

# 開所記念シンポジウム

---

自然科学の多様性と楽しさ

自然科学研究教育センター

# ま え が き

自然科学研究教育センターは2009年4月に開設され、2009年11月に開所記念シンポジウム「自然科学の多様性と楽しさ」が開催されました。このシンポジウムの内容が本報告書にまとめられています。

シンポジウムの内容とテーマ「自然科学の多様性と楽しさ」は自然科学研究教育センターの特色を象徴しているものです。多様な分野、そして純粋なアカデミックな研究から応用研究まで様々な方向性、そういったあらゆる意味で広いセンターの活動を反映しています。センターの門戸は様々な分野の研究者、教育者に開かれています。シンポジウムでは様々な専門領域を持つセンター内外の講師の方に、専門外の人にもわかりやすいように専門分野の現状について広い視点より解説をしていただきました。そして、講演について分野を越えて質問と議論が行われました。

このシンポジウムはセンターが開設されて初めてのものであり、センターを開設し、内部の仕組みを立ち上げから始める必要がありました。その中で、まずシンポジウムを開催するかどうかからの議論から始まり、テーマを決め、さらに具体的な計画を作り実施するには手探りの部分もあったのが思い起こされます。発足したセンターの行事委員会が中心となって、シンポジウムを計画

し、無事開催することができました。本報告書からもわかるように、素晴らしい講師がいらして下さり、内容も充実したものとなっています。70名程度の所員、教員、学生などの参加があり、活発な質疑応答や議論も交わされました。初めてのシンポジウムということで不安もありましたが、私としてはシンポジウムは大成功であったと思っています。むしろ、半日での開催は短過ぎたのではないかとすら感じたほどです。シンポジウム計画から開催を通じ、センター内で自然科学の研究者の分野や学部を越えた交流がより深まっていくのを実感できました。このような交流は、自然な形でさらに広く深く発展させて行きたいと考えています。

シンポジウムは大場先生を中心としたセンターの行事委員会が中心となって計画と開催をしました。また、この報告書は、講演者の皆様の快い協力、そして所員の新田先生と事務長代理の山口さんを中心とした編集を経て作成されました。深く感謝をしたいと思います。本報告書を手にとった方にとって知的な刺激となるものがあれば幸いです。

自然科学研究教育センター 所長  
青木 健一郎



# 目 次

1. まえがき	青木健一郎（慶應義塾大学自然科学研究教育センター所長，日吉物理学教室，経済学部教授）	1
2. 開 会	下村 裕（慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員，日吉物理学教室，法学部教授）	5
3. 開会のあいさつ		
	長谷山 彰（慶應義塾教育担当常任理事）	6
4. 所長講演 「自然科学研究教育センターについて」		
	青木健一郎（慶應義塾大学自然科学研究教育センター所長，日吉物理学教室，経済学部教授）	7
5. 講 演 1 「地層から読み解く過去の地震と津波」		
	藤原 治（独立行政法人 産業技術総合研究所，活断層・地震研究センター主任研究員）	10
講 演 2 「総合の時代と帰納的思考」		
	団まりな（階層生物学研究所責任研究員）	35
講 演 3 「アインシュタインと宇宙の謎」		
	江口 徹（京都大学基礎物理学研究所所長・教授）	55
講 演 4 「バリアフリー・ユニバーサルデザインへの人間科学からのアプローチ 主観と客観，基礎と応用，大学と社会の架け橋を目指した取り組み」		
	中野 泰志（慶應義塾大学自然科学研究教育センター副所長，日吉心理学教室，経済学部教授）	80
6. 閉会のあいさつ		
	大場 茂（慶應義塾大学自然科学研究教育センター副所長，日吉化学教室，文学部教授）	112
7. 資 料（チラシ・ポスター）		113





(司会)下村 裕(しもむら ゆたか)  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員  
日吉物理学教室、法学部教授

(司会) それでは、ただいまよりシンポジウムを開会させていただきます。本日は、自然科学研究教育センター開所記念シンポジウムにご参加いただきましてありがとうございます。昨日の冷たい雨も上がりまして、本日は爽やかなお天気に恵まれましたけれど、ご多忙の中多くの方々にご参加いただきまして、御礼申し上げます。私は最初の司会をさせていただきます所員の下村裕と申します。よろしく願い致します。本日の開所記念シンポジウムは、4月1日に発足致しました自然科学研究教育センター最初のシンポジウムでありまして、テーマが「自然科学の多様性と楽しさ」となっております。その趣旨は、所長よりセンターの紹介をさせていただいて、また、様々な分野の最前線にいらっしゃる研究者の方々

から興味深い研究を伝えていただく、ということです。そして、その結果として自然科学研究教育が促進されるきっかけとなることを期待して今回のシンポジウムが企画されました。具体的には、最初に所長講演、それから、四人の先生方より様々な分野の研究をご紹介いただきたいと存じます。記録に残させていただきますので、本日のシンポジウム内容は、音声の録音、また、カメラによる撮影がございますのでご了解のほどよろしくお願い致します。それではプログラムの順に進行させていただきますが、所長講演の前に、学事及び日吉キャンパス担当の慶應義塾常任理事である長谷山彰よりご挨拶させていただきます。



長谷山 彰（はせやま あきら）  
慶應義塾常任理事

1975年 慶應義塾大学法学部卒業。1979年慶應義塾大学文学部卒業。  
1984年 同大学院博士課程単位取得満期退学。駿河台大学法学部教授を経て  
1997年4月より慶應義塾大学文学部教授。  
2001年より2005年まで慶應義塾大学学生総合センター長を務める。  
2007年より文学部長、斯道文庫長。  
2009年6月15日より常任理事。日本法制史専攻。法学博士。著書に『日本古代の法と裁判』（創文社）『律令外古代法の研究』（慶應義塾大学出版会）『新 裁判の歴史』（共著）（成文堂）などがある。

## 開会のあいさつ

皆様こんにちは、長谷山でございます。本日はご多忙の中、自然科学研究教育センター、開所記念のシンポジウムにご参集いただきまして、誠にありがとうございます。自然科学と申しますと昨今、中高生の理系、理数離れということが言われておりました、自然科学教育の重要性、必要性というものが強調されております。またグローバル化の中の、日本の国家的な生き残り戦略として、科学技術立国が再度強調されているようでございます。しかし、こうした研究、教育いずれも、息の長い地道な努力が必要でありまして、大学はその研究と教育の両方を担うことのできる組織として、評価されております。かつて、福澤諭吉は、人がこの世に生まれて、独立自尊の市民として生計を立ててゆくために、どのような学問が必要かということで、語学や地理、歴史学、或いは経済学等と並んで、数学と窮理学を挙げております。窮理学は理を究める、という表現ですけれども、この窮理学というのは、数学以外の全ての自然科学分野を含む概念として用いられていたようです。福澤は、「窮理とは、無形の理を究め、万物の性質と、その働きとを知るの趣意にて、日月星辰の運転、火を焚きて湯の沸騰するとは何ぞやとて、一々その働きを見て、その原因を究むるの学問なり」と、述べております。福澤の言う、万物の性質とその働きを知るといふことは、これは物事の本質を知るといふことに通じますから、それは、学問全てに通じる哲理であると言えるかと思えます。世間の流行に惑わされず、独立自尊の人生を貫くためにも、できるだけ多くの学問分野の視点から、物事を見ていくという

ことは大変大切なことですので、学生には、是非科学する心を大事にしてもらいたいと考えております。現在この日吉キャンパスには、文、経、法、商、医学部、理工学部、薬学部と、大変多くの学部の1、2年生が学んでおります。大学に入った最初の大変な時期に、ひとつの専門に偏らず、総合的な学問観を植え付けるということは非常に重要です。義塾ではこれまで、外国語教育研究センター、教養研究センター等を設置して、そのことに取り組んでまいりました。しかし、理系、文系学部を問わず、学生全体に、自然科学教育を施す、自然科学の研究の発展を支援するという仕組みは、決して強固なものではありませんでした。その中で、この2009年の4月に、自然科学研究教育センターが、発足致しまして、全学的な自然科学の研究と教育の促進を目指しているわけです。これを機会に、小学校から大学、大学院までの、慶應義塾の一貫教育の中で、自然科学の教育というものの裾野が広がり、そしてまた、学部や、学問分野を超えた、研究の取り組みが発展することを大いに期待致しております。今日はセンターの開所記念のシンポジウムということで、各分野で様々な活動を展開していらっしゃる、多彩な専門家の方をお招き致しまして、これから興味深い、貴重なご講演を賜る予定とうかがっております。皆様のご協力を得まして、このシンポジウムが、実り多いものとなることを祈りまして、簡単ではございますが私のご挨拶とさせていただきます。本日はどうぞ、よろしくお願い致します。（拍手）



青木 健一郎（あおき けんいちろう）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター所長  
日吉物理学教室、経済学部教授

Princeton大学 物理学科PhD  
UCLA研究助手、東京工業大学理学部物理学科助手、  
慶應義塾大学経済学部助教授を経て同教授

（司会）大場 茂（おおば しげる）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター副所長  
日吉化学教室、文学部教授

## 所長講演「自然科学研究教育センターについて」

（司会）ありがとうございました。それでは、引き続きましてプログラム2番目、所長講演に移らせていただきます。青木健一郎、自然科学研究教育センター所長より、「自然科学研究教育センターについて」と題して講演させていただきます。よろしくお願いいたします。

（青木）こんにちは。自然科学研究教育センター所長の青木です。今日はお忙しいところ、自然科学研究教育センターの開所記念シンポジウムにいらして下さり、どうもありがとうございます。自然科学研究教育センターについて少し紹介します。このセンターの活動方針、設立の経緯、センターの特色、活動の現状、そしてセンターの将来についてお話しします。まず、基本的な活動方針としては、先ほど理事からご紹介あったように、自然科学の研究と教育を促進してそれを進展させる、また質も向上させていく、ということが一番の目的としています。

センターは大学直属で全塾的な組織です。日吉キャンパスに所在していますが、キャンパス、専門といったものを超えて存在する慶應義塾内の全塾的な自然科学の拠点になるであろうと考えています。積極的に自然科学系の研究と教育の活動を支援していくことが主な事業です。専門分野、また学部やキャンパスなどを超えて活動していくことが一番の特徴かも知れません。慶應義塾に

は大学だけではなく一貫教育校もあり、一貫教育校とも連携していくことも一つの主題となっています。ちょうど今、司会をして下さっている下村先生は法学部教授ですが、慶應志木高校の校長先生もされており、そういったところからも一貫校との連携を図っていきたいと考えています。センター設立の経緯は過去の話でもありますので手短かに話します。日吉キャンパスにはずっと自然科学系の教員が数十人程度は所属してきました。自然科学系の教員は、もちろん自然科学の研究と教育活動をしているわけですが、所属している学部は文系学部、理工学部、医学部、薬学部と様々です。塾外からも塾内からも見える自然科学系のまとまった組織が無かったために塾内外から活動が見えにくい状況がありました。そういった中、継続的に研究教育活動をしていくためにはセンターのような組織が必要なのではないかという考えは昔からありました。その背景を基にして、今年の4月に自然科学研究教育センターが設立され、稼働し始めました。よって実は、我々が数年前に考え始めたというよりも、むしろ長年要望が教員側からも、また、塾組織側からもあり、それを背景にして作られたと言えると思います。設立のワーキンググループの代表を私も務めさせてもらい、たしかに最後の一押しは我々ワーキンググループがしたかも知れません。しかし、それ以前からあった大きな動きがようやく実を結んだと私は考えています。



日吉キャンパスには多様な自然科学系の研究や教育を行う者がいて、センターは大学直属のセンターですから、学部、専門、キャンパスも超えて、より広い範囲で自然科学に関する協力をしていくことを目的としています。自然科学研究教育センターの一番の特色は様々な意味で広い範囲をカバーしていることでしょう。今回のシンポジウムのテーマ「自然科学の多様性と楽しさ」はまさに今言ったセンターの特色を象徴する題名となっています。分野としても、普通、自然科学と言って誰でも思いつく物理、化学、生物だけではなく、厳密な意味では自然科学であるか議論あるのかも知れませんが、地理、数学、心理学、情報処理、といった分野もセンターとしては歓迎するというスタンスです。それ以外にも自然科学と他分野との融合分野も参加する方がいれば、取り扱っていきたいと考えています。例えば科学史や自然科学と倫理、経済、法律、文学といった他分野との関係も色々なものが考えられると考えています。そういったものは日吉キャンパスのように多様なキャンパスでは十分実現できる共同の研究や教育の活動であると考えています。

センターでの活動は分野が多様である以外に、方向性も様々な意味で多様です。ひとつは、通常研究といった時に思いつくような、アカデミックな研究、普通の意味で論文を書いて行う研究です。それ以外にも、応用に向けての研究、場合によっては企業との共同研究も現在も取り入れています。教育の実践、或いは教育の研究に関してもセンターでは取り扱っていきます。実際に今も教育に関する研究も行っています。活動のスタイルも多様で、大きなグループから個人で活動する場合まであります。プロジェクトの期間としても、例えば長期の視野を持ってアカデミックな基礎研究をしている場合もありますし、短期で応用に向けて結果を出さなければいけないプロジェクトもあります。外部資金があるプロジェクトも無いプロジェクトも歓迎しています。本センターは特定の外部資金やプロジェクトとはリンクはしていませんので、自分のしたい研究、教育の活動をする場であることが特色でもあります。

多様な自然科学を取り扱っているという意味で視野が広いのは強みだと私は考えています。色々な他分野の考え方や方法を知ることは刺激になります。短期的に集中

して一つの狭い分野の研究をするのも良いですが、必ずしも直接役に立たなくとも、長い間研究や教育においてクリエイティビティを發揮するには色々な分野の話聞くのは重要なことだと考えています。そういった意味でもセンターを通じて交流をしていくことは大いに意義のあることです。また、視野の広さ、つまり様々な意味で広い、分野も広い、活動スタイルも広い、そういったものはまさに日吉キャンパスの特色を反映し、強さを生かしています。先ほども理事がご指摘下さったように、日吉キャンパスはあらゆる学部の学生がいるキャンパスで、それに伴いあらゆる学部の教員もいるキャンパス、そして様々な専門の方がいるキャンパスです。この分野の広さ、或いは活動スタイルの広さは、自分のしたいことがしやすい環境でもあると私は考えています。周囲にあるのが一つの狭い分野、或いは狭いスタイルばかりであると、それ以外のものをしたいと思いついた時にためらってしまうかも知れません。しかし、我々のように、ある意味で「なんでもあり」という環境は、したいことをしやすい環境でしょう。

現在の状況を少し紹介します。所員は現在 36 人います。これは皆、兼担所員です。兼担とは塾の教職員が所員でもあるということです。さらに研究員が現在 5 人所属しています。これは大学の扱いとしては特別研究教員になっていて、大学助教、大学研究員といった形で所属しています。あと共同研究員、これは他組織、他大学等から参加しているような方が 4 人現在所属しています。事務組織としては事務長と事務長代理がいます。現在の活動は、まだセンターを 4 月に立ち上げたところですので、組織的な立ち上げの仕事をかなり行っています。委員会が多いのは嬉しいことではないですが、何でもすべて皆で直接投票というわけにもいきませんので、協議会、運営委員会、構想委員会、広報委員会、行事委員会を立ち上げ、活動がよりスムーズに行えるようにしています。例えば今日のシンポジウムも行事委員会がとりまとめて実行しています。それ以外にも内規等の体系的なものを整備することも行っています。これはルールというよりもむしろ、どうやって物事をやっていくかのノウハウの蓄積と言っても良いかも知れません。全体会議を行ったり、ホームページやニューズレター、パンフレット等を作っていくことも現在行っています。センター主催の講演会も既に 1 回行い、IPMU の村山先生に

来ていただきました。12月にはインフルエンザの薬の興味深いトピックの講演会を行います。さらにもう1回か2回年度内に講演会を行う予定をしています。そして、今日はシンポジウムを開催しています。12月には連携を目指して一貫教育校の教員とセンター所員との懇談会を開きます。

現在稼働中のプロジェクト全てを読み上げはしませんが、このうち幾つかは本日のシンポジウムで中野先生が紹介すると思います。見ても分かるように純粋なアカデミックな研究から、応用を目指した研究、企業との共同研究、或いは教育に関する研究、といった様々なものが現在走っています。プロジェクト以外にも他機関、外国の機関からの訪問もありました。また全ての活動をプロジェクトとして登録しているわけではなく、たとえば所員同士で研究する場合には必ずしも登録してはいません。ここに表示しましたが、所員の三井先生と私がPhysical Review E, Rapid Communications に発表した論文が一番初めにセンター名を記載した論文ではないかと思っています。

将来に向け一言お話しして終わりにします。経緯としては日吉キャンパスの教員が中心となって設立され、日吉キャンパスにあります。大学全体の組織ですからより全塾的にキャンパス、専門、学部といったものを超えて自然科学の拠点となるべく活動していきたいと考えています。興味のある方はどんどん参加していただきたいです。慶應はいくつかのキャンパスにまたがっていますが、一番多くの学部が関わる日吉キャンパスですから、そこに自然科学の拠点を塾全体で持つのも自然であると思えます。現在のところ自然科学系のセンターは本センターだけという意味でも拠点にしていきたいと考えています。

将来に向け、そして現在もそうですが、重要なことは構成員が主体的に研究、教育活動を行うことだと思います。センターのために何をするか、ではなく、構成員が自分のしたい研究や教育活動があり、それをセンターが支援して、より活発に研究や教育が行えることがセンターの意義だと私は考えています。センターが支援して研究や教育活動をより活発に行っていくことにより、自然科学にも慶應義塾の活動にも、より大きな貢献ができ

ると考えています。これからの活動内容は所員を中心として作っていくもので、ダイナミックにどんどん変わっていくでしょう。センターの仕組みは今まで説明してきたように研究、教育活動を支援しやすいように所員が作りつつあるのが現状です。研究教育活動を支援するためのセンターですが、初めから参加している所員には立ち上げの作業に関わってもらっているので、余計な負荷をかけてしまってはいけません。ただ、現在センターが順調に活動できているの初年度から入ってくださっている所員、立ち上げ時に協力してくださった理事、教員、職員のおかげです。私はこれに感謝します。まだ新しいセンターですので、これからも皆様のご理解とご協力とご参加をよろしくお願いいたします。

(司会) 折角の機会ですので何か、ご質問等あれば、お答えしていただけたらと思いますけれども、ないでしょうか。自然科学研究教育センターの名前が一流の論文雑誌に載った、というのはさすが所長だな、と思いました。私から一つだけ質問させていただきますと、例えば塾外の方が、活動に参加したいという時には具体的にどのような手続きを踏めばよろしいのですか。

(青木) その場合には、何らかの形でセンターのプロジェクトに参加しているの、そのプロジェクトに参加している所員の方に相談し、例えば共同研究員として参加するといった形になると思います。

(司会) そうですね。

(青木) 何も繋がりがなくて突然入ってくることは多分無いので、そういった形で自然と参加することになります。

(司会) ありがとうございます。今日、懇親会等ありますので、是非そういう形でご参加いただければと思います。それでは所長講演これで終わらせていただきます、ありがとうございました。



藤原 治(ふじわら おさむ)

東北大学大学院理学研究科博士前期課程修了 博士(理学)(筑波大学)

動力炉・核燃料開発事業団, 核燃料サイクル開発機構を経て現職(独立行政法人産業技術総合研究所活断層・地震研究センター主任研究員)

(司会) 松原 彰子(まつばら あきこ)

慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員

日吉地理学教室、経済学部教授

## 講演 1 「地層から読み解く過去の地震と津波」

(司会) それでは、お一人目の講演の司会をさせていただきます。私、所員で経済学部の松原と申します。よろしくお願い致します。藤原治先生のことを、ご紹介させていただきます。藤原先生は現在、産業技術総合研究所、活断層・地震研究センターの主任研究員でいらっしゃいます。主に、津波の堆積物を地質学の立場から解析されて、過去における地震の履歴を明らかにするという研究を長く続けていらっしゃいます。学会発表、及び研究論文など、非常に多数、発表されてらっしゃって、私もいつも非常に興味深く、拝見しておりました。今年の2月に、静岡県の遺跡発掘現場で、一緒に調査をする機会がありまして、その時にまたいろいろと刺激的なお話をたくさん伺いました。開所記念のシンポジウムにあたって、講演者として藤原先生をあげさせていただきました。筑波ということで、ちょっと遠方ですけども、来ていただけますでしょうかと申し上げましたら、快くお受けいただきまして、今日に至りました。今日は、専門以外の方が多いと思いますので、そういう方にも分かっただけのようにと、スライドをご用意いただいております。

あまり司会が長くなりますと先生の折角のお話が短くなってしまいますけれども、先生のご研究について少々ご紹介しておきたいと思います。津波の堆積物を詳細に解析して、観測では捉えられない、古い時代の、人間の歴史時代の中でも確認できない、或いは、記録されてい

ない時代のものを明らかにすることで、過去における地震の規則性であるとか、或いは規模を明らかにすること。これは、現在起こっている色々な地震、或いは津波現象というものを評価する際に、更には将来の地震や津波の予測を考える時にも、非常に重要な研究であると位置づけられます。45分という短い時間ではございますけれども、お話いただいて、あと少し質疑の時間を取りたいと思います。早速よろしくお願い致します。

(藤原先生) どうも、ご紹介ありがとうございました。殆どもう、喋ること無いぐらいに紹介していただいたので(笑)(会場笑) 早速本題に入らせていただきたいと思います。藤原です。こういうタイトルを付けましたけれども、サブタイトルで、低頻度の巨大災害に備えろと、いうことを付けました。それで、今日のお話は、ちょっと聞き慣れない言葉だと思うんですが、低頻度の巨大災害って何だというのを少し、イントロさせていただいて、あまり専門的なお話をしても面白くないと思うので、殆ど私のは、スライドで写真ばかりでして、色々な津波の堆積物をお見せしようと思います。それから、そういったことから、どういうことをしようとしているのか、ということで、過去にいつ津波や地震が起きたんだろうか、専門的に言うと、再来間隔ですね、つまり、何年に1回起こる、という規則性が分かれば、将来を予測することがある程度可能になるわけですが、どうやっ

てそれを求めているのか、或いはどれくらい分かっているのか、或いは分かっていないのか、ということをお見せしようと思います。それから、津波の堆積物があったとしても、いったいそれは、大津波だったのか、実はそんなにたいしたことのない津波だったのか、ということが問題になります。逆に言うと、過去にどれぐらいの大きなものが起こっているか、ということを知っておくことによって、将来起こり得る、例えば、津波が浸水してくる範囲とかを、想定することができるようになる、そういう話を少しします。それから最後に、どういふことに今後心懸けたいか、というお話をします。

この場合、具体的には非常に大きな地震、特に津波の話をしていきます。何故低頻度と言っているか、というと、非常に稀にしか起こらないんですが、これはですね、2004年のインドネシア沖の大津波の写真で、私の同僚が実際に、津波の直後に行って写した写真です。船が、市役所が何かの建物に流れ着いている様子です。内陸に何キロも流されてきて、遡上するような大津波があったわけです。この、なかなか起こらないのですが、1回起こってしまうと、未経験の、大変なことになるんだと、いう例なわけです。そういったことが、最近、比較的私達の目に入るようになりました。例えばこの写真にあるものとか、或いはパキスタンの地震であるとか、或いは地震でなくても、数年前にアメリカで起きた、非常に大きなハリケーンが来たりして、やはり未経験の大災害が起きることがある。特に今日は、津波のお話をして、海底にある海溝周辺で起こる、海溝型地震のお話をします。特に日本の場合、よくご存知のように、そういう海溝に囲まれています。これは、15世紀から19世紀までに、どこで大きな津波が起こったか、というその震源を描いた絵ですが、日本の周囲でたくさん地震が起きるわけです。それで津波も起こる。そもそも、日本の国自体が、地球でいう、プレートの境界、地震が起きやすい場所に面している、かつ、長い海岸があるので、津波が来る場合が多い。単に、地震が起きたり津波があっても、そこに人が住んでいなければ、ただの自然現象で済むのですが、日本の場合、沿岸部に人口とインフラが非常に集中をしているために、宿命的にこういう地震とか津波の被害を受けやすい構造の所に住んでいるわけです。ですから、日本ではこういう研究が非常に重要になります。先ほどのインドネシアの例もそうで、特に海岸部の標高が低くて、海に面していかつ海溝があるという場合、

同じ問題を抱えているわけです。

日本の場合、毎年、文科省からこういう図が出ます。これは何かというと、今後30年以内に、震度6弱以上の地震に見舞われる確率を示した図です。赤っぽい所ほどその確率が高いことを示します。この辺りが赤い色、勿論東海地震を考えているから、色が濃くて確率が高いわけです。それから東京の場合は、直下型の地震を考えているので、30年確率が高くなっています。でもよく見ていただくと、内陸にあるこういう所とか、この辺、このあいだ宮城県の北部で地震がありました。こういう所とか、糸魚川静岡構造線なども、確率が高いんですけども、やはりこういう所、これは宮城県沖を考えていますが、海岸部で非常に高いですね。つまり、こういう、日本の沖にある海溝周辺、日本海溝と、これ南海トラフがありますが、そこで起きる地震を考えているので、非常に確率が高くなっている。というわけで、つまり震度を考えても、海溝型の地震というのは非常に大事だ、ということになります。一方で、今、横浜にいますから、これは東海地震が起こった場合の、震源がこの辺に想定されるんですけども、これが起こると、震源に近いところだけが揺れるというわけではなくて、最近では長周期地震動の問題がありますので、東京或いは横浜周辺でもですね、震度5弱、下手すると6近く揺れる可能性が、東海地震によってもあるわけです。ですから、今日お話をするような海溝型地震については、東京近郊にお住まいの方についても、他人事ではない、ということをお話をする前に、申し上げたいと思います。

その海底のプレート境界で地震が起きるわけですが、問題は、地震の起こる場所を直接見に行くわけにはいかないですね。水深が2000メートルという海底で、起こります。これは、最近よく行われている活断層のトレンチというもので、ここに、地震が繰り返すことによって持ち上がってきた断層の崖があって、そこを実際に掘ってみると、こういう風に、地層がこう大きくねじ曲がっているのが見えます。陸上の場合にはこういうトレンチの調査をやることによって、どれぐらい地層がずれているとか、いつずれたのかということを知ることができます。ところが、海溝で起きる地震はこれがないので、これからお話しをするように、津波が発生して、それが陸上に打ち上がった痕跡を探し出して、昔どんなことがあったか、というのを調べるようになります。津波研究、或いは海溝型地震研究の問題点と限界と

いうのを先に、ご紹介すると、先ほどのように、非常に稀な現象です。東海地震の場合であっても、短くても90年、長いと150年間隔ぐらいですから、人が一人、生きている間に経験するかどうか、分からないんですね。私こうやって研究をしていますが、実は東海地震を経験しないかも知れないですね。ところが、一般に、地震や津波を機械を使って観測するというのは、せいぜい100年の歴史しかありません。これは海岸に行くと稀に見られますが、験潮所というもので、ここで波の高さを測っていて、満潮位がどのくらいで干潮位がどのくらいというのを知ることができます。魚釣りが好きな人はこの情報使っていると思うんですが、こういう機械が作られてからは、せいぜい100年しかたっていません。例えば、これは恐らく日本で一番古い津波の波形記録ですが、こっちに時間があって、ここで水位が書いてありますけども、これ1894年の根室沖地震の時の津波を、宮城県の鮎川でとった記録です。こういうものが残っていれば、この時の津波の様子を、例えばコンピュータでシミュレーションすることもできるんですけども、やっぱり元になる記録が100年分ぐらいしかない。だから地震の1サイクル分、あるかないかなんです、日本の津波の記録というのは。これでは、正確な将来予測はちょっと難しいだろうというわけです。それで、今言ったように、次に、こういう地震なり、災害が起きるのは、遠い将来かも知れない。でも、明日かも知れないんですね。ですから、しばらく起こらないと、やはり人間は狼少年になってきて、だんだん忘れてくるんです。すごい煮え湯を飲まされたことがあっても、やっぱり何十年かすると忘れてしまうと。三陸の海岸は、そういうものの繰り返し被害を受けています。明治時代には大津波があって、2万数千人が亡くなったわけですが、やはり漁村とかの人達は、5年10年経ってくると、不便だから、避難地からみんな元の港町などに帰ってくるんです。そして昭和の三陸津波というのがあって、40年後にやっぱり同じ集落が同じように流されてしまう、という悲劇が繰り返されました。つまり、過去の記憶が薄れることは、非常に怖いわけです。

それで、日本の場合は、幸いなことにたくさん、文書とか、この場合石碑ですが、ご覧ください、これは四国の例ですけれども、古い記録が残っていることもあります。後で触れますが、これは1605年、慶長地震の時の、この村を襲った津波のことが色々書いてあります。これ

の凄いところは、ここにもう1個あるんです。これは、その100年後に起こった、1707年の津波のことがここに書いてあるんですね。何と書いてあるかという、これは、こういうことがあるかも知れない、気をつけろと書いてある。こっちは、これに書いてある通り津波が来たけど、みんなは逃げたから殆ど死人は出なかったってことが書いてある。それでも、やっぱり数百年しか記録がないんです。それから、これは、もうひとつの次の地震で、これが1854年、安政南海地震というのがあって、これも四国ですが、それは海はずっとこの向こうにあるんですけど、津波が来て、このお寺の階段のここまで来たって石碑が建ってるんですね。これが最後の南海地震ですが、1946年の津波の時は、ここまで来て、ここに石碑があります。安政の津波よりは小さいんですけども、とはいえこの辺は家が全部流れたわけです。このようにして、150年前の、先ほどの石碑がありますからここは1605年からの記録があるわけですが、この世代を超えた知識の伝承というのがないと、低頻度の巨大災害に備えることができない。逆に、それを実際にやっている地域があるというのが凄いという風に思います。

殆どこれが結論なのですが、あとは写真ばかり出すけれど、最低限の備えとして、過去に起こった現象について調べて、それに基づいた対策をすることはできるだろうと、将来発生する災害を、過去にこういう経験したことが残っていれば、仮想的に体験をして、次はどうしようか、ということを考えることは我々にはできるだろうと、いう風に考えているわけです。先ほども申しましたように、1605年まで遡っても、大地震と津波は4回分の記録しかないわけですし、しかもそれは点在しているんで、もっと古いところについては、これからお話をする地層や地形を使った研究が必要になってきます。それで、日本では津波の痕跡がどれぐらい見つかるか、というのを、私の論文のレビューの図から見ると、丸を付けたところで、時代は色々、何十万年も前のものもあれば、1960年代のものまであります。地点数としてはこれくらい、多いか少ないかはありますが、東海沿岸や関東周辺で、点々と見つかっていてですね、過去数千年分の記録はある。ただし非常に散点的です。この中から幾つかの写真で見て、「ああこれがそうか」というのをお見せしようと思います。

津波の起こるメカニズムをちょっとお話しします。海溝があって、そこに海のプレートが沈み込んできて、そ

れに引きずられて陸側のプレートがたわみます。このたわみに耐えきれなくなると、弾性的に跳ね返ることによって海底が動くので、海の水も動かされて津波が起こります。もうひとつは、海底火山が大噴火を起こしても、このように大量の水が動かされますから、津波は起こります。だいたい地球上で起きる津波については、地震によるものが9割ぐらい、火山噴火によるものが1割弱ぐらいです。残りは、ごくごく稀ですが大きな隕石が海に落ちてきて、津波が起きることもあります。それは例えば、白亜紀の末に、恐竜が彗星が落ちて滅んだと言われていますが、それが起こした、超巨大津波の跡だと言われる津波堆積物も、見つかっています。で、今のように、津波は非常に大量の水と土砂を動かすこととなります。これは2004年のインド洋大津波の時の、インドネシア・バンダアチエ周辺です。これが、地震、津波の前です。これが津波の後の同じ場所の写真で、全部流されてしまって、家も森も消えてしまいました。よく見てみれば、こういう風にずっと地面に線が付いていて、水が、こちらからこちらへ流れて、こちらに帰っていくわけですが、そういう痕跡も見ることができます。

それでは、こういう津波の堆積物がどうやってできるんだろうか、ということを知っていただきたいと思います。これは、バンダアチエ周辺ですけれども、元々は家が建って、椰子の木が生えていたそうです。ところが、家の基礎だけが四角く残っていて、建物は全部流されてしまっています。この辺で津波の、ここを通過した水の高さは十数メートルと言われています。このいっぱい生えているのは椰子の木が折れた跡です。このように、一面に砂が打ち上がっているのが見えます。通常、海岸には砂丘などの高まりがあって、裏に池があったりすることもあります。そういうところに津波が押し寄せてきて、このように全部ここに波が入ってきます。更に、それが満ちて、海岸にあふれます。更に津波が引いていった跡に、このように砂とか泥、岩でもいいですが、そういうものが残ります。それが運良く雨とかで洗い流されることなく地層の中に残ってくれば、それを、こういう大きな津波が起こった、一種の地震の化石として、地層の中から読み取ることができます。それは、今のように砂で出来ている場合もありますし、これは、津波石という風に一般には言いますが、タイのブーケットの近くで、やはり2004年の津波の時に起こったものです。いっぱい黒い点が写っていますが、多くは珊

瑚礁の破片です。これが津波の前にはなかったんだけど、この大きな津波によって数百メートルの沖合からいっぱい運ばれてきたものです。これはどのぐらいの大きさがあるかということ、小さなものでも、これぐらい、ここに30センチぐらいのハンマーが写っていますが、1個あたり数百キロから数トンのものが、千個単位で打ち上がったわけですね。それで、こういうものが日本にもある。これは石垣島と沖縄の例ですけれども、珊瑚礁の破片、破片といっても手前に祭司がありますから、乗車ぐらいはあります。こういうのが打ち上がっていて、これなんかは3mから5m、こういうものが、海岸にどーんと落ちているんです。これは、1771年の八重山地震津波で打ち上がった、ということは分かっています。それから、これは非常に貴重な写真で、1933年の昭和三陸津波の時の岩手県田老町を写したものです。これが、津波の前です。1933年2月5日だそうです。そして、これが津波の当日で、3月3日、雛祭りの日だったんですが、これが全く同じ角度だと分かりますでしょうか。この山がここで、この川がこれだったんです。もう全部消えて、白いのは雪じゃなくて砂で、津波堆積物で覆われています。

それから、ここは関東なので、関東地震についても少しは触れなくてははいけません。1923年大正関東地震の場合は、特に火災の被害が酷かったので、見逃されていますが、実は津波も非常に大きなものでした。青色は1923年の津波の高さです。波源はこら辺にあって、マグニチュード7.9ぐらいと言われていますが、一番高いのは、伊東、もしくは、熱海の辺りで、10メートル近くあった、と言われています。地震後5分以内に10メートルクラスの津波が来ました。それから、こちら、布良であるとか、州崎あたりだと、だいたい8メートルぐらいあったと言われています。津波で亡くなった方も実際にいらっしゃいます。それから、もっと凄かったのは、ひとつ前の、元禄地震、これはもっと大きいんです。波源がこら辺にあって、マグニチュードが8.2ぐらい、と言われています。この地震の波源の位置と規模の差によって、これは外房のほうが非常に大きな津波になっていて、九十九里浜では海岸から1キロ以上、内陸まで津波が入ったということが知られています。しかも、この地震は現在の暦でいうと、1703年の12月31日の夜中の2時ぐらいに起きた地震ですので、みんな寝ているところに大津波が来た、というものです。例え

ば、これは外房ですが、この辺の海岸に行ってみると、こういう地形を見ることができます。この平らなものは、元々は海の底で、波によって削られて平らになった。海底だったものが、この地震によって地面が隆起したために、陸になり、海岸段丘ができました。それから、内房側に入ると、こういう綺麗な、2段の段丘を見ることができて、こちらが大正地震で持ち上がった海岸、もう1つ上にあるのが、元禄地震で持ち上がった海岸で、なんと4.5メートルもの高さがある。

こういうことによって、直接的に地形からも、過去に起こった地震を読むことができるわけですが、それでは、津波はどうなっているか。それで、津波堆積物を掘ってやろうということで、内房側を、内房線館山駅がここにありますが、その近くの低地で調査をしたことがあります。ここの断面図を書いてみると、現在の海岸、海面がここにありまして、防波堤はありますが、その裏が小さな砂丘になっていて、ここにJRが通っていて、この低地の、更にこちら側にもうひとつ、砂丘があります。実は、1703年の地震が起きるまで、ここが海岸でした。その後の2回の地震によって、ここ500メートルぐらいありますが、この部分の海岸ができました。1923年の時は見ていた人がいて、ここの後ろ側の砂丘の、現在県道が通っていますが、そのぎりぎりまで、津波が入ったことが分かっていますので、その近くで掘りました。どういう風にして調査するかというと、最近はこのようにできてまして、ジオスライサーといいます。これは、普通の工事で使うクレーン車です。調査の規模によって使う機材も変わります。この場合は4トンのクレーンを使っています。ここには、港の工事で大きな杭を打ったりするために使う、震動するパイプレーターがついています。それを油圧で制御していて、この後ろに、ジェネレーターが後ろにあります。大きな箱形の鉄板を、それをずーっと打ち込むわけです。皆さん、箸の箱をご存知ですね。お箸の箱に蓋をしますが、まず箸の箱に当たる部分をだーっと打ち込んで、次に地層が洩れないように、箸の蓋のほうを、同じ大きさのものをここに同じ方向でばーっと打って、地中に箸の箱を立てた状態を作り出します。それをこのクレーン車で、地中から引き抜いて、この幅がだいたい30センチぐらいで、地層をそのままの形で引き抜くことができます。引き抜いたものがこれで、今は蓋を外してありますけども、こういう風に地層が全然乱れることなく4メートルぐらい

のサンプルを採ることができます。これは、なかなか早くできて、実際、打ち込むこと自体は数分で4メートル入ります。ただ引き抜くのが、注射器でもそうですが、押し込んで引き抜く時真空になるので抜けませんよね、同じことが起きるので、引き抜くほうが実は大変で、四苦八苦しながら、機械で引き抜くわけです。このままでは、ちょっと観察しにくいので、表面をずっと全部削って真っ平らにします。今、網を掛けようとしていますが、この網を掛けて、更に網の上から、ちょっと特別の薬品を塗って(笑)、息を止めながら塗って、ここに地層を、剥がします。そうすると、こういう風に綺麗に採れます。こういう風にするので、ここに縞模様があるのが分かりますか?この糊が、粒子の目が粗いところにたくさん染み込みますから、粒子の大きさの差によって、凹凸のあるサンプルを採ることができるわけですね。そうすると、非常に中の構造が見やすくなって、調査しやすいと。先に言っておくと、こういうのが1枚1枚、津波がこうばーっと流れた跡なんです。こういうの何枚か作りまして、中がどうなっているかを調べます。どちらも同じ場所で、数メートル離れて掘ったものです。さっきのような方法なので、方角が分かるので、こっち側が、元々サンプルが海を向いてたわけです。こちら側の端が海側を向いていて、こちらが陸側。こっちも、こちらが海でこちらが陸という意味ですが、この縞々を全部トレースします。いくつかの条件によって、こちら側が、1703年の津波であるということが分かっています。そしてこの一番上、もう田圃のぎりぎりのところに、ほんの10センチ残っている、これが1923年の津波だということが分かります。先ほどお見せしたように、1703年の津波、非常に大きいので、1923年に比べても、堆積物としても非常に分厚く見るすることができます。更に、この中から、1枚の砂ではなくて、何枚もの下が粗くて上が細かい、下が粗くてその上がまた細くなるというのがたくさん重なっているのを読むことができます。津波は1回だーっと来るだけでなく、何度も、数十分間隔でくり返しやって来ます。これを全部、私、堆積屋さんなので、地層から、この縞模様から水がどっちからどっちへ流れたかを全部復元します。そうすると、あるものは、海側から陸に向かって遡上した波であるということが分かります。また、ちょうどこれとペアになるようにちゃんと、陸に上がったものが海へ帰っていった跡、というのを読むことができます。この地層からは少なくとも

4回から5回ぐらい大きな波が、海岸に遡上しては引いて帰っていった、ということを読むことができます。それから、こちらの、大正地震の場合は、波が相対的に小さかったので、1回だけ遡上して、それが帰ったという1セットだけが見られます。こういう違いも、この場合は見えます。

今のは、陸上に駆け上がった津波の跡を見ていたわけですが、外房の、この夷隅川というあたりに行くと、写真は満ち潮の状態ですが、ラグーンがあります。ここの並木の向こうが太平洋で、こっちが陸でして、その砂州で閉め切られた、こういう細長い、ラグーンというか潟があります。ここに入ってきた津波を見ることができます。同じようにして掘るわけですが、そうすると、こんなものが採れます。これは長さ380センチのコアですが、すぐ隣で掘った2本を並べています。これの黒く写っている部分は、先ほどのラグーンに溜まった、ヘド口のような粘土で、その中にこういう真っ白い、厚い、しかも、模様がある地層が挟まっています。ここにも、何か挟まっています。この白いのは、全部貝殻でして、しかもこれは、先ほどの防災林というか林の海側の、外海にしか住まない貝殻が、このヘド口の中にいっぱい詰まっているんです。これも、津波の跡です。また別の例をお見せしますと、今度は、内房側の館山市の南に行くと、縄文時代にこの辺りに広がっていた、海の地層を見ることができます。例えばこれです。元々は、縄文時代、7千年ぐらい前の時代には、この辺りは海だったのですが、房総半島の先端というのは非常に大きな速度で地盤が隆起しています。地震が主な原因ですが、そのために、かつて水深10メートルぐらいあった内湾の中を、現在では川の崖で見ることができます。この岩がいっぱい写っているところ、ここからここまでの、1メートルぐらいが津波堆積物です。下のねずみ色に写っているところは、内湾に溜まった海の地層です。上も、海の地層です。そこに突っ込んできた、大きな津波の痕跡が見えます。白く見えているのは全部貝殻で、これも内湾にはいない、外海に住んでいるような生物が、たくさん化石として入っています。また、例えばこういうような、崖があります。雛壇状に出っ張っているところと窪んでいるところが繰り返しているんです。近寄ると、こんな感じになる。窪んでいるところは、少し白い模様が見えますが、砂でできています。出っ張っているところは、さっきの海で堆積した、粘土です。川の水に対して

浸食されかたが違うので、浸食されやすい砂は窪んで崩落して、窪んでいます。この部分が津波堆積物です。これアップにすると、こうなっていて、強い流れで、こう流れて、そういう砂が運ばれてきた痕跡を見ることができます。これは、大きな木材が狭まっていますが、こういう風に流れが繰り返していて、これが7千年から8千年ぐらい前に、南関東を襲った大津波の痕跡だということが分かっています。それから、これは外房ですけども、ここも隆起が速いので、だいたい1万年ぐらい前から7千年ぐらい前に、元々は河口周辺の干潟であった地層を、こういう風に100メートルとかもっと長く、ずーっと川沿いに見ることができる場所があります。崖に近づいて、平らに削ってやると、白い粘土と黒っぽい砂利の層が何度も何度も繰り返している、ということが分かります。これもさっきのように、特別の糊で剥がして採ってやると、白い粘土の部分と黒い砂利の層がよく分かります。しかもそこにいっぱい何か、強い流れが流れた跡が見えるようになります。例えば、ここに小さな断層でこう地層が食い違っているのが見えたり、或いはここにはこう、漣が立って、干潟ですから、漣がさーっと起こった後の痕跡が見えたり、サンプルとしては面白いものが見えます。

今のがだいたい、海底地震によって作られた津波の堆積物の、日本で見られる代表的なものです。もうひとつ、火山噴火による津波も、幾つか地球上では起きます。日本でも最近、ついに見つけたというのがあります。これが、種子島です。ここの沖合に、鬼界カルデラという、直径が20キロ程のカルデラがあります。海底地形図で見ると、こういう馬蹄形の窪みとして見ることができます。この一番の縁の部分、元々はカルデラの山があったものが、その後水没していますが、幾つかの島として、痕跡を留めています。この鬼界カルデラというのは、約7300年前に、最後の噴火を起こしてしまっていて、これは過去1万年間で考えると、地球上で発生した一番大きな噴火、若しくは同じぐらいのグレードの大噴火でした。これによって、縄文の文化は、非常に大きな被害を受けたと言われていました。カルデラはここにあって、そこから噴き出した火砕流が、九州本土にまで渡ったと考えられています。更にそこから、この噴煙が空高く舞い上がって、成層圏まで達しました。それが西風に乘って、こちら辺だと、後から降ってきた火山灰の層が60センチぐらい、中国地方でも30センチぐらい、関東



でも、1センチぐらいありますか、松原先生。東北地方の南ぐらゐまで、この火山灰は目で見る事ができるほどの大噴火です。それで、ここから約300キロばかり北に行ったところの、大分県の、ちょうどこの頃に作られた有名な貝塚がありましてですね、この貝塚の発掘現場を見る機会が最近ありました。こんなところでして、車がたくさん停まっていますが、こういう谷があって、ここの谷の中に、7千数百年前の集落跡があります。こんな発掘がされているんですね。ここでは、カルデラから300キロ離れていますけれども、白く床の部分に出ているところが全部、先ほどの火山灰でして、60センチから70センチぐらい、火山灰が溜まっています。300キロ彼方の、火山から来たものです。この辺がちょうど深く掘ってある溝のところで見ると、こういう、非常に純粋な火山灰を見ることができます。これをまた、ノリをつけて、剥がして、持ってきます。そうすると、下は黒っぽい谷の湿地の層で、そこにこういう砂利の層が、さーっとこうあるんですね。そしてこの砂利から上だけに、この火山灰がたくさん出てきます。こういう、いろんな堆積物が見えると、これを、全部またスケッチして、どこにどんな特徴のある堆積構造があるかを全部解読しました。例えばこの辺を大きくすると、こういう縞模様がたくさんあるのですが、それを全部トレースして、どっちからどっちに向かって水が流れているか、つまりこの堆積物が、どうやって運ばれてきたかというのを全部解くわけです。それから同じように、別の壁でも作って、こちらが山側ですが、この中のスケッチをする。それぞれの堆積物が何かというのを調べて、どっちからどっちに水が流れているか、を解読する。そうすると、なんと、この堆積物は、海側から山側に向かって、遺跡を遡っていったということが分かるんです。下の黒い部分があって、その上に今度は白い部分、次が乗っているんですが、これは逆に、こういう構造が示すように、山から遺跡を駆け下りていった跡なんです。つまり、波が、遺跡の海側から入ってきて帰って行った跡が見えると。それで、他のところも見ると、先ほどの元禄地震でお見せしたように、流れが行ったり来たりする構造が何度もこの中に見えます。しかも、あるところではそういう縞模様が、ぴたっ、と見えなくなって、上が全く無構造なものが厚く覆っているんです。これは何かというと、ここから下が今言ったように、遺跡を行ったり来たりした津波の跡で、ここから上がその津波が終わっ

た後に、更に降り続いていた降下火山灰なんです。だからこれは、こういう火山噴火が300キロ彼方で起こっていて、こういう煙から降ってくる火山灰がこの遺跡に降り始めた頃に、波がだーっと入ってきて、そこを行ったり来たりしてたわけです。津波は、せいぜい数時間から半日で終わりますので、それが終わっても、まだこの火山灰がずーっと降り続いている、噴火が起こした津波の堆積物を、その火山の噴出物が埋めているという非常に変わった例です。

次にいつ津波が起こったかということですが、これは南海トラフの例です。南海トラフですと、いわゆる南海地震と東海地震が有名です。それがいつ起こったかは、西暦684年にまで遡って、日本の色々な貴族の日記とかに出てくるものを整理することによって、こういう間隔で起こってきた、最後は1946年であるということが分かっています。例えば、遺跡などを見れば、これは、いわゆる液状化と言われるものですが、地震が起きて強い揺れによって地面を引き裂いて、下の泥水が噴き出した跡が、遺跡にはこうやって見えます。そういうものも、この赤の印で示しましたけれども、そういうものを整理することによって、日本の場合は千数百年にわたる南海地震の記録が分かっています。これに対して津波はどうなっているかと、ということでこれは浜名湖の例です。ここが今切口です。こちら辺の調査をしました。海があって海岸があってここに、ちょっと砂丘があって、砂丘の裏がまた湿地になっています。これを乗り越えた津波があれば、それが地層に残る可能性があるのも、また例によって掘るわけです。これは4メートルちょっとのコアですが、ここから下は海岸の砂で、ここから上の茶色っぽい部分が、まさにこういう砂丘の裏の湿地で堆積した地層です。この中に点々と、色が薄く見えてますが、砂の層や粘土の層があります。これを、年代を測定しました。このコアの素晴らしいところは1498年から1854年までの全部の津波が分かるんです。更に、詳しく調べると、この辺りでは1680年と1699年にすごい高潮があって被害が出た、と書いてある古文書があるんですが、ちゃんとその堆積物も、コアで1605年と1707年の間に見られます。津波と高潮がまとめて見られるという、恐らく日本で最高のコアですね。更に、この部分を切り出してみると、これは下の茶色い湿地の堆積物に、まず黒い砂が溜まって、次に白い粘土が溜まって、次に白い砂が溜まっているのが分かります。これは、湿地に

流れ込んできた黒いのは海岸の海砂です。白いのは、その津波がわーっと低地に満ちて滞留した時に溜まった粘土です。一番上の白い砂は、この低地の裏山に分布しているのと同じです。これは波が帰っていく時に、山の麓を削って持ってきたんですね。津波が入ってきて、澱んで、帰った。つまり、押し波と引き波のセットが全部見えるというのは、なかなか、珍しい例です。そのような例を集めていって、日本のどこで、そういう堆積物があるか、そしてその年代はいつなんだ、というのを整理したのがこの絵です。これは、過去 1300 年、つまり歴史記録にあるものだけを示しました。この横棒で書いてあるところで、歴史上の津波が、東海地震ないし南海地震が起こった、とされています。それに対応して、縦の棒で書いてあるのは、年代のエラーバーが入っていますが、津波堆積物がいつ堆積したか、というのを書いています。歴史津波のうち半分ぐらいしか見つかっていない。まだまだ、これから研究が必要だということを言っています。この場合は、歴史記録に地層の記録が負けている例ですけども、今、上の半分だけお見せしましたが、次に、地層の記録を 9 千年、1 万年前まで並べたらどうなるか。そうすると、歴史記録の場合は、過去千数百年前くらいしかないんですが、地層の場合は、その数倍の長さにわたって、特に関東の場合は、私の論文が主ですが、だいたい、150 年から 400 年に 1 回ぐらい津波の可能性のある堆積物があって、その履歴を 9 千年ぐらい前までにわたって、復元しつつある。この辺が抜けているので、こういうデータを埋めていくことによって、更に長い間にわたるたくさんの過去の地震の記録を読み出すことができれば、それを使った確率論的な将来の発生予測もだんだん精度が上がるだろうと、そういう風に考えています。

それから、津波の規模ですが、例えば北海道であれば、こういう湿地がたくさんあって、黒い有機物の溜まった地層の中に、こういう白い津波堆積物の層が、繰り返し見られます。これも、北海道大学とか産業技術総合研究所のグループがずっとやってきた仕事で、こういう道東地域では、先ほどのような砂の層が、過去 6 千数百年の間に、少なくとも 15 枚ある。しかも、かなり規則正しく、300 年から 500 年の間隔で、15 回起きている、ということも分かっています。更に、これから重要なことは、これは根室ですが、歴史上は知られていない巨大な津波があることが分かっています。これが 1952

年、十勝沖地震でマグニチュード 8.2 ですが、その時の津波が、低地に侵入した範囲はこれぐらい、せいぜい 1 キロ弱しかないんですけども、先ほどのような津波の砂がどこまで内陸部まで広がっているかを、ずーっと細かく調べていくと、4 キロぐらい遡上してるものがある。つまり 20 世紀の津波よりも数倍も内陸奥深く遡上する津波が来た、ということが分かります。そういう非常に大きな津波を起こすためには、海溝でどういふ部分がその地震を起こせばいいか、というようなシミュレーションが、今は可能になっていまして、だいたい十勝沖から根室沖ぐらいまでの、300 キロぐらいの範囲が同時に破壊すれば、そういう津波を起こし得ると考えられています。一方で、先ほどの十勝沖地震の震源はこの部分。それに比べて津波堆積物から考えられる巨大津波の震源はこんなに大きいということも分かってきました。

それで、将来の災害に備えるということで、これは徳島県の例ですね。津波から逃げる、これ標高十数メートルの丘の上に、避難所が作ってあって、コンクリートの立派な建物で中に貯蔵庫とか、住むだけじゃなくて、食べ物をしまう所もいっぱいあるんですが、こういうものを作っています。津波が来たら、皆でここに走って逃げる、というようなことを啓蒙しているわけです。いずれにしても、こういうものを作っても、地域の人達がなかなか津波は来ないから、もう行かなくていいんじゃないか、と言い出すとまずいわけです。やはり常に、こういうことを忘れないように、継続、持続をするということが大事なわけです。そのためには、自分達が住んでいる場所が、いったいどういう履歴の場所なんだと、どういうリスクと共に生活しているのか、ということのを正しく理解をして、災害が無い時に準備をしておくということが、大事だという風に思っています。

時間がないのでちょっとこれはパスしますが、( 続けてください先生 ) え、後でじゃあ質問の時間に出します。これは、ほんとに後にします、これシミュレーションなので、ちょっとソフト切り替えますので、今は色々な津波のシミュレーションが、例えば、いろんな条件の下にできるようにになりました。津波の場合は、問題は、台風の波と違って、非常に波長が長いということが特徴になります。台風とかの中継を、よく海岸の中継をご覧になると思いますが、例えば波高が数メートルもあるような波が、海岸に押し寄せても、せいぜい数秒で、

ばしゃっと来たらすぐ引きますよね。陸地の奥までは遡上してこない。それは波長が短いからで、せいぜい数百メートルしかないからです。一方で津波は、波長が百キロにもなる。これは別の絵で、ボアですけども、津波ってこういうもので、ここに、波のフロントがあって、この波の向こうも同じ高さなんですずっと。この高い水の壁が、何キロ、何十キロと向こうからやってくるわけですし、だから、波長が長くて、ということは周期が長いので、その分だけ陸に、ずーっと入って来られるわけです。だから、そんなに大きな津波じゃなくても、浸水してしまう、それが台風との違いだということです。

もうやめますが、津波は、例えばチリ津波のように、太平洋の反対側で起こっても、今のように波長が長いので、物理的に言うと減衰しにくいので、太平洋を渡って日本まで22時間ぐらいで到達するわけです。1960年のチリ津波では、例えば、岩手県の宮古市では、これ見えますかね、ここまで来た。自販機、当時自販機はなかったのですが、自販機より高いところまで浸水したことが分かっています。なので、これに備えるために、三陸では、こういう締め切り堤防を作って、この向こうが港で、こっちが集落なんですけども、こういう風集落を全部囲ってしまって、津波に備えているということをしています。すみません、ちょっと長引きました、以上です。(拍手)

(司会) 藤原先生、大変興味深い話をありがとうございました。お時間は、まだ充分ございます。色々質問もあるかと思いますが、その中で、お話が足りなかったところなどを補足していただければと思います。私としては、同じ穴掘り系の仕事をしておりますが、アバウトにしか見ていないと、全然何も捉えられませんが、先生のような精緻な目を持つと、ちゃんと見えてくるということで、見る目が必要であるということを改めて痛感致しました。フロアのほうから何か、ご質問ありましたら、どんなことでも結構ですので、この機会に、是非お願い致しますと思いますが、如何でございましょうか。

先ほどですね、いろんなところで、津波があったという、こう地図に、丸が付いているのがあったんですけども、例えばああいうことやった場合、過去数百年間で、津波が来たところっていうのは、どのくらいの確率で見つけられるんですか、つまり、どの程度の統計的な

精度があるかっていうことですね。

(藤原先生) はい。そうですね、これまでの短い経験から言うと、掘った穴のうち、津波堆積物が見つかる割合は、まあイチローの打率には敵うまいという感じでしょうか(笑)(会場笑)と、言いますのは、日本の場合、歴史記録があってそれとの照合ができるので、異常な地層が見つければ、それと歴史津波との検証は可能です。逆に、人が暮らしていた場所は、ものすごく耕してあるんですよ、日本の海岸筋って。特に東海道沿岸って、まあ間違いなく過去千年分くらいは耕してありまして津波堆積物は失われています。それで、田圃にもならなかったような悪地であった場所を探し出して、そこで穴を掘って津波堆積物探すことになります。ですから掘って見たら、全部人工物だったという事も何度かありました。

(司会) よろしいでしょうか。他に、如何でございましょうか。

(質問者) 非常に、興味深いお話をありがとうございます。最後に、波長が数百キロメートルという話が出まして、その波長っていうのをどういう風に定義するのか非常に、興味深いんですけども。というのは、波速っていうか、その、周期的な波じゃなくてなんかこう、波の波速みたいな気がするんですけど、その、やはりちゃんと、なんか sin 波みたいな波が来ていると考えていいんでしょうか。

(藤原先生) 物理の方が多いので、私が言うのと間違っていたらまずいんですが、数百キロじゃなくて、まあ数キロから数十キロぐらいあります。それは津波がどうして起きるかということに関係していて、海底で地震が起きて、海底が、こうずれます。そのずれが海面に伝わったものが、物理の言い方でいうと、初期波形なんですね。したがって、震源に相当するだけの、元の形があるわけです。だから、震源は、海溝に沿って、数百キロ伸びているし、そこから、変形する範囲も、十キロとか数十キロに及ぶわけだから、元々の、起きた波のこう、sin 波を書いた時の山から山までが数十キロあるはずなので、それだけ波長があります。

あと、流れた方向が分かるという、話だったんですけども、一見みるとその、縞模様とか或いはその中に含まれている石の形とか、で判断するんだと思うんですけど、具体的に流れる方向が何で分かるのか、ってちょっと不思議なので、教えていただけますでしょうか。

それは堆積学の講義やったほうがいいですか(笑)。(会場笑)それは冗談で、まあ、世の中にはそういう、どっちからどっちに流れたか分かる堆積構造があるんです。例えば、砂丘がありますよね。砂丘って形がこうそれこそサインカーブのようになっていますけど、非対称じゃないですか。片方が急で片方が緩いですよ。だから、瓦を重ねたような形になっています。それで、斜面が急な方向が下流側なんですよ。或いはさっきのように石とかがあれば、瓦を積んだようにどっちに並んでいるかっていうのを見れば、水がどっちからぶつかったらこの形になる、っていうのが分かっているので、そういうのを応用するわけです。

それはあの、一目見てすぐ、慣れればすぐ分かる、という。

(藤原先生) 私が教育すればできます。(会場笑)

(質問者) あ、そうですか(笑)。

(司会) 私の経験ではかなり、時間がかかると思いますが(笑)。

(質問者) あとあの、もうひとつ質問したいんですけど、年代測定ということがありました。これ炭素14年代測定法だと思いますけれども、これは、貝殻の炭素を使っていると考えていいですか。

(藤原先生) 貝殻の場合もありますし、例えば植物とか炭化物の場合もあります。

(質問者) 年代のエラーバーが、短いのと長いのと色々あったと思いますけど、それはどういう風な事情でそういう風な、誤差が違ってくるのでしょうか。

(藤原先生) ひとつは、年代値そのものの幅があるから

ですね。例えば千年前の地層を測った場合に、どんなに頑張っても1で20年ぐらい誤差出ますから、それがひとつはある。それから、もうひとつは、何て言うかな、地層から例えば年代測るとしますよね。例えば、ここの中に入っているものを測れば、完璧です。だけど、なかなかそうはいかなくて、この辺からとか、この辺から採って、上下で挟み撃ちをせざるを得ない場合が多いんです。だからサンプルも、例えば、ここに這っていたカプトムシの化石があったら、生きていた時代がはっきりしているので試料として完璧ですが、ここに木が挟まっていたり、それは何十年か前に枯れたものが、津波で巻き込まれたかも知れませんよね。そういう難しさもあるので、一年生の植物の種を探すと、葉っぱを探すとかっていうように頑張っていますが、そういう不確実性もありますので、エラーが出ます。

(司会) 他には如何でございましょうか。ちょっと手が挙がりました。

(質問者) 先ほど、地層の構造等を見る時に、目でトレースをされるという風に仰ったと思うんですが、これは画像解析だとか、成分解析等をするのではなく、目視でやられるということについて、これはやっぱり人間の直感というか目視でないとは解析は難しい、ということなんですか。

(藤原先生) うーん、端的に言うと、そうですね。今の技術であれば恐らく自動認識すると思うんですけども、やっぱりうまくいった例を見たことがないですね、これまで。まさにその客観性があるって、誰がやってもこれは右から左に流れているよね、っていう、言えるものはそうは無くってですね、やっぱり色々な、さっき言ったように、これは津波が流れた跡だとか、いろんな構造をある意味、頭の中で絵合わせをしているから読める、ってのも事実あるんですよ。何も考えずに見れば、ただの線にしか見えないので、自動認識されてしまうと、その、何て言うかな、粒子が色々な不均一な粒子でできている構造なので、恐らくうまく認識しないと思うんですよ。全く同じサイズの粒子でできていれば線として認識するでしょうけど、途中で切れ目があったり色々あるので、それはやっぱりまだ人間じゃないとできないですね。

(質問者) 私、ビジョンの研究をしているので(笑)非常に興味深く聞かせていただきました。ありがとうございました。

(司会) 他に、如何でございますか。先生、シミュレーションも、折角の機会ですので見せていただくと嬉しいんですけども。

(藤原先生) 例えばですね、これ、東南海地震と南海地震の同時発生を想定した場合ですね。もう1回繰り返しますね。このように、海岸に来るまでの時間と、来た時の高さっていうのは一応計算はできるんですね。これは海底の地形と海岸の地形と、元の波源がどこにあるかっていうのを条件にしているからできるんですね。これはもう止めますが、ところがですね、じゃあ、これ本当なんですか、という話になるわけです。計算上はなんでも作れるんで、はっきり言って。(会場笑)これは色々な歴史記録から考えて、この場合は、1枚2枚3枚4枚5枚、断層があることにして、その時のそれぞれの断層がどちらに向いていて、何メートル食い違う、っていう条件を与えているんです。それで海底の地形図を入れて、海岸の地形を入れて波がどういう風に反射するっていうのを全部物理で解いてあるわけです。だけど、断層を減らすこともできるし、増やすこともできるし、滑り量を増やすこともできるんですね。それと、先ほどの例えば地層で見ると、最低限ここまでは波が来たよと、ここは最低限、何メートルの波の高さがあった

よ、っていうことを与えることによって、どの条件が一番もっともらしいか、って探していく。まあシミュレーションの定石なんでしょうけど。なので、今日お話しした仕事は、シミュレーションなどとも連携して断層モデルを考えて、更にこの結果どんな災害が起きるか、ということの予測と評価を通して社会に出ていくわけです。けれども、それを考えるためには、地層の中にどういう記録があって、それはどんな大きさの津波であったか、ということをもっと知りたい、というようなことでやっているわけです。だから、これ見れば、少なくともこれはかなり正しいと言われているもので、やっぱり四国南端が一番高くなるんですね、それで十数分で来るわけです。あと、紀伊半島の一部とか、ものすごく波が高いんですね。それは歴史資料によく合っているわけです。逆にいうと、こういう図で見えておいて、波が高いんだからここに行けば津波の痕跡があるんじゃないの、っていう調査に行く場合もあります。

(司会) どうもありがとうございました、色々お話は尽きないかと思います。ご質問もまだあったかも知れませんが、お休み時間とか、懇親会の会場などでも是非、積極的に藤原先生とお話いただければと思います。先生、ほんとうに興味深いお話をありがとうございました。

ありがとうございました。(拍手)

# 地層から読み解く過去の地震と津波

産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

藤原 治

## 低頻度巨大災害に備える

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



### 今日の話題

1. 低頻度巨大災害とは
2. 色々な津波堆積物
3. いつ起こったか(再来間隔)
4. 津波規模の推定(波高と浸水範囲)
5. 将来の災害に備える

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# 低頻度巨大災害(巨大地震や津波)

稀にしか起こらないが、  
ひとたび起こると過去に経験のない大災害となる



元活断層RC鎌滝孝信博士による

2004スマトラ沖地震・津波; 2005年パキスタン地震;  
2005年ハリケーン・カトリナ など・・・

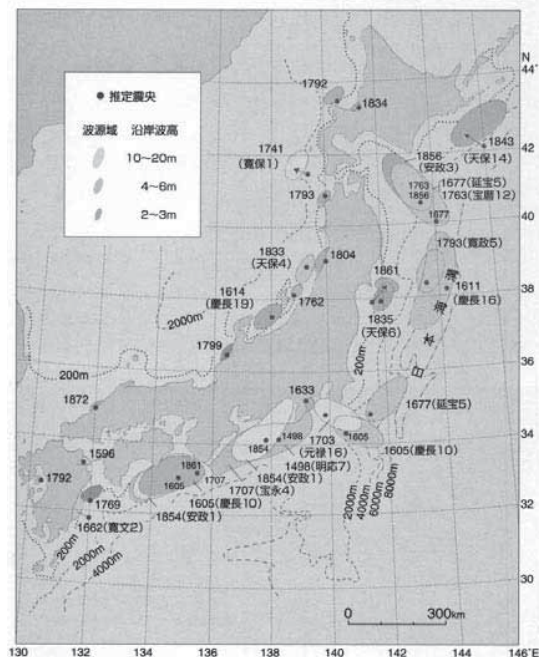
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

## 日本で海溝型地震や津波が重要なわけ

プレート沈み込み境界に  
面した長い海岸線

沿岸部に人口と産業が集中

推定された津波の波源分布  
(1498-1872年; 羽鳥, 1981)



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)





# 世代を超えた知識の伝承

## 最低限の備え

過去に起こった現象について調べ、  
それに基づいた対策をする。

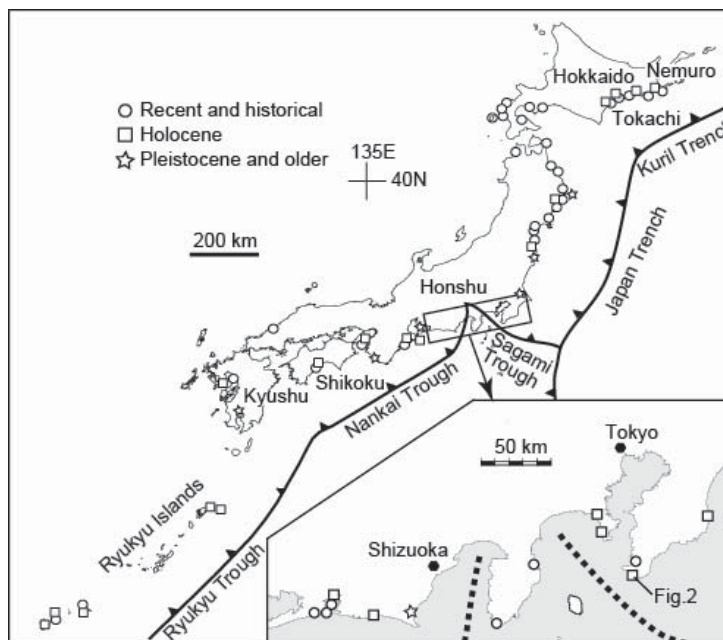
将来発生する災害を仮想的に体験  
より具体的な対策が考えられる。

小山(2009)から抜粋



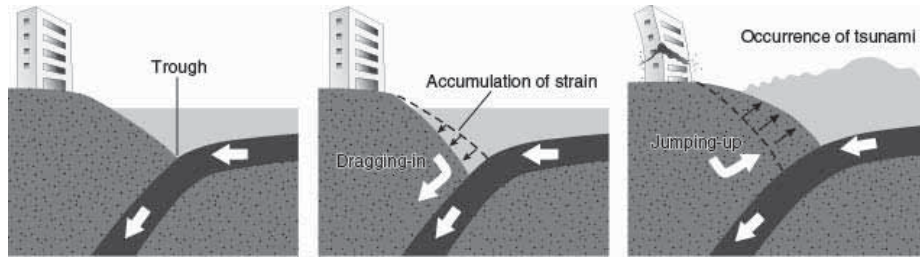
より長い歴史を知るには、地層や地形の研究が必要

# 色々な津波堆積物



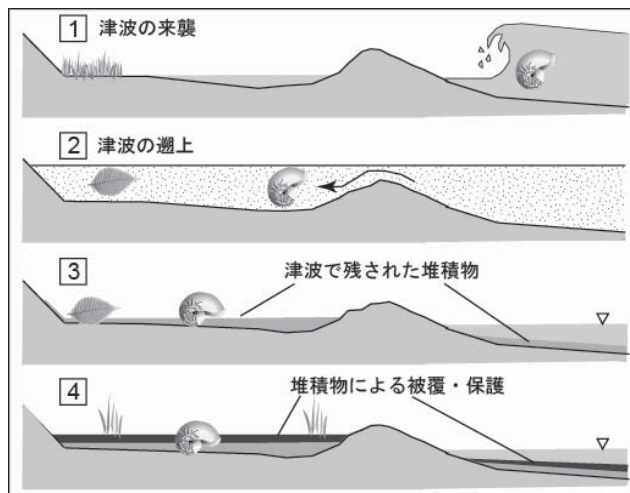
Fujiwara (2007)

# 津波と津波堆積物の形成



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

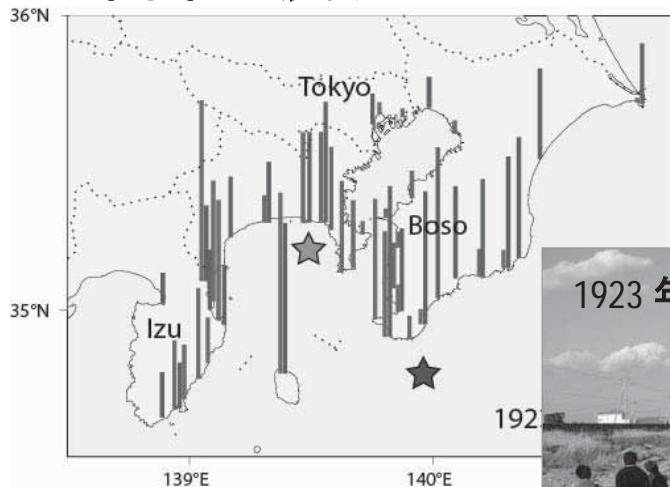
## 津波堆積物の形成



2004.12 インド洋大津波による堆積物  
(インドネシア アチェ州)  
鎌滝孝信博士による

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# 関東地震(1703 & 1923)の津波堆積物



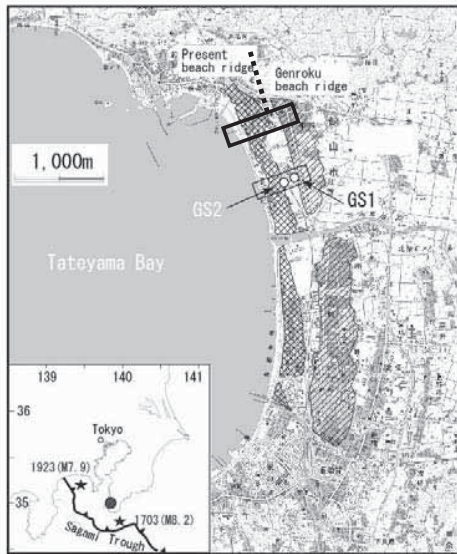
関東地震の最大波高

データは渡辺(1998)による



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

## 津波堆積物を掘る！！



藤原ほか(2006)

長さ 4 m, 幅 0.35 m, 厚さ 0.1 m の連続試料.

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

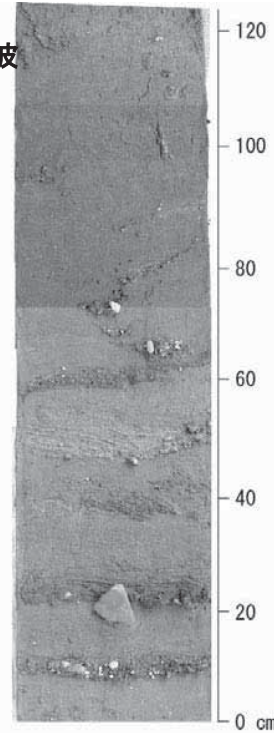
# 剥ぎ取り試料の作成



1923津波

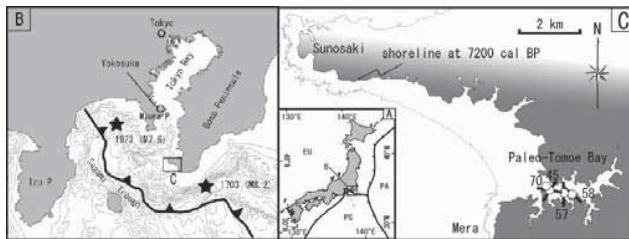


1703津波



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# 縄文時代の内湾に堆積した津波堆積物



★ Epicenters of the Kanto Earthquake  
 45 Location, direction and number of outcrops

EU: Eurasia  
 PS: Philipp

約7500年前,  
 水深10m前後  
 の内湾



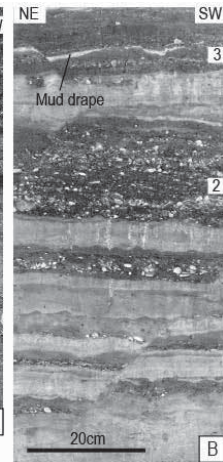
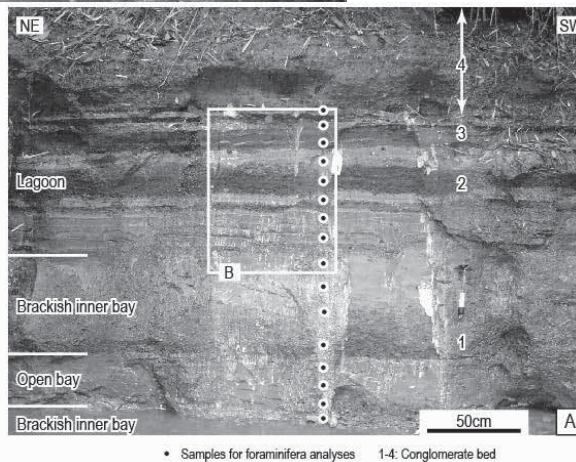
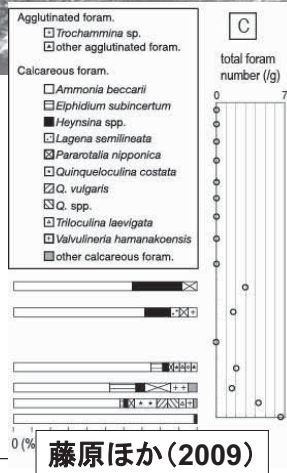
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



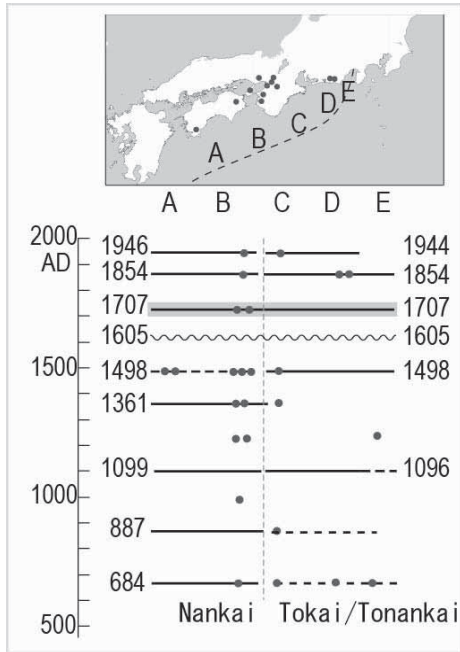
## 縄文時代の河口 干潟周辺で堆積



• Samples for foraminifera analyses 1-4: Conglomerate bed

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# いつ起こったか(再来間隔)

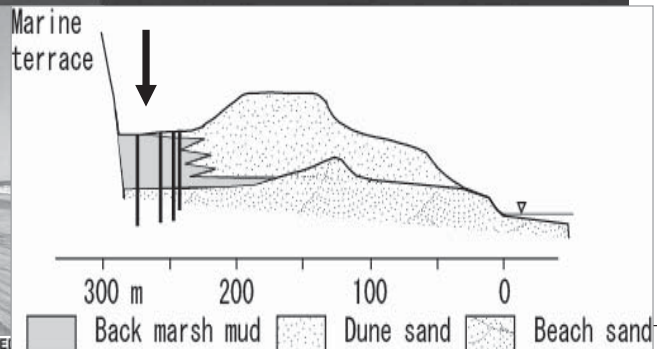


(石橋, 1999; 寒川, 2001)

東海・東南海地震と南海地震

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# 南海トラフの津波堆積物



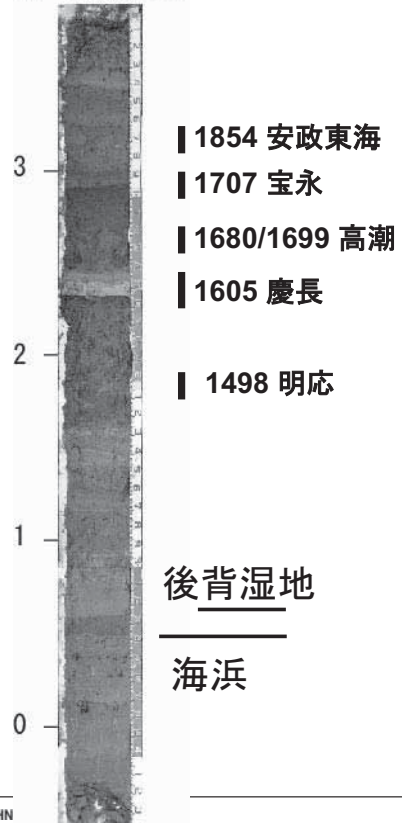
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCE

# 砂丘の後背湿地に堆積した津波堆積物

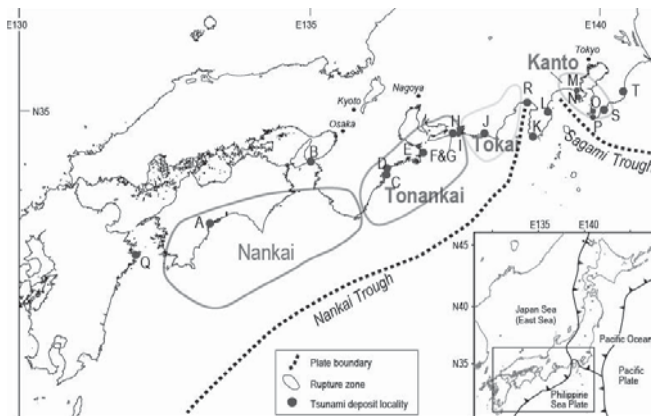


藤原ほか (2006), Komatsubara, Fujiwara et al. (2008)

4m-Elevation

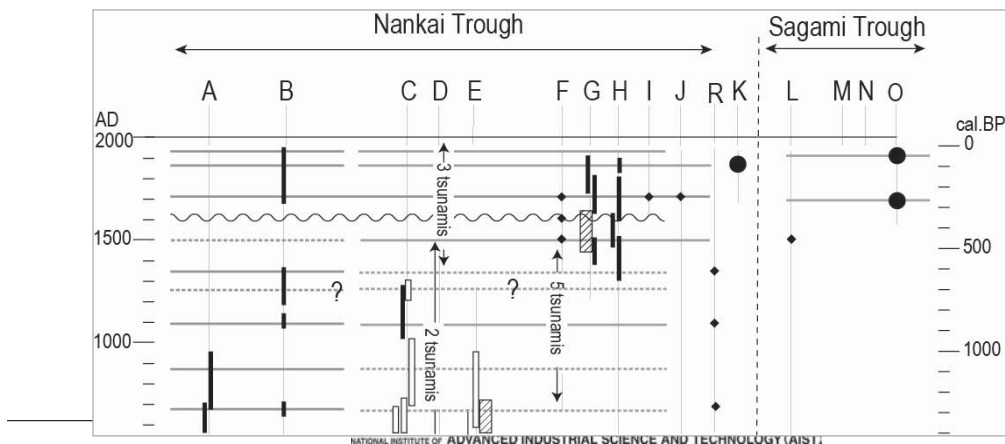


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIIST)

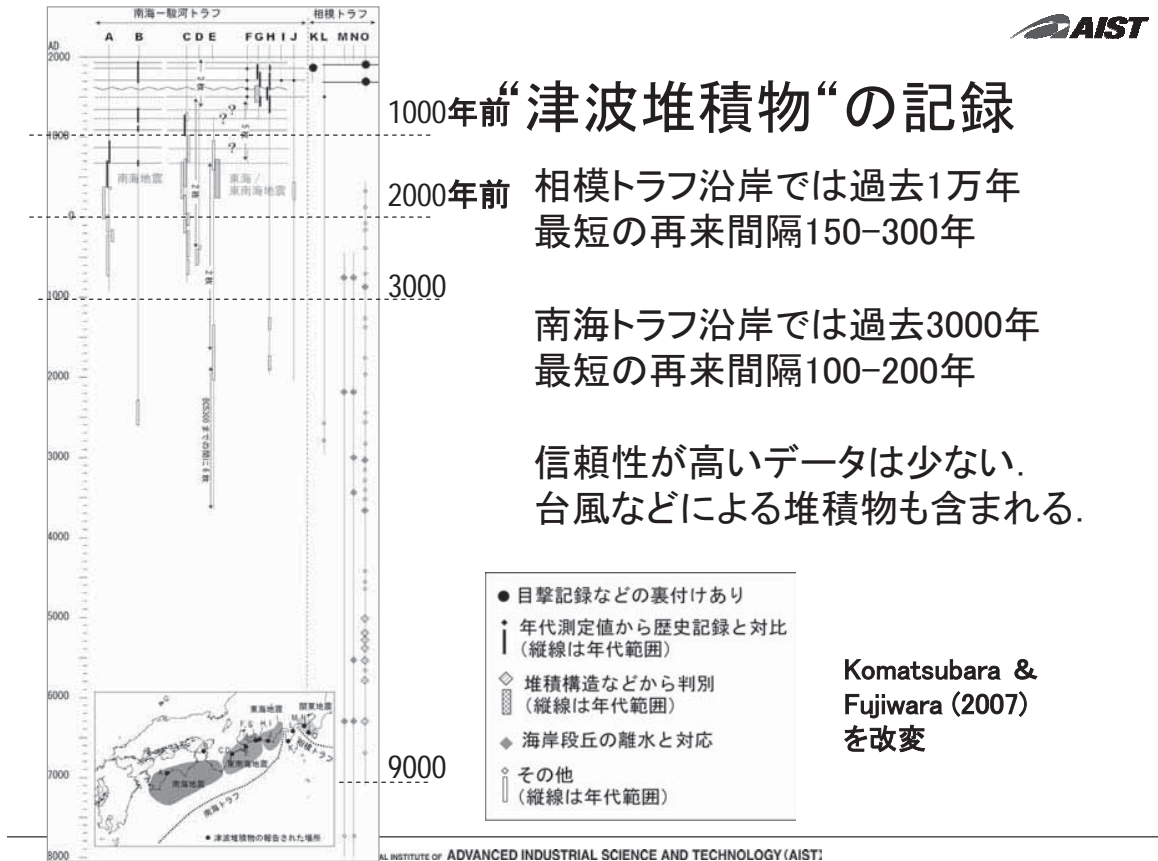


## 歴史時代の津波

Komatsubara & Fujiwara (2007) を改変



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIIST)



## 500年前後の間隔：最近では17世紀初頭

十勝地域の津波			根室地域の津波		
	発生時期 (cal.B.P.)	再来間隔 (年)		発生時期 (cal.B.P.)	
津波1	17世紀初頭		津波1		
津波2	12~13世紀	400~500	津波2		
津波3	9世紀	300~400	津波3		
津波4	1630-(4世紀?)	500	津波4	1430+	
津波5	AD/BC?	(300+)	津波5	?	
津波6	2590-	(500+)	津波6	1930+	
津波7	2870~2920	300+	津波7, 8	?	
津波8	3220~3460	400+	津波9	2440+	
津波9	3690~3720	400	津波10		
津波10	4200+	500+	津波11		
津波11	4580	300~350	津波12	3340+	
津波12	4860+	300	津波13		
津波13	5000-	100	津波14	3830+	
津波14	5640+	>600	津波15	4300+	
津波15	6370-	600	津波16	4700+	
			津波17	4930+	
			津波18	4980+	
				?	

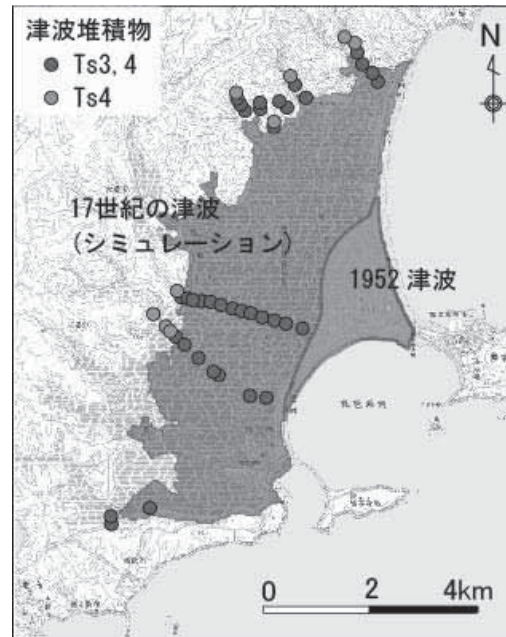
平川ほか (2005)



## 内陸奥深くまで最大4 km近くも遡上

大きな津波ほど内陸深くまで遡上

20世紀に発生したM8クラスの地震に比べ桁違いに大きな津波



Nanayama et al.(2003, Nature)  
佐竹ほか(2003)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

## 将来の災害に備える

防災意識や対策を風化させないように、意識を持続・継承する努力が大事

自分たちの住む地域について、災害のリスクを正しく理解し、

平穏時からそれを意識した生活をする



小山(2009)から抜粋

徳島県南陽町

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

# 津波は波ではなく、洪水

Tsunamis are often no taller than normal wind waves, but they are much more dangerous.

Wind waves come and go without flooding higher areas.

Water flows in a circle.

Tsunamis run quickly over the land as a wall of water.

Water flows straight.

Even a tsunami that looks small can be dangerous!

Any time you feel a large earthquake, or see a disturbance in the ocean that might be a tsunami, head to high ground or inland.

[www.laeremidler.dk/materialer/tsunami/tsunami.htm](http://www.laeremidler.dk/materialer/tsunami/tsunami.htm)

波長が長いので内陸奥深くまで遡上する

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

## 1960年チリ津波



水位の記録(岩手県宮古市)



津波から町を守る防潮堤  
(岩手県山田町)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)





団まりな(だん まりな)  
階層生物学研究所責任研究員

京都大学大学院理学研究科博士課程修了。  
大阪市立大学理学部助手、同大学教授を経て退官後現職。

(司会) 倉石 立(くらし りつ)  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員  
日吉生物学教室、文学部准教授

## 講演 2 「総合の時代と帰納的思考」

(司会) 引き続きまして次の講演のほうに移りたいと思います。

それでは、2 番目の講演に移らせていただきます。階層生物学研究所責任研究員の団まりな先生です。私は座長を務めさせていただきます、自然科学研究教育センター所員の倉石と申します。団先生ですが、長く大阪市立大にいらっしやいまして、2000 年に、大阪市立大を辞された後、階層生物学研究所の責任研究員として、これまでより広い視野に立って研究を続けておられます。今日は、「総合の時代と帰納的思考」というタイトルでお話いただきます、よろしくお願ひします。

(団先生) ご紹介どうもありがとうございました。今日は、開所おめでとうございます。また、このような晴れの場にお招きいただきましてありがとうございます。

さて、私はたぶん、このシンポジウムでは生物を受け持つ役割をいただいているのだと思いますが、実は今日の私の話には人間以外生物が出てきません。これからお話しすることは、むしろ先ほど青木先生が云われた、この研究センターの視野の広さ、立てておられる問題や、束ねようとしている人間の巾の広さに関係して、それをどのように遂行したらいいか、ということに繋がるのではないかと思います。

生物学をはじめとして、現在は学問が細分化しすぎて

しまつて、特に生物学のように、元々非常に複雑な現象を扱うのに、自然科学はあまり上手ではありません。現在、生物学分野では、分子生物学や遺伝子がすごくもてはやされていますが、ここで扱われている遺伝子や分子というものは、まだ生物ではないんです。生物を作っている化学物質ではあるけれど、それら自身は生きてはいません。ごく最近では、iPS 万能細胞などの分野で細胞の性質が直接、話題に上るようなことが少しずつ増えてきていますけれど、全体にはまだまだ細胞をどう扱っていいかわからない、という状況です。今求められていることは、分子や遺伝子などに関して得られた知見を、どのように生きた生物の理解に取りこんでいくかということなのですが、それが難しくどこから取り付いていいかわからないのです。この状況は自然科学全体の状況でもあると思うので、今日は、こうした総合の問題をどうしたらいいのかという観点から、帰納的思考ということをご提案してみたいと思います。

帰納的思考法とは、自然科学、特に生物学ではあまり聞かない思考法ですが、実はこれは、人間が普通に使っている考え方であつて、当然、自然科学者も普通に使っています。しかし、最近では、分析的思考法だけが科学的な思考法であるかのような思い違いが根付いてしまつていて、帰納的思考法が忘れられてしまつている状況といえます。帰納的思考法と演繹的思考法をもう一度思い出して、物を考える態度を、きちんと意識化する必要が

あると思います。

それで、このシンポジウムは「自然科学の多様性と楽しさ」について話す筈なのですが、始めにあまり楽しくない現象をたくさん見ていただき、その後そういう現象を扱う上での帰納的思考法の大切さを考えて行きます。帰納的思考法の説明には、非常に面白い、しかしあまり生物学的でも自然科学的でもないモデルがありますので、それをご紹介したいと思います。

まずしばらくは、世界の現状を見て行きたいと思います。このスライド(2)には、現代の地震・雷・火事・おやじが見えています。おやじのところはちょっと卑近にすぎるので戦争に代えてありますが、最近、こういう現象がなんとなく、昔より大規模化して頻発しているのではないだろうか、という不安が迫ってきているように感じられます。次のスライド(3)は、洪水、砂漠化、大気汚染、アトピーを示していますが、これらの現象もけっして珍しくなく、日常的にニュースで報じられています。次のスライド(4)は、飢餓、そして戦争やグローバリゼーションによる経済破綻です。このような悲惨な状況がある一方で、この左下の写真のように何も生産せずに、のうのうと煙草でも吸いながらお金を儲けている人がいる。次のスライド(5)は、放射線の被曝です。チェルノブイリ原発の爆発事故による子供たちの甲状腺ガン。そして、湾岸戦争の時にイラクの砂漠に撒かれた劣化ウラン弾に被曝したイラクの子供たちの惨状。

私は、この劣化ウラン弾には大変びっくりしました。ごく最近、ある講演を聞くまでは、私は劣化ウラン弾の存在を聞いたことがなかったんです。私だけが無知だったのかも知れませんが、それにしても日本のマスコミはどうなっているんでしょうか？劣化ウランとは原発から出るゴミだと思っただけですが、それが「砂漠の壁」といわれる作戦でイラクの砂漠に投下され、周辺の住民と子供達とアメリカ陸軍の兵士たちの上に降りそそいだのです。別の記録映画によると、アメリカの路上生活者の1/3が退役軍人であり、この中に非常に多くの劣化ウラン弾による被爆者がふくまれているのだそうです。なんということでしょう。人類はまだこんなもの落として、新たな被爆者を作っているのです。

次のスライド(6)の左上は、森林伐採です。私はこれにもびっくりしたんですが、タイ国の国境付近を人工衛星から見ると、温帯雨林の青々とした中に、タイの国境がきれいに見えています。日本に輸出するラワン

を切り出した結果で、この写真のように非常に大きな地域が丸坊主になってしまっています。右下2枚はアメリカです。砂漠で地下水を汲み上げて、1日に何時間と散布することで、麦などの農産物を作っている。このような灌漑に対し、右上の写真の日本の灌漑は自然と折り合っていて、おそらく許される範囲なのではないかと思えます。左下の写真は化石燃料の掘削です。こちらはもう世界中で見つけ次第ががん掘り出しています。こういった地下からの汲み上げが地盤沈下を引き起こし、その歪みが思わぬところに伝わり、最近起こっている大きな地震の遠因になっていると推測されています。次は(スライド7)大気汚染です。これはもう、我々が生活の隅々で日常的にやっていることです。このような人工的な物質が、アトピーやさまざまな疾患の原因、また食べ物の汚染を引き起こしています。

私たちの生活がもたらすこのような多くの不都合に対抗する、自然科学からの努力も積み重ねられています。炭酸ガスの排出をなくすための太陽光発電やソーラーカー(スライド8)、それから排出されてしまった炭酸ガスをどんどん吸収して、地下に送って埋めこんでしまうCO<sub>2</sub> ツリー。このように大気汚染や地球温暖化に対抗し、打ち消していく努力がなされます。また、ペットボトルやアルミの缶のリサイクル(スライド9)というようなことでも、私たちは、次の世代に害が及ばないように、一生懸命努力をしています。また、医療の方面でも、移植医療、生殖医療、再生医療などの高度な技術が開発され(スライド10)、さらに、右上の図のような感覚のある義手とか、スポーツ選手が足のあるかのように走れる義足など、非常に素晴らしい補助器具も開発されています。

スライド11にここまでにお話した問題点の一部を集めてみました。人類にとって一刻をあらそうこれだけの問題の、どこから手をつければ良いのでしょうか。現在、飢えに瀕している子供が2億人いると推測されていますが、全ての人が食べられるようにするにはどうしたら良いのか。そのためにはどうしても畑を増やし、灌漑をしなければなりません。しかし、そうすると砂漠化が起こる、という風に、どこからどう手をつけたら、地球を守り、自分達もその上で安全に暮らしていけるのか。それからこの左下隅の問題です。世界のいたるところに経済的に困っている人がいる時に、どうして何もしないのにお金がいっぱい儲かる人がいるのでしょうか。この

ように山積する問題を前に、どこから手を付けたら良いのか分らない、という状況に、今たち人類は置かれています。幾つかのスライドでお見せしたように、多くの問題に対して個別の努力がされてはいますが、個々の問題解決のための条件が絡み合ってしまうと、簡単には行きません。地球上のさまざまな現象がみな、どこかで絡み合っているために、あるところで良かれと考えてやったことが、別のところで不都合な影響を及ぼすということがおこり、何をどうするのが正しいのか考えぬくことができません。

このような状況をなんとか切り抜けるためには、今迄のやり方と違う、何か新しいやり方を取り入れていかなければなりません。そのやり方はどのようなものかということ、スライド12に幾つか集めてみました。そのやり方とは、例えば、地球を作っている物質や人間の性質に即していなければなりません。また、他の条件とバッティングしない、他の条件ともうまく折り合うような策でなければなりません。さらに、他の条件を使えない時にそれを補完できるような策も有効でしょう。そして、こちらがうまく行っていると思ったら、実はとんでもないところから矛盾が噴きだしているというようなことが起こらない策であることも大事です。このように、何をやるにしても、他のものに思いを致して、それら全てを同時に考えていかなければならないという、非常にややこしい立場に立たされているのです。

このように、総合的にものを考えていくためには、帰納的な思考が有効とかがえられます。“帰納的”ということの説明しましょう。現代の自然科学で主として用いられている考え方は、演繹的方法と言います。演繹的方法とは、三段論法と言われるもので、まず一般的、普遍的なある前提を置いて、これに照らして $A = B$ であり、 $B = C$ ならば、 $C$ は $B$ であるという風に、決めていくやり方です。それに対して帰納的方法というのは、いろいろなものを比較して共通点を見つけ、そこから一般性を見つけて行くやり方です。帰納的思考というのは、どっちかという法則を見つけていくための考え方であり、演繹的思考は、ある法則に着目の現象が当てはまるかどうかを検証する考え方です。

例えば、万有引力に例をとると、まず、いろいろな物が落ちるということに気づきます。これはどういうことだ、なんで物は落ちるんだろうという疑問から出発して、もしかして、大きな地球が小さいものを自分に引き

付けていんじゃないだろうかというような発想に到達します。次に、もしそうであるならと誰かがいろいろと測定し、式を立てて万有引力の法則というものを考え出します。ここまでが帰納的な思考です。次に、ロケットを飛ばしたいということになると、もし万有引力の法則が正しいとしたら、この重さのものを、この大きさの地球から弾き出すにはどれだけのエネルギーを使い、どういう風にして、どれだけの初速を与えれば良いのか、という計算をします。現代の自然科学は、このような演繹的思考を用いて、ピンポイントで、ロケットをある軌道に乗せるとか、ロケット同士をドッキングさせるようなことができるようになっています。

この2つの方法を使うとどんな結果が得られるのか、比べてみましょう(スライド13)。演繹的方法では前提を置きますから、その前提が正しければ必然的に正しい結論が得られます。これに対して、帰納的方法では、蓋然的に正しい答えしかえられません。この2つの考え方の難点を比べましょう。演繹的方法でもし前提が間違っていると、必然的に導き出された結論が間違ってしまう。でも、この方法を使う人は前提が正しいと信じているわけですから、そこから導かれた結論も正しいと思ってしまう。従って、演繹的方法を使う場合は、この点に気を付けなくてははいけません。次に、帰納的方法の問題点は、幾つかの現象が似ているなどという直感を得ても、そこから正しい法則を発見するためには、膨大な知識や知恵や想像力や直感力などを総動員しなければならぬことです。例えばダーウィンが「すべての生物は同じ祖先から派生してきたのではないだろうか」ということを思いつくためには、非常に多くの生物を、とにかく細かく見て、彼の全知識、知恵、エネルギーを注がなければならぬませんでした。

さて、この自然科学研究教育センターも理系のセンターですが、理系の分野では、驚いたことに、演繹的思考法は、記号論理学によって記述できる論法のことを指すようになっているのだそうです。つまり、記号論理学というと数学に近いものですね。数学では、ある抽象的な法則を立てて、そこから何らかの結論を導き出していきます。つまり、最近の自然科学の分野では、自然現象と合致するとかしないとかということを度外視して、ある前提からある結論を導き出す方法を指すということです。このように数学と他の自然科学を重ねて考えてしまうと、前提の正しさが保障されるような雰囲気が出て

きます。生物学の分野などでは、現象の複雑さゆえに、正しい前提を立てることそのものにある種のリスクがともないますから、逆に、なるべく必然的な答えが期待できるような前提を立てなければならないというバイアスがかかり、学問のスケールを小さくさせる効果を生んでいるのではないかと思います。次に、帰納的思考法が自然科学でどのような位置づけになっているかという、演繹的思考法のように有無を言わさぬ、絶対的な結論は得られないことが分かっているわけですので、自然科学には向かないという誤解を生み、ほとんど忘れられてしまっている感があります。

この二つの思考法についての自然科学系分野の思い違いが学問に何をもたらしたかという、学問分野の細分化です。つまり、演繹的に正確な答えが得られる内容だけが「科学的」であり、帰納的方法のように曖昧さを含む分野は科学の領域でないというさらなる誤解を生んだため、分析的な分野だけが肥大的に発展して学問の細分化をまねき、得られた結論を総合して次への発想につながる帰納的思考を封じてしまうことになってしまっているのです。生物学のように対象が複雑で、解析と総合がつねにカップルで行われなければならない分野で、現在誰が総合の分野を受け持っているかという、例えばNHKです。学問的には無責任なことを言っても許される立場の人でないと総合すること、つまり帰納的な結論を出すことが許されない、という一般的な状況があると思います。このような状況は大問題です。現在、地球がこんなになってしまった理由は、演繹的思考のために立てる前提が狭くなりすぎてしまい、その狭い分野では絶対に正しくても、実はこの前提そのものが、もっと広い視野から見ると必ずしも正しくない、というようなことを積み重ねてしまった結果なのではないかと思えます。この思い違いを是非、取り戻さなくてはいけないというのが、今私が考えていることです。生物学でも、自然科学でも、地球全体のことを考える上でも。

そこで、ここからは帰納法についてお話したいんですが、帰納法を理解するためのものすごくいいモデルがあります。全然、生物学でも自然科学でもなく、百人一首に関するものなんです。それは、織田正吉さんという人の『絢爛たる暗号 百人一首の謎を解く』という本です（スライド14）。この著者は、大阪の演芸作家で、漫才やお笑いなどを作る一方で、日本古典の研究者でもあります。この本は、今から30年くらい前に出版されたも

のですが、すでに絶版になってしまいました。文庫本にもなっていますが、これもなんだか手に入れにくい状況です。この本は、「百人一首」についての疑問から出発し、帰納的な頭の使い方での謎を解いて行く、とっても綺麗な内容です。

「百人一首」というのは、もともとは藤原定家が、その当時までに詠まれた和歌の中から自分で選んだものを自分で墨書して、小倉山荘という自分の山荘の襖にべたべた貼って眺めていたものです（スライド15）。その頃にはそういう風習があったようです。その後定家が亡くなった後に、息子の為家が、襖の百枚を適当に時代順らしく並べたものが「百人一首」なのです。ところが、その後、「百人秀歌」という、やはり定家が選んだ歌集が見つかります。「百人一首」と数首違うだけなのです。織田正吉さんにとって、この2つの歌集の存在が非常にヒントに富んでおり、彼はこの2つを合わせて考察しています。

国文学界における「百人一首」の位置付けは、当時の国文学の大家、藤原定家が、古今東西の優れた歌人の歌を百首選んで集めたものというところなんです。私たちもなんとなくそう思っていますよね。ところが、日本の歴史上、一番の和歌の大御所である藤原定家の選にしては腑に落ちないところがたくさんあります（スライド16）。例えば、並べ方の時代順が不正確であったり、当然選ばれるべき人が何人も洩れてしまっていたり、逆に、なんでこんな人がという人が入っていたり、選ばれた歌人についても、この人を選ぶなら、なぜこの歌ではないのかというものがあつたりするんです。この他、まだまだたくさんある疑問に対し、「でも100人に限定しているんだから、洩れる人がいても仕方ないかも知れない」とか、「定家の好きな作品を集めたただけかも知れない」というような議論がここ700年ぐらいの間、歴代の国文学者達の間でずうっと続いてきました。

個々の歌を見ても、どこからどう見ても和歌として良いとは思えない、というような駄作が一つならずあつて、これも歴代の国文学者達を悩ませてきました。また、なんだか似たような歌が多いんです。「月」とか「風」とか、「物思う」など、同じ言葉が目につく感じがあります。

織田正吉さんが着目したもう一つの問題は、なぜ百首なのかということです。現代の私たちは、百首と云ってもなんとなく納得しますよね、ベストハンドレッドとか

ベストテンという感じで、百は区切りが良いですから。しかし、この時代の歌集というのは、五十とか百という選び方ではなく、例えば同じ定家の編纂した「新勅撰集」は、千三百七十四という中途半端な数なのです。したがって百である理由は別に求めなければなりません。実は、当時、百首歌というものが普通に行われていたんです。例えば、藤原定家自身が二十一歳の時に初めて詠んだ「初学百首」とか、首題で集めた「花月百首」、「恋百首」、堀川天皇に奏覧された「堀川百首」など、枚挙にいとまがないほどあります。このような定数歌には必ず構造があります。例えば典型的なものでは、春・夏・秋・冬で二十首ずつ、それに恋の歌が十首、その他が十首、というような形があるのです。織田正吉さんは、「百人一首」は「百首歌」なのだ直感します。ただばらばらに集められていて、特別な構造は見えないけれど、「百首歌」に違いないと考えます。

ここから織田さんの博覧強記がはじまります（スライド17）。本歌取りや言葉遊びなど数々の和歌の作り方の技巧。それらをあやつる藤原定家の能力と好み、はては当時の社会風習だとか、藤原定家と後鳥羽上皇や式子内親王との関係、渦まく政争の数々など、織田さんの持つあらゆる知識を総動員して歌と歌をつなぐ関係性を探り、百首歌としての「百人一首」の構造を探していきます。

まず始めにすることは、語句による分類です。「忍ぶ」、「月」、「桜」、「紅葉」、「逢う」、「物思う」などの語をふくむ歌をグループ分けしていきます。そして、これらの語が重なる歌をクロスワードパズルのように関係させていきます。このような膨大な作業を通して織田さんは、百首の歌が三つの法則で結びついていることを発見します。スライド18にしめした(1)主題による連鎖、(2)語句による連鎖、(3)逆意の語句による連鎖の三つです。この考察は、まさに織田正吉さんの独壇場です。これまでの国文学の「百人一首」研究はすべて、歌たちを個別のものとして見て考察したものばかりです。織田さんだけが始めて歌と歌をつなぐ法則に気付くことができたのです。

この三つの法則にしたがって歌と歌をあれこれと組み合わせる膨大な作業の末に、織田さんは百首すべてを一つのマトリックスにつなげることに成功しました（スライド18）。すると驚いたことに、全体の後ろにある風景が見えてきたのです。この風景に対して少し補

足しますと、もう一人、林直道さんという人が、織田さんの考えに基づいて織田さんの配列を微調整しています（スライド19）。この図を見ていただければ、歌と歌をクロスワードパズルのようにつなぐという意味が一目でお分かりいただけるでしょう。そして、歌たちが持つ言葉によって風景が描かれる様子もご覧いただけます。この風景を、京都のあるお菓子屋さんが、絵にしてくださいました（スライド20）。この風景は、現在の阪急京都線、大山崎駅と水無瀬駅の間、かつて後鳥羽上皇が非常に愛した、水無瀬離宮という離宮があった場所の周辺の風景なんです。「百人一首」はこの風景を表し、かつそれを隠すという使命をおびた歌集だったのです。

藤原定家は、後鳥羽上皇によって取り立てられて、歌人として名を成したのですが、やがて政争に巻き込まれ、後鳥羽上皇とたもとを分かつことになってしまいます。その結果、後鳥羽上皇は隠岐に流され、自分は難を逃れて都に残れることになってしまいます。このため、後鳥羽上皇に対して申し訳ないという気持ちをずっと持ち続けますが、当時の状況としてそれを表現することは許されない。そんなことをしたら自分も一味とみなされてしまうので、絶対に言えない。そうこうするうち後鳥羽上皇が隠岐で死んでしまいます。このため、藤原定家は後鳥羽上皇に対する深い鎮魂の思いを終生持ち続けたのです。

定家のもうひとつの深い思いとして、式子内親王に向けられたものがあります。式子内親王は、少女時代を賀茂神社の斎院として暮らした後は、生涯結婚することなく、ついには病に倒れて寂しく世を去った人なのですが、織田氏は、さまざまな文献的事実に基づいて、藤原定家と式子内親王が、互いに恋心をいだいていたと推察します。さまざまな事情から結婚はありえず、定家は彼女の寂しい思いに心を痛め続けていました。スライド右上の順徳院は、内親王が猶子（養子のようなもの）に迎えようとして、病のために果たせなかった人です。織田正吉さんは、後鳥羽上皇への鎮魂の風景の中に、隠し絵のようにして埋め込まれた藤原定家の、直接伝えることのできなかった式子内親王への切ない告白をも、探り当てているのです。

織田正吉さんは、藤原定家がこのような思いを秘かに表現するために、駄作を含んだ百首を選び、その思いを隠すために山荘の襖にでたらめな順序で張り付け、そのことを同時代人の誰一人にも伝えずに死んでいったか



ら、七百年後に初めて、帰納的な思考法を用いて、その思いを聞き取ることに成功したのです。では、このいかがわしいいとも云えそうな（会場笑）推理は、正しいと云えるでしょうか。皆さんの中には、そんな話しはでっち上げだろうと思っておられる方もあるとおもいます。帰納的な方法には、そのような思いの湧く余地があるのです。これは、織田正吉さんというずいぶん想像力の豊かな人が、勝手に考えた作り話かも知れないって。でも、今日のお話だけでは伝えきれませんが、百首の歌についていろいろに思いをめぐらし、それらがつながり始めると、それならばこういうこともあるんじゃないか、やっぱりそうだ、という風にどんどん考えが広がり、この絵についての確信もどんどん深まって行く様子はなんとスリリングで、説得力抜群なのです。皆さんには是非、この本を読んでいただいて、直接このことを確かめていただきたいと思います。

さて、このモデルで帰納的思考法の威力を感じ取っていただけたと思いますが、自然科学に立ち戻ると、この思考法が“科学的”に有効かどうかということが問題として浮上してきます。つまり、織田正吉さんの推論を「正しい」と云えるか、という問題です（スライド21）。勿論、この推論を正しいと証明することはできません。何故なら、真相は藤原定家だけが知っていることであって、もう直接聞いて確かめることができないからです。それなら、間違っているでしょうか。間違っているということも同じように、証明できません。この推論が正しいか正しくないかを証明することは、諦めなくてはならぬそうです。

でも、どちらかという、正しそうです。何故なら、もし定家が、全然別の意図でこの百首を選んだとして、その百個ものピースを誰かがまた別の意図で適当に配列して、「あれ、こんな絵が出てきた」などというようなことはほとんど有り得ないので、もともと何かの人為が働いていたと考える方が自然です。また、織田正吉さんが、いかに優れた発想力や博覧強記の知識を持ってしても、百ものピースを、架空のもっともらしい筋立てにでっち上げることはできません。十の任意のピースについて、適当な筋立てを作ることはできるだろうし、二十もできるかも知れないけれど、百のピースをきちっとはめることは、無理でしょう。そもそも藤原定家の深い思いと教養と想像力と独創性があって初めて、この百のばらばらに見えたピースが、一つのまとまった意味を持ち

得たのであり、織田正吉という人にその意味が伝わりえたのです。これら全てを考え合わせると、正しい可能性は限りなく大きいといえます。それにもかかわらず、絶対に正しいと証明することはできないわけですから、反論する余地は残っています。こんな話は作り話だ、と思う人は、なぜそう思うのかという自分の推論を、織田正吉さんと同じ、あるいはそれ以上の説得力をもって展開すればいいのです。私は、恐らくそれは不可能ではないかと思っています。

スライド22に「百人一首」のカルタの一部を示しますが、このカルタのひとつひとつを、どんなに文学的に深く研究しても、個々の歌が藤原定家によって負わされた意図を探し当てることはできません。集められた全体をとらえて始めて、それらが集められた意図を知ることができるのです。このカルタたちを眺めていて、個々のものを幾ら詳細に調べても全体は見えてこないということ、モデル的に分かっていただけではないかと思っています。ただ、自然科学の場合には、このひとつひとつのピースが、こんな単純に独立したものではありません。「百人一首」の歌のひとつひとつも、社会的背景とか文学的価値とか他の歌との関係など、それなりに複雑なものではあるのですが、自然界の一つ一つのピースは、それよりはるかに複雑に絡み合っています。ひとつひとつのピースを調べるだけでもたくさんのことが分かってくるし、それらが周りのものと織りなす関係についてもたくさんのことが分かってきます。なので、自然科学の現在のやり方は意味がないと云いたいわけではありませんが、ひとつひとつのピースを調べて分かった結果を総合する努力を、今の自然科学には怠りすぎていると思います。自然科学の場合、ピースとピースの関係の複雑さゆえに、総合することはとても織田正吉さんのように一人の人間ではやり切れないと思うので、それぞれの分野の人が、それぞれの知識や訓練を持ちよって、ある問題に対して一方向を向いて、お互いに腹を割ってディスカッションするというようなことをして初めて、今の地球の困った状態に対してなんとか手を出せる状況を作り出せるのではないかと思います。自分の分野に固執するのではなく、幾つかの分野から何人かが集まって初めて、どの分野からも見えなかった突破口のようようなものが発見できるのではないかと思います。このセンターが、自然科学の多くの分野の集合体であり、かつ、慶應義塾大学というもっと広い分野の一員であるという

地の利を生かして、文系の人たちとも連携して、山積する問題への突破口を見出していただくためのひとつの方法として、帰納的な思考法を提案したいと思います。どうもありがとうございました。(拍手)

(司会) どうもありがとうございました。たくさん情報の中から、帰納的に、複雑なものの全体像を見ていくという考え方と個々のものを掘り下げていく演繹的な考え方のバランスというのは、自然科学をやっていく上で研究スタンスを考える上でも非常に大事なことで、皆さんも興味を持って聞くことができたのではないかと思います。時間十分ありますので、ご質問、皆さんお願い致します。はい、どうぞ。

(中野) 非常に示唆に富むお話ありがとうございました。私は最後に、バリアフリーのことについて提言させていただいたので、その時に、今のお話と非常に関係する話っていうのをさせていただきたいと思いますので、ちょっと具体的なところは置かしていただきたいと思います。この科学の歴史の中では、今の、帰納主義の考え方っていうのからスタートして、演繹の考え方へ、という風にシフトしていったのではないかと思います。例えばニュートンとかですね、その頃のサイエンスのあり方っていうのは、その、帰納ということのところからスタートして、で今はあの、仰られた通り、演繹というところに非常に力点が置かれているのではないかな、というご指摘だったのではないかと思います。今のような総合的な、帰納的な観点というのは今後こう取り戻していくとか、若しくは、平行してやっていくためには、たぶんこの科学教育のあり方っていうのも非常に関係してくるんじゃないかと思うんですが、その点に関してはどのようなお考えをお持ちでしょうか。

(団先生) はい。このふたつの考え方は、決して相反するものではないし、どちらかだけでものが考えられるものでもありません。実は私たちは、普通に、両方を使っています。例えば、あ、これはこういうことじゃないのかなと気づき、他を見回してそうだと結論づけることは、定性的な法則を見つけることであり、これが帰納的な思考です。こうした帰納的な前提があって初めて、そうであれば次にもっと詳しくそれを測定してみようとか、もっとたくさん集めて、一般法則を探そうというこ

とになります。この帰納的な部分なしに、新しい問題が掘り出されてくることはありません。新しい問題の発想というのはどうしても、帰納的な考え方をとおして生まれると思うので、今の自然科学に問題があるとすれば、帰納的なやり方は駄目だとするところだと思います。例えば、いろいろな機会に「再現性をもって証明できないような現象は科学には乗らない」とか、「HOWを追求するのが科学であって、WHYを求めるのは宗教である」という言葉を聞きます。こういうことをまことしやかに言う人がたくさんいて、それが科学の正しい態度として通っているんです。生物学に例をとると、今の状況にはそれなりの歴史があります。生物現象は、すごくロマンチックにも語る事ができるんです。昔の生物学者は、卵の割れ方が少し違っているだけでも、いろんなことを考え、それをエンドレスにディスカッションすることがありました。しかし、それでは何にも進まないで、もう少し再現性のある現象に範囲を絞って研究を進めるべきだろうという時代を経ているうちに、いつの間にか行き過ぎてしまい、演繹的に処理できないものは科学ではないという風になってしまったんだと思います。今大事なことは、物を考えるにはふたつのやり方があり、その両方使わなければいけないということを意識することだと思います。そう、それだけで全然違って来ます。もしそうできれば、学会の雰囲気も全然違ったものになりますね。私が、昨今の学会が面白くないと思うのは、提供される話題が、どこからも突っつかれないようにビシーっと防御的に組み立てられているからなんです。なので、質問もいきおい技術的な質問や細かな矛盾を衝くようなものに限定されてしまいます。もし学会で、「私はこう思うんですけど皆さんはいかがでしょう」というようなことが言えたら、「いや、私はそうではなくて・・・だろうと思います」とか、「いやあ、僕も賛成です」というような雰囲気ですと議論が盛り上がり、その中から、若い学生が、「僕はこうかなと思ったんですけど、..」と予想外の感想を述べ、「おっ、それは面白い。じゃちょっと実験して確かめてみよう」というような交流が生まれてくると思うんです。今の学会は、こうした余地をビシーっと封じているような風潮が非常に強いと思います。帰納的方法と演繹的方法の両方をバランスよく使いなさい、ということだと思います。これは、教育的にも極めて重要なことだと思います。

(青木) なかなか刺激的な話で面白かったですけど、やっぱりその、今、倉石先生がまず始めに仰ったように、やっぱりそれっていうのはあくまでもバランスの問題で、常にみんな使い分けている、だけじゃないかと思うんです、もしそういった帰納法みたいなものを否定する人がいたとしたら、ほんとに研究をやったことある人なのかな、っていうことがむしろ私としては疑問であって、例えば研究をしている時に、まあ私なんかの研究でもそうですが、入る時にだから現象から入っていれば、どう考えても、こういった現象があったらこれ何故なんだろうと考えるわけで、そこにいきなり演繹っていうのは有り得ないわけですね、やっぱり。これがいいのか、これがいいのか、最終的に出来上がったものをプレゼンテーションする時に単に演繹に見えるだけであって、始めから演繹っていうことはたぶんそれはむしろ有り得ない、普通は無いですね。勿論、私の、細かい研究なんかは抜きにしても例えば今の最先端の分野で、例えば地球温暖化の問題、例えば、気象考古学なんか考えた場合でも、これもどうなっているのかとか、これどうやったら分かるのか、あらゆる分野からいろんなものを総合して、例えば、木の年輪からその大気中の色々なものの濃度から、いろんなものから考えて、それでどういう風に考えていくのかって、やっぱりそれは、演繹法だけでは決して無い、わけですね。だから、もしそういう風に見えるとしたら、あくまでも完成されたものを、こういう風にできています、という風に見せているから演繹法だけに見えるだけであって、別に、演繹法だけってことは有り得ない、という風に私は思います。

(団先生) だから、気付けということですよ。両方の方法を使っているということをもっと意識するようにして、「再現性を持って証明できなければ科学ではない」などということはいわないようにするべきなんです。誰もが普通に帰納的に考えているわけですから、そこを意図して、例えば新しい発想を得たい時は、帰納的な思考法を前面に出すようにすれば、発想も生まれやすいかも知れません。もしかすると、現象がすごく複雑な生物学の分野には、サロンの議論に陥りやすい傾向があるといえはるので、かえって演繹的な思考への縛りがきついかも知れません。

先ほど教育の話が出ましたけど、例えば教育でも、確かに講義だけだと、どちらかというと演繹的にかたよ

った状況におちいりやすいかも知れません。既に分かっていることを、すっきりとした理屈にまとめて提示すれば、学生にも分かり易い。そこに実験が入ってくると、目の前に提示された現象に対して、これは何故なんだろうという風に現象が直感的に頭に入ってきます。そうした時には、やはり帰納的な思考のしめる割合が高くなると思います。

でも、現実には、直感的、帰納的な段階でものを考えていると、「なんか泥臭いね」というようなことを言われます。(会場笑) 演繹的な段階に入らないと、「まだそんなことやっているのか」とか、「細胞なんてお前、なんで今時そんな汚い系を使ってるんだ」というようなことを言われます。本当に。(会場笑) 生物学分野の人でさえそうなので、やはり演繹的な傾向の行き過ぎがあると思います。物理学や数学の人は、もっと悪いです(笑)(会場笑)。生物学は遅れている、生物学者は頭が悪いとなど言われたかも知れません。上から出られて生物学の人は、押しまくられてしまうんです。生物は頭が悪いわけじゃない、帰納法のほうが有効な現象が山ほどあるんだってどんどん言えるといいんですけど。なんか、押し出しの強さが違うのですよね(笑)。(会場笑) というのはやはり演繹的に整理されえている考え方のほうが、強いことを言えますから。「こうだ」ってはっきり言えるけれど、帰納的な段階の考えは、あちこち目配りしながら「こうではないかと思うんですけど」としか言えないから、狭いところだけを見ている人と議論すると負けてしまうんです(笑)。(会場笑) そんなわけで、物理の人達からはしばしばえらい言われ方をしますので、慎んでくださいね(笑)(会場笑)。

(青木) ちなみに私の専門は物理ですけど、別に生物が遅れていると思ったことは全然ない、むしろ、生物のほうが活発で、物理から行った人も結構いると思いますよ。

(団先生) でも、それはね、分子生物学のこと言っておられるのでしょうか。

(青木) そうですね、そちらのほうが入りやすいですからね、物理のほうはね(そうですね)。どうしても物理に元々入っている人っていうのは、マクロのものから入っている人って少ないでしょうね。

(団先生) ええ。分子生物学は、最初に申し上げたとおり、あれは生物学ではないのです。生物を作っている分子の科学なのであって、そこでは話が相当にクリアです。けれども、その結果を細胞という場に移すと、いろいろな要素が絡んできてよく分からなくなる。なぜミズはこういう行動をとるのか、といった問題になると必ずしも明解には答えられない。用語も聞き慣れないものを使わなければならない場合もある。聞いている人間は

疲れてきて、「それでも学問か」みたいになってしまうんですよね(笑)(会場笑)。はい。時間。がきたようです。ご清聴ありがとうございました。

(司会) それでは、時間となりましたので、締めさせていただきます。どうもありがとうございました。(拍手)



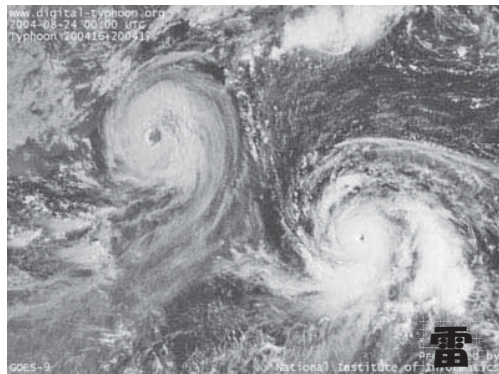
# 総合の時代と帰納的思考

階層生物学研究ラボ  
団 まいな

## 世界の現状（スライド2）



地震



雷



火事



戦争

# 洪水・砂漠化・大気汚染・アトピー（スライド3）



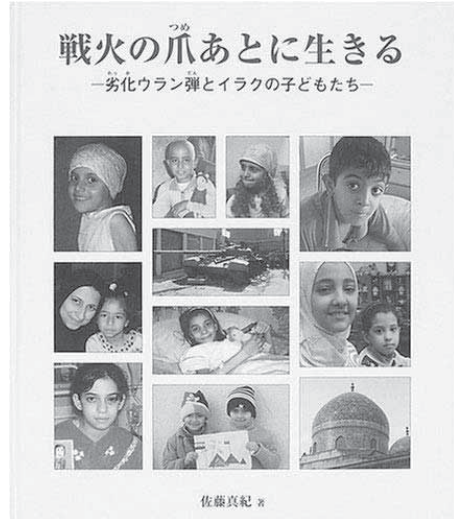
# 人口過剰・飢餓・マネー経済・経済破綻（スライド4）



# 放射線被爆・甲状腺ガン（スライド5）



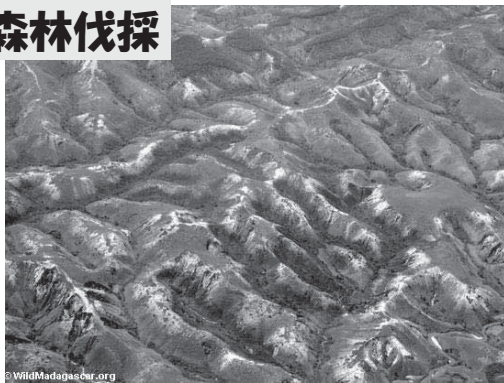
チェルノブイリ原発



劣化ウラン弾

# 地球そのものの破壊（スライド6）

森林伐採



© WildMadagascar.org



灌漑

化石燃料の掘削



→ 地盤沈下

# (スライド7)

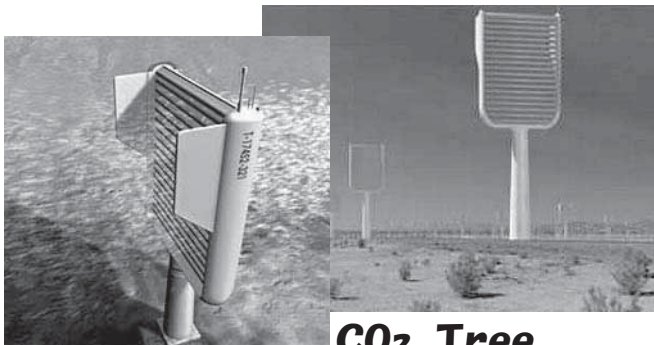
## 大気の大破壊



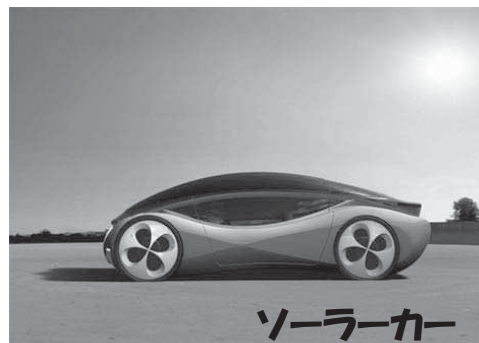
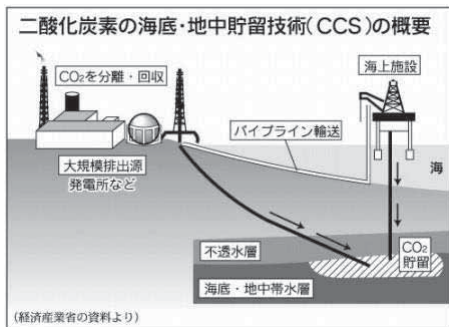
→ 生命体のバランスの攪乱

# アンチ CO<sub>2</sub> (スライド8)

## 太陽光発電



CO<sub>2</sub> Tree





(スライド9)  
アンチ生活ごみ

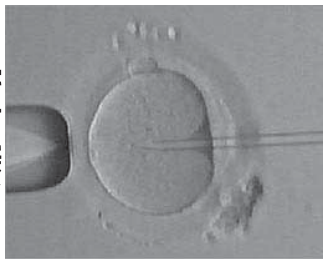


(スライド10)  
アンチ疾患

臓器移植

義手・義足

生殖医療

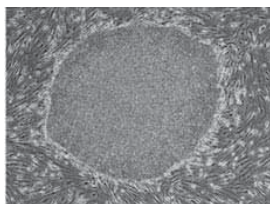


顕微受精法

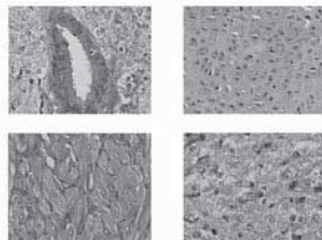


感覚のある義手

再生医療

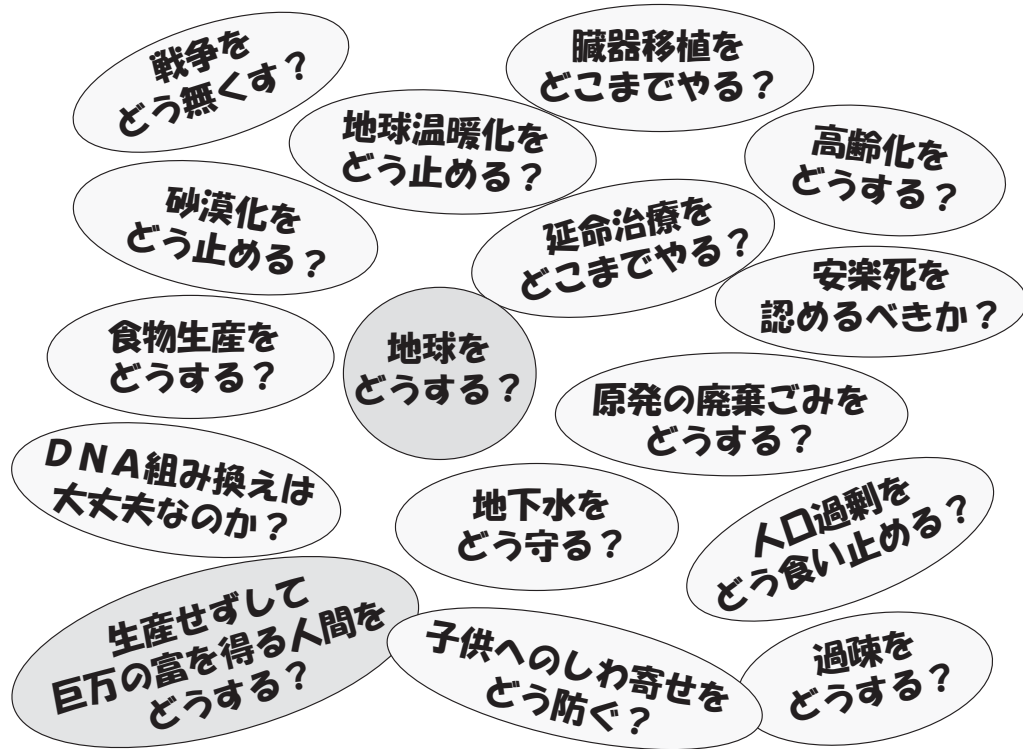


iPS細胞



スポーツ義足

## (スライド11)



## (スライド12)

複雑に絡み合う状況を切りぬけるための  
新しい発想が求められている

物質や人間の性質に即した策

他の条件と折り合いのつく策

他の条件と補完し合う策

巡り巡って不都合を生み出さない策

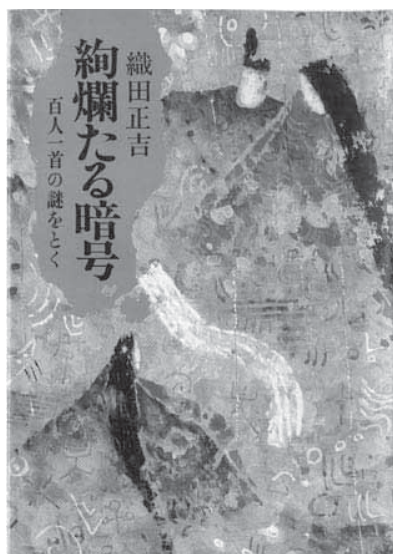
総合的な発想のためには、帰納的思考法が有効

## 帰納的思考法とは（スライド13）

	演繹法 deductive method	帰納法 inductive method
思考の方法	一般的・普遍的な前提から、より個別 的・特殊な結論を導く思考法	観察されるいくつかの事象の共通点に着 目し、結論を導き出す思考法
導出結果	前提を認めるなら絶対的、必然的に正 しい	蓋然的に正しいのみ
難点	前提が間違っていたり、適切でない前 提が用いられれば、誤った結論が導き 出されてしまう	結論を導き出すには、膨大な知識や知恵、 想像力、直観力などが必要になる場合が 多い
理系分野での 位置づけ	近代的には、記号論理学によって記述 できる論法の事を指す	有無を言わさぬ結論を出せないというこ とから、思考法としての地位を奪われてし まった
学問的影響 (現状)	学問分野の細分化	総合的な視点の欠如

## 百人一首の謎をとく（スライド14）

織田 正吉（演芸作家）



1978年

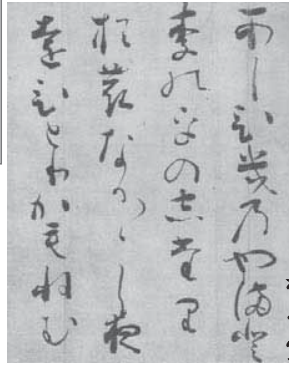


## (スライド15)



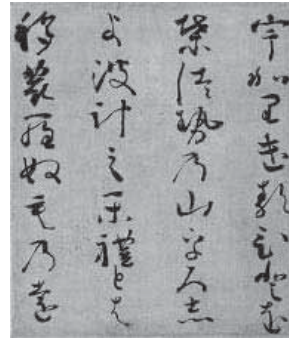
藤原定家

### 小倉山荘色紙和歌



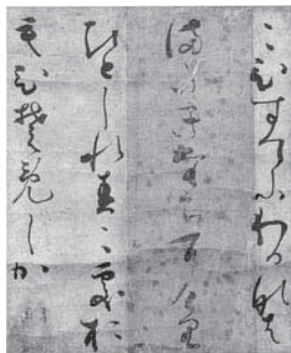
柿本人麿

あしびきの  
山鳥の尾のしだり尾の  
ながながし夜をひとりかも寝む



源俊成朝臣

うかりける  
人をはつせの山おろし  
はげしかれとは祈らぬものを



悉すてふ  
わが名はまだき立ちにけり  
人しれずこそ思ひそめしか  
壬生忠見



これやこの  
行くもかえるも別れては  
しるもしらぬも逢坂の関  
蟬丸

## (スライド16)

### 「百人一首」+「百人秀歌」に対するさまざまな疑問

#### 古今東西の優れた歌人の代表作？

時代の順序が不正確

選ばれるべき歌人が選にもれている

選ばれた歌人についても、必ずしも最優秀の歌が

選ばれていない

無名、無能な歌人の歌が多く混じっている

#### では、作品本位の選歌か？

それにしては、駄作があまりに多く含まれる

歌人によっては、多くの優れた歌を尻目に、

つまらない歌が採用されている

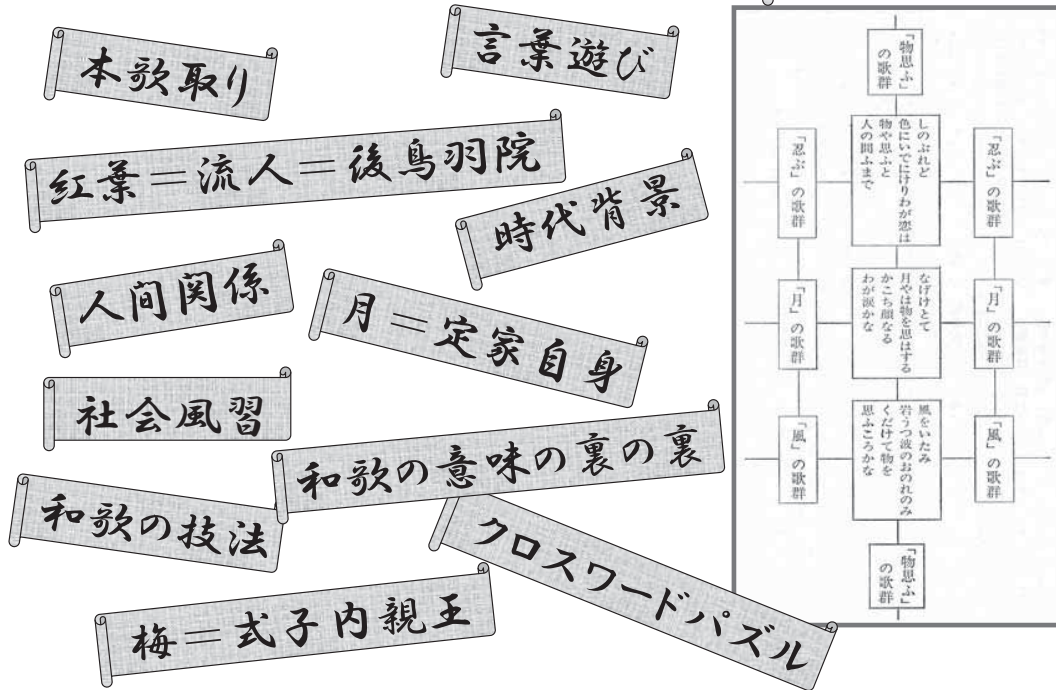
#### 同じ語句を使った歌が目につく

なぜ百首なのか？ ……「百首歌」なのだろう

# (スライド17)

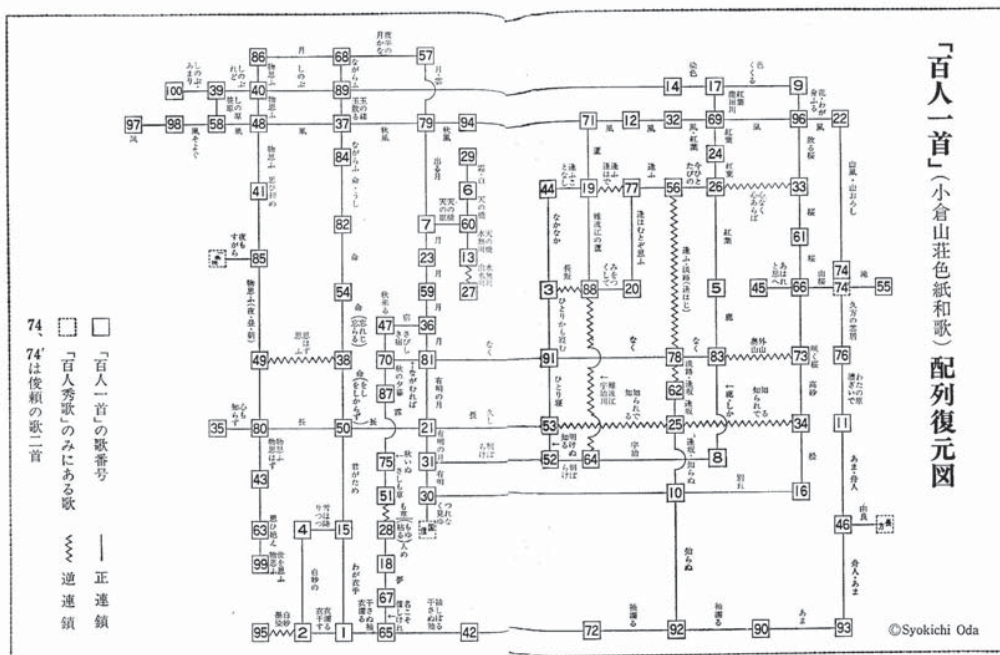
## 博覧強記の考察

### 歌群の相関



## 歌歌を結ぶ3大要素 (スライド18)

1. 主題による連鎖 (Chain of themes)
2. 語句による連鎖 (Chain of words)
3. 逆意の語句による連鎖 (Chain of words with opposite meanings)





## (スライド21)

### この推論は正しいか？

正しいと証明することはできない

藤原定家のみぞ知る

では、間違っているか？

間違っているとも証明できない

しかし、おおむね正しそう なぜなら、

100ものバラバラな和歌が、偶然に

これほど複雑なものに組みあがる

可能性はゼロに近い ⇒ 人為の作用

織田正吉氏の優れた発想力をもってしても、100もの和歌に  
架空のもっともらしい筋立てを強弁することはほぼ不可能

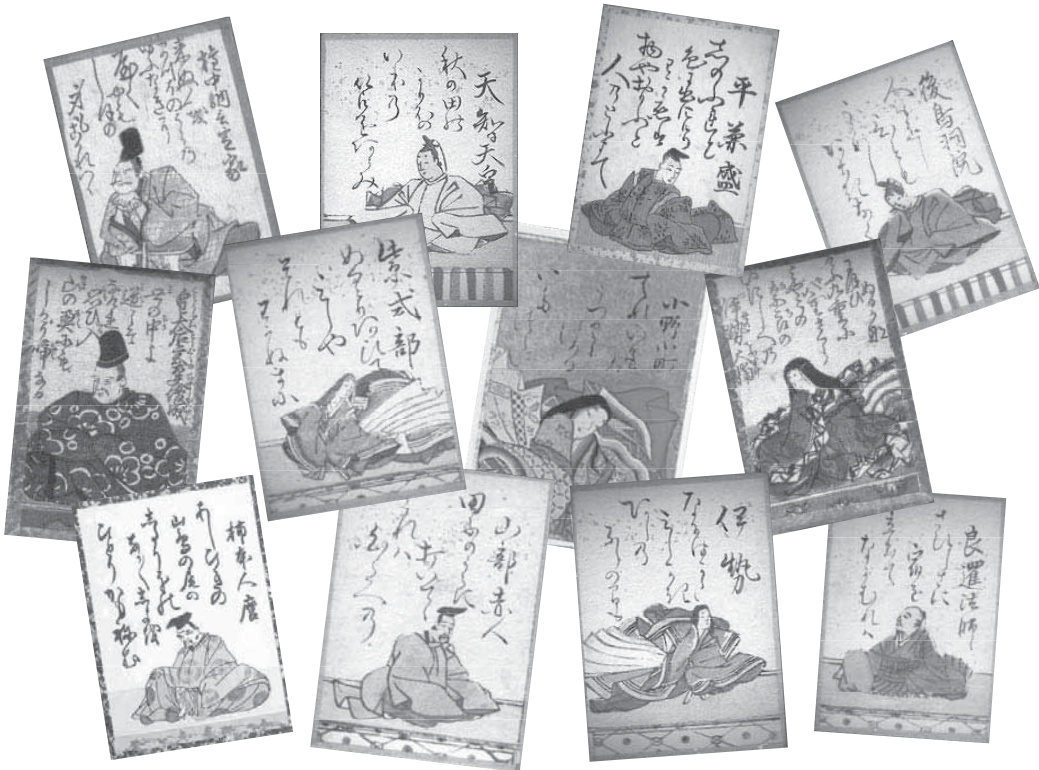
藤原定家の深い思いと教養と独創力があってはじめて、

これらの和歌がより高次の意味を持ちえたと考えるほかない

ゆえに、この推論が正しい可能性は限りなく大きい



## (スライド22)



個々のものをいくら詳細に調べても、全体は見えてこない



江口 徹（えぐち とおる）  
京都大学基礎物理学研究所所長・教授

東京大学大学院理学系物理学専門課程博士課程 修了

シカゴ大学エンリコフェルミ研究所研究助手，スタンフォード線形加速器センター研究助手，シカゴ大学物理学教室助教授，東京大学理学部助教授，教授を経て2007年より京都大学基礎物理学研究所教授・所長

1984年 仁科記念賞受賞  
2009年 恩賜賞・日本学士院賞受賞

（司会）新田 宗土（にった むねと）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員  
日吉物理学教室、商学部准教授

## 講演3 「アインシュタインと宇宙の謎」

（司会） それでは、3番目の講演に移りたいと思います。今度は物理学の話題に移りまして、京都大学基礎物理研究所の所長をされています、江口徹先生に来ていただきました。私は、司会で所員の宗土と申します。簡単に江口先生の略歴を紹介したいと思います。江口先生は、東京大学を1975年に大学院を卒業された後に、アメリカのシカゴ大学、スタンフォード大学で研究員、その後シカゴ大学で助教授をされました。1980年に日本に帰ってこられまして、東京大学で助教授、教授、2007年より、現職、京都大学基礎物理学研究所の所長をされています。2009年（今年ですね）日本学士院賞、恩賜賞を受賞されました。その時の受賞理由ですが、**「数理論理的な手法による素粒子論の研究」**ということで、現代数学の最先端を駆使されまして、素粒子論、中でも特に、超弦理論という分野を、推進されてきた方です。お話にあると思いますけども、20世紀の物理学に、2つの大革命として、アインシュタインが考えた一般相対性理論、それと量子力学というものがありました。その2つがなかなか折り合いがよくなかたわけ。超弦理論というのは、その2つを統一するであろうと思われる理論ですね。その超弦理論を、数論的な手法を用いて推進されましたので、現代のアインシュタインとでも言うべき方かと思います。それでは、始めさせていただきます。よろしくお願いいたします。よろしくお願ひします。

（江口先生） 本日は自然科学教育センターの、ご発足おめでとうございます。京都大学の江口です。物理学はある意味で、演繹的な学問のひとつの典型かも知れませんが、物理学の場合ではですね、学問の発展に応じてまず帰納的な段階があり、それから今度法則がはっきり分ると、次には、色々演繹的に導いてきて理論を展開するという段階が繰り返して現れるわけですね。演繹的なものが非常に印象が強いの、そういう学問に見えると思うんですけど、演繹的なものと帰納的なものが常にくり返して出てくるものだと思います。

それで、題名にアインシュタインと宇宙の謎ということを入れさせていただきましたが、今から4年ぐらい前の2005年に国際物理年というものがあったのですが、これはアインシュタインの奇跡の年と言われる1905年からの100年を記念として言われたわけ。いわゆるこのアインシュタインの奇跡の年1905年というのはどういうことがあったかと言いますと、アインシュタインが後の20世紀の物理学の柱になるような仕事を、たった1年のうちに、ぼこんぼこんぼこんとこう3つ出した。非常にこれはもう、奇跡じゃないかということ。1つはいわゆる、特殊相対性理論ですね。これはお互いに等速度で運動するような座標系から見た時に、自然界の基礎法則というのは全く同じになるという主張なのですが、そういうことから、この世界には特別な座標系なんていうものは存在しないという、いろんな帰結が



出てきます。有名な、特殊相対性理論ですね。それから、量子力学の基礎になった、光電効果の現象というのがあるのですが、これは19世紀の物理学を通じてですね、光ってというのは波の性質を持っている。干渉し合ったり、回り込んだり、回折現象というものがあるわけですから、従って光ってというのは波じゃないかということが完全に確立されていたわけです。ところが場合によってはですね、光が粒子のつぶつぶの集まりになっていると思うと、非常に説明がうまくできるという、そういう現象が出てきて、それが光電効果と呼ばれるわけです。これは、光が入ってきて、物質を叩いた時に電子が飛び出してくるわけですが、その電子のエネルギーは光の振動数にしか拠らないとかですね、いろんな性質がありまして、それをアインシュタインが気が付いて、最終的にはですね、光ってというのは、波であると同時に、ある場合には粒々の粒子のようにも振る舞うと、そういう二面的な性質を持っているということになります。それを数学的に定式化していったのが、この量子力学になりますね。それからあと、ブラウン運動の理論というのがありまして、これは後の、統計力学の基本的な法則になっていきます。そういう意味で、特殊相対論と量子力学は20世紀の物理学の非常に大きな柱になったわけで、それをこの1年のうちにやってしまったということで、非常に画期的な年だったわけです。

ただ現在振り返ってですね、アインシュタインの一番重要な仕事は何かという風に聞かれた場合には、たぶん多くの人が、この仕事じゃなくて一般相対性理論と呼ばれるものではないかというと思います。一般相対性理論はもうちょっとしばらく経ちまして、1916年ぐらいに完成するわけなのですが、特殊相対性理論と一般相対性理論って同じ相対性理論なので、ちょっと混乱しやすいと思います。一般相対性理論は名前が悪いかも知れませんが、実は重力の理論です。だから重力の力っていうものをどういう風に理解するかということに関する理論なのです。エッセンスを言っちゃいますと、重力がありますと、例えばここに太陽か何かがあるとして、その周りに重力が働いている。そうすると、周りの時空が歪んでしまう、つまり重力の源があるとですね、周りの時空に歪みが生じるということですね。これなんか歪んだ時空を書いているつもりなのですが、そうすると、こういう歪んだ時空の中で粒子が運動しようとしても、普通にはこう真っ直ぐ走って行こうと思っている粒子が、自然

にこうぐるーっとこういう風に曲がってしまうと。そうすると曲がってしまいますと、これはいかにもこの粒子はこの引力に引かれて、重力に引かれてこう曲がって運動しているように見えますから、曲がった空間で普通に運動している運動ってというのが、いかにもその重力で引かれた運動、引っ張り込まれたような運動に見える。そういう風に考えようってというのが、一般相対性理論の考え方です。だから重力ってというのは力と思うよりむしろ時間空間の性質のように考えるわけですね。これは、出発点は等価原理と呼ばれる非常に基本的な考え方なのです。実は質量と呼ばれる量には、2通りの違ったものがあります。ひとつはですね、例えば地球があって、大きな  $M$  っていう質量を持っているとしますね。それで地球から距離  $R$  を離れた時に、ちっちゃな質量  $m$  を持っている物体を持ってきますと、これだけの強さの引力が生じるっていう、そういう関係がありますね。距離  $R$  の2乗分の1になる、とよく言われる関係です。その時に、このちっちゃな  $m$  っていうのは、いわば重力の大きさに関係した量なので、これは重力質量と言っています。まあ体重が重いと重力が強いというようなことなのですが、それは重力質量と呼ばれる。それからもうひとつ、ニュートン力学の関係ですが、力が働いた時に加速度  $\alpha$  が生じる。力でぼんと押してやると、物体が動き出すわけですが、その時に重たいとなかなか動かないですね。軽いとこうびよんと飛んでいくわけです。その比例係数が、慣性質量と呼ばれますね。だから、慣性質量が大きいと鈍感になる。外からの力に対してなかなか反応しない。慣性質量が小さいと、外からの力に対して非常に加速度が大きくなるという意味で、外からの力に対してどれだけ敏感かどうかということを表す量です。従ってこの重力質量と、慣性質量というのは原理的にはなんか違うものですね。考え方が違うものなのですが、實際上、非常にいい精度で一致しているということが分かっています。そうすると、この  $m$  とこの  $m$  が同じだとしちゃうと、地球の中で運動して重力で引かれている場合には、加速度は全ての粒子によらずに同じ運動をするということなのですね。加速度が同じ。これが、ガリレオがピサの斜塔から大きな鉄の玉とちっちゃな鉄の玉だったと思いますが、それらを一緒に落としたら同時に地面をどーんと打ったと。本当は、ちょっと違ったかも知れませんが、打ったというのですね。それで、どうでしょう皆さん、大きな物と小さな物を落とし

たら、大きいほうが速く落ちるような気がしません、普通はそんな気がすると思うのですが、実はここで言っているのは、大きい物は重力質量も大きいけど、慣性質量も大きいので、キャンセルしちゃって、重くても軽くても同じだということですね。そうすると、重力があった時に粒子の運動を調べてやると、それはある意味、粒子の個性に拠らない。質量に拠らないわけですから同じ運動をする。これが基礎になって、重力場の中の物質の運動というものは、何か時間とか空間の持っている性質に帰着できないかということですね。だから時間とか空間の持っている性質に帰着しちゃうと、そこを運動する粒子の特定の個性には拠らないような運動が起こるだろうというのが、この等価原理という考え方になります。これは現在では非常に高い精度で実験的に検証されています。そうするとここから先が演繹になっちゃうのですが、すいません、全部数学でどこどここと行きます。それで、そこがまたいいとこなのですけどね。だから、悪い理論というのはですね、仮定がたくさんあって結論がたいしたものが出ないというのが悪い理論。いい理論っていうのは仮定が非常にはっきりして1個ぐらいしかない。後はだーっと行って結論が出て、しかも結論が実験を予言してどんぴしゃと合うっていうのがもう最高の理論なのですが、ある意味で一般相対論というのは最高クラスの理論です。すいません、これちょっと式を書きましたが、まあ定義はもう議論する必要はないと思うのですが、読み方はですね、右辺が物質を与えたとせよと。物質の持っているエネルギーとか運動量があるのですが、物質があると、周りの時間空間が歪むと読んで下さい。右辺が原因になって左辺が結果みたいなものです。それで、歪み方というのを、こういう計量とか曲率と呼ばれる量で書いているのですが、その歪み方の形を決定するのが、いわゆるアインシュタイン方程式と言われるものです。あとでちょっと出てくるので、ここに余分な項をちょっと書いておいたのですが、この  $\Lambda$  というのは常数です、なんかコンスタントで、 $g_{\mu\nu}$  というのが計量と呼ばれる量で時空の形を表している量ですね。それで、普通のアインシュタイン方程式というのは、この項がなくて、これイコールこれというのが普通のアインシュタイン方程式なんです。この  $\Lambda$  の項があるかどうかというのは、実はですね、これが演繹的に等価原理から出てくるといった時の、唯一の不定性です。だからこれがあってもいいし、なくてもいいわけですね。他がだい

たいもう完全に決まってしまうのですが、これがあってもなくてもいいのですが、ある時にアインシュタインはこの項を入れてみたのです。それが、大変なドジであったと後で自分で言っているのですが、実は最近になってきまして、宇宙物理の実験からですね、実際の宇宙にはどうもこういう項がありそうだと。だいたいこの方程式が非常にいいということが知られているわけです。星の運動とか銀河の運動とか、或いはこれから実験的な証拠を議論しますが、この方程式はいいんですがこの  $\Lambda$  というのがあるかないかっていうのははっきりしない、むしろ今までゼロじゃないかと思われていた量なのですが、最近の実験では、非常にちっちゃいんですが、この宇宙項があるということが分かってきています。

それで、曲がった空間の中では、普通は力が働かなければ直進するわけですが、曲がった空間の中では直進する代わりに、曲がった軌道を描くのですが、その軌道は、時空の形から決まった軌道を描いて動くというのがこの方程式です。一般相対論というのは従って、出発点をはっきりして、あとは数学で予言ができるわけですが、それが合うかということ、現在では非常にたくさんの実験的なサポートがあって、たぶん現在の範囲内では完全に正しい理論だろうと言われていたわけです。ひとつはですね、太陽の回りを光が通ってくると曲がって、さっき言ったように、光っていうのはこういう風に曲がった空間でですね、直進しないで引きずり込まれたように見えます。そうすると、これが太陽で、こっち側に我々がいるとすると、太陽の真後ろに星が来ますと、星の光はこう回り込んで我々のところに来ます。そうすると、こういう風に曲がってきますから、我々は星がこっちのほうにいるように見えるわけですね。そうしますと、本当の位置よりもずれたところに、あたかも星がいるように見える。そうするとこの差を測りたいわけですね。こっちの方向に星がいることを知っていて、太陽がたまたま我々と星の間に来た時に、星の位置がこっちにずれて見えるかっていうことを測りたい。ところが太陽が、眩しくてですね、普通はこの星がどこにいるか見えないわけですね。そのために日蝕の時を狙っているわけですね。日蝕を狙ってやると、太陽が来た時に星がどこにいるかが見える。そういう実験がありまして、1919年ですか、これはエディントンという有名な天体学者がいたのですが、その人達が観測隊を組んで、エジプトや南米に行ったのですね。それで、太陽が我々と星の間に

来た時の星の位置と、普通の時の星の位置とを比べてやると、確かにずれているというのですね。そのずれが、アインシュタインが計算した値に、非常に近いのではないかということですね。この頃から非常にアインシュタインが有名になって、普通の一般の社会の人達にも知られるようになったのですね。それから、彗星の近日点移動という有名な現象がありまして、これは、普通のニュートンの運動法則ですと、惑星というのは太陽の回りをぐるぐるぐるぐるすると楕円軌道で回りますから、完全に元に戻ってくるのですが、一般相対論になりますと少しずれます。だから完全に戻って来ない。それで、ちょっとずつ、ずれていくのですが、こういうずれがあるということは既に何か19世紀から知られていたらしくて、アインシュタインは重力理論を始めた頃からですね、これを説明してやろうということを狙ってやっていたようなのですね。一般相対論を作るのに10年ぐらい、紆余曲折して頑張って、最後にこれを彼は出すわけです。1915年ぐらいだと思いますが、それでこの43秒というのが出たらしいのですが、その時にはもう嬉しくてですね、何か神様が自分の努力を認めたと考えたという話で、1週間ぐらい口をきけなかったという、そういう話もあります。あとは、時間と空間の曲がり方というのが、波のように伝わって、いわゆる重力波っていう現象がありまして、それを観測しようとして、現在実験が行われていますね。それから、アインシュタイン方程式を解きますと、いわゆる膨張宇宙の解というのがあってですね、宇宙が非常にちっちゃいところからぼかーんと破裂して、どんどんどんどん大きく成長していくという解があると。だからこれはビッグバン宇宙論の基礎になっているわけです。それから、もっとエキゾチックな話になりますと、いわゆるブラックホールっていうのが出てくるわけですね。これは重力が非常に強くなると、非常に強くなった星から逃げだそうと思うと、脱出速度が光速を超えちゃうわけですね。皆さん、脱出速度ってご存知だと思うのですが、地球でも地球の重力を振り切って逃げようと思ったら、毎秒10キロぐらい以上じゃないと逃げられないのかな。もっと地球の重力がどんどんどんどん強くなっていったら、もっともっと速くなんなくちゃいけないわけですが、どこかまで行くと光速を超えんとあかん、となる。ところが光速以上はいけないというのが相対論の考え方なので、光もついに逃げられなくなるという、そういうことが起こりますね。

そういう現象です。そうすると、全ての物が真中に押し潰されて、閉じ込められてしまうので、そういう物をブラックホールと言うわけです。最初に、一般相対論からですね、こんなブラックホールなんて変なものが出てくるというのは、理論が悪いのだと。だから、余りアインシュタインが言った理論をそんなに深刻に取ってですね、こんなおかしなことが起こることまで正しいと思う必要はないという、そういう考え方もかなり強かったのですが、研究が進んでいきますと、こういうものが出てくるというのはいわば理論の根幹から来ているのですね。非常に端的に言っちゃいますと、さっき言った等価原理からもう一発でて来る、こんな所から来ちゃうのですね。だから、逃げられないと。だからこういうものがむしろ一般相対論の本質ではないかということに考え方が変わってきています。現在では、こういうものが宇宙には、うようよしているという実験的な証拠が、非常に多く見つかってきました。

こういう意味で一般相対論は非常に成功したわけですが、アインシュタインはだんだん晩年になってきますと、重力の理論を時間空間の幾何学として理解するということが成功したので、当時知られていたもうひとつの力、電磁気力ですね、電気とか磁気力と重力が20世紀の始め頃に知られていた自然界の基本的な力だったのですが、この電磁気力も何か幾何学的な考え方で理解できないだろうかという風に考えたわけですが、これがアインシュタインの晩年の夢と言われるものなのですが、いろんな試みをして、結局勿論うまくいかないのですが、ひとつその時に出てきた考え方が、今、重要なアイデアとして使われているので、ちょっとご説明しておきます。勿論、我々が住んでいる時間空間というのは4次元なのですが、もうひとつ次元を加えてですね、5次元の軸を考えてみましょう。ちょっと絵で書けないので仕方ありませんから、4次元の軸の方向が、本当は4つありますが、それは非常に大きい長い無限の方向が4つある。それに加えて余分な方向が1個だけある、この余分な方向はですね、ぐるっと行くと元に戻ってしまうような、そういうトポロジーを持っているとしましょう。この余分な方向というのは非常にちっちゃいので、日常生活には影響を与えないというか見えない。そういう方向の次元があるということは見えない。そういうことを仮想してみます。それで全体5次元の時空ができていくわけですが、その5次元で一般相対論をやっ

みると、だから4次元で一般相対論をやると重力が出てくるのですが、結論を言っちゃいますと、5次元で一般相対論をやると、重力と電磁気の力が両方出てくる。それは、この5次元の方向をちっちゃくした極限なのですが、本当はちっちゃくしないと補正が出てきますが、ちっちゃくしなかった極限を考えていただきますと、4次元で見ると重力と電磁気の力が出てくるということが知られています。これは、こういう考え方をした人の名前をとって、カルツァーっていう人が最初に提唱したので、カルツァー・クライン型の理論と呼ばれています。高次元の統一理論ですね。4次元では違った力に見えているのだけど、次元を上げてやると、一発の力で書けるのです。そういう意味で統一理論になっているという考え方です。アインシュタインは晩年こういうことをやっていたのですが、その頃には物理というのはそれと全く違った方向に進展をして行ったのです。それで、アインシュタインという人も数奇な運命を辿ったと言いますか、もう生きていううちに本当に伝説的に有名な人物になったわけですが、晩年になりますと研究者の主流から離れてしまって、殆ど孤立して、自分の考えでこつこつやっていたわけですね。こういうことをやっていると、たぶん晩年は余りハッピーじゃなかったと、寂しい生活を送ったのではないかと思うのです。ところが、実はこういう考え方が現在になって、またある程度生き返ってきていると言いますか、我々はこういうものを使わせてもらってまして、こういうものを使って統一理論を作ろうとしている。そういう、ちょっと皮肉な、何と云うのでしょうか、皮肉なのか何だかよく分かりませんが、そういう状況にあります。

アインシュタインはこういう風に孤立していたのですが、主流の素粒子論というのはどういう風に進んで行ったかと言いますと、アインシュタインの時代には、重力と電磁気の力しか知られていなかったのですが、新しい力が見つかるわけですね。これは、物質をちっちゃくしていくと、原子・分子になると。原子の一番真中には原子核があって、原子核は更にいろんな中性子とか陽子ですね、そういうもので出来ているわけですが、それをひっつけて原子核を作っている核力というのがあつたわけですね。この説明は、勿論湯川さんの中間子論にあるわけですが、それがだんだん発展してきて、現在ではQCDと呼ばれる理論で説明ができるという風に信じられています。QCDというのは量子色力学の略です

が、Quantum Chromodynamics と呼ばれます。それから電磁気の理論以外にですね、原子核の崩壊に関係する弱い相互作用という新しい力が見つかりました。ところがこの2つの力（電磁気の力と弱い相互作用）というのは、やはりある種の統一理論で理解できるという風に、進展してきます。これがだいたい1970年ぐらいに出てきた理論で、1970年代の終わりにはですね、核力がQCD というもので説明できるとか、電磁気、弱い相互作用の統一理論が説明できると、確立されてきて、だいたいこういうのが、素粒子の標準理論と呼ばれているものです。それが、我々が研究者になった頃です。その時期にだいたい、素粒子の標準理論というのが出来てきたわけですね。これは、数学的に、或いは理論形式から言いますと、ゲージ理論と呼ばれる理論形式に乗っているものです。こういう、ゲージ理論には実は2種類のゲージ理論があります。これはゲージ対称性が、そのまま壊れないで働いている場合のゲージ理論で、こちらはゲージ対称性が自発的に壊れてしまった場合のゲージ理論で、2つの違ったバージョンのゲージ理論で記述できるという風に、現在では理解されています。この辺はもうかなり確立されています。元々、こういう理論というのは、微視的な世界ですね、核力だから原子核のサイズの話です。この弱い相互作用というのも原子核の崩壊なんかを議論しますから、それはやっぱり原子核のサイズで働く理論なので、最初からそういうミクロな世界ですね。だからミクロな世界っていうのは量子力学の法則に従って、記述しないといけないわけですが、そういう量子論的な理論として、元々作られているわけです。

これに比べてですね、重力理論のほうは、巨視的な重力理論ですね。だから、太陽系とか銀河とか宇宙全体の大きさとかですね、そういうことに関しては先ほど見たように、一般相対論はたぶん非常に正しいと思われているのです。巨視的な重力理論はたぶん一般相対論の考えで正しいだろうと思われているのですが、微視的な領域にこの重力理論を使おうとすると、実はうまくいかないのです。これは量子力学の法則に従って、理論を量子化するという手続きをするのですが、量子化した後で、一般相対論を調べてやると、至るところに意味のない無限大、とにかく何を計算しても答えが無限大になってしまって意味がない結果になってしまうということが起こります。これはいわゆる、理論が繰り込み可能でないということなのですが、ちょっとこれは技術的なこと

なので説明できませんが、量子論的な取り扱いをしようとすると、何を計算しても全部無限大になってしまうという意味がない結果を与えてしまいます。これは先ほど司会の方も説明してくださったのですが、額面通りに受け取りますと、この量子論というのは20世紀の物理のひとつの大きな柱です。これの正しさっていうのは、もう20世紀を通じて量子論というのは確立されてきたわけで、絶対に従わなくちゃいけないのですね。量子論的な考え方というのは、もう確立しているわけです。一方こういう巨視的な現象をうまく説明するには、一般相対論っていうのが展開されてきたわけですが、これがこのままでは量子論とは、仲が悪い、折り合いが悪いというそういう状況です。だから、我々が知りたいのはですね、例えば、宇宙の始まりとか、ブラックホールの真中辺りとか、そういう莫大な量の物質が非常にマイクロな空間に閉じ込められたような状況ですね。皆さんよく聞かれたことがあると思うのですが、今はビッグバン宇宙論というのは、宇宙がバーンと爆発して、広がっているわけです。これは映画を逆回しにするようなことをしてやると、遠くの星のほうが速い速度でどんどん近づいてきて、近い星もゆっくり近づいてきて、ずーっと百億年ぐらい遡ると、どうも宇宙は1点でみんなひっついてしまう、集まってしまうというわけですね。そうすると、そこでは宇宙にある現在の物質が全部、マイクロな空間に集まってしまったような、ものすごい極限的な状況になっているわけです。これは想像を絶するようなすごい世界ですが、ブラックホールの真中っていうのもそうですね。太陽よりも重たいような星が潰れていって、自分の重力の重さを支えることができないで、自分で崩壊していくわけですが、崩壊していって、最後に本当に数学的な1点にまで潰れていってしまうわけですね。本当に最後に潰れたところで何が起るかということを議論したいわけです。放っておけば、今のところ一般相対論でやる限り最後の1点にまで潰れていってしまうという。そういう、めちゃくちゃにマイクロな空間に膨大な量の物質が閉じ込められたような状況を、きちっと議論したいということですね。だからそういうマイクロな世界での重力理論がないと、我々は一体どこから来たのか、一体宇宙の始まりはいったい何だったのかということを、サイエンティフィックな議論ができない。SFみたいなことは勿論議論できるわけですが、本当に科学的な議論が出来ないので、マイクロな世界の重力理論を議論することが出

来るような基礎理論が絶対に必要だってわけですね。一般相対論じゃちょっと具合が悪い。一般相対論をなんか修正しないとイケない。一般相対論はだからマイクロの世界でトラブルを持つっていうのは一般相対論が出てすぐに気が付かれたことなので、もう100年ぐらい、そういう深刻な困難があるということがあったわけですが、非常に長い試行錯誤がありまして、これをやってみよう、あれやってみようというんな試みがあったのですが、どうやってもうまくいかないわけです。これ後でちょっと出てきますが、超対称性という考え方が、現在、素粒子物理で重要な位置を占めているのですが、これを後でご説明しますが、そういう新しい対称性を余分に増やしてやって、一般相対論を改造しようという試みがあります。これを超重力理論と呼んでいるのですが、超対称性という対称性を付け加えてよくした一般相対論です。そういうものでうまく行くのではないかということも、期待された時期があったんですが、結局うまく行かないことがわかります。

いろんな試みをして全部うまくいかなかったのですが、現在、有望と考えられている理論、ただひとつ有力候補がありまして、それが超弦理論と呼ばれるものです。素粒子というのは普通は点なのですよね。普通は数学的な点だと思って、それが一番基本的な粒子だと思っただけですが、点の代わりに、弦ですから紐、一次元的に伸びたものを考える。それで弦理論には2種類ありまして、端が開いたものと、それから端がない閉じたゴム輪みたいなもの、こういうものがあるって、張力を持っています。だから、いずれこんなやつを見ると、くるくる縮まって、ぎゅっと縮まってしまいますから、放っとけば殆ど点に潰れています。だから遠くから見るとこれは殆ど点なのです。ただ、うーんと倍率のいい顕微鏡か何かで見ると、広がりが見えてくる。その倍率がめちゃくちゃに高い倍率で見ると、広がりが見えてこないような、極微の紐になっているという風に考えています。それで、これもぎゅーっと自分で長さが縮んじゃいますから、殆ど一番エネルギーの低い状態っていうのは、もう点みたいなものです。これを調べてやります。量子力学の原理でこういうものを量子化してやって詳しく見てやりますと、勿論こういうものは色々振動させたりぐるぐる回したりしてやると、高いエネルギーの状態がたくさん出てくるのですが、今は一番エネルギーの低い状態を見てやりますと、それを遠く

から見るとやっぱり粒子に見えるわけですね。これは励起したりする状態が無数にあるわけですが、遠くから見てやるというか倍率を下げて見てやると、点に見えるわけです。点粒子で、振動しているやつというのはエネルギーが大きいから、大きなエネルギーっていうのは大きな質量に見えます。相対論では質量とエネルギーというのは同じものですから、止まっている粒子のエネルギーというのは質量だと思ってしまうんですね。だから、非常に激しく振動しているやつというのは質量が重い素粒子で、一番低い状態というのは一番質量が小さな素粒子です。そういう物がたくさん出てくるのですね。だから言わば、楽器でいろんな音色が出てくるようなものですが、普通の意味の素粒子にバラすと、そういうものが無数に取り込まれているようなものだと思って頂いたらいいのです。それで、一番低いところに出てくる粒子が、実はゲージ理論に出てくる粒子です。さっき言ったように、光も粒子の集まりと思っていいということになりますが、このゲージ論というのは電磁気の拡張したような理論なので、やはり粒子の集まりと思える。それがゲージ粒子ですね。ゲージ粒子の集まりなのですが、これの一番エネルギーの低い状態がゲージ粒子になります。そういう風に振る舞う。それで閉じた弦の場合は、一番ちっちゃいやつはやっぱりくるくるっと回っているわけですが、これは重力波を担う粒子ですね。重力波も波ですが、量子化すると重力子の集まりになるわけですね。これのエネルギーの一番低い状態が重力子だと。だから、励起状態つまりエネルギーの高い状態を全部捨てちゃうと、開いた弦からゲージ理論が出てくる。ゲージ理論というのが、素粒子の標準理論を、説明できているわけですね。これがゲージ論で書けていますから、開いた弦から素粒子の標準模型を出そうと。それから、閉じた弦から一般相対論を出そうと。一番エネルギーの低いところは一般相対論になりますから、従ってこういう弦の理論を使って、現在成功しているゲージ理論、それからマクロな現象で成功している一般相対論を出そうと。それで、低い現象では一番エネルギーが低い状態しか効きませんから、結局ゲージ理論とか一般相対論に帰着することになる。しかし、極微な世界というか、めちゃめちゃに物質がたくさん集まって、すごいエネルギーで運動しているような時には、この高い励起状態がざーっと効いてくるのではないだろうか。この紐の高い振動状態みたいなのが全部効いてきますと、ゲージ論とか一般

相対論からのずれが出てきて、それがうまく働いて、一般相対論の悪いところを直してくれないかというのですね。さっき言った、ミクロな世界で一般相対論というのはちょっと病気を持っているので、いろんな量を計算して全部発散してしまう、無限大になっちゃうのですが、その病気を治してくれないかという、そういう試みです。実はそれはすでにうまくいくことが分かっています、ひも理論では、理論的に無限大が出ません。だから、一般相対論が一番困っていた、ミクロの世界で無限大が出てしまうようなことは、既に、今の段階で避けることができることが知られています。だからある意味で数学的な整合性を持つような、ミクロな世界での重力理論の一種を与えているのですが、巨視的な世界では一般相対論に戻ることが出来るという試みです。だからそういう意味で非常に有望であるということなのです。

それから弦理論というのは、実は4次元に住んでいるのではなくて、もっとうんと高い次元の空間、10次元の空間に住んでいないといけないということがあります。これはもう、10次元というのは、理論の数学的な整合性から動かせないのですね。だから、逃げられないといえますか、次元まで決まっちゃっているわけです。これが、最初から4だったら良かったのかも知れませんが、むしろ4よりずっと外れてしまって、10次元の空間に住んでいる。実はたぶんそうでなくて、ずれていたほうが良かったのだと思うのです。それはどうしてかといいますと、そうするとこの4次元が普通の我々の住んでいる世界で、さっきカルツァー・クラインの理論という5次元の理論があったんですが、それは5番目の方向はすごくちっちゃくって、そっちの方向に空間が広がっているようには見えない。だから実質4次元で、そちらが非常に短い、長さがあるお陰で、余分な電磁的な相互作用をそこから出せた、というようなことがあるわけですが、ここでも同じようなことを考えます。余分な空間が6次元あるんですが、これは何か非常にちっちゃな大きさになってしまっていて、やっぱりこんなサイズで日常生活には見えない。だから日常的には、宇宙が4次元になっていると。もしかしたらですね、宇宙のうんと初期には、勿論初期は短いですが、実はこの長さもこれもこれも同じ大きさになっていて、宇宙全体は10次元に持ち上がって見えたのかも知れませんが、現在の宇宙では、こっこのほうがうんと広がっていますから、これはちっちゃくって見えない。ところがこちらの6次元の空間は

独特な幾何学的な性質を持っていて、今の我々の世界に素粒子が何種類あるかとか、どんな量子数を持っているかとか、或いはどんなゲージ対称性、どんなゲージ理論が出てくるかとかいうそういうものをこれが支配している。こここのところから、そういう現在我々が知っているような、素粒子物理に必要な情報が出てくるという風に考えましょう。元々4次元だけだったら、この余分な空間がないので、むしろそういうものが出せなかったかも知れませんが、だから、この余分な次元のところから、我々が欲しい、素粒子の持っている性質が出せるのではないだろうかという風に考えています。6次元の空間についてどんな性質があるかっていう話ですが、その6次元の空間について Yau さんという数学者がやった仕事が、非常に物理で使われているのです。この写真は弦理論の会議に招待した時ですが、数年前の会議です。

弦理論というのは、南部先生が初めて言い出したのが1970年前後だったので、もう40年ぐらいやっているのです。普通は物理学の新しい理論というものはですね、始まったら10年ぐらいでだいたい解けてしまって、様子が分かって決着するというのが普通なのです。しかも研究者の数は、たぶんだいたい数人ぐらいの人達が参加して解いてしまうものです。ところが弦理論に関しては、スケールが全体に違ってしまっていて、40年やってもまだまだ行方が分からない。かなり進歩してきているのですが、どうなるか分からない。それから参加している人間が数名とかじゃなくて桁がちょっと2桁か3桁ぐらい多くて、世界で数千人ぐらいの人達が参加して仕事をしています。普通は10年もやったら、理論のだいたい輪郭は分かってくるものですが、最近非常に驚いたことが1995年ぐらいに起こったわけで、新しい進展がまたおこっているんですね。だから理論が、まだまだ決着してない。我々が理論の中で、ぼこっと知らない所がまだたくさん残っているって感じなのです。当時、全然違ったと思った5種類の弦理論があります。弦理論が本当に自然界を記述する理論だったら、そんな5種類もあたら具合が悪いわけで、どれが自然を記述するのかっていう決め手がないわけです。だから本当は、一般相対論みたいに、もう殆ど全部完全に決まってしまうというのが一番いいわけですね。ただそんなに話がうまくいくとは限らないわけで、決まってしまった理論が実験と合わなかったら全滅するわけですから、非常に厳しいわけです。ここで発見されたのは、全く違ったように見えた理

論が、実は見方が悪くて、ある方向から見ていた。例えば、地球から見てみると、月というのは、いつも同じ側しか見えないですね。表側しか見えずに裏側は見えないでしょ。ある弦理論というのは月のこっち側だけを見ていたような理論なのです。それで別の弦理論というのは月の裏側だけ見ていたような理論。それで、表側だけ見る理論って裏側はなかなか見えないのですね。その理論ではすぐには見えない。何かあるかも知れないけど見えないというフォーミュレーションになっちゃっていると。別の理論は裏側だけ見えるけどこっち側が見えないと。お互いそういう関係になっているような弦理論がある。例えばこのタイプ1と、どうだろう、混成弦理論の2かな、そういう関係にあることが分かりまして、だから実は同じ理論なのだけど、見方が悪かった。そういうことで、異なった理論と思ったものが全て同一という、これは弦理論にとっては非常に良いニュースだったわけです。そういう発展があった。あとDブレーンの発見とかですね、M理論の発見とか非常に大きな進展がありまして、だからまだまだ弦理論は、動いている状態です。申し訳ありませんが、もう時間がありませんので、省略させていただきます。

弦理論の今までのうちでたぶん一番重要な成果としてはですね、ブラックホールを量子論的に取り扱うことができるようになったことです。ブラックホールってさっき言ったように、ものすごく引力が強くなって、外に物質が逃げられないような、非常に極限的な状態なのです。そういうものだからこれは一般相対論から言われている宿題なわけですが、一般相対論では量子論は駄目だと、うまく折り合いが悪い。だから弦理論が、もし一般相対論を超えていくのだったら、ブラックホールに関して量子論的な取扱いをやってみる。もしいい取扱いができれば少し進歩したことになるわけです。それでブラックホールの準位を、量子論的にきちんと調べて、準位の縮重度を求めるということをやるわけです。それがブラックホールのエネルギーが非常に高い極限で、縮重度がどれぐらい速く、大きくなるかということを見てやると、エントロピーと呼ばれる量が出てくるのですが、これが一般相対論から予測されていたエントロピーを再現することが分かっています。だから、量子論的な重力の取扱いの一端が、実際に実現されていることが分かってきたと言えると思います。

こういう風にめざましい進展が起こっているのです

が、まだまだ難しい問題がありまして、ここで超対称性ということが出てきます。これをご説明しますと、粒子にはですね、非常に大きく分けますといわゆるボソンとフェルミオンという2種類ありまして、ボソンと呼ばれるのはスピンの0とか1とか整数な粒子です。光を粒子にばらした時の光子っていうのはスピンの1なので、典型的なボソンになる。ところが電子なんていうのはスピンの1/2なのでフェルミオンと呼ばれるものです。ボソンとフェルミオンというのは男と女みたいな、陰と陽みたいに全てのをふたつに分けるようなものです。それで、スーパーシンメトリーとは何かと言いますと、ボソンがあつたら必ず相棒のフェルミオンがいる。相棒って意味は、スピンの1/2だけ違うんですね。例えば電子がいると、電子はスピン1/2ですから、電子の相棒のスピンの0の電子、スカラー電子っていうのかな、スピンの0の電子がいるとせよ。そうすると、理論が非常にいい性質を持つということが知られています。だから、そういう対になっています。ボソンとフェルミオンが対になっていると、理論の性質が非常に良くなって、うまく働くようになる。それで、超弦理論という時の「超」っていうのは、この超対称性という意味の「超」です。だから超がない弦理論っていうのもあるのですが、それは実のところうまくいかなくて無限大の問題が回避できないんですね。無限大の問題が回避できるのはこの、超対称性のお陰なのですが、弦理論に超対称性を加味して、加えてやると無限大の問題を回避することができる。超対称性っていうのはしばしば、非常に強力な働きをすることがあります。しばしば非常に難しい理論の厳密解を与えることもあるということですね。こういうことは最近詳しく分かってきている。ところがですね、自然界では、この超対称性っていうのは、本当には成り立っていないわけです。電子と全く性質が同じで質量も同じだし電荷も同じような、しかしスピンだけが違うスピンの0の粒子というのは、実際に自然界にはないわけですね。そのぐらいの粒子がないということは現在の実験でよく分かっています。それを我々はどのように考えているかというと、それは超対称性が、何らかの仕掛けで破れて自然界では実現していて、電子の質量よりも電子の相棒の質量のほうがずっと重いから、これはまだ作られてないのだろうと、見つかってないのだろうと思うわけですね。だから猛烈な加速器でぶつけた時にこれが出てくるかも知れない。それを現在、CERNというジュネーブに巨大

加速器を現在走らせようとしているわけですが、そこで見つけようとしているわけですね。だからこういう超対称性粒子が本当にあるかどうか、それを作り出して、見つけようとしているわけですが、現在のところはまだ、見つかっていないわけですね。そういう、超対称性が欲しいのですが、ないと理論ができないのですが、それは本当は壊れていて、その壊れ方の機構がよく分かっていないという。この辺が一番弦理論の難しいところだと思います。それで、超対称性がないと、いろんな時に近似に信頼性がなくなります。例えばさっき、エントロピーがうまく説明できると言ったのも、これは超対称性を持っているようなブラックホールの場合であつて、超対称性がない場合には、もう信頼性がなくなってしまつて余りアテにならない。その他にも深刻な問題があるのですが、ここで詳しくお話しする時間はありません。

超弦理論というのは、30年以上に渡って相当数の世界の研究者が参加して進めている、ビッグプロジェクトです。だから、何に比較したらいいのでしょうかね、よく分かんないな、大きなピラミッドを建てているようなものではないか。こんなプロジェクトってたぶん、今までなかったと思うのですが、分かりません。まだクリアしなきゃいけないハードルは結構相当きついで、この先大きな壁にぶつかる可能性もありますが、宇宙の構造を解き明かすための鍵はここに入っているんじゃないだろうか。例えばブラックホールの問題なんかについても、正しい答えを与えるので、正しいようなヒントはあるわけですね。気配はあるわけで、何かエッセンスをうまく取り込んでいるのではないかと思われま

す。それから説明することができなかったのですが、これ勿論素粒子論のプロジェクトなのですが、最近は原子核物理とか物性物理にも、特にAdS/CFT対応という手法が使うことができるのではないかということがあがってきていまして、将来他の分野にも大きな影響を与える可能性があると思います。(拍手)

(司会) 物理学の最先端の研究の現場のお話を、興味深く語っていただけだと思います。ここで質問、或いはコメントがあれば、どなたも遠慮なくお願いします。青木先生から、時間は気にしないで良いという達しがありましたので、遠慮なく、どなたでも質問してください。



(質問者) 僕が学生の頃ですね、スーパーシンメトリーをちょっと研究したのですが、その時に、例えば佐藤理論ってありますよね、ソリトン方程式のKP方程式、あれで、佐藤、KP方程式の解が、真空期待値を使って表すことができるという話があって、スーパーでも、超対称、だからそのKP方程式とかの超対称化版でも、同じことがパラレルに成り立つんじゃないかと思って、いろんな論文とかちょっと読んでいたことあるんですけど、なんかうまくいかないんですね。あれって、もうずいぶん昔のことなのだけど、今そこらへんはどういう風になってるんでしょうか。

(江口先生) どうなってるんだろう、マニオンとかなんとかありましたよね。

(質問者) ええ。

(江口先生) ちょっと分かりません、うまくいかなかったのかも知れないな。誰か、ご存知ですか。ちょっと分かりません。

(下村先生) すいません、じゃお先に、学生ではありませんけれど、質問させていただきます。ひも理論ですね、閉じたのが重力になって、開いたのがゲージ理論ってことですけど、それらの、それらがいっぱい集まって相互作用をしようと思うんですけど、例えば、さっきの閉じた輪っかだところ、何と言うんですか、こう、繋がってですね、組み替えるようなことが起きるんでしょうか。

(江口先生) 普通はこんな感じです、これが走ってくと、こうなって1個の輪っかになる。だから、これがグラヴィトンが2個来て、一緒になって、また、重力子ですね、それから、開いた場合には、こんなやつが来て、ここで一緒になってひとつになってるとか、そういうプロセスです。或いは、閉じたやつが開いたやつ、伸びたやつに、こんな風に、ちょっと、黒板があるといいんですが、すいません。

(下村) じゃああの、普通の空気の渦のようなものが、やっぱりあるというような。

(江口先生) はい、煙草の煙の輪みたいな。

(下村) ああ、そうですか。

(江口先生) はい、そんなもんと思っていただければ。

(下村) はいそうですか、ありがとうございます。もうひとつそれで、ストリング、なんか世の中は紐でできてるんだ、というキャッチフレーズをよく聞くんですけど、

どうして紐なのか、っていうの(笑)。

(江口先生) 分からないですね。むしろ、だから、他にうまくいかなかったっていうのがひとつでしょうね。

(下村先生) 例えば、その、布を検討したことはあるんでしょうか。布というか二次元の広がりです。

(江口先生) うまくいきません(笑)。

(下村) ああそうですか。

(江口先生) はい。だからひとつはひも理論というのは南部先生が発見した時は、全く別の動機なので、ちょっとこの重力の問題とかは別の話だったんです、それはむしろ、クォークと反クォークがあって、それが例えば紐で結ばれてるとします。そうするとそういうのがこう振動したりぐるぐる回ったりすると、いろんな粒子が、スペクトラムが出てくるので、それが実際知られているような、ハドロンのスペクトルになるんじゃないだろうかと。或いはこれぎゅーっと引っ張ってもですね、ゴム紐ですと、どんどんどんどんエネルギーが上がって、1個を取り出せないですね。これはいわば、クォークの閉じ込めというやつで、そういうのを説明するモデルですかね。何でしたっけ、もうひとつ。

(下村) 何で紐なのかということですが。

(江口先生) そうですね、そうです、だから動機としてはそういう動機で、ちょっと違う方向から来たんですが、もうひとつは重力を量子化したいという、量子論的な理論にしようと思って、ありとあらゆる試みをしたんですが、だから、荒っぽく言っちゃうと、4次元にこだわったり、粒子の数を1個2個増やしたって駄目だ、それじゃできなかったと。だからもう、次元を変えてもいい、粒子の数を無数に増やしてもいい、というぐらいにしてやらないとできなかったっていうのが結論です。それが意味あるものかどうかっていうのはまあ、すぐにはなんとも言えないわけですが、そのぐらい、相当荒っぽいことをしてやらないと、重力を量子化するっていうことはできないんですね。それ以外は全て失敗したというのがまあひとつの説明です。

(白旗) 超弦理論の、理論的なお話で、困難があるというのは今伺ったんですが、ひとつの、もうひとつのその泣き所として聞いたことがあるのは、実験が非常に困難であると、エネルギーが非常に高いレベルじゃないと出てこないで、いろんな理論があってもそれを絞り込むことができないっていう話があると思うんですけど、

先生は超弦理論の第一人者ということで、その点について、どういう風にお考えになっているのかなとお伺いさせていただきます。

(江口先生) はい、その通りです。それでですね、実はさっきブラックホールの話が出てきたんですが、実はこれが非常にあの、何て言うかな、励みになった話なんです、ブラックホールのエントロピーの問題です。ブラックホールっていうのはどうしてエントロピーを持つかと言いますと、外から物が落ちた時に、取り出せないんですね。だから外に粒子があれば、その情報量というのは測ろうと思ったら幾らでも測れるわけで、どういう電荷を持っているとかどういう質量を持っているとかそういうことが分かるんですが、中に落ちちゃったら、中に追っかけてって観測したらその人、外に伝えることができないので、駄目なんですよ、見えなくなっちゃうわけね。そうすると中に落ちた情報っていうのをブラックホールっていうのは隠して持っているわけです。で、何が見えるかということ、落ち込んだものの、全体の質量みたいなのは遠くから見ていて見えるわけです、ブラックホール全体の質量は分かる。或いはブラックホール全体の電荷みたいなのは分かる。そうするとうんと少数のパラメータでしか、特徴付けができないんですね。ただ落ち込んだのがどういう風の中で運動しているかってのは非常にたくさんの可能性があるわけで、そういう意味では気体分子の運動なんかとすごく似ているんです。だから閉じ込めた箱の中に、気体分子を入れておくと、全体としてどれぐらい体積があるかとか、圧力があるかとかそういうことは言えるわけですが、具体的に、どの分子がどういう運動をしているかってことは、もうちょっと追っかけきれないわけですね。その全体として、同じエネルギーとか電荷を与えるような、状態の数が、エントロピーと呼ばれるものです。だから、外から見えない、外から見える量がうんと少数しかなくて見えないものがたくさんある時に、中でなんか隠して持っているわけです。隠された情報っていうのがエントロピーなわけです。それを、一般相対論ではですね、熱力学のアナロジーを使って、ブラックホールの断面積の1/4だっという予言があるんですね、これはホーキングとかベッケンシュタインが見つけた。これを出せるか。これをだから、そういうアナロジーじゃなくて、真面目に、量子状態を作って、ちゃんとカウントして導きたい、量子化するとですね、ブラックホールの質量も飛び飛びに

なるんですね、量子化すると、エネルギー準位というのは勝手に、連続の値とはれない、飛び飛びの値をとる。あるエネルギーではいくつ状態があるか、そういうのは縮重度と呼ぶわけですが、エネルギーを高くしていった時に、非常に高いエネルギーのブラックホールは縮重度がどれくらい増えていくかっていうのは、エントロピーなんです、超弦理論でそれを計算してみせたわけですね。だから、ある意味で、量子論的な取扱いをきちんとやって、真面目に計算してみたら、一般相対性理論の予言とぴったり合ったわけです。これは実験じゃないんですが、ただ、実験に近いですね。だから、一般相対論の、マクロな物理から予言されたものを、ある意味でミクロに出してみせると、そういう関係になっていまして、だからまあ、これは、何と云うんでしょう、実験のできないところで、実験に近いようなことをやれたということで、非常にハッピーだったわけです。これが違っていたらもう相当ピンチだったと思いますが、合いましたね幸いなことに。理論はかなりきつく決まっていますので、ちょっと合わないところとか手直しをするってわけにはいかないんですね、そうするともうボロボロになってしまいますから、だから非常に辛いんですが、これはまあうまくいってる。それから、確かにこういう極限的な重力現象というのはほんとに難しい、実験的に難しいわけですが、最近面白いのは、その物性の問題なんかに応用が利きそうだということで、その辺で、びっくりするような、展開があります。これは弦理論を使ってですね、だからこれ物性の人なんかでも非常にびっくりするような話なんです、物性の問題に、ブラックホールの話を持ってきて、物性の問題を解くというようなことをやるわけです。それがほんとに全部正当化されるようなことをやってるかどうかが、ちょっとなかなか、まだなんとも言えないと思うんですが、それで、いろんな現象について面白い予言ができて、普通の物性の手法では解けないような問題が、いわゆる強結合の、例えば高温超伝導の問題とかですね、そういう相互作用が強い系では、普通の計算はやれない、やっても答えが、信頼できる答えが得られないので、やりようがないんですが、弦理論で開発された手法を使うと、問題を違うものに化かしてですね、だから、ゲージ理論の問題、こういう物性の問題を、例えば重力の問題に化かしてしまうと。そっちのほうはむしろ、結合定数が弱い理論に化かすと、結合定数が強い理論を弱い理論に化かすというのを、双対性と

呼んでるんですが、こういうことがうまく働く場合がある。これですね、この、デュアリティーと言っているのが、そういう手法なんです、強い相互作用を持った理論を、弱い相互作用を持った理論に化かすと、さっき言ったこのタイプIの理論と、例えばこのひとつの混成弦の理論というのは、こちらの強い相互作用のタイプIの理論と、結合常数がちょうど逆転したような弱い相互作用の混成弦の理論がお互いに等しくなると、月の裏と表の関係になったと、そういうような話なんです、だからもしかすると、全然違うところですね、何か物

理学の役に立って、そういう問題では勿論実験的な何かいろんなテストができるわけですから、お役に立てるかも知れない可能性はありますね。そうじゃないと、なかなか一般の現象では難しいと思います。

(司会) はい。では、時間もだいぶ過ぎてきましたので、質問ある方も、たくさんいらっしゃると思いますが、また終わった後に個別にお願いします。それではどうも、江口先生ありがとうございました。(拍手)

# アインシュタインと宇宙の謎

京都大学基礎物理学研究所

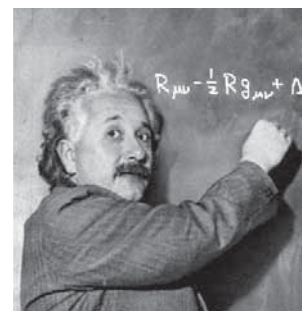
江口徹

アインシュタイン奇跡の年: 1905年  
(国際物理年: 2005年)

特殊相対性理論

光電効果 → 量子力学

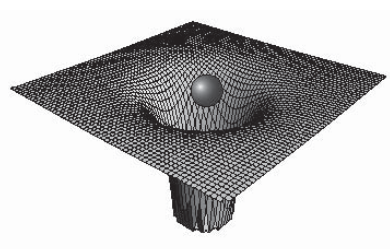
ブラウン運動 → 統計力学



アインシュタイン東大講演, 1922

20世紀の物理学の柱

## ♣ 一般相対性理論: 1916年



質量エネルギーなど  
重力の源があると、  
周りの時空にゆがみを生じる

歪んだ時空の中で運動する粒子には、重力  
が働くように見える

### 等価原理

慣性質量と重力質量は高い精度で一致

$$m_I \alpha = F = \frac{GMm_G}{r^2}$$

$$m_I = m_G$$

## ★アインシュタイン方程式

$$R_{ij} - \frac{1}{2}g_{ij}R + \Lambda g_{ij} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{ij} \quad , i, j = 0, 1, 2, 3$$

計量      宇宙項 (アインシュタイン:人生最大の失敗)

## ★測地線の方程式

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{jk}^i \frac{dx^j}{ds} \frac{dx^k}{ds} = 0$$

粒子は最短距離の経路に沿って動く

### ◆ 一般相対論の予言:

- 太陽の周りの光の屈折

$$\theta = \frac{4GM_{\odot}}{R_{\odot}} = 1.75 \text{ 秒}$$

エディントン 日食の観測  
1919年

- 水星の近日点移動

$$\theta = 43 \text{ 秒/1世紀}$$

19世紀より知られていた

- 重力波

中性子星連星からの重力波の放射: テイラー・ハルス1993年、  
LIGO実験 現在進行中

- 膨張宇宙の解

ハッブル1929年: 遠くの天体ほど早い速度で遠ざかる  
→ ビッグバン宇宙論

- ブラックホール

実験的な証拠が数多く見つかった

## アインシュタイン晩年の夢

重力と電磁気力の統一

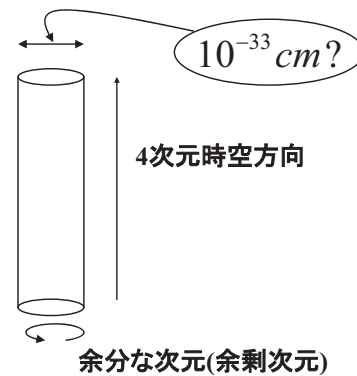
5次元時空の一般相対論

余分な次元は小さくて見えない

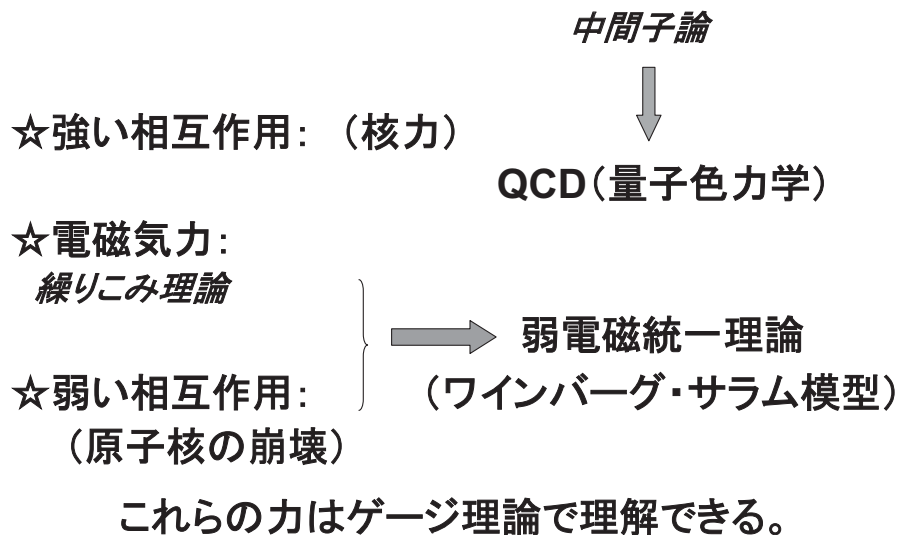
5次元の計量

$$G_{ij} = g_{ij}, \quad G_{i5} = A_i \quad \text{ゲージポテンシャル}$$

高次元統一理論(カルツァ-クライン理論)



♣ 現代の素粒子論 :



一方

☆重力:

巨視的な重力現象は一般相対論で正しく記述される。  
しかし一般相対論は微視的な領域では破綻を生じる。

一般相対論は繰り込み可能な理論で無いため  
量子論的な取り扱いをすると、計算量がすべて発散  
するという意味の無い結果を与える。

(一般相対論と量子論はそのままでは互いに矛盾！)

膨大な量の物質が極微の空間に押し込められる

☆宇宙創生 }  
☆ブラックホール } の謎を解くためには・・・

**ミクロな世界の重力理論が必要**

長い試行錯誤の歴史:

超重重力理論(超対称性を持つ一般相対論)  
などが期待された。

しかし、うまくいかない・・・

♡ 最有力候補 ♡  
超弦理論:

南部 陽一郎

開いた弦⇒ゲージ理論



エドワード・ウィッテン

閉じた弦⇒重力理論



ひもの長さ =  $10^{-33}$  cm



素粒子は極微の紐から出来ている。  
紐の基底状態  $\longrightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{ゲージ粒子} \\ \text{重力子} \end{array} \right.$   
紐の励起状態は質量の大きな  
素粒子に対応する。

低いエネルギーの現象ではゲージ理論や一般相対論を再現。

しかし、極微の世界、超高エネルギーの現象でひもの励起状態が効いてくる。  $\longrightarrow$  一般相対論、ゲージ理論を修正。

数学的な整合性をもつ量子重力理論を与える。



ひもは10次元時空に存在(カルツァ-クライン型理論)

$$10\text{次元} = 4\text{次元} + 6\text{次元}$$



素粒子の内部空間  $K$  (サイズ  $\sim 10^{-33}$  cm)

☆素粒子の持つ様々な量子数や

素粒子の世代や世代間混合の起源

空間 $K$ は特別な幾何学的性質を持つ

☆カラビヤウ多様体

$$R_{ij}(g)=0, c_1(K)=0$$

曲率の $U(1)$ 成分が消える



4次元での超対称性

☆ALE空間 ( $\times S^2$ )

消滅サイクルが存在



ゲージ対称性を  
生成

詳しい研究が行われている



♣ 弦理論にはこの10数年感で非常に大きな発展が起きた！ (2nd string revolution)

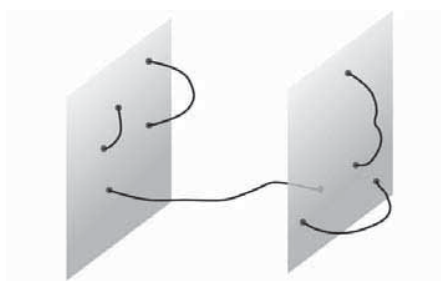
☆string duality: (S,T 双対性) 異なるように見えた5種類の弦理論はすべて同一  
タイプI,タイプIIA,IIB,混成弦<sub>1</sub>,混成弦<sub>2</sub>

☆Dブレーンの発見: 10次元時空中の中の超平面  
局在したゲージ理論が存在

☆M理論: 弦理論よりもさらに基本的な  
(Mystery) 11次元の理論の存在の可能性

## Dブレーンとゲージ理論

Dブレーンには開いた弦の端点が付く



Dブレーンと開いた弦

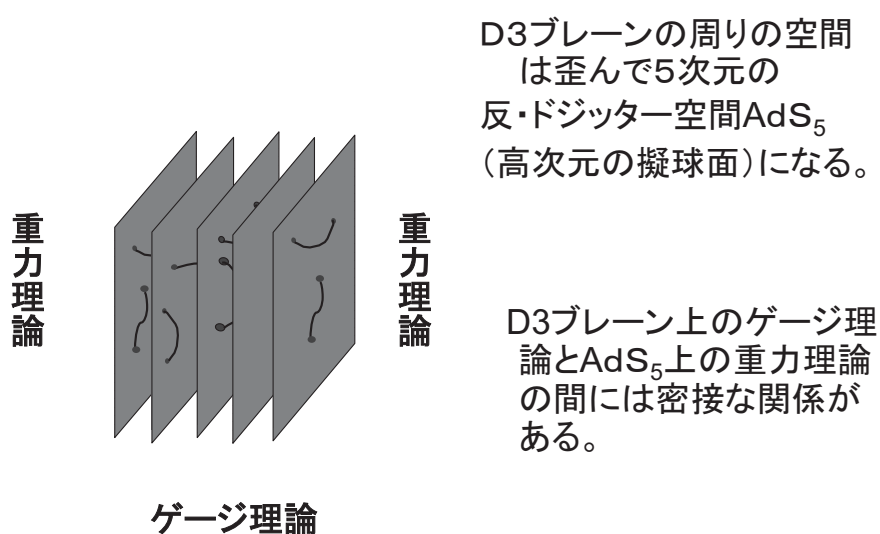


ブレーン上に局在した  
ゲージ場が存在

我々の住む世界が4元的に  
広がったブレーンである可能性  
がある

- ◆ **ブレーンワールド (brane world):**  
重なったブレーン、交差するブレーンなども考える
- ◆ **余剰次元 (Extra Dimension):**  
弦理論では6つの余剰次元。実験的な検証の可能性
- ◆ **宇宙創生の新しい描像:**  
ブレーン(反ブレーン)の衝突による宇宙の創成など

### ◆ AdS/CFT対応



ゲージ理論の強結合領域は重力理論の弱結合領域に対応( $g^2 N = R^4$ )。このため強結合のゲージ理論は重力理論にマップして調べることが出来る。  
非常に詳しい研究が行なわれている。(両者とも完全可解系らしい)。

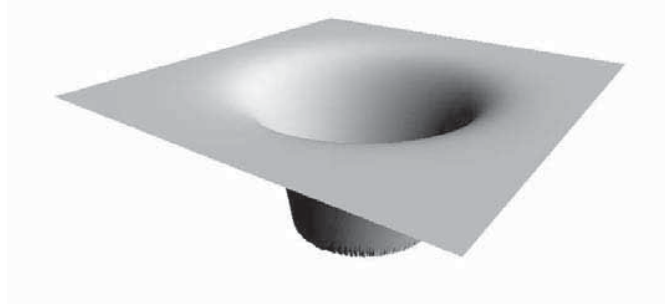
### びっくりする新展開

高温のQCD、QGPの物性、ずり粘性率の計算に応用された。

$$\frac{\eta}{s} = \frac{\hbar}{4\pi k_B}$$

高温超伝導、non-fermi liquidのモデル

- ♣ 弦理論の重要な成果:  
ブラックホールのエントロピーの導出



ブラックホールは情報を溜め込んでいる



エントロピーを持つ

$$S = \frac{A}{4}$$

ベッケンシュタイン・ホーキングの公式  
( $A$  はブラックホールの表面積)

一方  $W = \exp S$   $W$ :縮重度 (ボルツマンの関係)

課題: ミクロな量子状態を数えて縮重度を求める

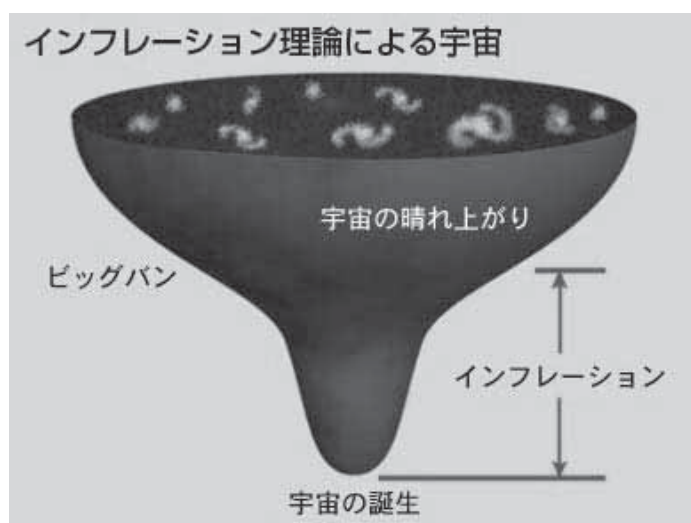
解決: 超弦理論はベッケンシュタイン・ホーキングの公式を再現

(強結合: ブラックホール  $\longrightarrow$ )

弱結合: Dブレーンの複合系)

## 宇宙論の進展

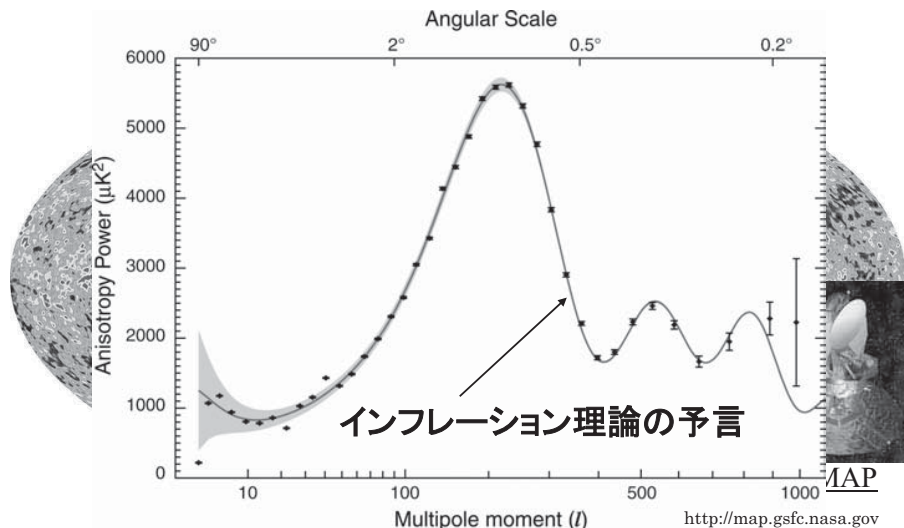
### インフレーション: 我々の住む宇宙を説明



宇宙の創成期に  
宇宙の大きさが  
指数関数的な  
膨張する時期が  
あった

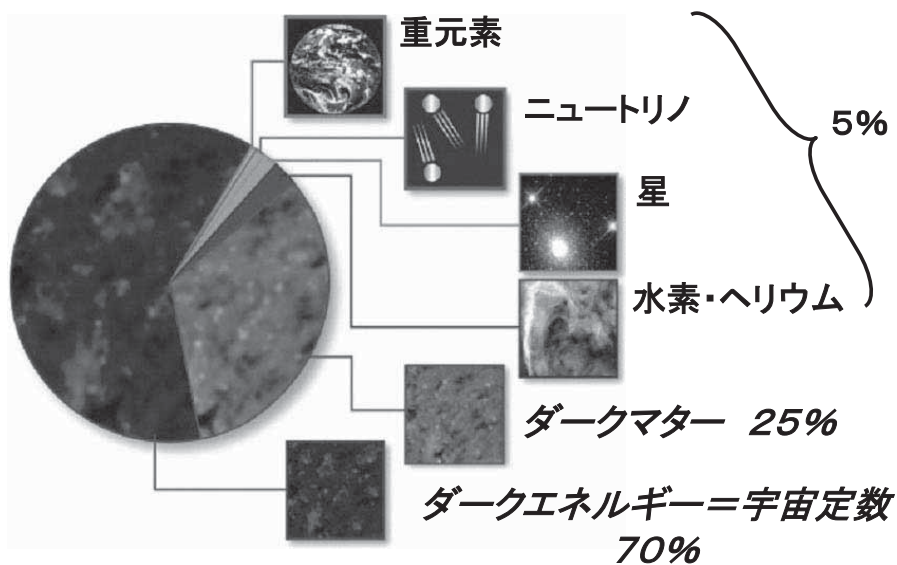
現在の宇宙の  
平坦さ、一様性

♠ **新しい観測結果**  
**(WMAP) ☆宇宙背景輻射の揺らぎ**



宇宙の大きさが今の千分の1くらいだった時の温度分布

☆宇宙の構成要素



新たな謎; 構成要素の95%は未知の物質

## ♠ 超弦理論の克服すべき課題:

超対称性(supersymmetry)に頼っている。

超対称性:

ボソンとフェルミオンが常に対になって理論に現れる。

非繰り込み定理。ホロモーフィー(正則性)。

しばしば、理論の厳密解を与える。

自然界では超対称性は破れた形で存在。

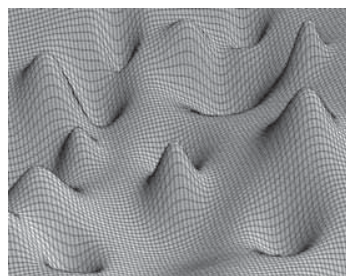
超対称性の(自発的)破れの機構が良く分かっていない。

超対称性が無いと近似に信頼性がなくなる

## 最近の進展、新たな問題点

### ・string landscape

超弦理論は非常に多くの真空( $\sim 10^{300}$ 個)を持ち、そのほとんどは負で大きな宇宙項を持つ。現実の宇宙は小さな正の宇宙項を持っている。



正しい真空を選ぶ原理? 論争中

## ♠ 宇宙の謎に超弦理論で迫る

超弦理論は30年以上にわたって全世界の研究者が参加して押し進めている一大プロジェクト。この先、大きな壁にぶつかる可能性もあるが宇宙の構造を解き明かす基本的な鍵はこの理論に秘められていると思われる。

今後の進展は物理学の他の分野にも大きな影響を与える可能性がある。





中野 泰志（なかの やすし）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター副所長  
日吉心理学教室、経済学部教授

1984年 東京国際大学 教養学部 人間関係学科 卒業  
1988年 慶應義塾大学大学院 社会学研究科修士課程 修了  
1988年 国立特殊教育総合研究所 視覚障害教育研究部 研究員  
1996年 国立特殊教育総合研究所 視覚障害教育研究部 主任研究官  
1997年4月 慶應義塾大学経済学部 助教授  
2003年4月 慶應義塾大学経済学部 教授、客員教授  
2003年4月 東京大学先端科学技術研究センターバリアフリープロジェクト特任教授に転籍  
2006年4月～8月 東京大学先端科学技術研究センター 客員教授  
2006年4月 慶應義塾大学経済学部 教授に復籍

（司会）増田 直衛（ますだ なおえ）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター所員  
日吉心理学教室、文学部教授

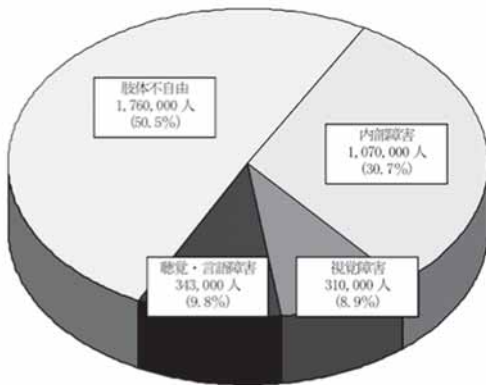
## 講演4 「バリアフリー・ユニバーサルデザインへの人間科学からのアプローチ 主観と客観、基礎と応用、大学と社会の架け橋を目指した取り組み」

（司会）私は、所員で文学部で心理学を担当しております増田と申します。次は、4番目の講演になります。3番目にご講演いただいた京都大学基礎物理学研究所所長の江口徹先生による「アインシュタインと宇宙の謎」は、非常にロマンチックな、しかも演繹的な綺麗な世界で、私の中ではSFのような話に思えたのですけれど、大変美しい世界でした。心理学というのは演繹をしていると、アームチェアサイコロジーと言われ、嫌われるのです。そして、データに基づいて、帰納的に論理を組み立てる学問になろう、自然科学に入れてもらおうと思ってきたわけです。慶應義塾大学でも、文系学部では、自然科学の分類に入っていますが、理工学部では社会科学、医学部では人文科学に分類されております。このような一見、節操がないように思える心理学の立場から、今日は中野先生にお話をいただきます。中野先生は、慶應義塾大学大学院の社会学研究科の心理学専攻を出た後、1988年から9年間、国立特別支援教育総合研究所の視覚障害教育研究部の研究員・主任研究官でいらっしゃいました。1997年に慶應義塾大学経済学部の心理学担当として日吉にお呼び致しました。その後、2003年から2006年まで、東京大学先端科学技術研究センター、バリアフリープロジェクトの特任教授に転

籍されまして、2006年に日吉にまた戻ってきていただきました。2007年から、慶應義塾150周年に合わせました、未来先導基金プロジェクトで、慶應義塾のバリアフリー・ユニバーサルデザイン（UD）プロジェクトのリーダーとして、大変な功績を残してくださいました。今日は、バリアフリー・ユニバーサルデザインへの人間科学からのアプローチというテーマについて、主観と客観、基礎と応用、大学と社会という観点から取り組みをご紹介いただきたいと思います。それではお願い致します。

（中野）はい。非常に大きなタイトルを付けさせていただきましたが、我々が行っている研究の一部を紹介させていただきながら、心理学という、自然科学に入れるには少し違和感があるかもしれない、社会科学、人文科学でもないというような学問のあり方を紹介させていただきます。またその中で、最初の所長のお話にあったように、このセンターは自然科学を通常の枠組みよりも少し広い観点で見ているというところを紹介させていただければと思います。また、このセンターでは教育という大きなミッションもございまして、若手研究員の教育にも役立っているのだということを、皆さんに知っていた

## 身体障害者 (348.3万人)



### 知的障害,精神障害,発達障害を含めると 724万人

図1 障害者の数(障害者白書より改変)

できたいと考えました。そこで、若手研究員として活躍している新井、山本と共に紹介をさせていただきます。

さて、本日、ここでお話させていただきたいのは、このセンターの中で行っている、バリアフリーとかユニバーサルデザインと言われる領域に関する、心理学を中核とした人間科学研究のプロジェクトについてです。非常に大きな話を持ち出してきたのですけれども、自然科学の中で、心理学のような、人間、特に人間の意識を扱うような学問からすると、この主観、客観というのは非常に大きな問題です。この主観、客観の問題や基礎と応用、それから大学と社会の繋がりについて問題提起をさせていただきたいと思っています。

バリアフリーやユニバーサルデザインというのは最近、色々なところで耳にするようになりましたが、対象として考えられているのはどういう人達のことかという、身体に障害を持っている人、例えば、肢体不自由だとか、聴覚・言語障害とか、視覚障害といわれるような、身体障害の人達ですね。厚生労働省の調査では、今、約350万人いるとされています(図1)。それ以外に、今、障害の領域でいうと、知的、精神、発達障害と言われる、精神的な面での障害というのがありまして、全て合わせると、日本で724万人の人が心身に障害を持つと言われてます。

私はずっと、もう20数年前から、この障害のある人達に関する研究を行ってきているのですけれども、その中で、多くの方々に障害を理解していただくために啓発用のビデオを幾つか作成してきました。その中の一つである「ファーストステップ?高齢者・障害者の支援技術

とその利用?」を持ってきましたので、紹介させていただきます。音声は消してあります。最初に紹介するのは、事故によって自分で自立的に動くことが難しくなった肢体不自由な方の映像です。呼吸スイッチというスイッチを使いながら、仕事をやっておられます。このスイッチが環境制御装置とつながっており、電話をかけたり、コンピュータをコントロールしたりすることができます。次に紹介するのは、自閉症といわれる障害で、対人コミュニケーションがなかなかうまくいかなかったり、時間等の見積もりを立てることがなかなか難しかったりする人です。人とやりとりをしながらスケジュールをこなしていくのがなかなか難しいので、タイムエイドという装置を活用して、スケジュール管理をしておられます。3番目に紹介するのは、視覚障害の人ですね。視覚障害の人達は見えなわけですから、移動するのがなかなか大変です。白い杖、白杖(はくじょう)や盲導犬等を利用して活動するわけです。最後のビデオは、盲ろう者です。ここに映っているのは、私が東京大学に転籍していた時に一緒に仕事をしていた、見えなくて聞こえないという盲ろう者の福島智さんです。指文字通訳者や点字ペンディスプレイを利用して大学の教員をやっておられます。このように様々な障害があり、それぞれの心身の状態の中で、いろんな道具や支援を使って活動をしている人達がいるわけです。こういった障害のある人達が、障害を克服して、社会の中で適応するための方法には、様々なアプローチが有り得ます。ひとつのアプローチは、失われた身体機能を向上させるというものです。有名な例でいうと、アメリカで研究されたArtificial vision for the blindがあります。脳には問題がなく、眼球の疾病や損傷で視覚障害になった人達、例えば、元々は見えていたけれども、戦争で眼球を失ってしまったという人に、カメラで捉えた映像をコンピュータで処理をして、視覚中枢に電極を埋め込んで、そこに情報を提供するというようなやり方で回復させましょう、というような技術があります。これは既に、アメリカでは実用化されております。今、紹介している動画は、画像処理をして脳に送られている映像です。まだまだ、埋め込める電極の数は限られているので、輪郭線を抽出して、抽出した輪郭線情報を脳に提供しているわけですね。2001年には、このシステムを使って、簡単な条件であれば、車の運転もできることが示されています。ここで紹介している映像は、人工視覚を利用してい

る視覚障害の人が車を運転している場面です。しかし、現在、2009年の段階で、このシステムを使って生活している視覚障害の人がいるかという、実はこれが難しいです。近年、脳研究が非常に盛んになっていますけれども、身体機能の向上を、脳に色々な情報を伝えるだけで補うことができるかという、これだけでは十分でないということが分かってきているわけです。私達、特に私が東京大学に移って、先端科学技術研究センターで福島さんたちと一緒に仕事をしていた時の視点は、障害とか加齢の問題を、それぞれの身体機能を高めることで解決するという考え方が主流でした。これは、先ほど団先生のお話の中にあっただ話で言うならば、私なりの言い方ですけれども、要素還元主義的な研究です。こういう要素還元主義で積み上げていく研究でうまくいくタイプの研究もあるのですが、なかなかうまくいかないタイプの研究もあります。団先生が仰っていたように、両面からのアプローチが必要だと思います。今現在、人間に対する科学の中で、不十分な部分というのは何かと言うと、全体から眺めていくという視点ではないかと私達は考えています。特に、個々人の身体と環境との関係性を研究していこうという観点から、私達はバリアフリー、ユニバーサルデザインに関する研究を行っています。そもそも、障害とは何かを考えると私達はスタートしてしまっていて、例えば、聴覚に障害のある人がこの場にいたとするならば、私達がこれまでずっと議論してきた話は、彼らにとってはほとんど伝わっていないと思います。これは、音声言語を介して私達がやり取りをしているのが常識になっているからです。ところが、聴覚障害の人達は聞こえないことだけが問題なのかと言うと、本質はそこにあるわけではありません。多くの人間が、音声言語を介してコミュニケーションをするという、コミュニケーションのスタイルに問題があるわけです。もし、手話がメインのコミュニケーション方法だったとするならば、むしろ、手話を使えない私達が障害者であるというふうに、相対的に位置付けられるはずですが。スライドでは、NHKの手話ニュースを、わざと字幕を隠して流しています。この会場におられる皆さんの中で手話ができる方は、たぶんそうはおられないと思います。聴覚障害の人は、日々こういう状態に置かれているのです。何の話が行われているか、よく分からない。でもなんとなく、喋っているのは分かります。もしかしたら手話通訳者の動作で想像がつく場面があるかも知れません。

実は、この手話ニュースで扱っていたニュースは、相撲の話だったのですが、ちょっと想像するのは無理ですかね。次の話は、飛行機事故の話をしているのですが、なかなか理解できないですね。聴覚障害の人達が置かれている状況は今の皆さんと似ています。聴覚障害のある人も、音声言語のみでやりとりされている状況で、なんとなく何か喋っているのは分かりますし、口の形状で想像できることもあるかもしれません。しかし、話の詳細はよくわからないわけです。でも、もし、字幕や手話通訳があれば、聴覚障害の人達は困らないわけです。もちろん私達も、今の手話ニュースに、音声言語が付いていればいいわけですし、字幕が付いてればいいわけです。たまたま今、聞こえる人達が主流なので、手話が公用語にはなっていません。手話を使っている人達にとっては、多くの人達が手話を知らないから、自分達は障害者として隅に追いやられているのだ、というふうに考える必要があるわけですね。これはちょうど文化の問題と同じなのです。今、日本で、色々なコミュニケーションをする時に、主流は日本語ですね。これと同じ話の手話の話としてあるのだと、手話という文化を認めて欲しいという考え方になっていくわけです。今、NHKのニュースの中の一部に、字幕や手話が使われていますけれども、全ての情報に手話や字幕が付いていたとするならば、聞こえないというだけで障害者になることはないはずですね。バリアフリーの問題というのは、様々なバリアを、個人と環境との関係で捉えていきます。今のデモンストレーションで考えていただいたように聞こえないという個人がいた時に、環境の中に字幕や手話がないことがバリアになるのです。もし環境の中に手話や字幕があれば、そこにバリアは生まれません。同様に、色々な箇所に階段がありますけれども、階段だけではなく、エレベーターがきちんとあれば、車いすの人にとってバリアはなくなるはずですが。このように、社会の作り方そのものを個人と環境との関係で考え、様々な心身の状態にある個人がバリアなく過ごせるような環境を整えていくこと、これがバリアフリーやユニバーサルデザインの考え方の根本にあると私達は考えています。この考え方は2001年にWHO(世界保健機関)も採用してくれまして、ICF(International Classification of Functioning, Disability and Health)、日本語では国際生活機能分類と訳していますが、この中で、心身の機能や構造は確かにそれぞれで違いがあるけれども、そ

# 「バリア」は「個人の心身の状態」と「環境」との相互作用で決まる

**バリアは「個人」と「環境」の相互作用で決まる**

バリア = f (個人, 環境)

足が不自由な人は移動が困難というバリアに遭遇する。  
しかし、車いすを使えば平坦な道の移動は快適!





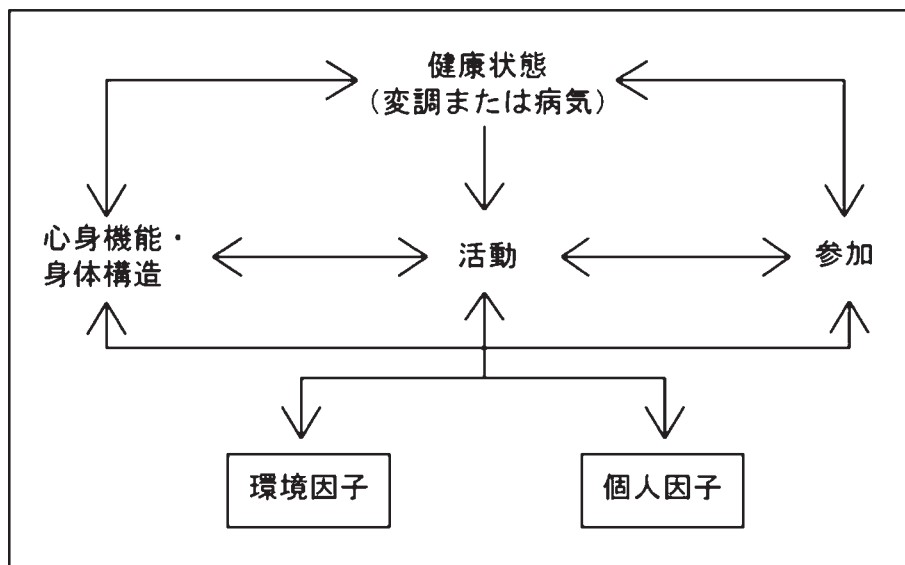
階段昇降機は便利! でも、注目されるのが嫌いな車いすの人もいます。それに、この機械は、車いすの人にしか使えない。物理的にはバリアを無くしてくれるかもしれないけど、誰もが使えるエレベーターの方がいいなあ!

エレベーターがあれば、問題は解決!  
しかも、エレベーターは車いす以外の人にも便利!

ところが、階段では再びバリアに遭遇!

図2 バリアとは?

## *International Classification of Functioning, Disability and Health (WHO, 2001)*



国際生活機能分類

図3 WHOによる障害の定義

の人達が、その心身の状態で活動したり、様々な社会に参加したりする時に起こってくる問題は、この心身の構造や機能だけに問題があるのではなく、環境との関係で決まるのだという考え方になりました。にもかかわらず、障害研究は長い間、心身機能の回復・向上を目指してきたのです。これに対して、私達は、個人はそれぞれの環境の中で生活をしているわけで、これまで説明して

きたように個人と環境との関係を生活機能の観点から問題にするアプローチも必要なのではないかと考え、研究を行ってきています。

このような研究を行うに当たっては、主観と客観の問題が非常に重要になります。これは言うまでもない話ですが、これまでのご講演の中では、例えば物理学の話の中では、物理的なエネルギーのことが問題になってきま

した。この物理的なエネルギーは、我々の行動に大きな影響を及ぼしているわけです。ここにある、空気や光がなければ私達の心理的な世界は無いわけで、この物理的なエネルギー、それからそれを受け取る身体、そして私達がそれをどのように感じるかという、エネルギーと身体と、それから心理現象との関係性を問題にしていく必要があります。バリアフリー研究の中では、特に、それぞれの人達が、快適に過ごしているかどうかということ、今、説明したエネルギーや身体、それぞれの人の主観との関係性で捉えていく必要があるということになります。ここで難しいことは何かというと、物理学や生物学等に関しては非常に研究が発達していますので、色々な計測が可能なので、客観化がしやすいですね。それに対して、言語でしか表現できないような、もしくは言語でも表現することが難しいような私達の心理現象をどう捉えるかというのが非常に難しく、この両面がなければ、実はバリアフリー研究は成立しないというところに、研究の方法論上の難しさを抱えています。個々の研究については、これから詳しく研究員から紹介してもらいますが、バリアフリー・UD研究の中で私達が目指しているのは、それぞれの主観の世界を、いかに観察可能な、それから数量化可能な行動に置き換えていくかです。そしてそれを、サイエンスの目的である、理解、説明、予測、制御に繋げていくかを考えることです。私の一番の専門領域は視覚心理学なので、視覚の例として白内障を例に説明させていただきたいと思えます。この中にも、もう白内障が始まっているという方がおられるかもしれません。白内障には、生まれて間もなく白内障になるケースと、高齢化して白内障になっていくケースがあり、始まる時期に違いがあるのですが、白内障の最初の段階のところに出てくる特徴のひとつにまぶしさ、それから、明るいところで読書をしたりする時のパフォーマンスが落ちてしまうというような問題、グレアディスアビリティを抱えることがあります。こういった、事例についての研究を私のところではずっと行ってまして、この問題を、人間の身体の特徴と環境との関係の中で捉えていきます。そうすると、まぶしさを感じるというような特徴を示す場面が、身体的な特徴と環境の特徴との関係で明らかになり、整理されていくわけです。私達が色々な活動をする時、物を見たりする時、例えば読書をする時には、この本の中に何が書かれてあるかが重要なわけですが、それ以外の様々

な邪魔な光があります。この邪魔な光が、実は、白内障の初期の段階でのまぶしさを生み出しています。これは白内障だけではなくありません。私達は、様々な事例を分析した結果、角膜の混濁だとか、硝子体の混濁でも同じようなことが起こってくることを明らかにしてきました。疾患によって症状には違いがありますが、見え方の特徴には共通性があり、そのひとつの特徴として白黒反転効果があります。白黒反転効果というのは、白い背景に黒い文字で表示するよりも、白黒を反転させて、黒い背景に白抜き文字にしたほうが見やすいという現象です。白内障等のない通常の眼の場合、白黒を反転しても違いはありません。最近、暗い背景のほうが見やすいと思われる方は、白内障が徐々に進行している可能性があると思ってください(笑)。実はこの現象、白内障のスクリーニング検査の中でも後に使うようになってきた手法で、様々な事例の分析を通して明らかになってきた現象なのです。この現象は、コントラストポラリティ効果(contrast polarity effect)と呼ばれています。色々な疾患でコントラストポラリティ効果を調べた結果、中間透光体が混濁している疾患で、この白黒反転の効果が特異的に見られることが明らかになりました。これが、現象の理解のフェーズです。何故こういうような効果が見られるかということ进行分析するのが説明の段階になります。本来、透明であるところが不透明な状態になると、光の乱反射が起こります。この乱反射の特性が、まぶしさやコントラストポラリティ効果を生み出しているのではないかというメカニズムに関する仮説を立て、検証を行いました。この仮説に基づき、白黒反転をした時とそうでない時とで絶対的な白領域の面積が違っている点に着目し、この面積を系統的にコントロールして実験してみると、予想通り白領域の面積に応じて白黒反転効果が変化することを突き止めました。先ほどの仮説や説明が正しいことを実験的に証明したわけですね。さらに、メカニズムが明らかになると、新たな現象の予測ができるというのが、サイエンスの中でとても大切な部分です。これからデモンストレーションを行いながら説明いたします。青木所長、ちょっと協力していただければ幸いです。青木所長はちょうど私と同じくらいの年齢なので、まだ白内障は出ていないと思いますので、これから白内障の疑似体験をしていただきたいと思います。眼鏡を外していただき、この白内障疑似体験ゴーグルを掛けてください。はい、今、青木所長に、にわか白内障に

# コントラスト ポラリティ 効率 生起の メカニズム

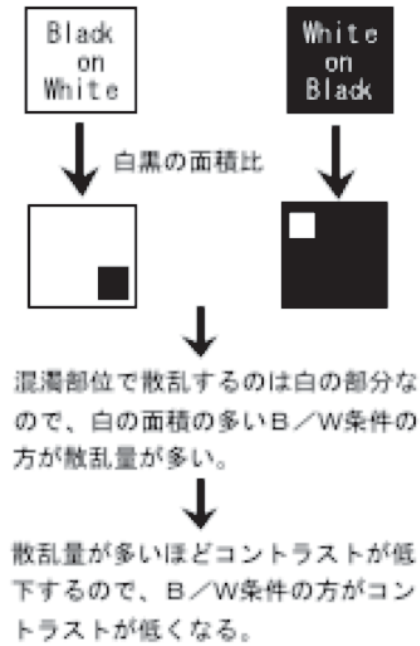


図4 コントラストポラリティ効果のメカニズム

## <白黒反転や黒カバーの効果> 紙面からの反射光を最小限にする



図5 白黒反転や黒カバーが見やすくなるメカニズム

なっていたための眼鏡を掛けていただきました。白内障になると将来このようになります。せっかくですから皆さんのほうを向いていただいて。(会場笑) この状態で、ここに今、ランドルト環という視力検査をするときに使う視標があるのですが、分かりますでしょうか。(青木) あるのは分かりますけど、何も分からない。(中野) そうですか。どちらが切れているかというのは

全然分かりませんか。(青木) 右に見えるかな。(中野) そうです、その通りですね、はい。まだ終わりませんよ。(会場笑) はいこれは。(青木) なかなか分からないな、これもようやくですね、下かな? 分からない。(中野) 下ですか、いや正解ですよ、合っています。こ



図6 コントラストポラリティ効果のデモンストレーション

これは確率でとっていくのですが、まだ終わりませんよ。(会場笑)今のだいたいの距離を見ておいていただきたいのですが、周りを今、黒い紙で隠しました。これでどうでしょうか。

(青木)円があることは見えやすい。

(中野)こちらのほうが見えやすくなりますよね。

(青木)ただ、切れて見えるかどうかというとな難しい。

(中野)おかしいですね。本来なら、周りを黒い紙で覆うと、白い部分の面積を減少させることができるので、視標の切れ目までよく見えるようになるのですけどね。元々の視力がかなり低いようなので(会場笑)(笑)せっかく協力していただいたのに、デモがうまくできなくて申し訳ありませんでした。通常、このデモは非常に劇的な効果が出るのですけれども(会場笑)今はなかなか、うまくいきませんでした。青木所長の視力が予想以上に低かったため、用意した視標が合わなかったようです。青木所長、どうもありがとうございました。

これから、皆さんのお手元に今、デモに使ったゴーグルと視標を回覧します。それぞれご確認ください。極端に視力が低くなければ、効果が確認できると思います。青木所長では劇的な効果は出ませんでした。実は、白い面積が効いてきますので、それをコントロールするように、周りをカバーしてやると見やすくなります。

この効果は実験や実際に障害のある人の臨床を通して確認しています。このような原理がわかると、新たな機器の開発もできるわけです。つまり、行動の制御です。例えば、モニター画面を白黒反転するような装置を作ったりとか、紙の白い部分を隠してやるというようなことをやると、見やすさが改善するという制御ができるわけです。

以上、説明してきたように、バリアフリー・ユニバーサルデザイン研究を、単に福祉的なことだから良いことだというふうに進めていくのではなくて、科学的な手法を使って明らかにしていって、バリアフリーに関するサイエンスを作っていきたい、というのが私達の目指しているところです。これから実際の研究についてお話をさせていただきたいのですが、私達の研究は今のよう、サイエンスに基づいて研究をしていき、主観をいかに客観化していくかを目指していくわけですけれども、あくまでこれは基礎研究として展開している研究です。障害や加齢を通して、私達の行動の本質を理解していきたい、というのが我々の目指しているところですが、このような研究は比較的応用しやすいです。理由は、生活機能からスタートしているので、生活に還元しやすいからです。先ほどのご講演でもお話がありましたが、良い理論というのは非常に実践的です。これは心理学者のクルト・レヴィンという人も言っていますけれども、非常に良い理論、本質に近い理論は、より広範な場面、つまり、日常生活の中でも応用されやすいのではないかと考えています。このような観点から私達はプロジェクトを展開しておりまして、そのうちの2つをこれから紹介します。

最初に紹介するプロジェクトは、私達にとって文字を紹介したコミュニケーションは非常に重要ですが、この文字を紹介したコミュニケーションを支えるための研究です。お気づきになりましたでしょうか。私のスライドは見やすくないですか。(会場笑)見やすい理由は、文字を大きくしてあるだけではなく、スライドに利用しているフォントが工夫してあるからです。私達が研究開発した、ユニバーサルデザインフォントといわれるフォントを使っているのです。このフォント研究について、これから研究員の山本さんに紹介してもらいます。この研究も、様々な障害のある人達の研究やまちづくりから商品作りまで様々な研究を行ってきた過程での観察からスタートしています。例えば子供が読書をする時に、どういう読み方をしているかとか、視力の低い人達が、町の中でどんな苦勞をしているか、そういう観察の中から読みやすい文字を作っていくために何が必要なかを検討してきました。観察の結果、文字の読みやすさというのは、カタログ等の型番を見る時のように正確に読んでいく場面と、長い文章を読んでいく場面の2つの場面が

あって、この2つの場面に耐え得るようなフォントを作らなければならないことがわかりました。心理学では、レジビリティ（可視性）とリーダビリティ（可読性）と呼んでいますが、この2つの観点で優れた文字を作っていくというアプローチで研究を行ってきました。では、研究員の山本さんに研究の紹介をしていただきます。

（山本亮・自然科学研究教育センター研究員）

こんにちは、山本です。私からは、誰もが見やすく読みやすいユニバーサルデザイン・フォントの開発研究についてご紹介します。従来は、デザイナーが、「間違いやすい文字はこういう文字だろう、読みやすくなるようにこういうふう直そう」というように、独自の判断でデザインを進めていました。したがって、これまでは誤認事例の収集方法やデザインの評価方法が明確ではなく、科学的なエビデンスに基づいたフォント開発は行われてきませんでした。しかしながら、従来の方法では、例えば視力の低いユーザーが文字を正しく読めるという保証はありません。我々は、フォントの見やすさや読みやすさを客観化するためには、以上の2つの方法を確立することが必要であると考えます。そこで本研究では、見やすさと読みやすさを客観的に示し、デザインの開発・改良につなぐための科学的な評価方法を確立しました。まず、用語の定義ですが、ひとつひとつの文字を正確に読めるかどうかをレジビリティ（legibility; 可視性）と呼び、効率よく読書ができるかどうかをリーダビリティ（readability; 可読性）と呼びます。本研究では、新しく開発したユニバーサルデザイン・フォントについ

英字		数字
大文字	小文字	
A	f	0
B	g	1
C	j	2
G	l	3
I	w	4
J	y	5
K		6
M		7
O		8
Q		9
R		
S		

表1 実験で用いた英数字

て、以上の2つの観点から実験的に検討しました。検証した文字は、電化製品等の型番を想定した7桁の英数字列でした。使用した文字は、デザイン現場から読み間違いが起りやすいと報告された、大文字英字12種類、小文字英字6種類、数字10種類でした（表1）。英数字列の作成にあたっては、前半の3文字が英字に、後半の4文字が数字になるように配置し、各文字の出現回数を均等にしました。また、文字の組み合わせはランダムになるように工夫しました。次に実験の流れです（図7）。自作した画像提示プログラムによって英数字列を実験参

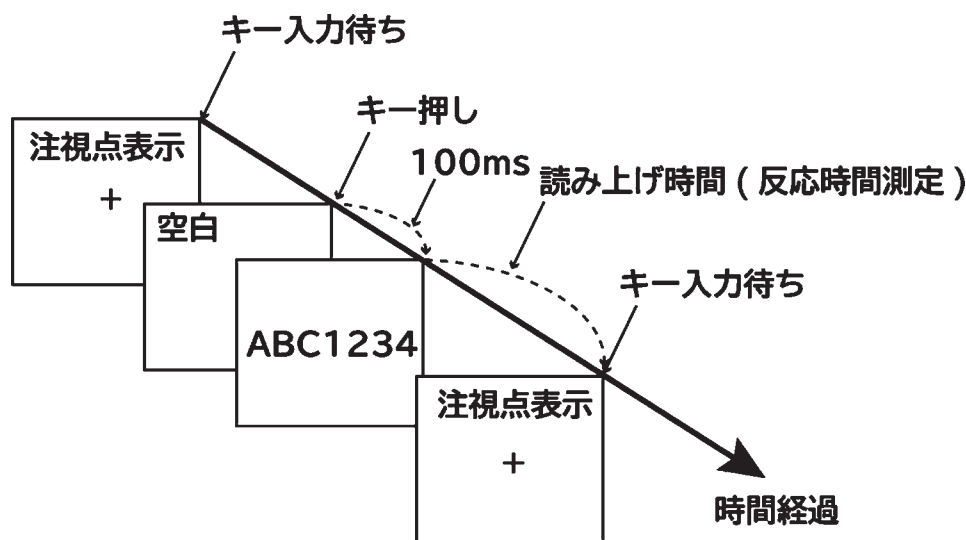


図7 実験の流れ



加者に提示しました。まず注視点を表示され、参加者はこれを注視します。この状態で参加者がキーを押すことにより、100msのブランクをおいた後、英数字列が提示されます。参加者はそれをできるだけ早く正確に口頭で読み上げ、読み切ったところで再度キーを押します。この操作を繰り返すことにより、文字を正しく読めた割合である正答率と、読み上げにかかった時間である反応時間を測定しました。また、本研究では低視力のユーザを想定し、視力が低くても見やすく読みやすいフォントを目指しましたので、特殊なフィルターを通し、低視力をシミュレートした上で課題を遂行しました。ここでは説明を割愛しますが、このシミュレーション方法は私達の研究室で開発したもので、シミュレーションの妥当性、信頼性が検証されています。以上の手続きで、開発したタイプバンク UD フォント（タイプバンク UD）、従来用いられてきた他社のゴシック体フォント（他社ゴシック）、また他社のユニバーサルデザイン・フォント（他社 UD）の3フォント間で比較を行いました。なお、実験参加者は20代から30代の成人15名で、視力はいずれも1.0以上でした。

次に結果をご紹介します。スライドに表示されているのは正答率のグラフです（図8）。横軸はシミュレートした視力で、右から左にかけて視力が低くなっています。縦軸は正答率です。まずはタイプバンク

UD と他社ゴシックの比較ですが、全体的にタイプバンク UDの方が正答率が高くなっています。統計学的に検討するため、分散分析による検討の結果、タイプバンクと他社ゴシックの間には、0.1%水準でフォントの主効果が有意であり、0.1%水準で交互作用もありました。単純主効果の検定の結果、視力0.2条件では、0.1%水準でタイプバンク UDのほうが、他社ゴシックよりも正答率

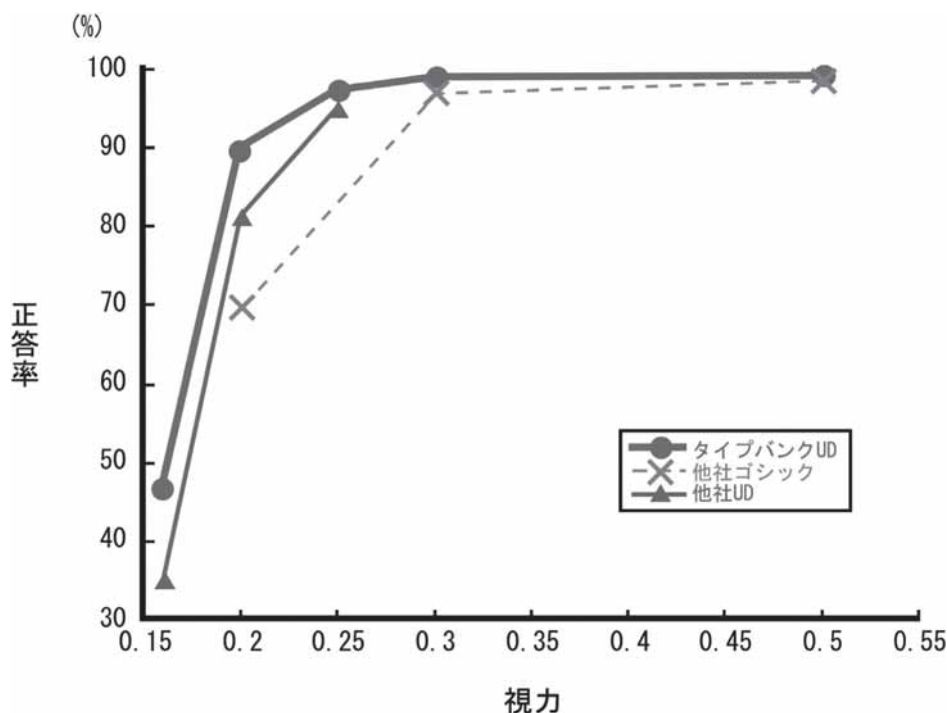


図8 実験1レジビリティに関する実験の正答率

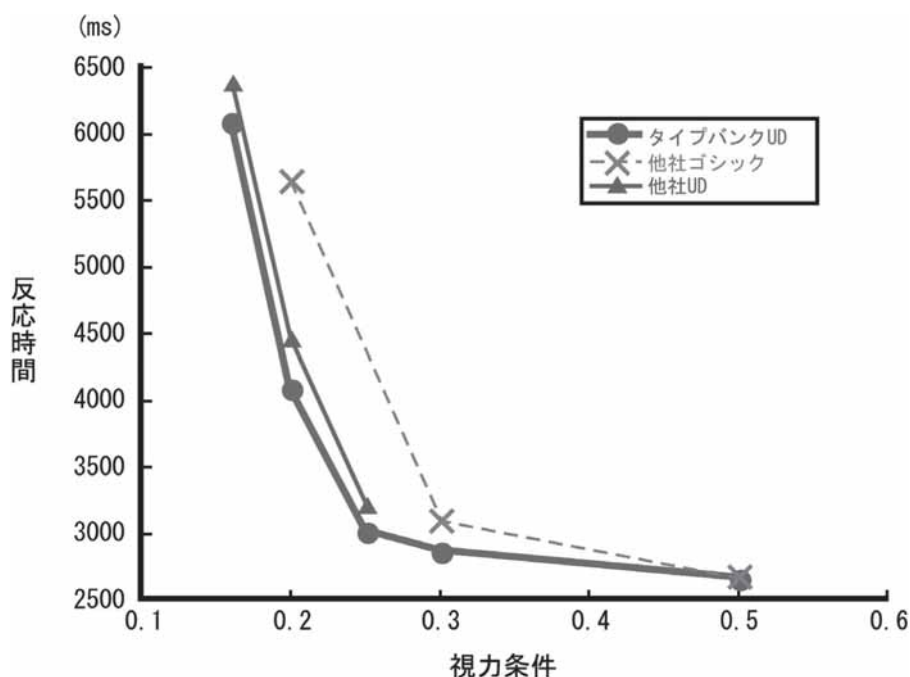


図9 実験1レジビリティに関する実験の反応時間

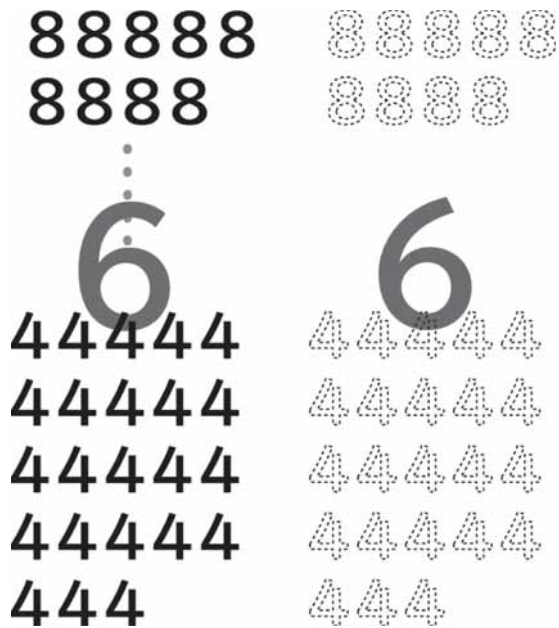


図10 実験データに基づいたフォントの改良例

が高いという結果が得られました。また、同様に、タイプバンク UD と、他社 UD について分散分析を行いました。その結果、0.1%水準でフォントの主効果が有意であり、交互作用がありませんでしたので、全ての視力条件において他社 UD よりもタイプバンク UD のほうが正答率が高いという結果が得られました。次に反応時間の結果です（図9）。全体的にタイプバンク UD の反応時間が短いことがわかります。正答率と同様に分散分析をかけました。視力 0.5 条件で、タイプバンク UD と他社ゴシックの間で 5%水準で有意差あり、視力 0.3 条件では有意な差は得られませんでした。視力 0.2 条件においては、0.1%水準で有意な差が得られました。タイプバンク UD と他社 UD においては、フォントの主効果が 0.1%水準で有意であり、交互作用がありませんでした。したがって、全ての視力条件において、タイプバンク UD のほうが、反応時間が短いことがわかりました。以上の結果を総合しますと、新しく開発したタイプバンク UD フォントは、判別しやすく、かつ素早く読むことができる、すなわち見やすいフォントであることがわかりました。また、正答率や反応時間だけではなく、誤答のパターン、

つまり、どの文字とどの文字を間違えたかを分析し、今後のフォントの修正、改良のための情報として使用しました。その一例をご紹介します。左側が修正前の 6 という数字です（図 10）。この数字の頭の部分を、右のように少し離しました。こういったフォントの改良を行い、より誤認を減らそうという改良を進めています。また、改良したこちらのフォントを用いて、再び実験を行い、また誤認のデータを収集し、修正をかけるというようなスパイラルアップのフォントの改良を行っていきます。

ただ、効率よく読書できるかどうかはまた別の問題です。つまり、レジビリティが高いからといって、リーダビリティが高いとは限りません。そこで、タイプバンク UD フォントを用いた文章を作成し、リーダビリティを実験的に検討しました。読書の評価方法ですが、文字を読むユーザーに新しく作ったフォントを見せて、「このフォントは読みやすいですか」と聞くだけではなく、科学的な手法で検討する必要があります。とはいえ、実は、文章の難易度や行の長さ、漢字・仮名の割合などの条件を統一することは難しい作業です。そこで、文章の難易度などが統一された、MNREAD を本実験で使用しました。MNREAD の原理を適応し、今回は 4 つのフォントで MNREAD を試作して比較を行いました。用いたフォントは実験 1 での 3 フォントに、日本語版 MNREAD の標準フォントである明朝体を加えた 4 フォントです。レジビリティ実験と同じように、フィルターを掛け、低視力をシミュレートして実験を行いました。

(文字/分)

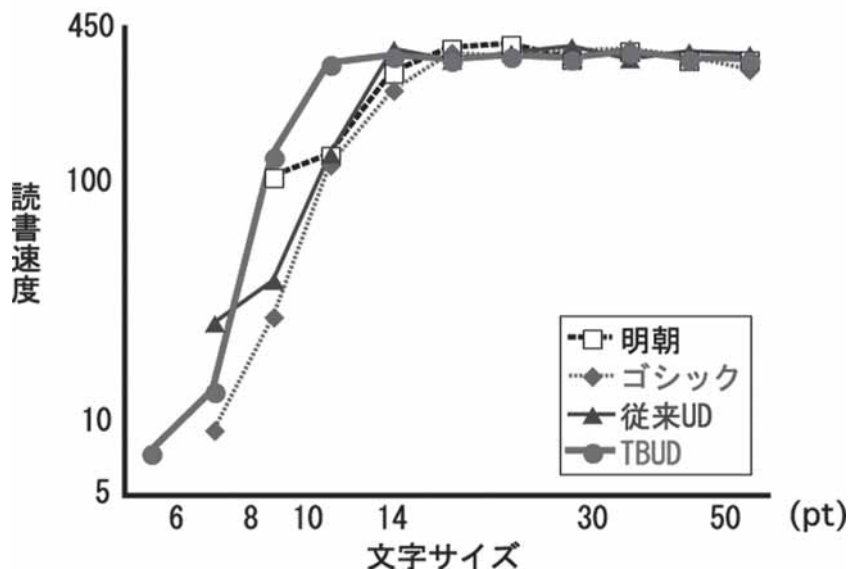


図11 実験 2 視力0.2条件における個人データ

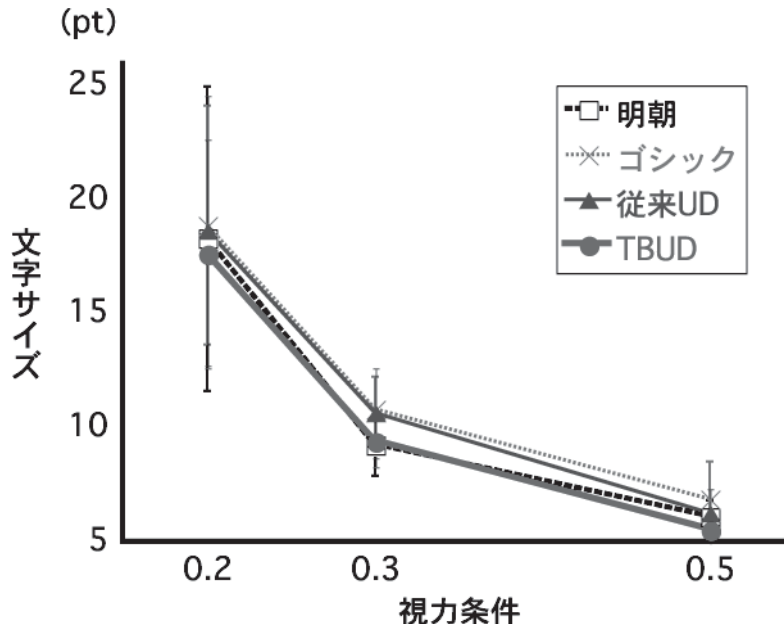


図12 実験2 臨界文字サイズの平均

実験参加者は20代から30代の晴眼者30名で、視力はいずれも1.0以上でした。

結果です。今、表示しているのは、視力0.2条件での個人データです(図11)。横軸は文字サイズで、右から左にかけて少しずつ小さくなっています。縦軸は読書速度です。この結果では、最初、文字が大きいうちは、どのフォントであっても同じように高い速度を維持していますが、途中で大きく速度が落ちるところがあります。このように速度が落ちる直前の文字サイズ、すなわち高い速度を維持したまま読めるギリギリの文字サイズを臨界文字サイズと呼びます。

次に、全参加者の臨界文字サイズの平均を示しています(図12)。全体の傾向としては、視力0.5の状態から0.2に視力が下がるに従って臨界文字サイズが大きくなっています。つまり、大きな文字でないと最大の読書速度を維持できなくなるということです。グラフ上ではフォント間の差が小さいように見えますが、分散分析をかけたところ、1%水準でフォントの主効果が有意でした。多重比較の結果、タイプバンクUDと他社ゴシックの間に1%水準で有意差が、タイプバンクUDと他社UDの間に5%水準で有意差が見られました。つまり、タイプバンクUDは、少なくとも他の2

フォントに比べて、より小さな文字でも高い速度を維持したまま読めることが分かりました。

続いて、先ほどの個人データと同じものです(図11)。左側の末端の辺りを見てください。途中で、各フォントのデータが切れているところがあります。ギリギリ読める最小の文字サイズがここに表れています。これを読書視力と呼びます。次に、読書視力の平均値を示します(図13)。縦軸が文字サイズで、横軸が視力条件です。全体的に、視力が低くなると、読める文字サイズが大きくなっていることがわかります。こちらに関して

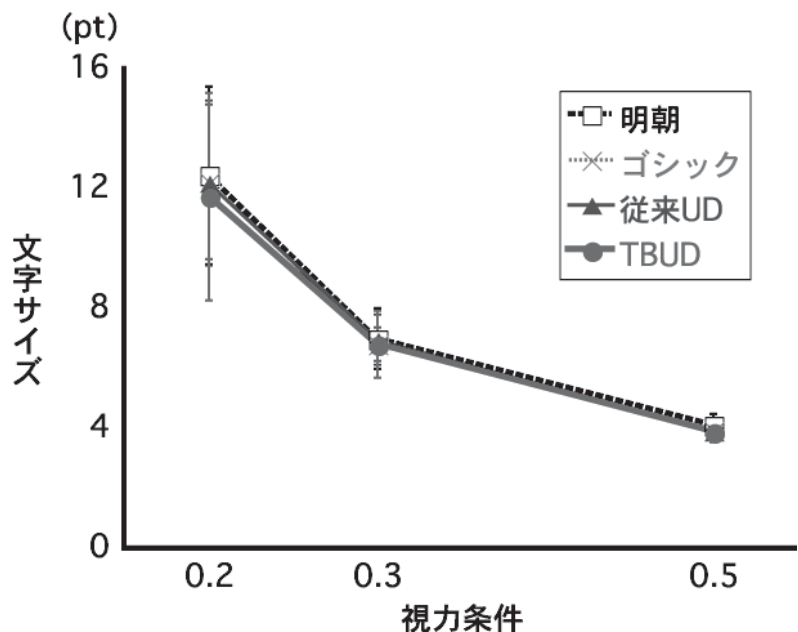


図13 実験2 読書視力の平均

も分散分析を行ったところ、1%水準でフォント間に有意な差が見られました。多重比較の結果、タイプバンク UD と、他の3フォントの間に1%水準で有意な差が見られ、タイプバンク UD は他のフォントよりも小さな文字でも読めることが分かりました。実験2の結果をまとめますと、タイプバンク UD フォントは比較的読書効率が高く、リーダビリティが高いことが明らかになりました。したがって、レジビリティ、リーダビリティともに高いフォントであることが示されましたが、今後、フォントに修正をかけ、また実験を行い、もう一度フォントの修正をかけるといった新しい評価方法を確立したいと考えています。

(中野) はい。山本さん、ありがとうございました。今、紹介していただいたような科学的な研究を通して読みやすいフォントを作っていきます。実は、2008年に「障害のある児童及び生徒のための教科用特定図書等の普及の促進等に関する法律」(教科書バリアフリー法)が施行され、視機能に障害のある弱視(ロービジョン)の児童・生徒にもアクセスできる教科書の製作が求められています。山本さんが紹介してくれたユニバーサルデザインフォントは、その中で今後採用されていく可能性が非常に高いものです。

次にお話したいのは、もうひとつのプロジェクトで、研究員の新井さんから紹介していただきます。私達の研究室では、我々が移動する際に必要な情報とは何かに関する研究をしています。この日吉キャンパスにも、視覚障害の人が白い杖を使って歩いている場面を目にすることがあります。視覚障害のある人は、こういう白い杖、白杖(はくじょう)といますが、白杖を使って移動しているわけです。しかし、この白杖を使いこなして歩けるようになるのは簡単ではありません。見えない、もしくは、見えにくい状態で移動するのが難しいのは、なぜか? また、どうすれば、安心して安全に移動することができるのか? 私達は、このような問題についても研究しています。見えないと何が怖いのか、

これはなかなか意識することは難しいのですが、本質的な問題は何かというと、地面があるかないかが分からないことです。学生にアイマスクを付けさせて、白杖を持たせて移動するように言うと、彼らは何をするかというと、最初地面を叩きます。意識していないのですけれども、これは地面の確認をしているのですね。地面の確認がきちんとできて、障害物が無いと分かれば、安全に安心して移動することができます。白杖の基本動作ができるようになって、いくつかハードルがあります。その一つがエスカレーターです。地面が途中で消えるのです。これは、エスカレーターが開発されるまで、私達人類の身の回りになかった環境です。そのためか、事故がたくさん起こっています。例えば、東京都では毎年、東京消防庁が出勤するタイプのエスカレーター事故が約1,000件起こっています。対策が非常に望まれているのですけれども、何故エスカレーターでそういった事故が起こるのか、どういう対策をすればいいのかは明確ではありませんでした。そこで、JR東日本と共同で研究を実施しました。では、新井さん、お願いします。

(新井哲也・自然科学研究教育センター研究員)

はい、新井です。私からは、エスカレーターの安全性に関する一連の研究をご紹介します。まず、ご想像いただきたいのですが、日常でエスカレーターを利用する際、エスカレーターをどのようにして発見して、どのように乗り込んでいるのでしょうか。というふうに聞きましても、かなり回答するのが難しい問題だと思います。と言いますのは、自分がどのようにしてエスカレー



図14 低視力で見る下りエスカレーター(シミュレーション画像)

ターを使っているかとか、これからこういうふうにしてエスカレーターに乗ろうということを意識化することが少ないからだと考えられます。では、次の例ではどうでしょうか(図14)。これは、下りのエスカレーターの映像にぼやけをかけたまま、低視力状態をシミュレートしています。これは動画ですので動かしてみますが、どちらが下りで、どちらに乗るべきかを瞬時に判断できるでしょうか。よくよく観察しますと、左のほうの機体の踏み板の部分が奥に沈んでいく様子が分かりますので、左に乗ればよいことが分かります。ですが、すぐに判断することは難しいと思います。このような事例から想像されるように、視力が低く、眼疾患をもったロービジョンと呼ばれる人達は、エスカレーターの上り下りを判断することさえも難しいという問題があります。判断が難しいのであれば、当然のことながら、危険な思いをしたり、事故を起こしたりすることがあるだろうと想像されます。我々の研究は、そのような問題提起を出発点とし、まず、実際に事故が起きているのかどうか、危険な場合があるのかという実事例の調査から始めました。次いで、視覚障害者によるエスカレーターの利用方法を把握するための調査に進み、視覚障害者の視覚特性、行動特性を踏まえた上で、より確実に上り下りの判断ができるような対策を練ろうというわけです。

結論から言いますと、バリアフリー・マークという、手摺りの部分にマークをつける対策を考案しました(図15)。利用者の行動特性に基づいて開発したのですが、実際にそれが有効に活用されるかどうか、この時点では分かりませんので、最後に、我々自身で有効性の検証を行うという一連の研究となっています。

まず、実事例の分析結果をご紹介します。もう間もな

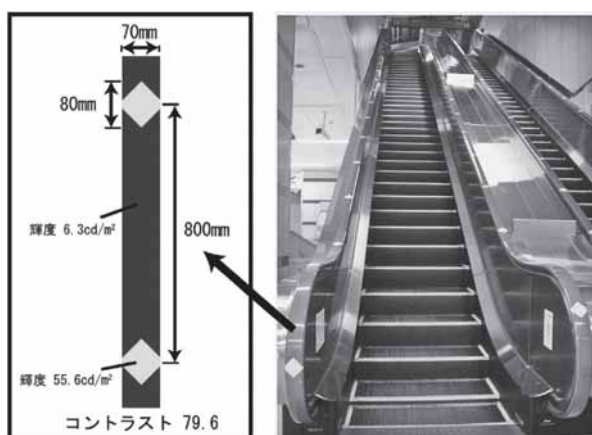


図15 バリアフリー・マーク

く冬季オリンピックが始まり、その直後にパラリンピックが実施されます。このパラリンピックにおいて、2大会連続で金メダルを獲得している日本人の視覚障害者の方がいます。彼女はバイアスロンという競技の選手で、つまりはアスリートです。この右の写真の方がご本人で、実際に事故のあったエスカレーターの前に立っていただいています。事故当時、彼女は使い慣れているエスカレーターに乗って下ろうとしたのですが、足を踏み外して転倒し、十数針を縫う大怪我をしまいました。アスリートですので身体能力は高いですし、普段使い慣れているエスカレーターです。にもかかわらず、重篤な怪我を負ってしまった、という事例です。彼女は、網膜色素変性症という眼疾患で、視力が非常に低いです。実際に本人に、面接法、一般的に言うインタビュー調査を実施し、この事故がどのような状況で起こったのか、原因は何だったのかを調査しました。そうしますと、単に、本人の不注意で起きた事故ではないことが明確になりました。と言いますのは、実は先ほどのエスカレーターは屋外から屋内に入ったところに設置されているものでした。つまり、明るい外から、暗い中に入ったところに設置されていました。したがって明るさの環境がまるで違います。そうすると、晴眼者であってもそうですが、明るいところから急に暗いところに入ると、なかなか目が慣れません。網膜色素変性症の患者はその傾向が著しいため、明るい屋外から暗い屋内に入った時に、なかなか目が慣れずにエスカレーターの動きをうまく視覚的にとらえることができなかつた、と考えることができます。このようにして、明るさによって見え方が変わってしまう問題があるならば、対策としては、明るさが変わっても見え方がなるべく変わらないような工夫をすればよい、という発想にたどり着きます。それから、そのような工夫を人間の側に施すのではなくて、構造物に施すこと、つまりハード面の対策をすることによって、誰もが安定して使えるような手がかりとなるだろう、という考えにも至ります。このふたつの点を念頭に置きつつ、この後の研究を進めていきました。

次に、視覚障害者がエスカレーターを利用する際の行動特性について紹介します。この調査では、JRのS駅にある実際のエスカレーターをお借りして、ロービジョンの参加者にエスカレーターを発見して使用してもらう課題を行いました。これが駅構内の模式図です(図16)。参加者の課題は、スタート時点から歩いて角を曲

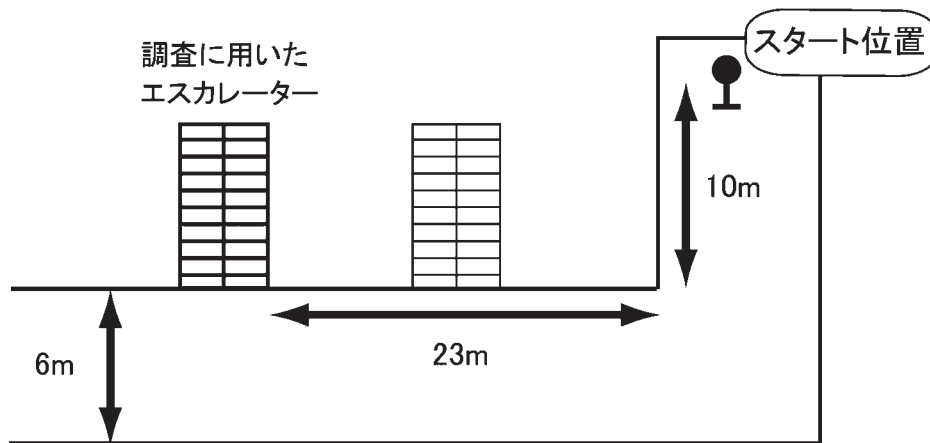


図16 調査に用いた駅構内の模式図

がり、ターゲットとなるエスカレーターを発見すること、それから、どちらが下りかを判断することとしました。その時に、心理学でよく使うのですが、発話思考法という方法を用いました。これは、課題遂行中に考えていること、思っていることを発言して言語化してもらう方法です。それをボイスレコーダーによって記録し、いったい何を手がかりにしてエスカレーターを発見して、上り下りを判断しているのかを分析しました。

分析の結果です。まず、エスカレーターそのものの存在を把握するときの手がかりですが、非常に多岐にわたっていることが分かります(図17)。大きく分けると、視覚、聴覚、触覚的な手がかりというふうに分けることができます。ロービジョン者ですので、ある程度視覚が使えます。したがって、視覚の手がかりが全体的に多いことが分かります。ただし、手がかりは多様であるという点にご留意ください。一方で、上り下りを判断する場合はどうかというと、こちらは非常に明確に表れます(図18)。つまり視覚的な手が

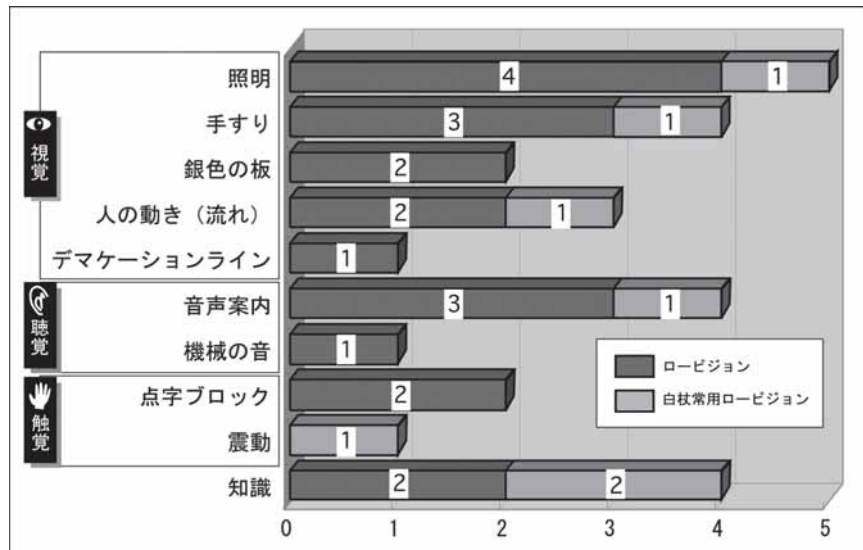


図17 エスカレーターの存在を把握するための手がかり

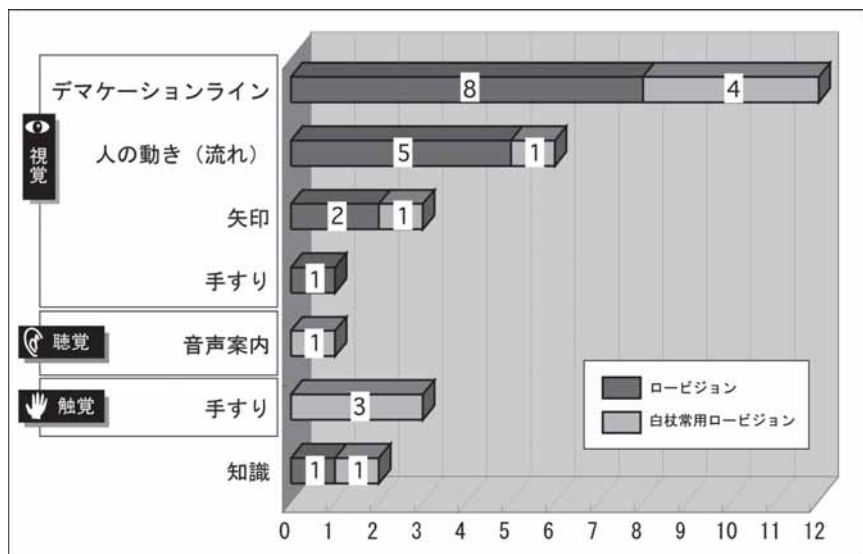


図18 上り下りを判断するための手がかり

かりが多いのです。その中でも特徴的なものとして、まず、人の動きで判断するという方法があります。これは、他の利用客がエスカレーターに乗ると、身体が沈んでいったり上がってきたりしますので、なんだか黒いかたまりが下がっていくとか、上がっているなということをもって上り下りを判断する方法です。半数の参加者からその回答がありました。一番上の、デマケーションラインという回答をした参加者が12名中全員でしたが、これは何かというと、踏み板に引かれている黄色い線を指しています。この線の動きが、上がったたり下がったりしている様子を見て、上り下りを判断するという回答が12名全員から得られました。

ただし、これらの手がかりには問題点があります。人の流れの場合で言いますと、人がいなければ使えません。したがって、人の少ない時間帯や閑散としている駅では、この手がかりを使うことができません。そうであるならば、構造物の側の手がかりを使えばよいということになりますが、その例としてデマケーションラインが挙げられているわけです。ただし、このデマケーションラインも問題があります。少し歩いてデモをしてみますが、視力の低い人はかなり近づいて行って覗き込むようなスタイルでないと、デマケーションラインの動きを見て取ることができません。したがって、その時に恐怖感を覚えたり、危険性が伴ったりするという報告もありました。そこで、なるべく構造物の側に施されていて、このデマケーションラインと同じような手がかりとして使え、かつ利用に際して危険が伴わないような工夫が望まれることが明らかになりました。そのようなニーズを踏まえて開発したのが、先ほどお示したバリアフリー・マークです。これはハンドレールに輝度コントラストが高くなるようなマークを付けるという方法です。ハンドレールは、デマケーションラインと同じような動きをしますので、このマークを強力な手がかりとして使うことができます。しかも、デマケーションラインは利用者から見て下のほうにありますが、ハンドレールは上のほうにありますので、近づいて行って覗き込むような必要がないのです。ただし、マークの効果は、この段階ではあくまで予想に過ぎませんので、実際に有効性を実験的に検証しようというのが次の課題です。先ほどの調査と同じように、JRのT駅の新幹線ホームを使っています。参加者として、ロービジョン者だけではなく、晴眼者も採用しています。なぜかと言いますと、ロービジョン者

には使いやすいけれども、晴眼者が見ると煩わしく思え、逆に無いほうがよいということでは困るからです。このようにして、本研究は、誰もが使いやすいというユニバーサルデザインの視点に立った研究です。実験の課題について説明します。実験の状況として、上り線につながるエスカレーターのハンドレールに、バリアフリーマークがついています。このエスカレーターは、正面から見て右側にあります。下り線のエスカレーターはマークがない、通常のエスカレーターです。これが左側にあります。それぞれのエスカレーターに背を向けてもらい、実験者が次のような指示をします。「これから振り向いて、右のエスカレーターに向かってください。歩いて行って、上り下りが判断できた時点で止まってください」と。そうすると、参加者は右のエスカレーターに歩いて行って、上り下りが判断できたところで立ち止まりますので、その時の参加者と、エスカレーターとの距離を測ることによって、どれくらい遠くから上り下りを判断できたかを求めることができます。実験条件は、マークの有無と、ホームに上る条件とホームから下る条件でした。2×2で4条件、5回繰り返しましたので各参加者が20回の判断を行いました。毎回、同じ方向にエスカレーターが動いているとすぐに覚えてしまいますので、JRさんの協力を得まして、毎回試行ごとにランダムに上下の運動を変えるという工夫をしました。

上り条件の結果です(図19)。黄色いほうがマークのある条件、黒いほうがマークのない条件です。グラフからは、あまり差はないように見えますが、分散分析をかけますと、ロービジョン者のほうで有意差が認められました。ただし、数値で言うと20数センチです。ですから、実際的には意味のない差かも知れません。これが

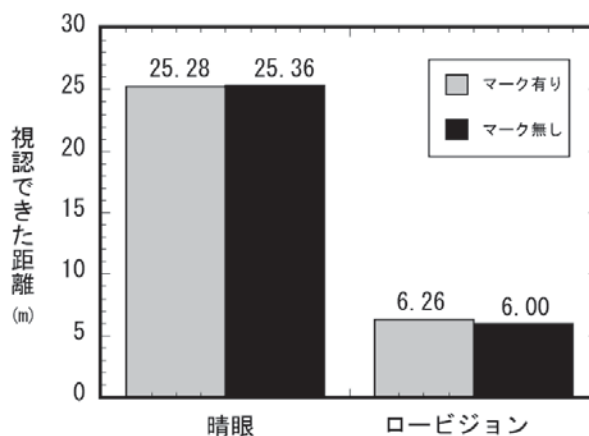


図19 上り下りを判断できた距離(上り条件)

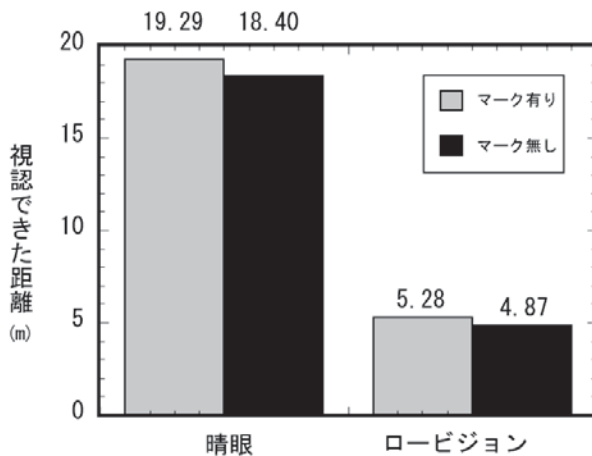


図20 上り下りを判断できた距離(下り条件)

上っていく場合なのですが、反対に下る場合はどうかというと、やや差が広がっています(図20)。いずれの参加者でも、マークの有無間の差は統計的に有意でした。晴眼者の場合は20メートル近く離れたところから判断できます。したがって、数十センチ、歩幅でいうと1歩から1歩半くらいの差があっても、晴眼者の場合はそれほど意味がないかもしれません。けれども、ロービジョン者において、4~5メートルの距離から1歩くらいの差があると、これはもしかしたら大きな違いかもしれません。更に言いますと、ロービジョン者の中でも、特に視力の低い人達は、1~2メートルの距離、あるいは1メートル以内の距離まで近づいて覗き込むことをしないと、先ほどのデマケーションラインは判断できません。そのような人達にとっては、一歩手前から上り下り

を判断できるということは、もしかしたら、非常に大きいことかもしれません。いずれにしても、このようにして、バリアフリー・マークのあるエスカレーターのほうが、より遠くから判断できることが分かりました。

実際に映像をご覧いただきたいのですが、マークがある場合とない場合で、上り下りの判断がどう変わるかをご覧ください。左の映像は、冒頭の映像と同じです。それに対して、右側のエスカレーターには、バリアフリー・マークを付けています。いかがでしょうか。おそらく右側のほうが上り下りの様子が明確に見てとれると思います。これが我々の開発したバリアフリー・マークの効果であるということです。ただし、実験的に効果を調べたというだけでは、実際に、現場に適用した時にうまく使用してもらえるか分かりません。ですので、続けてその検証も行いました。この検証は、ハンドレールにバリアフリー・マークを付けた状態で、先ほどの手がかり調査と同じ手続きで行いました。何を手がかりにしたかを答えてもらったのですが、やはり、デマケーションラインを手がかりにしやすいという結果を得ました(図21)。それに次いでマークを手がかりにしやすいという回答が多く得られました。ここでのポイントは、実は、参加者は全員、このバリアフリー・マークの存在を事前には知らなかったという点にあります。これは、初見であっても手がかりとしてバリアフリー・マークを使うことができることを意味しています。したがって、エスカレーターを利用する際の安全性の向上に有効であ

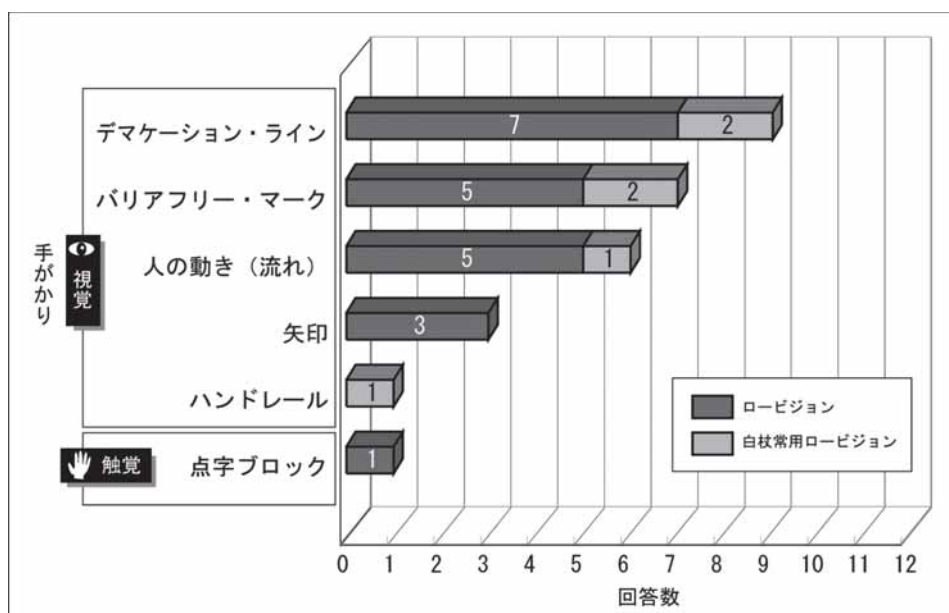


図21 上り下りを判断する際の手がかり



ると我々は結論を下しました。

エスカレーターの研究は以上ですが、先ほどの山本からの報告にありました、フォント研究を含めまして、我々の研究スタイルについてまとめることで結びとしたいと思います。まず、誰がどのような場面で困っているか、というニーズ調査を行います。その結果、こういう方法が必要だろうと解決策を提案するのですが、ここで、その対象となる人が、対象となるものをどのようにして使うのか、という方法も含めて提案していきます。続けて、その対策が実際に効果をもつかどうかを検討し、効果がありそうであれば、現場へ適用していきます。ただし、この時点で完璧な対策となることは有り得ませんので、再びニーズ調査をかけ、更にこのような工夫が必要だとか、こういう点が問題だということを明らかにしていきます。このようにして、ニーズ調査から始まって、またニーズ調査に戻るのです。言い方を変えれば、主観的な報告から始まって、それを客観的に検証する、そしてまたそれを主観に戻すというような、主観と客観の循環構造で、我々は研究を進めています。以上です。

(中野) はい。次のスライドをお願いしたいのですが、そろそろ、私達に与えられた時間が終わりになります。今、2人に研究を紹介していただいたのは、我々のセンターには教育に関するミッションもあり、その役割も担っていることを知っていただく目的があったからです。この日吉キャンパスに通常いる学生というのは学部1、2年生が主なのですが、センターには、大学院生や大学院を出た人達が一緒に研究活動を実施しています。それぞれ細かな専門領域は違うのですが、センターのプロジェクトに参加し、自分の専門領域と関係するような研究に従事していただくことによって、若手の研究員の視野を広げていく役割を果たしています。また、基礎研究が実践的・応用的な研究にどのように役立っているかを知った上で、自分の研究をもう一度振り返ることも重要だと考えています。さらに、産学連携研究は、もしかしたら、職域開拓にもなり得るかも知れませんが、企業の研究所等に職域が開拓されるのではないかと、ということも期待しているところです。この人材育成という点に関して、大学院の修士課程からずっと研究に協力していただいている新井さんから一言、感想をお願いしたいと思います。

(新井) では簡単に感想を。私はずっと基礎研究と呼ばれる分野で、人間の視覚特性を調べてきました。基礎研究に身を置いていると、応用研究と聞いた時のイメージとしては、基礎の知見を適用するとか、基礎的な方法論を提供するといったものでした。けれども、先ほどご紹介いただきましたように、修士の頃から研究に携わるにつれて、実はそれだけではないということに気付くようになりまして。エスカレーターではなく、階段の研究もしているので、その例で説明したいと思います、我々は階段を普段何気なく使っています。したがって、足元を見なくてもスムーズに下りることができると自分では考えていました。ところが、視覚障害者の中には視野狭窄と呼ばれる、中心部分しか見えない人がいますが、そのような見え方をシミュレートしたゴーグルをかけて階段を歩いてみると、実は、普段通りに歩けなくなります。それまでは見なくても歩けると思っていたのですけれども、現象観察から、視野の周辺部分で段差を捉えていたことが分かりました。というように、応用研究、或いは社会的な場面での研究に従事することによって、晴眼者の基礎的な視覚特性についても知ることができたというわけです。そのようにして、応用研究の中から基礎的な知見を得ることができるといことが非常に面白い点だと思っております。

(中野) はい。新井さん、ありがとうございます。では、最後のスライドをお願いします。これまで、申し上げたように、人の心理現象というのは、非常に主観的なものですが、それを客観化する、そして、環境と身体との関係で見ていくというのが私達の研究の特徴です。そして、応用をいつも意識した上での基礎研究を行いながら、人間の行動理解に資するというスタイルで研究を行い、また、若手の研究者と社会を繋げる役割が、バリアフリー・UD研究を通してできるとよいと考えております。以上で、私達の報告は終わりです。どうもありがとうございました。

(司会) 時間オーバーしてしまいましたけれども、若い山本さん、新井さん、ありがとうございます。それではここで、フロアから質問、あるいはご意見、コメント等をいただければと思います。はい、お願いします。

(質問者1) エスカレーターのことについて新井さんに

ちょっと伺いたいのですけれど。駅の例にあったみたいに、左右に、上りと下りのエスカレーターが並んでいる場合は、右側が上り、左側が下りという国際的な基準があったりはしないのですか。

(新井) そういう基準はないのですね、実は。それと、駅によっては、ラッシュ時など、時間帯によって、上り下りを切り替えるようなエスカレーターもあります。ですので、そういった基準、規格は今のところありません。

(質問者2) ハンドレールにつけるバリアフリー・マークのことはなんですけど、視認度を上げるということであれば、もっとですね、反射をきつくするようなものとか、何か蛍光物質みたいな、あるいはもっとラディカルに考えて、例えばLEDを埋め込むとか、そういった工夫というのはどうなんでしょう。

(新井) そうですね、今回我々が開発したもののひとつの利点と言えるのが、極めて簡単に、どのようなエスカレーターにも適応できるという点です。ハンドレールにシールを貼るスタイルなので、従来のハンドレールに付着させるだけで使うことができるという利点があります。例えばLED等々ですと、ハンドレールを交換しなければいけないという問題がありますので、現在のところ、これでよいのかなというふうに考えております。

(質問者2) あともうひとつ、蛍光があるような、もっと反射がきつようなシールを貼るといのはどうなの

ですか。

(中野) このご質問については中野が回答させていただきます。あのですね、実は、あまりシールが目立ちすぎると、剥がす人が出てくるのです。(会場笑) 今、一番問題になっているのは、あれをなんとか剥がそうとする人達で、安いとはいえ、ハンドレールに貼ると、2基でだいたい30万円くらいお金がかかります。剥がされてしまうと非常に困るのです。ちなみにエスカレーター1基でだいたい2千万円程度しますので、2千万円中の30万円は安いほうだと考えています。今日、お見せしたスライドよりも、コントラストが良く、それなりに目立ちます。皆さんお帰りの際、もし、東京駅等、山手線を通過する際には是非ご覧ください。JR東日本と共同で研究しましたので、東京駅にはたくさんついております。別な話ですけど、酔っぱらうと、視機能は落ちます。そういう時にも有効であるということが、これは研究はしていませんけれども、考えられるという話です。よろしいでしょうか。

(司会) 他にはどなたか、よろしいでしょうか。時間がもうオーバーしているので、この後の懇親会にお2人も参加していただけるだろうと思いますので、その時にでもまた、ご意見等々いただければというふうに思います。それでは、これで4番目の中野さんを中心とした、バリアフリー・ユニバーサルデザインへの人間科学からのアプローチという講演を終わらせていただきます。ありがとうございました。(拍手)

# バリアフリー・ユニバーサルデザイン への人間科学からのアプローチ

主観と客観、基礎と応用、大学と社会の  
架け橋を目指した取り組み

中野 泰志（問題提起・総括）

山本 亮（UDフォント研究）

新井 哲也（エスカレーター研究）

## 目次

- 自然科学研究教育センターで実施されているバリアフリー(BF)・ユニバーサルデザイン(UD)に関する人間科学研究プロジェクトについて紹介
- 若手研究者と共に
- 具体的な研究を紹介しつつ、主観・客観、基礎・応用、大学・社会に関して問題提起

## 「バリア」は「個人の心身の状態」と 「環境」との相互作用で決まる

### バリアは「個人」と「環境」の相互作用で決まる

バリア = f (個人、環境)

足が不自由な人は移動が困難というバリアに遭遇する。  
しかし、車いすを使えば平坦な道の移動は快適！



ところが、階段では再びバリアに遭遇！



エレベーターがあれば、問題は解決！

しかも、エレベーターは車いす以外の人にも便利！

階段昇降機は便利！でも、注目されるのが嫌いな車いすの人もいます。それに、この機械は、車いすの人にはしか使えない。物理的にはバリアを無くしてくれるかもしれないけど、誰もが使えるエレベーターの方がいいなあ！

## BFUDの研究の在り方

- BFUD研究では、身体を取り巻く世界、それを受け取る身体、そして、心(行動)の関係性を研究
- 電磁波等の物理現象、脳等の生理現象は客観的な観察が可能。
- しかし、言語で記述される個々の主観の世界をどう科学的に扱うかは大きな課題。

## 方法論

- 第三者が観察可能な行動(言語を含む)を扱う。
  - 生理指標(脳機能等)、課題遂行機能(反応時間等)
- 当事者にしか観察(内観)できない心理現象を言語を介して扱う。
  - 快適さや満足感等
- 両面からの研究が必須。

## 基礎か応用か？

- 障害や加齢に関する研究は、ヒトの行動の本質を理解する際に有効＝基礎研究
- 私達は何を見ているのか？
- コミュニケーションには音声や文字が必要か？
- 何故、待つことができるのか？ etc.

## 基礎か応用か？

- 障害や加齢を扱う研究は倫理的な観点から、応用を強く意識する必要がある
- また、生活機能からスタートした研究は生活につながりやすい
- cf.「よい理論ほど実践的なものはない」(Lewin,K.)

## 2つの研究プロジェクトを紹介

### 研究プロジェクト1:UDフォント研究

「文字を介したコミュニケーションを支える！」

### 研究プロジェクト2:エスカレーター研究

「エスカレーターの乗り降りに必要な情報とは？」

# 新しいUDフォント(TBUD)に関する研究

## 従来のフォントデザイン

→デザイナーが独自の判断でデザイン

誤認事例の収集法の確立  
デザインの評価法の確立

以上2点が必要

デザイン評価について  
2つの観点から実験を行った

事例・観察から見いだした2つの視点

レジビリティ(文字の判別のしやすさ;可視性)

間違っ  
てしま  
う!

判断に  
時間か  
かる!

リーダビリティ(読書の効率;可読性)

読み速  
度が遅  
い!

文字が  
小さく  
なると  
読めな  
い!

行や文  
字を飛  
ばして  
しま  
う!

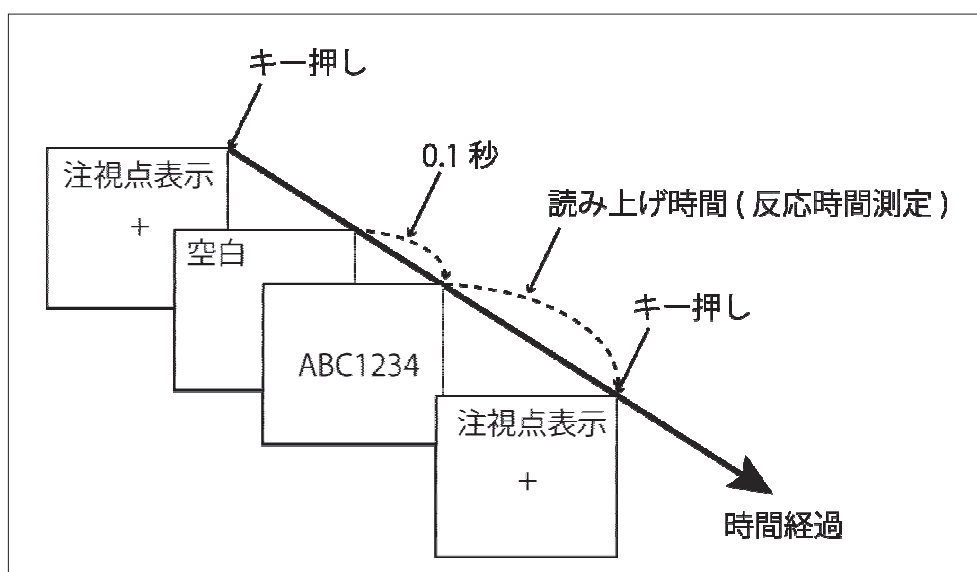
# 実験1:レジビリティ評価実験

英数字をランダムに抜粋  
各文字の出現回数は均等  
型番を想定した英数字列  
(英字3文字+数字4文字)



- (1) 大文字英字(12種類)  
→ A, B, C, G, I, J, K, M, O, Q, R, S
- (2) 小文字英字(6種類)  
→ f, g, j, l, w, y
- (3) 数字(10種類)  
→ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

## 実験の流れ





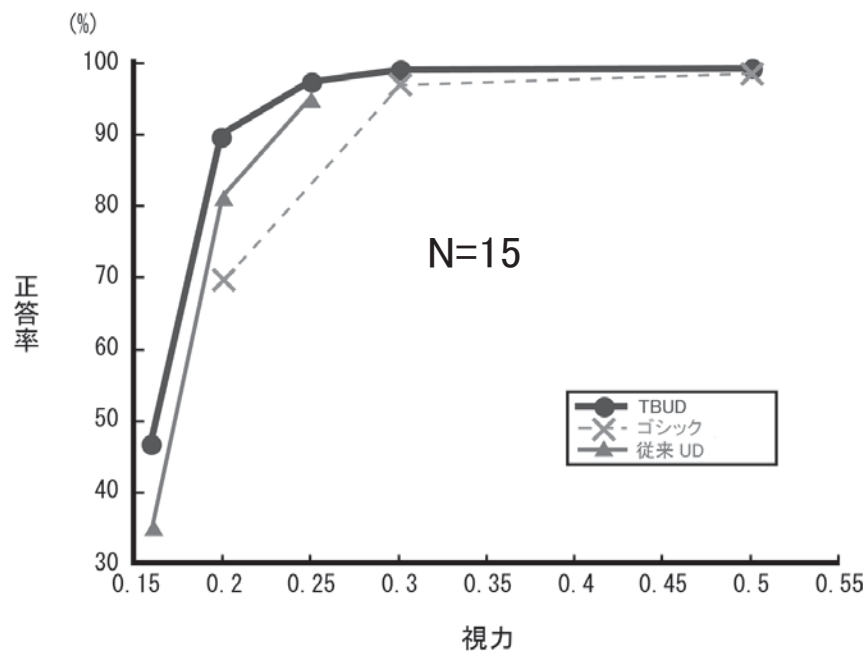
## 低視力状態での文字判別

BMJ0581 →  
(オリジナル)

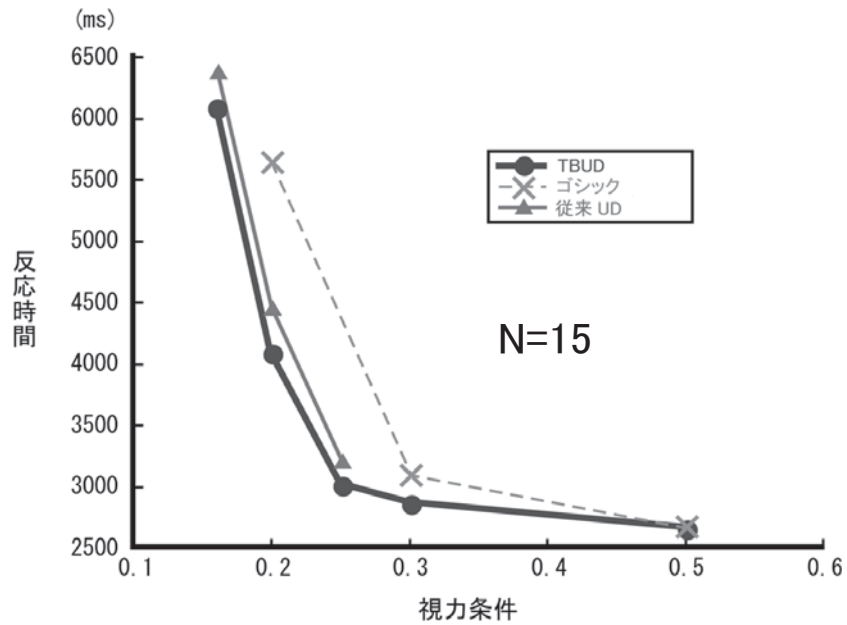
ぼやけ方	視力
BMJ0581	0.5
BMJ0581	0.3
BMJ0581	0.25
BMJ0581	0.2
BMJ0581	0.16

特殊なフィルターを通し低視力をシミュレート  
低視力に対する耐性を評価した

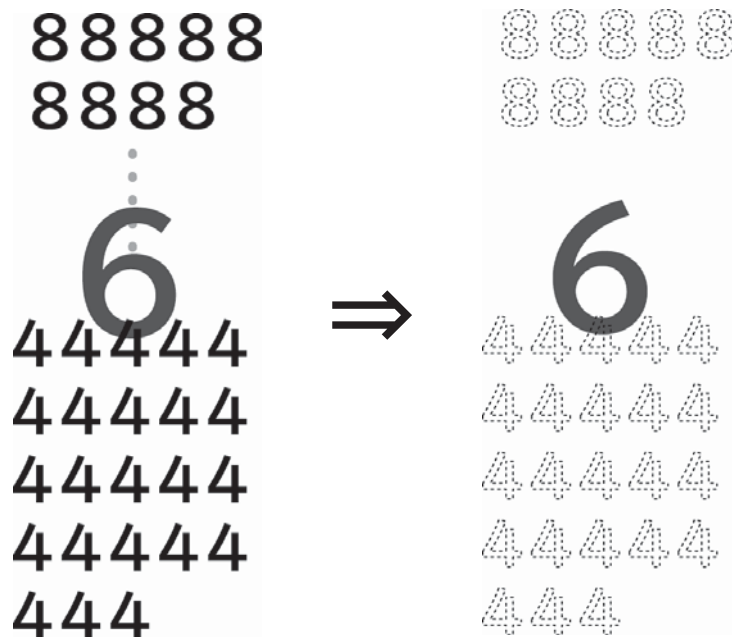
## 正答率



# 反応時間



## 誤認パターンからのフォント改良



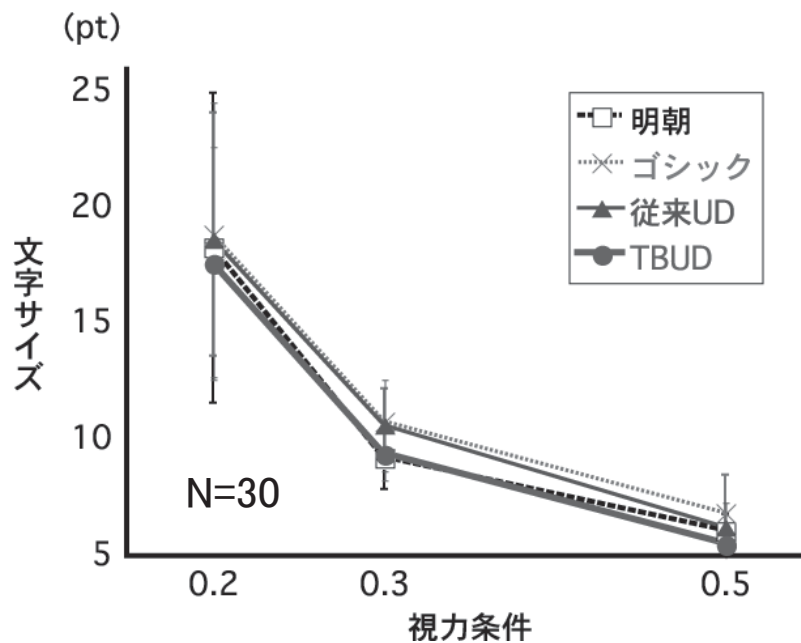
# 実験2:リーダビリティ評価実験

## MNREADの原理を適応

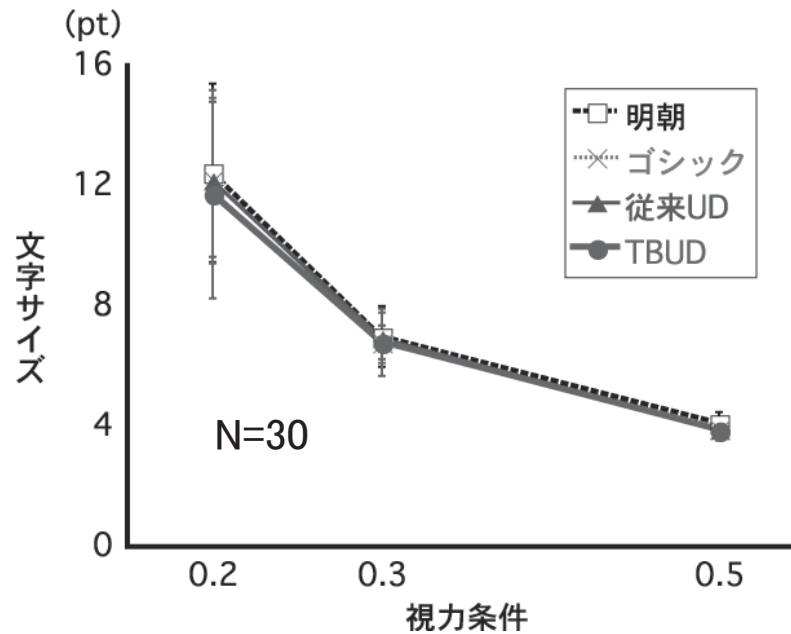


(日本語版MNREAD読書チャートを開発された  
東京女子大学の小田浩一先生の協力による)

## 臨界文字サイズの平均値



## 読書視力の平均値



## 結論

- ◆ 文字が判別しやすい(レジブル)
  - 正確に、素早く読める
- ◆ 読書効率が高い(リーダブル)
  - 小さな文字でも高速に読める

フォントデザインにより変更可能

## エスカレータの安全性に関する研究

- (1) 事故事例の分析: ニーズ分析
- (2) 利用時の手がかり調査
- (3) より確実な手がかり: BFマーク
- (4) 有効性の検証
  - a) 実験的検討
  - b) 利用者の声

### (1) 事故事例の分析

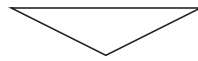
- パラリンピックの金メダリストである視覚障害者
- ロービジョン、30歳代
- エスカレータから転落した事故事例を分析。



上りと下りを見間違えてしまった。

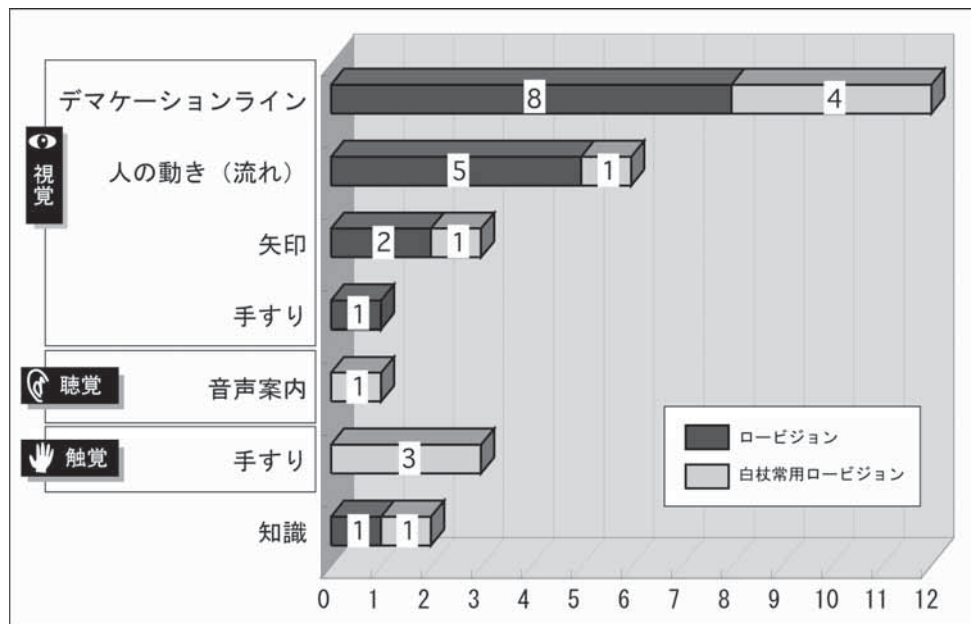
## 面接法より

- 単に本人の不注意が原因ではない。
- 環境との相互作用で見え方が変化する。

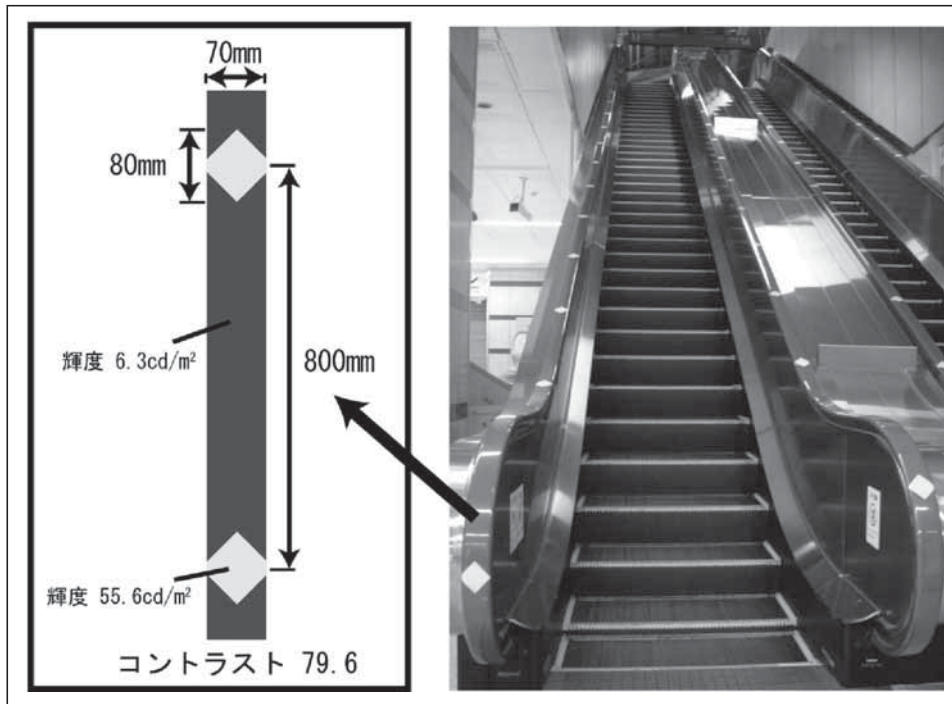


- a) 見え方の変化への対処の必要性
- b) 適切な構造物配置と、上り下りが容易に識別できる環境的配慮の必要性

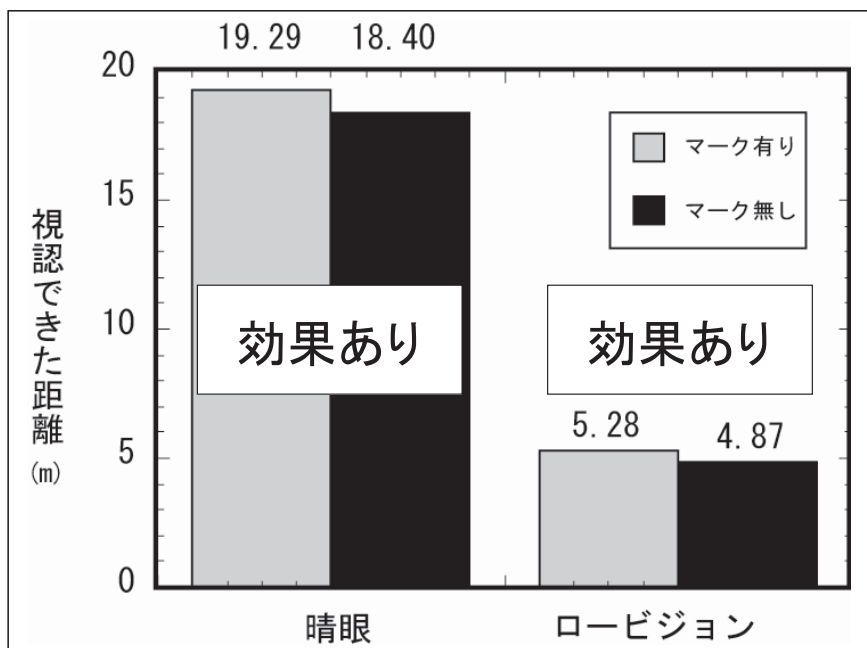
## (2) 利用時の手がかかり調査



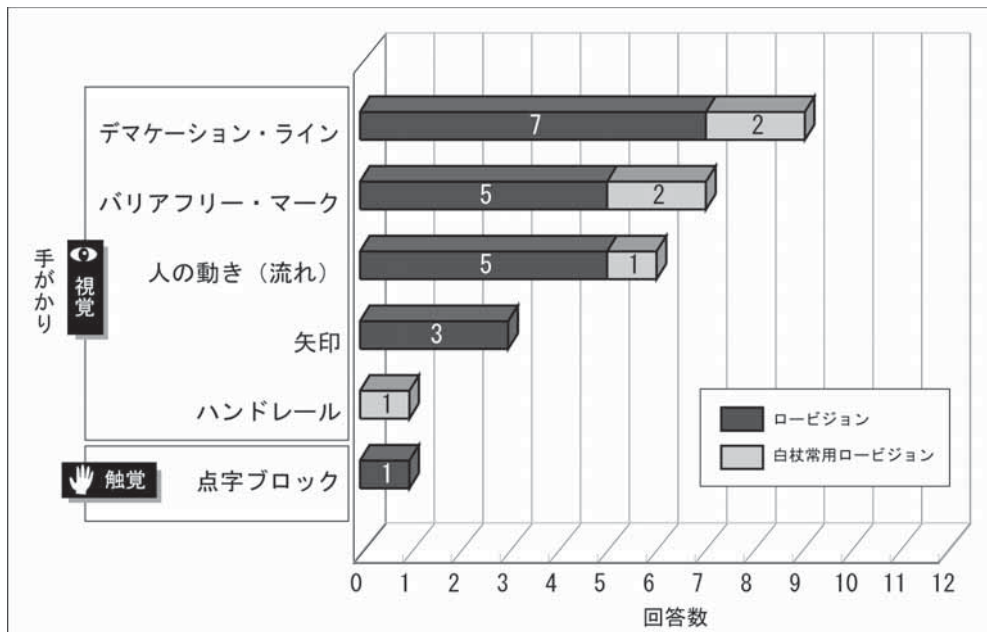
### (3) より確実な手がかり



### (4) 有効性の検証: 実験的検討



## 有効性の検証：利用者の声



## BFUD研究 (まとめ)

- 主観・客観
  - ヒトの心理現象の客観化を行いつつ、環境や身体との関係で解明
- 基礎・応用
  - ヒトの行動理解に関する基礎研究であるが、応用も絶えず意識
- 大学・社会
  - 若手研究者と社会を繋げる役割





大場 茂（おおば しげる）  
慶應義塾大学自然科学研究教育センター副所長  
日吉化学教室、文学部教授

## 閉会のあいさつ

今日のシンポジウムのプログラムの一番最後ですけれども、閉会の挨拶ということで、副所長をさせていただいております大場が、挨拶させていただきます。今日はお忙しい中を皆さん、お集まりいただきましてありがとうございます。今回のシンポジウムの趣旨として、自然科学のいろいろな分野の、最先端のトピックス、あるいは自然科学を今後どう進めていくかという、示唆に富んだお話をさせていただきました。自然科学といっても、幅が広くてですね、今日の講演でもわかるように地震学とか、物理学、あと生物学、それから最後の心理学と、多岐に亘っているということで、かなりこう、モザイク構造であるということがいえます。団先生の話にありましたけれど、ひとつひとつのピースを見ただけではなんかこう、どうしようもないような問題も、全体を見ると漠然とですけども、解が出てくるという風な問題もあると思います。そういう意味で、他分野との交わりというのが重要で、それを通して自分の立ち位置が分かるのではないのでしょうか。どうしてもやはり自分の専門に入ってしまうと、例えば私は化学ですけども、化学の中でも、無機化学だとか有機化学だとか、そんな専門が、ど

んどん細分化されています。自分がドクターの学生の時を振り返ってみると、何か新しい成果を出すためには、どうしても自分の専門をとにかく確立するというのが優先で、他分野への興味などを持っていても、とてもそんな余裕がなくて、自分の領域をとにかくカバーするだけで精一杯という状況でした。そういう意味で、日吉キャンパスの自然科学研究教育センターというのは、いろいろな分野の人が集まっていますので、いい雰囲気を作り出していければいいなと、思っています。今後については、慶應の中で、この自然科学研究教育センターの存在感を、いかに高めていくかということが重要であり、それは今後の我々の活動にかかっていると思います。今日が開所記念シンポジウムですけども、これから、10年後、20年後に振り返ってみて、ああ何か当時が懐かしいという日がきっと来ると思います。今年、これまでセンターが順調に立ち上がってきていますので、この立ち上げたエネルギーを、なんとか持続して、更に発展させていきたいと考えております。皆さん、ご協力をよろしくお願い致します。ということで、私の最後の挨拶とさせていただきます。（拍手）

# 資 料

## 自然科学研究教育センター 開所記念シンポジウム

### 自然科学の多様性と楽しさ

日時 2009年11月20日(金) 13:00 17:40  
場所 日吉キャンパス 来往舎1階シンポジウムスペース

参加費無料

13:00～13:10 開会のあいさつ 長谷山章(慶應義塾研究担当常任理事)

13:10～13:30 所長講演「自然科学研究教育センターについて」青木健一郎(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 所長、日吉物理学教室、経済学部・教授)

講演1 13:30 14:25

#### 地層から読み解く過去の地震と津波

藤原 治(独立行政法人 産業技術総合研究所、活断層・地震研究センター 主任研究員)

講演2 14:25 15:20

#### 総合の時代と帰納的思考

団まりな(階層生物学研究所 責任研究員)

講演3 15:40 16:35

#### アインシュタインと宇宙の謎

江口 徹(京都大学基礎物理学研究所 所長・教授)

講演4 16:35 17:30

#### バリアフリー・ユニバーサルデザインへの 人間科学からのアプローチ

主観と客観、基礎と応用、大学と社会の架け橋を目指した取り組み  
中野泰志(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 副所長、心理学教室、経済学部・教授)

17:30～17:40 閉会のあいさつ 大場 茂(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 副所長、日吉化学教室、文学部・教授)

プログラム、講演概要等は裏面にあります。

問い合わせ先

慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 事務局(日吉キャンパス来往舎内)

〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1 Tel: 045-566-1111 E-mail: [ce@sci.keio.ac.jp](mailto:ce@sci.keio.ac.jp) <http://www.sci.keio.ac.jp/>



# PROGRAM

13:00 ~ 13:10

## 開会のあいさつ

長谷山彰(慶應義塾研究担当常任理事)

13:10 ~ 13:30

## 所長講演「自然科学研究教育センターについて」

青木健一郎(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 所長、日吉物理学教室、経済学部・教授)

自然科学研究教育センターは今年の4月1日に設立されました。センター趣旨と現状について説明します。さらに、これからセンターの目指していくものについて話します。

13:30 ~ 14:25

## 講演1「地層から読み解く過去の地震と津波」

藤原 治(独立行政法人 産業技術総合研究所、活断層・地震研究センター 主任研究員)

巨大地震や津波は希な現象であるが、一度発生すると非常に大きな自然災害となる。2004年インド洋大津波がその最近の事例で、これはプレートの沈み込み境界の海溝で発生した海溝型地震によるものである。このような低頻度巨大災害は、人間の一生に比べて比較的稀な現象であるため我々の経験が少なく、その実態について不明な点が多い。また、巨大災害の経験から得た教訓は、次の巨大災害までの間に人々の記憶から失われがちである。このことが低頻度巨大災害による被害を拡大させる大きな要因である。将来発生し得る地震や津波の規模と、その結果発生する災害を予測することが、防災・減災対策の第一歩である。

日本列島は海溝などに囲まれており、関東地震や東海地震に代表される海溝型地震と津波に繰り返し襲われてきた。沿岸部に人口と産業が集中している日本列島では、こうした地震や津波による大きな被害が予想される。その防災・減災対策には、過去の地震や津波の履歴を詳しく解読し、何時、何処で、どのような地震や津波が発生したかを知ることがまず必要である。

日本には過去千数百年にわたる歴史記録があり、特に江戸時代以降については地震や津波に関する記述も豊富である。しかし、それだけでは100年以上の間隔で繰り返す海溝型地震と津波の履歴を解明することは難しい。それを解決する方策として、最近発展してきた「津波堆積物」の研究を紹介する。

14:25 ~ 15:20

## 講演2「総合の時代と帰納的思考」

団まりな(階層生物学研究所責任研究員)

現代の私たちは、歴史上もっとも豊かな時代を謳歌している。しかし、同時に、豊かさの弊害をも切実に感じ取っている。増えているように見える天変地異は、本当に私たちが引き起こしているのか。地球は本当に限界に近づいているのか。

この状況は、私たち人間が知的好奇心やさまざまな欲望を満たそうとして、知恵の限りを尽くした結果に他ならない。その中であって私たち歴代の自然科学者は、事物を分析し、さまざまな自然現象の仕組みを精緻に解明して、文明の発展の礎を築いてきた。しかし、その理解をふたたびあるがままの自然の中に戻す努力を怠ったことが、自然のプラス面だけを享受し、マイナス面に目をつぶる結果を生み、巡り巡って世界の現状を生み出す一因につながってしまった。

世界のあちこちから噴出するトラブルは互いに複雑に絡み合い、容易にその原因を見せつけてはくれない。多くの要因を重ね合わせ、それらの原因をつなげて検討する以外に、これらの問題にアプローチする方法はない。このときに役立つのが帰納的思考である。

「百人一首」の歌々の裏に横たわる疑問や不自然さを注意深く検討し、この首首がかなでる藤原定家の秘めた想いを見抜いた人物がいる(織田正吉著「絢爛たる暗号」集英社、1978年)。ここには証明不能だ

が、確固とした事実がある。この例を足場に、自然科学や文化一般の問題における帰納的思考の有用性を論じる。

15:40 ~ 16:35

## 講演3「アインシュタインと宇宙の謎」

江口 徹(京都大学基礎物理学研究所所長・教授)

1905年にアインシュタインは物理学史上に残る有名な論文を次々に3つ発表しました。このため1905年は奇跡の年とも呼ばれています。これら3つの論文はそれぞれ、特殊相対性理論、量子力学、統計力学へと発展して20世紀の物理学の柱を形成しました。

しかし、アインシュタインの最も重要な仕事は何かと問われると、それは重力の力を時空の幾何学で説明した一般相対性理論になるでしょう。一般相対論は、特殊相対論や量子力学など20世紀を通じてその正しさが確立された理論とは違って、まだその一部には未完成なところがあり、今世紀における中心的な研究課題となっています。特に、すべての物質が一点に集中した宇宙の始まりや、光も逃げられないブラックホールの時空などはミステリーに包まれており、一般相対論には多くの謎が残されています。

今、この謎に挑戦しようとしているのが、素粒子を1次元的に広がった紐と考える超弦理論(superstring theory)です。超弦理論にはこの10数年間で著しい進展があり、理論の理解が大きく進みましたが、特にブラックホールの量子状態を一つずつ数え上げることに成功しています。

この講演では、アインシュタインの夢を実現しようとしている超弦理論がどこまで進展しているのか、残された困難は何かなどについて紹介したいと思います。

16:35 ~ 17:30

## 講演4「バリアフリー・ユニバーサルデザインへの人間科学からのアプローチ 主観と客観、基礎と応用、大学と社会の架け橋を目指し たり組み」

中野泰志(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター副所長、心理学教室、経済学部・教授)

現在、我が国の少子化・高齢化は加速し、高齢化率は世界でも最高に近い水準に達している。平成20年版白書では、障害者は724万人、高齢者は2,746万人に達している。このように、人口比から考えただけでも、障害者・高齢者は、すでにマイノリティーグループとは呼べない規模に増大している。商品やサービス等の開発等のビジネス分野においても、マイノリティとは言えなくなった障害者・高齢者を無視することはできなくなりつつあり、各企業が専門の部門を立ち上げて、研究・開発を行っている。

また、社会政策分野においても、米国の改正リハビリテーション法508条、Americans with Disabilities Actに見るように障害者の人権に配慮した社会システムが注目を集めている。日本でも、障害者自立支援法、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」、発達障害者支援法等の法改正により、障害者・高齢者を考慮した社会システムが構築されつつある。さらに、国連による障害者権利条約等を考慮すれば、あらゆる社会参加の場面においてバリアフリーやユニバーサルデザイン(UD)の視点を持つことが不可欠だと言える。

本報告では、障害者や高齢者の多様なニーズに対する人間科学の観点からのバリアフリー・UD研究の意義と楽しさについて紹介する。また、障害者や高齢者の主観をどう客観化するか、基礎研究をどう応用につなげるか、大学の若手研究者と社会との接点をいかに形成するかについて問題提起を行う。

17:30 ~ 17:40

## 閉会のあいさつ

大場 茂(慶應義塾大学 自然科学研究教育センター副所長、日吉物理学教室、文学部・教授)

# 自然科学研究教育センター 開所記念シンポジウム

## 自然科学の多様性と楽しさ

日時 2009年11月20日(金) 13:00 17:40 参加費 無料  
場所 日吉キャンパス 来往舎1階シンポジウムスペース

13:00 13:10 開会のあいさつ 長谷山彰(慶應義塾研究担当常任理事)

13:10 13:30 所長講演「自然科学研究教育センターについて」 青木健一郎(慶應義塾大学自然科学研究教育センター 所長、日吉物理学教室、経済学部・教授)

講演1  
13:30 14:25

地層から読み解く  
過去の地震と津波

藤原 治

(独立行政法人 産業技術総合研究所、活断層・地震研究センター 主任研究員)

講演2  
14:25 15:20

総合の時代と  
帰納的思考

団まりな

(階層生物学研究所 責任研究員)

講演3  
15:40 16:35

アインシュタインと  
宇宙の謎

江口 徹

(京大基礎物理学研究所 所長・教授)

講演4  
16:35 17:30

バリアフリー・ユニバーサルデザインへの  
人間科学からのアプローチ  
—主観と客観、基礎と応用、大学と社会の架け橋を目指した取り組み—

中野泰志

(慶應義塾大学自然科学研究教育センター 副所長、心理学教室、経済学部・教授)

17:30 17:40 閉会のあいさつ 大場 茂(慶應義塾大学自然科学研究教育センター 副所長、日吉化学教室、文学部・教授)

### 問い合わせ先

慶應義塾大学 自然科学研究教育センター 事務局  
(日吉キャンパス来往舎内)

〒223-8521 横浜市港北区日吉 4-1-1 Tel: 045-566-1111  
E-mail: o\_ce@sci.keio.ac.jp http://www.sci.keio.ac.jp/



慶應義塾大学自然科学研究教育センター開所記念シンポジウム

自然科学の多様性と楽しさ

---

2010年2月28日発行

編集・発行 慶應義塾大学自然科学研究教育センター

代表者 青木健一郎

〒223-8521 横浜市港北区日吉4-1-1

TEL 045-566-1111

E-mail : [office@sci.keio.ac.jp](mailto:office@sci.keio.ac.jp)

<http://www.sci.keio.ac.jp/>

2009 Keio Research and Education Center for Natural Sciences  
著作権者の許可なしに複製・転載を禁じます。