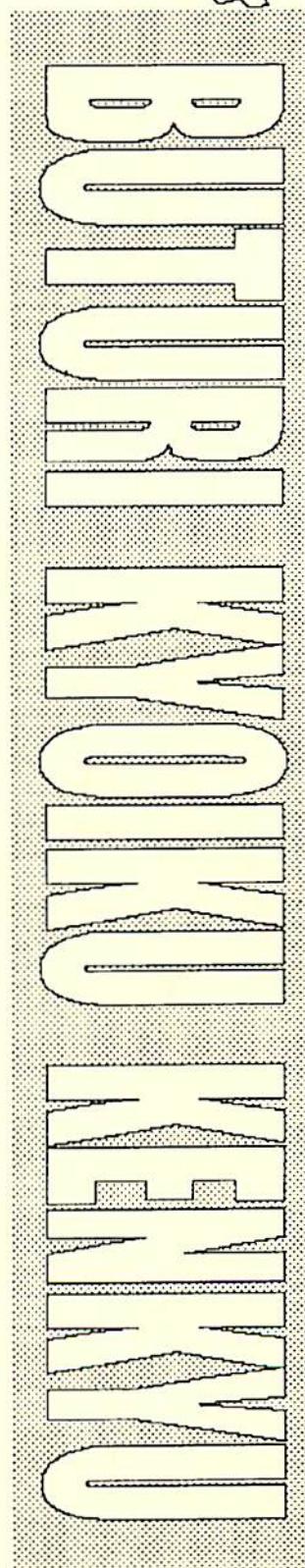
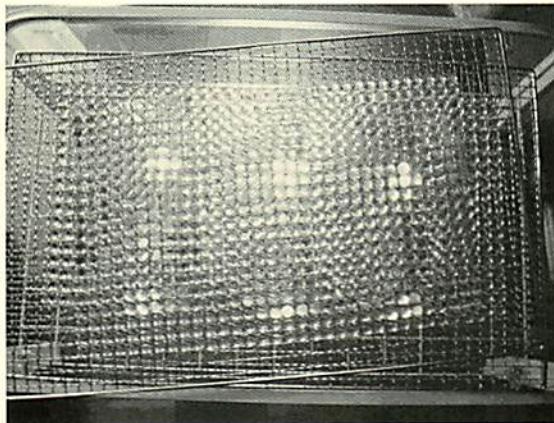


Y. Nakano

物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.36, 2008.9

卷頭言

世界天文年に因んで

鶴岡 森昭

日本物理教育学会北海道支部理事（北海道大学大学院理学院博士後期課程）

2008年の3月末から4月初めにかけて、イタリアのローマとフィレンツェを訪れた。特にフィレンツェでは、科学史博物館とサンタ・クローチェ教会を訪れて、ガリレオゆかりの実験器具や墓を直に見ることができた。更には、郊外のヴィンチ村まで足を伸ばし、レオナルド・ダヴィンチゆかりの建物や博物館を見学してきた。今から400年前の1609年に、ガリレオが当時考案されたばかりの望遠鏡を自作し、それを初めて空に向かって。月のクレーターや木星の衛星などを先駆けて発見した。この発見によって地動説（太陽中心説）に確信を持ち「星界の報告」を発表したことは、科学の歴史の上ではよく知られている。その後発表した「天文対話」が契機となっていわゆる「宗教裁判」で有罪の判決を受け、晩年は幽閉の身であった。没後も異端者扱いのために正式の墓所を持つことを禁じられていたが、1992年に先代のローマ法王ヨハネ・パウロ2世による正式な謝罪表明によって、サンタ・クローチェ教会に墓が設けられることになった。

さて、2005年の世界物理年に引き続いて2009年は世界天文年である。世界各地で国際的な催しが予想される。日本国内でも世界天文年2009日本委員会が中心となって「どこでも世界天文年！」という標語の下、1000万人の観望会、世界と日本の天文学の歩みをテーマとした巡回企画展示、7月22日の国内の陸地では46年ぶりとなる皆既日食の観測会、学校教育との連携、特別シンポジウム、日時計シンポジウムなど、様々な企画が計画されている。

「星界の報告」の中で、木星の周囲の星を衛星と特定する過程を辿ってページを捲っていくと、new observation→initial hypothesis→If→and→then→But→Therefore いわゆる科学的探究の過程である仮説演繹法の原型をガリレオの発想法から垣間見ることができる。自然を探究する方法の確立という歴史上のエポックの立役者であるガリレオが「近代自然科学の祖」と讃えられるのも頷ける。

さて学校教育は、「ゆとり教育」から大きく舵を切り返して実質陶冶的方向に転換し、その学習指導要領が義務段階から順に発表されている。しかし学校教育の枠組みが変わろうとも「科学的探究の方法」「科学的自然観」の育成は科学教育の不変の目標として今後も追求されなければならない。この不変の目標の意義を再認識するためにも、この世界天文年を機会に、近代科学の扉を開いたガリレオの偉業とその発想法を再考することが必要であると思われる。

地球環境問題の現在

(数値シミュレーションによる気候予測の進展)

A Present Aspect of Global Environmental Problems
(Development of Numerical Simulation for Climate Projection)

帯広畜産大学地環境学 前多修二

Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine Maeda Shuji

IPCCの第4次評価報告は改良が進んだ気候モデルのシミュレーション結果に基づき、地球温暖化が人為的な温室効果ガス排出に起因することを強い確信をもって結論づけるとともに、温暖化に伴う極端現象の増加を結論づけている。本稿では、気候モデルが地球温暖化と2003年の歐州熱波に代表される極端気象発現との結びつきを解明しつつある現状について報告する。

The Fourth Assessment Report of the IPCC confirmed its assertion to attribute the global warming to the anthropogenic emission of the greenhouse gasses such as CO₂ on the basis of the highly improved numerical simulations by the current climate models, and also concluded increased risk of extreme events connected with the global warming. In this report, discussion is made on the present status of the climate model research with respect to how they analyze the relation between the global warming and the extreme events, like the 2003 European heatwave.

キーワード：気候モデル、二酸化炭素、地球温暖化、極端現象

1. はじめに

人が最も強く気候の変化を感じるのは異常気象に出会い、その被害に見舞われたときである。気象庁の『異常気象レポート』によれば、異常気象とは人が一生の間にまれにしか経験しない現象をいい、30年間に1度程度の頻度で発生する気象現象を言う。そのような異常気象が近年頻発していることを多くの人々がひしひしと感じている。

昨年（平成19年）日本の夏は暑く、8月16日には岐阜県多治見市と埼玉県熊谷市で40.9℃を記録し日本の最高気温が74年ぶりに更新された。北海道でも、帯広で通常の年では涼しさが増しているはずの9月21日に日最高気温31.3℃を記録し、札幌や広尾とともに86年ぶりに最も遅い真夏日を更新した。また、一昨年11月大型トラックをひっくり返し建物を吹き飛ばして9名の犠牲者を出した佐呂間町の竜巻も記憶に新しいところであるが、この竜巻を発生させた猛烈な積乱雲の発達に太平洋の高い海面水温が効いていたとの指摘がなされている。今年になって、局的に時間雨量が100mmをこえる猛烈な降水現象が多発しており、大気中に供給される水蒸気の多さを実感させられる。短時間のうちに河川が氾濫し家屋が天井まで浸水してしまう状況には驚かされる。

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は国連の機関として1988年に設立されて以来、世界の気候データの広範な収集と気候学的解析の研究成果の検討を通して、地球の温暖化の事実とこの温暖化が人為的に引き起こされている可能性について、科学的根拠を得る活動を行ってきた。昨年の2007年に第4次評価報告（AR4）を行い、この中で第3次評価報告（TAR）に比べて一段と強い確信をもって人為的な地球温暖化を結論づけている。根拠とされているのは、進歩した観測及び解析の技術により取得された長期にわたる過去の気候データと、これらの観測値を物理法則に基づいて再現することに成功した気候モデルの数値実験である。気候モデルは日々の天気予報に用いられてきた気象予報モデルを気候研究のために拡張したものである。地表を覆う大気、海洋、陸面を3次元の膨大な数の格子セルに分割し、これらの各時間の状態を各格子点における温度、気圧、風などの物理量で表現する。その上で、大気、海洋、陸面間の相互作用を含めこれらのダイナミックな時間発展を、物理方程式に従って数値的に解く。今この分野には非常に多くの若手研究者の力が投入されており、コンピュータが出力する結果と観測値の比較を通してモデルの改良が精力的に進められている。とくに、格子間隔を小さくして解像度を上げたとき気候再現性が向上するこ

とから、気候モデルを用いる方法の有効性に対する信頼が高まっている。

地球温暖化の問題は、他の地球環境問題と同様、人間社会に直接的間接的に甚大な被害をもたらす可能性を含む社会問題であり、問題の存在と原因を明確にした上で、早急に解決の方策を講じなくてはならない。オゾンホールの問題では、フロンに伴う塩素運搬物質、極成層圈中の異相反応、そしてオゾンを消滅させる触媒サイクルなど、問題の本質を表現する少数の化学過程が発見された。このことでオゾン層破壊の原因が明確になり、米国を含む国際社会が機敏に結束してフロンなどの使用規制に動いた経緯がある。しかし、地球温暖化の場合、二酸化炭素などの温室効果ガス濃度と地表の温度上昇との因果関係をみると、これらの大気成分の温室効果が確認されたとしても、分子が再放出するエネルギーが地球システム全体に及ぶ過程、即ち、地表を覆う非常に広い空間で多くの要素が長い時間を経て相互作用する過程を量的にたどる作業を意味する。大気だけを取り上げても、力学的な自由度が多く、定性的議論の及びにくい高度に非線形なシステムであることが知られている。さらに、現実の気候の形成には長い時間がかかり、また、一旦形成された気候は短期間で変わることはない。必然的に、空間と時間をコンピュータの中で圧縮して要素間の相互作用を逐一たどる数値シミュレーションが問題解明の唯一の方法となる。

数百kmもの広がりをもつ実際の空気の状態をたった1点の気象値で表現して解析するというのは、常識では考にいくことであるが、この枠組みを採用しても、緊がった地球大気全体の状態を一括して計算するためには途方もないコンピュータの記憶容量と演算速度が要求されるのである。IPCCは発足以来気候モデルの進展を強く促進しており、これに応じて日本でも2002年、640台のコンピュータを1つにつないで地球シミュレータという当時世界最高速のコンピュータシステムを組み立てた。世界の気候の研究者は気候モデルが出力する計算結果の検討を精力的に重ねてきた。気候モデルに用いられた典型的な水平方向の格子間隔は1990年のIPCCの第1次評価報告で500km、第2次評価報告では半分の250km、そして TAR の 180 km を経て AR4 では 110 km となつた¹⁾。地球温暖化とその人為的原因については TARまでの評価報告でも指摘してきたが、高解像度の気候モデルが現在までの気候のデータを従来よりも更に精度よく再現する傾向を得たことにより、今回高い信頼度を付して結論づけがなされたのである。

モデルの解像度が上がったことにより大陸の地形が一定のレベルでよく表現されるようになり、地域の気候の特徴もより精度よく再現されるようになった。一方、TAR後の2003年に起きたヨーロッパ熱波は極端に希な気象現象であったことから研究者の強い興味を惹き、イギリスのハドレーセンターの気候モデル研究者を中心にこの極端現象がどのように発生したかの詳細な解明が始まった。極端現象は狭い領域で起こり易いことから、とくに領域モデルが用いられている。領域モデルとは、数値シミュレーションの対象を地球上の比較的小さな領域に限り、領域内では格子間隔を狭くとって高解像度の計算を行う。領域の境界では地球全体を覆う全球モデルの出力とつなぐ。日本でも、ここ数年極端な集中豪雨の被害が深刻な問題となっていることから、気象庁は積乱雲の激しい発生と発達のダイナミクスがたどれる水平の格子間隔1kmの超高解像度領域モデルの開発を急いでいる。

2003年にはヨーロッパの熱波と対照的な冷夏が日本で起きている。中緯度帯にあるヨーロッパと日本の気象は上空の偏西風によって互いに関連しており、2003年夏の状況については亜熱帯ジェットと寒帯ジェットという2つのジェット気流の動向から解析がすすめられている。二酸化炭素などの温室効果ガス排出による地球温暖化は大気の運動を介して地域の気候に特徴的な影響を与えるはずであり、ヨーロッパの熱波と日本の冷夏の同時発現はこの過程が単純でないことを示している。発展してきた気候モデルが気候変動の今後の影響をより詳細に解析してくれることが期待される。

そこで、本稿では、二酸化炭素などの温室効果のメカニズムを議論した上で、気候モデルに基づくAR4の人為的地球温暖化の議論をたどり、気候モデルの進展が地球温暖化に伴う極端現象の解析に向かう現状について報告したい。

2. 二酸化炭素の温室効果

地球大気の温室効果は、 $1.5 \mu\text{m}$ を中心とした $4 \sim 100 \mu\text{m}$ の波長域をもつ地球放射を、分子の電気双極子を介した電磁相互作用により大気が吸収し、再放出に際して一部を地表に戻すことにより生じる。大気成分のうち3原子以上から成る分子は、自山度の多さにより、比較的小さいエネルギーの吸収で励起する振動準位および回転準位をもつ。これらの準位の励起エネルギーの大きさは地球放射の赤外線の光子エネルギーのエネルギー領域と広く重なる。

水蒸気は大気の1～数%を占め、成分比の最も大きい温室効果ガスである。水分子は酸素原子に2つの水素原子が結びついてできているが、H-O-Hの配位が104.5°の角度をもつ非対称な構造から、振動準位と回転準位の両方をもつ。最も低い振動準位はH-O-Hの角度を変化させる変角振動であり、その励起エネルギーは 3×10^{-20} Jである²⁾。この励起エネルギーは波長6.3μmの赤外線の光子エネルギーと等しい。すなわち、孤立した水分子は静止の状態で6.3μmの赤外線を吸収し再放出する。気体中の分子の場合、分子の運動に伴うドッペラー効果や分子間相互作用の効果により、分子の励起に伴って吸収される電磁波の波長は広がりをもつ。すなわち、吸収線ではなく吸収帯を形成する。大気中の水分子の場合この振動準位の吸収帯は6.3μmを中心として3μm程度の広がりをもつ。対流圈中・上層の水分子が水分子特有のこの波長帯の赤外線を吸収し再放出すると、この赤外線は気象衛星ひまわりによって捉えられ、大気中の水蒸気分布を知る手がかりとなる。一方、水分子の回転準位の励起エネルギーの大きさはこの最低振動準位の励起エネルギーの数分の1以下であり、十数μm以上の波長域がこの回転帯で占められる。この波長域は地球放射の極大域と重なる波長域となっている。以上の2つの吸収帯をもつことから、大気中の水蒸気は大きな温室効果をもつ。

二酸化炭素は大気中の成分比が2番目に大きい温室効果ガスであり、IPCCの報告によるとその大気中の濃度は2005年の時点で0.0379%（379ppm）であった。二酸化炭素は平衡状態での分子構造が中心の炭素原子と両側の酸素原子が直線上に並ぶ対称的な形をとることから回転準位をもたない。しかし、最も低い振動準位（変角振動、図1）の励起エネルギーは 1×10^{-20} Jと小さく、地球放射が極大値をもつ波長15μmを中心とする吸収帯をもつことで有意な温室効果をもつ。

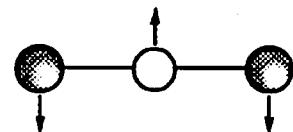


図1 二酸化炭素分子
の変角運動

二酸化炭素の吸収帯が水の回転準位の吸収帯と重なるので、水蒸気が多量に存在する場所では二酸化炭素の温室効果の重要性は減じる。しかし、二酸化炭素（および他の乾燥空気成分）の成分比は地球上の各点および地表から100km付近の上空まで殆ど変わらないが、水蒸気の場合飽和水蒸気圧が温度低下とともに急激に減少するため上空や極地方では水蒸気の成分比は著しく小さくなり、二酸化炭素の重要性は増す。また、もし大気中の二酸化炭素の温室効果により地表の気温が上昇すると、気温の上昇による飽和水蒸気圧の増加を介して水蒸気濃度の増加をもたらし、水蒸気の温室効果を増加させるという正のフィードバックが生じる。さらに、地球上の炭素循環は大気、海洋、土壌の間で二酸化炭素などを交換しており、気温の上昇は、大気と海洋、大気と土壌間の相互作用を通じて大気中の二酸化炭素濃度自体を増加させる可能性ももつ。

一方、地球の全体としての温度は、地球が太陽エネルギーを吸収しこれと同じ量のエネルギーを宇宙空間に放出する過程により決まるので、地球システムが太陽放射を直接反射する割合（アルベド）にも左右される。アルベドが増加すると地球の温度は低下する。大気中の水蒸気は増加した場合、大気中で水蒸気の凝結が促進される。水蒸気は凝結して雲粒になるとアルベドを高めるので地表の温度を下げる効果を持つ。水蒸気の凝結と雲粒の形成には大気中のエアロゾルが大きな働きをもつので、雲のアルベドの評価にはエアロゾル濃度も関与する。一方、雲もまた地表からの放射を吸収し上下に再放出するため温室効果をもち、この効果は雲の種類、例えば高度に依存する³⁾。

地表の温度を上げる効果を正の放射強制力、下げる効果を負の放射強制力というが、地球システムの中では様々な要素が正の放射強制力をもったり、負の放射強制力をもったりする。このように二酸化炭素濃度と地表気温との関係は多数の相互作用が絡まる極めて複合的な関係であり、含まれる諸過程を量的にたどることが必要になる。その具体的な解析を行う上で気候モデルによる数値シミュレーションが必須となる。気候モデルでは、各格子セルに対して水蒸気を除く温室効果ガスの濃度が外部から与えられる。その上で、水蒸気を含む各温室効果ガスの吸収・放射の特性が考慮され、放射伝達方程式により各層ごとに放射エネルギーを上下の層に伝達する量が計算され、地球の気温分布への効果が求められる。

3. 地球温暖化の数値シミュレーション

17世紀初頭に温度計が発明され、以後、気候を量的に観測し記録することが可能になった。図2は世界の気温データを収集して世界の平均気温を求めてきた地道な努力を示す一例である¹⁾。図ではもとの折れ線が移動平均によりスムーズな曲線に変換されている。示された解析値の大半は陸地の観測点からのデータ収集によるものであるが、Brohan et al. 2006と記され黒線で示された最も長期間にわたるものでは、陸地の観測点のデータに加え船舶により測定された海面温度のデータも解析に用いられている。Brohan et al.の気温値は、1961-1990年の平均からの偏差で示されており、Brohan et al.以外のものはその最後の30年間での平均がBrohan et al.と一致するよ

うに上下の調整を行って示されている。1900年以前は解析値間にバラツキがあるものの、1900年以降はすべての解析値が互いに近い値と振る舞いを示しており、全体として解析が信頼できるものであることがわかる。図2は、1940年から1970年にかけて気温の減少する傾向があったこと、そして、これ以外は今までの100年間が急激な気温上昇の期間であったことを示している。

AR4で報告されたシミュレーション結果を見てみよう。今までに、大気中の温室効果ガス濃度について過去どのように変化してきたかの詳しいデータが蓄積されており、図3はこれらのデータに基づく前世紀の世界の平均地表気温のシミュレーションの結果を示す⁴⁾。黒線が観測値（10年間の移動平均）で、気温値は前半の50年間の平均値に対する偏差で示されている。赤の帯はAR4で採用された世界の14個の気候モデルによる58のシミュレーションの結果で、帯の幅が58シミュレーションの5~95%が含まれる幅を示す。青の帯は、人为的な温室効果ガスの排出がなかったとしたときの結果で、5つの気候モデルによる19のシミュレーションの結果である。後者のような仮定で行うシミュレーションはコントロール実験と呼ばれ、シミュレーション解析の基準に用いられる。この図が現在の地表気温上昇が人为的な温室効果ガス排出を原因としておきていることを示す最も基本的な結果である。

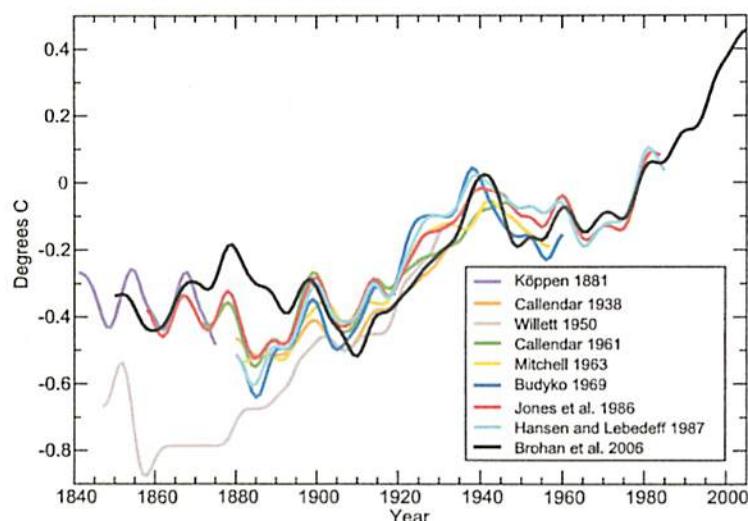


図2 過去160年間の世界の平均気温の観測値

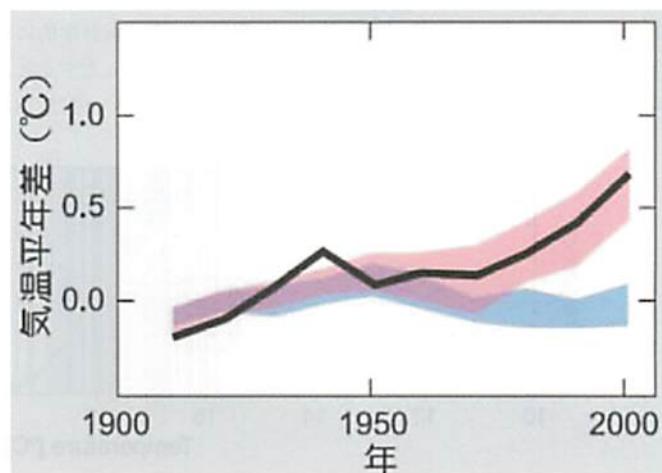


図3 前世紀の世界の平均気温の推移

黒：観測値、赤帯：気候モデルのシミュレーション
青帯：気候モデルのシミュレーション（人为的な温室効果ガスの排出がなかったとする場合）

4. 極端現象の数値的解析

地球温暖化という言葉は、山岳氷河の後退、北極の海水の減少、南方の島嶼の危機などの報道に接し、身近に高温現象、台風や洪水などの異常気象に接するたびに口をついて出るようになってきた。近年の異常気象の中で最も注目されたもののひとつが2003年の歐州熱波である。この年、8月に入つて歐州の気温は急激に上昇した。とくにフランスでは4日で最高気温が35℃を超える状況が13日まで持続した。この熱波によりフランスでは14,802人が死亡し、歐州全体では、WHO (World Health Organization) の調べで22,146人、EPI (Earth Policy Institute) の調べで35,118人が死亡した。図4はドイツのバーデンビュルテンベルク州（人口1,070万人）における日々の100,000人あたりの死亡数を表す⁵⁾。太線で示される平年の動向は冬季に死亡率が高く夏季に少なく、2003年2~3月に現れた偏差はインフルエンザの流行によるものである。2003年8月の偏差が際立つて大きいことが分かる。そして、暑さに伴う同様なピークが前年の6月にも既に起きている。

この年の夏季（6~8月）の平均気温の平年値からの偏差は南フランスで最大であり4℃を超えていた。図5はこの最大偏差域に近いスイス西北部の4つの観測所（Basel-Binningen, Geneva, Bern-Liebefeld, Zuerich）間で平均した夏季（6~8月）の平均気温のデータを示したものである⁶⁾。1864年から2003年までの140個の値が縦棒線で表され、1864年~2000年の平均値と標準偏差 σ (=0.94°C) にフィットする正規分布も描かれている。2003年を除くと1947年が最も暑かった夏であった。統計学的には個々の値が、 $<\text{平均値} - \sigma>$ と $<\text{平均値} + \sigma>$ の範囲に入る確率は6.26%であり、 σ を2 σ 、3 σ とすると、この確率はそれぞれ9.5%、44%、99.7%となるので、2003年の値 $<\text{平均値} + 5\sigma>$ がいかに極端な気温であったかが分かる。

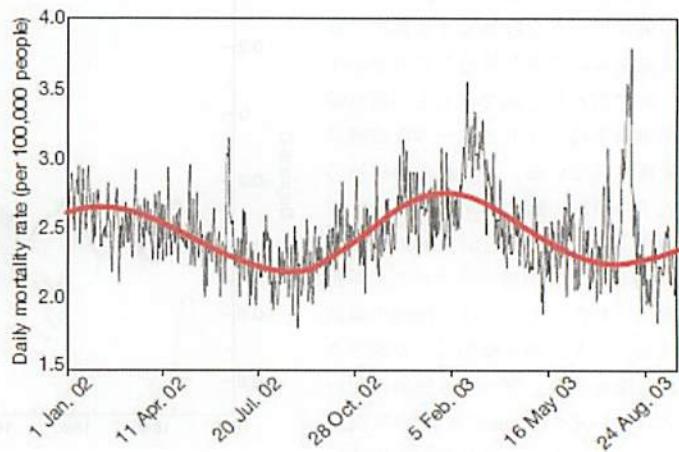


図4 ドイツのバーデンビュルテンベルク州の死亡数
2002年6月~2003年8月の死亡率

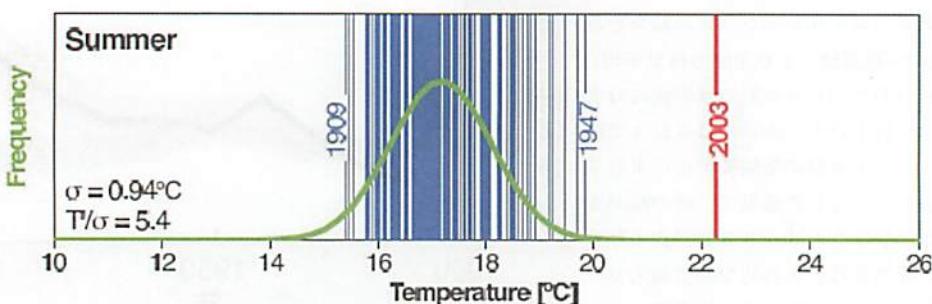


図5 スイス北西部の夏季の平均気温（1984年~2003年）

この異常な熱波を体験した欧州ではイギリスのハドレーセンターを中心に、気候モデルを用いて人为的温室効果ガス排出がどのように極端な高温現象発現リスク（気温の偏差がある閾値を超える確率）に影響するかの解析が始まられた。図6は、ハドレーセンターの全球の気候モデル（HadCM3：水平解像度110km）により、1989年の観測値からモデルの各格子点における気象値の初期値を定め、2100年までの200年間の気候変化のシミュレーションを行った結果である⁷⁾。

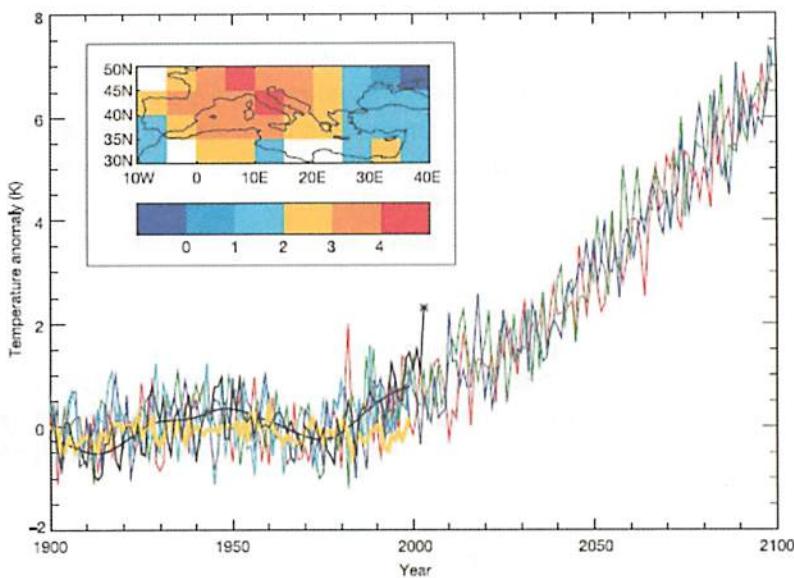


図6 南ヨーロッパを含む $30^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N}$ 、 $10^{\circ}\text{W}-40^{\circ}\text{E}$ の領域の夏季の平均気温の過去100年間の経年変化と未来100年間の予測の数値シミュレーション

図には南ヨーロッパを含む $30^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N}$ 、 $10^{\circ}\text{W}-40^{\circ}\text{E}$ の領域の夏季（6-8月）の平均気温について、観測値（黒の折れ線：1961-1990年の平均からの偏差）、観測値の10年間の移動平均をとったもの（黒の太線）、およびシミュレーションの出力から求めた平均気温が描かれている。シミュレーションの結果のうち、黄色の折れ線は人為的な温室効果ガス排出を除いた場合（コントロール実験）、赤、青、緑、青緑は人為的な温室効果ガス排出を含めて計算した場合の結果を示す。赤、青、緑、青緑間の違いは1989年の観測値から決めた初期条件の違いによる。ちなみに、観測値から気候モデルの各格子点の気象要素の初期値を矛盾なく定める手続きは様々な注意を要する作業であり、4次元同化と呼ばれる手法がとられる。大気現象の非線形性はよくバタフライ効果という言葉で表現されるが、初期値の僅かな違いによりその後の気象には大きな違いが生じる。そこで気候モデルのシミュレーションにおいても、初期値を1つの決め方に限定するのではなく、いくつかの組み合わせを用意しその数だけのシミュレーションを行って結果を検討することがなされる。また、観測値に対する移動平均（黒太線）は不要なノイズを消去するフィルタリングの役割を担う。図6aは経年変化の前半部分を拡大したものである。

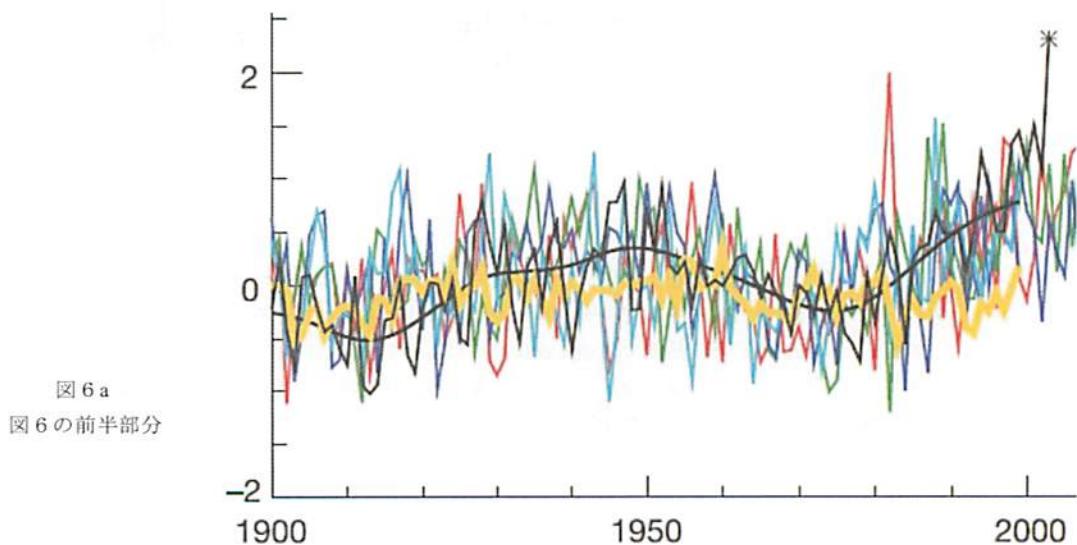


図6a
図6の前半部分

赤、青、緑、青緑の線はいずれも黒の太線で表される欧州の夏季気温の実際の傾向をよく再現していく、現在の気候モデルの気候再現能力の典型的な状況を表している。一方、黄色の線（コントロール実験）は黒太線から大きくはずれ、現実の温暖化の傾向を表していない。また、年々の変動の幅についてみると、赤、青、緑、青緑の線は、黒の折れ線が示す実際の変動幅に近い変動幅をもつ。これに比べてコントロール実験の出力は変動の幅が小さい。以上の結果は、人为的温室効果ガス排出が、気温の平均的な上昇をもたらすだけでなく、より大きな年々変動をもたらす効果をもつことを比較的明確に示しており、近年の異常気候に関して我々がもつ感覚と矛盾しないものになっている。黒の折れ線上に2003年の値が星印でマークされているが、赤のシミュレーション結果は1980年代前半に同様に極端な偏差値を出力している。

図には、さらに赤、青、緑、青緑のシミュレーションを2100年まで延長した結果が示されている。この計算は、IPCCの排出シナリオ（SRES:Special Report for Emission Scenario,2000）のA2のシナリオで定義された年々の（水蒸気以外の）温室効果ガス濃度が採用された数値シミュレーション（シナリオ実験）である。A2は経済を重視した地域志向のシナリオであり、化石燃料の燃焼および産業のプロセスによる二酸化炭素排出が、炭素換算で、2000年の69億tから2100年には289億tに増加することを想定する。2000年以前に比べて極端な気温の偏差が現れる頻度が増加する可能性を強く示唆するシミュレーション結果になっている。

二酸化炭素などの温室効果ガスの排出による地球温暖化が極端現象の頻度を増加させているのではないかという疑問は、より解像度の高い領域モデルを用いた数値シミュレーションでも解析された⁶⁾。図7は、水平格子間隔が56kmである領域モデルで、過去の1961-1990年の30年間および未来の2071-2100年の30年間の欧州の夏季（6-8月）の平均気温のばらつきについて数値シミュレーションを行った結果である。ともに人为的な温室効果ガスの排出が取り込まれている。1961-1990年については観測された大気中の温室効果ガス濃度、2071-2100年についてはSRESのA2のシナリオが採用されている。図には30年間の平均値と標準偏差にフィットする正規分布も描かれている。このシミュレーション結果は、110年間で平均気温が4.6℃上昇するとともに、その年々の変動幅が2倍に広がるという内容であり、上述の全球モデルによる研究が引き出した結論を強く支持するものである。

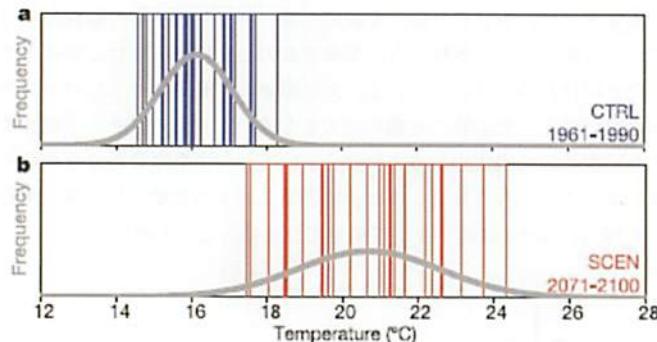


図7 1961-1990年及び2071-2100年の
欧州の夏季の平均気温のシミュレーションの比較

5.まとめ

オゾンホールの問題と異なり、地球温暖化の解明には気候モデルの役割は本質的である。気候モデルは膨大な数の要素がからむ地球システムをコンピュータ内でシミュレートする方法であるので、その出力に対しては慎重な解釈が必要となる。今気候モデルは世界の研究機関で急速に改良が重ねられており、今までの地球の気候データを従来にして正確に再現することで、人为的な温室効果ガス排出による現在及び将来の地球温暖化を明確に示した。気候モデルは2003年の極めて極端な高温現象の発生に対しても素早くその能力を発揮し、人为的な温室効果ガス排出が温暖化のみではなく異常気象の頻度と強度の増加とも本質的に結びつくことを示唆している。

欧洲が極端な熱波に襲われた2003年の夏、高気圧がオホーツク海に卓越し日本は冷夏に見舞われた。米の作況は日本全体で92%、ヤマセ（北東気流）の被害を受けた米どころ東北地方の各県では71~78%ととくに低かった。このとき欧洲も強い高気圧に覆われていた。高気圧の下降気流により土壤は乾燥し急激な地温上昇に繋がった。欧洲と日本が位置する中緯度帶の気象は偏西風の動向に決定的に影響される。2つの高気圧は上空のジェット気流の蛇行を介して繋がっていたとの指摘がある⁸⁾。ジェット気流の蛇行には海陸の温度差が強く影響するが、熱せられた欧洲大陸に対し北大西洋に負の海面温度の偏差が持続したことも指摘され、日本の冷夏との繋がりを明らかにするための数値実験も始められている⁹⁾。この海域は、地球温暖化の過程で熱塩循環が弱まることにより、地球上の他の海面と異なり水温上昇が抑えられるとの予測がAR4でなされている。

管野¹⁰⁾は、夏季（6~8月）の稚内と仙台の気圧差の経年変化を調べ、1982年以降明確な5年周期があることを見いだし、2003年の冷夏がこの周期性に沿って起きていることを指摘した。そして、この周期性をエルニーニョの周期性と関連づけている。図8は帯広の夏季（6~8月）の平均気温の経年変化をプロットしたものであるが、ここにも同様の周期性が現れている。とくに1982年に始まる10年周期が明確であり、また、管野が指摘する低温年の翌年に高温年が現れる傾向も顕著である。地球温暖化の影響が海洋や大気の運動を介して地球上の各地域に及ぶ過程が気候モデルを通して詳しく解明されていくことを期待したい。

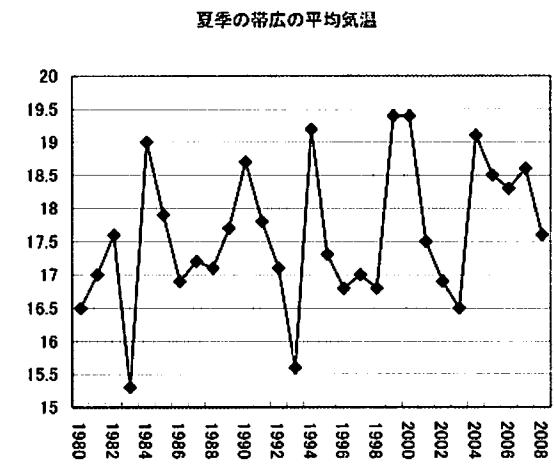


図8 1980年以降の夏季の帯広の平均気温（℃）

参考文献

- 1) IPCC Fourth Assessment Report (AR4) "Climate Change 2007", Working Group I Report, Chapter 1, 2007.
- 2) Jack Barrett: Greenhouse molecules, their spectra, and function in the atmosphere, Energy & Environment, Vol. 16, pp.1037-1045, 2005.
- 3) 地球温暖化の科学、北海道大学大学院環境科学院編、北海道大学出版会, 2007.
- 4) 気象庁: IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約, 2007.
- 5) C. Schaefer and G. Jendritzky: Hot news from summer 2003, Nature, Vol.432, pp.559-560, 2004.
- 6) C. Schaefer et al.: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, Nature, Vol.427, pp.332-336, 2004.
- 7) Peter A. Stott, D. A. Stone and M. R. Allen: Human contribution to the European heatwave of 2003, Nature, Vol.432, pp.610-614, 2004.
- 8) 前田修平,他: 2003年夏の北半球ダブルジェット, 天気, Vol.52, pp.586-590, 2005.
- 9) 木本昌秀,他: 欧州熱波と日本の冷夏 2003, 気象研究ノート第210号, pp.155-160, 2005.
- 10) Hiromitsu Kanno: Five-year cycle of north-south pressure difference as an index of summer weather in northern Japan from 1982 onwards, Journal of Meteorological Society of Japan, Vol. 82, pp.711-724, 2004.

次期学習指導要領について (『物理基礎』の登場)

札幌旭丘高等学校 横関 直幸

本記録は物理教育研究会（本支部主催、2007年12月15日（土） 北海道大学 人文・社会科学総合教育研究棟 3階W310室）の全体討論をまとめたものである。全体の議論の流れがわかるように配慮し再構成したため、発言の主旨をそこなわない程度に表現をかえて記載した部分があることを了承いただきたい。また、本記録は新しい高等学校学習指導要領が示された後、さらなる議論を深めるための基礎資料としたい。なお、発言者の所属は当時のものである。

司会：横関 直幸（札幌旭丘高校）

今、最もホットな話題としては、新しい学習指導要領の骨子が公表された。文科省のホームページで公開されているものを今回の資料とし議論したい。高校関係者には説明不要だが、大学関係者も多いので、現在の高等学校学習指導要領の内容について、若干の説明をしておきたい。

現在の高等学校理科では、必履修科目を以下のように定めている。

『 理科のうち「理科基礎」、「理科総合A」、「理科総合B」、「物理I」、「化学I」、「生物I」及び「地学I」のうちから2科目（「理科基礎」、「理科総合A」及び「理科総合B」のうちから1科目以上を含むものとする。』

北海道高等学校理科研究会の調査では、大学入試を受験する生徒が多い学校の場合、「理科基礎」、「理科総合A」、「理科総合B」の中から1科目を履修し、「物理I」、「化学I」、「生物I」及び「地学I」から1科目以上を履修するパターンが多い。小規模校や定時制課程では「理科総合A」と「理科総合B」を必修にしているところもある。

「物理I」、「物理II」はそれぞれ3単位が標準単位となっている。「物理II」で特徴的なこととして、物質の物理的な性質が原子や分子などの運動によってもたらされることを理解させる「物質と原子」と、光や電子の波動性と粒子性、原子や原子核などを、基本的な概念や原理・法則から理解させる「原子と原子核」の2つの領域については、生徒の興味・関心等に応じていずれかを選択することができることになっている。「物理II」に選択領域があることについては、「やりにくい」という意見が少なからず高校現場にある。

現在、改訂が進められている新しい学習指導要領の特徴としては、理科の必履修科目が2科目(4単位)または3科目(6単位)となることがあげられる。「科学と人間生活」と「基礎を付した4科目のうち1科目」(計4単位)、又は、「基礎を付した4科目のうち3科目」(計6単位)のいずれかを選択必履修とする案である。「科学と人間生活」をやらない場合は、「物理基礎」「化学基礎」「生物基礎」「地学基礎」(それぞれ2単位)から3科目を必履修するのが新しいところだ。また、「物理基礎」が2単位で、その後に4単位の「物

理」がつながることになっている。これは本学会の希望が受け入れられた結果であるということを聞いている。

現在、学習指導要領が決定していないので、どこの学校でもまだ検討していない状況ではあるが、履修者数が少ない地学を除いて考えれば、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」の3科目を必履修とする学校が増えるのではないか、3科目の中で「物理基礎」はどこに位置づけられるのか、1年生か2年生か、前期か後期などについて、各学校で考えていくことになる。

センター試験の科目はどの科目が設置されるのかは、今後注目すべき内容である。「物理IA」と「物理IB」のセンター試験があったときのように、「物理基礎」と「物理」の2科目が置かれる可能性はあるのか、基礎を付した科目から3科目とするのか、本学会を通して高校の側から大学に対して意見を提示するようなことも必要になるかもしれない。本支部で話がまとまり、北海道の各大学に対して物理教育に対するビジョンを示した情報発信ができれば、本支部の活動も大きく広がることになる。

石川 昌司（札幌啓成高校）

本学会が希望していた内容が受け入れられたということを歓迎している。しかし心配もある。高校が自校のカリキュラムを作るときは、たいがい教科間での単位の奪い合いになる。現在普通科高校の場合、理科の単位数は、1年生で3~4単位、2年生で同じく3~4単位、3年生では理系文系に分けているところで、理系の生徒は6~8単位といったところだろうか。指導要領が変わっても、この辺の事情に変化がないとすれば、理科は、1年2年の合計で最大でも8単位程度しか取れないということになる。今回示された案でいうと、基礎を付した科目を3科目取るとそれだけで6単位になり、1年生の1月から始めて最初でも2年の前期までかかる。基礎のつかない科目の方は、基礎を付した科目の後から扱うことになるだろうが、それを2年の後期から始めて卒業までに全部終われるのかどうか、微妙な感じだ。

今回の改訂では、その世代の50%以上の日本人が、物理を履修することになると思われる。最初に言った通り、このことは基本的に歓迎すべきことである。しかし、それだけの人が物理を履修することになれば、当然予備知識やモチベーションに差の

ある生徒達に授業をすることになるので、教師の側の力量が改めて問われることになるだろうと思う。

横闇 文科省の方針としては、今まで理科が少なかったから理科を増やそうという主張もあるので、その点では理科6単位をやろうと主張したいところ。他の教科も自分のところが必要だということで調整がたいへんになるのが、カリキュラム改定の度に多くの学校で起こっていることではある。

佐藤 健（札幌啓成高校）

卒業生を見ると、どの分野に行っても理科の内容でこれを知らないで困ったなということはけっこうある。だから、理科3科目をやるといいのはいいことだ。ただし、基礎にどういう内容をもつてくるか分からないので不安はある。生徒の将来を考えた適切な内容になってほしい。3科目を少ない単位でもやることは、いいことだという感じがしている。

堀 輝一郎（札幌開成高校）

小規模校の立場からは取りやすいという印象をもった。小規模校ならば「科学と人間生活」と「基礎を付した科目」から1科目を履修することになりそうだ。今まで工業高校では1単位で理科が終わってしまうことが多い。小規模の高校でも物理を含めてとりやすくなったということではないと思う。大規模校や進学校ではいろいろと複雑かもしれない。

横闇 ここで本学会のワーキンググループで要望した内容がかなりの部分で取り入れられたことについて、補足説明をお願いしたい。

大野 栄三（北海道大学大学院教育学研究院）

理科の必修が3科目になったのは、本学会が強く要望したこともあるかもしれないが、未履修問題が起きたことが追い風になつた大きな理由ではないかと言われている。現在やっている「理科総合A」や「理科総合B」についてである。「理科総合A」は物理と化学の分野になっているが、ある高校では定期考査の内容が生物だということがあった。東京都の教育委員会は、それはそれでしようがないという対応をしていたようだが、文科省としては世界史や情報の二の舞はごめんだということがある。「科学と人間生活」はSTS(Science, Technology and Society)の色彩がある内容だが、これはこれとしておいておく。「科学と人間生活」のような科目をおきたい地方の高校は多いが、それにあわせると未履修問題につながるような事態が心配される。そこで、理科総合A・Bのような形でもっていくのはやめようということになった。それが一番大きな理由だ。

「物理基礎」2単位、その上に「物理」4単位で、この2単位と4単位の分け方がよいかどうかは問題だった。2単位にしたが故にや

りきれない部分が出てくる。ワーキンググループの議論では3単位ほしいという意見があった。やはり物理の基礎としては3単位ほしいという声がある。しかし、そうすると2科目選択必修としか出せないことになる。そうすると物理をやらないというのは目に見えているわけで、何のために物理教育学会が提言を出すのかわからない。だからといって3単位3科目というのも、これまた落としどころとしては難しい。ということで2単位3科目になった。そういう意味では非常に現実的な結論だった。

問題は何を2単位にするかという内容だ。荒っぽい表現をすれば、過去の「物理IB」から「運動分野」を取り去ったような感じにワーキンググループの中ではなかった。2次元の運動はやらない（水平投射は微妙）で、1次元の運動で運動法則はしっかりとやる。摩擦も μN はやらないが、摩擦力は摩擦力としてやる。垂直抵抗力とどういう関係にあるのか、最大摩擦力などは扱わない。それぐらいの力学と、電磁気と熱の一部分というイメージ。ただし、はつきりとはまだ決まっていないので、これから議論しないといけないということになる。もう文科省に意見をいうのは終わっているが、学習指導要領が出てきたときに、こちら側がどう受けしていくのかを考えると、何をやりたいのかが、こちらもわかつていないと料理できないのでそれは議論していきたい。どんどん意見を出していただきたい。学校によっては加配などの事情もあると思うが、それも視野に入れて「物理基礎」の上の「物理」4単位分の一部をどう下ろせるかなど、ワーキンググループとしてはこれから議論したいと思っている。

横闇 前・後期に分けている高校も多いと思うので、大学進学者がある程度多い学校であれば、理科6単位を2年の前期までにやれないので、残った2年の後期と3年の前・後期で4単位の生徒もいれば8単位の生徒もいるというのが私のイメージだ。各高校のカリキュラム編制で頑張っていただきたい。心配しているのは、8間口の大規模校であれば1年で化学基礎と生物基礎、2年の前期で物理と地学の選択ということはありえる。その場合は物理の履修は必ずしも増えないかもしれない。各学校で事情は様々であろう。

次に、「物理基礎」2単位で何を全員に教えるべきかを考えたとき、どのような意見があるか伺いたい。

石川 真尚（札幌福西高校）

現状では、計算が複雑なものとなるべくないような運動、そして熱に関係してエネルギー関係、というイメージだ。日常と強く結びついた応用的なもの、どんなところで、どういうふうに使われているかなどの応用例で2単位を行いたい。理系の生徒に物理をどうやって履修してもらうかという問題は残るが、全員に物理基礎をやらせるのであれば、教科書を前面に出さない、しつこくならない形で扱うと思う。

大野 ワーキンググループで議論したときに、センター試験で

良い問題ができるような2単位にしないとまずいというのがあった。あまり「みんなの物理」とやってしまうと、センター試験の問題を作りようがない。逆に言うと、高校でこのように教えているから、こういう良い問題を出してもらえばこれに対してこう教えるということを示せないか。高校の教え方にセンター試験が合わせていくというような、センター試験を上手く使うことを考えられないか。センター試験の評価というのを毎年、物理教育学会が全国の高校の先生の協力でやっているが、あれをもう一步進めてみるのもいいのかもしれない。こういう良い問題があつて、それに備えてこういう授業をやっている。大学と高校の教員が集まって議論したが、そこが気になっているところで、これからも検討していきたい。

坂田 義成（札幌市立山の手養護学校）

私の学校は小中高とあるので、小中の方もずいぶん注目して審議のまとめを一通り読んでみた。その後で物理教育学会からの意見が出ているのを見て、基本的には十年前の教育課程にもどつていく印象だ。つまり、読み書きそろばんは小学校でしっかりと、スパイラルで、ドリルを使って叩き込む。そのために国語や数学、理科、社会の時間数も増やしていく。基本的に良い方向にいったのではないかと見ている。

ただ、気になる点はある。小学校の段階について、現在の改定されたもの、審議のまとめの段階でも「身近な自然について児童が自ら問題を見いだし見通しを持った観察実験などを通して・・・」と書いている。初めて科学を学ぶ児童に「問題を見いだせること」是不可能で、これは物理教育学会も次のように言っている。「見通しを持たせることは不可能で、適切な指導の下での観察によって最も基本的な科学概念の定着を図るべきだ。したがって『自ら問題を見い出し見通しをもった』の箇所は削除することを要望します」と。私は本当にこの通りだと思う。小学校、中学校の授業を見ると、オープンエンドで、全然結論が出てこない。生徒はただ何かやって、実験みたいのをやって、話し合ってそれでおしまい。基本的なことが何もわからない子が高校にくることになる。高校にきて急に「〇〇の原理」とか、「〇〇の法則」をやるからわからない。当たり前のことであって、やはり小学生には人類がずいぶん長い時間をかけて積み上げてきた基本的な法則はどんどん教えていかなければいけないし、それを100%原体験から導き出すなんてことは絶対にできない。物理教育学会の指摘は大事なことだ。

同じような観点で中学校も、国語、社会、数学、理科については時間数を増やしている。今よりはいい方向にいくのではないか、いわゆる基本的なことをきちんと身につけた子供が高校に入ってきて、高校に入学したら少し深く探究するような形に入っていくべきだ。高校では系統性を重んじた、いわゆる思考力を要求するような理科を教えていくのがよいのではないか、そのような提言をされているので、中教審の答申に是非反映させてほしい。日本

理化学協会でも似たような要求を出している。

大野 小学生が見通しを持って・・・の部分だが、小学生には考える手立てを獲得させてあげたい。小学生の発達段階では、小学生なりの考える手立てがあつて新しいことを学んでいい。そのためには着実に教えていかなければならないことは教えていくといふのはワーキンググループのコンセンサスだ。しかし、今回一つ気になっているのは、PISA型学力についてだ。PISA型学力に対応しないといけないというような風潮というか至上命題のようなものがある。どうも日本の子供たちはPISA型学力がついていないという前提があって、読解力をはじめとして何かやれというようなことがきそうだという心配がある。ワーキンググループの意見にもあったが、レポートを書かせるとか考察させるといったこと、あの部分にPISA型がある。下手をすると総合学習の時間が減ったが、理科は時間が増えたので、今度は理科の中でPISA型学力対応のことをいっぱいやれとくれば混乱する。それにどう対応していくか、そこも現場の先生に知恵を出していただきてやっていかなければならない心配はある。

近藤 敏樹（札幌手稻高校）

今回の改訂は、理科総合A・Bの弱点を解決した形にはなっている。理科3科目を履修するのが本当にいいと思うが、いろんな先生と話をしたところ、「科学と人間生活」と「基礎を付した科目」1科目の2科目4単位ではないかと言われる。「理科総合」が「科学と人間生活」の方に移ってしまって、同じようなことになる危惧が見受けられる。私としては「物、化、生」や「化、生、地」という3科目を必ずとるような形が、必修6時間になるが、それがベストだと思う。他教科の先生方もそのようには思っているが、単位の取り合いの関係で、「化学基礎」と「科学と人間生活」になってしまいではないかと予想している。その辺はセンター試験との関係があるが、ある情報では、「総合的な理科」のセンター試験、3教科とならないと受けられないような試験という話題もある。そうなった方がいいと実は思っている。「科学と人間生活」の内容がまだわからないのではつきりしない面はある。

大野 もっと昔はみんな何を心配していたかというと、理科3教科2単位ずつとるというワーキンググループの提案ができた本当の理由は、他の学会などが開いたカリキュラムの提案が、「総合理科」みたいだったから。物質の科学とか、現代人のリテラシーなどをいたれた「総合の理科」みたいのが出ていた。それを見ると物質化学、生命科学、地球科学があるが、物理は後ろに退いてしまう。それぞれが必要なのはわかるが、それは飲めないというのが物理教育学会の提案で、それから始まったという経緯がある。「総合の理科」みたいのが最初は勢いがあったが、それがつぶれた理由は未履修問題、「科学と人間生活」を2単位分やるというのはあると思うが、ワーキンググループではこれについては全然視野に

なく、議論はしてなかつたが、おそらくいろいろ高校の到達度のレベルの問題で、そういう科目は設けられるだろう。「科学と人間生活」とあるが内容は生物ばかり、という心配は確かにある。そのときは、われわれがどうするかわからないが、私個人の意見は「額面どおりのことをやれ」ということだ。もう、読み替えないかやらないほうがよいということ。高校生はわかっているから、大人がそんなことやって聞き直しているのは本当はおかしい。それがいやだったら学習指導要領に文句を言うのが筋で、未開拓問題につながるような読み替えはやるべきでないと発信するのが学会の仕事である。学習指導要領が決めた内容から逸脱しないようにやれ、そういう運動というか、提案をやるかどうかはわからない。その議論はワーキンググループではやっていない。

横関 日本の多くの大学が、複数の「基礎を付した科目」をセンター試験においてもらって、4単位の方はセンター試験になくなれば、たぶんどの高校も理科3科目をやるのではないか。必要な大学は2次試験の科目を工夫すればよい。センター利用の私大も含めて、つまりセンター試験の科目に「基礎を付した科目」のみで、文系でも2科目以上やることになれば、1,2年生の前期までで理科3科目をやる高校は増えるのではないか。よくないことだが、高校現場は大学入試で左右される。個人的にはセンター試験の理科の科目数が増えればいいと考えているが、校内で発言しても異論が多いだろうし、大学にも受け入れられない気はしている。

佐々木 淳（北海道立理科教育センター）

今回、物理教育学会の希望が通ったということで、科学技術の進歩や、市民の科学的な教養についての支援を、本学会がますますお願いしなければならないと感じた。マスコミの情報を鵜呑みにするわけではないが、今後は確かにいろいろな課題が出てくると思う。例えば「表現力」や「PISA型の学習」。これらがいきなり押しつけられるようでは心配だ。もちろん、必要な部分は当然あると思うので、まずは変化に対応した学び方を身に付けていかなければならぬだろう。例えば、一問一答式の選択の形の学び方だったら点数は高いが、記述式になると白紙が多い、という子どもたちの現状などは改善する必要があると思う。自分が現場にいたときには、何とかならないのかと思った。選択式だけではなくて説明させるような問題が大学入試にもっと増えないのか、とも思った。

また、子供たちが教科や科目を選択するときに、「これはいる科目、これは捨てる科目」などと考える傾向はないだろうか。あつてはいけないはずだ。なんとかしていろいろなものを学ぼせながら、特に、私は理科の教師なので、科学的な教養を高めていくという方向で子供たちを支援していきたいと思っている。

教育の動向については、どういう風に結論が出てくるかわからないが、子供たちの学びが20世紀とは変わっていかなければならぬことは確かなので、どう変えていくのかという少し先を見通

した情報を物理教育学会として発信していけばと思う。

石川(昌) 大学入試については、センター試験を抜きにしては語れない。ところが、新しい指導要領の年のセンター試験の内容がどうなるのか、全く情報が入ってこない。それだと高校は、出口がどこにつながっているのかわからないトンネルの中で、暗中模索状態で新課程のカリキュラムを作ることになり、大変苦労することになる。大学入試センターの方には、できるだけ早くビジョンというか、素案でもいいので示してもらうように要望したい。

また、基礎を付した4つの科目から3科目を選んで学習してきた生徒が受ける望ましいセンター試験の出題形式として、出題された問題のすべてを解くのではなく、そのうちの何問かを選んで解けばよいという形式はどうだろうか。例えば、20題出題されていたらとしてその中の12問を自由に選んで解け、というような。

物理教育学会の希望通り、過半数が物理基礎2単位を取る時代になっていくと思うが、その時に、内容を簡単にして生徒のウケを良くするようなやり方をしたのでは本末倒置である。内容のレベルは下げずに、しかし楽しくというか、子供が楽しめるような授業が出来るように、物理教師は努力をしなければならないと思う。

大野 今回の案は大変だがチャンスもある。これをを利用して本支部の会員が一人でも増えてくれるとうれしいと思う。

横関 これから議論するというスタートラインには立てたのではないか。生徒たちが、物理をきちんと理解することは目的にしたいものだ。例えばジャンプしたときにどうして地面が先に動いていかないのかを、きちんと説明できる高校生は、現状ではあまりいない。そういうことがしっかりと説明できたり、自分が生きている自然の中のことを正しく理解できるような、感覚だけではなくてそういう力をつけていきたい。単なるウケ狙いではなく、生徒が発する「ナンデ! ?」という言葉が、感嘆詞のついた驚きの「何で! ?」だけではなく、本当に知りたい「何故? ?」になるような授業を我々がやっていかなければならないし、物理の先生以外が物理を教えることにもなると思う。その時に本支部がこんな授業をやってくださいということを発信していくことはとても大事だ。北海道は小規模校が多いので、みんなで頑張っていきたい、という気持ちだ。理科センターと道教委とも協力はしていきたいが、やはり本学会しかできないことも多いはず。もちろんいろいろな団体や横関と協力してみんなでやっていくということを最後に確認しておきたい。

ラザフォードゆかりの地を訪ねて

北海道札幌清田高等学校 鶴岡 森昭

2007年5月連休に、近代自然科学の形成に関った哲学者（科学者）の足跡を追ってイギリスを訪ねた。ケンブリッジ大学では物理学の世紀である20世紀の幕開けを創出した旧キャベンディッシュ研究所を訪ねることができた。そこはあの原子の有核モデルを世界に先駆けて提唱したラザフォードが研究生活を過ごした地でもある。更に、2008年5月下旬、ラザフォードの故郷の地ニュージーランドのクライストチャーチを訪れた。それぞれのゆかりの地に立ってラザフォードの足跡を見聞きし、考えたことの一端を紹介する。

Keywords: Ernest Rutherford, History of Science, Science Education

1. 旅の日程

- (1) 前回 2007年4月29日～5月5日
イギリス／London, Cambridge



図1 BR ケンブリッジ駅

- (2) 今回 2008年5月24日～5月30日
ニュージーランド
25日～28日 Christchurch
28日～30日 Auckland

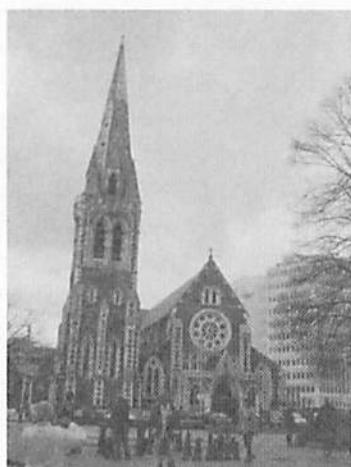


図2 クライストチャーチ大聖堂

2. Ernest Rutherfordの生涯（概略）

- 1871年8月30日 New Zealand 南島 Nelson の南西に位置する Spring Grove で農業技師の父 James と母 Martha の12人兄弟の4番目の子として出生した。
1883年 父の家業で Pelorus Sound 海岸の Havelock に引越す。その中学校に通い、後に妻となる May Newton と出会う。
1890年 Christchurch の Canterbury College に入学。在学中に電波検知器を作り、鉄の磁化に関する論文で理学士号を得る。
1895年 国の奨学金を得て、イギリス Cambridge 大学 Cavendish Laboratory の研究員となる。 J.J.Thomson の指導の下で、気体の電気伝動の研究を始める。
1898年 ウランから2種類の放射線（ α 線と β 線）が出来ていることを発見した。 May Newton と結婚。 Canada・Montreal の McGill 大学の教授となる。
1899年 放射線のアルミ箔の透過を調べ、 α 線と β 線の分離に成功。
1900年 γ 線が電磁波であることを示す。 Frederick Soddy (1877 - 1956) と共にラジウム、トリウム、アクチニウムの研究に取り組み、放射性元素が互いに移り変わることにより、半減期の概念を作る。これは後に岩石の年代測定に用いられるようになる。
1902年 元素が放射線を放出すると別の元素に変わる「放射性元素変換説」を提唱。
1903年 王立協会会員となる。
1907年 Manchester 大学教授となる。 Hans Geiger (1882 - 1945) と共に α 粒子の計数に成功。これ

は後にガイガー・ミュラー計数管として実用化される。

1908 年 α 線をガラス管に集め、放電スペクトルを調べることで α 線がヘリウム原子核であることを発見した。「元素の崩壊および放射性物質の性質に関する研究」により、ノーベル化学賞を受賞する。

1911 年 Geiger 等と共同で α 線の散乱実験を行い、原子核を発見。この実験結果に基づいて原子の有核模型を発表する。

1914 年 ナイトに叙せられ、Sir Ernest となる。

1917 年 Cambridge University Cavendish Laboratory の所長となる。

1919 年 α 線を窒素原子に衝突させ、酸素の同位体が生成することから原子核の人工変換を実証した。

1920 年 中性子の存在を予言。弟子の J.Chadwick が 1932 年に発見した。また、重水素の存在を予言。

1925 年 ロンドン王立協会会長となる。

1931 年 男爵に叙せられ、Lord Nelson となる。

1937 年 ロンドンで死去。66 歳。

1997 年 原子番号 104 の元素が Rutherfordium と命名される。

3. Cambridge Cavendish Laboratory

1874-1974 のほぼ 1 世紀の間、イギリス Cambridge 市内中心部に Cavendish Laboratory があった。ゆかりの自然哲学者は、初代所長を務めた電磁場理論の完成者 C.Maxwell(1831-1879)、音響学の研究や W.Ramsay(1852-1916) と共同でアルゴンを発見した。Rayleigh(1842-1919) で、2 人とも Trinity College の出身である。1904 年ノーベル物理学賞受賞者がこの Rayleigh である。1897 年にこの研究所において、J.J.Thomson(1856-1940) が電子を発見し、1906 年ノーベル物理学賞を受賞した。彼の弟子であった E.Rutherford(1871-1937) は原子模型等の研究で 1908 年ノーベル化学賞を受賞し、彼の指導の下で J.Chadwick(1891-1974) は中性子を発見し 1935 年ノーベル物理学賞を受賞した。J.D.Cockcroft(1897-1967) と E.T.S.Walton(1903-) はイオン加速器を作つて陽子による核反応に成功し 1951 年に共にノーベル物理学賞を受賞した。素粒子研究に多大な貢献をした霧箱の発明者である C.T.R.Wilson(1869-1959) は 1927 年ノーベル物理学賞受賞者。この研究所からは枚挙に暇がない程多くの歴史

に残る自然哲学者が輩出した。正に物理学の世紀である 20 世紀を創出した研究機関であると言つても過言ではない。



図 3 ケンブリッジ旧キャベンディッシュ研究所の建物



図 4 旧キャベンディッシュ研究所記念プレート



図 5 J.J. トムソンによる電子発見の記念プレート

1974 年にこの研究所は西 3 キロメートル程に建てられた新館に移転された。

4. Rutherford Den



図6 クライストチャーチ ラザフォードデンの建物

New Zealand 南島 Canterbury 州の州都 Christchurch の市街中心部に Canterbury 大学があった。現在も芸術学部の校舎として使われている建物の一廊に、当時 Rutherford が学部生として学んでいた自然科学系の講堂や研究室がある。その建物の一部は博物館として残され Rutherford Den と呼称されている。中心街から西の地域に移転した現 Canterbury 大学のキャンパスでは、物理・化学の建物には Rutherford 館と名付けられている。



図7 ラザフォードデンの内部

図8 ラザフォードによる α 線散乱実験の説明図

図9 カンタベリー大学内のラザフォード館

5.まとめ

放射性物質の研究の過程で α 線を発見しその正体がヘリウム原子核であることを突き止め、その粒子を用いて散乱実験を行い、その実験結果を説明するために有核モデルを提案した。Rutherford のこの研究の足跡の一端を現地を訪れ、探ることができた。

文献

- 1) 高野義郎：ヨーロッパ科学史の旅、NHK ブックス、1988.
- 2) 伊東俊太郎他：科学史技術史事典、弘文社、1994.
- 3) フリー百科事典『ウィキペディア』
- 4) A project of The National Science -Technology Roadshow Trust, "Rutherford - the story of a kiwi genius", University of Canterbury & Tait Electrics present, 2000.
- 5) John Campbell, "Rutherford Scientist Supreme", AAS Publications, 1999.
- 6) Robert P. Crease, "The Prism and the Pendulum : The Ten Most Beautiful Experiments in Science", Random House, 2003.

透過型回折格子フィルムを用いた分光と光の波長の簡易計算

千歳科学技術大学 長谷川 誠

光の分光、各色光の波長の簡易計算、さらにはCDやDVDのトラック間隔の計算を簡単に行うことができる理科実験プログラムを紹介する。1000本/mmのスリットが設けられた透過型回折格子フィルムに懐中電灯の光をあてて、透過光をスクリーン上で分光させる。このとき、スクリーン上での光の中心からある色までの距離、ならびに回折格子フィルムからそのスクリーン上のその色までの距離を測定すれば、その色の光の波長を、三角関数の演算を行わずに簡単な乗除計算のみで求めることができる。さらに、CDまたはDVDから透明なディスク片を作成し、これを回折格子の代用として懐中電灯の光を分光させた状態では、上記の波長の値を用いて、CDやDVDのトラック間隔（回折格子の格子ピッチに相当する）を簡単に計算することができる。この実験内容は、主に中高生向けの理科実験授業などで実際に演示しているが、特に困難も無く波長の計算を行ってもらっている。

キーワード 回折格子、透過型、分光、回折、波長計算、

1. はじめに

千歳科学技術大学では、地域の小中学生などを対象とした理科実験授業を、総合的な学習の時間などに協力する形式で活発に実施している。その際に行う実験テーマとして「光」に関する内容は、視覚的な効果もあって参加する小中学生の興味・関心を引きやすい。しかし、その一方、分光や干涉などの現象を正しく認識するためには、例えば波の概念などを理解する必要があり、理科が苦手な小中学生にはハードルが高いとも考えられる。

以下では、透過型回折格子フィルムを使用して分光や各色光の波長計算などを簡単に実施できる実験内容を紹介する。この実験内容は、主に中高生向けの理科実験授業などで実際に演示しているが、特に困難も無く、一種のゲーム感覚で波長の計算を行ってもらっている¹⁾。

2. 実験の内容

2. 1 透過型回折格子フィルムを用いた分光

分光スペクトルの観察にはプリズムの使用が一般的である。特に演示実験では、大きいプリズムによって、教室内の全員が観察できるような大きな分光スペクトルを壁面やスクリーン上などに作り出すことができる。スペクトル内での各色の並び方などを教室全体で観察・確認するには、この方法は効率的である。しかし、その一方で、児童・生徒は単なる観察者（傍観者）の立場に留まりがちであり、自らの体験として現象を記憶しているとは言い難い。

それに対して、本稿で紹介する実験では、透過型回折格子フィルム（エドモンド・オプティクス・ジャパン社）

を用いて分光の観察を行う。これは、ポリエチレンフィルムに1000本/mmまたは500本/mmのグレーティングを形成したものであり、フィルムのみのシート状（幅152mm×長さ305mm）またはロール状（幅152mm×長さ6.0m）のタイプ、あるいは51mm×51mmのサイズのフィルムを厚紙に挟み込んだカードボードタイプがある。我々は、実験時の取り扱いや配布の容易さから、1000本/mmのグレーティングが形成されたカードボードタイプを使用している（2008年度版カタログの記載で、80枚入りの商品コードNo.50183-J、税別10900円）。

プリズムと違って、この回折格子フィルムは破損の心配がない。また、比較的安価（80枚入りの場合、約140円/枚）であることから、児童・生徒の各自に1枚ずつ持たせることも可能である。この回折格子フィルムに懐中電灯の光を当てて透過光をホワイトボードや紙の上に照射すれば、分光スペクトルを簡単に観察できる。レーザ光を使えば、回折による輝点が観察される。

2. 2 透過型回折格子フィルムを用いた波長の計算

この透過型回折格子フィルムを用いて懐中電灯の光を分光したとき、スペクトル内に含まれる各色の光の波長を、以下の手順で簡単に計算することができる。

すなわち、この計算は本来sinの計算を含むが、図1のように三角形の2辺に相当する長さを測定すれば、

$$\text{ある色の光の波長 (nm) } =$$

$$(①\text{のマークと}②\text{のマークの間の長さ}) \times 1000$$

$$\div (\text{フィルムから}②\text{のマークまでの長さ})$$

という簡単な乗除計算で求められるので、小学生でも十分に実施できる。

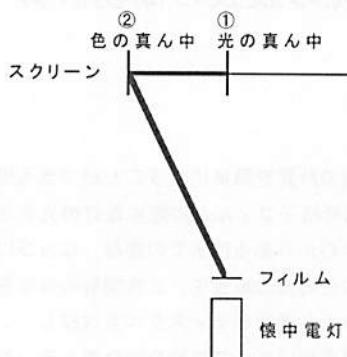


図1 波長計算方法を説明するための模式図

ここで、「1000」とは、今回使用した回折格子（1000本/mmのグレーティング）の格子ピッチをnm単位で表した数である。

2.3 CD/DVDのトラック間隔の計算

透過型回折格子の代用品として、CDやDVDを使用することもできる。

具体的には、CDの場合、保護膜（反射膜）にカッターなどで軽く傷を付けた上でセロテープなどを用いて膜を剥がすと、透明なディスクを得ることができる。この場合、全ての膜を剥がす必要はない。図2には、全周の約1/4の部分の保護膜を剥がした状態のCD片の写真を示す。

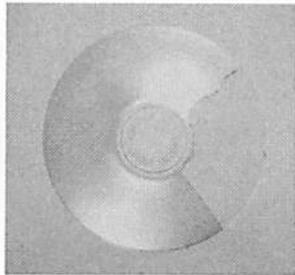


図2 部分的に保護膜を剥がしたCD片

DVDの場合には、2枚のディスクが貼合せ構造になっているので、これを剥がすと、一方に透明なディスクを得ることができる。

このようにして得られる透明ディスクには記録用ピット列またはトラックが刻まれているので、透過型回折格子として作用する。懐中電灯の光を当てれば、分光によるスペクトルを観察することができる。また、レーザボインタの光やHe-Ne レーザ光を当てれば、回折による輝点を観察することができる。

そこで、上記2.2の計算の応用として、CDやDVDのトラック間隔（回折格子の格子ピッチに相当する）を以下の式から計算することができる。

$$\text{トラック間隔 (nm)} =$$

$$\frac{(\text{波長}) \times (\text{フィルムからその色までの長さ})}{(\text{光の中心からその色までの長さ})}$$

この場合、波長の値としては、懐中電灯の光を光源とする場合には、例えば回折格子フィルムによる測定により求めたいずれかの色の光の波長値、またはレーザを光源とする場合にはそのレーザ光の波長値を使うことができる。誤差を少なくするために、レーザを光源として、正確な波長の値を用いることが望ましい。

なお、CDのトラック間隔（1.6μm）に比べてDVDのトラック間隔（0.74μm）が狭いので、DVDを使うと、懐中電灯の光の分光ではスペクトルが広がって観察され、レーザ光の回折では0次回折光と±1次回折光との間の距離が広くなることが観察される。いずれの場合も、分光や回折現象に対する格子ピッチの影響を、容易に体験することが可能である。

3. 実験授業での実践

上記の分光観察および波長の計算、ならびにトラック間隔の計算を行う実験は、例えば昨年度（2007年度）は、中学1年生を対象にしたサイエンスパートナーシッププロジェクト（SPP）事業や高校生を対象とした実験授業プログラム（特別授業）などで、実際に実施した。以下には、その例を示す。なお、いずれも会場は本学実験室である。

(1)サイエンスパートナーシッププロジェクト

実施日：平成19年9月

参加者：千歳市立の中学校1年生

実験授業の流れ：

- ①懐中電灯の光を透過型回折格子フィルムで分光し、スペクトル内の色の並び方を観察する。
- ②He-Ne レーザ光を透過型回折格子フィルムを通してスクリーンに当てて、回折光を観察する（懐中電灯の光との違いを認識させる）。
- ③He-Ne レーザ光の波長を計算する。
- ④再び懐中電灯の光を分光させて、スペクトル内のいくつかの色の波長を同様に計算する。
- ⑤CDやDVDによる分光の様子を観察し、He-Ne レーザを光源として、それぞれのトラック間隔を計算する。

分光現象や波長計算式の意味を理解するには、本来は光の波動性や波の干渉の知識が必要であるが、この実践例では、対象者が中学生であることから、詳細な原理・現象の説明は行っていない。ただし、実験作業に着手する前に約30分間ほど「光が波の性質を持ち、色によって波の長さが違う」とことは、簡単に説明した。

この実践例では、実験を行った全ての班についての計算結果を記録していないが、例えばHe-Neレーザ光の波長(632.8nm)に対しては、次のような計算結果が得られた(値は全てnm単位)。

表1 He-Ne レーザ光の波長計算結果の例(中学生)

617	605	586	547	651	555	638	695
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

また、懐中電灯の光を分光したスペクトル内の各色の波長に関しては、いくつかの班が以下のような計算結果を得た(値は全てnm単位)。

表2 各色の光の波長計算結果の例

	赤	橙	黄	緑	青	藍	紫
A班	600	585	540	507	448	375	364
B班	681	630	523	489	467	418	404
C班	680	621	606	562	490	449	430

今回の長さの測定は定規や巻尺を使用しているので、十分な精度は期待できない。また、各色の波長計算については、スペクトル内のどの位置の距離を測定するかによって値が異なる。それでも、He-Ne レーザ光の波長を約638nmと比較的正確に算出した班があった。また、表1に示したように、赤色の波長として600~700nm程度の値、青色の波長として400~500nm程度の値を算出し、赤の波長の方が大きいことなどを的確に体得していた。

(2)高校生対象の実験授業プログラム(特別授業)

実施日: 平成19年9月

参加者: 札幌市内の高校1年生

実験授業の流れは前述の中学生向けと同様であるが、物理を履習中のクラスであったことから、実験に先立って約50分間に渡って、光の二重性や色と波長の関係などを説明した。

以下には、班毎のHe-Ne レーザ光の波長計算結果を示す(値は全てnm単位)。算出は、前述のように三角関数の演算を伴わない式で行ったが、sinの計算を置き換えているものであることは事前に説明した。

表3 He-Ne レーザ光の波長計算結果の例(高校生)

	1班	2班	3班	4班	5班	6班	7班
A組	580	560	614	578	568	587	615
B組	591	600	632	628	611	578	608

この場合も定規や巻尺による測定であるので、それほどの精度は期待していなかったが、実際には、B組3班のように実際の値(632.8nm)に非常に近い値を算出した班もあった。

CDおよびDVDのトラック間隔の計算に関しては、中高生による算出結果の値を記録しなかったが、いずれの場合にも正確な値(それぞれ1.6μm、0.74μm)に極めて近い結果を算出したケースがあった。

また、CD/DVDの代わりに500本/mmの回折格子フィルムを格子ピッチの値を知らせずに渡して、格子ピッチの値を算出してもらう場合もある。CD/DVDのトラック間隔や未知の回折格子の格子ピッチの計算を行った後で、類似の原理・現象を利用したX線回折による結晶構造の解析や物質の同定について説明することで、研究開発活動とのつながりまで話を発展させることも可能である。

なお、小学生を対象とした理科実験授業の場合、あるいは高校生が対象であっても時間が十分に取れない場合(例えば30分程度しか取れない場合)には、波長計算まで実施することは困難である。しかし、回折格子フィルムを使った分光スペクトルの観察や、CDやDVDで分光現象が生じることは、十分に観察させることができる。スペクトル内の色の並び方と虹の七色の順番などを関連付けて説明することで、対象の児童・生徒の興味・関心を多少なりとも喚起することは可能である。

4. むすび

透過型回折格子フィルムを使用した簡単な分光観察や波長計算の実践例を報告した。このような体験を持った上で関連する原理・現象を教科内で学習することにより、その理解が少しでも促進されることを期待している。

参考文献

- (1) 長谷川、松井、森田、石田: “透過型回折格子フィルムを用いた分光と光の波長の簡易計算実験”、第22回物理教育研究大会発表予稿集、pp.130-131(2005-08)。

平面上に配列したビー玉による像

北海道長沼高等学校 永田 敏夫

透明ビー玉は曲率半径の小さい凸レンズとして働く。小さい曲率を利用した魚眼レンズは、その撮像角が大きく、広い範囲を捉えることができるが、金網を利用して格子状に並べたビー玉配列は、節足動物の複眼のモデルとして考えることができる。今回は、平面上に並べたビー玉に映る像とその特徴について報告する。

1. はじめに

ビー玉配列による光のモアレ(図1)^①を出現させるには、2枚の格子面が必要だが^②、平面上に並べたビー玉を1面だけ用い、その下に、懐中電灯を置き、観察した。このとき、どのビー玉にも懐中電灯の像が見られる。特に、懐中電灯を円を描くように動かすと、ビー玉に映る懐中電灯は味噌すり運動をする(図2)。そこで、平面上に配列させたビー玉に映る像の様子を観察した。

ビー玉を正方格子状に配列させるには、焼肉用の金網を利用した。今回は、ビー玉を配列させたときに観察される像と節足動物の複眼との関係について考えてみた。

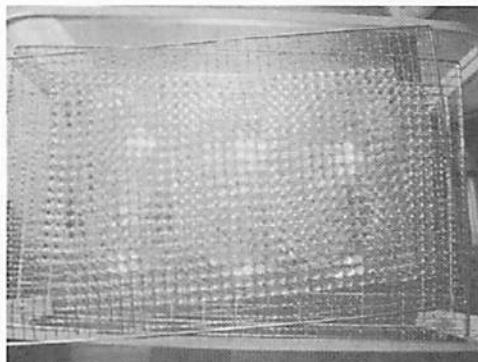


図1 ピー玉配列のモアレ

2. 準備

準備するのは、ビー玉配列を作るための①直径 12.5mm の透明ビー玉200個 ②直径 25mm の透明ビー玉 100 個

③網目間隔 12mm 程度の焼き肉用金網、対象物としての④懐中電灯 ⑤金網を載せる台である。ビー玉配列による光のモアレには、⑥55cm×75cm×40cm 程度のガラステーブル、ビー玉の散逸防止のために、⑦90cm×60cm×20cm 程度の合成樹脂製たらいも用いた。

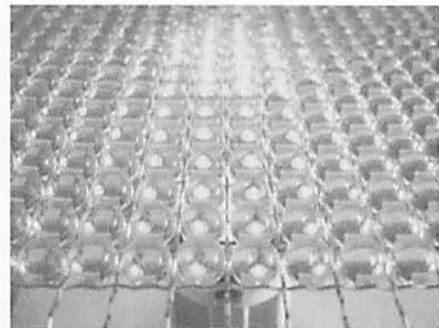


図2 ピー玉を配列したときの懐中電灯の像

3. ピー玉に映る像

3.1 ピー玉配列の作成と観察

①台の上に金網を置いて、透明ビー玉を並べ配列させる。次に、②ビー玉格子の下に懐中電灯を置き、様子を観察する。③懐中電灯の形が並べたビー玉でどのような像になって映っているかを観察する。④昆虫の複眼と個眼のモデルとして、一面に並べたビー玉と1個のビー玉の像を比較した。

3.2 像の方向依存性

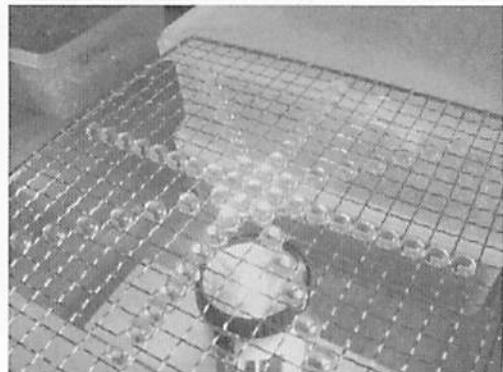


図3 放射状に並べたビー玉と像

放射状に並べたビー玉の中心部に置いた懐中電灯は、外側にあるビー玉には、外側に向いて見えるように見える(図3)。個々のビー玉はそれぞれ、懐中電灯が反転して見えるので(図4)、懐中電灯をビー玉に光を当てながら回転させると、懐中電灯の近くのビー玉では、首振りの角度は小さいが、大きな像で、遠くにあるビー玉では角度は大きいが、小さな像が逆向きに回転して見える(図2)。

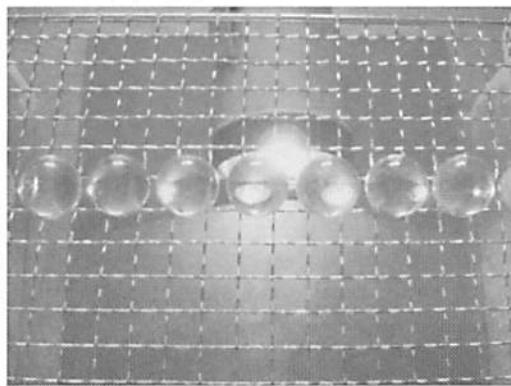


図4 1列に並べたときのビー玉に映る反転像

3.3 ビー玉像の距離依存性

懐中電灯を厚紙の上に置き、上方に向けて点灯させる。両側にプラスチックケースの台を置いて、そこに金網を置き、ビー玉を十字に配列させ、台の高さを調節しながら、ビー玉に写る懐中電灯を観察した(図5)。

金網上に配列した個々のビー玉に映る像は懐中電灯からの距離が大きくなるほど、違いが小さくなってくる。また、その向く方向も変化が小さくなってくる。薄いレンズのゆがみがないのと同様である。

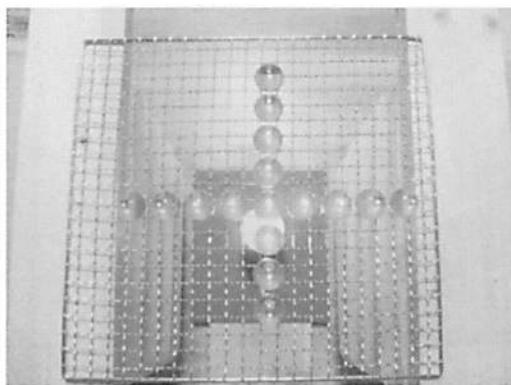


図5 遠方から懐中電灯を観察

4. ビー玉配列面の働きと複眼

一面にビー玉を配列させたとき、懐中電灯のビー玉に見える虚像を観察すると、それぞれ位置によって像が異なるこ

とが分かる(図2)。これは、立体対象物を離れた面上のいろいろな位置から観察したものを、同時に平面上に展開していることに相当する。また、平面に描いた大きな文字を置くと、モザイク画を形成することも分かる。これは、節足動物の複眼の働きと類似し³⁾、その仕組みの探究にも活用できると考えられる⁴⁾。そこで、金網を凹面上にしてその上に、ビー玉を並べて観察した。平面の場合と比べると、遠近の等方性が良く、差もはつきりしているのが観察された(図6)。

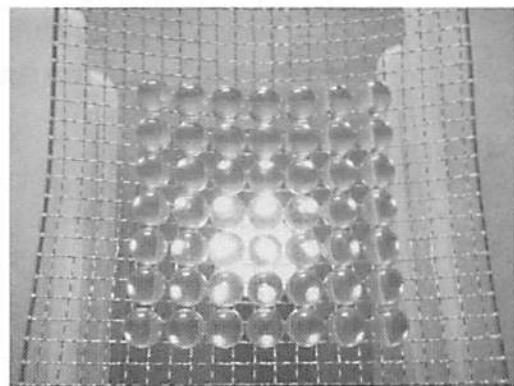


図6 凹面に配列させたビー玉の複眼モデル

5.まとめ

ビー玉配列による像の投射は、平面上に立体的の各部分をそれぞれの方向から観察した像を同時に展開していることになる。これを反転再合成することで、対象を立体的に把握することが可能になってくる。節足動物の複眼が、受光部分がどのように全体を捉えているかの仕組み⁵⁾は、興味深い。

6.引用文献

- 1) 永田敏夫 ビー玉を利用したモアレ学習材の開発 77 物理教育 56-1 (2008)
- 2) 永田敏夫 モアレ学習材の開発と波数ベクトル 59 物理教育 55-1 (2007)
- 3) 林 貞男 複眼のなぞを解く 生物物理 44 (5) 233 (2004)
- 4) 関根倫明 梅田和昇 複眼型マイクロ視覚センサを用いた動物体の検出 日本機械学会ロボテクスメカトロニクス講演会講演論文集 2P2-61-086(1) (2000)
- 5) 三上章充 網膜に取り込まれた脳 <http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/brain/brain/20-1/index-20-1.html>

凍るシャボン玉実験紹介

北海道釧路工業高等学校 小久保 慶一

冬の寒い屋外で、誰でも簡単に楽しめる凍るシャボン玉の実験を紹介する。溶液の組成などの工夫を行えば -2°C の気温の中、シャボン玉を凍らせる事が可能である。また、シャボン膜に出来る結晶、その結晶が成長する様子や、凍ったシャボン玉が割れる様子などは神秘的で見る人に感動を与えてくれる。

キーワード 凍るシャボン玉 結晶核 課題研究 地域貢献

1. はじめに

シャボン玉を凍らせるためには -10°C 以下の厳しい寒さの中で行わなければならぬと言わされてきた¹⁾が、以下の方法で行えば誰でも簡単に、 -2°C で凍るシャボン玉を楽しむ事が可能である。

2. 実験準備

<シャボン溶液の調合>

- ・台所用洗剤（界面活性剤40%以上のもの）
- ・洗濯のり（PVA 10%溶液）
- ・ハチミツ（種類は不問）
- ・水（湯冷ましのものが望ましい）

<装置>

- ・電動手持ち型シャボン玉発生器
- ・プラスチック容器
(容量200ml程度、広口広底、上蓋つき)
- ・ストロー

体積比で洗剤：洗濯のり：水：ハチミツ = 1 : 4 : 8 : 0.6 の溶液を作成する。その後、プラスチック容器に1~1.5cm程度の深さまで入れ、冷蔵庫などで 1°C 程度までゆっくり冷やす。

3. 実験方法

シャボン溶液を冷やしながら電動シャボン玉発生器またはストローを用いてシャボン玉を飛ばす。

ストローで吹く場合、出来るだけ冷たい息を吐き出すようにする。それでも、 -2°C で凍らない場合がある。

なお、観察にあたっては日中の明るい環境では凍った様子を観察しにくいので、夕方から夜にかけて、光源に向かってシャボン玉を飛ばす方がよい。

4. シャボン玉の様子

シャボン玉を空中に飛ばすとシャボン玉が回転しながら円状に見える結晶が成長する場合がほとんどであるが（写真1）、シャボン玉の回転が弱く、不定形に結晶が成長する場合もある（写真2）。

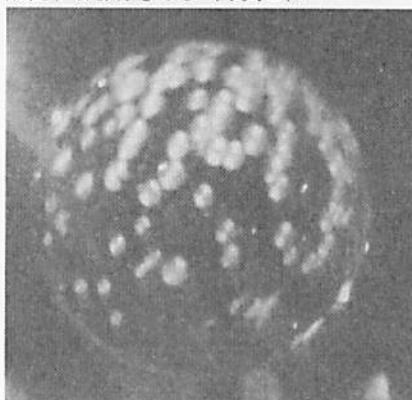


写真1 斑状に凍る様子（夜間撮影）

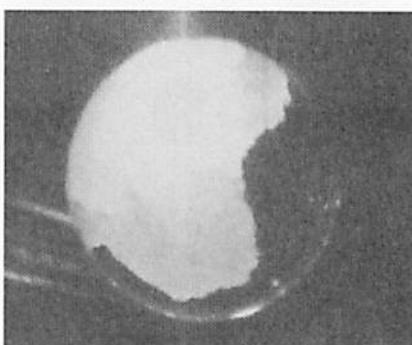


写真2 不定形に凍る様子（夜間撮影）

また、ストローの先にシャボン玉を固定させると樹枝状、手裏剣状、四角形状、六角形状など、様々な結晶の成長が見られる（写真3）。



写真3 ストローの先での様子（夜間撮影）

また、シャボン玉が割れた時の様子は、綿毛が舞い散る様子に似ており、きれいである（写真4）。

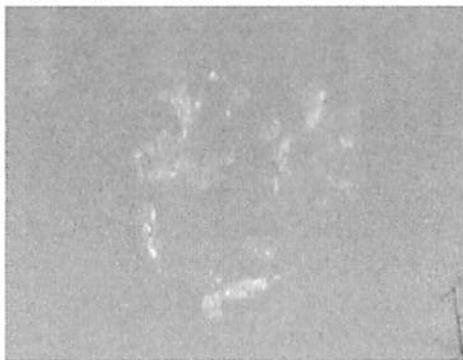


写真4 割れた時の様子（日中撮影）

5. 他のシャボン液による実験

凍るシャボン玉を見るためのシャボン溶液における工夫のポイントは、割れにくい溶液であること、凍りやすい状態、すなわちシャボン膜が冷やされてすぐに過冷却の状態になりやすい所まで冷えていること、そして溶液中に結晶核になるものが含まれていることなどである。

洗濯のりを多く入れているのはシャボン膜の強度を増し、シャボン玉を割れにくくさせるためである。

シャボン膜に氷の結晶が出来るのは、過冷却状態のシャボン膜に空気中に存在する氷晶や凝結核がぶつかる事が主な要因である¹⁾が、ハチミツの中に含まれる花粉や花粉の中に含まれる物質も凝結核として働いている可能性があり、そのためハチミツを入れたシャボン溶液の方が凍りやすいのではないかと考えている。

以上より、シャボン玉を凍らせるためには必ずしも前述の比率の溶液でなくてもよい。溶液の比率が多少違っ

ていても、ハチミツが含まれていなくても、量販店で販売しているシャボン溶液でも凍らせる事は可能である。しかしながら他のシャボン溶液では凍るまでに時間がかかったり、凍る前に割れたり、凍ってもすぐ割れるなど、凍るシャボン玉を楽しむための条件は厳しくなる。

6. 凍るシャボン玉の実践

凍るシャボン玉の研究のきっかけは2006年のこと。毎年2月上旬に行われているくしろ氷まつりの花火大会（道新華火ファンタジア；北海道新聞社主催）の主催者より、筆者の勤務校の理科部に凍るシャボン玉を研究してもらい、その研究成果で最も凍りやすいとされる溶液でシャボン玉を飛ばし花火と共に凍るシャボン玉を見せたいのだが、という依頼がきっかけである。理科部で溶液の組成と凍りやすさに絞って研究を進めた結果、2008年の氷まつりでは-2℃の気温の中、前述の比率の溶液で、花火の打ち上げ前に行われる「シャボン玉隊」という凍るシャボン玉体験イベントにおいてシャボン玉を凍らせる事に成功した。理科部員にとっても凍るシャボン玉が未知の現象であった事や、現象自体の面白もあり現在も研究^{2) 3)}が続いている。

くしろ氷まつりでの成功をうけて保育園や小学校からも凍るシャボン玉の実験の依頼が入ったり、今まで以上に理科部にサイエンスショーや体験実験の依頼が入るようになるなど、理科部の活動の幅が広がるとともに、地域にも研究結果が還元されるようになっている。

7. さいごに

本稿の執筆にあたり、北海道高等学校理科研究会鉄路大会⁴⁾において北海道旭川東高等学校平松和彦先生より貴重なご助言を頂きました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- 1) A Field Guide to the Atmosphere Vincent J. Schaefer /John A Day, pp.290 ~ 293
- 2) 村田真也他：「シャボン膜の凍結のしやすさに関する研究」第45回全道高等学校理科研究発表大会資料集,2006
- 3) 佐藤泰他：「シャボン膜の凍結のしやすさに関する研究（第2報）」第46回全道高等学校理科研究発表大会資料集,2007
- 4) 小久保慶一：凍るシャボン玉の研究と地域での取り組み, 北海道理科教育研究会編, Vol.51 pp.72 ~ 75, 2008

「ピタゴラ装置」製作実習

北海道蘭越高等学校 田端 修

NHK出版の「ピタゴラ装置 DVD ブック」を入手したことをきっかけに、力学分野の課題研究として、「ピタゴラ装置」製作実習を実施した。エネルギーの伝達の仕方を物理的に考えること、失敗してもあきらめず装置に改良を施して乗り切ること、楽しい装置を作ること、等を柱に取り組ませた。完成までのプロセスで摩擦や衝突などの様々な力学現象に実際に触れることができ、理解を深められる取組みであったのでここに紹介する。

キーワード ピタゴラ装置、力学的エネルギー、課題研究

1. はじめに

力学分野の課題研究として、「ピタゴラ装置」製作実習を実施した。「ピタゴラ装置」とは、NHK 教育テレビの番組「ピタゴラスイッチ」のコーナー転換の際に流れる、連鎖反応的に動きがつながっていく装置である。ピタゴラ装置の映像を集録した DVD ブックに生徒が（教員も）感化され、自分たちの「ピタゴラ装置」を作ろうと始めたものである。

実施クラスは、2007 年度の「物理Ⅰ」クラス（3 年選択、6 名）である。「物理Ⅰ」は選択科目群の中の 1 科目なので、単位数が 2 単位と少ない上、同時に展開している科目との兼ね合いで、2 時間連続で実施することになった。そこで、1 時間に座学・問題演習、2 時間に実験・実習というスタイルで（時には逆転したときもあった）1 年間取り組んでいた。「後期の実験・実習には課題研究的なを取り入れたい」と考えていたところにピタゴラ装置の DVD を入手し、オリジナルの装置を作ることが課題研究のテーマに最適だと考え、実施することにした。

2. 方法

6 名を 2 チームに分けた。互いに、相手チームにはない工夫を考える刺激になることを期待した。

①導入 ビデオ学習

- ・「ピタゴラ装置 DVD ブック 1」「2」、
- ・装置「田端 1 号」
- ・なぜそう動くのか考える。

・見ていて「楽しい」装置をチェックし、なぜ「楽しい」のか考える。

・自分たちで使えそうな装置やアイディアをチェックしておく。

②計画 大まかな装置の計画を考え、必要な物品をリストアップする。この時点でルールを確認した。

・装置の最後にはベルを鳴らす仕掛けを入れる。

・電動製品を使うのは NG。

・同じ動きが連続しないように努める。

・磁力は利用しても良い。

・物品を破壊しない。

③製作

・化学室の 2 台連なった実験台の上に製作する。

・動きを確認し、変更なければどんどん固定していく。

・できるだけ「かわいらしく」作る。

・調整が済めば再現率 100% の装置にする。偶然に頼らない。

④撮影

⑤上映会、まとめ

3. 結果

上述のような計画を立てていたが、導入時に見せる装置を実際に私が作ってみたところ、思った以上に予想した動きをせず、行き当たりばったりとまでは行かないものの、その場に応じた機転を利かせたなければ動きが連鎖しないということがわかった。

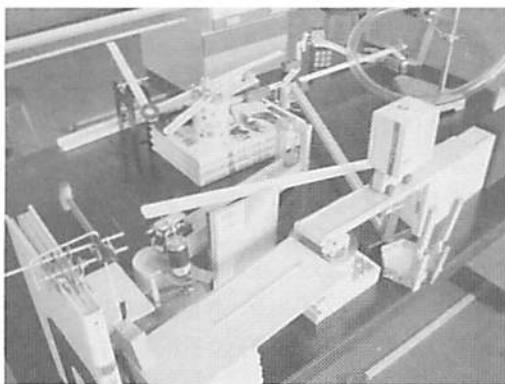


写真2 教員作成のサンプル装置

そこで、②計画の段階では、(1)「こういう動きを入れたい」という装置を3つほど考えておく。(2)実験台上で、動きの連鎖をどんなコース取りでつなげるか考える。という2点に絞って計画を立てさせた。

詳細な計画が立てられない以上、装置に使う素材は教員側である程度用意した。番組内のビタゴラ装置が「なぜ楽しいのか」考えたときに、楽しく見えるポイントの一つに、かわいらしい素材を使って構成しているという点があった。ミニカーやマグカップ、積み木などファンシーカードを使い、逆に工作で長さや重さが何とかなるものは極力使わないように、「あるもので何とかする」ようにした。特に使い勝手が良かったのは次のものである。

(1) ピー玉

離れた所にエネルギーを伝えるのに重宝した。しかし試行を繰り返すうちに、このビー玉が一番の曲者素材であることが判明した。

(2) 配線カバー

室内用の配線カバーがレールの役割として大活躍した。だがビー玉のサイズとの関係で、これも曲者素材となった。

(3) 鉄球

球体はビー玉のみで十分と思っていたが、鉄球が意外と使える素材だった。一つはビー玉に比べて重く、多くのエネルギーを運ぶことができること、もう一つは鉄なので磁石に引きつけられるということ。

(4) ジェンガ

積み木で十分なのだが、JENGAのロゴが入っていること、一つ一つが決まったサイズで、高さ調整に多用した。

(5) ハードカバーの本

転がってくるビー玉をちょうどレールに乗せるのには困難なとき、ハードカバーの本を開いておけば高い確率で本の中央に収まってくれる。

ほとんどが実験室にないものだったので、基本的に100円ショップで調達した。そのほか実験室内の使えそうなものはとりあえず許可を得れば基本的に使って良いということにした。一歩間違えば器具を破壊するような使い方をしてしまわないように、と考えたが、その辺はさすがに3年生ということもあって、無茶な使い方はしなかった。

再現率100%を目指す上で障害となったのが、ビー玉とレールである。100円ショップで手に入るビー玉は完全な球体をしていないどころか、百歩譲って回転楕円体としてみてもかなりゆがんでいる。さらにはほとんどのビー玉に製作時の傷が入っていて、毎回異なった転がり方をする。比較的安定した転がり方をするビー玉は安物ではなく玩具店などできちんとしたものを入手しなくてはならなかった。

レールが曲者となった理由は二つある。一つは配線カバーは硬そうに見えて、ビー玉程度の重さでたわむ。たわまないようにするにはレールの下に台をあてるか、レール自体の長さを短くしなければならない。また、レールの幅にビー玉がぴったり収まる場合、レールの底にビー玉が触れず、レールの側面でビー玉が挟まった状態で転がっていき、レールの側面にゆがみがあると、そこでストップするということが幾度となく起った。

また、化学室の実験台も曲者で、ビー玉は実験台の上を完全には転がらず、スピードが上がれば上がるほど滑って移動する割合が高いということもわかった。当然ではあるが完全に水平ではないということも障害となつた。

【Aチーム】

- ・女子がいたせいか、かわいらしい装置を作る努力をしていた。
- ・作業ベースは速く、どんどん次の装置へと製作が進み、Bチームよりも早く完成した。
- ・再現率が高く、撮影時もテイク4で完全な動きを見せた。
- ・若干行き当たりばったりの装置が多く、確かにちゃんと動くのだが困ったところは段ボール工作で（生徒たちは「突貫工事」と呼んでいた）対処してしまっていた。



写真4 Aチームの作品

【Bチーム】

- ・Aチームよりも慎重派がそろっていて、どの仕掛けについても仕掛けのみで一度作成し、動きを確かめてから装置に組み込むという念の入れようだった。
- ・うまく動かないからあきらめる、という選択はせず、なぜ失敗するのか、どういう工夫で期待通りの動きをするのかとことん考えて、予定した仕掛けは最後までボツにしなかった。
- ・反面、作業ペースが非常に遅く、製作時間の半分は放課後の活動である。
- ・予定した仕掛けははずさないというスタンスのため、最終的には微調整が非常に困難な装置になってしまい、動作準備にも時間がかかったり、再現率が低かったりで、撮影成功は実にテイク48だった。



写真5 Bチームの作品

両チームとも、高い位置で球体を転がす、というところから始めたが、そのうち地べたまで転がり落ちてしまう。装置の動きを維持するには、動きを高い位置に戻さ

なければならない、となったときに一つの極意に達した。「最後のベルを鳴らすまでのエネルギーを最初の球体に持たせるのは間違い。動きを維持するエネルギーを、装置の要所に位置エネルギーの状態で用意しておかなければならぬ。その位置エネルギーを運動エネルギーに転換し始めるきっかけを連鎖させるべき。」

このことに気づいてからは、うまく動かないときの対処の仕方が当を得ていて、次の動きをスタートさせるのにエネルギーが足りない場合、物体を重くしたり、速くぶつけてみたりと、製作がスムーズに進んだ。

4.まとめ

この取組みが可能だった背景として、物理I選択者が少人数であったということがあげられる。二人一組ではアイディアに行き詰まりが生じるし、あまり人数の多いチームにしてしまうとまとまりのない装置になってしまうため3人がちょうど良かったと感じている。化学室で継続的に作業を進める場合、どうしても実験台がその分ふさがってしまうので、最大でも3チームまでだった。また、他の授業でも1クラスの人数が少なく、実験台がいくつかふさがっていても化学室を使用可能だった。

一番大変だったのは素材の調達である。何が必要か、きちんと計画立てされていて確定していれば良いのだが、計画通りに行かないことは、私のサンプル装置作りで経験済みである。何となくホームセンターや玩具店を物色しながら、形、材質、重さ、かわいらしさを基準に使えそうなものを仕入れる日々が続いた。実際に装置に使われたのはその半分ぐらいである。

正直なところ、この取組みでどの程度力学に対する理解が深まったかどうか、具体的な調査はしておらず、製作の様子を観察するのみであったが、うまく動かないときの対処の仕方が当を得だすようになって、理解は深められたと感じている。当初の予定より大幅に時間を費やしてしまったが、この取組みで生徒たちに達成感を感じさせることができた。ビデオ学習の段階では「こんなのが無理だよ」といっていた生徒が最後に「なんとか作れるもんだな」と言っていたのは印象的であった。

5.文献

「ピタゴラ装置 DVD ブック①」慶應義塾大学佐藤雅彦研究室+ユーフラテス、小学館、2006

「ピタゴラ装置 DVD ブック②」慶應義塾大学佐藤雅彦研究室+ユーフラテス、小学館、2007

公立高校入試問題（物理分野）の分析からみた指導法の検討

北海道木古内高等学校

稻子 寛信

概要 公立高校入試の物理分野を正答率や出題範囲等の観点から分析し、高校での指導法を検討する。

1 はじめに

北海道教育委員会では、毎年実施される公立高等学校入学者選抜において、受験者の抽出による問題の正答率を調査している。

北海道の学力把握の手段として、かなりまとまった規模で実施されている試験と言える。

しかし、実施状況の報告はあっても、その結果をあまり分析・活用できていない側面もある。そこで、調査結果を利用した受験者の学習状況などを分析し、高校での指導法に役立てようと考えた。

2 分析方法

(1) 対象：平成元年3月入試～平成19年3月入試の物理分野（19年分）を主に分析する。

(2) 正答率：抽出調査の結果を利用する。抽出調査では中間点が反映されないものとなる。

(3) 解答方法・説解対象

以下の項目に分けて分類した。

処理方法：選択、語句解答、記述、計算、作図

説解対象：図、表の数値、グラフ

3 出題範囲

中学理科1分野における物理分野は力学・光と音・電気の3つである。例年、この中から2題出題される。（詳細は分類一覧表参照）

指導要領改定に伴い「仕事率」「熱量」「力の分解」など出題されなくなった分野に留意する。

4 正答率からみた分析

(1) 全問題中の最高（最低）正答率との比較

各年毎の最高（最低）正答率を見ると、物理分野で最高だった問題は1問、最低だった問題は10問だった。

(2) 入試平均との比較

入試問題の平均点は例年6割弱である。配点などの重みの影響はあるが、正答率でも60%程度が標準とみなせる。

物理分野では、全136問中、正答率60%超の問題は36問だった（26.5%）。

また、正答率25%未満の問題は24問だった（17.6%）。

高校入学時点での物理分野の定着率は低い。

5 出題形式と正答率の比較分析

(1) 絵やグラフなどの作図問題と正答率

正しい絵の作図には、当然ながら周囲の図の条件を読み解く必要があるし、グラフの作図には数的処理が必要となる。一般には「生徒は図を書くのがとにかく苦手」と感じる場合が多いが、正答率を見るとその限りではないことが伺える。

(2) 記述問題と正答率

作図問題同様、それほど正答率が低いわけではない。問題の程度に依存すると見える。

(3) 計算問題と正答率

平成4年以前ではそれほど正答率は悪くないが、年を経る毎に正答率が下がっている。また、最近では図表・グラフの説解と計算が融合されて出題されている。

6 読解対象と処理法が複雑に組まれた問題

(1) 「組み合わせ」問題について

平成19年3月実施の入試問題2問3（正答率21.3%）を見ると、幾つかの説解・処理が組み合わされた出題となっている。ここでは

・図2のグラフからの電流値の説解

・図3より回路図が並列であることの説解

・オームの法則による計算処理

の説解・処理を組み合わせる必要がある。

出題状況を見ると、こうした「組み合わせ」問題は過去19年間で18問出題されている。

(2) 「組み合わせ」問題の正答率

上記18問のうち、正答率25%未満の問題は8問（44.4%）だった。特に「簡単な数値計算をしながら正しいグラフ・図を選択する」問題に比べて「グラフの数値と図を参考にまとまった計算処理を行う」問題を苦手

としている傾向が見て取れる。

高校物理の問題処理の多くは後者のような問題となるため、物理を苦手とする生徒が多くなると考えられる。

(3) 熟練者に見られる「思考の飛躍」について

平成19年3月実施の入試問題5問2(1)(正答率24.4%)を見てもいい。

この問題では、『重力がかかるとスポンジはへこむ』ことと、前の問題にある『へこみ具合は力に応じて表のように変化する』ことが結びつかなければならぬ。更に、『スポンジのへこんだ距離から重力の大きさを考える』必要があるのだが、それは問1とは逆の対応に注目することになる。

私達、物理(というより科学)を教える者には当然の「論理のつながり」や「1対1対応」は、時として飛躍をもたらす。先の問題では、生徒は一つずつステップを踏みながら理解しなければならない。

指導側と受講側の間にこうしたギャップがあることを意識しないと、指導側はついつい思考の飛躍した「ステップを飛ばした」説明をすることになる。

また、平成19年3月実施の入試問題2問2(正答率68.1%)のようなグラフの概形に関する問題でも同様である。私達教員側にはそれが形式知として頭にあるので直感的に理解できるが、生徒はそのようにはいかない。具体的な数値を使いながら実感しなければ理解につながらないこともある。

7 他教科(数学)との比較

蛇足だが、高校入試の数学を見ても「ステップを飛ばした」問題には弱いことが分かる。具体例として、因数分解の問題とその正答率を見てもらいたい。

$$H16: 49y^2 - 25x^2 \quad (\text{正答率 } 77.4\%)$$

$$H11: ab^2 - 4a \quad (\text{正答率 } 54.9\%)$$

$$H4: x^2 - x - 6 \quad (\text{正答率 } 74.7\%)$$

このように、たった一つのステップ(操作)が加わるだけで正答率は下がってしまう。

8 高校の学習指導との関連

(1) 「組み合わせ問題」「飛躍問題」の対応状況

生徒の学習状況を見ると、前述のような「組み合わせ問題」への対応の鈍さは明確である。

例えば、水平投射の問題を考えてみると、「鉛直方向

の初速度を水平方向で使ってしまう」といったエラーは、条件の組み合わせの処理に混乱していると言える。教える側にすると、つい(よく問題を読みよ...)と言いたくなる所だが、むしろ問題の条件をどう分類するか理解させなければならない。

また、「飛躍問題」も十分に留意したい。

例えば、教科書に載っている公式を導出する際、物理的思考に慣れないと『質量 m の物体が...』と一般化してしまうことが多い(教科書がその典型である)。これは文字の取扱いに慣れれた教師側には問題ないが、生徒は実感がわかないことになる。

(2) 高校物理以降の「使い分け」問題

高校物理では、中学理科より一段階上の処理として「知識の使い分け」が複雑化する点も触れておきたい。

具体例は、等加速度運動における3つの関係式をどのように使い分けるか、などである。

(高校数学でも2次関数の3つの形と条件の理解や、正弦・余弦定理の適用など、「知識の使い分け」の判断を求められる場面が増えることを付記しておく。)

また、物理学の体系をどう把握しているかも、「使い分け問題」に大きく関連する。

例えば、「加速度を求める」といった問題があったとき、どのような知識の関連づけがなされているかで解決策の立て方が変わる。

- ・ 加速度運動の関係式から導く
 - という解決策しか立てられないか、
 - ・ 運動方程式から導く方法もある
- と考えられるかは大きく異なる。

物理学の体系をどうつかませるか、こうした観点も物理の指導法においては必要と。

9まとめ

「組み合わせ問題」「飛躍問題」に見るような同時処理・論理の積み上げ、高校で散見される「条件に応じた知識の使い分け」を生徒は苦手としている。私達教師側が指導する際にそれらを留意することは重要である。しかし、その一方で、こうした苦手を私達が取り除けばいい訳でもない。肝心なのは、それらのつまずきを理解しつつも、最後は生徒自身が判断して処理できるようになるような指導である。

・平成19年3月実施 公立高等学校入学者選抜状況報
告書 等
(平成元年～平成19年の報告書)

平成19年3月実施の入試問題②

2 次の実験について、問い合わせなさい。

電熱線A～Cを用いて、次の実験を行った。なお、電熱線Bの電気抵抗の大きさは電熱線Aより大きく、電熱線Cの電気抵抗の大きさは電熱線Aの2倍である。

実験1 図1のような回路をつくり、電熱線Aの両端に電圧を印え、電圧計aの示す電圧と、電流計の示す電流の値を調べた。図2は、このときの電圧と電流の値との関係をグラフに表したものである。次に、電熱線Aを電熱線Bにかみ、同じように実験を行った。

実験2 図3のように図1の回路に電熱線Cと電熱線Aをつなぎ、電熱線A、Cのそれぞれの両端に電圧を印え、電圧計a、bの示す電圧と、電流計の示す電流の値を調べた。

図1



図2

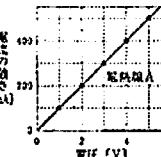


図3



図1 右側に、電気用記号(右側回路に求められた回路号)を書き加えて、図1の回路のようすを表す回路図を完成させなさい。



図2 実験1について、次の文の(1)～(4)に当てはまるものを、ア、イからそれぞれ選びなさい。

下線部の実験で調べた。電圧と電流の値との関係を表すグラフを次2にかきなさい。
3. 電熱線Bは電熱線Aより電圧が(ア)流れやすい イ 流れにくいため、
さかえた電熱線Bのグラフの傾きは、電熱線Aのグラフの傾きより(ア) 大きく
(イ) 小さくなる。

図3 実験2で、電圧計aが2Vを示したとき、電圧計bの示す電圧と、電流計の示す電流の値を、それぞれ求めなさい。

平成19年3月実施の入試問題⑤

5 次の実験について、問い合わせなさい。

図1のような金属でできた立方体の物体aと立方体の物体bを用意し、次の実験を行った。実験1～図2のように、プラスチック袋の中で、物体aはスプリングにそれ

せり嵌した状態にしておき、ばねはかりのブロックを棒にかけ、ばねはかりを水平に引くことによって、棒が物体aの質量の中心を垂直に押すことができるようにした。次に、ばねはかりを2つの力で水平に引くと、物体aに嵌されてスプリングがへこんみ、物体aは1.1cm伸長した。さらに、ばねはかりを引く力の大きさを4N、6N、10Nに変え、物体aが伸びる距離をそれぞれ調べた。表はその結果をまとめたものである。なお、ばねはかりを引く力を、棒が物体aを押す力と同じ大きさとする。

実験2 図3のように、台の上に、実験1で用いたスプリングをプラスチック袋と接着するように手で持った。次に、手をはなすと、スプリングがへこんみ、物体aと物体bは離れたまま重心が3.4cm下がり、静止した。

ただし、物体a、物体b、スプリングにははならくまさつは表現できるものとする。また、物体a、物体bは変形しないものとし、スプリングはへこんでも、伸び力がはたらかなくなると直方体にもどるものとする。

図1

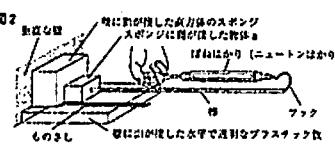
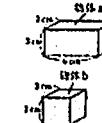


図2

ばねはかりを引く力の大きさ(N)	2	4	6	10
物体aが伸びた距離(cm)	1.1	2.1	3.4	5.6

図1 実験1で、ばねはかりを引く力の大きさを8Nにしたとき、物体aの移動する距離1mmになると考被られるか。最も違うものをア～エから選びなさい。

ア 3.5cm イ 4.0cm ウ 4.5cm エ 5.0cm

図2 下線部について、次の(1)～(4)に問い合わせなさい。ただし、物体aにははならく重力の大きさは、物体bにははならく重力の大きさ2倍とする。

(1) 物体bにははならく重力の大きさは何gか。求めなさい。

(2) 物体aとスプリングの接する面にははならく重力は、物体aと物体bの接する面にはたらく重力の何倍か。求めなさい。

高校物理『静電気』における「はく検電器を用いた実験」と 『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の比較検証

北海道札幌平岡高等学校 大坂 厚志

東京理科大学 川村 康文

(独) メディア教育開発センター研究開発部 中川 一史

高校物理分野『静電気』において、はく検電器を用いた実験を行う従来の手法による授業(以下、統制群とする)に対して、科学技術振興機構の「理科ねっとわーく」を用いて行う実験的な手法による授業(以下、実験群とする)は、どの程度の学習効果が期待できるのか、比較検証を行った。検証の方法として、実験群、統制群のそれぞれの授業を行い、知識の定着度、情意面での学習効果の比較を、教育統計を用いて検証した。その結果、実験群のほうが学習効果の高いことがわかった。

キーワード 静電気、はく検電器、理科ねっとわーく、学習効果

1.はじめに

これまで理科教師の多くは、理科の授業では、生徒に体験的な理科実験を行うべきと考え、理科実験を重要視してきた。この姿勢は尊重されるべきである。しかし最近では、教育用IT機器が格段の進化をとげ、良質な教育用デジタルコンテンツも増えつつあり、生徒を取り巻くIT環境は各段に進化した。これまでからも理科授業にコンピュータを取り入れた授業の学習効果については、研究されてきたが、今日のような最新のデジタルコンテンツを用いての授業では、どのように授業が変わるのであれば、興味深いところである。そこで、理科授業において、最新のデジタルコンテンツを用いた場合と、実際に実験を行った授業を比較した場合、どのような学習効果があるのかを確かめたいと考えた。

(独)科学技術振興機構では、理科ねっとわーく(詳しくは後述する)の普及・促進のための分科会を置き、上記目的を遂行するため、特別にワーキング部会を設置した。このワーキング部会の主査は第2著者が行い、2008年8月には、このワーキング部会で日本科学教育学会第32回年会において課題研究を設定し、第1著者、第2著者らが、それぞれ、個別に研究発表を行った(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)。

現段階のワーキング部会の研究では、学習効果の検証について、十分な研究成果が得られたとはいえないもので、引き続き上記の目標を達成するために、ワーキング部会として研究を継続

している。本研究は、このワーキング部会の研究のなかで、十分な成果をあげたものであるので、報告する。

2.理科ねっとわーく

理科ねっとわーくとは、(独)科学技術振興機構による理科教育用デジタル教材提供システムである。学校で教育目的に使用することを前提として、著作権についても、学校教育の現場での利用にかぎり、著作権フリーとなっている。したがって、授業を実施する教師が、自由に改変して利用することも許されている。また、理科ねっとわーくには、4万点以上のデジタルコンテンツがあり充実している。

デジタルコンテンツの特徴の一つには実験の内容を映像で見せることにより、授業の展開の効率化を図ることができるところにある。本研究では、この特徴をもったデジタルコンテンツを用いた。具体的には、実際には見ることができない、電子の動きや電気力線などをアニメーションで表示することができ、その結果、学習効果をあげることができると考えられる。

3.研究方法

3-1.方法

研究方法は、統制群法を用いた。具体的には、理科ねっとわーくのはく検電器のデジタルコンテンツを用いた実験群(実験的な手法による授業、付録1に学習指導案を掲載する)とはく検

電器を用いて実際に実験を行う授業を行った群（従来の手法による授業、付録2に学習指導案を掲載する）とで、学習効果の比較研究を行った。授業を行うにあたって、実験群と群の2つのグループ間に学力差が無いようにグループ分けした。また、実験群および群は、もう1名の物理教師の協力を得て、同時に授業を実施した。

学習効果の比較は、事前・事後のアンケートによって、学習内容の定着の面、および興味、関心などの情意面について検証した。また検証の方法として、統計ソフトSPSSを用いて、共分散分析により、各グループの授業による学習効果を比較した。

3-2. 対象

実験授業の対象者は、2年生理科系「物理I」選択者35名であり、2年次より理科系と文科系に分かれている。対象者の学校のカリキュラムでは、1年次に化学I、理科総合Aを履修しており、原子の構造など、電子については学習済みである。2年次の理科の選択科目は「物理I」と「生物I」であり、今年度の「物理I」は35名の選択者のため、通常の授業は1人の教員で実施しているが、今回の研究授業は2人の教員で担当した。その際、平均点がほとんど同じである17名と18名の2グループに分けた。

3-3. 実施日時

平成20年4月17日（木）3限目に、実験群および群を同時展開で実施した。前時の授業と実施後の授業時にそれぞれ事前・事後アンケートを実施した。

3-4. 学習内容

実験群は、普通教室で「理科ねっとわーく」のデジタルコンテンツ「ケイタイ！カイタイ新書！」内の「生活と電気」をプロジェクターで投影して解説した。群は、物理実験室で「はく検電器」を用いて実験を行った。はく検電器が3台しか無いため、17名を6名、6名、5名の3つの班に分けて実施した。

各クラスの学習内容は、以下の通りである。

3-4-1. 対象群・デジタル教材を使用するグループ

授業では、「はく検電器」の構造をよりよく理解してもらうために、「はく検電器の作り方」を提示した。その後、「はく検電器」の中

で、特に電子の動きとしてのアニメーションを繰り返し表示し説明を加えた。負の電荷の移動によって正に帯電したり、負に帯電するしくみについてアニメーションを表示しながら説明を加えた（詳しくは、付録1参照）。授業の終わりには、まとめとして、デジタルコンテンツを再度表示して、生徒に発問し、理解度を確認した。

3-4-2. 群・はく検電器を用いる実験グループ

授業の導入に、静電気に関する演示実験として、同種の電荷は斥力がはたらき、異種の電荷には引力がはたらく電気クラグの実験を行った。これは、塩化ビニルパイプとスズランテープを用いたものである。その後、研究授業実施校においてははく検電器が3台しかなかったので、17名が3つの班に分かれてはく検電器の実験を行った。はく検電器の実験は、帯電していないはく検電器に帯電体を近づけたまま、天板に手で触るとはくが閉じ、その後、帯電体を近づけたまま、手離すということについて解説し、実際に確かめさせたものである（詳しくは、付録2参照）。

3-5. 事前・事後アンケートの内容

以下の問題について、正解なら1点、不正解なら0点とした。

3-5-1. 知識の定着度についての測定・事前

(1) 自動車（特にタンクローリー）などをよく見ると、自動車の車体から鎖が地面につくようになら下がっている。その理由として正しいものを一つ選べ

①自動車のアクセサリーの一

②ガソリンが漏れたとき、地面に鎖を伝わって流すため。

③自動車が停止して、ガソリンをおろすときにどの位置に自動車を止めたらよいか、その位置を定める目安にする。

④自動車が走っている間に、車体と空気が摩擦して自動車に静電気がたまる。このたまつた電気を地面に流し、放電の火花でガソリンに点火するのを防ぐため。

(2) 以下の文句の空欄にあてはまる語句を記入しなさい。

毛皮でこすったエボナイト棒や、絹の布でこすったガラス棒には、表面に電気が現れる。このように摩擦によって現れる電気を（ ）といい、物体が電気を帯びることを（ ）という。毛皮でこ

すったエポナイト棒に現れる電気と、絹の布でこすったガラス棒に現れる電気とは、互いに異種のものであることがわかっている。前者を（ ）、後者を（ ）とよぶ。また、エポナイト棒をこすった毛皮には（ ）が現れ、ガラス棒をこすった絹の布には（ ）が現れているはずである。このように、物体に制止して流れない電気を（ ）とよぶ。

(3) 次のことについて電子、原子核、陽子等を用いて説明しなさい。

① 物体が正に帯電する。

② 物体が負に帯電する。

3-5-2. 知識の定着度についての測定・事後

(1) 以下の文章中の空欄に合う適語を答えなさい。

ア 最初はく検電器は電気的に中性であり、電荷のかたよりは（ ）。

イ はく検電器に負に帯電したエポナイト棒を近づけると、はくは開く。

金属板 …自由電子が（ ）し、
（ ）に帯電

金属はく…自由電子が（ ）し、

（ ）に帯電

ウ 金属板に指を近づけると、はくは閉じる。

金属板では自由電子が、（ ）方向に移動する。つまり自由電子が指を通って逃げたため、はくは閉じる。

エ 指を離してからエポナイト棒を近づけると、はくは再び開く。この状態のことを（ ）という。

オ 正に帯電したガラス棒を近づけると、はくは（ ）。

カ 負に帯電したエポナイト棒を近づけると、はくの開きは（ ）。多量の負電荷を近づけると、はくの開きは（ ）。

(2) 図1は、はく検電器に関する問題である。はくは最初閉じていたが、正に帯電した棒を上部の金属板に近づけると開いた（図1-a）。この状態で、金属板に指を触れたところ、はくは閉じた（図1-b）。

続いて指を金属板から離し（図1-c）、次に棒を遠ざけた（図1-d）。図1-c、図1-dに、はくの状態を記入しなさい。



3-5-3. 情意面での学習効果の測定

以下の内容についてそれぞれ以下の5段階で回答してもらった。

とても好き

まったく好きではない

(肯定的)

(否定的)

1 — 2 — 3 — 4 — 5

アンケート

(1) 理科実験は好きですか。（事前事後共通）

(2) 理科の授業は好きですか。（事前事後共通）

(3) 今回の「はく検電器」の授業の学習内容はよくわかりましたか。（事後のみ）

4. 結果

4.1 知識の定着度について

事前事後の確認テストの結果は、図1のとおりである。

統計ソフト SPSS を用い共分散分析を行うことにより、両群の学習効果を比較する。事前では実験群、統制群の両者に有意差がみられなかった。授業後の学習効果は、両者の間に1%水準で有意差が認められた ($F(1, 32) = 11.7$ p<0.01)。事後テストにおける平均得点は実験群の方が高いので、学習効果は、実験群の方が高かった。

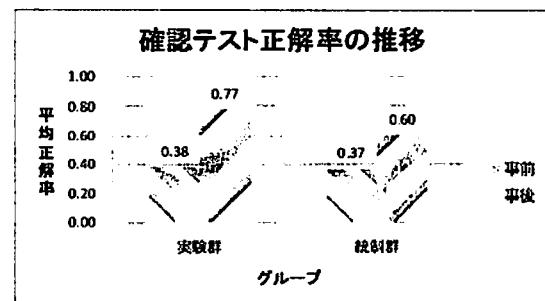


図1 事前事後の確認テストの結果

4.2 情意面の変化について

事前事後の確認テストの結果は、図2のとおりである。

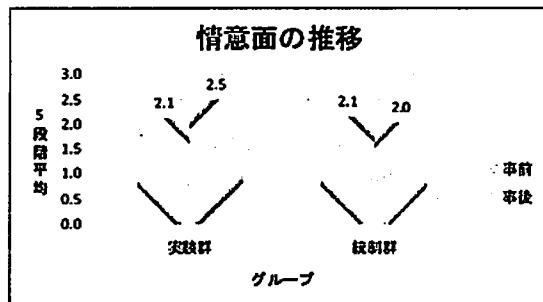


図2 事前事後の確認テストの結果

事前・事後について、SPSS を用いて共分散分析を行うことにより、実験群と統制群のあいだに 5 % 水準で有意差が認められた ($F(1, 32) = 5.13, p < .05$)。事後アンケートにおける得点は実験群の方が高かったので、情意面においても学習効果は、実験群の方が高かった。

5. 考察

この結果が示すものは、生徒にとっては、「実際には見ることのできない電子の動きを、アニメーションで提示しながら、繰り返し生徒1人1人に発問し確認させた効果」と考えられる。単なる実験だけでは、はくの開閉の現象面だけにとらわれることもあるが、アニメーションで1人1人が、「電子の動きが帶電に結びつくこと」を納得するまで繰り返し説明できることで、直接的なイメージの部分が伝わり、生徒にとって、十分に理解することを助けていると捉えることができる。

6. おわりに

今回、この学習小単元においては、知識定着においても、情意面においても理科ねっとわーくを用いた学習は、高い学習効果を示した。しかしもちろん、理科教育において、デジタル教材が、すべての場合において実際に行う実験を超える教育効果があるとは考えていない。今後は、どのような単元でどのように「理科ねっとわーく」のデジタルコンテンツを活用をすると、

より一層教育効果があるか研究を深めて行きたい。

引用文献

- 1)川村康文: 理科ねっとわーくを用いた理科授業の学習効果, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 413-414
- 2)佐々木清: 中学校第1分野「電流」における「電流と磁界の実験」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 415-416
- 3)大坂厚志: 高校物理『静電気』における「はく検電器を用いた実験」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 417-418
- 4)後藤哲哉: 高校物理『音波の伝わり方』における「オシロスコープを用いた音の観察」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 419-420
- 5)一木博: 高校化学「混合物の分離」における「赤ワインの蒸留実験」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 421-422
- 6)村山保: 高校地学『太陽のすがた』における「天体望遠鏡を用いた太陽観察」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 423-424
- 7)出口英二: 高校物理『力学』分野「自由落下」における『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の検証, 日本科学教育学会第32回年会論文集, 2008, pp. 425-426

謝辞

本研究を行うにあたり、(独)科学技術振興機構 理数学習支援部学習支援ネットワーク課課長の日紫喜豊氏には多大なるアドバイスを頂いた。感謝の意を述べる。

付録1 学習指導案

科 目名	教員名	日 時	平成20年4月17日(木) 第1回検電器と電気	教 室	物質統計	科 目名	教員名	日 時	平成20年4月17日(木) 第3回静電気と静電荷	教 室	物質統計
申 元 名	第1回生活と電気 第3回静電気 D静電説解	天佑学年	2年 6・7組(17名)			申 元 名	第1回生活と電気 第3回静電気 D静電説解	実験会室	2年 6・7組(17名)		
申 元 の目標	静電気の現象が電子の移動によって起こることを理解させる。 電気盤について、最初に使えることができるようになる。					申 元 の目標	静電気の現象が電子の移動によって起こることを理解させる。 電気盤について、最初に使えることができるようになる。				
本時の目標	外部電界によって物体に電荷の盛りが生じること、導体の静電説解は、電子の移動によって起こることをはく検電器の実験を通して、静電説解や電子の移動のしくみについて理解させる。					本時の目標	外部電界によって物体に電荷の盛りが生じること、導体の静電説解は、電子の移動によって起こることをはく検電器の実験を通して、静電説解や電子の移動のしくみについて理解させる。				
授 与 内 容	・原子の構造と静電気は、電子の移動で起こることを説明する。 ・既知事項について、なぜに使えることができるようになる。	(10分)				授 与 内 容	・原子の構造と静電気について ・電子の移動で起こること、「静電気は、電子がコントロールを用いて、『静電気は、電子の移動で起こること』、『既知事項でわかる原因を説明しない原の説明について、『正電荷は移動しないが、負電荷(電子)は移動すること』を理解する。	(10分)			
授 与 時 間	・原子の構造と静電気は、電子の移動で起こることを説明する。 ・既知事項について、なぜに使えることができるようになる。	(10分)				授 与 時 間	・原子の構造と静電気について ・電子の移動で起こること、「静電気は、電子がコントロールを用いて、『静電気は、電子の移動でわかる原因を説明しない原の説明について、『正電荷は移動しないが、負電荷(電子)は移動すること』を理解する。	(10分)			
授 与 内 容	・検電器実験1 (内部の電荷は片方がはたらき、周囲の電荷には引力がはたらく) ・検電器実験2 (はく検電器とスマートフォンを用いて、静電気の実験を演示して見せた後、各班に材料を配布し、体験させる。上記の状態では、はく検電器の天板に手を触れると、はくが倒くことを確認させたいでやぶる。)	(35分)				授 与 内 容	・検電器実験の構造に同様なデジタルコンテンツ(以下、デジタル検電器)を用いた検電器を用いて、静電説解に対する具体的な構造を理解する。 ・はく検電器を用いた検電器により、静電説解や電荷の移動に対する具体的な構造を理解する。	(35分)			
授 与 時 間	・検電器実験1 (内部の電荷は片方がはたらき、周囲の電荷には引力がはたらく) ・検電器実験2 (はく検電器とスマートフォンを用いて、静電気の実験を演示して見せた後、各班に材料を配布し、体験させる。上記の状態では、はく検電器の天板に手を触れると、はくが倒くことを確認させたいでやぶる。)	(35分)				授 与 時 間	・検電器実験の構造に同様なデジタルコンテンツ(以下、デジタル検電器)を用いた検電器により、静電説解に対する具体的な構造を理解する。 ・はく検電器を用いた検電器により、静電説解や電荷の移動に対する具体的な構造を理解する。	(35分)			
ま と め	・電子の移動と静電気は、電子の移動であることが理解できたか。	(5分)				ま と め	・電子の移動と静電気は、電子の移動であることが理解できたか。	(5分)			

付録2 学習指導案

科 目名	教員名	日 時	教 室	物質統計	科 目名	教員名	日 時	教 室	物質統計
申 元 名	第1回生活と電気 第3回静電気 D静電説解	天佑学年	2年 6・7組(17名)		申 元 名	第1回生活と電気 第3回静電気 D静電説解	実験会室	2年 6・7組(17名)	
申 元 の目標	静電気の現象が電子の移動によって起こることを理解させる。 電気盤について、最初に使えることができるようになる。				申 元 の目標	静電気の現象が電子の移動によって起こることを理解させる。 電気盤について、最初に使えることができるようになる。			
本時の目標	外部電界によって物体に電荷の盛りが生じること、導体の静電説解は、電子の移動によって起こることをはく検電器の実験を通して、静電説解や電子の移動のしくみについて理解させる。				本時の目標	外部電界によって物体に電荷の盛りが生じること、導体の静電説解は、電子の移動によって起こることをはく検電器の実験を通して、静電説解や電子の移動のしくみについて理解させる。			
授 与 内 容	・原子の構造と静電気は、電子の移動で起こることを説明する。 ・既知事項について、なぜに使えることができるようになる。	(10分)			授 与 内 容	・原子の構造と静電気について ・電子の移動で起こること、「静電気は、電子の移動でわかる原因を説明しない原の説明について、『正電荷は移動しないが、負電荷(電子)は移動すること』を理解する。	(10分)		
授 与 時 間	・原子の構造と静電気は、電子の移動で起こることを説明する。 ・既知事項について、なぜに使えることができるようになる。	(10分)			授 与 時 間	・原子の構造と静電気について ・電子の移動で起こること、「静電気は、電子の移動でわかる原因を説明しない原の説明について、『正電荷は移動しないが、負電荷(電子)は移動すること』を理解する。	(10分)		
授 与 内 容	・検電器実験1 (内部の電荷は片方がはたらき、周囲の電荷には引力がはたらく) ・検電器実験2 (はく検電器とスマートフォンを用いて、静電気の実験を演示して見せた後、各班に材料を配布し、体験させる。上記の状態では、はく検電器の天板に手を触れると、はくが倒くことを確認させたいでやぶる。)	(35分)			授 与 内 容	・検電器実験の構造に同様なデジタルコンテンツ(以下、デジタル検電器)を用いた検電器により、静電説解に対する具体的な構造を理解する。 ・はく検電器を用いた検電器により、静電説解や電荷の移動に対する具体的な構造を理解する。	(35分)		
授 与 時 間	・検電器実験1 (内部の電荷は片方がはたらき、周囲の電荷には引力がはたらく) ・検電器実験2 (はく検電器とスマートフォンを用いて、静電気の実験を演示して見せた後、各班に材料を配布し、体験させる。上記の状態では、はく検電器の天板に手を触れると、はくが倒くことを確認させたいでやぶる。)	(35分)			授 与 時 間	・検電器実験の構造に同様なデジタルコンテンツ(以下、デジタル検電器)を用いた検電器により、静電説解に対する具体的な構造を理解する。 ・はく検電器を用いた検電器により、静電説解や電荷の移動に対する具体的な構造を理解する。	(35分)		
ま と め	・電子の移動と静電気は、電子の移動であることが理解できたか。	(5分)			ま と め	・電子の移動と静電気は、電子の移動であることが理解できたか。	(5分)		

北海道青少年のための科学の祭典

(経緯と今後の方向)

北海道小樽工業高等学校 菅 原 防

キーワード 科学の祭典 科学教室 NPO 法人 物理サークル プラットホーム 児童会館 自治会

1. はじめに

北海道における「青少年のための科学の祭典」は年々開催数および来場者人数が増加している。また、「北海道科学の祭典実行委員会」を母体として、NPO 法人が平成 19 年 7 月に認可され「北海道科学活動ネットワーク」の名称で始動した。科学の祭典が北海道で 15 年目を迎えたことを機にこれまでの経緯をまとめ、今後の方針を探ることとする。

2. 過去の科学教育普及活動と科学の祭典の始まり

科学教育分野では過去様々な活動が実施されてきたが、現在の科学の祭典の発祥の基礎となったのは「科学

教育研究協議会（科教協）の全国大会で毎年行われる「科学お楽しみ広場」ではないだろうか。1988 年には科教協の岐阜物理サークルが「いきいき物理わくわく実験」を出版し、身近な材料による様々な演示実験の可能性を示し、教育関係者に多大なるインパクトを与えた。

その後、物理分野を中心として演示実験の工夫や科学実験に対する意識が高まる中、「青少年のための科学の祭典」は 1992 年東京で開催され、翌年 1993 年に東京大坂札幌の 3 カ所で実施され全国に広がった。これをきっかけとして理科サークルなどでの実験交流の場が全国の理科教師の中にさらに広まった。

北海道 青少年のための科学の祭典開催状況(第1回～第16回) (平成5年～20年)

北海道科学の祭典実行委員会

開催年	開催地(会場)	開催カ所	参加人数
1 1993(H5)	札幌(そごう)	1	9,215
2 1994	札幌(そごう)	1	10,000
3 1995	札幌(そごう)	1	15,000
4 1996	札幌(そごう) (青少年科学館)(ほくでんおもしろ実験室)	3	10,787
5 1997	北見(北見南北文化センター)	1	8,446
6 1998	札幌 北見	3	32,448
7 1999	室蘭図書館(札幌北見)	4	12,027
8 2000	室蘭図書館札幌市立北見駅前	5	12,486
9 2001	岩内羽幌(函館札幌室蘭帯広北見駅前)	8	20,705
10 2002	羽幌函館札幌室蘭帯広北見駅前	7	19,586
11 2003	岩内羽幌函館美幌(札幌室蘭帯広北見駅前)	9	24,231
12 2004	美幌富良野(函館札幌室蘭帯広北見駅前)	9	17,053
13 2005	余市(羽幌富良野駅前苦小牧美幌函館室蘭帯広旭川北見札幌3)	15	35,594
	NPO 法人フロンティアテクノセンターから事務的支援を得る		
14 2006	羽幌富良野駅苦小牧美幌函館室蘭延伸駅帯広旭川北見千歳札幌9	21	32,197
15 2007	羽幌延伸小樽2富良野駅苦小牧美幌函館室蘭帯広旭川北見千歳札幌10+研修会	24	40,002
2007.6	北海道科学の祭典実行委員会はNPO科学活動ネットワークに移行		
16 2008(H20)	羽幌延伸小樽2富良野駅苦小牧美幌函館室蘭帯広旭川北見千歳札幌13+研修会	28	集計途中
			累計 299,777

表 1 1993 年の第 1 回目から昨年 14 回目の開催地と開催数、来場者数一覧 (初めての開催地は太字で示した)

3. 北海道での科学の祭典とその後の経緯

表 1 は北海道での科学の祭典の経緯である。1993 年の第 1 回目から昨年 14 回目の開催地と開催数、および来場者数をまとめた。第 1 回から 4 回目までは 3 日間の日程で札幌で開催され、4 回目は札幌そごうデパートのプラニスホールのほか、札幌青少年科学館、ほくでん

おもしろ実験室の 3 カ所で同時開催し、各会場をバスでピストン輸送した。

北海道では札幌での科学の祭典を契機に 1995 年末に「BUTSURU サークルほっかいどう」は第 1 回の例会を実施している。その後例会を重ね第 39 回定例会では「マイコンカラーリー'96」と兼ねて、1 月 13 日(土)

に国際情報高校のホールで開催している。このように理科教師のネットワークが広がり、化学や生物地学分野の研究サークルも立ち上がった。その後、札幌以外で実施してほしいという声が強くなり、「97 青少年のための科学の祭典北海道北見大会」を北海道大会として実施した。札幌のメンバーも応援して、北見大会に力を注いだため

この年は札幌では実施していない。

しかし、一度実施した地域では毎年のようにその地域で行われるようになり、開催地が増えていった。札幌もその後毎年行われるようになった。北海道は全国的に見ても、毎年開催地が毎年増えていて、大きな「草の根運動」となっている。

札幌 科学の祭典開催状況(第1回～第15回) (平成5年～20年) 科学の祭典札幌大会実行委員会

1	1993(H5)	札幌(そこう)	委託3日	9,215
2	1994	札幌(そこう)	委託3日	10,000
3	1995	札幌(そこう)	委託3日	15,000
4	1996	札幌(そこう)(青少年科学館)(ほくでんおもじろ実験室)	委託3・3カ所	10,787
	1997		なし	0
5	1998	札幌(青少年科学館)	2日日程	2,895
6	1999	札幌(青少年科学館)	2日日程	3,924
7	2000	札幌(青少年科学館)	2日日程	4,402
8	2001	札幌(青少年科学館)	2日日程	4,160
9	2002	札幌(青少年科学館)	2日日程	3,098
10	2003	札幌(青少年科学館)	2日日程	3,425
11	2004	札幌(青少年科学館)	1日日程	1,604
12	2005	札幌3科学館西区(札幌西高)北区(札幌下水道科学館)	1日日程3カ所	3,677
		NPO法人フロンティアテクノセンターから事務的支援を得る		
13	2006	札幌9科学館南区手稲区清田区北区黄区西区豊平区厚別区	9	5,723
14	2007	札幌10科学館南区琴似手稲区清田区北区黄区西区豊平区厚別区研修会	10	9,811
		2007.6 北海道科学の祭典実行委員会はNPO科学活動ネットワークに移行		
15	2008(H20)	札幌12科学館南区琴似あいの里手稲区清田区北区東区伏古2番地豊平区元町厚別区	13	集計途中

表2 札幌での「青少年のための科学の祭典」の実施状況 (委託：jsfが北海道科学の祭典実行委員会に委託した大会)

4 札幌での「科学の祭典」

表2は札幌での科学の祭典の経緯である。札幌の各地区では2005年に3カ所で行ったことを契機に、2006年には9カ所に増え、さらに2008年には13カ所にも及ぶ。

それではなぜ急に開催地が増えたのだろうか。一つは各地域で開催したいという要望が基礎にあることは言うまでもないが、もう一つの理由として、事務局の開設が掲げられる。2005年、「NPO 法人フロンティアテクノセンター」がその任務を請け負った。2007年には「北海道科学の祭典実行委員会」が「NPO 法人北海道科学活動ネットワーク」として認可され、事務局としての機能と全道の活動情報を集め、また、科学の祭典の実施に向けての支援を中心として活動を進めた。その結果、新たな地域で実施し開催地、来場者数も増加した。

NPO 法人化したことで、その他の「科学活動」、例えば科学教室の開催、環境教育団体や発明協会など他団体との連携行事も進め現在に至っている。

5 NPO 法人としての他の団体との連携の例

2006年に様々な NPO 法人や各種団体と連絡を取り協力関係を探る協議を行った。ここに参加した団体は

「NPO 法人 butukura」「NPO 法人アースネットワーク」「NPO 法人の食育・自然経済協会」「NPO 法人フロンティアテクノトーク」「北海道 GEMS」「環境学習フォーラム北海道」および「北海道物理実践交流会」である。

2007年夏には「NPO 法人 食育・自然経済協会」は子供に贈る不思議体験「食・ナチュラルエコロジーの祭典」を開催した。このとき環境関連の演示ブースと一緒に科学の祭典の実験ブースを出展したが、環境関連の演示と科学実験ブースがうまく連携し、相乗効果があったといえる。例えば「カミネッコン」とは再生紙段ボールから作られた髪型枠のことであるが、これに土を入れ苗木を植えて持ち帰るかたわら、「巻き」の観察や「紫外線で赤くなるスライム」づくりをするという具合だが、来場者は「科学」と「環境」を区別なく楽しんでいた。

同じく 2007 年夏に行われた青少年のための科学の祭典小樽大会では「北海道職人義塾大学校」のメンバーが鋳造によるスズのメダル作製や、銀の指輪、色とりどりのロウの装飾、小樽消費者協会からは醤油から作る石けん作り、また地元企業から「水」をテーマにした演示と展示もあった。これまで学校教育関係の教師が中心であることが多かったが、参加する人材はバラエティに富む配置になった。このときは、ポリテクカレッジ(北海道

職業能力開発大学校)や発明協会のメンバーも参加した。

札幌では多くの団体の参加があった。「おもちゃクリニック」などの技術系の退職者が構成するリサイクル活動団体が科学の祭典にも参加し、お互いの連携も深めた。

6 プラットホームとして「科学の祭典」の意義

これまでと異なる様々な構成団体が「科学の祭典」に参加するようになってわかつてきることは次のことである。例えば多くの環境関連の団体はお互いが交流するチャンスは意外と少ない。そのなかでお互いの活動を理解する実践の場として「科学の祭典」がプラットホームの役割をするというのである。

長机で行うブース形式に合わせて演示や展示をすれば、科学実験のブースの間に環境関連のブースがあつても問題なく溶け合って、逆に相乗効果もあり科学の原理だけでなく環境に関する問題意識を深めて帰る市民や子どもたちがたくさんいるのである。参加する団体同士は、同じ会場にブースを出しているのであるから、お互いの情報交換を簡単にできる。直接話し合える場があると、新たな協力関係を発展させるきっかけとなり得る。

7 新たな実践の方向

2008年度は様々な場所で「科学教室」「NPO法人北海道科学活動ネットワーク」として協力し、また主催した。いくつかの例を示す。

2008年4月26日(土)には、サッポロファクトリーにて「発明の日」記念事業として、小・中学生とその保護者等を対象に「特許ってなに?おもしろ発明・体感フェア2008」で科学実験教室を担当した。

札幌市内に150カ所以上ある「札幌市児童会館」においては、夫婦共働きの子どもたちが集まっている。各館では20名から40名以上の児童生徒を把握していて、「科学教室」の企画を提案すると20名以上の子どもたちが希望する。38カ所の児童会館から実施の要請があったが、対応する講師数が少ないため、実際に実施できたのは10数カ所の児童会館で1回限りの単発の「科学教室」だった。今後協力する講師が大勢いれば多くの場所で実施できる。

また、唯一桑園児童会館では、子どもたちのグループを組織して月に1回程度、定期的に「科学教室」を開催しているが、その講師派遣を行った。年末には実験教室で学んだ子供たちが、この地域の子供たちを集め、「科学の祭典」ふうの公開実験を行う予定である。子供たちの後ろにいる高校生は子供たちのサポートをし、その後ろに大人の講師がいて、実験指導と物品の購入や安全性の

管理などを行う。

自治会が主催する「科学の祭典」では少し傾向が異なる。東区の栄新和町内会館で行っている「科学の祭典」は今年3回目で、10ブース程度の科学の祭典だが、狭い会館に200名もの来場者がある。実験講師は少ないので、講師の指導のもとで近所のお母さん方が集まって来て実験の助手を務めている。頼もしい限りである。

しかし一方では、子どもの数が減少し地域運動会のような子ども中心の自治会行事は年々減少している。しかし、地域の大人たちが、子どもたちとともに楽しめる文化的な行事や場を作ることは価値あることである。栄新和町や桑園のような自治会や児童会館での「科学教室」もそのひとつの選択肢として発展の可能性がある。

「科学の祭典」の新たな開催の経過を見ると、今年の恵庭市や伏古、あいの里のように、その地域の方の熱意だけで開催にこぎつけるかどうかが決まってきた。

以上のことから下記のことが重要であるといえる。

- ① 一般市民からの協力と理解を得ること
- ② ものづくりや科学工作実験の指導者層を拡げること
- ③ 地域の中から熱意のある人材を見つけること

8 おわりに

北海道の科学の祭典は来年度には30を超える勢いである。小さな指導者研修会は科学の祭典に合わせて実施し、科学の祭典をプラットホームとした多くの活動団体との連携を進めさらに多くの講師の協力を得たい。そして、栄新和町内会館でのお母さん方のような一般市民の協力を拡げていくことを今後の方向として期待したい。

2008年度 北海道 科学の祭典開催状況

NPO科学活動ネットワーク (登録登録)

1.1 札幌大学 (南区)
2.2 北海道教育大学札幌校 (北区)
3.3 ポリテクセンター北海道 (北区)
4.4 札幌市立木田科学館 (北区)
5.5 北海道立貢献大学 (手稲区)
6.6 札幌市青少年科学館 (厚別区)
7.7 ポンティアックセンター北海道 (西区)
8.8 安積和町内会館 (東区)
9.9 札幌市立伏古小学校 (東区)
10.10 元町児童会館 (東区)
11.11 西園中学校 (豊平区)
12.12 駒澤ボランティア研修 (円山園) NPO科学活動ネットワーク会館
13.13 みじ台西小学校 (豊平区)
14.14 研究大会 沖縄県レストバータ
15.15 小樽大会 1小冊十組合博物館
16.16 札幌大会 吉田小学校
17.17 釧路駅前大会 釧路市文化会館
18.18 朝霞大会 面白石公民館
19.19 幸福大会 幸福市科学館
20.20 釧路大会 姫咲町公民館
21.21 研石大会 研石市光榮会館
22.22 釧路大会 釧路市民会館
23.23 北見大会 北見町北見文化センター
24.24 伊都路大会 朝霞市こども遊学館
25.25 仁愛大会 仁愛市民センター
26.26 駒澤の駒澤相撲祭り研究会 NPO科学活動ネットワーク会館
27.27 小樽大会 2 小樽市立看守宿
28.28 桑園大会 2 桑園市民会館

表3 2008年度「青少年のための科学の祭典」

青少年のための科学の祭典札幌北大会実施報告

(アシスタント学生の自然発生をめざして)

北海道札幌西高等学校 木村 宣幸

北海道内で実施される青少年のための科学の祭典が開催数をここ数年大幅に増大してきた。デモンストレーターが多くの大會をかけ持ちする中で、札幌北大会は学校教員（既存のデモンストレーター）の負担を軽減し、大学生、高校生等の若い力を生かすことを目標に運営してきた。ここでその実践を報告する。

1. はじめに

北見大会に10年以上前から参加させていただいている。北見大会では小学生のときに客として訪れた子ども達が現在では高校生アシスタントとして活躍しており、大変活気のある大会となっている。このような北見のスタイルにあこがれ、私は以前から自校の生徒をブースのアシスタントとして祭典に参加していた。そして、高校生の献身的な働きぶり、祭典が終了した後のアシスタントを務めた高校生達が感じる充実感、来場した子どもおよび親の高校生に対する評価の高さ、どれをとっても私がブースで孤軍奮闘するより遙かによいと考えるように至った。

青少年のための科学の祭典札幌北大会の事務局を担当して2年が経つ。高校生、卒業生、大学生をできる限り活用し、来場した小学生が自分が高校生になったときにデモンストレーターをやりたいと感じるような祭典をめざすようになり、運営を手がけてきた。

2. 活動概要

科学の祭典札幌北大会（会場：札幌市下水道科学館）の過去4年間の実施状況は以下の通りである

実施日	ブース数	デモンストレーター数	来場者数
2005 9/17	22	34人	
2005 11/20	20	32人	
2006 8/27	21	総勢 40人 大学生 14人 高校生 8人	500以上
2007 8/26	23	総勢 67人 おもちゃ 6人 大学生 15人 高校生 29人	764人
2008 8/31	23	総勢 74人 おもちゃ 9人 大学生 11人 高校生 40人	1004人

青少年のための科学の祭典

札幌北大会 下水道科学館会場

楽しい実験や科学工作がいっぱい
日時 8月31日(日)
9:30~14:30
場所 札幌市下水道科学館
実験・工作

電話番号 011-711-0068

入場料 少年少女のための科学の祭典北大会は
子どもたちが主な対象です！午前料 オリジナルで作成した模型をつくろう
午後料 カラーペイント
料金代りの料金
おもちゃ販売
料金代りの料金午前料 オリジナルで作成した模型をつくろう
午後料 カラーペイント
料金代りの料金
おもちゃ販売
料金代りの料金

下水道科学館の職員の協力をいただき、北区と東区の小学校に約2万枚のビラを配布している。年を追う毎に来場者が増加し、会場の大きさを考慮すると限界の人数である。

スタッフの数が多く、また学生は食事の時間も惜しんで献身的に子ども達の指導に当たっ

てくれるので、千人を超えた今年も無事終えることができた。また、卒業生が現役高校生を指導してくれるため、私はブースの心配をせずに事務局に徹することができた。

さらに、定期的に下水道科学館で活動を続けておられる「おもちゃクリニック（82~60歳）」の方々の参加がかけがえのないものとなっている。デモンストレーターは老若男女のバランスよい状況を保てている。

3. むすび

本年度は西高、北高、開成高、平岡高の4校の参加であった。札幌北大会が小学生にとって将来進学する地域の高校生との出会いの場と成ることを期待し、活動を続けていきたいと考えている。ここを訪れた小学生が数年後高校生となり、「科学の祭典のアシスタントをしたい」と自ら発する生徒が現れることを楽しみ待っている。そのときは十分に経験を積んだ卒業生に指導を任せたい。



科学の祭典札幌手稲大会報告

(新しい形を模索して)

北海道札幌北高等学校（手稲大会実施責任者） 中道洋友

青少年のための科学の祭典札幌手稲大会は2006年8月に1回目の大会が開かれ、2007年、2008年と今年で3年目となった。手稲大会の特徴は北海道工業大学の全面的なバックアップがあり、北海道の科学の祭典の中でもユニークな実施形態となっていることである。

1. はじめに

科学の祭典札幌手稲大会は2006年8月に1回目の大会が開かれ、2007年、2008年と今年で3年目となった。手稲大会の特徴は北海道工業大学の全面的なバックアップがあり、北海道の科学の祭典の中でもユニークな実施形態となっていることである。本稿では手稲大会の実践を通して、科学の祭典の今後を考察したい。

2. 手稲大会の経過

手稲大会は北海道工業大学G棟を会場として実施されている。1年目、2年目は夏休み中の実施で多くの来場者があった。今年は9月の実施で来場者も大幅に減るのではと心配したが、地域の方たちにも定着し、900人の来場者を数えた。3年間のブース数等を次の表に示す。

	2006.8	2007.8	2008.9
ブース	19	24	21
サイエンスショー	1	2	2
実験・体験教室	2	2	1
演示講師	22	37	36
アシスタント	22	30	10

1回目の実施から北海道工業大学の全面的な協力を得られ、事前のコマーシャル、会場設営、当日の運営など、多くの教職員の方に裏方として活躍していただいた。

アンケートによれば、手稲区はもとより、西区、石狩市、小樽市から多くの方に来場していただいている。宣伝用のチラシを手稲区、西区の手稲区側、旧石狩市、小樽市（銭函、朝里）の小学校、中学校の全児童・生徒に配付していることとも関連していると考えられる。

3. 手稲大会の特徴

手稲大会の最も大きな特徴は、北海道工業大学のスタッフが、「足裏を科学する」「低融点合金の作成」「みつあみで立体を作ろう」「君の声を目で見ると」など、そ

れぞれの研究分野の特長を生かしたブースを提供してくれていることである。



写真1 道工大スタッフによるブース

また、同じく北海道工業大学のスタッフによる「英語紙芝居」「発砲入浴剤の作成」「宇宙」等の実験室や教室でじっくり学習できる「授業」があることである。



写真2 道工大スタッフによる実験教室

4. まとめ

手稲大会は事務のことから演示内容まで北海道工業大学のスタッフの方たちに支えられ、またそれが特徴である。科学の祭典は「屋台形式」なので、いろいろな実験があり、子どもたちの科学への動機付けとしての効果が期待できる。手稲大会ではさらに一步進んで、大学での実施を生かし、じっくり学習できる実験教室がある。そのことは科学の祭典の新たな可能性を開くのではと考えてる。そのような場を提供していただいている北海道工業大学の多くのスタッフの方に感謝したい。

日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

第2条 本支部は、北海道在住の会員の連絡と研究の交流をはかり、北海道における物理教育の振興と、その地域的な活動への寄与を目的とする。

第3条 本支部は、前条の目的を達成するために次の事業を行なう。

- (1) 講演会、講習会、学術映画会、研究会懇談会等の開催
- (2) 会報の配布、研究成果の刊行
- (3) 物理教育についての調査及び研究
- (4) その他、前条の目的達成に必要な事業

第4条 (削除)

第5条 本支部の会員は、北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる。

第6条 本支部に次の会員をおく。

1. 支部長1名、副支部長2名、支部理事若干名、及び監事2名。
2. 支部理事の数は、支部長が支部理事会の議を経てこれを定める。
3. 副支部長は、支部理事の中から支部長がこれを委嘱する。

第7条 支部長・副支部長及び支部理事は、支部理事会を組織し、支部長は支部会務を統括する。副支部長は支部長を補佐し、支部理事は支部の業務を分掌する。

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱

する。

第10条 支部評議員は、支部評議員会を組織し、支部長の諮問に応じ、支部の事業遂行について支部長に助言する。

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

第12条 次期支部役員は、本支部役員中の次の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員
- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

第13条 元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

第14条 支部総会は、毎年1回、支部長がこれを招集する。支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる。

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

- (1) 事業計画及び収支予算
- (2) 事業報告及び収支決算
- (3) その他、支部理事会において必要と認めた事項

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の三分の二以上の同意を得なければ変更できない。
- (2) 本規約は、昭和44年6月25日より施行する。

A 4 論文原稿執筆要項 表題は16ポイント(pt)のゴシック文字 (副題は12ptゴシック：両端をカッコでかこむ)

English Main Title:12ptTimes (英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載する)
(English Sub Title:12ptTimes)

所属は 9pt明朝 名前は 10ptゴシック 明朝大学 ゴシック 太郎 執筆高校 執筆 一朗
Name 9pt Times Sippitu Koukou Sippitu Itiro

本文の9行目に相当する位置から抄録を書き始めます。200字以内。日本語文字は9ptを標準です。例えば「・について、・という発想で、・行なったところ、・という結果を得た」キーワードを含めて下さい。なお、英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載します。

Abstract

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font.

キーワード 9ptゴシック 5語程度

Keywords : Times Font, 9pt, About 5 Words

1. 支部会報「物理教育研究」投稿について

内容 支部会員からの自由投稿及び福集部の依頼に基づく寄稿によるものとし、内容は論説研究・解説・報告等物理教育に関するものなら自由です。

2. 原稿執筆（章タイトルはゴシック10pt太字）

本資料はオフセット印刷で、縮小してB5版に印刷される冊子を作成する際に、A4版の論文原稿作成の時に必要な投稿規定の情報を、視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものです。

2. 1 本文執筆の要点

A4用紙に52文字45行、2段組の部分は25文字、段間隔：8mm 段幅：82mm とする。マージンは上21mm 下27mm 左18mm 右18mm とする。

2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは9ptの

和文：MS明朝、平成明朝

英文：Times, New Roman, Times Symbol とします。ただし太文字は、9ptの和文：MSゴシック、平成角ゴシック、英文：Arial, Helveticaを使用すること。上記フォントがない場合は、類似のフォントを使用してください。

2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9ptのイタリック体と

します。ベクトルの場合は太文字のイタリックとします。

上下添字は6pt程度の立体（イタリックも可）とします。以下にいくつかの例を挙げます。

$$J, \quad V, \quad P^{\wedge}, \dots$$

式を記入する場合は、式の上下に空白を設け、右端に式番号を下記の例のように記入します。

$$F_D = C_D 1/2 \rho |V| VS \quad (5)$$

式を文章中で参照する場合は、式(5)、式(7)～(10)のように番号の前に“式”を付けてください。

2. 4 図・表・写真およびその説明

図・表・写真是、1段幅、あるいは2段幅に収まるよう作成し、論文内の適切な位置には配置します。

図中の文字は、十分認識できるサイズ（9pt程度）にし、6pt未満の文字は使用しないでください。また図表・写真的前後に空白行を設けてください。

図表には適切な表題（見出し）、ナンバーを必ず付けて文中に挿入します。その説明は以下に示す例のように、太字の図・表・写真番号の後に、9ptの標準文字で説明を記入してください。図表写真については原寸大で写真製版します。

例 図1 実験装置の概略

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

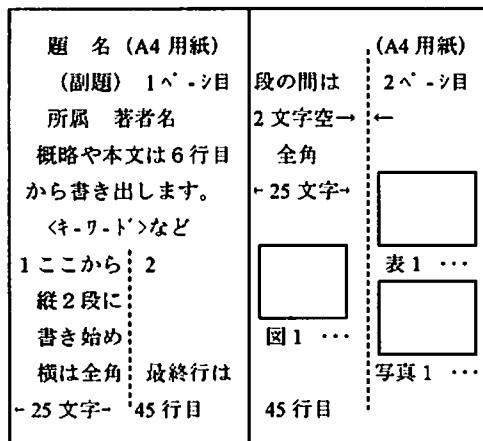


図1 ワープロ原稿の例

写真はコントラストの良いものでお願いします。また、ワープロ文書等に貼り付ける場合はサイズが必要以上に大きくならないようにしてください。

図・写真等を別に用意する場合は挿入箇所を指定してください。図・表・写真の指定場所は用紙に直線で囲み指定するので、その余白を予めとっておいて下さい。

2. 5 記号説明・引用文献

結論・謝辞等の次に本文で使用した主な記号の説明を英語で記入します。文字サイズは、9 pt程度とする。

引用文献¹⁾は右肩に^{1) 2)}を文章中に記入し下記のように、一括して末尾に文献名・出版雑誌名、巻号、ページなどを引用順に記入してください。詳細は以下の例を参考にしてください。参考文献は原則掲載する必要はありません。

ワープロ原稿はA4の用紙に投稿規定の要領で印刷し、脚注や引用等本文以外の細かな指定ができない場合は赤字で原稿に指示して下さい。

引用文献

- 1) 山川谷男：エントロピーの・・教育、物理教育研究、Vol.22 No.3, pp.1 ~ 4, 1998
- 2) 執筆太郎 『北海道の物理教育』、支部出版, 2005

なお、脚注は文章中の該当箇所に*-*の印を付しページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

3. その他

- (1) 原則として原稿はお返いいたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。
- (2) 本紙は毎年(9月)に発行予定です。
- (3) 研究論文と解説には審査員を立てて内容を審議し審査します。
- (4) 投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の投稿受付担当者までお願いします。

原稿募集 上記規定により支部会報「物理教育36号」の原稿を募集いたします。

(1) 締切

2009年7月末日

(2) 投稿受付

投稿受付は下記のとおりです。詳しくは2009年4月に支部ホームページに掲載します。

問い合わせ先

〒011-0025 札幌市北区北25条西11丁目
 北海道札幌北高等学校 中道洋友
 TEL 011-736-3191 FAX 011-736-3193
 E-メール nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

使用されるワープロが「Word」か「一太郎」であれば、この執筆要項のファイルを送付できます。担当までお知らせ下さい。執筆要項はホームページからダウンロードすることもできます。

編集後記

今年も多くの方にご協力いただきなんとか発行できました。編集担当の力量もあるかとは思うのですが、年々依頼した原稿が多くなり、投稿がへっていることが気になるところです。高校の新しい学習指導要領では、物理履修者が増加が予想されます。小学校から大学までを見通した情報交換ができるればと考えています。

表紙写真説明

本会報「平面上に配列したビー玉による像」「」凍るシャボン玉実験紹介」から

2008年9月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第36号 編集責任者 中道洋友

(060-0810) 札幌市北区北10条西8丁目

北海道大学大学院理学研究院物理学部門

日本物理教育学会北海道支部

目

次

卷頭言

物理教育研究会 講演の記録 地球環境問題の現在	日本物理教育学会北海道支部理事 帯広畜産大学地域環境学 前多 修二	鶴岡 森昭	1
物理教育研究会全体討論の記録 次期学習指導要領について	北海道札幌旭丘高等学校	横関 直幸	2
ラザフォードゆかりの地を訪ねて	北海道札幌清田高等学校	鶴岡 森昭	10
透過型回折格子フィルムを用いた分光と光の波長の簡易計算	千歳科学技術大学	長谷川 誠	14
平面上に配列したビー玉による像	北海道長沼高等学校	永田 敏夫	20
凍るシャボン玉実験紹介	北海道釧路工業高等学校	小久保 慶一	22
「ピタゴラ装置」製作実習	北海道蘭越高等学校	田端 修	24
公立高校入試問題（物理分野）の分析からみた指導法の検討	北海道木古内高等学校	稻子 寛信	27
高校物理『静電気』における「はく検電器を用いた実験」と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の比較検証	北海道札幌平岡高等学校 東京理科大学 (独) メディア教育開発センター研究開発部	大坂 厚志 川村 康文 中川 一史	30
小特集「科学の祭典の今後」 北海道青少年のための科学の祭典	北海道小樽工業高等学校	菅原 陽	35
青少年のための科学の祭典札幌北大会実施報告	北海道札幌西高等学校	木村 宣幸	38
科学の祭典札幌手稲大会報告	北海道札幌北高等学校	中道 洋友	39
日本物理教育学会北海道支部規約、A4原稿執筆要項、編集後記			40