

# ファブリーペロー型レーザー干渉計プロトタイプ

大橋 正 健\*

## 1. はじめに

国立天文台に設置される基線長 20 m のファブリーペロー (FP) 型レーザー干渉計は、日本に於ける FP 型干渉計の基礎を築く目的を持っています。

レーザー干渉計型重力波検出器開発の世界的な状況を概観すると、独・英・米等では既にプロトタイプ実験が一段落し、大型計画を提案しています。特に LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) と銘打った米の計画は、今年末にも予算がつくかもしれません。このような中で、重点領域「重力波天文学」がスタートするわけです。LIGO はその名の中に国名が入っていないのを見て分かるように、世界的な干渉計のネットワークができてこそ完結するものですから、重力波の方向や偏波を決めるために必要な 4 台のネットワークの内の 1 台を、日本が目標にする事が良いはずですが、確かに重力波天文台の実現には難しい問題も残されていますが、今はとにかく下積みを重ねることが大事でしょう。そのための土俵が、20 m FP 干渉計であると勝手に思っています。

## 2. 後発のメリット

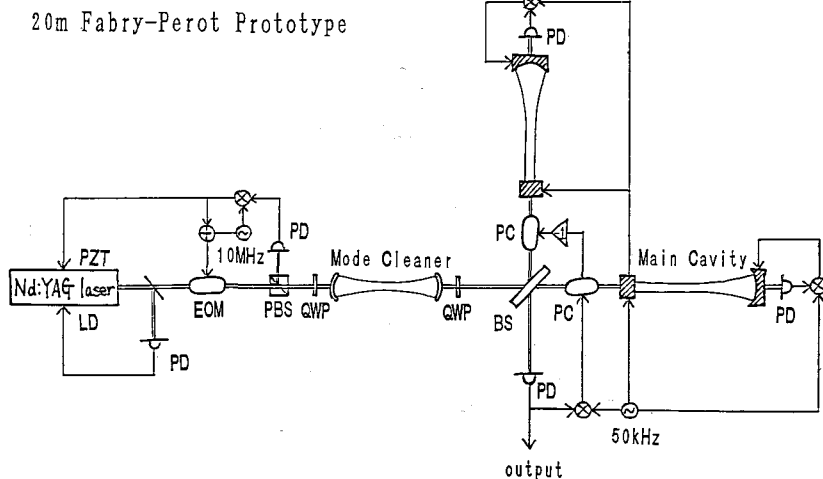
というわけで、世界的に見ると日本の FP 干渉計開発はずいぶん後発であることが分かります。さて、この状況をどうやれば利用できるのでしょうか？

まず、既に試されたこと、現在進捗しつつあるものを詳しく検討する事でしょう。そうして、二度手間を省くようにしなければなりません。これは、もう他人にやられてしまったことはもうやらない、というのとは違います。まわりくどい言い方になるかもしれませんが、他のグループのプロトタイプのコピーならばいつでも造れる力を付けつつ、オリジナルなものを創ってゆくのが理想です。

次に、重力波天文台には使えない技術に重点を置かないことです。現在のプロトタイプには、いくつか小型の場合のみ有効な技術があります。最終目標として、天文台建設を考えるならば、そのための最短コースを常に設定すべきでしょう。

## 3. 基本設計

いよいよ本題に入ります。現在考えられる最もエレガントな設計を試してみましょう。図を参考にしてください。何故 FP を選ぶかということは、ここでは説明しません。重点領域では DL 型も同時に開発されますから、これは 4 年後に実際に比べてみれば良いわけです。とにかく、マイケルソン干渉計の両方の腕を FP で置き換えたものが骨組みになります。現存するプロトタイプでは、FP の応答を光サーキュレーターで取り出して自乗検波し、電氣的に引算をしていますが、20 m FP では光の状態で見算をする直接干渉を目指します。どう違うかと



\* 国立天文台 Masatake Ohashi: 20 m Fabry-Perot Interferometer

いうと、直接干渉の方が技術的に難しい代わりに構成が単純で、感度が高く、さらに光のリサイクリングが可能で、構成が単純であることは、重力波天文台の実現には重要なことです。

光源としては、最初 LIGHTWAVE 社 (米) の出力 300 mW の半導体励起 Nd:YAG レーザー (波長 1.06  $\mu\text{m}$ ) を使います。このタイプのレーザーは、出力 1 W が限界であることがわかっていますが、その波長安定性は抜群で、市販されている状態で線幅 5 kHz 以下を誇っています。もちろん、重点領域では光源開発も一つの柱となっていますから、これに取って替わる光源の登場を期待しています。

光学部品としては、高反射・低損失ミラー、ビームスプリッター、アイソレーター、光変調素子等があります。ミラーに関しては、現在フィネス 10,000 以上の FP が市販されているにもかかわらず、単体で高性能なものは日本では手に入れることができません。これについては、国際協力を期待しています。光変調素子に関しては、波面の乱れを極力少なくし、損失も少ないものが絶対必要です。できれば、電気的な変調素子を使う代わりに、ミラーの弾性を利用した機械変調を取り入れることを一つの目標にしています。

周辺装置としては、真空排気系と、データ記録・解析装置があります。真空槽は、表面処理されたアルミカステンレスが適していますが、重量や熱勾配の点ではアルミの方が優れています。データ記録・解析装置は、リアルタイム OS を搭載した UNIX ワークステーションと

VME バスで接続された AD コンバータの組合せが良いと思われ、さらに、正確なタイミングによるデータ取得を目指して、天文保時室の原子時計に接続される予定です。

#### 4. 期待される成果

まず、どれくらいの感度が 20 m FP で得られるかを計算してみます。仮定として、レーザー光源の周波数雑音や出力雑音、地面振動、電気系の雑音等が充分低減化され、光の持つ原理的な雑音、ショットノイズが実現できたとします。FP 型干渉計の感度は、重力波の振幅  $h$  で表して、

$$h_{\min} \sim \frac{1}{4IF} \sqrt{\frac{2\pi\hbar\lambda c}{P} \Delta f}$$

ですから、レーザーパワー  $P$  を 300 mW、フィネス  $F$  を 8,000、バンド幅  $\Delta f$  を 1 kHz とすると、 $h_{\min} \sim 10^{-19}$  となります。つまり、我々の銀河団で起きる超新星爆発 ( $h \sim 10^{-18}$ ) ならば、必ず検出できる感度というわけです。さらに、SN 1987A の距離 (60 kpc) であれば検出可能な感度です。

また、重力波検出器は極限技術の集積のようなものですから、開発途中で生み出される副産物も多いでしょう。超高安定・高出力レーザー、光検出器、精密光学部品等々、現在考えられるものだけでもかなりの数になります。

最後に、多くの方々のご協力をお願いします。

## 100 m デイレーライン型レーザー干渉計建設計画

河 島 信 樹\*

10 m クラスのアンテナの感度がショットノイズに近づいて世界的に km クラスのアンテナ建設が全く夢物語ではなく少し実現への兆しが見えてきた3年ほど前の国際会議で 100 m クラスの必要性を主張したところ、なぜ、そのような中途半端なものをつくるのかと多くの研究者から批判された。「それで重力波が検出できる可能性は非常に少ないのに」という。しかし、それから3年間の 10 m クラスのアンテナの技術的な進歩を見る限り、それほど、楽なものではない。このごろ、ようやく同種の 100 m クラスの提案が他の国からも出てくるようになってきたし、また、現在 km クラスを推進しよう

としているグループの中にも、「いや、本音は 100 m クラスをやってから km に進みたいよ。しかし、それでは、重力波は受からないだろうとして予算が通らないからね。」と本音を明かすようになってきた。

100 m アンテナの位置づけは、後に述べるように、それですぐに重力波が世界で初めて受かることを主目的にしているものではない。現在の 10 m クラスのアンテナから、重力波が受かると予想されている km クラスの本格的な重力波アンテナへの段階的な発展の中間ステップであることが重要である。

100 m デイレー・ライン型重力波アンテナ (TENKO-100) は、宇宙科学研究所で現在稼働している 9.7 m 102 回折り返し型のレーザー干渉計 10 m 重力波アンテナ

\* 宇宙科学研究所 Nobuki Kawashima: 100 m Delay-Line Interferometer