Scienceweb

東北大学グローバル COE

物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開

Weaving Science Web beyond Particle-Matter Hierarchy

vol.3

特集

日常の物理問題解明に取り組む
若き数学者の卵たち ― 04

連載

新規採用された助教へのインタビュー

第 2 回　物理学専攻　安倍博之

数学専攻　上田好寛　数学専攻　野原雄一 ― 13

”物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開”活動報告 ― 02

ScienceWeb GCOE 第一回国際会議　ポスターセッションの模様 ― 12

Vol 3. 2009 03

東北大学
Scienceweb GCOE プログラム
物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開

活動報告

Scienceweb GCOE が行った活動の中から，2009 年 1 月から 3 月までの主なものをピックアップしました。
この他にも，セミナーやイベントが多数開催されるなど，活発な活動が行われました。
活動の詳細は下記ウェブサイトに掲載されています。ウェブサイトでは，RA や助教の募集も掲載されますので，ぜひご覧ください。

http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/

Vaughan Jones

Vaughan Jones氏は，数学のノーベル賞ともいわれるフィールズ賞を1990年に受賞されました。
来仙されたJones氏による一般向け講演会が，東北大学青葉山キャンパス内理学部大講義室で，理学研究科とGCOEの共催で開催されました。

GCOE 春の学校開催

春の学校では「アインシュタイン方程式の世界観―偏微分方程式の幾何学的構造と物理的意味を求めて―」というテーマのもと，大学院生，PDのみならずこのテーマに興味を持つ全国の研究者から数学の専門分野の枠を越えて参加者を募りました。
3日間にわたる春の学校開催期間には，東北大学理学研究科川井ホール（数理科学記念館）に数多くの参加者が訪れ，3名の講師による講演を熱心に聴講していました。

2009 年　3 月 5 日～ 7 日

第一回 GCOE 国際会議開催

東北大学マルチメディア教育棟を会場に，Scienceweb GCOE 第一回国際会議が開催されました。
1985 年にノーベル物理学賞を受賞された K. von Klitzing 氏をはじめ，国内外から 16 人の招待講演者にお越しいただき，各専門の最新の研究成果や興味深いテーマを講演していただきました。
東北大学からも GCOE 拠点担当者や若手を中心に 7 名が講演を行いました。
また大学院生を中心としたポスターセッションも開催され，分野を超えた活発な対話が行われました。

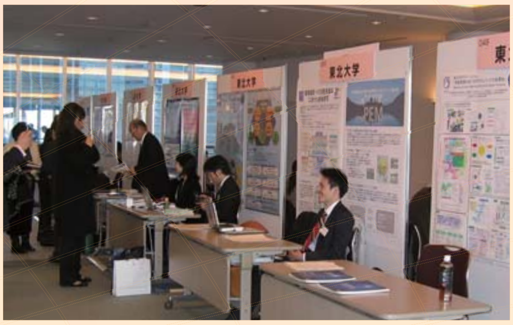
氏 来仙

2009 年　2 月 3 日

2009 年　1 月 13 日

大学教育改革 プログラム 合同フォーラム参加

パシフィコ横浜にて開催された，文教協会主催のポスターセッションに参加しました。



2009 年　2 月 22 日～ 24 日

2009 年　2 月 6 日

井上教授 日本学術振興会賞受賞

Scienceweb GCOE 拠点リーダーの井上邦雄教授が，第 5 回（平成 20 年度）日本学術振興会賞を受賞されました。

2009 年　3 月 4 日

Phys.Rev.B 編集長による特別セミナー

Peter Adams 氏は Phys. Rev. B 誌の編集長を長く勤めておられる，いわば PRB の顔です。

Adams 氏からは，PRB に限らず多くの科学雑誌全般にこれから論文を書こうとする若手へのメッセージをいただきました。特別セミナーは東北大学理学研究科総合棟にて行われました。

ことばで紡ぐサイエンス・ウェブ－第二回

日常の物理問題 解明に取り組む 若き数学者の卵

迷子の研究生活

物質量を有する二つの物体の間には, 両物体の距離の平方に反比例する引力が働く。 これは, ニュートンによって発見された万有引力の法則とよばれるもので, ニュートンはこの法則をもとに太陽系の惑星の運動を説明しました。 しかし, 困ったことに天王星の動きは計算と合わなかったのです。そこで未知の惑星があると考え, 万有引力の法則から導き出される方向に望遠鏡を向けそこに海王星が発見されたとき, 人々はこの法則の威力に驚嘆したと言われています。

これは私の好きな話のひとつですが, この話の中で疑問が生じます。 一般に物体は大きさを持っており, その物体を上記のように質点, すなわち１点からなる物体, として万有引力の法則を適用することに問題はないのでしょうか? 一般に大きさを持っている物体は, それを微小部分に分割し, その各々に対し万有引力の法則を適用すること, その物体全体がおよぼす引力を求めることができますが, その引力がはたして１点に総質量をもつ質点がおよぼす引力と等しいということが言えるのでしょうか?

この疑問に対する回答は“ＹＥＳ”です。 惑星の形状はほぼ球形であり, その密度が一様である場合, その惑星がその外部におよぼす引力はその惑星の中心に総質量をもつ質点がおよぼす引力と等しいということを示すことができます。 したがって, 惑星の運動を考える場合は各惑星は質点として扱ってよいのです。 数学的には, この事実は球形の惑星とそれに対応する質点が惑星の外部において同じニュートンポテンシャルをもつこととして定式化され, これは調和函数の平均値の性質を用いて厳密に証明できます。

私は東北大学においてHele-Shaw流とよばれる２次元の流体運動について研究しています。 Hele-Shaw 流とは, ２枚の平行平面板の間を流れる非圧縮性粘性流体のなす流れであり, 平面板の間の距離を十分に小さくすることにより２次元の流れとみなすことができます。 これらの研究は多孔質媒質中の流体の流れや氷の結晶の成長などの現象とも深く結びついており, 応用上も重要な側面があるため, 様々な研究が行われています。 私は特に流体の注入や吸引といった外部からの影響が流体の界面の挙動にどのように作用するかを数学的に解析しています。 この問題は偏微分方程式の自由境界問題として定式化することができ, その解の挙動を研究することが目標となるのですが,境界が時間とともに変化し特異性をもつ場合もあることから, 古典的な偏微分方程式の解としてとらえることがしばしば困難となります。 そこで, 境界の特異性を許容できるように解の概念を拡張し, その拡張された解についてその挙動を研究しています。

たち

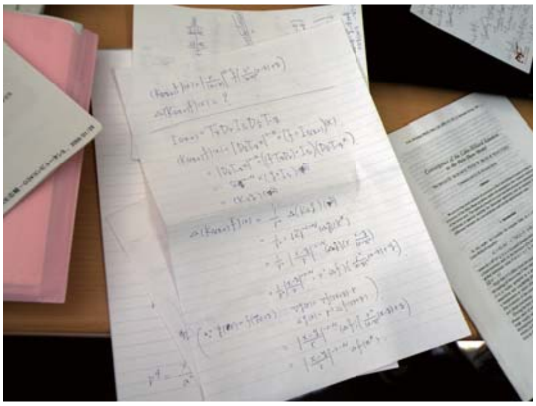
科学の各分野での独立した研究や異なる手法を連携させ
蜘蛛の糸ー Scienceweb ーを張るには共通の言語が必要です。
今回のテーマは，自然科学の共通言語 数学。
その数学の研究に携わる 4 人の学生が描き出す，数学の世界とは――？



実は驚くべきことに, このHele-Shaw 流は最初に述べたニュートンの万有引力の法則と密接に関連しているのです。 流体を 1 点から注入していく場合に流体の界面は円状に広がっていくのですが, これは質点とそれを中心とする球形の惑星が外部で同じニュートンポテンシャルをもつことに対応しています。 すなわち, Hele-Shaw 流の界面は, 流体の注入点および注入量に対しそれを質点とみたときのニュートンポテンシャルが, 注入後にできる流体の領域がつくるニュートンポテンシャルと外部で等しくなるように変形していくのです。 したがって, 万有引力, Hele-Shaw 流という 2 つの現象は数学的に同様の構造をもっていることがわかります。 さらに, これらの構造は調和函数のもつ平均値の性質という数学的構造と密接に関連しているのです。

上述の例からもわかる通り, 自然科学における様々な現象は数学という言語を用いることにより統一的に取り扱うことができる場合がしばしばあります。 現象のある性質に着目し, それを数式を用いて抽象化し, 数学的考察を通して論理的に解析することで, その現象のもつ本質的構造を理解することができるのです。 その一方で, 現象を抽象化して得られたモデルに対し, 数学はそれをさらに一般化した数学的対象を考察することを可能にし, その解析を通じて逆に現象のもつ数学的構造の理解につながる場合があります。 例えば, 考える空間の次元や方程式に現れるパラメーターを一般化し, それらの関係を調べることで, その現象だけ注目していては見えてこなかった美しい関係が浮かび上がる場合があり,もとの現象のより深い理解が得られるのです。

そのような観点から, 私自身は数学のもつ可能性に魅力を感じ日々研究に没頭しています。 数学はその論理的性格のために一見して無味乾燥な学問のように思われることがあります。 しかし, 実際は豊かなイメージが互いに紡ぎ合わされることで発展してきた創造性に富んだ学問です。 研究は勉強とは異なり, まるで見知らぬ町を歩いているように不安を感じることもありますが, その一方で新しいモノを発見する喜びが確かにそこには存在します。



小野寺　有紹
（おのでら　みちあき）
東北大学大学院理学研究科
博士課程後期 2 年

主な研究テーマ：：Hele-Shaw 流の界面の挙動の検証
経歴：岩手県立一関第一高等学校卒業，埼玉大学理学部卒業，東北大学大学院理学研究科修士課程修了
趣味：サッカー，スノーボード，食べ歩き，カフェめぐり

調和写像とは？

皆さんは「幾何学」という言葉を聞いたことがあるでしょうか。幾何学は英語で「geometry」ですが、「geo」には土地、「metry」には測定するという意味があり、幾何学とはまさに測地学に起源をもつ言葉です。その幾何学において、
「曲面上の二点を結ぶ測地線（= 局所的な最短線）はどのように与えられるでしょうか？また、そのような曲線は常に存在するでしょうか？」
といった問題は最も基本的であり、ニュートン、オイラー、ラグランジュの時代にまで遡る由緒ある数学の問題です。

私の専門である「調和写像」とはこの測地線の概念を一般化したものです。「調和写像」とは、専門的な言葉を用いて一言で説明すると、「エネルギー汎関数 $E(u)=\int_M |du|^2 dx$ の臨界点として定義されるリーマン多様体の間の写像 $u:M\to N$ のことです。

輪ゴムが石の表面にピンと張られている状況を思い浮かべて見ましょう。もし、石と輪ゴムの間にまったく摩擦がなかったと仮定すると、輪ゴムは変形しながら均衡を保った状態に落ち着くでしょう。この「調和」な状態を記述するものが調和写像なのです。別の例を紹介しましょう。閉じた針金を石鹸水につけてから引き上げるとその針金に石鹸膜が張られますが、実はこの石鹸膜も調和写像の一例になっています。これらの二つの例はいずれも上で述べたエネルギーを最も節約するものとして与えられるものですが、調和写像とはこのようなエネルギー最小写像のみならず、エネルギー汎関数の一階微分が消える $(E'(u)=0)$ 写像として定義されます [1]。

ここで物理現象に現れる調和写像の例を一つだけ紹介させていただきます。それはディスプレイ等に応用されている「液晶」です。液晶とは文字通り、自発的に分子の向きがそろっているという結晶的な性質と、液体的な性質である流動性を兼ねている状態をいいます。自発的に分子の向きがそろっているため、電気的、磁気的性質に異方性があるのですが、その異方性と流動性のおかげで、電場や磁場などの外場を与えることによって液晶の向きをコントロールすることができ、その性質を利用してディスプレイ等に応用されています。さて、空間内のある領域 Ω に液晶が満ちているとして、点 $x\in\Omega$ における光軸の向きを $u(x)$ で表すことにします。つまり $u(x)$ は長さ１の方向ベクトルで、u は Ω から２次元球面 $\mathbb{S}^2$ への写像を与えています。このとき液晶は Oseen-Frank エネルギーとよばれるエネルギー汎関数をできるだけ小さくするように動くと考えることで変分問題として定式化されます。そして Oseen-Frank エネルギーはある特別な況では調和写像のエネルギーと一致することが分かり、調和写像の理論を応用することができます。

調和写像論における最も基本的な問題は適当な制約条件の下でのその「存在」です。このような問題は１９６０年代から続く歴史のある問題なのですが、多くの部分が未解決のままです。というのも、調和写像はある偏微分方程式の解として特徴付けられるのですが、

その方程式を直接解くということができないためです。最大の成功は，Eells と Sampson による結果（１９６４年）で，

「値域 N の空間が負曲率（曲率とは空間の曲がり具合いのことです）ならば調和写像は常に存在する」

というものです。証明は，そのような曲率の条件の下では適当な近似列が求める調和写像にちゃんと収束してくれることを議論することでなされます。その後，Sacks と Uhlenbeck によって，定義域 M が 2 次元の場合は，有限個の特異点の外では問題の調和写像に収束するような近似列を構成できることが証明されました（１９８１年）。そして，詳しいことは企業秘密ですが（笑），ある特別な調和写像を取り扱うことで，高次元においても Sacks と Uhlenbeck の仕事と同様なことができないかと考えて研究を続けています。

大学院での研究生活について

皆さんは大学院の数学科における研究生活をどのように想像されるでしょうか？所定の単位数を習得することで卒業できるというシステムは学部と変わりませんが，数学科の大学院では履修すべき授業の単位数は極端に少ないです。そのかわり，卒業するためには修士論文や博士論文を書く必要があり，その執筆のために毎週１，２回行われるセミナーが研究の中心になっています。セミナーの形式としては，一冊の本を数人で輪読したり，自分が調べてきたことを自由に発表したりなど研究室によってさまざまです。

数学の魅力は，高価な実験機材など必要とせず，最低紙と鉛筆さえあれば研究に取り組むことができる所にあります。よって数学科の学生は（RA 等の勤務時間外であれば）自分に最適な場所で自分のペースで自由に研究することができます。

東北大学数学科の最大の売りは，全国でも一，二を争う価値と規模を持つ数学関連図書を備えている数学棟３階の資料室です。私自身，求めている本がそこで見つからなかったことは一度もないくらいです。これは研究するにおいて非常に大きな利点であるため，とても恵まれた環境であると思っています。また，数学棟１階には談話室と呼ばれる共同の部屋があり，そこで学生だけでなく先生も交じってお茶を飲みながら議論ができるようになっています。数学は基本的には個人プレーですが，このような環境も研究のためにとても大切なものです。

後輩に向けて

最後に，将来大学院で数学を学びたいと考えている人に僭越ながらアドバイスをさせていただきます。数学は，よっぽどの才能を持ち合わせていない限り一人だけではできないものです。一人で黙々と勉強するだけでは良い数学の問題にめぐり合うのは難しく，挫折しがちです。色々な所に積極的に出かけて行き，たくさんの先輩や先生とコミュニケーションをとったり疑問をぶつけてみるべきだと思います。このようなことができるのは若いうちだけの特権ですから。恥を恐れていては数学など絶対にできません。

[1] 実は，エネルギー E は，輪ゴムの例では「輪ゴムの長さ」に本質的に等しく，また，石鹸膜の例では「膜が張る表面積」に本質的には等しい。

大森　俊明
（おおもり　としあき）
東北大学大学院理学研究科
博士課程後期１年

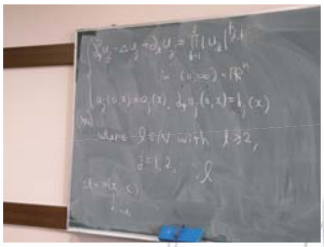
主な研究テーマ：調和写像における特異点解析
経歴：安積高校（福島県），東北大学卒，東北大学大学院理学研究科修士課程修了
趣味：読書

日常の物理問題解明に取り組む若き数学者の卵たち

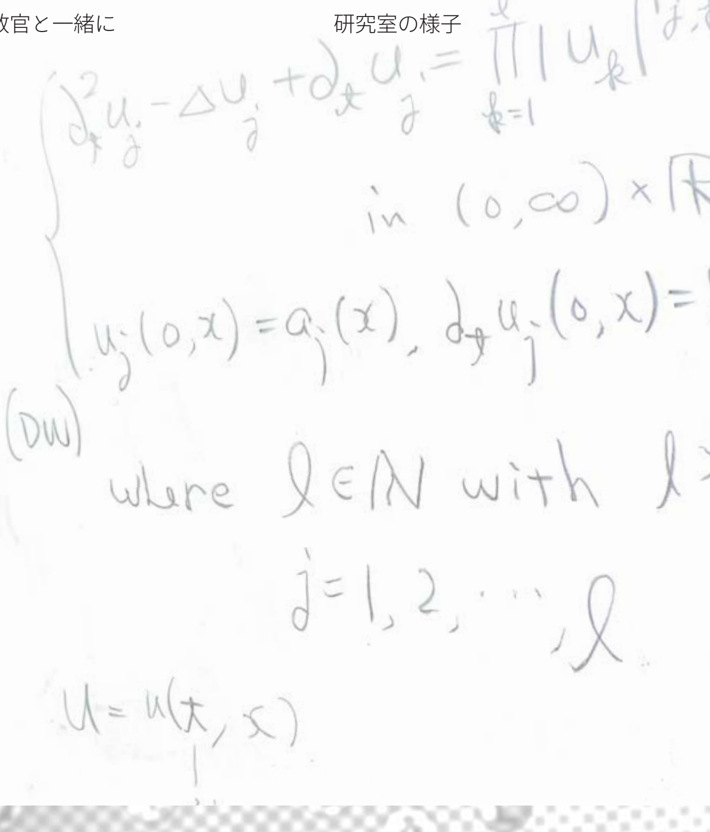
数学の研究について

セミナーの様子

指導教官と一緒に



研究室の様子



「数学」の世界では，主要な研究手段としてあげられるのが，「紙とペン」で，その研究といえば，特別な実験施設に行くわけでもなく大きな実験装置を使うわけでもなく，各個人個人が机に向かいノートや本，論文と対峙します。

私は，非線形偏微分方程式の具体的な方程式を考えることによってその方程式の持つより詳しい情報を引き出すことを目的として，「非線形消散波動」について研究しています。

「消散波動」というのは，消え去っていく波動という意味ですが，その消散波動の様子を表す，(線形)消散型波動方程式はもともとはHeaviside(ヘビサイド)によって直線状のケーブルを伝わる電磁波の減衰の模様を記述するのに用いられたものだそうで，電信方程式とも呼ばれます。これに対して，熱方程式といわれる，熱の伝導を記述する方程式があります。全く異なる二つの現象から作られた消散型波動方程式と熱方程式ですが，時間が十分に経過したときは(はるかなる未来においては)この二つの方程式の解は，ほとんど同じ振る舞いをします。現象を数式に抽象化することのメリットは全く異なる現象であっても，同じ方程式で記述できることが分かってしまえば統一的な視点が与えられるという点にあります。ただその際，抽象化する段階で，具体的な現象の「何らかの部分」を見過ごすことになるので，数式化したものが本当に現象に即したものになっているかをもう一度確認する必要があります。そのため，そもそも方程式は解くことができるのか，解くことができたなら，解はひとつだけか，それとも複数あるのか，など一見，問題としての重要性が伝わりにくいことを考えることになります。一般に，非線形偏微分方程式は，非線形性によって初期状態におけるごくわずかの「悪い情報」が，大きく増幅されて方程式に解が存在しなくなってしまうことがあります。そのため，非線形偏微分方程式において，方程式を解くことができるのはごく短い時間だけ

なのか，それとも長時間にわたって方程式を解くことができるのか，ということは重要な問題でもあります。

私が今取り組んでいるテーマは，「非線形消散波動」の方程式が，時間大域的に解くことができるか，また，解けるとしたらその解けるところと解けないところのギリギリの境目はどこか，というものです。頭の中の現象と数式を行ったりきたりしつつ，直観に沿う結論が導き出せているか，を気にしつつ予想を答えに変えていく過程が研究を行う私の動機付けとなっています。

厳密な証明を旨とする数学においては，ほとんどできたからといってそれが「証明」となることありません。また，状況証拠がどれだけたくさんあっても，それは「証明」ではありません。歴史的に見ても，数行の数学的事実の証明 (厳密な正当化) に膨大な時間がかかった事例も多く知られています。ときには，直観に反するような反例が見つかることもあるため，証明には繊細な注意が必要です。一方で，このような反例は考える対象に新たな観点を吹き込み，いままで気づかなかったことに気づく足がかりになったりもします。
従って，状況証拠が十分に揃っている問題についても，証明を与えるという行為は決して無駄ではなく，とても重要な行為であると考えています。

普段の生活は，院生室における研究と研究室単位で行われるセミナー（自らの研究成果や過去の研究結果を調べたものを発表する）が中心となります。過去の論文や書籍には，easy，clear，明らか，同様に，などといった言葉によって証明が大幅に省略されていることがあり，その行間を埋めるのに苦労することが大半を占めます。また，数学者は一人で家に閉じこもって計算に没頭する，というイメージをお持ちの方も多いようですが，研究室の先生や仲間と議論しながら研究を進展させていくこともあります。ときには閉じこもりますが。他者の何気ない一言が，自分にはない視点からみたものであるが故に，とても重要な助言となることなどもままあります。また，一見まったく関連性のなさそうな分野と，実は重要な関連があることなどに突然気づくこともあります。こういった発見も，数学を研究する上での喜びの一つと感じています。

現実的な数学の利点は研究コストが非常に少なくて済むということが挙げられます。これは，アウシュビッツ収容所の中でさえ，すばらしい数学が生み出されていたことからも言えます。但し，我々の理論が机上の空論で終わってしまわないように，つねに，実際の現象との関連性を考える必要があります。では，理論は実際の現象にどのように生かされているのでしょうか。実験を行う人にとって，得たい結果への手がかりは非常に有用なものです。手がかりが無い場合，闇雲に 200 の試行実験を行って何らかのヒントを得ようとすることに対し，もし我々の解析手段でありえない状況というものを割りだして，その結果，実験する側が試行を 100 で済ませるのであれば，実際の実験にかかるコストは単純に半分で済まされます。以上を踏まえましても，数学を役立てる場は無限にあるのではないかと希望を持っています。しかしながら，実験と理論がお互いをうまく利用しあえているかといえば，現在のところ，なかなか難しいのが現状です。将来様々な垣根を越えて数学で社会に貢献できたら，素晴らしいと考えています。

竹田　寛志
（たけだ　ひろし）
東北大学大学院理学研究科
博士課程後期２年

主な研究テーマ：非線形消散波動
経歴：広島城北高校 (広島県)，広島大学卒，東北大学大学院理学研究科修士課程修了
趣味：読書

配達屋さんは空間の曲がり方を知っている!?

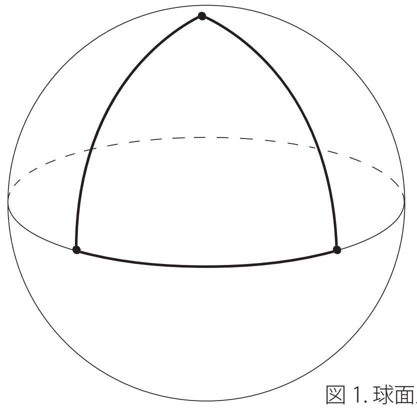


図 1. 球面上の三角形

私はリーマン幾何学と呼ばれる数学の一分野を研究しています。リーマン幾何学とは曲がった空間の形を調べる幾何学で，ドイツの数学者リーマンによって提唱されました。アインシュタインの相対性理論に応用されたり，今日でも多くの数学者が研究に取り組んでいます。この記事では，まず具体的にリーマン幾何学とはどんなものか？を説明し，そのあと少し踏み込んで私の研究内容について話したいと思います。

曲がった世界の幾何学

円や三角形を書いて面積を求めたり，ピタゴラスの定理を使って長さを求めたりする平面の上の幾何学は中学や高校で習います。リーマン幾何学は平面だけではなく，地球や穴の開いたドーナツの表面などのような曲がった図形の上で三角形や直線を書いて図形を調べます。実際に研究するときもたくさん三角形を書いたりします。

さて，平面上の２点間を結ぶ最も短い曲線は当たり前ですが線分です。では，地球の表面ではどうでしょうか？地球は正確にはまん丸ではありませんが，まん丸いとして話すことにします。地球上の２点間を結ぶ最短線は地球の中心を通るように地球をまっぷたつに切ったときに現れる円周に沿った線になります。例えば，北極から南極への最短線を考えるとわかりやすいと思います。そこで地球の表面の上に三角形を書いてみると平面で書く三角形よりもふくらんだものが出来上がります（図１参照)。三角形のみっつの辺は全部最短線からなるとしています。

今，地球と同じくらいの大きさのなんだかわからない図形が与えられたとし，その形を知りたいとします。宇宙から眺めるのは反則です。図形の上の色々な場所で三角形を書くことによって形を調べます。もしも地球の上で書いたものと同じくらい三角形がふくらんでいたならば，直感的にその図形は地球と同じような形をしているのではないかと想像できます。このことはちゃんと証明できるのです。ある性質を満たす図形はまん丸い，またはだいたい丸いというタイプの定理は球面定理と呼ばれ，日本の数学者による貢献が大きい分野のひとつです。特に，佐賀大学の塩濱勝博先生が世界を引っ張ってきました。私は塩濱先生の学生であった塩谷隆先生の学生にあたります。塩谷先生は三角形を書いて図形を調べる幾何学の世界的な研究者であり，私はとても良い環境で研究できていると思います。

リーマン幾何学では現実に存在する図形だけを調べるのではありません。平面や球面は２次元の世界です。より一般の３次元，４次元，はたまた無限次元の世界の図形も研究の対

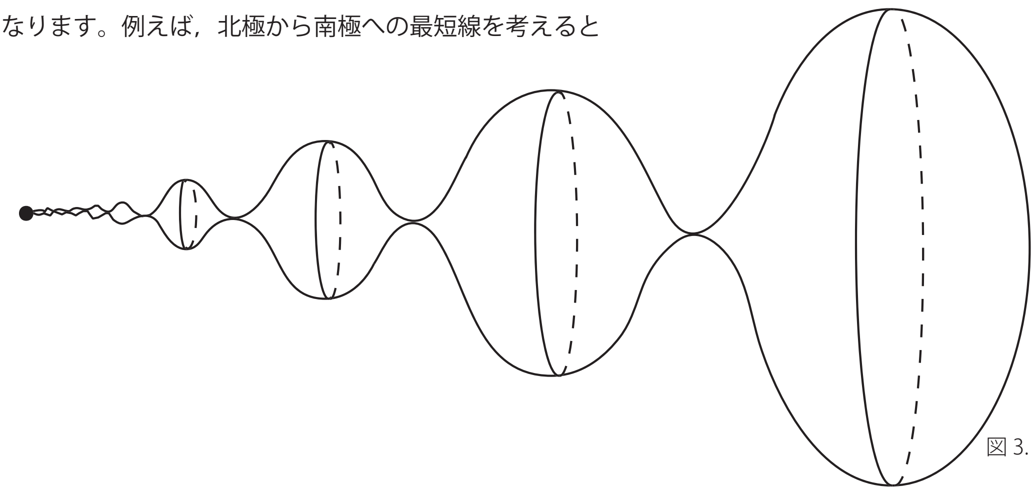


図 3. 切れてしまった無限じゅず？

図 2. 図形の列とその極限

象です。目には見えない図形であっても直感的な感覚が良く働くのです。次元の話に深入りはしませんが，アインシュタインは今住んでいる世界を４次元として捉え，相対性理論を作りました。また，リーマン幾何学では図形の列を考え，変形させていったときの極限の図形も考察したりします。とんがっていたり，とても複雑な形になったりします（図２，図３参照）。例えば，図３の図形の表面で三角形を書くとどのような形をしているでしょうか？考えてみると面白いかもしれません。

曲がった世界に住む配達屋さん

三角形を使った話をしましたが，最近，図形を調べる道具として最適輸送問題が注目を浴びています。

最適輸送問題とは名前のごとく砂の山などの物をある場所からある場所へ輸送するとき最も効率の良い輸送の仕方は何か？という問題です。身近な例では配達屋さんがコンビニへ弁当を届けるとき，どの集配所からどのコンビニへ届ければコストが少なくて済むかという問題です。一番近い集配所から届けられるのでは？と思うかもしれませんが，ひとつのコンビニから同じくらいの距離のところにもうひとつ集配所があったらどうでしょうか？大量の弁当をあまり遠くへ運ぶと損をしてしまいますし，配達距離と弁当の重さなどが絡み合ってとても複雑な問題だと想像できます。最適輸送問題はちゃんと数学的に扱うことができて，モンジュやカントロビッチによって確立されました。カントロビッチは１９７５年にノーベル経済学賞を受賞しています。

まったくリーマン幾何学とは関係なさそうな話ですが，数年前から最適輸送問題のリーマン幾何学への応用が活発に研究されています。私はこの新しい分野を研究しています。平面で最適輸送問題を考えると，まっすぐな道で運んだほうが良いのは直感的に明らかです。道がない世界だとすると，最適に弁当を運んだ経路はまっすぐになります。では，まん丸い球の表面でこの問題を考えるとどうなるでしょうか？弁当をある集配所からあるコンビニへ運んだときの経路は平面のときに比べてふくらんでしまいます（図４参照）。ここで平面と球面の差，つまり曲がり方が影響しています。三角形の話のときと同じように，なんだかわからない図形が与えられたとします。その図形の上で最適輸送問題を解くのです。最適な輸送の仕方がわかったときに，どの集配所からどれだけの弁当がどのコンビニへ運ばれたかを観察することによって図形の形が見えてくるのです。輸送した経路だけではなく，輸送した弁当の量も大切です。少し強引な説明ですが，このようにして曲がった世界に住む配達屋さんは図形の曲がり方を知ることができます。図形の曲がり方によって輸送の仕方は変わるし，逆に，輸送の仕方がわかれば図形の曲がり方もわかるという仕組みです。

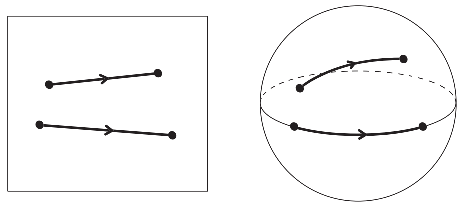


図 4. 最適輸送

最後に

私が勉強している分野は幾何学，最適輸送問題，はたまた物理が交差するとても魅力的な分野だと思います。物理と交差しているのは，最適輸送問題を使って図形を調べるときの重要なキーワードがエントロピーだからです。エントロピーは物理，それから通信などの情報を数学的に調べる分野である情報理論など，色々なところに登場する概念です。研究をしていて，色々なことを意欲的に勉強することが大切だなあと実感します。この記事を読んでいただいている方が高校生であれば，いろんなことをたくさん勉強してください。きっとためになります。

数学はいつどこで異なる分野が交差するかわかりません。数学を研究している人はこの無限の世界を日々まっすぐ？進んでいます。今後の発展がとても楽しみですし，私も少し貢献できればと思っています。

渡辺　正芳
（わたなべ　まさよし）
東北大学大学院理学研究科
博士課程後期３年

主な研究テーマ：リーマン幾何学
経歴：新潟南高校（新潟県），東北大学理学部数学科卒，同大学院理学研究科数学専攻修士課程修了
趣味：美術（書くこと，つくること，観ること），スーパー銭湯

2009年3月5日から7日にかけて開催された第一回 Scienceweb GCOE 国際会議では，学生によるポスターセッションが行われました。

会場となった川内マルチメディア教育棟の6階ホールでは，
哲学，数学，天文，物理といった幅広い分野の学生が一堂に会し，互いの研究内容・成果を報告しました。
このポスターセッションには大学院生を中心とした87人の学生が参加し，
分野を超えた意見交換が活発に行われ，学生・教員を問わず，充実したセッションとなりました。
発表されたポスターやアブストラクトは，Scienceweb GCOE 国際会議のウェブサイトで公開されています。ぜひご覧ください。

http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/special/gcoeis2009/

数学専攻
上田 好寛
偏微分方程式論

物理学専攻 佐藤 勝彦 ソフトマター
生物を対象とした非平衡物理学

物理学専攻 安倍 博之
素粒子理論

数学専攻 野原 雄一
微分幾何
シンプレクティック幾何

天文学専攻 伊藤 洋介
重力波天文学、一般相対論
ポスト・ニュートン近似

連載 新規採用された助教へのインタビュー 第二回

東北大学 GCOE プログラム「物質階層を紡ぐ科学フロンティアの新展開」では

事業目的達成の一環として助教を公募し，2008 年 12 月までに 5 名を採用しました。

前号から 2 号連続で新規採用された助教の皆さんを紹介します。

物理学専攻　助教

安倍 博之（あべ ひろゆき）

主な研究テーマ
素粒子理論

標準理論を越える統一理論を目指して

'—研究内容を簡単に教えていただけますか。

メインの研究は素粒子論です。その素粒子論の中で，特に自然界の基本的な相互作用（電磁気力や，ニュートリノの反応を起こす力や，原子核を作っている力など）を統一的に記述しているものを「素粒子の標準理論」というんですけれども，それにはまだいくつか問題点があります。その最も重要な問題点としまして，重力（万有引力）が記述されていないことがあります。

例えば携帯電話の電波ですとか，我々に馴染みの深い電磁気力がありますよね。そういうものを記述する理論と，重力というのが，今全然違う理論となっているんですけれども，それらが高エネルギーで統一的に記述されるべきだという考え方があります。私はその全ての力を統一的に記述するような理論として，標準理論を越えるものを考えています。

'—統一理論のめどはついているのでしょうか。

そうですね。統一理論の候補として，ひとつ，標準理論と重力の両方を矛盾なく記述できる可能性のある理論が提唱されています。それに基づいて，本当にそれが両方をきちんと記述出来ているのか，ということを調べています。

これまでに出されている統一理論の候補というのが，ひもの理論（超弦理論と呼ばれている）なんですけれども，ここでは，物質の基本的単位は『粒子』ではなく『ひも』だとすることによって，重力と標準理論を矛盾なく融合させることができるかも知れないということが分かっています。それが実際に記述できるのか，というのを調べるのが私のメインの研究テーマです。

標準理論の問題点，と先ほど言いましたけれど，たとえば，この間ノーベル賞を受賞された，小林・益川理論というのがあります。その小林・益川理論で，たとえば，物質と反物質の対称性がやぶれる，というのが示せるんですけれども，それは定性的なもので，本当に定量的にその物質の（粒子の）質量がこの位だというのは予言できないんですよね。小林・益川理論というのは標準理論の中に組み込まれているんですけれど，質量はこの位だというのをインプットとして与えないといけない。

何か別の予言をしようと思ったら，その変数を手で代入してやらないと，たとえば質量はこの位だというのを手で入れてやらないと，他の物が予言できない，というのが標準理論のかなり重要な問題点になっています。先ほど言いましたような統一理論を使って，そういう質量自体を予言したり，質量の比がこれ位だとかいうのを予言できないかな，というのを具体的に言うとやっているんですけれども，なかなか一般の方に説明するというのは難しいですね。

'—研究の手法はどのようなものでしょうか。

そうですね。理論が主で，実験はやっていないですね。実験結果を使って，理論を構築すると。基本的にコンピュータがあれば，世界中の最新の文献が見られますので。世界中の人たちと e-mail でやりとりしたりとか，共同研究とかもできます。

'—この分野に興味を持ったきっかけは。

興味を持ったきっかけは，アインシュタインの相対論というのを中学・高校くらいの時にはじめて知って，どんなものなのかなと調べているうちに，非常に面白いなと思って，というのがきっかけといえばきっかけです。そこから物理が好きになって，いろんな一般向けの解説書とかを読んで，面白いな，と思って。そういうのがあったので，大学は物理学科に。素粒子論をやるというのは決めてはいなかったんですけれども，自然界の基本的な原理というのを探求したいな，と思っていました。

'—夢がかなった，と。

そうですね。今のところ。

経歴　米子東高校（鳥取県），広島大学，同大学院理学研究科博士課程前期修了，同大学院理学研究科博士課程後期修了（2003 年）

趣味　音楽。

'—研究していて面白かったこと，つらかったことは。

研究をやっていて面白かったことっていうのは，やっぱり真髄が分かったときですかね。理論を考えていて，本質が分かったというか，問題の背後にある本質がどんなものか分かったときというのが楽しいですね。つらかったことは，逆に，いくら考えても分からない，問題が解けないときとか。基本的に，嬉しい時より，結果が出ないときの方が長いです。長い計算をやっても合わないとか。

理論は実験結果がないとできません。つまり，新しい実験結果を再現するように理論構築をするので，まず実験結果がないと困るんですが，今ちょうどスイスで，歴史上で最も大きな高エネルギー加速器（LHC）が稼働しています（今はちょっと止まっているんですが）。その実験がもしどんどん進んで行って，たとえば今まで見つかっていなかったような新しい粒子が発見されたりすると，これからそれを説明するような理論が発展するので，実験が行われるのを待っています。逆に実験施設を作るのには莫大な資金がかかるので，なかなか簡単にできる実験ではないです。

LHC は走りはじめたばかりで，スイスからはまだ実験データは出ていないんですけれども，それ以外にも実験がいろいろあるので，それらを使って研究しています。

'—統一理論が出来上がると，どういったものに応用が利くのでしょうか。

すべての実験データを説明できるような統一的な理論ができれば，それを使って，まだ観測されていない理論を計算することができます。それで予言を行って，また実験の方にこういう実験をすべきだという試算ができる，というのはあると思います。

我々の日常世界とはかけ離れた高エネルギーの世界なので，なかなか製品への応用などと関連付けるのは難しいかな。それよりは，宇宙の成り立ちが分かるとか，そっちの方面ですね。

たとえば，今知られている統一理論だと，いろんな新粒子があることが予言されています。今見つかっている粒子以外にも，まだまだいっぱい新粒子が存在しなければいけないということが分かっているので，もし統一理論が正しければ，そういうものが自然に存在するということが，予言されると思います。さらにそのような粒子が，宇宙の成り立ちですとか，宇宙の歴史とかに非常に関与してくるので，これからの宇宙の行く末ですとか，宇宙の過去の状態ですとか，そのようなこともたぶんいろいろ議論ができるようになると思います。それはまさにきっと，グローバル COE の目指すところだと思います。宇宙と素粒子というのは，最近非常に密接に関係している分野なので。

'—最後に，後輩に向けてひとことお願いします。

やっぱり，基礎科学というか，自然科学に興味を持ってほしいです。それに尽きます。みんな日常的なことにとらわれがちなので，壮大な宇宙ですとか，そういうことにも日頃から興味を持っていただければ嬉しいです。

'—本日はありがとうございました。

数学専攻　助教

上田 好寛（うえだ よしひろ）

主な研究テーマ
偏微分方程式論

数学は好きだけれども難しい，そういう人はその“好き”が最大の

'—研究内容を簡単に教えていただけますか。

僕の研究分野は，偏微分方程式論です。微分を含んだ等式を微分方程式といいまして，これにより様々な物理現象を数学で記述することができます。そのなかでも特に，空間や時間を表す２つ以上の変数で微分を施したものを偏微分方程式と呼びます。

僕はその偏微分方程式でも，気体の流れに何かしらの粘性が加わったような『粘性気体』を記述する方程式を研究していて，その方程式を解くことで『粘性気体』にどのような性質があるかを解析しています。例えば，飛行機が空を飛ぶためには空気の流れが非常に関係していますが，そこでも流体・気体力学を基にした数学解析は生きています。また，物理の分野では実験を基にして理論を構築するのが主だと思いますが (現象論的説明)，数学の分野では基本的に計算 (研究) は頭の中なので，そこで得られた結果は仮定を満たせば 100%起こる結果ということになります (数学的理論)。

あまり上手い例えじゃないですけど，飛行機が乱流などの影響でたまに予定どおり飛ばなかったりする。そういうのは，気体の流れが 100%理論的に解明されていないというのが原因の一つであると言えます。実際世の中で起こる現象などで 100%理論的に解明されるというのはかなり厳しいんですけど，その最後の 100%を埋めるのが数学の力ではないかと僕は信じて研究しています。

'—研究の手法はどのようなものでしょうか。

普段，研究というのは紙とペンでゴリゴリと計算をやっています。僕はさっき，気体のモデル方程式を扱っていると言いましたが，数学的意味合いが強い基本的なモデルを現在考えています。基本的な方程式でも，まだ解析されていないことや新たに分かる性質がいっぱいあって，「時間が無限大になったときに方程式の解がどのような挙動を示すか」という点に特に興味があって研究しています。

ここからは少し細かい話になるんですけれども，微分方程式は大きく楕円型・放物型・双曲型の３つに分類できます。僕が扱っているのは双曲型の方程式です。双曲型の具体例で一番想像しやすいのは，波動（波）だと思います。放物型では，時間が無限大になると挙動が落ち着く例はたくさんありますが（例えば熱方程式は，はじめに物のある一点を暖めると，時間がたてば全体が一定の温度になる），双曲型はその方程式の性質上，挙動が落ち着くような性質はあまりありません。そこで，双曲型の方程式に何かしら挙動を落ち着かせるような消散項を加えて，その項の作用により時間無限大の漸近挙動を解析するという目的意識で研究しています。

'—この分野に興味をもったきっかけは。

もともと小中高とずっと数学が好きでしたね。何故かは正直分からないですけれど。何か難しい問題に直面した時，それが解けたときの快感があります。ただ遊んでいるときとはまた違う，気持ちよさというか。数学を本格的にやりだしたきっかけは，その快感が病みつきになって…（笑）。

経歴　熊本県立宇土高等学校，九州大学，同大学院数理学府修士課程修了，同大学院数理学府博士課程修了（2008 年）

趣味　音楽鑑賞 (Beatles, Travis, Radiohead, RedHotChiliPeppers, etc...)，楽器演奏 (主にギター)，読書 (最近は伊坂幸太郎など。ちなみに彼は東北大学卒で現在も仙台市に在住しており，多くの作品で仙台を舞台にしています。)

武器になると思う

特にこの分野を選んだ理由は，さっきも話したんですけど，物理現象を背景に数学理論を構築していることに興味をもったからです。さらに，その物理現象を基に現在利用している技術も100%じゃないところがあって，その穴を埋めるという大きな問題意識に興味・やりがいを感じています。

'—東北大学に来たきっかけは。

僕の研究分野は，東北大学が日本で一番活発なんですよ。比較的若い先生もいらっしゃれば，世界のトップで活躍されている素晴らしい先生も沢山いらっしゃって。僕はついこの間，九州大学で学位をとったばかりなんですけれども，そういうこともあって次どこで勉強したいか…と考えた時に一番に出てきたのが東北大学で。

正直，東北大学では僕と全く同じ観点で研究を行っている方というのは少ないんですけれども，本当に色々な人の話を聞けます。違う方程式を対象に，違う手法を扱っておられる方の話を聞けるのは大きな魅力です。

'—最後に，後輩に向けてひとことお願いします。

まだ僕の方が色々教えを貰いたいところですけれども（笑）。ええと，大学生活をおくるにあたって一番大切なことは，自分に正直に将来何をやりたいかをじっくり考えることだと僕は思うんですよ。好きだと思ったことをやるのが一番で，僕もそう生きてきて最近やっと具体的につかめてきた感じなんです。

例えば，もし今から大学や大学院に進学されて，数学は好きだけれども難しい…という方がいらっしゃったら，その『好き』が最大の武器になると思うんですよ。それは間違いないと思う。僕はそっちの人間だと思うんで。好きじゃないのにできるという人は絶対つまずくと思う。よっぽど天才じゃないと，いつかできない時がきますから。その時好きじゃなかったら絶対壁は乗り越えれないと思いますね。そういう観点で，数学は難しいけれども，興味があるならば才能があると思う。

あと，何をやりたいかを具体的に考えて，そのやりたい目標のためには，どういう分野・大学に進んだ方がいいのかということを考えてもらえたらって言うのはありますね。それはほんとに数学抜きで。

みなさん，数学以外の世界にもどんどん羽ばたいていってください。もちろん数学もおススメですが（笑）。

'—本日はありがとうございました。

数学専攻　助教

野原 雄一（のはら ゆういち）

主な研究テーマ
微分幾何，シンプレクティック幾何

見えない空間の形をイメージする

'—研究内容を簡単に教えていただけますか。

素粒子論には弦理論（粒子を 0 次元の点ではなく 1 次元の弦として扱う理論，仮説のこと）というものがあって，そこに出てくる空間の形や，その他の構造に興味があって研究をしています。

これを言うと難しくなるんですけれど，アインシュタインの頃は，空間は 4 次元だと思って話をするとうまくいく，というのが相対性理論だったわけですけれど，新しい考え方だと，宇宙はもっと高次元のものだと思った方がうまくいく，という理論があります。実は宇宙空間は 4 次元ではなく，10 次元とか 11 次元とかで，そこに新しい空間が見えていて，新しい話がいろいろ展開出来るというのがあって，そういう所から来る数学というのも最近流行っています。楽しい話がいろいろあるわけです。

幾何学というのは図形や空間を研究する分野なんですが，微分幾何はその中でも，非常におおざっぱに言ってしまうと，空間がどう曲っているのか，というのを調べる分野です。一番簡単な例だと，昔は地球は平らで，みんな平らな所に住んでいると思われていたわけですが，後から，地球は丸いと分かるようになったわけです。宇宙から（地球を）見ると，すぐに丸いと分かりますよね。でも地球の表面にいたら，曲っていることが（なかなか）分からないわけです。

例えば 3 次元の空間は，今自分たちが住んでいる，すっぽり収まっている空間なので，その全体像は見えないですよね。近くは見えますけれど，3 次元が全体としてどんな感じになっているかは見えない。地球だって，それが丸いというのは，外から見ないとわからない。なので，3 次元の空間の形を知りたいんですけれど，外に出られないですから，どうするかという問題があります。

方法としては，物体の曲がり具合（曲率）を調べると，物体がどんな形をしているというのが何となく分かる。例えば球面だと，どこに平面を当てても全部同じ側に曲っていますよね。一方ドーナツ型というのは，平面を当てると，同じ方向に曲っている場所も，反対側に曲っている場所もあります。そういう小さいところの情報を寄せ集めてくると，全体の形が何となく分かる，というのが，微分幾何の一つの見方です。

幾何は，形のイメージが先にある分野だと思います。見えない空間なので，見える空間である程度イメージをする。高次元のものも，低い次元で何となく絵で想像してやっているので，幾何学っていうのは " 見える "，" イメージがある " 分野という感じでしょうか。

'—どのように高次元の形をイメージするのでしょうか。

いろんな方法がありますよね。そこが工夫なんだと思うんですけれど。たとえば，ここに球面を思い浮かべます。今我々は 3 次元にいるから，球面を外から見ることができますけれど，2 次元の人には（2 次元の上にぺたっと張り付いている人には），球面って見えないわけですよね。2 次元までの図形しか思い浮かばない。2 次元の人が 3 次元をどういうふうに思い浮かべれば良いかというと，例えば一つは，2 次元の人がいる平面があって，その上に球面を置きます。ここに，平面と接している部分が南極ならば，北極から光をあてて（射影して）あげると。そうすると，北極を除いたところでは，2 次元の一枚地図にできますよね。北極点だけは見えない。でも感じとしては，この平面図の端をギューっと上に持って行って，上でキュッと結んであげると，3 次元空間の中の 2 次元の球面になりますよね。だから，3 次元の人が 4 次元空間の中の 3 次元球面を思い浮かべる時，3 次元空間で広がったものを上でキュッと丸める，という考え方が想像できる。

もう一つは，球面を上から順にスライスしてあげる。すると，一番上に点があって，円が上から順番に大きくなっていって，また小さくなる。これを今度は 1 個次元を上げると，3 次元球面を切るのであったら，今度は点から始まって，次に球面が出てくる。次々球面がどんどん大きくなっていって，また小さくなっていって，最後に点になると，何となく想像できる。いろいろ想像するテクニックがあります。

経歴　鶯谷高等学校（岐阜県），名古屋大学，同大学大学院多元数理科学研究科修士課程修了，同博士課程修了 (2006 年)

趣味　読書，散歩。

'—研究の手法はどのようなものでしょうか。

大体，計算は手計算ですね。計算する段階まで行ったら，ほとんどゴールという感じなので。何か証明したいことがあって，その式を立てるまでが大変ですね。ここに曲面があって，そのどこに平面を当てても全部同じ側に曲っているとしましょう。そうしたら，そういうものは球面しかありませんよ，というのが言いたいことだとしましょう。イメージ的には分かりやすいですよね。でもそれを，証明しようとすると，ちゃんと理論にしないといけないので，いろいろ言い換えをうまくしなくてはいけないわけです。だから，ある意味で幾何学トいうのは，イメージと，ちゃんとした理論との距離がわりとある分野だと思います。そういう意味では，計算まで行ってしまえばほとんどゴール，といったら怒る人もいるかもしれないですけれど（笑）。非常に大雑把にいえば，そういう傾向があると思います。

'—高次元はどのような性質があるのでしょうか。

たとえば，3 次元の中で，直線 2 本は交わらないように出来ますよね。でも, 平面と直線って簡単に交わっちゃいますよね。ところが，これを 4 次元にすると，平面と直線が簡単に交わらない感じなんです。自由度がもう一個増える。想像としては，3 次元で直線と直線が交わらないのと同じ理由で，4 次元の中では，平面と直線を交わらないように出来る。これが 5 次元に行くと，平面と平面を交わらなく出来たりする。だから，次元が高くなれば高くなるほど動ける自由度が高くなるわけですね。そこで，高次元の中で球面を考えると，たとえば球面を裏返しに出来たりとかするんですよ。普通に考えると，球面をキュッとつぶしていくと，どこかが交わってしまう。それがうまくくるっと裏返しに出来る。途中でどっかにとんがっちゃうところができそうですけれど，それもうまく回避できて，きれいに滑らかなまま裏返しにできるとか，そういう現象があったりするわけです。

'—研究していて面白かったことは。

研究していることそのものが楽しいからやっているようなものですけれどね。もともと数学が好きというより，" 見える " 絵が好きだったんですよね。実は僕，大学受けるときは，数学科と建築学科と両方受けてました。何か作りたかった。だからぎりぎりまで決めてなくって。だから研究は，なんとなく形が見えて来た時が一番楽しいですね。解けたときというと，一番最後の細かいところも全部計算してチェックし終えた時だと思うんですけれど，そこにいく前がたぶん楽しいんでしょうね。いっぱい形が思い浮かぶわけですよ。思い浮かぶ時はいろいろですね。散歩しているときに思い浮かんだりとか。

'—最後に，後輩に向けてひとことお願いします。

この分野は，やることがいっぱいあります。『物理的に関係は見えているけれども，数学的には正確でない』ことを，ちゃんと数学的に関係づけなさい，という問題も最近多いですし，数学だけでもいっぱいあります。

'—本日はありがとうございました。

東北大学

■大学院理学研究科

数学専攻

物理学専攻

天文学専攻

ニュートリノ科学研究センター

原子核理学研究施設

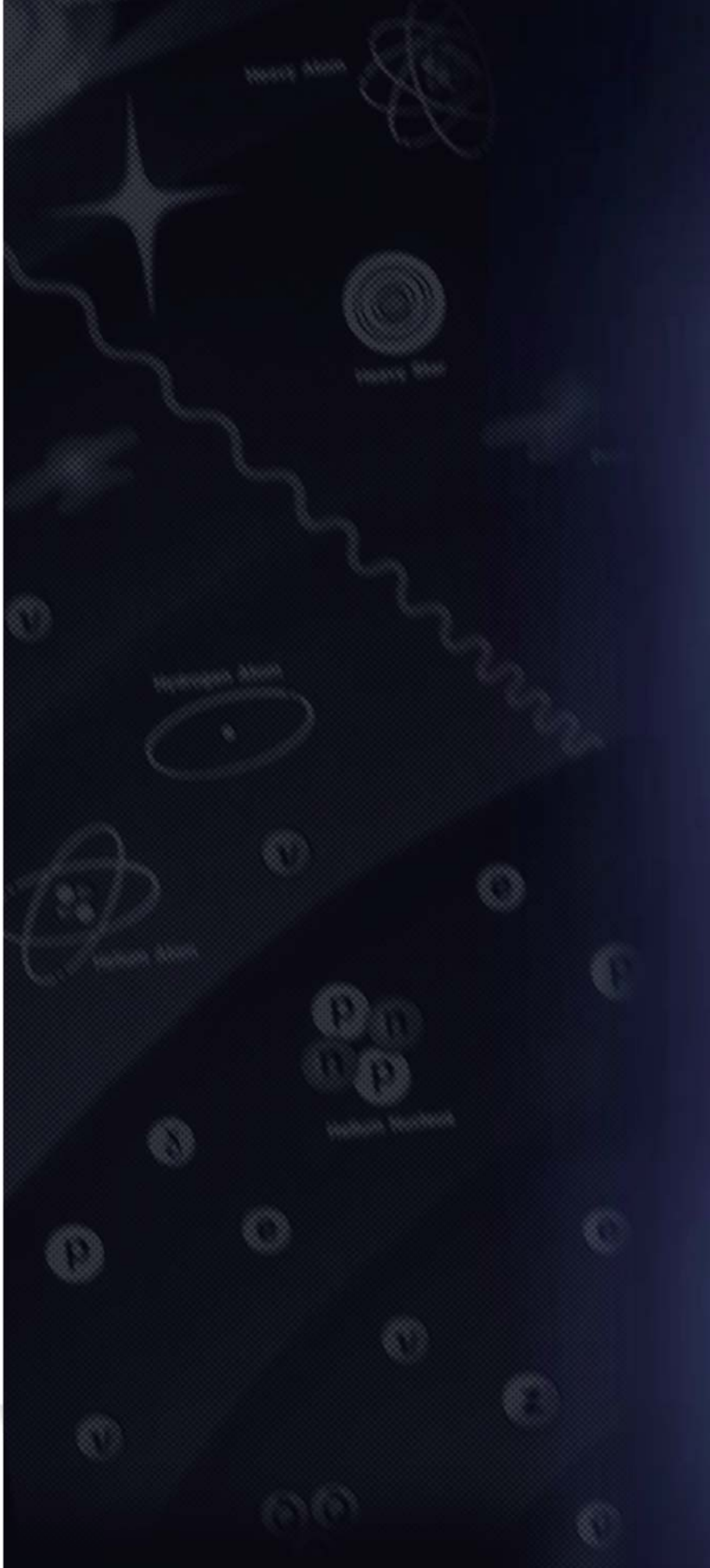
■サイクロトロン RI センター

■原子分子材料科学高等研究機構

■多元物質科学研究所

■大学院文学研究科

文化科学専攻　哲学講座



〒980-8578
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3　東北大学理学研究科
ニュートリノ科学研究センター内　GCOE 科学支援室

電話：022-795-6725
E-mail : GCOE@scienceweb.tohoku.ac.jp
URL : http://www.scienceweb.tohoku.ac.jp/