

茨城局 日立・高萩 32 m 電波望遠鏡の アンテナ性能

茨城大学 電波・赤外線天文観測研究室
百瀬研 D1 齋藤悠

発表の流れ

1. 茨城局のアンテナ性能
2. 指向精度の評価と補正
3. 日立アンテナの指向精度
4. 高萩アンテナの指向精度
5. 開口能率測定
6. 高萩アンテナの開口能率
7. 今後の展望

1. 茨城局のアンテナ性能

- アンテナの性能
 - 能率: 開口能率、ビーム能率
 - 指向性: 指向精度、追尾精度
 - ビームパターン、駆動速度...
- 天体の強度変動のモニター
 - ➡ 十分な指向精度、開口能率の評価 が必要

日立・高萩アンテナは？

日立・高萩のアンテナ性能は？

元は衛星通信用アンテナ



アンテナの向き固定

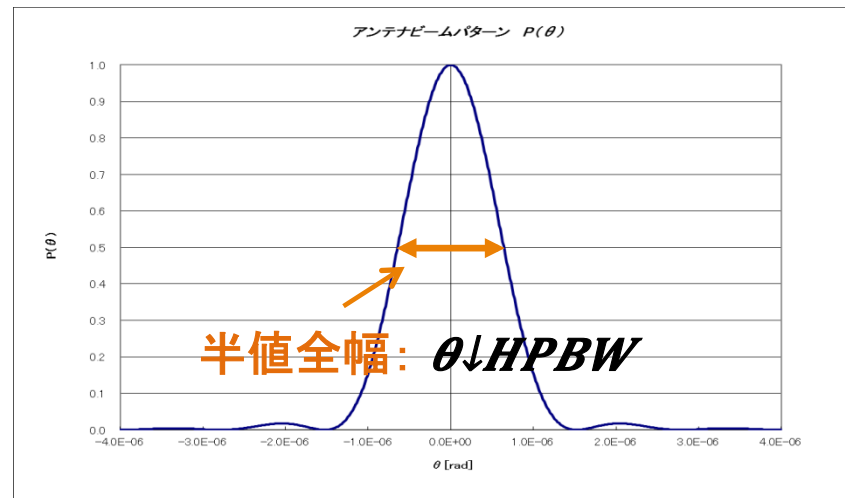


全天での
指向精度・開口能率の
評価が必要



- 求められる指向精度

- 理想: HPBW の 1/20 のずれ → 最大値の 99.3 %
- 許容: 1/10 のずれ → 97.3 %



観測周波数	観測波長	$\theta \downarrow$ HPBW	1/10	1/20
6.7 GHz	4.5 cm	4.8'	0.25'	0.125'
8.4 GHz	3.6 cm	3.8'	0.38'	0.2'
22 GHz	1.4 cm	1.5'	0.15'	0.07'

今回の目標指向精度

0.38'

- 開口能率の評価

$$F_{\nu} \uparrow_{obs} = 2kT_{\nu} \uparrow_{*} / A_{\nu} P$$

天体の真の
フラックス密度

$$= \frac{\text{観測フラックス密度}}{\text{開口能率}}$$

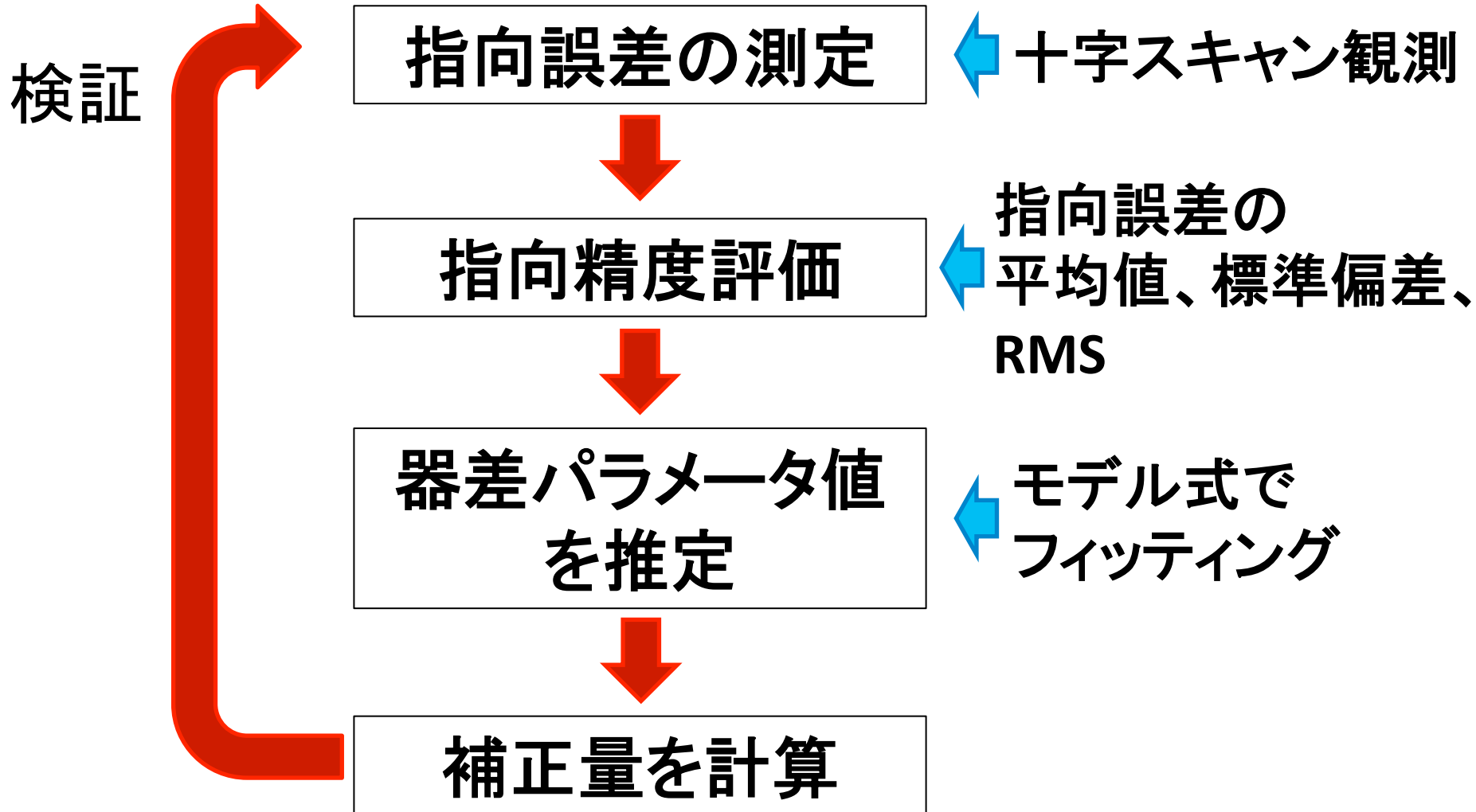
$F_{\nu} = F_{\nu} \uparrow_{obs} / \eta_{\nu} A$

$\eta_{\nu} A = A_{\nu} e / A_{\nu} P$



開口能率のEL依存性を測定

2. 指向精度の評価と補正



• 指向精度評価

指向誤差の Ave.、Std.、RMS を計算

十字スキャン観測をして、N セットの指向誤差のデータを得た場合

- Az 方向の指向誤差量 dX

$$\text{平均値: } dX = \frac{\sum_{i=1}^N dX_i}{N}, \quad \text{標準偏差: } \sigma_{dX} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (dX_i - dX)^2}{N-1}}$$

- El 方向の指向誤差量 dEl

$$\text{平均値: } dEl = \frac{\sum_{i=1}^N dEl_i}{N}, \quad \text{標準偏差: } \sigma_{dEl} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (dEl_i - dEl)^2}{N-1}}$$

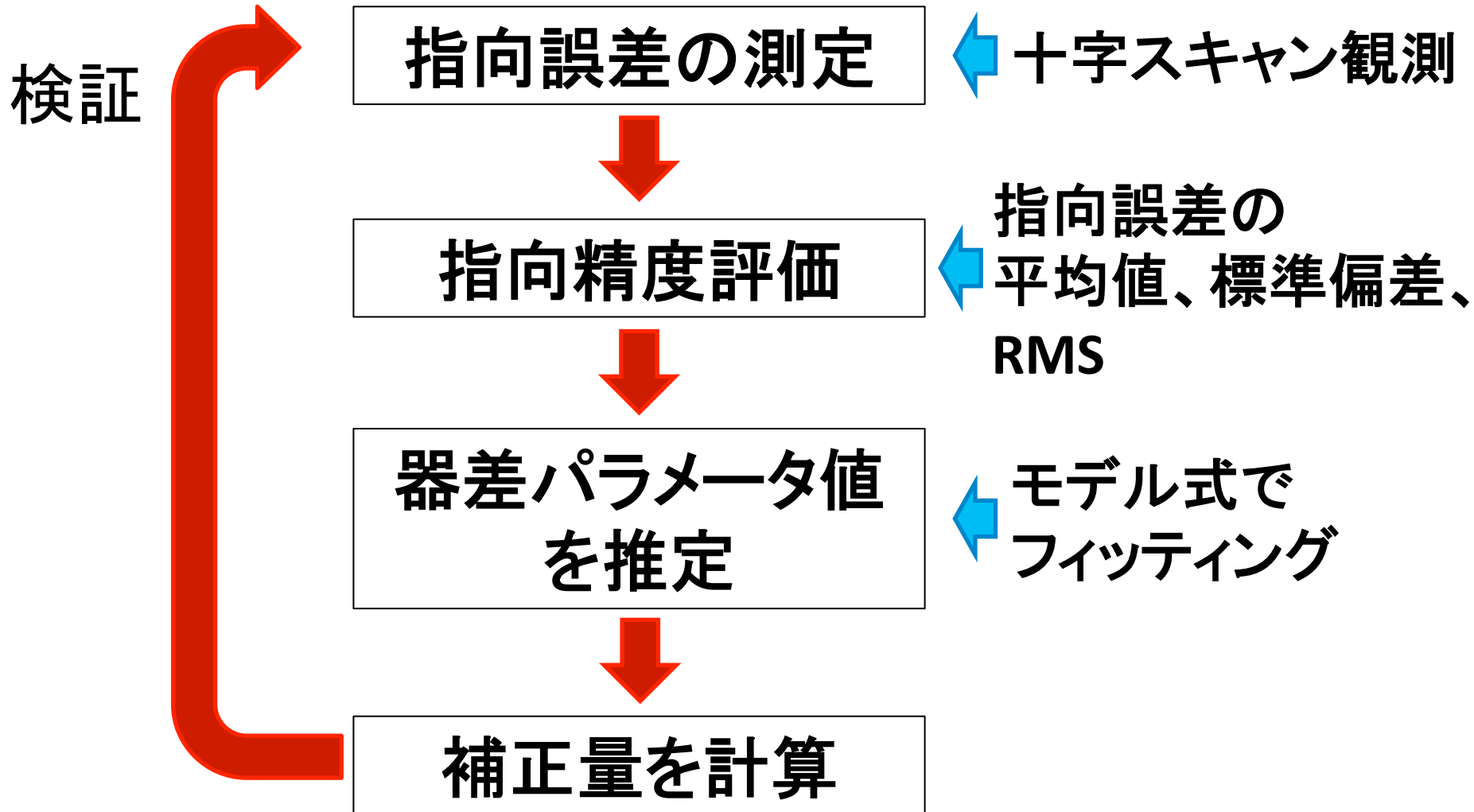


$$\text{Ave.} = \sqrt{dX^2 + dEl^2} \quad \text{Std.} = \sqrt{\sigma_{dX}^2 + \sigma_{dEl}^2},$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (dX_i^2 + dEl_i^2) / N}$$

< 0.38' 目標値

3. 指向誤差の測定と補正



指向誤差量を再現するモデル式

$$dX \equiv dAz \cos(El) = A1 \cos(El) + A3 \cos(Az) \sin(El) \\ - A4 \sin(Az) \sin(El) + A5 \sin(El) + A7$$

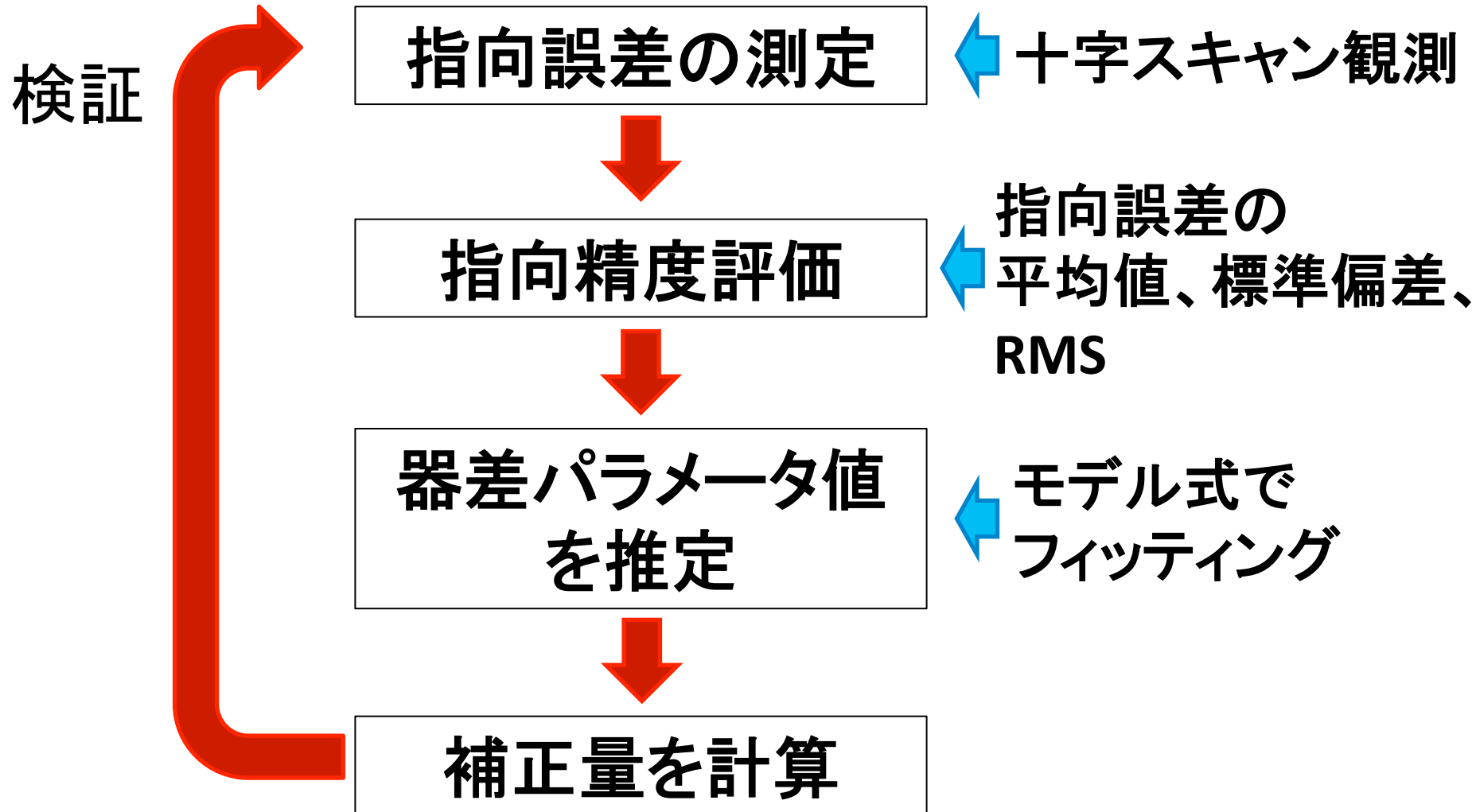
$$dEl = A2 - A3 \sin(Az) - A4 \cos(Az) + A6 \cos(El)$$

$$+ A8 \sin(El)$$

8個の器差パラメータ

- A1:** Az軸のエンコーダ(角度センサ)の原点ズレ
- A2:** El軸のエンコーダ(角度センサ)の原点ズレ
- A3:** 天頂に対するAz軸の東西方向への傾き
- A4:** 天頂に対するAz軸の南北方向への傾き
- A5:** Az軸とEl軸の非直交性
- A7:** 光軸とEl軸の非直交性
- A6, A8:** 重力による鏡面の弾性変形

3. 指向誤差の測定と補正



日立アンテナの指向精度測定

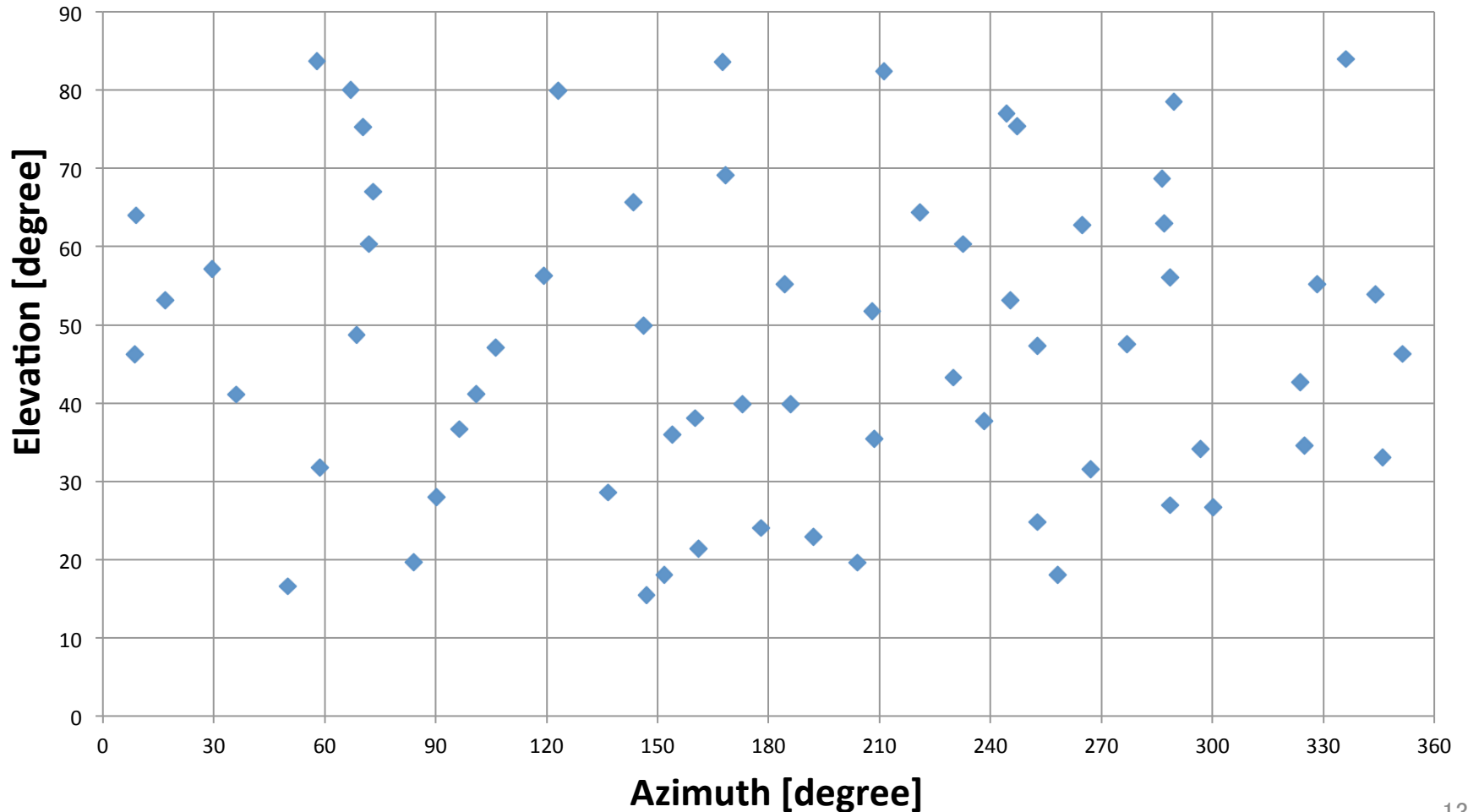
- 2010年11月から測定を開始
- モデル式の改良

2010年11月実施 指向精度測定

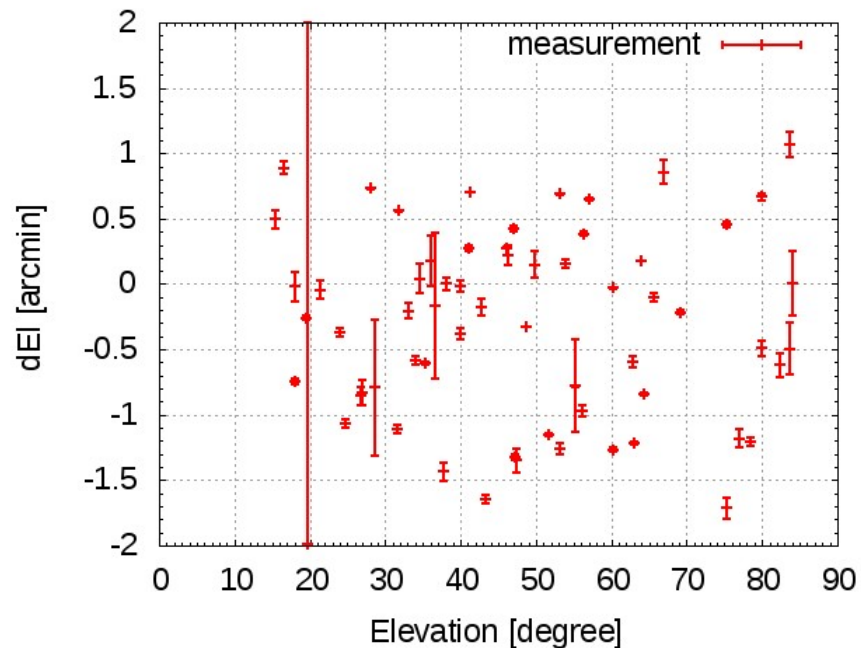
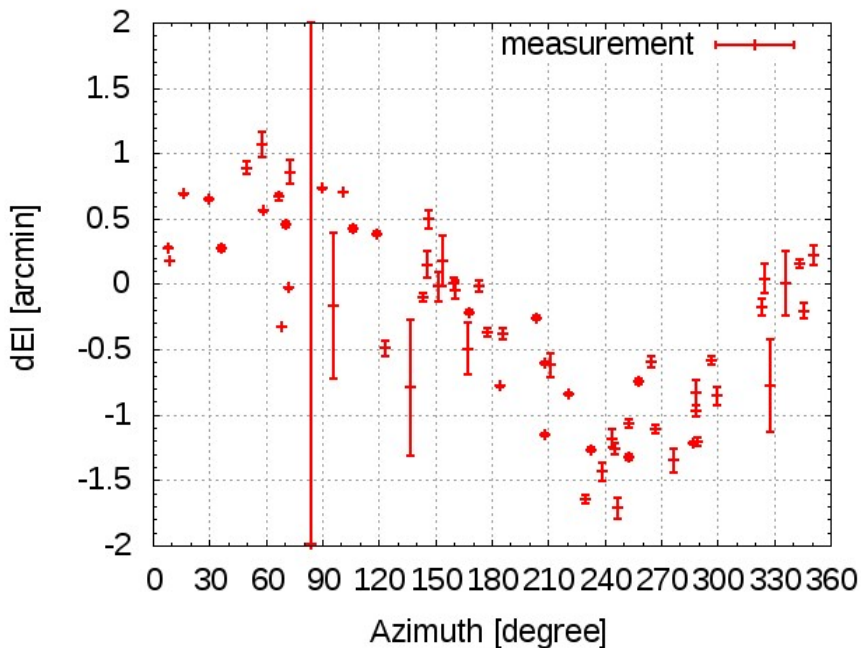
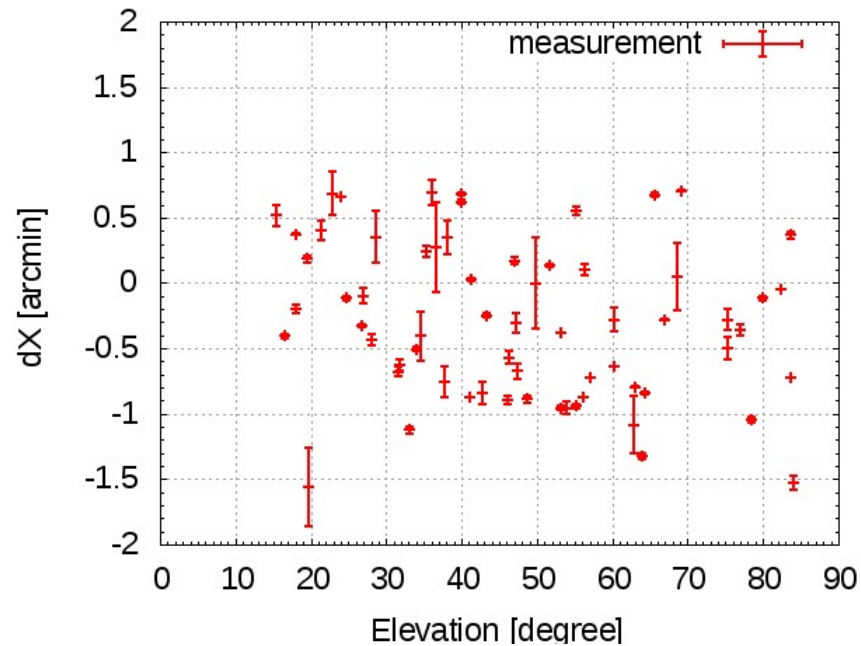
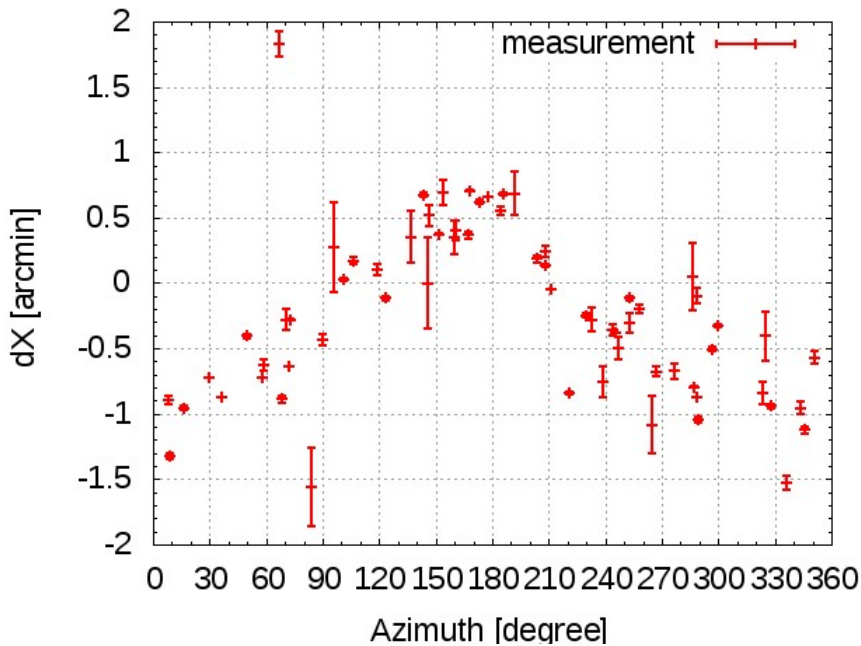
測定日: 2010年11月4, 5, 6日

十字スキャン観測数 : 66

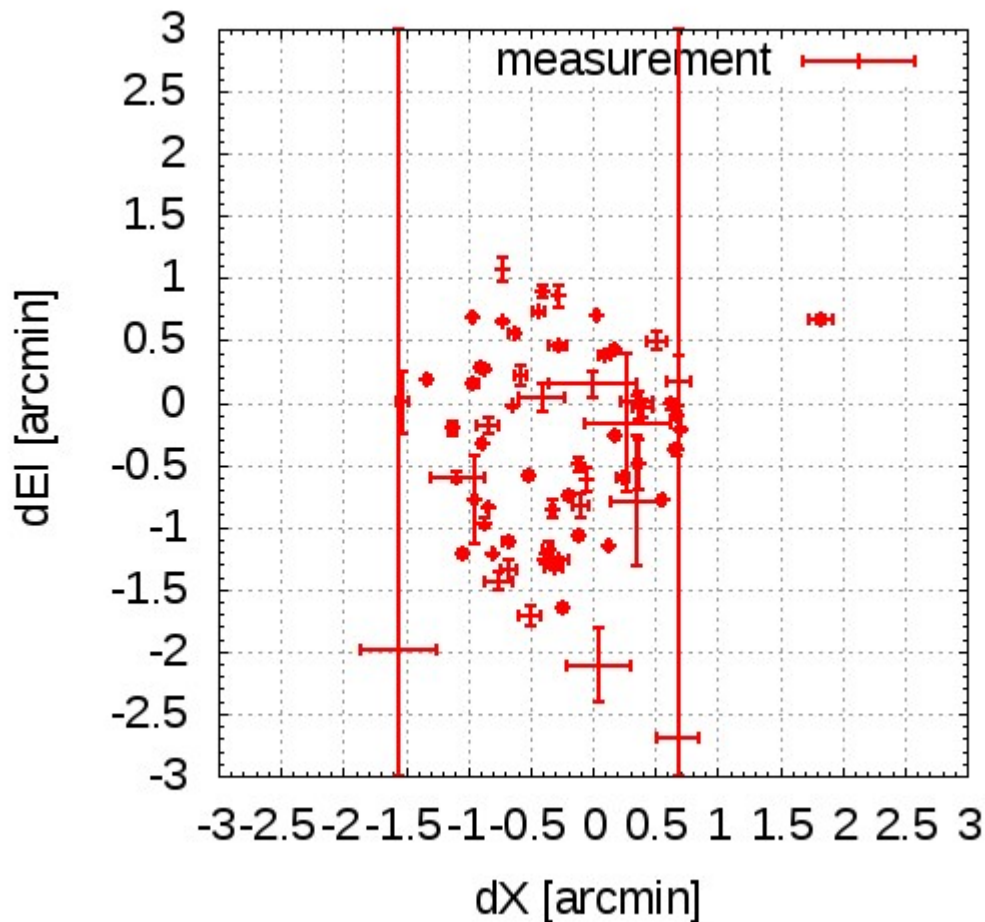
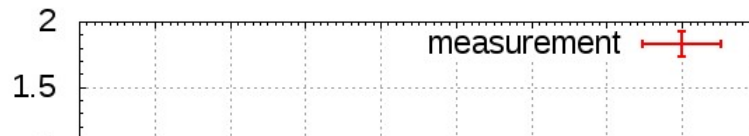
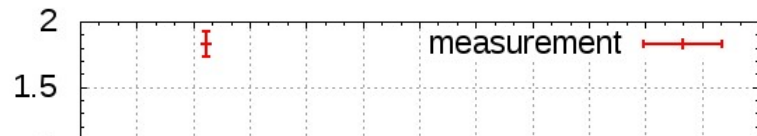
十字スキャン観測方向のプロット



2010年11月実施 指向誤差測定結果



2010年11月実施 指向誤差測定結果

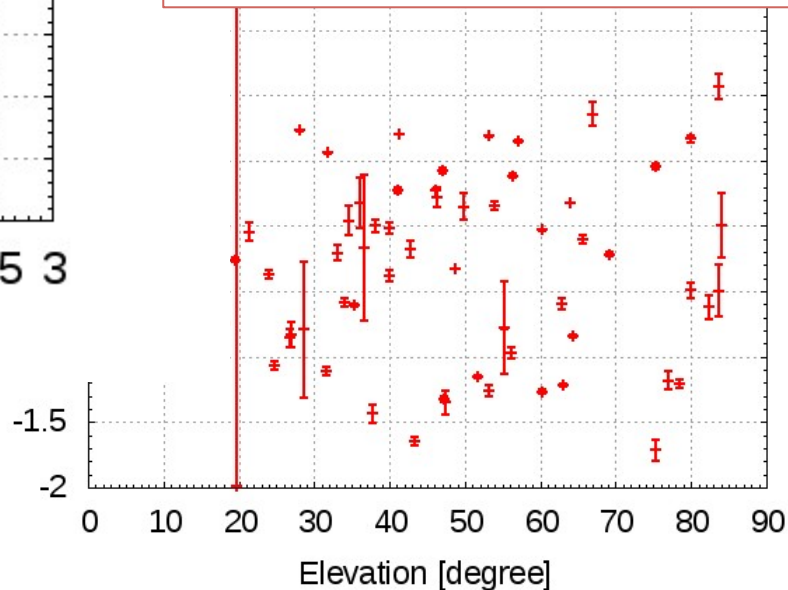
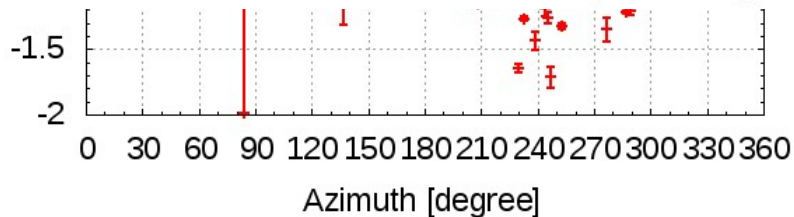


- 実測値の指向精度

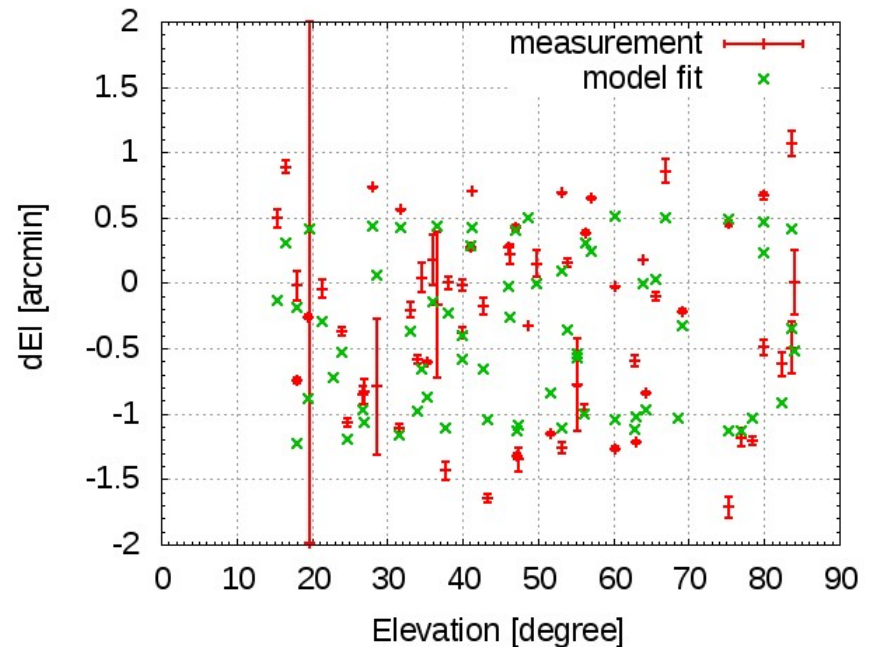
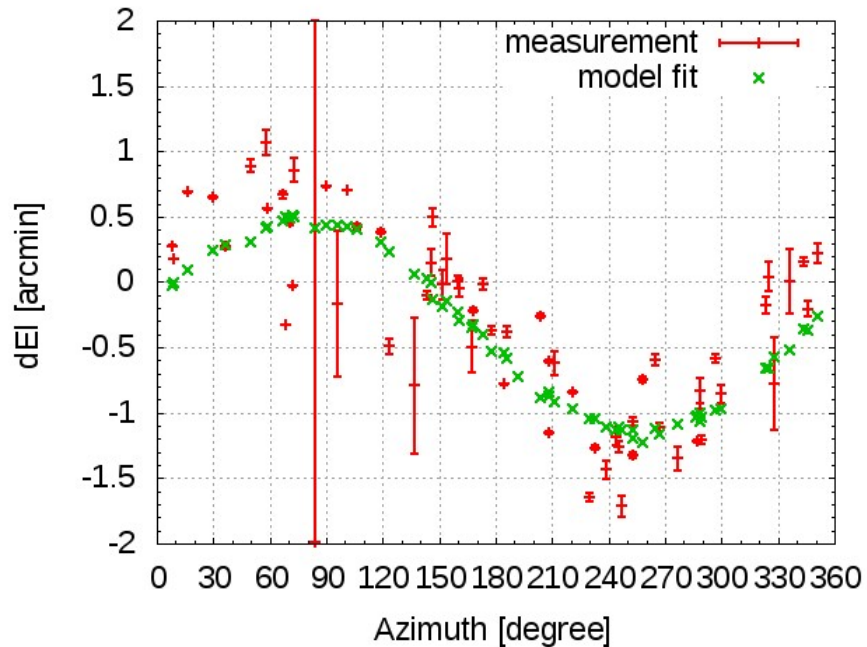
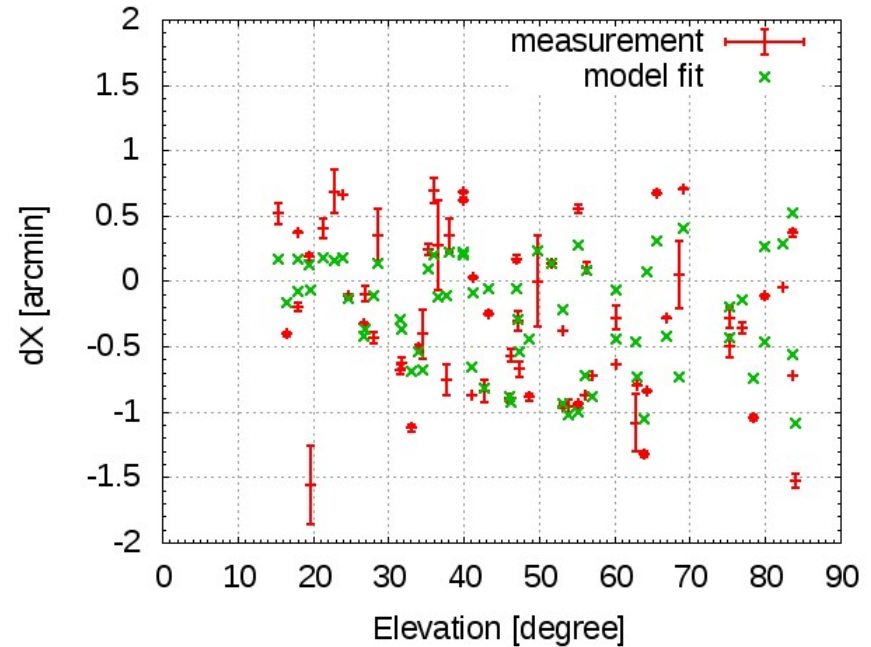
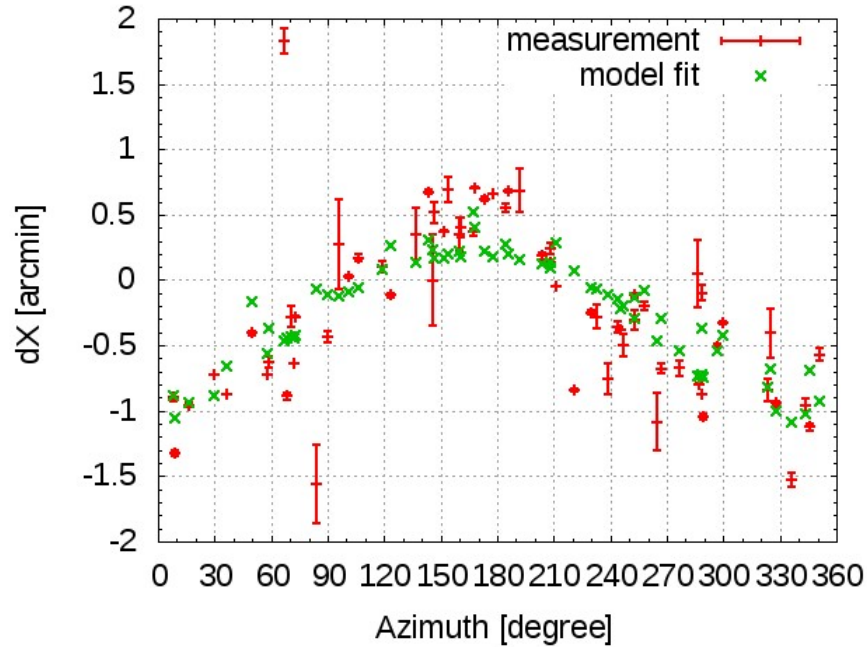
Ave.=0.47'

Std.=1.0'

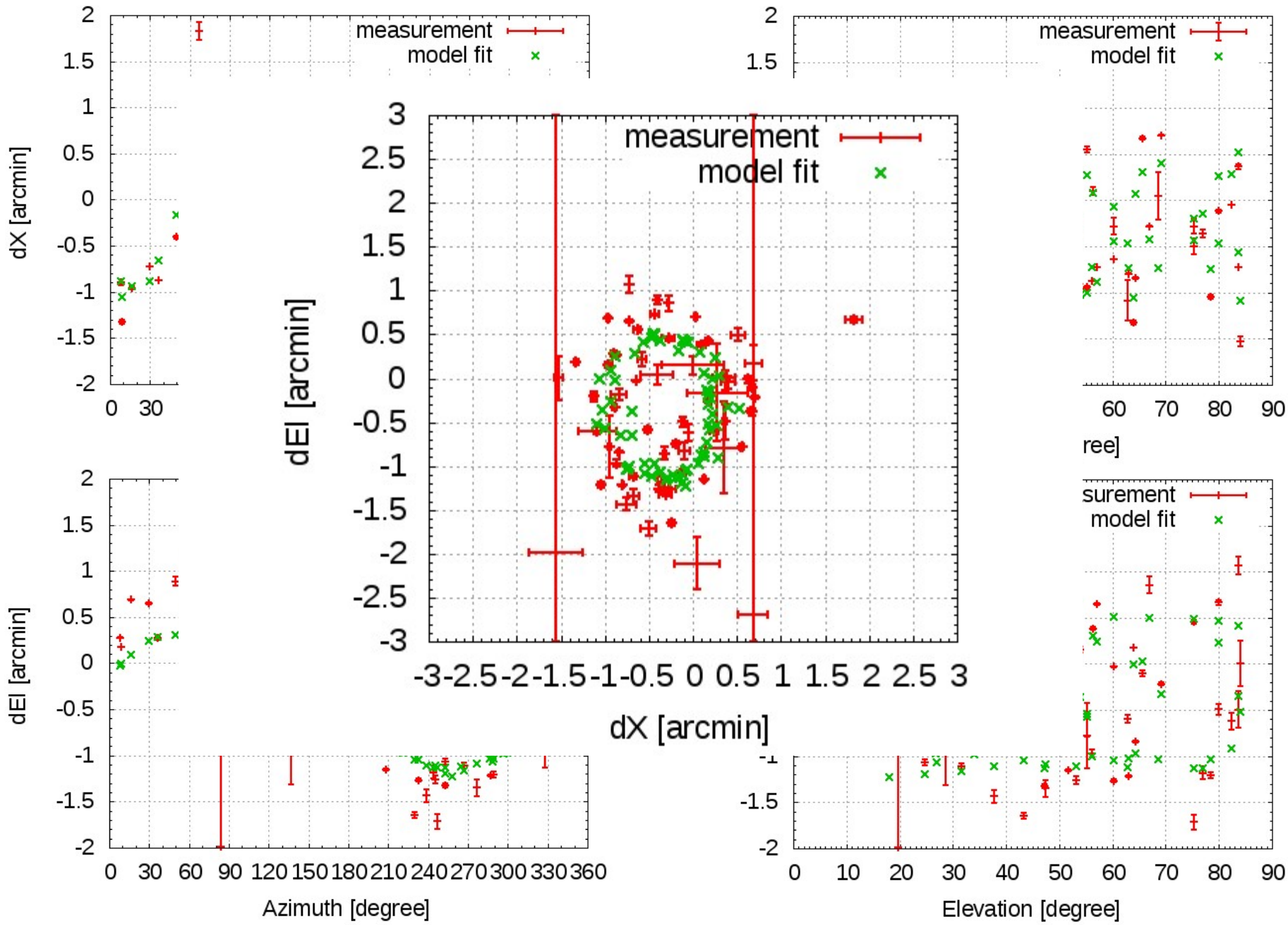
RMS=1.1'



2010年11月実施 指向誤差フィット結果



2010年11月実施 指向誤差フィット結果

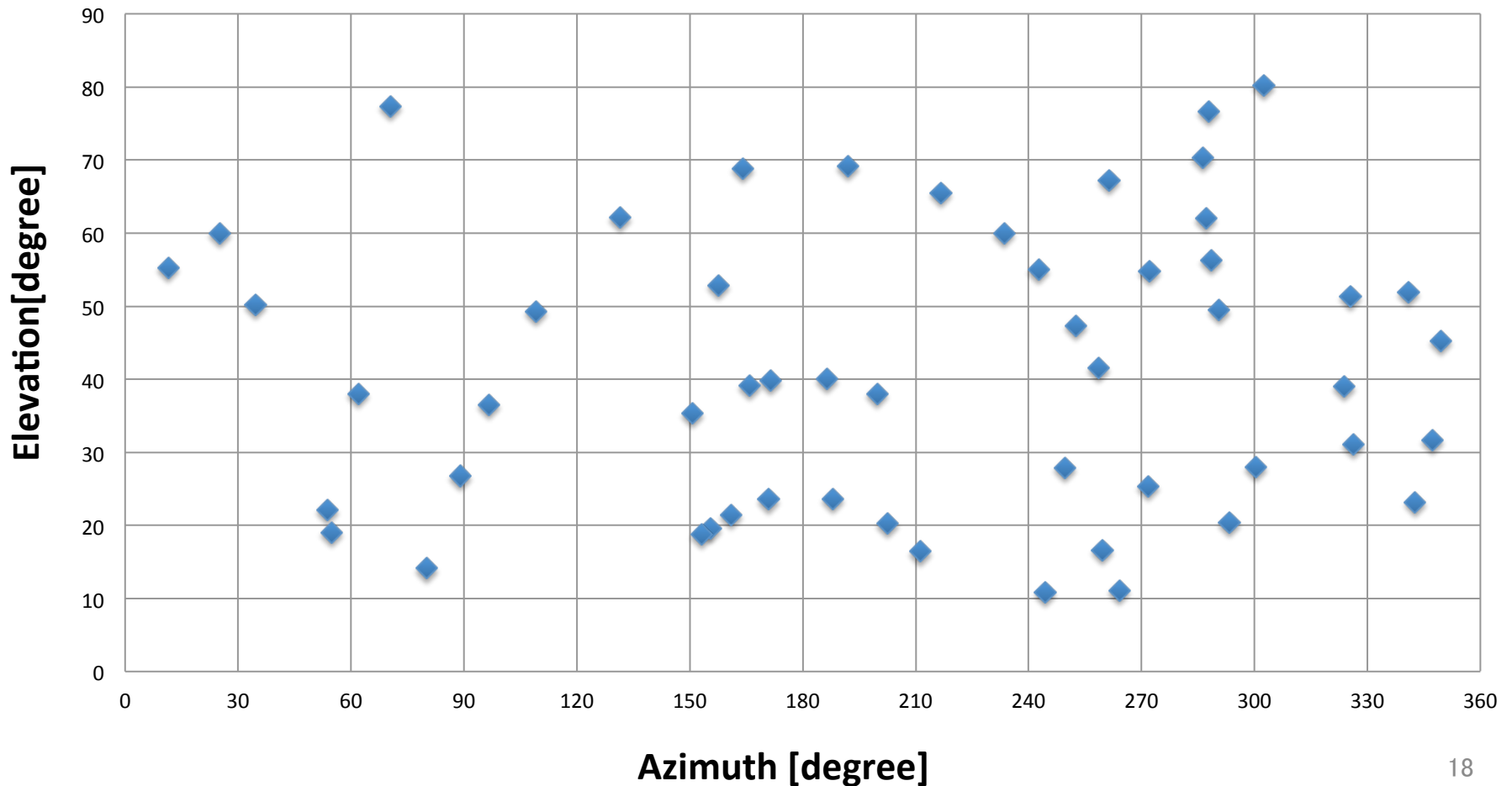


2010年12月実施 指向精度測定

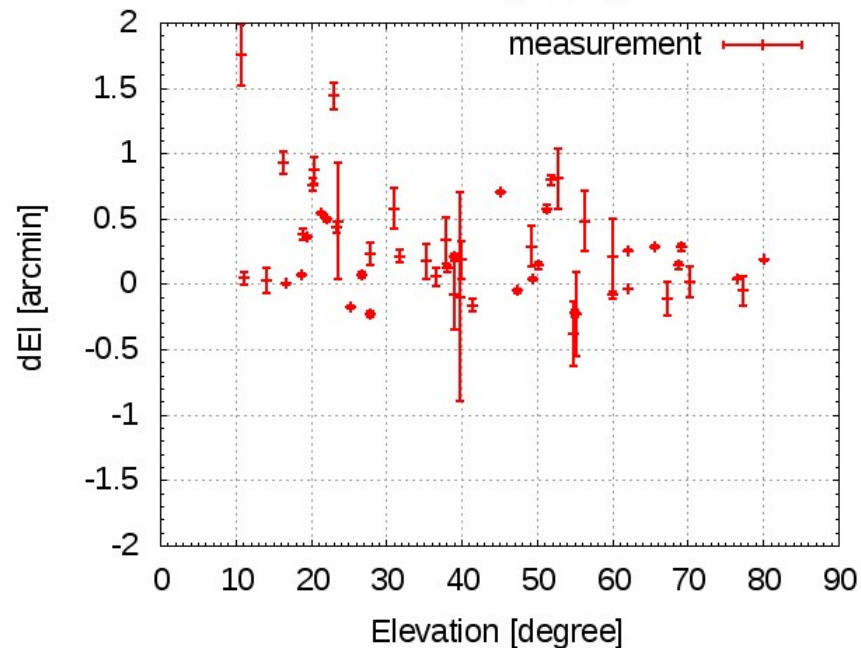
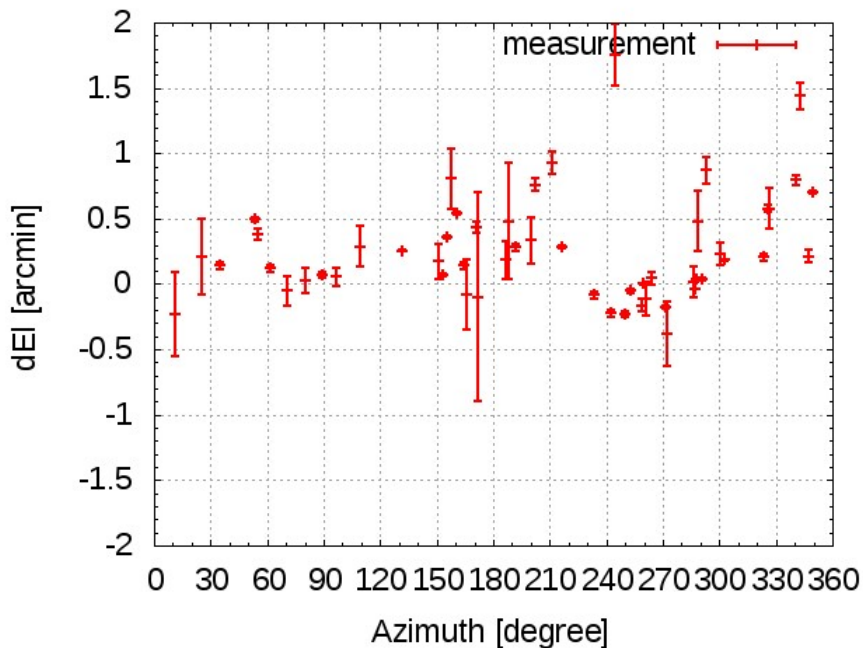
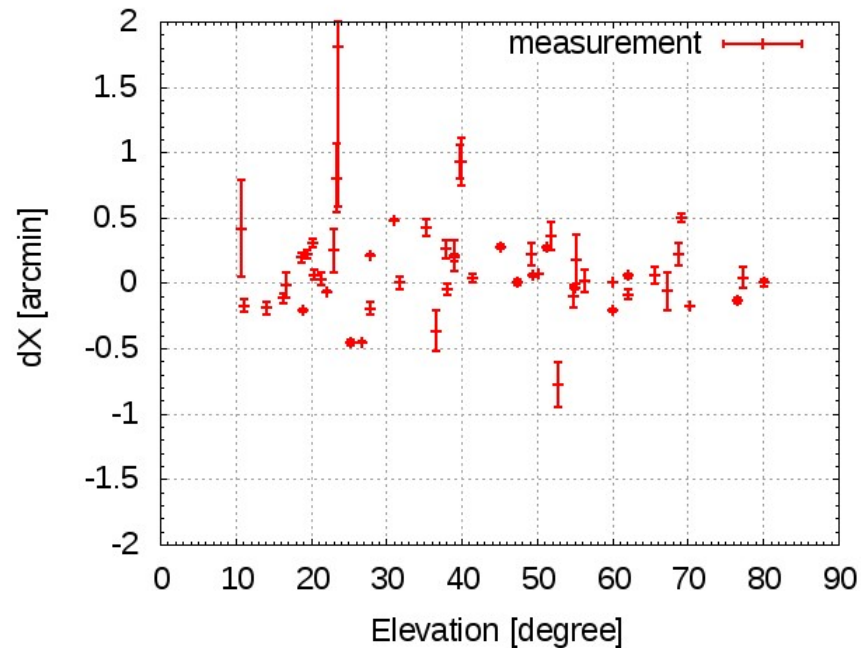
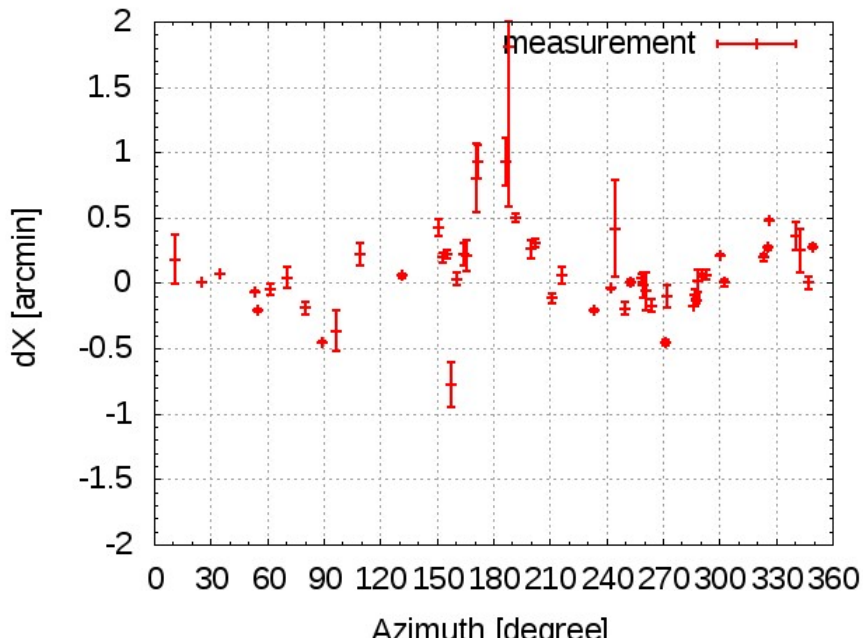
測定日: 2010年12月29, 30日, 2011年1月1日

十字スキャン観測数: 54

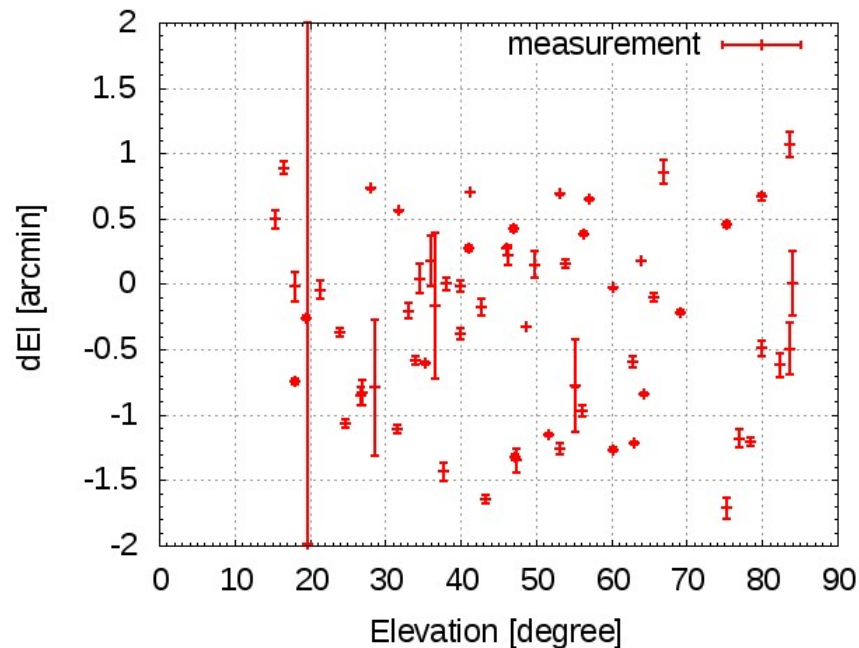
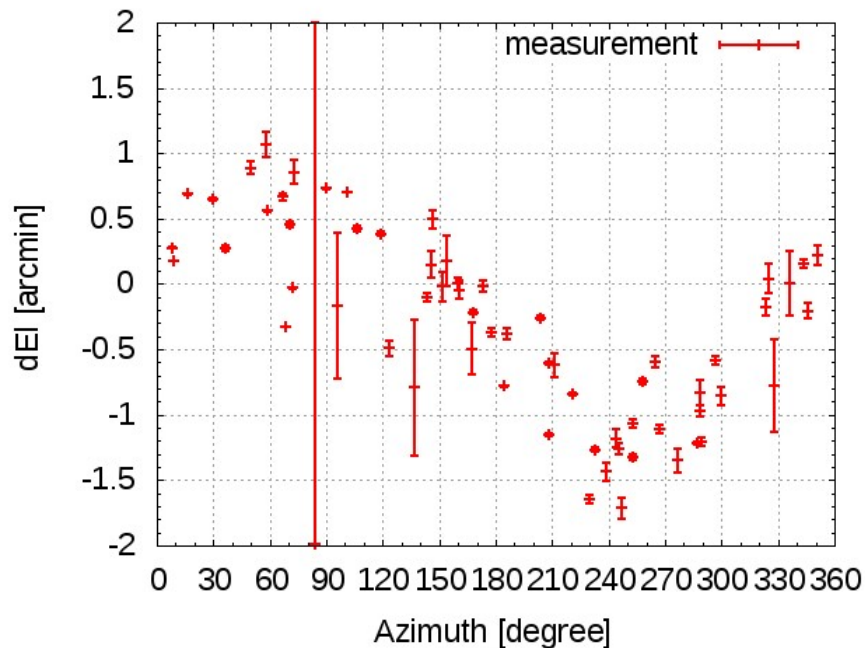
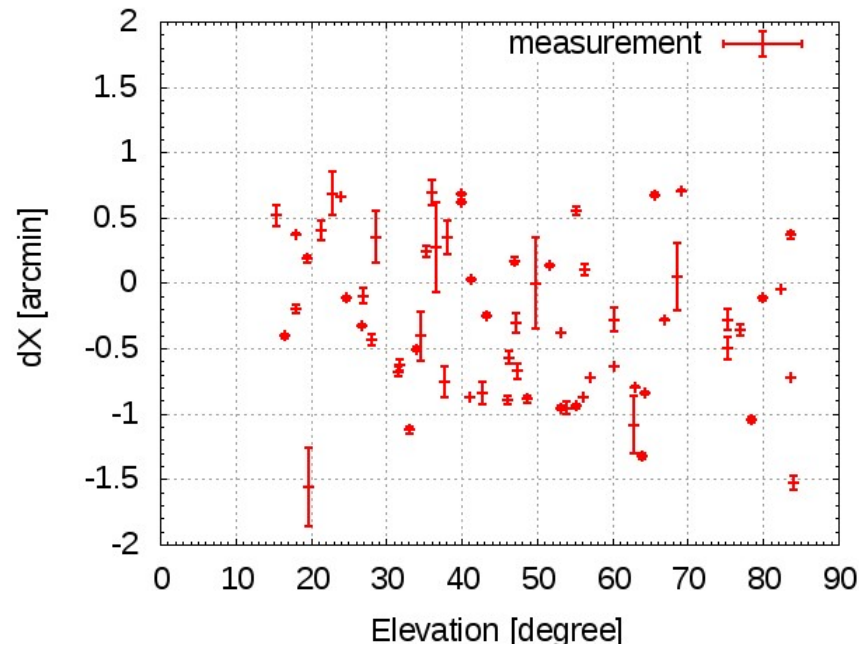
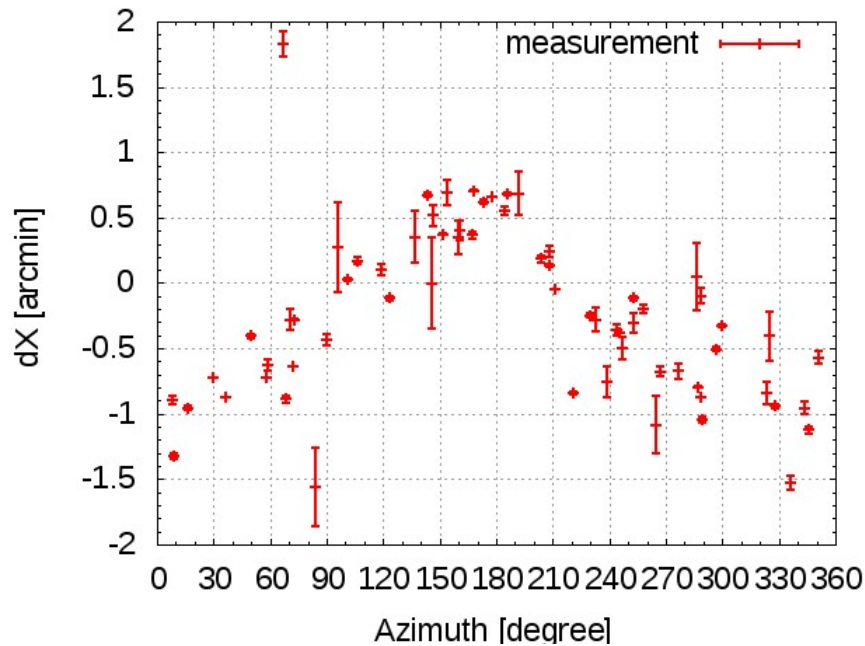
十字スキャン観測方向のプロット



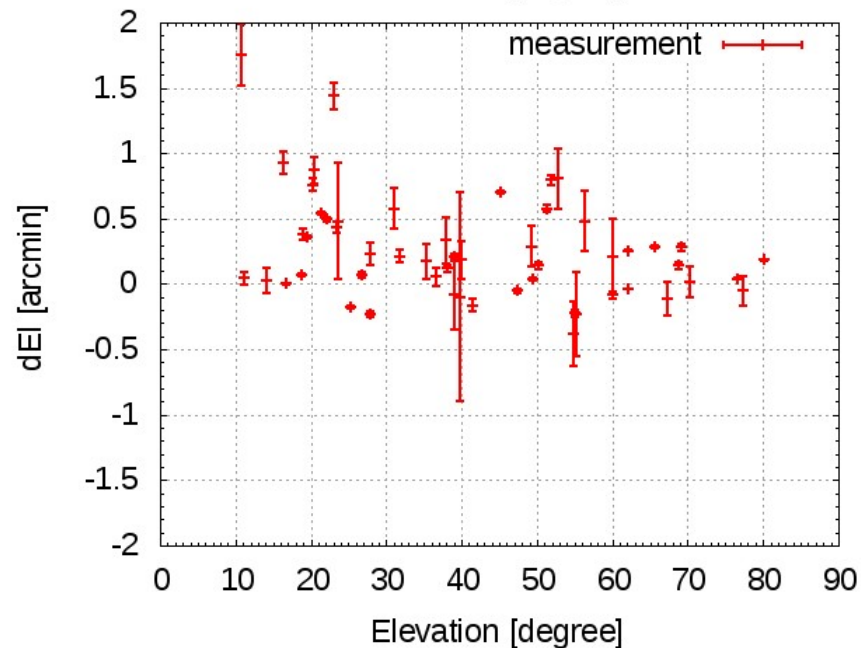
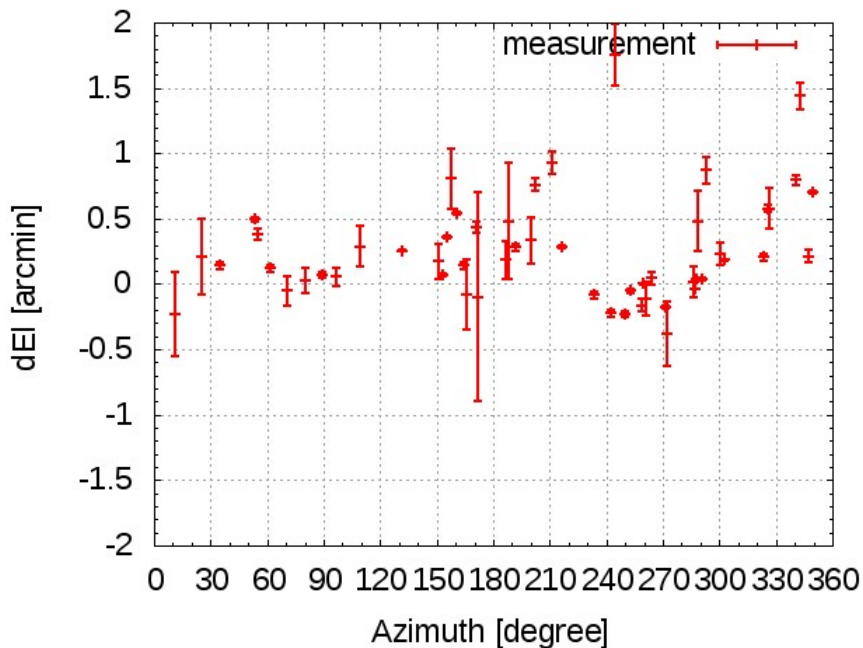
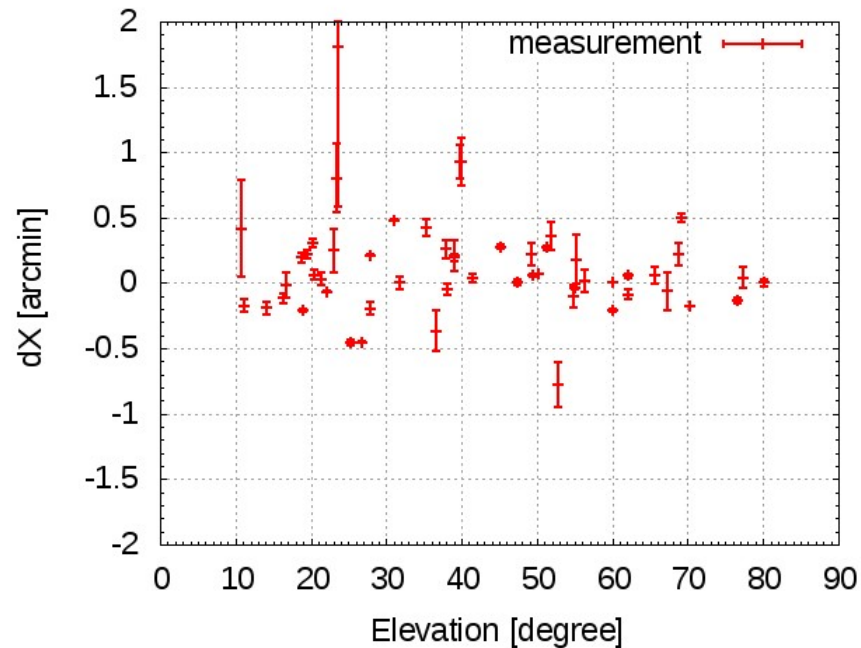
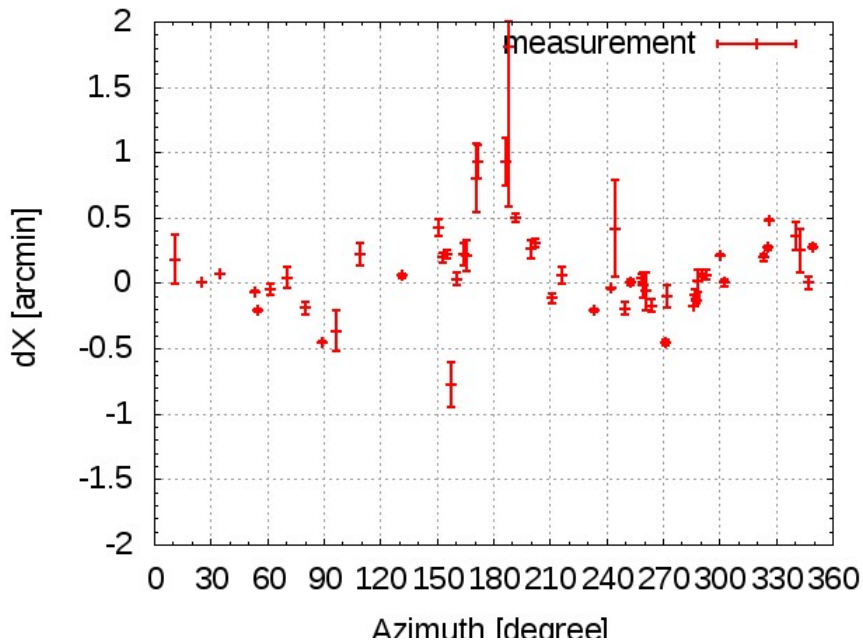
2010年12月実施 指向誤差測定結果



2010年11月実施 指向誤差測定結果



2010年12月実施 指向誤差測定結果



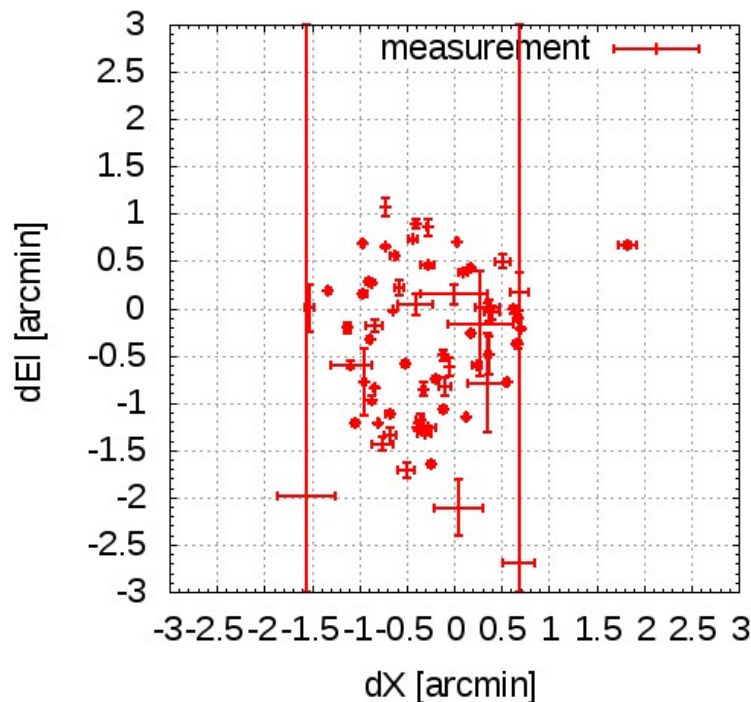
補正前

- 2010年11月測定
実測値の指向精度

Ave.=0.47'

Std.=1.0'

RMS=1.1'



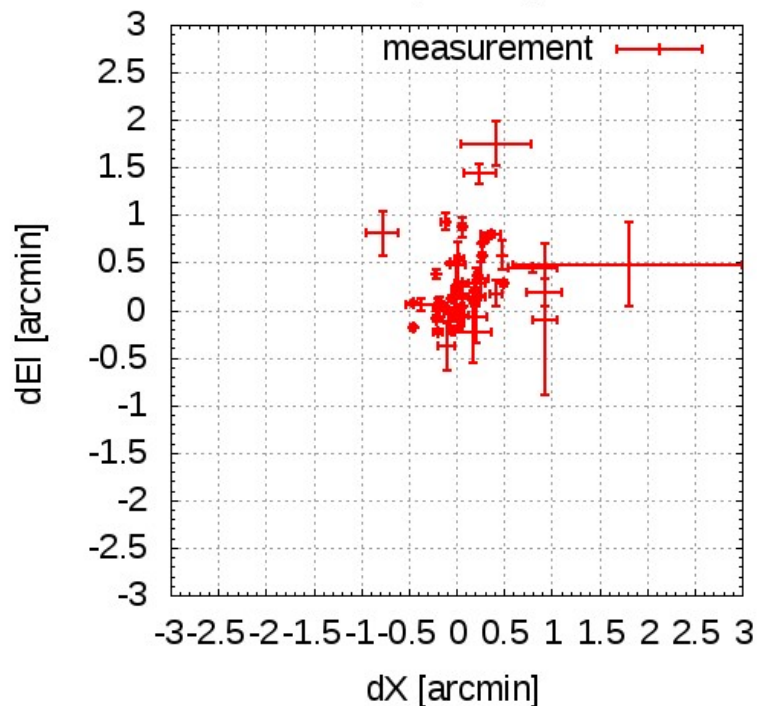
補正後

- 2010年12月測定
実測値の指向精度

Ave.=0.28'

Std.=0.56'

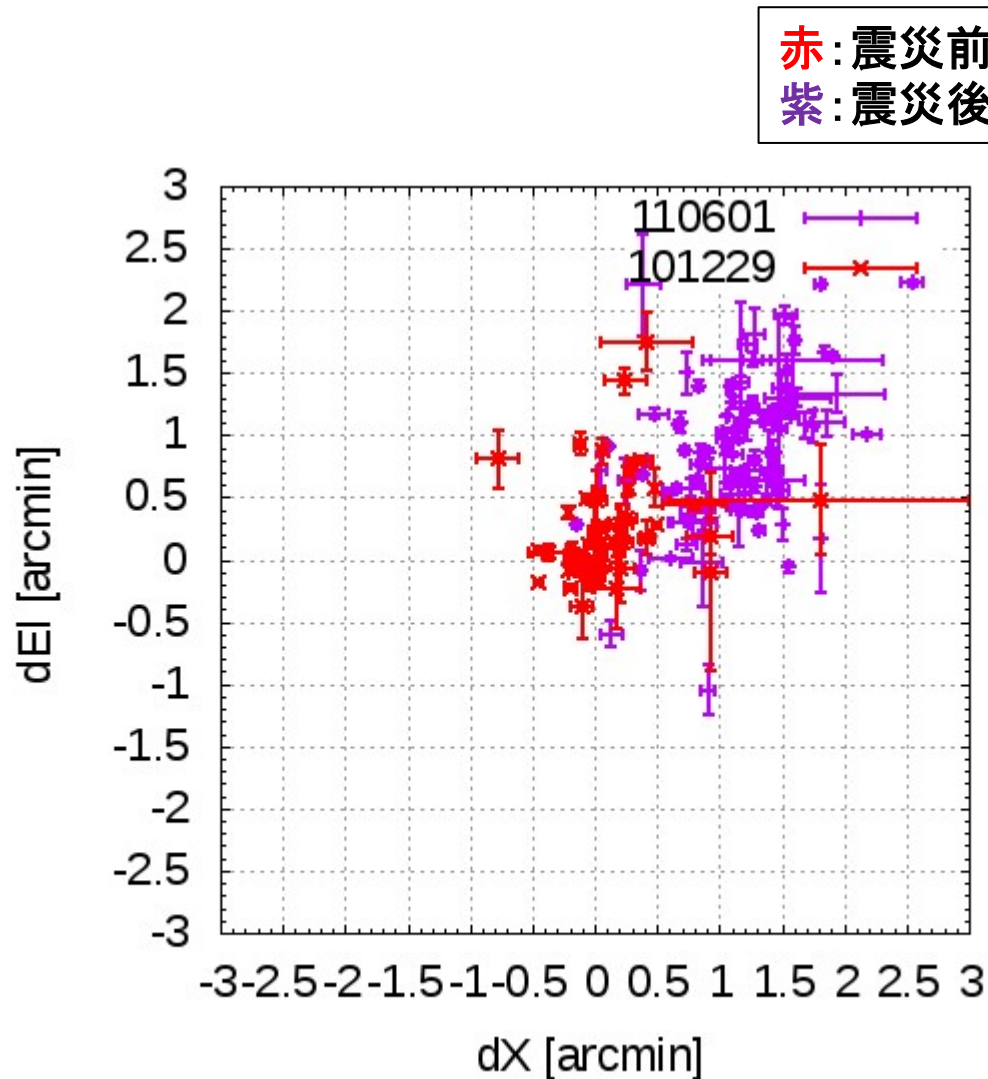
RMS=0.63'



しかし、2011年3月11日
東日本大震災発生

高萩 震度 6 弱
日立 震度 6 強

2011年6月実施 指向誤差測定結果



震災前

- 2010年12月測定
実測値の指向精度

Ave.=0.28'

Std.=0.56'

RMS=0.63'



震災後

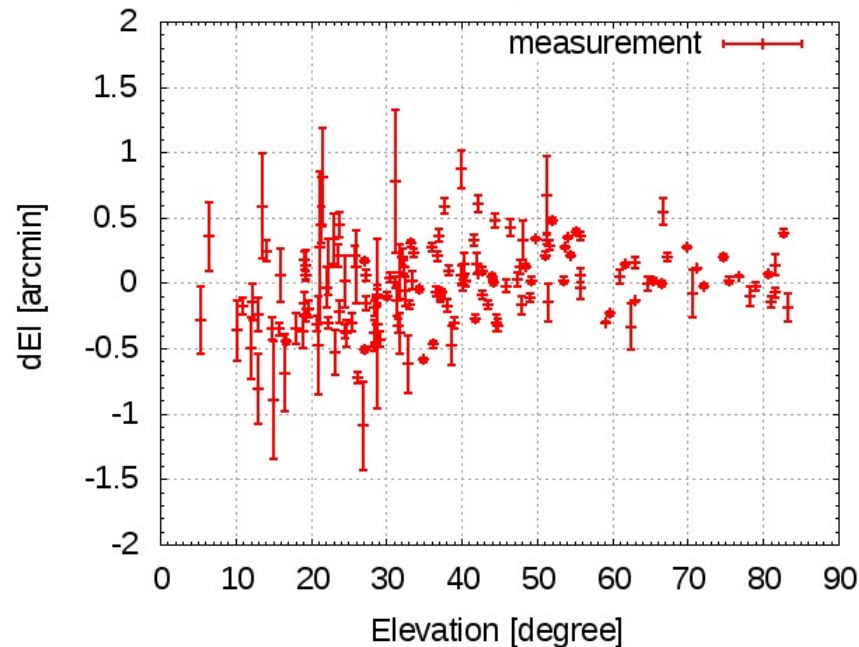
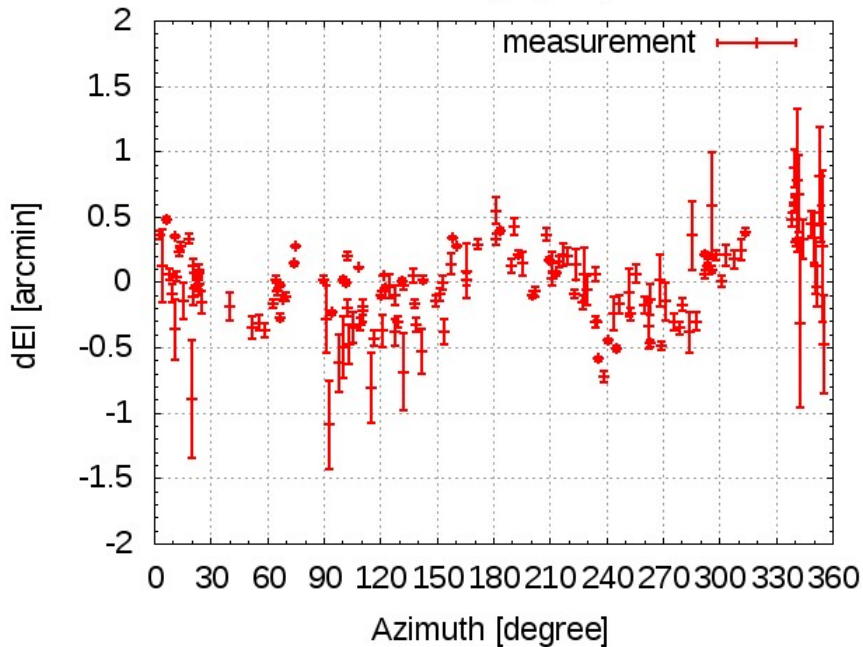
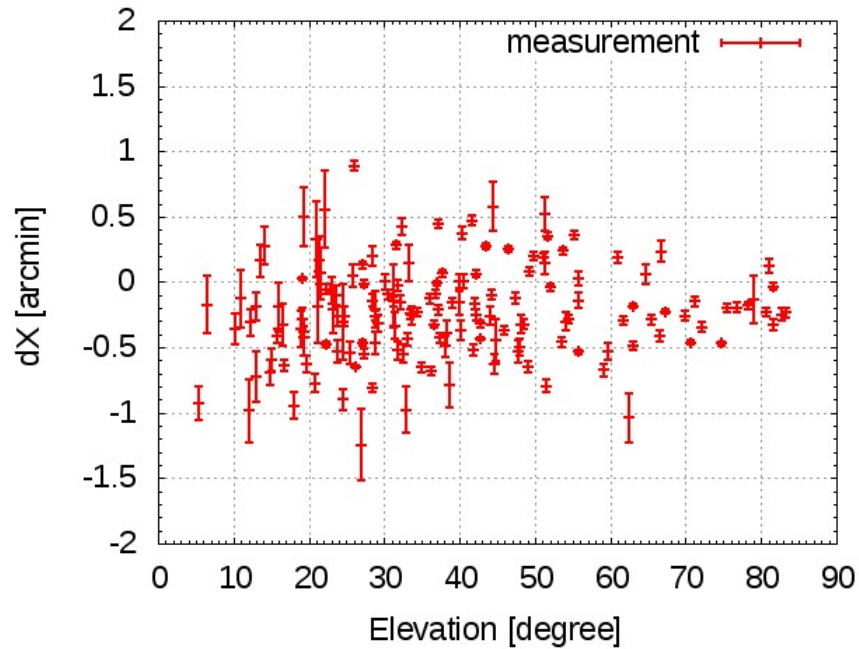
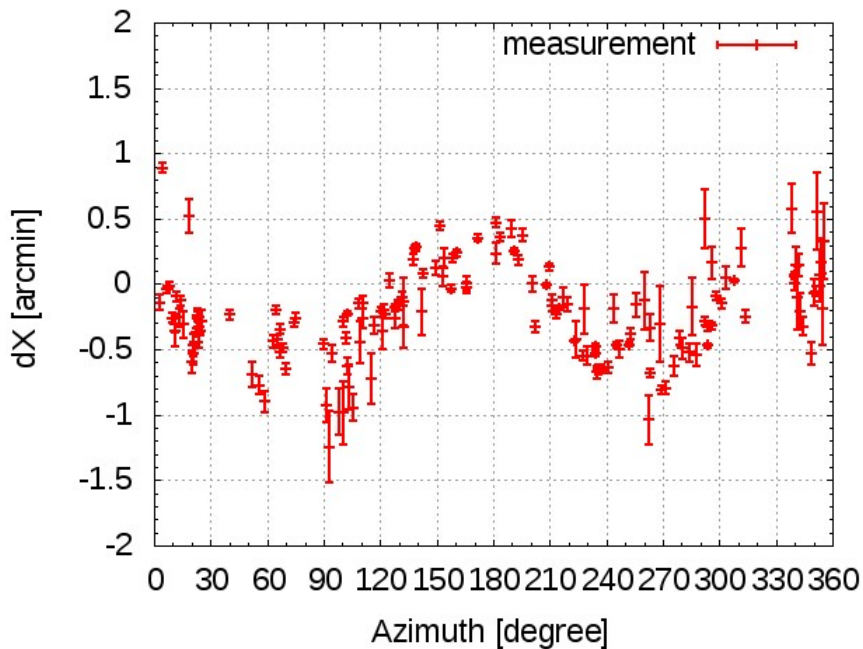
- 2011年6月測定
実測値の指向精度

Ave.=1.42'

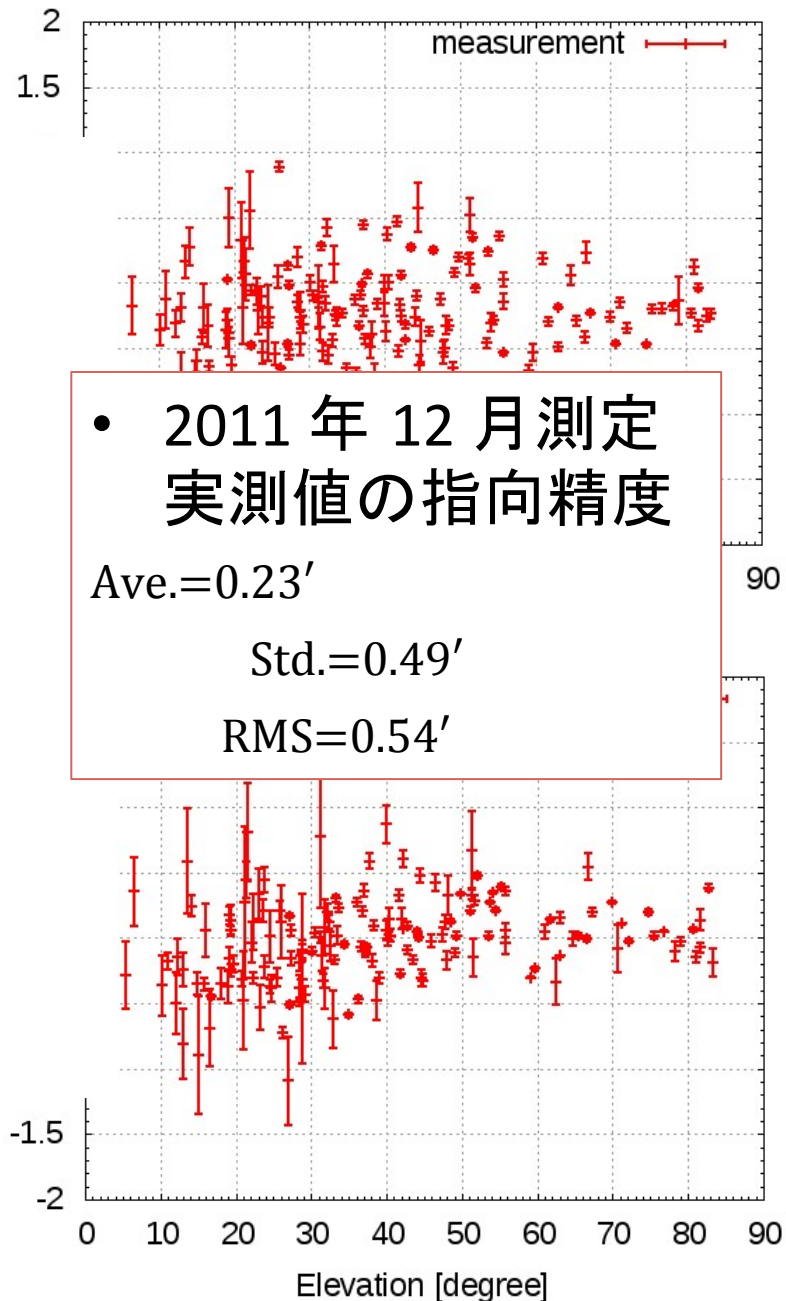
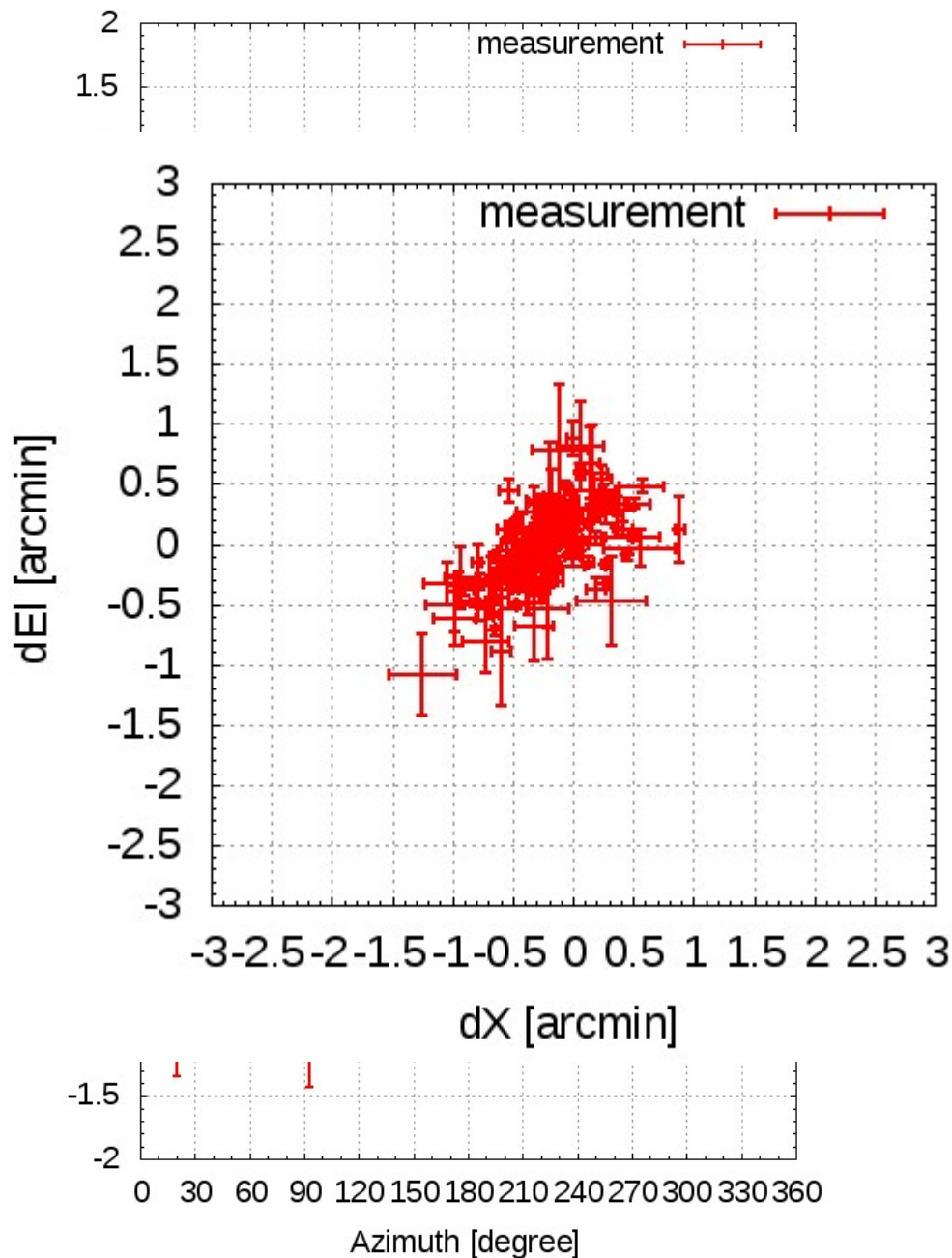
Std.=0.73'

RMS=1.6'

2011年12月実施 指向誤差測定結果



2011年12月実施 指向誤差測定結果

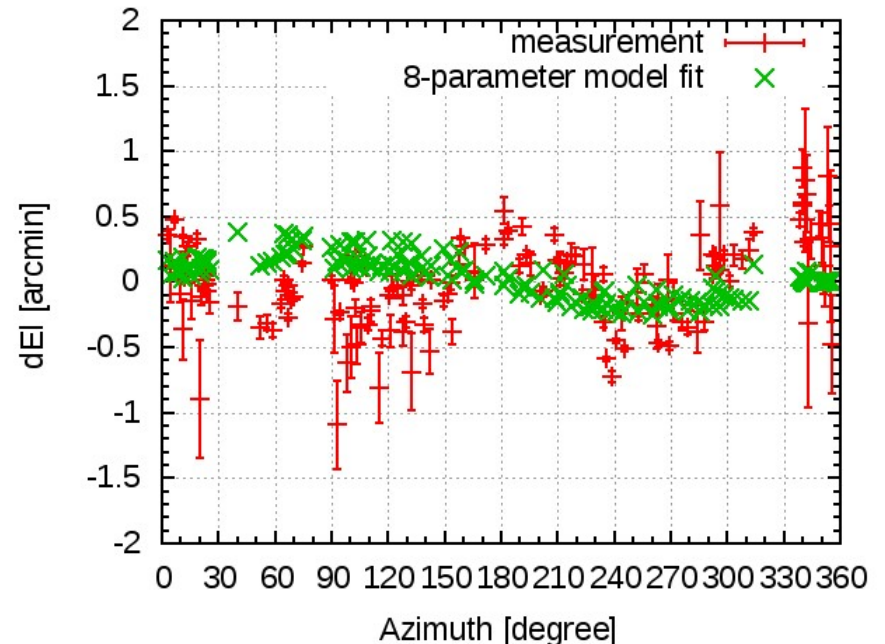
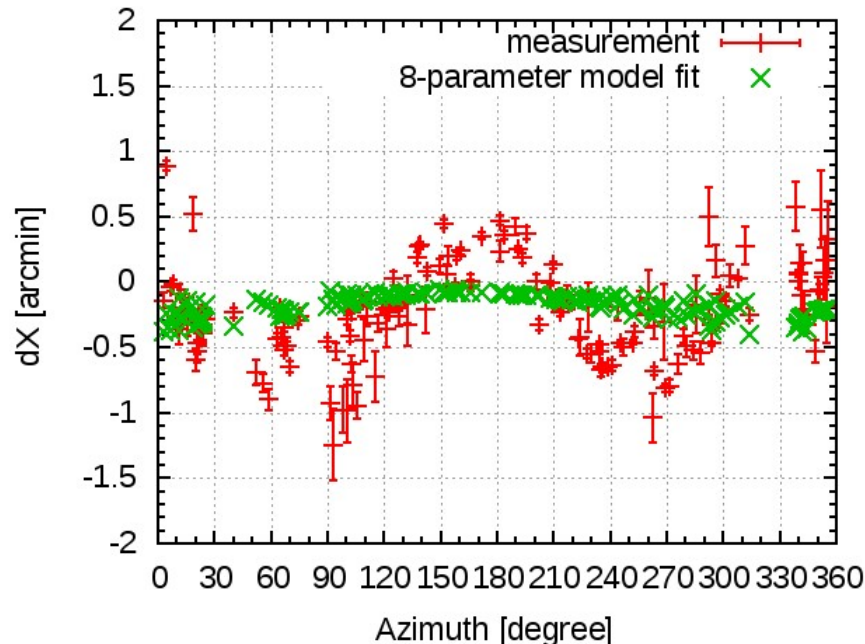


従来の 8 器差パラメータ式によるフィット結果

$$dX = A1 \cos(El) + A3 \cos(Az) \sin(El) - A4 \sin(Az) \sin(El) \\ + A5 \sin(El) + A7$$

$$dEl = A2 - A3 \sin(Az) - A4 \cos(Az) + A6 \cos(El) + A8 \sin(El)$$

180°周期の Az 依存性を再現出来ない

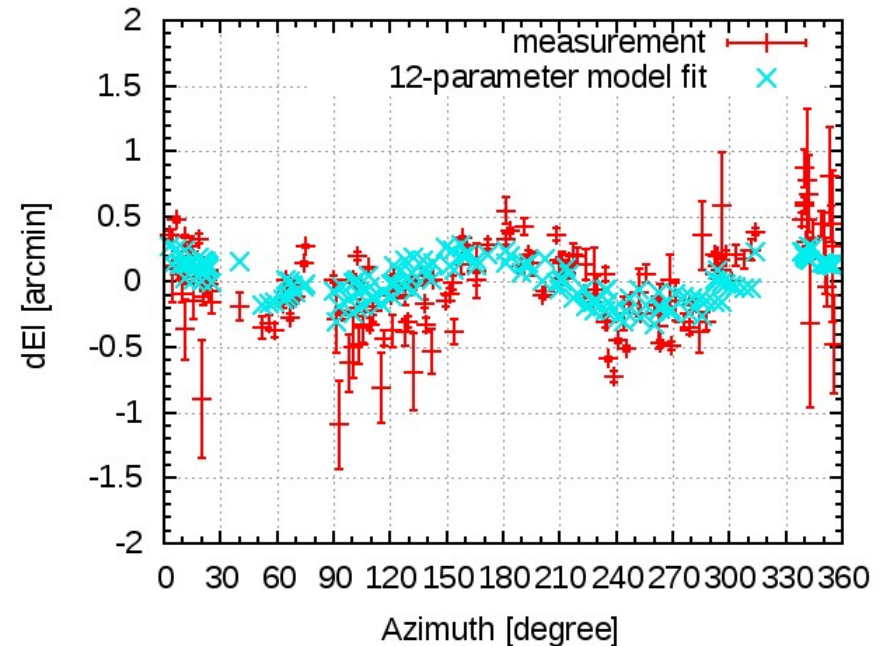
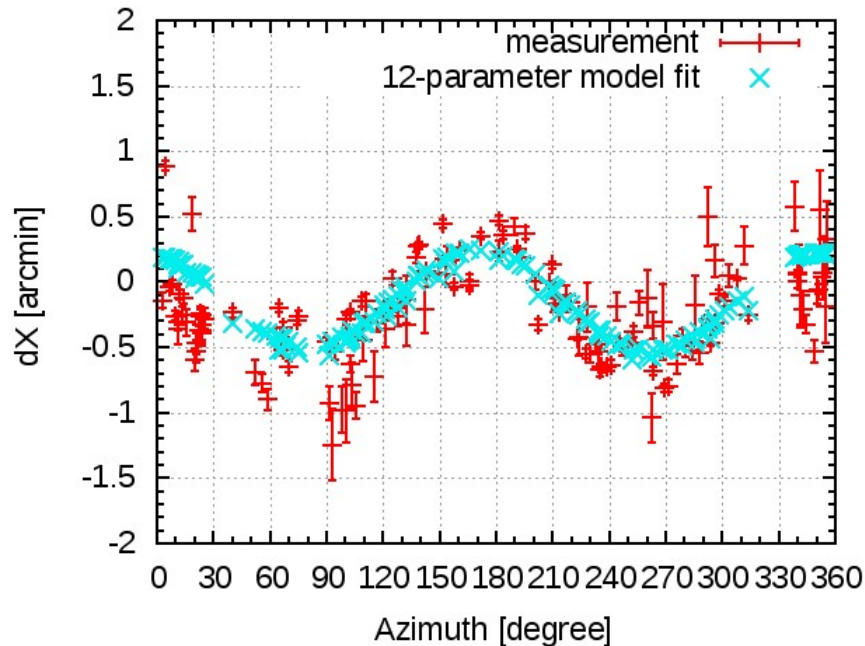


新規の 12 器差パラメータ式によるフィット結果

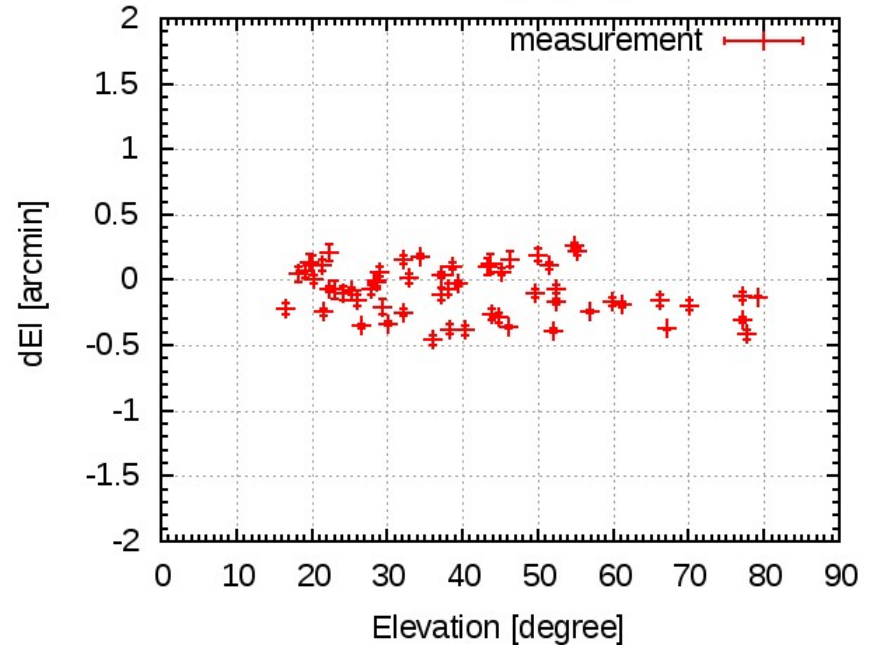
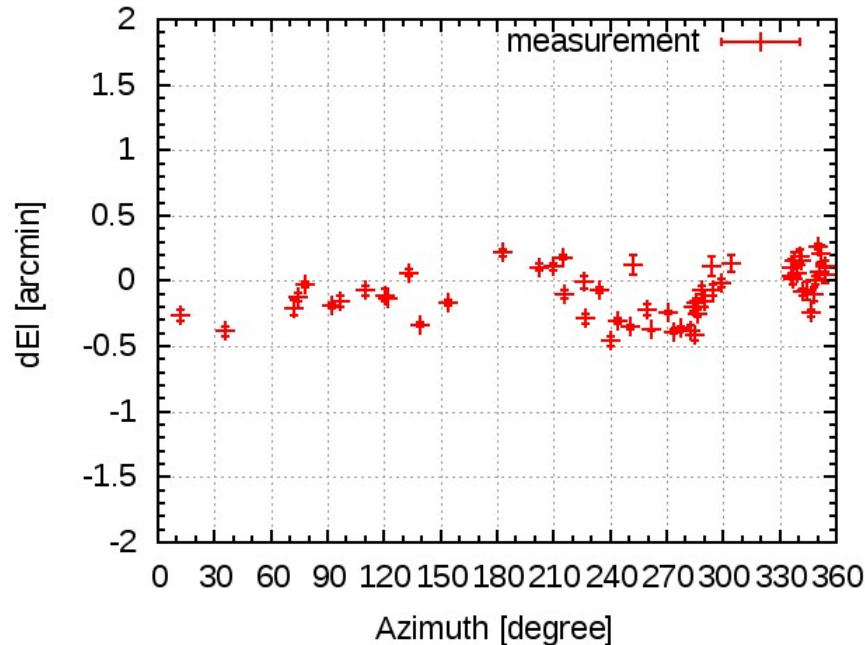
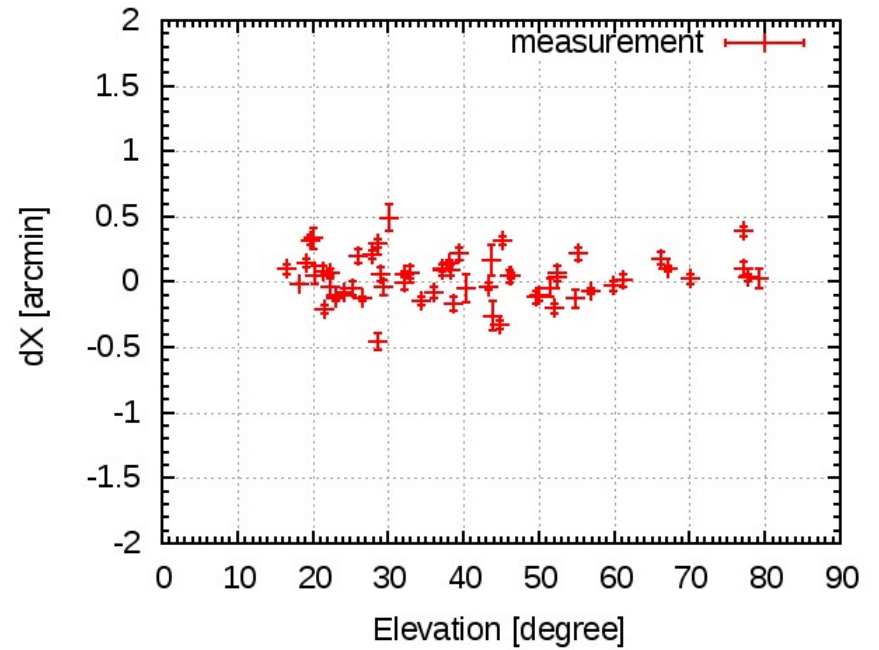
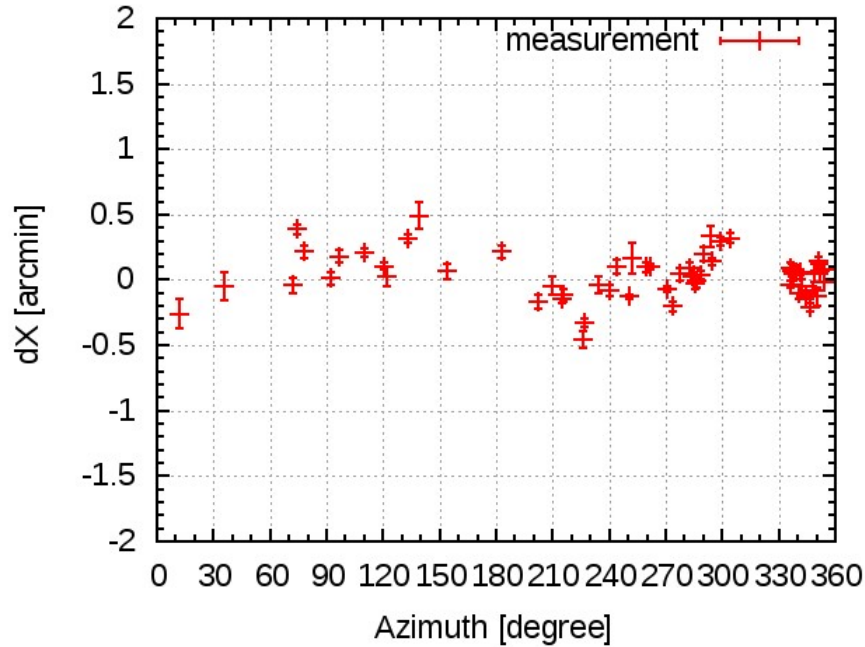
$$dX = A1 \cos(El) + A3 \cos(Az) \sin(El) - A4 \sin(Az) \sin(El) \\ + A5 \sin(El) + A7 + \underline{A9 \sin(2Az)} + \underline{A10 \cos(2Az)}$$

$$dEl = A2 - A3 \sin(Az) - A4 \cos(Az) + A6 \cos(El) + A8 \sin(El) \\ + \underline{A11 \sin(2Az)} + \underline{A12 \cos(2Az)}$$

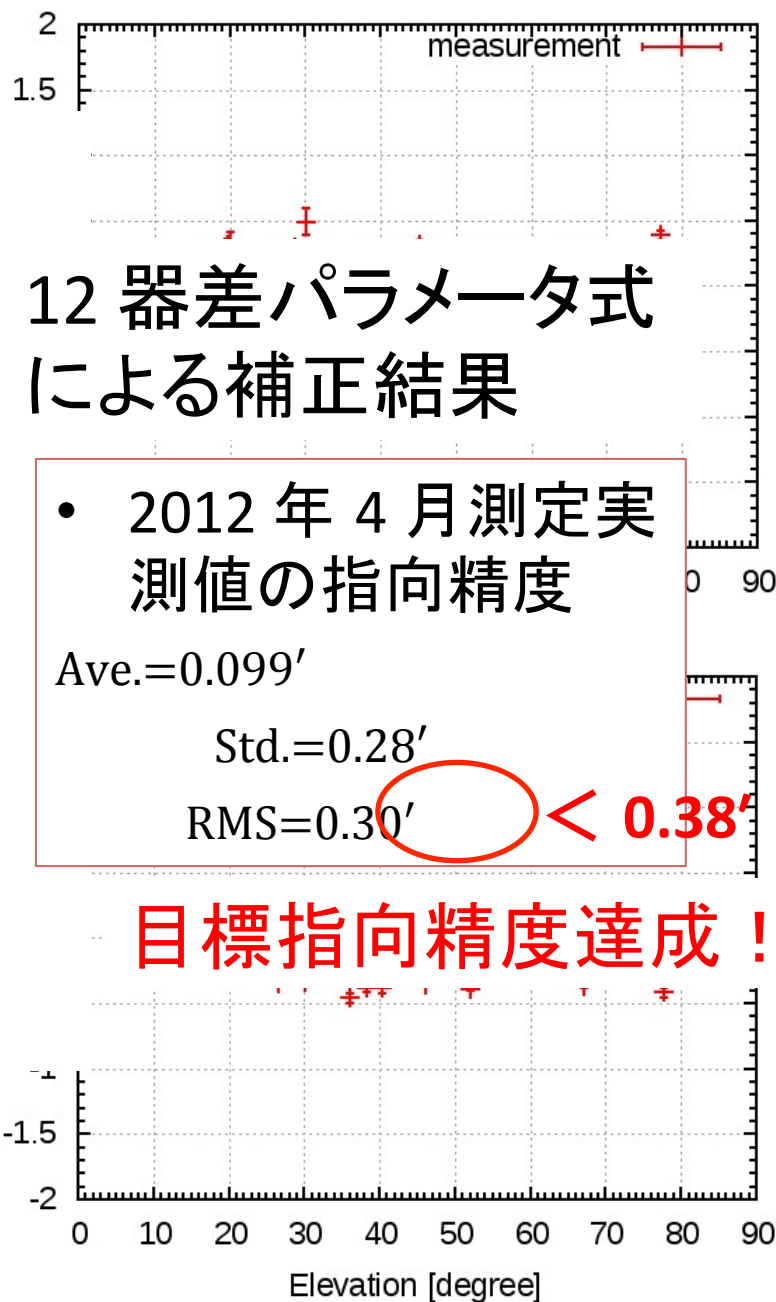
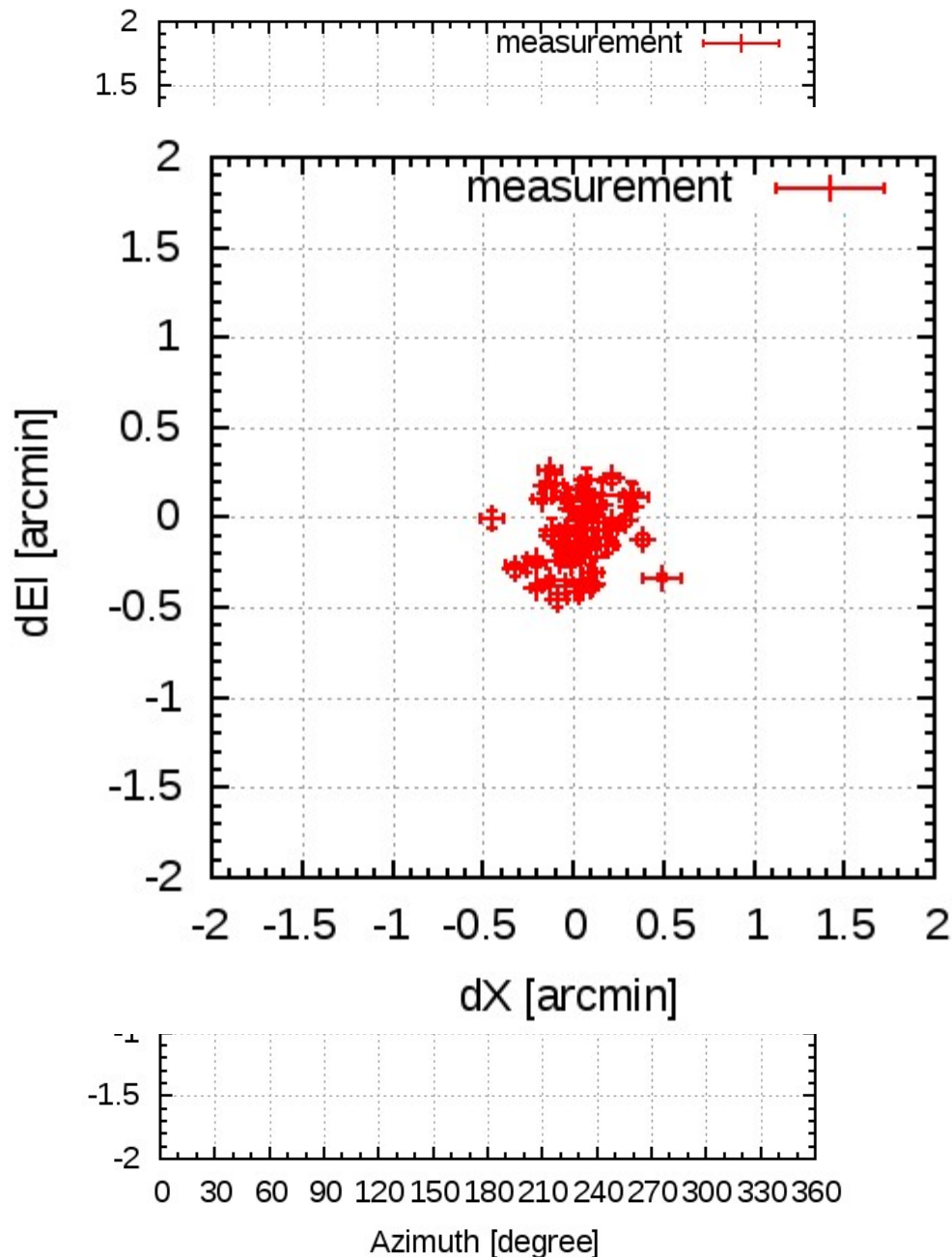
180°周期の項を追加



2012 年 4 月実施 指向誤差測定結果



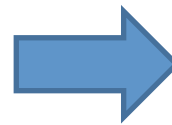
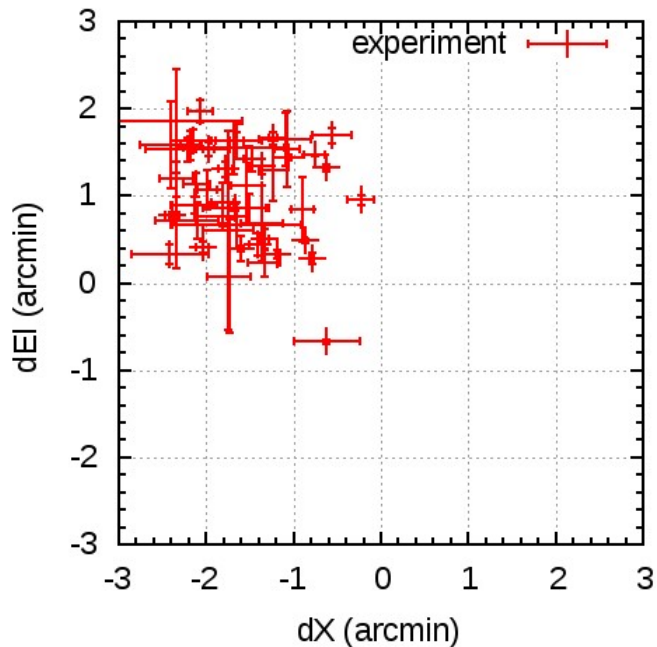
2012年4月実施 指向誤差測定結果



高萩アンテナの指向精度

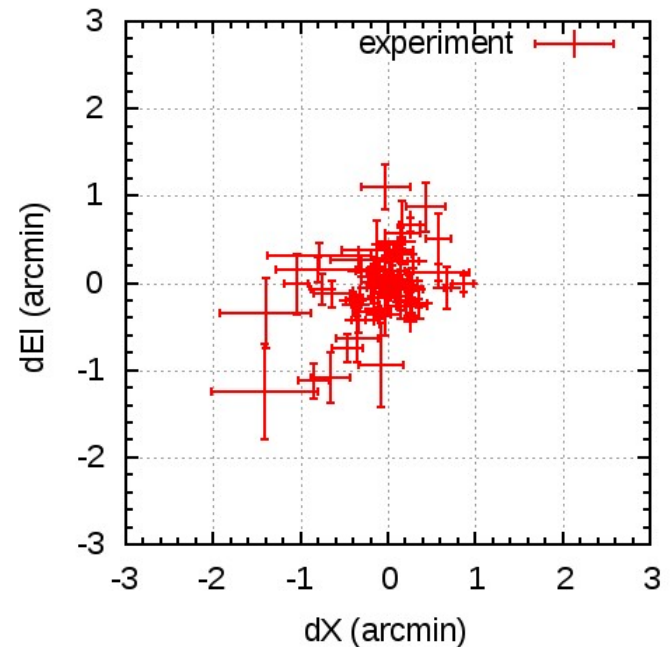
補正前

平均値 1.9', 標準偏差 0.79',
RMS=2.0'



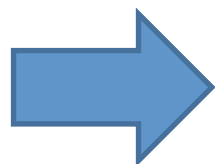
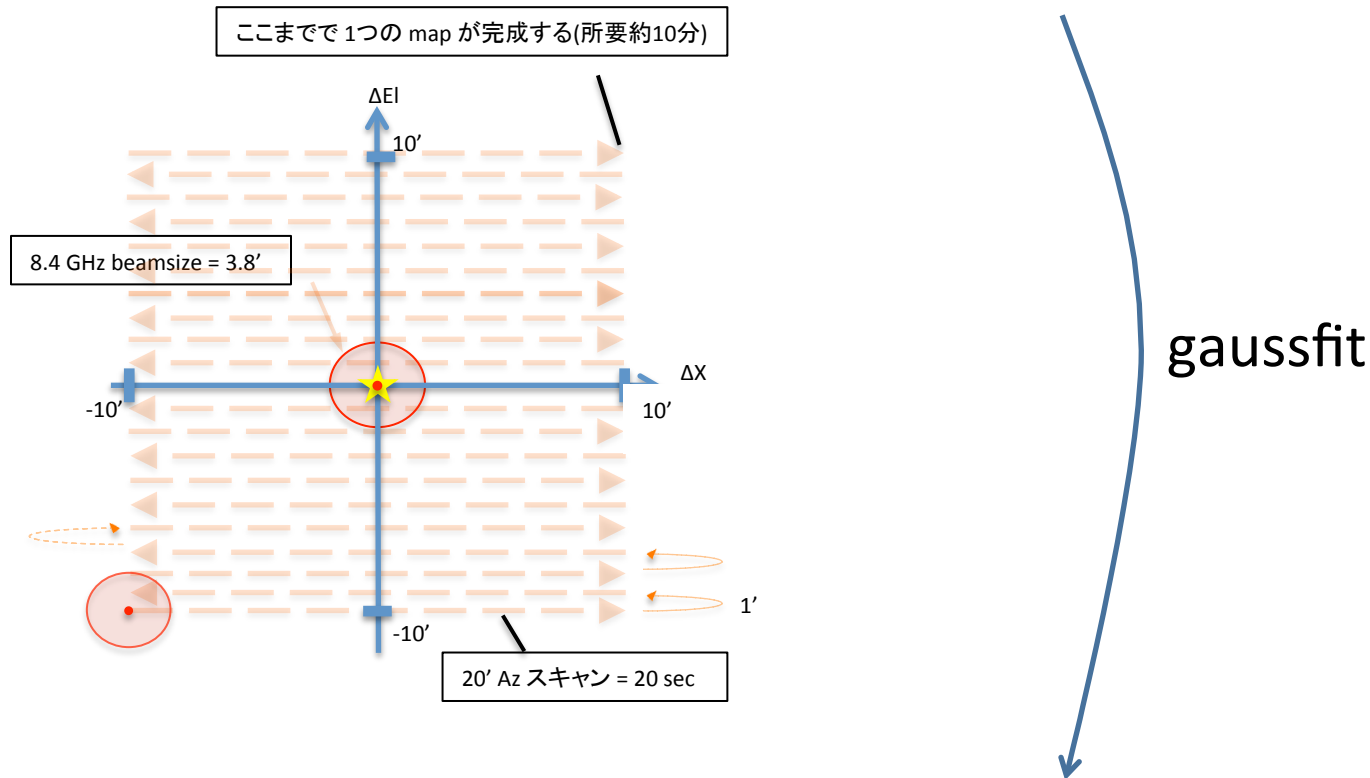
補正後

平均値 0.11', 標準偏差 0.63',
RMS=0.63'
> 目標精度(0.38')



開口能率測定

- OTF 観測によりビームパターンマップを取得



$$\text{開口能率} = \frac{\text{観測フラックス密度}}{\text{天体の真のフラックス密度}}$$
$$\eta A = F_{\nu} \uparrow_{obs} / F_{\nu}$$

6. 高萩アンテナの開口能率測定

- 8 GHz 帯で測定
- 強度既知, 弱い: 3C123 (@EL= 5.6 – 77°)
- 強度変動, 強い: 3C84 (@EL= 73 – 59°)
3C273B (@EL= 7.2 – 55°)

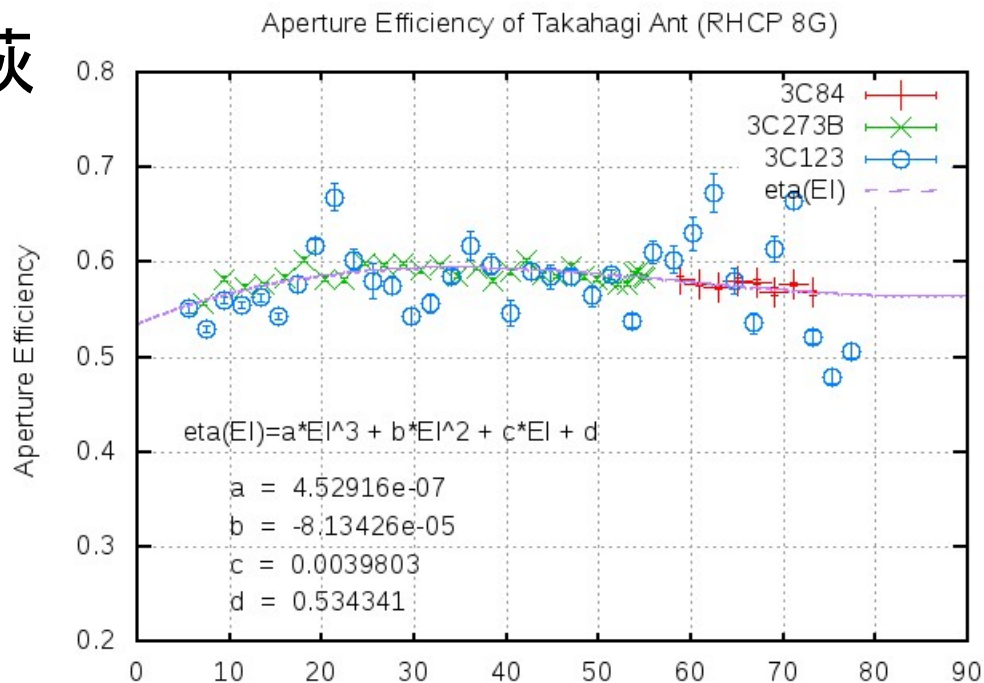
結果

- EL = 35 deg 付近で最大値 60%
- 低・高仰角で 55 % に低下

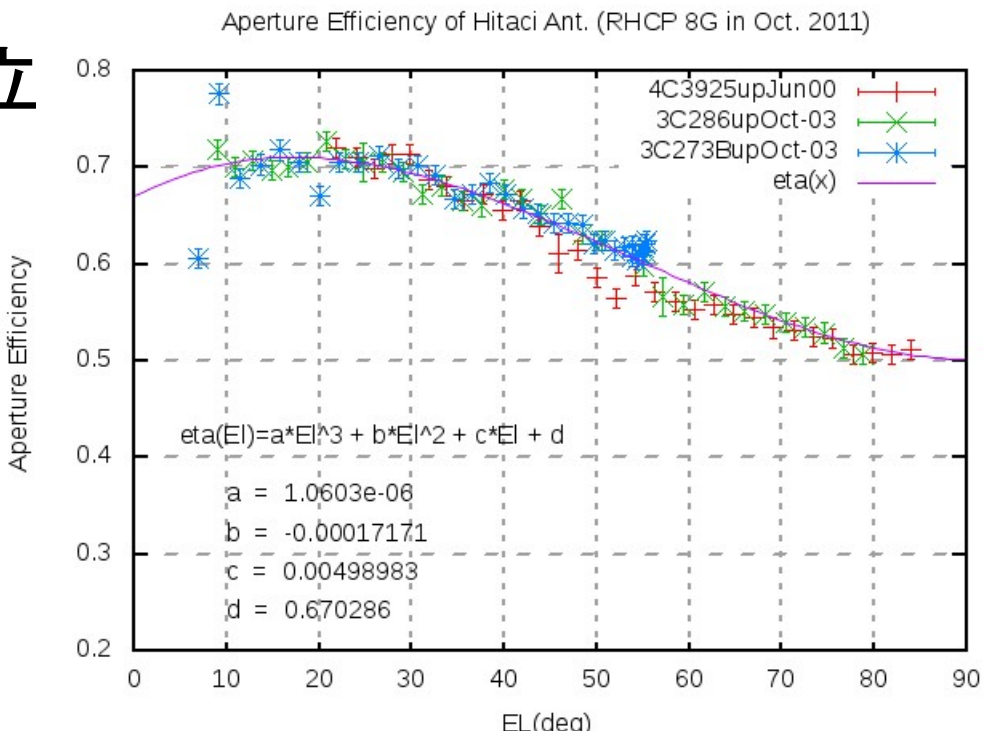
高萩/日立の比較

- 日立アンテナに比べ、EL 依存性が小さい
- 全体的に能率が低い

高萩



日立



まとめ・今後の課題

まとめ

- 日立アンテナ: 目標指向精度を達成
- 高萩アンテナ: 指向精度 RMS = 0.63'
開口能率 ~ 60 % (@max)
EI 依存性小さい

課題

- 高萩アンテナでの更なる指向精度の向上
- 6GHz帯での高萩アンテナ開口能率測定
- 22GHzでのアンテナ性能評価

8. 茨城 32m の今後

- 高萩アンテナのアンテナ性能評価
- 指向誤差の変動の調査 (定期的な指向精度測定)
- 22GHz でのアンテナ性能評価

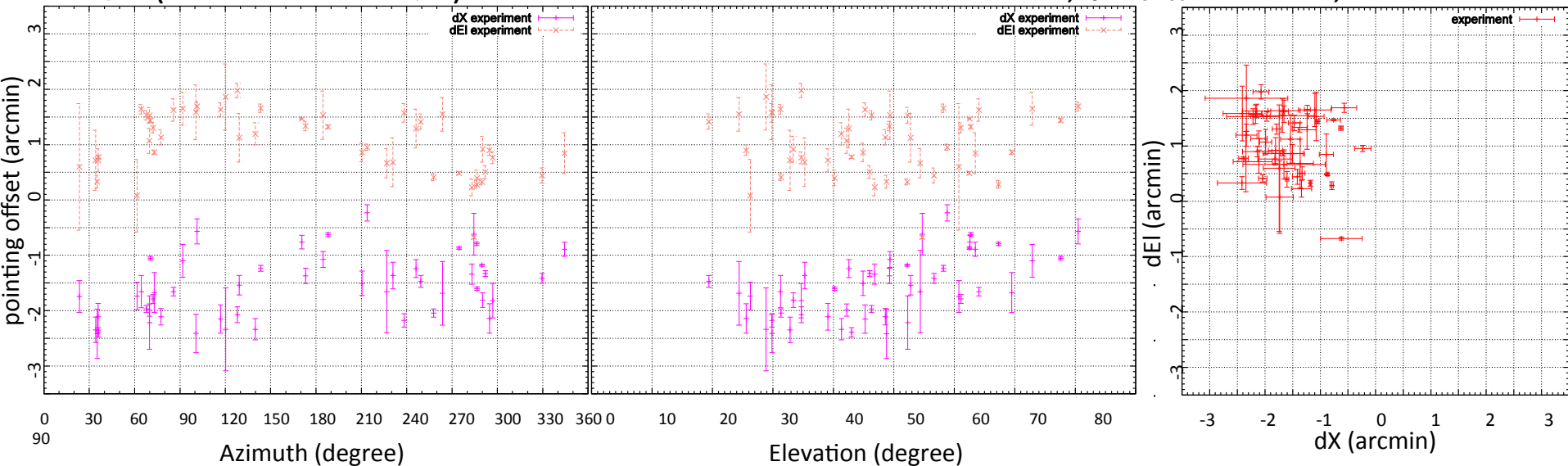
- 単一鏡観測
 - メタノールメーザーの高頻度モニター
 - =>分光計観測体制の更なる整備
- 2素子干渉計
- サイエンスを。。。

5. 高萩アンテナの指向精度

- 2012年6月に測定を実施

補正前 (2012年6月測定)

平均値 1.9', 標準偏差 0.79', RMS=2.0'



12パラメータ式による補正後 (2012年6月測定)

平均値 0.11', 標準偏差 0.63', RMS=

