鏡によって観察した。

共焦点レーザー顕微鏡とは、試料から反射する光をピンホールによって調節することで厚みのある試料でも鮮明な画像を得ることができるほか、得られた画像をコンピュータ上で再構築することで立体的な画像とすることを可能とする顕微鏡である。以下が観察した結果である。

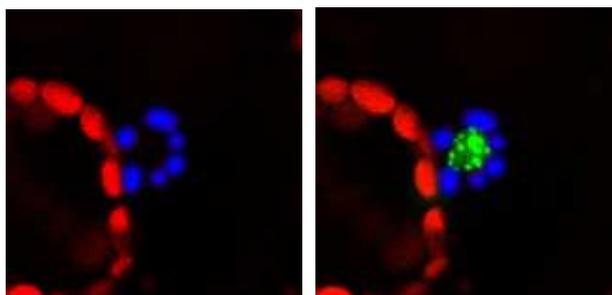


次の画像は B と呼んでいた DNA によるタンパク質の発現状況である。



図における薄い灰色の部分が葉緑体であり、GFP の蛍光タンパク（白色）が重なっていることから、葉緑体において発現していることが確認できる。

下の画像は私たちが E と呼んでいた DNA によるタンパク質の発現状況である。



真っ白な部分が目的のタンパク質で、灰色の部分が葉緑体で、葉緑体の右にうっすらと見える薄い灰色（画像上で調節した）が核である。この画像より目的のタンパク質は核の中にあるとわかる。今回の観察で E の発現の確認は新発見となった。

遺伝子 A,C,D はタンパク質がうまく発現せず、観察できなかった。原因としては A,C,D に使用したアグロバクテリウムが古かったために働かなかったと考えられる。

5. 考察

この結果により今後今回の B, E 遺伝子については、必要な時、または研究されるとき取り出す時間が早くなることが期待される。

ただ、3つの DNA の発現が観察できなかったために機能と発現場所に何らかの相関があることは確認できなかった。機会があれば確認したい。

謝辞

本研究を指導していただいた京都府立大学佐藤雅彦先生、佐藤研究室の石崎陽子氏、市川美恵氏、その他の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) Tair(シロイヌナズナ DNA 情報サイト)
http://www.arabidopsis.org/servlets/Search?action=new_search&type=dna
- 2) アグロバクテリウムに関して
<http://www.t-scitech.net/miraikan/gmo/gmo3.html>

発光微生物コロニーに出現する発光パターンの謎を探求してみよう

植月蓮, 岸田朋也, 杉山賢子, 高木悠輝

訪問先研究室 京都工芸繊維大学

教授 柄谷肇, TA 杉本未来, 並川由紀, 森奈穂美

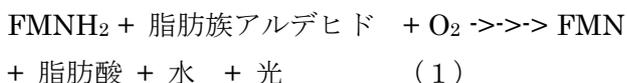
要旨

本研究は微生物による生物発光の仕組みを理解することを目的とし、*Photobacterium phosphoreum* strain bmFP (*P. phosphoreum* bmFP)という発光微生物を用いてその発光スペクトルの観測や試験管内での生物発光の再現を行い、*P. phosphoreum* bmFPの発光が酸素呼吸と密接に関連していること、さらに発光挙動と酸素濃度の関係を調べる。

1. はじめに

微生物は何のために発光するのか。生物発光とは何なのか。

今回の研究室訪問では、生物発光の不思議を科学する、を目的に多角的かつ多元的に生物発光を分析し生物発光の理解を試み、生物発光の人工再現、即ち生体外における発光触媒酵素ルシフェラーゼと発光基質ルシフェリンとの反応（微生物ルシフェラーゼ反応）の再構成を目指した。発光微生物は原核単細胞生物であるが、真核細胞ミトコンドリアと同様な呼吸を営み生体エネルギーを生産している。式（1）は微生物ルシフェラーゼ反応の概要である。



微生物ルシフェラーゼは上記反応を触媒する。還元型フラビンモノヌクレオチド (FMNH₂) は呼吸作用との相互作用で作られ、一部がルシフェラーゼ反応に利用されると考えられている。具体的には呼吸鎖上流の還元型ニコチンアミドヌクレオチド (NADH)、酸化型 FMN とフラビン還元酵素の作用により FMNH₂ が生じる。

さらに生物発光スペクトルの解析からどのよ

うな色の光が生物発光で発生するのかを確認したり、微生物コロニーの発光パターンを調べたりすることで生物発光の特徴を調べた。ミクロから、またマクロから生物発光を捉え科学した、その結果を報告する。

2. 実験

生物発光の観測は、寒天培地上および液体培地中に増殖した *P. phosphoreum* bmFP に対して行なった。本実験ではまず *P. phosphoreum* bmFP を培養するための液体培地を作製した。次に、研究室に予め用意されていた *P. phosphoreum* bmFP の寒天培地上に成長した発光コロニーから菌体を液体培地に移した。観測項目は、発光の波長分布（発光スペクトル）、発光に及ぼす酸素濃度の効果、発光コロニーの生物発光イメージングであった。スペクトロメーターを用いてこのバクテリアの発光スペクトルを測定した。*P. phosphoreum* bmFP 生物発光の試験管における再現を試みた。また、生物発光の強度がバクテリアの入ったセルを長時間密閉することにより低下し、空気を供給することによりある程度回復することを確認した。ここまでは生体内化学反応の視点から発光の様子に注目していた。次に、コロニー全体の発光の様子、つまり集団としての

P.p.bmFP の発光を観察することにした。そこで、顕微鏡を用いて P.p.bmFP のコロニーの発光パターンを観察した。このとき、先ほど空気を供給することで P.p.bmFP の発光強度を回復したことを参考に、コロニーに酸素やアルゴンを供給してコロニーの環境を変え、発光パターンが変化するかを観察した。

2.1. 実験に用いた装置

pH の測定は pH メータを用いた。発光微生物の破碎には超音波で細胞を破碎するソニケータを用いた。滅菌処理はオートクレーブで行なった。生物発光スペクトルの測定は蛍光スペクトロメータを用いて行なった。このとき励起光光源を切った状態で実験に供した。コロニーの生物発光イメージングには CCD カメラを取り付けた実体顕微鏡を用いた。

2.2. 培地の調製

液体培地として海水コンブリート(SWC)を用いた。SWCは、海水 750ml と、純水 250ml にトリプトン 5.0g、イースト抽出物 3.0g、グリセロール{カーボンソース}2 mlを加えて調製した。SWCは、pHを7.2に調整後、50 ml ずつ 300 ml の防菌用の綿製プラグを付けた三角フラスコに移した。さらに 120 °Cで15分間、培地を高圧滅菌した。

寒天培地は日程の関係上、調製済みのものを使用した。組成は液体培地と同じであるが、寒天が1.5%となるように加熱して溶かした後、直径 11 cm のペトリ皿中に流し入れ、固化されたものである。

2.3. P. phosphoreum bmFP の植菌

寒天培地への植菌：すでに光っているコロニーの一部を白金耳でとり寒天培地の上に一筆書きの要領でジグザクを描いた（プレーティング）。プレーティング後、*P. phosphoreum* bmFP に最適な17 °Cのインキュベーター中でコロニーを成長

させた。

液体培地への植菌：白金耳で同上コロニーの一部をとり液体培地(50 ml)中に移した。次に17 °Cインキュベーター中で振とう培養した。

2.4. 生物発光スペクトルの測定

発光スペクトル測定では、試料の発光強度を波長毎に測定し、その波長の相対的な蛍光強度をグラフ化する。寒天培地のコロニーの場合、ペトリ皿を分光器の前に立てかけて発光を観測した。他方液体培地ではフラスコを分光器の前に直接置くかあるいは液体培地を入れた専用の容器(光学セル)を用いてスペクトルを記録した。

発光スペクトルの計測には上述の専用のスペクトロメータを使い、測定は以下の条件で行った。

- 測定波長範囲
START 400 nm~END 650 nm
- 波長走査速度
50 nm/s
- 測定バンド幅
10nm

2.5. ルシフェラーゼ-ルシフェリン混合物の粗抽出

寒天培地からバクテリアを採取し、超音波破碎した。まず寒天培地から発光コロニーをおよそ 0.1 g をかき集め、破碎用緩衝液 (pH 7)を3ml 加えてソニケータで破碎した。次に破碎した溶液から1.5ml ずつ分注して遠心分離し、目的成分を含む上澄みを回収した。

2.6. コロニーのイメージング

寒天培地上に成長した一つのコロニーの生物発光を、コロニーの周辺に酸素ガスとアルゴンガスを交互に供給しながら、対物レンズを通して観測し、CCD カメラに画像として記録した。

3. 結果と考察

3.1. 光の色

図1は *P. phosphoreum* bmFP 発光コロニーを用いて測定した生物発光スペクトルを示す。

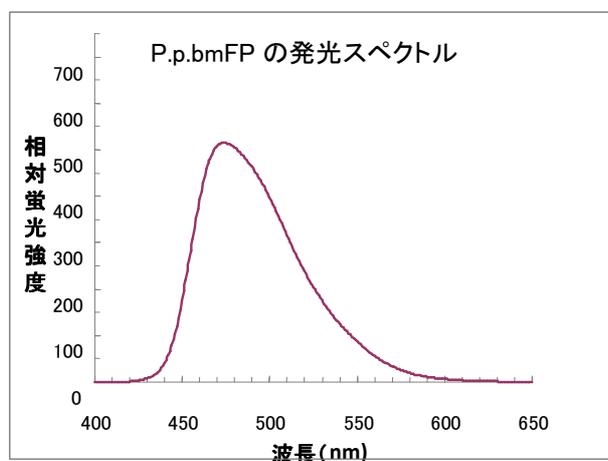


図 1 : P.p.bmFP の発光スペクトル

グラフから *P. phosphoreum* bmFP の発光は波長が 470nm~490nm のあたりで強く、強度が最大となる波長は、474 nm であった。発光スペクトルの形は寒天培地のコロニーでも液体培地の場合でも同じであった。生物発光スペクトルから光の色は青色だということがわかる。これは暗い場所での裸眼観測の結果とよく一致している。

3.2. 生物発光の再現 (ルシフェラーゼ-ルシフェリン反応の再現)

発光の人工的な再現をする為に、上述にしたがって菌体から発光に必要なタンパク質と酵素であるルシフェリンとルシフェラーゼの混合物の粗抽出を試みた。粗抽出物には種々の水溶性物質が溶けている。この中には式 (1) に示したルシフェラーゼとすべての発光基質が溶けていると期待できる。しかしながら、破碎した菌体上澄みからの発光は認められなかった。このことから、分離した上澄みの中には生きて *P. phosphoreum* bmFP がいないこと、また逆説的に生きて *P. phosphoreum*

bmFP 生物発光の生産に不可欠な条件であると言える。

ルシフェラーゼ-ルシフェリン反応の再構成：上澄みを氷で冷却し、リン酸 buffer (pH7, 0.1mol/l) 2.2ml と抽出物 0.2ml と NADH 0.1ml をセルにいれた。さらに呼吸に関係している3つの物質をセルに加えて発光再現実験を行ったが、結果として発光は認められず、スペクトルは計測されなかった。そこで NADH を大過剰入れたが発光は観測できなかった。さらに、FMN を大過剰入れたが、発光が認められなかった。次いでさらに、オクチルアルデヒドを大過剰入れたが発光しなかった。ここで、NADH、FMN、オクチルアルデヒドは前述の呼吸と生物発光に関係する物質である。

原因として、1) 菌体量が足りなかったのではないか; 2) 抽出のとき発光に関連する酵素の活性が低下したのではないか; また 3) ルシフェリン・ルシフェラーゼが抽出できていなかったのではないか; の3つが考えられる。1)、2) および 3) の原因を個別に詳しく検証することは時間的に不可能であった。ルシフェリンはルシフェラーゼに酸化されて発光する物質であるから、上述の実験の結果からは呼吸が生物発光に直接関係するとは断定できなかった。実験全体の目的が確認できるか、つまり生物発光が呼吸に関係しているものであると、本実験で断定できるかを確認する必要がある。

そこで、次の実験で空気の供給による酸素分圧の変化が生細胞からの生物発光に影響を与えるかを確認した。

3.3. 空気の供給による発光強度の回復

カルチャー 2.5 ml をセルに入れ、密閉することを目的としてパラフィルムで口を覆いスペクトルを計測し、計測後にパラフィルムをはがして空気を供給する。そして再度スペクトルを計測する。(3回繰り返す) 図2はスペクトルのピーク強度を、測定回数を横軸にして記録した結果を示す。

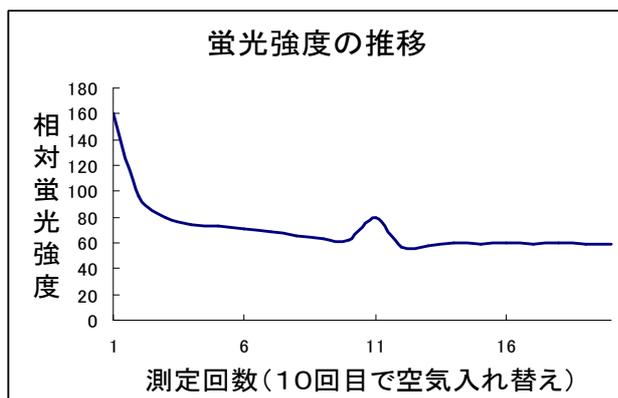


図2：蛍光強度の推移

実験の結果、空気を供給する前、セルからの発光が徐々に低下することが分かった。しかしながら図2に示したように途中で空気を供給することにより、徐々に落ちていった発光強度が回復した。発光強度の漸次低下は、密閉したセル内において、バクテリアの呼吸により酸素が消費された結果、セル内の酸素濃度が低下したことによると考えられる。そこに空気を供給すると発光強度が上がったことから、式(1)に示すように生物発光には酸素が不可欠な発光基質の一つであることが確認できた。

3.4. 刺激を与えた時のコロニーの発光パターンの観察

酸素が基質として必須であるだけでなく、酸素が刺激剤として発光挙動に関わり、特異的な発光パターンが出現することが訪問した研究室で研究されている。このことを発光コロニーに対して調べた。酸素の刺激によるコロニー内の発光パターンの変化を見るために、コロニーのまわりの空気を酸素で置換した場合と、アルゴンを充填させて酸素供給を絶った場合の発光挙動を観察した。

次に顕微鏡で、酸素を供給した時とアルゴンを供給した時のコロニーの発光パターンの変化を観察した。

図3は大気条件下の発光コロニーの生物発光イメージである。図3から明らかであるようにコロニーの外周から発光が観測されている。他方内部は比較的暗い。

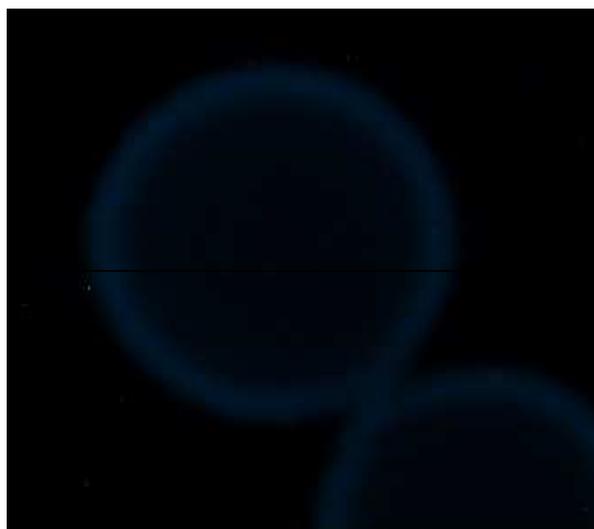


図3：コロニーの発光イメージング

酸素を供給すると、全体の発光強度が増し、強く光っている部分がコロニーの内側に移った。



図4：酸素を供給したときのコロニーの発光イメージング

またアルゴンを供給すると、全体の発光強度が落ち、コロニーの中でもっとも光っている部分が再び外側に移った。



図5：アルゴンを供給したときのコロニーの発光イメージング

結果からコロニーの発光パターンが酸素濃度、アルゴン濃度に影響を受けることがわかった。全体としてコロニー辺縁部が明るいのは、コロニー拡大の経過から、コロニー辺縁の細胞が若いものであるためだと予測できる。つまりコロニー中核部と比較して活動が活発であることが理由として想定される。

酸素分圧を上げたときにコロニー中核部に向かって発光が拡大する理由には、ひとつとして内部では成長が停止し、呼吸は休止状態にあり、結果的に発光が生じにくい環境にあることが予想される。このような状態で酸素を取込み一時的に発光が開始されたと予想される。酸素が内部に浸透するからという事も考えられる。このようなパ

ターンの観測からも酸素が発光に不可欠であることが分かった。

4. まとめ

今回の研究室訪問では、生物発光と酸素との関係の探究を軸として、生物発光と呼吸の関係を調べることに、バクテリアコロニーにおける酸素刺激に対する反応を調べることを目的に研究を行った。呼吸との関係を調べるにあたって、生物発光の人工的な再現を試みたが、今回の研究室訪問期間中には発光の再現はできず、生物発光が呼吸と関係していることを断定することはできなかった。しかし、酸素分圧の回復による発光強度の回復と、酸素分圧の変化でバクテリアコロニーの発光パターンが変化することは確認できた。このことから生物発光と酸素が密接な関係にあることがわかった。今後の課題としては、特に生物発光の再現ができなかったことが挙げられる。菌体量の不足などの理由が考えられ、今回の研究室訪問では、発光と呼吸の関係を断定するには至らなかった。

謝辞

本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。また、本研究の実験を指導して頂いた柄谷肇先生、ならびに TA の方々に感謝します。

野生植物集団間における遺伝的変異

新谷あん, 壇辻さやか, 築地まどか, 藤本亜耶

訪問先研究室 京都府立大学

講師 大迫敬義

要旨

コウボウムギを実験材料とした遺伝子解析を行った。三重県白塚（太平洋側）と京都府久美浜（日本海側）でコウボウムギを採取した。遺伝子解析によって地域ごとの遺伝子多様度・遺伝子分化係数を計算し、地理的隔離によって2つの地域間に遺伝的変異が現れるかを調べた。

1. はじめに

ダーウィンの進化論の発表から150年が経った。人間の歴史に比べればほんのわずかに思えるこの期間に、すべての生命は進化を経て現在の姿に至ったということは、誰もが知るところとなった。だが、生命の進化という大きな流れから一部分を切り取って見たとき、異なる集団間で、種はどのようにそれぞれの地理条件に適応し、分化していくのだろうか。今回我々は海浜植物であるコウボウムギを用いて、日本海側・太平洋側に分布する2集団の遺伝子解析から身近なレベルでの変化に触れることを試みた。

2. 実験の方法

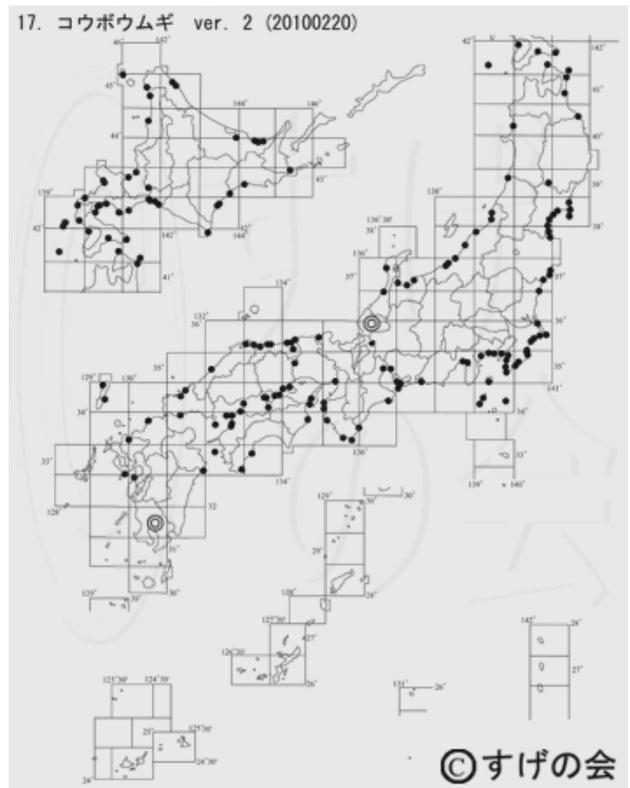
コウボウムギとは

海浜植物の多年草で海浜上にやや疎な群落をつくる。雌雄異株で地下茎を伸ばして無性生殖を行う一方、受粉による有性生殖も行う。分布域は日本では北海道から九州まで、海外では台湾、中国といった暖・温帯。一部アメリカ合衆国東部に帰化している。環境破壊の影響で数は減少傾向にある。

① 採取

三重県白塚（太平洋側）と京都府久美浜（日本海側）で、5cmほどの長さに切り取ったコウボウ

ムギの葉をそれぞれ12ずつ採取した。同じ株の個体から採らないように、20mほどの間隔をあけて行った。



コウボウムギの分布図

② DNA抽出

キット (SIGMA GenElute Plant Genomic DNA Miniprep Kit) を用いた。

採取したコウボウムギを液体窒素で凍結し、乳

鉢と乳棒で粉碎した。粉碎したものに薬品を加えた。この液体を DNA の入った上清と繊維の部分に分けるため、65°Cで 10 分間温め、さらに数種類の薬品を加えて攪拌して氷上で 5 分間冷やし、遠心分離にかけた。遠心分離と薬品の注入を繰り返し、樹脂に通して DNA を吸着させた。

③ 電気泳動

DNA が抽出されていることを確認するため、アガロース電気泳動を行った。電気泳動とは、気体や液体中の帯電した粒子が、電圧をかけることによって発生した電極に移動する現象である。今回の場合、DNA の核酸は-の電荷を帯びているため、アガロースのゲルの中を+の電極にむかって移動することになる。

加熱によって溶解させた緩衝液を含む 1%アガロースを用意し、穴をつくるためのコームをとりつけたホルダーに注いで固化させゲルを作成した。その穴のあいたゲルを泳動槽へ移し、ゲルが液面の下になるまで緩衝液を注いだ。着色した DNA 溶液を穴にいれ、電圧をかけ泳動した。泳動の結果、DNA が上手く抽出できていることが確認できた。

④ PCR 実験

PCR 法を用いて、得られた DNA を増幅した。PCR 法とは、生物の細胞内で行われる DNA 複製を模したものである。二本鎖の DNA を加熱して分離し、増幅させる領域の両末端の部分に相補的な配列をもつ 20 塩基ほどの長さのプライマーを結合させる。酵素の働きにより、片方のプライマーからもう一方のプライマーへそれぞれ DNA が合成される。新しく合成された DNA 鎖にプライマーは残るので、新たに合成された DNA 断片が鋳型となり次のサイクルがはじまる。このサイクルを繰り返し行うことで、素早く、もともとごく微量であった DNA を大量に増幅することができる。今回は、DNA 上の 4 遺伝子座(1-9, 2-56,

2-135, 2-118)に対応するプライマーを用いて、白塚と久美浜それぞれの DNA の同じ 4 箇所を増幅した。

⑤ 遺伝子の解析

DNA 解析装置を用いて増幅した DNA の 4 遺伝子座を解析し、増幅した DNA 断片上にある短い塩基配列の繰り返し回数を調べた。その回数の違いが対立遺伝子の違いとなる。白塚の 12 個体 (s1 ~ s12) と久美浜の 12 個体 (k1 ~ k12) それぞれ 4 箇所の中に含まれる対立遺伝子を、読み取った繰り返し数 (塩基の長さ) で記録した。表のセル内で 2 つの値が違う場合その対立遺伝子はヘテロ接合で、同じ場合はホモ接合である。(表 1)

得られたデータから計算を行い、各集団と全体の遺伝子多様度・遺伝子分化係数を求めた。まず、その範囲(集団・全体)のなかに、どの対立遺伝子がどのくらいの割合で存在しているかという対立遺伝子頻度 (P_i) を調べ、集団ごとの遺伝子多様度 (H_s) ・全体の遺伝子多様度 (H_T) を求めた。遺伝子多様度とは、ランダムにその範囲から 2 つ選んだとき、同じ対立遺伝子を選ばない確率である。

$$H_s = 1 - \sum_i p_i^2$$

$$H_T = 1 - \sum_i p_i^2$$

次に、各箇所における遺伝子分化係数 (G_{ST}) を求めた。遺伝子分化係数とは、全体の遺伝的変異のうち、集団間の違いにより生じた変異の割合を示すもので、値が大きいほど、集団間での遺伝的多様性の違いは大きく、遺伝子の交流が起こりにくいことを示す。(表 2)

$$G_{ST} = \frac{H_T - \overline{H_s}}{H_T}$$

これらの値から集団間の遺伝的関係を考察する。

表 1 : s は白塚を、k は久美浜を表す。

	1-9	2-56	2-135	2-118
s1	184 / 184	205 / 205	227 / 227	239 / 249
s2	174 / 190	193 / 207	227 / 227	239 / 249
s3	182 / 190	205 / 207	227 / 229	239 / 249
s4	174 / 182	205 / 205	227 / 227	245 / 247
s5	174 / 184	205 / 205	227 / 227	239 / 247
s6	174 / 174	205 / 205	227 / 233	239 / 249
s7	174 / 194	205 / 205	227 / 227	239 / 239
s8	174 / 184	205 / 205	227 / 229	239 / 239
s9	174 / 184	193 / 205	209 / 227	239 / 245
s10	174 / 174	205 / 205	227 / 231	245 / 249
s11	174 / 184	205 / 205	209 / 231	239 / 249
s12	190 / 194	193 / 205	227 / 227	239 / 249
k1	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 247
k2	190 / 190	205 / 205	229 / 231	239 / 239
k3	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 239
k4	174 / 184	205 / 205	227 / 231	239 / 249
k5	190 / 190	205 / 205	227 / 227	239 / 249
k6	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 249
k7	174 / 184	205 / 205	227 / 231	249 / 249
k8	174 / 174	205 / 205	231 / 231	239 / 239
k9	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 247
k10	174 / 174	205 / 205	227 / 231	239 / 239
k11	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 249
k12	174 / 190	205 / 205	227 / 231	239 / 247

表 2

1-9	白塚	久美浜	全体	
対立遺伝子頻度	174	11/24	12/24	23/48
	182	2/24	0/24	2/48
	184	6/24	2/24	8/48
	190	3/24	10/24	13/48
	194	2/24	0/24	2/48
遺伝子多様度	0.6979	0.5694	0.6658	

遺伝子分化係数 0.04824

2-56	白塚	久美浜	全体	
対立遺伝子頻度	193	3/24	0/24	3/48
	205	19/24	24/24	43/48
	207	2/24	0/24	2/48
遺伝子多様度	0.3507	0.0000	0.1918	

遺伝子分化係数 0.08597

2-135	白塚	久美浜	全体	
対立遺伝子頻度	209	2/24	0/24	2/48
	227	17/24	11/24	28/48
	229	2/24	1/24	3/48
	231	2/24	12/24	14/48
	233	1/24	0/24	1/48
遺伝子多様度	0.4757	0.5382	0.5686	

遺伝子分化係数 0.10840

2-118	白塚	久美浜	全体	
対立遺伝子頻度	239	12/24	15/24	27/48
	245	3/24	0/24	3/48
	247	2/24	3/24	5/48
	249	7/24	6/24	13/48
遺伝子多様度	0.6424	0.5313	0.5955	

遺伝子分化係数 0.01458

3. 実験の結果

1-9 において、白塚では5つの対立遺伝子が存在していたが久美浜では3つ存在して、2-56 では白塚が3つで久美浜が1つ、2-135 では白塚が5つで久美浜が3つ、2-118 で白塚では4つで久美浜が3つであった。このことから、久美浜のほうが多様性は少ないといえる。白塚と久美浜の各集団での H_s の平均をとっても、久美浜のほうで遺伝子多様度は低くなった。

白塚の H_s の平均値 0.541667

久美浜の H_s の平均値 0.409722

様々な植物種における遺伝子分化係数の平均値は0.248 (Hamrick & Godt, 1989) である。2-135 では0.10840 で他の3遺伝子座に比べて大きかったもののやはり小さく、地理的隔離による分化は起こっていないと考えられる。

4. 考察

白塚と久美浜のコウボウムギにおいて、顕著な地域間差は見られなかった。分布域が限られ地理的隔離が起こっている植物の集団間の G_{ST} の値は0.5以上となるが、今回のコウボウムギの G_{ST} は大きくても0.10840 であるので、比較的低い値だと言える。

G_{ST} が小さいことから、白塚と久美浜のコウボウムギの集団の間に遺伝的交流がある、もしくは、交流を絶ってから分化に必要な十分な時間が経っていないと考えられる。また、今回観察したDNAの断片は変異が見られにくい箇所であった可能性もある。

遺伝的交流があると推測するとき、交流手段として波・風・動物によって種子がほかの砂浜まで

運ばれることが考えられる。今回、試料採取時に黒褐色のえい果（種子を中に持つ）の形態や様子を観察したが、波による運搬が交流手段として最もあり得ると考察した。

5. まとめと今後の課題

今回の実験により、二つの地域間の遺伝子分化度を調べて、遺伝子の集団間の交流や地理的な隔離の関係を知らることができた。だが、採取したコウボウムギは2010年のものに限られており、また採取した範囲も白塚・久美浜という二つの集団に限られていた。次の機会があれば、採集範囲・研究年数ともに幅を広げて、分化に関係する要因など、コウボウムギについてさらに深く研究できれば良いと思う。

また、近似種であるエゾノコウボウムギ（北海道・東北部に分布）との分化の関係も調べてみたい。

謝辞

本研究の実験を指導して頂いた大迫敬義先生、京都府立大学生命環境学部附属農場の皆さんに感謝いたします。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 監修 島本功・佐々木卓治 『植物のPCR実験プロトコール』
- 2) 『細胞の分子生物学 第4版』
- 3) 『エッセンシャル遺伝学』
- 4) <http://hos0.big.ous.ac.jp/%7Eesuge/index2.htm> すぎの会

里山林における環境の違いによる植生の変化

川村真以, 小塩茂々子, 田中順也, 宮城宏維

訪問先研究室 京都府立大学

講師 平山貴美子

要旨

人に管理されなくなった里山の現状を知るために、宝ヶ池の森でプロットを作成し植生を調査すると、森の景観や林床の様子、樹種の違いなど、昔とは違う里山の姿が浮かび上がった。

1. はじめに

里山というと、皆さんはどのような風景を思い浮かべるだろうか。

桃太郎の話にもあるが、昔は里山へ柴刈りにいくのも普通であり、落葉なども肥料として利用していた。薪炭用として山は適度な頻度で伐採され林床が明るく保たれており、ドングリ拾いやキノコ狩りなど里の人々の日常生活の場でもあった。

しかし近年の私たちの生活では里山との関わりは極めて希薄である。その結果として森林の植生は変わろうとしている。

どう変化しているのか、その現状を実際に調査した。

今回里山を調査する上で該当地域によく生えている樹種を判定できるように、山林に入る前に19種の樹種の特徴や植生を学んだ。

2. 調査の方法

2.1. 調査地概要

以下の調査は全て宝ヶ池丘陵の山林（北緯 35 度 3 分、東経 135 度 46 分）で行った。

宝ヶ池丘陵は、昭和 30 年代は薪や柴を得るための場所として古くから利用されてきた。その時代はアカマツ林の山であったが、都市ガスが整備されていくにつれこうした施業も行われなくなり、人の手が加えられなくなった。

これにより遷移が進行し、コジイが優占する林

も拡大しつつある。

宝ヶ池丘陵からもっとも近い、京都地方気象台（標高 41.1m）によると、1971-2000 年の年平均気温は 15.6°C、年平均降水量は 1545.4mm となっている。

調査地の標高は 174m であり、京都の観測地の標高と比べて 132.6m 高い。気温の遞減率を考慮した上での年平均気温は 14.8°C で暖温帯の気候帯である。

調査地付近には社が存在し、その周囲はコジイが優占する林に覆われており、本来の植生に近いと思われる。

調査地のシイ林はとてもジメジメしており、日光は樹木に遮られて落葉広葉樹林と比べると全体的に暗い。

調査地の落葉広葉樹林は比較的林床まで日光が届いており、樹高の低い個体も多数見られた。

2.2. 落葉広葉樹林の調査

巻尺で 15m×15m のプロットを作成後、プロット内の胸高（1.3m）で幹の直径が 5.0cm 以上の木を選別し、該当する樹木の幹の直径を直径割付巻尺を使用し測定し、胸高断面積合計を求めた。樹種も判定し、樹種ごとに株数を記録した。（表 1）

次に、15m×15m のプロットの中に 5.0m×5.0m のプロットを 3 箇所作成し、幹の直径が 5.0cm 未満でなおかつ樹高が 30cm 以上の樹木を

選別し、ノギスを使用し 30cm の高さで幹の直径を測定し、胸高断面積合計を求めた。こちらも樹種を判定し、樹種ごとに株数を記録した。(下表 2)

前者後者ともに枯れている樹木の幹は直径を測定せず、名称のみを記録した。

2.3. シイ林の調査

測定方法は落葉広葉樹林と同じであるため、ここでは記載しない。(下表 3、表 4)

※以下の表は全て小数点第 4 位で四捨五入しており、0.000 は存在してはいたが数値がとても小さかった場合。

↓表1. 落葉広葉樹林 15m×15m

樹種と生死	胸高断面積合計(m ²)	本数	個体数	胸高断面積合計(ha)	本数(ha)	個体数(ha)	相対優占度胸高断面積合計	相対優占度本数	相対優占度個体数
コナラ	0.270	13	12	11.978	578	533	0.285	0.049	0.065
ソヨコ	0.102	18	15	4.539	800	667	0.041	0.083	0.102
アベマキ	0.051	1	1	2.251	44	44	0.010	0.000	0.000
ネジキ	0.048	18	12	2.136	800	533	0.009	0.083	0.065
アカマツ	0.017	2	2	0.734	89	89	0.001	0.001	0.002
ネズミサシ	0.005	2	2	0.221	89	89	0.000	0.001	0.002
アオハダ	0.005	2	1	0.212	89	44	0.000	0.001	0.000
サカキ	0.005	2	1	0.204	89	44	0.000	0.001	0.000
ウツミズサクラ	0.004	1	1	0.161	44	44	0.000	0.000	0.000
合計	0.505	59	47	22.437	2622	2089	0.346	0.240	0.238
アカマツ枯	0.074	5	5	3.276	222	222	0.856	0.309	0.309
ソヨコ枯	0.006	4	4	0.264	178	178	0.006	0.198	0.198
合計	0.080	9	9	3.540	400	400	0.862	0.506	0.506

↓表2. 落葉広葉樹林 5m×5m

樹種と生死	地際断面積合計(m ²)	本数	個体数	地際断面積合計(ha)	本数(ha)	個体数(ha)	相対優占度地際断面積合計	相対優占度本数	相対優占度個体数
コバノミツバツツジ	0.095	150	62	4.703	20000	8267	0.193	0.170	0.171
ネジキ	0.029	65	25	3.913	8667	3333	0.134	0.082	0.028
ヒサカキ	0.008	42	18	0.420	5600	2400	0.002	0.013	0.014
ソヨコ	0.008	24	8	0.385	3200	1067	0.001	0.004	0.003
サカキ	0.002	22	6	0.284	2933	800	0.001	0.004	0.002
モチツツジ	0.002	15	7	0.256	2000	933	0.001	0.002	0.002
シャヤンボ	0.001	4	1	0.171	533	133	0.000	0.000	0.000
ネズミサシ	0.001	4	4	0.165	533	533	0.000	0.000	0.001
カナメモチ	0.001	6	5	0.163	800	667	0.000	0.000	0.001
アオハダ	0.001	3	1	0.147	400	133	0.000	0.000	0.000
アラカシ	0.000	12	5	0.037	1600	667	0.000	0.001	0.001
ナツハゼ	0.000	3	1	0.028	400	133	0.000	0.000	0.000
イタツゲ	0.000	9	3	0.023	1200	400	0.000	0.001	0.000
シイ	0.000	3	2	0.011	400	267	0.000	0.000	0.000
コナラ	0.000	1	1	0.001	133	133	0.000	0.000	0.000
ヤマウルシ	0.000	1	1	0.000	133	133	0.000	0.000	0.000
合計	0.080	364	150	10.697	48533	20000	0.332	0.227	0.223
ネジキ枯	0.008	9	7	0.339	1200	933	0.082	0.059	0.078
ソヨコ枯	0.002	9	4	0.255	1200	533	0.052	0.059	0.026
コバノミツバツツジ枯	0.002	11	8	0.223	1467	1067	0.040	0.088	0.102
ヤマウルシ枯	0.001	2	1	0.168	267	133	0.023	0.003	0.002
コナラ枯	0.001	1	1	0.107	133	133	0.008	0.001	0.002
アオハダ枯	0.000	1	1	0.013	133	133	0.000	0.001	0.002
ヒサカキ枯	0.000	1	1	0.006	133	133	0.000	0.001	0.002
イタツゲ枯	0.000	2	1	0.002	267	133	0.000	0.003	0.002
シイ枯	0.000	1	1	0.002	133	133	0.000	0.001	0.002
合計	0.000	37	25	1.115	4933	3333	0.217	0.215	0.216

↓表3. シイ林 15m×15m

樹種と生死	胸高断面積合計(m ²)	本数	個体数	胸高断面積合計(ha)	本数(ha)	個体数(ha)	相対優占度胸高断面積合計	相対優占度本数	相対優占度個体数
シイ	0.502	15	13	22.313	667	578	0.312	0.116	0.111
コナラ	0.140	2	2	6.214	89	89	0.024	0.002	0.003
ソヨコ	0.089	8	6	3.952	356	267	0.010	0.083	0.024
カナメモチ	0.047	6	6	2.069	267	267	0.003	0.019	0.024
クノノツメ	0.038	2	2	1.692	89	89	0.002	0.002	0.003
アベマキ	0.033	3	2	1.470	133	89	0.001	0.005	0.003
アオハダ	0.018	2	2	0.798	89	89	0.000	0.002	0.003
クロバイ	0.017	1	1	0.734	44	44	0.000	0.001	0.001
ネジキ	0.006	2	2	0.258	89	89	0.000	0.002	0.003
アカマツ	0.004	1	1	0.176	44	44	0.000	0.001	0.001
サカキ	0.003	1	1	0.147	44	44	0.000	0.001	0.001
ヒサカキ	0.002	1	1	0.109	44	44	0.000	0.001	0.001
合計	0.898	44	39	39.932	1956	1733	0.353	0.183	0.174
アカマツ枯	0.126	6	6	5.590	267	267	0.896	0.735	0.735
ネジキ枯	0.007	1	1	0.315	44	44	0.003	0.020	0.020
合計	0.133	7	7	5.895	311	311	0.899	0.755	0.755

↓表4. シイ林 5m×5m

樹種と生死	地際断面積合計(m ²)	本数	個体数	地際断面積合計(/ha)	本数(/ha)	個体数(/ha)	相対優占度地際断面積合計	相対優占度本数	相対優占度個体数
サカキ	0.007	35	16	0.961	4667	2133	0.234	0.405	0.904
シイ	0.005	10	7	0.649	1333	933	0.107	0.083	0.058
ネジキ	0.002	3	2	0.330	400	267	0.028	0.003	0.005
タカノツメ	0.000	1	1	0.031	133	133	0.000	0.000	0.001
アラカシ	0.000	3	2	0.008	400	267	0.000	0.003	0.005
ソヨゴ	0.000	1	0	0.004	133	0	0.000	0.000	0.000
ヒサカキ	0.000	2	1	0.003	267	133	0.000	0.001	0.001
合計	0.015	55	29	1.966	7333	3867	0.368	0.446	0.375
ネジキ枯	0.001	1	1	0.144	133	133	0.000	0.000	0.000
コバノミツバツツジ枯	0.001	2	2	0.114	267	267	0.000	0.000	0.000
シイ枯	0.000	6	1	0.033	800	133	0.000	0.000	0.000
サカキ枯	0.000	2	1	0.006	267	133	0.000	0.000	0.000
合計	0.002	11	5	0.287	1467	667	0.000	0.000	0.000

3. 考察

シイ林の 15m×15m のプロット内ではシイの個体数の多さは二番目であるが、一番多いサカキは高木ではないため次の世代もシイ林が優占すると考えられる。

落葉広葉樹林 15m×15m のプロット内のアカマツは個体数がとても少なく、枯れているものも多い。そして、5m×5m のプロット内にも存在していないため、将来的にはアカマツの個体数は更に減少すると思われる。

落葉広葉樹林のプロットに常緑のソヨゴやネズミサシが見られる。

本来宝ヶ池丘陵一帯は常緑広葉樹林であったが、人の手が加えられたことによりコナラを中心とする落葉広葉樹林（2次林）に移行した。しかし、再度放置されたことにより、元の常緑広葉樹林に戻りつつあると考えられる。

4. まとめと今後の課題

今回の調査中に枯れているアカマツやネジキが目立った。

アカマツが枯れているのはマツ枯れが全国的に拡大しているためであり、アカマツに関しては調査したプロット内に存在した 14 本中 11 本が枯れていた。しかし、コナラに関しては調査したプロット内に存在した 17 本中 1 本しか枯れていなかった。調査した範囲ではナラ枯れはほとんど見られなかったが、調査地の周辺ではナラ枯れが進行し、遠くからでも被害にあっていると思われる個体が多く見られた。

ナラ枯れやマツ枯れは甲虫カシノナガキクイムシが病原菌、マツノマダラカミキリがマツノザイセンチュウを枯死木から生存木へと媒介することによって起こる。

ナラ枯れでは菌が数箇所に感染した程度では変色は狭い範囲にとどまり、枯死することはない。しかし、カシノナガキクイムシの穿入密度が枯死を決める重要な要因であるため、カシノナガキクイムシの数が著しく増えると枯死被害は増加してしまう。

夏場、ふと山を見た際に赤褐色が目立つのは、紅葉ではなくこのためである。

現在全国的にそれらが流行しているため早急な対策が必要であるが、枯れた木を切り倒し、薪とし、燃やすことが主な手段となるため、手間がかかりほとんど対処されていないのが現状である。

今回の調査でも再確認できたように、昔の里山は、人の手が加えられることで本来の植生が維持されてきた。しかし、現在の里山では人の手があまり加えられなくなっている。そのため、下草がたくさん生えていたり、立ち枯れた木や倒木があり、歩きにくい状態であった。また、高木が多く、林床が暗くなっていた。人の手が加えられると、植生の変化に多大な影響を与えてしまうことがあるが、手を加えないとかえって里山が荒廃してしまうということがわかった。

現状を見る限り健全な里山を維持するには適度に人の手を加え高木を間引いたり、下草を刈ったりする必要がある。また、マツ枯れやナラ枯れ

の被害木を速やかに切り倒して処分し、害虫の住処をなくす必要がある。

里山の本来の植生を守っていくためには、まずは里山の現状を知り、少しでも多くの人が里山に入っていくべきである。そして、マツ枯れやナラ枯れした木を薪炭などに使ったり、間伐材を集成材に使ったりして木を利用し、里山と私たちの生活をつなげていくことが大切である。

謝辞

本研究の調査において指導していただいた平山貴美子氏に、調査に協力していただいた町田英

美氏、森山大輔氏、今井龍夫氏に感謝します。また、本研究は科学技術振興機構の進めるスーパーサイエンスハイスクール事業の一環として行われました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 里山林における生物多様性と遷移の進行
平山貴美子
森林技術 8月号 掲載
- 2) ナラ枯れ増加から見えてきた「望ましい里山管理」の方向 --枯れる前に資源として使う--
黒田慶子

ゴミとリサイクル

～工夫と実施～

石高周, 小槻陽平

要旨

毎日排出される多くのゴミが環境に与える悪影響を調べ、その解決策でもあるリサイクルの効果を分析した。

1. はじめに

私たちの生活が豊かになった今、私たちはたくさんのもので囲まれて生活している。そんな中で私たちが普段何気なく排出しているゴミに焦点を当てた。

では、私たちの周りにあふれるものは何から、どのように作られているのか。例えば、授業で使っている教科書やノートは紙からできている。日本では 2003 年(平成 15 年)では、一人当たり年間 240kg もの紙を使っている。この紙の主な材料は木の繊維である。紙の材料となる天然木材は世界中で伐採されている。日本で使っている紙用の木材もオーストラリアやアメリカ、南アフリカ、チリ、ベトナムなど 10 数カ国から輸入しているもので、紙用の輸入木材の総量は年間で約 1397 万トン、日本で作っている紙の約 7 割が輸入木材によるものなのである。

紙のほかにも、私たちの身の回りのものには様々な材料が使われている。これらの材料には、重金属のように製品自体に有害性のあるもの、製造時に環境負担をかけて製造されるものもある。そしてそれらがゴミとなり処理されるとき、多くは燃やされ、二酸化炭素が発生する。

これら問題を解決するため、近年では二酸化炭素の排出をおさえ、資源の節約をはかる「リサイクル」が注目されている。リサイクルと言われるものには大きく 3 種類、再利用化(主にリサイクルはこれをさす)、再使用化(リユース reuse)、省資源化(リデュース reduce)がある。では、リサイクルによって環境はどのくらい改善されるのか。

そこで、ゴミに関する問題の実態を知るために、洛北高校という小集合体において調査を行った。ゴミの種類、排出量、リサイクル方法、処理時の二酸化炭素排出量、から分析を試みた。

2. 材料・研究方法

本校では、ペットボトルキャップ、プルタブの回収を行っている。また、紙パック・ペットボトルの回収、リサイクルは自動販売機の業者が行っている。学校全体としてのリサイクル状況はこのようになっているが、本研究では生徒個人としてのリサイクル状況を調査するために1講座(26人)を対象にアンケートを行った。具体的な質問として

- Q1. ゴミを出さないようにどんな工夫をしているか。
Q2. a>.リサイクルを行っているか。b>.具体的にどんなものをリサイクルしているか。

次に、ゴミの内容、排出量を調査するために、本校の管理用務員の方々にインタビューを行った。

最後に、インタビューでわかったゴミの排出量をもとに、二酸化炭素排出量を計算した。

3. 結果・考察

アンケート結果(ただし回答が多かった内容のみ表記)

A1.

- ・ 不必要なものを買わない。 5人
- ・ レジ袋をもらわない。 6人
- ・ 詰め替え用品を使う。 4人

- ・ 裏紙を使う。 3人 など

A2. a).

- ・ Yes 18人 No 8人

b).

- ・ 古紙回収
- ・ 牛乳パック
- ・ カン・ビン
- ・ 紙パック
- ・ ペットボトル など

まずアンケートから明らかなのは、約2/3がリサイクルを行っているということである。この結果が多いのか、少ないのかはわからないが、リサイクルが間違いなく生活にも取り込まれていることがうかがえる。それは、A1の回答のほとんどが生活の中で無理なくこなせる、工夫によるリサイクルであることからわかる。このように、リサイクルはもはや常識となっている。

では、リサイクルとはどれほど環境にやさしいのか。A1の回答として最も多いレジ袋を例にとって考えてみる。スーパーやコンビニなどで使われているレジ袋は、ポリエチレン製である。ポリエチレンは炭素(C)と水素(H)で構成されているプラスチックだ。ポリエチレンから CO₂ が排出されるというのは、ポリエチレンを燃やす反応であり、理論的には、ポリエチレン(nC₂H₄)と酸素(O₂)を反応させ、その結果、二酸化炭素(CO₂)と水(H₂O)が発生する反応だ。

$$nC_2H_4 + 3nO_2 \rightarrow 2nCO_2 + 2nH_2O$$

この式から計算するとポリエチレン 28gを燃焼させると 88gの二酸化炭素(CO₂)が発生するという事になる(ただし、炭素(C)の分子量を 12、水素(H)を 1、酸素(O)を 16 とする)。またレジ袋の重量は手提げ部分も入れて、53cm×30cm の一般的なサイズの袋で 7g とする。ポリエチレン 28g を完全燃焼させた場合に発

生するCO₂の量は88gだから、7gのレジ袋を完全燃焼させた場合に発生するCO₂の量は22gとなる。またレジ袋が最終消費者にわたるまでに、ポリエチレンの製造段階で1kgあたり1.231kg、レジ袋の製造段階で0.281kgの二酸化炭素が排出されている。よって7gのレジ袋を製造するのに少なくとも10.6gの二酸化炭素が発生していることになる。つまり、レジ袋を1袋断ったときに削減できる二酸化炭素は合計で約33gとなる。また、国民一人あたり年間約300枚のレジ袋を受け取っているので、300枚全て断ったとして、9.9kg。原油に換算するとペットボトル約2、3本に値する。一人が一年間、レジ袋を断り続けるだけで、こんなにも原油、二酸化炭素を削減できると考えると、リサイクルの大切さがよくわかる。

インタビューの結果

- ・ 自動販売機の業者が回収するペットボトル・紙パックなどは夏で月に2tトラック2杯分、冬で1杯分、年間月平均1.5杯分である。

- ・ 金属・大型ゴミ類は第4木曜に回収
- ・ 古紙は火曜に回収
- ・ その他の一般ゴミは毎週、月・水・金に回収
- ・ 一般ゴミの半分以上が菓子類などの包装紙

学校から排出されるゴミの量・種類は上記の通りである。業者に回収されたペットボトル・紙パックはおそらくリサイクルされているのだろうが、詳しくは調べられていないのでわからない。ここで注目したいのは一般ゴミである。私たちが普段菓子類を食べ、何気なく捨てている包装紙は焼却時にどれほどの量の二酸化炭素を発生させているのか。菓子類のゴミの素材は、若干の紙も含むが、ここでは計算のためプラスチックとして考える。また、半分以上が菓子類の包装紙なので、一般ゴミの2/3が菓子類のゴミであるとする。

年度	クラス数	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計	平均
H13	27							98	111	77	74	59	128	547	91
H14	27	94	92	104	98	65	157	108	108	92	83	82	130	1213	101
H15	27	120	99	120	99	77	168	115	101	95	108	82	133	1317	110
H16	28	129	100	110	120	89	177	114	121	117	99	92	144	1412	118
H17	28	143	120	119	120	101	158	128	119	106	98	99	157	1468	122
H18	28	112	119	122	105	88	152	106	118	103	98	95	131	1349	112
H19	27	109	104	100	92	87	149	117	117	103	81	114	134	1307	109
H20	27	121	95	104	94	75	115	99	80	106	82	95	146	1212	101
H21	27	131	94	94	99	82	137	96	103	95	75	92	129	1006	84
月平均		120	103	109	103	83	152	110	108	102	91	94	139		

・表1 本校の一般ゴミ一月あたりの排出量(単位:kg)の統計(H13.4月～H21.3月)

エネルギー源など	二酸化炭素排出係数
灯油	2.51kgCO ₂ /L* ⁹
ガソリン	2.31kgCO ₂ /L* ⁹
ジェット燃料	2.4kgCO ₂ /L* ⁹
軽油	2.64kgCO ₂ /L* ⁹
都市ガス	2.15kgCO ₂ /m ³ * ⁹
電気	0.357kgCO ₂ /kWh* ⁹
プラスチックゴミ	2,680kgCO ₂ /t* ¹⁰

・表2 二酸化炭素の排出係数

<http://www.microbes.jp/kankyo/kankiji/kb007.htm>

より

H.20 を例にとって考えてみると、一般ゴミの排出量は年間 1212kg。そのうち菓子類の包装紙は2/3であるから、年間約 800kg。表3のプラスチックの項目によると、排出量40kgから二酸化炭素 11.2kgが発生するから

$$800 \div 40 \times 11.2 = 224 (\text{kg})$$

ゆえに H.20 には菓子類の包装紙のみから 224kg の二酸化炭素が排出されていることがわかる。これはレジ袋の二酸化炭素排出量に比べても大変多い。菓子類の包装紙によって発生した二酸化炭素をレジ袋

エネルギー源など	利用(排出)量	二酸化炭素排出量
灯油	1,756.4L	4,408.56kg
ガソリン	755L	1,744.05kg
ジェット燃料	398.4L	956.16kg
軽油	2.95L	7.8kg
都市ガス	69.1m ³	148.57kg
電気	4,056.9kWh	1,448.31kg
プラスチックゴミ	40kg	11.2kg
総合計	8,724.65kg	

・表3 表2の二酸化炭素の排出係数とエネルギー源などの消費量から算出した二酸化炭素の排出量

<http://www.microbes.jp/kankyo/kankiji/kb007.htm>

より

を断ることで削減しようとする、23 人が一年間レジ袋を断り続けなければならないことになる。

4. まとめ

考察から菓子類の包装紙が予想外に多くの二酸化炭素排出の原因になっていることがわかった。逆に言えば、菓子類を食べなければそれだけ多くの二酸化炭素を削減できるということである。環境のことを思うならば、菓子類を控えるべきだ。菓子類に限らずとも、生活のちょっとした工夫や心掛けを続けることが

環境の改善につながる。今回の研究で数字として目の前に明らかになったことで、環境問題が思ったよりも深刻で身近なことが再確認された。これをきっかけに私たちは生活を見直していくべきではないか。

謝辞

生徒の皆さんアンケートにご協力ありがとうございました。また管理用務員の方々、インタビューに丁寧にお答えいただきありがとうございました。

参考文献

- 1) 新データガイド 地球環境 本間慎
- 2) ポプラディア情報館 ゴミとリサイクル
- 3) <http://www.microbes.jp/kankyo/kankiji/kb007.htm>
- 4) http://www.rite.or.jp/Japanese/kicho/kikaku/now/now33/33_02_03.pdf
- 5) <http://www.niji.or.jp/home/taru/mytown/gomi.html>

静電気による火花放電

上田亜寿奈, 田村萌, 東美華

要旨

まず、静電気についてインターネットで調べた。次に、身の回りの静電気による火花放電について具体的な原因を探るため、洛北高校の生徒及び教師にアンケート調査を行った。それに基づいて、個人の体質や生活習慣と火花放電の起こりやすさの関係について統計をとり、アンケートの回答にあった静電気の起こりやすい場所や条件で原因を調べた。アンケート調査の結果をまとめたところ、男性より女性の方が静電気による火花放電を多く感じていること、静電気による火花放電を感じている人の多くは、肩こり・腰痛・冷え性などの血液の循環の悪さから来る症状を持っている事がわかった。また、校内で行った気温・湿度の測定結果や制服の素材に基づき学校生活での静電気による火花放電の起こりやすさを調べたところ、制服の着合わせにも原因があることがわかった。しかし、静電気の火花放電の起こりやすさには個人差が見られたため、温度・湿度などの環境や個人の体質にも原因があると考えられる。それらに関して、今後の静電気対策に役立てられるよう、具体的な対策を挙げた。

1. はじめに

まず一般に静電気とは、物体に溜まったまま動かない電気のことを言う。静電気には、接触帯電、摩擦帯電、はく離帯電、衝突帯電がある。接触帯電とは、二つの物質が接触したときに起こり、物と物が触れ合っただけで起こるわけであるから、常時起きていると言っても過言ではない。摩擦帯電は、物と物をこすり合わせたときに起こる。幼少期に、服と下敷きをこすり合わせて髪を立てたことがあるのではないだろうか。これも摩擦帯電の一種である。はく離帯電は、触れ合っているものを剥がしたときに起こる。シールなどを剥がしたときにも、実ははく離帯電が起きているのだ。衝突帯電は、物と物がぶつかり合ったときに発生する。普段、「静電気が起きた」ということがあるが、これは正確には「静電気によって火花放電が起きた」ということとなる。火花放電とは、気体中の放電で急激に火花が発生する現象である。日常生活では放電が起きる前に、上記のいずれかにより帯電し、物体間の電圧がある一定の大きさに達したときに火花放電が起こる。

人体の動作	人体の帯電電位(kV)
ナイロンカーペットの上を歩行	2.0 ~ 2.5
ソファから立ち上がる	3.5 ~ 4.5
ナイロンカーペットの上ですり足運動	4.5
ポリエステル作業服の脱衣	4.0 ~ 4.5
アクリルセーターの脱衣	4.5 ~ 5.0
アクリル毛布の折り畳み作業	5.0 ~ 6.0

(表 1)

表 1 は人体の動作で帯電する電気の目安であり、すべての人に例外なく起こっている。体に溜まった電気は、通常時間の経過とともに徐々に減少する自然放電をし、火花放電を起こすほどの電圧には達しない。しかし、体質や環境により自然放電が行えないことがあり、それによって人は静電気による火花放電を感じる。一般に静電気体質という言葉があるが、静電気体質のほとんどの人は自然放電が苦手である。そのような人々の共通の接点として、肩こり、腰痛、冷え性などの症状があげられる。これらの症状は、私生活の睡眠時

間の減少や食生活の乱れからくるもので、この生活を重ねているうちに、体内の血液が弱アルカリ性から酸性へと変化し、この値は pH 値で表される。pH 値が基準値より低ければ低いほど酸性に近く、血液の濃度が高いと言え、体がこのようになることを体内酸性化と言う。酸性化することにより、体内にあるイオンのバランスが崩れ、体のマイナス電気が逃げ、不足する。このマイナス電気が不足することで、電気バランスが崩れ、体内中のプラス電気がマイナス電気を外部から呼び寄せる。その結果、電気を呼び寄せる帯電体質になり、自然放電が行えなくなる。帯電体質を改善するためには、体内を酸性から本来の弱アルカリ性に戻し、マイナス電気を保つ必要がある。

しかし、静電気による火花放電を感じるすべての原因が帯電体質であるわけではなく、気温や湿度などの環境も大きく関係する。静電気が最も起きやすいと言われている環境は、気温と湿度が低い環境であり、ゆえに真冬の乾燥した時期は静電気が発生しやすいといえる。具体的に静電気が発生しやすい気温と湿度を数字で表すと、気温 25 度以下、湿度 20%以下になる。

このような静電気による火花放電の性質や発生条件に基づき、校内や日常生活で起こっている火花放電の原因を調べ、具体的な対策を考えた。

2. 研究方法

まず、第 2 学年の 1、2 組の生徒に静電気に関するアンケート協力を依頼した。また、先生方にも協力していただいた。実際に行ったアンケートは以下のものである。

静電気に関するアンケート

Q1 日常生活で静電気で「パチッ」と感じる事がありますか。

よくある 時々ある ほとんどない

Q2 上記のことをよく感じる場所と条件を教えてください。

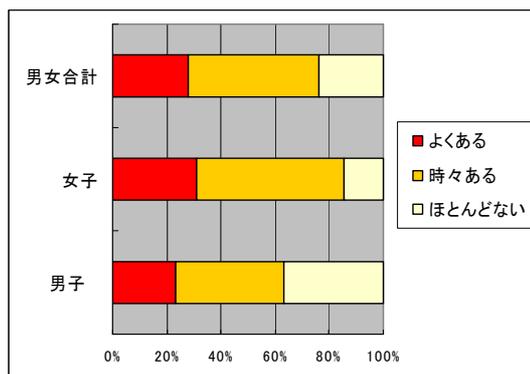
Q3 静電気防止グッズをしていますか。何を使

用していますか。

Q4 下記の中で当てはまるもの全てに○をつけてください。

肩こり 腰痛 冷え性 ジャンクフードをよく食べる

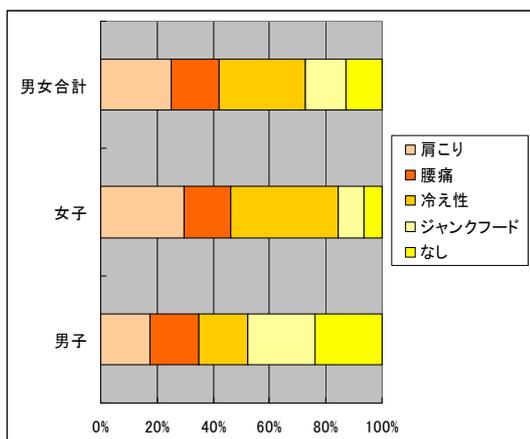
アンケート結果をまとめると以下のようになった。Q1 の結果からグラフを作成した。



Q2 の結果から調査を行う場所と条件を決定した。まず一番多かった回答はドア類であった。また、服の着脱や人と人との接触が上位に上がった。以上のことから、ドアに関しては屋内にあるドア、屋外にあるドア、車のドアについて調べ、また、人と人との接触時、衣服の素材による違いを調べる。もっとも身近な校内では、HR 教室と地学実験室で調査を行う。

Q3 の結果としては、使用している人はあまり多くなかったが、使用者の大半はキーホルダー型の静電気防止グッズを携帯していた。

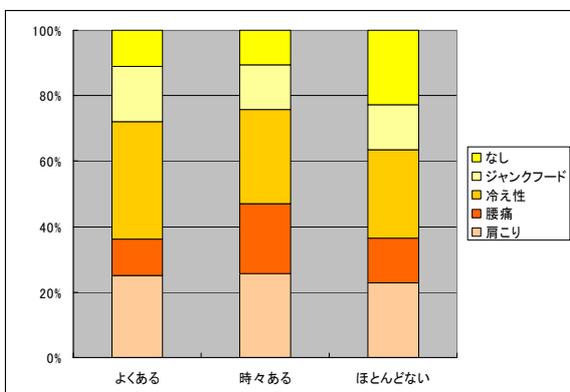
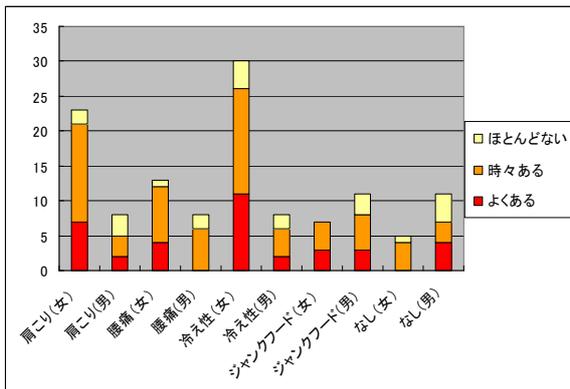
Q4 の結果からグラフを作成した。



これにより、個人の体質と静電気による火花放電の起こりやすさと感じやすさの関係を調べる。

以上をふまえて、調査の内容は、対象となるものの原材料を調べ、それぞれの原材料の帯電のしやすさから静電気による火花放電の起こりやすさを探る。また、可能な場合は、湿度計を用いて湿度を計測する。調べた原因から具体的な対策方法を考える。

3. 結果



アンケート結果の2つのグラフをまとめ、上のグラフを作成した。グラフとアンケートから、男性よりも女性の方が静電気による火花放電を多く感じているという結果が出た。また、静電気による火花放電を感じている人の多くは、肩こり、腰痛、冷え性など、血液の循環の悪さから来る症状をもっている。このことから、静電気による火花放電を感じている人は、血液の濃度が高い可能性がある。

また、制服着用時の静電気の帯電率を、以下の表を参考に調べた。

+ アクリル

- ↑ ポリエステル
- 絹
- 革
- 綿
- 人体
- レーヨン
- ↓ ナイロン
- 毛

上の表は、主な衣服の素材を+、-の帯電率の大きさを基に並べたもので、離れているものどうしほど、静電気による火花放電が起こりやすい。

今回は、制服を対象とし、また授業中に使用している人が多数いるので、ひざ掛けも対象とした。使用されている割合が高いことから、素材をそれぞれ以下のように定める。

- ブレザー → 毛、ポリエステル
- カッターシャツ → 綿
- カーディガン → 毛
- コート → 毛
- 肌着 → ポリエステル、アクリル
- ひざ掛け → ポリエステル

この素材を帯電率の表で見ると、制服着用時は静電気による火花放電が起こりやすいと言える。

静電気の発生しやすい環境に基づき、校内で温度、湿度の計測を行った。その結果、アンケートで静電気をよく感じるという回答が多かった地学実験室のほうが、HR 教室よりも湿度が低かった。

4. 考察

結果から、制服着用時に起こる静電気による火花放電は、衣服の着合わせが原因の一つであることがわかる。だが、アンケート結果には個人差が見られたので、他の原因もあると考えられる。そこでアンケートの回答が多かった地学実験室と少なかった HR 教室を例に、他の原因、それに対する対策をまとめた。

まずひとつは、空気の乾燥である。使用する講座

が少ない地学実験室は、人の出入りが少ないので、人から空気中に放出される水蒸気量が相対的に少ないと言える。同時に、加湿器としての機能も果たす暖房機を使用する合計時間も短くなるので、湿度が上がる機会が少ない。空気の乾燥対策として、簡単にできる事には、暖房機の水をこまめに補給すること、霧吹きなどを用いて水をまくことが挙げられる。

他の原因のひとつは、個人の体質である。体内の血液が酸性化することで濃度が上がり、自然放電ができにくい体質になっている可能性がある。そういった場合、体内を弱アルカリ性に戻す必要があり、有効成分を含む食物を摂取することが対策としてあげられる。具体的な食材としては、カルシウム・マグネシウム・ナトリウム・カリウムなどを多く含む、大豆・大根などの山の食材、マグロ・アジ・イワシ・昆布・ひじきなどの海の食材や、一般にも効果があると言われている、イオウ化合物を多く含むタマネギなどがあげられる。有効成分のなかには水溶性のものもあるので、効果的に摂取するためには、汁も一緒に摂れる調理法が望ましい。また、血液の循環をよくするために、体を温めておくのも効果的だといわれる。

上に記した対策で十分に静電気体質が改善されない場合は、静電気防止グッズを使用することも有効である。

5. まとめ

今回の調査で、男性と女性の静電気による火花放電のおこりやすさの違いや発生条件などを具体的に知ることができた。また、制服着用時、校内など、身近な条件にしぼって調査を行い、その対策も簡単なものに絞ったので、今後の身の回りの静電気対策に活用できるであろうことが期待される。

謝辞

今回研究をするにあたり、2年一貫の生徒の皆さん、先生方にアンケート調査に協力していただいた。

参考文献

- 1) <http://seidengaku.jp/>
- 2) <http://www.ishizuka-sangyo.co.jp/index.htm>
- 3) <http://www.garafaku.com/ele/02learn/04.html>
- 4) <http://www.seidenki-100.com/2005/12/post.html>
- 5) <http://www.akia-ds.com/seidenki/>
- 6) <http://ja.wikipedia.org/wiki/>

食事と CO₂ 排出量

夢のお子様ランチは悪夢か!?

木下真里, 村上花

要旨

わが国の食料自給率は非常に低くなり、消費する食材のほとんどを輸入に頼っている。それらの食材の生産地はさまざまである。そこで定番のお子様ランチに使われている食材の元を巡り、生産地から東京都に届くまでに輸送過程で排出されている CO₂ 量を調べた。結果、お子様ランチに使用されている食材だけでも多量の CO₂ を排出していることがわかった。改善策としては、輸送距離の短縮を目的とした地産地消や燃費向上技術の発達があるだろう。このように、環境問題を食の面からアプローチすることが我々の課題のひとつとなるのではないだろうか。

1. はじめに

わが国の食料自給率は 40%と非常に低い値となっている。とりわけ小麦、油脂類に至ってはその 90%以上を輸入に頼っている。昭和初期に洋食屋が洋食の子ども用定食をお子様ランチとして取り入れて以降、1960 年頃からは爆発的な人気を帯び、新世代の洋食化はますます進んだ。外食産業に支えられた日本大衆の洋食化は国産で賄うことのできない食材の輸入を促し、長距離の輸送が増えた。

食材の輸入および輸送は航空機、船舶、トラックで行われており、使用する燃料が排出する CO₂ が環境問題に少なからず影響を与えていることは言うまでもない。そこで、誰でも一度は食べた記憶があるだろうお子様ランチの食材が輸送過程で排出する CO₂ 量を調べることにより、輸入に頼るわが国の食のあり方を見つめ、環境に良いお子様ランチを提供できる可能性を探る。

2. 研究方法

本研究では、あらゆるレストランで販売されているお子様ランチの、定番であろうメニューを考え、それに使用されている食材を対象とした。メニューは、チキンライス、ミートスパゲティ、ミニオムレツ、エビフライ、ハンバーグ、ウインナー、プリン の 7 品目である。それぞ

れの料理に使用されている食材は、書籍(成美堂出版「いちばんやさしい基本のおかず」および扶桑社 別冊エッセイ BASIC おいしい cooking シリーズ「お菓子のきほん」)を参考とした。チキンライスは、米、玉ねぎ、トマト。ミートスパゲティは、小麦(パスタ)、牛ひき肉、ハム、玉ねぎ、にんじん、赤ワイン、トマト、オリーブオイル。ミニオムレツは、卵。エビフライは、ブラックタイガー、小麦粉、卵、パン粉、きゅうり(タルタルソース)。ハンバーグは、牛肉、豚肉、玉ねぎ、卵、牛乳、パン粉。ウインナーは、豚肉。プリンは、牛乳、グラニュー糖、卵。なお、異なるメニューでも食材が同じであれば、同じ生産地のものとした。したがって、研究対象とした食材は、小麦粉、赤ワイン、オリーブオイル、ブラックタイガー、砂糖、きゅうり、トマト、玉ねぎ、にんじん、米、鶏卵、牛肉、牛乳、豚肉の 14 である。

本研究における準備として、まず、14 の食材の生産地を調べた。わが国における食料自給率を、書籍(矢野恒太記念会「日本国勢図会 2009/10」)のデータを用いてそれぞれの食材について調べ、主に国内で生産されているものはその都道府県、主に国外で生産されているものは、その輸入相手国を生産地とした。次に、インターネットを利用して日本国東京都新宿区を始点とし、食材の生産地を終点とした直線距離を調べた。なお、この際に書籍(太郎次郎社エ

ディタス「コンビニ弁当 食べ物の世界を変えている 16万キロの旅」を参考にし、国内の都道府県であればその県庁所在地、国外であればその国の首都を終点とした。そして、それぞれの食材に用いられている日本国東京都新宿区までの運送手段と、その運送手段で使用されている燃料および燃費を調べた。

以上のことを研究準備とし、輸送にかかるCO₂排出量の計算を行った。計算方法は、インターネットを参考にした。計算式は、“CO₂=輸送距離÷燃費×CO₂排出係数”である。なお、航空機輸送については、JALCARGOによる輸送とし、性能が向上したボーイング 747-400 型貨物専用機 (B744F) を使用するものとするため、その燃料量の計算は1時間当たりの燃料消費(4000 ガロン)に飛行時間をかけて求めた。

また、計算式中の CO₂ 排出係数とは、電気やガスなどのエネルギーがどれだけ CO₂を排出するかを計算したものである。これはエネルギーに限らず、アルミ缶やペットボトルなどの製品などにも用いられており、

これらは製作過程での排出量で求められる。排出量の算定方法は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) がガイドラインを定めており、その中で排出係数の標準的な値が示されている。しかし、日本ではこの標準値は必ずしも使用せず、排出実態にあった係数を試算して用いている。係数の値は、必要に応じて「温室効果ガス排出量算定方法検討会」で見直されている。本研究では、環境省による環境情報データベースを参考にした。

計算のための基本情報を以下に示す。

輸送手段	CO2排出係数
トラック	2.32
船舶	2.85
航空機	2.46

輸送手段	燃費(km/l)
トラック	3.34
船舶	0.00336

食材	小麦粉	赤ワイン	オリーブオイル	ブラックタイガー	砂糖
輸送元	ワシントンD.C.	パリ	ローマ	ジャカルタ	バンコク
輸送先	東京	東京	東京	東京	東京
輸送d.or t.	1091.7km	12時間	12時間	7時間	4612.58km
輸送手段	船舶	航空機	航空機	航空機	船舶

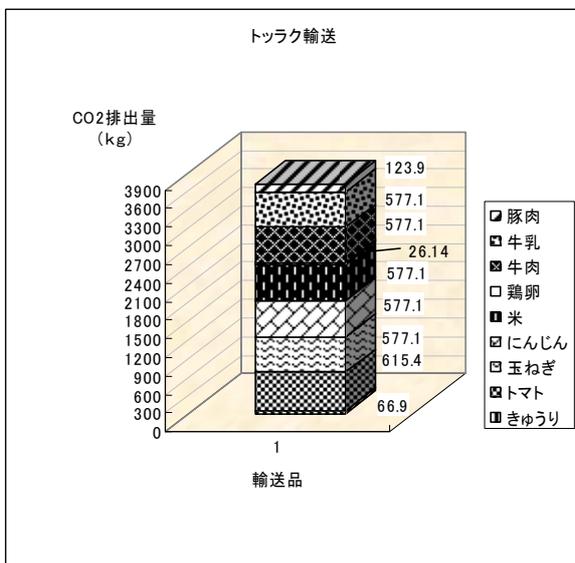
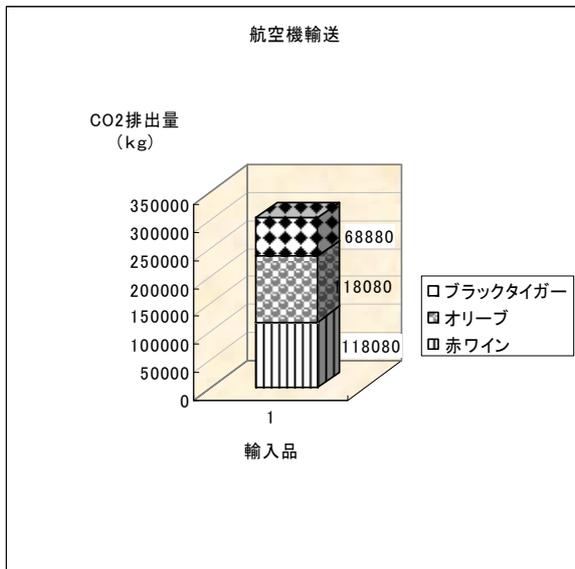
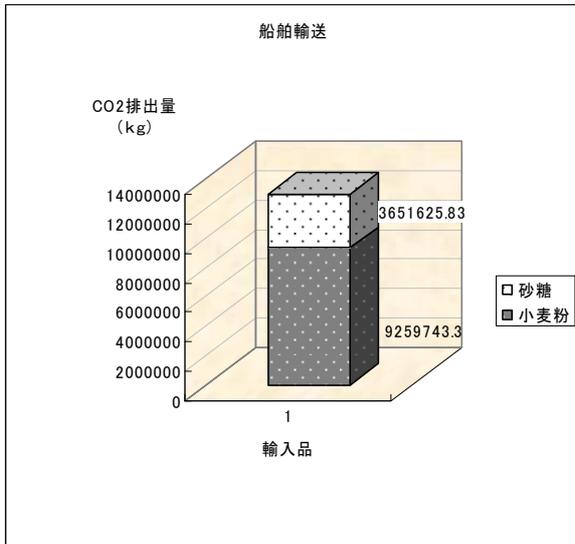
食材	キュウリ	トマト	玉ねぎ	ニンジン	米
輸送元	前橋	熊本	札幌	札幌	札幌
輸送先	新宿	新宿	新宿	新宿	新宿
輸送d.or t.	96.32km	885.96km	830.82km	830.82km	830.82km
輸送手段	トラック	トラック	トラック	トラック	トラック

食材	鶏卵	牛肉	牛乳	豚肉
輸送元	千葉	札幌	札幌	鹿児島
輸送先	新宿	新宿	新宿	新宿
輸送d.or t.	37.63km	830.82km	830.82km	960.09km
輸送手段	トラック	トラック	トラック	トラック

d.=distance t.=time

3. 結果

計算の結果は次の通りである。



排出総量
13,220,126.97kg

4. 考察

お子様ランチのメニューに使用されている食材だけでも、それぞれが異なる地方から輸送されており、その際に多量の CO₂を排出していることが分かった。その総量は、1322017kg にも及んでいる。

輸送手段別のグラフを見てみると、航空機輸送、船舶輸送における CO₂排出量がとてつもなく大量である。これらは大きな物体を動かすエネルギーを生み出すエンジンに大量の燃料が必要となるため、どれほど燃費のよいエンジンを搭載していても、トラックと比較すると燃料消費に伴う CO₂排出量の差は歴然である。しかし、国内の輸送に使われるトラックでも産地がばらついていれば、各地からの輸送距離を合わせると長距離となり、特に畜産物は日本の北方および南方が産地となっているためトラックで長い距離を走ることになり、多量の CO₂を排出している。

今回は食材の輸送量を無視して計算したため、食材の量とも関係する CO₂排出量を求めることはできなかったが、輸送量を考えた場合、輸送手段の燃費は低下すると考えられる。燃費の悪さは CO₂排出量に非常に関係してくるため、研究結果よりもさらに CO₂排出量が増えることが予想される。

今回、お子様ランチを対象として研究を行ったが、その結果から日本の食生活全般において CO₂排出という環境への悪影響がどれほどであるかが分かった。このことは地球規模の環境問題の原因として比較的問題視されていないと思われるが、その改善を試みることが環境問題改善への取り組みのひとつとなり得るだろう。

食材の輸送過程で CO₂の排出量を抑えるためには、まず輸送距離を縮めることが先決である。排出さ

れる CO₂の量は、輸送手段ならびに輸送距離に比例して増えているため、その距離を縮めることが出来ればかなりの排出量削減につながる。そして、輸送距離を縮めるためにはやはり地産地消が最善である。地産地消とは、ある地域で収穫した農水産物をその地域内で消費することである。これは輸送距離が大幅に短縮されるうえに、近年危惧されている食の安全性についても保証されるという点で、農林水産省からも推進されている。食材のほとんどを輸入に頼っている現代、地産地消の実現は非常に難しいと思われるが、農林水産省においても推進活動がなされているので、今後の広がり期待したい。

また、次に挙げられる改善策としては輸送手段の燃費向上である。先に述べた通り、トラックよりも多量に食材が輸送される航空機や船舶においては、よりよい燃費の使用が求められるのである。これについては、発達した科学技術による輸送手段の開発が必要である。

我々にとって、食することは生きるうえで必要な活動であるのにも関わらず、我々の環境を悪化させているという事実は到底無視することは出来ないだろう。

5. まとめ

我々が食べているものはほとんどがどこかから輸送されてきたものである。それは国内のみならず、海を越えた遠い外国からも輸送されているのである。輸送手段であるトラック、航空機、船舶には非常に多くの燃料が必要であり、燃料の消費に伴い多量の CO₂を排出している。本研究の対象とした、子供たちが笑顔で食べているお子様ランチにも CO₂の排出という影があったのだ。環境への悪影響を考えると、「夢のお子様ランチは悪夢であった」と言っても過言ではないだ

ろう。そこで、環境に良い、本当の夢のお子様ランチをつくるためには、

1. 調理場に近い産地の食材を使うこと
 2. 燃費の良い輸送手段を使うこと
- などが挙げられる。実現には、国内農畜産業の発展および環境に良い工業技術の開発が必要である。食の面からアプローチし、環境問題を考えることは我々に必須の課題である。

謝辞

本校図書館司書仲先生に定番のお子様ランチメニューについての情報を提供していただいた。

参考文献

- 1) http://eco.goo.ne.jp/word/life/S00139_kaisetsu.html
- 2) http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/fuel_consumption_containerships.html
- 3) http://www.benricho.org/map_straightdistance/
- 4) <http://www.erc.pref.fukui.jp/envdb/sg/>
- 5) <http://www.f-l.co.jp/eco/calculate.html>
- 6) <http://www.jal.co.jp/jalcargo/about/jonboard/415/02.html>
- 7) http://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/tisan_tisyo/index.html
- 8) 成美堂「いちばんやさしい基本のおかず」
- 9) 扶桑社別冊エッセイ BASIC おいしい cooking シリーズ「お菓子のきほん」
- 10) 太郎次郎社エディタス「コンビニ弁当 食べ物が世界を変えている 16万キロの旅」
- 11) 矢野恒太記念会「日本国勢図会 20/09/10」

環境評価

～支払意思額と受入補償額～

奥田絵梨，神鞠子

要旨

現在、様々な環境問題が世界中で取り上げられ、環境に対する意識も高まってきているが、環境経済学の考えを用いてこれらの環境を内部化する方法である環境評価の有用性や問題点について、アンケート調査の実施を通して実証的に考えた。生徒と成人に分けてアンケート調査を行うことで、それぞれの立場の人の環境に対する価値観や金銭感覚を反映した結果が得られた。しかし、アンケート調査の方法によっては結果が変わることがあるため、信頼性の高い結果を得るためには工夫が必要である。

1. はじめに

環境の総経済価値は利用価値と非利用価値の2つに大別される。

利用価値はさらに直接利用価値、間接利用価値、オプション価値の3つに区分される。直接利用価値とは木材生産などの消費可能な生産物として得られる価値のことで、間接利用価値とは消費的な利用はできないが、間接的に利用することで得られる価値のことで、レクリエーション利用などが例として挙げられる。

また非利用価値は遺産価値と存在価値の2つに分けられる。

環境には値段や市場がないために、市場を経由することなく他者に影響を及ぼしてしまう。このことを外部性と呼ぶ。外部性がプラスに働く場合を外部経済、マイナスに働く場合を外部不経済という。環境問題のほとんどが外部不経済である。そこで、「外部性があるとなぜ問題が発生するのか。」という疑問に対して、経済的に解決しようとするのが環境経済学である。外部性が原因で環境を経済的にコントロールできないと考え、その解決策として「外部性の内部化」が考えられる。内部化の方法としては次のようなものが挙げられる。

①所有権を明らかにする方法

「環境」の所有権が誰にあるのかを定め、責任を明確にする方法。

②政府の介入による方法

汚染の原因を作っている人に税金を払ってもらうことで、浄化や処理の費用を負担してもらう環境税などが挙げられる。

③お金の換算する方法

環境に値段をつける方法。値段を見積もるプロセスのことを環境評価という。環境評価では「お金」という尺度だけで、様々な環境や状況を評価することができる。

前述の通り、環境には様々な価値があるが、これらは支払意思額と受入補償額によって表すことができる。支払意思額とは、環境変化に対して最大支払ってもよい金額で、受入補償額は少なくとも必要な金額のことである。では、なぜこれらが環境の価値に相当するのか。次の四点に分けて説明する。

①環境変化を評価したものである

支払意思額や受入補償額は、環境の改善または悪化という環境変化に対して定義されるものであるため、環境自体の価値を求めることはできない。

②効用の変化を反映したものである

その効用が上昇すれば、これらの額は増加する。よって支払意思額や受入補償額は価値を貨幣単位に換算したものであると言える。

③個人によって額は異なる。

これは個人の環境に対する価値観を反映している。

④支払意思額と受入補償額はそれぞれ異なる額となることがある。

環境破壊を抑制する強い意思がある人は、受入補償額が無量大となることがあるが、自分の所得以上の額は払えないため、支払意思額との間に大きな差が生じる。このように、受入補償額は極端に高い金額をとることがあるため、実際の環境政策には支払意思額が用いられることが多い。

以上の四点より、これらは環境の価値を金額に換算して評価する際の尺度となるが、市場価格のように市場データとして入手できないため、特別な評価手法でこれらを推定することが必要とされる。

次に、環境の価値を人々に直接尋ねることで、金銭単位に換算して評価する方法である表明選好法について述べる。これは、仮想評価法(CVM)とコンジョイント分析に分類される。前者は環境に対する支払意思額や受入補償額を尋ねることで評価する方法で、後者は複数の環境対策を提示し、その選好を尋ねることで評価する方法である。ここでは前者について取り上げ、その特徴をまとめる。まず、利点は利用価値及び非利用価値を評価することができ、適用範囲が広いことである。問題点は、アンケート調査の費用がかかることや、アンケート設問の仕方によって回答が変わるなど、バイアスの影響を受けやすいということである。

2. 研究方法

洛北高校生徒62名及び教職員を含む成人8名に、次のような自由回答形式のアンケート調査を行った。

「(i)環境を改善するために資金を募るとき、あなたの支払意思額はいくらですか？(ii)また、一人あたり必要だと思う金額はいくらですか？」

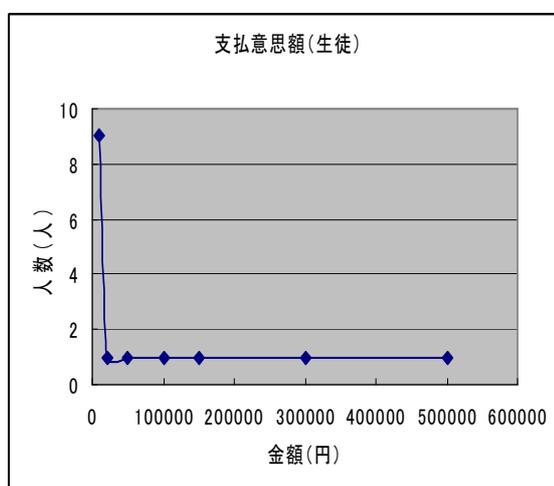
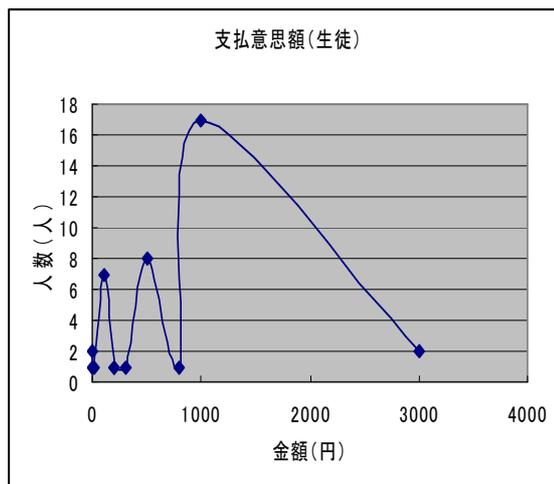
アンケート結果より、生徒・成人別にそれぞれの平均値を出し、支払意思額と受入補償額を比較した。

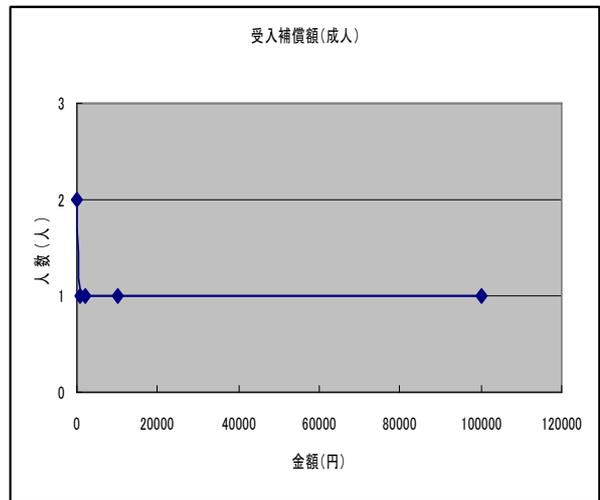
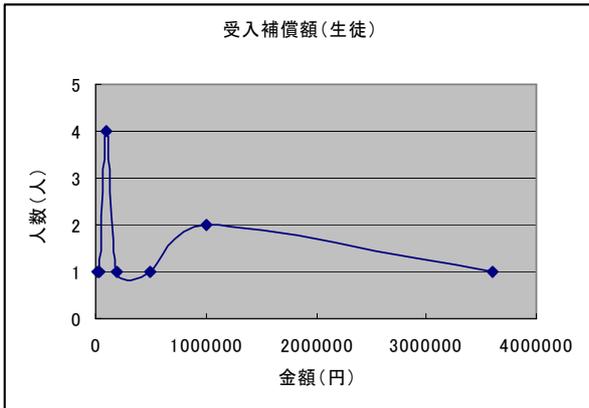
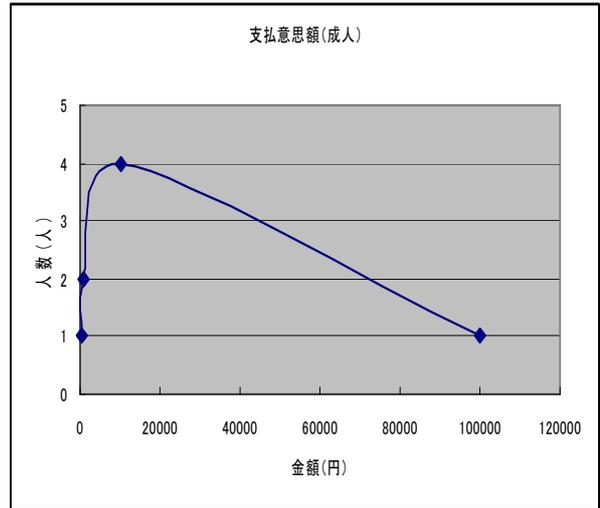
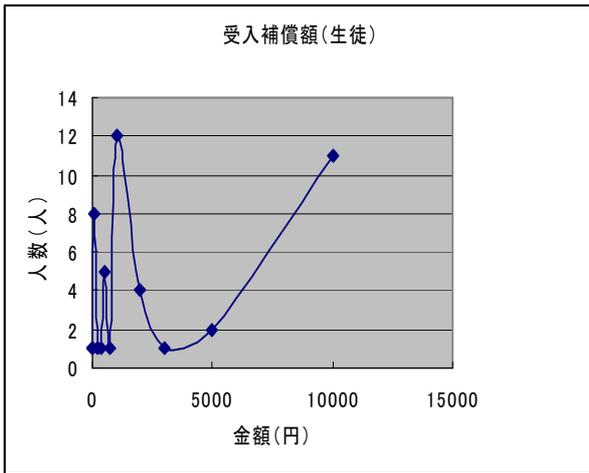
3. 結果

生徒の平均値

	平均(円)
支払意思額	21740.5
受入補償額	114926.9

以後グラフに関してはそれぞれが示した金額にばらつきが見られたため、グラフの詳細な数値を明確にするために、2つに分けた。





支払意思額と受入補償額の多少(生徒)

支払意思額＝受入補償額	26人
支払意思額＞受入補償額	8人
支払意思額＜受入補償額	21人

教員を含む成人8名の平均値

	平均(円)
支払意思額	13912.5
受入補償額	18850

支払意思額と受入補償額の多少(成人)

支払意思額＝受入補償額	2人
支払意思額＞受入補償額	2人
支払意思額＜受入補償額	2人

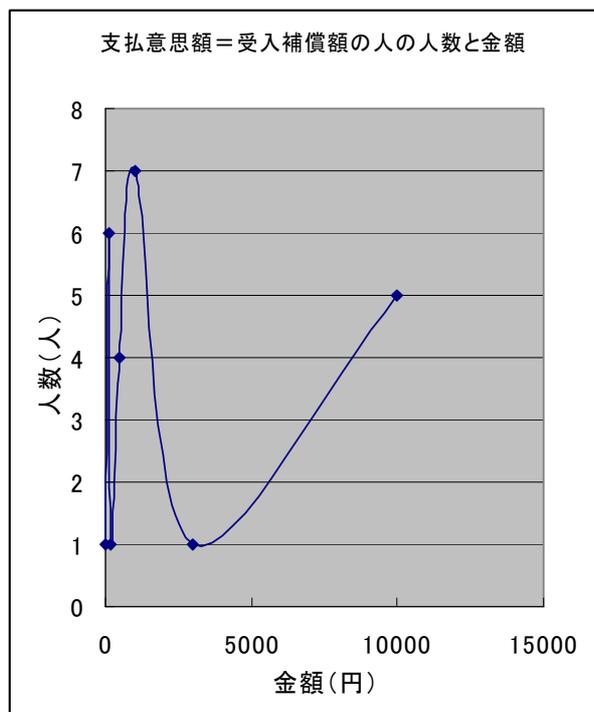
なお受入補償額を保留とした人が2人いた。

4. 考察

＜アンケート結果より＞

生徒と成人の示した支払意思額及び受入補償額を比較すると、どちらも生徒の方が高い金額を示した。支払意思額において生徒には100000円を超える生徒が数人見られ、平均値に影響した。実際に所得のある成人の回答の多くが、現実的な金額だった。どちらも1000円までを妥当とする人が多かった。また、受入補償額において生徒と成人の示した金額の差が顕著に見られた。生徒では5000円までに集中し、成人は1000円までとする回答が多かった。受入補償額はどのような事業を行い、どのような人を対象に募金を行うかによって変わるという意見がいくつかあった。

次に支払意思額と受入補償額の多少を比較する。「支払意思額＝受入補償額」の場合、必要とされる金額と同じ金額を払う意思がある、または払うことができるということを表す。生徒においては100円から1000円までの金額を答えた人が過半数で、高校生の金銭感覚では1000円までが妥当とする回答が多く見られた。(グラフ参照)



また「支払意思額＞受入補償額」の場合については、「国民一人あたり□□円払えば十分」だとする見積りに基づいて、意思額をその額よりも高く設定した人が多かった。各人が示した金額にはばらつきがあったが、受入補償額よりも支払意思額の方が高いといっても、その金額差はさほど開かなかった。

さらに「支払意思額＜受入補償額」の場合、必要とされる金額よりも、「財布と相談して支払意思額を低く設定した」という声が多くあがった。支払意思額の平均値は1710.4円であり、受入補償額の平均値は298260.1円で、特に後者は他のパターンの人々の平均値に比べ、圧倒的に高かった。このことから、環境に対する意識の高さがうかがえる。

<調査方法について>

支払意思額や受入補償額を尋ねる場合に CVM

を用いるが、これは本来、現在の環境の状態だけではなく変化後の仮想状態も示す必要がある。しかし、今回の設問では変化後の状態が明示されておらず具体性に欠けるため、正しく環境の価値を評価しているとは言い難い。

また、今回は自由回答形式でアンケートを行ったが、設問の意図に沿わない回答や極端な金額を示した無効回答がいくつか見受けられるなど、支払意思額や受入補償額を正しく評価した信頼性の高い結果を得るのは困難だった。

5. まとめ

環境の価値は支払意思額や受入補償額によって内部化することができる。これらはアンケート調査によって調べることができ、人々に直接聞くことで環境を評価する方法は、各々の価値観を率直に反映するという点で有効である。今回のアンケート調査から生徒と成人の示した金額には大きな差が見られた。また、支払意思額と受入補償額の多少を比較しても、どちらを多く支払うかという分類によって、それぞれの環境に対する意識の違いがうかがえた。しかし、アンケートは回答形式や設問の内容、対象とする人々によって結果が左右されることが多々あり、これらのバイアスを減らし、信頼性の高い結果を得るためには、質問内容をできるだけ回答しやすいものにするなどの工夫が必要である。

謝辞

本校の先生方、生徒の皆さんにはアンケートにご協力いただいた。

参考文献

- 1) 栗山浩一・馬菜木俊介 環境経済学をつかむ 有斐閣
- 2) <http://heartland.geocities.jp>
- 3) <http://www.f.waseda.jp>

買い換え

～ 環境によいテレビの買い換え ～

戸崎友紀子，百田朱里，湯浦真太郎

要旨

近年話題になった省エネ製品について、環境によいもの買い換えることが本当に環境にとってよいことなのか、逆に環境に悪影響を及ぼしていないかについて、特にテレビについて調べた。その結果、省エネ製品に買い換えることが必ずしも環境によいことであるといえないということが得られた。

1. はじめに

近年「地球温暖化」や「酸性雨」などといった地球環境問題が深刻化しており、地球環境の保護のために世界中で様々な取り組みが行われている。

日本政府は身近な取り組みとして、電化製品の購入およびリサイクルによるエコポイントの進呈や、環境に配慮した車を購入することによる減税、いわゆる「エコカー減税」などによる環境に優しい製品を使うことを推進する活動などを行っている。また、有用な資源の再利用を促進し、廃棄物を減らすために家電リサイクル法(特定家庭用機器再商品化法)を制定し、環境保護に関わる法も整えた。その結果、積極的にリサイクルをする人が増加し、廃棄物が減少した。

そこで私たちは、家庭でどのようなもの買い換えたかについてのアンケートを実施した。以下がアンケートの結果である。洛北高校の2年生1組から4組までの138人に回答してもらった。なお、ここには家電製品の買い換えのみを記載することにした。

右上の表からテレビを買い換えた人が多いことが分かる。テレビを買い換えた理由として

- ・地上デジタル放送対応のテレビに買い換えなければならなかったから
- ・壊れたから
- などがあげられた。

製品名	人数
テレビジョン	22人
携帯電話	11人
iPod	7人
電子レンジ	7人
炊飯器	7人
冷蔵庫	6人
エアコンディショナー	4人
洗濯機	4人
掃除機	3人
ウォークマン	3人
自動車	3人
パーソナルコンピューター	2人
電子辞書	2人
イヤフォン	2人
DVDレコーダー	2人
固定電話	1人
加湿器	1人
ストーブ	1人
PCディスプレイ	1人
自転車	1人
マッサージチェア	1人
その他	3人

しかし、環境によい製品に買い換えることは必ずしも環境によいといえるのであろうか。このような疑問を持った私たちは、一番買い換えた人数が多かったテレビについて調べた。

2. 調査方法

環境省が開設した省エネ製品への買い換えによるCO₂削減効果やランニングコストの低減効果を比較・確認できる買い換えナビゲーションシステム「しんきゅうさん」を用いて、テレビの視聴時間を固定して買い換え後の製品の画面の大きさを変えた場合と、画面の大きさを固定して視聴時間を変えた場合について、

買い換え以前の製品と買い換え後の製品の年間消費電力量と年間 CO₂ 排出量をそれぞれ調べ、比較した。買い換え以前の製品は 2001 年にソニーが発売した KV-25DA1 型のテレビとし、買い換え後の製品は同じくソニーの液晶テレビとした。画面の大きさと視聴時間以外の条件はすべて固定した。年間消費電力量と年間 CO₂ 排出量は以下のように求めた。

年間消費電力量(kWh/年)…一般家庭での 1 日あたりの平均視聴時間 4.5 時間、平均持続時間 19.5 時間を基準に算出。平均視聴時間を変えて調べた場合は補正年間消費電力量をもとめた。

補正年間消費電力量 = ((消費電力 × 平均視聴時間[h/日]) + (待機時消費電力 × (24h - 平均視聴時間[h/日])) × 365 日) ÷ 1000

年間 CO₂ 排出量…年間消費電力量に CO₂ 排出係数(0.453kg/1kWh)を乗じて算出。

3. 結果

表 1, 2 を参照。

4. 考察

画面の大きさがほぼ同じであるとき、省エネ製品のほうが消費電力量と CO₂ 排出量が少なかった。視聴時間が長いほど買い換え前の製品との差が大きく、

家庭での平均視聴時間が長いほど環境面において買い換えるメリットがあるといえる。しかし、画面が大きくなるにつれて消費電力量や CO₂ 排出量が増加しているため、買い換え前の製品よりも大きな画面サイズの製品を買った場合によっては買い換え後のほうが環境に悪影響を及ぼす可能性がある。

これらのことから、環境によい製品に買い換えることは必ずしも環境によいというわけではなく、画面サイズによっては逆に環境によくないこともあるといえる。

5. まとめ

今回の結果から、省エネ製品に買い換えることが必ずしも環境によいことであるといえないことがわかった。環境によい買い換えをするには、現在使用している製品と消費電力量などを比較し、より環境に負荷のかからないものを選ぶことが大切である。一人ひとりが各家庭の消費電力量について把握し、家庭の生活にあった買い換えをすることが省エネ・エコにつながるのである。私たちも、それぞれの家庭の電化製品について調べ、より環境にやさしい製品に買い換えることができるように心がけたい。

参考文献

- 1) 省エネ製品買換ナビゲーション「しんきゅうさん」
<http://shinkyusan.com>

画面サイズ	型番	年間消費電力量 <kWh>	年間消費電力量の差 <kWh>	年間CO2排出量 <kg>	年間CO2排出量の差 <kg>
ブラウン管スタンダード25型	KV-25DA1	144	×	65	×
液晶・16・17V型	KDL-16M1	54	-90	24	-41
液晶・19V型	KDL-19J5	42	-102	19	-46
液晶・20V型	KDL-20J1	63	-81	28	-35
	KDL-20M1	63	-81	28	-35
液晶・22V型	KDL-22BX30H	68	-76	30	-35
	KDL-22EX300	48	-96	21	-44
	KDL-22J5	57	-87	25	-40
液晶・26V型	KDL-26EX300	57	-87	25	-40
	KDL-26EX30R	93	-51	42	-23
	KDL-26BX30H	94	-50	42	-23
	KDL-26J5	91	-53	41	-24
	KDL-26J1	91	-53	41	-24
液晶・32V型	KDL-32EX300	69	-75	31	-34
	KDL-32EX30R	104	-40	47	-18
	KDL-32EX700	91	-53	41	-24
	KDL-32EX710	82	-62	37	-28
	KDL-32BX30H	111	-33	50	-15
	KDL-32F5	130	-14	58	-7
	KDL-32F1	120	-24	54	-11
	KDL-32J1	115	-29	52	-13
	KDL-32JE1	86	-58	38	-27
液晶・40V型	KDL-40EX500	136	-8	61	-4
	KDL-40EX700	120	-24	54	-11
	KDL-40EX710	125	-19	56	-9
	KDL-40HX700	175	31	79	14
	KDL-40HX800	144	0	65	0
	KDL-40HX80R	173	29	78	13
	KDL-40LX900	153	9	69	4
	KDL-40NX800	163	19	73	8
	KDL-40V5	149	5	67	2
	KDL-40F5	201	57	91	26
	KDL-40W5	207	63	93	28
	KDL-40F1	171	27	77	12
	KDL-40V1	173	29	78	13
	KDL-40W1	209	65	94	29
	KDL-40X1	217	73	98	33
	KDL-40ZX1	209	65	94	29
液晶・46V型	KDL-46EX700	137	-7	62	-3
	KDL-46HX700	210	66	95	30
	KDL-46HX800	165	21	74	9
	KDL-46HX80R	185	41	83	18
	KDL-46HX900	204	60	92	27
	KDL-46LX900	178	34	80	15
	KDL-46NX800	177	33	80	15
	KDL-46V5	162	18	73	8
	KDL-46W5	227	83	102	37
	KDL-46F5	221	77	100	35
	KDL-46F1	213	69	96	31
	KDL-46V1	213	69	96	31
	KDL-46W1	246	102	111	46
	KDL-46X1	251	107	113	48
液晶・52V型	KDL-52EX700	155	11	70	5
	KDL-52HX900	215	71	97	32
	KDL-52LX900	190	46	86	21
	KDL-52W5	280	136	126	61
	KDL-52V1	227	83	102	37
	KDL-52X1	256	112	115	50
液晶・55V型	KDL-55HX80R	210	66	95	30
液晶・60V型	KDL-60LX900	230	86	104	39
ワイヤレス液晶・46V型	KDL-46ZX5	198	54	89	24
ワイヤレス液晶・52V型	KDL-52ZX5	209	65	94	29

表1

平均視聴時間	エコタップ使用	年間消費電力量[前→後(差)]	年間CO2排出量[前→後(差)]
1時間/日	○	31→12(19)	14→5(9)
	×	34→13(21)	15→5(10)
2時間/日	○	63→25(38)	28→11(17)
	×	65→25(40)	29→11(18)
3時間/日	○	94→37(57)	42→16(26)
	×	96→38(58)	43→17(26)
4時間/日	○	126→50(76)	57→22(35)
	×	128→50(78)	57→22(35)
5時間/日	○	157→62(95)	71→28(43)
	×	159→63(96)	72→28(44)
6時間/日	○	189→75(114)	85→33(52)
	×	191→75(116)	86→33(53)
7時間/日	○	220→87(113)	99→39(60)
	×	222→88(134)	100→39(61)
8時間/日	○	252→100(153)	144→45(69)
	×	253→100(153)	114→45(69)
9時間/日	○	283→112(171)	128→50(78)
	×	285→113(172)	129→51(78)
10時間/日	○	315→125(190)	142→56(86)
	×	316→125(191)	143→56(87)
11時間/日	○	346→137(209)	156→62(94)
	×	348→138(210)	157→62(95)
12時間/日	○	378→150(228)	171→67(104)
	×	379→150(229)	171→67(104)
13時間/日	○	409→162(247)	185→73(112)
	×	411→163(248)	186→73(113)
14時間/日	○	441→175(266)	199→79(120)
	×	442→175(267)	200→79(121)
15時間/日	○	472→187(285)	213→84(129)
	×	473→187(286)	214→84(130)
16時間/日	○	504→200(304)	228→90(138)
	×	505→200(305)	228→90(138)
17時間/日	○	535→212(323)	242→96(146)
	×	536→212(234)	242→96(146)
18時間/日	○	567→225(342)	256→101(155)
	×	568→225(343)	257→101(156)
19時間/日	○	598→237(361)	270→107(163)
	×	599→237(362)	271→107(164)
20時間/日	○	630→250(380)	285→113(172)
	×	630→250(380)	285→113(172)
21時間/日	○	622→262(400)	299→118(181)
	×	622→262(400)	299→118(181)
22時間/日	○	693→275(418)	313→124(189)
	×	693→275(418)	313→124(189)
23時間/日	○	725→287(438)	328→130(198)
	×	725→287(438)	328→130(198)
24時間/日	○	756→300(456)	342→135(207)
	×	756→300(456)	342→135(207)

表2(KDL-26EX300 使用)

電気自動車は本当にエコなのか？

～電気自動車と私たちの未来～

白数優衣, 藪下紘可, 和田華奈

要旨

ハイブリッドカーや電気自動車がエコだとよく言われる昨今、果たしてその真意は如何ほどなのか。本当にエコなのか否かを実証するにあたり最初にエコカーと言われるものに対する意識調査を行った。そしてその結果をもとに、エコカーに対する人々のイメージとエコカーの実態との相違点を明確にした。

1. はじめに

近年、日本経済の低迷のなかで著しい発展を遂げている分野といえば、ハイブリッド、電気自動車などの次世代車の分野だといえる。しかしながら、まだ発展途中の分野であるために、欠点や疑問点も多く、これらが実際に一般人の移動手段として活躍するにいたるまでにはまだまだ沢山の課題点や解決すべき問題が残っている。

そこで、私たちは一般人という立場から、現在発売されているハイブリッドではなく、開発途中である電気自動車に絞って実際にエコなのか、また短所として何が挙げられるのかななどを考察した。

現在、エコカーの主力は、複数の動力を組み合わせるハイブリッドの自動車であり、将来的には、電気自動車の普及も考えられる。

2. 研究方法

二年一組 40 人にハイブリッドカーおよび電気自動車に関するアンケートをとり、エコカーに対する人々の意識調査を行い、エコカーへのイメージと実態を比較しながら、これらが将来的に環境にメリットのあるものとなり得るのかについて調査し、まとめた。

アンケートの内容

電気自動車について知っていること

電気自動車やハイブリッドカーに対してどんなイメージを持っているか

電気自動車はエコだと思うかどうか

その理由

家の車はエコかどうか

3. 結果

アンケートの結果

<<電気自動車について知っていること>>

- ・ 電気で動く
- ・ 環境にやさしい
- ・ 家で充電できるものがある
- ・ 静かに走る
- ・ 排気ガスを出さない
- ・ 水しか出さない
- ・ 電気 100 パーセントで走るものは少なく、一般的にはハイブリッド車のことをさす。ガソリン車と比較してクリーンなイメージを持っており、電気自動車用の電気スタンドの建設も行われている
- ・ 地球温暖化防止に役立つ
- ・ 二酸化炭素が出ない
- ・ 低燃費
- ・ 小型車が多い
- ・ エコカー減税が行われている
- ・ 化石燃料を運動エネルギーにする効率が高い
- ・ 二次電池を搭載していてバッテリーで走る
- ・ 京都府庁で充電できる施設があり京都でも少しずつ普及しつつある

<<電気自動車やハイブリッドカーに対してどんなイメージを持っているか>>

- ・低公害というイメージがある。ハイブリッドカーはブレーキをかけたときに充電されるので環境にやさしい。
- ・エコカー
- ・普及は困難だろうが、できれば温室効果ガス削減につながると思う。
- ・値段が高そう
- ・静か
- ・充電がめんどくさそう
- ・静かなのが怖い
- ・各自動車メーカーの競走モデル
- ・加速しなさそう
- ・エコカー減税
- ・まだまだ改良の余地がありそう。今はまだ性能があまりよくない。前に回収されていた。
- ・すごい
- ・新市場の開放
- ・低燃費
- ・走るのに必要なエネルギーを電気だけでまかなうのが大変そう
- ・いつかこういう車が普通になるんだろうな
- ・トヨタ
- ・充電がすぐ切れる
- ・ハイテク
- ・維持費がかかりそう
- ・整備しにくそう

<<電気自動車はエコだと思うかどうか>>

Yes…21 no…5

<その理由>

●Noの人

- ・電気を作るのに火力発電や原子力発電を使っているから。
- ・電気を作るときに化石燃料を使うので、普通の自動車と比べてどれくらいいいのかわからないから。

- ・エコといわれているがそうでない面もたくさんありそう。
- ・火力発電で電気を作っているから。
- ・高価だから。

●Yesの人

- ・二酸化炭素とか環境に悪い物質が排出されないから
- ・電気を使うので排気ガスなどが出ない
- ・ガソリン代がかさまないから
- ・低燃費だから
- ・テレビで言われているから
- ・電気の作り方によるが、資源問題、温暖化対策ができると思う
- ・ガソリンによる排出なら電力のほうがましだと思うから。原子力発電も進んでいるし。
- ・みんながこういう車をエコと言っているから

<<家の車はエコかどうか>>

Yes…4 no…19 車がない…3

<その理由>

●Yesの人

- ・ハイブリッドカーにしました
- ・燃費がいいらしい
- ・セレナだから
- ・あまり車を使わない

●Noの人

- ・100パーセント地球に無害ではないから
- ・排気ガスを出すから
- ・燃費が悪いので
- ・普通のガソリン車だから
- ・古いから
- ・大きいから
- ・父が激しいから
- ・買い換えてそれほど経ってないから
- ・古いから
- ・たくさんの車があるから

- ・排気ガスのクリーン度を表す星一つを獲得している

4. 考察

1. 電気自動車とは

電気自動車は、世間でハイブリッド車と同一と見なされがちであるが、実はその解釈は大いに間違っている。ハイブリッド車は電気自動車の中で現在主力となっているものであり、電気自動車の中の一種である。

ハイブリッド車はエンジンとモーターがどちらも備え付けてあるのに対し、電気自動車は文字通り、電力を使ってモーターのみで走行する車のことを指す。

電気自動車には、電池を充電して使う電気自動車(EV)と、燃料電池を発電して使う燃料電池自動車(FCEV)の二種類がある。

電気自動車のメリットとして挙げられるのは、

- 1: 走行時に二酸化炭素やその他の排気ガスを排出しないこと
 - 2: 騒音が少ないこと
 - 3: 安価な夜間電力を充電に充てると、1 円/1L 程度で利用できるためとても経済的であること
 - 4: 仕組みが従来の燃料車に比べ単純であるためメンテナンスなどが容易であること
- などである。

特に、二酸化炭素や排気ガスを排出しないという点は、これからの環境問題対策において非常に魅力的なメリットであると言える。

しかし、次世代車と言われている電気自動車にも、デメリットは存在する。

- 1: 現段階ではまだ搭載する電池のコストが高く、本体価格も高価になってしまう
 - 2: 日本各地に充電のインフラが整っていないため長距離走行に向かない
- などがあげられる。

2. 世間での認識と事実の比較

(i) 電気自動車について知っていること

近頃テレビなどのメディアで電気自動車が多く取り

上げられていることもあり、電気自動車に対する認識には大きな間違いは見られなかった。しかし、3 割程度の人がやはり電気自動車とハイブリッド車とを同一のものとして見なしている節があった。

(ii) 電気自動車やハイブリッド車についてどのようなイメージを持っているか

新市場の開放が期待される、低公害で環境にやさしい車であるなどのプラスのイメージもあったが、値段が高そう、まだまだ改良の余地があるのではないかとといったマイナスのイメージなども多かった。

しかし現在も、電気自動車の分野は日進月歩であり、価格も徐々に下がりつつあり、様々な面での改良が進んでいるので、まもなくこういったイメージも解消されるだろう。

(iii) 電気自動車はエコだと思うか否か

この質問には8割強の人が yes と答えた。その大半は二酸化炭素が出ないからなどの環境面に対するメリットを理由に挙げていた。しかし中には、テレビで言っているから、と情報社会に流され、電気自動車の本質をよく認識していない人もいた。

No といった人の中には、そもそも電力を発電する時点で二酸化炭素を排出しているので、果たして本当にエコと言えるのだろうかといった鋭い意見もあった。

この点は私たちも疑問に思っていたので調査をしたところ、一般的には、電気自動車は窒素酸化物、二酸化炭素の排出や、発電所から排出される分を考慮に入れても、通常の自動車よりもそれらの気体の排出量が少なく、エコであるといわれているということがわかった。

また、ガソリン車で使用するガソリンの生産には、大規模で高度な石油化学工場が必要となる。このため、産油国の中でも自国で消費されるガソリンをすべて国内で生産することのできる国はサウジアラビアくらいであり、ほとんどの産油国は、原油を輸出してガソリンを輸入している。日本に至っては、国内で石油を採取することができないため、そのほとんどを輸入に頼っている。その石油の運搬にかかる大型タンカーのエネルギーや原油からの精製時に出る二酸化炭素などを考慮すると、電気充電のほうが環境

に優しいといえる。

3. 今後の電気自動車市場の展望

電気自動車の開発に取り組んでいるのはトヨタや日産などの大手自動車工場だけではない。現在、中小企業を含め 100 以上の会社が電気自動車の分野への参入を試みている。

上記で述べたように、電気自動車の動力は従来の燃料自動車に比べ仕組みが簡単である。そのため、大手に比べ財力の低い中小企業でも参入しやすいというのが魅力といえる。

家庭のコンセントでも充電できる一人乗りの電気自動車が最近登場したのをご存知だろうか。

一回の充電で約70キロまでの走行が可能であり価格 90 万円程度で手の届く値段設定である。

この電気自動車を開発したのはある中小企業で本業は看板塗装だ。看板塗装の技術は車体の塗装に生かされている。また別の企業では古い型の車を電気自動車として再リリースするという試みも行われている。

このように、今後は自社の技術をいかした個性豊かな電気自動車が続々と登場し今後より大きな市場への拡大が見込まれる。

5. まとめ

アンケート結果から見ると、企業がアピールしているだけあって、電気自動車の機能性の認識にさほど誤解はなかった。やはりハイブリッド車と電気自動車

の区別がつかない人が多いようである。

次世代車である電気自動車に期待が高まる一方、発展途上の分野とも言え、不透明な部分が多く、消費者側が、理解しきれていない部分も多々あるように感じた。

しかし私たち学生の視点から見ても電気自動車の分野はこれから急速に発展していくといえるだろう。地球を走る車のすべてが電気自動車になる日もそう遠くはないのかも知れない。今後の電気自動車業界に期待したい。

謝辞

洛北高校 2 年 1 組のみんなにはアンケートの御協力をお願いし、数々の興味深い資料を提供していただいた。研究において大いにそれらが役立ち、助けとなった。

参考文献

- 1) 公害等の紹介と特徴について
http://www.erca.go.jp/taiki/now_car/content_4_02.html
- 2) ワイヤレスのバッテリー充電が暮らしを変える
<http://www.tdk.co.jp/techmag/inductive/200906/index2.htm>

地球温暖化

～隠された真実を求めて～

桂裕幸, 小林洋平, 佐々木駿

要旨

近年、人類を滅ぼしかねない最大の敵として地球温暖化が君臨している。それは人類が作り出したのか、それとも自然現象であるのか。地球温暖化が世界中で騒がれ、多数の説が飛び交う中、私たち三人は周囲の人にアンケートを行い、また、インターネットで入念に調べた。そこから導き出された地球温暖化への人間の考えと理論から地球温暖化の全貌に迫ってみた。

1. はじめに

近頃、地球温暖化が深刻化していると、さまざまなマスメディアで取り上げられているが、地球温暖化についての解釈は、それぞれの専門家によって異なる。例えば、家でテレビを見ている、番組によって温暖化の解釈は当然のことながら異なっていて、温暖化の最大の原因は、温室効果ガス(CO₂)だとか、太陽の活動の変化だとか、地球の温暖期とか好きな様に言っている。

今現在、一般論として、地球温暖化最大の原因は、間違いなく温室効果ガスであると言われている。

そのため、私たちのほとんどは温室効果ガスの削減に取り組もうとしている。家庭ではクーラーやストーブの使用を控えたり、車を使用する代わりに自転車を使ったりという工夫を行っている。また、近年、政府はエコポイント制度というものを作ることで、国民に、たくさん温室効果ガスを出してしまう古い型の冷蔵庫や車を、あまり温室効果ガスを出さない新しい型に変えさせようとしている。

このように私たち個人の取り組みと、政府の取り組みが混ざあわさった、これまでにない温室効果ガス削減のための取り組みを行っている。決して十分なものではないが、人々の心に間違いなくエコの意識が芽生えてきたに違いない。

そんなご時勢のなか、温暖化の原因は温室効果ガスではないという声をたまに耳にする。温暖化の最

大の原因は、太陽の活動の変化等の人間がどうしようもない自然界のせいであるという意見である。

この二つの意見のどちらが正しいのか。また、どちらの意見をどのくらいの割合で人々は支持するのか。そしてその支持率は年代によって変化したりするのか。さらにその二つの意見はコインのように裏表の関係であって、決して共存するものではないのだろうか、それともその両方が絡み合っていて、温暖化を促進しているのだろうか。これらのさまざまな疑問を私たち三人は基本的に温室効果ガスが原因ではないという観点から考察してみる。

2. 研究方法

地球温暖化について人々がどのように考えているのかについて調べるためにアンケートをとった。

アンケートは、生徒30人、教師18人に行った。

アンケート内容は「地球温暖化の最大の原因は何だと考えるか。」「地球温暖化は自然的影響によるものであり、人為的影響は関与していないという説(ex 温暖期説 太陽活動拡大説)を知っているか。そして自然的影響と人為的影響はどのような比で地球温暖化に関与していると考えるか。」という質問を行った。

また、先ほどのアンケートとは別にインターネットで温暖化に対する様々な意見を調べて様々な角度・立場から温暖化を見つめる。

この二つの作業により得られた情報より温暖化の現状・理由・最適な対処法を私たちに考えてみる。

3. 結果

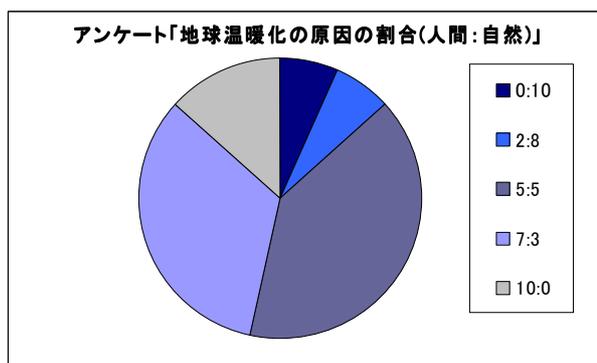
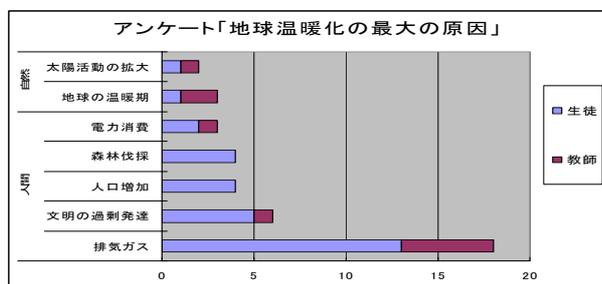
まず、一つ目の質問である、「地球温暖化の最大の原因は何だと考えるか。」の回答についての結果を記す。

まず生徒の回答を大きく人為的と自然的の二つに分けると、人為的と回答した人が28人、自然的と回答した人がたったの二人であった。(グラフ参照)

また、二つ目の質問の方であるが、まず上記の回答結果でもわかるように、自然的と回答した人が非常に少ない。口頭で聞いたところ、自然的原因について全く知らないか、知っていても聞いたことがあるだけで詳しく知らない人がほとんどであった。そのため、自然的影響と人為的影響の比率を聞くことはできなかった。

次に、教師の方の回答であるが、一つ目の質問の方は生徒の回答とあまり変わらなかった。ほとんどの回答が排気ガスか文明の過剰発展であった。

そして、二つ目の質問の方であるが、これは生徒の結果とは大きく異なった。ほとんどの先生が自然的原因の存在を知っておられ、きちんと回答を聞くことができた。比率は10:0(人間:自然)が2人、7:3が5人、5:5が6人、2:8が1人0:10が1人であった。(グラフ参照)



最後にインターネットで調べたことについて記す。

まず、温暖化の原因は人間にあると考える派の理由であるが、

1 人間が多量排出している温室効果ガス(二酸化炭素、水蒸気等)が地球の宇宙空間に放つ熱を留め逃がさないため。

2 上のグラフに関連して、排出された二酸化炭素を吸収してくれる、植物及び生物を人間が破壊しているため。

では次に、温暖化の原因は自然現象にあると考える派の理由であるが、

I 地球はこれまで、氷期(寒冷期)と間氷期(温暖期)を繰り返しており、今日は温暖期にあたっているため。

II 太陽黒点数の増加は、太陽から地球に降り注ぐ放射エネルギーの増加をもたらすため、地球の平均気温を上昇させるため。

III 温暖期によって気温が上昇した結果、海から二酸化炭素が放出され、二酸化炭素の大気中濃度が上昇している。

また、それぞれの理由に対する反論も多数見られたので、次に記す。

1 ここ百年で上昇した気温は 0.74℃に過ぎず、地球の歴史上、全く異常ではない。さらに化石燃料を最も焚いた 1940 年から 1980 年に気温は下降している。

I 百年間で気温が 0.74℃上昇しているというのは、過去の記録(百年間で気温が平均 0.14℃上昇)と比べてはるかに急激であり、人工的に地球温暖化が進んでいると考えざるをえない。

II 最新の観測データを見ると、20 世紀半ば以降、

長期的には太陽黒点数はほぼ横ばいか減少傾向を示している、太陽活動が活発化しているとは考えられない。

Ⅲ 仮に海から二酸化炭素が放出され、大気中の二酸化炭素濃度が上昇したとすると、その増加は多くとも10ppm程度でしかなく、産業革命以来の濃度増加量である100ppmには遠く及ばないため主要な原因ではない。

4. 考察

まず、私たちはアンケートを行った際に、アンケート結果について予想をたてた。私たちの予想としては、1つ目の質問「地球温暖化の最大の原因は何だと考えるか」という質問の回答として最も多いのは、自動車の排気ガスや、工場の排煙によるCO₂などの温室効果ガスが原因だという意見だと考えた。また、この予想については、3の結果を参照していただくと分かるが、ある程度の中したと言えよう。

しかし、後から思ったことなのだが、今回私たちが実施したアンケートの1つ目の質問事項は非常に漠然としていた。そのため、ご協力いただいた先生方には、どの程度の回答をすればよいのか迷う、といったご指摘をいただいた。そのため、生徒の皆さんからの回答も、種々様々な方面の回答が出てくるのが懸念されたが、ご協力いただいた皆さんの回答は、ある程度まとまったものであった。

アンケートでは、「地球温暖化は自然現象によるものであり、人間の活動は関係がないという説を聞いたことがありますか。」という質問もした。結果としては、先生方は知っておられたが、生徒の皆さんは、「知らない」、あるいは「聞いたことがない」という回答が多数であった。そのため、「地球温暖化は自然現象である」という説は、若い人たち、少なくとも高校生の間では、あまり深く浸透していないということが言えるだろう。

それはやはり、近年の企業やマスメディアの影響ではないだろうか。地球温暖化という問題がさまざまな場面で大きく取り上げられるようになってから、たくさんの企業が反地球温暖化を掲げた製品を開発して

きた。ノンフロン冷蔵庫などがその例として挙げられるだろう。そのほかにも家電量販店業界では、エコポイント制度が設けられ各社の競争は激化している。私たちが、普段頻繁に目にするテレビや新聞、インターネットでは、「地球温暖化が起こっているのは人間の文明の発達のおかげだ」「私たちは地球温暖化を食い止めなければいけない」といったことが言われ、その多くで地球温暖化という現象は、私たち人類が発展し、地球上での生活をほしのままにしてきた、その代償であるかのように言われてきた。確かに、地球温暖化の原因の一部が人間の生活によるものであるということは間違っていないだろう。しかし、それがすべてなのだろうか。

近年、多くの学者が「地球温暖化は自然現象である」という説を提唱している。いや、それは地球温暖化という問題が私たちの耳に入ってくるようになる、はるか以前からだったのかもしれない。しかしそうであるにもかかわらず、それらの意見は、なかなか表には出てこないし、私たちが耳にすることもあまりない。やはりそれは前述したような、企業やマスメディアの影響なのだろう。現代に生きる私たちは、どうしても身の回りのマスメディアに影響されてしまう。しかし、それらにすべて身を委ねるのではなく、さまざまな意見に耳を傾けることが重要である。とともに、「地球温暖化」という人類最大の問題に少なからず関心を持ち、多くの意見を私たち自身が深く考えていかなければならない。

また、温暖化について詳しく知ったとしてもそれで温暖化が停止するわけではない。私たちは何か行動を起こさなければならない。アンケート(先生)でも、インターネットの意見でも多かったのは、人為的原因と自然的原因の共存であり、つまり少なくとも人為的原因においては改善の余地があるということだ。そのことをほとんどの人、特に大人は知っているであろうに、どうして行動する人が少ないのであろうか。それもまた情報の少なさが原因であると思われる。つまり、地球温暖化の情報を手に入れた後は、次のステップである地球温暖化の対策についての情報を手に入れなければならないのである。この繰り返しの幾度と行う

ことで温暖化に対しての認知が深まるばかりか、地球温暖化を食い止める力になりうるのではないだろうか。

5. まとめ

今回の一連の調査によって、地球温暖化は自動車や排気ガスや工場の排煙による温室効果ガスといった、人類の豊かな生活や文明活動が原因であるという意見が多数であった。これは、現代の日本に生きる人たちに共通することだろう。これは4で述べたようにやはりメディアによるところが大きいだろう。

このようななかで、今の私たちにできることは何なのかということを考えてみると、まずは地球温暖化のことを私たちがなりによく考え、いろいろなことを知ろうとすることが一番重要なのではないかと思う。今回調べてみたなかで分かったように、地球温暖化の原因は確かに人間によるところは大きいですが、必ずしもそれだけではなく、自然的なことも深くかかわっている。しかしながら、実際のところそのようなことはあまり知られて

いない。私たちはいろいろな意見に耳を傾け、それらをよく知ろうとすべきなのだ。言い換えれば情報を持っていないということは何の役にも立たないということだ。様々な手段で地球温暖化のことについて調べ、たくさんの情報を手に入れること、これが、私たち三人の考える地球温暖化への最適な対処法である。

謝辞

足立先生、田口先生、井上先生、長谷先生、田中孝先生、四辻先生、岩城先生、三宮先生、川津先生、平井先生、杉浦先生、仲先生、田川先生、伊藤先生の計14人の先生方と、実習生の高谷さん、匿名の生徒30名様にアンケートに協力していただいた。

参考文献

- 1) <http://www.sentaku.co.jp/contents/interview/index.php?date=200802>
- 2) <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2008/>

グリーンウォッシング

～ エコバッグ VS レジ袋 ～

増田晴香, 吉田大亮

要旨

レジ袋削減・エコバッグ使用が、本当に環境に良いのかを追求することを通して、偽善エコ(グリーンウォッシング)や本当の環境に対する配慮について考えた。結論として、正しい知識と意識を持って環境運動に取り組まなくては意味がないということにたどり着いた。

1. はじめに

ネット等の各種メディアで、近年、エコバッグ有料化について取り上げられているが、その中で、エコバッグ運動は環境保全に対してほとんど効果がないという意見を見つけた。私たちは無意識のうちに「レジ袋を断ることは良い事だ」「エコバッグ使用を進めるべきだ」と思っているが、それが何故なのかは曖昧にしか理解していない。

エコバッグ運動は私たちにとって身近な取り組みであり、その効果を理解することは、私たちのエコに対する認識を養うことにつながる。また、メディアに流されるまま行動するのではなく、自ら行動し、その意味を理解するという点においても、この調査は不可欠である。

他のエコ運動、例えばハイブリッド自動車では、確かに従来の自動車と比較して二酸化炭素排出量は少ないが、安易に買い替えをすると、まだ使えるはずの自動車が廃棄されることになるという、エコと矛盾した行動になることが指摘されている。

「エコ」という言葉のイメージが先行して、環境に対する悪影響を見逃しているという例は、ハイブリッド自動車に限ったことではない。そのような点からも、私たちの身近にあるエコバッグ運動の効果を探ることは重要であり、見直す必要がある。

私たちの研究では、エコバッグおよびレジ袋によって排出される総二酸化炭素量を比較しながら、エコバッグの環境対策への貢献性、レジ袋の有用性を社

会的、環境的側面から考察し、その結果からエコ運動の是非を考えた。

2. 材料・研究方法

文献やインターネットサイトの情報を利用した調査に加えて、独自のアンケートを製作・実施し、資料とした。

アンケートは

- ・「あなたはレジ袋の受け取りを積極的に断っていますか？」
- ・「あなたの家庭では、エコバックを利用していますか？」
- ・「受け取ったレジ袋は、再利用していますか？」
- ・「(上記で『はい』と答えた人のみ回答)それはどんな使用方法ですか？」
- ・「(上記で『ごみ袋』と答えた人のみ) あなたの家庭に、レジ袋をかぶせたゴミ箱はいくつありますか？」
- ・「あなたはエコバッグ運動に賛成ですか？」
- ・「あなたはレジ袋有料化に賛成ですか？」

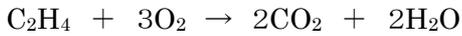
という7項目の内容で構成した。

資料から、レジ袋の生産・廃棄によって発生する二酸化炭素量を調べた。また、アンケートの結果から、レジ袋の有用性を考察し、レジ袋が廃止されたと仮定したときに、新たに発生してしまう問題を踏まえて考察した。

3. 結果

スーパーやコンビニ等で使われるレジ袋はポリエチレン製である。(ポリ塩化ビニルを使っているビニール袋とは区別する。)ここで、レジ袋1枚を燃やしたときに排出されるCO₂はどれほどだろうか。

ポリエチレンの完全燃焼式は、



炭素(C)、水素(H)、酸素(O)の分子量をそれぞれ12, 1, 16とした場合、上の式より、ポリエチレンを28g燃焼させると、88gの二酸化炭素が発生することになる。手提げ部分も含め、53cm×30cmの一般的なサイズのレジ袋の重量は7gなので、7gのレジ袋を完全燃焼させると、22gのCO₂を排出することになる。

それでは、レジ袋1枚ができるまで、どれだけCO₂を排出しているだろうか。

ポリエチレンの製造で1kgあたり1.231kg=1231g、そこからレジ袋にする過程で1kgあたり0.281kg=281gのCO₂が発生する。また、材料の運搬にかかる二酸化炭素量は、かなり微量なものなので、考えないこととする。レジ袋を7gと仮定すると、1kgのレジ袋は、7gのレジ袋

1000g ÷ 7g = 142.85... ≒ 143枚分となる。よって、1枚の製造過程で

(1231 + 281) ÷ 143 = 10.57... ≒ 10.6gのCO₂が発生することになる。すなわち、7gのレジ袋1枚を作って燃やすと、

合計で10.6 + 22 = 32.6gのCO₂が発生する。

調査によると、全国で1人あたり年間260枚のレジ袋を使うことがわかった。上記の結果をもとにすると、全国で一人あたり、

燃焼時に260 × 22 = 5720gのCO₂排出。

また、レジ袋1枚に石油は約20ml = 0.02ℓ使われているので、

260 × 0.02 = 5.2ℓの石油消費。

また、製造過程を含めると、

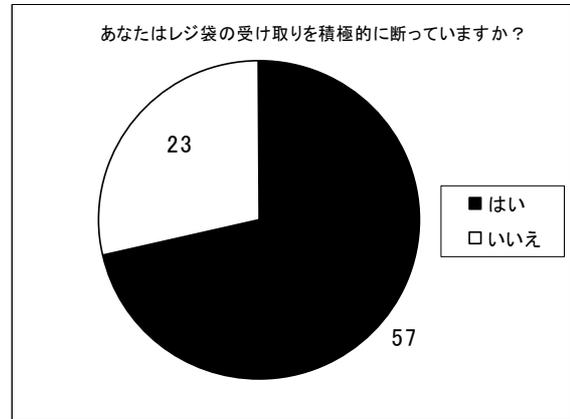
260 × 32.6 = 8476gのCO₂排出。

ここで洛北生1組、2組80名、教職員2名に対して、アンケート調査を行った。

・「あなたはレジ袋の受け取りを積極的に断っていますか？」

——はい 57人

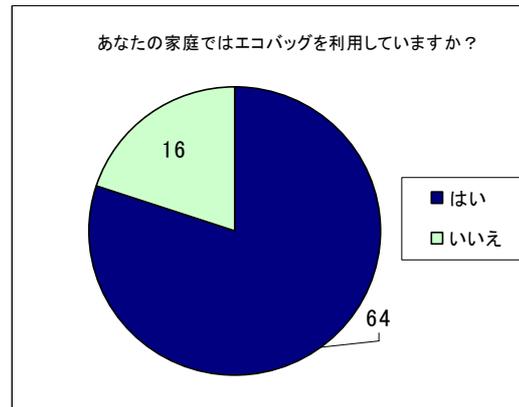
——いいえ 23人



・「あなたの家庭では、エコバックを利用していますか？」

——はい 64人

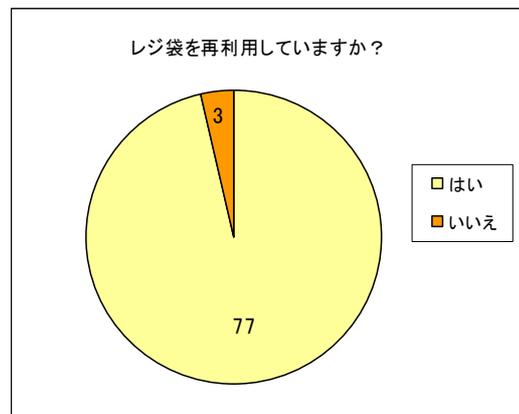
——いいえ 16人



・「受け取ったレジ袋は、再利用していますか？」

——はい 77人

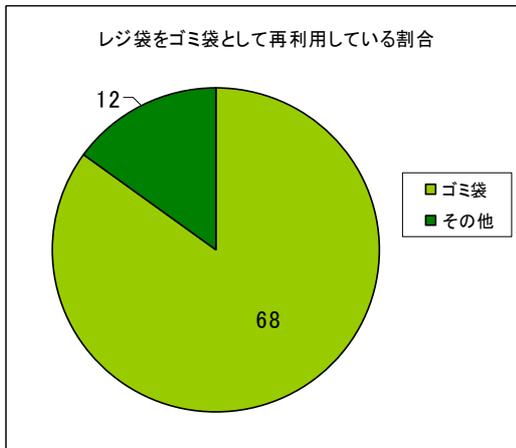
——いいえ 3人



・「(上記で『はい』と答えた人のみ回答)それはどんな使用方法ですか？」

——ゴミ袋 68 人

——その他 12 人



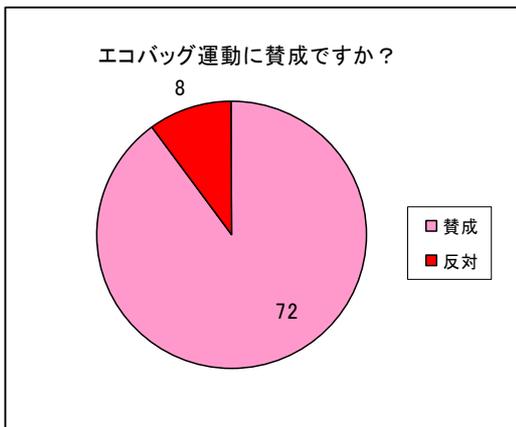
・「(上記で『ごみ袋』と答えた人のみ) あなたの家庭に、レジ袋をかぶせたゴミ箱はいくつありますか？」

——平均 5.2 袋

・「あなたはエコバッグ運動に賛成ですか？」

——はい 72 人

——いいえ 8 人

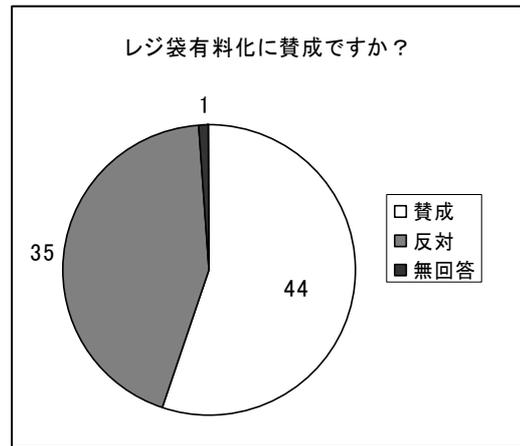


・「あなたはレジ袋有料化に賛成ですか？」

——はい 44 人

——いいえ 35 人

——無回答 1 人



結果は上記であった。

その結果、家族の人数の平均は4.3人、一家庭で年間にゴミ袋として再利用するレジ袋は、 $5.2(\text{袋}) \times 52(\text{週}) = 270.4(\text{枚})$ となる。

つまり、洛北生一家庭で年間に使うレジ袋の量は、

$260 \times 4.3 = 1118$ 枚となる。すなわち、

$270.4 \div 1118 = 0.24186 \dots \approx 0.24 = 24\%$

すなわち、24%再利用されていることになる。

ところで、調査によると、ゴミ袋は主にレジ袋同様ポリエチレンでできており、厚さもレジ袋とほとんど変わらない。まれに、焼却炉での急激な焼却温度の変化を緩和し、焼却炉を長持ちさせるために、ポリエチレンに炭酸カルシウムを添加したゴミ袋が存在する。これは、強度が不足するので、ポリエチレンの厚さを増す必要があるが、結果的に1枚あたりのCO₂量は不添加品とさほど変わらない。したがって、単純計算では、レジ袋のCO₂排出量と、グラムあたりの値としては、数値は変わらないことになる。ただ、レジ袋とゴミ袋とでは、1枚の大きさがあきらかに違うので、1枚あたりのCO₂排出量はゴミ袋のほうが多いことになる。しかし、その枚数を使わなくてよいということもある。

ちなみに、エコバック(ポリプロピレン製)の一枚あたりのCO₂排出量は、大きさの違いにもよるが、約600gである。レジ袋を焼却したときのCO₂排出量は22gで、年間で5720gであるので、同じエコバックを1年間使い続けた場合、 $5720 - 600 = 5120\text{g}$ 削減できることになる。

4. 考察

アンケート調査から、エコバッグ運動に賛成する人が多く、また、参加率も高いことがわかった。しかし、レジ袋の二酸化炭素排出量を見てみると、日本人は1年間でおよそ1Mtを排出している計算になる(生産過程を含み、かつ全て廃棄した場合)が、一方で、年間あたりの自家用車の二酸化炭素排出量は125Mtであり、およそ3日で1年間のレジ袋の二酸化炭素排出量に相当する量を排出している計算になる。

また、レジ袋の需要は高く、アンケート結果からも、再利用率は大きい。さらに、レジ袋を廃止すると仮定したときに、レジ袋はスーパー等では万引き防止の役割をしているため、新たな機材の導入などが予測され、結果的に二酸化炭素は排出されることになる。

以上の点から、エコバッグ運動には効果があるとは言えるが、それは非常に薄いものである。現に、エコバックでの万引き被害や、デザインをたのしむひとがすぐに買い換えて、CO₂をレジ袋以上に出す結果となっていることなど、さまざまな問題がある。それに対して、レジ袋は人々に欠かすことのできない、社会的に大きな役割を担っているものである。ということが言えるであろう。

言い換えるならば、レジ袋削減運動をする前に他にもっとできることがあるはずだ、ということである。

全国民が3日間、自動車を使うのを自粛することで、レジ袋1年分の二酸化炭素削減になるように、真面目に二酸化炭素削減に取り組もうとするならエコバッグ運動ではなく、他の効果的な取り組みをするべきであると思われる。自家用車で買い物に行きエコバッグを使用してエコだというのは、ただの自己満足に過ぎないだろう。

アンケートでは、どういった理由でエコバッグ運動に賛成なのかを問わなかったが、単純に結果を見ると、ほとんどの人が賛成と回答している。確かに悪いことではないが、エコバッグ運動によって環境が改善されるかどうかというと、皆無に等しい。多くの人が、メディアの宣伝や呼びかけに騙され、企業にも利用されている。これはグリーンウォッシング(環境配慮をしているように装いごまかすこと)と言えるで

あろう。

5. まとめ

「身近なことから」の精神は大切であるが、自己満足で終わることのないように心がける必要がある。環境のために、エコバッグを使うことから始めることは良いことであるが、それで終わってはならない。環境に対するムダはレジ袋に限ったことでなく、至る所に、無数にあることを心がけることが大切である。

また、「エコ」のイメージに惑わされず、その効果について言及し、グリーンウォッシングを見破る必要が、現代社会に要求されている。

謝辞

京都府立洛北高校の生徒80名および教職員2名に、アンケートにご協力いただいた。

参考文献

- 1) <http://blog.kamikura.com/archives/312>
- 2) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B4%E3%83%9F%E8%A2%8B>
- 3) http://www.plus-ondanka.net/d03_ecolog.html
- 4) http://detail.chiebukuro.yahoo.o.jp/qa/question_detail/q1214017477?fr=rcmd_chie_detail
- 5) <http://oshiete1.goo.ne.jp/qa/2734243.html>
- 6) <http://d.hatena.ne.jp/muramototomoya/20060509>
- 7) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9E%E3%82%A4%E3%83%90%E3%83%83%E3%82%BO%E9%81%8B%E5%8B%95>
- 8) <http://www.janian.jp/living/0507/0506298938/1.php>
- 9) <http://x-caliburn.net/menu1.html>
- 10) <http://www.news.janjan.jp/living/0904/0904081158/1.php>
- 11) <http://www2u.biglobe.ne.jp/~GOMIKAN/sun3/sun45a.htm>

黒点と温暖化

清水葉月，十代香苗

要旨

近年問題視されている地球温暖化の主原因として一般的に挙げられているのは温室効果ガスであるが、私たちは太陽黒点を地球温暖化の一原因であると考えた。そこで、太陽黒点数と気温のデータを比較し、研究を進めた。その結果、資料から太陽黒点数と地球気温の間に一定の関係が見られることがわかった。よって、私たちは太陽黒点が地球温暖化に少なからず影響を与えていると考えた。

1. はじめに

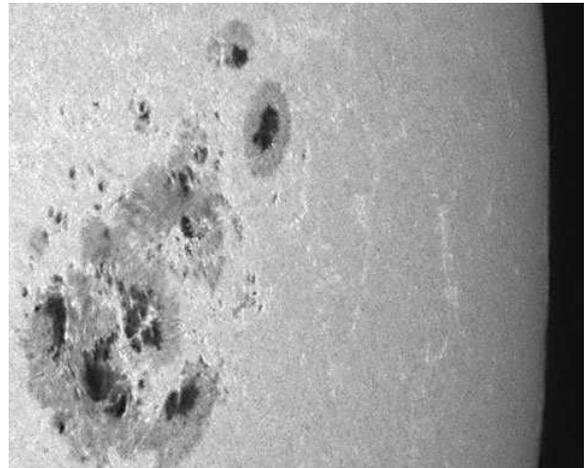
過去 150 年間で、地上気温は世界的に上昇している。世界平均すると、地上気温は過去 100 年間 (1906~2005 年) で約 0.74°C 上昇した。この原因として、温室効果ガスの増加が一般的に挙げられている。確かに、温室効果ガスとして最も有名な二酸化炭素は、化石燃料(石炭、石油、天然ガス、ガソリン)の燃焼などの人間の活動により、産業革命以来確実に増加している。しかし、実際は人間の活動による二酸化炭素の排出量より、火山活動などにより自然に発生する量の方がはるかに多い。二酸化炭素の年間排出量は、全ての発生源を合わせて 197 ギガトンであるが、このうち化石燃料の燃焼による量は、わずか 5 ギガトンしかない。これは、全体の 2~3%であり、この量の二酸化炭素によって上昇する気温は 0.004°C だけである。つまり、どれだけ化石燃料の使用を抑えても、私たちに削減可能な二酸化炭素はこの範囲に限られるのである。

そこで私たちは、周期的に増減する太陽黒点数が、地球温暖化に関係するという太陽黒点説に焦点を当てて調べてみることにした。太陽黒点が地球温暖化に影響することが分かれば、その周期から今後の気候変動などの対策が可能になるのではないだろうか。

2. 材料・研究方法

はじめに、太陽黒点とは太陽表面に現れる黒い斑点のことである。約 6000°C である太陽に対して、黒

点部分の温度は、磁石の性質をもった強い磁場が、太陽からの熱や光を妨げる影響で約 4000°C と低い。そのために黒い斑点のようになって見える。(図1)



(図1)

太陽黒点は絶えず発生・消滅し、約 11 年周期で増減を繰り返す。その数が極大の時期には太陽活動が活発化、地球気温も上昇し、極小の時期には地球気温が低下する傾向がある。

このことから、私たちが現在問題視している地球温暖化が、人為的な理由によるものではなく、太陽黒点によるものだと考えた。

そこで、まず二酸化炭素を原因とする説の検証をするために、二酸化炭素濃度と地球気温の変化の関連性から、二酸化炭素の増加が気温の上昇に影響を与えているのかどうかを調べる。

次に、太陽黒点の増減周期と地球気温の変化を比較し、太陽黒点と地球温暖化の関連性を調べる。

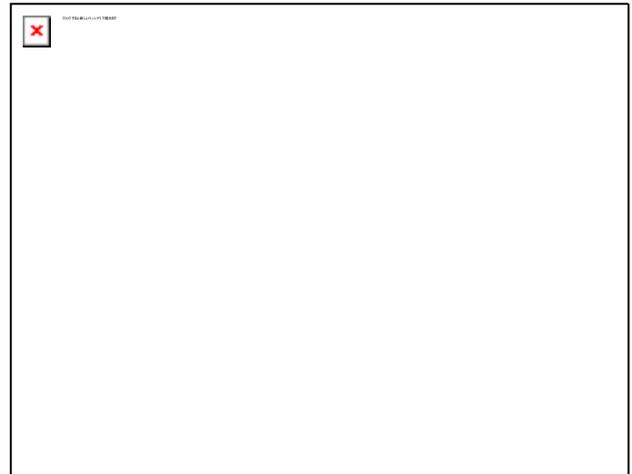
3. 結果

はじめに、二酸化炭素濃度と気温の変化を比較する。図2のグラフから、基本的に気温の変化が二酸化炭素濃度の変化に先立って起こることがわかる。また、世界で確実に開発・発展が続けられた1958年から1988年においても、二酸化炭素濃度が何度も低下している。



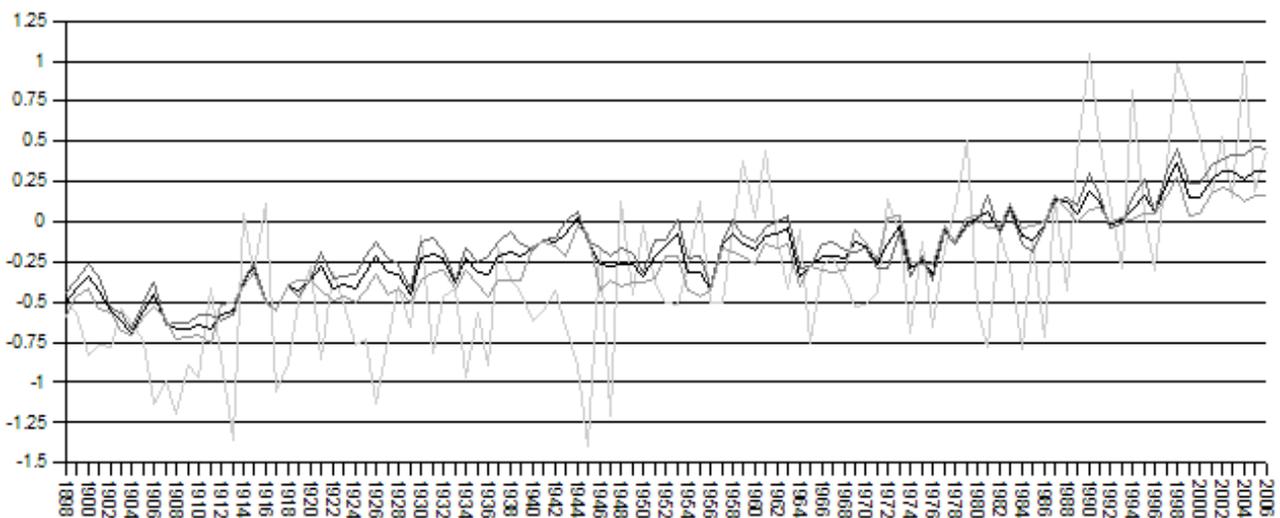
(図2)

次に、図3のグラフから、黒点数が約11年周期で増減を繰り返していることがわかり、最近では2000年に極大に達している。

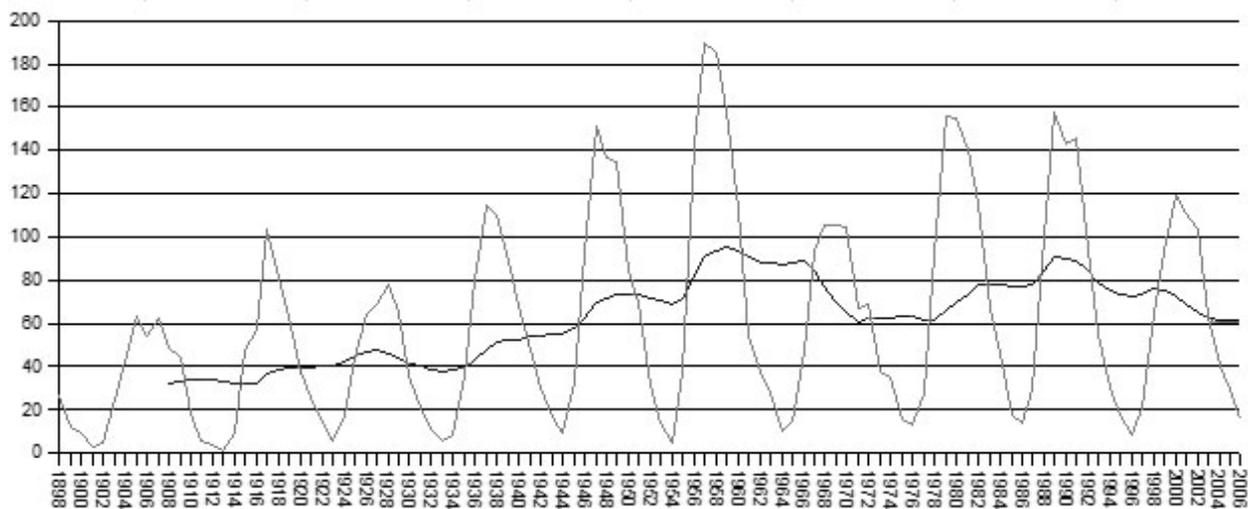


(図3)

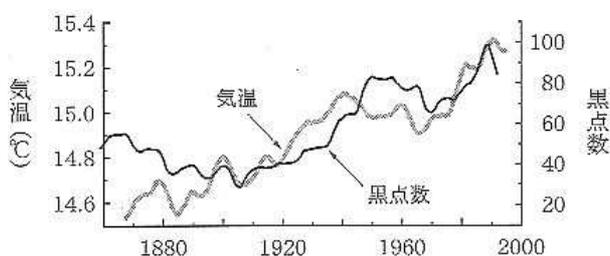
続いて、太陽黒点数の変化と、世界の平均気温の変化を比較する。図4は、灰色線が太陽黒点数、黒線が太陽黒点数を10年平均で表しており、図5は黒線が世界の気温変化を表している。これら太陽黒点数の変化と気温の変化を合わせたものが図6である。図4の黒線からは、太陽黒点数が増加を続けていることがわかり、図5からは地球気温が上昇し続けていることがわかる。さらに、図6では黒線が太陽黒点周期の長さの変化、点線が気温の変化を表しており、両者の変化に関連性があることが読み取れる。



(図4)



(図 5)



(図 6)

図6のグラフからは、太陽黒点数の変化と、地球気温の変化に明らかな相関関係があることがわかる。太陽黒点数が増加すると、気温も上昇している。このことから、太陽黒点が地球気温の上昇に影響している可能性が示された。

以上の結果から、地球温暖化に影響を与えているのは、二酸化炭素ではなく太陽黒点である可能性が高い。

4. 考察

図2のグラフの期間には、おそらく今日ほど地球温暖化が問題視されておらず、対策も不十分で、人々の危機感も改善意識も低かったであろう。しかし、二酸化炭素濃度の低下が何度もみられる。二酸化炭素が地球温暖化に影響するという説では、この時期に二酸化炭素濃度が低下していることの説明ができない。

そこで仮に、太陽黒点が原因であると考えてみる。図2より、気温の変化と二酸化炭素の変化のグラフは形状が一致する。よって、図6は、太陽黒点数の変化と二酸化炭素濃度の変化も表していると考えることが可能であることから、黒点の減少の周期に伴い二酸化炭素濃度が低下したと考えることができる。

図3のグラフから、最近太陽黒点数が極大となったのは 2000 年であったが、その後は減少している。よって、黒点の減少が地球気温の低下に先立つことから、今後地球の気温が低下すると考えることも可能だ。

5. まとめ

地球温暖化問題には様々な原因が考えられるが、二酸化炭素を含む温室効果ガスを原因とする一般論が、一概に正しいとは言えない。太陽黒点に関しても同じことが言えるが、地球温暖化と太陽が全くの無関係ではないことがわかった。つまり、地球は古くから太陽と密接に関わり合いながら、気温の変化を続けており、我々が今日問題視している温暖化も、地球のごく当たり前の活動の一環に過ぎないのかもしれない。したがって、今後、温暖化だけでなく寒冷化が問題になることも有り得るだろう。しかし、地球温暖化が自然のごく当たり前の現象であるという考えが、私たちが温暖化を他人事のように捉え、目を背ける理由になってはならない。今回の研究では、地球温暖化と太陽黒点の関係を調べたが、ここで明らかになったことはほんのわずかであり、また地球という規模の大きさから不確かなこともまだまだ多い。

太陽黒点が地球温暖化の一因である可能性はあるが、人間の活動が地球に悪影響を与えていることも確かである。これは、温暖化に限ったことではない。人間による環境破壊は、太陽活動と切り離して、私たちが責任をもって考えなければならないことだろう。

参考文献

- 1) <http://d.hatena.ne.jp/yummyum2/20090604/p5>
- 2) <http://sankei.jp.msn.com/science/science/090802/scn0908021801001-n3.htm>
- 3) <http://stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/study/sub8.htm>
- 4) <http://env01.cool.ne.jp/ss02/ss023/ss0231.htm>
- 5) <http://blog.sizen-kankyo.net/blog/2008/07/000359.html>
- 6) http://www.kawaguchi.science.museum/astro_gallery/img/photo/sun/largespot.jpg
- 7) <http://d.hatena.ne.jp/oshimayukinori/20101008/1286487194>
- 8) <http://swc.nict.go.jp/sunspot/>
- 9) <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E9%BB%92%E7%82%B9>
- 10) <http://www.2012crisis.com/kokuten-furea/>
- 11) <http://www.astroarts.co.jp/news/2010/03/09hinode/index-j.shtml>
- 12) http://gigazine.net/news/20080904_sunspot/
- 13) <http://www.dailytech.com/Sun+Makes+History+First+Spotless+Month+in+a+Century/article12823.htm>
- 14) http://env01.cool.ne.jp/open/open01/co2_01.htm
- 15) <http://env01.cool.ne.jp/ss02/ss023/ss0234/ss02342.htm>

洛北高校と家庭の CO₂ 排出量の違いとその対策について

～ 環境家計簿を利用し、その利用価値を探ってみた ～

前原明友実, 村山温奈, 安田千紘

要旨

私達は身近な所から CO₂ の排出量を調べるため、環境家計簿における CO₂ 排出量の計算方法を使い、各家庭や洛北高校から出る CO₂ 量を割り出した。その結果から私たちの生活の中で改善できる点をあげた。

1. はじめに

私達はテレビで環境家計簿というものがあることを知り、実際に使用してみることにした。

環境家計簿とは、1996年に環境庁(現 環境省)が地球温暖化対策の一環として、電気・ガス・水道等のエネルギー使用量を計算し、家庭や学校、企業から排出される CO₂ 量を割り出し、確認することで主に各家庭や学校内で環境について意識するために作られたものである。

環境家計簿は自治体、企業、および NPO 団体等の団体で作成・公開されるようになった。また、インターネットのサイト上で入力可能な環境家計簿が普及し、利用者も大幅に増加している。

現在公開されている環境家計簿は主に以下のようなものである。

- ・サイト上で算定数値のみ公開しているもの。
- ・サイトに値を入力して自動的に算出されるもの。
- ・サイトから MS-Excel ファイルをダウンロードして使用するもの。

環境家計簿の算定の際に使用されている排出係数は主に環境省が公表している値を使用しているものが多いが、各々の地域で値を設定しているところもある。

環境家計簿の利用者は主に 30～50 代で、現在は女性の利用者が多いが、男性の利用者も徐々に増加傾向にある。

本論文では計算の結果得られた、洛北高校と私達の家庭の CO₂ 排出量について報告し、今後の対策

等について考察する。

2. 材料・研究方法

2-1. 研究試料

本研究で用いた使用量のデータは、実際に私達の家庭で使用した 2010 年 9 月分の電気・ガス・水道量である。一般家庭のデータ及び洛北高校の電気・ガス・水道の使用量は双方とも関西電力、大阪ガス、日本水道協会(関西地方支部)の数値を参考にした。

また、今回の研究ではプロパンガス・灯油・軽油・ガソリン・一般廃棄物(可燃ごみ)・地域冷暖房のデータは利用していない。

表1は主に環境家計簿で使用されている排出係数をまとめたものである。

(表1)

	環境省	NPOB-ハスクラフ	東京電力	松下電器
電気 (kg-CO ₂ /kWh)	0.39	0.339~0.932	4.425	0.39
都市ガス (kg-CO ₂ /m ³)	2.1	2.1 or 2.21	2.28	2.1
プロパンガス (kg-CO ₂ /kg)	3	6.5kg-CO ₂ /m ³	3	3
灯油 (kg-CO ₂ /ℓ)	算定対象外	2.5	2.49	2.5
軽油 (kg-CO ₂ /ℓ)	算定対象外	算定対象外	2.62	2.6
ガソリン (kg-CO ₂ /ℓ)	2.3	2.3	2.32	2.3
水道 (kg-CO ₂ /m ³)	0.36	0.36	0.36	0.58
一般廃棄物(可燃ゴミ) (単位)	算定対象外	0.34	算定対象外	算定対象外
地域冷暖房 (kg-CO ₂ /MJ)	算定対象外	算定対象外	0.057	算定対象外

今回は、仙台市教育センター「平成12年度、平成13年度情報教育推進委員会環境家計簿班」が企画したインターネット環境家計簿を利用した。このサイトを利用した理由は、一人当たりの二酸

化炭素排出量も求めることができ、データの数値をポリタンク等の具体的な例に置きかえて示されるからである。

以下が仙台市教育センターのインターネット環境家計簿で使用されている CO₂ 排出係数である。

電気:1kWh につき 0.36kg

都市ガス:1 m³につき 2.1kg

プロパンガス:1kg につき 3.0kg

水道:1 m³につき 0.58kg

灯油:1ℓにつき 2.5kg

ガソリン:1ℓにつき 2.3kg

軽油:1ℓにつき 2.6kg

もえるごみ:1kg につき 0.84kg

2-2. 研究方法

各家庭、学校から排出された CO₂ 排出量を計算する。

CO₂ 排出量は次の式で求められる。

$$(\text{使用量}) \times (\text{CO}_2 \text{ 排出係数}) = (\text{CO}_2 \text{ 排出量})$$

各項目における CO₂ 排出量を合計することで全体から排出されている CO₂ 排出量が分かる。また、CO₂ 量が 20ℓのポリタンクいくつ分か、それを 1 ヶ月で吸収するために必要な森林をテニスコートに換算した面数も調べた。各項目において一人当たりどれだけ排出しているかも調べるため、人数で割った。

表2は各家庭と洛北高校の電気・ガス・水道の使用量を示したものである。

(表2)

	家庭M(4人)	家庭Y(5人)	洛北高校(1180人)
電気(kwh)	98	491	61802
水道(m ³)	28	105	2000
ガス(m ³)	20	45	1772

3. 結果

表3は研究方法で示した計算方法を使用して出した CO₂ 排出量をまとめたもの。表4は表3で表したものを、20ℓのポリタンクに換算したもので、表5は1ヶ月で吸収するために必要な森林をテニスコートに換算した面数に換算した数値である。

(表3)

単位(kg)	家庭M(4人)	家庭Y(5人)	洛北高校(1180人)
電気	35.28	176.76	22248.72
水道	16.24	60.9	1160
ガス	42	94.5	3721.2
一人当たり	23.38	66.43	22.99
人数合計	93.52	332.16	27129.92

(表4)

ポリタンク(個)	家庭M(4人)	家庭Y(5人)	洛北高校(1180人)
電気	898	4499	566331
水道	413	1550	29527
ガス	1069	2405	94721
1人当たり	595	1690	585
人数合計	2380	8454	690579

(表5)

テニスコート(面)	家庭M(4人)	家庭Y(5人)	洛北高校(1180人)
電気	1.69	8.48	1067.94
水道	0.78	2.92	55.68
ガス	2.02	4.54	178.62
1人当たり	1.12	3.19	1.1
人数合計	4.49	15.94	1302.24

4. 考察

私達の家庭と洛北高校の CO₂ 排出量の差の原因で、最も可能性があるのは使用時間である。洛北高校では、生徒は遅くとも夜7時まで学校を出るし、先生方も深夜過ぎにはさすがに使用しておられないだろう。深夜すぎまで残られておられるとしても、それは職員室などのごく限られた部屋だけだと思われる。また、休日にも使用される部屋が少ないと考えられる。家庭Mは早寝を基本としていて、家庭Yは深夜過ぎでも起きていることがあるようだ。このような違いを下に示してみる。

- 1、部屋の使用時間の長さ
- 2、電化製品の違い、多さ、使用時間
- 3、お風呂(プール)の使用有無、また入り方、その頻度
- 4、料理をするか、またその種類やコンロの使用時間
- 5、部屋数の違い

この中で、私達が家庭で簡単に対策できるものは何か。それは1~4である。1は早く寝て早く起きるといふ太陽に合わせた生活をすると、電気を使うことが減るし、2は電化製品を必要な時に必要な分だけ使用すれば良いだろう。また3は家族が続けてお風呂に入れば水道代の節約にもなる。最後に、4の料理

はその献立や作り方によってコンロ、レンジ、オーブンの使用量などに大きく響いてくる。電気やガスの使い方を考えて、料理をする必要もある。表2から、一人当たりのCO₂の排出量は学校が一番少ない。学校では使わない教室の電気をこまめに消したり、冷暖房のオンオフをよくしたり、環境に対する意識が高い。少し環境に対して意識してみるだけで、できることは多く見つかるだろう。小さなことから始めて、それを続けることが重要である。

5. まとめ

CO₂排出量に関しては、世界的に「気候変動に関する国際連合枠組条約(気候変動枠組条約、地球温暖化防止条約、温暖化防止条約)」が定められている。大気中のCO₂、メタン等、温室効果ガスの濃度の安定化を目的とし、地球温暖化がもたらす様々な悪影響を防止するための取り組みの原則や処置等を定めている。この条約にのっとって定められたのが、「気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書(京都議定書、気候変動枠組条約京都議定書)」で、1997年12月11日に京都市の国際会館で開かれた第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)で議決された議定書である。京都議定書では温室効果ガスについて、2008年から2012年までの5年間の第1約束期間として、目標値を達成することが定められている。基準年を1990年とし、各国で削減値を定めた。先進国では、少なくとも5%の削減を目指すとし日本は、6%の削減を約束した。国としての動きとしては、2010年2月17日に環境省が温室効果ガス削減の目標達成に向けた行程表の素案を公表し、2月26日には温暖化基本法案の素案を提示し、3月12日に閣議決定された。

地球温暖化が進む今日、私達がどれだけのCO₂を排出し、電気やガス、ガソリン等のエネルギーを使用しているのか正確に知る機会は少ないのではないだろうか。そこで環境省は、地球温暖化対策の一環として「環境家計簿」を作成し、普及を図っている。近年では様々な団体や自治体、企業、Webサイト上で公開され、利用者数は大幅に

増加しているという。しかしみなさんは「環境家計簿」のことを知っていたらどうか。まだまだ「環境家計簿」のことを知る人は、少ないのではないかと思う。これは地球温暖化に対する、私たちの関心が低いことを示しているのではないだろうか。実際に、ナショナルジオグラフィックスとグローブスキャンが共同で行った環境問題に対する意識調査によると、「環境問題に関心がある」と答えた日本人の割合は17カ国中7位と半分より少し上にランキングされたが、「環境破壊に自分も加担していると感じる」と答えた日本人の割合は17カ国中17位と世界でもっとも低い。多くの人が、地球温暖化が進んでいることは知っているが、まるで他人のことにしただけでいまいたのである。ましてや、地球環境のために何かしている人は少ないだろう。今回「環境家計簿」を使ってみて、私たちの生活の点検や、環境との関わりを確認することができた。また実際に細かく数字が出てくるので、「環境家計簿」は手軽に自らの生活を見直すきっかけになると思った。少しでも多くの人に地球温暖化の問題を意識し、地球温暖化対策を小さなことから始めて欲しいと思う。私たちの研究から、少しでも地球温暖化対策をしようと思う人がいたら、幸いだ。

謝辞

洛北高校事務の先生方に研究に必要な資料をいただいた。また、職員室の先生方にもお世話になった。

参考文献

- 1) 環境省 Web サイト
- 2) 全国地球温暖化防止活動推進センターWeb サイト
- 3) 仙台市教育センター「インターネット環境家計簿」
- 4) 関西電力、大阪ガス、日本水道協会(関西地方支部)
- 5) Yahooニュース—京都議定書

平成 22 年度スーパーサイエンスハイスクール
サイエンスⅡ 研究活動報告集

平成 23 年 3 月発行

発行者 京都府立洛北高等学校
〒606-0851 京都市左京区下鴨梅ノ木町 59
TEL 075-781-0020 FAX 075-781-2520