

# 甲南大学 総合研究所報

甲南大学総合研究所

〒658-8501 神戸市東灘区岡本8-9-1

電話 (078)435-2331(ダイヤルイン)

## 第44回 甲南大学総合研究所公開講演会 「重力レンズを使って太陽系外惑星を探す」

平成19年7月28日(土)

講師 村木 綏氏

(甲南大学理工学部教授)



### 有村兼彬所長：

本日は暑い中甲南大学総合研究所の公開講演会にお出まし下さりましてありがとうございます。私は総合研究所の所長を務めております文学部の有村と申します。よろしく申し上げます。総合研究所では春期・秋期年二回公開講演会を開いております。今回は春期と申しまして7月の末になってしまいま

したが、甲南大学理工学部・村木綏教授にご講演をお願いする事になりました。タイトルは「重力レンズを使って太陽系惑星を探す」ですが、私ども文科系の者にとってとてつもないテーマのように聞こえますが、インターネットで調べて見ますと、驚きの連続でして、わくわくするような言葉が羅列されていました。

ここで村木先生を簡単に紹介させていただきます。先生は名古屋大学を出られてから東京大学宇宙線研究所に勤めておられ、1989年から名古屋大学、2007年の今年から甲南大学理工学部物理学教授になりました。

先生は宇宙物理学で世界的に高名な学者であります。オーストラリア、ニュージーランド、ハワイ、チベットなどの天体望遠鏡を使って惑星の観測をなさっております。先生にお話を伺いますと、一晩のうちに5千万個の星を観測されるのだそうですが、そのあまりの巨大な数字にも驚きます。今日のハンドアウトにもある通り、先生は自ら光を発しない暗黒惑星を観察することによって宇宙の姿を調べておられるそうです。今日お話し下さることは先生の日頃の研究のほんの一端だと思いますが、普段は言葉としか感じる事のない宇宙を実感をしたいと思っております。それでは村木先生よろしくお願ひします。

#### 村木綏先生：

こんにちは。只今ご紹介いただきました村木です。実はこの4月に放送大学で講義をする事がございまして、放送大学に来ておられる方の年齢構成を知る機会がありました。そうしましたら私と同じ位の高齢の方が3/4で若い人が1/4と少なくてちょっと驚きました。生涯学習と盛んに言われていますが、生涯通して知的なものを追及することは人間にしかできないことなのかも知れないと今私は思っています。問題はその後で、非常に面白い質問がたくさん出ました。多分今日も皆さんは私に色々質問をしようと待ち構えておられると思います。ですから、私の講演は1時間位にしまして、後の30分間は皆さんが宇宙の始まりとか、宇宙に関して不思議と思っておられる事を、ラジオの子供電話相談室ではありませんが、今日は大人相談室という事にして皆様から日ごろの宇宙に関する（生物に関しては僕はプロでは有りませんので）質問をお受けしたいと思えます。大体そのような時間配分で今日の講演をやらせて頂きます。どうぞよろしくお願ひ致します。

私達は、光ってない星を探そうとしているわけです。光っている星も大変面白いのですが、宇宙には光ってない星のほうが光っている星よりも圧倒的に多く、10倍とか20倍以上多いのです。そういう光を発していない星を見るとどういふ事が解るのだろうか、という事に興味を持って私は研究をしておりま

す。光を発していない星は本来観測できないわけです。つまり光っているから星が見えるのであって、光ってなかったら見えないわけです。ではその見えない星を、どうやってそこに星があることを知ることができるのでしょうか。そこにこの研究のポイントがあります。研究の方法としてはアインシュタインの一般相対性理論という大変難しい理論に基づいて研究します。まず今日はその一般相対性理論についてまずわかりやすく紹介します。すると重力レンズという事がどういふことを理解していただけたらと思います。その重力レンズは、凸レンズでもなく凹レンズでもなく、実はこういう形をしたレンズなのです。

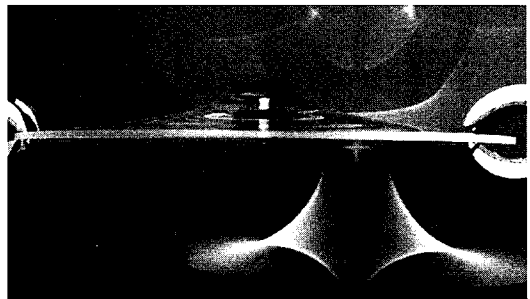


写真 プラスティックで作った重力レンズの模型

これは自然が作り出すレンズをプラスチックで作った模型です。凸レンズを半分に分ったような形のレンズだと思っていただけたら良いと思います。非常に不思議なレンズですね。これが自然界に存在していて、このレンズを使うと、光っていない星が見えるという話を初めの部分でしたいと思います。その後、具体的にどうやって見えない星を系統的に探しているのかという話を、日本とニュージーランドの共同観測実験であるMOAという実験を通して紹介したいと思います。

「モア」は、今から300年前にニュージーランドに住んでいた非常に巨大なダチョウの仲間の鳥の名前です。残念ながら死滅して現在は骨しか残っていません。モアはこの名前に引掛けてつけたグループの名前です。私たちは太陽系の外に地球のような惑星がどのくらい存在するのか、本当に生命を宿した様な惑星が存在するのか、そういう事に大変興味があります。そのような惑星を重力レンズで探す事を現在やっています。その結果についてお話したいと思ひます。

MOAの略称はMicrolensing Observations in

Astrophysics の頭文字を取ってMOA、という名前になっています。このパワーポイントは今年の1月に甲南大学で、ちょっと講演に来てくれと言われてまして講演させていただいた時の物なので、まだこのパワーポイントには、僕の所属が名古屋大学になっていますが、現在の私の所属は甲南大学です。ではこの新しい観測方法、重力レンズを使った暗い天体を検出する方法とは、どういう方法であるのかについて説明したいと思います。

一般相対性理論は1911年から12年にかけて、アインシュタインが作り出した理論です。この理論では、重い星の周りの空間は歪んでいる事を予言しています。空間が歪んでいるためにあたかもそこにレンズがある様になっているのです。これは重力が作り出したレンズ現象なので、重力レンズと呼ばれています。どういう星の周りにこの重力を有したレンズがあるのかというと、例えばブラックホールがそれです。これは光ってないですね。或いは星や銀河も重力レンズの役割をします。要するに全ての質量を持った物体に重力レンズは存在する事になります。私達の周りにも重力レンズはあっても良いわけですが、私達の質量、すなわち体重が余りにも軽すぎて残念ながら重力レンズは見えません。しかしアインシュタインの一般相対性理論によれば、全ての物質は重力レンズを有していることになります。重い星の周りの空間は著しく歪んでいることになります。この空間の歪みを利用して、そこにある見えない星を検出するわけなのです。もう少し解りやすく説明します。この図をごらんください。この図は有名な観測の図で、アインシュタインが一般相対性理論を提唱して10年後、エディントン率いる日食観測隊が赤道ギニアに行ってアインシュタインの言ったことが本当かどうか検証した時の図です。本来、星はこの位置に見えるはずですが、ところが皆既日食の時にここにあった星を観測したらこの位置に星がずれて見えました。このずれは非常に小さくて1.75秒角でありました。1度の60分の1の60分の1の掛ける1.75倍という値で肉眼ではほとんど分からないような小さな量ですが、望遠鏡で見ればはっきりとこの差は分かる訳です。

これは一体何を意味しているのでしょうか？説明します。皆さんは中学校の時に平行線は交わらないということを学校で教えてもらいました。平行線の例にはどんなものがあるか考えてみると、例えば電車がビューッと一直線に走っている場合を考えて

下さい。どこまで行ってもレールは交わらないから平行だと思ってしまいます。しかし少し考えると地球は丸いので、レールはこういう風に曲がっているはずですが、ボールの上に割り箸を乗せた場合を想像してみてください。決して平行ではありません。物理学では直線をどう定義するかと言いますと、レーザー光線がこう進んでいるように、光が進む進路、光の進んでいった方向で定義されます。光の進んでいる、例えばレーザー光線がこうパーッと打ち出されていると、空気に漂っている塵によって散乱されて、レーザー光線がまっすぐ進んで行くのが見えます。このように光が進む進路の軌跡が直線なのです。そうすると本来こういうふうに真直ぐになっていなければならない線が、どういうわけか太陽の周辺では曲がっているわけです。結局直線はこうなっているわけです。曲がっているのになぜ直線なのかという事になるわけです。けれども空間が歪んでいると、それは重力のせいで歪んでいるわけですが、曲がった直線が直線と定義されます。このように重い物質の近傍の空間は曲がっていて、光を曲げる効果があるという事がアインシュタインの一般相対性理論ではっきりわかってきたわけです。この曲がりを利用すると大変面白い事がわかります。

ここにあるのは先程紹介しましたプラスチックのレンズです。こういう形をしています。ここにある黒丸はブラックホールだと思って下さい。重い星の周囲の空間は歪んでいるわけですから後の星から出た光はこういうふうに本来まっすぐ行くものが、空間が歪んでいるためここでぐっと曲げられるわけです。こっちにいった光線も本来真直ぐこういう方向に進まないといけないのに、ここでぐっと曲げられてこちらに集まってくる。そうすると光がこちらへ集まってくるので、後ろの星が明るく見えるわけです。つまりこのような光を集める重力レンズがあると後ろの星の光はピカッと一瞬輝きます。従ってそれを捕まえるとこの前に暗い天体がある事が分かるわけです。これが私達の使っている観測原理なのです。すなわちこのプラスチックレンズがここにこうやってあると考えればよいわけです。私の顔をこのプラスチックレンズを通してみると歪んで見えると思います。これが宇宙の作り出す重力レンズ現象の仕組みです。レーザー光線を通してみますとこういうふうに非常に面白い光線が出ますが、こういうような光になっているわけですね。宇宙の作ったレンズはこういう形をしています。未だ

売り出されていないですけども、こういう格好になります。

レンズになる星は自分から光を発しない星です。ブラックホールとか、或いは軽い惑星でもいいわけです。ところで、惑星は見えるじゃないかと言われるかもしれませんが、惑星が見えるのは太陽の光を受けて反射して光っているからなのです。土星や火星や天王星は自から光を発しているわけではありません。従って本来見えません。そこで私たちは、星をたくさん観測してその周りにこういう光っていない星があり、後方の星と前方の星（重力レンズ）が重なるような現象を探すわけです。実はアインシュタイン自身も1934年にそういう重なる現象があるかどうか計算しました。彼は殆どそのような事は起こらないだろうと計算結果を論文の中に書いています。これはプラスチックの重力レンズを実際に加工している時の写真です。この重力レンズを使ってテニスボールを見てみると、どういうふうに見えるかといいますと、こういうふうにはボールが歪んで見えます。一番の驚きは、ちょうど中心をボールが通った時、点であるべきボールが二次元のドーナツ状になります。これは非常に不思議な現象であり、恐らく宇宙の始まりも重力が非常に強かった為に、私たちの住んでいる四次元の世界が十次元に見えたという理論も、多分こういう事なのだろうと私は推測しています。ともかくこういうドーナツ状リングが見えるわけです。これを観測すれば、真ん中に暗い天体やブラックホールがある事が証明できると考えられます。こういう現象を見つけるというのが、私達の観測目標になります。

今までのところをもう一度復習しておきますと、星の周りの空間は歪んでいる。この歪んだ空間の後ろ側を明るい星がシュッと通過して行くと、後ろの星の光が重力レンズのためピカッと一瞬増光する。この星の増光現象が理論で予想される綺麗な対称な増光・減光を示すと、そこに暗い天体が存在することが分かります。私達はこの方法を使って暗い天体を探そうとしています。観測方法を絵で書くようになります（図1）。

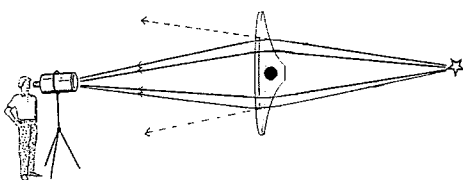
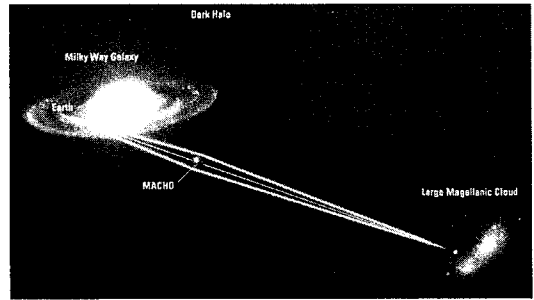


図1 望遠鏡で暗天体を探す模式図



大マゼラン雲の星を見て銀河ハローにあるマッチョを探す図

これは私達の銀河系、ここに太陽系があります。遠くに大マゼラン星雲という星雲があります。何故この対象を観測するかというと、ここにたくさん星が集中しているので、この後ろの星を光源として利用できるからです。すなわちこの間に我々の知らないマッチョ(MACHO)（ハローにある重い暗い天体という意味）があると後ろの星の光がパッと明るく増光するので、ここにマッチョが存在すると分かるわけです（上図）。光っていない星を探す為に光っている星を利用する。このような観測を実行するわけです。光っていない星はダークマターと呼ばれています。暗い物質のことですね。それがニックネームでマッチョと呼ばれているわけです。マッチョは例えば宇宙初期に作られたミニブラックホールや或いは星になり損ねたような核燃焼が起こらない褐色矮星や、あるいは星の死骸の中性子星というようなものが考えられます。マッチョはすなわちダークマターの一部と考えられます。

観測する際にはポイントがあります。二個の天体が重なる確率、後ろの星とマッチョの重力レンズが重なって直線上にのる確率は非常に小さいのです。計算してみますと百万個の星に関して1回だけ起こるといふ予想が立ちます。百万個の星で1回おこるといふことは一千万個の星で10回起こるわけですから、出来るだけたくさんの星を見ないと暗い天体の存在は調べられない事になります。出来るだけたくさんの星を同時に観測できる場所があるか検討してみたら、残念ながら北半球にはなく南半球にありました。何故なら、南半球に行くと銀河中心が見えます。銀河中心部はたくさん星が集まっています。それと先程言いました私達の銀河系に、兄弟という仲間であるマゼラン雲という星雲があります。その遠くの小さな銀河を光源として利用することによって効率的に大量の星を同時測光できるので、マゼラン雲を光源として使うことができます。従って観測

手段としては非常に広い視野が見ることができる、例えば2度×2度の空間を同時にパッと観測できるワイドビューの望遠鏡が必要となります。従ってF数がどちらかというところ3程度の小さなものが、F数が大きな望遠鏡はこの観測目的には向きません。そしてCCDカメラでガバッと一挙に一千万個位の星を同時に撮らないといけないので、大面積のCCDカメラが要ることになります。私達が使っているCCDチップは1個のチップが2K×4Kのサイズです。皆さんのD80とかニコンのカメラのCCDは1K×1Kくらいの大きさです。だから皆様のカメラにあるCCDよりも8倍大きなサイズ、すなわち3cm×6cmのCCDを12枚も使っています。すると丁度このくらいのサイズのCCDカメラになります。皆さんのカメラのCCDの大きさはこの位なのです。私達の望遠鏡のCCDはこんなにも大きなもので、後で写真をお見せしますが、それが必要となるのです。こういう観測が可能となったのは、アメリカで開発されていた2K×4Kの軍用に使われていた大型CCDチップが民間に開放されたことにより、又1990年頃計算機の能力が飛躍的に発展して、小さなパソコンでも結構こういうデータ処理が出来るようになったこと。これら二つの技術革新に支えられ、見えない星を発見することが可能となりました。

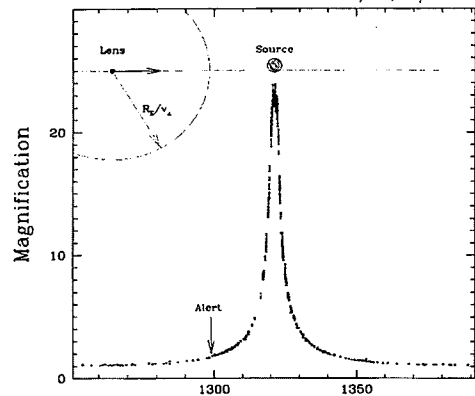
歴史的には1986年にこれを観測しようという提案がポーランド人でプリストン大学教授のパチンスキー氏によってなされました。残念な事にパチンスキー先生は2007年4月に亡くなられました。ポーランドの自由派の代表的な先生で、後に国民的英雄になりました。1990年からこれは面白いアイデアだから是非やろうと、米国西海岸のパークレー辺りで、米国の若手研究者が準備を始め、90年から実際の観測が始まりました。非常に衝撃的な発見が93年にありました。これでダークマター問題が解決したのかと思うほどの大変大きな発見でした。1987年の大マゼラン雲のニュートリノの発見に次ぐ大きな発見であったと思います。私の研究生活の中で、こういう大きな発見は今までに5つ程ありました。これはそのうちのひとつだと思います。私達はノーベル賞をもらった小柴先生らの見つけたニュートリノだけではなく、ガンマ線も大マゼラン雲から来ているのではないかと考えました。そこで1987年から佐藤文隆先生と共に観測を始めました。しかし残念ながらガンマ線は受信されませんでした。そこで重力レンズ

を使うという面白いアイデアが出てきたのでこの研究をやろうということになりました。私はそれまで宇宙線を専門に研究していましたが、天文学の研究もすることになりました。そのために宇宙を見るための様々な新しいテクニックも覚えなければならず非常に大変でした。新しい研究をやるのは色々な困難がありましたけれどもそれを乗り越えてここまでやってこられました。今日は皆さんに、私たちの研究が今どういう結果になっているのか、その話を紹介したいと思います。

まず重力レンズ現象は非常に美しい形をしています。どういう意味かというこの図をご覧ください(図2)、横軸は時間軸です。縦軸は光度です。どのように星の明るさが増光していったかということはこの曲線は表しています。この中心から左右に綺麗に対称的に増光・減光現象が見られます。この対称性を利用して他の変光星と区別します。

ApJ 491 (1997) 436 by G-man collector

典型的な重力レンズの例  
1995年7月



JD - 2448623.5000

95-30

$M_{lens} = 0.53 \pm 0.53 M_{\odot}$

$D_{lens} = 6.57 \pm 2.2 \text{ kpc}$

$M_{source} = 61 \pm 12 R_{\odot} \text{ M4 III type star}$

図2

結果は、アインシュタインやパチンスキーの計算どおりマッチョは100万個の星を見て1個しか見つからないものでした。従って今までこのイベントは10個くらいしか見つかっていません。例数が非常に少なく、一体マッチョがあるのか無いのか未だに分からない状態が続いています。研究者はこの問題をやっぱり解明したいと考えるわけです。そこでもっと多くの星を観測しようとして私達は提案してきました。その為にはどうしたら良いか。広視野で大口径の望遠鏡ともっと大きな面積を持ったCCDカメラ

が要ることになります。つまりもっとお金が要るということになってくるわけです。しかしこの政府も基礎科学にそう簡単に大金を出してくれるわけではなく、研究資金を集めるのに大変苦労しました。

それでは、この日本・ニュージーランドの観測チームがニュージーランドで行なっている観測の現状、今どういうことをやっているのかということについて紹介したいと思います。1987年から1995年に亘り、超新星からのガンマ線を観測していたのはこの地図でニュージーランド南島のブレナム市付近でした。ここはワインの生産地で大変有名でおいしいワインがたくさんとれます。もちろんこのワインの木はフランスから輸入された木です。ここに集められた方の中にニュージーランドに観光旅行に行かれた人もおられると思います。ニュージーランド観光の魅力は、手付かずの自然がそのまま残っている点にあります。例えばゴールドサンドベイ・ナショナルパークの黄金色の砂浜やミルフォードサウンドのフィヨルド海岸のような風光明媚な場所はたくさんあります。しかしそこへ行くのにもすごい時間がかかるわけです。綺麗な場所があっちこちに点在しているので、旅行する時に非常に苦労します。しかし人が少ない為に自然がそのまま残されているという魅力があります。私たちの観測場所はそのような自然の中にあります。関西空港からエア・ニュージーランドのクライストチャーチ行きの直行便に乗り、車で2時間半、マウントクックへ行く途中のテカポ湖という非常に綺麗な湖の近くにいます。このテカポ湖は、カナダの湖と同じような色をしています。氷河が削り取った後の雲母が浮かんでいるからだという人や銅の色だという人もおり、どちらが本当なのか私には分かりませんが、とにかく美しい自然に囲まれた所で観測をしています。余談ですが、テカポ湖畔にある小さな教会は“よき羊飼いの教会”と言われていて、7、8年前のBBCのクリスマスタイムに全世界にテレビ放映されて一躍有名になった教会です。カレンダーやグラビアによく取り上げられています。日本の若いカップルにも大人気で、ここで結婚式を挙げる人もかなりいます。

私達の観測ステーションは湖を見下ろす300m上の高台にあります。従って湖の水蒸気の影響は余り受けません。カンタベリー大学の先生が「ニュージーランドは、経済は先進国だけど施設は後進国だ」と言っていました。正にその通りで、95年現地に行

ってみたら直径60cmの光学望遠鏡と1mの光学望遠鏡の2台しかありませんでした。これらは国際競争で生き残れるような代物ではありませんでした。熱心なアマチュアだったら口径60cm位の望遠鏡は自宅に持っています。そこで私達が2K×4KのCCDチップを3枚使い、全体で9cm×6cmのちよっと大き目のCCDカメラを作り、この60cmの望遠鏡に取り付けて95年から観測しました。この写真はその1枚のCCDチップでマゼラン雲を撮影した写真です。この1枚のCCDチップでどのくらい星が写っているか、こちらの写真でわかります。この白い点はすべて星です。こちらの写真では密集して詳細が分からないので1/25を切り出して拡大してみた写真がこちらになります。星がたくさん写っているのがわかります。この星の一つ一つを毎晩毎晩モニターするわけです。それでは先程、司会の先生からご紹介して頂きました5千万個の星をどうやって見るのかと言うお話をいたします。一個一個コンピューターにかけて、昨日と比べて今日は増光有りとか無しとか調べるわけです。このためにはものすごい計算機のパワーが要求されます。と言っても昔のスーパーコンとかそんなものではなく、今はコンピューター性能が非常に良くなったので、パソコンをズラーと並べたもので出来るのです。星の増光をもっと早く調べる為に私達は差分測光法という特別な方法を使っています。基準のプレートを作り、今日のプレートと基準のプレートとを引き算します。そうすると本当に光の増えた星の部分だけがこのように白くなって、暗くなった星だけが黒くなって表れます。この星だけをモニターすれば良いのです。このように星の明るさの変化を早く知る為の工夫もしています。

口径60センチの望遠鏡による観測には限界があるので、是非大きな望遠鏡を作りたいと5年も前から毎年大型科研費の特別推進研究に応募していました。それがやっと認められ、2002年の4月から大きな望遠鏡を建設する事が可能になりました。限られた予算なので、効率的に無駄なくできるだけ大きな望遠鏡を作りたいと考えて、鏡は当時のロシアから購入しました。何故ロシアかと申しますと、当時ロシアのモスクワには2mの大きな鏡が転がっていました。何に使うのだろうか、皆さんわからない方が多いと思いますが、実はこれはスパイ衛星の為の鏡なのです。これは何もロシアだけではなくてアメリカも宇宙にぼんぼん上げていまして、北朝鮮の上を

そっと覗いているわけです。ロシアの経済は当時悪かったものですから工場にあった鏡を売って従業員の給料にしていました。そういうような事情もありまして普通なら8千万円する鏡が半額の4千万円で買えました。一方ニュージーランド側は主焦点にある小さなこの4枚のレンズをニュージーランドでぜひ作りたいというので、これはニュージーランド側に作ってもらい、望遠鏡本体は京都の西村製作所で作ってもらいました。全体の経費は大体2億円です。やっと口径1.8mの望遠鏡が出来ました。F数はほぼ3です。当時日本にあった最大の望遠鏡は岡山の国立天文台の望遠鏡で口径1.85mでした。今は確か西播磨天文台が口径2.0mの望遠鏡を持っているので、それが日本にある一番大きな望遠鏡だと思います。私達の望遠鏡の口径はそれには少しお金が足りなくて及びませんでした。努力の結果、西播磨天文台の4分の1くらいの予算で1.8mの大型望遠鏡が出来ました。望遠鏡の建設には様々な多くの困難がありました。現地のカンタベリー大学の教授は、俺はスウェーデンで天文の教科書を書くとか言って行ってしまい不在でした。現地に教授がいない為に、建設にあたって大学の施設部との調整で困難を極めました。受け入れ側の役を荷うはずの教授が不在になったために、ニュージーランドの教授の言う事しかニュージーランドの施設部の部長は聞きません。色々な事がニュージーランドでもあったということです。ともあれ2004年の秋から現地で望遠鏡の建設が始まりました。

この観測システムの特長は、1億個の星を一晩でモニターできるようになったということです。重力レンズ研究に特化した専用の望遠鏡としては世界最大の口径であると言えます。例えばハワイのスバル望遠鏡は口径10mです。他に4mクラスの望遠鏡は世界各地にいっぱいあります。これらの大型望遠鏡を使用する時はまず提案書を委員会に出して、あなたは2日間、あなたは3日間と望遠鏡の時間をもらうわけです。言い換えればそれだけしか観測時間はありません。私たちの望遠鏡は専用望遠鏡なのでいつもマゼラン雲といつも銀河中心を見えています。そういう視点で考えると、「モア」望遠鏡は常時マゼラン雲とか銀河中心部を観測するための望遠鏡としては世界最大の口径を有しているのです。私達は大きなCCDチップを10枚使うことによりスバル望遠鏡に使用されているのと同じ大きさのCCDカメラを作ることが出来ました。その結果、一挙に2.2平

方度の広視野を見ることが可能になりました。これも世界最大です。さらに大きな望遠鏡なので22等星から23等星と言うような暗い星も見えるようになりました。観測は2005年の5月から始まりましたが次第に観測効率が上がってきて、今年は非常に良い観測効率で観測しています。この写真がさっき言いました非常に大きな12cm×15cmのCCDカメラです。1台に10枚大きなCCDチップがくっついています。CCD素子1枚の値段は皆さんいくらだと思いますか。CCDチップというのはここに、線が例えば2,000本走っています。一本でも線に欠損があるとドーンと値段が落ちます。本当に何も欠損が無い無傷のものを買ったら1枚が約2,000万円します。1個で家が建つのです。従ってこれで10軒分の家が建つぐらいの価格です。我々はそんな高いのは買えないので、6本まで傷のある物は許すという条件で、たくさん買うからと言ってダンピングしてもらいました。1枚600万円だったかな、400万円だったかな、ともあれ1/4位の価格で買いました。CCDをカメラの表面に取り付けるときは超慎重にしないとけません。CCD素子にちょっとでも手の垢を付けると動かなくなります。相手は半導体ですから細心の注意を要します。しかも例えば手の摩擦電気がパッと入るとダメになります。だからCCD素子を支えるの台に取り付けるときは、静電気が生じないように手首にケーブルを巻いてアースをとって上からイオンの風を吹かして手が帯電しないようにして、無塵室で組み立てるわけです。これを一台作ってみると自信が出来ちゃって、こんなの自分らでも出来るという事になって、ちょっと横着になってくると、そのうち一個くらいぶち壊すのではないかと心配しています。しかし手順どおりにやれば自分達で半導体を組み立てる事が出来るという事がわかりました。こういうところにハイテクが使われています。

望遠鏡を収納するドームは一体どうやって作るんだろうか？私は非常に興味がありました。ここで1枚の写真を皆さんにお見せします。ドームって丸くなっていますよね。あれはどうやって組み立てると思いますか。まずこの写真を見ていると一本ここからクレーンを使って支柱をヒュッと立てて、ここへ他の柱を結んでいるのがわかりますね。このやぐらの上に。これをクレーンで下ろして、これとこれを取り付けたら一応これで骨格の基本が出来るわけです。それからここに横に梁を繋ぎ合わせていけば、このようにドームが出来ていくわけです。だから最

初の本一の柱を取り付けるというアイデアが非常に重要なわけです。下の側壁を組み立てるのは、柱を立てておいて繋いでいけば丸いのが出来るというのはわかると思います。側壁の上に半球状のドームをどうやって作るのか、非常に興味がありました。ドームは大阪と京都の境にある能勢町の町工場で作ってもらい一回工場で組み立てて、組み立てられることを確認したあと解体し、ニュージーランドへ運び、現地で再度それを組み立てるという作業をしました。この写真は2004年の9月12日骨組みが完成した時の写真です。そして2004年の晩秋にはここに大きなドームが完成しました。これが私達の1.8m望遠鏡のドームで、これが観測棟です。このパワーポイントの青い部分は湖の色です。2004年の12月1日に望遠鏡のお披露目式を行ないました。その時のパーティーのプログラムです。望遠鏡の色を赤と白にしたのは私のアイデアで、日本の国の日の丸を意識して赤と白の望遠鏡にしました。

これが完成式典の写真で、ここに佐藤文隆先生がお見えです。私がお見えで、そしてここに名古屋大学の学長がおられて、この方がニュージーランドの科学副大臣で、こちらの方が日本の斉藤大使です。この方がポーランドの共同研究者のウダルスキー先生です。こういう方々をお招きし多くの方々に集まっていたいただき開所式を迎える事が出来ました。ちなみにマウントクックはこの辺です。そして2005年3月1日に1.8m望遠鏡のファーストライトを迎えました。さきの12cm×15cmのCCDカメラでマゼラン雲を撮った時の写真です。本当にマッチョがあるのか、ダークマターを調べたい時はマゼラン雲を見ます。1,2,3,4と数字が書いてある領域は一回の照射でこの2.2平方度の空の領域がこの順番で観測されていくということを表しています。1時間30分で1往復してこうやって撮影しているわけです。これはマゼラン雲の写真でここにいっぱい星が集まっています。ここのふちにある星雲で1987年ニュートリノを發した超新星が生まれたのです。こちらの写真が、私達の兄弟の太陽系外惑星を探す時に見る銀河の中心方向の写真です。ダークマターや暗い星が銀河ハローにたくさんあるかどうかという問題に関して解答を得るには、まだ3年くらい時間がかかると思われます。意外なことは太陽系外の地球型惑星がこの方法で見つかったことです。ですから、次にこの話をしてしたいと思います。

旧来、太陽系外の惑星はどういう方法で探査され

てきたかと言うと、ドブラー法という方法で探査されてきました。ドブラー法というのは何かと言うことですが、救急車がやって来る時は初めピーポーピーポーと非常に高い音が聞こえますが、去る時はピーポーピーポーという低い音になって聞こえます。音の波と光の波の違いはありますが、あれがドブラー効果です。今、惑星と主星があつてグルグルと2重星として重心の周りを回っていると想像してください。そうすると主星が地球に近づく時は救急車が近づくのと同じで音が高くなるように光の波長が短くなります。一方遠ざかる時は救急車の音が低くなるように、光の波長が長くなって赤い光にずれます。この光を出す主星のスペクトルの波長がほんのちよつとだけ赤い方へずれたり、青い方へずれたりするのを観測することによって、主星が惑星を伴っている事がわかるのです。この方法を使って、もう170個も太陽系外惑星が見つかっています。データです。横軸は距離です。これが太陽と地球の間の距離に対応します。そうすると私達の水・金・地・火・木・土・天・海で最後の冥は惑星と言っちゃいけないわけですが、我々太陽系の惑星の構成とは全く違う惑星系の姿が浮かび上がってきたわけです。どう違うかと言うと、太陽に非常に近い所にたくさん木星クラスの重い惑星が集まっているという構図が描き出されました。こういう太陽系のごく近くにある惑星系が170個も見つかくると、我々太陽系は異端者かという事になるわけです。ドブラー法の結果を見る限り異端者なわけです。ところがドブラー法にはシステム固有の問題があります。それは重い星は検出しやすいという特性があります。すなわち重い星に検出のバイアスがかかることになります。この図は、縦軸は惑星の質量、横軸は主星からの距離を表します。木星のような重い星はドブラー法で見つけ易いことを表しています。

ところが水星・金星・地球・火星のような軽い惑星は、ドブラー法では観測装置の誤差の範囲に入ってしまう観測が困難になります。こういう軽い惑星が見えるのは、私達が今やっている重力レンズ法しかないだろうと15年ぐらい前からすでに言われていました。しかしやってみないと観測に引っかかるかどうかはわからなかったのです。それでは太陽系外惑星を、重力レンズ法でどうやって見るのか説明します。この図のように主星に付随した惑星があることを想定します。惑星系を伴った星が作る重力レンズが私たち地球の観測者と後ろの星の間をスーッと



通過していく場合を想定します。ここに太陽系があってここに銀河中心の星がたくさんある訳ですね。銀河中心を定常的に見ている時にこの間をスーッと惑星を伴った星が通過していくわけです。するとどのような増光現象が起こるかを考えてみます。主星の大きな重力レンズで、後方の星の光は20日位の時間スケールでゆっくり明るくなりまたゆっくり暗くなっていくことが予想されます。その時に瞬間的に惑星の小型レンズで数日間だけピカッと後方の星が明るくなります(図3)。

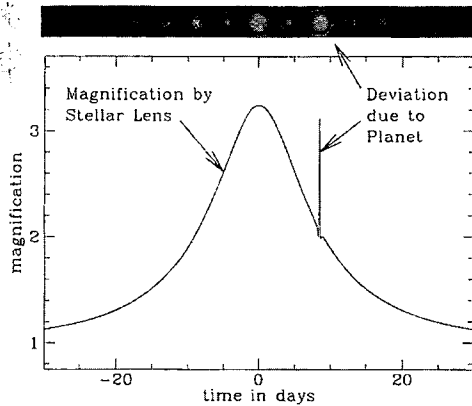


図3 重力レンズ効果で期待される惑星の光度曲線

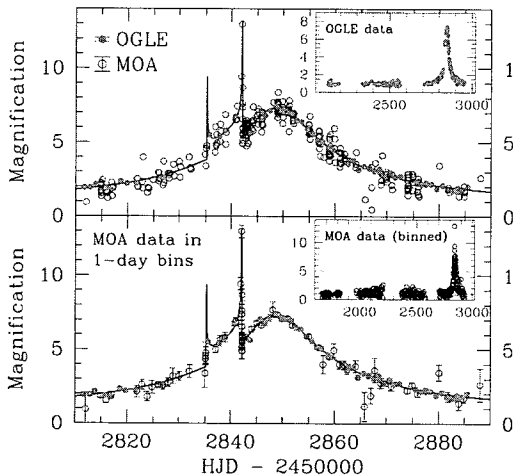


図4 重力レンズ効果で発見された系外木星

このように2つの増光現象が重なって図3のような増光現象が観測されるはずですが。これが惑星存在の証拠となります。惑星は軽いので重力レンズが小さく重力レンズをおこす期間が非常に短いのです。従って後ろの星の光を見てると、一時的に主星の

重力レンズで明るくなり、また暗くなり、それからまた一瞬今度は惑星の小型重力レンズで明るくなると予想されます(図3)。こういう現象を探せば、この星に惑星が随伴しているということが解るわけです。

実際に2003年7月に見つかった例を紹介します。私達のモアの観測が青色の点で、ポーランドのオーグルグループの観測点が赤色の点です。オーグルグループのデータは、さきほど言いましたパチンスキーの弟子のポーランドのウダルスキー先生らがチリで観測して得られたデータです。これは私達ニュージーランドとチリのオーグルの観測で見つかった非常に明確な惑星を伴ったイベントです(図4)。この増光曲線を私はM型と呼んでいます。何故ならMの字の様に見えるからです。主星の重力レンズの上に惑星による2つの尖ったレンズピークが重なって見えています。この時間間隔とピークの増光時間から、この主星には木星が伴っているという事がわかったわけです。せっかく重力レンズ法で見たのに、さっきドプラー法で見た方法と同じじゃないの、見つかった惑星は木星と同じじゃないの、ドプラー法での検出結果と変わらないではないと言われるかもしれませんが。でも観測結果はそうだったというわけです。その次にまたこういう惑星の例が見つかりました。これはまた増光曲線がM字型になっている。これを解析すると惑星の質量は木星でした、2005年4月の2例目も木星でした。

ところが2005年8月になって全く異なる例が見つかりました。初めて短い小さな増光があるイベントが見つかったのです。茶色の点が新しい1.8m MOA望遠鏡で見た点です。解析の結果この例は非常に軽い惑星によって作られた光度曲線であるという事がわかりました。地球ほど軽くはなかったのですが。地球の5.5倍の質量を有した、木星とは全然違う惑星が随伴している事がわかりました。レンズの後ろにあるソース天体(光源になった星)を、ハッブル宇宙望遠鏡で確認してもらいました。宇宙から星を見ると空気による揺らぎがないから星がCCDカメラに点として写ります。ハッブル宇宙望遠鏡の写真のこの星だという事がわかって、それを色々解析していった結果、次のような事がわかってきました。後ろの光源となった星は赤色巨星で太陽の10倍の半径がありました。距離は地球から2.8万光年離れた銀河中心近傍の星である。惑星系は地球から2.2万光年離れていて主星の質量が私達の太陽の質量の5

分の1で惑星は地球の5.5倍の質量でした。非常に残念な事に我々太陽系と比較するとこの惑星が太陽と地球間の距離の2.6倍はなれた遠いところに存在するために、その表面の気温はマイナス220度と予想されました。この新惑星には残念ながら生命が存在する可能性はほとんどありません。これをグラフに書いてみます。横軸は太陽からの距離です。縦軸は惑星の質量です。茶色の点がドブラー法で見つかった星です。青い点が重力レンズで見つかった星の点です。そうすると、最初私たちが見つけた二つ惑星はドブラー法で観測された惑星と同じ仲間（木星）に入っていて面白くない。面白くないと言っちゃいけないのですが。ところが新しい観測点は図の未踏査領域に対応しています。すなわちこの場所に来ています。このような新しい観測点が含まれている領域は、重力レンズ法でしか観測できないのです。このようにして私達は系外惑星探査の新しい世界を切り開いたのです。本来この青い点がこの場所にあれば、生命が存在する可能性が非常に興味深かったのですが。それは次回の観測にゆだねられました。

東京工業大学の惑星シミュレーションの井田先生が、シミュレーションでどうやって惑星が出来るか計算しています。その結果、太陽に非常に近いところに存在する木星のような重い惑星もシミュレーションで作れるし（すなわちドブラー法で見つかった例）、又未観測領域に対してはこういう分布が予想されます。この領域は惑星が理論上出来ない領域で、惑星砂漠と言われています。今回の観測の意義は、地球型惑星の存在を初めて確認した点にあります。Cool rock planetを。今まで太陽系は私達の銀河の中で孤立した家族構成を有した特異な存在であると言われていました。しかし今回の観測で孤立した存在ではないことがわかったと言えるのではないのでしょうか。今後の観測で、もっとこういうイベントが集められる事が期待されます。

これは日経新聞の日曜科学欄の2006年2月19日に掲載された記事です。新聞記者というのはものすごく上手に記事を書くものだなーと感心させられました。『天才の原理で見えない星を発見した』と見出しがついています。残念ながら天才はアインシュタインのことで私ではありません。このようにわかりやすく上手に私達の発見を紹介しています。現在惑星を探査するグループは南半球に数グループあります。その中でもプラネットブルーというグループ

が大きな存在です。彼らは1mクラスの中型望遠鏡と小さなCCDカメラを使って観測しています。それぞれの望遠鏡に小型CCDカメラを取りつけて、地球の連続した夜を3大陸を使って実現し、一つの星を追尾観測します。24時間連続観測しないとカーブに欠損が出来るので、欠損の無い連続観測を実現するためにこのような連続プレーをしている共同観測チームです。しかし彼らは大型CCDカメラを有していないので、どの星を追尾するかはMOA・OGLE両グループからのアラート情報を使用します。（<https://it019909.massey.ac.nz/moa/alert.php> <http://bulge.astro.princeton.edu/~ogle/>）

将来計画として南極のドームCでの観測が議論されています。ドームCは標高3,000mもの高地にあり、かつ風の回転の特異点にあるため、非常にseeingが良く天候も安定していることがわかってきました。但し地上から上空30メートル上が良いと、下は全然駄目だそうです。非常にノッポな望遠鏡を作れば、ここは一番こういう探査に向いている観測場所になるでしょう。南極の冬には24時間夜が続きます。一つの望遠鏡でプラネットブルーの観測目的が実現することになります。ただし南極という場所は一点注意しないといけないことは地盤沈下があることです。ドームCは雪原の上にあるため氷が下に沈んでいきます。それに伴い毎年毎年望遠鏡の土台を補正しないと望遠鏡が沈下していきます。というわけで、私の話はここで一応区切って、質問を受けたいと思います。

まとめると重力レンズ法を使って、太陽系外地球型惑星の検出に始めて成功した。重力レンズ天文学は太陽系外惑星探査に今後大きな力を発揮することが期待される。ともかく一例では駄目なので、もっとイベントを集める必要があるということです。なおニュージーランドに行かれる方がおられましたらぜひデカポに寄ってください。ここには小沢さんという日本人の方が住んでいまして、星空ツアーを企画しています。南半球の夜空を彩る星を眺めながら、私達の研究施設を訪問するようなコースを彼は用意しております。そこで施設を見て頂くと、今日の話がより具体的なものとなって、ああ、こういう話だったのだと一層親しみを持って頂けると思います。ここで少し宣伝させて頂きました。以上でよろしいでしょうか。後は質問を受けたいと思います。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：重力レンズは仮想的に空間に存在するもので、要するに重力というものが作り出している現象なのです。物があるとその部分の空間が歪んでいる、そういうことです。何か具体的にプラスチックの板があるわけではありません。これはわかりやすくするために例えの例として作ったものであって、こういう物ではないのです。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：はい、プラスチックの重力レンズは計算して作りました。私の持っているものはニュージーランドの光学研究所が作った物です。日本でも科学博物館から陳列したいという要請がありまして、色々な会社に頼んで最近上手に作ってもらったようです。1個15万円位とかそんな値段だそうです。

質問者：一つはまず重力レンズの（この間音がとれず不明）これは三次元的なものですね。

村木先生：はい。そうです。

（この間音がとれず不明）

村木先生：大変鋭いところを聞いて頂いたのですが、結局これはこの図をお見せしたいと思います。惑星の質量を決めるのは増光の時間で決めています。増光の時間が質量の平方根に比例しているという関係式があります。そうするとですね、太陽だと2ヶ月位増光していますが、木星だと2日間位。地球だと2時間しか光らないのです。そうすると例えば10分おきに星を観測している場合、そこだけ2時間だけピューッと光が増えれば、確かに地球があったと言えます。いつもその時間を観測しているとは限らなくて1日1回しか観測していないと、そこが抜けます。星の方から信号が来ていても受信するチャンス逃すことになります。すなわち観測が欠損になるわけですね。そういうのが結局軽い星を観測できる限界になります。ですからこの事象が大事だというときは、可能な限りその星を集中測光することになります。大きな望遠鏡は星雲の全体を見ていますが、例えば石垣島には口径1mの”あゆた”望遠鏡があります。今その石垣島の望遠鏡に、この星だけを10分おきに観測しろという指令が飛びます。そしてそれを追いかける事によって小型惑星が発見できるのです。そういう観測時間の限界があるために、どちらかという大きな重い星の方が見つけやすいわけです。ブラックホールだとその増光時間が1年とか2年かかります。従ってブラックホールは1ヶ月

に1回観測すればよいわけです。しかし長い期間観測を続けないと本当にこれがブラックホールなのかどうかわからないのです。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：これはかなり専門的な質問だと思います。質問された方は、多分専門家の方じゃないでしょうか。すみませんが式を使って説明します。式はこうなります。 $t = (5AU/v) \sqrt{0.2Mx(1-x)}$

この式でtは増光する時間です。5AU÷そのレンズの速度(v)[km/sec]です。√の中は0.2の太陽mass×x(1-x)となっています。銀河中心と太陽系の間の距離を1としたとき、xという場所に惑星を伴った星があったときに増光時間tはこの式のように書けます。式の中にvとxがこういう形で入っています。だからちょっと難しい言葉で言うと、距離と速度が一つの式の中に二重のパラメータになって入っている為に、今日はあまり説明しなかったのですが、縮退が解かれていない為に天文学はここで止まっているということになります。そこでもっと大きな望遠鏡で、M型の増光曲線を示す二重星イベントを探すわけです。こういうような現象をたくさん探すと、実はこのピークの部分を詳細に観測する事によって、この縮退が解ける事がわかっています。こういう二重星によって作り出された重力レンズ事例は重力レンズの1割程度です。重力レンズが観測されるのは100万個の星を見て1個です。従って二重星イベントは1000万個の星に一個の割合でしか見つからず非常に珍しい現象です。これはバイナリーレンズ効果と呼ばれています。このイベントをたくさん集めることによって、縮退は解けるのです。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：この話は講演の中では言わなかったのですが、質問が出るだろうと思って用意してきました。これは今年になってわかったことですが、HT209458Bという惑星はかなり前からあることは指摘されていきました。惑星が主星の前をスーッと通過していくと後ろの星の光が惑星にさえぎられて暗くなります。それを使って惑星の存在を調べる方法をトランジット法と言います。この惑星がこの辺にきた時のこの星の想像図です。この惑星は非常に主星の近くを回っています。水のスペクトル線を測定したところ、観測データが、水がある方に無い場合よりもよく合うという結果が出ました。だからこ

の惑星には水があるのだというのが今大きな話題になっています。

生命が存在するたためにはやはり快適に住める温度でないと困ります。今回私達が見つけた惑星は推定表面温度がマイナス220度ですから、水は凍てしまい生命は住めません。水がなければ生命は存在できないし、オゾンがなければ太陽の紫外線で皆がなくなって死んじゃうし。だからやっぱりそういうような星を、丹念にたくさんの惑星候補の中から探すことが必要だと思います。この星に惑星があるという事をまず見つけなければならぬのです。そして何回も観測してスペクトル線を測れば、水があるかどうか判定できます。こういう方法によってこの星には多分生命が住むだろうということになり、そういう可能性のあるいくつかの星が10年以内に出ると思います。以上が最近の話題です。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：私達のこの銀河系に、見える星の十倍見えない星があるという事は観測的にはっきりしています。それが全く知らない素粒子で出来ているのか、あるいは私達の専門用語ではバリオンックダークマター、つまり星になり損ねた物質で出来ているのか、あるいはガスなどで出来ているのか、そこがはっきりしていないわけです。私はそのダークマターが何であるか解明したいと思っています。それをはっきりする為には二重レンズ効果を、バイナリーレンズ効果をたくさん集めて縮退を解かないといけません。大体これがここにあってもいいわけです。マッチョがここにあって重力レンズです。距離が決まらないというのが最大の欠陥です。それをバイナリーレンズで解くというのが、私の今年度の科学研究補助金の主要目的になっております。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：私達が地球の重さの5.5倍の惑星を見つけたという論文を書いてから暫くして、他のグループがドプラー法で見つけた星をもっと詳しく解析し、地球の数倍の質量がある惑星を伴った三体系の方がよく観測データに合うという論文を提出しました。ドプラー法で2つ目3つ目の惑星が同時にあることは、結局解析上のパラメータ合わせで、惑星を2個入れた時が良く合うとか、3個の方がもっと良く合うとかというもので、正確性に欠けます。一方重力レンズの場合は2個の惑星があった時にもう一回

ピークが出ます。それを観測で確認できるのです。木星の衛星は電波を出していますが、今のところ太陽系外の惑星からの電波を確認しているグループはありません。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：3つダークマターの候補があって、どれも今のところ正しいとはっきりとは言えません。それに加えるに最近ではダークエネルギーというへんなものが出てきて、何が何か分からなくなってきています。宇宙の70%は何か解明されていないエネルギーがあるということです。データ解析が間違っているかもしれません。旧説では3割が光る物質で、7割がそういう新しい素粒子か分からない暗黒物質という事になっていたのですが、最近は7割の見えないものが宇宙膨張の原因であると説明されています。私はこれに関しては未だ完全には決着していないのではないかと考えています。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：あの小さいCCDで一つの星だけを見るなら、それはそれでできると思います。プラネットグループというのがあり、このグループは世界の天文台をリンクして1グループを結成しています。彼らのCCDカメラは小さいですね。だからこの星と決めた星を丁寧に繋いで見ていく。そして合わせて全体を見て異常さを探します。星全体の中のどの星とどの星がおかしいという研究はできません。私達が使っているCCDとみなさんのデジタルカメラに使用されているCCDとは違うところがあります。ご存知ですか。デジカメのCCDは歩止まりが悪くならないように、各ピクセルが1個くらい壊れても動くようになっています。我々のCCDはズーとラインが繋がっています。だから1ピクセルどこかおかしいところがあるとそのライン上のピクセルは全部欠損となります。そういうCCDをカメラに使うと、多くのカメラに欠損品が出て会社が損するので、全然違う仕様にもとづいたCCD素子を使っています。しかしカメラについてのCCDをカメラから取り出してきちんと組み立てれば天文用にも使えます。そのとき重要なのは冷却しないといけません。ペルチェ素子をCCD素子の裏面に当てて、マイナス50度までCCD素子の温度を下げれば、電気ノイズが消えて非常にきれいな星の映像が見えると思います。低温にしないと電気ノイズが出てくるから、すなわち熱雑音が出るので天文用に使

用しようと思ったらそこを工夫する必要があるでしょうね。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：かなりプロフェッショナルな質問だと思うのですが。仮説はたくさんあります。偉いロシアの先生も非常にロングレンジの新しい力があるのではないかと試してみえます。すなわち万有引力の距離の逆二乗則だけではないと。リュバークフ先生が熱くその自説を説いているのをロシアの会議で聞きました。

質問者：（音がとれず不明）

村木先生：今おしゃっているのはですね、星の回転速度が、銀河の中心で一定であると。観測した星の光から期待される回転速度はニュートン力学によるところになっているから、このRに比例した物質が余分にあるんだろうと言う事ですね。たぶんこう言う事に関しては皆さんR<sup>2</sup>乗分の1の力(距離の逆二乗則)を信用しています。今言っている話はズーと宇宙の初期のウーンと遠い所の物質間の力が本当にR<sup>2</sup>乗分の1の力かどうか分からないと言う話でありまして、もっと違う力があるんじゃないかという話です。

（音がとれず不明）

アッそれはもう私は絶対信じています。99%の研究者はそれを信じていると思いますねこのデータは。

ダークマターの存在を示していると思います。

（音がとれず不明）

ただ問題は、このデータにも欠損があって銀河の端から先がずっと平らなのか、そこでストンと落ちているかが分からないのです。これは非常に大きなポイントです、冷たいダークマターだったら銀河の回りにハローの間で閉じているはずで、それから先は何もない空間のはずです。水素が1平方センチ1個くらいで。ダークマターがズーと隣のアンドロメダまで繋がっているのか繋がっていないのか、これは分からない点です。これは誰かがきちっとやってくると非常にいい観測になると思います。（ズーと広がっているという説が有力です。）

（音がとれず不明）

それは無理だと思います。だから、SDSSというアメリカのスローン・デジタル・スカイ・サーベイ計画というのがありまして徹底的に先端を見たので

すがここから先は駄目ですね。やっぱりもっと大きな望遠鏡を使って暗い星までズーと探せば見つかるかもしれないけど。銀河の回転速度が銀河の先端でストンと落ちているのか、平らなままなのかこれは非常に重要なポイントですが結論はでていません。

（音がとれず不明）

ハイ、そう言う事ですね。だから測れないんです。

（音がとれず不明）

後ろの方ございませんか。

質問者：地球のような生命体のある星があればロマンあふれると思って今日、来たので宇宙に関する知識が無くて後半ちょっとついていくのが数字の苦手な私は大変だったんですが、先生は、宇宙に地球のような星があると思われませんか。

村木先生：あると思いますね、私達研究者はそれを科学的に証明しないとイケないので厳しいわけです。この星とこの星なら生命体が存在する可能性があると考えられる。だけどそれを証明に行くことは出来ない。非常に難しいです。私の先生で、早川幸夫先生という方がおられました。もう亡くなりましたが大変偉い先生で名古屋大学の学長もされました。その先生の名言のひとつに、「俺は何でも宇宙の現象は説明できるけど、証明は出来ない」という言葉があります。非常に残念な事に証明するのが困難なことは宇宙物理学の弱点だと思います。ところが素粒子物理学や原子核物理学では証明できるわけです。宇宙物理学はそれができないと言う事が、私は一つの近代科学の方法論に反していると思います。この方法論の起源はさかのぼって分析してみるとガリレオの実験から始まっていると思います。高等学校の物理の教科書の挿絵に載っているので見られた方もおられると思いますが、ガリレオが皆の前で坂道を使って球を転がす実験をしている絵がありますね。（この絵1839年画家ジウセッペ・ベズーリによって書かれました。）あれが近代科学のスタートだと私は思っています。それまでのアリストテレスとかギリシアの科学はその点が弱かったと思います。やはり皆の前でこうなっているだろうと証明して、皆がそうだと思う。誰でもいつでも証明できるものが科学だと思います。生命があるかどうか解らない。だけれどこの星なら生命がいる可能性があるという科学者は言えるでしょう。私が子供の頃、火星に生命が居ると言う話があって、タコみたいな生き物が住んでいる漫画絵があったのを見ました。本当は

タコみたいな生物が火星にいる可能性はなかったのです。証明するためには、人工飛翔体を飛ばしてそこから生物を持ち帰るか、あるいは動いている生物を写真撮影して見せないと証明にならないわけです。それは実証主義と言えるでしょう。その実証主義だけが科学というか、想像から実証に結びつけることを科学というか、科学とは何かという問いかけが生まれてくるのです。事の発端はガリレオ・ガリレイであると思います。私は人類の夢である宇宙の探索をしているNASAは実証が得られるまで飛翔体を惑星に送り続けると思います。私はそのような今後の新しい発見を楽しみにしている一人です。

**有村所長：**

村木先生今日はどうもありがとうございました。私のような素人にも、好奇心をかきたててくださる話であつという間に時間が経ってしまった気が致します。今さっき話がありましたけれど、説明は出来るけれども、実証が出来ないと言う言葉が印象的でした。私は言語学をやっています言語理論の世界では、理論はいくらでも作れますが、果たして脳の中で、こういった言語の活動をやっているのかということとなると、中々実証は出来ないというジレンマを抱えてるわけであります。非常に興味深い話を聞かせて頂きましてありがとうございます。

ちょっと総合研究所の宣伝をさせていただきます。甲南大学の総合研究所は甲南大学の先生方の研究を促進するという役割の他に、地域の方々へのサービスも大きなテーマです。これから大学の大きな使命の一つとして地域との交流或いは地域への貢献と言う事が大切だろうと思うわけです。このような講演会を通して皆様方との交流を深めればと思っております。春と秋に講演会を開いているわけですが、11月は労働或いは格差社会に関する専門家の方に来て頂きまして話を聞く予定にしておりますので是非又、おいで頂きたいと思っています。本日は暑いところをどうもありがとうございました。

〈以上は2007年7月28日(土)甲南大学813講義室において開催された講演に基づく〉

## 平成18年度研究チーム活動中間報告（第2回目）

### 「インターネットによる多言語Eラーニングコンテンツの研究」

No.98 研究幹事 柳原 初樹（国際言語文化センター）

#### 胡金定

前回の中間報告は「インターネットによる多言語Eラーニングコンテンツ」の特徴を中心に、報告した。その後の研究は下記のとおり展開してきた。

学習者はインターネットを通して学習するので、指導する先生がいない特徴を考え、外国語学習の四技能（聞く、話す、読む、書く）の中の三技能のリスニング、会話、書き込みが習得することが出来るようにするほか、学習者が自分でチェックできる機能も研究の項目に入れた。その内容は、発音のチェック。コンテンツの発音を聞いてから、自分の声を録音して、発音を聞き比べて、正しくない発音を直していく機能である。また、検定試験のようなテスト形式を採用し、毎回、学習者にチャレンジしてもらって、最後に画面上で自動採点できるような機能である。

学習者が学習しやすい機能を中心に研究を重ねて、来年度に実現する「多言語Eラーニング」に反映させた。下記の内容は前回の報告書に報告した。

- ①日本語＋3ヶ国語(英語、中国語、ドイツ語)を同時に相互に学習することが出来る点。
- ②日本語で中国語と英語といった同時に2ヶ国語の学習が出来る点。
- ③各言語のネイティブな音声を聞くことが出来る点。
- ④自分の音声をPCに録音して聞くことが出来る点。
- ⑤再生された音声をヒアリングして、実際に画面に文章を入力する形式の問題の採用。

そのほか、ゲーム感覚でアトラクティブなレッスンを受け、外国語学習の四技能（聞く、話す、読む、書く）をバランスよく習得することを可能にしたい。学習者はパソコンによる録音をして、メールの添付ファイルで授業担当者へ送信し、訂正してもらうことが出来ればと考えている。

#### 井上明

本年度の研究では、多言語eラーニングコンテンツを実現するために必要な技術的要素を検討した。外国語学習には、「聞く、話す、読む、書く」の4技能が必要である。これらの技能をeラーニングで習得するにはいくつかの技術的検討が必要となる。まず、「聞く」ことの学習では、コンピュータに蓄積されている音声情報を、明瞭な状態で学習者へ提供できる機能が必要となる。近年のパーソナルコンピュータでは、デスクトップ・ノートブック型の双方において、ステレオ再生可能な音声再生装置が標準装備されている。したがって、標準的なパーソナルコンピュータの環境でも、語学学習に適した音声入出力環境が整っている。

次に、「話す」ことの学習である。近年、音声認識技術は飛躍的に向上した。それにより、現在では音声認識技術を使った各種の語学学習ソフトウェアが販売されている。しかし、その多くは、学習者の発音と正しい発音とのチェック機能や、決められた文例の会話チェックなどである。今後は、学習者のアクセントやイントネーション解析に加え、不特定話者の連続音声といった、より日常会話に近い環境での音声認識技術の開発が必要不可欠である。

最後に、「読む」「書く」ことについては、これまでに多くの語学ソフトウェアで実践されてきた。たとえば、コンピュータ上に提示された例文を読み、その内容を日本語で書くといった学習である。今後は、一般的なキーボード入力ではなく、タブレット・パソコンを用いて、ペンを使って文章を書く学習を進めていきたい。タブレット・パソコンでのペン入力によって、筆記体の学習など、より実生活に近い状態の学習が行えるものと考えている。

#### 柳原初樹

筆者が今一番関心を寄せているのは、Eラーニングを通じての言語学習における音声認識である。これは、1昨年の短期の中国旅行を通じて改めて直面した問題であるが、全くの初習外国語に接する際に、母語者の話

すスピードや方言のイントネーション、また性別、年齢、体調や気分の変化によって、学習者にとって母語者の発する物理的音声は、常に異なった音として認識され、時として混乱をもたらす。確実な音声認識のためには、常にこの変化に対応できるだけの訓練が必要となる。つまり、学習時において、出来るだけ異なった母語者の発音を聞いて、発話者個人の音声の物理的差異にもかかわらず、発話者に共通するイントネーション、高低、アクセント、音素を認識していくことが肝要である。

音声認識学習とは、こうした音声現象の多様性の背後にある共通項を見出していく作業である。

また、音声認識と並行して、文章の構造や文法知識などの言語的情報も必要となってくる。同時通訳の場面において時折見受けられる光景であるが、発話者がまだしゃべっているのに、通訳者が1、2秒前に通訳を完了している場合がある。これは、通訳者が同時通訳しながらも、対象言語の構造、発話内容に習熟している場合に、話の内容の必然的な結論を予測し、こうに違いないという確信を持つからである。つまり、通訳者は数秒先の発話内容を予測しながら、通訳行為を行っている。

その意味において、初学者にとっても、言語情報は音声認識を補完する要素として作用するであろう。例えば、ドイツ語でBist du gestern [...] gegangen?という音声聞いた場合、音素全ては聞き取れなくても、gestern(昨日)という単語から、「過去」が話題となっている、だから現在完了形が使われているのだとの推量が働き、だから返答は現在完了形で行わねばならないという条件反射が生まれれば、大いなる進歩である。文章内の音素全てを正確に聞き取るまでも、こうした形での言語情報と音声認識の補完作用が望まれる。

ただし、異なった発話者の音声を繰り返し聞くことの重要性はそれによって減ぜられるものではない。

最後に、最近You Tubeを良く活用する。これは、各国語の音楽を聴くためであるが、歌の歌詞もインターネットで検索出来るが、歌詞に間違いも多々見受けられる。また、同じ歌でも異なった歌手が歌っている場合に、少し歌詞に変更が見受けられる。これを音楽を聴きながら、チェックするのもE-ラーニングの活用であろう。

## 「故伊藤正雄教授文書の整理と研究」

No.99 研究幹事 木股 知史(文学部)

本研究は、故伊藤正雄教授の福澤論吉関連文書の整理を主要な内容としている。伊藤教授(1973年退職)は、大学草創期の国文学担当教員の中核として活躍したが、明治の思想家福澤論吉の研究者としても業績がある。伊藤教授の福澤研究の成果としては、『福沢論吉入門』(1958年 毎日新聞社)、「福沢論吉の研究」(1966年「甲南大学紀要・文学編1」)、『福沢論吉論考』(1969年 吉川弘文館)、『資料集成明治人の観た福沢論吉』(1970年 慶応通信)、『口訳評注文明論之概略』(1972年 慶応通信)、『福沢論吉 警世の文学精神』(1979年 春秋社)などがある。

昨年度は、本学文学部日本語日本文学科(旧国文学科)に保存されていた故伊藤正雄教授の福澤論吉関連文書の整理に着手した。書簡、論文草稿、資料などに分類し、それぞれ文書整理用の封筒、ファイルにおさめ、文書整理箱を購入し、保存に適した環境を整えた。

今年度は昨年度から継続して、文献一覧のデータベースの作成にあたっている。多岐にわたる文献を書簡、原稿・ノート、福澤関連記事コピー・切り抜き、パンフレット、その他に分類し、その一覧を作成している。また、分類した諸文献を保存に適した封筒に収納する作業を継続して行い、それぞれに分類ラベルをつける作業にとりかかっている。昨年12月には、研究班の一員であり、福澤研究の専門家である、慶應義塾大学福澤研究センターの西澤直子准教授が来学し、臨地調査を行った。解読のむずかしい部分や、典拠について、多くの貴重な教示を得ることができた。

書簡は、伊藤教授が贈呈した書籍、論文に対する礼状が多いが、丸山真男、大久保利謙、柳田泉など、その内容は、伊藤教授の福澤研究を位置づける上で、興味深い内容を含んでいる。資料全体のデータベース化については、年代順の配列を試みるなど、昨年度より作業を継続して、より精度の高いものをめざしている。重要度が高いと思われ、量も多い書簡については、できるだけ綿密な整理を行いたいと考えている。データベースの整備が完了すれば、報告書で公開したいと考えている。作業を継続する中で、福澤研究資料としての意義を明確にするとともに、研究終了後の資料の保存のあり方についても検討したい。



## 「道徳哲学の現在—社会と倫理—」

No.100 研究幹事 安西 敏三 (法学部)

本研究チームは今年度を以って研究会の終了を見るわけであるが、昨年度と同様、本年度も研究会を催した。まず4月と6月には文学部の中島俊郎氏による「奴隷制廃止論と道徳哲学」、同じく「続・奴隷制廃止論と道徳哲学」と題して、奴隷制の問題を道徳哲学の視点から、従来、あまり顧みられなかった英国における奴隷貿易や国教会、それにスコットランド啓蒙思想、取り分けトマス・リードの道徳哲学との関連において研究発表をした。奴隷問題への新しい視点の提供となった。そして9月には経済学部の藤本建夫氏がドイツの経済思想家レプケにおける自由主義と経済倫理について研究発表した。膨大な資料を駆使してのそれは、日本における戦前の国家政策と自由経済主義を対比して考える上で興味深いものであった。10月には法学部の西山隆行氏が「アメリカの福祉国家再編と公共道徳」と題して、「新しいパターンリズム」、政治哲学と政治過程、さらにジョン・ロールズ『正義論』をめぐっての問題、さらに貧困問題の個人化について、そして政策専門家とアイデアをめぐる政治について、アメリカにおけるそれぞれの論者の立場と政策立案について報告した。日本の政策立案過程と比較する上で極めて示唆的な問題提起であった。12月には経済学部の小島修一氏が「ロシア革命とリベラル・エコノミスト—ロシア革命90周年をむかえて—」と題して、ロシアのリベラル・エコノミストがソヴィエト体制をどのように見ていたのか、さらにロシアにおける「経済的自由主義」の位置付け、すなわち経済活動の自由、市場メカニズムの重視の問題、加えて法による制度的保障についてロシアを代表する多様な経済学者たちの学説を対象に報告した。これまた日本では余り紹介されていない経済をめぐるロシアの論者たちに興味を駆り立てられる報告であった。このように様々な立脚点からする研究報告を踏まえて、「道徳哲学の現在」は二年間の研究会期間を終え、現在はその成果の執筆に向かっているところである。

## 「21世紀の刑事司法—アジアの中の日本司法—」

No.101 渡辺 顕修 (法科大学院)

20世紀から21世紀にかけて、刑法、刑事訴訟法、刑事政策の世界は、社会のあたらしい動きに対応するため、さまざまな立法による制度改革が進んでいる。本年度も、昨年度に引き続き、刑事法系各分野における立法の動向とその適用状況などの基本的な研究を行った。

(ア) 刑法分野では、組織犯罪処罰法とサイバー犯罪を中心に、あたらしい犯罪現象を立法によって規制することの当否、立法のありかた、実際の事例と立法の解釈適用上の問題点などについての実情調査を継続して行っている。また、経済犯罪に対する刑事罰と課徴金との関係など、違反行為に対するサンクションのありかたについて、二重処罰の禁止や罪刑法定主義といった諸原則に目を向けながら検討を進めている。さらに、児童虐待をめぐる刑法解釈論上の問題についても、近時の裁判例を対象に整理・検討中である。

(イ) 刑事訴訟法の分野では、2009年に開始される裁判員裁判の準備が進捗している。これに伴う運用面と原理面の問題点について、主に渡辺が担当して、調査検討中である。その成果は、2006年の日本刑法学会のワークショップ、2007年の日本刑法学会関西部会での共同研究において学界へ報告している。引き続き、2008年5月の日本刑法学会において、分科会の主たる報告を担当し、裁判員裁判開始1年前の段階での諸問題を整理する予定である。

現段階での問題点は、公判前整理手続を前提にする段階で、裁判所が強力な職権を発動して審理の対象と審理の内容を決めた上で、自ら証拠をみて有罪無罪を決める「新型の糺問主義」とみるべき状態になっていないかどうかである。かかる運用と意識を前提にして裁判員裁判が開始された場合、裁判所は市民を自己の支配下に置き、自己の証拠評価になびく評議の進め方になるのではないかが懸念される。

プロのみが刑事裁判を実施するのではなく、手続全般に市民を参加させるあらたな「市民主義」の理念が浸透するかどうか、そうさせるために必要な運用と法解釈とはなにかが今問われており、それを取りまとめ中である。

(ウ) 刑事政策の分野では、監獄法全面改正のもと、現代社会にとって意味のある施設内処遇が実施されているのかどうか、実情調査を継続して行っている。また、被害者が積極的に裁判に関与するようになって

きているが、その実情と問題点を検討しているほか、社会的にも注目されている裁判員制度との関係について、考察中である。さらに、本年4月1日に施行される児童福祉法の改正により児童虐待防止対策等の充実・強化がどこまで可能となりうるか、実情の調査を開始している。

#### 「これからの外国語教育をめぐる」

No.102 原田 登美 (国際言語文化センター)

本チームでは「これからの外国語教育をめぐる」以下のような内容で報告を行った。

これらの報告を基に今後さらに外国語教育の政策、教授法、学習の動機づけについて外国語教育のありかたを具体的に分析し研究を重ねていく所存である。

#### 藤原三枝子 (「ヨーロッパの統合と言語教育政策」)

ヨーロッパ統合のプロセスの中で、各加盟国の言語と文化を尊重する姿勢は一貫して保持されてきた。この基本姿勢は、欧州共同体へ、さらに欧州連合(EU)へと引き継がれている。「多様性の中の統合」(United in Diversity)を実現するために、EUは、欧州評議会と協力し合いながら、ヨーロッパ市民の複数外国語能力の養成に力を注いできた。例えば、評議会が長年行ってきた言語教育政策の集大成ともいえるCommon European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, AssessmentならびにEuropean Language Portfolioの作成は、EUの強い後押しによって、現在各国で導入が始まっている。モザイクのようにさまざまな言語と文化が交錯するアジアにおいてもグローバル化が着実に進んでいる。私たちの日常生活においても、異文化に対する感性を養いそれを受容する態度がますます求められてくるといえよう。

#### 小西幸男 (「EU高等教育政策とガバナンス」)

教育政策は本来、地域および国家の国民に一番近い帰属性の高い次元で行われるものである。ヨーロッパでは特に高等教育政策は、国家、地域と強く結びつき国もしくは地方政府の管轄化でもっとも効果を発揮してきた分野であった。古くから独自の教育制度を持つEU加盟国が多く、独自の発展を遂げてきた背景を持つ場合も少なくない。EUが地方自治、国家を超えて教育政策に関わることが奨励されるには、国家の枠を超えた効果を期待し、その実現にはEU全体としての思惟が必要とされる。EUによるガバナンスがどのような調整をし、政策実施の効果にどのような影響をしているかを各国との教育政策と実施例を検証し、比較考査している。特にそのガバナンスに焦点を当てて論ずる。

#### 中島孝幸 (「海外での日本語教育」)

「海外での日本語教育」をテーマに調査研究を行った。在外研究中の台湾東海大学において、台湾の学生(60名ほど)に対し、いくつかの文型を用いた日本語文作りの課題を出し、その結果を集計した。そして、台湾の学生にとって日本語習得上何が問題となるか、抽出する作業を行った。また、甲南大学においても同様の課題を学生(60名ほど)に課し、その結果から、日本人学生と台湾学生の日本語文の構造の違いを分析した。「～すると」「～して」といった接続表現によって結ばれる複文の後件に、日台による興味深い違いが見られること、台湾学生には「～に対して」「～にとって」といった複合辞の使用に難点があること、等に着目し、それらについてさらに分析を進めている。

#### 原田登美 (「留学経験は学習動機にいかに関わっているのか」)

甲南大学への留学生を対象に留学時点と留学半年後では日本語学習の動機にどのような変化が見られるのかを調査し分析した。その結果、留学によって、1) 学習意欲の深化、2) 目標の具体化、3) 内面の成長、がもたらされるという質的な変化が見られた。留学が学習意欲に与える影響を量的側面と質的側面から調査・分析することにより、今後の学習方法や留学プログラムを考える方向が示された。

日韓の食事作法には大きな相違点が存在する。つまり、日本では食事をする時、茶碗やお椀を手で持ち上げて食べる。一方、韓国では茶碗やお椀を食卓に置いたまま、持ち上げず食事をするのである。

このそれぞれの作法に反して、例えば日本において、茶碗やお椀を食卓に置いたまま食べると「犬食い」と非難される。一方、韓国で茶碗やお椀を手にとって食べると「行儀が悪い」と言われる。

この日韓における根本的な食事作法の相違は、食具の違いが生んだものと言える。つまり、日本では主に箸だけで食事をするが、韓国では箸と匙(スウジョ)の両方を使うということにその原因がある。箸で食事をするときは、器を手で持ち上げないとこぼしやすく、汁物に関しては持ち上げない限り、食べることができない。一方、箸や匙(スウジョ)は器を膳に置いたままでも食べられるのである。このように、食具の箸や匙のもつ特徴が食事作法の形成に深く関わっていることを明らかにした。

ところで、日韓における箸や匙の歴史を辿ると、日本でも古代から、箸に加えて匙が使われていたことがわかる。しかし、匙は宮廷・公家・武家の儀式、外交上の接待、禅寺などの特定の場所で使用されただけで、民衆には箸だけが取り入れられていた。一方、韓国では古代から箸や匙が生活レベルにまで根を下ろして、今日に至っている。

また、食具の箸や匙が、食事作法の形成にだけでなく、食事にまつわる様々な点に影響を与えていることにも注目し、日韓の食具と食器・膳・料理について分析を行った。日本の食具の箸だけで、食事の全ての過程を済ませるためには、食べ物を口に運ぶまでにこぼす可能性が高く、しかも、汁物はお椀を持ち上げて口まで持って行かないと食べられない。したがって、日本の茶碗やお椀は握りやすいように底が鋭くなっており、韓国の食器は食卓に置いたまま食べるため、底が広い形になったのである。

なお、膳の上にある食器を手で持ち上げて食べる場合、口までの距離がある程度確保されないと動作が窮屈である。一方、韓国では膳に食器を置いたまま食べるため、匙を使っても距離がありすぎるとこぼす可能性もある。したがって、日本の膳の高さは、食器を持ち上げて食べやすい高さになっており、韓国より高さが低い。逆に韓国の膳の特徴は、匙を使う動作に合わせて日本の膳より高い傾向を見せる。

そして、食具の特徴に合わせて、日本は汁気のない食べ物が発達しており、韓国では汁気のあるもの、「グック(汁物)」・「湯(煮込んだ汁物)」・「チゲ(鍋物)」が発達しているのである。

一方、韓国における日本料理の認知度について、主にアンケート調査による結果に基づく分析を行った。

韓国において高価と言われる日本料理が普及した背景には、韓国経済の発展に伴う社会構造の変化、そして外食産業の拡大が取りあげられる。と同時に、日本側の日本文化を普及させる戦略的な努力が存在する。

アンケート調査から、韓国では「すし」・「さしみ」が日本料理の象徴のような存在であり、引き続き「おでん」・「とんかつ」・「うどん」も韓国の人々にその名が認知されている。とりわけ「おでん」・「とんかつ」・「うどん」は専門店が普及している状況である。

しかし、日本料理が必ずしも高級・高価なものではなく、庶民的料理というイメージも広がっており、高級料理と庶民料理という両面性のイメージが定着している結果も得られた。

#### \*お詫びと訂正

『所報 第45号』に記載誤りがありましたのでお詫びいたします。16頁、平成18年度研究チーム活動中間報告(第2回目)とありますが、正しくは平成18年度研究チーム中間報告(第1回目)です。訂正くださいますようお願いいたします。

# 平成19年度研究チーム概要

## ◎研究課題 (No.104)

「痛みの情報処理過程における鍼鎮痛の作用機序 - 多チャンネル脳波計による責任部位の同定 -」

### \*研究の目的

多くの疾患やその治療において、痛みの抑制は重要である。痛みの抑制には、鎮痛薬を用いた薬物投与、神経ブロック療法あるいはレーザーによる物理的鎮痛療法と並び漢方薬や鍼による東洋医学療法が用いられる。なかでも鍼による鎮痛は鍼鎮痛としてその効果とともに副作用の少ない点が評価され、臨床応用が行われている。

鍼を用いた経穴刺激による鎮痛効果は「刺激の仕方」により、鎮痛機序(鎮痛メカニズム)が異なることが知られている。一般に鍼鎮痛では、刺鍼した鍼に通電することにより施術が行われる。通電に際し、数ヘルツの電気刺激(低周波刺激)を用いる場合は脳内に $\beta$ -エンドルフィン(脳内麻薬の一つ)のリリースを促進することにより鎮痛効果を誘発する。当該刺激はナロキソンによりブロックされる。一方、数百ヘルツの電気刺激(高周波刺激)を用いる場合は、ナロキソンではブロックできない鎮痛効果( $\beta$ -エンドルフィンのリリースによる鎮痛効果とは別のもの)を持つ。

$\beta$ -エンドルフィンによる鎮痛は『炎症性疼痛』に対して高い効果を持つが、『神経因性疼痛(ヘルペス、引き抜き損傷、癌性の疼痛など)』に対する効果が低い。そこで、高周波刺激による鍼鎮痛( $\beta$ -エンドルフィン様ではないもの)の『神経因性疼痛』に対する効果を検証し、その鎮痛機序を明らかにする必要がある。そして高周波刺激による鍼鎮痛の作用部位(中枢神経由来と考えられる)を同定し、当該部位でリリースされている物質(脳内ホルモン等)を確定することにより、現在使用されている鎮痛薬では効果が得られない癌性疼痛などに対する有効な鎮痛薬の開発へつながると期待できる。

当該研究では、高周波刺激による鍼鎮痛の『神経因性疼痛』に対する鎮痛効果を検証し、その鎮痛機序を明らかにすることを目的とする。

### \*研究の内容および効果

鍼鎮痛下・非鎮痛下で痛覚刺激した際の脳活動を計測・解析し、鍼鎮痛下の脳活動と非鎮痛下の脳活動(痛覚時)を比較検討する。

鍼鎮痛は、当該研究では、鍼鎮痛で使用する経穴を経皮的電気刺激することにより、刺鍼せずに非侵襲的に行う。また、痛覚刺激は、鎮痛刺激に用いる経穴が鎮痛効果を持つ部位に経皮的電気刺激を行う。経穴に行く経皮的電気刺激は低周波電気刺激と高周波電気刺激を用いる。脳活動は多チャンネル脳波計により痛覚時の誘発電位と鎮痛下の誘発電位を記録し、MR画像とマッピングし比較検討する。これにより、中枢神経系による鎮痛の作用部位を同定する。

経穴刺激による鎮痛効果を探るとともに、鍼鎮痛の中枢神経系における作用部位を明らかにすることにより、痛みの情報処理過程における鍼鎮痛の作用機序を探る。また、得られた知見は、鍼療法の作用機序や痛みの情報処理機序を明らかにするとともに、鎮痛技術の発展・開発に大きく貢献すると考えられる。

### \*総合研究として研究することの必要性

痛みに関する研究は国内外で古くから研究されており、現在も多くの研究が進められている。また、鍼鎮痛の鎮痛機序に関する研究も同様に行われており幾つかの説が提案されている。これらの研究から、痛みや鍼刺激に対する受容器、情報伝達経路や情報処理中枢の研究により多くの解剖・生理学的知見が得られているが、統合的な研究成果は少ない。

当該研究は、申請者がこれまで行ってきた電気生理学的手法による第二次体性感覚野(体性感覚認知中枢および痛覚中枢)の研究で得られた知見と、和漢薬学における臨床的知見をもとに、痛覚情報処理に対する中枢性鎮痛効果をモデル化する。さらに、鍼灸学における経穴・経絡の知見をもとに最適鎮痛方法を確立し、中枢神経系における経穴刺激による鎮痛作用部位を明らかにする。そして、神経生理学的手法を用いて痛みの情報処理過程における鍼鎮痛の作用機序を統合的に探るものである。

また、得られた知見の検証として、拮抗剤による動物実験の検証が必要となる。当該実験では薬理的知見および技術が不可欠である。当該研究は、電気生理学的知見および技術と、薬理的知見および技術により初めて実現できるものである。

**\*研究チームメンバーと所属と研究課題**

前田 多章 (研究幹事)	理工学部	痛覚および鎮痛機序のモデル化、および研究全体の総括
山ノ内慎一	山ノ内和漢薬研究所	漢方薬による鎮痛効果の作用機序と経穴の電気刺激による鎮痛機序との比較検討、および動物実験による拮抗薬を用いた検証

◎研究課題 (No.105)

「バルク敏感光電子分光による1次元構造を持つホーランダイト型バナジウム酸化物に見られる金属絶縁体転移の起源解明」

**\*研究の目的**

本研究の目的は、第3世代放射線光施設SPring-8の放射光を利用して高エネルギー光電子分光を行い、近年合成に成功した大口径1次元トンネル構造を持つホーランダイト型バナジウム化合物( $K_2V_8O_{16}$ など)の電子状態を詳細に調べ、この物質で観測される約170Kでの未知の金属絶縁体転移の起源を明らかにすることである。

**\*研究の内容および効果**

大口径の1次元トンネル構造を有するホーランダイト型化合物 $A_xB_8O_{16}$ は1次元イオン導体として知られており、Ti化合物( $B = Ti$ )では新しい光触媒材料として注目を集めている。カチオン(A)が完全に充填された場合( $A_2B_8O_{16}$ )、トンネルの75%がカチオンによって占められて、このような高密度1次元構造ではカチオンイオン間の相互作用が強く、特異な物性を示すことが知られている。本研究では $K_2V_8O_{16}$ (金属絶縁体転移温度 $T_{MI} = 170K$ )および $Rb_2V_8O_{16}$ ( $T_{MI} = 230K$ )に注目して、放射光施設SPring-8においてV2p-3d共鳴光電子分光を行い金属絶縁体転移温度を跨いだ光電子スペクトルの温度変化を測定する。

実験結果の解析及び理論計算を行なう事によって、現在機構が知られていない金属絶縁体転移のメカニズムを明らかにすると共に、1次元系強相関物質の電子相関に関する知見を得て、エレクトロニクス材料などへの応用を目指す。

**\*総合研究として研究することの必要性**

本研究では、高エネルギー光電子分光の光源として放射光施設SPring-8を利用する。このため、当該施設における実験準備や予備実験を行うための放射光ビームラインに関する十分な専門的知見を備えた工学系研究者と試料である強相関電子系化合物の物理的知見を備えた理学系研究者との分野を融合させた研究チームとして、研究を行なう必要がある。

**\*研究チームメンバーと所属と研究課題**

山崎 篤志 (研究幹事)	理工学部	ホーランダイト型バナジウム酸化物のバルク敏感光電子分光測定及び解析 配置間相互作用を含むクラスターモデル計算による光電子スペクトル計算
東谷 篤志	日本理化学研究所	放射光施設SPring-8における試料清浄化法の最適化 高エネルギー分解能光電子分光測定のためのビームライン光学系の改良

(

(