

重力波から宇宙を探る:KAGRAと富山大学理学部 (理学部ホームページトピックス記事 平成29年6月掲載)

1. 重力波とは何か、そして初検出

2016年2月、アメリカのLIGOによる重力波の直接検出の成功が大きなニュースとして世界中を駆け巡りました。そして2017年10月LIGOの3人にノーベル物理学賞が授与されることが発表されました。なぜこれほど大きなニュースとなり、これほど速やかにノーベル賞が授与されたのでしょうか。

1915年アルバートアインシュタインは一般相対性理論を完成させました。これはニュートン以来の重力に関する考えを一新するものでした。一般相対論によると大きな質量をもつ星があるとその周りの時空が歪みます。その近くを小さい物体が通過すると時空が歪んでいるため、それにより軌道が曲がってしまいます。これをニュートン以降アインシュタイン以前は星による重力によって小さい物体がまっすぐに進めないと理解してきたわけでは。

1916年にアインシュタインはこの一般相対性理論をもとにして重力波の存在を予言しました。先の例でいうと時空の歪みのもととなる星が大きく変動すると時空の歪みも変化してそれが光速で周りに伝わっていきます。これが重力波です。しかし重力波は大変微弱でその検出は困難を極めました。一般相対論は他にもニュートン重力にはない現象を予言しましたが、それらは1960年代以降の実験技術の飛躍的な進展によりことごとく検証されました。そして最後に残ったのが重力波の直接検出で、アインシュタインからの最後の宿題とまで言われていました。この最後の宿題が100年越しでやっと解決した、というのが大きなニュースと速やかなノーベル賞となった主な理由の一つです。

この初検出で我々が驚いたのは2つのブラックホールからなる連星が合体したときに発生した重力波だったということです。初検出は中性子星というコンパクトで重い星からなる連星の合体から発生した重力波だと予想されてきました。なぜなら連星中性子星は存在することがわかっていた(連星中性子星の発見に対してノーベル物理学賞が授与されています:1993年 Russell A. Hulse and Joseph H. Taylor Jr.)が、連星ブラックホールが存在するかはよくわかっていませんでした。というのは重力波以外の手段で観測するのは難しいからです。つまり重力波自体が新たな宇宙や星の観測手段(重力波天文学)となることをこの上もなく明瞭にしめたということになります。

2. 今後の重力波検出

では100年越しの夢がかなってすべてめでたしめでたしで重力波の研究はおしまい、でしょうか。ここでちょっと違う話題、ニュートリノのことを考えてみましょう。ニュートリノは素粒子の一種です。1930年にパウリが予言しました。ニュートリノの直接検出も大変難しく、ノーベル賞の対象になっています(1995年:Frederick Reines)。ではニュートリノの研究はこれで終わりかというところではなくその後も重要な発見が続いています。ノーベル賞だけみても、ニュートリノは複数の種類(世代)があること(1988年:Leon M. Lederman, Melvin Schwartz and Jack Steinberger)、世代の間で質量に差があること(2015年:梶田 隆章 and Arthur B. McDonald)、ニュートリノによる天文学(2002年:Raymond Davis Jr. and 小柴 昌俊)があります。

重力波に話を戻すと連星ブラックホールの発見で驚くことの一つはブラックホールの質量が太陽の30倍程度だったことです。これまで想定されてきたブラックホールの質量は太陽のたかだか数倍程度か逆

に100万倍以上でした。このためどのようにしてこのようなサイズのブラックホールが生成されたのかというのが大きな問題の一つとなっています。解決のためには多くの連星ブラックホールの合体を観測することが必須となります。以上のことから国際的な流れとして現在のLIGOの目標より10倍よい感度の検出器(歴史的経緯から第3世代と呼ばれています。現在のLIGOは第2世代)を建設することを目指し始めています。感度がよければより遠く、つまりより多くのブラックホールを観測することができます。また天文学ということから重力波がやってきた方向を精度よく決める必要があります。複数台検出器があると重力波の到達時間の差から方向を決めることができます。台数が多いとその精度は高くなります。

3. 日本の重力波検出器 KAGRA

このような流れの中、日本では岐阜県飛騨市神岡町でKAGRAの建設と開発が進められています。KAGRAも第2世代ですが、他にない大きな特徴があります。まず地下(鉱山内)に建設するという事です。重力波検出にとって大敵である地面振動が都市近郊より100倍小さいからです。さらに熱雑音というもう一つの雑音を低減するために検出器の重要な構成要素である鏡を冷却します。これらは特徴や技術は第3世代の検出器で導入を検討されており、その意味でKAGRAは先端を走っています。

4. 富山大学の役割

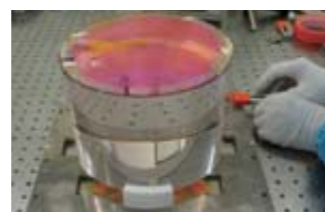
富山大学理学部は車を使えばKAGRAからわずか一時間という地の利を活かして大きく貢献しています。

そのうちの 하나가レーザーの強度安定化です。検出器の光源であるレーザーのパワーの揺らぎは雑音の原因となりますが、これを極限まで抑える技術の開発を行っています。

また高感度化のためパワーリサイクリングという技術を導入する必要があります。これの実現のためにKAGRAでは「グリーンレーザーロック」という手法を採用しました。これの開発も行っています。

そして検出器の最重要部品の一つである鏡を吊るすための準備も行っています(この鏡が20K(-253℃)程度まで冷却されます)。吊るすためには耳と呼ばれる部品を鏡の側面上の正確な位置に接合する必要があります。現在この接合作業を富山大学理学部のクリーンルームで行っています。

これを読んでいる高校生の皆さん、富山大学理学部にきてKAGRAに参加してみませんか? (物理学科 山元 一広)



KAGRAの鏡:これが重力波を最初に感じる部品となります。サファイアでできており直径22cm、厚さ15cm、重さが23kgです。表面には反射膜が施されます。この写真の鏡はすでにKAGRAに設置されました。表面には赤く見えるのは反射面を保護する膜でKAGRAに設置されたあと取られました。



鏡の耳を接合する作業:富山大学理学部のクリーンルーム内で行っています。KAGRAの鏡に耳を接合しています。接合するときに埃が入ってはいけなないのでクリーンルームの中で写真のような特殊な服を着て作業しています。

新規のゴマリグナン合成酵素遺伝子の同定

(理学部ホームページトピックス記事 平成30年2月掲載)

ゴマは種子中に多量の油脂を含む重要な油糧作物です。ゴマ種子中にはそのほかにも、リグナンと呼ばれる物質が含まれています。ゴマが産生するリグナン(ゴマリグナン)はいくつか種類がありますが、主にセサミン、セサモリン、セサミノールの3種類が種子中に豊富に存在します(図1)。最近、セサミンをはじめとしたゴマリグナンが持つ健康機能性に注目が集まり、多くの研究がなされています。しかし、ゴマリグナンがゴマの種子中でどのように合成されるかについては不明な点が多く、セサミンの生合成酵素(CYP81Q1: Ono et al., 2006)が明らかになっていないに過ぎませんでした。

富山大学理学部では様々なゴマ系統を維持しています。これらのゴマ系統についてのゴマリグナンの分析から、セサモリンをほとんど含まない系統(セサモリン低含有系統)が見出されています。この系統ではセサモリン生合成酵素が変異していると考え、セサモリン低含有の原因遺伝子の同定を行うことで、セサモリン合成酵素が同定できると考えました。

まずセサモリン低含有系統と、通常のセサモリン含有系統を交配しF6世代の遺伝集団を作成しました。F6集団160個体の種子中のセサモリン含有率(セサモリン含有量/セサミン、セサモリン、セサミノールの含有量の和)を調査したところ、5%以下の低含有個体と、15-45%の含有個体が1:1の割合で分かれた(図2)、セサモリン含有形質が1つの遺伝子座により決定されている可能性が高いことが分かりました。

続いて、F6集団の各個体からDNAを調製し、セサモリン含有形質と連鎖するDNAマーカーの探索を行いました。その結果、連鎖する2つのマーカー(90036と86884)が得られ、このうち90036はセサモリン含有形質と非常に強く連鎖していることが示されました(図3)。90036付近に存在する遺伝子を探したところ、セサミン合成酵素CYP81Q1と同じグループに属する遺伝子(シトクロムP450遺伝子)がいくつか見出されました。これらの発現の調査、塩基配列の比較解析を行ったところ、種子で発現している遺伝子の1つ(CYP92B14)がセサモリン低含有系統では1塩基の挿入によって、指令するアミノ酸配列が短くなっていることが示されました(図4)。

通常のタイプ(セサモリン含有系統型)のCYP92B14を酵母で発現させ、セサモリン合成するかどうか調べたところ、この酵素はセサミンからセサモリンを生成することが明らかになりました。また、この酵素はセサミンからセサミノールを生成する活性も持つことが分かりました(図1)。

以上の結果から、セサモリン低含有形質の原因遺伝子CYP92B14がセサミンからセサモリンとセサミノールを生成する新規のゴマリグナン合成酵素遺伝子であることが分かりました。

この研究は、公益財団法人サントリー生命科学財団、サントリーグローバルイノベーションセンター(株)、龍谷大学、神戸大学と共同で行いました。

(生物学科 山本将之)

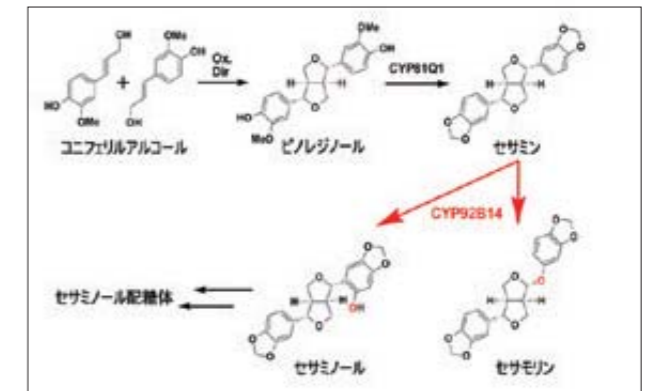


図1 ゴマリグナンの生合成経路

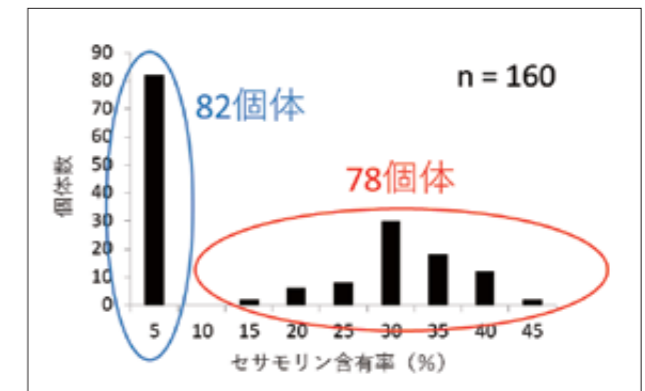


図2 F6集団におけるセサモリン含有率の分布。セサモリン低含有個体と、含有個体がおおよそ1:1の割合で分かれた。

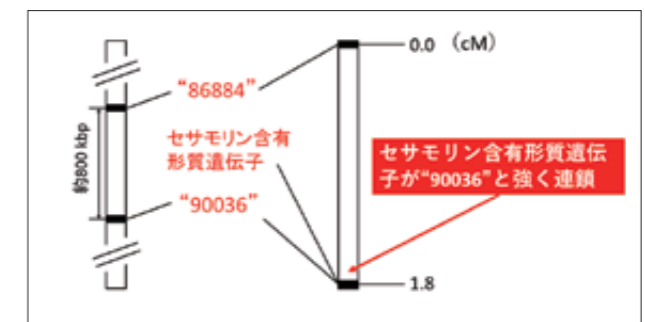


図3 セサモリン含有形質に関する連鎖地図。左は物理地図(DNAの長さに基づく地図)、右は連鎖地図(遺伝子座間の組換え頻度に基づく地図)を表している。

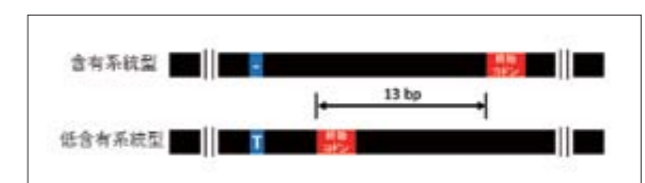


図4 CYP92B14の3'末端付近の塩基配列。セサモリン含有個体と低含有個体のCYP92B14の塩基配列を示した。低含有個体型では含有個体型に比べて、1塩基の挿入がおこっており、この結果終止コドンの出現位置が早まることが分かった。

理学部ホームページ上で毎月研究トピックスを掲載しています。是非訪れてみてください。

富山大学理学部 <http://www.sci.u-toyama.ac.jp/> 検索  
学科紹介ムービーをスマホ・携帯電話でご覧になれます。

