

高大連携を活用した理科教育の充実

石 丸 憲 治 森 誠 一 元 山 茂 樹

要 旨

化学グランプリ・オリンピック講習会，生物オリンピック講習会，科学の甲子園徳島大会を通じて，生徒の学力の向上を目指した。その中で，大学との連携を活用して，生徒の理科に対する興味・関心をより向上させることを目指すとともに，連携の在り方を模索した。

キーワード：理科教育，高大連携，興味・関心，化学グランプリ・オリンピック講習会，生物オリンピック講習会，科学の甲子園

I はじめに

本県では，平成 24 年度より「高校生夢・チャレンジ事業」を実施している。この事業には 2 つのタイプがあり，その一つである「科学五輪・チャレンジ」においては，国際科学オリンピックや科学の甲子園に出場することを通し，生徒の探究心や学ぶ意欲，将来の進路を考える力等を養い，学力向上に対するモチベーションを高め，進路実現へとつなげていくための具体的な取組を実践することを目的としている。そこで，総合教育センターでは，理数系分野に関心を持つ生徒を対象にして，国際科学オリンピック徳島県予選のための講習会及び「科学の甲子園」徳島県大会を実施することにより，生徒の理数の学力向上を図るとともに科学に対する興味・関心を高める方法を，大学と連携をとりながら，模索した。

II 化学グランプリ・オリンピック講習会

1 講習会の日程・内容

「科学五輪・チャレンジ」の 1 つである化学グランプリ・オリンピックの講習会は，学校の枠を越えて理数系分野に関心を持つ高校生を対象に，大学と連携をとりながら講習会を実施して，生徒の学力の向上を図ることを目標としている。講習会には，県下全域から様々な学年の高校生が 50 名程度参加している。この講習会では，大学の先生が，化学グランプリの過去問題の解説や最先端の科学技術・研究を紹介している。しかし，いろいろな学年の生徒が参加していることもあり，その講義の内容をレベルが高いと感じる生徒も少なくない。そのため，次のように，午前中に事前学習を取り入れている。

- 10:00～12:00 事前学習(総合教育センター 石丸憲治)
- 13:00～13:20 化学オリンピック説明(鳴門教育大学 講師 早藤幸隆)
- 13:20～14:05 基礎化学・物理化学(鳴門教育大学 准教授 武田清)
- 14:15～15:00 無機化学(徳島大学 教授 今井昭二)
- 15:10～15:55 有機化学(徳島大学 教授 三好徳和)
- 15:55～16:00 アンケート

特に、化学反応における物質量の取り扱いは必須となるので、午前中の事前学習では化学反応における量的関係の学習を取り入れている。この事前学習を効果的なものにするために、発生気体の定量装置の開発を行い、その活用を試みることにした。

2 事前学習における工夫

(1) 気体発生装置の製作とその活用

① 研究の目的

高等学校化学では、化学反応における量的関係を取り扱う。その際、気体の発生をとまなう化学反応を利用すると、発生した気体の質量や体積を測定することによって、その化学反応の量的関係を理解させることができる。教科書でよく取り扱われている実験としては、炭酸カルシウムと塩酸の反応で、発生した二酸化炭素の量を電子天秤やメスシリンダー(水上置換)によって測定するというものである。これを50分授業で行う場合は、5回の実験を行って5個の実験データをとって、それらを表やグラフとしてまとめるのが精一杯というところである。

さらに、この事前学習では、限られた時間(30分程度)・場所(講義室)で、学校も学年も様々な生徒を対象としているので、化学反応の量的関係の理解を助ける実験器具が必要となった。そのために、①実験の迅速化、②実験操作の簡便化、③実験器具の低価格化、④試薬の少量化を意識し、生徒一人ひとりが実験を行うことのできる実験器具を作製することにした。そして、ベーキングパウダー中の炭酸水素ナトリウムの純度を求める実験に、今回開発した実験器具を活用し、その有効性を検討した。

② 教材の開発

1つのマイクロチューブ(1.5mL)の側面に直径5mm程度の穴を開け、図1のような長さ1cm、外径5mmのストローでつなぐ。一方のマイクロチューブのふたに3mm程度の穴を開け、図1のようにプラスチック製の注射器をつなげる。空気が漏れないようにホットボンドを用いて、すき間のないように接続した。また、1個当たりの費用は、100円以内で作製できた。

図2のように、右側のマイクロチューブに0.10gの固体を入れ、左側のマイクロチューブに0.5

mL程度の溶液を入れる。その後、マイクロチューブのふたを閉め、図3のように横にしてよく振ると、発生してきた気体が、注射器の中に取り込まれ、その体積を測定することができる。



図1



図2



図3

炭酸水素ナトリウムと食塩の混合物0.10 g と 1 mol/L塩酸との反応について、図1の実験器具を用いて実際に発生してきた二酸化炭素の体積を測定した。図4は、測定結果をまとめたものである。これらの測定値は、理論的に27℃で実験を行ったときに発生する二酸化炭素の体積とほぼ一致した。また、測定値は、注射器のゴムの摩擦によって、実際に発生してきた二酸化炭素の体積より0.2mL程度小さくなるが、測定誤差の範囲にあることがわかった。

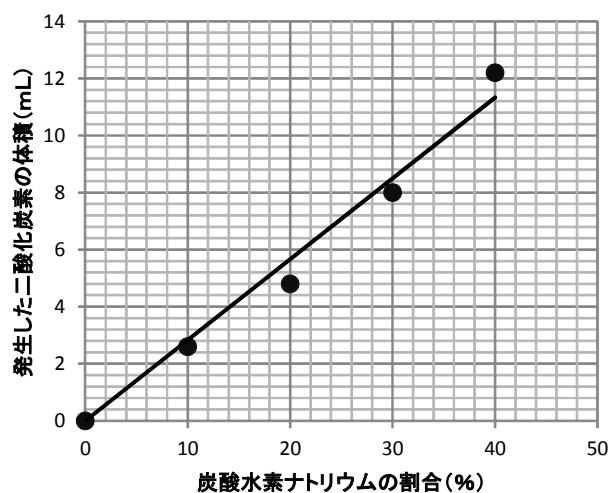


図4

③ 授業の実際

ベーキングパウダー中の炭酸水素ナトリウムの純度を測定する実験を、実験室ではなく教室で行った。生徒一人ひとりに次の器具や薬品を配付した。

(配布物)

- ・注射器付きマイクロチューブ (図1)
- ・ベーキングパウダー0.10 g (事前に質量を測定し薬包紙に入れておいたもの)
- ・1 mol/L塩酸(10mLポリ滴瓶に適量入れておく)

まず、図5のように、実験器具の使い方と炭酸水素ナトリウムの反応を説明した。その後、生徒一人一人が実験を行い、発生してきた二酸化炭素の体積を測定した。この間、説明と実験合わせて約5分程度であった。また、生徒(40人)の測定結果は、次の通りであった。



図5

(測定結果(mL))

6.2 6.6 6.5 6.6 6.0 6.1

6.6 6.4 6.8 6.4 6.6 6.5

6.0 6.8 6.5 6.8 6.6 6.2

6.8 6.2 7.6 6.9 7.0 6.6

6.7 7.4 6.2 7.1 6.4 7.0

6.7 6.6 5.6 7.4 6.6 6.6 7.2 6.7 5.6 6.6

平均6.6mL

自分の測定結果からベーキングパウダー中の炭酸水素ナトリウムの純度を各自求めた。その結果、クラス全体としては、 $22 \pm 5(\%)$ という結果を得た。実際に用いたベーキングパウダーの成分表には、27%と表示されていたので、少し小さめの値となった。

3 実践効果

(1) 生徒の感想

- ・ 少しのベーキングパウダーから、意外と多くの二酸化炭素が発生するのに驚いた。
- ・ 単純な実験だったけれど、自分の結果とみんなの結果がよく似ていたので安心した。
- ・ 自分で実験をやって、自分で考えることができてよく分かった。
- ・ 1つの簡単な実験で、いろいろなことを考えることができ、化学の奥深さを感じた。
- ・ ベーキングパウダーを入れるのが少し難しかった。
- ・ 実験器具が、よくできていたのに感心した。

(2) 今回の初期の目的とその評価

- ・ 実験の迅速化、実験操作の簡便化・・・説明と実験が5分程度で可能
- ・ 実験器具の低価格化・・・1個100円以内
- ・ 試薬の少量化・・・1回あたりベーキングパウダー0.10g, 1mol/L塩酸0.5mL程度

ということで、生徒一人一人が、実験室でなく教室で実験を短時間で行うことが可能となった。そのため、(1)に代表的な生徒の感想を示したが、自分自身が積極的に授業に参加し、いろいろなことを考えることができるようになったと実感した。

(3) アンケート結果(参加者40名分)より

図6は、事前学習を受けて、その内容を理解できたかという問いに対する回答をまとめたもの

である。80%程度の参加者は理解できたようだが、1年生にとっては少し難しい内容となった。図7は、ベーキングパウダーの純度を求める実験を通して、化学に対する興味関心が高まったかという問いに対する回答をまとめたものである。ほとんどの生徒が、興味・関心が高まったと答えた。

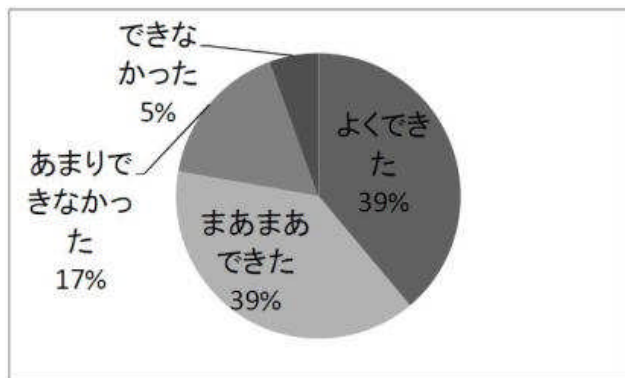


図6

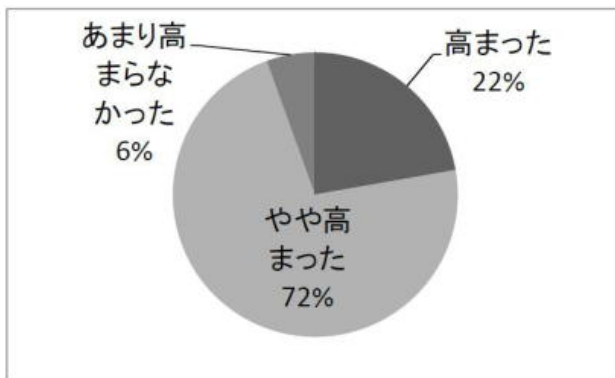


図7

Ⅲ 日本生物学オリンピック講習会

1 講習会の内容と日程

「科学五輪・チャレンジ」の取組の1つとして日本生物学オリンピック講習会を実施している。本講習会の目的は、生物学に興味・関心を持つ生徒を対象に、日本生物学オリンピック予選に参加することを通して探究心や学ぶ意欲を養い、学力向上へつなげていくことである。講習内容は、大学の先生による生物オリンピック過去問題の解説や興味・関心を高める実験を中心としている。しかし、講習会に参加する約40名の生徒は、学年も様々で既習内容にばらつきがあるため、日本生物学オリンピック予選の出題内容を大学の先生の講義一回のみで理解するには困難な状況が想定される。そこで、大学の先生の過去問題の解説に入る前に、解説内容に関する事前学習を設けることでスムーズな理解につなげられるのではないかと考え、事前学習を行うこととした。そして、当日の日程については以下のように決定した。

- 10:00～12:00 事前学習（総合教育センター 森 誠一）
- 13:00～13:50 遺伝学（徳島大学総合科学部 教授 松尾 義則）
- 14:00～14:50 遺伝子工学（徳島大学総合科学部 准教授 渡部 稔）
- 15:00～15:50 植物学，細胞生物学（鳴門教育大学 名誉教授 米澤 義彦）
- 15:50～16:00 アンケート

2 事前学習の内容

日本生物学オリンピックの過去問題をみると、出題範囲は多岐にわたっており、そのすべてを2時間の事前学習で網羅するのは不可能である。そこで、大学の先生に解説を依頼している分野であり、これまでの過去問題でも出題の頻度、割合ともに高い遺伝学の分野に限定して事前学習を行うこととした。そして、2時間の事前学習を2つに分け、遺伝子と染色体で1時間、形質発現と核酸で1時間設定した。学習内容の要点は、パワーポイントのスライドショーで示しながら説明を行った。

(1) 遺伝子と染色体

新学習指導要領においては、生物に位置付けられている分野であるため、現在の1・2年生は講習会が行われた6月末の段階では、学習していない生徒がほとんどである。この分野において基本的知識がない場合、問題を解くことが全くできない状況が生じる。そのため、事前学習を行っておく必要のある分野であると考え。また3年生については、ほとんどの生徒が生物Ⅰで学習済みであるが、独立遺伝や連鎖遺伝を染色体との関係で理解できていない生徒が数多く存在するため、再度教材として取り上げて理解を促したり、再確認することも意義あることであると考え。学習内容の概要を以下に示す。

(学習内容の概要)

遺伝の法則、遺伝用語、検定交雑、染色体と遺伝子座、遺伝子と染色体の分離、独立遺伝の配偶子の比率、完全連鎖の配偶子の比率、組換えのしくみ、不完全連鎖の配偶子の比率、独立と連鎖の配偶子の比率（まとめ）、組換え価、三点交雑による染色体地図、性染色体と性決定、伴性遺伝

(2) 形質発現と核酸

新学習指導要領においては、生物基礎及び生物に位置付けられている分野である。生物基礎を1年生で履修する学校の2年生の生徒は既にアウトラインを学習済みであるが、1年生で履修しない学校においては、6月末の段階では、学習していない生徒がほとんどである。3年生においても学習の途中か、学習が終了して間もない状況である。受講者の学習状況に大きなばらつきがあり、さらに日本生物学オリンピック予選では必ず出題される分野であることから、基礎的な学力を養う意味において、事前学習で取り上げる必要がある分野だと考える。学習内容の概要を以下に示す。

(学習内容の概要)

DNAの構造、DNAの二重らせん構造、遺伝情報の発現、セントラルドグマ、転写、tRNAの構造、mRNAの遺伝暗号表、遺伝子の発現調節（原核生物の例）、遺伝子組換え、遺伝情報の変化、かま状赤血球貧血症とマラリアの分布、ハーディー・ワインベルグの法則とその証明、遺伝的浮動

3 実践後のアンケート結果および考察

(1) アンケートの結果（参加者43名）

図1は、事前学習について内容は理解できましたかという問いへの回答結果である。よくできたとする参加者は26%で、まあまあできたとする参加者が53%であり、79%の参加者が理解できたと回答した。また、図2は事前学習を受けて科学に対する興味や関心は高まりましたかという問いへの回答結果である。大変高まったとする参加者は30%で、まあまあ高まったとする参加者は65%であり、95%の参加者が科学に対する興味や関心が高まったと回答した。

さらに、事前学習に対する生徒の感想は、次のようなものであった。

- ・まだ学習していない部分がたくさんあったので、これから勉強して知ろうと思った。
- ・今まで習ったことの復習ができたのでよかった。
- ・授業であまり理解できなかった遺伝の分野についてくわしく教えてくださってよかった。
- ・午前中に高校の復習をしてくれたおかげで、午後の講習会がとてもわかりやすかった。
- ・午前中の講義はちょうど習ったところだったので、理解しやすかった。

- ・今やっている生物とつながっていて内容理解ができて楽しかった。
- ・遺伝はやはり複雑で難しいが、以前より面白いと思えるようになった。

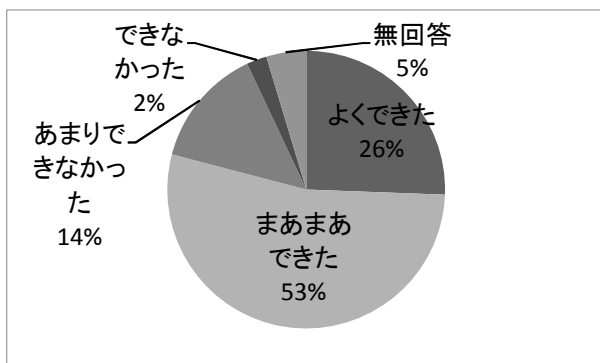


図 1

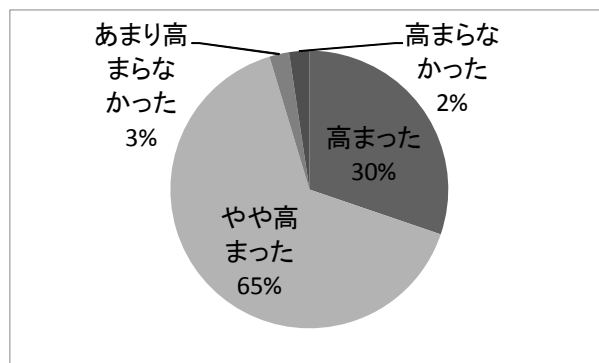


図 2

(2) 考察

事前学習の内容理解については、79%の参加者が理解できたとしており、午後の大学の先生による問題解説のスムーズな理解につなげることができたと考える。また、科学への興味・関心への高まりについても95%の参加者が高まったとしており、さらに感想にも今後の学習に対して意欲的なものが見られることから、講習会以後の学習の深まりによる学力向上にも期待を持つことができると考える。

なお、本講習会に参加した高校1年生の生徒が日本生物学オリンピック2013の本選に出場し、敢闘賞を受賞した。

午後の大学の先生による講習会では、解説に加えてタマネギのDNAの抽出実験やアフリカツメガエルの観察が行われ、好評であった。事前に研究の紹介や簡単な実験を依頼していたところ、それに応える形で実施されたものである。また、生物に関する身近な話題や今までの学習経験に関連させた内容、大学の先生ならではの最先端の話題も好評であった。

以上のことから、講習会においては、単に日本生物学オリンピックの過去問題の解説を行うだけでなく、事前学習により内容理解の支援を行ったり、実験などを盛り込んだりすることにより、参加者の興味・関心を高めることが必要であると示唆される。

参加者のアンケートの中に、講習会の実施時期を早めることはできないかとの意見があった。本年度、講習会が実施されたのは予選の2週間前であった。そのため、この実施時期をを早めることができれば、予選に対して十分な対策の時間が取ることができ、さらに講習会への参加者を増やすことができると考えられる。

今後、本年度得られた示唆をもとに検討を加え、講習会の効果的な実施に向けて努力したい。

IV 科学の甲子園徳島大会

1 大会の日程・内容

科学の甲子園徳島大会は、科学好きの生徒を対象に、科学技術・理科・数学等に関する知識・技能を競い合う場を提供することで、理数系分野に対する学習意欲の一層の向上や学力の伸長を目的としている。今年度は、県内9校から1・2学年の高校生（高等専門学校生含む）106名（15チーム）の参加申込があった。競技は筆記競技と2つの実験競技の総合得点で競い合い、「科学の甲子園」全国大会に出場する徳島県の代表チームの選考も兼ねている。

10:10～12:10 筆記競技(120分)

12:50～13:00 実験競技オリエンテーション

13:00～14:00 実験競技(60分)

実験競技1（内容を事前に案内 「スパゲッティブリッジに挑戦！」）

実験競技2（内容は当日発表）

14:15～15:15 講演（「橋の形について」徳島大学 准教授 野田 稔）

15:30～16:00 表彰式・講評・閉会（アンケート含む）

2 事前・事後学習を取り入れた大会運営について

実験競技は2つの競技で構成されており、1つは競技内容に関して事前に案内し、競技ルール等についての事前の問い合わせも受けることとした。単に、大会に参加したということでは終わらない

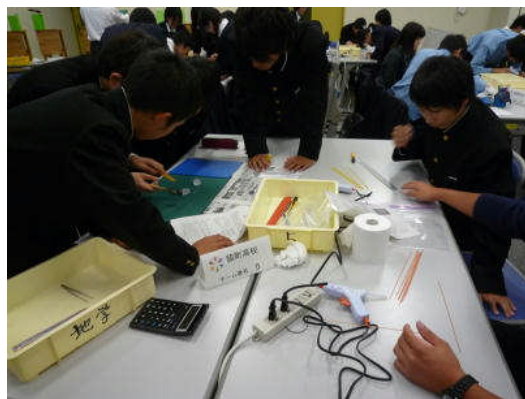


図1 実験競技の様子

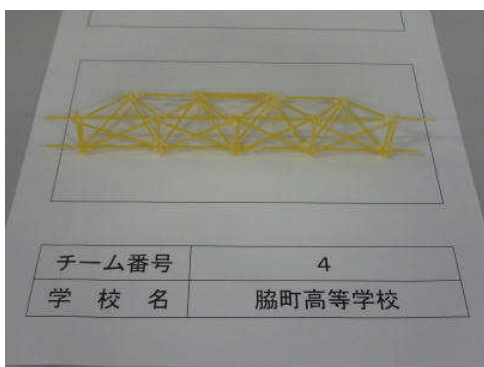


図2 徳島大学 野田稔准教授による講演会「橋の形について」

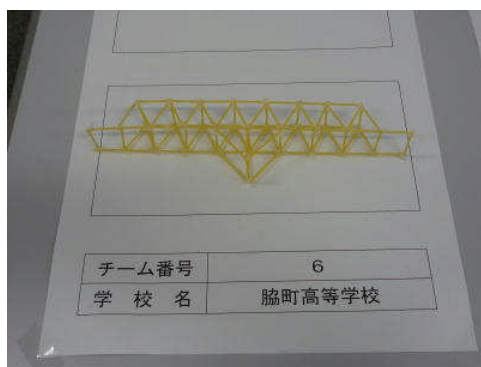
ように、大会に向けての事前学習を通して、科学への興味・関心や学習意欲を一層高めるためである。

また、当日の実験競技の後に事後学習として、科学に対する知識や理解を深めることと、生徒の探究心や向上心を高めることをねらいとして、大学の先生による実験競技と関連した内容の講演会（図2）を実施した。講演の中では、大会当日に各チームが実際に製作した橋の中から幾つかの具体的な例（競技の計測中に写真撮影したもの）を取り上げて、その形や構造等について解説や講評をして頂いた。単に競技として製作物の強度を競うということだけではなく、自分たちが製作した橋についての課題や試作段階で発生した疑問を解決する場となった。また、橋の構造には高等学校で学習した理科や数学の原理や法則が応用されていることも知ることができ、より学習効果の高い事後学習になったと思われる。

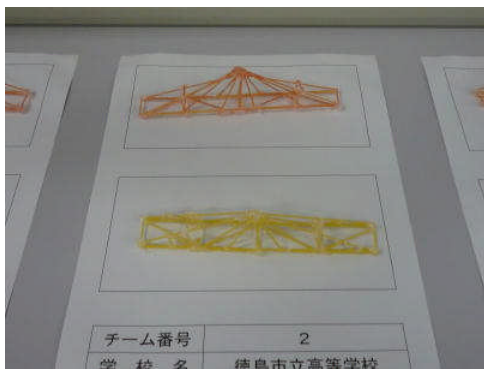
【優 勝】



【審査員特別賞】



【奨励賞】



【奨励賞】

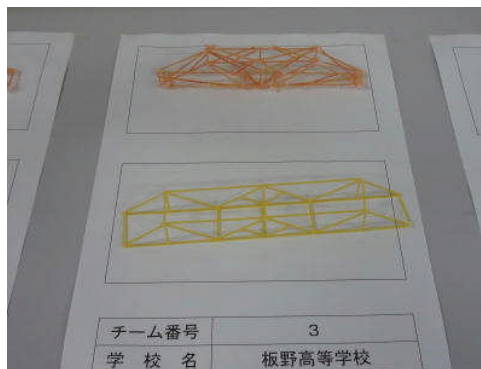


図3 実験競技1「スパゲッティブリッジに挑戦！」部門の優勝および各賞の作品

3 アンケート結果による評価および考察（回収率92.4% 97名／105名）

（1）大会に向けての事前学習について

図4より大会に向けての準備や事前学習の期間は「10日以内」が52%で最も多く、85%の生徒は準備や勉強をしている。また、22%の生徒は「20日以上」の長期間に渡り継続して事前学習が行われていた。このことは、実験競技1の内容を事前案内していたことによるところが図6の「橋の設計や製作」66%、「両方」9%から推測される。中には40個以上も製作したというチームも

あり、競技内容への関心の高さや大会参加への意欲が感じられる。

図5より事前学習の形態としては「チームで集まって自主的に事前学習を行った」が57%で最も多い。本大会は筆記競技と実験競技のいずれもチーム対抗であり、与えられた課題に対してチームで一丸となって対応し、相談や協力によって解決していくことは、競技の趣旨に沿ったものといえる。「担当の先生の指導のもとで行った」は16%であったが、アンケートには複数のチームの生徒から

- ・専門の先生に質問に行った
- ・橋の構造について先生に教えてもらった
- ・専門の先生にアドバイスをもらい各自で設計した

という記述が見られることから、実際には数値以上に担当の先生や専門分野の先生からのアドバイス等を受けながら、事前学習を行ってきた事がうかがえる。

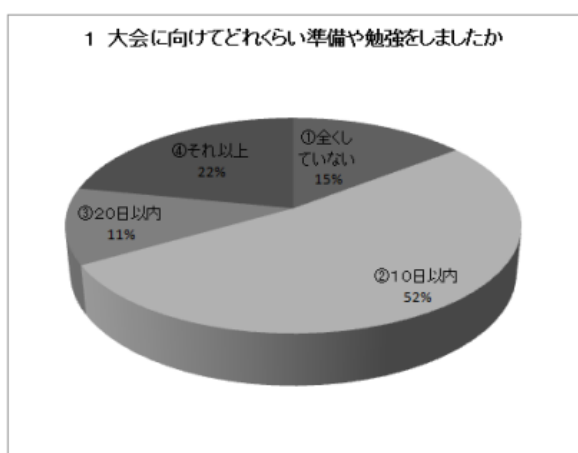


図4

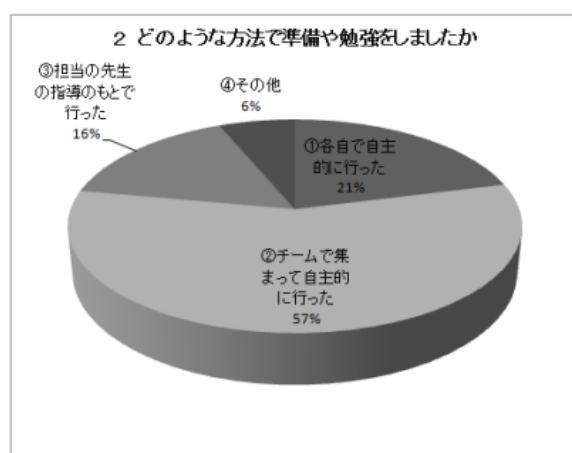


図5

事前学習の内容としては、図6より「橋の設計や製作」66%、「両方」9%で、75%の生徒は事前にスパゲッティブリッジの設計や製作に携わっている。これに対して、筆記競技は「筆記競技」9%と「両方」9%を合わせても18%であり、筆記競技の事前学習の割合は低い。また、

「筆記競技」のみという生徒の割合は、図5の「各自で自主的に行った」21%の78%にあたる。このことは、チームによっては筆記競技のみ参加という生徒がいたり、事前案内した実験競技の準備に時間をとられたという理由も考えられるが、大会直前に過去問題に関する問い合わせが数件あったことから判断して、どのような内容やレベルの勉強を必要としているのかわからないといったことも原因の一つと考えられる。さらに、本大会の筆記競技もチーム対抗であり、実験競技と同様にチームで相談や協力して問題を解いていくことから、今後は各チームで全国大会の過去問を用いた勉強会等を定期的に行うなど、個人の学力向上とチームとしての総合的な学力向上の両面を目的とした対策や工夫が必要と思われる。

図7では、事前学習を行った生徒（図4の①以外の生徒85%）の71%は役立ったと答えている。実験競技1のスパゲッティブリッジの製作では、事前にその内容を案内していたこともあり、橋の形や構造の違い等について調べたり、強度が増すように設計と実験を繰り返し行い、ある程度の自信を持って大会に臨むことができ、かつ、その成果を出すことができた事が大きな理由といえる。また、大会では試作した設計図の持込を許可していたことも含め、事前学習で何をすればよいのかという明確な目標をチーム内で共有できたという点が事前学習を促進させた大きな要因

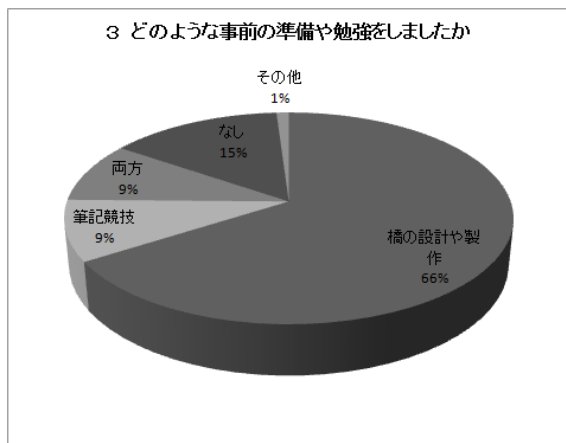


図 6

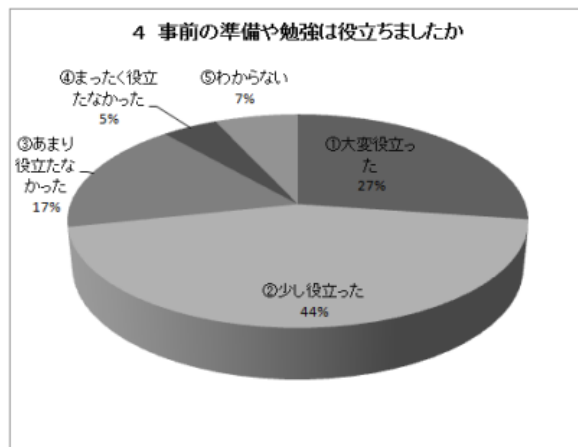


図 7

と考えられる。さらに、講演会の感想では、

- ・ 橋への関心が高まった
 - ・ 橋にはたくさんの種類や形があることを知った
- というような内容のものが多かったが、一部には、
- ・ 自分たちが作った橋の弱点が強い橋の構造がよく分かった
 - ・ 自分たちのチームはどこが悪かったのかを知ることができてよかった
 - ・ 事前に調べた内容以外にも役立つ情報があったので、これからの実験等に生かしたい

という記述もあった。このことは、事前学習を通して収集した橋の形や構造等についての知識や試作を通して得た経験があるからこそ、講演会において自分が持っている知識や経験と比較することができ、その内容に面白さや非常に為になると感じたと考えられる。

筆記競技の事前学習として全国大会の過去問をダウンロードして対策をしたチームもあったが、県下全体のレベルアップを図るため、本県の科学オリンピック講習会（現在は化学分野と生物分野）で実施しているように、前年度の全国大会の過去問題をベースとした過去問題研究会等を開催していくことも一つの方策である。一方では、アンケートの感想に

- ・ 学校の勉強とは別の楽しい勉強ができたから
 - ・ 学校で習うことが、テストや受験勉強以外でこれだけたくさん生かせるのだとわかったから
- というように述べている生徒もある。科学の甲子園のための対策はいくらかは必要かもしれないが、その事前学習も方向性を誤ると、受験勉強と同じようなものになってしまう恐れがある。それよりも事前学習における学びを通して、高等学校で学習する自然科学の基礎的・基本的な内容が、どのように大学や企業の研究等へと繋がっていくのかということへの気付きや理解をサポートすることが、生徒のモチベーションを高めていくことには必要と感じた。

(2) 大会前後での科学に対する興味・関心等について

図 8 より、大会参加の前後で科学に対する興味関心が「高くなった」「やや高くなった」と回答した生徒は合計で88%である。「変わらない」という生徒には、もともと科学は好きで興味や関心は高いというような内容の理由を述べている生徒が半数である。

図 9 は、図 8 の理由についての回答をもとに『達成感・成功・向上心』『科学に対する発見や興味の深化』『チームで協力したり学ぶことの楽しさ』『もともと関心があったから』『難しいか

ら』という5つの観点で集計した結果である。
 図8の「高くなった」という生徒は『科学に対する新たな発見・興味等の深化』が59%で最も高く、『達成感・成功・向上心』は26%、『チームで協力したり学ぶことの楽しさ』11%である。
 「少し高くなった」と回答した生徒の傾向は、「高くなった」という生徒とよく似た傾向にあり、『科学に対する新たな発見や興味等の深化』が45%で最も高く、『達成感・成功・向上心』は29%、『チームで協力したり学ぶことの楽しさ』が21%であるが、「高くなった」と回答した生徒と比較してみると「高くなった」と回答した生徒は『チームで協力したり学ぶことの楽しさ』の割合が10%高く、『科学に対する発見・興味等の深化』が14%低くなっており、「高くなった」と回答した生徒の方が科学そのものに対する面白さを感じ、興味や関心を高めているといえる。

「変わらない」と回答した生徒は12%で、その半数は、

- ・ もとから興味大である
- ・ 科学の興味は変わらずあります
- ・ 以前から科学に興味があったから

というように科学に対する高い意識を持ち続けていると回答している。逆に、『難しいから』と回答した生徒の理由には、

- ・ 科学は難しいと認識したから
- ・ 難しくて心が折れそうになった

とあるが、感想では、

- ・ チームで試験をするのは新鮮で面白かった
- ・ 科学の面白さを知ることができた

というようにも回答している。

個人の達成感や成功への感じ方は、事前学習のやり方にも関連してくる。今後は、これらのアンケートの結果を参考に、筆記競技への工夫も考えていく必要がある。

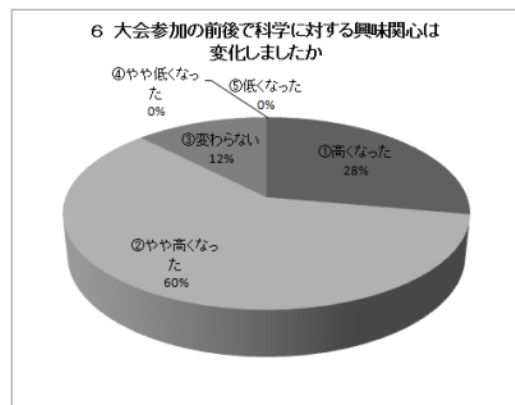


図 8

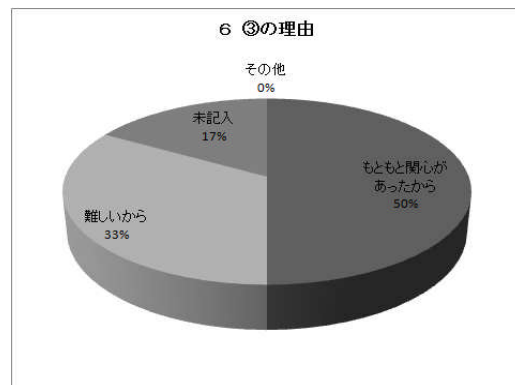
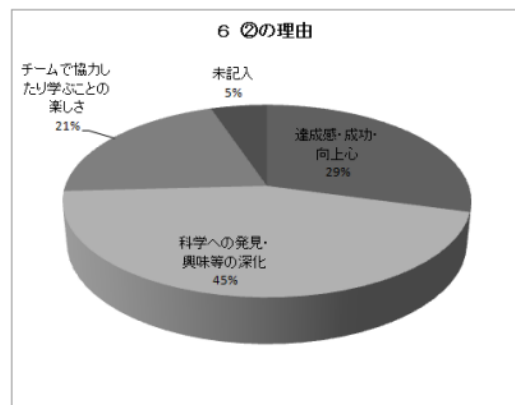
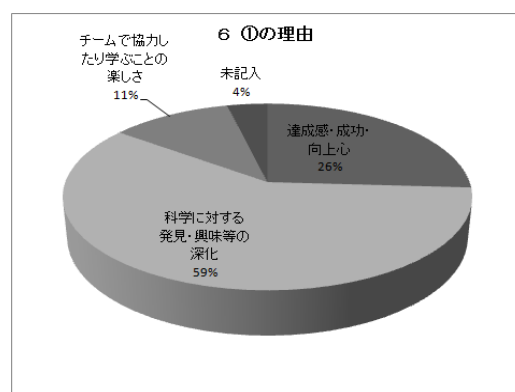


図 9