

## 研究報告

### 重力波検出器のための超低周波防振機構

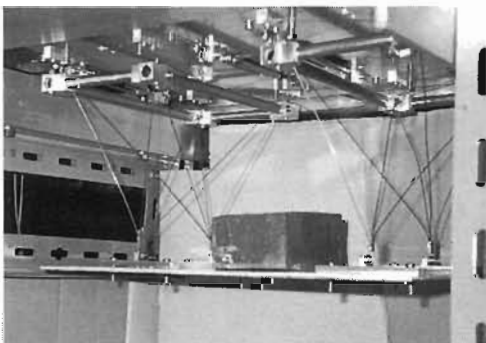
黒田 和明

#### はじめに

現在開発中の重力波検出器が感度をもつ数百HzからkHzまでの周波数領域は、超新星の爆発や2重中性子星の合体の際に放出される重力波をターゲットとしたものである。重力波源としては、このほか、ブラックホール生成、ブラックホールへの星の落下などによる重力波、2重中性子星公転やパルサーなどからの連続波、さらに宇宙誕生の際に予想される重力波などがあり、これら低周波の方へ延びるきわめて広いスペクトルレンジからすれば、現在目標とされる領域はほんの一握りの狭い範囲でしかない。

これは、地上では地下や大気物質密度ゆらぎによる変動重力場のため、1 Hz程度以下の重力波検出は困難と考えられていること、及び、現在の技術で数Hz～数十Hzの機械的振動を必要なレベルまで低下させることができないためである。特に地面振動は、田無キャンパスで測定されたデータ(図1)にも示されるように、低い周波数になるほどその振動のエネルギーが増大するため、特に困難が増すことになる。

ここでは、重力波検出器が振動に弱い理由を簡単に説明した後、少しでもその周波数帯域を低い方へ広げるために新しく開発されたX-pendulumと呼ばれる機構及びその応用について報告する。



水平1自由度のX-pendulumを用いた防振装置  
(本文図6参照)

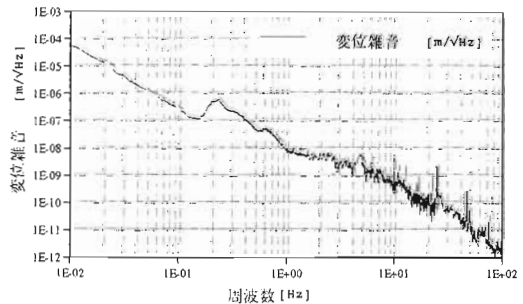


図1 田無キャンパスで測定された地面振動の様子  
周波数に対する振幅雑音のポワースペクトラムの平方根を示す。周波数の2乗に逆比例して振幅が減少することに注意。

## なぜ振動に弱いのか

米国のLIGO計画をはじめとして、仏伊合同のVIRGO計画、日本で我々が進めているTAMA計画などでは、長基線のレーザー干渉計が用いられる。その原理を一言で言えば、重力波により空間の2点間に置かれた物体を押し引きする潮汐力が発生するが、その物体の微小な変位を測定することで重力波の存在を知ろうとすることである。干渉計では2つの物体として鏡そのものを用い、感度よく変位を検出するためにマイケルソン・モーレーの実験で知られる方法で光の位相検出が行われる。現実の検出器はこれよりやや複雑であるが、理論的に予測される重力波による鏡の典型的な変位の大きさが、 $10^{-21}$ m程度の小ささであることを知ったなら、なぜ振動に弱いかを推論することは容易である。つまり、鏡が変位する原因として何も重力波のみが第一の因子ではなく、普通の物理の常識で言えば、重力波は最後に来るべきものであるほど、種々の原因が鏡を振動させることになる。図1で示される振動環境のもとでは、振動を低減させるものがなければ、重力波はこれに埋没してしまう。また、裸のレーザー光源はその周波数雑音が位相の雑音として現れるため、周波数安定化装置が付加されるが、これは基本的に2つの鏡を対向させた装置であり、低い周波数領域ではその鏡が振動を拾うために地面の影響を避けることができない。さらに、レーザー光線を導入する補助的な鏡の振動や、レーザービームの通路壁の振動も干渉の位相に影響を与える。このような訳で、長基線レーザー干渉計の低

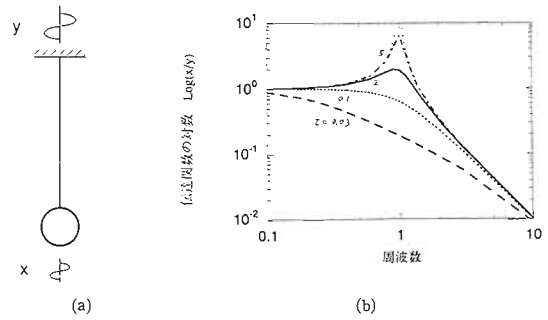


図2 機械的ローパスフィルターの特性  
(a) 1自由度振動子系の支持点に振動（そのフーリエ変換形  $y$ ）が加えられ、その質点の応答のフーリエ変換形が  $x$  である。  
(b) 周波数  $f$  に対する伝達関数  $(x/y)$  は高い周波数で周波数の逆2乗に比例して減少する。

い周波数帯（数Hz～数十Hz）での感度は地面などからの振動をどこまで抑えられるかで決まってくる。

## 機械的ローパスフィルター

機械的な振動を抑えるための防振装置の基本要素は図2(a)に示すような単振動子系で実現される。支持点をこの振動子系の固有周期よりもゆっくり動かすとおもりはそれについてくるが、固有周期よりも速く動かすとおもりの動きは小刻みとなりかつその動きは反対の向きとなる。このように固有周期よりもずっと短い周期の振動に対しては、おもりはほとんど不動であるようになる。この応答の様子を周波数に対して示したものが図2(b)であり、固有周期より高い周波数の領域で周波数が1桁上がると減衰率

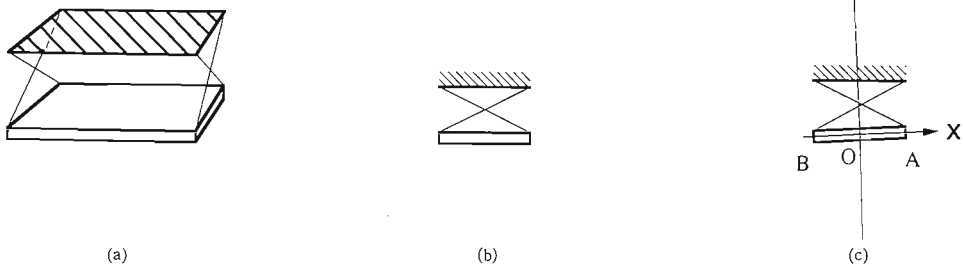


図3 X-pendulumの原理  
(a) 2組のたすき掛けワイヤで吊るされた平板  
(b) 真横から見ると軸対称になっている。  
(c) 微小な振れ角が与えられ、板に固定された  $xy$  座標軸が傾いている。振れに伴って、 $y$  軸上ずっと上の点では上に凸の曲線を描き、ずっと下の点では下に凸の曲線を描く。これらの中間あたりに水平線上を動く点がある。

が2桁となる。現実には各要素に分布質量があって、これが問題を引き起こすことがあるが、ここでその詳細は省く。これからわかることは、ある決まった周波数の点で振動の減衰比を大きく稼ぐ方法の一つは、振動子系の固有周期を長くすることである。しかしながら、1秒の固有周期の振り子が25センチの長さで実現できるのに対して、10秒の周期の振り子は25mの長さが必要である。長い周期を得るために吊り糸を折り返すというアイデアもないことはないが、この場合でも長大な高さの困難は少しも減らない。また、同様の振動子系を多段に重ねるということもしばしば採られる方法であるが、この場合、防振したい周波数が下がってくると効き目がなくなってくる。

### X-pendulumの再発明

上の困難を解決する糸口を与えてくれたのは、学振のフェローとして来日していたオーストラリア人マーク・パートン氏であった。彼は、鏡の最終の防振段として用いられる振り子の損失を測るという研究に取り組んでいた。しかし、通常の方法ではうまく行かないことから、吊り糸の配置をいろいろと変えることを考えているうちにたすき掛けの方法で、振り子の周期がきわめて長くなることを見いだした。これを考えてみよう。図3(a)に示されるように板が天井からたすき掛けのワイヤで吊るされている。ワイヤは互いに触れないように交差しているから2本のワイヤのみでは板を安定に吊るすことはできない。必要最低限のワイヤ本数は3本であるが、作り易さの対称性から2組の交差ワイヤを用いるとする。真横から見ると図3(b)のようになっている。さて、板が微小な角度だけ振らされて図3(c)の状態になったとする。板の中心に重心があるとすると、その重心

はどのようになるか、を考える。角度は微小だから一次の近似の範囲で、A端の上昇とB端の下降は等しい、と考えるはいけない。重心の上下の動きの対称性（右に振れるのと左に振れるのとで違いが出ない）から、角度の一次の項は必ず0で角度の二次の項が最低次となる。A端は上昇し、B端は下降するから重心はその差の分だけ上昇する。さて、次に板の中央を原点とし、板に固定されたxy座標軸を考える。y座標値の大きいy軸上の点では、板の傾き角が振れ角程度の大きさで、この振れ角による下降は、振れ角の二次の程度であり、重心位置の上昇が同程度の角度の二次の差であるから、正味下降する。一方、負の大きいy座標値を有するy軸上の点では、同様の議論により、正味上昇する。このように、振れによるy軸上の点の上下をみると、上に述べた両極端の間のどこかで上下しない点が存在するはずであり、その点では、振れに伴う上下がない、つまり、水平な運動をする。もし、その点にこの系の重心を置けば、そのポテンシャルによる復元力は0である。その点よりもわずかに低い点に重心を置けば、長い周期の振り子運動が実現されるし、その点より上の点に重心を置けば系は不安定になる。このことは振れ角について4次のオーダーまでの解析ならびに数値計算で確かめられている。こうして図4(a)のような装置で最初の実験が行われ、図4(b)に示すように最長30秒程度の周期が実現された。この周期に相当する単振り子の糸の長さは220mである。この機構をX-pendulumと名付けることにするが、その周期は幾何学的条件のみにより決定され、周囲温度の変化の影響などの予測が簡単にできる。

また、詳細は省略するが、振り子振動の機械的損失は振動の熱雑音を決定する重要な因子の一つでこ

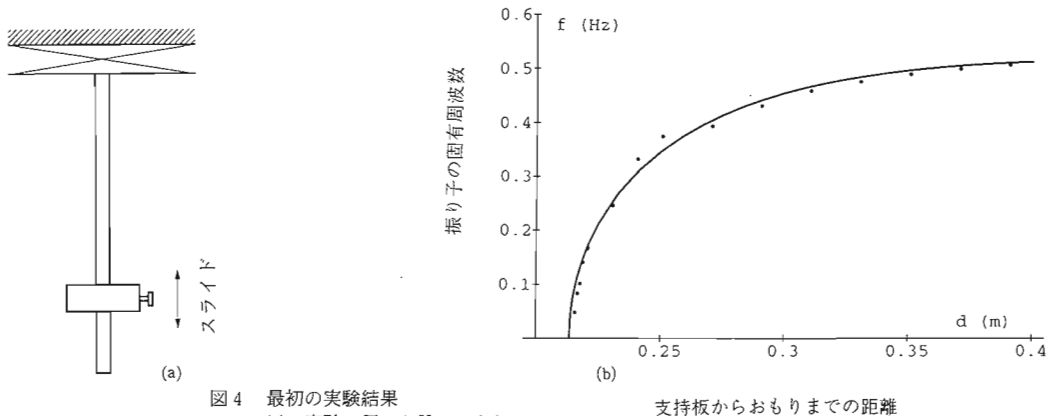


図4 最初の実験結果

(a) 実験に用いたX-pendulum

(b) おもりの位置に対する固有周期の変化。実線は理論値。

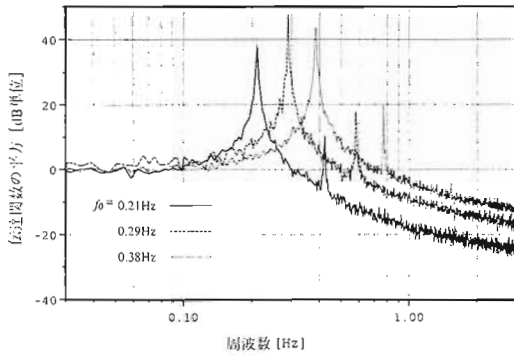


図5 防振装置としての特性を表す伝達関数の直接測定結果  
一番大きいピークはそれぞれの設定での振り子の周期に  
対応し、小さいピークは変位検出器の非線形性による。

れについても詳しく調べられ、通常の振り子にはやや劣ることが確認されている。このX-pendulumに似たたすき掛け機構は地球物理学の分野では傾斜計として人里離れた観測施設で利用されていた。

### 防振装置としてのX-pendulum

この単純な装置の水平一次元の防振装置としての特性を調べるため、周期が数秒程度の範囲で調節できるX-pendulumを作り、支持部に水平振動を加えてその応答を測定した。重心の保持部分が振れに伴って回転すること及びその保持部分の慣性モーメントの影響以外は、純粋に単振り子と同様な特性であることが確認された（図5）。

次に、防振装置として重心の保持部分が回転するのは使い勝手が悪いので、図6に示す方法で被防振装置に回転を与えない工夫をした。この装置では、2組のX-pendulumが被防振台を吊るしている。周期は幾何学的条件のみで決定されるが、現実のワイヤは被防振装置の重さで伸びるため、組立・調整にはさらに工夫を要する。この装置の防振特性は、重心の保持部分の慣性モーメントのために、高い周波数における減衰率が制限される特徴がある。これは、いわゆる長周期地震計などに採用されているいくつかの機構で生じると同じ問題を提供する。しかし、X-pendulumがこれらの機構と異なるのは、実現可能な条件でその影響を打ち消すようにできるという点である。現在、その条件を取り入れた装置を開発して、防振特性を測定中である（表紙写真）。

次に、これまでのX-pendulumは1次元方向の防振にしか使えない。これを水平2自由度の防振装置とするには、向きが90度異なる2つのX-pendulum

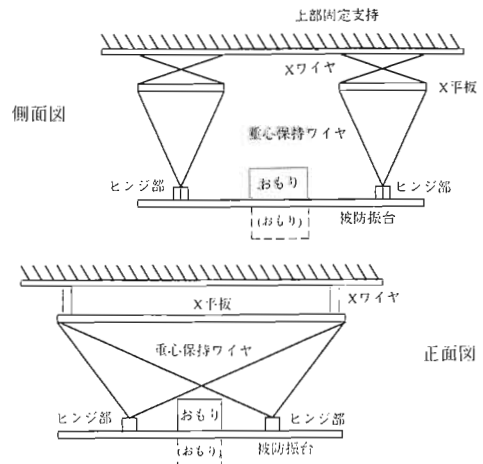


図6 現実的な水平1自由度防振装置  
重心保持部の回転をなくし、その部分の慣性モーメントの影響を調べるために準備され、現在その特性が調べられている。

を2段重ねればよい。しかし、ここでも我々は新しいアイデアを導入して実用に便利な形の2次元版を考案することができた。現在、TAMA計画に使用するためのプロトタイプを製作中である。

### X-pendulumの応用とまとめ

以上述べてきたようにX-pendulumは開発途上の機構である。しかし、そのポテンシャルは限りなく大きい。重力検出器の低周波での防振特性を高めるためには必須の技術となることは十分に期待される。それ以外に、これまで長周期の加速度計や地震計の機構としてよく用いられた倒立振り子にとって代わることも予想される。なぜなら、倒立振り子の場合振れ角を大きくしていくと不安定領域に入るのに、X-pendulumでは一旦安定に設定されればどんなに大きい振れ角でも不安定に陥ることはないからである。また、倒立振り子では長周期を得ようとするとヒンジ部分の挫屈が問題となるがX-pendulumでは常に引張りしかかからないためこの問題は起きない利点もある。

さらに、これまで得られた最長周期は70秒であるが、100秒を超えるX-pendulumが実現できれば、ニュートン重力など極めて弱い力を測定するための強力な手段となり、重力の物理を発展させる上で大きく貢献することが期待される。（ミューニュー部）

## EPS HEP 95報告

中 畑 雅 行

上記国際会議 (International Europhysics Conference on High Energy Physics) が7/27から8/2までブリュッセルにおいて開催された。会議は、700人程の参加者による大規模なものであり、3日間のパラレルセッションと3日間のプレナリーセッションが開かれた。本報告では、すべての内容を網羅することは不可能に近いので、パラレルセッションの内、ニュートリノ物理、非加速器物理、宇宙物理関連の発表、及びプレナリーセッションの内興味ある内容について報告させていただく。

ニュートリノ物理のパラレルセッションでは、 $\nu_\tau$ の質量、加速器でのニュートリノ振動実験、太陽ニュートリノ実験、高エネルギー天体ニュートリノ実験、2重ベータ崩壊実験等について発表があった。 $\nu_\mu$ の質量については、M.SasakiによりLEPでの結果について発表があり、ALEPHが $23\text{MeV}/c^2$ 、OPALが $29.9\text{MeV}/c^2$ の上限値 (95% C.L.) を与えた。ニュートリノ振動については、LSNDによる、 $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ 振動の発表があった。データの内容は既に世界に発表されているものと変らなかつたが、LSNDでは、現在、 $\pi^+$ からの高エネルギープロンプト $\nu_\mu$  (60-180MeV) を使い、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ の振動について解析中とのことであった。また、今年8月より新たにデータを取るそうである。これに対してKARMENは、 $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ 、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ 、 $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ の振動に対して、特に有意な信号は無いとし、リミットを与えた。ただし、問題の $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ については、LSNDが与えた領域 (80% C.L.) 全体を排除 (90% C.L. で) してはいない。KARMENは、ニュートリノ振動に対しては否定的な結果を与えたが、捕えた現象の一次ビームとの時間差分布において、 $3.6\mu\text{sec}$ の所にニュートリノからは予想できない現象の超過があるというKARMEN Anomalyを発表した。(この内容は、既にPhys. Lett. B348(1995)19に出版されている。) これが $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + X$ で生まれた粒子とすると $m_X = 33.9\text{MeV}$ 、 $B_X = 0.02$ となるらしい。ちなみに超過の現象数は、 $125 \pm 51$ イベントである。CERNにおける $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  (appearance) 実験では、CHORUSが1994年に155日間のデータを取得し、今年は、今までに70日分の

データを取り、全部で $2.0 \times 10^{10}$ pのデータを取っていると発表した。現在データは解析中であり、エマルジョンがとらえたVertexの例を見せていた。すべてのデータ解析が終わるのは、1996年末とのことである。NOMADは1994年に2/11のターゲットでデータを取り、今年は8/11のターゲットが入り、8月中旬からはフルのセットアップでデータを取る予定であると発表した。

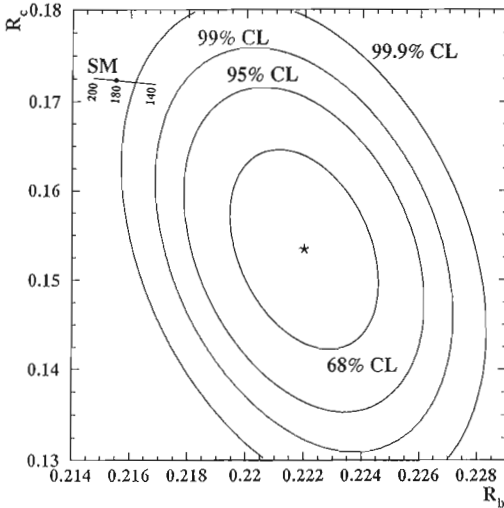
加速器におけるニュートリノ振動については、他にCCFRによる $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ 、 $\nu_e$ のリミットについて発表があった。

太陽ニュートリノについては、GALLEXの最新結果の発表があった。GALLEX IとIIと合わせたフラックスは、 $77.1 \pm 8.5 \pm 5$  SNUであり、これは、理論の予想値の60%に相当する。また、 $^{51}\text{Cr}$ のソースによるキャリブレーション実験の最終結果として (測定値) / (予想値) =  $0.97 \pm 0.11$ という結果を与えた。太陽ニュートリノについては、それ以外に将来の実験としてSuperKamiokande、BOREXINOについて発表があった。大気ニュートリノについては、MACROによる上向き $\mu$ の解析で6スーパーモジュール (SM) で0.42年分、1 SMで1.4年分のデータの結果について発表があり、測定値/予想値 =  $0.73 \pm 0.17$ という値であった。

超高エネルギー天体ニュートリノ実験については、AMANDA、BAIKAL、DUMAND、NESTORについてレビューの発表があった。これらの内AMANDA、BAIKALでは、プロトタイプの装置が動いており、宇宙線の角分布を測定している。AMANDAでは、氷の透過率を測定し、約300mという驚くべき値を与えていた。ただし、現在は、泡による散乱長が $0.1 \sim 0.2\text{m}$ であり、光はほとんどランダムウォークで伝播しているらしい。また超高エネルギーニュートリノ ( $\geq 50\text{TeV}$ ) と核子の断面積は、HERAで測定された低X領域での $F_2$ を使って計算すると、今までの計算値に比べて約2倍大きいという発表もあった。

2重 $\beta$ 崩壊実験では、NEMOグループによる $172\text{g}$ の $^{100}\text{Mo}$ の結果、 $T_{1/2}^{\beta\beta} = (0.95 \pm 0.04 \pm 0.09) \times 10^{19}$ 年、 $T_{1/2}^{\beta\beta} > 6.4 \times 10^{21}$ 年 ( $m_\nu < 6-18\text{eV}$ )、Gotthard実験による $^{136}\text{Xe}$ の結果、 $T_{1/2}^{\beta\beta} > 1.5 \times 10^{23}$ 年 ( $m_\nu < 1.8-2.8\text{eV}$ ) が発表された。

宇宙物理関連のセッションでは、直接的方法によるダークマター探索として、6kgのNaIを用いた実験 (UK dark matter collaboration)、ボロメータ実験 (EDELWEISS) の発表があった。どちらも予



$\Delta\chi^2$  between best fit with Standard Model  $R_b$  and  $R_c$  ( $m_{top} = 180 \text{ GeV}$ ,  $R_b = 0.2155$ ,  $R_c = 0.172$ ), and best overall fit, is 16.0

図1 Comparison with Standard Model:  $R_c$  vs.  $R_b$

想されるシグナル強度  $< 0.1 \text{ event/day/kg}$  に至るには、まだ2ケタ以上リミットを下げる努力が必要である。Antimatter ( $\bar{p}$ ,  $\bar{\text{He}}$ ,  $\bar{\text{C}}$ ……) の探索のため、スペースステーションALPHAにスペクトロメータを建設する計画について発表があった(AMS共同実験)。この実験では、1998年にスペースシャトルで10日間のテスト実験を行い、その後2001年にスペースステーションに乗せる計画であり、今までの測定値に比べて、 $10^4 \sim 10^5$ 倍感度が上がるそうである。

その他、宇宙物理関連では、ガンマ線バーストの起源の1つとして、原始ブラックホールからの放射の可能性について(D. Cline)、Fermi研における $\bar{p}$ の崩壊探索実験(例えば、 $\bar{p} \rightarrow e^- \pi^0$ の寿命が $\sim 10^5$ 年以上)等の発表があった。

プレナリーセッションでの発表の内、興味ある内容について以下に記す。

A. Olshevski (Dubna)により、標準模型の精密測定について発表があった。LEPは、全実験で $14 \times 10^6$ のZイベントを記録し、各種パラメータの精密測定を行い、標準模型と比較した。このうち、 $R_b (\equiv \Gamma_b / \Gamma_{had})$  と  $R_c (\equiv \Gamma_c / \Gamma_{had})$  が予想値と比べて99% C.L.以上ずれていると発表した(図1)。この結果に対して、W. Hollik (Karlsruhe) は、SUSYを仮定すれば、 $R_b$ については合いが良くなるが、 $R_c$

はほとんど変わらないと発表した。S. Komamiya (Tokyo)により、ボトムチャームのスペクトロスコピーについて発表があり、LEP、CLEOにより、 $L = 1$ のcharmメゾンが確立され、 $B^+$ 、 $B^0$ の寿命は、約3%の精度で測定されており、 $\tau(B^+/B^0) = 1.01 \pm 0.05$ であると発表した。

新粒子探索については、J.F. Grivaz (LAL-Orsay)による発表があり、1994年のデータで、LEPが $140 \text{ pb}^{-1}$ 、HERAが $3.2 \text{ pb}^{-1}$ 、TEVATRONが $70 \text{ pb}^{-1}$ のルミノシティを得て、Higgsの質量の制限、 $> 65.2 \text{ GeV}/c^2$ 、スケラークォーク、レプトクォークに対する制限について報告した。

非加速器関係では、V. Berezinsky (INFN)により、太陽ニュートリノ問題、Cold-Hotダークマターモデル、UHE宇宙線についての発表があった。この内、太陽ニュートリノ問題については、現在の3つのタイプの実験のどの2つをとっても、太陽モデルの範疇では解決がつかないと発表した。

ニュートリノ物理については、D. Wark (Oxford)がニュートリノ質量、ニュートリノ振動実験等のレビューを行い、トリチウムの $\beta$ 崩壊からの質量測定では、Troitskによる上限 $4.35 \text{ eV}$  (95% C.L.) が与えられたこと、SNOは1996年秋スタートをめざして建設中であること、その他上記のパラレルセッションの内容についてのレビューが発表された。

Deep inelastic scatteringについては、F. Eisele (Heidelberg)により発表があり、固定ターゲット実験でNMCが $E_{\mu} = 90, 120, 200, 280 \text{ GeV}$ でデータを取ったこと、HERAでは、 $2.8 \text{ pb}^{-1}$ のデータが取られ、またinitial state radiationのイベントや、vertexをシフトしたデータを使い、低い $Q^2$ のデータも解析したことにより、 $F_2$ の値が $Q^2 = \text{数 GeV}^2 \sim \text{約 } 10^4 \text{ GeV}^2$ まで測定されたと報告した。

高エネルギーでのsoft interactionについて、A. Levy (Tel Aviv)により発表があり、HERAにおける $\gamma\gamma$ 散乱で、direct  $\gamma$ とresolved  $\gamma$ の成分が見えていること、large rapidity gapイベントは、Pomeron交換と考えられるが、そのメカニズムを2つのグルオンとして説明するモデルとよく合うと発表した。

プレナリーセッションの最後に、Llewellyn-Smithにより、LHCプロジェクトについて発表があった。LEPは1999年にストップし(ちなみにLEPは今年秋に $140 \text{ GeV}$ まで $\sqrt{s}$ を上げ、その後 $200 \text{ GeV}$ に上がる)、2004年には $9.3 \text{ TeV}$ のエネルギー、 $4 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ のルミノシティーでLHCをスタートする。そし

て2008年にデザイン値の $14\text{TeV}$ 、 $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ で本運転に入るという計画であると発表した。

会議の締めくくりは、D. Perkinsの話であったが、ニュートリノの話に重点がおかれた。話の中で、「昔はproton decayのバックグラウンドとして邪魔者であった大気ニュートリノが、今では立派な信号である。」という言葉が私にとって印象的であった。

次回のEPS HEPは、1997年にエルサレムで行なわれるそうである。(神岡実験推進部)

## 国際会議報告

### 14th International Conference on General Relativity and Gravitation

神田 展 行

8月6日から12日にかけてフローレンス（イタリア）で開催された「一般相対性理論と重力についての第14回国際会議（GR14）」に出席しました。またCERNに設置してあるローマ大学の重力波共鳴アンテナ「EXPLOPER」を見学してきたので、あわせて報告いたします。

#### 1 GR14

出席者数は800名程度。日本からは、実験関係では坪野（東大理）、Heflin（宇宙研）、神田（東大宇宙線研）が参加。理論関係も20名程度。GRは元々は理論主体の会議だったのですが、近年実験部門の参加者が増えてきて、今回はC1、C2の2つのワークショップが実験に割り当てられました。午前中は合計17のPlenary lecturesが行われ、Hawkingなどそうそうたるメンバーが出席していました。重力波実験関係では共鳴アンテナの現状と将来について、宇宙でのレーザー干渉計がありました。午後は平行して行われる分野別のワークショップで14のセッションに分かれました。その内C1が私の主な目的の地上での重力波実験のワークショップでした。

初日は共鳴型重力波アンテナ関連の発表が行われ、低温アンテナが稼働率を上げて連続運転をしているのと、球形アンテナの計画がどんどん進んでいるのが印象的でした。EXPLOPER（CERN、ローマ大学グループ）は、現在感度は実効温度（共鳴重力波アンテナでは、変位感度を実効的な温度にして表記するのが一般的です） $T_{\text{eff}}=10\text{mK}$ 、 $h$ 換算で $8 \times 10^{-19}$ 。将来計画として、トランスデューサーの電場を上げ、

間隔を狭くして感度向上を計るそうです。AURIGA（INFL）は現在6.5Kまで冷却しています。西オーストラリアの共鳴アンテナは実効温度2mKでデータが182日間あるそうです。宇宙線研の共鳴アンテナについては私が発表しました。レーザートランスデューサーと円盤形のアンテナ形状が特徴であるので、やはりそれらについての質問がありました。現在の感度は $1 \times 10^{-15}$ （周波数安定化なし）。リアルタイムのデータ解析が準備されており、これについても言及しました。メリーランド大のレーザートランスデューサーは我々と条件の違う点もありますが、共通点もあり参考になりました。常温でのテストから初めて、現在では極低温にて $10^{-16}\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$ に達しています。

この後は球形重力波アンテナの開発状況が報告され、トランスデューサーの取り付け位置、重力波の入射方向の特定の仕方などについての解析的な計算、また雛形を用いた実験も発表されました。TIGAグループは6つのトランスデューサーの情報から5つの励起モードを特定し、ハンマーでアンテナをたたいて情報から逆算して位置を求めるといっています。

初日の最後には、共鳴アンテナのバンド幅を使って、複数のアンテナで1kHz以上の帯域での重力波に対する感度を得ようという発表がなされました。6個の低温アンテナで、トランスデューサーを改良していけば1kHz以上で $10^{-22}$ の感度が出せるだろうとのことです。1kHz以上では干渉計より共鳴アンテナが有利だという考えもあるようです。

2日目は大型干渉計関連。最初はVIRGO（仏+伊）の発表が概要を始めにいくつかなされました。現在の状況はセンタービルディング等の着工にかかっているようです。干渉計の腕の部分を含めるトンネルは、半地下で真空パイプは径1200mm。防振系は7段の防振（測定系と入射系は3段）装置が $10^{-6}\text{mbar}$ の真空槽に納められ、径10mmのロッドで $10^{-8}\text{mbar}$ の最終段の真空槽につながります。また、防振装置の足先にコイルがあり、これとロッドで干渉計のミラーを吊るすマリオネットと結合しています。ミラーの装着などは、この真空槽の下に作業用のクリーンブースが作られ、ここでマリオネットに装着して真空槽内につり上げるようです。このあたりの汚染しないための手順など真剣に考えているようでした。ミラーについては、各コンポーネントで材質が違っており、SupersilやULEを用いています。

レーザー関係では周波数安定化が、レーザーからの出力光を見て行うものと、VIRGO干渉計自身を用いるものの2段に分けられていました。

次はLIGO (米) の現状報告。真空槽は $10^{-9}$ Torr以下にするとのこと。オンラインモニターなどにEPICS (ロスアラモスで開発されたVMEとワークステーション等をつかった計測器のデータベースシステム様のソフトウェア、我々日本の干渉計グループも使用) を使用していることは間違いないようです。また40m干渉計も現状、雑音の改良の内容が話されました。雑音の点では、モノリシック・ミラーに変えて改良された点が述べられました。現在進行中の内容として、直接干渉、次の段階でモードクリーナー、最後にパワーリサイクリングをやるそうです。

次にTAMA300 (日) のデザイン、現状が報告されました。特にレーザーに関しては開発内容に触れ、また質問もありました。同時に来年度 (1996) 秋のワークショップもアナウンスされました。

3日目も干渉計関連で、この日はGEO600 (独・英) 関係が多く発表されました。GEO600の建設地はHannover。干渉計の腕はやはり半地下、溝掘り下げ式で、真空チューブは直径60cm。真空度は水素については $5 \times 10^{-8}$ mbar以下、他のガスについては $5 \times 10^{-9}$ mbar以下が設計値。光学系のパスも、ビームプロファイルの太さを加えた図で正確に示されました。特徴的なのは、外部変調を用いていて、干渉計内部には変調素子が入っていない点です。防振系は4段のゴムとスチールのスタックの上に天板を渡し、そこからミラー等を溶融石英のファイバーでつり下げて構成されています。最初の運転は1999年末が目標。帯域5~500Hz、バンド幅150~1500Hzでhが $10^{-22}$ ~ $4 \times 10^{-23}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。温度は30Kまで冷やすことも考えているそうです。

この後宇宙科学研究所のTENKO100の現状が報告されました。1kHzでhにして $5.3 \times 10^{-20}/\sqrt{\text{Hz}}$ に届いており、立派な結果だと思います。

C1のポスターセッションでは、NAUTLUS (低温共鳴アンテナ) の発表で宇宙線 (主にハドロンと高エネルギーミュオン) による励起をシミュレーションで定量的に評価していたのが目を引きました。ハドロンのフラックスに過去の少ない観測の結果を用いており、実験と定量的に合わせてどこまで評価できたかはちょっと判断できませんでした。宇宙線検出部分がハメティックでないので、単体ではイベントを完全に除けず、他のアンテナとのコインシ

デンスが必要と強調していました。

日本からは、低周波防振のためのX振り子の開発状況 (Barton (天文台) 他) を掲示しており、概ね興味を持っていただけたようです。またTAMA300のデータ処理グループも発表しており、他のグループの意見を聞くことができました。

会議運営などはお国柄らしくのんびりしていましたが、Plenary lectures等内容は充実しておりました。重力波実験の分野では、大型干渉計計画が順調に進んでいるのと、球形共鳴アンテナのグループがハイペースで予備実験を進めつつあるのが印象的でした。

## 2 CERN見学

そもそもはRome大グループに見学を申し込んだところ、CERNで実験をやっているのを見に来ないかと誘われた次第です。

EXPLORERはローマ大グループの極低温共鳴型重力波検出器です。設置場所は、旧箔箱実験 (あのGargamelle) が行われていた場所で、床などはとても丈夫で静かであるそうです。アンテナは2.5K。冷却系のメンテナンスのため検出器としての稼働率は80~90%程度です。共鳴トランスデューサーの信号をSQUIDを使って読み出しており、取り込まれているデータで、常にボルツマン分布を手始めにあらゆるステータス、解析がリアルタイムにその場で見えるようになっていました。感度は前述のように $T_{\text{eff}} = 10\text{mK}$ 。その他にL3とCHORUS (ローマ大関係者のいる実験) を見せてもらいました。

CHORUSは今更言うまでもなくニュートリノ振動の実験です。神岡の大気ニュートリノの観測と違って、ここではミューニュートリノからタウニュートリノへの振動が測定目標。エマルションを使っているのが特徴で、現在4つのエマルションスタックが2年間、合計 $5 \times 10^4$ トリガーあるそうです。この後さらに2年実験する予定。エマルションの解析は相対位置合わせが大変で、今の所は1スタックが解析を終え、candidate eventはまだ見つからないそうです。お隣のNOMADは遷移放射検出器をつかっており、電子同定ができるのが強み。検出器は6月になって動き始めており、動作は良好だそうだが、まだほとんどデータはとっておらず、もちろんcandidateは見つからないそうです。

ローマ大の共鳴アンテナが定常運転のために非常にがんばっているのを見て刺激され、また思いも掛けずL3やCHORUSを見学でき、なかなか興奮した訪問でした。 (ミューニュー部)



## 委員会報告

### ○平成7年度第2回共同利用運営委員会

平成7年6月17日(土)

議題

1. 諸報告
2. 教官人事の方針について
3. COE研究員の補充について
4. 共同利用実施専門委員会委員候補者の推薦について
5. その他

### ○平成7年度協議会

平成7年6月29日(木)

議題

1. 諸報告
2. 研究所の将来計画について
3. 研究所の運営について
4. その他

## 新人紹介

Kai Martens, COE-fellow

Born in 1963 in Frankfurt/Main, Germany, I started studying Physics at the University of Freiburg in 1982. In 1985 I continued my studies at Heidelberg University, where I received my Diplom in 1989. My teacher there, Prof. J. Heintze, subsequently invited me to join the effort to build a new photon detector for the Omega RICH at CERN. In 1990 I moved to Geneva, Switzerland, and joined the WA89 collaboration at CERN. Our small group from Heidelberg University there was lead by Prof. H.-W. Siebert. With the new photon detector the RICH in this hyperon beam experiment became one of the pivots of the physics analysis. The main physics goals of WA89 are the charmed strange baryons and exotic states. In my doctoral thesis I was looking for the decay of the exotic  $K(3100)$  into



### ○平成7年度第1回共同利用実施専門委員会

平成7年7月15日(土)

議題

1. 諸報告
2. 宇宙線研究所諸施設の現状と将来について

## 研究報告出版状況

ICCR-Report

(4) ICCR-Report-388-95-4

"A Study of the Particle-Identification Capability with a Water Cerenkov Detector"

S. Kasuga

(5) ICCR-Report-339-95-5

"Does the Time-of-Swing Method Give a Correct Value of Newtonian Gravitational Constant?"

K. Kuroda

lambda, antiproton and pions.

After five years at CERN I left Geneva this summer to join the Super-Kamiokande group at ICRR and work on solar neutrinos. Since the beginning of August I enjoy the harmonic and friendly atmosphere at the Kamioka Observatory and on the Super-Kamiokande constructions site. So please allow me to close with a heartly 'Thank you!' to all my new colleagues and the leaders at ICRR for making my stay as enjoyable as it is. I am very happy to be here.

木下 麻子

平成7年6月末より木舟先生をはじめAS部の皆様にお世話になっています。ご他聞にもれず、イメージな学生・OL生活を経験し、これではいけないと象牙の塔の門をたたきました。ご専門については勿論、地理・歴史・風俗(?)等に相渉る侃々諤々たる議論が頭上をとひ交う中、楽しみながらマイペースで仕事を覚えていこうと思います。どうぞ宜しくお願い致します。



## スーパーカミオカンデ建設風景

梶田 隆章、中畑 雅行

本年度はスーパーカミオカンデ建設の最終年度です。昨年までは、どちらかと言えば、建設は業者まかせて研究者が現場で汗を流すということは少なかったのですが、本年度は研究者も現場に総動員で測定器建設の仕上作業を行っています。総合的な測定器建設については、建設完了時にこのICRRニュースで報告されると思われまますので、今回は測定器建設のために現場で我々が日夜行っている作業風景を紹介します。



写真1：作業は、光電子増倍管を3本1組にしてフレームを取付け、モジュール化するところから始まります。この写真がその作業をしているところです。写真後方に見えるのがこの工程を終了し、次の工程（ケーブルを洗浄し、3本1組に束ねる）を待っているモジュールです。この作業は4月初めより始め、11月末まで続く予定です。

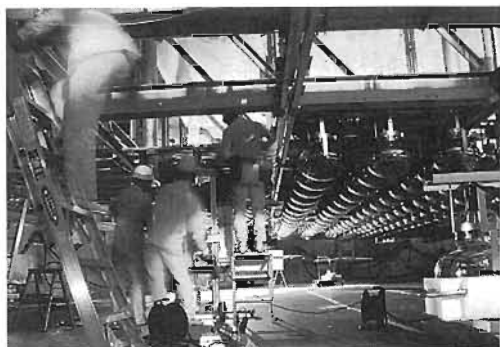


写真2：光電子増倍管モジュールを製作した後の作業は、水槽への取付です。写真は6月に水槽底面で上面の光電子増倍管を取付けているところです。

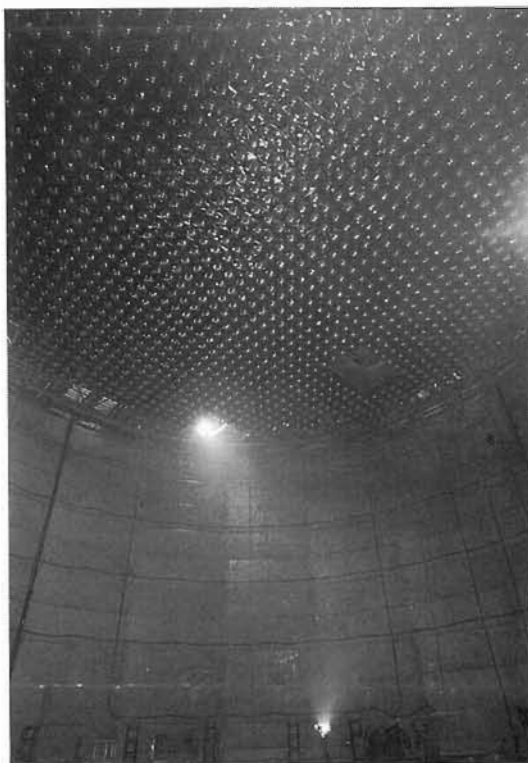


写真3：上面の光電子増倍管を取り付けた後、屋根全体を所定の高さまで吊り上げて屋根部分が完成しました。写真は屋根部が約半分の20メートルまで吊り上げられたところです（7月）。

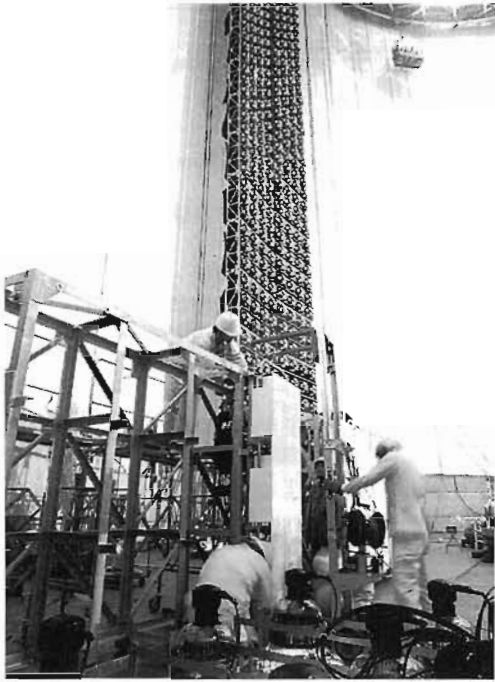


写真4：8月になると水槽側面の光電子増倍管取付が始まりました。写真前方が光電子増倍管モジュールを水槽の側部架構に組み込んでいくところです。この架構を17段つなげて側面部分の1列ができます。写真後方に見えるのが既に出来あがった2列です。側面光電子増倍管のケーブル引き上げ等に使われるゴンドラも写真後方上に見えます。



写真6：引き延ばされたケーブルはエレクトロニクスハット内でエレクトロニクス、高電圧電源に1本ずつ接続します。エレクトロニクスでいっぱいになった部屋で細かい作業が多く大変です。写真のエレクトロニクスハットと同じものが水槽上面に4個あります。(8月撮影) (神岡実験推進部)



写真5：光電子増倍管の取付から数日遅れてケーブルをエレクトロニクスハットまで引きのばす作業が始まります。光電子増倍管の位置により、余るケーブルの長さが違い、その長さの違いは写真にあるように水槽上面に設置されたケーブルトレイ上で調整します。長いものでは50メートル以上もこの上でのばさねばならず、予想をはるかに超えて体力のいる作業です。

### 宇宙線研セミナー

- 7) 6月30日(金) 内藤 統也(宇宙線研究所)  
“斜め衝撃波による粒子加速”
- 8) 7月7日(金) 市原 智康(東京工業大学)  
“超対称QCDにおける真空の構造と閉じ込め”
- 9) 7月14日(金) 大下 範幸(お茶の水女子大学)  
“Neutron and Electron Electric Dipole Moments in the Supersymmetric Standard Model”
- 10) 8月11日(金) A.V. Apanasenko(レベデフ物理研究所)  
“ロシアにおける気球実験”
- 11) 8月22日(金) Wei-Tou Ni(台湾清華大学)  
“レーザー干渉計による真空の複屈折の測定実験”

## 宇宙線研究所共同利用運営委員会委員名簿

| 所 属 ・ 官 職      | 氏 名         | 備 考        |
|----------------|-------------|------------|
| 東京大学宇宙線研究所     | 所 長 荒 船 次 郎 |            |
| 東京工業大学理学部      | 教 授 永 井 泰 樹 | 核物理学実験     |
| ○東京大学理学部       | 教 授 柳 田 勉   | 理学部        |
| 京都大学理学部        | 教 授 小 山 勝 二 | 宇宙物理学      |
| ○大阪市立大学理学部     | 教 授 伊 藤 信 夫 | 宇宙線物理学     |
| ○名古屋大学理学部      | 教 授 大 島 隆 義 | 高エネルギー実験   |
| 理化学研究所         | 主任研究員 松 岡 勝 | 宇宙線物理学     |
| 宇都宮大学教育学部      | 教 授 太 田 周   | 宇宙線物理学     |
| 名古屋大学太陽地球環境研究所 | 教 授 村 木 綏   | 宇宙線物理学     |
| ○東京工業大学理学部     | 教 授 坂 井 典 佑 | 理論         |
| 東京大学宇宙線研究所     | 助教授 黒 田 和 明 | ミュー・ニュー部主任 |
| 東京大学宇宙線研究所     | 教 授 戸 塚 洋 二 | 神岡実験推進部主任  |
| 東京大学宇宙線研究所     | 教 授 永 野 元 彦 | 空気シャワー部主任  |
| 東京大学宇宙線研究所     | 教 授 湯 田 利 典 | エマルション部主任  |

任期 7.9.16～9.9.15 ○新任

### お知らせ

### 文部省科学研究費重点領域 「高エネルギー天体」 平成7年度シンポジウム

日 時：1995年12月13日（水）から16日（土）まで

場 所：経団連、人材開発センター、富士研修所  
山梨県富士吉田市新屋1400（河口湖近く）  
電話 0555-22-5156

内 容：宇宙の超高エネルギー現象を実験的、理論的に探る。パルサー、超新星残骸、活動銀河中心核などで超高エネルギー粒子が加速され、(超)高エネルギーガンマ線が放出されている。その実験的検出が最近可能となり、「高エネルギー天体」の研究が一段と進展しつつある。粒子加速機構などについての理論的検討を行なうとともに、ガンマ線や宇宙線の検出の現状と将来の展望を議論し、x線天文学など周辺関連分野との交流を目的とする。

定 員：約80名

連絡先：188 田無市緑町3-2-1

東京大学宇宙線研究所空気シャワー部  
木舟 正 電 話 0424-69-9594  
ファックス 0424-62-3096  
Email tkifune@icrr.u-tokyo.ac.jp

### 行事予定

### 大型水チェレンコフ 宇宙素粒子観測装置 完成披露式典・祝賀会 1995年11月11日(土)

式典・見学 岐阜県吉城郡神岡町東茂住神岡鉱業(株)住坑内  
13:30～14:30 大型水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置水槽底部  
祝賀会 岐阜県吉城郡神岡町東茂住茂住体育館  
16:00～17:30

## 人 事 異 動

| 発令年月日    | 氏 名         | 異動内容      | 現(旧)官職    |
|----------|-------------|-----------|-----------|
| 7. 6. 30 | 内藤統也        | 辞職        | 文部省COE研究員 |
| 7. 7. 1  | 内堀幸夫        | 文部省COE研究員 | 研究員       |
| 7. 7. 31 | 内堀幸夫        | 辞職        | 文部省COE研究員 |
| 7. 8. 1  | Kai Martens | 文部省COE研究員 | 新規採用      |

No.26

1995年10月11日

### 東京大学宇宙線研究所

〒188 東京都田無市緑町3-2-1

編集委員 永野 (0424) 69-9592  
梶田 (0578) 5-2116