情報工学
数理研究の世界

地震予知について

3328

研究要綱

私たちの暮らす日本は、「地震大国」と呼ばれるほど地震が多く発生している国である。近年では、1995 年の兵庫県南部地震(※1)、2011 年の東北地方太平洋沖地震(※2)、2016 年の熊本地震などの巨大地震による被害は非常に大きく、被災者の数も多い。一般的には、地震というものはいつどこで発生してもおかしくないものであると考えられている。さらに、日本で地震が発生しない場所はないともいわれている。また、地震そのものを防ぐことは不可能である。しかし、被害をできる限り小さくすることはできるのではないだろうか。それに必要なもののひとつが地震予知であると私は考える。

私が初めて地震予知の可能性を感じたのはカラスの異常な行動を見たときである。家の近くで、カラスが大量に飛び回り、さらには鳴き方も普段とは違うため違和感を覚えた。実際、その次の日に地震が発生したのである。そうしてカラスの行動が地震に関係しているのではないかと興味を持つようになった。

地震を予知することによって、地震の規模・発生場所・発生日時などを正確に特定できるとする。あらかじめそれらの事前情報があれば、人々は安全なところに避難し最低限必要な物資を調達するなど、地震に備えることができるだろう。その結果、人体そのものへの被害は小さくなるはずだ。すなわち被災者の減少につながるのである。

もちろん、地震予知にはメリットだけでなくデメリットもいくつか存在する。たとえば、事前情報をもとにあらかじめ安全な場所に避難していたとしても、自分自身の命を守ることができるだけで建物への被害はやはりある。また、物資調達のために人々が様々な店に殺到し、混乱が起きてしまう可能性がある。さらに、予知が可能になったとしたら、「明日は地震が発生する、どうしよう…」などという焦りや不安や恐怖、「明日の地震は規模が小さそうだから大丈夫」などという安心感が生まれてしまう。

日本では、大きな被害を与える地震が相次いで発生しているにもかかわらず、地震に対しての有効な事前情報が出たことはほぼない。このことは、それほど地震予知というものが不確実で、信用されていないものであることを意味する。また、科学技術が進歩している現在でさえも地震予知ができない上に、できるような未来は期待できないという意見が多数ある。よって私は、地震予知は不可能なままでも問題なく、あまり意味のないことであると結論づけた。

※１・・・気象庁が命名したのが「兵庫県南部地震」で、「阪神淡路大震災」というのはこの

地震によって引き起こされた災害に対して政府が命名したもの。

※２・・・気象庁が命名したのが「東北地方太平洋沖地震」で、「東日本大震災」というのはこの地震よって引き起こされた災害に対して政府が命名したもの。

地震予知の方法

地震を予知する方法は大きく 3 つに分けることができる。
まず１つ目は過去のデータから地震の発生を予知する方法である。過去のデータをもとに、歴史的に繰り返されてきた地震であれば予知することが可能だ。たとえば、東海地震は現在日本で唯一直前予知の可能性がある地震であるといわれている。その根拠として、過去にその地域で発生した大地震の歴史が挙げられる。駿河湾内にある駿河トラフから四国沖にある南海トラフにかけてのプレート境界では、過去 100 年～150 年おきに岩盤がずれてマグニチュード 8 クラスの巨大地震が繰り返されてきていることがわかっている。このことから地震予知の可能性が感じられる。しかし、今のところ前回の地震から 160 年以上も岩盤がずれていない。よって今現在、東海地震はいつ起きてもおかしくないといわれているのである。さらに、どのあたりでどのくらいの規模の地震が起きるのかを予測できるだけで、○月△日□時ころに地震が起きるというような細かい発生日時の特定はまだできない。以上より、地震の発生間隔にばらつきがあり震源域の広がり方も多様なため、確度高く予知することは困難である。

２つ目は、前兆現象から予知する方法がある。地殻変動・地震波・電磁気・地下水・生き物の行動などの**宏観異常現象**から予知するということだ。たとえば、動物が地震の前に異常な行動をするというデータがある。動物は人間に比べて音・電気・電磁波・においなどに対する感知力が優れているといわれている。地震は地中の広い範囲で大きなエネルギーの集中や解放を伴うため、徐々に岩盤が変形したり、地下水位が変動したりして、地震の発生前から非常に微弱で特異な音・電気・電磁波・においなどが周辺の地面や大気に現れることがある。動植物はそれを感じ取ることが可能かもしれない。しかし、動植物は地震以外の理由によって異常な行動・反応をすることもある。また、それら自体についてまだわかっていないことが多いため、動植物の異常行動・反応から地震予知ができることの科学的な説明は極めて困難だといえる。

他にも、地震雲といわれるものがある。地震雲が無いと言いきることはまだ難しい。しかし雲は言うまでもなく大気の現象であり、地震は大地の現象である。両者は全く別の現象であると考えられることから、雲が地震の影響を受けるということを科学的には説明できていない。大きな地震が発生した後に、「そういえば、地震が起きた日の雲はいつもとは少し違って変だった」というようなことはたくさんある。雲の形は数えきれないほどたくさんあるため、この形の雲が地震雲だと断定することは難しそうだ。日本における震度 1 以上を観測した地震(有感地震)の数は年間 2000 回程度あり、平均すれば日本で１日あたり５回程度の有感

地震が発生していることになる。震度 4 以上を観測した地震についても、最近 10 年間の平均(2011 年と 2016 年を除く)では、年間 50 回程度発生している。このように、地震はいつもどこかで発生している現象である。雲は上空の気流や太陽光などにより珍しい形や色に見える場合があるし、夜間は正確な形状を確認することができない。変わった形の雲と地震の発生は、一定頻度で発生する全く関連のない 2 つの現象が見かけ上結び付けられているようであるだけで、やはり明確な根拠がないため科学的な扱いはできない。よって地震雲はないも同然である。

3 つ目はハザードマップから予測する方法である。岩盤の変化や研究などから地震発生の確率を地区ごとに表したものがハザードマップである。危険ゾーンが一目見ただけでわかる便利なもののように思われる。しかし、これが役に立ったためしはほとんどない。過去の大地震といえば、1983 年の日本海中部地震、1993 年の北海道南西沖地震、1995 年の兵庫県南部地震、2007 年の新潟県中越地震、2011 年の東北地方太平洋沖地震、そして 2016 年の熊本地震などが挙げられる。ハザードマップは、地震発生確率の高い地区ほど濃い色で塗りつぶされている。しかしこれらの大地震では、ハザードマップではいずれも色が薄く発生確率が低いとされた地区だったのだ。つまり、高い技術を用いて研究をしたとしても、なかなか地震は予測できないのである。

提案

私は 2 つ提案がある。

まず１つ目は、大地の動きいわゆる地殻変動を常に観測し記録する機械を地中に埋め、地震が発生する前にどのような地中の変化があるのかを記録をもとに研究するのだ。しかし、この方法は膨大な時間と手間が必要となるため地震予知ができる未来ははるか遠くになってしまう。さらに、もし大地の動きに何の規則性もないのだとしたら、地震予知が可能になることはない。

2 つ目は宏観異常現象などの前兆現象を科学的な根拠をもって証明し、信用できるものにすることである。しかしこれは非常に難しいことである。動物の異常行動や雲についてはわからないことが多すぎる。それらは地震と関係があるかも知れないが、もしかするとまったく関係がないかもしれない。しかし、それぞれ専門家とともに研究を深めることで必ず地震予知につながるはずだ。だからぜひ研究者・科学者で協力して研究を進めてほしい。

結論

現在の科学技術では地震予知は不可能であるということが結論である。私は研究を元にさまざまな予知方法の可能性を考えてみたが、どの方法も現実的ではなく困難なものばかりである。さらに、地震の予知を 100%信じてしまうことによって人々にあまりよくない安心感

を与え、さらには不安感までをも与えてしまうため、地震予知は必要ないのではないかと考えた。また、東北地方太平洋沖地震のとき、地震発生後に気象庁が予想される津波の高さを計算して発表したが、実際に押し寄せた津波の高さは予想をはるかに超える高さだった。このことから、たとえどんなに高度な技術を使っても、自然災害を正確に予想することは困難であり、最悪の場合には人々に無駄な安心感を与えることで避難の遅延につながってしまうこともあるかもしれない。地震自体から逃れることができない以上、人間には被害が及ばないとしてもどこかは必ず被害を受ける。よって地震予知はただのおしらせや占い程度のものでしかなく、価値があまりないものである。ゆえに地震予知はできないままでもあまり問題はないと考えた。

参考文献

気象庁ホームページ　＜http: //www.jma.go.jp＞
『地震予知の科学』　東京大学出版会
上出孝之『わかりやすい地震の本』　北国新聞社

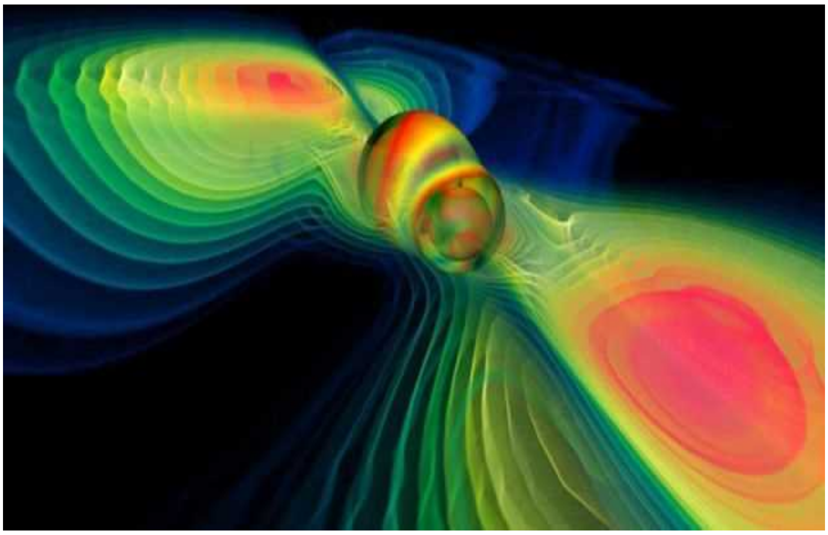
重力波について

┘

１．重力波とは

重力波（gravitational wave）とは、質量をもった物体が存在すると、それだけで時空にゆがみが生じ、さらにその物体が運動すると、この時空のゆがみが光速で伝わっていくもの。例えば、ブラックホール、中性子星、白色矮星などの密度の非常に大きい天体連星系を形成すると重力波によってエネルギーを放出することで最終的に合体すると考えられている。１９１６年、アルベルト・アインシュタインによって、相対性理論に基づいてその存在が予言されたものである。

これまでにおいて人類は電波やｘ線、赤外線、紫外線、ガンマ線などの「波動現象」によって私たちの知る世界を大きく宇宙レベルに、はたまた小さくミクロに見てきた。したがって波動現象の一種である重力波もまた、自然観測の道を大きく切り開く可能性がある。（天体というも莫大な大きさからしか観測できない今の状態ではどうなるか予想ができない。そういう意味でもとても興味をそそられる。）具体的には、アインシュタインの一般相対性論の検証、宇宙誕生のより初期の情報の取得、および宇宙重力波背景放射の検出、非常に強い重力場での物理現象の観察が期待されている。



２．動機

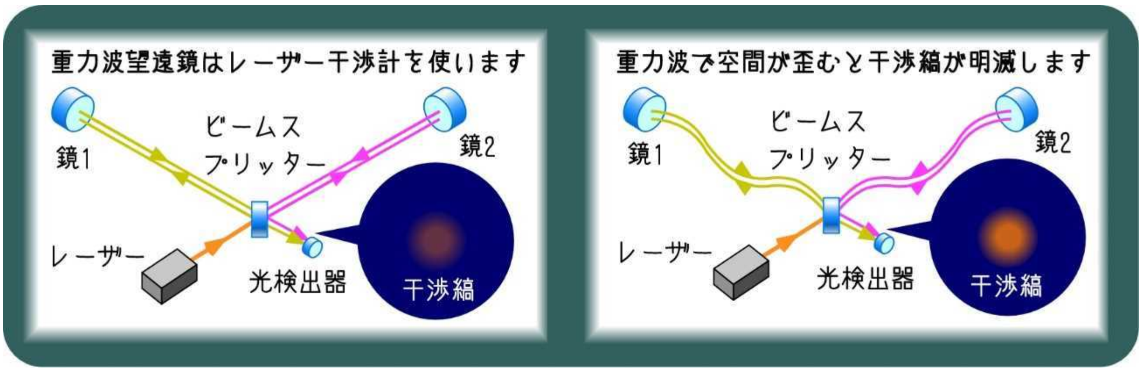
最近話題となっている「ブラックホールの衝突により発生した重力波」。しかも発見されたのがついこの前であり、謎が多い物体である。それが一体どうゆう能力を持ち、何に利用され得て何に善悪問わずどういった影響を及ぼすのか、非常に興味深いものである。宇宙の解明に繋がるようであるならばぜひとも知りたいものである。

３．検出方法と可能性

重力波の検出方法、考え方は至ってシンプルである。

まずレーザーから発した光を、ビームスプリッターでまっすぐ進む光と垂直に分ける光の二つに分ける。その光を遠くにおいた鏡に反射させ、戻ってきた光の到達時間を両方で比較する。（正確には光の「干渉」という性質を利用して判定する。）もし空間が重力波によって歪んでいると、光が進む距離が少しだけ伸び縮みするため、到達時間が少しずれるのである。

しかし、これは実際に小さい変化を読み取る必要があるため、装置を大きくする必要がある。実際の装置「LIGO」ではレーザーと鏡の距離を４ｋｍにまで広げ確実に変化をつかもうとしている。だがこれでもまだ足りない。そこで鏡とハーフミラーを何度も往復させて合計１１２６ｋｍ（札幌－岡山の距離）にまで拡大させている。これで 10^－14 まで拡大できる。本当はもう少し必要だが、最新の科学技術でここまでなせたのは賞賛すべきである。



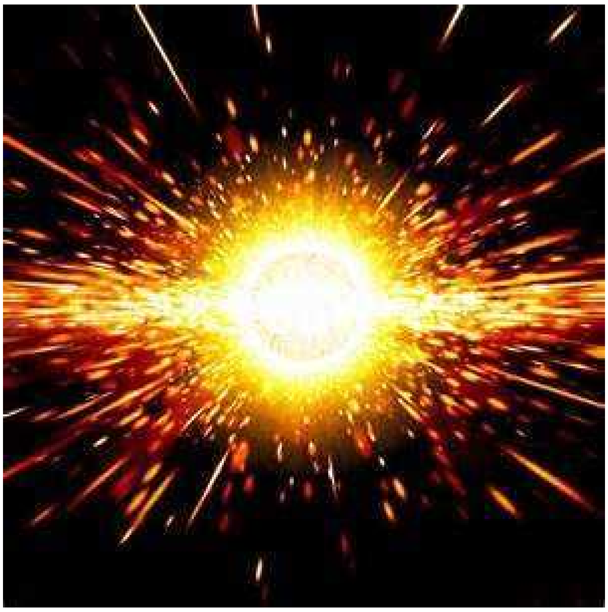
現在考えられている活用方法

では、なぜ重力波は観測されているのだろうか？いったい何に利用できるというのか？一つは、もちろんアインシュタインの提唱の裏付けである。初めにも言った通り、重力波とは、アインシュタインの一般相対性理論の中でその予言を示唆されたものである。つまり、重力波が発見されたということは、一般相対性理論の大きな裏付けになるということなのだ。また、LISA パスファインダー（ESA と NASA によって共同開発された、重力波検出器が搭載された宇宙探索機）の研究者である、ビル・ウェバー氏によると、重力波は、ブラックホールなどの「暗い宇宙」を深く知るためのもっとも直接的な方法だと言っている。ブラックホールや中性子星、光を出さない物体を地球から観測することはとても難しい。だが重力波はそういった物体を透過してくるため、それを通じて観測が可能になる。

重力を通じて暗い宇宙を見ることで、夢見ることもなかった宇宙の不思議を発見できるかもしれない。

さらに、重力波は巨大なエネルギーで起こった事象の痕跡でもあり、それを分析すれば【強い場の極限】と言われる環境での重力の働きを理解できる可能性がある。巨大な物質同士が光速に近い速度で動き回るとき、重力がどう動いているのかもわかるかもしれない。

等々、重力波は、様々な可能性が秘められている。



４．結論

今まで人類は身分制度の発達によって群れ団体から村落、宗教や文化によって村落から国、船や鉄道などの交通手段によって他国との提携、そして情報改革（イノベーション）によってとうとうグローバル、地球という一つの惑星という大きな規模で統一化が進められている。これは私が思うに一個人が活動できる場所範囲が大きくなっていると言えるだろう。そして、重力波は人類の活動範囲が宇宙に広がる第一歩となるだろう。

重力波はその規模の大きさから私たちとは無関係であるといっても過言ではない。
しかし、重力波によって、宇宙の始まりだと考えられているビッグバンや、ブラックホールの研究が進められると考えられる。人類が重力波を片手に宇宙をどこまで知ることができるのか、どこまでたどり着くことができるのか、とても楽しみなものである。

５．謝辞

今まで重力波の調査に付き合って下さった 2 年生の皆さんや、蛯名先生、レポートの指導をして下さった西村先生、飛内先生に深く感謝申し上げます。

量子力学と量子コンピュータ

3406

ニュートンを代表とする古典物理学、つまり私たちが高校で学ぶ物理というのは、確かにある条件の下では現代でも非常に実用的なモデルとして機能する。しかし、そのある条件から一歩でも外れると古典物理学はそのモデルとしての機能を失う。その条件とは対象は巨視的なものに限ることである。ニュートンやマクスウェルといった古典物理学を代表する物理学者たちは、私たちが実際観測することができる現象、つまりマクロな物体の振る舞いについて研究していたのだ。しかし、時が流れ相対性理論を確立したアインシュタインと同じ頃、古典物理学とは異なり、私たちが観測できないような物質について、つまりミクロの視点から自然法則を解き明かそうとする量子力学なる学問が生まれたのだった。

そこで私は、この一年間学習してきた量子力学について、現在開発が進められている量子コンピュータの例を中心にまとめていきたいと思う。

ところでニュートンは木からリンゴが落ちる様子を見て万有引力を発見したようだが（真偽は定かではないが）、量子力学もまた身近な自然現象である光について着目することで学問としての一歩をふみだした。

さて、ここであなたに一つ問いたいと思う。『光は波なのか粒子なのか』きっとあなたはしばし考えた後に、『波である』と答えるだろう。しかし私は否と返す。するとあなたは『では粒子なのか』と問うだろうが私はもう一度否と返す。そして私は『光は波と粒子の性質の両方、つまり二重性を持っている』と笑顔で答えるのだ。これこそが光の特殊、かつ量子力学の不思議議を体現したかのような性質なのである。

この特殊な性質の持つ最も重要な量子力学的意味は、『光は波であることと粒子であることとの二つが重なり合って存在している』ということである。これからどうしてこのような性質が発見されたのかについて説明していくが、あくまで最も重要なことは先ほど述べた『重ね合わせ』なので、説明は読み飛ばしてもらってもかまわない。

研究者は電子と板を用いて『二重スリット実験』と呼ばれる実験で光の性質について研究した。彼らは電子銃から電子（ここでは光の粒子性を表す）を発射して、向こう側の写真乾板に到達させる。その途中は真空になっている。電子の通り道にあたる位置に衝立となる板を置く。その板には2本のスリットがあり、電子はここを通らなければならない。すると写真乾板には電子による感光で濃淡の縞模様が像として描かれる。その縞模様は波の干渉縞と同じであり、電子の波動性を示している。この実験では電子を一

個ずつ発射しても、同じ結果が得られる。すなわち電子を1度に1個ずつ発射させることを何度も繰り返してから その合計にあたるものを写真乾板で見ると、やはり同じような干渉縞が生じている。

つまりこの実験から光がもつ波としてと、粒子としての性質の二重性が証明されたのである。

『重ね合わせ』という性質は私たちとはあまり馴染みがなく、理解しにくいであろうから、もう一つほど代表的な実験を紹介しておきたいと思う。

それが『シュレディンガーの猫』である。名前やどんなことをする実験なのかは知っている人も多いだろう。そして多くの人がこの実験を単に動物を毒ガスで殺すような極悪非道な実験であると勘違いしているだろう。そのような不名誉を払拭するとともに、この実験が証明する『重ね合わせ』について説明していきたいと思う。

まず一定の確率で崩壊して放射線をだす原子、原子の崩壊を感知して毒ガスを出す装置、猫、それらを入れておくための外からは中身が見えない箱を用意する。そして一定時間たった後に、中身を確認して猫の生死を確認する。猫の生死は試行回数を重ねていけばやがて設定されている確率に近づいていくだろう。しかし、ここでもし箱の中身を確認しなかったとしたら、猫の生死はいったいどうなるのか。一定の確率では猫は死んでいて、また別の一定の確率では猫は生きているということになる。つまり私たちが確認しない限り、猫の生死は確率的にしか表現できず、その二つの相反する事象は確定しない、と言えるだろう。

これが実験および考察されるであろう結果である。しかし、この実験は思考実験であり実際に行われた実験ではないことに注意してもらいたい。

さて話題は少し変わるが、あなたはコンピュータの仕組みを知っているだろうか。

まずわたしたちが使う数の数え方として十進数が代表的だが、コンピュータに対する命令として主に採用されているのは二進数である。二進数の概要についてはあなたも知っているだろうが、一応説明する。一般に０~９を使って数を表す十進数に対して、二進数は０と１のみを使って数を表現する記数法である。コンピュータでは電流が流れた状態と流れていない状態の２通りしか表現できないため、二進数が非常に有効な表現方法となっている。

ここで先ほど述べた重ね合わせについて思い出してほしい。コンピュータは０と１、すなわち真か偽しか表現することができなかったが、重ね合わせを用いることができれば真と偽が重なり合った状態を表現できるということになる。これがなにを意味しているのかというと、今までは１の状態、０の状態はそれぞれ別々にしかできなかった計算が同時並行で確率的に処理することが可能となるということである。それにより従来のコンピュータとは比べ物にならないほどの計算の処理速度を持つのだ。

例えば非常に桁数の多い数の素因数分解や、組み合わせ最適化問題が非常に有名な例である。素因数分解はあなたにも馴染みのある言葉だろうが、組み合わせ最適化問題はあまりよく知らないだろう。組み合わせ最適化問題とは、例えば、宅配便が荷物を配達するときにどのようなルートで配達をすればよいか、という問題だ。ドライバーが一日に５カ所に配達しなければならない場合は１２０通り。一日に１０カ所ならば約３６０万通り。１５カ所ならば１兆３０００通りを超えるほどのパターンが考えられる。たしかにこの程度の計算量なら日本が世界に誇るスーパーコンピュータ『京』ならば一瞬で終わらせることができる（京は１秒間に１京回もの計算が可能）。だが、配達場所が３０カ所にまでなると、現代のスーパーコンピュータでは計算し終わるのに約８億年かかってしまい実用的ではない。そこで量子コンピュータを使って計算をすれば実用的な時間で計算を終わらせることができる。

ただこれは量子コンピュータが従来のコンピュータよりも完全に勝っていることを証明している訳ではない。

たしかに量子コンピュータはいくつかの類いの計算は従来のコンピュータとは比べ物にならないほどの早さで処理をすることが可能である。だが逆に言えば、そのいくつかの類いの計算しか高速にできないのだ。また量子コンピュータが高速に処理可能な計算を従来のコンピュータが処理できない訳ではない。時間がいくらかかろうがかまわないのならば従来のコンピュータは量子コンピュータが計算可能なすべてを計算することができる。だが量子コンピュータはそういうわけではないので、そのような観点からみると量子コンピュータは完璧ではないことがわかるだろう。

ちなみに私は、従来のコンピュータと量子コンピュータに優劣を付けるつもりは全くないし、その意味も特にないと考えている。両者ともに優れた点を持っているからこそ、優劣をつけて比べるというよりも、両者の欠点を互いに補い合うことができるような開発すべきだと考えている。

本当ならば、量子コンピュータが仕組みによって大きく二つに分けられていることや、

その二つの仕組みである『量子ゲート方式』、『量子イジングモデル方式』についても詳しく説明していきたかったが、構造を説明するには今まで私が学んできた量子力学についての知識だけではたりず、工学の知識も必要とするため、今回はこのレポートの中で説明することは断念した。もしまた機会があれば、それまでに様々な分野において深く学ぶことで今回よりも良いレポートが書けるように尽くしたいとおもう。

参考文献

『量子力学(Ⅰ)』小出昭一郎

重力波について

3412

研究要綱

2015 年に初観測がなされ、一躍脚光を浴びた重力波について興味を抱き、重力波とは何かということに主眼を置き理解に努めた。

調査するにあたり、アインシュタインの一般相対性理論とは何について述べた理論であるのかということから始め、次いで重力波の特徴・観測方法について調べることにした。

調査結果として、重力波とは時空の歪みの伝播であること、主な観測方法としてマイケルソン干渉計が用いられていることなどが分かった。

今後の方針としては、重力波が光速である説明や観測結果の処理法、ESA(欧州宇宙機関)が進行中である宇宙重力波望遠鏡 LISA(Laser Interferometer Space Antenna)についてなどを調べていきたい。

本論

1 ,一般相対性理論に依る重力の定義

(i) 一般相対性理論とは

1916 年に A.アインシュタインが発表した理論であり、方程式にまとめたものが下に示す方程式(アインシュタイン方程式、重力方程式などと呼ばれる)である。一般相対性理論は、エネルギーが存在すると、周りの空間がどのくらい曲がるかを定量的に表現したものといえる。

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

この式の内容を簡易的に表現すると、左辺が時空*の歪み量、

右辺がエネルギーの量を表している

* 次元空間と時間からなる４次元のこと

(ii) 重力とは

まず、ニュートンの万有引力に基づく重力は 2 つの物体の質量の積に比例し、距離の 2 乗に反比例するものである。これに対し、一般相対性理論に基づく重力は時空の歪みである。このことは、特殊相対性理論の方程式 **$E = mc^2$** によるとエネルギーと質量は等価であるため、アインシュタイン方程式とこの式の二式によって質量のある点(質点)では時空が歪むといえるということからわかる。

2,重力波とは

（1）重力波とは

物体つまり質量のある点(質点)の周りでは、前述したように時空が歪んでいる。この物体が動くとその動きに伴い歪みも変動する。この変動する歪み(つまり波)が進む現象が重力波である。例えて言うとすると、ちょうど池に小石を投げると、漣が立つようなものであり、重力波はまさに「時空の歪みの波」といえる。

（2）特徴

① 光速で伝わる

② 減衰することはない

③ 振幅は 10^{-21} から 10^{-24} 程度

ただし重力波における振幅とは、円の周上に配置された物体間の距離の変化にあたり、すなわち円の大きさと各物体間の距離の変動の比が振幅の大きさに相当する。

（3）特徴に対する考察

①③に関しては重力が非常に弱い力であるため、②に関しては重力波が無限の距離を伝わるのは、重力のゲージ粒子(力を伝達する粒子)である重力子(グラビトン)の質量がゼロであり、相対性理論によれば、質量がゼロの粒子は光速で進むためと記述があった。理解に努めたい。

3,重力波天文学

（1） 観測方法

主としてマイケルソン干渉計の原理が用いられる。
この原理は次のようになっている。

レーザー光源からの光が半透明鏡に 45° で入射し二つの方向に分けられ、同じ距離だけ離れた鏡で反射されたのち半透明鏡で一つの光となり干渉することによってできる干渉縞を観測する。

しかしマイケルソンの干渉計では精度が低すぎるため、現場ではリサイクリングミラー・部分反射鏡・共振器(ファブリ・ペロー干渉計)がこれに追加され精度の向上に一役買っている。

（2） 現状

観測施設

LIGO(米)

ルイジアナ州リビングストンのリビングストン観測所とワシントン州リッチランド近郊のハンフォード・サイトのハンフォード観測所の 2 箇所の重力波観測施設を一対として運用している。2002 年より観測を開始、現在の観測器は 2015 年と 2016 年に改良・工事されたもの。2 つの施設は 3002 km 離れており、光速度で伝播する重力波の到達時間として約 10 ミリ秒の差がある。波源からの 2 つの施設への重力波の到達時間の違いから、三角測量を応用して波源の位置を知ることができる。基線長は 4 キロメートル。

VIRGO(伊)

2003 年より稼働。基線長は 3 キロメートル。

KAGRA(日 建設中)

英名は Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope であり、その名の通り、観測の上でノイズとなる熱による分子レベルの運動を極力除くために約 -253℃まで反射鏡を冷却できるという特徴を持つ。また、この反射鏡は高さ 14m の振り子構造を持たせて外部振動の影響を減らしてあり、立地としても地面振動の影響が少ない神岡鉱山が選ばれているため、地球上における観測機器としては最高水準の精度を誇る。基線長は 3 キロメートル。稼働は 2019 年を目処とされている。

主として以上の三つが挙げられるが、このほかにもイタリアの AURIGA (極低温共振型重力波検出器)や日本の TAMA300 などがある。

2018 年 6 月の時点で 5 度の観測が確認されている。また、2034 年軌道投入予定の LISA(重力波観測衛星)ミッションなどにより観測機器は充実していくだろう。

（3）　課題

重力波観測に関して

地上での観測においては雑音の除去が課題であり、対応策として地下での建造や反射鏡の超低温化などがなされている。宇宙での観測においてはデータ解析が最大の課題となる。

今後の調査に関して

重力波の特徴として述べられている事例の論拠・重力波の観測結果の解析方法について調べ、理解したい。　また、量子重力理論を今後の主題とし、宇宙の誕生と未来について探っていきたいと思う。

4,謝辞

昨年度お世話になった蝦名先生、研究活動に協力して下さった全ての方々に感謝申し上げます。

5,参考文献

ブルーバックス　重力波で見る宇宙のはじまり

「時空のゆがみ」から宇宙進化を探る

日本女子大学目白祭－相対性理論　重力波

http://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi17/soutaisei/ligo.html

「角の三等分の作図可能性」

３年４組１５番
ゼミ番号２　グループ番号Ｆ

１　序論

小学校や中学校の算数や数学で「作図」という単元を勉強した。定規やコンパスを用いて線や円を書き、様々な問題を解いた。代表的なものといえば「垂直二等分線」、「角の二等分線」などである。では、「角の三等分線」はどうなのだろうか。「二等分」ができるのであれば「三等分」も可能なのだろうか。また、「作図」の定義とはどのようなものだろうか。私たちはこれらについて調査した。

２　研究手法

この調査において、私たちはインターネット、書籍などを用いた。使用したものについては、４　引用・参考文献に表記している。

３　調査

3-1

通常の作図法では角の三等分ができないことを証明する。そのためにある角度θで$\frac{\theta}{3}$を作図できないものが存在することを証明すればよい。$\theta = 60°$として角度 $20°$が作図できないことを証明する。

まず、有理数全体の集合$\mathbb{Q}$に$\sqrt{c}$（$c \in \mathbb{Q}$）なる形の無理数を、四則演算で閉じていくように考える。複素数全体の集合$\mathbb{C}$の部分集合$A \subseteq \mathbb{C}$と$c \in \mathbb{C}$に対し、集合Aに$\sqrt{c}$を追加した集合$A\{\sqrt{c}\}$を次で定める。

$$A\{\sqrt{c}\} = \{a + b\sqrt{c} | a, b \in A\}$$

実数の部分集合の列$\langle Q_n | n \in \mathbb{N}\rangle$を次のように帰納的に定義する。

$$\begin{cases} Q_0 = \mathbb{Q} \\ Q_{n+1} = Q_n\left[\sqrt{c_{n+1}}\right] \quad c_{n+1} \in Q_n, \quad \sqrt{c_{n+1}} \notin Q_n \end{cases}$$

集合Q_nの基本的な性質を確認しておく。

以下が成り立つ。

(1)　$Q_0 \subseteq Q_1 \subseteq \cdots \subseteq \cdots$

(2)　任意の $n \in \mathbb{N}$に対しQ_nは、四則演算について閉じている。つまりQ_nは体である。

次の四つに分けて証明していくが、線分の長さを考えるので、単位となる長さ 1 の線分は与えられているとする。ここでは，数α が作図可能であるとは，長さがα である線分を作図できることをいう．また，適当に座標を設定することにより，負の数に対応する長さの線分の作図も考えることができる．本節では以後，多項式$f(x)$ は

$$f(x) = x^3 - 3x - 1$$

とする。

命題 1

数 α が作図可能である⇔ある自然数 $n \in \mathbb{N}$ が存在して $\alpha \in Q_n$となる。

命題 2

$\cos 20°$が作図可能である⇔ 多項式 $f(x)$ の実根で作図可能なものが存在する。

命題 3

多項式 $f(x)$ は，有理数の根をもたない。

命題 4

$n \geqq 1$ を自然数とする．「$\alpha \in Q_n$ かつ $f(\alpha) = 0$ となる α が存在する」⇒「 $\beta \in Q_{n-1}$ かつ $f(\beta) = 0$となる β が存在する」。

これらが証明されたとき、次のような理由で作図不可能となる。
もし$\cos 20°$が作図可能であれば、命題 1 と命題 2 より、ある実数 α が存在して$f(\alpha) = 0$かつ、ある自然数 n が存在して$\alpha \in Q_n$となる。命題 3 よりαは実数ではないので$n \geqq 1$である。よって、命題 4 よりある実数βが存在して、$f(\beta) = 0$かつ$\beta \in Q_{n-1}$となる。これを繰り返していくとある実数γが存在して、$f(\gamma) = 0$かつ$\gamma \in \mathbb{Q}$となる。しかしこれは命題 3 に矛盾する。よって作図不可能である。

3-2

命題 1 の証明

まず、主張の右から左が成り立つことを証明する。

(1)　線分の和差 : AB の長さを a, BP の長さを b とするとき，中心が B で半径 b の円と直線 AB の交点 C, D をとると，$AC = a$, $AD = a - b$ が作図できる。

(2)　線分の積商 : まず積について．OP を長さ 1 の線分，OA を長さ a の線分，OB を

長さ b の線分とする．a × b を作図するには，まず線分 BP を描く．点 A を通り BP に平行な直線と直線 OB の交点を C とすると，OC の長さが a × b となる．

同様に商 $\frac{b}{a}$ も作図できる。

（3） ルート：図のように，$AC = a$、$CB = 1$となるように，線分 AB を描く．AB を直径とする上半円を描く．C を通り，AB に垂直な直線と半円との交点を P とするとき，BP の長さが$\sqrt{a}$ となっている．

これらをまとめると、与えられた長さから四則演算およびルートをつけて得られる長さは作図可能である。

よって特に、長さ 1 の線分は与えられていることから、任意の有理数は作図可能である。さらに与えられた数のルートも作図可能であることから、任意の自然数 n に対し、Q_nに属する数はすべて作図可能である。

ゆえに$\alpha \in Q_n$ならば α は作図可能である。

次に、主張の左から右が成り立つことを証明する。定規とコンパスで作図できる「点」は以下の 3 パターンである。

（1） 直線と直線の交点

（2） 直線と円の交点

（3） 円と円の交点

(1)の場合を考える。2 つの直線の方程式を$a_1x + b_1y + c_1 = 0, a_2x + b_2y + c_2x = 0$ とする．この交点は，連立 1 次方程式

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1 = 0 \\ a_2x + b_2y + c_2 = 0 \end{cases}$$

を解くことによって得られる。求めると次のようになる。x、y 共にそれぞれの直線の方程式の係数から四則演算によって得られていることが重要である。

$$\mathrm{x} = \frac{b_1c_2 - b_2c_1}{a_1b_2 - b_1a_2}, \quad y = \frac{a_2c_1 - a_1c_2}{a_1b_2 - b_1a_2} \quad \left(\text{ただし、}\frac{a_1}{b_1} \neq \frac{a_2}{b_2}\text{とする}\right)$$

次に、(2)について考える。この交点は連立 2 次方程式

$$\begin{cases} a_1x + b_1y + c_1 = 0 \\ (x - a_2)^2 + (y - b_2)^2 - r^2 = 0 \end{cases}$$

を解くことによって得られる。これを解くには上式を x について解いて、その結果を下式に代入することで、y についての 2 次方程式になる。これは解の公式を使って解くことができる。Y についても同様に解を得られる。重要なのは、x、y 共に上の連立方程式の係数から四則演算とルートをつける作業によって得られる。

(3) の交点は次の連立 2 次方程式を解くことによって得られる。

$$\begin{cases}(x-a_1)^2+(y-b_1)^2-{r_1}^2=0\\(x-a_2)^2+(y-b_2)^2-{r_2}^2=0\end{cases}$$

上式から下式を引くと、x と y の 1 次式になる。これを y について解いて上式に代入すると x の 2 次式を得る。これらは、係数から四則演算とルートをつける作業で解を得られる。

したがって、作図可能な数は、与えられた数から四則演算およびルートをつけて得られる数に限られる。特に今は長さ 1 の線分が与えられているので、作図可能な数は有理数およびそれらにルートを有限回つけた数に限られることが分かる。

ゆえに、数 α が作図可能ならば、ある自然数 n が存在して$\alpha \in Q_n$となる。

3-3

命題 2 の証明

$\angle\mathrm{AOB}=60°$なる角が描かれているとする。この角の三等分を作図するには$\cos 20°$の長さが作図できればよいので加法定理を用いて$\cos\theta$を変形すると、

$$\cos\theta=\cos\left(\frac{2\theta}{3}+\frac{\theta}{3}\right)$$

$$=\cos\frac{2\theta}{3}\cos\frac{\theta}{3}-\sin\frac{2\theta}{3}\sin\frac{\theta}{3}$$

$$=2cos^3\frac{\theta}{3}-\cos\frac{\theta}{3}-2\cos\frac{\theta}{3}+2cos^3\frac{\theta}{3}$$

$$=4cos^3\frac{\theta}{3}-3\cos\frac{\theta}{3}$$

ところで、$\cos\theta=\frac{1}{2}$だったので、$\mathrm{y}=\cos\frac{\theta}{3}$とおくと、

$$\frac{1}{2}=4y^3-3y \Longleftrightarrow 4y^3-3y-\frac{1}{2}=0$$
$$\Longleftrightarrow 8y^3-6y-1=0$$

さらに$\mathrm{x}=2\mathrm{y}$とおくと、

$$8y^3-6y-1=0 \Longleftrightarrow x^2-3x-1=0$$

よって、3 次方程式$x^3-3x-1=0$の解の長さを持つ線分が作図できれば、それを半分にすることによって、長さ$\cos 20°$の線分が作図可能となる。ゆえに、命題 2 は成り立つ。

3-4

命題 3 の証明

多項式$\mathrm{f}(x)$の実根は、無理数でなければ整数に限る．つまり，有理数の根をもつならばそれは整数の解であるということと、$\mathrm{y}=\mathrm{f}(x)$を調べることにより証明ができる。調べてみると、増減表やグラフより、多項式$\mathrm{f}(x)$は整数の根を持たないことが分かった。ゆえに、$\mathrm{f}(x)$は

有理数の解も持たないことが証明された。

3-5

命題 4 の証明

命題 4 については、Q_nの共役を定義し、その基本的な性質と 3 次方程式の解と係数の関係を利用することで、証明することができる。

以上より、定規とコンパスによる角の三等分の作図の不可能性が証明された。

4　引用・参考文献

・「角の三等分の作図可能性」　堀畑佳宏　著
http://www.yonagok.ac.jp/tosho/research_rep/archives/49/pdf/06_Horihata_YNCTreport2.pdf
・「数学ガール/ガロア理論」　結城浩　著

気象学と地震予知について

３４１７

1．研究要綱

動機：昨年は地震による液状化の防止策についての研究を進めていたが、今年は液状化が起きる原因である地震の予知をして、大きな被害を防ごうという考えに至った。

目的:そして私達はどのような気象条件の元で地震が発生する確率が高いかを調べ、地震による被害を最小限に抑えようという目的の元、この研究内容を選んだ。

方法：インターネットや一年生のフィールドワークにおける情報収集。

結果：白虹と大気中のラドンガス濃度が地震と関係があるのではないかという結論に至った。ただし、前例がいくつかある程度で、実証されたという訳ではない。その前例については後の本論において述べようと思う。

2．本論

白虹は、しろにじ、はっこう、もしくは霧虹などと呼び、空に虹のような弧を描くものである。しかし、その色はよく知られている虹のように七色ではなく白いものだ。これを発表したウェザーニュースでは激レア！北海道で白い虹あらわると紹介されるほどの珍しい現象である。この虹が現れると数日後に地震がおきることが多いとして多方面で注目を集めているそうだ。

次に白虹と地震の関係を示す前例をいくつか紹介したいと思う。2016 年 9 月 26 日午後北海道南部浦河沖でM5.5 の地震が発生し、函館市で最大震度 4 を記録した。その 2 日前の 24 日朝北海道亀田郡七飯町で白い虹が撮影された。また 2016 年 5 月 29 日にも同じ北海道の七飯町で白虹が撮影されていた。このときにも 2 日後の 5 月 31 日に千島列島沖でM6.1 の大きな地震が発生した。また、6 日後の 6 月 4 日にはより近い十勝沖でM4.4 の地震も起きていた。2016 年 6 月 17 日には神奈川県で白虹が撮影されたが、3 日後となる 6 月 20 日には千葉県北部でM4.6 の地震が起きた。2015 年 4 月 27 日朝には山梨県富士吉田市でアマチュア写真家によって白虹が撮影されたが、2 日後の 29 日に山梨県中西部でM2.16 日後の 5 月 3 日には群馬県南部でM4.5 の地震が起きている。さらに、日本だけではなく海外でも目撃されている。2016 年 8 月 22 日には米ミズーリ州ニューヘブンで写真家がドライブ中に白虹を撮影した。実は、ミズーリ州とニュージャージー州の県境付近では現在に至るまで群発地震が起きており、この 5 日後の 27 日にはM2.5、18 日後の 9 月 9 日にはM3.4 の地震が起きていた。

また、この白虹とよく似た「暈」（かさ）と呼ばれる気象現象がある。これは、太陽や月のまわりに薄い雲がかかって周りに光の輪が現れる大気光学現象だ。太陽のまわりに現れた場合は「日暈」（ひがさ、にちうん、ハロ）とも呼ばれ、虹のよ

うに弧を描く場合に「白虹」とも呼ばれる。つまり、現象的には白虹と同じである。では、日暈が現れた時に地震が発生した前例を挙げようと思う。

2010 年 10 月 21 日に、インドネシア西スマトラ州パダンで日暈が見られたが、5 日後の 10 月 26 日にスマトラ島沖で M7.7 の大地震が発生した。2014 年 5 月 5 日には、中国チベット自治区ラサ市で鮮やかな日暈が現れ、大きな話題となったが、その日の夕方にタイ・チェンライ県で M6.0 の地震が発生した。

日本における最近の例としては、今年 7 月 12 日に岩手県滝沢市で日暈が観測されたが、4 日後の 7 月 16 日に、秋田県内陸北部で M4.5、最大震度 3 の地震が起きた。

このように、日本でも海外でも、日暈や白虹が現れた数日後に、周辺地域で地震が起きることが多いようだ。

次に、ラドンガス濃度について紹介したいと思う。最先端の研究において、より正確な地震予測につながる方法として注目を集めているのが「大気中のラドン濃度」である。地中から出るラドンガスが、地震の前には増大するということが判明しつつあるそうだ。ラドンとは天然に唯一存在する希ガスであり、ウランが存在すると常に発生しているが(ウランがα壊変することでラドンとなる)、通常は外部に出る事は無く岩石内にとどまっている。しかし、岩石に亀裂が入ることによって流出し、地下水とともに地表近くまで上昇すると考えられているそうだ。このため、地震前に地下で起きている岩石破壊こそが、地下水や大気中のラドン濃度上昇に関係していると言われているそうだ。

『RadGraph – 大気中ラドン濃度グラフ集』という Web サイトでは、札幌・市川・広島などで観測されたラドン濃度のグラフをリアルタイムで表示することができる。筆者が主宰するサイト『地震前兆ラボ』の「リアルタイム地震前兆データ」のページでも、いくつかの観測点のグラフを掲載しているが、浦河沖の地震の数日前から、札幌のデータが上昇しているのに注目していたところ、まさに地震が発生したそうだ。

ほかにも、ラドン濃度の測定データで、地震との関連を示す顕著な例をいくつか挙げてみようと思う。まず、神戸薬科大学が連続測定していたラドン濃度では、1995 年の阪神・淡路大震災の直前にだけ明確に増大し、地震後に元の値に戻っていたそうだ。そして、1978 年 1 月 14 日の伊豆大島近海地震（M7.0）の前にも、ラドン濃度の計測で異常な値が測定されていた。しかしこの時は、通常ならば増大するはずのラドン濃度が減少したそうだ。

筆者が観測した例としては、前述の「大気中ラドン濃度」サイトで、市川観測点のグラフが今年 6 月下旬に上昇し、ピークを過ぎたあとで下降へと転じ、その後に元の値に戻った（収束した）頃の 6 月 30 日、東京都 23 区で M3.4、最大震度 3 の地震が起きている。千葉県市川市は震源からおよそ 30km の近さなので、M3 程度の

小規模でも顕著な値が出たと思われる。
　また、気象庁はホームページにおいて、「地震予知は出来ますか」という問いに対して「地震を予知するということは、地震の起こる時、場所、大きさの三つの要素を精度よく限定して予測することです。例えば「(時) 一年以内に、(場所) 日本の内陸部で、(大きさ) マグニチュード５の地震が起こる」というようなあいまいな予測や、毎日起きているマグニチュード４程度以下の小さな地震を予測するような場合はたいてい当たりますが、それに情報としての価値はあまりないと考えます。少なくとも「(時) 一週間以内に、(場所) 東京直下で、(大きさ) マグニチュード６～７の地震が発生する」というように限定されている必要がありますが、現在の科学的知見からは、そのような確度の高い地震の予測は難しいと考えられています。
　以上により、一般に、日時と場所を特定した地震を予知する情報はデマと考えられます。お聞きになった情報で心配される必要はありませんが、日本は地震国であり、地震が起こらない場所はないと言っても過言ではありません。日ごろから地震に対する備えをお願いいたします。」と回答している。

３.結論
　筆者の百瀬直也氏は大気の光学現象の観測を行ったり、ラドン濃度の値に注意を向けたりすることによって、いまだメカニズムは判明せずとも自分なりの「地震予知」ができ、それが個人レベルの防災につながるのではないだろうかと述べている。
　大学の教授は、いまだメカニズムがはっきりせず、確証がないことを世間一般に防災情報として提供することは出来ないとおっしゃっていた。現段階では百瀬直也氏の言うように個人レベルの防災にしかならないのかもしれないが、いつか世間に防災情報として提供できるためのメカニズムが明らかになるほど研究が発展することを望んでいる。
４.参考文献
tokana.jp 百瀬直也『Earthquake Track』『CRI』『緑の goo』

スペースデブリについて

ゼミ２　Ａ班　3423

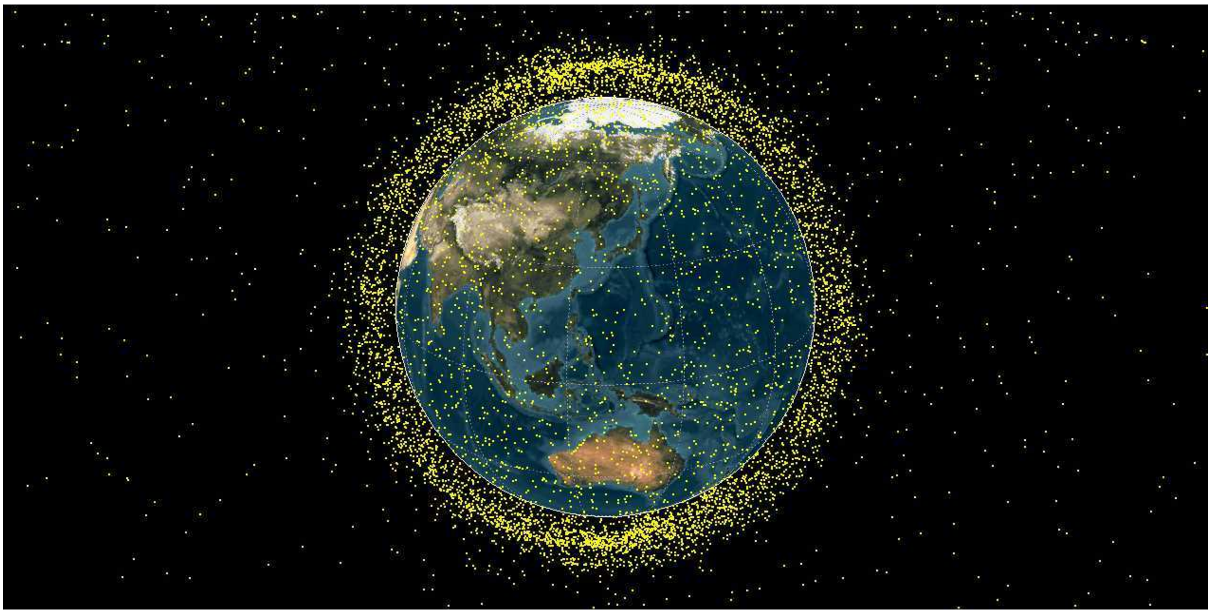
○研究背景

昨年は「宇宙移民について」という研究を行った。しかし、宇宙移民において移動する際に問題となっているのが『スペースデブリ』である。スペースデブリ（以後「デブリ」と省略する）は＊ケスラーシンドロームを起こして増え続けている。また、その増えすぎたデブリが原因で宇宙へ行く際に船にぶつかり穴が開いてしまったり、人工衛星にぶつかって、人工衛星を壊してしまうなどの問題が起こっている。今や、デブリ問題は宇宙進出を考える上で受け流すことのできない問題であるため、解決方法について、調査・考察していきたいと思う。

スペースデブリについて

スペースデブリとは、耐用年数を過ぎて廃棄された人工衛星，事故・故障で制御不能になった人工衛星，打ち上げに使われた多段ロケットの切り離しで生じた破片、さらにはケスラーシンドロームで生まれた微細デブリなど、宇宙空間に漂う人工物のことである。人類は旧ソ連が最初に人工衛星を打ち上げて以来、世界各国で 4000 回を超える打ち上げを行い、数多くのデブリを発生させてきた。そのデブリの多くは大気圏で燃え尽きたが、現在もなお 4,500t ものデブリが地球を周回している。また、デブリのサイズは数 mm のものから乗用車サイズのものまで様々であり、スピードは 3~8km/s でそれぞれの軌道上を周回している。

↓地球を取り巻くデブリの現状



・意図的なデブリ発生の例

① アメリカ・マサチューセッツ工科大学のリンカーン研究所による、プロジェクト・ウェストフォード（1961 年）

長さ 2cm の銅製の針を高度 3,500 - 3,800km、傾斜角 87 - 96 度の軌道に散布し、そこに電波を照射して反射させることによって長距離通信を目的とした（宇宙空間に人為的に＊電離層を作り出すという実験）。散布された針は 4 億 8000 万個に及んだ。

② 中国のミサイルによる人工衛星破壊実験（2007 年）

敵側の軍事衛星を破壊する演習という目的のもと行われた。これにより、デブリが急増した。

③ アメリカが行った F-15 戦闘機からのミサイル発射による P78-1 Solwind 衛星の破壊（1985 年）

○問題点

・宇宙空間での問題

デブリのエネルギーは速さの二乗に比例する（K=1/2mv^2）ため活動中の人工衛星や有人宇宙船、国際宇宙ステーション（ISS）などに衝突すれば、設備が破壊されたり乗員の生命に危険が及ぶ恐れがある。

・地球上での問題

ロケットや人工衛星は燃えにくいように設計・製造されているため、大気圏に突入しても燃え尽きず、地上に落下することが稀にある。（地球上の人間に当たる確率は 1/3200）

○考察・調査すること

国際的な問題であるにも関わらず、まだデブリの危険性についての理解が広まっていないため、まずはデブリの危険性の理解を広めることと国際的なデブリの規則を設けることが必要ではないかと思う。また、デブリは宇宙に広がってから約 100 年でやっと大気圏に突入すると言われている。よって、もっと早くデブリの問題を解決するためにデブリを人為的に減らす方法はないのだろうか。加えて、地上に落ちたデブリに対する保証についても調べたい。

○結果

―国際的な取り決めについて―

国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）で原案を作成し、2007 年に国連総会で採択された「スペースデブリ低減ガイドライン」が存在するが、法的拘束力はなく、加盟国の自主的な取り組みに委ねられている。このガイドラインには、「ロケットや衛星はデブリが出ないような設計にすること」や「低軌道衛星は運用終了から 25 年以内に大気圏に再突入させる」といった内容が含まれている。法的拘束力を持つ法律を作ることは難しいため、未だ実現されていない。

―デブリを人為的に減らす方法―

デブリを減らすためには、使用済みのロケットや人工衛星を他の人工衛星と衝突しない軌道に乗せるか大気圏突入させる、もしくは、デブリを何らかの手段で回収するなどの対策が必要である。これらの対策は少しずつ開始されているが、小さなデブリを回収する手段については様々な方法が提案されているものの、未だ実用化されていない。基本的なデブリ対策としては、地上におけるゴミ問題と同様に、デブリを発生させないようにするのが最良策である。

具体的に実行されている措置

・初期の頃はロケットからの衛星分離時に破片が飛散していたものを、現在の日・米・欧州のロケット・衛星では、これらをほとんど飛散しないような設計に変更している。
・衛星を再突入させるほどの推進剤が残っていない場合でもできるだけ高度を下げて軌道上滞在年数を減らすことで他のデブリとの衝突リスクを下げる試みが ERS-2（ヨーロッパリモートセンシング衛星の略、欧州宇宙機関の地球観測衛星）や UARS 衛星（Upper Atmosphere Research Satellite＝上層大気観測衛星）などで行われている。
・衛星を軌道投入した後、ロケットに軌道変更の余力が残っている場合は制御しながら再突入する試みが始まっており、日本では H-IIB ロケット 2 号機で試験が行われた。

計画・実験中である措置

・漁網技術を使った回収方法も考案されている。デブリが飛び回る宇宙空間には地球磁場があり、磁力が一定方向に働いている。そこを通電素材のテザーが横切ることで、磁場の影響を受けテザーに電流が生じる仕組みを利用する。テザーを搭載した衛星がデブリに接近してテザーを取り付けると、デブリと一緒に地球周回軌道を回るうちにテザーは電気を帯びる。テザー内の電流は地球磁場と影響し合い、デブリの進行方向と逆にローレンツ力という推進力が働き、ブレーキとなる。デブリは少しずつ高度を下げ、最終的に地球の重力に導かれ大気圏に突入し燃え尽きる。これは日本の大手漁網メーカーである日東製網株式会社と JAXA が協力して作ったものである。残念ながら 1 回目の実験は失敗に終わった。

―地上に落ちたデブリに対する保証―

『宇宙損害責任条約』が存在する。これは、宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約であり、＊宇宙 5 条約のうちの一つである。

○結論

日・米・欧州がロケットの開発段階でデブリを減らす方向で開発しているので、決してデブリの危険性について理解が足りないわけではないと考えられる。また、具体的な対策については新たにデブリを増やさないようにするための対策は行われている。だが、現在地球の周りを周回しているデブリを効果的に減少させる対策は計画・実験はされているものの、完成はされていない。また、デブリ問題は地球で深刻化している環境問題と等価であると思う。自己利益の追求をして

きた結果が現在の環境問題であり、デブリ問題も同様である。デブリを増やさないためには、全世界で宇宙に利益を求めることをやめなければならないと考える。
そこで、JAXA は以前からデブリ問題への対策を行ってきているため、これからは国際的な協力を実現し、利益を求めるのではなく、宇宙移民などに全世界で備えるため、世界単位でのデブリ問題への取り組みを期待したい。

○補足説明

＊ケスラーシンドローム（Wikipedia より引用）

スペースデブリが互いに、あるいは人工衛星などに衝突すると、それにより新たなデブリが生じる。 デブリの空間密度がある臨界値を超えると、衝突によって生成されたデブリが連鎖的に次の衝突を起こすことで、デブリが自己増殖するような状態が存在するかもしれない。 ケスラーシンドロームはこの状態の生起を許す、スペースデブリの挙動を定式化したモデルのうちの幾つかが示すシミュレーション結果の一つ。

＊宇宙 5 条約（Wikipedia より引用）

- 月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約（宇宙条約）

1966 年 12 月 19 日採択、1967 年 10 月 10 日発効。
宇宙活動における一般原則を規定。

- 宇宙飛行士の救助及び送還並びに宇宙空間に打ち上げられた物体の返還に関する協定（宇宙救助変換協定）

1967 年 12 月 12 日採択、1968 年 12 月 3 日発効。
事故、遭難又は緊急着陸の場合に宇宙飛行士の救助・送還、および物体の返還を定めている。宇宙条約 5 条・8 条の規定を具体化したもの。

- 宇宙物体により引き起こされる損害についての国際的責任に関する条約（宇宙損害責任条約）

1971 年 11 月 29 日採択、1972 年 9 月 1 日発効。
宇宙物体によって何らかの損害が引き起こされた場合、物体の打ち上げ国は無限の無過失責任を負う。宇宙条約 6 条・7 条の規定を具体化したもの。

- 宇宙空間に打ち上げられた物体の登録に関する条約（宇宙物体登録条約）

1974 年 11 月 12 日採択、1976 年 9 月 15 日発効。
宇宙物体の識別を目的としたもの。打ち上げ国は登録簿への記載、国際連合事務総長への情報提供が義務づけられる。

- 月その他の天体における国家活動を律する協定（月協定）

1979 年 12 月 14 日採択、1984 年 7 月 11 日発効。
天体の利用、開発には人類の共同遺産の原則が適用されるとし、国家や私人の領有を明確に否

定。また天体での活動における諸原則を再確認している。
批准・署名国はごく少数にとどまっている。

＊電離層　[＝電離圏]（日本大百科全書より引用）
超高層大気では、高度約 70km あたりから大気の電離度が増え始め、高度とともに電離度は高くなっている。電離圏は電気伝導性が高いので、電波を反射する。このため短波電波を使った長距離無線通信に利用されている。

○参考資料

リモート・センシング技術センター　衛生総覧　ERS-2
https://www.restec.or.jp/satellite/ers-2
ヨーロッパリモートセンシング衛生
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A8%E3%83%BC%E3%83%AD%E3%83%83%E3%83%91%E3%83%AA%E3%83%A2%E3%83%BC%E3%83%88%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B7%E3%83%B3%E3%82%B0%E8%A1%9B%E6%98%9F
UARS
https://ja.wikipedia.org/wiki/UARS
スペースデブリ
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B9%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%83%87%E3%83%96%E3%83%AA
JAXA 宇宙航空研究開発機構　スペースデブリ対策の研究
http://www.kenkai.jaxa.jp/research_fy27/mitou/mit-debris.html
JAXA スペースデブリ問題の解決に向けて　～宇宙の環境を守るために～
http://www.jaxa.jp/projects/feature/debris/index_j.html
ファン！ファン！JAXA！
宇宙ごみ（スペースデブリ）の数はどのくらいですか？1 年間に落下する数はどのくらいですか？
http://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/338.html
宇宙の果て　宇宙ゴミが地球に落下危機。網で回収する新技術？
http://宇宙.net/uchuu-gomi/

確率微分方程式の株への応用

三年四組

研究要綱

現在の資本主義社会では、株価の動きが非常に大きな注目を集めている。
その株価が今後どのような動きをするのかを予測する手段として確率微分方程式がある。
もちろん、株価は社会的な動きが大きく影響するが、それまでの値動きから計算である程度予測することが可能であると考えられる。
今後ますます先行きが不透明になる現代において、確率的に未来を予測するひとつの手段として、確率微分というテーマを選択した。

株価を予測できるのかという問題は長年多くの人々の関心を集めてきた。株価を求めるための理論は様々あるが、今回はそのうちのひとつである、ランダム・ウォーク理論を用いた研究について取り上げる。

本論

ランダム・ウォーク理論とは、株価の値動きは、どの時点においても長期的にも短期的にも「上昇と下降の可能性」がほぼ同じであり独立した事象であるから、過去のトレンドやデータによって将来の値動きを予測することは不可能である、とする理論である。
そもそもランダム・ウォークとは、次に現れる位置が確率的に無作為（ランダム）に決定される運動であり、数学的に厳密なランダム・ウォークであれば長期的にも上昇と下降の可能性は同じになり、株式投資は値上がり益が期待できないことになるが、株価におけるランダム・ウォーク理論は、長期的には株価は上昇する可能性の方が高いことを前提としている。
また、このブラウン運動にしたがう連続時間の確率過程（不規則過程）を幾何ブラウン運動といい、株価をあらわす式にも、これが用いられている。
株価を最も簡単に表す式は下に記すが、伊藤の補題を用いることで他の方法よりも簡単に解を求めることができる。伊藤の補題とは、1942 年に伊藤清が確立した、確率微分方程式の確率過程に関する積分を簡便に計算するための方法である。

伊藤清（1915 - 2008）　日本の数学者で、1990 年代に発達した金融工学理論の進歩に多大な貢献をし、ガウス賞やウルフ賞など、数多くの賞を受賞した。

以下に表すのが、伊藤の補題である。

伊藤の公式

X_t を

$$dX_t = b(t, X_t)dt + \sigma(t, X_t)dB_t$$

(5.1)

で定義される過程を伊藤過程と呼ぶ．時間 t と伊藤過程 X_t の関数

$$Y_t = g(t, X_t) \tag{5.2}$$

は再び伊藤過程であり，

$$dY_t = \frac{\partial g}{\partial t}dt + \frac{\partial g}{\partial x}dX_t + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 g}{\partial x^2}(dX_t)^2$$

(5.3)

を満たす．ここで $(dX_t)^2$ は次の計算規則で求められる．

$$dt \cdot dt = dt \cdot dB_t = dB_t \cdot dt = 0, \quad dB_t \cdot dB_t = dt \tag{5.4}$$

これを使うことで以下の株価の変動モデルの式の解を求める。

$$dY_t = cY_t dt + \sigma Y_t dB_t$$

この式が表すのは、Ｙｔを時刻ｔにおける株価とすると株価のトレンドとボラティリティがＹｔに比例するというモデルである。

伊藤の公式で、Ｘｔ＝Ｙｔと置き、Ｙｔ=g(t,Xt)を幾何ブラウン運動とする。

伊藤の公式から、

$$cg(t, x) = \frac{\partial g}{\partial t} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 g}{\partial x^2}$$

$$\sigma g(t, x) = \frac{\partial g}{\partial x}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} &= \sigma\frac{\partial g}{\partial x}\\ &= \sigma^2 g(t, x)\end{aligned}$$

となるので、もとの微分方程式は、

$$\frac{\partial g}{\partial t} = \left(c - \frac{1}{2}\sigma^2\right) g(t,x), \quad \frac{\partial g}{\partial x} = \sigma g(t,x)$$

となる。これを g(t,x)=f(t)h(x)と変数微分すると、

$$f'(t) = \left(c - \frac{1}{2}\sigma^2\right) f(t), \quad h'(x) = \sigma h(x)$$

となる。これを解いて、

$$f(t) = f(0)e^{\left(c-\frac{1}{2}\sigma^2\right)t}, \quad h(x) = h(0)e^{\sigma x}$$

よって、

$$Y_t = g(t,x) = Y_0 e^{\left(c-\frac{1}{2}\sigma^2\right)t+\sigma B_t}$$

という結果が得られる。
この式を使って、今後の株価をある程度予測することが可能だと思われる。

まとめ

今後の生活で、私たちに株価が大きな影響を与えることもあるだろう。資本主義社会のなかで、より確実性のある取引をするために、今回取り上げたような数学的な見方もいかしていきたいと思う。
今回のテーマは、高校生である私たちにはかなり難しいもとであったが、より深く理解できるよう、今後も勉強を続けていきたい。

参考資料

http://www.kabuciao.com/tech/trend.html
http://takashiyoshino.random-walk.org/memo/keikaku_ensyu/node5.html
https://ja.wikipedia.org/wiki/ランダム・ウォーク理論
https://ja.wikipedia.org/wiki/幾何ブラウン運動

ワームホールとタイムトラベル

3431

研究要綱

タイムトラベルは可能か。長年、科学者のみならず多くの人がこの問題に関心を向けてきたことは間違いないだろう。そこで、タイムトラベルへの研究がどのように行われてきたかを調べるとともに、タイムトラベルの実現の可能性を考察していく。研究を進めていくと、ワームホールという宇宙理論があることが分かった。そこで、ワームホールに焦点を当て、ワームホールの根本理論や先行研究を調べ、相対性理論などとも絡めてタイムトラベルの可能性を考察していく。別の時間を結ぶワームホールの中を、経過時間０で移動すれば、タイムトラベルできるのではないかという仮説を立て考察する。ただし、ワームホールは仮説上の存在で、現実的ではない。

本論

◆ 基礎

- 特殊相対性理論

  アルベルト・アインシュタインが 1905 年に発表した論文によるもので、慣性運動する観測者が電磁気学的現象および力学的現象をどのように観測するかを記述する、物理学上の理論である。また、時間と空間を「時空」という概念にまとめた。この中の、＊光速に近い速さで運動するものは時間の流れが遅い、という理論を用いる。

- 一般相対性理論

  アインシュタインが特殊相対性理論に重力と加速度運動を加味し、一般に当てはまるように発展させた理論。この中の、＊＊重力が大きいほど時間の流れが遅くなる、という理論を用いる。

- ワームホール①

  時空のある一点から別の離れた一点へと直結する空間領域でトンネルのような抜け道である。以下の説があるとされる。

  Ⅰ「同一宇宙空間内のある空間と別の空間を結ぶ」（スペースワープ）

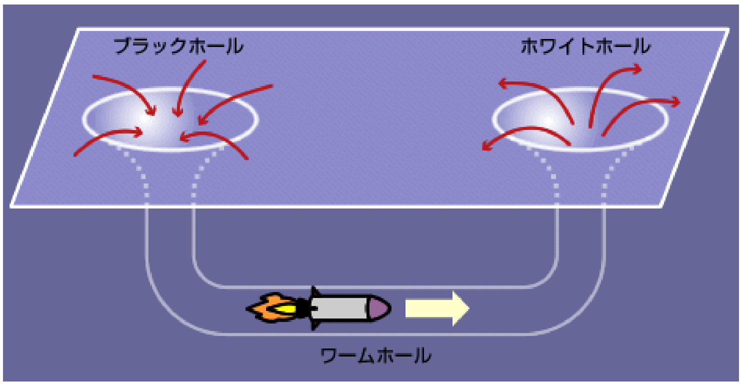
  Ⅱ「同一宇宙におけるある時間と別の時間を結ぶ」（タイムワープ）

  Ⅲ「同一宇宙におけるある時空と別の時空を結ぶ」

  Ⅳ「ある宇宙における時空と別の宇宙における時空を結ぶ」

- ワームホール②

  基本理論は①に同じ。実在が認められている強大な重力を持つブラックホールと、理論上の仮説で、数学的にブラックホールを反転させたホワイトホールとを結ぶとされる。

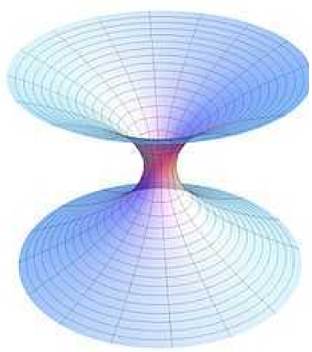


◆　**先行研究**

１９３５年

アインシュタインとローゼンによってはじめてワームホールが導入された。アインシュタイン･ローゼン･ブリッジと呼ばれる。(ワームホールという名前がつけられたのは、22 年後ジョン・アーチボルト・ホイーラーによってだった。) トンネルの部分はスロート(喉)と呼ばれ、ホワイトホールは物理的に不安定な反地平面を持つため、スロートは潰れてしまい、通過不可能とされる。

ワームホール



スロート

１９８８年

モリスとソーンは、｢ワームホールのうち、人間が通過可能な種もある｣とした。また、｢スロートの部分に負のエネルギーを持つエキゾチック物質が大量にあれば、スロートが潰れるのを防ぐことができる｣と指摘した。負のエネルギーの存在は確認されている。そこから、ワームホールを通過してタイムトラベルやスペースワープが可能になるという説も提唱された。このワームホールはカール・セーガンのＳＦ小説「コンタクト」の題材としても取り上げられたが、のちにこのワームホール解は不安定解であることが計算された。ワームホールを正の質量をもつ粒子が通過した場合、ワームホールは加速度的に潰れてブラックホールに変化してしまう。そのため通行可能なワームホールは自然なままでは一度きりしか使えない一方通行の道になってしまう。しかしもし、通行のたびに通行者が加えた擾乱の分だけワームホールに人工的な補正を加えて恒久的に維持し続けられるなら、相互通行に使用できるということも数値計算から導かれている。

１９９５年

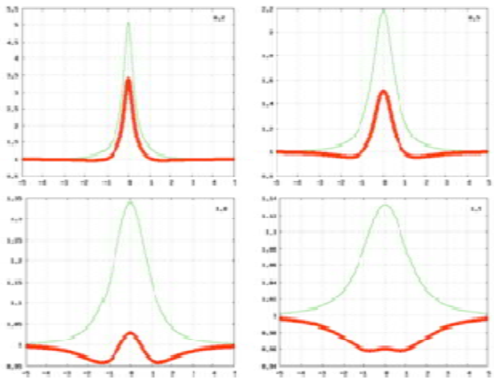
ワームホールが実在するかの検証について、クレーマーらは、ワームホールのある種のものは負の質量の重力レンズ効果を引き起こすと考え、重力マイクロレンズ効果（遠方の恒星の手前をワームホールが通過することによる見かけ上の増光）を使った検証法を提案した。重力レンズ効果とは、恒星などが発する光が天体などの重力によって曲げられる効果。つまり、恒星の手前を大きな天体が通るとその重力によって恒星の光が通常より曲がって観測される。エウクレイデスの「光の直進の法則」より、光は通常直進するが、重力場（万有引力が作用する時空中に存在する場）では光の経路も湾曲する。

２００８年

デイとセンの論文によって、エリス・ワームホールによる光の偏向角が求められた。偏向角とは、偏光の反射率が０となる入射角のこと。

２０１０年

名古屋大学太陽地球環境研究所の阿部文雄准教授らは、ニュージーランド・マウントジョン天文台の 1.8m 専用望遠鏡と大型ＣＣＤカメラを使った、マゼラン雲および銀河中心方向の重力マイクロレンズ効果の観測データを解析することで、ワームホールの存在の検証が可能と考えた。そして、デイ・センによる光の偏向角を使って、ワームホールのマイクロレンズ効果による光度曲線（見かけの明るさの時間変化）を導出し、その結果、ワームホールの光度曲線は通常の天体などやブラックホールと異なり、極大の前後で一時的に減光することを突き止めた。負の質量を持つワームホールが恒星の手前を通る時、光の見かけの明るさの時間変化に、正の質量を持つ天体だった場合との違いが出るため、ワームホールを間接的に観測できるとした。



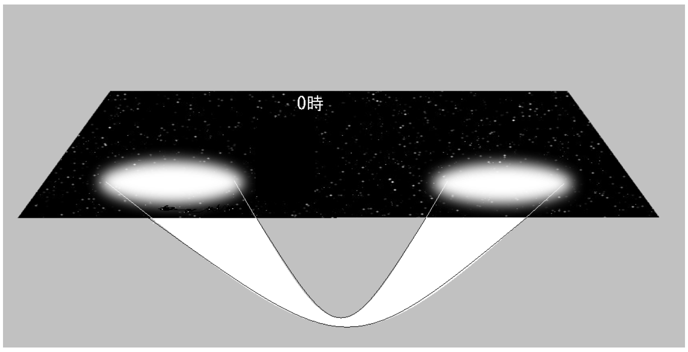
細線は通常の惑星によるマイクロレンズ効果を示した光度曲線。赤線がワームホールによるマイクロレンズ効果を示した光度曲線。極大の前後で一時的に減光していることが分かる。

◆ タイムトラベル

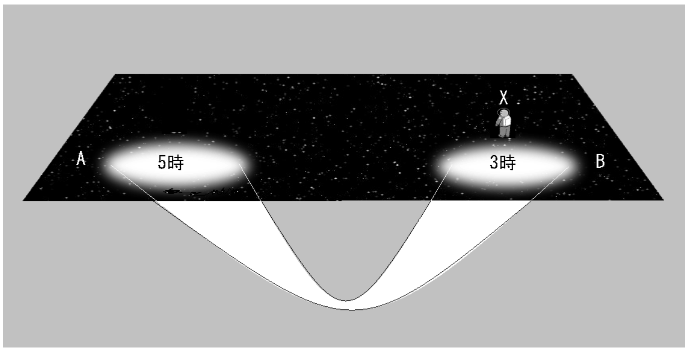
ワームホールが実存した場合のタイムトラベルの方法について理論的に考察した。

ワームホールが結ぶ宇宙のふたつの時空をＡ、Ｂとおく。また、ワームホールの中は強

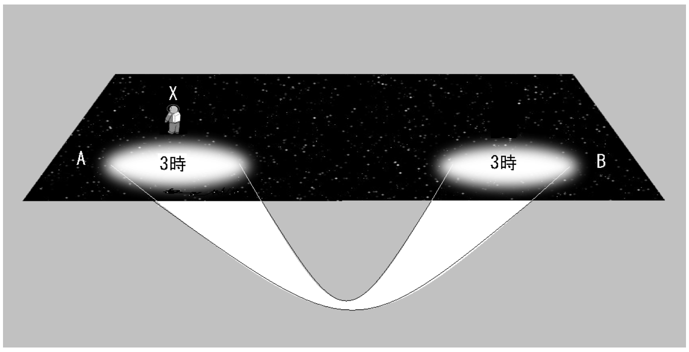
力な重力がかかり、＊＊より、時間が止まっていると考える。A、Bの時間が 00：00 である時、ワームホール内では時間は止まっていると考えるので、空間ワープが可能である。



そして、A，Bに時間の差を作るため、Aにおける時間で５時間、Bを光速の 80％の速度で動かす。＊より、Bでの時間の流れが遅くなるため、Bの時間は 03：00 になる。注釈 i



そこで、Bからワームホールに入ると移動時間は０であるため、05：00 であるはずの出口Aに 03：00 に出るので、タイムトラベルが可能になる。



しかし、ワームホールは人体ほど大きなものは通過不可能とされる。ミクロな物質なら通過可能とされているため、具体的な方法は考察には至らなかったが、電波などを過去へ送ることで、自然災害などを防ぐことが可能になるのではないかと考えた。しかし、亡くなった人が甦るというパラドックスが生じてしまうという問題点が挙がった。また、人体

を量子レベルに分解して移動させるという極端な説もあるが、再び人体を構築することについて様々な問題が生じるため、現実的ではない。

◆ 結論

ワームホールの理論が提唱されてから、その存在の観測のためにさまざまなアプローチがなされてきた。そして先人たちの研究により、実存の可能性やタイムトラベルの可能性を持った多種のワームホールの理論があることがわかった。また、ワームホールがあることを前提として、タイムトラベルを可能にする理論を導いたが、過去へのタイムトラベルしか研究できていない。人体の時空移動や、未来へ行く方法も考察してみたい。

謝辞

レポート作成に当たり指導してくださった西村先生、飛内先生ありがとうございました。

参考文献

▹ 佐藤勝彦[監修]（1998）「相対性理論を楽しむ本」PHP 文庫　2015 年 5 月

▹ 不明（2003）「ワームホール」＜https://ja.wikipedia.org/wiki/ワームホール＞ 2018 年 3 月 14 日アクセス

▹ 不明（2016）「タイムトラベルは可能か！？」＜http://www.tus.ac.jp/rikanomoto/enjoy/travel/＞2018 年 3 月 15 日アクセス

▹ 不明（2011）「重力マイクロレンズ効果を利用したエリス・ワームホールの検証法を導出」＜http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/jpn/topics/2011/01/2011-01-wormhole.html＞2018 年 3 月 14 日アクセス

注釈ⅰ：相対性理論より、動いているものの時間の遅れを求める。

時間の遅れを求める式

$$\Delta t = \Delta T \times \sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^{2}}$$

Δt…動いているものの経過時間［s］
ΔT…止まっているものの経過時間［s］
c…光速度［㎧］

ｖ…止まっているものの速度［㎧］

　この場合、止まっているものは地点Ａ、動いているものは地点Ｂを指す。地点Ｂを光速度の 80％で動かすので

ｖ＝0.8ｃ

よって$\frac{v}{c}$＝0.8

時間の遅れを求める式より

経過時間の単位を［h］とするため、3600［s/h］を経過時間にかけると、

$$\Delta t \times 3600 = (\Delta T \times 3600) \times \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

したがって、地点Ｂの経過時間をｔ´とおくと

$$
\begin{aligned}
t' &= 5 \times \sqrt{1 - 0.8^2} \\
&= 5 \times 0.6 \\
&= 3
\end{aligned}
$$

ポアソン分布と商品販売

3521

１．研究の目的

数学、特に統計分野の知識を応用して日常的な面で、何らかの利益を得ることを目標として、グループで模索した結果、ポアソン分布を用いることにした。ポアソン分布は、統計において非常に有用であると同時に、高校生である我々にとって、馴染み深い二項分布とも強く結びついているため、今回のテーマに最も適していると言える。

２．概要

ポアソン分布は、ポアソン過程に関連して発生する。 これは、離散的な自然現象（所与の領域内や所与の時間内において、0 回、1 回、2 回、3 回、4 回、5 回…と発生する現象）に該当するものであり、現象が発生する確率は、時間ないし空間内において一定である。また、時間または空間における発生間隔は指数分布になる。例えば、

- 1 時間に特定の交差点を通過する車両の台数。
- 1 ミリリットルの希釈された水試料中に含まれる特定の細菌の数。
- 単位面積あたりの雨粒の数。
- 1 ページの文章を入力するとき、綴りを間違える回数。
- 1 日に受け取る電子メールの件数。
- 1 時間あたりの電話がかかってくる件数。
- ある一定の時間内の店への来客数。
- 1 分間のWebサーバーへのアクセス数。

歴史的事例を挙げると、ロシア生まれでドイツで活躍した経済学者、統計学者のボルトキーヴィッチプロイセン陸軍の 14 の騎兵連隊の中で、1875 年から 1894 年にかけての 20 年間で馬に蹴られて死亡する兵士の数について調査しており、1 年間当たりに換算した当該事案の発生件数の分布がパラメータ 0.61 のポアソン分布によく従うことを示している。

３．ポアソン分布を表す公式について
定数λ＞０に対し、自然数を値にとる確率偏数Ｘが

$$P(X=k)=\frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

を満たすとき、確率変数Ｘはパラメーターλのポアソン分布に従うという。
e はネイピア数(e = 2.71828…)であり、$k!$ は k の階乗を表す。また、λ は所与の区間内で発生する事象の期待発生回数に等しい。

４．発生経緯
二項分布から導出
二項分布の公式
$f_X(x)={}_nC_x\cdot p^x\cdot(1-p)^{n-x}\qquad(x=0,1,2,\cdots,n)$
二項分布の期待値
$E(X)=np$
二項分布の分散
$Var(X)=np(1-p)$

成功確率がλｎであるような独立な施行をｎ回行う。成功回数の期待値はｎによらず、λである。
ｎ回の施行うちｋ回成功する確率は、
ｎＣｋ（λｎ）＾ｋ（１－λｎ）＾（ｎ－ｋ）

ここで、

$$\lambda n=\frac{\lambda}{n}$$

ｎ－∞とすれば、ポアソン分布の公式、確率Ｐ（ｋ）を得るはずである。

５．ポアソン分布が確率分布であることの証明
ポアソン分布が確率分布⇔ΣＰ（ｋ）＝１
を証明すればいい
ここで用いるのがマクローリン展開である

連続関数f(x)に対するマクローリン展開の公式

$$f(x)=f(0)+\frac{f'(0)x}{1!}+\frac{f''(0)x^2}{2!}+\frac{f'''(0)x^3}{3!}+\cdots\cdots+\frac{f^{(n)}(0)x^n}{n!}+\cdots\cdots$$

$$=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{f^{(n)}(0)x^n}{n!}$$

※1　ただし、f(x)は無限回微分可能な連続関数
※2　$f^{(n)}$は、n回微分を表す

$$e^x=1+\frac{x}{1!}+\frac{x^2}{2!}+\frac{x^3}{3!}+\cdots$$

$$\sin x=x-\frac{x^3}{3!}+\frac{x^5}{5!}-\cdots$$

$$\cos x=1-\frac{x^2}{2!}+\frac{x^4}{4!}-\cdots$$

以上より $P(X=k)=\dfrac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$ についてλのｋ乗／ｋ！＝eのλ乗だから
ΣＰ（ｋ）＝１であるといえる。

７．期待値と分散について
一般的に知られている公式は

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x\,dF(x) = \sum_i x_i f(x_i) \qquad \text{（離散的確率変数の場合）}$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} x f(x)\,dx \qquad \text{（連続的確率変数の場合）}$$

これに

$P(X = k) = \dfrac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$ を代入して計算すると

$\mathrm{E} = \lambda$

$\mathrm{V} = \lambda$

といえる。但し分散の場合 $V(X) = E(X^2) - E(X)^2$ の公式を用いた

８．実用、応用的な準備
今回の目的である商品販売の効率を上げるということのために、
基本となるデータ集める必要がある。
そこで、利用者の多い「フリル」というフリマアプリを用いて、商品販売を行った。時間の都合上、4 週間のみの統計となってしまったが、その時の 1 週間当たりの商品取引数が、30 となった。λ＝３０となるわけである。
ポアソン分布では、平均値のみでグラフの表示が可能であるので、Excel を用いてグラフを作成した。今回は、累積換算を使用した。

９．結果
ｋ＝６０までの累積確立を算出した。
ここで初めて９割を超えたのは、ｋ＝３７で、9 割 9 分をこえたのは、ｋ＝４３
9 割 9 分 9 厘を超えたのは、ｋ＝４８であった。

つまり、今回の商品は 1 週間に 37 個用意すると９０％売り切れず、
４３個用意すると９９％、４８個だと９９．９％売りきれないといえる。

６．考察
研究前から分かっていたことではあるが、分布はあくまで目安、指標でしかなく、実際の商品販売においてそれだけで効果を上げることは難しい。が、
今回のポアソン分布の実験は、数学と現実を結びつけるという観点からみると1 つの壁を超えることができたように思う。また、日頃の学習（導出における極限の考えと計算）も実用数学において役立つことを実感を伴って理解できたことは、いい経験になったと思う。
また、何気なく使っていた分散や期待値の定義を知り、それを実際つかってみたり、ポアソン分布が確率分布であることを確かめるためにマクローリン展開を用いた数学的証明を行ったりして、想定以上に数学ゼミとしての研究を深められたため、超幾何分布やパスカル分布についても考えを深めていきたい

参考文献ちょっとわかればこんな役立つ統計・確率の本当の使い道
京極一樹　著

黄金数φの神秘

青森高校 3 年 5 組

ゼミ番号［2］

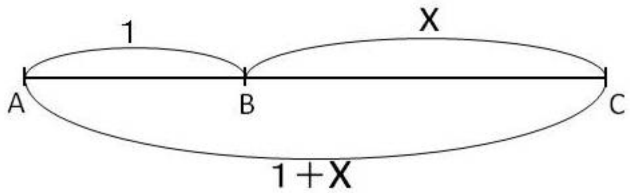
研究要綱

黄金比は、古代より最も美しい比率と言われてきた。黄金比は、様々なところに出現し、人工物だけでなく、自然界にも多く見られる。黄金比がつくりだす美しさ、植物と黄金比のおもしろい関係について研究した。

研究

1，黄金比の定義

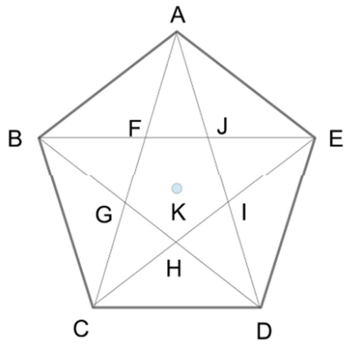
黄金比は、古代より多くの数学者や芸術家を魅了してきた最も美しいとされる比率であり、その比は、「1，618033…：1」である。この「1，618033…」を黄金数といい、記号でφと表す。黄金比は、数学者ユーグリットがしるした『原論』の中にも何度か登場する。『原論』では、ユーグリットは黄金比ではなく外中比という言葉を使っていた。これは後に黄金比と名付けられたが、誰が名付けたのかは明らかでない。ユーグリットは黄金比をこう定義した。「ある線分において、全体に対する長い部分の比が、長い部分に対する短い部分の比が等しくなるとき、線分は黄金比で分けられている」。このとき、短い部分が 1 であれば、長い部分はφとなる。



上図では AC：BC＝BC：AB の時、$x = \phi$である。

2, 星形に現れる黄金数

星形は正五角形の対角線で形づくられる。この正五角形の 1 辺を 1 とすると、対角線の長さは φ となる。つまり、正五角形の辺と対角線の長さの比は、黄金比になっている。ここで、正五角形を用いて φ の値を求める。



三角形 ABE と三角形 JEA は相似である。よって、

AB：BE＝JE：EA…①

また、三角形 ABJ は二等辺三角形であるから、

AB＝BJ＝1…②

① ②より、

$$\frac{1}{\phi} = \frac{\phi - 1}{1}$$

これを変形して整理すると、

$$\phi^2 - \phi - 1 = 0$$

これを解くと

$$\phi = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$\phi > 0 \text{ より} \phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

3，黄金数の連分数

連分数とは、分母に更に分数が含まれているような分数のことであり、どんな数でも連分数に書き換えることができる。有理数の連分数には終わりがあるが、無理数の連分数では無限に分数が続く。数を連分数に書き換えるには、「その数を整数部分と小数部分とに分け、その小数部分の逆数をとる」という操作を繰り返せばよい。連分数は、ある無理数に極めて近い有理数を見つけるのに有効である。

例）連分数への書き換え

$$\frac{10}{7} = 1 + \frac{3}{7}$$
$$= 1 + \frac{1}{\frac{7}{3}}$$
$$= 1 + \frac{1}{2+\frac{1}{3}}$$

例）無理数の連分数

$$\pi = 3 + \cfrac{1}{7 + \cfrac{1}{15 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{292 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{\cdots}}}}}}$$

$$\sqrt{2} = 1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{\cdots}}}}}}$$

$$\phi = 1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{\cdots}}}}}}$$

πや$\sqrt{2}$を連分数で表すと様々な数字が登場するが、黄金数を連分数で表すと、綺麗に１だけが続いていく。１が永遠に続くこの美しい連分数が黄金数であることを証明する。

証明）

$$x = 1 + \cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{\cdots}}}}}} \quad \cdots①とする。$$

① より①は　$x = 1 + \frac{1}{x}$　と表せる。

整理すると　$x^2 - x - 1 = 0$

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$x > 0$ より$x = \dfrac{1+\sqrt{5}}{2}$

よって $x = \phi$　終

黄金数は次のような形でも表せる。

$$\phi = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \cdots}}}}}$$

このように根号の中に更に根号が無限に連なっている形を無限多重根号と言う。この無限多重根号が黄金数であることも同様にして証明できる。

証明)

$$x = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \cdots}}}}} \quad \cdots ①とする。$$

① より①は

$x = \sqrt{1 + x}$ ⋯②と表せる。

② の両辺を 2 乗して整理すると

$$x^2 - x - 1 = 0$$

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$x > 0$ より$x = \dfrac{1+\sqrt{5}}{2}$

よって $x = \phi$　終

4，フィボナッチ数列と黄金数

フィボナッチ数列とは、最初の 2 項が 1 で、第 3 項以降の項がすべて直前の 2 項の和となっている数列であり、

1，1，2，3，5，8，13，21，34，55，89，144，233，377，610，…

と続く。フィボナッチ数列は漸化式$a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$で表せる。ただし$a_1 = a_2 = 1$である。ここで、フィボナッチ数列の一般項を求める。

特性方程式$x^2 - x - 1 = 0$を解くと

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

$$\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}，\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}\text{ とする。}$$

よって、$a_{n+2} = a_{n+1} + a_n$を変形すると

$$a_{n+2} - \alpha a_{n+1} = \beta(a_{n+1} - \alpha a_n)$$

$$a_{n+2} - \beta a_{n+1} = \alpha(a_{n+1} - \beta a_n)$$

よって、

$$a_{n+1} - \alpha a_n = \beta^{n-1}(a_2 - \alpha a_1)$$

$$a_{n+1} - \beta a_n = \alpha^{n-1}(a_2 - \beta a_1)$$

$a_1 = a_2 = 1$ より、

$$a_{n+1} - \alpha a_n = \beta^{n-1}(1-\alpha)$$

$$a_{n+1} - \beta a_n = \alpha^{n-1}(1-\beta)$$

2 式よりa_{n+1}を消去して整理すると、

$$a_n = \frac{1}{\alpha - \beta}\{\alpha^{n-1}(1-\beta) - \beta^{n-1}(1-\alpha)\}$$

$\alpha - \beta = \sqrt{5}$，$1 - \beta = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$，$1 - \alpha = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$より、

$$\therefore a_n = \frac{1}{\sqrt{5}}\{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n\}$$

したがって、フィボナッチ数列の一般項には、黄金数$\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$が含まれており、フィボナッチ数列と黄金数は密接に関わっている。また、フィボナッチ数列の隣り合う 2 項の比は、黄金比に収束することが知られている。

5，自然界と黄金比

黄金比は、オウムガイや松かさ、ひまわりの種の配列や台風など、自然界の様々なところに潜んでいる。ここでは、植物に現れる黄金数やフィボナッチ数について掘り下げていく。

5—1 葉序について

　葉序とは葉が茎につくときの配列の状態のことである。ほとんどの植物について、その配列には規則性があり、主に 3 つのパターンに分けられる。

・茎を 1 回転する間に 3 枚の葉をつける
・茎を 2 回転する間に 5 枚の葉をつける
・茎を 3 回転する間に 8 枚の葉をつける

ここで現れる数字は皆フィボナッチ数である。葉は生存に必要な養分を作り出すため、効率よく光を受け、光合成することが重要だ。そのためどの葉にもなるべく均等に光が当たるような配列になっている。

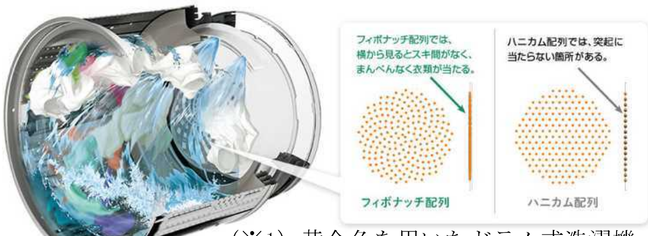
5—2 集合果について

　集合果とは 2 つ以上の花の子房が結合し、それらが集まって 1 つの果実のように見える果実のことである。クワ、イチジク、パイナップルなどがこの類だ。フィボナッチ数列がはっきりと観察できる集合果にはパイナップルと松ぼっくりがある。これらの植物では、小さな果実 1 つ 1 つが表面に螺旋を描くように配列している。この螺旋の列の数は、松ぼっくりでは 5 や 8 や 13 本、パイナップルでは 8、13、21、34 本といった列の数が観察できる。これらの数もフィボナッチ数である。

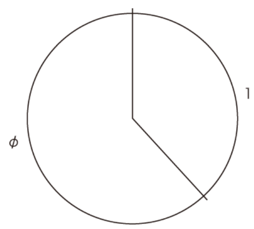
5—3 黄金角について

　黄金比は線分を分ける比率だが、黄金角は円を分割する比率である。つまり、黄金角は、「360 度：大きい部分の角度＝大きい部分の角度：小さい部分の角度」が成り立つ角度である。このうち、小さい方の角度は約 137，5 度であり、大きい方の角度は約 222，5 度である。この角度進むごとに葉や実がつくと、バラバラかつ高密度で偏りの少ない配置となる。

　この性質は商品開発にも利用されている。2012 年 11 月にシャープが発売したドラム式洗濯乾燥機「ES-Z100」では、ドアガラスの内側の洗濯板の突起に黄金角が採用されている。正六角形を隙間なく並べたハニカム構造のような突起では、洗濯物がある方向から来ると全部にあたるが、別の角度から来たときにはあたる部分と全く当たらない部分ができてしまうといった問題があったため、洗濯物にまんべんなく突起が当たるように凹凸の配列を工夫する必要があった。そこで、凹凸の配列に黄金角を採用したところ、突起にまんべんなく洗濯物があたるようになった上、限られたスペースに多くの凹凸を付けることができたため、洗浄力は無地のガラス板の約 10%向上し、洗濯ムラは約 50%低減した。



（※1）黄金角を用いたドラム式洗濯機

黄金角


6, 黄金比と芸術作品

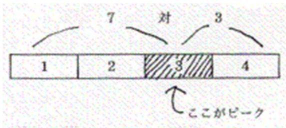
芸術作品の中には黄金比が隠れているものが多く存在する。意図的に黄金比を用いた芸術家も多いと言われる。代表的なものにミロのヴィーナスやパルテノン神殿がある。ミロのヴィーナスは、頭の先からつま先までとつま先からへそまでの長さの比が 1：ϕ、パルテノン神殿は、縦の長さと横の長さの比が 1：ϕとなっている。

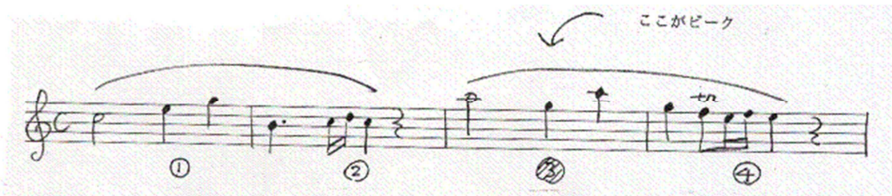
7,黄金比と音楽

音楽は起承転結の 4 つに分けられるのだが、そのとき黄金比（約 7：3）の分岐点にあたるのが「転」の部分であり、ここが最も盛り上がる重要なポイントである。黄金比は、音楽中では特にクラシック音楽によく見られ、1 フレーズの中や 16 小節ほどの短い楽曲にさえ見られることもある。音楽の盛り上がり部分が黄金比になっているパターンには主に次の 3 つがある。

（1）4 フレーズ中 3 フレーズ目がピークとなるパターン

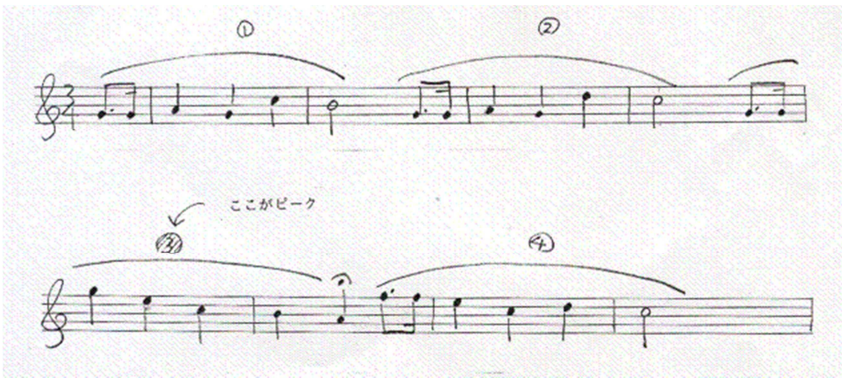
このタイプは最も起承転結の形に近く、音楽が自然に発展していくため、最も標準的な形である。





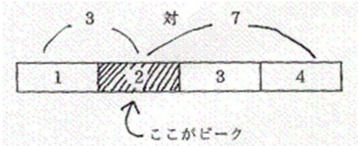
例、モーツァルト「ソナタ KV545、第 1 楽章」

例、ハッピーバースディ・トゥ・ユー

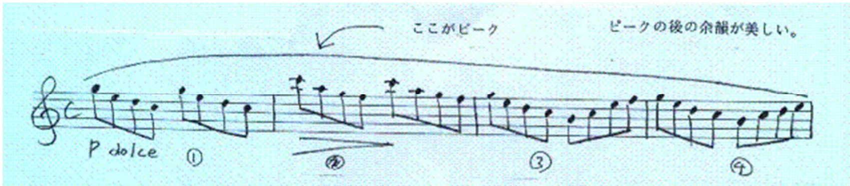


(2) 4フレーズ中2フレーズ目がピークとなるパターン

このタイプは、初めに理想を夢見て、やがて長い時間をかけて現実に向かって下がっていき、悲しみを味わったり、慰めを求めたり、あるいは、心の安らぎも表現する。

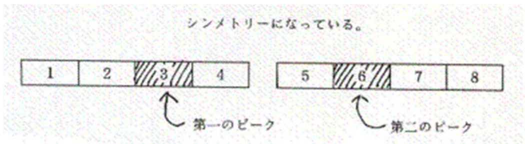


例、ブルグミュラー「素直な心」

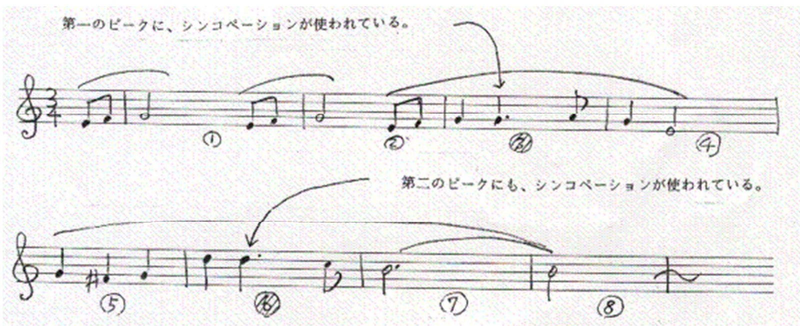


(3) (1) と (2) を対称的に配したシンメトリーパターン

このタイプは、初めの 4 フレーズで気持ちを盛り上げ、その勢いで次の 4 フレーズの前半部分で最高の幸せを夢見て、その後その幸せを味わう余韻も長くなるという特徴がある。



例、ララルー（ディズニー映画『わんわん物語』の挿入歌）



8，まとめ

黄金数φは、連分数や無限多重根号で非常に美しい形で表すことができる。また黄金比は、芸術作品やクラシック音楽、自然界に多く見られる。黄金比は様々な特徴を持っているため、工業デザインや建築設計などにも活用されている。

参考文献

・2014『ニュートン別冊　改訂版 図形に強くなる』株式会社ニュートンプレス

・(※1)「ひまわり&おひさま 太陽に関係のある 2 つの技術で、洗濯と乾燥」,
＜http://www.sharp.co.jp/nature/tec/drum-sen/＞, 2018 年 6 月 13 日アクセス

・「音楽の原理」, ＜http://www2s.biglobe.ne.jp/~chouse/aesthe.html＞,
2018 年 6 月 13 日アクセス

スペースデブリについて

ゼミ２　A 班

３年６組 10 番

研究動機

私が以前テレビでニュースを見ていた時、近年スペースデブリが増加してきているという話題を耳にしました。その時私は、スペースデブリが増えることでどのような悪影響が私たちの生活にもたらされるのかということに興味を持ち、今回詳しく研究した。

研究背景

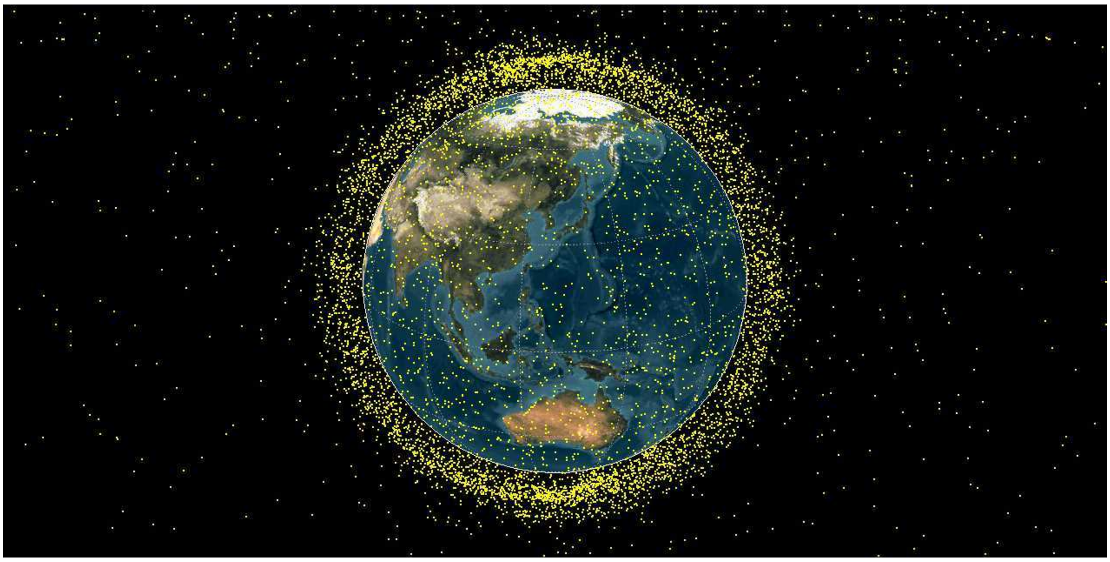
現在、宇宙には大小様々なスペースデブリが存在している。これらはお互いにぶつかり合い細かく砕かれたり、稼働中の人工衛星などにあたることで人工衛星がスペースデブリになるなどしている。それにより年々、デブリの数が増加の傾向にあり、それに伴ってスペースデブリによる事故の件数もますます増加している。

スペースデブリの増加による問題はいくつかあり、その中でも特に問題視されていることが、先ほども言ったように人工衛星や宇宙船に衝突することで、それらが破壊されてしまうことだ。ただのゴミではないかと思うかもしれないが、スペースデブリはおよそ 10km/s の速さで衝突してくる。これは銃弾よりも速い速度であり、衝突時には手榴弾並みのエネルギーが生じる。そのため、もし宇宙船に衝突すると、直径が数 mm のものであっても場合によっては宇宙船の任務遂行能力を奪い、10cm ほどあれば宇宙船は完全に破壊されてしまう。

宇宙船は非常に製造コストがかかるものであり、さらにそれを宇宙空間まで持っていくには約 100 億円かかるという。そこまでしたものがたった一度宇宙のごみと衝突しただけで存在価値を持たないガラクタとな

ってしまうのだ。
　この問題を深刻に受け止めた私たちは今回、この増加し続ける危険を排除、無力化するための解決方法の調査を開始した。そしてその結果、スペースデブリを回収して、何らかの方法でこれらを処理することでそれらの数を減らし、新しいデブリができることを防ぐと同時に、人工衛星や宇宙船に当たる確率を少しでも減らすという案が最も現実的であり、効果的な方法であるという結論にたどり着いた。

↓現在のスペースデブリの分布図



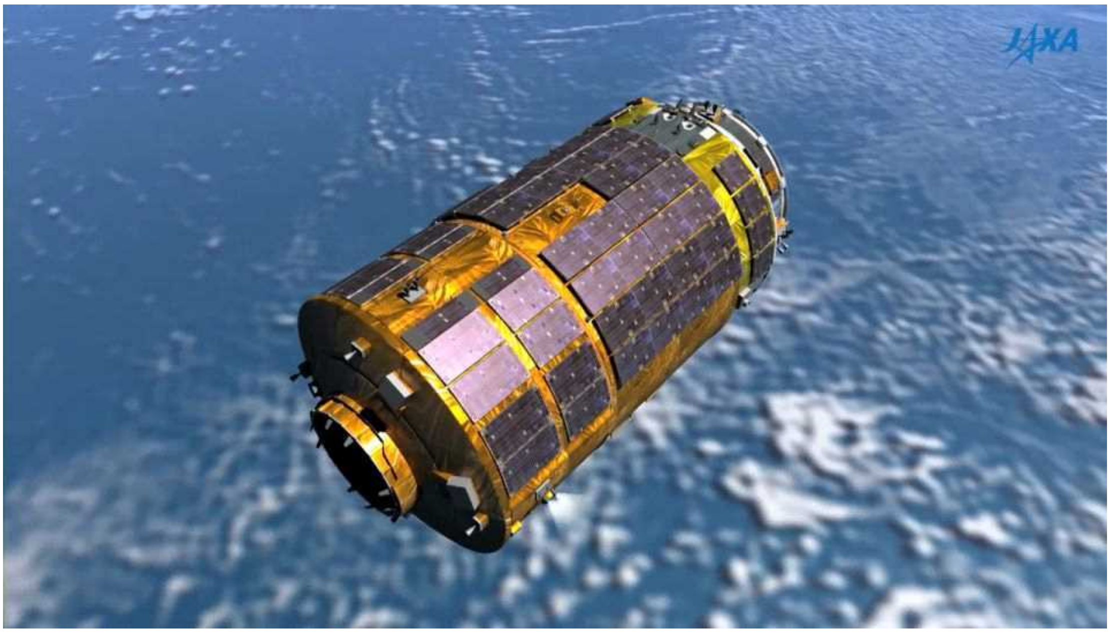
研究手法

　インターネット・文献による調査

本論

　今日、スペースデブリを回収し、そのまま処理する方法の一つとして注目されているのが「こうのとり」と名付けられた円柱形の機械を使った除去方法である。

↓「こうのとり」



「こうのとり」は起動状態になると、金属製のテザーと呼ばれるケーブルを展開する。このテザーはステンレスとアルミニウムでできており、宇宙空間で伸びると地球磁場の影響を受けて電流が流れる。電流が流れることで地球大気の上部の地磁場との干渉でテザーにローレンツ力という力が発生する。このローレンツ力を使ってスペースデブリを減速させることで地球の大気圏内に落とし、燃え尽きさせるという仕組みだ。

↓テザーを展開した「こうのとり」

理論上ではこの装置はすでに完成しており、2017年1月30日にはすでに実際に宇宙に飛ばし実際に効果があるのかを確かめる実験が行われている。この実験は結果的に失敗に終わっているが、失敗原因は理論が間違っていたなどではなく、テザーの展開時にボルトが一か所外れなかったという単純な不具合だった。それによって、本来の目的通り「こうのとり」はスペースデブリ問題の解決策となることが判明した。

それならすぐにでも運用すればいいと思うかもしれないが、実はこの「こうのとり」にはまだ重大な欠点があり、実用化には至っていない。

その欠点とは金銭面の問題だ。現在宇宙に物資や人工衛星を飛ばすときは、ロケットやスペースシャトルを使って宇宙まで運んでいるが、それらの打ち上げにはとても費用がかかる。参考として、現在スペースシャトルを一回打ち上げるのにかかる費用は500億円である。先ほどの人工衛星の打ち上げ費用の約5倍というすさまじいほど金がかかる。たとえ一回に複数個この装置を運んだとしてもスペースデブリ一つにつきかかる除去費用はとてつもない額になる。

さらにスペースデブリを回収し、処理したとしてもそれを行った人たちには何も利益が出ないので、回収にかかった費用がそのまま損失になってしまうのだ。そのような巨額な費用がかかる宇宙ゴミの除去活動を、地域のごみ拾いと同じようにボランティアを募っても人が集まるはずもなく、だからと言って企業などからしてみてもそんな儲からないし割に合わない仕事をやろうとする人はいないのだ。

したがってスペースデブリ問題は個人や企業でどうにかできる問題ではなく世界の国々が自ら積極的に解決しなければならないのだ。スペースデブリ問題は私たちが想像していたよりも簡単で難しい問題に直面していたのだ。

結論・展望

私は目の前にこの問題を解決する手段があるというのに金銭面の問題というとても初歩的で一番重要な問題が未解決であることを非常に残念に思う。いつか誰かがやらなければならないことでも、それによって自分が不利益を被ってしまうとなると、やはりどんな人でも解決に消極的になってしまうのだ。

よって、私はどうにかして打ち上げにかかる費用を減らすことができ

ないかということを次の研究テーマにしたいと考えている。そのことについて簡単に調べてみたところ、意外にもロケットの打ち上げにおいて一番費用が掛かるのは燃料費やロケットの材料費ではなく、ロケットの開発費であることが判明した。ここから、次の研究はロケットの再利用や大量生産をすることでコストの削減ができるかどうかについて調べていきたいと考えている。

謝辞

この研究をするにあたって研究に協力していただいた先生方、先輩方、同級生の皆様に感謝します。

参考文献

宇宙ロケットの打ち上げでは、何が一番費用が掛かるのか
https://detail.chiebukuro.yahoo.co.jp/qa/question_detail/q1195577101

ウィキペディア…スペースデブリ
https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B9%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B9%E3%83%87%E3%83%96%E3%83%AA

JAXA の「こうのとり」スペースデブリ回収実験。残念ながら失敗に終わる
https://www.gizmodo.jp/2017/02/jaxa-effort-to-remove-hazardous-space-junk.html

「こうのとり」スペースデブリ除去実験失敗に対する海外の反応。
https://kaikore.blogspot.com/2017/02/blog-post_7.html

「こうのとり」導電性テザー実証実験を実施、テザー伸展せず
https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/8928_kite

「特殊相対性理論の例えを用いた説明」

３６１６

研究要綱

特殊相対性理論の例えを用いた説明ついての研究

1　研究背景

近年、地球環境の悪化によって宇宙への進出が発案されており、特に月や火星への移住といった地球以外への星への移住が検討されている。そこで、将来我々が宇宙に進出した時に我々は宇宙を支える論理の根冠ぐらいは知らなければならないと考えた。ここで私が以前から少し知っていた特殊相対性理論を自らが理解を深める意味でも調べ、人にわかりやすく伝えたいと思った。そこで我々は、特に特殊相対性理論について調べることにした。

2　研究目的、意義

目的は人にわかり易く説明することである。故にあえて専門用語や難しい式を省略した。

第１章　光の速度より速く動けるものはない。

１－１　仮定　イメージから。

１－２　証明　式による証明。

１－３　結論　物体は光速を超えられない。

第２章　光の速度に近い速度で動くものは縮んで見える。

２—１　仮定　２つの電車がすれ違うとする。電車Ａは 100 万キロ、電車Ｂは 80 万キロの長さ。それぞれの電車の真ん中に人を置く。

２—２　手順１　２つの電車がすれ違う速度を光速（時速 30 万キロ）の０，６倍の時速１８万キロとする。

２－３　手順２　２つの電車が重なった時に光を真ん中の人に向かって発射する。左端が重なった時に１発目を右端が重なった時に２発目を発射する。

２－４　結論　２つの電車は同じ長さとなる。

第３章　光の速度に近い速さで動くものは、時間が遅く流れる。

３－１　仮定　非常に速い速度で動く宇宙船を用意し、そのなかに光が丁度１秒で通過する筒を用意する。

３－２　手順１　宇宙船から見たとき。

３－３　手順２　地球から見たとき。

３－４　結論　時間の長さが違う。

本論

以下考え方及び図は参考文献に示したところから引用した
この考え方に筆者は賛成である。

第１章

１－１

皆さん速く動くのと遅く動くのではどちらが動きにくいか。当然速く動く方である。ところで、その動く速度をどんどん速くしていくとどうなるか。答えは簡単、動きにくくなるだけだ。

そうして速くしていくと最終的には光の速度より速くは動けなくなる。そのことを証明していく。

１－２

まず、式を提示する。

A : A の速度　　B : B の速度
AB : A から見た B の速度

$$AB = \frac{A+B}{1+\dfrac{A \times B}{299{,}792{,}458^2}}$$

注：式は大学の証明を必要とするので、証明は割愛させていただきます。

この式（A,B）に光速（30 万キロ）以下の速度を代入してみる。すると、どんな値を代入しても左辺が時速３０万キロを超えることはない。

１―３

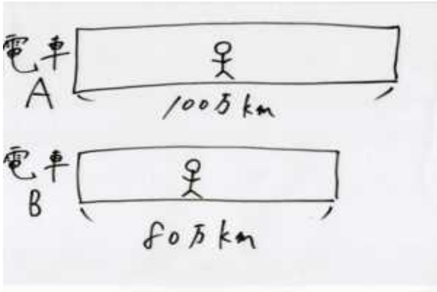
以上より、物体が光速を超えることはない。

第２章

２－１

実験内容

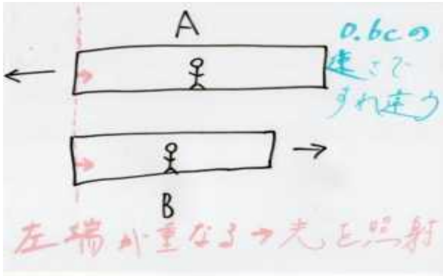
２つの電車がすれ違う場合を考える。電車１は長さ 100 万キロ、電車２は長さ８０万キロとし、それぞれの電車の真ん中に人を配置する。

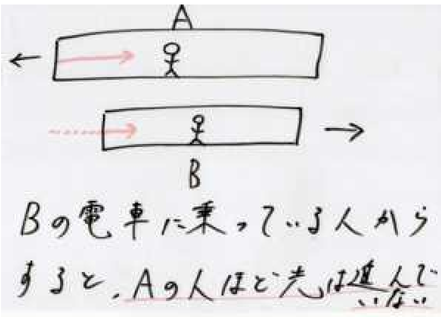


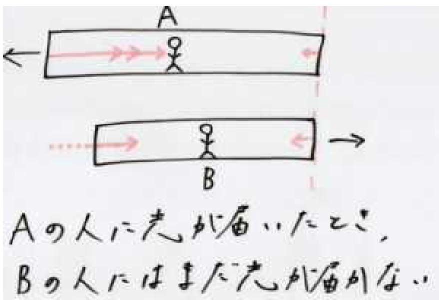
２－２

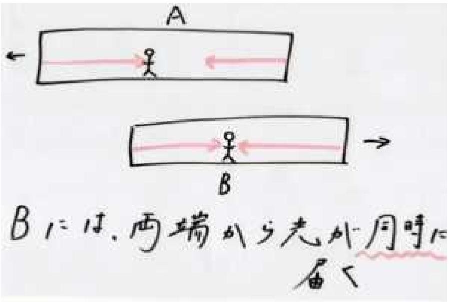
２つの電車の端が重なった時に光を真ん中にいる人に向かって発射する。

左端が重なった時に１発目を、右端が重なった時に２発目を発射する。すれ違う速度は時速１８万キロとする。









２－３

まず最初に電車の左端が重なってその瞬間に電車の真ん中にいる人に向かって光を発射する。電車の右端が重なるまでにも電車は移動している。電車２に乗っているひとからすると、電車１の人よりは光は進んでいない。

次に２つの電車の右端が重なりその瞬間２度目の光を真ん中にいる人に向かって発射する。そののち１発目の光が電車１に乗っている人には届くが、電車２に乗っている人にはまだ届かない。電車２は光から逃げるように移動しているため。最後に右端で放たれた光が電車２に乗っている人に届く。電車２では両端の光が同時に届く。

左の光に対して電車２は逃げていたが右側の光には接近していったが故、光が同時に発射されていないにも関わらず、両端から光が同時に届いた。時間にすると、光速不変の原理より電車１とすれ違ってから１、３秒後に同時に光が届いたこととなる。同時に照射されたということは同時に２つの電車の両端がそろったということである。「同時に電車の両端がそろった」ということは電車２からすると「電車１は長さ８０万キロに見えた」ということである。

２－４

このことより、「光の速度に近い速度で動くものは縮んで見える」ことが証明された。

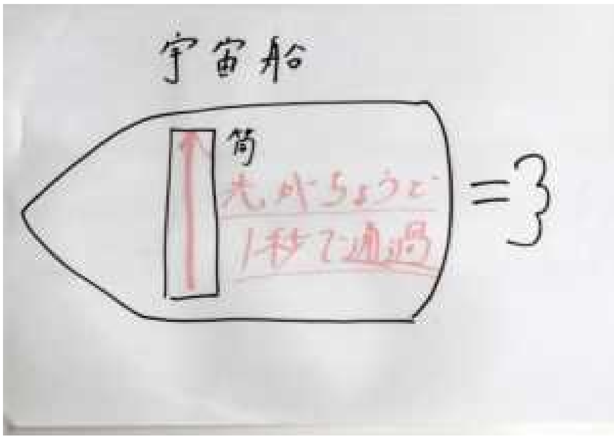
第３章

３－１

仮定　非常に速い速度で動く宇宙船を用意し、そのなかに光が丁度１秒で通過する筒を用意する。

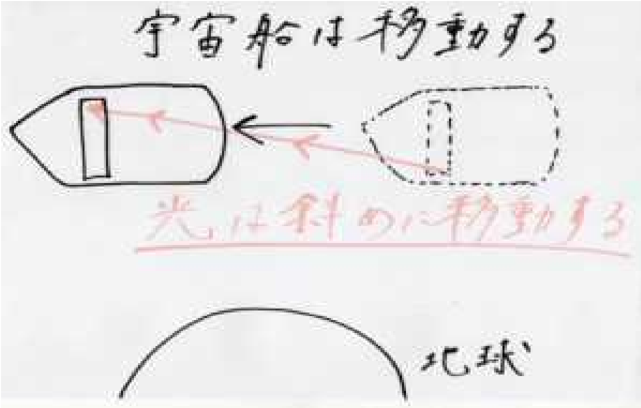
３－２

宇宙船からみた場合、当然筒のなかを光が通過するのに１秒かかる。



３－３

地球からみた場合、宇宙船も移動しているので、光も移動しているように見える。故に宇宙船に乗っている人より光が長く見える。故に宇宙船の中の人が見た光より、地球にいる人が見た光が長い。光速不変の原理より宇宙船の中の人からすれば１秒であることが地球上の人には１秒以上かかっていた。



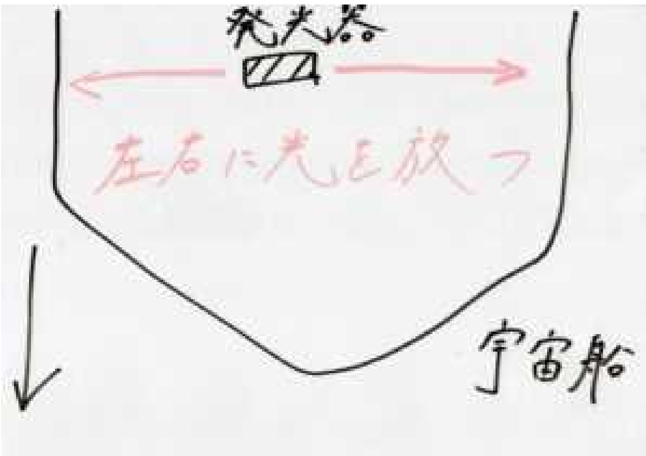
３－４

故に宇宙船中の人と地球の中の人とでは、時間の長さが違う。

第４章

４－１

仮定　宇宙船の真ん中に発光器を置く。



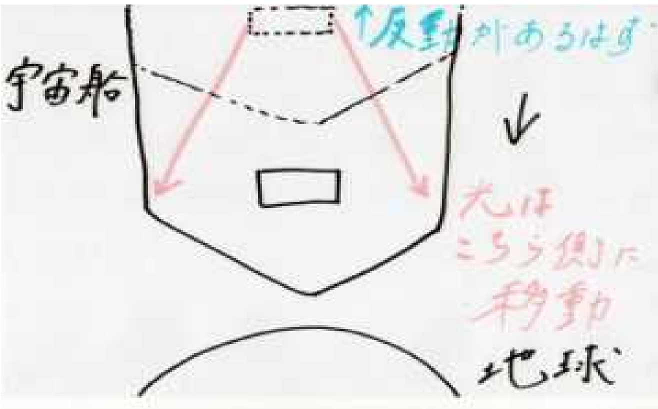
４－２

光にエネルギーはあるので、光を放つと発光器に反動があるが、相殺しあって反動がないと、見なせる。

４－３

地球から見ると光は自分たちのほうへ来る。光が前に照射されているということは、反動は打消し合わず、発光器は後ろへ下がる。これは矛盾である。

このことを発光器は光というエネルギーを失うことで、動かしにくさ（質量）を失ったのではないか、と解釈する。、



4－4

以上より、質量とエネルギーは同じ。ということが導かれる。

まとめ

以上より、特殊相対性理論について説明できた。

謝辞

蝦名先生、教授の方々本当にありがとうございました。

参考文献

http://科学情報誌.xyz/2016/05/22/post-1177/

http://www.rigelultragiant.com/entry/2017/07/30/230502

タイムトラベル

3年7組1番

① 研究背景

時が経つにつれ、科学技術は超進化し、宇宙についてわかることが増えてきた。しかし、未だ謎に包まれていることの方が遥かに多い。そこで私たちは、今現在までにわかっている情報をもとに、宇宙と時間の謎を解き明かしてみた。

② 研究目的・意義

宇宙の理論を応用して、タイムトラベルの実現方法を研究する。

③ 研究手法

インターネットによる調査。また、大学教授にお話を伺った。

④ 結果・考察

◎序章

タイムトラベルは映画の題材としても好まれ、 その度に様々な書籍などが発売される。また、テレビでも紹介される場合もあるだろう。 しかし、よく分からないと思う場合があるのではないだろうか。 今回は、この壮大なテーマについて少し触れてみる。

◎第一章　時間という単位

タイムトラベルを考える以上、時間ということをまず考えなければならない。 一瞬、時間というと、絶対的であると思われる方もいるだろう。「時間は皆、平等に流れる」と。 これは、あの有名なニュートンも考えていたことである。 時計は現在の生活を送るうえで、欠かすことの出来ないものである。 そのため、現代人は、時間は一定だと考えてしまう傾向が高いのかもしれない。 しかし、現在の物理学では時間は相対的であると考えられているのだ。

◎第二章　タイムトラベルと大きく関わるアインシュタイン

「時間は絶対的ではなく、相対的である」、 それを物理学の常識としたのはアインシュタインである。 タイムトラベルを考える上で、 「時間の進み方は観測者によって異なる」という特殊相対性理論と、 「重力によって時間の遅れが生じる」という一般相対性理論を欠かすことは出来ない。 例えば「ブラックホールに落ちた宇宙船」を考

えてみよう。ブラックホールは重力が大きいため、時間の進み方は遅くなっている（一般相対性理論）。 ブラックホールの外にいる観測者から見れば、時間はゆっくり動いているように見え、 宇宙船はゆっくり吸い込まれているように見えるだろう。 しかし、実際に宇宙船に乗っている人物はすさまじい勢いでブラックホールに吸い込まれているのだ（特殊相対性理論）。

◎第三章　未来・過去に行くということ

未来、過去に行くためには、何を解決すれば良いのか。 ここでは結果だけを紹介しよう。 もし、未来に行きたい場合には光速に近い亜光速で 宇宙旅行をすれば未来へ行く事が出来る。 また、過去に行きたい場合には光速よりもさらに速く進むことを要求される。

◎第四章　未来を旅する

もし、未来に行きたいと考える場合には、光速に近い速度で進む宇宙船を 作る事が必要だ。難しいことであっても、理論上は可能なので、 いずれ可能になるかも知れない。

◎第五章　過去に遡る

先ほど紹介したように、 過去に遡るためには光速（１秒間に３０万キロメートル進む）より速い速度の宇宙船を作らなければならない。 しかし、ここで最初の大きな問題が起きるのだ。 それは、光速に近づくほどエネルギーを投入しても速度が上がりにくくなるという問題である。 また、一般的に光速を超えることは出来ないと考えられている。

◎第六章　存在しない自分の謎

過去に遡るうえで、速さの問題と同時にもう一つ大きな問題が存在する。 それは、「母殺しのパラドックス」という有名な問題である。 もし、あなたが過去に戻ったら何をするだろうか。 それは人によって様々だと思うが、もし自分の祖先を殺したらどうなるか考えて欲しい。 普通に考えれば、自分の祖先を殺したら自分は産まれないはずである。 すると、タイムトラベルをした自分は存在しなくなるので、殺すことも無かったということになるのだ。 この問題については大きく二つの回答が有力視されている。「一つは何らかの邪魔が入り、それを実行することが出来ない」、 「それを行った地点で、また異なったパラレルワールド」が発生するという考えだ。 このパラドックスのために、過去に遡ることは出来ないと説明する学者も存在するほどだ。 ちなみに、「宇宙を語る」などで有名なホーキング博士（宇宙物理学者）は 「物理法則は過去へのタイムトラベルを許さないはず」と述べている。

◎第七章　過去へのタイムトラベルを可能にする魅力的な説

タイムトラベルで時空を超えて過去に遡ることによって「母殺しのパラドックス」という問題が発生することと、「光速を超える事は出来ない」と指摘されたことにより、過去へのタイムトラベルは無理であると考える人も多くなってきただろう。 しかし、タイムトラベルを理論上、可能とする説も提唱されている。 ここでは、古い順から主な三つの説を紹介しよう。

(1)１９４９年、クルト・ゲーテル博士（数学者）提唱

宇宙が速く回転していたとしたら、時空が歪められて時間軸が円を描いて 閉じてしまう場合があり、未来と過去が繋がってしまう。 つまり、宇宙を一周すると出発した時間に戻る事になり、時間を遡った事になる。 しかし、宇宙は高速回転していない。 しかし、一般相対性理論の下でタイムトラベルが可能である事を示したという 点で大きな意味があるという。

(2)１９８８年、キップ・ソーン博士（物理学者）提唱

映画などで宇宙船がワープすることがあるが、 その元になっているのがこの ワームホールを利用するという説だろう。 ワームホールは時空が歪んだチューブ状の構造をしており、入口と出口がある。 ワームホール内は時間がゆっくり進んでいるので、その中を通れば 実際には長い距離を短い時間で通ることが出来るという。しかし、通常のワームホールはすぐに潰れてしまう為、それを維持することが出来る高度な科学力が 要求される。

(3)１９９１年、リチャード・ゴット博士（宇宙物理学者）提唱

幅は原子核より小さく、無限の長さを持つ宇宙ひもは 質量は1センチあたり１０の１６乗トンという驚くべき値である。 この「宇宙ひも」は発見されているのではなく、物理学の理論からの推測である。 質量が大きいので時空が歪み、時間が変化することをタイムトラベルに利用するというものだ。 しかし、亜光速で移動している宇宙ひもを捉え、思い通りに運動させることが 要求されるので、現在からすると非現実的な科学力が要求される。

(4)タイムトラベルは数学的に実現可能

未来や過去へ時間を飛び越えて移動するタイムマシンは、科学的に本当に不可能な想像上の産物であり続けるものなのであろうかというテーマに、一石を投じるような研究発表が先日された。数学的に、タイムトラベルが可能であることが証明されたというのだ。イギリスの「Daily Mail」紙が、この発表につい

てレポートしている。
カナダのブリティッシュ・コロンビア大学のベン・ティペット教授による最新の研究発表によれば、タイムトラベルは不可能であると思われる見解が多いが、数学的には可能であるとのことである。
教授によれば、私たちの生活している空間は、縦横奥行で認識される 3 次元空間であるが、タイムトラベルを考える場合に、時間という 4 つ目の次元を切り離して考えてはならず、4 つの次元がそれぞれ異なる方向へ伸びている時空連続体として認識しなければならないという。
さらに、その時空連続体はアインシュタインの理論にのっとり湾曲しているので、日常生活で目にする 3 次元の世界から想像することは難しいが、この時空連続体の湾曲こそがタイムトラベルに重要な意味をもっているとのことである。
わかりやすい例でいえば、もし恒星や惑星がアインシュタインの理論を無視する物理法則で運動していれば、星は直線的に移動し、恒星の周りを惑星が公転するという現　象は起き得ないとのことらしい。
また、時間という 4 つ目の次元の軸も、巨大な重力を持つブラックホールに近づくにつれて遅く流れるという証拠も見つかっており、湾曲していることが確認されている。よって、ティペット教授によれば、そういった湾曲した時空連続体に「Traversable Acausal Retrograde Domain in Space-time (時空間における横断可能で非因果的な逆行可能領域)」と呼ばれる泡のような領域をつくることによって、時空間を自由に前後することができるという計算が成り立つとのことである。
この泡状の領域は、光よりも速い速度で移動することができるので、タイムトラベルが可能であることが証明されたということである。

⑤ 結論および今後の展望

以上、紹介してきたように 理論上、未来には行けるが、過去は 不可能と考える学者が多い。 「過去に遡ることは未来に行く以上に困難」ということだ。 生物が登場した時からずっと変化する事が無い物理学の法則を考える と、日常の生活と深く関係していることを改めて実感する。 それは、過去は変える事は出来ないが、そこから先の未来は困難だとしても 変える事が出来るということだ。今後の展望として、タイムトラベルをして、未来や過去に干渉したときに生じる矛盾や、その矛盾が生じたときに、“現在 ”の自分にはどのような影響があるのか、などを研究していきたいと思う。

◎おまけ雑学　なぜタイムマシンで未来人は訪れないのか

もし、なぜ将来的にタイムマシンが完成したとしたら現代には訪れないのか？ とい

う議論が持ち上がり、「母殺しのパラドックスが影響している」、 「目撃される UFO が

そのタイムマシンである」など、様々な結論などが導き出されるが、 真偽は別として、「タイムマシンを誰も作っていないから」と考えられる。現在のどの理論でもタイ

ムマシンを使っても、タイムマシンを作ったよりも前の時間には戻ることが出来ないそうだ。

⑥ 謝辞

支えてくれた先生、共に研究してくれた仲間たち、全てに感謝します。

⑦ 参考・引用文献

http://note.chiebukuro.yahoo.co.jp/detail/n3337/ タイムマシンの実現性

地震予知について

3704

１研究要綱

動機

昨年度私たちのグループでは液状化現象について調べました。液状化現象について調べましたが、その前に地震が来ることを知っていれば、液状化現象に対処しなくてもいいのではないかと考えたからです。なぜそのように考えたかというと、液状化現象に対処する額が予想以上に高かったからです。それに加えて、地震が来ることを事前に知っていることでより早く自身のみを守れることにもつながると考え研究することにしました。

研究内容

私たちはインターネットの文献などから地震予知について調べました。

9 月 26 日午後、北海道南部・浦河沖で M5.5 の地震が発生し、函館市で最大震度 4 を記録した。その 2 日前の 24 日朝、北海道亀田郡七飯町で、白い虹が撮影された。「白虹」（しろにじ、はっこう）もしくは「霧虹」などと呼び、空に虹のような弧を描くが、その色は七色ではなく、白いものだ。これを伝えたウェザーニューズでは、『激レア！北海道で「白い虹」現る』と見出しがつくほどの珍しい現象だ。どうやらこの白虹が現れると、数日後に地震が起きることが多いとして、多方面で注目を集め始めてているようだ。また、最先端の地震予知研究では大気中の「ラドン濃度」も重視されており、これも併せて紹介したい。

■白い虹→地震発生のケースがこんなに！

白虹　画像は、「ウェザーニュース」より引用

白虹と地震との関係を示す前例を、以下にいくつか紹介したい。まず、今年 5 月 29 日にも、同じ北海道の七飯町で白虹が撮影されていた。この時にも、2 日後の 5 月 31 日に千島列島北西沖（シムシル島東北沖）で M6.1 の大きな地震が発生した。また、6 日後の 6 月 4 日には、より近い十勝沖で M4.4 の地震も起きていた。今年 6 月 17 日には、神奈川県で白虹が撮影されたが、3 日後となる 6 月 20 日には千葉県北西部で M4.6 の地震が起きた。

2015 年 4 月 27 日朝には、山梨県富士吉田市でアマチュア写真家によって白虹が撮影されたが、2 日後の 29 日に山梨県中・西部で M2.1、6 日後の 5 月 3 日には群馬県南部で M4.5 の地震が起きている。

それだけではない。白虹は、海外でも出現している。今年 8 月 22 日には、米ミズーリ州ニューヘブンで、写真家がドライブ中に白虹を撮影した。実は、ミズーリ州とニュージャージー州の県境付近では現在に至るまで群発地震が起きており、この 5 日後の 27 日には M2.5、18 日後の 9 月 9 日には M3.4 の地震が起きていた。

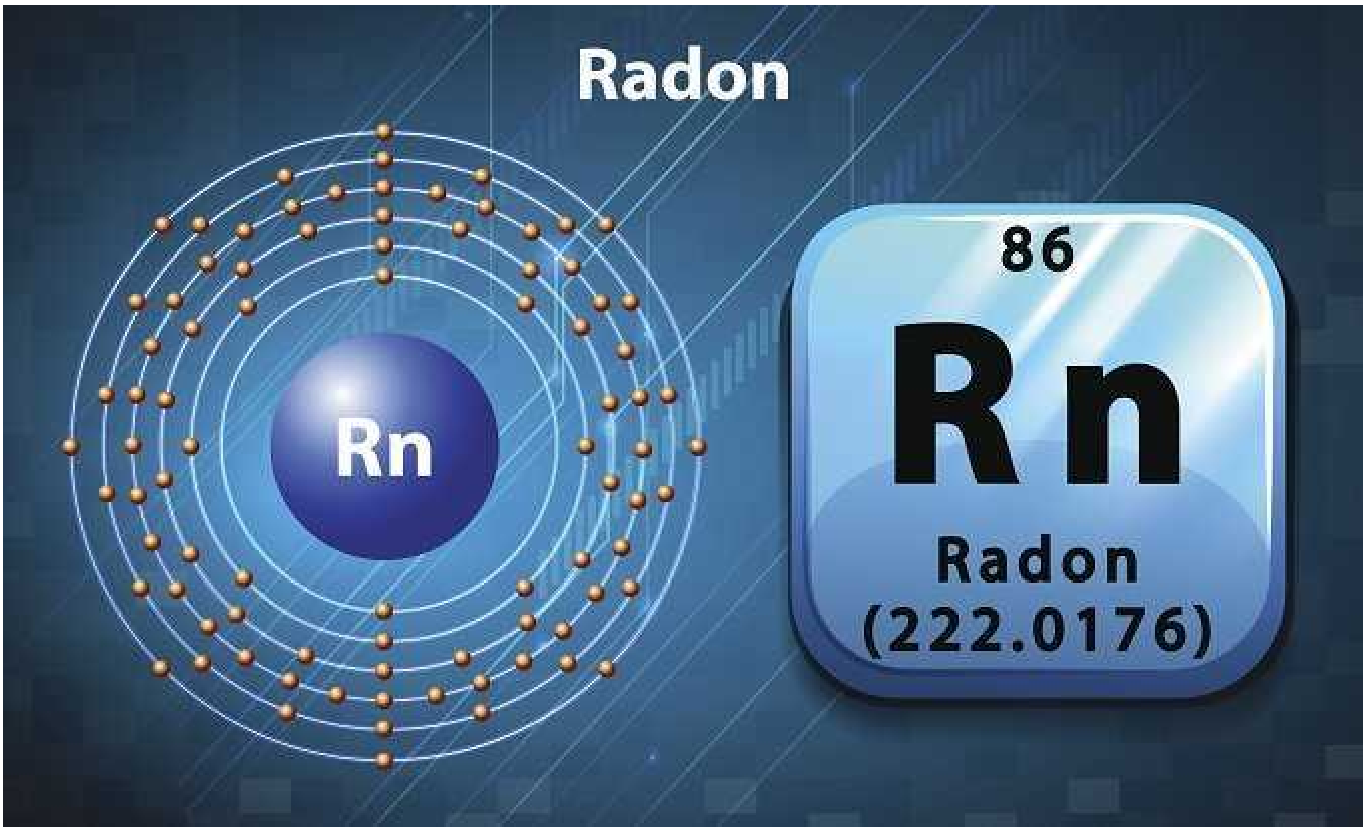
■「日暈」の後にも地震が起きる

日暈　画像は、「Wikipedia」より引用

ところで、この白虹とよく似た「暈」（かさ）と呼ばれる気象現象がある。これは、太陽や月のまわりに薄い雲がかかって周囲に光の輪が現れる大気光学現象だ。太陽のまわりに現れた場合は「日暈」（ひがさ、にちうん、ハロ）とも呼ばれ、虹のように弧を描く場合に「白虹」とも呼ばれる。つまり、白虹は日暈と同じ現象なのだ。では、日暈が現れた時には、それが地震の前兆現象となる場合があるのだろうか。

筆者がこれまでに収集してきたデータを解析する限りでは、やはりその可能性はあるようだ。いくつか、日暈が観測された数日後に地震が起きた例を挙げてみよう。2010 年 10 月 21 日に、インドネシア西スマトラ州パダンで日暈が見られたが、5 日後の 10 月 26 日にスマトラ島沖で M7.7 の大地震が発生した。2014 年 5 月 5 日には、中国チベット自治区ラサ市で鮮やかな日暈が現れ、大きな話題となったが、その日の夕方にタイ・チェンライ県で M6.0 の地震が発生した。

日本における最近の例としては、今年 7 月 12 日に岩手県滝沢市で日暈が観測されたが、4 日後の 7 月 16 日に、秋田県内陸北部で M4.5、最大震度 3 の地震が起きた。このように、日本でも海外でも、日暈や白虹が現れた数日後に、周辺地域で地震が起きることが多いようだ。



イメージ画像：「Thinkstock」より

■大気中のラドン濃度にも注目

さて、白虹や日暈が地震の前兆現象である可能性についてはおわかりいただけただろう。しかし近年、最先端の研究において、より正確な地震予測につながる方法として期待されているのが、「大気中のラドン濃度」だ。地中から出るラドンガスが、地震の前には増大するということが判明しつつある。

このことが初めて認識されたのは、今から半世紀前となる 1966 年のことだ。4 月 26 日にウズベク共和国（当時はソビエト連邦）の首都で起きたタシュケント地震（M5.0）では、同市の炭酸泉水に含まれるラドン濃度の値が地震前に急増し、地震の後に元に戻っていたのだ。このことが世界中で大きな話題となり、地下水の化学的研究が盛んになった。その後、日本でも精密なラドン測定器が開発され、現在に至るまで地震との関連性が研究され続けてきた経緯がある。

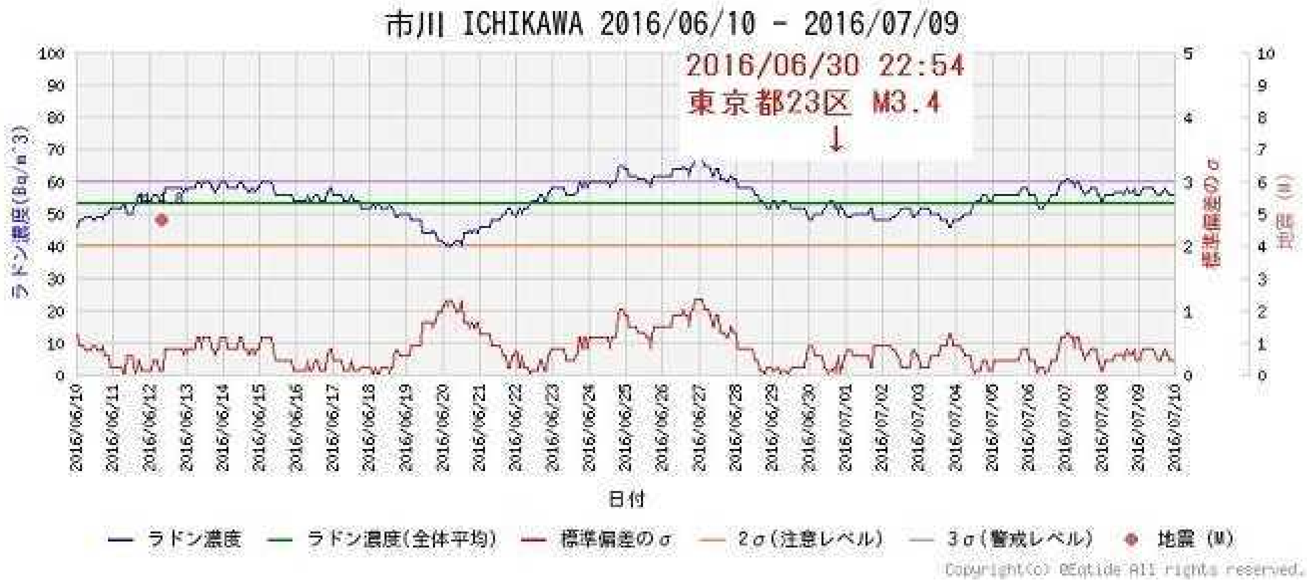
ラドンとは、天然に唯一存在する希ガスであり、ウランが存在すると常に発生しているが、通常は外部に出ることなく岩石内にとどまっている。だが､岩石に亀裂が入ることによって流出し、地下水とともに地表近くまで上昇すると考えられている。このため、地震前に地下で起きている岩石破壊こそが、地下水や大気中のラドン濃度上昇に関係している可能性が囁かれているのだ。

■ラドン濃度に異変→地震発生のケースもこんなに！

本記事でラドン濃度を紹介するのは、前述した先月 26 日の浦河沖地震（M5.5）の時、実際に

大気中ラドン濃度に上昇が見られたからだ。『RadGraph - 大気中ラドン濃度グラフ集』というWeb サイトでは、札幌・市川・広島などで観測されたラドン濃度のグラフをリアルタイムで表示することができる。筆者が主宰するサイト『地震前兆ラボ』の「リアルタイム地震前兆データ」のページでも、いくつかの観測点のグラフを掲載させていただいているが、浦河沖の地震の数日前から、札幌のデータが上昇しているのに注目していたところ、まさに地震が発生したのだ。下記がそのグラフで、浦河沖で地震が発生したのは、上昇していた値が下降に転じた直後だったことがわかるだろう。

ほかにも、ラドン濃度の測定データで、地震との関連を示す顕著な例をいくつか挙げてみよう。まず、神戸薬科大学が連続測定していたラドン濃度では、1995 年の阪神・淡路大震災の直前にだけ明確に増大し、地震後に元の値に戻っていたという。そして、1978 年 1 月 14 日の伊豆大島近海地震（M7.0）の前にも、ラドン濃度の計測で異常な値が測定されていた。しかしこの時は、通常ならば増大するはずのラドン濃度が減少したという。



筆者が観測した例としては、前述の「大気中ラドン濃度」サイトで、市川観測点のグラフが今年 6 月下旬に上昇し、ピークを過ぎたあとで下降へと転じ、その後に元の値に戻った（収束した）頃の 6 月 30 日、東京都 23 区で M3.4、最大震度 3 の地震が起きている。千葉県市川市は震源からおよそ 30km ほどの近さなので、M3 程度の小規模でも顕著な値が出たと思われる。筆者の経験でいうと、今回紹介した 2 件のラドン濃度グラフに見られるように、グラフの値が上昇してピークを過ぎ、下降中あるいは下降が終わった（収束した）直後に地震発生となることが多いようだ。

こうして見てきたように、白虹・日暈といった大気の光学現象を観測したり、ラドン濃度の値に注意を向けることによって、いまだメカニズムは判明せずとも自分なりの「地震予知」ができ、それが個人レベルの防災につながるのではないだろうか。ネット上では、地震の前に異臭がしたというような情報を目にすることもあるが、これなども大気に混じったラドンガスによる影響だったのかもしれない。今後のさらなる研究の進展に期待したいところだ。

百瀬直也（ももせ・なおや）
超常現象研究家、地震前兆研究家、ライター。25 年のソフトウエア開発歴を生かし IT 技術やデータ重視の調査研究が得意。ブログ：『探求三昧』、『防災三昧』、Web：『沙龍家』、Twitter：@noya_momose
※百瀬氏が執筆したコンビニムック『2016 予言 驚異のシナリオ』（ダイアプレス）、大好評発売中！

参考：「Earthquake Track」、「CRI」、「緑の goo」、ほか

2 考察

これらの文献から地震の予知は可能だと分かったが私としては科学技術が発達している世の中なのでそちらに期待したいと思う。だが、知っていることでいち早く身を守る可能性が上がるので覚えておこうと思う。

消えた反物質の謎

３年７組８番

要旨

　宇宙には未知なる物質が多く存在する。これから紹介するのがそのうちの一つである反物質だ。星同士がぶつかって起きた爆発（ビックバン）によって、宇宙が誕生したときに物質と反物質というものも同時に誕生した。【物質と反物質は質量が等しく、＋と－の性質のみが異なる。】しかし、その直後に反物質のみ消滅した。理由は未だ解明されておらず、多くの科学者たちが現在調査中である。近年、世界的にも注目を集めている反物質。調査を進めていくうちに驚くべきことがいくつも明らかになってきた。この物質によって、近い未来、私たちと宇宙との関係性は大きく変わるだろう。
２０１１年に理化学研究所は、**反物質である反水素原子の 1000 秒以上の閉じ込めに成功した。**反水素原子とは、陽子の反粒子である反陽子と電子の反粒子である陽電子が結合したものである。

序論

研究背景

　ゼミ内で宇宙の誕生について調べているうちに宇宙の誕生には物質と反物質が深く関わっていることがわかった。そこで現在、地球上にはほとんど存在していない反物質について調べることにした。

研究目的・意義

　反物質の歴史、現在の存在場所、特性などを調べ、近未来型の最新物質として地球で活用、応用できる方法を探すため。

研究手法

　図書館の蔵書では、宇宙科学に関する雑誌、インターネットでは反物質に関する基本的な情報を調べ、そのようにして様々な情報を集めた上で、実際に研究している方の生の声を聴き、さらに深く追究するために弘前大学理工学部数物科学科の浅田秀樹教授にお話しを伺った。

結果・考察

上文でも示したように、反物質とは宇宙の誕生とともに生成された。これは物質と衝突すると、消滅するという性質をもっているので、物質量が圧倒的に多い現在の地球上には存在しない。しかし、宇宙空間には少量ではあるが、存在している。（衝突する物質が少ないため）インターネットでの調査・浅田教授のお話から、地球上で活用できる方法がいくつか見つかった。１つは、エンジンとしての利用だ。反物質は自身の質量の２００％のエネルギーが放出される。これは対消滅により物質を反物質とくっつけてやるだけで勝手に反応が起こってエネルギーを放出するため、ほぼ100%そのまま利用出来る。ちなみに物質を生み出す核融合【２つの原子核が十分近づくと，原子核の間に働く引力が反発力（クーロン力）に打ち勝って１つに融合し，新しい原子核が生まれること】はその反応を開始・維持するために莫大なエネルギーが必要であるため、差し引きで得られるエネルギーは質量の1000分の１よりももっと少ないので、どれほど反物質のエネルギー効率がよいかわかるだろう。具体的には１ｇで約９０兆Ｊのエネルギーだ。

ちなみに・・・このエネルギー量は…

・マグニチュード６．３とほぼ等しい。

・４０℃の風呂（３００Ｌ）を５７０万回沸かすことが可能。

・ラーメン（１００℃）を１４億食作ることが可能。

このように高効率である反物質エンジンを用いて、通常のエンジンよりも遠距離まで移動することが可能になるであろう。

もう１つの活用法は、隕石衝突の回避である。

これは反物質の特性（対消滅）を利用して隕石と反物質を衝突させて、隕石を粉砕し、被害を軽減することができると考えられている。この利点としては、１つ目の活用法でもあったように、高効率であるがゆえに、少量でも十分対応可能なエネルギーを持っているということだ。

そして反物質（陽電子）を作る方法は主に３種類ある。

① 陽電子を発生させる。　地球上にはほぼ電子しか存在していないので、陽電子を放出する放射線物質で発生させる。

② 超高温加熱。　物質を１００億度以上に加熱すれば陽電子は自然発生する。

粒子加速度実験では、もう100億度などは低温で、4兆度が達成されている。

素粒子レベルのことなので、温度は高くても熱量はさしてありません。それでも、素粒子が反応するときに強いガンマ線などが出ますし、粒子加速器内に核分裂性の物質ができることもあり、それについては対策がなされている。

（超高温の世界では電子と陽電子の質量は平衡状態にあるから）

③ 時間を反転させる。　反物質とは時間を逆方向に進む物質である。

よって時間を反転させると物質と反物質の総量は逆転する。（これに関しては現段階で不可能だが…）

このように実際作成できる方法は現実問題①②のみだ。このことから反物質を作る方法は限られているので、作成方法にも熟考が必要である。

しかし最近の研究では反物質の存在を証明する研究成果がいくつか発表されている。
　京都大学の宇宙物理学のチームは２０１７年２月某日新潟県柏崎市で雷雲から放出されるガンマ線を観測した。
その結果、反物質の一種である「陽電子」が消滅する際に出る特有のガンマ線（放射線の１つで物質を透視する能力が強いためレントゲン撮影などに用いられている）を検出することに成功した。また、雷によって作られた窒素の放射性同位体から、陽電子が発生するという仕組みも突き止めた。雷雲の中では、１回の放電で数兆個の陽電子が作られ、１０分間ほどの間に発生と消滅を繰り返すと推定されるという。
この結果から反物質が実は身近な場所で生まれていることが明らかになり、反物質の実体の実現に向けて前進したと思われる。
　また、高エネルギー加速器研究機構は３月中にも、物質とぶつかると消滅する「反物質」が宇宙から消えた謎の解明を目指し、加速器「スーパーＫＥＫＢ（ケックビー）」の試運転を始める。電子と、電気的な性質が反対の陽電子をぶつけて宇宙誕生時の状態を再現し、新たな検出器で測定する。６月に試験的に測定を始め、2019 年に本格的な観測を始める。

結論および今後の展望

　反物質は非常に大きなエネルギーを持っていることが分かった。今回の検証の結果、
反物質を使用すると莫大なエネルギーを要するものも利用できるのではと考えた。
実際、反物質を作ることは可能である。しかし、反物質を作るには、さまざまな装置や時間、人手を要するので、反物質作成のために必要な金額は１ｇあたり約５０００兆円と言われている。つまり、１ｋｇならば５京円である。ゆえに気体程度での生成なら可能である。
ちなみに、現在世の中に出回っている通貨量は約２京円。
（一度に０．００００００１ｇ作ったとしても、５０００万円程かかる）
反物質は非常に有用だが、このような理由から大量に生産することはできない。
反物質の活用・開発方法の研究とともに金銭面も今後の課題である。
結論として、今後、反物質は私たちの住む地球と宇宙をつなぐ重要なパイプとなるだろう。
そして私たちの生活をますます豊かにしてくれるだろう。
　実は 2000 年に NASA のチームが発表した手法では、質量 100 キログラムの深宇宙探査機を 50 年間加速させつづけるために必要な反物質の質量はわずか 100 マイクログラム（1 マイクログラム＝100 万分の 1 グラム）で済むため、実現の可能性が一気に高まった。研究チームの一員で、

NASAとアメリカ空軍のための反物質の応用研究を専門とするコンサルティング会社・Synergistic Technologiesの創設者であるGerald Smith氏によると、「反物質推進に必要な資産はこれまでの見積もりにくらべてはるかに少なくて済むのです」とのこと。論文は、「反物質の宇宙探査利用への見通しは結局それほど非現実的なものではなく、それどころかひじょうに現実的なのかもしれない」と結論している。現在のところこの手法はコンピュータ・シミュレーションにより検証された段階であり、今のところは充分な反物質が得られないため、実際の実験はまだ行なわれていない。反物質エンジンを搭載した探査機による宇宙探査を実現させるには、年間100マイクログラム程度の反物質生成が必要となる。そのためには、反物質の貯蔵や運搬などを含むひじょうに多岐な技術的問題を解決し、反物質生成のための新施設の建築も必要となる。

新たな研究によっていままで理論で予測された現象の確認にすぎなかったものが、実際に現実の実験ができるようになり、何が起こるかも未知の状況で、新たな発見の可能性も十分にあり、ついに素粒子の実験が理論を超える瞬間に近づいている。

今後も日々反物質に関する研究に目を通し、自らの研究をよりいっそう深めていきたい。

謝辞
今回フィールドワークで貴重なお話を聞かせていただいた朝井教授、常日頃ゼミ活動でお世話になっている蝦名先生へ感謝申し上げます。

参考文献

http://www.astroarts.co.jp/news/2000/10/31antimatter-drive/index-j.shtml

特殊相対性理論とその応用

2ゼミ　3714

1　はじめに

相対性理論とは、アインシュタイン（1879-1955、ドイツ、理論物理学者）が 1905 年から作り上げた理論であり、その内容を簡単に述べても「空間が歪む」「ものが縮む」といった想像すらし難いような高度な内容や、物理学において広く知られている「Ｅ＝ｍｃ^2」のような内容が多く含まれている。それゆえに、私たちが日常的に生活している範囲の中では、全くと言っていいほど関りがないように思える理論として認識されているが、実際には日常生活の中でも、この相対性理論が応用されているものがあり、その一つの例としてＧＰＳがある。

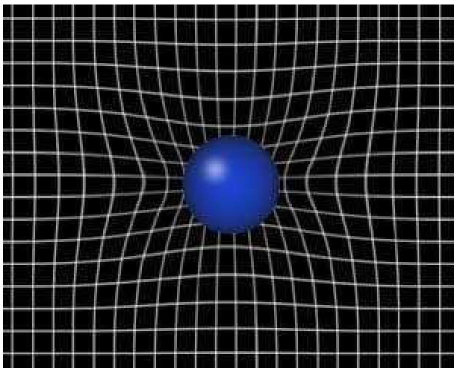
私たちは、このようにほとんど周知されていないにも関わらず、現代社会においても重要な役割を担っている相対性理論について、それがどのような理論で、何について論じられているのかを多くの人にも知ってもらいたいがゆえに、相対性理論の中でも「特殊相対性理論」に重点を置いて研究を行った。そこで、本稿ではその特殊相対性理論を主とし、実際に特殊相対性理論の実態について掘り下げていきたいと思う。

2　特殊相対性理論に見られる現象

相対性理論には「一般相対性理論」と「特殊相対性理論」の 2 種類が存在し、その違いを簡潔に述べると、「重力を考慮するかしないか」ということであり、特殊相対性理論は重力の影響を考慮しない、より単純な理論である。重力というのは、一般的に常にはたらく力であるので、その影響を無視するということはかなり特殊な状況下であるということが考察でき、それゆえに「特殊」相対性理論と名付けられていると言えるだろう。重力とは時空の曲がり（図１）であるので、一般相対性理論は曲がった空間を前提に、特殊相対性理論は、空間に時間を組み合わせた「ミンコフスキー空間」と呼ばれる、ミンコフスキー（1864-1909、ロシア、数学者）が特殊相対性理論を幾何学的に説明づけるために用いた空間で考えることとなる。

では、これより、その特殊相対性理論の現象及び内容、そこから考えうる考察を述べていく。

（図１）重力による空間の歪み



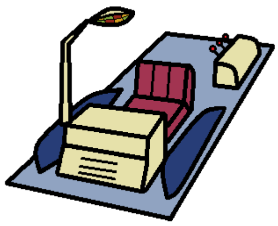
（ｉ）光速に近づくと、時間の流れが遅くなる

この章において、光の速度に触れるために、基本的な説明をあらかじめ述べておこうと思う。光の速度（光速）というのは、およそ 3.0×10^5[km/s]というもの凄く速く伝わるものであり、「速さ」という概念が存在するものの中では、現在、最速で伝わるものだと考えられている。

ではここで、実際に現在の技術では不可能なことではあるが、この光速で移動することができ

る宇宙船があることを想像してみてほしい。この宇宙船に実験者Ａを乗せ、それを地球上で観測している、観測者Ｂがいる。両者には事前に同じ時刻を指し示す時計を地球上で持たせ、この条件下で宇宙船を動かす。十分な時間を経過させたのち、地球に帰還してきた実験者Ａと地球で観測を行っていた観測者Ｂの時計を確認してみると、観測者Ｂの時間のほうが、実験者Ａの時間より進んでおり、実験者Ａの時間が遅れることが推測されている。これは、光速には及ばないが、光速近くで実際に時間を分かるようにして物体を動かしたときに実際に得られたデータである。つまり、光速近くで動くように見えるものの時間軸は現実世界の時間軸より遅くなる、ということが言える。

（図２）タイムマシンのイメージ



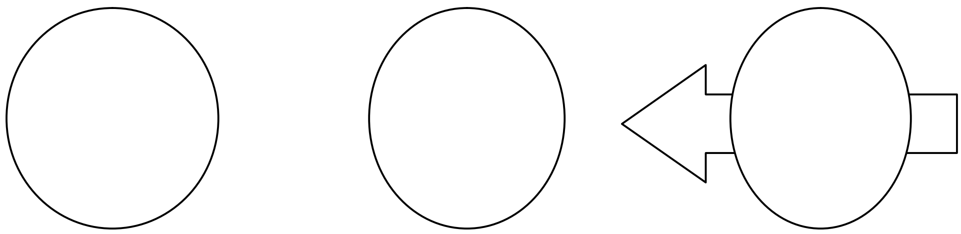
ただし、ここで考察できることは、「タイムマシン」（図２）の可能性についてである。タイムマシンは、過去、未来へと時間軸を移動することの機械とされているが、たとえ高速でタイムマシンが動くことができたとしても、時間の進みが遅くなるだけであり、過去へは進めないのでは、と考察を行った。しかし、このことに関しては、「ブラックホール」「ホワイトホール」（後述参考）についても審議されるゆえ、この段階で決定づけることは不可能である。

また、光速としてきたが、実際では、極微小の変化ではあるものの、我々が普通に動くだけでも発生する現象であるという。極微小なゆえに、我々はその時間のずれという変化を全く感じることがないというだけである。

（ⅱ）光速に近づくと、空間が歪む

（ⅰ）と同様の実験を行ったとする。実験者Ａの宇宙船を、仮に観測者Ｂが見ることができると仮定したとき、観測者Ｂは宇宙船が縮んでいるように見えるのである。光速で動く物体をベクトル表示した際、その同方向に物体が縮む様子が観察される。この現象においても、（ⅰ）と同様、極微小の変化が少しの動きでも発生している。わかりやすくすると、「静止している野球ボール」、「プロのピッチャーが投じる 140[km/h]の野球ボール」、「工学を用いて開発されたピッチングマシンによる 300[km/h]の野球ボール」（図３）では、これもまた極微小で気づかないだけではあるが、ボールの進行方向に縮み、その縮む量も、速い物体ほど大きく縮むのである。

（図３）ボールの進行方向はすべて向かって左側とする。極端なイメージでは、ボールが以下のように縮むということになる。



「静止」　「140[km/h]」　「300[km/h]」

（ⅲ）光速に近づくと、質量が増える

これは、物体が光速を超すことができない証明にもなり得るのではないかと考える。例えば、走っている間は、立っている時よりも体重、質量が大きくなるということになる。このことに関して、徐々に速度を上げていき、光速に近づけていくと、質量が無限大になってしまうので、物体が光速を超すことができないと考えられるはずである。

また、質量と速度、エネルギーの関係を示したものが、先述した「Ｅ＝ｍｃ^2」（Ｅ：エネルギー、ｍ：質量、ｃ：光速）である。光速は一定（ｐ１参考）であるので、質量とエネルギー量は比例関係であることが考えられる。すなわち、重い物体というのは、それだけでエネルギーが大きく、軽い物体は、逆にエネルギーが小さいと言うことができる。

３　ブラックホールとの関連性

ブラックホールは、一般相対性理論に大きくかかわってくる内容であるが、こちらでも簡単に触れておこうと思う。ブラックホールは重力が極端に大きくなったために、光でさえも脱出できないような空間、天体のことを指し、その内部の様子は外部から観察が不可能である。そのため、ブラックホールの先に何があるのかは不明であり、特異点（重力が無限大の点）の有無すらも不明なのである。ある説では、ブラックホールの先には「ホワイトホール」という、ブラックホールとは逆で、物を放出する天体があるといわれている。まだ、発見された事例もないが、これが先述のタイムマシンのような、時空の移動のカギとなるのではないかという指摘もある。

４　まとめ

相対性理論とは、アインシュタインの考えた「光」や「重力」などに関する理論のことで、特殊相対性理論と一般相対性理論の違いは、重力や加速・減速などの影響の考慮による。

特殊相対性理論は、物体が光速に近づくと「時間の流れが遅くなる」「空間が歪む（縮む）」「質量が増える」などといった現象が起き、また、アインシュタインの公式「Ｅ＝ｍｃ^2」で質量とエネルギーが比例関係にあることが分かっている。

５　謝辞

今回の論文作成にあたり、昨年までのゼミ活動に助言を頂いた、弘前大学理工学部・仙洞田教授、また、指導教員、一昨年・昨年のゼミのメンバーの方々には、非常に自分自身の物理学全体への興味関心を広げるきっかけを与えてくださったことに非常に感謝しております。ありがとうございました。

６　参考文献

・作者名不明（2016）「科学情報誌」〈http://科学情報誌.xyz/2016/05/20/post-1133/〉
2018 年 3 月 15 日アクセス
・作者名不明（2015）「子供に『相対性理論って何？』と聞かれた時のために概要を分かりやすく簡単に説明してみた」
〈http://www.yukihy.com/entry/2015/01/20/%E5%AD%90%E3%81%A9%E3%82%82%E3%81%AB%E3%80%8C%E7%9B%B8%E5%AF%BE%E6%80%A7%E7%90%86%E8%AB%96%E3%81%A3%E3%81%A6%E4%BD%95%EF%BC%9F%E3%80%8D%E3%81%A8%E8%81%9E%E3%81%8B%E3%82%8C%E3%81%9F%E3%81%A8%E3%81%8D〉
2018 年 3 月 15 日アクセス
・作者名不明（2017）「ミンコフスキー空間」
〈https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9F%E3%83%B3%E3%82%B3%E3%83%95%E3%82%B9%E3%82%AD%E3%83%BC%E7%A9%BA%E9%96%93〉
2018 年 6 月 14 日アクセス

地震雲による地震予知について

3733

【研究要綱】

地震の多い日本で、現在使われている緊急地震速報よりも早い、地震の前日以前に予知し、防災をするための地震予知の方法について調査した私は、調査に費用も掛からず情報収集のしやすい、気象と地震の関係に着目した。地震の前兆とされる気象現象は虹の一種である日傘や、地震雲と呼ばれる 10 種類の雲の出現など様々だが、私は地震雲に焦点を当て、地震雲の観察による地震予知について研究した。その結果 3 度地震雲が観測され、いずれも発生から 1 週間以内にやや大きい地震が発生した。そこで、地震と雲の発生・形成には関連性があるという仮説を立てた。

【研究手法】

研究手法は以下の通りである。

①インターネット、本で地震雲の形状を調べる

②空を観察し地震雲を探す

③観測された場合、日時・方角を記録する

④インターネットを利用し、全国の地震情報を集め、③と照らし合わせる

【本論】

プレートの運動でプレートが擦れあった際、プレートを構成する元素がイオンとして空気中に放出され、そのイオンが雲の形成に影響を与える可能性があることが知られているが、私はイオンが地震雲を形成するという仮説を提案する。一般的に地震の前兆で現れる雲としては、断層形、帯状形、波紋形、放射状形、肋骨状形、弓状形、竜巻形、稲穂形、さや豆形、レンズ雲の 10 種類が挙げられる。地震雲の多くは雲の発生から 1 週間以内に観測された方角で地震が起こると言われている。私は 2017 年 4 月 20 日から空を観察し 3 度地震雲を観測した。

一つ目は 2017 年 8 月 25 日午前 7 時 40 分、岩手県滝沢市鵜飼高柳(北緯 39.7 度、東経 141.1 度)で南南東に写真 1 のレンズ雲を観測した。その翌日 26 日午前 4 時 20 分、福島県浜通り(北緯 37.0 度、東経 140.6 度)を震源とする、震源の深さは約 10km、マグニチュード 4.7、最大震度 3 の地震が発生した。

二つ目は 2018 年 5 月 6 日午前 11 時 51 分、青森県南津軽郡藤崎町(北緯 40.4 度、東経 140.3 度)で南西に写真 2 のレンズ雲を観測した。当日午後 9 時 20 分、熊本県熊本地方(北緯 32.7 度、東経 130.7 度)を震源とする、震源の深さ約 10km、マグニチュード 3.9、最大震度 4 の地震が発生した。

写真 1

写真 2

写真 3

写真 4

三つ目は 2018 年 5 月 20 日午後 1 時 2 分、青森県青森市金沢(北緯 40.5 度、東経 140.4 度)で南西に写真 3 の帯状型地震雲、写真 4 のレンズ雲を観測した。その 5 日後である 25 日午後 9 時 13 分長野県北部(北緯 36.9 度、東経 138.6 度)を震源とする、震源の深さは約 10km、マグニチュード 5.2、最大震度 5 強の地震が発生した。

いずれも方角もおおよそ合っていて、かつ雲の観測から地震発生までの時間が 1 週間以内であり、関連性が認められるのではないだろうか。

この三度で地震雲は確実に地震を予知できるとは言えないが、過去には上出孝之氏が地震雲の観察により 1983 年 8 月 26 日の大分県を震源とするマグニチュード 7.0 の地震、1995 年 1 月 21 日には阪神淡路大震災の余震、また、2000 年には 6 月 6 日のトルコでの地震など、数多くの予知を的中させている通り、地震雲を基に地震の予知に成功した例が多数存在する。私はこの点に着目し、地震雲の形状と地震の関連が周知されれば自分

で自分の身を守る手段として地震の多い日本のみならず、世界の地震の多い国や地域でも高度な科学技術を必要としない地震予知が可能になると考える。

しかし地震雲による地震予知には問題点もあり、一つは地震雲そのものの存在が、現代の科学で証明されていないことだ。以前から地震雲があるのではないかという話題は出ていたが、地震と雲に厳密な関係を見つけることは未だできていない。また地震学者の間でも地震予知の可能性については否定的な意見が多いため、それを調査すること自体が少なく、関係の解明が現在困難な状況にある。

二つ目は帯状形地震雲は飛行機雲、レンズ型地震雲は積乱雲など、地震と関係の無い雲に似た形の雲があり、その区別が難しいことだ。先に挙げた上出氏の予知も全て的中していたわけではなく、予知が外れた件もあった。地震雲の観察によって予知をする技術が確立されると、公的な情報に頼らずとも自分の力で地震から身を守る助けになるが、似た雲との区別方法が曖昧であれば、仮に地震と特定の形状の雲の形成に関係があったとしても、個人が予知をすることに限界が来てしまう。また、似ている雲を誤認し地震の前兆だという情報が流れてしまえば、社会全体に混乱を起こす可能性が大きい。それを防ぐためには長い時間をかけて各気象状況との関連性を徹底して調べる必要がある。以上二つの問題点によって、実用化が難しいのが現状だ。

【結果】

現段階では地震雲が確実に存在するとは断言出来ず、また地震雲とその他の気象に関わる雲を見分けて情報を発信することは、誤報を防ぐという観点から考えても難しい。だが公的機関に頼らずに地震予知が可能になりうるこの技術を確立するために、今後も雲の観察を続け、また、他の雲との違いを調べるために天気や気温、湿度、日照時間といった気象条件も調査して正確に区別する方法についても調査していきたい。

【謝辞】

仮説について協力してくださった蝦名先生、その他貴重なご意見をくださった先生方に感謝申し上げます。

【参考文献】

・日本気象協会 tenki.jp
http://www.tenki.jp/lite/bousai/earthquake/entries
・上出考之 (2005) . わかりやすい地震雲の本 北國新聞社