

二波長型レーザー伸縮計の開発2

産総研・計測標準 寺田聡一
東大地震研 新谷昌人、高森昭光

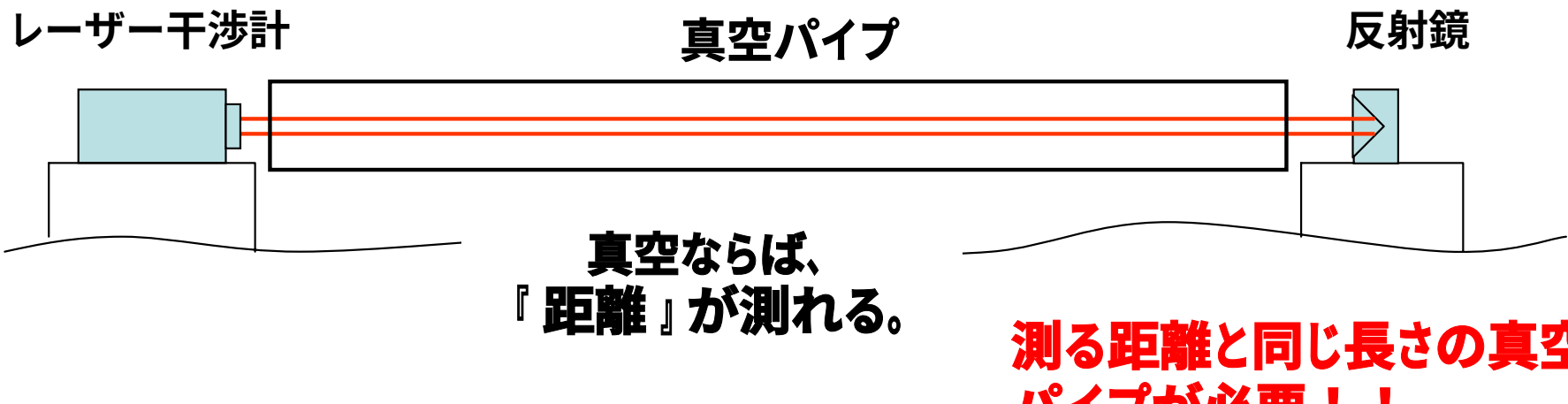
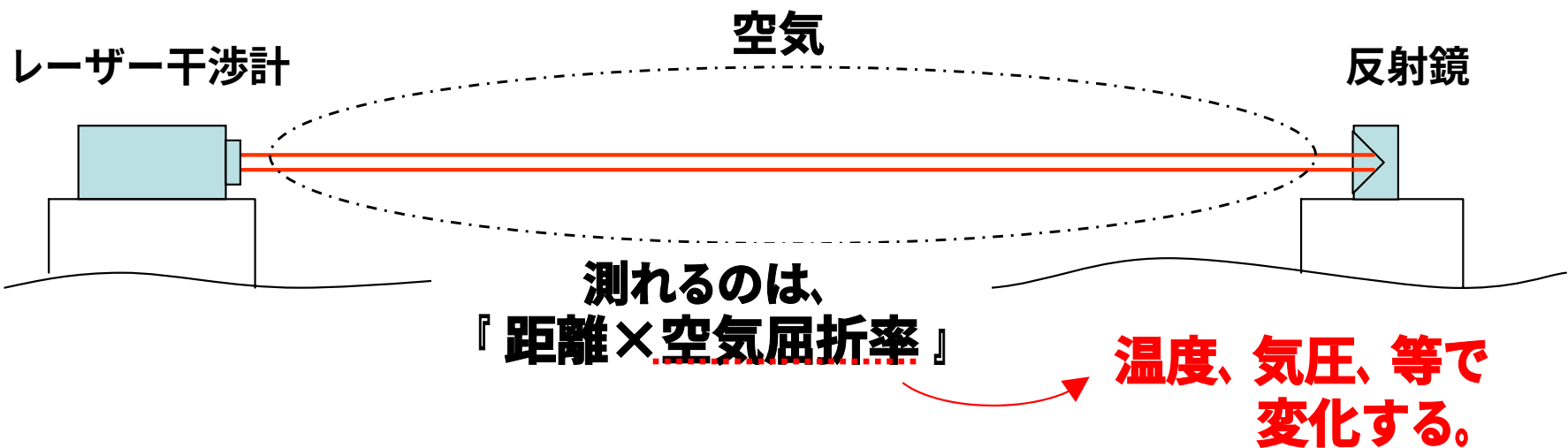
二波長型レーザー伸縮計の開発2

- はじめに
- レーザー伸縮計
- 空気中での干渉測長
- 二波長干渉計の原理
- 産総研光学トンネルでの実験
- 設置場所の神岡鉱山内
- 今後の予定

岐阜県神岡鉱山内には、基線長100mの真空光路を用いたレーザー干渉計型地殻ひずみ計が設置されており、 10^{-10} ～ 10^{-11} の精度で地殻歪を観測している。この干渉計は非常に高精度であるが、真空光路を用いているため高額であり、更なる長基線化や、多点設置には向かない。そこで、真空光路を用いずに大気光路のレーザー干渉計で地殻歪が計測できれば非常に有用である。

大気光路の長基線レーザー干渉計では、空気屈折率が最大の問題となる。空気屈折率を算出するには、その空気の温度、気圧、湿度、二酸化炭素濃度の測定が必要である。気圧に関しては、干渉計光路内では一定とみなせるが、特に温度に関しては空間分布があり、干渉計の基線長が長くなると非常に沢山の温度計が必要となるデメリットがある。

そこで、**長基線で大気光路で地殻歪を観測に、二波長干渉計を応用する。**二波長干渉計は空気の温度や気圧、湿度、二酸化炭素濃度を測ることなく、空気屈折率の影響をキャンセルできるメリットを持つ。その反面、精度は数十倍～百倍悪化するのが一般的である。ここでは、精度を悪化させずに測定できる二波長干渉計を開発している。



空気屈折率の値は、大体 1.00027 くらい (真空は、1)。

**温度1°Cで、約-1ppm
気圧1hPaで、約0.3ppm
湿度10%で、約-0.1ppm
CO₂濃度100ppmで、約0.01ppm 変化する。**

100mの距離を1 μ mの精度で測るには、

**光路の温度を0.01°C、気圧0.03hPa
で測らなくてはならない。**

これは困難！！

**光の波長が異なると、空気屈折率も異なる。
さらに、温度や気圧の変化に対する、空気屈折率の変化率も異なる。**

この原理を用いて、空気中で測長する。

二波長干渉計

$$L_1^{(o)} = n_{(\lambda_1)} L^{(g)}$$

$L^{(g)}$: 幾何学的距離 (=知りたいもの)

$$L_2^{(o)} = n_{(\lambda_2)} L^{(g)}$$

$L_1^{(o)}$ $L_2^{(o)}$: 光学的距離 (=干渉計で測れるもの)

$n_{(\lambda)}$: 波長 λ に対する空気屈折率

$$L^{(g)} = L_2^{(o)} - A \left(L_2^{(o)} - L_1^{(o)} \right)$$

$$A = \frac{n_{(\lambda_2)} - 1}{n_{(\lambda_2)} - n_{(\lambda_1)}}$$

空気の温度や気圧にほとんど依存しない定数。

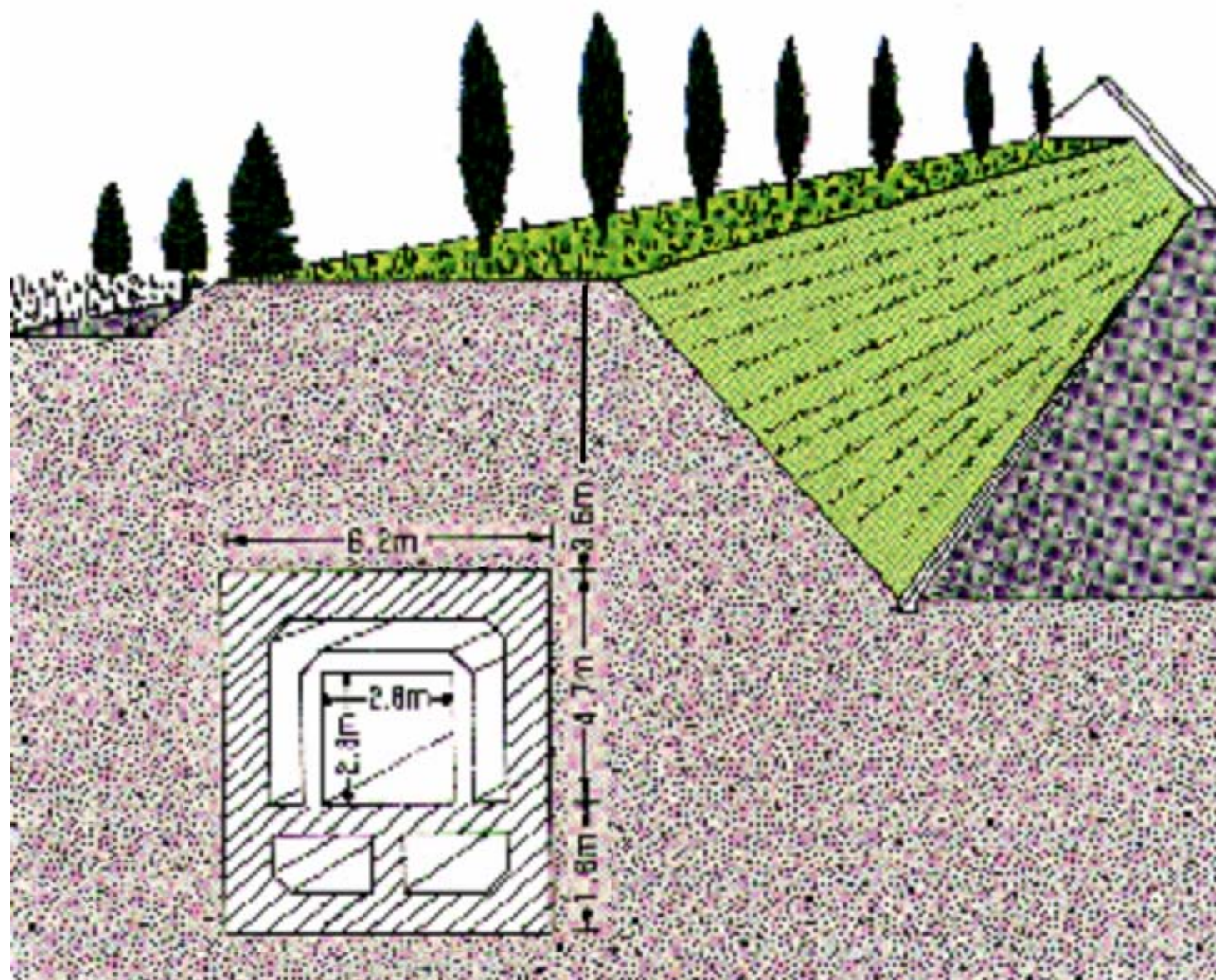
光学的距離と定数 A で幾何学的距離が決定できる！！

メリット

温度、気圧等を測らなくて良い。

光学的距離は、 A 倍精度良く測らなくてはならない！！

デメリット

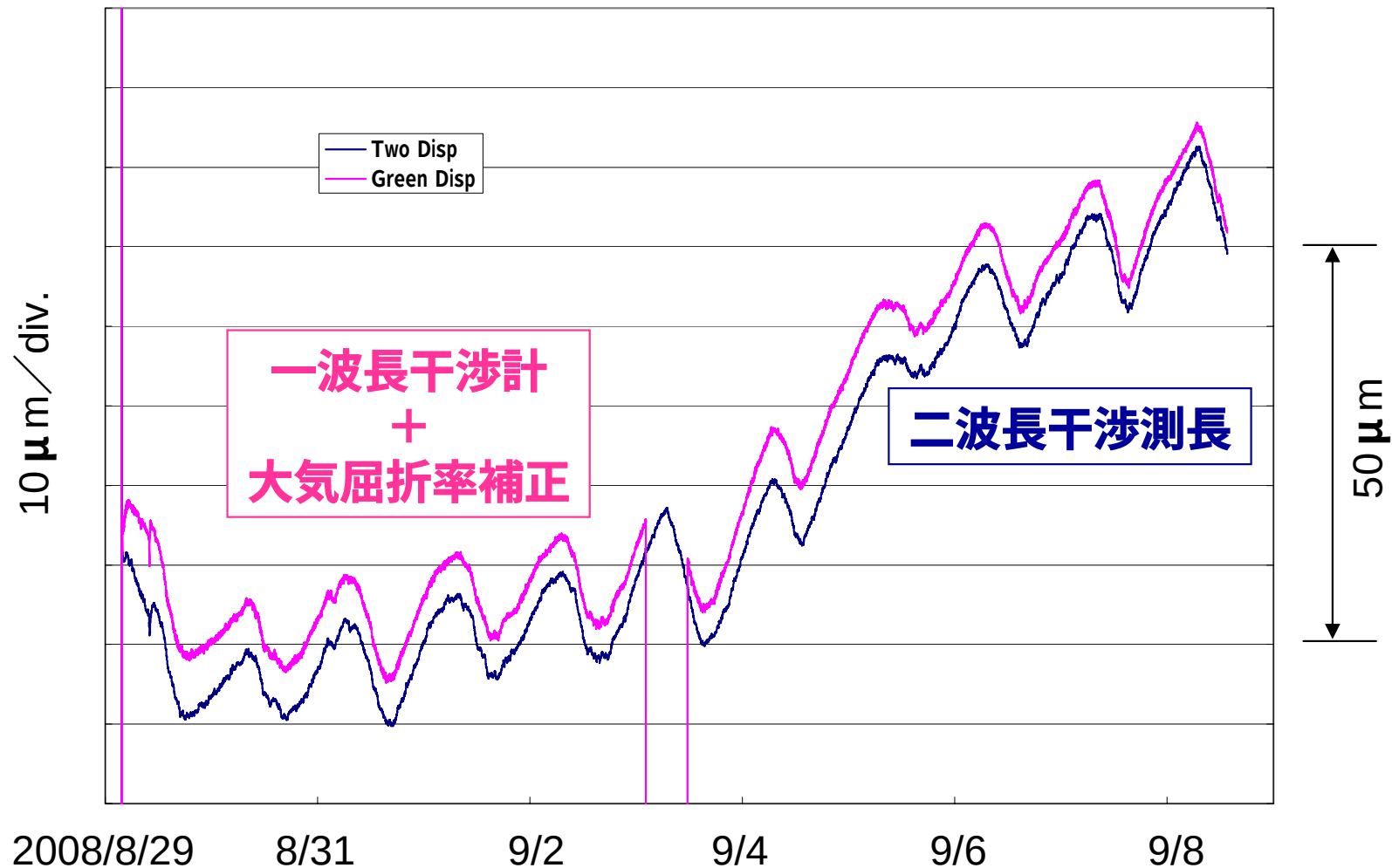


温度計 (6m間隔)

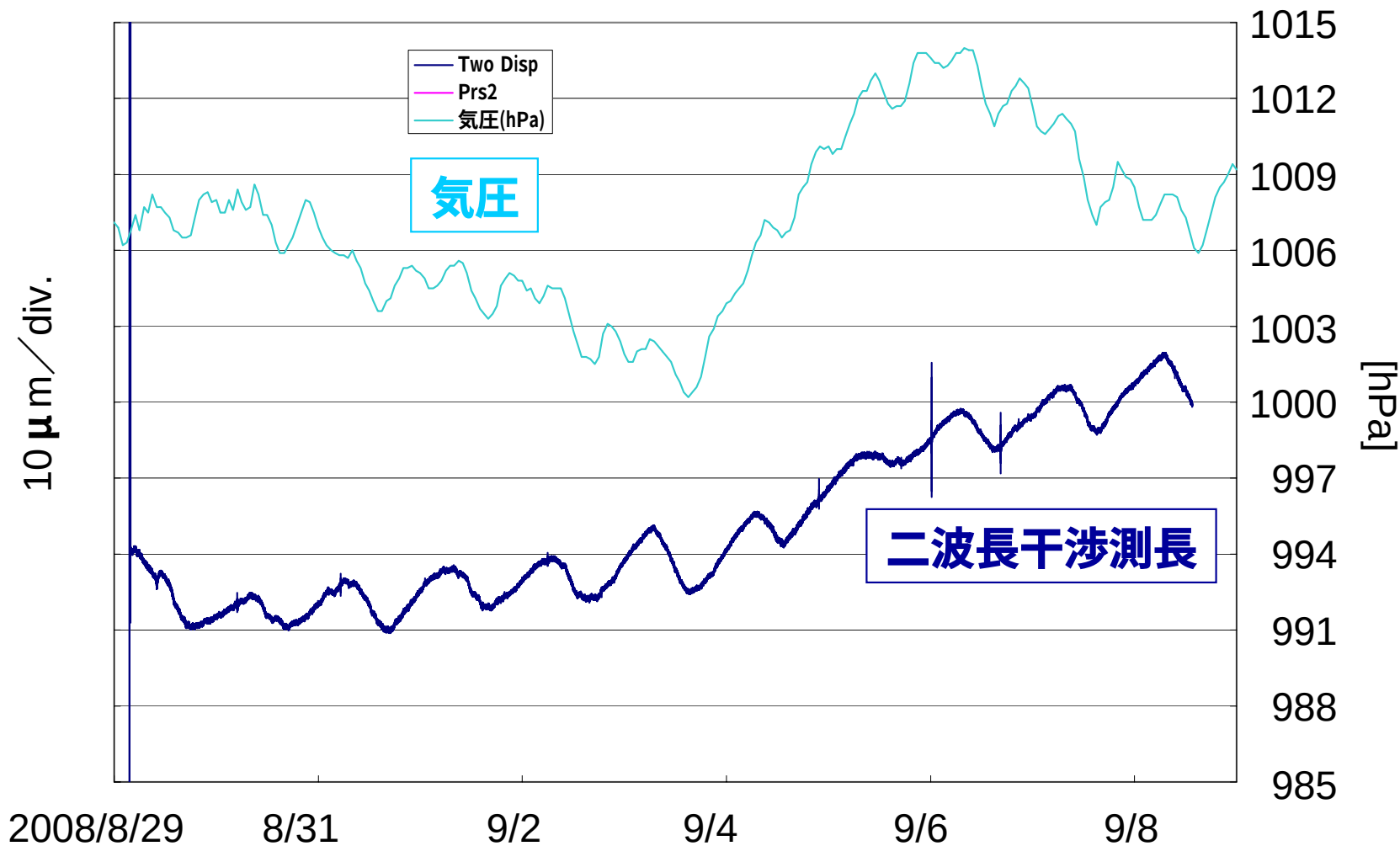
紙パイプ光路



光学トンネルの変化 (測長距離72m)

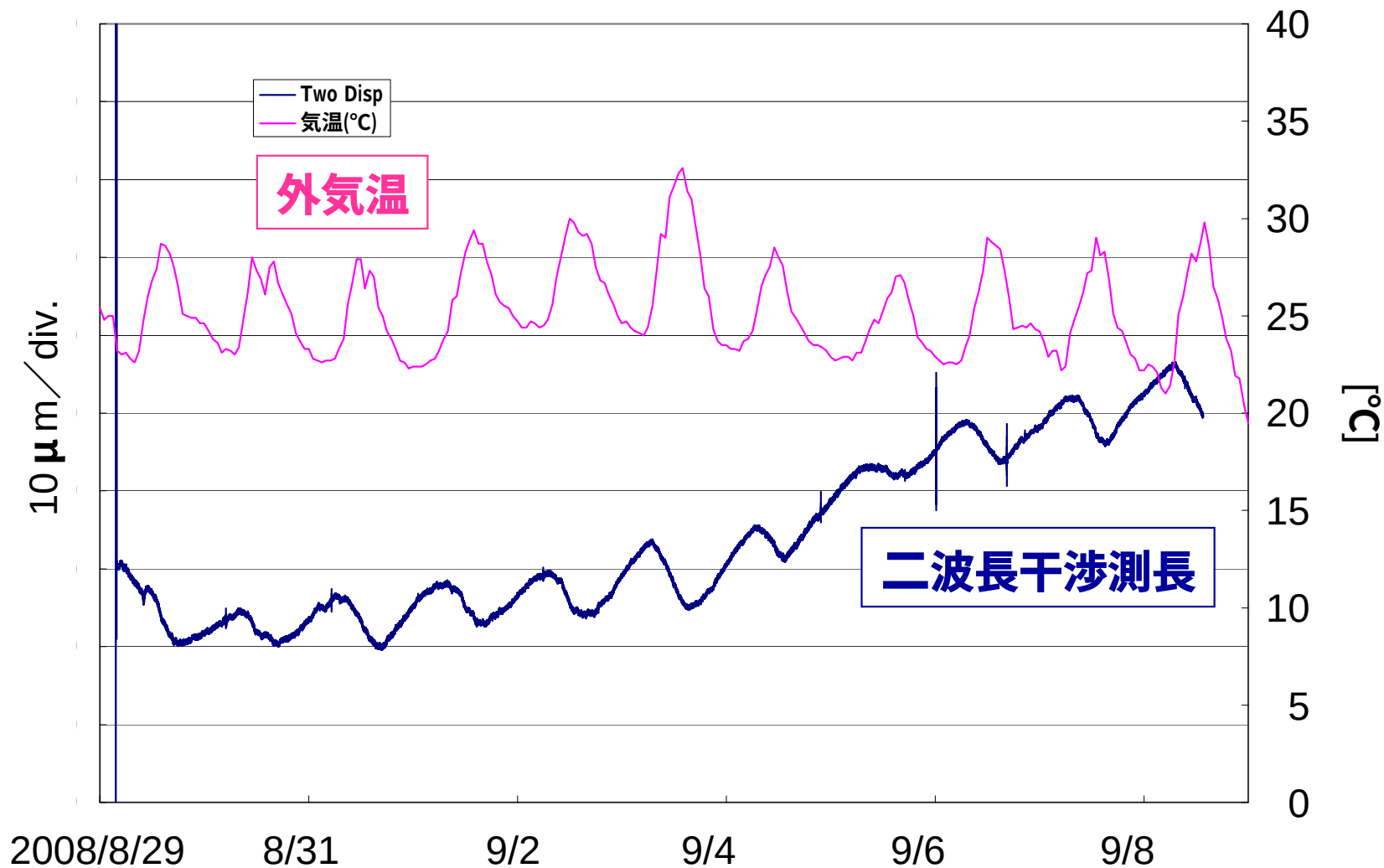


光学トンネルの変化 (測長距離72m) と気圧の相関

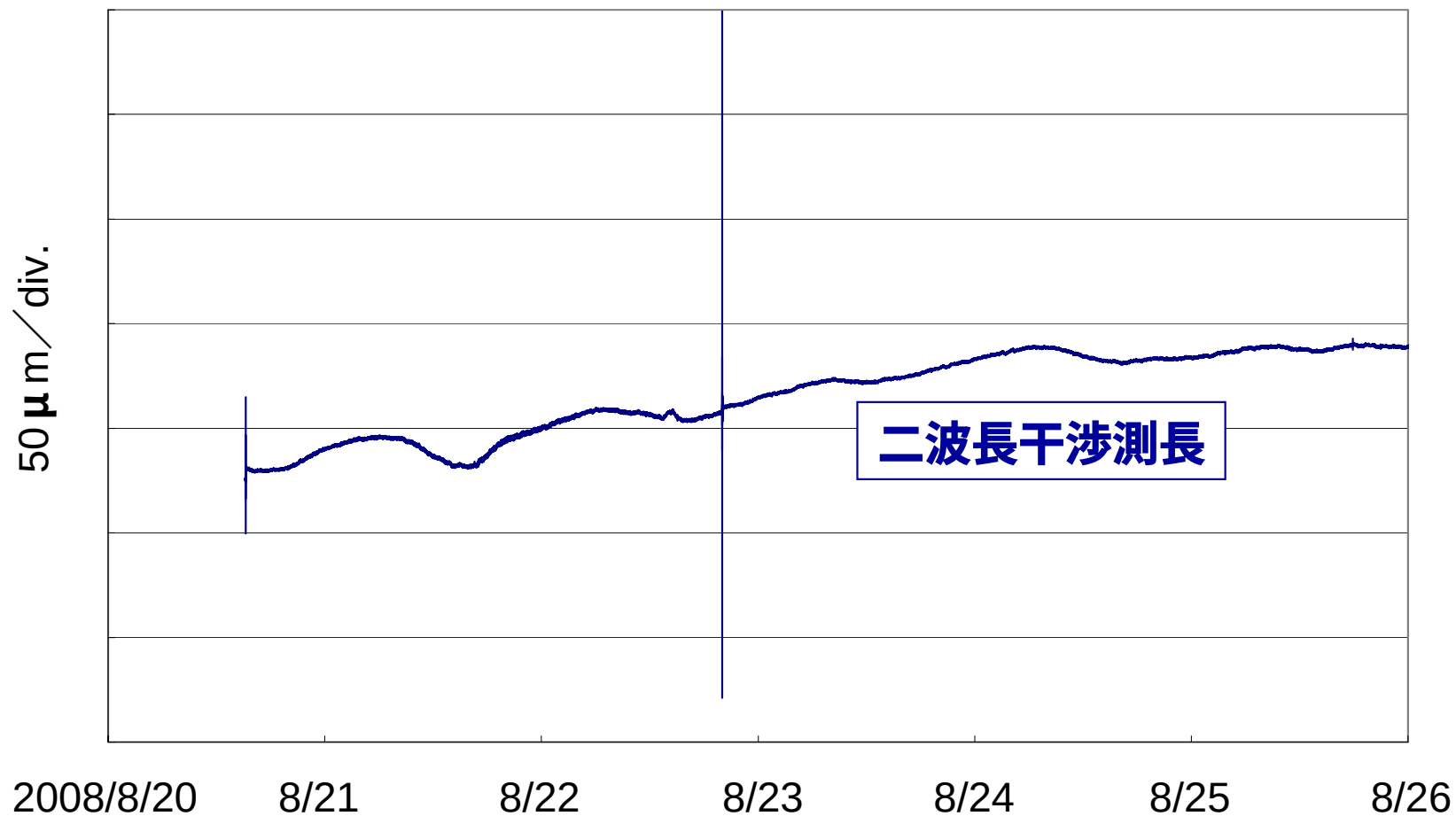


※気圧は 気象庁ホームページより

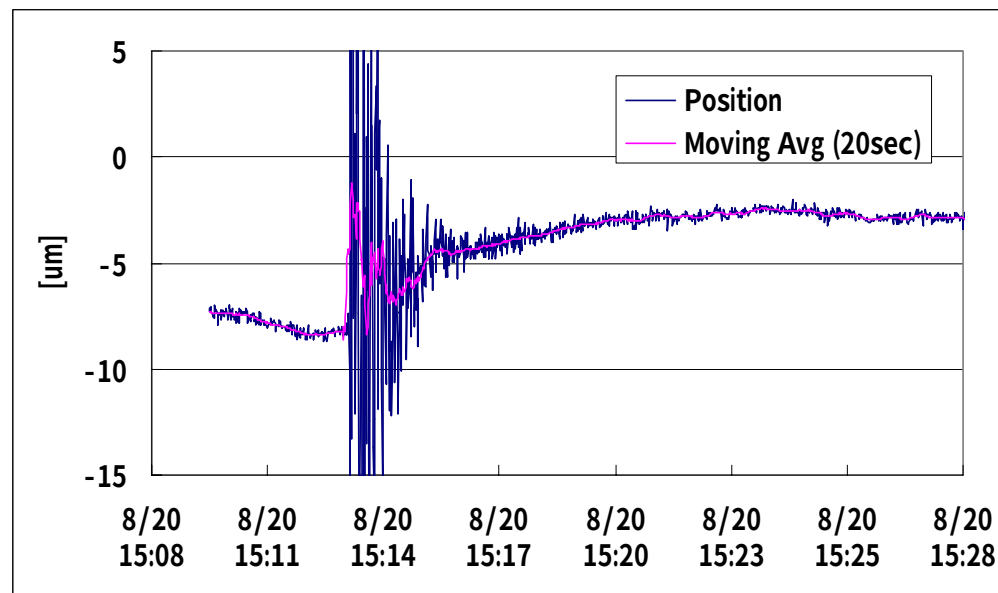
光学トンネルの変化 (測長距離72m) と外気温の相関



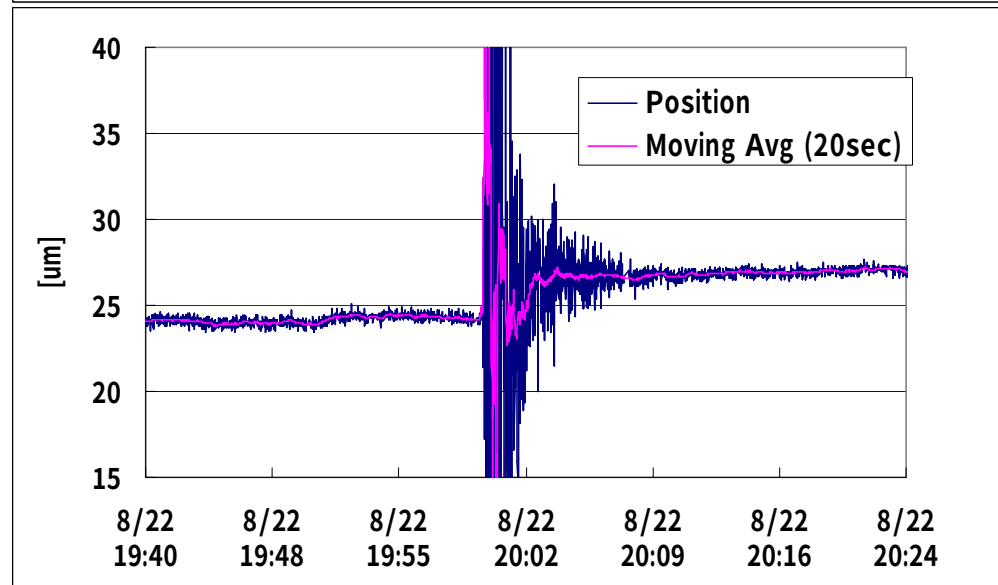
地震発生時信号



8/20 15:13 の地震
つくば震度3



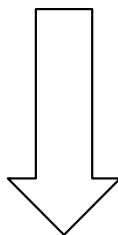
8/22 19:59 の地震
つくば震度3



※干渉計は床に置いてあるだけなので、地震でずれた可能性がある。

光学トンネルの実験でのまとめ

- 二波長干渉計の短時間で見た精度は、ほぼ予定通り($\sigma = 3 \times 10^{-9}$)。
- 地震による大きな揺れに対しても、フリンジが飛ぶことなく観測できることが確かめられた。



二波長干渉計を神岡鉱山内に移設し、真空光路を用いたレーザーひずみ計と比較し、精度を検証する。

2009年1月から移設開始。

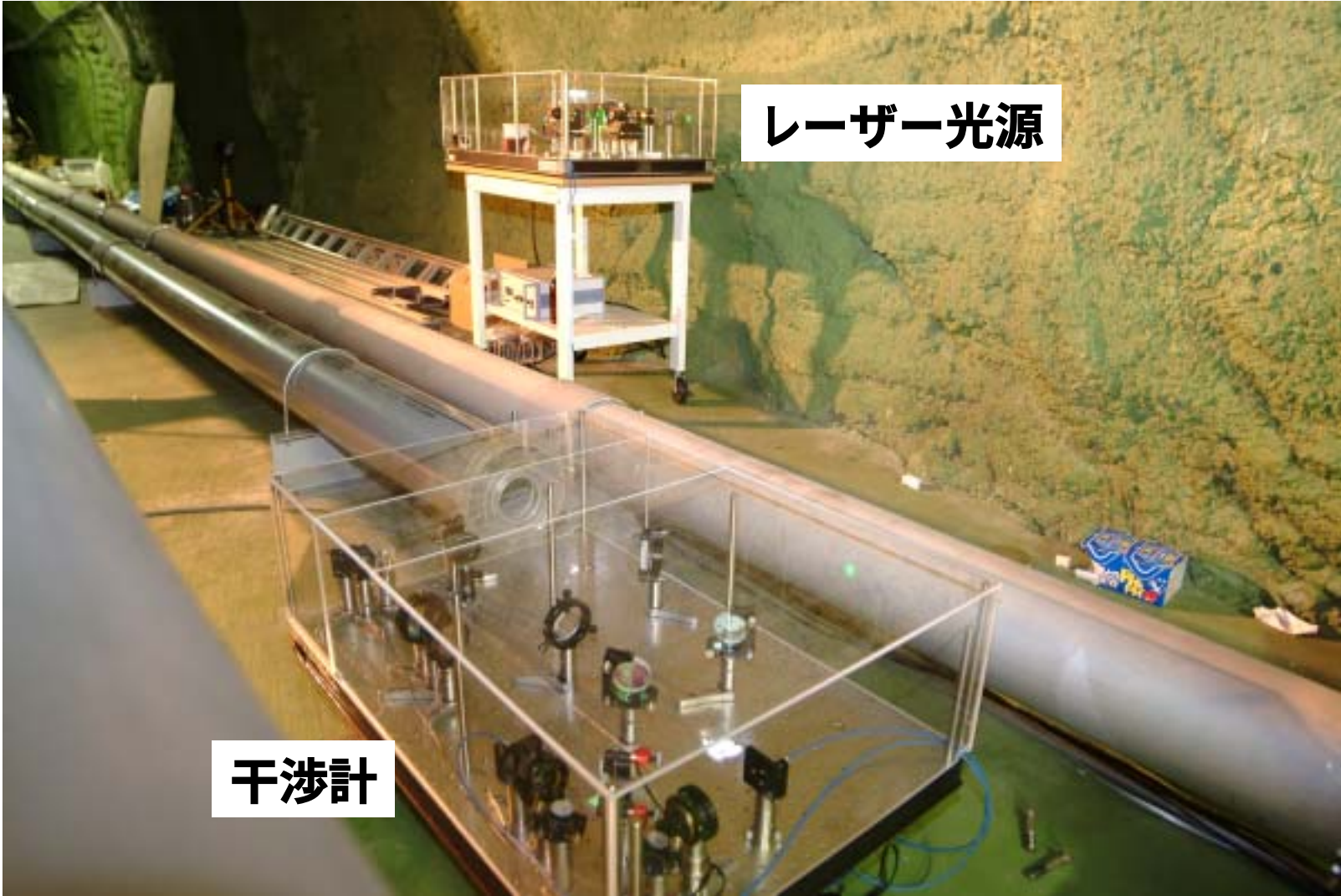


重力波検出器用
真空パイプ

二波長干渉計用
エンビパイプ

歪干渉計用
真空パイプ

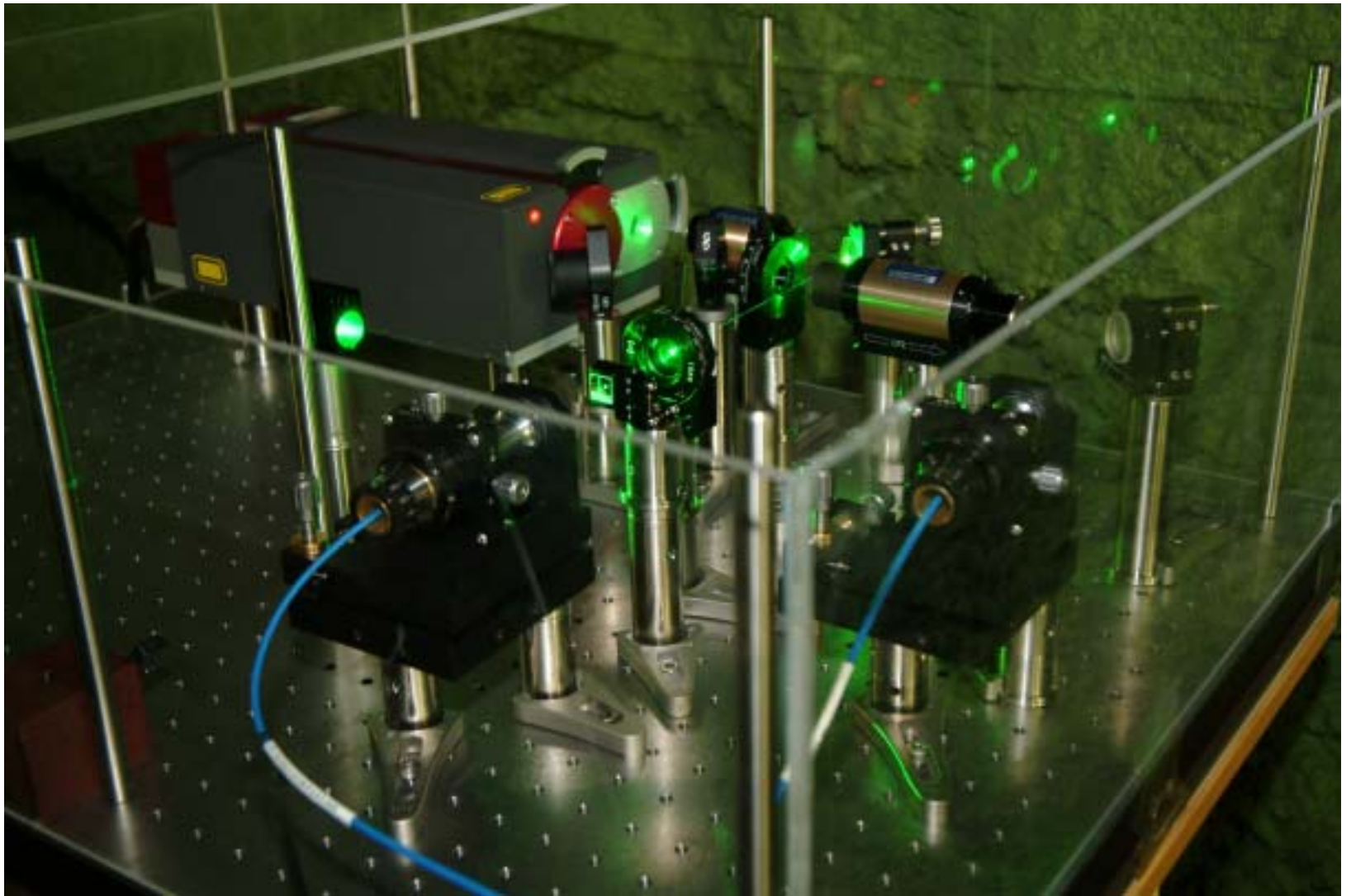
Jul.20,2007



レーザー光源

干渉計

Feb.18,2009

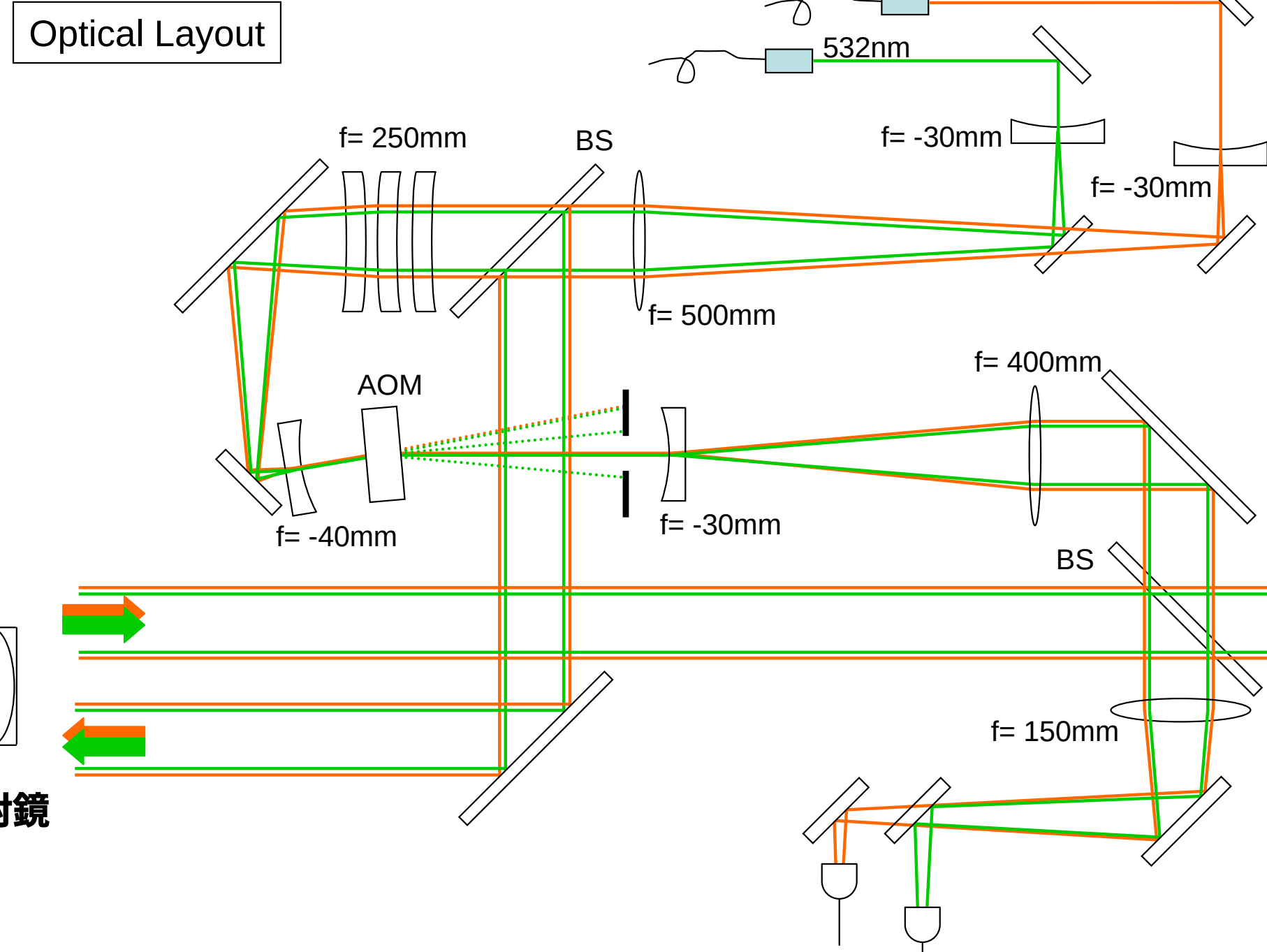


Feb.18,2009

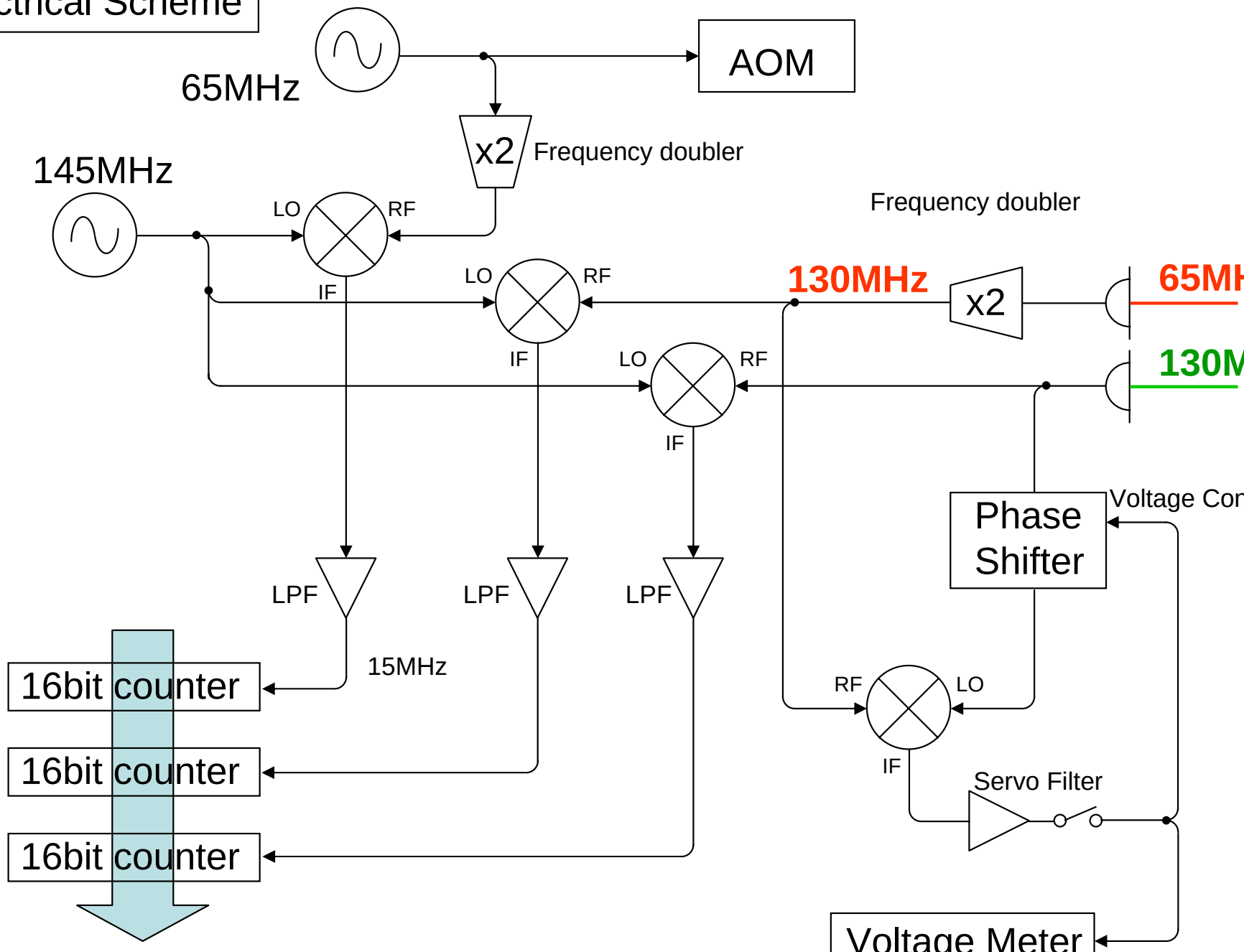
二波長干渉計の測長光路の一部を真空にして、二波長測長に重要なA定数の絶対値を実験的に求める。

二波長干渉計を神岡鉱山内に移設し、真空光路を用いたレーザーひずみ計と比較し、精度を検証する（長期観測）。

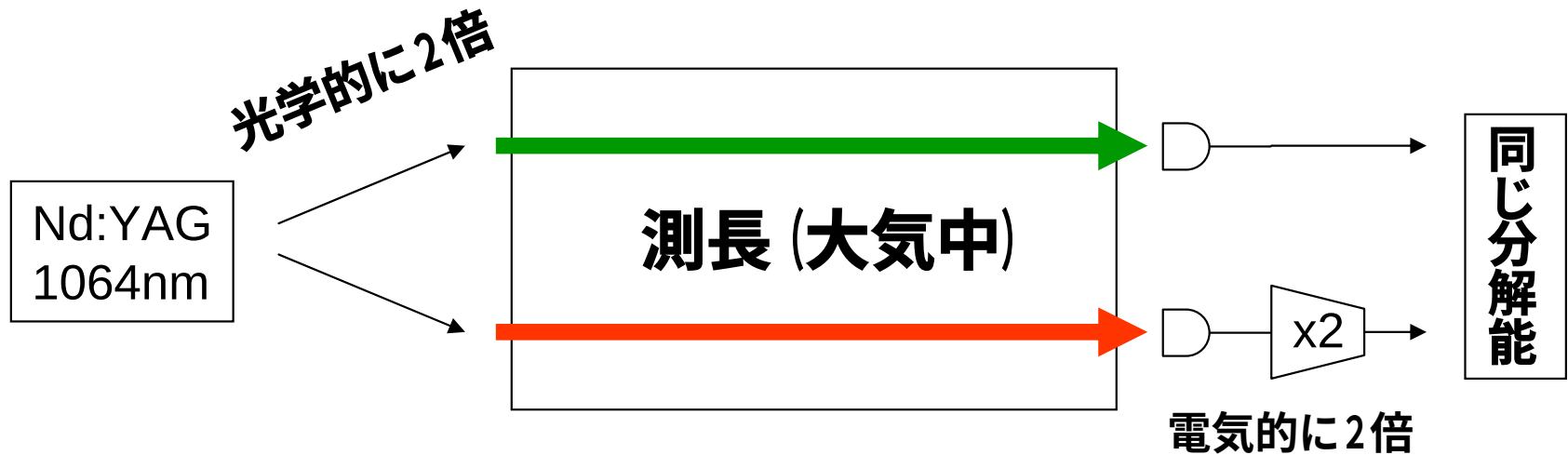
Optical Layout



Electrical Scheme



今回の干渉計のポイント



測長光路の空気屈折率の違いだけ差が出る！！

$$D = L_2 - A(L_2 - L_1)$$