

Aセッション はじめに

- アインシュタインが予言した「重力波」とは？ 藤本 眞克 6
 重力とは / 重力は場所によって差がある / アインシュタイン理論による重力とは
 重力波とは / 重力波と電磁波の違い / 重力波の存在の証明 / 重力波観測でなにがわかるか
 重力波の大きさの目安 / どうやって重力波を捕まえるか / 重力波望遠鏡 TAMA300 とは

Bセッション 日本が誇る世界最高感度の重力波検出装置 TAMA300

- 巨大レーザー干渉計で重力波を狙う 川村 静児 18
 重力波を検出するということは / レーザー干渉計による重力波の検出
 レーザー干渉計で重力波はほんとうに検出できるのか / レーザー干渉計重力波アンテナの特徴
 世界の重力波検出計画 / TAMA300 とは / 干渉計の感度を上げるためには
 世界最高観測時間を達成 / まとめ
- 砂中の玉 TAMA300 データから重力波を探す 神田 展行 28
 なぜ、データ解析が必要なのか / 重力波の音を聞いてみよう / 重力波とは
 連星の放出する重力波 / 重力波の観測でなにがわかるか
 連星合体重力波を雑音のなかからどう探すか / 雑音中の信号を選別するための節
 どこまで観測することができるのか

Cセッション パネルディスカッション

- TAMA300 成功の鍵 40
 超高真空の実現に向けて / レーザー光を通す / 重力波観測のためのデータ記録
 正確な時刻情報を知る / 観測を妨げる外乱 / TAMA300 の感度向上のための戦い
 雑音源の特定と除去法 / 1,000 時間観測達成の要因 / データ取得系・モニタ系の整備
 DT6 成功の鍵とは / 重力波のデータ解析の現場 / さらなる感度の向上を目指して
 新しい天文学の創成に向けて / 若い力の参加を期待する

Dセッション 重力波を発生する天体現象

- ブラックホールや中性子星連星の衝突と合体 3つのノーベル物理学賞をめぐる 中村 卓史 62
 電波パルサーの発見 / 一般相対性理論は正しいか / 連星パルサーの発見
 連星の軌道パラメータ / 連星パルサーから放出される重力波 / 最後の3分間とは
 最後の3分間に起こる現象 / 連星中性子星の重力波の検出でなにがわかるか
 重力波をとらえる成功確率は ~ 5%
- 重力波天体の多面的観測 山岡 均 72
 可視光天文学から全波長天文学、そして多面的天文学へ 太陽を例に
 重力波がひらく多面的天文学 / 新しい天文学が生まれるとき / 重力波を放出する天体現象
 重力波を放出する天体と重力波の強度 / 重力波観測の感度向上 / 重力波天体の多面的観測へ向けて

Eセッション 新しい天文学(1)

- 特別講演：天文観測の最前線 海部 宣男 82
 望遠鏡と宇宙像 / 宇宙と天体 / すばる望遠鏡がとらえた 100 億光年の宇宙
 全電磁波天文学と宇宙像 / 新しい宇宙のはて / 膨張宇宙のはて / 恒星と惑星の形成
 太陽系外の惑星の誕生の観測に向けて / 太陽系外に惑星と生命を求めて
 巨大惑星の光を直接とらえる / 地球型惑星の検出に向けて / 生命存在の強力な証拠とは

目次

Fセッション 新しい天文学(2)

- 特別講演：ガンマ線天文学……………木舟 正 98
線とはなにか / 線によってなにを観測するのか / 高エネルギー線の観測手段
線でみた宇宙の姿 / 超新星残骸と活動的銀河の中心核 / 超新星残骸からの線放出
活動銀河の中心核 / 非熱的現象はなぜ起こるのか / 線の到達距離
線で開拓する天文観測のフロンティア

Gセッション 宇宙のはじまり 重力波のみが観測できる世界

- 特別講演：宇宙の誕生……………佐藤 勝彦 112
宇宙のはじまり、世界のはじまり / アインシュタインが考えた世界のはじまり
インフレーションによる宇宙のはじまり / 宇宙の膨張速度と宇宙の年齢
ガモフによるビッグバン理論 / 量子宇宙、インフレーション理論の誕生
インフレーション理論とは / ホーキングの無境界仮説 / 宇宙開闢の姿を現在から確かめる
暗黒物質の正体は? / 21世紀に残された大きな問題・謎
- 初期宇宙と重力波……………前田 恵一 123
自然界の4つの基本的な力 / 宇宙の開闢をみる / 重力波とは / 重力波源の種類
宇宙背景重力波の観測からなにがわかるか / 宇宙背景重力波に対する観測からの制限
宇宙背景重力波源とは / 宇宙背景放射と宇宙論 / まとめ

Hセッション 重力波検出を可能にする「超」技術

- 高感度レーザー干渉計のキーテクノロジー……………三尾 典克 134
重力波をとらえるための検出器感度 / 干渉計の感度を左右する雑音 / 振動雑音の除去
磁石によるダンピング / 新しい材料による振動抑制 / 熱振動の除去技術
不動点支持法による測定 / 低温化技術 / まとめ
- 重力波天文学のための超高安定化レーザーと超高品質ミラー技術……………植田 憲一 143
純粋科学研究と産業技術への波及効果
はじめに / 超高安定化レーザー光源 / 超高性能光学ミラー
産業用高出力ファイバディスクレーザー / 新しい固体レーザー・セラミックレーザー / おわりに

Iセッション パネルディスカッション

- 重力波の研究はどこまで広がるか? 重力波研究の将来…………… 152
極低温・超伝導技術の重力波天文学への応用 / 重力波源の視覚化
世界の重力波観測計画と LCGT 計画 / 重力波検出の鍵を握る極低温・冷却技術
重力波天文学の時代に向けて: LISA 計画 / LISA 計画の次は DECIGO 計画
世界初の重力波検出はいつか / LISA 計画でインフレーションの検証は可能か
技術開発とともに国際協力が不可欠 / 5次元時空が確認される? / 将来の戦略(夢)
21世紀の重力波天文学に向けて
- 演者紹介…………… 172

アインシュタインが予言した「重力波」とは？

藤本 眞克

国立天文台位置天文・天体力学研究系教授

重力波とは、アインシュタインが一般相対性理論に基づいて予言した重力の波です。私のあとに重力波をとらえるためのさまざまな試みが紹介されますので、予備知識として聞いていただきたいと思います。

重力とは

私たちは地上に住んでいて常に重力を感じています。この重力は、エレベーターのなかの世界ではどのようなのでしょうか。

人類は、宇宙空間に飛びたつようになりましたが、宇宙空間では無重力の状態にあります。ここで、重力の働いていない状態と重力が働いている状態の違いを考えてみます(図1)。普通に無重力というと、人や人がもっているリンゴやコップが浮いているような状態です(図1A)。地上ではエレベーターのなかでリンゴやコップから手を離せば落下します。私たち自身は重力をうけて床にたっています(図1C)。

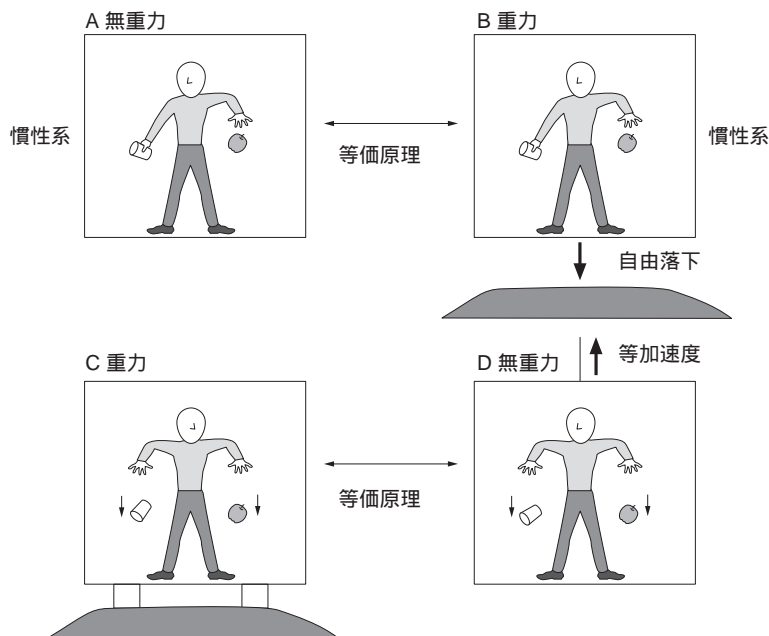


図1 エレベーターのなかの世界
A、D：無重力の宇宙空間、B、C：地球重力のもとにある

一方、宇宙空間で、エレベーターが一定の加速度で引っ張り上げられている(等加速度運動をしている)場合を考えてみます(図1D)。そのとき、手から放したリングは落下します。つまり、重力が働いている場合と、重力は存在しないが等加速度運動をしている場合は、そのエレベーターのなかでみるかぎり、同じ法則にしたがいます。リングが落下したり、私たちが床から圧力を感じることは同じであるというのが等価原理です。

一方、重力があっても、重力が働かない世界が無重力状態です。例えば、エレベーターの綱が切れて自由落下という重力で落下しているときのエレベーターのなかでは、力をまったく感じない無重力状態になります(図1B)。このように、エレベーターのなかだけでみた場合、重力は現れたり消えたりします。そのことを手がかりにアインシュタインは、重力理論を構築しました。

ちなみに、自由落下運動とは重力だけが作用している運動のことです。つまり、重力に逆らって圧力や力を加えない運動のことです。

モンキーハンティングというゲームがあります(図2)。木にいるサルをピストルで狙い、弾を発射したと同時にサルは手を放して木から落ちるとします。地上ではピストルの弾に重力が働いているため、弾は放物線運動を描くことになり、サルも同時に木から落下するので弾にあたるという現象です。きちんと狙いを定めて撃ち、弾の発射と同時にサルが落ちれば、必ず命中します。

これは、一見、不思議にみえる現象です。しかし、全体をエレベーターとみなして、エレベーターの綱が弾の発射の瞬間に切れた自由落下系としてみると、サルもピストルの弾も一緒に落下しており、全体としてはなにも力が働いていない状態となります。ピストルの弾は初速にしたがってそのまま等速直線運

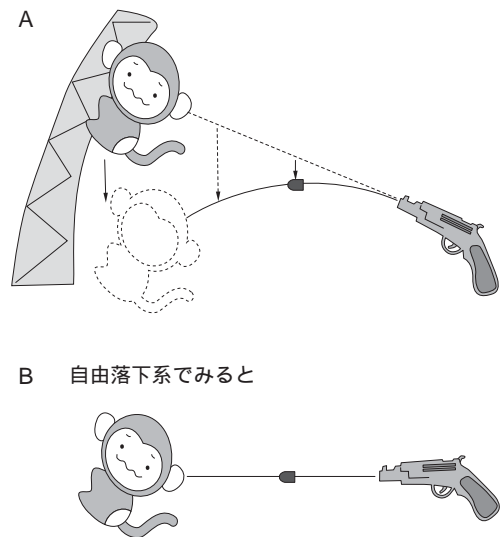


図2 モンキーハンティング A：地上でみた場合、B：自由落下系でみた場合。自由落下系ではピストルの弾は慣性運動(等速直線運動)をする

動をします。つまり、まっすぐサルに命中するということです。

重力は場所によって差がある

ここで重要なことは、自由落下系は局所慣性系であるということです。ここで、「局所」とについていることが重要です。

そこで次に、巨大エレベーターの内部を考えてみます。星の大きさに比べられるほどに大きなエレベーターのなかに5つの点をおくと、それぞれの点の位置で感じる重力の向きや大きさなどに違いが生じます(図3)。ある程度、広がった空間では、重力の向きと大きさは場所によって違います。場所によって重力に差があることが、重力の本質的な性質です。このような巨大なエレベーターのなかと同じ現象が、地球全体で起こっています(図4A)。

地球の2つの極と、赤道上の月に近いところと遠いところで重力の大きさと向きは違い