

光リング共振器を用いた 片道光速の異方性探査II

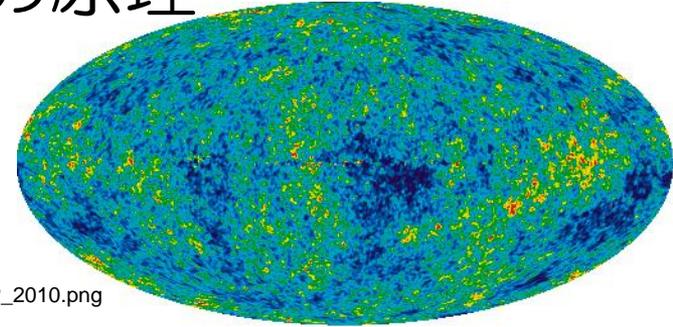
道村唯太

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

坪野研究室 博士課程1年

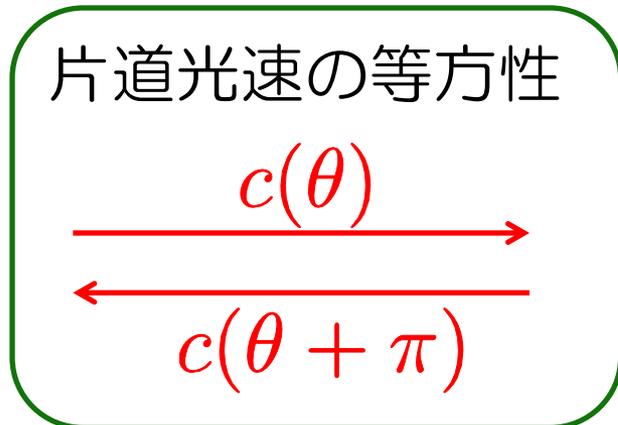
特殊相対論の検証

- 特殊相対論(1905) 光速度不変の原理
- Lorentz不変性の破れ
量子重力理論、CMBの異方性

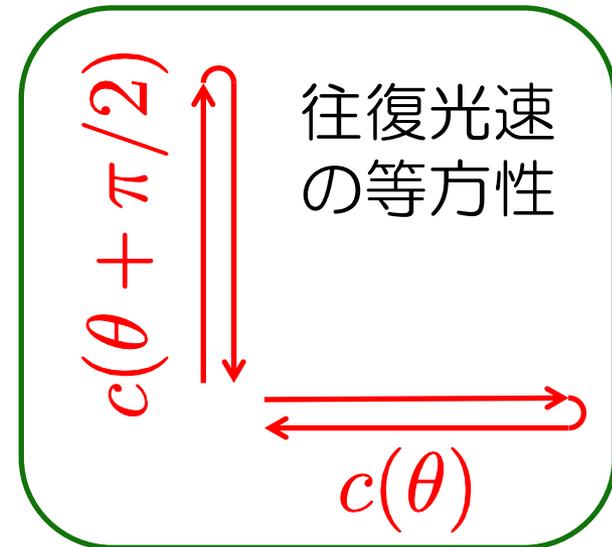


http://en.wikipedia.org/wiki/File:WMAP_2010.png

- 実験的検証が必要 → 光速の等方性の検証



- 片道光速の等方性の検証精度を1桁向上



片道光速等方性の検証原理

- 媒質の入った光リング共振器
媒質がないと、異方性に感度なし
- 時計回り/反時計回りの共振周波数を比較
異方性があると、逆符号で共振周波数がずれる

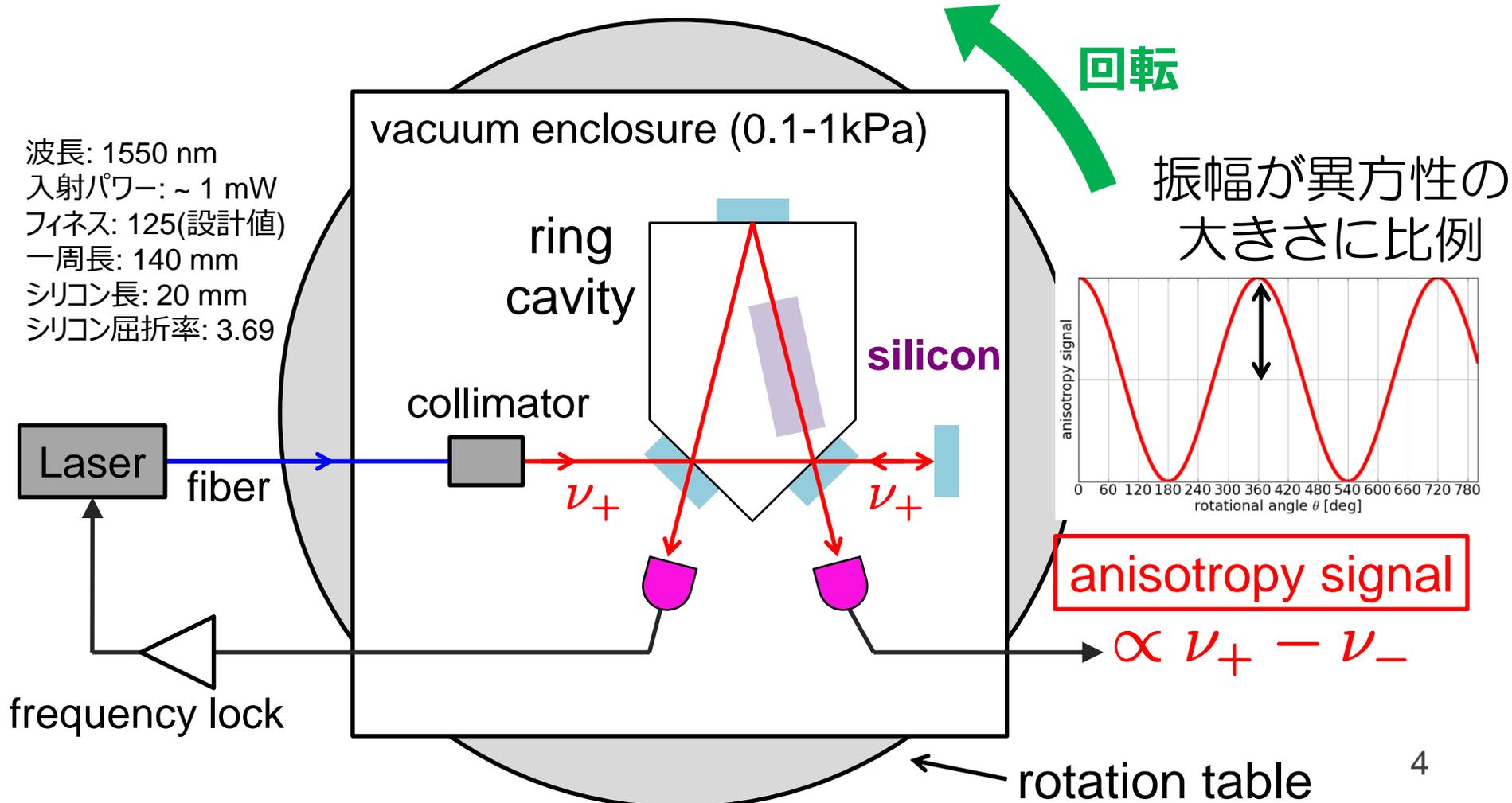


共振周波数のずれ

- 異方性の大きさに比例
- $n - 1$ に比例
- 絶対静止系に対する向きで
ずれの大きさが変化

実験装置の概要

- ダブルパス構成による周波数比較
- 回転により異方性信号を変調



光学系の写真

全体が30cm×30cm×17cm
の真空容器内に入っている

ring
cavity

collimator

PDs1

PDp1

PDp2

PDs2

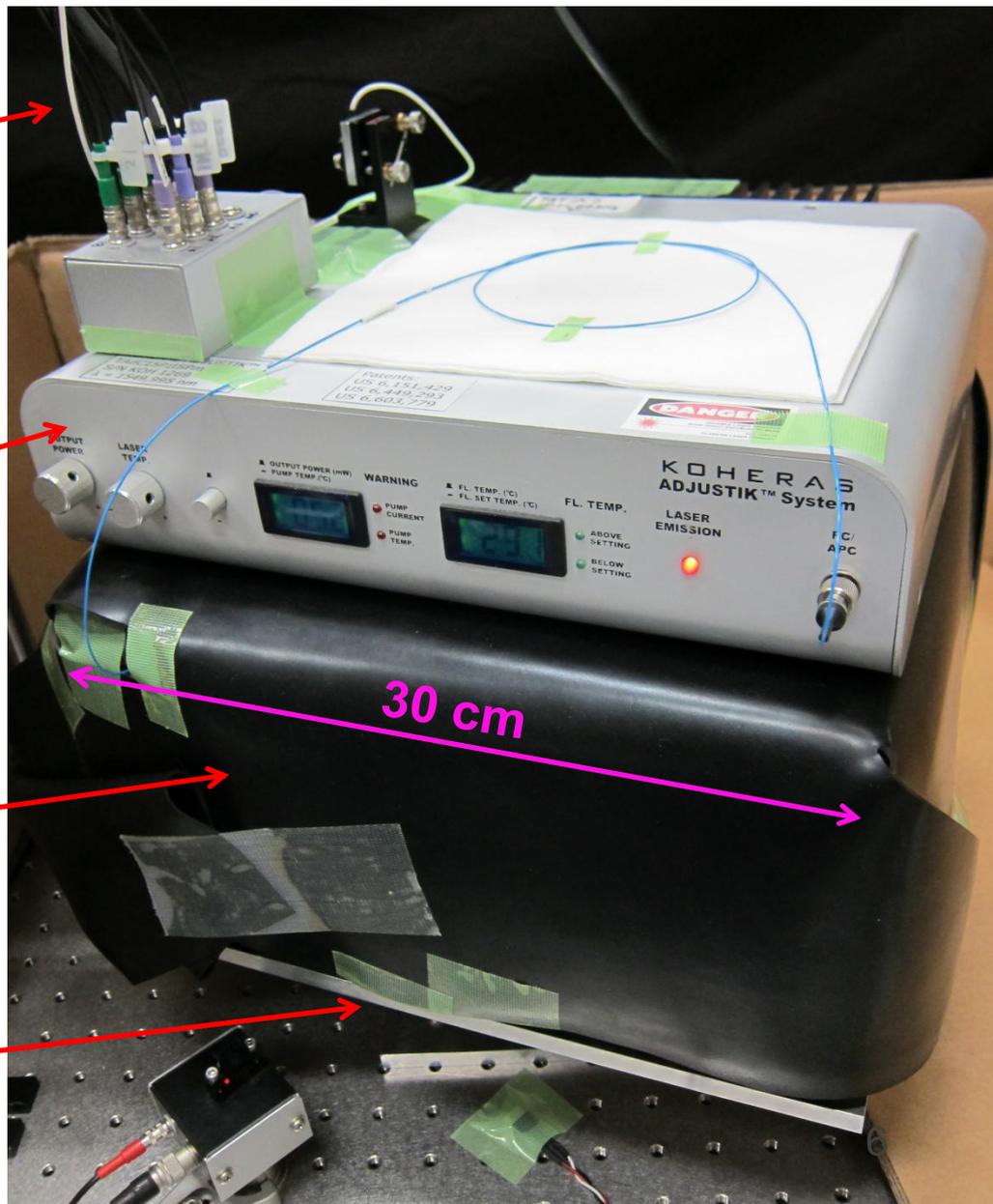
実験装置全体の写真

電源/信号ケーブル
(今はもっと細い)

レーザー光源

光学系の入った真空容器
+ 遮光シート

回転台



データ解析に用いる検証理論

- 拡張標準理論(standard model extension)

V. A. Kostelecký and S. Samuel: PRD **39** (1989) 683

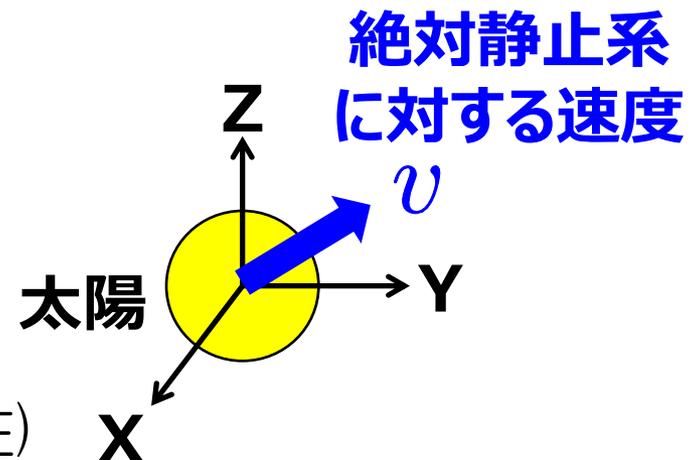
- 光子のLorentz不変性の破れを19パラメータで表現
- そのうち4つが片道光速に関係

$\tilde{\kappa}_{o+}^{YZ}$ ← 太陽中心系でのX軸方向の光速の行き帰りの差

$\tilde{\kappa}_{o+}^{XZ}$ ← 同、Y軸方向

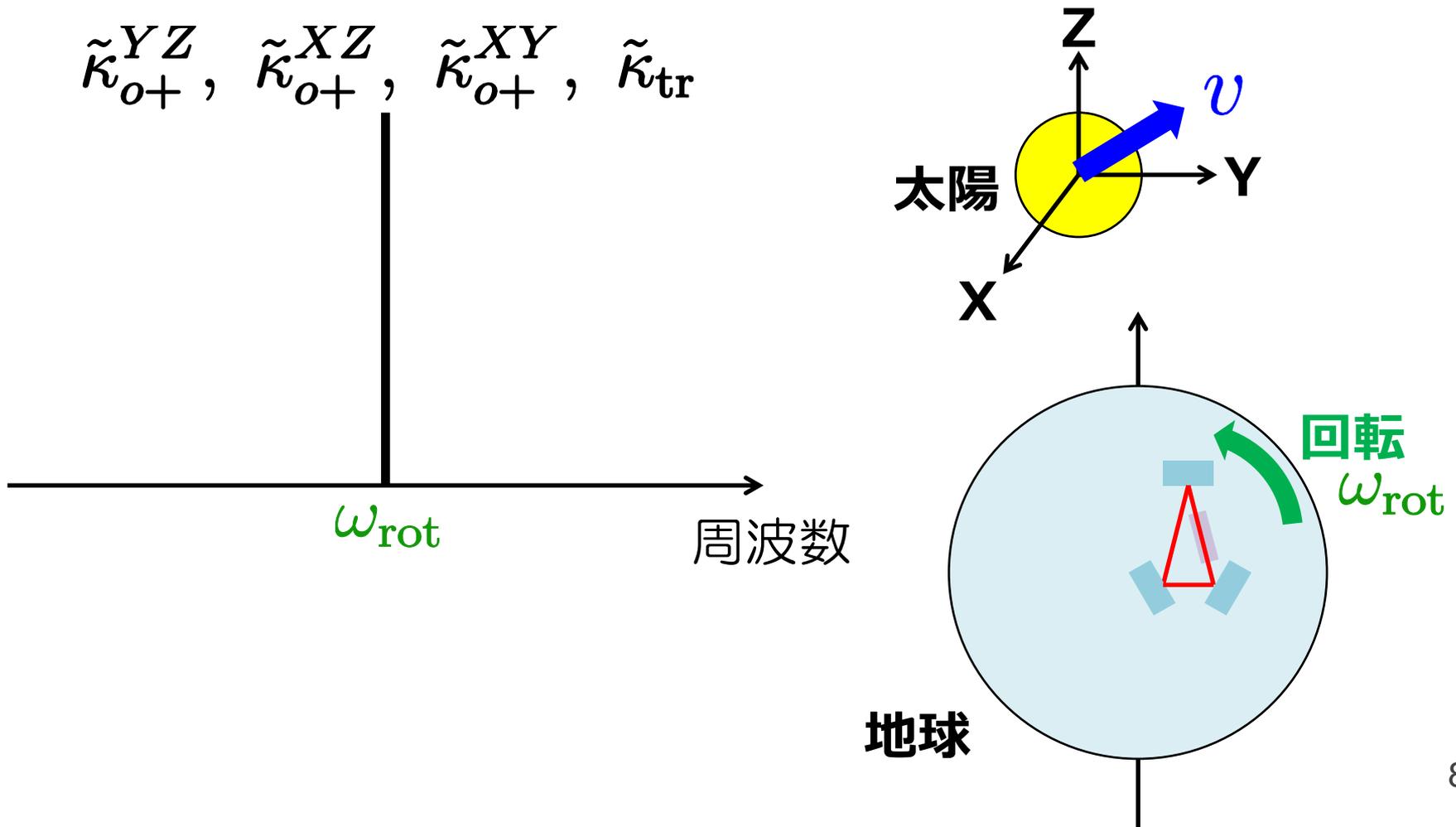
$\tilde{\kappa}_{o+}^{XY}$ ← 同、Z軸方向

$\tilde{\kappa}_{tr}$ ← 光速の一樣なずれ
(光速の光源速度依存性)



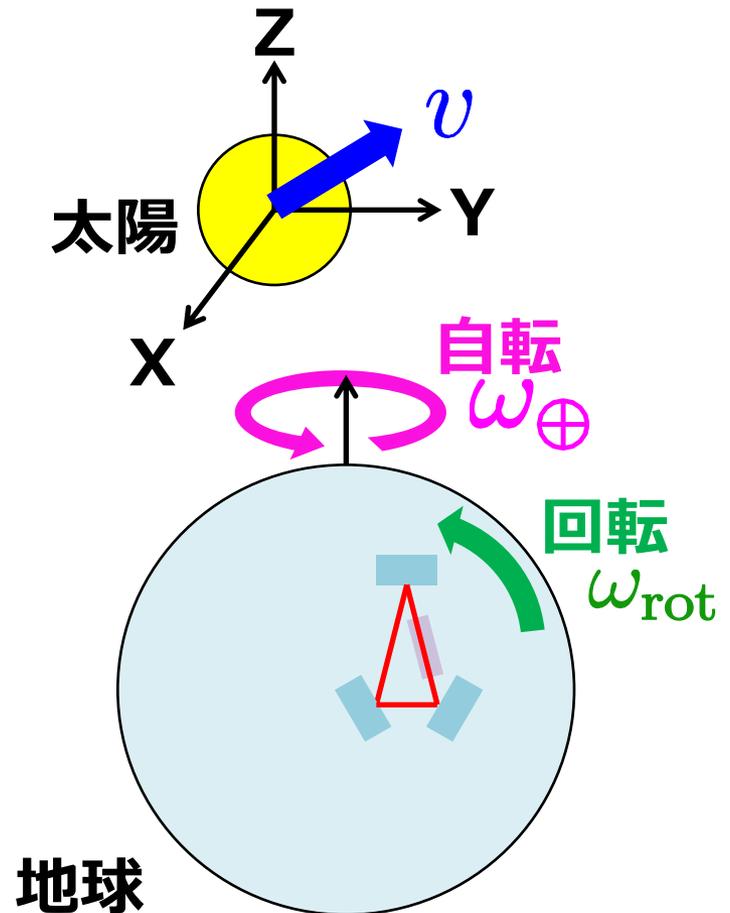
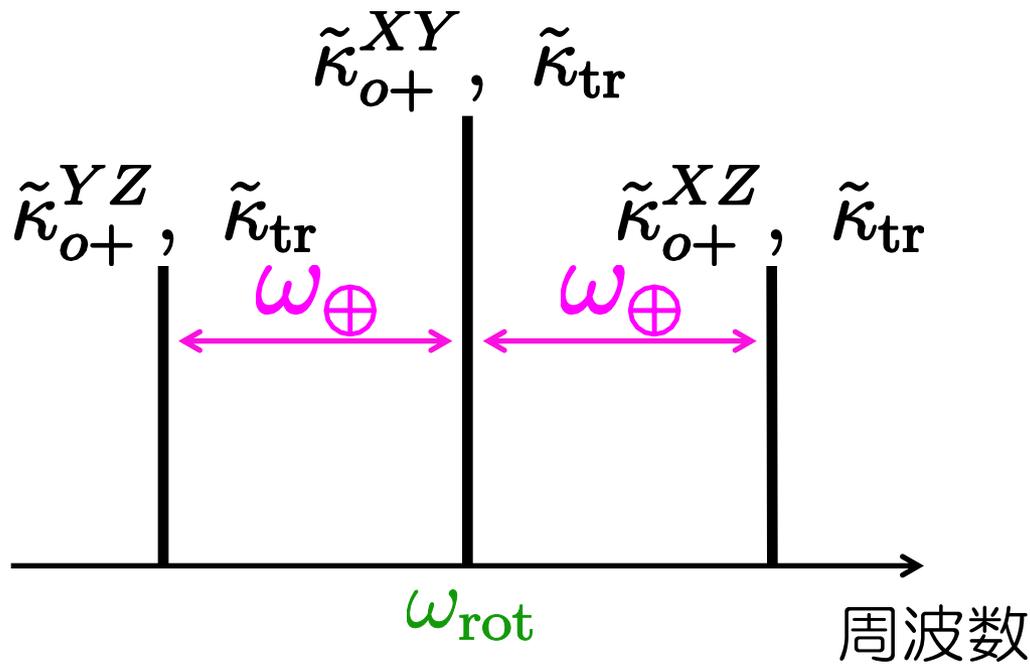
パラメータの決定方法1

- まず1回転分のデータを回転周波数で復調



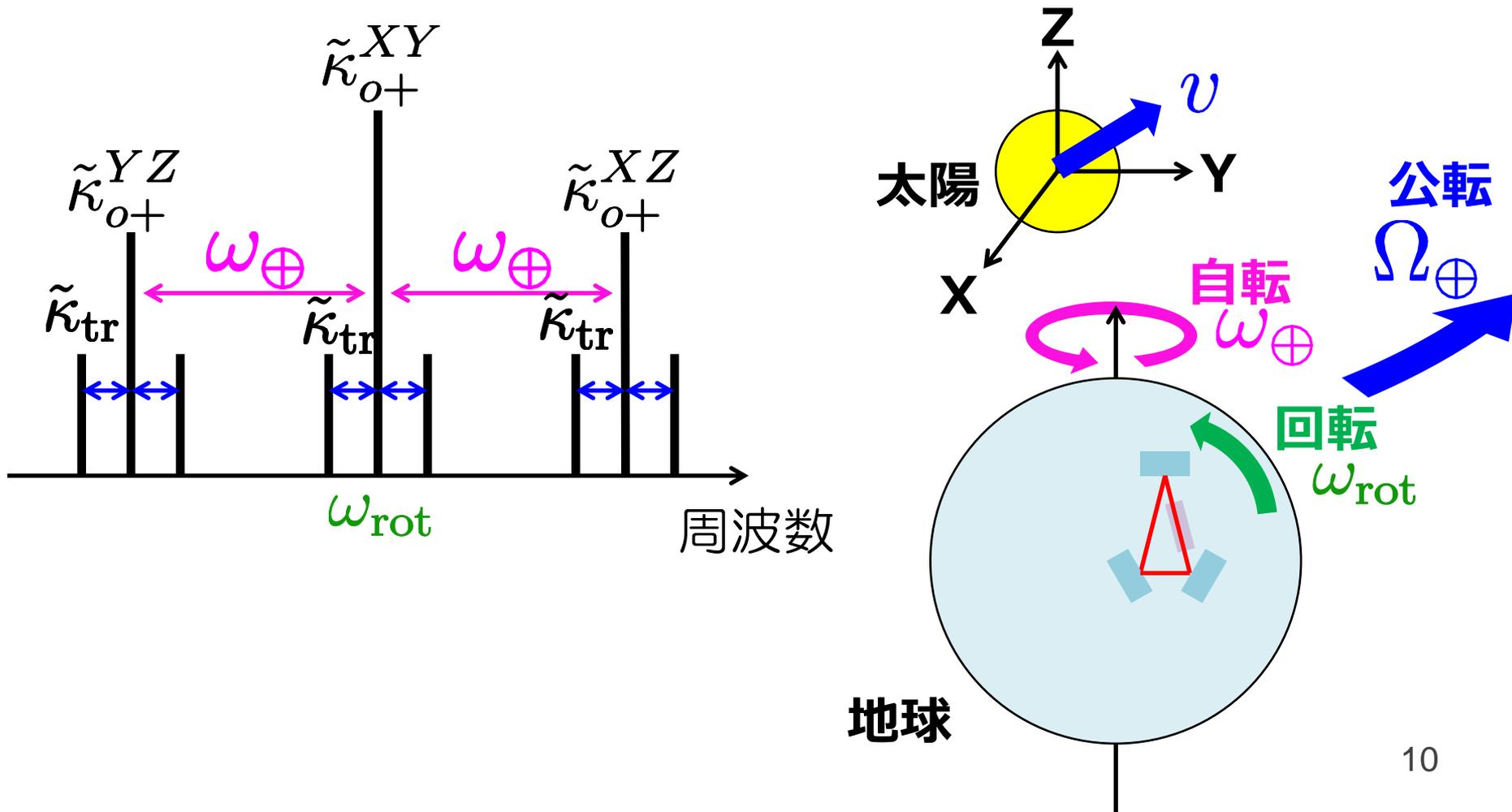
パラメータの決定方法2

- 次に1日分のデータを自転周波数で復調



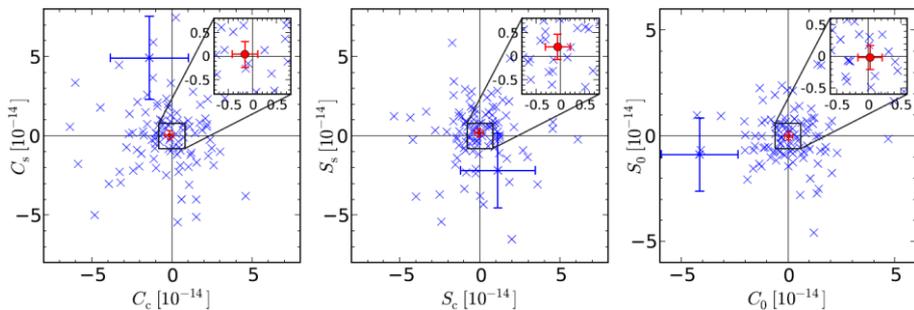
パラメータの決定方法3

- そして、全データの公転周波数成分を取り出す
フィッティングを用いる

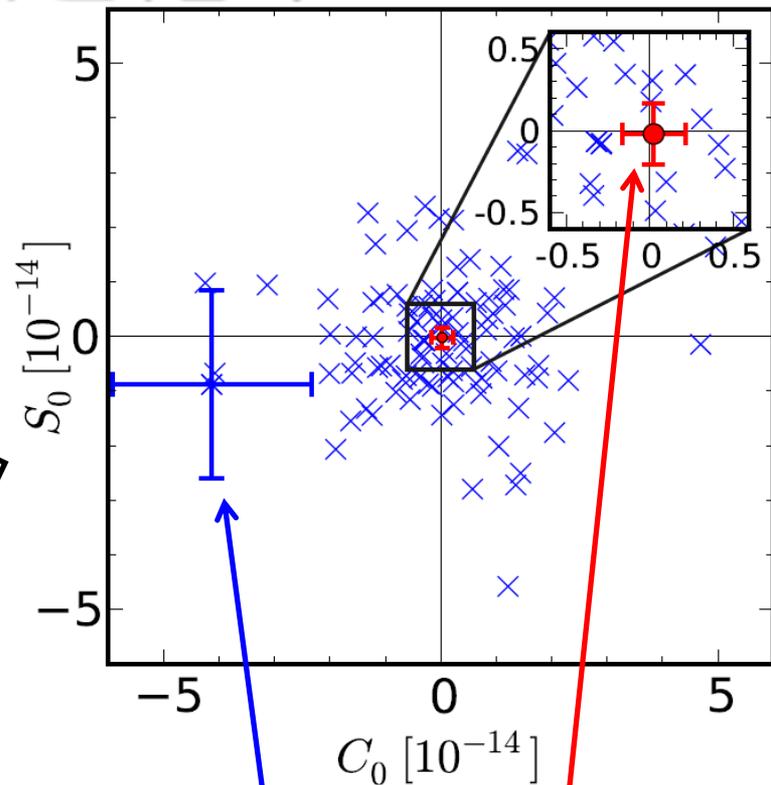


12月までの測定結果

- 2012年8月から12月まで
104日間に渡って37万回転
- 1σ 以上の破れは見つからず

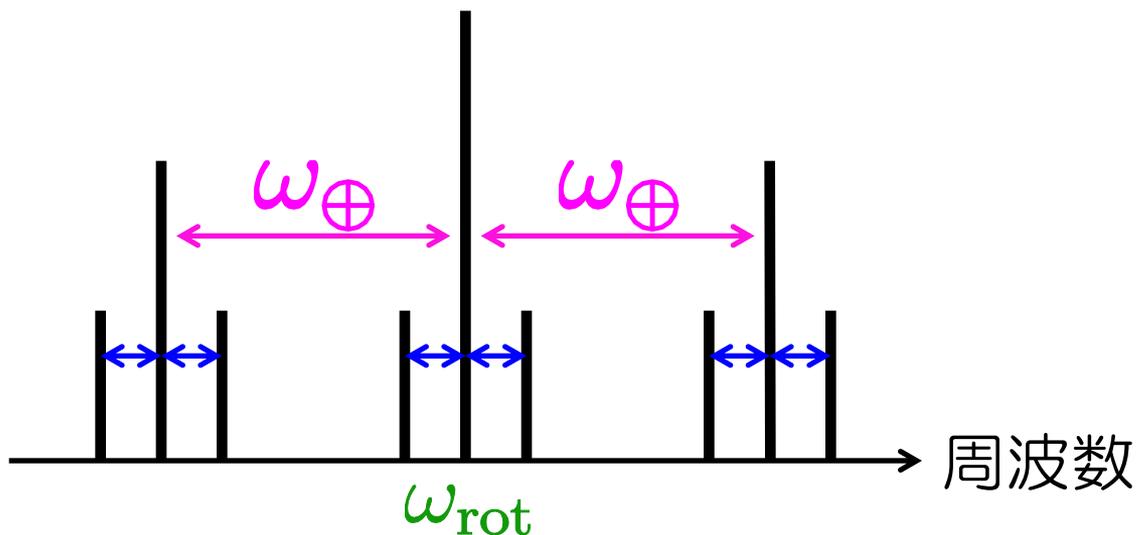


1つを
拡大



1日分から1点

104日分の平均



12月までに得られた上限値

- 公転同期成分をフィッティングにより分離し、

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{YZ} = (0.5 \pm 1.0) \times 10^{-14}$$

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{XZ} = (-0.6 \pm 1.2) \times 10^{-14}$$

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{XY} = (0.7 \pm 1.0) \times 10^{-14}$$

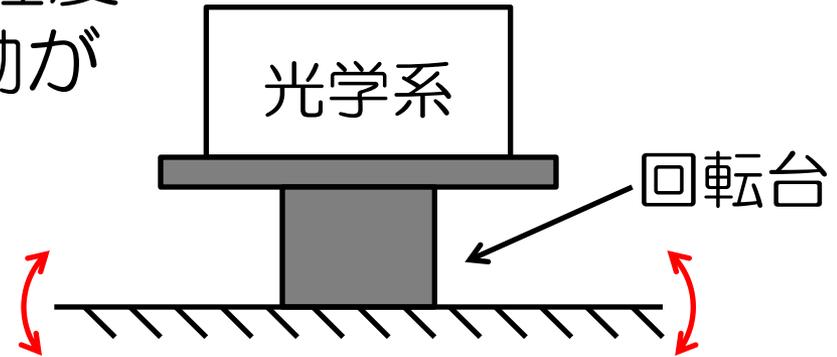
$$\tilde{\kappa}_{tr} = (-0.4 \pm 0.9) \times 10^{-10}$$

5倍以上更新
12倍更新

- 光速の行き帰りの差が全方向で $\delta c/c \lesssim 10^{-14}$
- ±は1σの統計誤差

系統誤差の見積もり

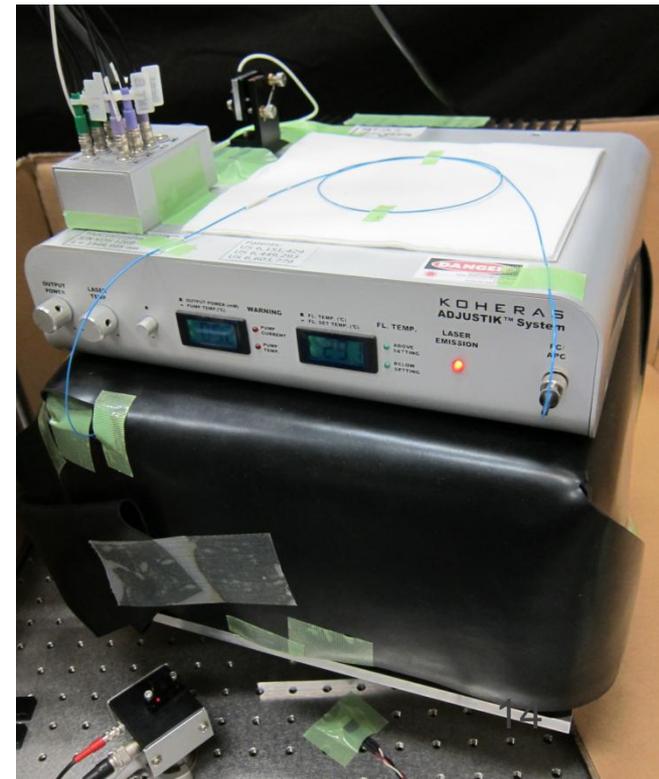
- 最大でも統計誤差の10 %程度
回転台水平度の日中変動が
最も効く



| 原因 | 大きさ | 統計誤差に対する比率 |
|----------------------|-----------------------------|------------------|
| 回転速度変動 (Sagnac効果) | $\pm 1 \text{ mrad/sec}$ 以下 | $\pm 0.01 \%$ 以下 |
| 水平度の日中変動 | $\pm 0.2 \text{ mrad}$ 以下 | $\pm 10 \%$ 以下 |
| 信号較正の測定精度 | - | $\pm 3 \%$ |
| 屈折率の測定精度 | 不明 | 不明 |
| 時刻合わせ | $\pm 1 \text{ min}$ | $\pm 0.4 \%$ |
| 方角合わせ | $\pm 2 \text{ deg}$ | $\pm 3 \%$ |

現状と今後の予定

- 2012年12月に論文を投稿
New Limit on Lorentz Violation Using
a Double-Pass Optical Ring Cavity
 - 現在も測定継続中
観測日数200日突破、
70万回転突破
 - 改良版装置の製作を予定
 - モノリシック光学系
CMRRの向上
 - 連続回転への対応
主にレーザー光源の
電源周り
- さらなる上限値更新を目指す



まとめ

- 新しいタイプの測定装置を設計/製作
- 2012年8月から200日以上 of 観測を継続中
- 上限値を1桁更新し、論文を投稿
 - New Limit on Lorentz Violation Using
a Double-Pass Optical Ring Cavity
 - Yuta Michimura, Nobuyuki Matsumoto, Noriaki Ohmae,
Wataru Kokuyama, Yoichi Aso, Masaki Ando, and Kimio Tsubono
- 改良版装置を製作予定