



# 曖昧なところに数学的明確さを与える —— 非平衡統計力学 ——

## 北原研究室

### 応用物理学科

応用物理学科の北原和夫助教授の専門は、非平衡統計力学及び熱力学である。だが、先生の持っておられる研究テーマは多彩で、素人の我々には、各テーマの間にはほとんど関連がないように見える。先生は、

「そう見えるかもしれませんね。だけど僕の中では、非平衡というところで、なんとなくまとまってるんですよ。」

と、おっしゃっておられた。そういわれる先生の研究テーマを、先生の興味深い話とともに、紹介していくことにする。



北原和夫助教授

## さまざまな研究テーマを手がける北原先生に聞く

一般に理論系の研究は、「ある程度実用にこぎつければよい」という性質のものではないから、非常に息が長くて、ある意味では終わりが存在しないとも言える。北原先生が現在持っていられる研究テーマの中

にも、ずっと前から考えていらしてようやく少しずつやり始めた、というのものもあるそうである。以後、これらの研究テーマを紹介してゆくわけだが、今回は少し趣向を変えて、先生の学生時代から現在に至るまでの

経歴を追いながら、先生の研究と、その研究の持つ時間的重みのようなものを書いてゆくことにしようと思う。

## 懷疑論 — 目に見えないものを扱う物理 —

北原先生が、統計力学という方面に興味を持たれて、研究するようになったのはなぜなのか、お尋ねしたところ、先生は次のようにお答えになった。

「もともと統計的な思考・統計的な扱いっていうものに興味はあったんですよ。もとはといえば、中学生

の時、数学の先生の勧めで増山元三郎の『数に語らせる』という本を友人と一緒に読んだんです。これは統計学の本ですが、実際にサイコロをふって、確率の実験をしたことをおぼえています。久保亮五先生の書いた『統計力学』っていう共立出版の本があるんですけど、たまたま大学

一年生の時にそれ読んで、非常に感激してね。それで大学三年の時に受けた講義、その時初めて久保先生の講義受けたんだけど、その時の『統計現象論』って講義がまたおもしろくてね。まあそれが一つのきっかけでしょうね。」

先生が東京大学理学部に在学中に



出会われた本と一人の人物が、後の先生の人生に、大きな影響を与えているのである。

さらに先生は、自分の高校時代に非常に興味を持ったこととして我々に、次のようなことを、話して下さった。

「バークレーとか、ヒュームっていう人達が、目に見えるもの全てを疑って考える。我々は、感覚でしか物はわからないから、実在っていうものがあるかどうかわからない。そういう“懷疑論”を、つまり、実在するものが本当に実在するのかという議論を、哲学で延々とやっているという歴史に、非常に興味を持ちましたね。」

そして、この懷疑論的思考方が、物理学に通じる所があるという。つまり、物理学というのは、我々が実際

に見ている物を、目に見えない原子というものをモデルとして現象を説明する、という性質のものであり、平たくいうと、「目に見える物と、見えない物を、結びつける学問」である。しかし、目に見えない物は、我々人間の仮定したものであって、不完全な所がないとはいえない、というのも事実である。

「こういう、“懷疑論”への興味もあって統計力学の方面に興味を持ったのかなあ。」

先生は自分の学生時代を回想されて、このようにもおっしゃられた。現在、先生は、自分の研究を、「曖昧なところを、数式できちんと書いて何かを予測できるモデルを作っていく仕事」だとおっしゃった。曖昧なところに、数学的新鮮さ、明確さを与える、ということへの思いは、お

そらく、統計力学を志した時から現在に至る迄、先生の心から片時も離れず、先生の研究を駆りたてる原動力になっているのだろう。

## 研究者としての第一歩—ベルギー留学,そしてMIT—

その後、先生の人生における一つの転機が大学院に入って3年目、つまり博士課程の1年目に訪れる。それが、ベルギーへの留学である。その頃を回想して、先生は次のように語られた。

「やっぱり、統計力学はね、ベルギー、オランダあたりが、非常に昔から伝統があるんですよね。そこでどういう人達がいて、どんな研究をしているのか懂れていたわけ。で、その時の指導教官の先生には、『大学院の途中で行くのは危険が伴うが、行くならば二年間は頑張ってみなさい。』って言われたけど、『何とかやるだろう。』と気楽な気持ちで行ったんだけど、やっぱり1年目はつらかったですね。」

結局、先生は2年半程ヨーロッパに滞在し、博士論文もベルギーの大学で書かれたのだが、そのテーマが「非線形系におけるゆらぎの理論」つまり、非線形非平衡の条件下でのゆらぎの、一般的性質はなにか、と

いうものであった。

現在も、先生は、この「ゆらぎ」というものに非常に興味を持っていらっしゃるって、博士論文みたいな、数学的な話だけでなく、もっと具体的な話をしたいと思っておられるそう。事実先生の研究テーマには、「ゆらぎ」の概念を用いるものが数多く見られた。

その後、先生は、ベルギーにいる時に知り合ったMITの先生に誘われて、ベルギーから日本へ帰ってきたのも束の間、すぐ、MITへ行かれるのである。博士号を取得され、現在につながる研究を本格的に始められたのも、この頃からであろう。MITには、結局2年間滞在されたそう。その時の貴重な体験談を、我々にしてくださっている時に、先生は、「若いうちに一度、アメリカの社会を見ておいた方がいい。」とおっしゃっておられた。アメリカの社会は、日本に比べると、人間関係はるかに流動的で、その分人々の独立

心が旺盛なように思われるが、日本は、同族意識や保守性が強すぎて、それが甘えにつながる危険性もあるだろう。科学者として独り立ちしにくい国民性みたいなものが日本にあるのではないだろうか。これらのことに関して先生は、次のように語ら





れた。

「僕が外国に行くと、自分も含めて、日本というものを非常に冷静に見つめる事ができるんです。客観的にね。だから逆に言うと、日本にい

ると、なんとなくみんながこうやっているから、自分もこうだと感じて行動しちゃうでしょう。それがなくなっちゃうんですよね。」

海外への留学は、危険な面もある

が、メリットも大きい。世界で今、実際にどんな研究が行われているのか、自分の目で確かめる事の意義ははかりしれないだろう。



## ミュー中間子の固体中の運動についての理論

先生が、現在進められている研究テーマの1つに、MITにいた頃にやっていたことが下地となっているものがある。それが、「スピン緩和の理論」で、固体中の、ミュー中間子( $\mu^+$ )の運動についての研究なのである。

ミュー中間子( $\mu^+$ )は比較的長い寿命を持つ粒子で、崩壊によりポジトロン( $e^+$ )とニュートリノ( $\nu$ )に分かれる。ところで、 $\mu^+$ の崩壊の際、飛び出してくる $e^+$ の方向と崩壊時における、 $\mu^+$ のスピン方向との間に相関があり、この角度 $\theta$ の分布は理論的に与えられている。だから $e^+$ を検出する事により、 $e^+$ の放射される方向の分布の実験データから $\mu^+$ のスピン方向が決定される。(図1)そこで $\mu^+$ をある試料の中に打ち込む際、スピンの方向を決めて打ち込むと、 $\mu^+$ の崩壊により飛び出してくる $e^+$ を検出すれば、試料中を運動している間に $\mu^+$ のスピン方向がどれだけ変わったかを実験的に調べることができる。北原先生は、この実験結果を

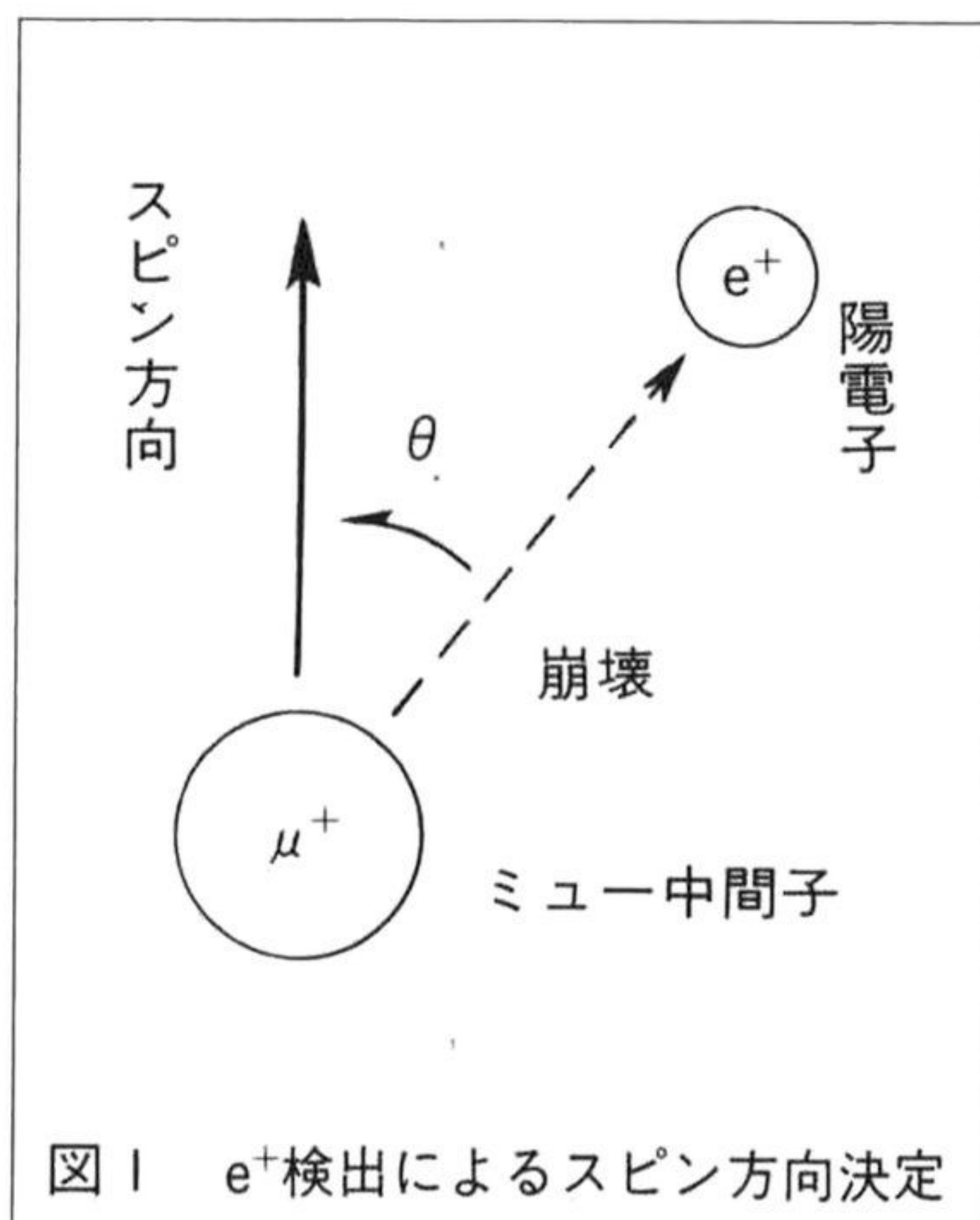


図1  $e^+$ 検出によるスピン方向決定

もとに、どういう原因で $\mu^+$ のスピン方向が変わるのか、その理論を研究しているわけである。

これに関連して、ミュー中間子に関してはもう一つ研究がなされている。これは、 $\mu^+$ を固体の水素に入れたらどうなるかを調べる研究で、ソ連で行われた実験において、興味深いデータが得られたのをきっかけにここ半年位前から始められたそうである。これについて、簡単に説明しよう。

水素には、量子力学的には、パラ水素とオルト水素の2種類がある。パラ水素の特徴は図2を見てもわかるように、2つのプロトン(陽子)のスピンの方向が逆であるため、互いに打ち消しあって、磁性を持たないのだが、このパラ水素の固体の中

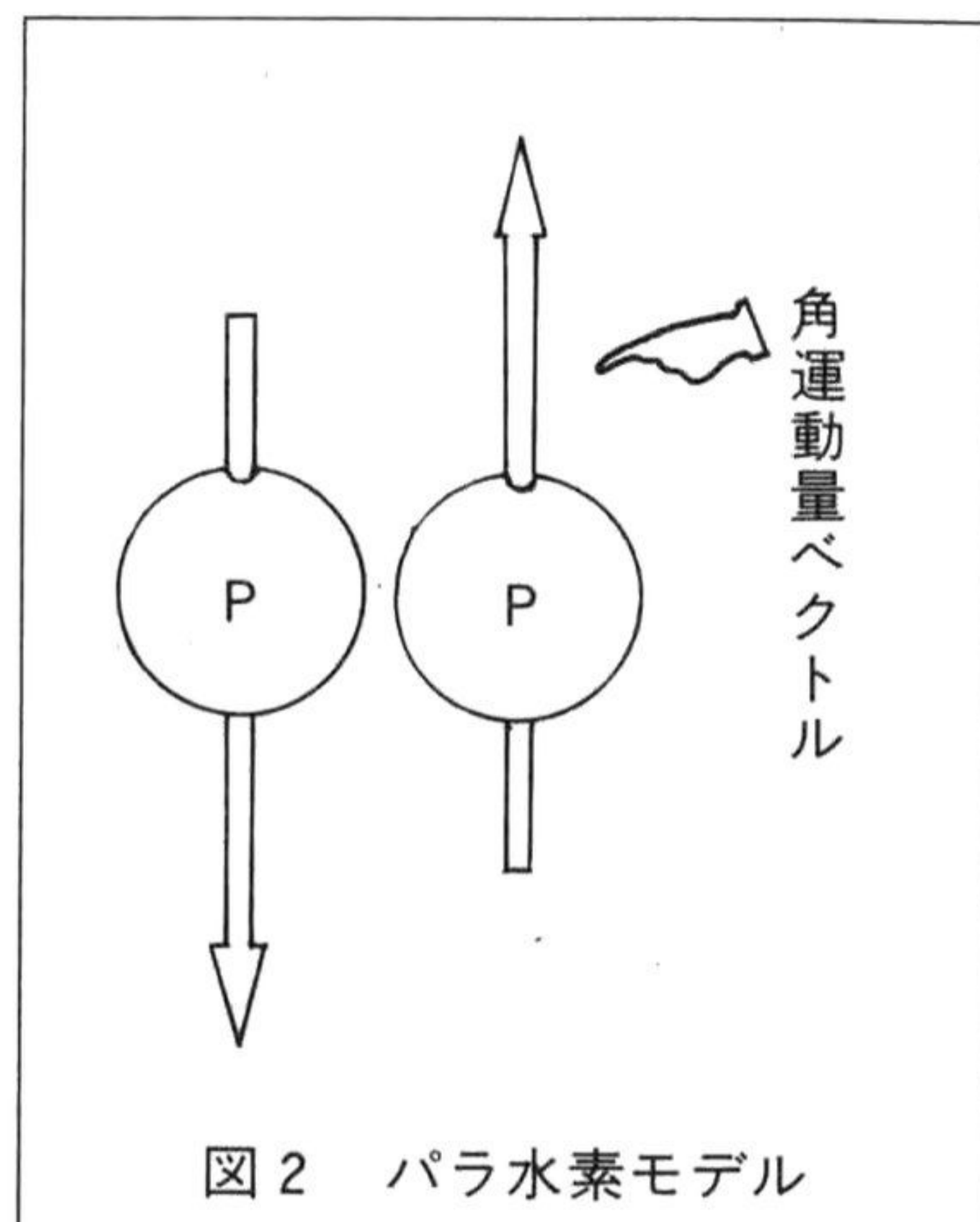


図2 パラ水素モデル

に、 $\mu^+$ を入れると、 $\mu^+$ がまるで磁場を感じたかのごとく、振る舞うのが確認されて、注目をあびている。今北原先生は、先生の研究室の学生の何人かと一緒に、岡崎市(愛知県)の分子科学研究所に行き、これらの結果から予測される理論を作りあげるべく、頑張っておられる。

なお、北原先生はこれらミュー中間子の研究を西田先生(物理学科)と共同で行われている。北原先生が理論を、西田先生が実験を、という具合である。また、他のいくつかのテーマについても北原先生は他の実験系の先生方と共同研究をなさっているそうだ。研究室というものは、とかく閉鎖的なものと思われがちだが先生の研究姿勢はたいへんオープンであり、進歩的であった。



## 構造的に異なった2つの物体間の運動の解釈

MITから日本へ帰って来られた先生は、2年半東大の助手を務められた後、静岡大教養部の助教授になられた。5年間の静岡での生活中に

先生は、また別のテーマに興味を抱き、研究を始められた。

「行ったところが静岡の田舎だったので、あまり外の人と話す機会が



なかったけど、今度は1年生・2年生を教えなきゃいけなかったから、相対論とか微分幾何の勉強をじっくりやりました。そして今度はディスロケーション・格子欠陥のことを考えるようになりました。」

ディスロケーション（転位）の概念というのは、弾性体力学の「ひずみ」を考えることと、深い関わりがある。では、「ひずみ」とは一体どういうものか？弾性体力学の本の中では、次のように定義されている。

「固体の外形が変形すれば、内部の各点においても、変位が生じる。この固体内部で起こる変形についてその変形率を『ひずみ』と呼ぶ」

固体は多くの場合、結晶を形作っているのだが、変形させる前の状態の固体と、変形して、ひずんだ状態の固体の内部の結晶のトポロジーの構造が同じであるならば、問題はな

く既存の弾性体力学で処理できる。だが問題は、変形した固体が、完全結晶とトポロジー的に同じ形をとっていない時で、次のようなことが実際に起こる。今ある固体Aを考えてみる。この固体Aは、完全結晶の形をとったものだが、これに外力を加えてひずませた時、図3-1のように原子が一つ抜けてしまったりして、結晶の配列に不完全さが生じてしまうことがある。この結果、他の大部分は、完全結晶となっているのに、元の固体Aとは、構造的に異なる部分が1ヶ所だけ生じるわけである。このように、1つの原子や分子が抜けてしまったりして、結晶の配列に不完全さをきたすこのような現象を格子欠陥といい、北原先生は、格子欠陥がおこり、構造的に異なった2つの物質の間の運動をどのように解釈し、どう表現すればよいか、という問題に取りくんでおられる。なおここでは、格子欠陥の最も端的な例を出して、説明したが、格子欠陥は

上述の原子が1つ抜けた状態だけをいうのではないので、他の格子欠陥の例は、図3-1に、重ねて示しておく。

この「ディスロケーション」の問題は、一度1950年代に日本でも研究が始められていたが、その後しばらく日の目を見なかった。しかし、最近、特に物性の方から、大事な概念だという声があがり出して、再び急に、脚光をあびるようになった分野である。

「しかし、ディスロケーションも微分幾何の手法を使うと、割合きれいに書いて、運動方程式を導くことができる。それで、それを使って、ディスロケーションの、超音波減衰という具合にもっていきたいと思っているんです。」

と、北原先生は、これからの研究の方針について、語られた。

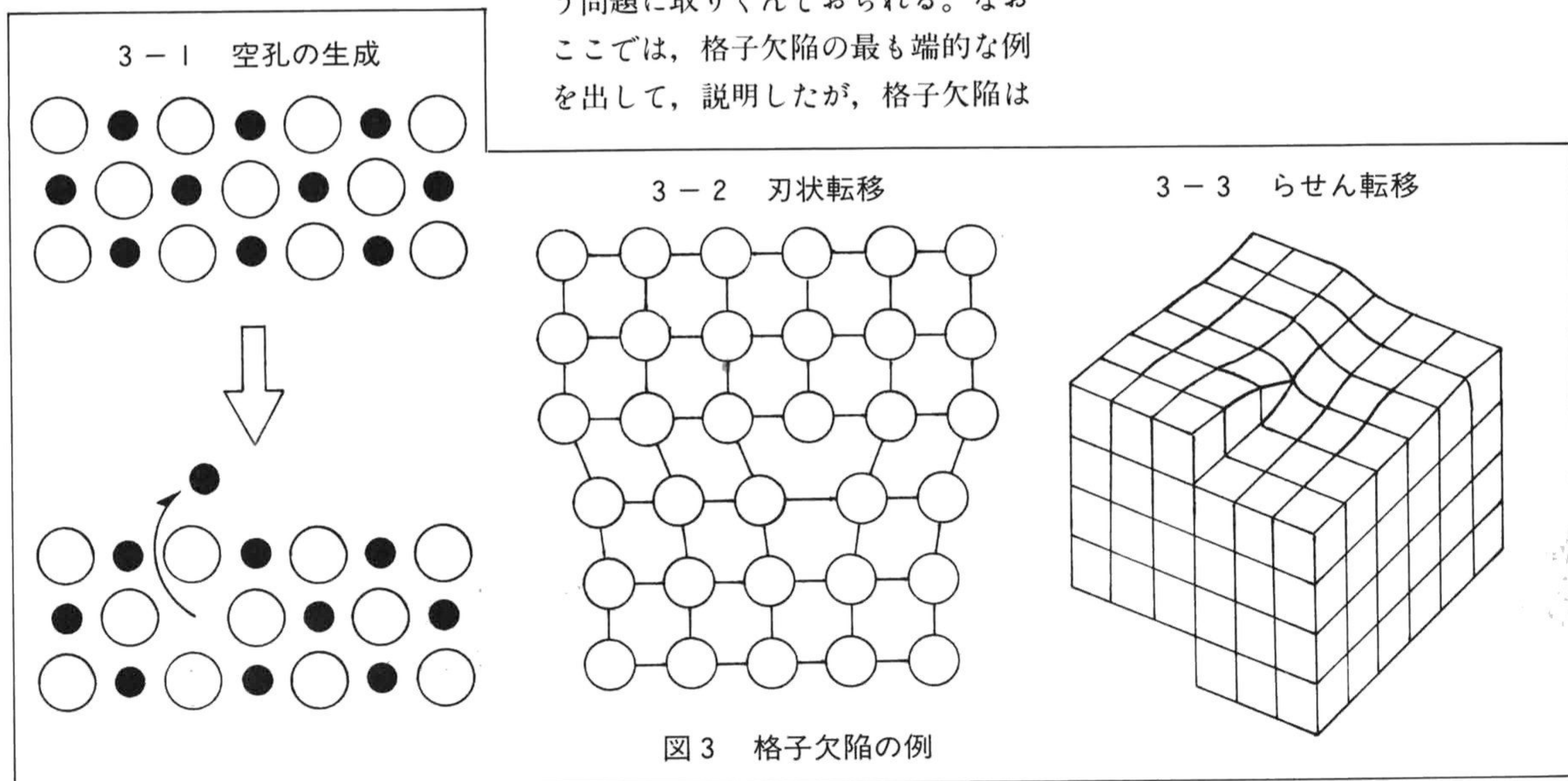


図3 格子欠陥の例



## イオン再結合—Maxwell分布からずれる電子—

そして現在、北原先生は本学助教授として、活躍されている。今までに、2つ、先生のされている、研究テーマの紹介をしてきたが、他にも色々な研究がなされているので、もう一つ、「イオン再結合」に関する理

論的解析、というテーマについて述べてみる。

「イオン再結合」とは化学科の篠野先生のグループがやっておられる実験で、電気的中性のgas, liquidを入れ、そこに放射線をあてると、



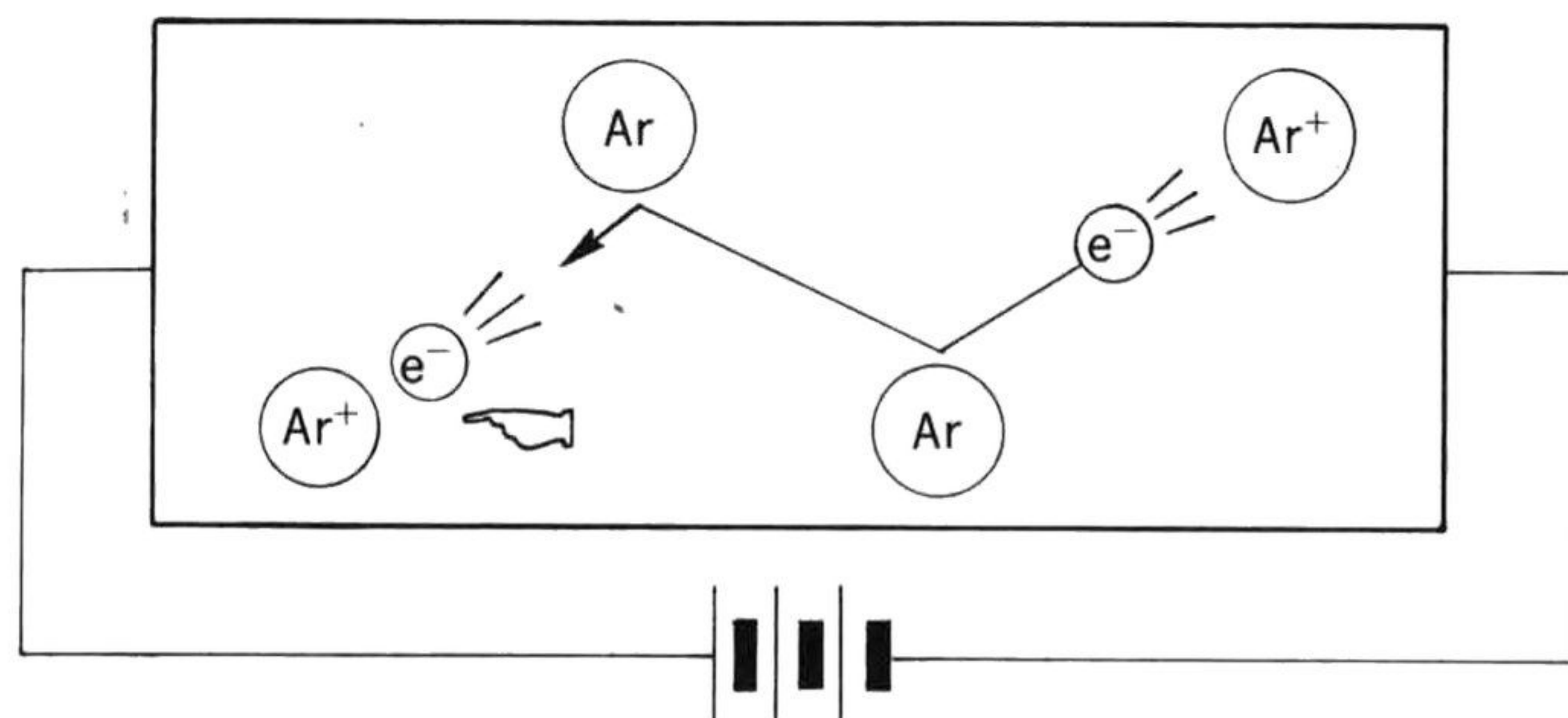


図4 イオン再結合のモデル

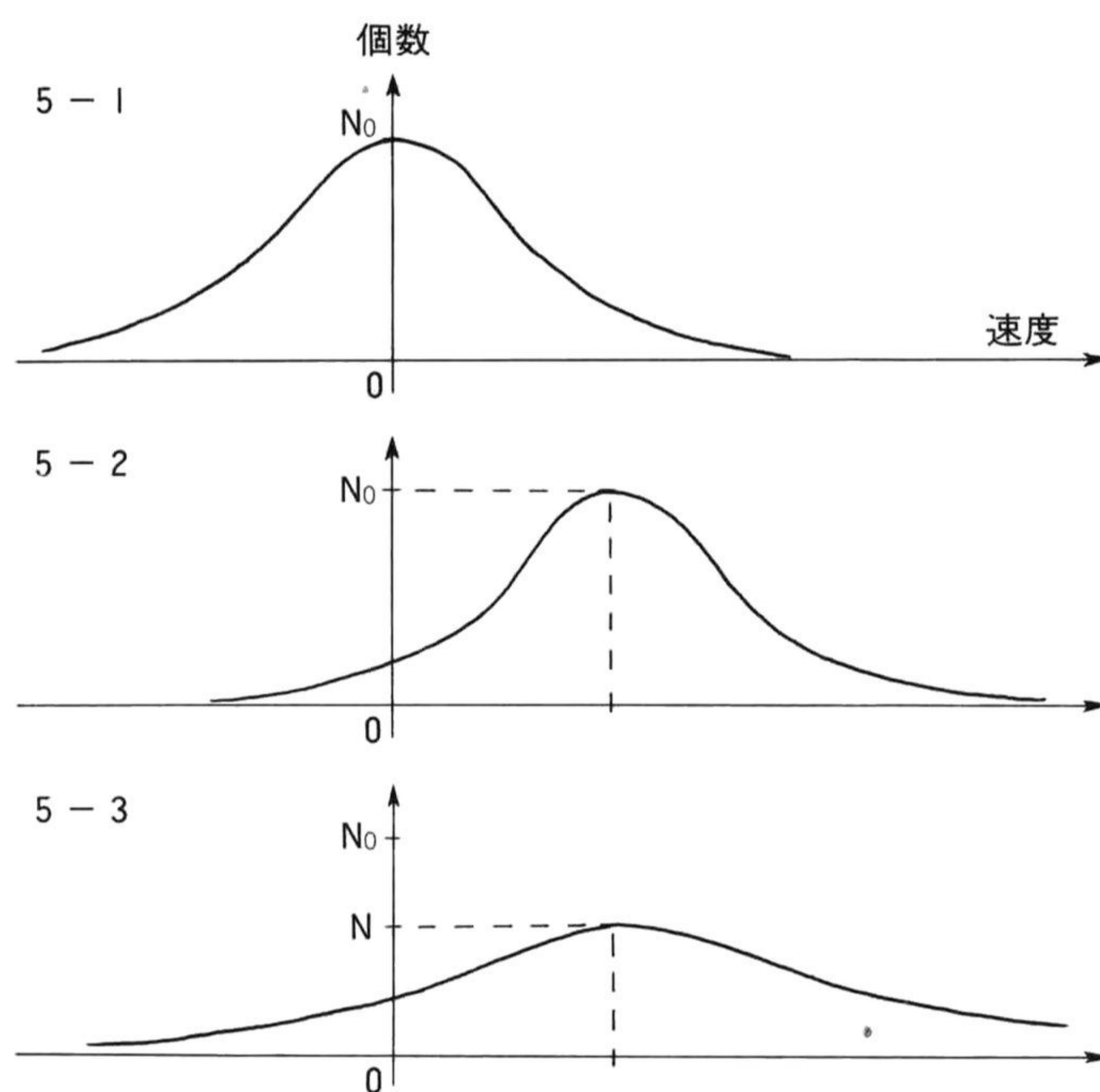


図5 電場における電子の速度分布

例えば Ar gas を入れたなら、Ar は電離し、 $\text{Ar}^+$  があちこちにできると同時に、 $e^-$  が飛び出す。この系に電圧をかけると、 $\text{Ar}^+$  は重いので、ほとんど動かないが、 $e^-$  は、電離していない Ar にぶつかりながら動き、 $\text{Ar}^+$  があるとこれにくっつく。(図4) こういう現象を「イオン再結合」と呼んでいるわけである。

さて、今ここでかなり強い電場をかけ、 $e^-$  を加速させると、 $e^-$  は中性の Ar との衝突があるため、ある定常状態となるのだが、これが Maxwell 分布からはずれる。Maxwell 分布は図5-1に示すとおりだが、 $e^-$  は一斉に運動しているので、 $e^-$  の分布は図5-2の様になりそうに思える。が、実際は図5-3のようになる。ここでの研究テーマは、ずれた所でどのような割合で「イオン再結合」が行われているか、ということの解析である。さらに現在は、どういう風に Maxwell 分布からずれるのか、という事についても、実際にボルツマン方程式を立てて、それを解き、実験結果に、割合うまくあった解析ができていそうである。

## イメージの世界はリーマン空間である

北原先生が、我々に、「まだやり始めたばかりなんですけど、少しかわった事をやっています。」と紹介された次のテーマは、非常に興味深いものである。

「どういう事かという、錯視というものがあるでしょう。それはなぜか? という問題があるわけです。それを数学的に表現できないだろうかという…。」

つまり、こういう事である。我々が、視覚でみている世界と、頭の中

で情報処理した後にできるイメージとは、必ずしも同じ物であるとはいえない。ならば、例えば、視覚を  $x$  とした時、写像による関数  $f(x)$  が存在し、それを我々がイメージとしてとらえているのではないかと考えることもできる。そうであるならば、視覚とイメージとは、同じものではない。

「だから、僕らがもし、こういう関数を定義できれば、逆にある予言ができるわけですね。」

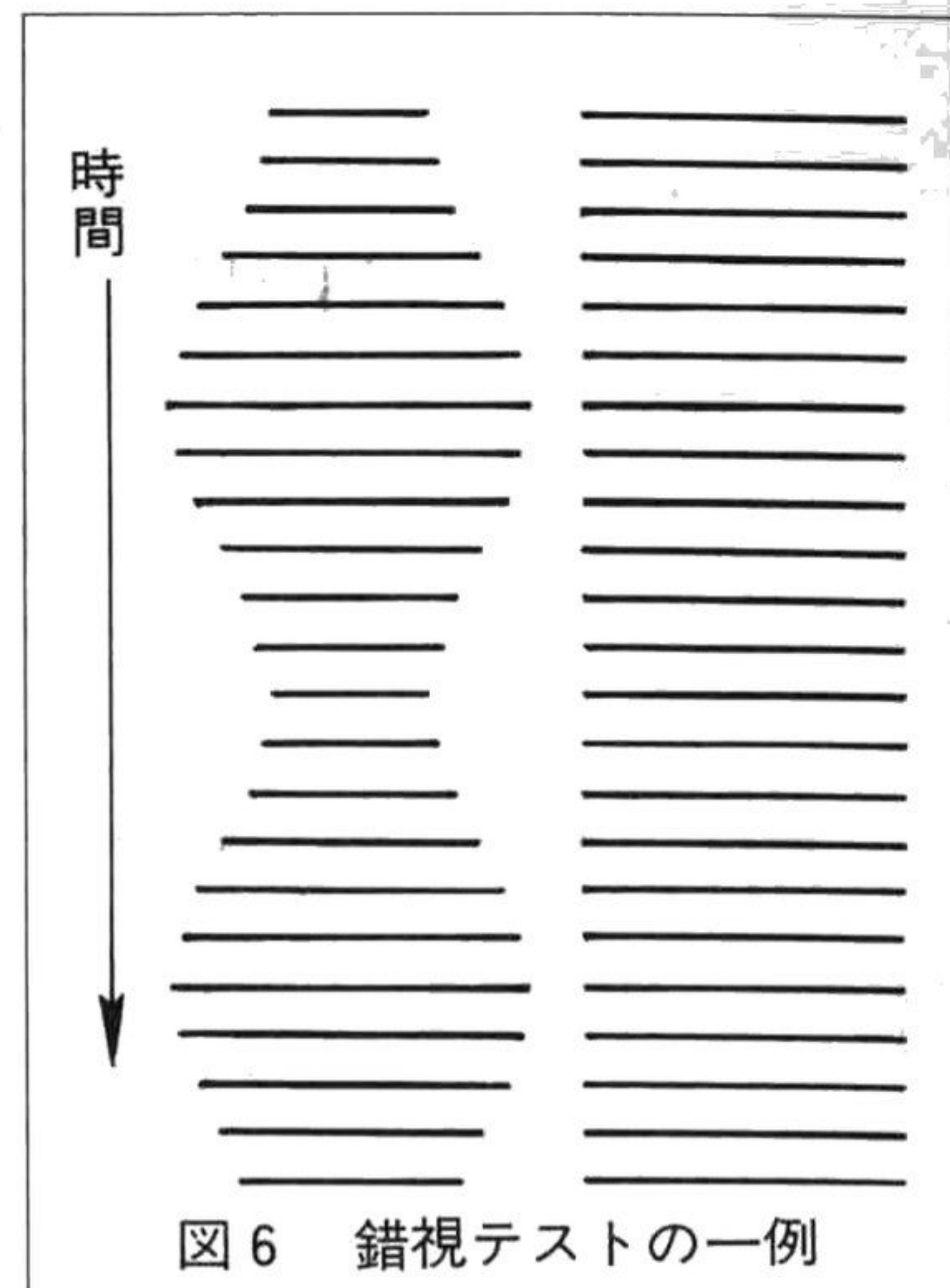


先生がやっている実験は次のようなものである。まず2本の線をひいて、1本だけを単振動的に動かし、どこで、同じ長さに見えるかを調査する。(図6)すると、明らかに伸びている時と縮んでいる時に、認識の差ができるらしい。視覚されたものがそのままイメージされるのなら、こういう違いがでるのは本当はおかしい。だから、このような認識の差が、あるいは、ある関数として求められるかもしれない、というのである。

「熱力学で『ヘルムホルツの自由

エネルギー』というのが出てくるでしょう。そのヘルムホルツが、こういう話をやっているんですよ、彼自身の心理学の実験で。これの実験結果を分析していると、非常におもしろい事実に到達する。どういう事実かというと、視覚の世界は、ユークリッド空間なんだけど、イメージの世界は、実はリーマン空間ということになるんです。」

問題はいかにして、数学的モデルを作りあげるか、である。



## 研究課題をいかにして見つけるか

先生の研究内容は、非常に多彩である。面白そうな研究を、どのようにして見つけ、自分の研究テーマとして、研究を始められるのか尋ねたところ、

「好奇心と懐疑心ですね。僕のやり方は、面白いと思ったら、いろんな人の話を聞いたりして、情報をためこんでおいて、大体の様子をつかみ、「これで行こう」となってようやくやり始めるという…。だから僕の研究の中には、昔思った事とか、以前からずっと考えていたものが、ようやく研究にまでこぎつけられたと

いう種類のものが、たくさんあります。

「それと文献をある程度乱読するんですね。すると、実際それを行っている人に会った時、根掘り葉掘り聞くことができるわけ。すると、どこで苦労したか、どこがまだ分からないかを感じることがができるから、そのところを…」

だが先生は、「面白い」と思うものは、難しい専門書や有名な学者の言葉より、むしろ普段の実生活からの方がでてきやすいとおっしゃっている。

「みなさんも物理の教科書とかを読む時は、その辺に注意して、いつも、好奇心と懐疑心をもってほしいですね。教科書なんてものは実際わからない所だらけなんだから、注意していれば、案外意外なところで基本的な問題を発見するかもしれないですよ。」

今回、我々は「応用物理学科」の研究室を訪ねたわけだが、他大学では工学部にある事の多い、この学科は、本学では理学部にある。なぜなのか、また、物理学科とはどのように違うのか疑問に思った人は少なくないだろう。筆者も疑問を抱いていた一人だったのでその辺りを先生に伺ってみたところ、

「他大学にある工学部の応用物理学科と本学にある応用物理学科は名称こそ同じだが、理学部と工学部の性質上の違いから、あまり共通点は見られないのではないかと。むしろ、本学の物理学科との違いを挙げるほうが難しいだろう。」とおっしゃられた。結局、どんな先生がどういう研究をなさっているか、が、それぞれ

の学科の特徴となってあらわれてくるのだ、という結論になる。

最後に、北原先生は多忙な毎日の中で、取材の予定時間をオーバーして、我々に協力して下さった。この場を借りてお礼を申し上げたい。

(金谷)