

文部科学省科学技術人材養成等委託事業理数学生応援プロジェクト

理数応援ニューフロンティア・プロジェクト

一段階的研究体験と学内インターンシップを基盤とした人材育成

平成 22 年度活動報告書

平成 23 年 5 月

北海道大学
理学部

理数応援ニューフロンティア・プロジェクト WG

1. はじめに

国立大学法人北海道大学は、文部科学省科学技術人材養成等委託事業（平成 20 年度採択）による委託業務として、「理数学生応援プロジェクト（理数応援ニューフロンティア・プロジェクト―段階的研究体験と学内インターシップを基盤とした人材育成―）」を実施している。この報告書は平成 22 年度の活動をまとめたものである。

1-1. 平成 22 年度の取組の位置づけ・目的・目標

北海道大学の理数教育の特色は、初年次の理系基礎教育を学部・学科別に行うのではなく、大学共通に組織的に行うところにある。これは、次世代の科学技術を担うためには幅広い科学の素養が必要であるという大学の基本方針に拠っている。一方で、進展が著しい理数系分野においては、意欲と能力がある学生に早い段階からより高度な授業や研究体験をさせる事は、学習意欲の向上、動機付けに重要である。北海道大学では、この点を補完するプロジェクトとして、「理数応援ニューフロンティア・プロジェクト」を開始した。ピラミッド型積み上げ式教育の色彩が強い数学・物理学分野に的をしぼり、「段階的な研究体験」と「学内インターンシップ」を盛り込んだ逆三角形型の教育システムを北海道大学の新教育課程に組み合わせ、想像力と意欲のある学生を育成することを目的としている。

平成 22 年度は、理数分野に才能を有する学生に対して早期での研究体験を実現するための教育システムの実現を目標とし、教育コーディネータによる学生個人々人へのきめ細かな履修・学修指導、基礎ゼミ、段階的な研究室配属、サマースクールを通じて科学に対するモチベーションの向上を目指した。また、基本的な理解を深めるため、上級生、TA との学年を超えた研究発表や、オープン実験ラボの常設により、北海道大学が掲げるフロンティア精神をもち、21 世紀を牽引するのびのびとしたリーダーの育成を目指している。

1-2. 平成 22 年度の取組概要

平成 22 年度は、前年度の活動の充実を目指すとともに、いくつかの取り組みの中で問題のある部分を修正、もしくは形態の変更を行い新たな取り組みを加えることとした。

一連の取り組みを通じ、理数分野の最新の研究に対する学習意欲を喚起し、学年を超えた交流や教員との密接なコミュニケーションを図ることで、科学に対する幅広い興味と動機付けを涵養することを当該年度の目標とした。

2. 業務実施内容

2-1. 平成 22 年度計画

- a. 教育コーディネータによる修学指導の実施
- b. 初年次インターンシップ研究室体験の実施
- c. 早期研究室配属の実施
- d. サマースクールの実施
- e. 基礎ゼミの実施
- f. 研究所見学・学会参加
- g. オープンラボの開設
- h. 外国人研究者による講演
- i. AO入試の在り方を検討
- j. 『学部生向けの科学コンテスト』への参加
- k. 早期研究室配属, 基礎ゼミの正式科目化の検討
- l. プロジェクト研究発表会の開催

2-2. 参加学生数

理数応援ニューフロンティア・プロジェクトでは、意欲のある学生に広く門戸を開くこと及び学生の自主性尊重の観点から、学生の選抜は行っていない。プロジェクトには、説明会、オリエンテーションを受けた後に参加を認められる。北海道大学理学部では、学科分属を2年次後期に行うため、1年次では未だ所属学科が定まっていない。学科分属後は数学科、物理学科所属の学生を主体に、基礎ゼミ、サマースクール、オープンラボなどへ参加している。また、4年次学生、大学院生がチューターとして基礎ゼミに参加した。平成22年度までの参加学生数は下表のとおりである。

	平成 20 年度				平成 21 年度				平成 22 年度				
	1 年次	2 年次	3 年次	計	1 年次	2 年次	3 年次	計	1 年次	2 年次	3 年次	4 年次	計
数学コース	12	9	-	21	9	16	6	31	15	14	11	5	45
物理コース	17	11	-	28	20	27	11	58	18	20	22	10	70
計	29	20	-	49	29	43	17	89	33	34	33	15	115

3. 活動内容

3-1. 平成 22 年度活動一覧表

平成 22 年度の主な行事	
4 月	<ul style="list-style-type: none">・参加学生募集・理数応援ニューフロンティア・プロジェクトオリエンテーション
6 月	<ul style="list-style-type: none">・基礎ゼミ（数学）開始
7 月	<ul style="list-style-type: none">・体験的研究室配属・研究室ツアー開始・国立天文台野辺山観測所見学
8 月	<ul style="list-style-type: none">・早期研究室配属成果発表会・全国 SSH 研究発表会（横浜）出展
9 月	<ul style="list-style-type: none">・サマースクール<ul style="list-style-type: none">(1) 北大・東北大合同合宿サマースクール(2) 気体分子運動論とマックスウェル分布(3) 時を計るモノサシ～古典力学からレーザーまで～・早期研究室配属単位認定発表会・日本物理学会発表（大阪府立大学）
10 月	<ul style="list-style-type: none">・早期研究室配属開始・基礎ゼミ（物理）開始
12 月	<ul style="list-style-type: none">・オープンラボ企画 1 開催
1 月	<ul style="list-style-type: none">・理数学生応援プロジェクト連絡協議会（文科省）・SynFOSTER2011（北海道大学）で理数学生応援プロジェクト活動発表
2 月	<ul style="list-style-type: none">・理数応援ニューフロンティア・プロジェクト活動成果報告会
3 月	<ul style="list-style-type: none">・オープンラボ企画 2 開催・平成 22 年度報告書作成

3-2. 初年次インターシップ研究室体験の実施

日時：平成22年5月14日～7月9日，18:30～19:30

参加者：延べ64人（全8回）

内容

主に1年次学生を対象に，物理学の先端研究を知ってもらう企画である。2,3年次の学生も参加者が数人いた。物理学科のすべての研究室で，各研究室の教員や学生から説明をしてもらった。学生側からの質問の時間を設けた点は好評で，3年次まで関わるのが少ない研究室を知る良い機会になった。

成果と課題

今回の初年次インターンシップでは，すべての研究室をまわり，研究室で行っている最新の研究がより良く理解できたと考えている。各研究室での熱心な討論により，充実した内容となった。

「1年次生にわかりやすく基礎的なことを説明する」と決めておけば，より統一性のある企画になったと考えられる。普段座学中心の1年次生にとってインターンシップは勉強と研究のギャップを埋める良い機会となり，学生のモチベーションの向上に役立つものであった。



【初年次インターンシップの様子】

3-3. 早期研究室配属の実施

ボトムアップ型の色彩が強い分野である物理学研究に対する逆ピラミッド型の教育の可能性を探る本事業の中核をなす企画である。研究室に所属し、卒業研究レベルの研究を行うもので、学生と教員、教育コーディネータが相談のうえ実施した。3年次学生の実験系研究室への早期配属は物理学学生実験と単位互換することとしている。

	実施状況	内容
平成 22年度	2年次：理論系研究室に13名を配属	研究室の基礎理論セミナー
	3年次：実験系研究室に9名を配属	卒業研究と同レベルの物理学実験

【3年次早期研究室配属の分析】

3年次早期研究室配属は、卒業研究と同レベルで、実際に卒業研究や大学院生の研究に触れながら自分のテーマを行うことで、講義と研究の間にある違いを認識してもらう。本年度は、物理学科の3年次学生実験と単位互換することとしたため、研究時間を確保することが出来た。早期に研究を開始するにはどのような問題があるかを探ることも課題であるが、時間がとれると4年次生と同等の学習につながっている。昨年度までの経験のもとに、各研究室で個別の指導が行われ、3年次3名、4年次2名の学生が研究内容を日本物理学会で発表する成果をあげた。

3-4. サマースクールの実施

数学、物理両コースの学生に対し夏季休暇中に集中セミナーを実施した。

- ①数学コースは2-3年生を主とし、東北大学と共同し合宿形式でセミナー(4テーマ:「楕円関数入門」, 「変分問題」, 「双曲幾何」, 「確率過程の基礎」)を行った。
- ②物理コースは、学内で4日間、午前(「気体分子運動論とMaxwell分布」), 午後(「時を計るモノサシ-古典力学からレーザーまで」)それぞれ1テーマの集中したセミナーを行うとともに、「美瑛の学び舎」(北海道美瑛町)にて、科学の先端トピックスについて宿泊型のセミナーを実施した。

3-4-1. 数学コース・サマースクール 《北大・東北大学学生合同セミナー》

日時：平成22年9月1日～9月4日（3泊4日）

場所：東北地区国立大学川渡共同セミナーハウス（宮城県玉造郡鳴子町大口字原75）

平成22年度の北大・東北大合同セミナーは、北大からの参加者数が2～3年生を主力とした15名（女子1名内数）、チューターとして参加した大学院生2名、セミナー担当教員2名の計19名であった。東北大からの参加者も同数で、学部生15名（女子1名内数）、チューターの大学院生2名、セミナー担当教員2名であった。

3日間自主的な缶詰状態であり、3日目の午後に各グループが持ち時間1時間で全体に対して発表を行った。発表は夕食をはさんで夜9時近くまで続いた。発表終了後、懇親会を行い、教員、大学院生、学生が様々なトピックについて深夜まで語り合った。特に学部生にとっては（彼らの感想にもあるように）今後にとっても役に立つ情報交換であったと思われる。

学生達の自主的な発案で、今回は事前にセミナーを入念に準備することが北大と東北大の学生幹事の間で話し合わせ、充実したセミナーとなった。

3-4-2. 物理コース・サマースクール

平成22年度物理学サマースクールは、現代物理学を学ぶにあたり学生の意欲を引き出すような興味ある話題を、参加学生30名、教育コーディネータ、教員が選択し講義を行った。学内で4日間、午前セッション、午後セッションそれぞれ1テーマを集中的に学習した。食事時間と短い休憩を除き一日中物理漬けで行うものであり、予想以上に学習効果があり、学生の理解や問題意識は非常に深まった。

①モーニング・セッション概要：「気体分子運動論とMaxwell分布」

【概要】気体分子運動論は理想気体の熱力学的な性質を、微視的な立場、分子原子の運動によって説明することに成功している。マックスウェルは、このことをベースに気体分子運動論から気体分子の速度分布関数を導いた。これはその後、統計力学への道を開いた、物理学研究の重要な成果である。気体分子運動論からマックスウェル分布を導出する物理学のダイナミックな物の考え方を紹介するとともに、宇宙の中で物質の大半を占めるダークマターの速度分布の現在の理解についても触れた。

②アフタヌーン・セッション概要：「時を計るモノサシー古典力学からレーザーまで」

【概要】現在最も精密に測定できる物理量である時間、精度と現代物理学の関係について講義した。身近な力学現象から始め、量子力学の関わる原子時間測定時計の原理やレーザーの仕組みに至る物理現象と、現代科学研究が求める精度との係り合いについて概観した。

3-5. 基礎ゼミの実施

3-5-1. 数学コース活動報告

実施期間：平成 22 年 4 月～平成 23 年 3 月

平成 20・21 年度からの継続で、数学コースの基礎ゼミを実施した。参加学生は 1 時間半～3 時間程度の少人数グループセミナーを週 1 回程度のペースで行った。TA、教育コーディネータ、数学コース教員は、各セミナーにオブザーバーとして参加し、学生の活動をサポートした。12 月に、活動経過の確認や交流の促進を目的として、活動報告会を開催した。また、2 月に開催された本プロジェクトの成果報告会では 6 件の発表を行い、セミナーで学習した主要な結果について説明した。この基礎ゼミの実施は 3 年目になるが、年々、学生の活動が活発化しており、学生同士の交流はもちろん、教員や大学院生に積極的に働きかける学生も多く見られるようになっている。一例として、基礎ゼミ学生の有志が「学生数学セミナー」を立ち上げ、独自の活動を始めた。

4 月 21 日	活動打ち合わせ 2-3 年生向けガイダンス	活動計画の相談・確認、交流の促進 テキスト紹介、グループ分け
5 月 13 日	新 1 年生向けガイダンス	テキスト紹介、グループ分け
12 月 10 日	活動報告会	経過の確認、交流の促進



【12月10日に開催された活動報告会の様子】

学生数学セミナーについて

このセミナーは、基礎ゼミの活動を通じて交流の輪を広げた学生有志がよりレベルの高い活動を求めて企画したものであり、運営も学生が行っている。通常の輪読セミナーとは異なり、毎回、講演者が各自の専門分野における話題などを紹介しており、より広い知識・深い理解を目指して互いに切磋琢磨している。

3-5-2. 物理コース活動報告

物理学分野では、英語による基礎ゼミ「Introduction to Quantum Mechanics」を開催した。

Report on «Quantum Mechanics» Seminar

GRABOVSKY Sergey

From October 2010 till February 2011 I provided the seminar entitled “Introduction to quantum physics”. This class was dedicated to basics of quantum theory (quantization of electromagnetic energy, photon theory of the light, wave-particle duality, uncertainty principle, quantum description of hydrogen atom, electron Spin, Pauli exclusion principle).

Special attention in this seminar was given to discussion of most important experiments and effects in history of quantum physics (photoelectric effect, electrons diffraction experiments, Compton effect, Franck-Hertz experiment, Stern-Gerlach experiment, Zeeman effect)

In the second part of the course we discussed the applications of quantum theory in solid state physics and applications of quantum physics in technology.

The participants of the class were grade students of “New frontier” educational project. The number of participants were 5 students . The textbook is “Sear’s and Zemansky’s University physics: with modern physics” by H.D.Young, R.A.Freedman.

On each seminar computer presentation were provided, including simulations of important physics experiments. Problems from recommended literature were analyzed and discussed. Main and additional materials were placed in web-site (presentations, simulations, literature, articles, program)
sites.google.com/site/grabovsky5/qm

At the middle of the course, students passed a exam that included 25 theoretical questions and problems. And the end of the course, student Hiroki Katow made a presentation “Quantum corrals”, student Taisei Seguchi made the written work “Scanning tunneling microscopy” (4 pages). Corresponded literature and modern articles in journals were provided.

It is worth to mention that since the seminars were given in English, the ability in scientific English of students was increased.

実施期間 : 2010 年 10 月 ~ 2011 年 2 月

Introduction to quantum physics

Program of the course

A. Basics of quantum physics

1. Historical review and the basis of the appearance of the quantum physics. The end of the classic physics.
2. Blackbody radiation problem and its solution. Photoelectric effect and its explanation.
3. Founders of quantum physics: M. Planck, A. Einstein, E. Rutherford, N. Bohr
4. Quantization of electromagnetic energy, Planck's formula
5. Photon theory of the light, properties of photons, energy, momentum
6. Wave-particle duality of the matter. de-Broglie's waves. Electrons diffraction experiments. Compton effect.
7. Heisenberg's uncertainty principle
8. Probability description, wave function. Schrodinger equation (Main equation of non-relativistic quantum mechanics)

B. Atomic structure

9. Hydrogen atom. Electron probability distributions. Model of the atom. Franck-Hertz experiment.
10. Electron Spin. Stern-Gerlach experiment. Zeeman effect. Spin-orbit coupling
11. Multi-electron atoms. Pauli exclusion principle. Periodic table of elements.

C. Elements of quantum mechanics

12. Particle in a box. Potential wells.
13. Potential barriers and tunneling.

D. Quantum theory in condensed matter physics

13. Theory of heat capacity of solids.
14. Quantum theory in ferromagnetism and ferroelectricity.

E. Applications of quantum physics in science and technology

15. Lasers. Applications of photoeffect.
16. Principles of Scanning Tunneling Microscope (STM). Electron microscopes.

WEB: sites.google.com/site/grabovsky5/qm

3-6. 研究所見学・学会参加

学生から希望が多かった国立天文台見学（野辺山宇宙電波・太陽電波観測所）に8名が参加した。また、日本物理学会（大阪府立大，新潟大学）に5名が参加し，早期研究室配属の研究成果を発表するという貴重な経験をした。最新の研究や施設に触れモチベーションを高める一助となった。

3-6-1. 研究所見学－「国立天文台野辺山宇宙電波・太陽電波観測所見学」

この取り組みは最先端の研究施設を体験するもので，電波天文学で最先端の研究施設である自然科学研究機構国立天文台野辺山宇宙電波観測所並びに同太陽電波観測所を見学した。参加者は3年生7名（うち男性3名，女性4名），2年生1名（男性）の合計8名で，引率教員，大学院生のTA1名が参加した。

電波天文学は本学の学部2，3年生では殆ど講義で触れることがないため，いきなり観測施設の見学をしても理解が困難であると予想し，訪問前に講義を実施し，電波天文学ではどのような装置を使うのか，電波天文学はどのような目的で天体観測するかを事前学習後，研究所を見学した。

【プログラムの内容】

7月29日（木）	
11:00	新千歳空港に集合
18:15	野辺山宇宙電波観測所着
18:30～19:30	観測所本館内の見学と電波天文学についての解説
20:30～22:00	TAによる最新の研究成果についての解説
7月30日（金）	
9:10～9:30	電波天文学についての解説
9:30～12:00	45m電波望遠鏡及び同観測棟の見学
13:30～15:00	ヘリオグラフ及び同観測棟の見学
15:15～16:30	ミリ波干渉計及び同観測棟の見学
17:00～18:30	観測準備（観測点の決定）
20:00～23:30	観測準備（テーブルの作成）
7月31日（土）	
9:00～12:00	45m電波望遠鏡を用いた観測
12:50	野辺山宇宙電波観測所出発
20:10	新千歳空港にて解散



(左) 45m 観測棟内で説明を受けている様子. (中) 45m 望遠鏡の上層部を見学. (右) 45m 望遠鏡を使った観測.

早期研究室発表の成果—学会発表

物理コースの学生に対し教員の引率のもと、早期研究室配属で得られた成果を学会発表した（日本物理学会／大阪府立大 9 月 3 件，新潟大学 3 月 2 件）。残念ながら，新潟大学での学会は東日本大震災の影響で中止になったため，研究概要のみの発表ということになった。自分の研究成果を発表するという貴重な経験をする他，最新の研究に触れモチベーションを高める一助となった。

日本物理学会 2010 年秋季大会（大阪府立大学） 2010 年 9 月 23 日（木）～ 26 日（日）

講演番号	発表タイトル	発表領域
25aPS-48	NdFeB の減磁過程における磁区構造の高温 Kerr 顕微鏡観察	領域 3
24aPS-124	巨大誘電率ペロフスカイト結晶 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ のドーブ効果 II : Cd 置換効果	領域 10
24pTG-4	n CB 液晶分子を添加した一級アルコールのマイクロ波誘電緩和	領域 12

日本物理学会 2011 年年次大会（新潟大学） 2011 年 3 月 25 日（金）～ 28 日（月）

(※ 東日本大震災のため大会は中止となり，研究概要のみの発表となった。)

講演番号	発表タイトル	発表領域
25aTA-6	$\beta''\text{-(BEDT-TTF)}_3\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の単結晶 ^{13}C -NMR	領域 7
26aPS-118	LuFe_2O_4 の低振動数光散乱	領域 10

3-7. オープンラボ活動

欧米の大学では、学生が自由に出入りできるオープンラボが設置されている。このプロジェクトでも、実際に自分の手を動かして自由に実験が行える環境を整えることを目指している。実際にスタートしてみると、近年の「単位の実質化」により、学生の講義スケジュールがタイトで、学生同士で同じ時間帯にオープンラボに集まって協力し合いながら実験するのが意外と難しい。今年度は皆が集まれるよう講義のない時間帯に、短期間に集中してできるオープンラボとし、(1) ミッション型プロジェクト「ミルククラウンと量子力学の類似性」、(2) オープンラボ企画「ヘッドホン・アンプを作ろう」、(3) オープンラボ企画「ミニ・アンプを作ろう」を進めた。テキストや授業では学べない実験を行い、仲間と共に議論し科学に対する素養を養成することと並行し、物作り実習を通じて実学教育を行った。

(1) 「ミルククラウンと量子力学の類似性研究プロジェクト」

ミルククラウンで見られる王冠リング状の突起は、量子力学で学習する原子軌道の量子化と良く似ていることに着目し、ミルククラウンの生成過程の観測、なぜ王冠状の分布がみられるかを解明することを目指し、1年次生4名、2年次生1名で研究プロジェクトを結成した。観測装置の自作、高速カメラによる予備的な撮影を行った。

(2) 電子・電気工作実験室

科学実験の実験に不可欠な実用的計測を体験するため、デジタル回路やオープンアンプの基本的な使い方を本事業費で購入した電子部品と、古い実験装置を利用して学習した。

(a) オープンラボ企画「ヘッドホン・アンプを作ろう」

オープンアンプの差動増幅回路を用いたヘッドホン・アンプを作製した。実際には、さまざまな失敗を繰り返し、4日のコースである筈が2月までかかったが、無事全員、所定の性能をもつヘッドフォン・アンプを完成した。失敗を通じ学生は各自、実際に物を作ることがどういうことかを学ぶことが出来た。

(b) オープンラボ企画「ミニ・真空管アンプを作ろう」

春休み期間を利用し、アンプの作製を行った。回路が比較的簡単なシングルアンプの実習とした。3日間の予定だったが、完成に7日かかり、苦労しながら最終的には音出し、簡単な測定までに行った。



3-8. 外国人研究者による講演

最先端の研究セミナーを通して英語による講義に触れる事を目的に、以下の4講演を実施した。いずれも学生の反応は良好で、新鮮な刺激になった。

- ① H. D. Hochheimer 教授(米 Colorado State University) : 「High Pressure Physics: Thinking Outside the Box」
- ② 劉教授 (中国・東南大学 : 「Mathematical Researches in Southeast University」
- ③ Wang 教授 (産業技術総合研究所) : 「Piezoelectric Ceramics and Its Application」
- ④ S. Grabovsky (教育コーディネータ) :
「Precise Specific Heat Measurements of BaTiO₃ Crystal above Tetragonal-Cubic Phase Transition」

特別講義 1

Hans D. Hochheimer 先生 (Department of Physics, Colorado State University)

国際的な研究者を育成する目的で本年度は外国人研究者を招いて特別講義が企画された。第1回特別講義としてコロラド州立大学物理学科 (Department of physics, Colorado University) の Hans D. Hochheimer 教授の特別講義が行われた。特別講義では、これまで Hochheimer 教授が高圧物理学の専門家として研究してきた成果を交えて講演が行われた。具体的には1, 2, 3年生の学部学生向けに「Thinking Outside the Box」(従来の既成概念にとらわれるな)をテーマに分りやすく、英語による講演がなされ、また3, 4年生向けに専門性の少し高い実際の研究をテーマにして講義が行われた。

第1回ということもあり、ネイティブスピーカーによる英語講演をはじめて受講するという学生も多く、十分に内容を理解するには至らなかった学生が多かったように感じる。しかし今回の様なネイティブスピーカーによる英語講演を先ずその第一歩として、今回の様な英語講義を受講する機会をできるだけ増やし、英語に慣れ親しむことが重要と思われる。近い将来、国際会議などで実際に世界各国の第一線の研究者と議論できるよう成長していく上で非常に貴重な経験になったと思われる。

<1, 2, 3年生向け>

日程 : 平成22年10月6日(水) 16:30~18:00

場所 : 理学部2号館402講義室

題目 : 「High Pressure Physics: Thinking Outside the Box」

参加者 : 30名

<3, 4年生向け>

日程 : 平成22年10月7日(木) 16:30~18:00

場所：理学部 2 号館 402 講義室

題目「High Pressure Experimental and Theoretical Study of the Quasi 1-Dimensional sulfides AV_6S_8 ($A=In, Tl$)」

参加者：30 名



特別講義 2

劉先生（中国・東南大学教授）

中国・東南大学数学系の劉教授は 1 月中旬に DDP 協定および東南大学の学生派遣プロジェクトの打ち合わせで北大を訪問され、この機会に理数応援プロジェクト数学コース学生向けに講演して頂いた。

北大の学生が中国の大学に興味をもってもらうため、東南大学の歴史や役割、スタッフの業績、数学系の学習カリキュラム及び環境などについて英語で講演した。外国人数学者の講演を聴く機会は学生には今までなかったので、彼らの日頃の学習に刺激を与えることができたと思われる。

日程：平成 23 年 1 月 20 日（木）16：30～17：30

場所：理学部 4 号館 501 講義室

題目：「Mathematical Researches in Southeast University」

参加者：15 名



【当日の様子】

特別講義 3

王 瑞平 先生（産業技術総合研究所）

第3回特別講義の講師として産業技術総合研究所主任研究員の R. Wang 教授による特別講義が行われた。特別講義では、これまで Wang 教授が行ってきた圧電セラミックスに関する研究成果を基に「Piezoelectric Ceramics and its Application」（圧電セラミックスとその応用）をテーマとして英語による丁寧で分かり易い講義が行われた。具体的には圧電材料が実際に我々の生活にどのように利用されているのか、インクジェットプリンターや高圧着火装置、圧電トランス、超音波機器（ランジュバン型圧電材料）など身近な実用例をあげて説明がなされた。学生のアンケートを見ると、「英語による講義が理解できた」などの意見があり、外国人のコーディネータによるセミナーなど半年間の教育成果が少しずつ現れているものと考えられる。今後、英語による講義やセミナーなど、英語に触れる機会をできるだけ増やし、英語に慣れ親しむことが重要と思われる。近い将来、国際会議などで実際に世界の第一線の研究者と議論できるよう成長させるためにも、このような教育プロジェクトは重要と思われる。

日程：平成 23 年 2 月 24 日（木） 11：00～12：00

場所：理学部 3 号館 202 講義室

題目：「Piezoelectric Ceramics and its Application」

参加者：14 名



特別講義 4

Sergey Grabovsky 先生（教育コーディネータ）

これまで9ヶ月間コーディネータ業務に携わってきたグラボフスキー博士により、下記の日程で英語による今年度の最後の講義が行われた。特別講義では、グラボフスキー博士が日本滞在中に理数学生応援プロジェクトの参加学生とともにおこなってきた BaTiO₃ 強誘電体の精密比熱測定の研究成果に関連して英語で講演が行われた。具体的内容については、強誘電体の典型例としてよく知られている BaTiO₃ であるがその相転移機構に関しては未だに十分な解明には至っておらず、現在多くの研究者により注目されている相転移近傍の興味ある相転移異常に関して詳しく説明が行われた。講義では学生から積極的に英語で質疑が行われ、非常に大きな成長が見られた。

日程：平成 23 年 3 月 30 日（水）14：00～15：00

場所：理学部 2 号館 211 講義室

題目：「Precise Specific Heat Measurements of BaTiO₃ Crystal above Tetragonal-Cubic Phase Transition」

参加者：12 名



【当日の様子】

3-9. 入試の在り方検討

北海道大学では平成 23 年 2 月に総合入試（大きく入り入試）を実施したことに伴い、昨年度に引き続き、A0 入試の在り方、今後の展開について議論がなされた。今回の入試から前期日程に理系総合枠が設けられ、受験者数が増加した。後期日程は学科別の募集枠となり、物理学科では 11 倍の倍率となった。A0 入試については、今年度は総合入試で幅広い人材を求めた事などから、志願者が少なく、また、基礎学力が十分と判断される者がおらず、合格した者はいなかった。総合入試の導入で、この傾向が今後も続くのか注視する必要があるが、科学コンテスト等の優秀な入賞者への配慮の観点から、A0 入試による入学や入学後のサポートを行う必要があるとの合意が得られた。また、A0 入試の要望を探るため、道内の高校、北海道立教育研究所附属理科教育センターと連携し、高大接続事業の一環の意味も含め、来年度は出前授業を 2 倍にするなど、活発化を図ることとした。

物理教育シンポジウム

高大接続の一環として、北海道教育研究所理科教育センター、日本物理教育学会北海道支部と合同で、「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」をテーマとした講演会を開催した。当日は森山正樹 教諭（札幌市立宮の森中学校）、中道洋友 教諭（札幌北高校）、増子寛 教諭（麻布学園高校、日本物理教育学会前副会長）から、中学校及び高等学校での理科教育の現状の紹介と新学習指導要領が何を目指しているのかについての報告があり、中等教育の現状をふまえ、大学初年次教育、高等教育の在り方を物理教育をキーワードとしながら広く情報交換した。また、中学生、高校生から、科学部で行っている活動の紹介があり、理数学生応援プロジェクト学生と交流した。シンポジウム参加は 57 名であった

テーマ：「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」

日時：11 月 23 日（火）13：30～15：45

場所：理学部 5 号館 201 講義室



【当日の様子】

3-10. 『学部生向けの科学コンテスト』への参加

理数応援プロジェクトの一環として、平成22年10月17日に大阪大学で行われた阪大リサーチフェスタ2010において「ビー玉スターリングエンジンについての熱力学的考察」というテーマで口頭発表を行った。以下にそれについての報告を記す。またこの成果は、日本物理教育学会誌(59巻第1号(2011), p. 54-55)に公表された。

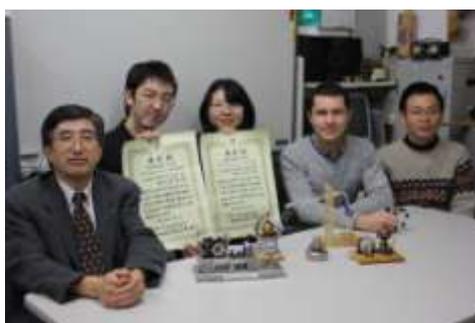
阪大リサーチフェスタ2010の参加報告書

北海道大学理学部物理学科3年 安孫子和弘

理数応援プロジェクトの一環として、平成22年10月17日に大阪大学で行われた阪大リサーチフェスタ2010において「ビー玉スターリングエンジンについての熱力学的考察」というテーマで口頭発表を行った。

リサーチフェスタの口頭発表は一人当たり質問込み15分間の持ち時間で行われ、私を含め9グループが発表した。口頭発表の内容は多岐にわたり、また各発表者が専門外の人にわかるよう配慮された発表を行っていたので、非常に興味深く話を聞くことができた。発表では特に、学生自身が考案した従来の手法と異なるオリジナリティのある実験方法が提唱、実践されていた点に科学への先進性を感じ、知的に刺激を受けることができた。自分の発表では、特に物理が専門外の学生に対して、物理を面白いと感じ、興味を持ってもらえるような発表を心がけた。上手く伝えることができたか不安であったが、発表後の休憩やポスター発表の時間に、他のリサーチフェスタ参加者から「面白かった」「興味深かった」と評を頂き、また自分の発表内容について共に議論をして頂いた方もおり、自分も他の発表者のように、傍聴者に知的刺激を与えることができたことを嬉しく思った。

他分野の学生間でこのような交流が行われるのは、普段の学生生活ではそう多くないケースであるが、思わぬ分野からのアプローチがあったり、斬新なアイデアが提供されたり、先達者からアドバイスがあったりと、相互に有意義な交流の場が得られていたと思う。また先の口頭発表に関してもそうであるが、リサーチフェスタ参加者の向学心の高さを強く感じ、そのような向学心溢れる学生との交流の場が提供されたことも、自分にとって価値のある経験になった。



ビー玉スターリングエンジンの熱力学的考察

安孫子 和弘・田代 貴美 北海道大学理学部

ビー玉スターリングエンジンは熱機関の教材としてよく利用されるが、 P - V 図や熱効率の測定や熱力学的考察が殆ど行われていない。熱特性を簡単に調べる方法を考え、その熱サイクルを考察した。

1. ビー玉スターリングエンジン

スターリングエンジンは、1816年にスコットランドの教師スターリングが発明した、空気を作動流体とする外燃機関である。熱効率が高く、蒸気機関に代わる新たなエンジンとして期待されたが、小型で高出力なガソリンエンジンの内燃機関が発明されると、殆ど利用されなくなった。

最近、熱源を問わない低騒音で環境にやさしいエンジンとして再評価を受けている[1, 2]。ビー玉スターリングエンジンは図1のような簡単な構造で、高压気体を使用せず、身近なもので作製できるスターリングエンジンである。教科書で紹介されるなど、教材として利用されている。図2の四過程からなるが、実際の P - V 図やエンジンの熱効率などの測定および熱力学的考察が殆ど行われていない。本研究ではビー玉スターリングエンジンの熱特性を簡単に測定する方法を考え、ビー玉スターリングエンジンの実際の過程を検討した。

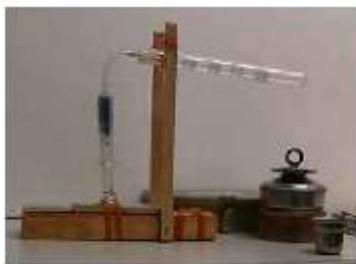


図1. ビー玉スターリングエンジン

2. P - V 図の測定

ビー玉スターリングエンジンのシリンダ部（注射器部分）をビデオカメラでコマ撮り（30枚/sec）で記録する。シリンダの変位 x 、内部気体の体積 V 、ピストンの断面積 S とすると次式となる。

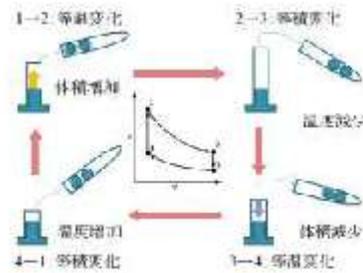


図2. ビー玉スターリングエンジンのサイクル

$$\frac{\Delta V}{S} = \Delta x \quad (1)$$

これからつぎのように表現できる。

$$\dot{x} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{S} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{S} \dot{V} \quad (2)$$

$$\ddot{x} = \frac{\Delta \dot{x}}{\Delta t} = \frac{1}{S} \frac{\Delta \dot{V}}{\Delta t} = \frac{1}{S} \ddot{V} \quad (3)$$

シリンダの変位の測定結果が図3である。このサイクルを実線のように近似的に周期運動としてフィッティングし、運動を解析的に取り扱う。

次に、内部気体が外部に及ぼす力を F 、ピストンの質量 m 、内部気圧の圧力を P とすると、

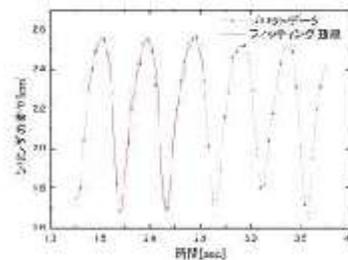


図3. 時間に対するシリンダの変化

図3. 時間に対するシリンダの変化

Newtonの運動方程式より次式が成り立つ。

$$F = mx = SP \quad (4)$$

m と S は測定可能なので、(3)式を用いて、

$$P = \frac{m}{S^2} \ddot{V} \quad (5)$$

となり、 P - V 図は図4のように求められる。

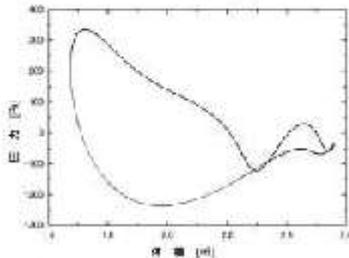


図4. ビー玉スターリングエンジンの P - V 図

3. 熱効率の測定

試験管に30mlの水を入れ温度を測った後、熱機関を加熱時の状態にして水を沸騰させ、沸騰までにかかった時間を測定する。水が単位時間に受けとった熱量 Q は

$$Q = \frac{(T_c - T_0)m_w c}{t} \quad (6)$$

ただし、 T_c (水の沸点)、 T_0 (最初の水の温度)、 m_w (水の質量)、 c (水の比熱)である。

今、2の実験から運動の周期 L がわかる。ビー玉スターリングエンジンが1サイクルのうち熱源から熱を受けとるのは $4 \rightarrow 1$ と $1 \rightarrow 2$ の過程だけなので、この熱機関が1サイクルで受けとる熱量は $QL/2$ となる。 P - V 図の面積(外部にした仕事 W)より、このエンジンの熱効率 η は次式で与えられる。

$$\eta = \frac{W}{QL/2} = \frac{2W}{QL} \quad (7)$$

実験から $Q=69.7$ [J/sec]、 $L=0.45$ [sec]、 $W=0.0002725$ [J]となり、 $\eta=0.0017\%$ が得られた。熱効率が良い筈のスターリングエンジンとしては低効率である。

4. 考察

図2中央に示す理想的なスターリングエンジンの P - V 図と比較すると、相違点は次の2点である。

- ①全体的に理想図と比べ丸みを帯びている。
 - ② $1 \rightarrow 2$ の過程で特徴的な凹みがある。
- ①は、この熱機関が準静的でなく、ピストン運動が瞬時に応答せず、等温変化と等積変化が同時に起こっているためである。②は、 $1 \rightarrow 2$ の過程でビー玉の移動によりシリンダーが平衡点を通り過ぎ、圧力が上下にぶれたと考えられる。

低熱効率の原因として、次の3点が挙げられる。

- ①内部気体が常圧の空気である。
- ②加熱温度が低い。
- ③仕事が試験管の運動に使われてしまう。

スターリングエンジンの最高出力を与える回転数は、近似的に分子量の平方根に反比例する[1, 2]。そのため、使用される内部気体はヘリウムガスなどの気体で、高圧であるほうが良い。今回のエンジンは、常圧の空気を用いたため、これが熱効率に影響したと考えられる。効率は熱源の温度差によるが、今回は、熱源にアルコールランプと室温を用いたため温度差は約700 [K]で、実用スターリングエンジンと比べて温度差不足である。③はビー玉スターリングエンジン特有の損失である。

今回の実験から、スターリングエンジンが大きい熱効率を持つのは、高い熱効率を要求される実用的スターリングエンジンに限られたことで、教材としてのビー玉スターリングエンジンはその限りではないことがわかった。しかし、この実験は簡便で、熱機関に対する深い理解を得ることができるなど、教育的効果が大きい。

引用文献

- [1] 山下巖, 濱口和洋, 香川澄, 平田安一, 百瀬豊: 「スターリングエンジンの理論と設計」(山海堂, 1977)
- [2] 長山勲: 「初めて学ぶ基礎エンジン工学」(東京電機大学出版局, 2008)。

3-11. 早期研究室配属，基礎ゼミの正式科目化の検討

物理学科の現行カリキュラムをもとに，早期研究室配属を念頭に置いた早期卒業制度の在り方及び GSI (Graduate Student Instructor) 制度等の導入について検討を行った。その結果，早期卒業制度についてはカリキュラムの改正を行い，平成 23 年度入学者からの導入を決定した。

また，「スタンダード物理学」，「アドバンス物理学」及び本プロジェクトで行った実習については，「基礎物理学」「物理学」のレベル別開講及び「一般教育演習－アンプを作ろう」（前期開講），「一般教育演習－ヘッドフォンアンプを作る」（後期開講）として正式に科目化した。

基礎ゼミの正式科目化については，数学科で検討を行った結果，平成 23 年度から実施することとなった。なお，物理学科では，学生の自主性を重んじ，現行の基礎ゼミを継続することとした。

3-12. プロジェクト研究発表会の開催

8 月にプロジェクト中間報告会，9 月に 3 年次早期研究室配属生の単位認定を兼ねた成果発表会，2 月に理数応援ニューフロンティア・プロジェクト成果報告会を実施した。

3-12-1. 早期研究室配属成果報告会・2010 夏－美瑛サマースクール（中間報告会）

物理学科 3 年次生が成果・経過報告 6 件，野辺山天文台見学の報告 1 件を行った。発表の内容・構成には後輩への配慮があり，1，2 年生の参加者も熱心に聞き入り，質疑応答は有意義で，活発な議論が交わされた。その他，OB 教員による講演会，教育コーディネータによる講演を行った。1 泊 2 日の活動を通して，学生同士の学年を超えた交流，学生と教員間の交流が共に深まった。

日程：平成 22 年 8 月 28 日（土）～ 29 日（日）

場所：美瑛の学び舎，国立大雪青少年交流の家（北海道上川郡美瑛町）

参加人数：27 人（学生 19 名，教職員 8 名）

28 日		29 日	
9:00	北大発	6:30	起床・清掃
11:30	JR 美瑛駅着・昼食	7:30	朝食
13:30	会場着・中間報告会	9:00	講演会
18:00	宿舎着・夕食・入浴	12:00	昼食
20:00	懇親会	14:00	宿舎発
22:30	消灯	17:00	北大着

【プログラム】

1日目 中間報告会（会場：美瑛の学び舎）

1. 講演：“Moscow and Hokkaido University : Educational System and Student Life”
講師：Sergey Grabovsky（教育コーディネータ）
2. 野辺山天文台見学の報告（物理学科3年生）
3. 早期研究室配属の中間報告（物理学科3年生）

安孫子	CCTOのMnドーピング結晶の作成及び比誘電率の測定
中川	NdFeBの磁区観察に用いる装置とその手法
三浦	フラックス法によるウラン化合物の育成およびその資料評価
三上	現代的量子力学の体系
下出	超伝導とSTM/STS
千葉	束縛状態のシュレーディンガー方程式の最急降下法を用いた解法

2日目 講演会（会場：国立大雪青年交流の家・第1研修室）

講師：徳永正晴（名誉教授，元北大副学長）：「物性物理学でのナゾ解きの楽しみ
ー誘電体研究者として歩んだ一理論家の経験からー」



理数応援プロジェクト講演会

プロジェクト参加学生を対象として「理数応援プロジェクトセミナー」を開催した。

理数応援プロジェクトセミナー

物理学の最近の先端研究トピックスについて、理数応援プロジェクト参加講師，教育コーディネータに易しく1，2年生でも分かるように講演していただいた。

3-12-2. 早期研究室配属成果発表会・2010 秋

早期研究室配属の成果発表会を以下のように開催した。

日時：平成 22 年 9 月 17 日（金）14:00～17:00

場所：理学部 2 号館 211 講義室

プログラム

- 14:00～ 安孫子和弘（固体物性研究室Ⅱ）
「 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の Mn ドープ試料の作製および誘電率の測定」
- 14:20～ 田代貴美（固体物性研究室Ⅱ）
「巨大誘電率ペロフスカイト結晶 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の Cd 置換効果」
- 14:40～ 三浦植幸（強相関電子磁性研究室Ⅰ）
「フラックス法によるウラン化合物の育成」
- 15:00～ 瀬川陽子（固体物性研究室Ⅰ）
「液晶を添加した一級アルコールの誘電緩和測定」
- 15:20～ 休憩
- 15:40～ 三上大地（低次元電子物性研究室）
「 $(\text{TMTTF})_2\text{ReO}_4$ の誘電率の測定」
- 16:00～ 中川健太（強相関電子磁性研究室Ⅱ）
「磁区観察用 Kerr 顕微鏡の絞り制御機構の開発」
- 16:20～ 丸山将人（低温物理学研究室）
「ブチルスズーエステルのカップリング法による BEDT-TTF の合成」
- 16:40～ 小山きらら（光物性研究室）
「テラヘルツ時間領域分光法による油-水混合系の分子ダイナミクスの研究」

日時：平成 22 年 9 月 30 日（金）16:30～17:00

場所：理学部 2 号館 409 講義室

- 16:30～ 下出直樹（高圧物理学研究室）
「STM を用いた高温超伝導体 Bi2212 の表面の観察」

次ページ以降に発表のabstractを掲載する。

CaCu₃Ti₄O₁₂ の Mn ドープ試料の作製および誘電率の測定

固体物性II 安孫子 和弘

ペロフスカイト型酸化物 CaCu₃Ti₄O₁₂ (以下 CCTO) が 100-600K の広い温度範囲で巨大な比誘電応答を示すことが、Subramanian らによって発見された[1]。

通常、誘電率が 7 以上の物質を高誘電率結晶というが、この化合物は、室温でも 10⁴ と非常に高い誘電率を示す。また、100K あたりでは誘電率が 10² まで減少し、25K では反強磁性相転移が観測されている。最近では、732K で新たな誘電異常が発見され[2]、私たちはこれを高温相転移だと考えている。

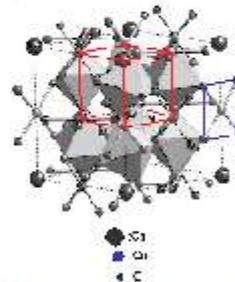
これらの特異な誘電特性の起源について、現在多くの研究がなされているが、未だ明確な答えは出ていない。

CCTO の結晶格子は、図 1 のような立方格子 (格子定数 a=7.3718Å) である[1]。Ca が格子の角と体心に位置し、Cu が格子辺の midpoint と面心に位置している。この格子の中に TiO₆ 八面体が 6 つ入っており、O-Cu-O の成す角度は 180 度になっている (図中右の四角)。

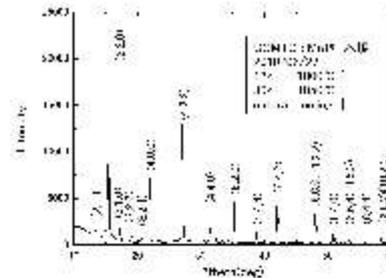
Cu を Mn で一部置換した CaMn_{3(1-x)}Cu_{3x}Ti₄O₁₂ (以下 CCMTO : x%) も CCTO と同じ結晶構造をとるが、CCMTO : 5% の誘電率は 270K 付近において約 10² 程度と、2 桁の減少を示すと報告されている[3]。これは CCTO の誘電特性 (270K 付近では誘電率が 10⁴ 程度、それ以下の温度では誘電率は大きく減少する) と大きく異なり、非常に興味深い。

そこで、本研究では CCMTO : 1, 3, 5% の 3 つの試料を作製し、これら的高温での誘電率の測定を行う。これによって高温での CCMTO の誘電率の振る舞い、および Mn ドープによる誘電率への影響を調べるのが本研究の目的である。現在は結晶作成と X

線回折により、結晶性の確認を行った段階である (図 2)。



【図 1】 CCTO の結晶構造: Ti は TiO₆ 八面体の中心に位置する。



【図 2】CCMTO : 1% の X 線回折データ

参考文献

- [1] M. A. Subramanian, and A. W. Sleight, *Solid State Science*, **4**, 347 (2002)
- [2] A. Onodera, M. Takesada, and S. Hiramatu, *Trans, Mat, Res, Soc, Jpn*, **35**, 107 (2010)
- [3] M. Li, A. Feteira, D. C. Sinclair, and A. R. West, *Appl. Phys. Lett.* **91**, 132911 (2007)

Huge Dielectric Properties of $\text{CdCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ with CCTO Structure

M. SASAKI,* T. TASHIRO, K. ABIKO, Y. KAMIMURA,
M. TAKESADA, AND A. ONODERA

Department of Physics, Faculty of Science, Hokkaido University,
Sapporo 060-0810, Japan

The giant dielectric response in Cd-doped $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ ceramics was studied over the temperature range from 40 K to 850 K. In all $\text{Ca}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ system, two broad dielectric dispersions around 150 K and 650 K and a dielectric anomaly at T_1 were observed. The T_1 decreases linearly with increasing Cd-molar ratio (x) from 733 K for $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ to 632 K for $\text{CdCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. $\text{CdCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ exhibits $\epsilon \sim 0.6 \times 10^4$ at room temperature and 1.4×10^4 at T_1 (1 MHz). This evidence shows $\text{CdCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ is still a member of high-dielectric materials in contrast to a previous work ($\epsilon \sim 409$ at 100 kHz).

Keywords $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$; giant response; dielectric anomaly; phase transition; double perovskite

17 Introduction

18 Giant dielectric response was discovered in double-perovskite $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ oxide (ab-
 19 breviated as CCTO) by Subramanian and coworkers [1]. This double-perovskite titanate
 20 exhibits dielectric constants as high as 10^4 at room temperature over a wide temperature
 21 range from 100 K to 600 K. In the low temperature region, the dielectric constant decreases
 22 down to 10^2 around 100 K, accompanying with large dielectric dispersion [2]. Although
 23 no ferroelectric phase transition has been reported until now, an antiferromagnetic phase
 24 transition was observed at 25 K by magnetic susceptibility and specific heat measurements
 25 [3]. These dielectric properties of this double-perovskite compound are peculiar, compared
 26 with those observed in well-known simple perovskite-type ferroelectrics such as BaTiO_3
 27 and PbTiO_3 . Recent first-principles calculations reveal that CCTO provides a dielectric con-
 28 stant of ~ 60 [4]. The giant dielectric behavior seems to originate from an extrinsic origin,
 29 such as the interfacial polarization effect [5], the internal boundary layer capacitance effect,
 30 and the grain boundary effect [6–11]. Many experimental results suggest that an internal
 31 barrier layer capacitor (IBLC) model is responsible [9, 12–14]. However, the occurrence of
 32 the high dielectric response and dielectric relaxations in both single crystals and ceramic
 33 samples indicates that the simple IBLC model is not the only possible explanation [15].
 34 Zhu *et al.* found recently that some Cu ions occupy the Ca sites [16], which may split the
 35 degeneracy and result in a metal-like behavior and enhance the dielectric responses.

Received June 20, 2010; in final form October 26, 2010.

*Corresponding author. E-mail: onodera@phys.sci.hokudai.ac.jp

[1]/1

巨大誘電率ペロフスカイト結晶 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の Cd 置換効果

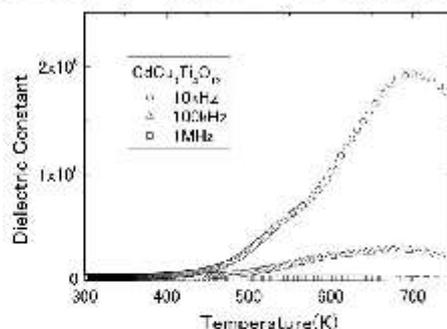
固体物性Ⅱ研究室 田代貴美

一般的に誘電率が7より大きいものは高誘電物質といわれる。強誘電体はその相転移に関連し、誘電率が1000より大きい値を示す。誘電体はコンデンサ材料に応用されていて、高い誘電率を持つ物質であれば、デバイスを小型化、高品質化できるため高誘電率物質は多くの研究者によって研究されている。例えば、コンピュータのメモリ素子であるDRAMは、Siを酸化して得られる SiO_2 コンデンサーに電荷がある(1)か、無いか(0)で記憶するので、より良い高速メモリのために誘電率の大きな材料が研究されている。中でもペロフスカイト型酸化物は高い誘電率を示すことでよく知られている。ペロフスカイト型酸化物とは一般的に ABO_3 という結晶構造を持ち、強磁性、強誘電性や超伝導性を示す興味深い物質群である。このペロフスカイト型酸化物の一つに $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO)がある。この物質は1967年Raveauらにより高温超伝導物質の探索中に合成されたもので、1979年Bochuらによってその結晶構造が報告されている[1]。CCTOの結晶構造は室温で立方晶、空間群が $\text{Im}\bar{3}$ 、格子定数が $a=7.391\text{\AA}$ である。また、2000年アメリカDufont社のSubramanianらによって誘電率が測定され、室温から広い温度幅で 10^4 という巨大な値を示すことを発見した[2]。一般に強誘電体の誘電率はCurie-Weiss則に従って温度依存する。そのため室温付近で大きな誘電率をもち、温度依存が小さいものは応用するにあたり理想的なものといえる。しかしながら、CCTOはこれまで強誘電性を示す事は確認されておらず、誘電特性は従来のペロフスカイト型強誘電体とは非常に異なっている。巨大誘電応答のメカニズムについては多くの説が提案されているが、未だ定説は得られていない。

$\text{ACu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 物質群の誘電特性をみると[2]、 $A=\text{Cd}$ や La は約400と2桁小さく、もしこれが本当であるなら、巨大誘電応答の物理が変わっている可能性がある。このことからAサイト原子の役割について興味を持たれる。さらに、Cd結晶は $\epsilon=409$ という報告[2]と $\epsilon\sim 9\times 10^3$ という相反する報告[3]があり、再吟味する必要がある。

そこでAサイトのイオンに対して、Cdイオンをドーブした試料を作製し、50K~750Kまでの誘電率を測定し、基礎的データをきちんと得ることを第一の目標とした。

右図は $\text{CdCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ の300K~750Kの温度領域における誘電率の温度依存性である。



References

- [1] B. Bochu *et al.*, *J. Solid State Chem.*, **29** (1979) 291.
- [2] M. A. Subramanian *et al.*, *J. Solid State Chem.*, **151** (2000) 323
- [3] R. Zuo *et al.*, *Solid State Commun.*, **138** (2006) 91.

フラックス法によるウラン化合物の育成

およびその試料評価

3年 三浦植幸

$\text{URu}_2\text{Zn}_{20}$ は $\text{Ce}_2\text{Cr}_2\text{Al}_{20}$ 型の立方晶構造をとり、空間群は $\text{Fd}\bar{3}\text{m}$ 、格子定数は $a=14.179\text{\AA}$ の化合物である。また、 Zn の作る多面体に U や Ru が内包された構造をとる。このように、原子のつくる多面体に他のイオンが内包された構造をもつ物質はカゴ状化合物と呼ばれ、カゴ状構造に起因すると考えられる風変わりな物性が近年注目を集めている。

本研究では、フラックス法による U 化合物 $\text{URu}_2\text{Zn}_{20}$ の育成を試みた。フラックス法とは単結晶試料作製法の一つであり、構成元素およびフラックス（溶媒）を増焼に仕込み、炉で融解させたのち化合物を析出させることで目的の化合物を得る方法である。析出させる方法は溶媒蒸発法など様々であるが、本研究では Zn を自己フラックスとして用いたため、温度を $1^\circ\text{C}/\text{h}$ で徐々に降下させて析出させる方法（徐冷法）を採用した。以上の育成法は $\text{URu}_2\text{Zn}_{20}$ やその類似物質（ $\text{YbFe}_2\text{Zn}_{20}$ など）の論文の中で報告されており、その報告例に従った。こうして出来上がった試料を約 20 倍希釈の塩酸によりエッチングし、いくつかの結晶を得た。Fig.1 はエッチングをしている最中の試料の塊であり、いくつかの結晶面を確認する事が出来る。

以上の行程によって得られた結晶を粉末 X 線回折により分析した。Fig.2 にその回折パターンを示す。目的であった $\text{URu}_2\text{Zn}_{20}$ とは異なるピークが見てとれ、 $\text{URu}_2\text{Zn}_{20}$ は成長していないことがわかった。そこで、これまでに知られている U-Zn 二元相図や U-Ru 二元相図から、得られる可能性がある化合物を絞ろうと試みたが、このディフラクトパターンを満足する化合物は今のところ見つかっておらず、現在試料評価を続けているところである。

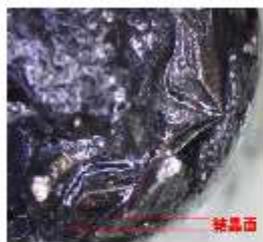


Fig.1 エッチングをしている途中の試料。フラックスの中に結晶面があることが確認できる。

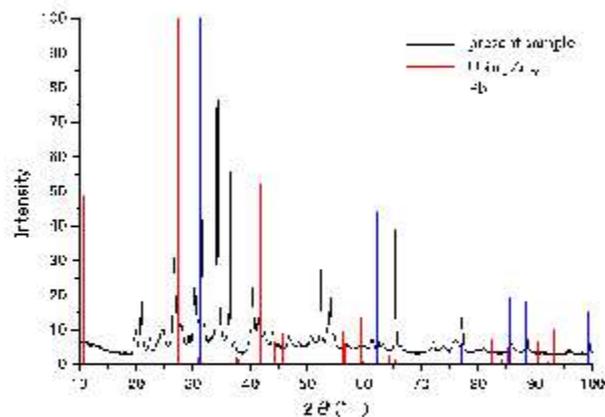


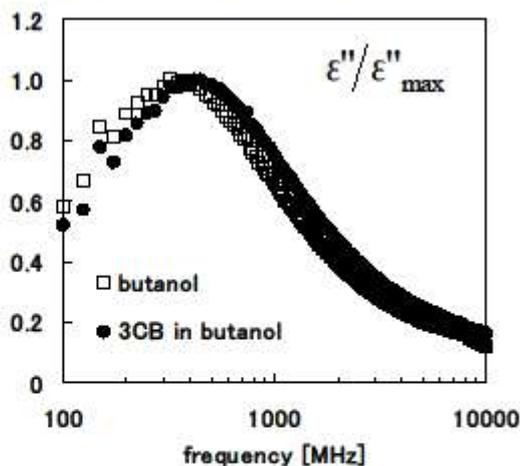
Fig.2 黒がサンプルのディフラクトパターン。鉛をバックグラウンドの遮蔽のために使っているため、鉛のピークも現れている。

液晶を添加した一級アルコールの誘電緩和測定

固体物性 I 研究室 瀬川陽子

物質に電場を印加すると分極が起こる。その分極が生じる過程を誘電緩和過程といい、この過程を詳しく調べることにより、物質内部のミクロな分子運動に関する情報を得ることができる。誘電緩和過程は複素誘電率の周波数依存性を測定することにより調べることができ、その方法を誘電分光法という。

今回は誘電分光法を用いて、水素結合性液体である一級アルコールの分子ダイナミクスに関する研究を行った。一級アルコールにはマイクロ波帯域に誘電分散が観測されるが、その分散の原因はまだよく分かっていない。本研究では、一級アルコールに極めて分子構造に異方性の大きな液晶分子を添加し、それがアルコールの緩和過程に及ぼす影響を考察し、誘電分散の起源に関する手がかりを得ることを目的とした。用いた液晶は 4-cyano-4'-n-alkylbiphenyls(nCB, n=1~9)液晶で、n の数によって分子の長さを制御することができる。さまざまな長さの液晶分子を添加して、その誘電緩和過程を観測した。以下に炭素数が 4 であるブタノールとブタノールに 2mol%濃度で 3CB 液晶を添加した測定例のグラフを示す。この測定例ではブタノールの主緩和過程が 3CB 添加によって高周波側にシフトしたことがわかる。発表では様々な長さの液晶に対する測定結果について考察し、アルコールの誘電分散について議論する。



(TMTTF)₂ReO₄ の誘電率の測定.

低次元電子物性研究室 三上大地

(TMTTF)₂ReO₄ は黒色の細長く脆い物質である。(TMTTF)₂ReO₄ は殆ど一つの軸方向にしか電子が動くことができない物質…即ち擬一次元有機導体…であり通常の三次元的な導体とは異なる振る舞いをする事が知られている.例えば低温で電荷秩序(charge order, CO)と呼ばれる相転移がおこる事が知られている.COがおこると誘電率に異常が生じるので誘電率の温度変化を観察することでCOがおこる温度を知ることができる.誘電率は複素インピーダンスから算出するので実際に測定するのはこの複素インピーダンスである.具体的には, 温度を固定して, 11 Hz から 11 MHz 程度まで周波数を対数的に 8 つ程度に分けたそれぞれの周波数について複素インピーダンスを測定する, という測定を行う.

複素インピーダンスは四端子法で測定する.通常の方法…二端子法…ではリード線の抵抗や接触抵抗など, 試料の抵抗以外の抵抗も測定してしまうという問題点がある.四端子法とは電圧をより正確に測定するための方法で, 電圧を測定する端子と電流を測定する端子をそれぞれ用意することで意図しない抵抗の寄与を減らすことができる.これによって複素インピーダンスおよび誘電率がより正確に求められる.

また具体的にそのような測定をするために, ただの細長い物質の状態から測定するため台座に取り付けるまでの工程についても紹介する.その工程は, マスキング, 金蒸着, 金線付け, 台座取付けの四工程から成る.四端子法で測定を行うには(TMTTF)₂ReO₄ に電極を 4 つ付けなくては行けないが, これに金線を付けるためにまず表面の四ヶ所に薄い金の層を作る(マスキング, 金蒸着).これらの箇所直径 10μm の金線を銀ペーストで付ける(金線付け).そうしてできた試料から伸びる金線を台座の電極に銀ペーストで接着すれば試料を台座に取り付ける工程が完了する(台座取付け).

このような方法を用いて実際に(TMTTF)₂ReO₄ がある温度で相転移を起こして誘電率が滑らかでない変化をしていることを見る.

磁区観察用Kerr顕微鏡の絞り制御機構の開発

強相関電子磁性研究室II 中川健太

我々の研究室では強磁性体の磁化の3成分を独立に検出可能なKerr顕微鏡を開発し、磁性体の観察を行っている。磁区観察では照射系内部で絞りを光軸に対して左右対称な位置に正確に配置する必要があるが、これまで手動で調整していたため、位置精度が悪く磁区コントラストの減少をまねいていた。そこで、絞りの位置の設定精度を上げ、コントラストの高い磁区像を常に得ることを目的として、Kerr顕微鏡専用の絞り制御機構の開発を試みた。

Kerr 顕微鏡は入射光にS 偏光を用い、縦Kerr 効果を利用して磁区観察を行う。試料への入射光を光軸に対して設定した角度で入射させ顕微鏡像を取得し、さらに光軸に対して対称に光を同様の角度で入射させて顕微鏡像を取る。得られた顕微鏡像の差分をとることによって、磁化の一方成分の磁区像を抽出することができる。入射光の角度は照射系に挿入した絞りの光軸からの距離に対応するため、絞りの設定精度が重要となる。開発した制御機構は、絞り、サポート機構、駆動部分等からなり、絞りの移動制御の為の専用ソフトウェアをVisual Basicで開発した。これにより、絞りの設定精度と操作時間の短縮を図ることが可能となった。早期配属成果発表会ではこの絞り制御機構の詳細と、NdFeB磁石の磁区観察に対して応用した例について発表する。

ブチルスズ-エステルのカップリング法による BEDT-TTF の合成

低温物理学研究室 丸山将人

TMTCF(C-Se, S 図 1 参照)や BEDT-TTF(図 2) は、様々な陰イオン X⁻ と化合することにより、様々な物性を示す。

擬一次元有機導体である (TMTCF)₂X は、温度、圧力を変えることにより様々な物性を示すことが知られている。例えば、(TMTSF)₂PF₆ は常圧低温下で SDW、圧力下低温下で超伝導を示し、(TMTSF)₂ClO₄ は常圧低温下で超伝導を示す。(TMTSF)₂PF₆ の超伝導は 1980 年に初めて発見された有機物の超伝導体であり、現在も精力的に研究されている。

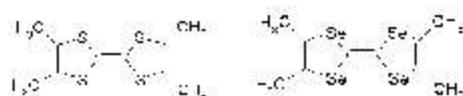


図 1 TMTTF(左)と TMTSF(右)

一方で、(BEDT-TTF)₂X は擬二次元有機導体として知られている。(BEDT-TTF)₂X に関しても、1982 年に超伝導が確認されて以来、この物質に対する研究が進められ、現在では数多くの超伝導が発見されている。

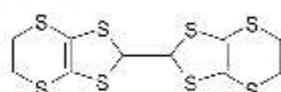


図 2 BEDT-TTF

このような物性を示す (TMTCF)₂X や (BEDT-TTF)₂X では、より詳細な電子状態を調べる方法として ¹³C-NMR が用いられている。これらの物質の解析を ¹³C-NMR で行うことを考えると、中心の炭素原子を ¹³C に置換することが必要であるが、両方とも置換すると Pake doublet という現象によってピークが分裂し解析が困難になってしまう。これを避けるために、片側置換が求め

られる。BEDT-TTF の場合はクロスカップリング法(図 3)によって、Pake doublet の影響を少なくすることが可能であり、BEDT-TTF の合成方法として広く使われている。しかし、図 3 のような方法を利用して純粋な片側 ¹³C BEDT-TTF を作製することはできない。有機合成の立場から 100% の片側 ¹³C 置換体を合成することは、チャレンジングな課題である。

そこで我々は、クロスカップリング法でなく、TMTCF の片側 ¹³C 置換体の合成に用いたブチルスズ-エステルのカップリング法(図 4)によって純粋な片側 ¹³C BEDT-TTF を合成できることを検討し、この方法によって合成を行った。そして、TLC の結果から BEDT-TTF が出来ていることを確認した。当日は合成の詳細な部分について説明する次第である。

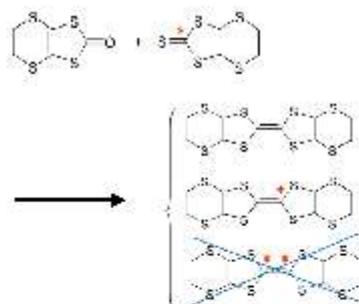


図 3 クロスカップリング法

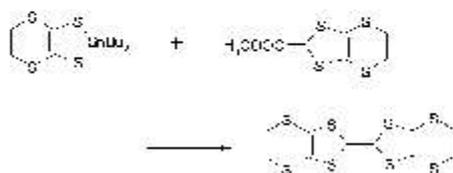


図 4 ブチルスズ-エステルのカップリング法

テラヘルツ時間領域分光法による

油-水混合系の分子ダイナミクスの研究

理学部物理学科 3年 光物性研究室 小山きらら

テラヘルツ領域の分光測定では、有機化合物の骨格振動などの低振動数モードや、ファンデルワールスカ、水素結合などの比較的弱い分子間相互作用の振る舞いを調べられるので、その分子構造やダイナミクスに関して様々な知見を得ることが期待される。またテラヘルツ帯には、「指紋スペクトル」と呼ばれる分子固有の吸収スペクトルが存在し、物質の同定への利用が試みられている。

これまでの当研究室の研究結果より、水とエタノールを混合させると水の分子運動に大きな変化が生じることがわかっている。今回は、オレイン酸($C_{18}H_{34}O_2$)を主成分とするオリーブオイルと水の混合系においてテラヘルツ時間領域分光法による測定、データ解析を行った。この測定はテラヘルツ電磁波の経路に測定試料を配置したときと、しなかったときの時間波形を用いることによって光学定数を求めるものである。

水に関する光学定数と、そのピークが示す分子運動については、ローレンツモデルとデバイモデルを用いて表されることが知られている。今回の実験においては、水をオイル中に分散させることにより水素結合ネットワークを遮断した。

測定によって得られた時間波形をフーリエ変換や、Newton法のプログラムを用いて解析することによって、誘電率を得た。図1は水の複素誘電率、図2はオイルと、オイル・水混合系の複素誘電率の測定結果である。今回は測定の過程と結果、さらに拡散された水分子のダイナミクスについて発表する予定である。

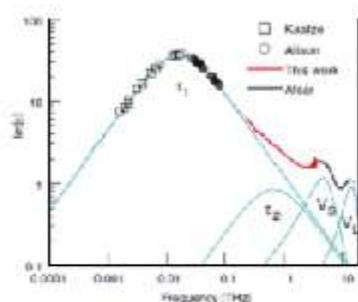


図1: 水の複素誘電率

H. Yada, M. Nagai, K. Tanaka

Chem. Phys. Lett. 464, 166-170(2008)

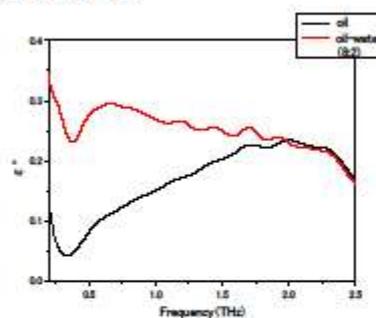


図1: オイル、オイル・水混合系の複素誘電率

STM を用いた高温超伝導体 Bi2212 の表面の観察

高圧研究室 下出直樹

STM(Scanning Tunneling Microscope : 走査型トンネル顕微鏡)は、試料表面の各点と探針との間に流れるトンネル電流を計測し、画像化する装置である。探針の試料面への接近および試料面に沿ったスキャンといった針先の操作には、原子の大きさ ($\sim 1 \text{ \AA}$) 以下の精度が要求される。STM 実験では、この極めて高い精度を実現するものとしてピエゾ素子 (圧電素子) と呼ばれる強誘電体を用いる。ピエゾ素子は外力を受けて結晶が歪むと電圧が現れ、逆に電圧を加えると結晶が歪む (ピエゾ効果)。これは日常的にも広く用いられている物質で、たとえばチャッカマンやライターに用いられている。

STM 実験では、外部電場の向きと結晶の歪む方向が異なる 2 種類のピエゾ素子が用いられる。1 つはシニアピエゾ素子と呼ばれ、針を試料表面に近づける粗動機構に用いられる。もう一方はシニアピエゾ素子と歪み方向が 90° 異なるもので、針を試料表面に沿ってスキャンする機構に用いられる。

一方 Bi2212 は図 1 に示すような層状の結晶構造をもつ高温超伝導体である。各層は、超伝導が発現する Cu-O 面と Cu-O 面にホールをドープするブロック層からなっている。

二枚の Bi-O 面間はファンデルワールス力によって結合しているため、結晶はこの面の間で容易に劈開する。STM 実験では、超高真空中で劈開を行って、原子レベルで平坦な試料面を用意する。従って、STM では通常 Bi2212 の Bi-O 面が見える。実際の Bi-O 面の STM 像には Bi-O 面に強く発達する超格子が現れる。発表では、STM 実験でどのようなプロセスを経て Bi-O 面の超格子が観測されるかを説明する。また、STS(Scanning Tunneling Spectroscopy)実験からは、超伝導状態が起こる Cu-O 面の電子の状態についての知見が得られるが、この話は本発表では時間の関係で割愛する。

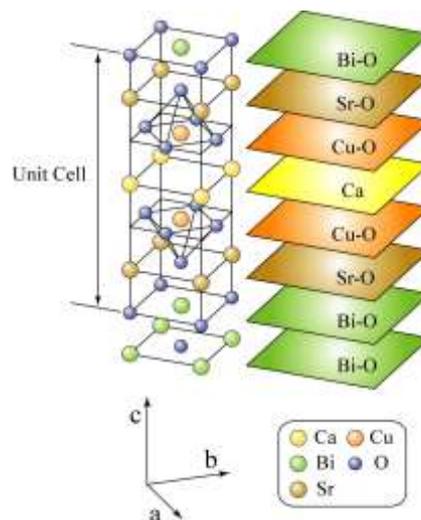


図 1 Bi2212 の結晶構造

3-12-3. 理数応援ニューフロンティア・プロジェクト成果報告会

日時：平成 23 年 2 月 19, 22 日

場所：国立日高青少年自然の家（北海道沙流郡日高町）

参加人数：45 人（学生 35 人，教職員 10 人）

成果報告会では本プロジェクト参加学生が計 14 件の発表を行った。内訳は、物理学科 2 年生の理論系早期研究室配属の成果発表が 6 件，物理コース・オープンラボ，物理学科 3 年生の自主研究の中間報告がそれぞれ 1 件，そして数学コース・基礎ゼミの発表が 6 件である。また，物理学科教員による特別講義，および，外国人教育コーディネータによる英語での活動報告が行われた。学生と教員，先輩と後輩，物理学科と数学科などの垣根を越えた交流も非常に活発であった。



【当日の様子】

日程

19 日		20 日	
9:00	北大発	7:00	起床
12:00	日高着・昼食	7:30	朝食・清掃
13:00	発表会 1	9:00	発表会 2
18:00	夕食・入浴	12:00	昼食
20:00	懇親会	15:00	日高発
22:00	消灯	18:00	北大着・解散

発表アブストラクト

1. 物理学科 2 年生・理論系早期研究室配属

素粒子論研究室：井上，戸田

タイトル：光学現象の電磁気

アブストラクト：素粒子研に早期配属されたものの，素粒子について学んでいくためには相対性理論・量子力学・その他多くの領域を習得しておく必要があった。それらのものを短期間に習得することは事実上不可能であり，習得せぬままに素粒子について学ぼうとすると表面上の調べ学習になってしまい，本当の意味での学習になりえない。そこで自分たちは素粒子の研究上のテーマの 1 つである“理論を統一していく”という部分に目をつけ，その第一歩である，現象を異なる分野から考察する力を養っていかうと考えた。そのため高校以前の学習では波動で扱われてきた光学現象を，電磁気の分野から考察することにした。主な学習内容は 2 つあり，1 つは“なぜ可視光領域では波長が短いほど屈折率が大きくなるのか？”ということをもとに分子の運動方程式・分子の分極によって得られる式・Maxwell 方程式の 3 つの観点から考察していくものである。もう 1 つは，“光の反射の現象の入射角による影響”を導体内での電場の減衰振動から導かれる反射係数と，電場による分子振動の観点からの説明を用いて考察する。



宇宙物理研究室：岸田，高井，長谷川

タイトル：宇宙の現在，過去，未来

アブストラクト：今回，宇宙の膨張，ビッグバン理論，ダークマターとダークエネルギーの三つの内容について発表する。宇宙膨張については，主にフリードマン方程式とハッブルの法則の発見について説明する。ハッブルの観測によって「すべての銀河は距離に比例してわれわれから遠ざかっている」ことが確かめられることで，宇宙は膨張または収縮するという理論的な予測（フリードマン方程式）が正しいと確認されたという流れで発表を行う。ビッグバン理論については，ビッグバン理論とはどのようなものか，何故ビッグバン理論が支持されているのかについて説明する。ビッグバン理論はいくつかの理論と観測が一致するため支持されているが，その例の一部を紹介する。ダークマターとダークエネルギーについては，どのようにしてそのような存在が仮定されるに至ったか，また，それらの存在は宇宙の振る舞いにどのような影響を及ぼしているのかについて説明する。

原子核理論研究室：加藤

タイトル：VPython による，電子の波動関数の時間発展シミュレーション

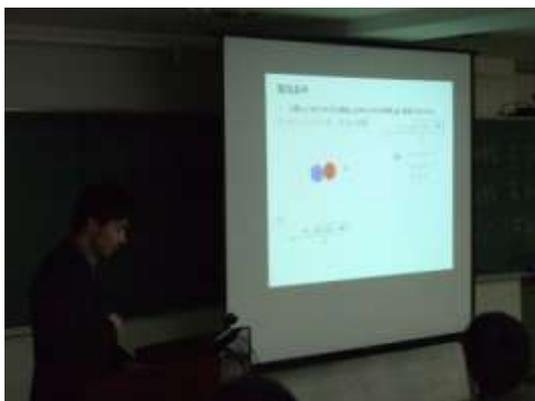
アブストラクト：一次元上での電子についての時間依存するシュレディンガー方程式を，数値解析を用いて計算し，可視化しました。数値解析には VPython というネット上で公開されたフリーのプログラム

を用いました。今回は運動エネルギーが一定の条件の下で矩形のポテンシャルに入射させ、ポテンシャルの値に応じて波動関数の反射・透過の割合がどの程度変化するかをまとめ、発表します。

原子核理論研究室：本田

タイトル：量子力学の解釈問題について（多世界解釈論者の視点から）

アブストラクト：量子力学では、この自然界をどのような枠組みで捕らえるべきなのかという議論を量子力学の解釈問題という。そして量子力学の誕生以来、さまざまな理論、つまり解釈論が展開されたが、今日中心に説明するのは「多世界解釈」というものである。これは量子力学をミクロの世界の理論として限定せず、日常の世界、ひいては全宇宙にまで広げて考えたとき、量子力学はどのように解釈されるべきかという観点から導かれた考え方である。今現在主流であるコペンハーゲン解釈との対比でこの多世界解釈とはどのようなものかというものを考えてみる。



物性理論 I 研究室：小松，辻，永田

タイトル：Maxwell 速度分布の導出と検証

アブストラクト：物性理論 I グループでは、古典統計力学のマクスウェル速度分布についてその導出と検証を行った。N 粒子理想気体について、まず、統計力学的エントロピーの定義とその性質を確認し、次にそれを用いてマクスウェル速度分布の導出を行った。最後に、剛体球分子が十分希薄であると考えられる状態を想定し、イベント・ドリブン法を用いた数値計算により、速度の分布がマクスウェル速度分布に緩和されることを確認した。

物性理論 II 研究室：阿部，畠山，山田

タイトル：量子統計力学と Bose-Einstein 凝縮

アブストラクト：統計力学とは系の微視的な物理法則を基に、巨視的な性質を導き出すための学問である。巨視的な状態量は微視的な物理量の平均値として得られる。統計力学の目的は、こうした平均操作をおこなう系統的・統一的な方法を与えることである。こうした平均操作は、微視的な量から巨視的な状態量を導くものであり、統計力学は微視的な物質の理論と巨視的な熱力学とを結びつけるものである。量子力学とは古典力学で説明しきれない電子や原子核などの間の微視的現象を説明するために作られた理論である。古典力学に従えば初期条件によってその後の運



動を完全に記述することができる。しかし、原子や電子などの非常に小さなスケールの現象を扱う場合、不確定性原理により粒子の位置と運動量を両方を正確に測定することはできない。量子統計力学は一体問題である量子力学と多体問題である統計力学を合わせた学問で、量子力学的な多粒子からなる巨視的な系を扱う理論である。量子統計力学の結果として粒子をボーズ粒子とフェルミ粒子の2つに分類することができる。これらの粒子はある条件のもとで特殊な現象を示す。例として Bose-Einstein 凝縮を紹介する。



2. 物理コース・オープンラボ：小林，佐々木，瀬口，高橋，加藤

タイトル：なぜ Milky Crown はできるのか？

アブストラクト：今冬から新たに理数応援の一環で取り組んでいる、Open Laboratory についての紹介を行います。2年生1名，1年生4名の計5名からなるグループです。本ゼミで与えられているテーマは、液体の表面上に滴が滴下された時に形成される冠状の構造「ミルキークラウン」の形成の原因を突き止めることです。非常に身近な現象で誰でも作り出せるものですが、実は現在でも完璧な理解・再現には至っていません。現在私達はこの現象を扱うのに必要な知識を身につけている段階です。そのため今回はミルキークラウンの過去に為された研究の紹介と、今後の研究の方針について発表します。

3. 物理学科3年生・自主研究：世古

タイトル：C言語を用いた物理系シミュレーション

アブストラクト：C言語を用いてプログラムを作成し、次の3つの物理系の運動についてシミュレーションを行う。(1) 振り子：非常に基本的な物理系である振り子の運動のシミュレーションを行う。復元力が $-(g/l)\sin\theta$ (近似なし) の系と、振れ角 θ が十分小さいときに $\sin\theta \approx \theta$ と近似した系(調和振動子： $\ddot{\theta} = -(g/l)\theta$) の違いを視覚的にとらえる。(2) 二重振り子：解析的には解くことが困難であり、非常に複雑な運動を行う二重振り子について様々な初期条件の下でシミュレーションする。(3) 重力場中の物体の運動：



Einstein 方程式の解の一つである球対称のSchwarzschild 解を用いて、相対論的效果を考慮した重力場中の物体の運動を取り扱う。Schwarzschild 解によると、Schwarzschild 半径($r_g = 2GM/c^2$)まで物体が近づいたとき、物体外の(静止)座標系からは物体は止まって見える($v(t) = 0$ となる)ことが帰結される。この現象を太陽を重力源としてシミュレーションする。

4. 数学コース・基礎ゼミ

1年生幾何グループ：館入，佐々木，小浦方

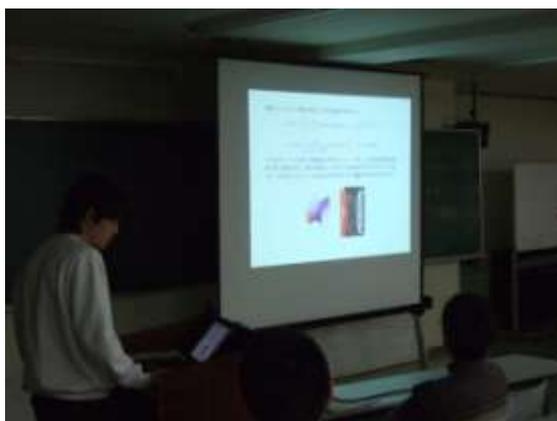
タイトル：曲線・曲面と超曲面の微分幾何学的考察

アブストラクト：今回の教科書「曲線と曲面－微分幾何的アプローチ」では，初めに曲線の微分幾何論が論じられ，次いで曲面の微分幾何論が論じられる。発表の前半部分では曲線や曲面の曲率などを定義し，面白い性質を持つ曲線や曲面の具体例を提示する。その後私は「曲面論は直接的に $\mathbb{R}^{(n+1)}$ の n 次元超曲面に一般化されるはずだ」と考え，その観点で曲面論および平面曲線論を整理してみた。これらは外部にユークリッド空間が必要であり「外在的」あるいは「古典的」な理論である。一般的なコースは曲面論の後いきなり「リーマン幾何」などの内在的微分幾何に進むのだが，こちらは抽象的であり一見しただけでは分かりにくい。ここで古典的微分幾何とリーマン幾何との対応関係を意識するのは効果的だが，一般にリーマン幾何は n 次元リーマン多様体を扱うので，曲面論をまず n 次元に一般化しておくことでリーマン幾何との対応関係がより明確になる。発表の終盤はこの話である。

2年生代数グループ：相川，中村，木村，白幡

タイトル：シローの定理について

アブストラクト：私たちのグループは，代数概論（森田康夫著，裳華房）を用いてセミナーを行った。まず，行列に関する簡単な復習，基本的な事項の定義とその例，基本的な性質（例えば，準同形定理など）を勉強した。その後，群論の勉強に入り，それを一通り終えた。群論の勉強におけるハイライトとしては，“Sylow の定理” や “有限 abelian 群の基本定理” や “Schreier の細分定理” などが挙げられる。そこで今回の発表では，有限群の構造定理の中で非常に強力な定理の一つである Sylow の定理を紹介する。これは，有限群の位数がその構造に影響を与えていることを示している。



2年生整数論グループ：中村，阿部，木村

タイトル：フェルマーの小定理の紹介

アブストラクト：私たちのグループは『整数論』（斎藤秀司著，共立出版）をテキストとしてセミナーを行っている。まず群，環，体と剰余群，剰余環に関する基本事項について学び，その後ガウス（Gauss）

によって証明された平方剰余の相互法則を頂点とする初等整数論を学習した。続いて体の2次拡大, 4元数環を定義し, その性質を調べた。その後, 有理整数環を部分環とする p 進整数環を定義, p 進整数環を部分環, 有理数体を部分体とする p 進数体を定義し, 現在はこれらに関する定理を学んでいる。今回の発表では, 初等整数論の中の定理の1つであるフェルマー (Fermat) の小定理を紹介する。これは, 「 a を整数, p を素数, a と p の最大公約数が1であるとする。このとき, a^{p-1} を p で割ると余りが1となる」という定理である。この定理はオイラー (Euler) の定理の系として与えられる。

2年生フーリエ解析グループ: 阿部, 畠山, 白幡

タイトル: ポアソン方程式について

アブストラクト: 私たちのグループは, 中村周著「フーリエ解析」を使ってゼミをしました。フーリエ級数展開とその性質と応用, そして, 1変数や多変数のフーリエ変換, 更に, 超関数について勉強しました。フーリエ級数展開に関しては, 一様収束や平均収束, 関数の空間の内積と直交関数系を学びました。また, フーリエ級数の微分や, 偏微分方程式への応用として, 熱方程式やディリクレ問題を解き, 積のフーリエ級数展開とたたみこみの公式を証明しました。1変数のフーリエ変換については, 反転公式やプランシェレルの定理, リーマン・ルベグの定理を証明し, フーリエ変換の平行移動や微分, たたみこみについて勉強しました。応用として, \mathbb{R} 上の熱方程式, 半平面のディリクレ問題, 波動方程式を解きました。多変数のフーリエ変換については, 多重指数を使って, 1変数のフーリエ変換の性質と多変数のフーリエ変換の性質がほぼ同じであることを確かめました。また, 量子力学の定式化への応用を学習し, フーリエ変数 ξ は運動量であるなどのフーリエ変換との関係性について学びました。超関数については, その定義と性質, 収束について学習しました。今回は, フーリエ変換を使って, 電磁気学でよく使われる「ポアソン方程式」について発表しようと思います。



3年生: 細田

タイトル: ローレンツ変換とその物理的帰結

アブストラクト: 1880年代に行われたマイケルソン・モーレーの実験から光の速さは進行方向に依存しないことが確かめられ, これまでの理論と矛盾した結果が得られた。そこで1895年, ローレンツが運動している物体は縮んでしまうというフィツジェラルド収縮という解釈を発表し, そこから更に2つの慣性系を結びつける線形変換であるローレンツ変換を考えた。そして1905年に, アインシュタインはローレンツらの理論をより洗練した形として特殊相対性理論を発表した。今回の発表では光速不変の法則, 相対性原理な



どの簡単な仮定から実際にローレンツ変換を導出することを目標とする。さらに、そこから導くことのできるフィツジェラルド収縮や運動による時間の遅れの現象などについても説明したい。

3年生：下山

タイトル：ホモロジーとドラムコホモロジーから見る空間の穴
アブストラクト： R^2 から原点中心の円板をくり抜くとそこには“穴”ができる。この“穴”のあいた空間のホモロジー・ドラムコホモロジーを調べることで、両者の関係や代数と幾何とが絡み合う様子を見てみたい。余裕があれば、オイラー数や写像度などとホモロジー・ドラムコホモロジーがどのような関係式を持っているかについて触れる。微分積分の基本と Green の定理程度を知っていれば十分に話は分かると思われるので楽な姿勢で聴いていただきたい。



【懇親会】



【特別講義「核磁気共鳴から学ぶ物理の基礎」】



【平成 22 年度 理数応援プロジェクト活動報告】



【レクリエーション】



4. 広報活動

2010年SSH（スーパーサイエンスハイスクール）生徒研究発表会

「北海道大学 理数応援ニューフロンティアプロジェクト」としてブース出展

日時：平成22年8月3日（火）、4日（水）

場所：パシフィコ横浜（展示ホールA）

昨年度に引き続き、SSH 生徒研究発表会において、北海道大学理数応援ニューフロンティアプロジェクトの広報活動を行った。ブースには本プロジェクトのポスターを2点掲示し、配布物として、本プロジェクト、物理学科、数学科、理学部、北海道大学のパンフレット及び本学で平成23年度から導入される総合入試の案内をそれぞれ150部程度用意し、本プロジェクトの活動や北海道大学の魅力などについて説明した。今回のブース出展は、高校生のポスター発表と同じ会場であったため、大変多くの高校生、高校教員に立ち寄ってもらえた。また、理数応援プロジェクトに参加している他大学の方々との情報交換も行った。



【当日の様子】



北海道大学

Boys, Be ambitious.
Innocentobe.



北海道大学は
きみたちを
待っています

一般入試
AO入試
 課題論文及び面接等で総合的に
 評価します
総合入試
 入学後に学部が決まります
 (平成30年度入学分から)

北海道大学理学部

1年生～2年生前期

自然科学に関する幅広い知識を習得します

2年生前期終了時～

数学・物理の専門科目が始まります

4年生前期～

研究室に配属され、最先端の研究を始めます

理学部入学後の流れ (例:物理学科)

1年	2年	3年	4年	大学院
教養科目 基礎科目	理学部共通科目	専門教育科目		
	学科分属		研究室配属	

理数応援ニューフロンティアプロジェクト

数学・物理好きのあなたのやる気を応援します！！

- 早期研究室配属**
- サマースクール**
- オープンラボ**
- 自主ゼミ**

ほかの人より一足先に研究者としての夢をスタート！



合同合宿ゼミでアドバンストな知識を身につけよう！



自分たちのラボで仲間と共にテーマに挑戦！



自主的に「学ぶ・調べる・発表する」を実践し基礎技能を磨く！



若手研究人材育成シンポジウム “SynFOSTER2011”

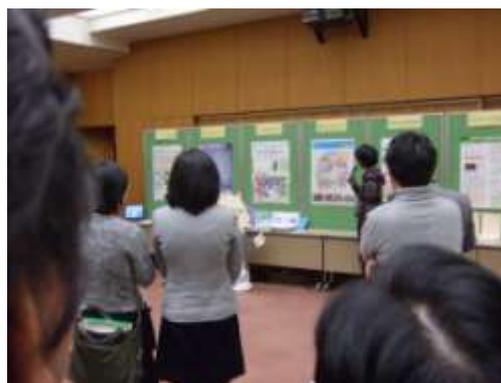
「理数応援ニューフロンティア・プロジェクト」のポスター出展

日時：平成 23 年 1 月 20 日（木）13:00～18:30

場所：北海道大学 学術交流会館

昨年度に引き続き、若手研究人材育成シンポジウム “SynFOSTER2011” に参加した。今回で 3 回目の開催となるこのシンポジウムは、北海道大学における様々な人材育成に関する取り組みを内外に発信し、各取り組みのさらなる相互連携と人材育成の効果的な推進を図ることを目的としている。プログラムは 3 部構成で、第 1 部は基調講演とパネルディスカッション、第 2 部は魅力ある大学教育の取組紹介、第 3 部はポスターセッション（交流会）となっている。参加者は約 130 名、ポスターセッションへの参加事業は約 30 である。本プロジェクトからは 2 名が参加し、第 3 部でのポスター出展およびショートトーク発表での取組紹介を行った。また、他事業の参加者と意見交換、情報共有を行った。

次ページに本プロジェクト出展ポスターを掲示する。



【当日の様子】

理数応援ニューフロンティア・プロジェクト

(段階的研究体験と学内インターンシップを基盤とした人材育成)

北海道大学理学部
物理学科・数学科



理数学生応援プロジェクト (文部科学省事業)

理数分野に関して強い学習意欲を持つ学生の意欲・能力をさらに伸ばすことに重点を置いた取組を行う事業を、国からの委託により実施

理数応援ニューフロンティア・プロジェクト (理学部数学科・物理学科 平成20年度採択)

従来の積み上げ式教育に「基礎ゼミ」や「早期研究室配属」などの段階的研究体験を組み込んだ教育プログラム (右図参照)



基礎ゼミ (物理)

少人数のセミナーを通じてコミュニケーション能力、プレゼンテーション能力、独立的な学習能力を養う。教育コーディネーターや高学年の学生がチューターとなってサポートする。平成22年度は、外国人教育コーディネーターの指導の下、英語でセミナーを行っている。
テーマ: Introduction to Quantum Physics (Basics of Quantum Mechanics)

基礎ゼミ (数学)

少人数グループによる自主的なセミナー活動を実施している。数学科教員は、中間修習研究活動におけるセミナー(英語や韓国)の指導や活用についてレクチャーし、学生に正しい姿勢や意識を持たせるよう指導している。平成22年度のグループ・テキスト名は次の通り:
1年生: 3グループ: ガロワと方程式、虚数と乗積、微分方程式概論
2年生: 5グループ: 代数的幾何、幾何学、トポロジー入門、フーリエ解析、微分方程式概論
3年生: 3グループ: 代数学、多様体の基礎、微分幾何学
4年生: 2グループ: 代数的幾何論、微分形式と代数トポロジー

早期研究室配属 (実験)

22年度は、物理学科20年度と実験系研究室に配属し、実際に研究を行ってもらう。
9月に開催された授業改善委員では、次の2件の報告がなされた:
・Ca₂Fe₂Si₂の新しいドーピング材料の作成および超電導の測定
・巨大超電導ペロフスカイト結晶 CaFe₂As₂の G₀ 層効果
・フラックス法によるウラン化合物の育成およびその試料評価
・液晶を添加した一層アルコーラの超電導測定
・(TbTP)₂Si₂の超電導の測定
・超伝導材料 FeTe 超伝導の格子制御後の効果
・プルスズーエステルのカップリング法による法による BiTl-TlF の合成
・テラヘルツ時間領域分光法による前・水素含有の分子ダイナミクス研究

早期研究室配属 (理論)

22年度は、前半にテキストをもとにしたセミナーを行い、後半は理論研究室に所属してそれぞれの研究室の研究分野について聞いている。参加した学生は物理学科20年度である。後半のセミナーでは、理論系の大学院生 TA から出されたテーマについて学生がレポート・議論を行った。テキスト: 水沢憲典著「人物で語る物理入門(上、下)」東京新聞
後半の早期配属での成果は、研究発表会で報告する。

サマースクール (物理)

夏休み期間に短期集中型の特別授業を実施している。平成22年度の講義は次の通り:
「異体分子運動論とマックスウェル分布」 講師: 加藤昌彦准教授
「時を計るモノ/サンな~古典力学からレーザーまで」 講師: 三品真文准教授

サマースクール (数学)

東北大学・数学科と共同で合同サマースクールを開催している。知能・理解の習得はもちろん、他大学・他学年の学生との交流も主な目的である。平成22年度のトピックは次の通り:
・『双曲幾何』吉中出悠 (東北大)
・『物内関数入門』藤原孝規文 (北大)
・『超導過程の基礎』針安社 (東北大)
・『変分問題』村松川吉典 (北大)

研究室ツアー

将来へのキャリアビジョンを高めることを目的として、新入生と実験系研究室に案内している。対象は数理学科のすべての研究室。1部の講義終了後の夕方に、各部、研究室と時間程度で2つの研究室を回る。各研究室のスタッフと学生は、研究内容や研究生活などについて説明し、最先端の研究の様子にも触れてもらっている。

オープンラボ

半導体・2次元を対象とした企画。平成22年度のテーマは次の通り:
・Silky Green と Quantum Mechanics の類似性研究プロジェクト
・Diracism を長い音楽で~高品質ヘッドフォンアンププロジェクト

ホームページ

理数応援ニューフロンティアプロジェクトの活動を紹介している。また、企画の告知など、学生への重要な連絡手段として機能している。URL は次の通り:
物理コース <http://phys.sci.hokudai.ac.jp/newfront/>
数学コース <http://www.math.sci.hokudai.ac.jp/qaen/index.html>

早期研究室配属



ほかの人より一足先に研究者

サマースクール



高度な知識を身につけよう!

オープンラボ



共にテーマに挑戦!

基礎ゼミ



自主的に集まって議論しよう!

5. 業務の総括

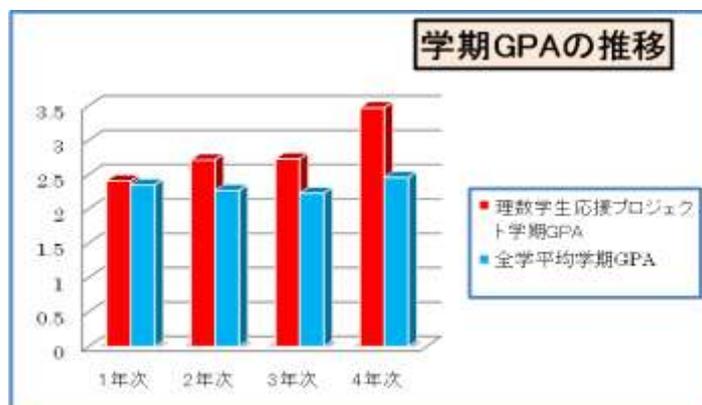
○ 本事業は、積み上げ式の学問体系の色彩が強い数学、物理学の教育体系に、逆ピラミッド状の試みを付け加えることにより、教育の活性化を図ることを目指している。下表及びグラフからも分かるように、GPAで比較すると、前年度に引き続き、本事業参加学生のGPAが学内平均GPAより高水準で推移しており、順調に進行していると判断される。

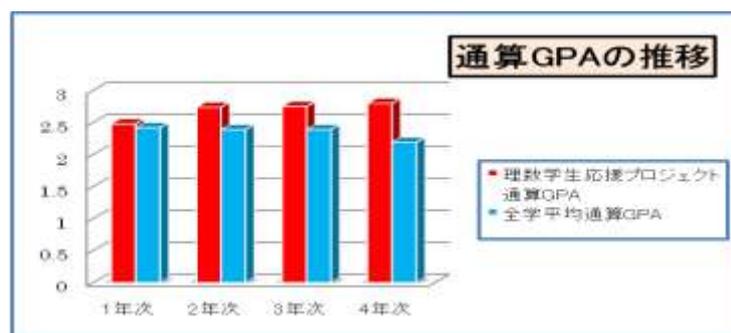
○ 初年次インターンシップ研究室体験（参加64名）、早期研究室配属（2年次13名、3年次9名）、サマースクール（数学4テーマ、物理学2テーマ、75名）、基礎ゼミ（数学12コース、物理1コース）、学会等発表（6件）、外国人研究者特別講義（4件）、OB教員講演会（1件）、オープンラボでの実験・実習（3テーマ）、プロジェクト研究会の開催（3回）などの成果を上げる事が出来た。特に、今年度は外国人研究者による特別講義を開催し、学生には刺激となったようで、好評であった。

○ 学会等での発表は、学生の学習への動機付けに有効であることから、参加を積極的に推奨した。日本物理学会には3名（平成22年9月開催）及び2名（平成23年3月開催：東日本大震災のため概要のみ公表）が参加した。また、「リサーチフェスタ2010」（大阪大学、10月）においても1名が研究成果を発表した。

○ 研究所見学では、野辺山天体観測所を見学し、簡単な観測も行うなど学習意欲の向上に有効であった。次年度以降の研究所見学の要望も多数の学生から寄せられた。

○ また、意欲的で優秀な学生を早期卒業させ、大学院に進学させる制度の検討を行い、平成23年度入学の学生からの導入を決定する成果が得られた。





【得られた知見と今後の課題】

昨年度課題として挙げられた早期研究室配属実施の日程調整の問題は、3年次学生実験への単位振り替えにより、解消する事が出来た。その一方、早期研究室配属ではなく、3年次学生実験を選択する学生もあり、来年度も取り組みを継続し、傾向を調査する必要がある。基礎ゼミについては数学科では広く実施されているが、これは、実験などがない事により、時間を確保しやすいことに起因している。物理学科の場合は、時間の関係から、早期研究室配属と基礎ゼミのどちらかを選択する事になっている。本学の中期目標では「単位の実質化」が掲げられており、全学的に通常授業では、「予習」、「講義」、「復習」の充実を推進していることから、学生には宿題等の課題が毎日の様に課されている。本事業の推進とどのように調和させていくべきかについて次年度以降の課題となる。

学生のアンケートを見ると、教育コーディネータ、院生と交流することの教育的効果が大きく、そのような機会を望む意見は多い。この試みは、今後の学士課程教育充実のキーポイントとなるだけでなく、大学院生のキャリアパスとしても期待される。

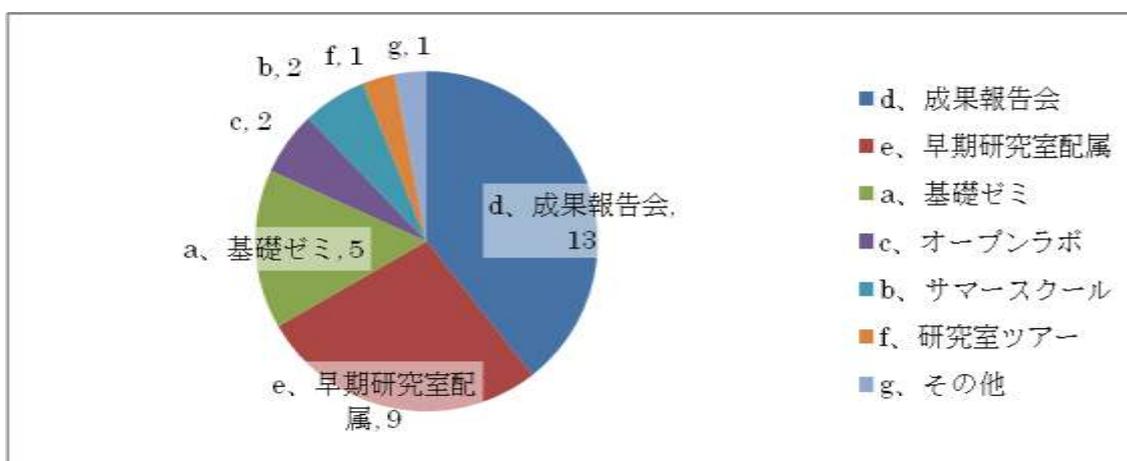
6. 調査報告

アンケート調査

平成 23 年 2 月に行われた日高成果報告会において本プロジェクトに関するアンケートを実施した。以下に選択肢を選択した人数と回答の抜粋を掲載する。

Q1. 次のプロジェクトで最も印象に残った活動をひとつ選んでください。

- a. 基礎ゼミ b. サマースクール c. オープンラボ d. 成果報告会
e. 早期研究室配属 f. 研究室ツアー g. その他



Q2. 上で選んだ活動でどのような点が印象的だったか具体的に書いてください。

「成果報告会」を選んだ人

- 初めての発表だったので良い経験になった。他の人の発表を聞いてすごく勉強になった。
- 先輩や仲間がどういった学習・研究をしているか分かったこと。
- 自らが主体となって活動した時間が長かったこと。
- 分からない内容も多いが、他の人が何をやったのかかみくだいて説明しており色々参考になった。
- 同じ早期配属に行った人たち、数学の人たち etc. の発表は内容だけでなく、他にも勉強になることが沢山あった。
- 他のグループがどのような事をやっているか分かっておもしろかったし、勉強になった。
- 先生方の前ではじめて発表した点。
- 物理のことが色々聞けたこと。数学と物理の考え方の違いを知ることができた。
- 他学部の成果報告。プレゼンを通して様々な研究に触れられた。

「早期研究室配属」を選んだ人

- 数値解析の知識を得たこと。とても実用的に感じた。
- 実際に研究室に入ったこと。これまでやった中で、一番内容を理解したと言える勉強ができた。

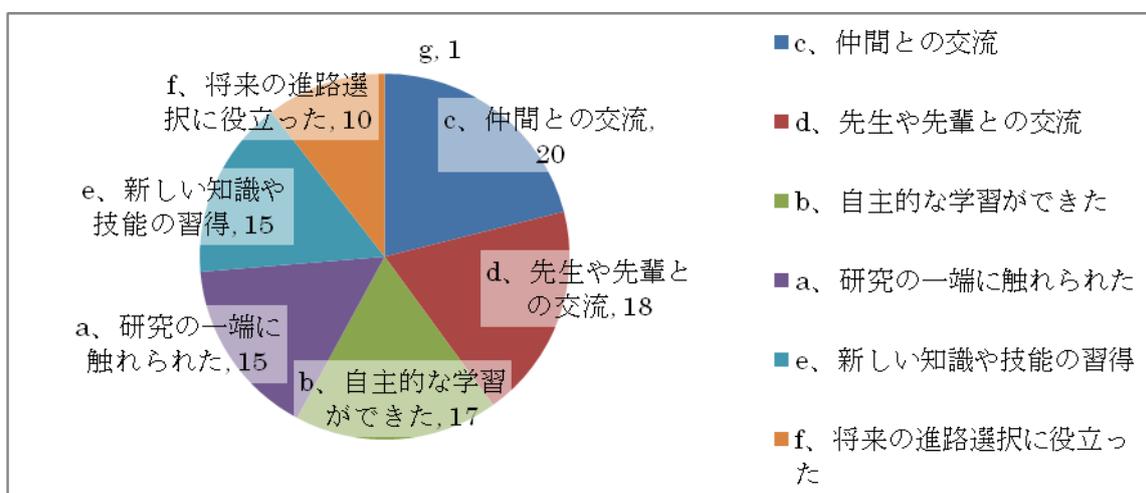
- テスト期間で忙しい中だったが、勉強していくことで新たな発見があり、それが非常に爽快だった。
- 大学に入ってから「物理の研究」ほい勉強をしたことがなかったので、いい経験になりました。
- 授業とは全く異なるけれど自分がやりたい勉強ができて、とても楽しかった。
- 数値計算をしたあとのデータ分析が大変だと分かったこと。
- 研究室、研究といったものがどんな所、ものかわかった。
- 研究室の中で、さまざまな体感をさせていただいたから。

「基礎ゼミ」を選んだ人

- 英語での授業。
- 1年間を通して基礎ゼミをやることができ、数学の厳密さと応用性について学べたこと。
- 早い段階からゼミ形式に慣れることができてよかった。
- ゼミの発表の仕方等に慣れることが出来て、大変ためになった。

Q3. 本プロジェクトに参加して良かったことは？（複数回答可）

- a. 研究の一端に触れられた b. 自主的な学習ができた c. 仲間との交流
 d. 先生や先輩との交流 e. 新しい知識や技能の習得
 f. 将来の進路選択に役立った g. その他



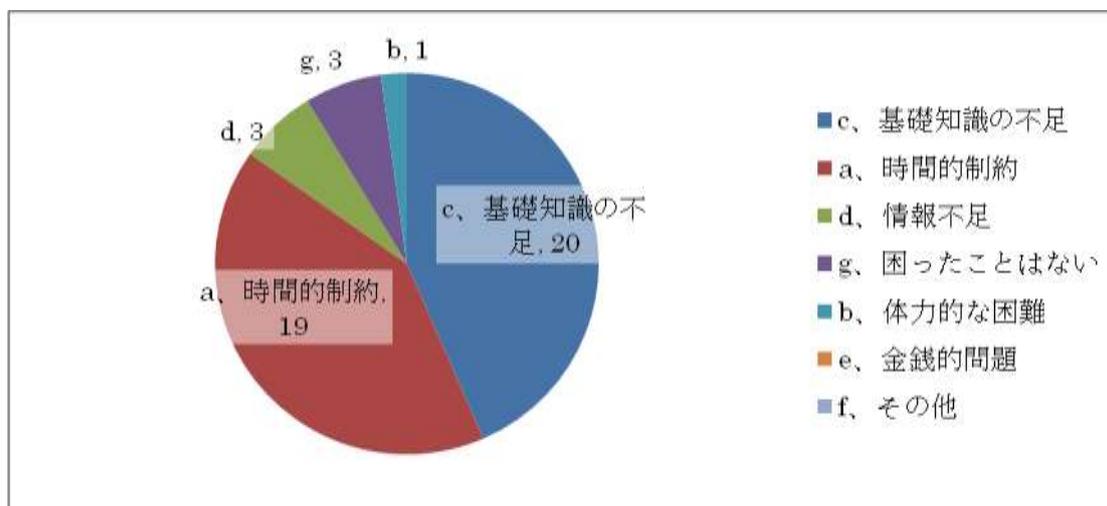
Q4. 上で選んだ良かったことについて具体的に書いてください。

- 数学ですごい先輩方と出会えたこと。
- 様々な人の発表を聞くことで、どのような研究が行われているかがわかった。また、懇親会などを通して、多くの人たちと話せることもよかった。
- 教養では得られない知識を得たり、今後のための心構えができた。
- 自分の興味を引くようなことが見つかった。
- 数学の自主的な学習ができたり、基礎ゼミの仲間などから刺激がもらえたこと。

- 研究を早いうちから自分で進められる状況にあること。
- 今まで知らなかった分野についても聞くことができ、進路の幅が広がった。
- 英語でのゼミが語学力向上に役立った。話のタネが出きた。
- 研究室の活動内容や授業範囲外の学問について知る機会が与えられたこと。
- 3年でやるような内容を知れたのは、今後の進路選択に非常に役立った。
- 自主的に数学や物理の勉強ができ、この機会で様々な人と勉強できたこと。
- 数学の本を友達と読むことを学べた。自分一人だけではなかなか勉強が進まないこともあり、多人数でやることで、様々な視点の意見が聞けるので面白かった。
- 基本、自分は友人がいないので、このプロジェクトに参加して、多少なりとも会話ができる人ができた。又、素粒子研究に興味をわき、その研究をするのに一歩先へすすめることができた。
- 仲間たちと勉強して議論できるところ。
- 研究室をこれから選ぶのに参考になりました。
- 興味があるものの知識はやはり自然と入って、自主的に「知りたい」と思って学ぶことができた。
- 先生方や先輩と話せて、学科のふんいきが分かり、また、ためになるお話も聞いて楽しかった。
- ゼミでの交流によって得た。これまでは院生の方とお話する機会はあまりないので。
- 先輩や先生と色々話せた。
- 他学年の人たちや、物理学科の人たちとも交流ができて情報を共有し合うことができてよかった。
- 一緒に勉強する仲間が増えたことが一番良かった。
- プロジェクト室が自由に使えたので、授業内容はもちろん、個人的に調べたことなどを議論できた。
- 交流範囲が広がり、色々な話を聞くことができた。
- 誘電体について興味をわき、色々面白く思えた。研究室のメンバーで良い思い出作りができた。

Q5. 本プロジェクトに参加して一番困ったことをひとつ選んでください。

- a. 時間的制約 b. 体力的な困難 c. 基礎知識の不足 d. 情報不足
 e. 金銭的問題 f. その他 g. 困ったことはない



Q6. 上で選んだ困ったことについて具体的に書いてください。

「基礎知識の不足」を選んだ人

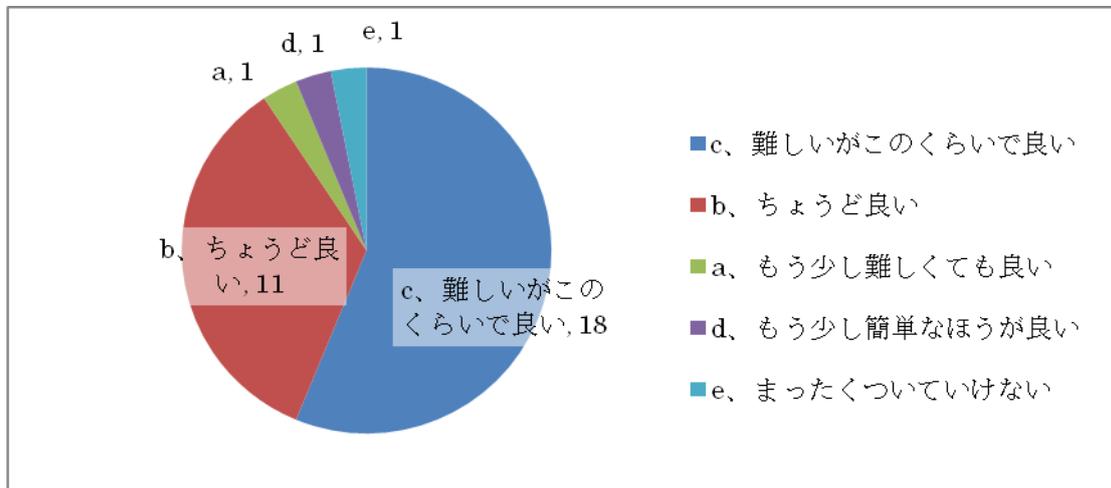
- 一年生なので仕方がないが、他人の発表を聞く上でもう少し知識が欲しいと思った。
- 1年生には習ってないことが多すぎて、1年生にとっても、おそらく先生方にとってもやりにくい。
- 発表を理解するのに必要な知識が不足していた。
- 他の人の発表は分からないことだらけだった。
- 1年ということもあり、物理や数学の知識が足りないと実感した。
- Open Lab で流体力学の知識がなかったこと。
- 現代物理最前線をレビューしようかと思ってたが、本の notation や数学的な力が無かったので、主にブルーボックス的レビューになってしまった。
- 3, 4年の内容を1, 2年がやるには道具が足りず、それがないままやったゼミなどは正直内容が頭に残らなかった。
- 物理の基礎学力が不足していて、発表に困ったこと。
- 代数学での群論などの知識が少なく、整数論のテキストの中身を理解するのが大変でした。
- 他の人の発表がほとんど頭にはいらなかったので、勉強します。
- 勉強する上で基礎知識の不足を多く感じた。
- 微分幾何学の知識不足。途中からの参加だったので、補うのが大変だった。
- 問題を考える時に、何からどう考えていいのかがまずできなかった。

「時間的制約」を選んだ人

- 期末テスト期間と成果報告会の準備期間が同時期だったので体力が必要だった。
- 物理の早期研究室配属ではまとめる時間が1カ月弱しかなく、時間が足りなかった。
- 知りたい情報に辿り着くまでに膨大な量の知識が必要でそれを取得するのに時間が足りなかった。
- 早期研究室配属の勉強をする時期がテスト時期と重なっていて大変だった。
- シミュレーションが当初予定していた条件でできなかった。残念。
- 学期中でやっていくには、時間的な制限が多かった。
- 面白そうな企画が多々あったが、都合（個人的な）により出席できなかつたりした。
- 授業時間が多くて、理数応援がらみの自主的活動が阻まれた。
- 講義が多く、準備に時間がとれない。
- 学校の講義やアルバイトと、基礎ゼミやイベントの予定の都合が付かない。
- サークル、バイトと授業に加えると、時間的よゆうがなく、忙しすぎた。

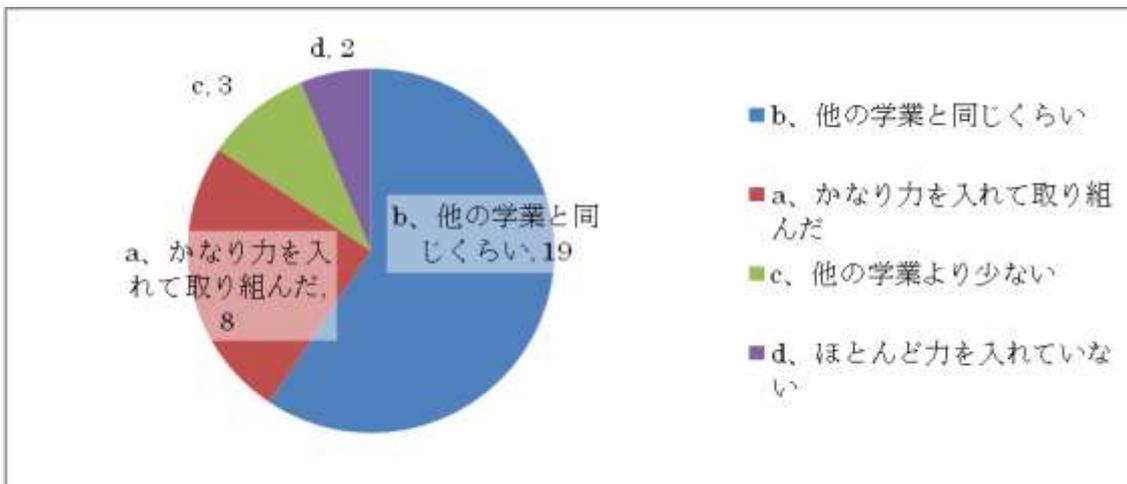
Q7. 本プロジェクトの難易度はどのくらいでしたか？

- a. もう少し難しくても良い b. ちょうど良い c. 難しいがこのくらいが良い
 d. もう少し簡単なほうが良い e. まったくついていけない



Q8. 本プロジェクトにどのくらい力を入れて取り組みましたか？

- a. かなり力を入れて取り組んだ b. 他の学業と同じくらい
 c. 他の学業より少ない d. ほとんど力を入れていない



Q9. 今後取り組んでみたい研究や講演を聞いてみたいテーマなどを書いてください。

- 2年からは物理コースもやってみたいと思います。
- 物理の応用についても話を聞きたい。
- C言語によるプログラムを書いて、二重振り子を動かしてみたくなった。
- 代数分野の学習を進めたい。
- 非線形の物理

- 確率論
- 複雑系・カオス
- マイスナー効果について知りたい。
- 2年生が今回発表したような調べ学習的な内容よりも、Milky Crownの実験報告の様な長期的な活動を実験などを取り入れた発表に取り組みたいし、聞いてみたくもある。
- 統計をやって量子力学の話がでて、もっと詳しく知りたいと思った。3年になれば授業もあるだろうから、その知識を使ってもうちょっと上の内容をやってみたい。
- フーリエ解析をやったので、他の解析系の研究をしたいです。また、物理をもっと数学的手法を用いて研究してみたいです。
- 幾何と数理科学系について今までほとんど勉強していないので、今後自主ゼミもしくは自分で勉強したいと思います。
- Fourier 解析をより詳しくやる為に、ルベーグ積分をやってみたい。又、量子力学も半端ながら勉強したので、それをさらに進めて、物性への応用等が理解できる様になりたい。
- 反物質の CPT 対称性、量子論的多世界解釈。
- 早期研究室配属が時間が足りず、満身に勉強ができなかったので、量子統計力学（特に Bose-Einstein 凝縮について）を勉強した。
- 素粒子系も少し楽しそうだと思います。
- 宇宙の観測機器を実際に見てみたい。
- 来年度の、早期研究配属の実験が楽しみです。
- Maxwell の 3, 4 年の更なる勉強。
- 流体力学。
- 関数解析、数理物理のような領域。
- 超準解析の熱・統計力学への応用、量子情報理論。
- 未だ興味を持てるテーマがないので地道に勉強していこうと思う。
- 前線の研究者達が、どのようなことに取り組んでいるのか。

Q10. 感想など自由に書いてください。

- とても自分のためになったと思います。
- もう少し積極的に様々な活動に取り組んでいきたい。とくに、自分で研究をしていくようにしたい。
- プロジェクトのおかげで安く、色々な研修をできて、とてもうれしくおもいます。
- 今後もこのような活動に参加していきたいと思う。
- 数学の人の発表や先生の指摘等を聞いてとても刺激になりました。Open Lab の発表も 1 年後にあるのでしっかり勉強していこうと思います。これからはもっと力を入れていきたい。
- 難しいことが多すぎたので（まだ習っていないこと）もう少し初歩的なことがしたい。
- 授業の内容の意義を新しい視点から見直すきっかけになったので成果報告会はその点で良かった。
- テストがあって、ゼミを進めるにしてもプレゼンを作るにしても時間が足りなかった。早期配属の

時期は遅くてもいいとして、2月の中旬で終わるのは非常に物足りない。私も Maxwell 分布の3通りの導出をしたが、そこから先を勉強したいのであって、そうすると時間がないと言わざるを得ない。

- 今回のように多くの人前で発表する機会は少ないので、良い経験でした。今後も自主ゼミの活動を続けていきたいと思います。
- 楽しかったです。おつかれさまでした。今後の進路を決める上で、とてもよかった。
- 全体的にためになったことが多く、楽しかったです。
- 今回のプロジェクトには「新しく応用的な知識を得たい」という気持ちで参加しました。発展的で難しい内容も多々ありましたが、以前から興味があった宇宙の知識を自主的に得られて良かった。
- 理数プロジェクト全体を通して様々な交流ができたり、新しい発見があったりして本当によかった。もっと物理方面と交流ができると面白いと思った。
- もっと早く参加すればよかったと強く思った。
- もっと時間を！参加できたことで、多くのものを得たと思います。
- 良い学習の機会を与えてくれてありがとうございました。
- 1~3年生でも、ものすごくしっかりした事をやっていて、とても刺激になりました。特に、数学科の方々の考え方が非常に面白かったです。
- 授業とは別に自主的に活動しているのを聞いて、すごい刺激を受けました。発表会という場ですが、遊び心もあり、なにより、意見交換の場があたえられているということが非常に有意義だった。
- 自分が物理なので、数学の発表がとても面白かった。他学科と交流できる機会は貴重だと感じた。