

重力波の観測（2）重力波とは何か

中嶋 浩一（一橋大学大学院社会研究科名誉教授）

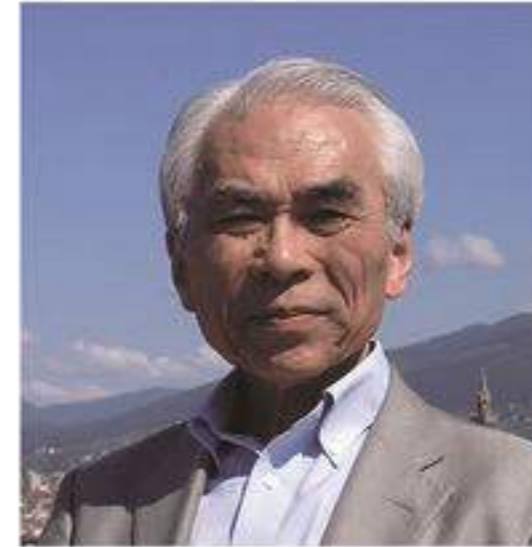
2016年の天文学の大ニュース、「重力波の直接観測」について、独自の立場から解説を試みたいとして、前号から連載を始めた。まずは「重力波」とはいったいどんなものなのかを解説したい。

さて報道や科学解説記事などでは重力波はどのように説明されているだろうか。箇条書きでまとめてみると次のようになるだろう。

1. 重力波は、アインシュタインの「一般相対性理論」（以下、一般相対論）からもたらされたもので、今から百年前にアインシュタイン自身がこの存在を予言した。
2. 一般相対論は次のように説く、すなわち「物質の存在はその周りの『時空』のゆがみをもたらし、そのゆがみが物質間の『万有引力』すなわち『重力』を引き起こす」と。
3. 物質が振動するとその周りの時空のゆがみも振動し、これが波動として遠方に伝わって行く。これが「重力波」である。つまり重力波は「時空のゆがみの波動」である。
4. 実際の「時空のゆがみ」はたいへん小さく、例えば地球全体で考えてみても1ナノメートル程度でしかない。さらにその変動となるとそれより何桁も小さくなり、重力波の検出はたいへん難しい。
5. 今回の観測は、その微かな変動を超精密な測定装置を用いて検出したもので、超精密技術の進歩に大きな意義がある。

今回の観測の意義としては、上記の技術的な意義のほかに新たな特異天文現象の発見という意義もあるのだが、これは別稿で説明する。

就職試験の常識テストで「重力波とは何か」という問題が出た場合には、上記のような解答で満点をもらえるかもしれない。しかしこれだけのことがわかっていたとしても、重力波は



しよせん宇宙の彼方の出来事ではなく、私たちの日常とは何の接点もないように思われる。また記述テストの採点では、主要な「キーワード」が正しく用いられているかが評価の基準になるが、キーワードの内容はよくわかっていなくても正しい文脈で用いられてさえいれば高い配点が与えられる。

就職試験の終わった後にも何かが残り、その後の人生を豊かにするような理解の仕方はないだろうか。あるいはあいまいなキーワードを少しでも確実なものにするには何を付け加えれば良いだろうか。このように考えて、重力波の更なる説明を少々追加してみたい。

まず「キーワード」であるが、あまりよくわからないなりにキーワードとして暗記し、それなりに正しく使いこなしているような用語があるのではないだろうか。例えば「時空」などはどうか。相対論のキーワードとしてひろく世の中に浸透してはいるが、はたして理解されているだろうか。

これについては単純に、「時間と空間を一緒に扱ったもの」と理解してよいだろう。そして「時空のゆがみ」は、「空間のゆがみと時間の進み遅れ」のように考えてよい。相対論では「空間の場所が変われば時間も変わる」ということが起こるので、まとめて「時空」と言うのである。

次に、空間のゆがみを測定するには物差しを

用いて空間の2地点の長さ（とその変化）を測ってやればよいのだが、これにも疑問を持つ人がいるのではないだろうか。すなわち「物差しも空間の中の存在なのだから、空間がゆがめば物差しも（2地点と）同じようにゆがんでしまい、変動は測定できないのではないだろうか」という疑問である。

確かに「巻き尺」や「竹の物差し」のような物体を用いて測れば、2地点間の地面と同じように空間のゆがみで物差しもゆがんでしまう。しかしここにすばらしい物差しがある、それは「光」である。

そもそも最も精密な長さの測定は「光」を用いて行われる。その原理には奥深いものがあるが、とりあえず簡単に説明すると、「光の速度は宇宙の中で一定不変である」という原理を用い、「光の到達時間」で長さを測るのである。気づいた人もいるだろうが、そのとおり、長さは「時計」で測るのである。もちろん精密な時計が必要であることは言うまでもない。

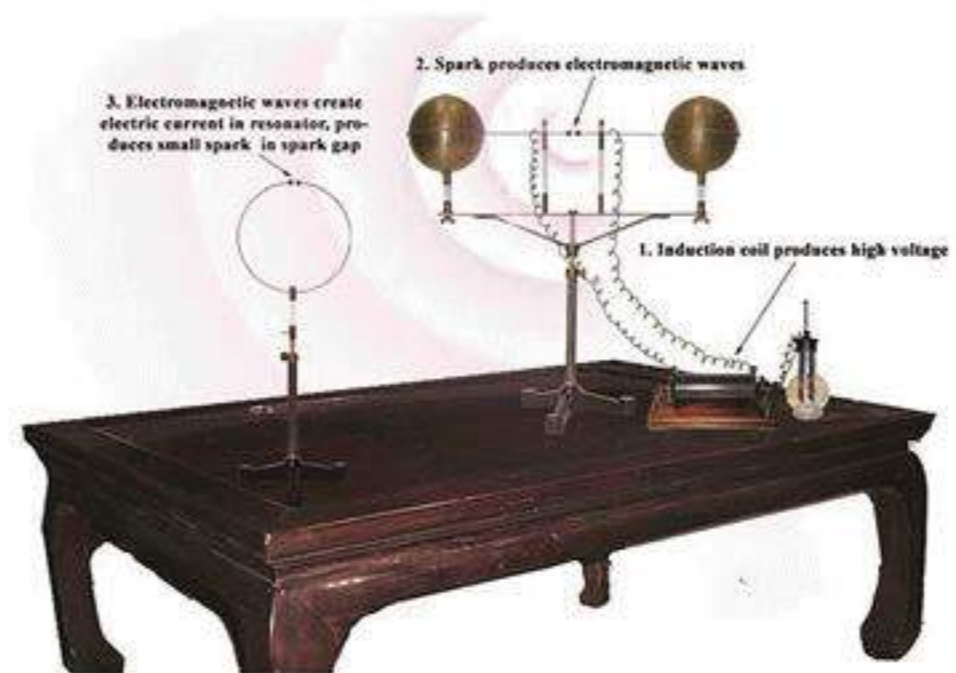
もう一つ重要なことは、「光の速度一定」というのは空間のゆがみに関係ない原理であるので、仮に空間が伸びた場合には光の到達時間も長くなり実際のゆがみを測定することができる、ということである。このようにして、実際の重力波観測でも長さの測定に光が用いられる。

さて次に「私たちの日常と重力波」ということであるが、前回の説明のように、測定された時空のゆがみは0.0000000001mm程度であり、天文学的数字と同じような意味でまったく非日常的な数字である。（そう、天文学的というのは「非日常的」の代名詞である。）そこでここでは、身近な「電波」を持ち出して私達の日常との関わりを追求してみたい。

重力波が「重力」の変動を伝える波動であるのと同じように、電波は「電気力」の変動を伝える波動である。重力波は重力の本質を解明する「一般相対論」から計算によって導かれたのだが、それと同様に電波は電気力（と同時に「磁気力」）の本質を解明する「マクス

ウェル電磁気理論」から計算によって導き出された。（したがって電波は、正しくは「電磁波」と呼ばねばならない。）

英国の物理学者マクスウェルが、彼の理論から「電磁波」の存在を予言したのは1864年のことであった。そしてドイツの物理学者ヘルツがその電磁波の存在を実験で確認したのは、24年後の1888年であった。実験装置は図1に示したようなもので、重力波の巨大な装置（図2）に比べればずいぶん簡単なものであるが、それでも確認までに四半世紀を要した。



[図1、ヘルツの実験装置、
<http://www.sparkmuseum.com/> より引用]



[図2、重力波の観測装置、
<https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731c>より引用]

Wikipedia の解説によれば、この実験の意義を人に尋ねられた時、ヘルツは次のように答えたという：

「それは何の役にも立っていない……単にマックスウェル先生が正しかったことを証明し

ただの実験だ。我々の肉眼では見えない不思議な電磁波は確かに存在する。しかし、単に存在するだけだ」

そしてその発見の今後について聞かれると、ヘルツは次のように答えた：

「たぶん、何も無い」

[Wikipedia, ハインリヒ・ヘルツより引用。原出典はヘブライ大学の解説ページ。]

ヘルツの人柄をよく表している記事であると評されているが、現実世界では英国の数理論理学者ヘヴィサイドが3年後の1891年に述べたように、「3年前には電磁波などはどこにもなかったのに短い間にどこにでもあるものになってしまった。」のであった。今では地下鉄の中でも飛び回っている。

さて重力波であるが、今後はどうであろうか。重力波が電磁波のように通信に使われるようになり、重力波のケータイができるのだろうか。重力波は物質の存在に妨げられることはないので、そ

れこそ地下鉄の中でも通じるのであるが。

今回の重力波検出の装置についてはまだ詳しく説明していないが、いろいろな報道にもあるように、長さ4kmのL字型の巨大な装置である。これをケータイにすることを考えると、筆者でも「たぶん実用は何もない」と言わざるを得ない。しかし現在の電磁波の隆盛を見ると、先のことはまったくわからないのではないかとも思う。

次回は「ブラックホールと重力波」について。

プロフィール

1942年、群馬県生まれ。大学院天文学専攻課程修了後、東京天文台（現国立天文台）に勤務。当時はまだ日本標準時は天文台の天体観測から決められており、これに関係した観測や研究を行った。その後標準時は原子時計で決められるようになり、天文台の観測は終了。これを契機に一橋大学に移り、一般教養科目および情報科学の教育を担当した。このころちょうどインターネットの普及が始まり、これに合わせてデータベース天文学の研究を始めて、国立天文台天文データセンターの整備運営に協力した。現在も天文データ整備の研究を行いつつ、一般教養教育の経験を生かして天文学普及活動に積極的に関わっている。
駿台天文講座・駿台天文台 教育顧問

■京浜東北線 王子駅 下車 10分■ 駿台学園中学・高等学校



〒114-0002 東京都北区王子6-1-10
TEL: 03-3913-5735 / Fax: 03-3912-2810
<http://www.sundaigakuen.ac.jp/>
お問い合わせ: info@sundaigakuen.ac.jp

●中学校 学校説明会 時間はすべて10:30~12:30
第1回 8月27日(土) 第5回 12月10日(土)
第2回 10月22日(土) 第6回 12月17日(土)
第3回 11月5日(土) 第7回 1月7日(土)
第4回 11月19日(土) 第8回 1月14日(土)
予約不要・上履不要 会場: 本学園

●高等学校 スクールガイダンス 時間はすべて14:00~16:00
第1回 8月27日(土) 第6回 11月12日(土)
第2回 10月15日(土) 第7回 11月19日(土)
第3回 10月22日(土) 第8回 11月26日(土)
第4回 10月29日(土) 第9回 12月3日(土)
第5回 11月5日(土)
予約不要・上履不要 会場: 本学園

《高校個別相談会》(要予約) 時間はすべて14:00~16:00
12月10日(土)・1月7日(土)・1月14日(土)
上履不要 会場: 本学園

《イブニング説明会》(中高合同) 時間はすべて18:00~19:00
9月14日(水)・10月17日(月)・10月18日(火)
予約不要・上履不要 会場: 本学園

《休日個別相談会》(要予約) 時間はすべて10:00~15:00
11月3日(木・祝)・6日(日)・13日(日)・20日(日)・23日(水・祝)・27日(日)
12月4日(日)・11日(日)・18日(日)・23日(金・祝)・25日(日)

《文化祭》9月17日(土)・18日(日) 10:00~16:00

詳細は本校HPにてご確認ください。