

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

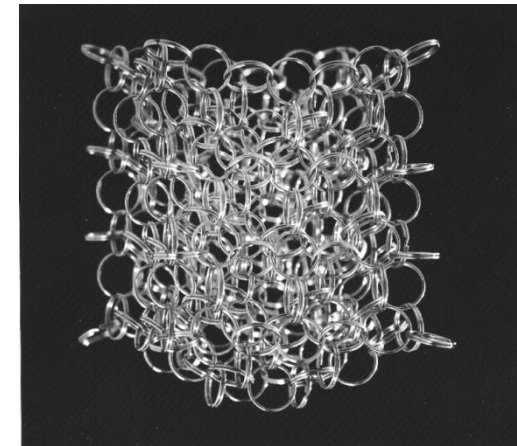
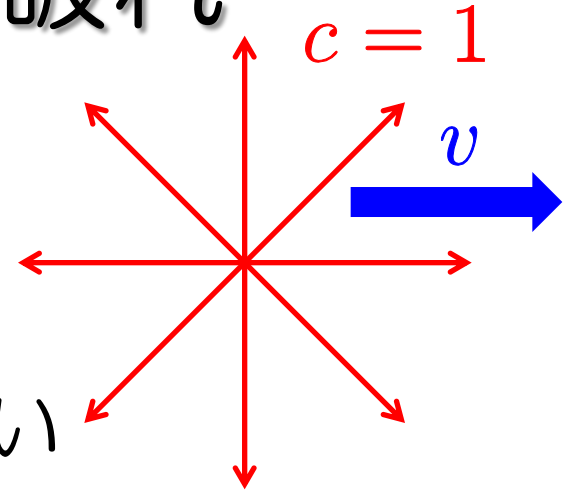
坪野研究室 博士課程1年

目次

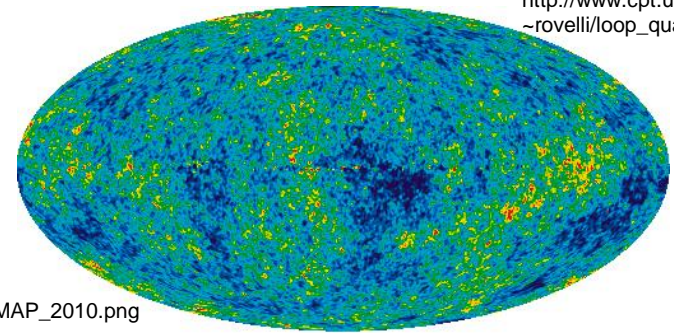
1. 研究背景
なぜ異方性探査をするか
2. 測定原理と実験装置
どのように異方性探査するか
3. 実験装置の改良
これまでの装置の問題点と対策
4. 現在までの測定結果
世界記録をさらに更新する上限値
5. 今後の予定

特殊相対論とその破れ

- 特殊相対論(1905)
 - 光速度不変の原理
- 電磁気学におけるLorentz不変性
- これまで「破れ」は見つかっていない
- しかし...
 - 量子重力理論: わずかに破れている可能性を示唆
e.g. $\delta c/c \sim 10^{-17}$
D. Colladay and V. Alan Kostelecký: PRD 58 (1998) 116002
 - CMBの異方性
CMB静止系が存在
= 絶対静止系?
→ 実験的検証が必要



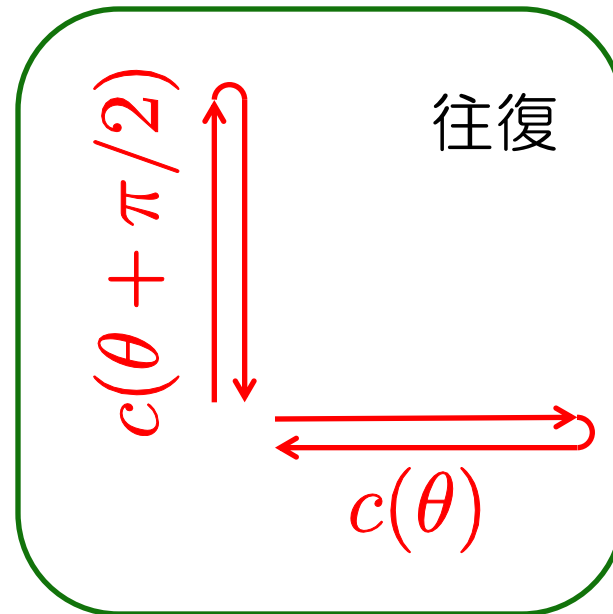
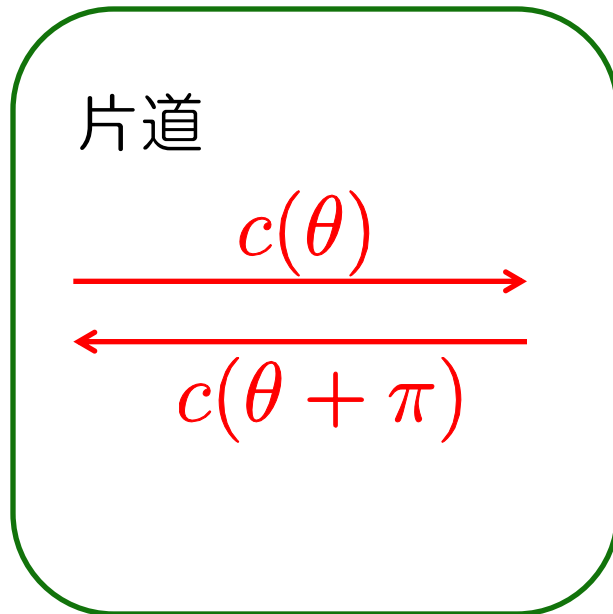
http://www.cpt.univ-mrs.fr/~rovelli/loop_quantum_gravity.jpg



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

特殊相対論の検証

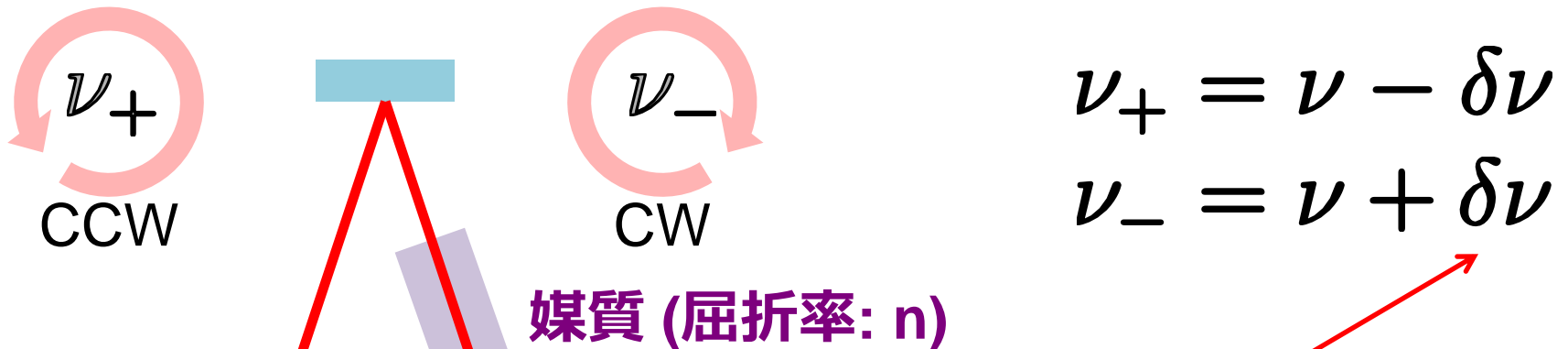
- 光速の等方性を検証
 - 片道光速の等方性: 行きと帰りの光速は等しい
 - 往復光速の等方性: 往復の光速は等方



- 片道光速の等方性の検証精度が悪く、
干渉計を用いた検証があまりなされてなかった
→干渉計によるより高精度な検証が必要

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

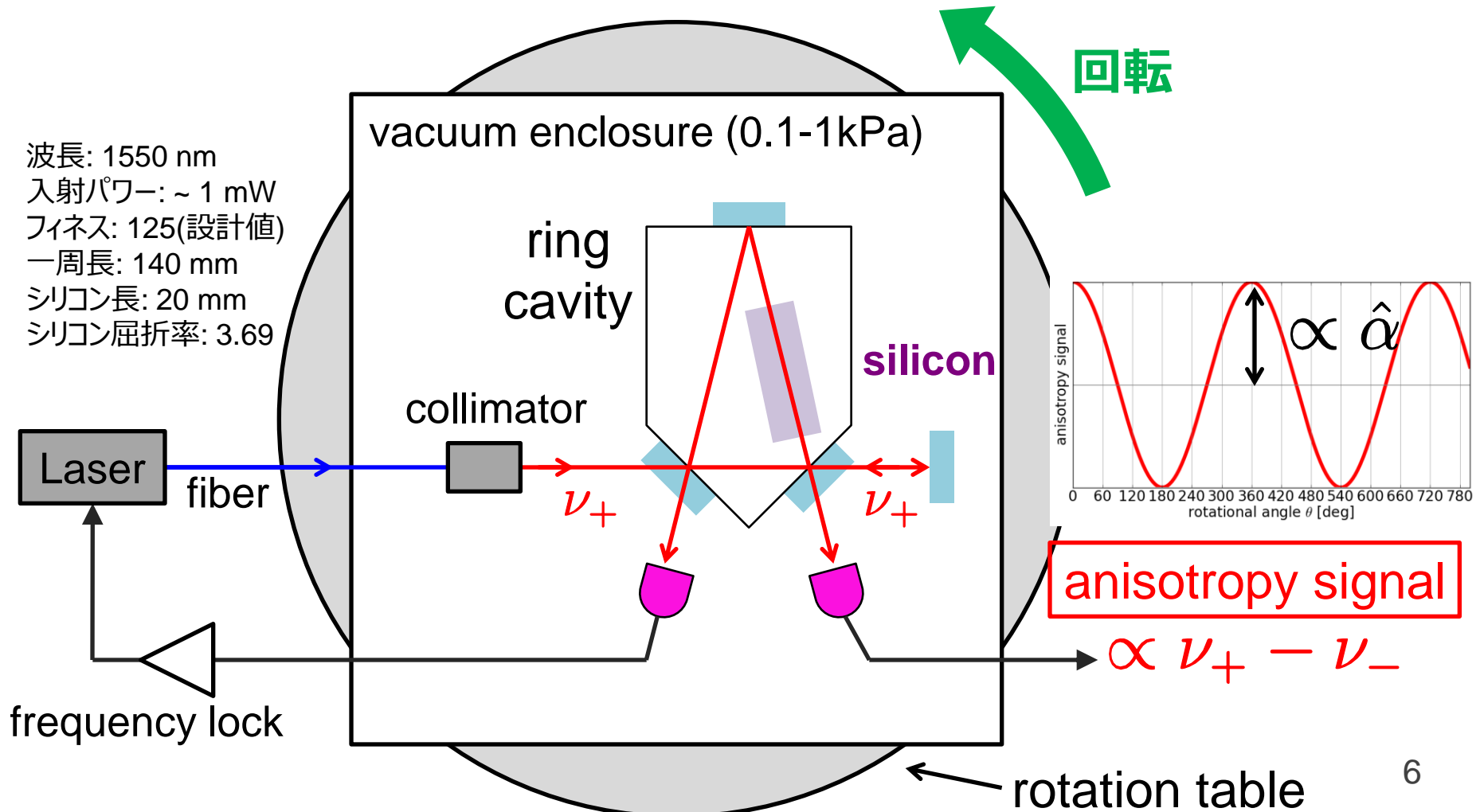


共振周波数のずれ

- 異方性の大きさ $\hat{\alpha}$ 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

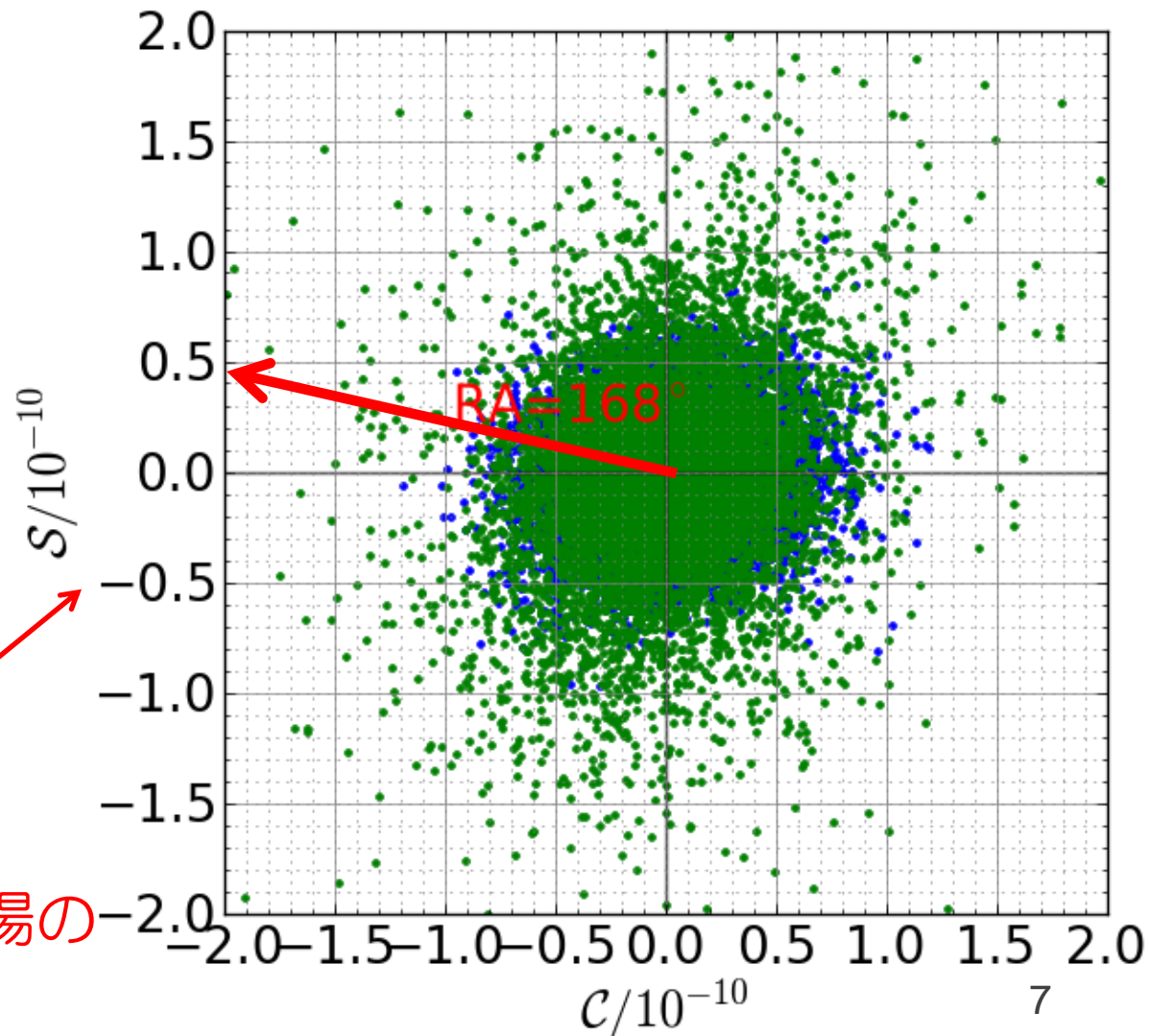
実験装置の概要

- 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



前回発表までの結果

- $\hat{\alpha} = (-2.3 \pm 2.6) \times 10^{-10}$
- 約3日間測定、
1万回転分
(回転周波数:
0.125 Hz)

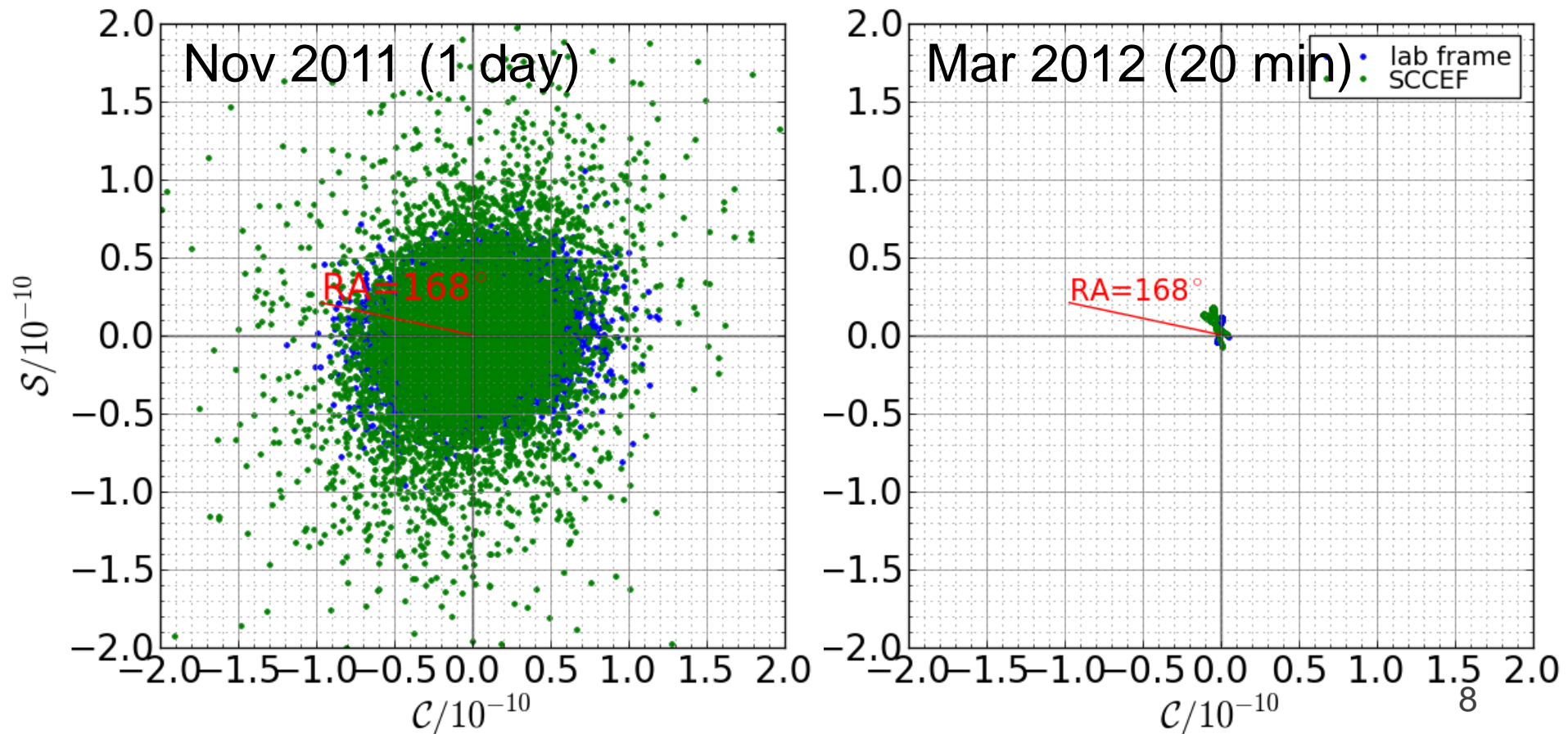


得られた異方性信号の
位相と振幅

絶対静止系に対する太陽の
運動方向を表している

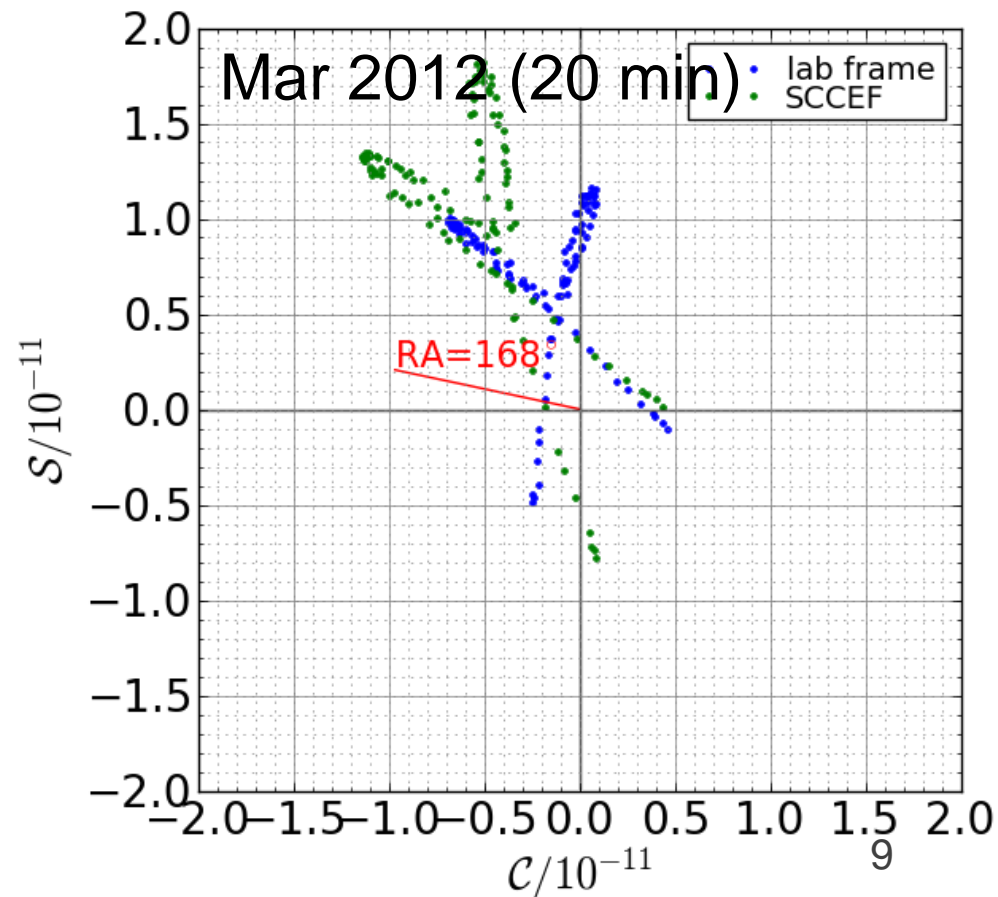
雑音の低減

- AD変換時に混入する雑音が制限
- 約1/30に改善

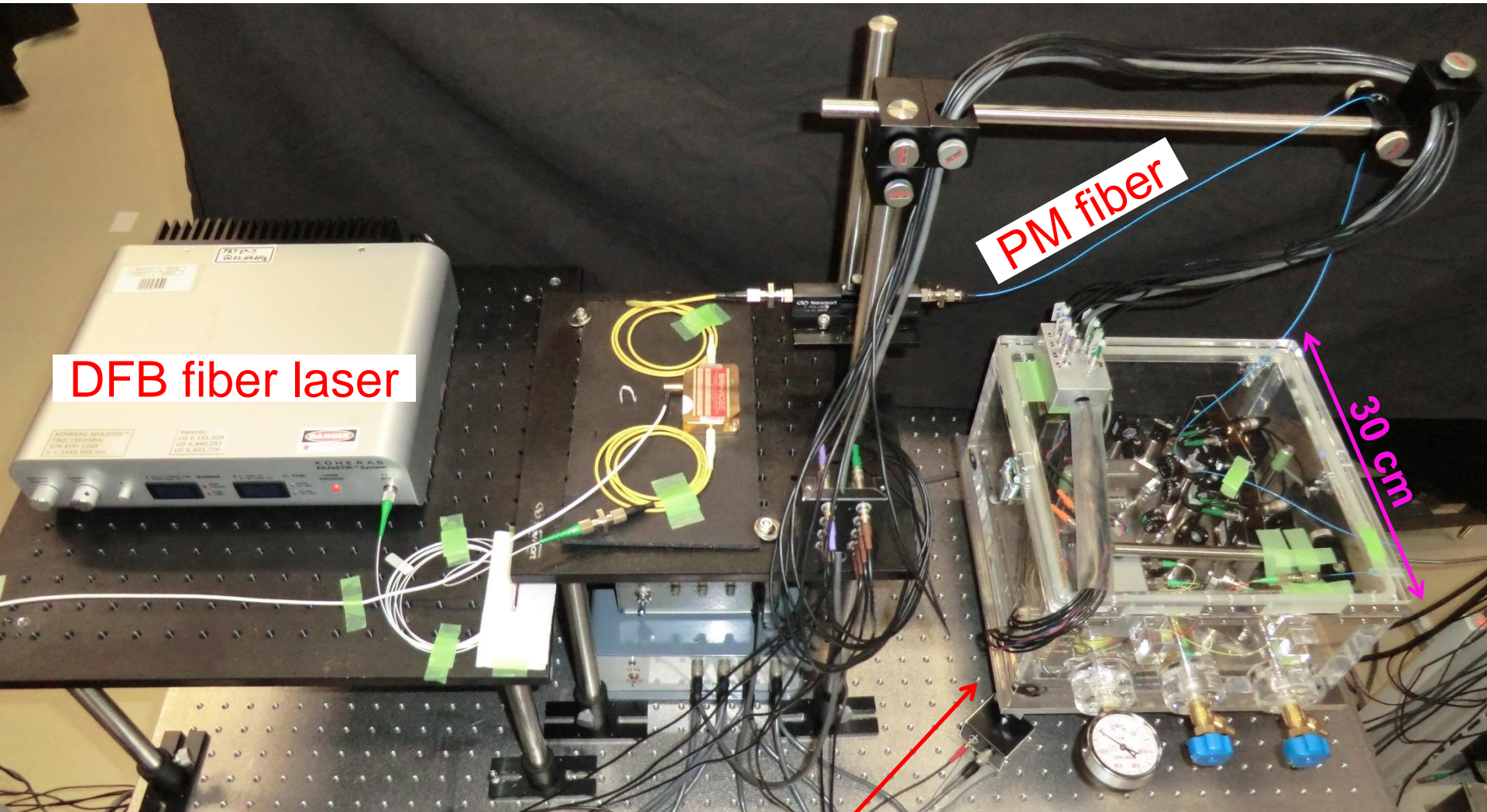


回転同期成分が見え始める

- 一定振幅ではないので異方性が見えているわけではなさそう
- 原因と対策
 1. 実験室内の明かり
 - 光学系を遮光シートで覆う
 2. ファイバのねじれによる偏波面回転
 - 光源ごと回す
 - PBSを追加
 3. 回転台の傾き
 - 回転面を水平に
(1 mrad \rightarrow 0.01 mrad)



これまでのセットアップ



DFB fiber laser

PM fiber

30 cm

optics in vacuum enclosure

現在のセットアップ

加速度計

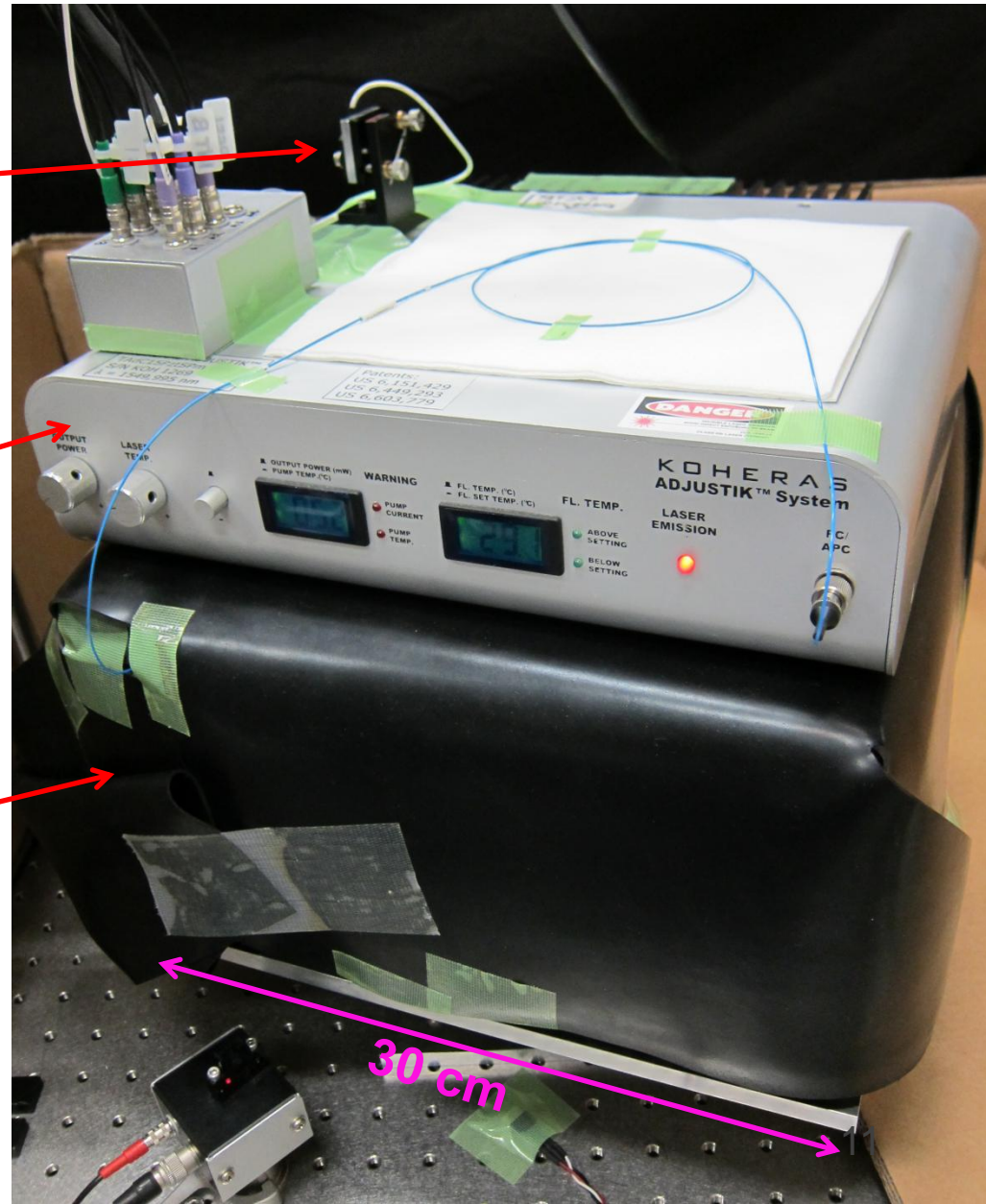
- 回転台水平度をモニタ

レーザー光源も共に回転

- ファイバがねじれない

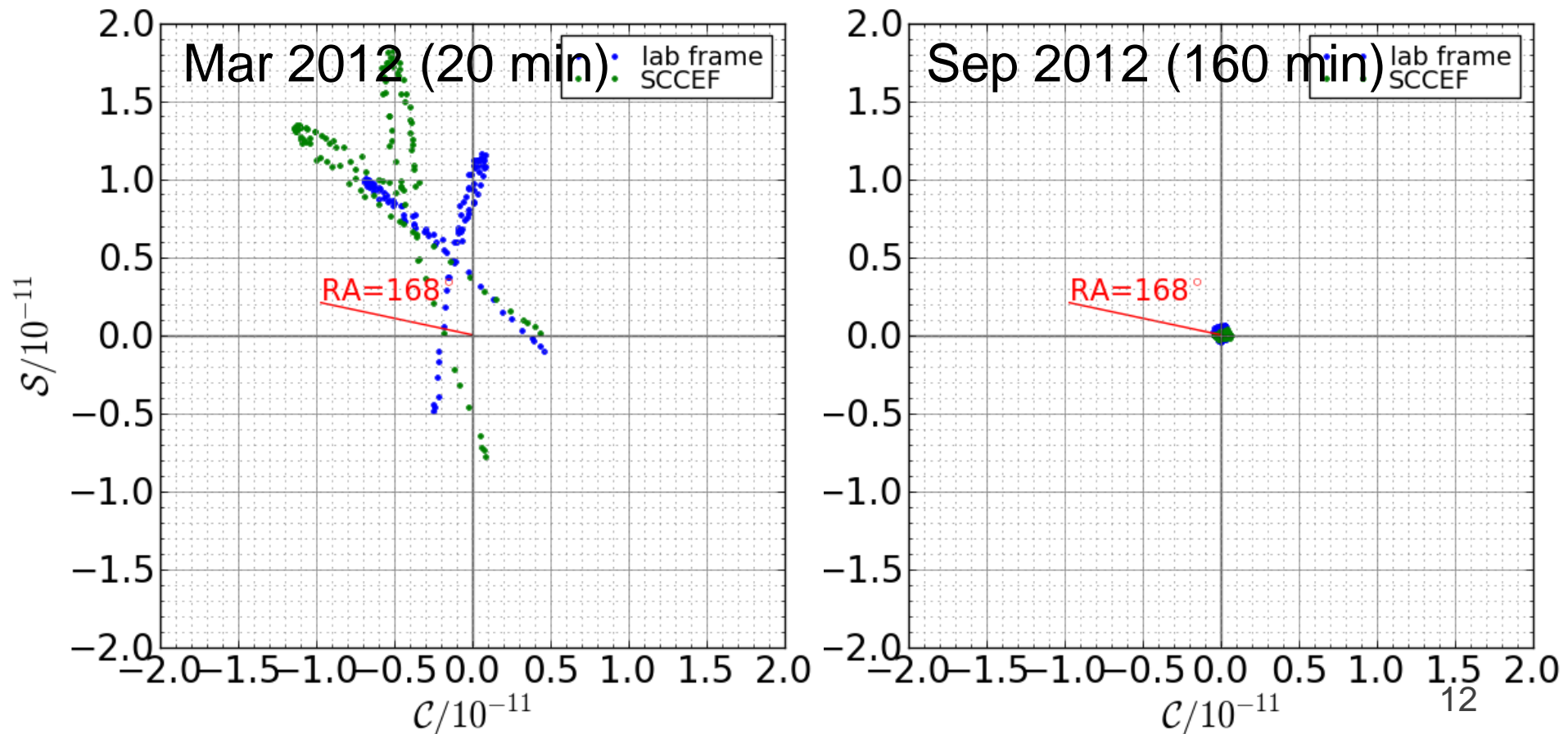
光学系を遮光

- 室内光を遮断



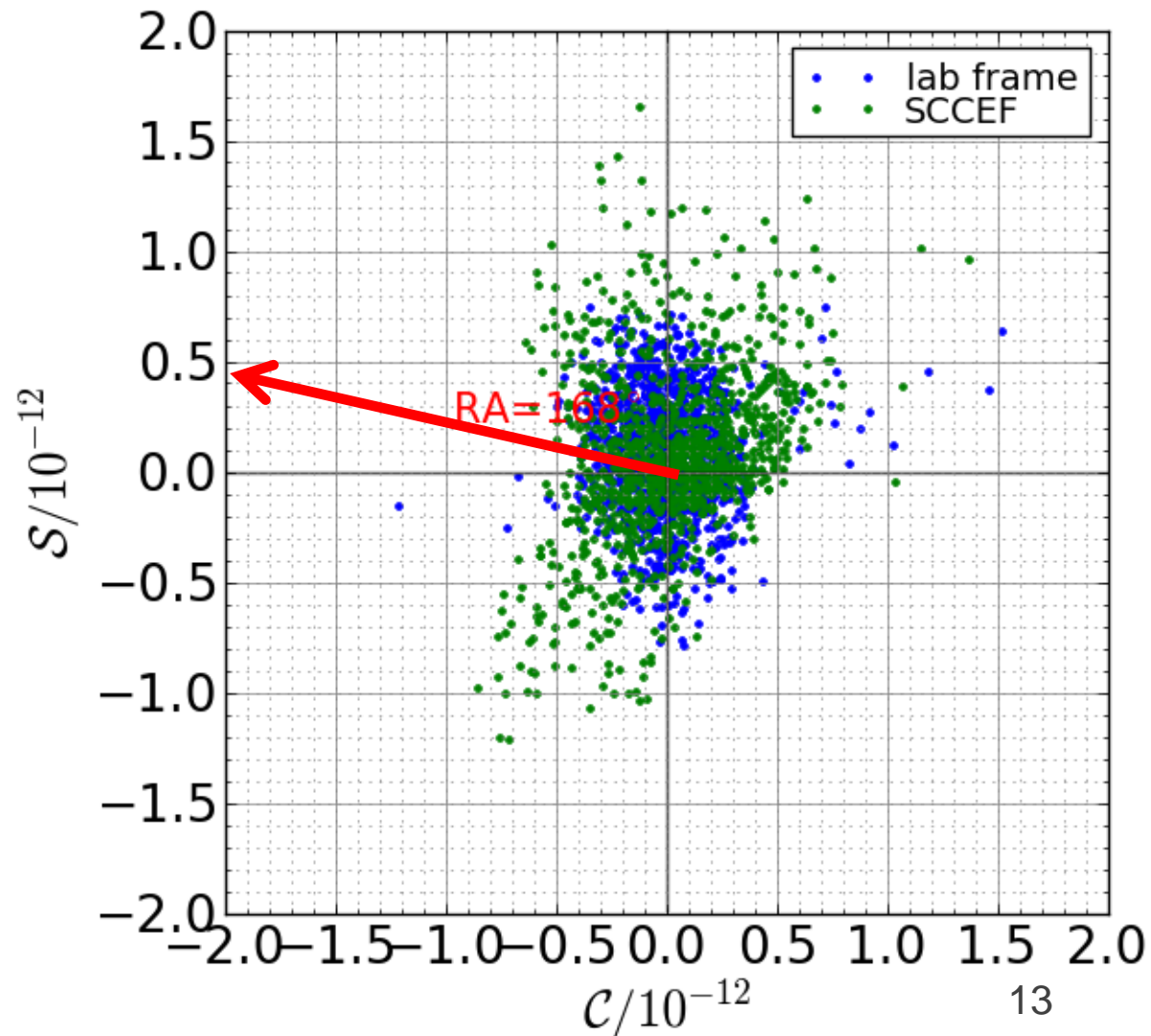
回転同期成分の低減

- 回転同期成分が見えなくなった！



現在までの結果

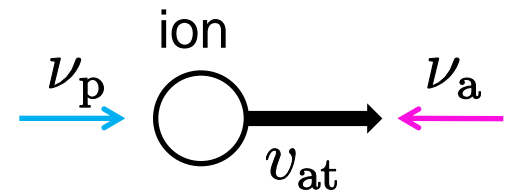
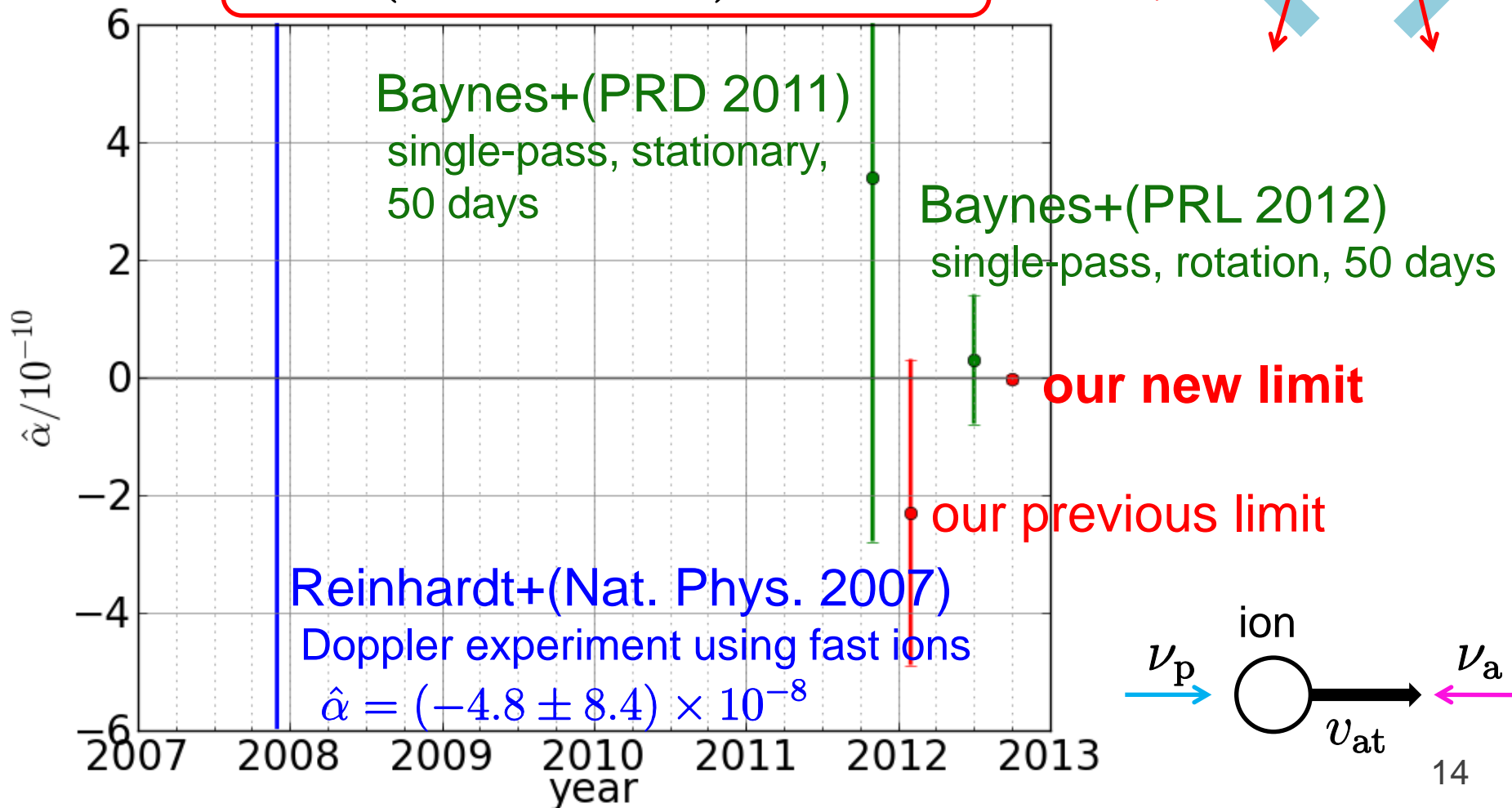
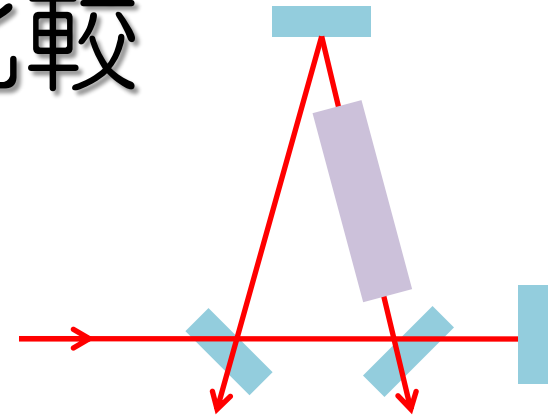
- $\hat{\alpha} = (-3.7 \pm 6.8) \times 10^{-12}$
- 約16時間測定、
1000回転分
(回転周波数:
0.042 Hz)



過去の測定との比較

- 16時間の測定で15倍更新

$$\hat{\alpha} = (-3.7 \pm 6.8) \times 10^{-12}$$



拡張標準理論における解析

- 近年よく用いられている別の検証理論
素粒子の標準理論の検証
- 光子のLorentz不変性の奇パリティな破れを表す
4つのパラメータに上限値

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{YZ} = (-6.0 \pm 3.7) \times 10^{-14}$$

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{XZ} = (0.3 \pm 4.0) \times 10^{-14} \longleftarrow 1.5\text{倍更新}$$

$$\tilde{\kappa}_{o+}^{XY} = (4.5 \pm 3.8) \times 10^{-14}$$

$$\tilde{\kappa}_{\text{tr}} = (1.2 \pm 1.9) \times 10^{-10} \longleftarrow 6\text{倍更新}$$

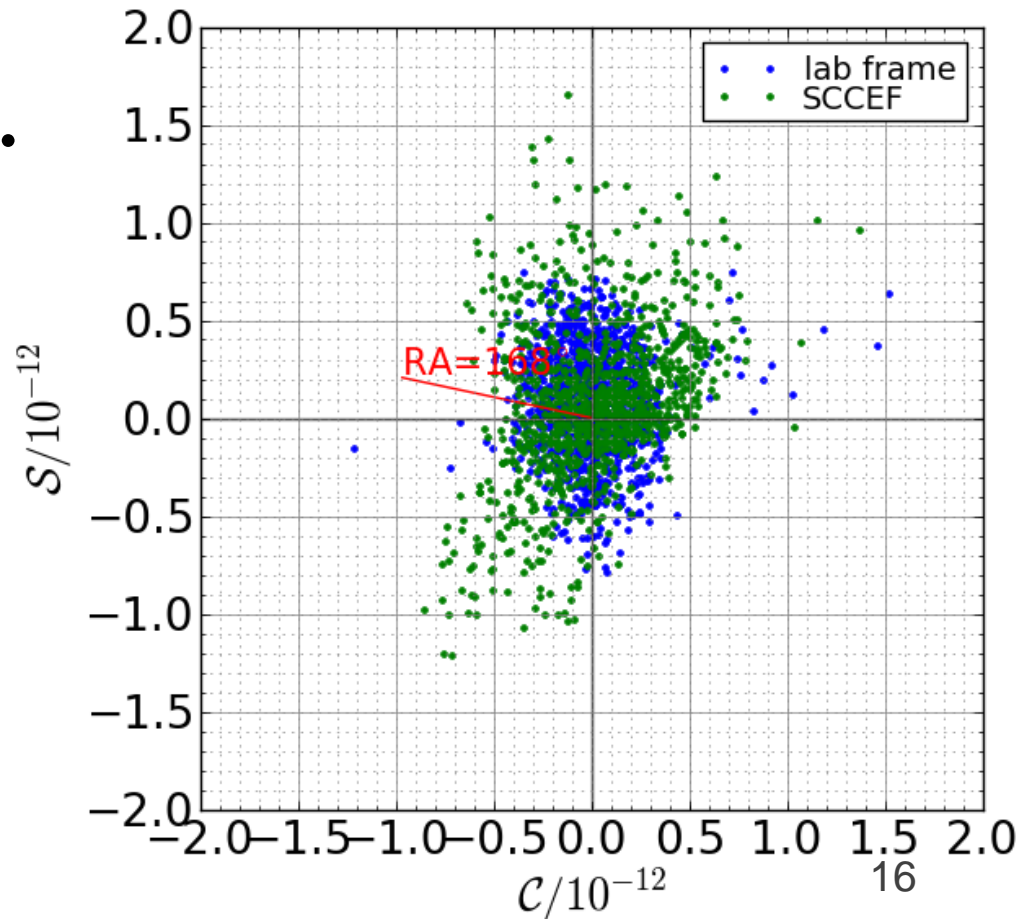
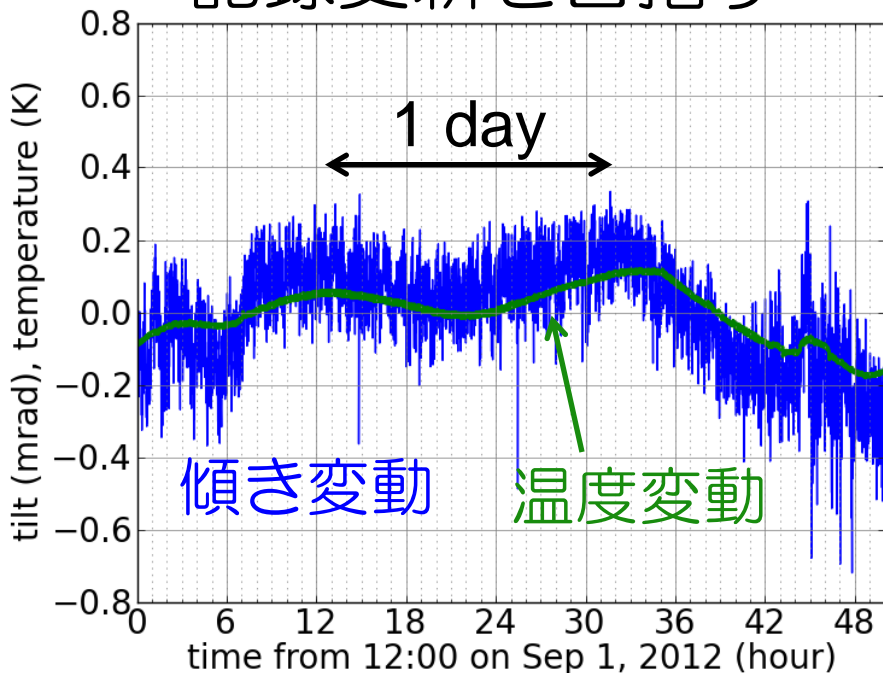
これまでの上限値

S. Herrmann *et al.*: PRD **80** (2009) 105011

F. N. Baynes *et al.*: PRL **108** (2012) 260801

今後の予定

- ドリフトが存在
 - 回転台水平度 ~ 0.2 mrad/半日
 - ケーブルのねじれ?
- 測定時間を伸ばし、
全方向で異方性ゼロ・
記録更新を目指す



まとめ

- 新しいタイプの片道光速の異方性探査装置を製作
シリコン入り光リング共振器、ダブルパス
- 雑音を低減 (統計誤差を低減)
AD変換時の雑音が制限していた
- 回転同期成分を低減 (系統誤差を低減)
遮光、偏光回転の回避、回転台水平度の向上
- これまでの世界記録より1桁厳しい上限値
 $\hat{\alpha} = (-3.7 \pm 6.8) \times 10^{-12}$
- 今後の予定
 - 全方向で異方性ゼロ・記録更新を目指す
 - 回転台水平度の長期的安定化が必要
 - ケーブルのねじれ対策？