

P-116 地上実験による星像の高精度位置測定 (小型JASMINE)

○矢野太平, 郷田直輝, 上田暁俊, 宇都宮真, 間瀬一郎, 鹿島伸悟, 井上登志夫 (国立天文台), 山田良透 (京都大学), ほかJASMINEワーキンググループ一メンバー

星像高精度位置決定の実証

位置天文観測衛星小型JASMINEは20マイクロ秒角レベルの高精度で星の位置を測定する計画である。現在JAXA宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへ応募し、MDR、ΔMDR、さらに国際審査を経て計画審査の準備段階である。高精度位置決定が確かにできている事を実験室における実験や数値シミュレーションを用いて示す。

●地上実験による実証

100万枚という実際の観測に相当する観測データを用いて系統誤差が補正され星の位置決定精度が枚数に応じて低減することを実証。

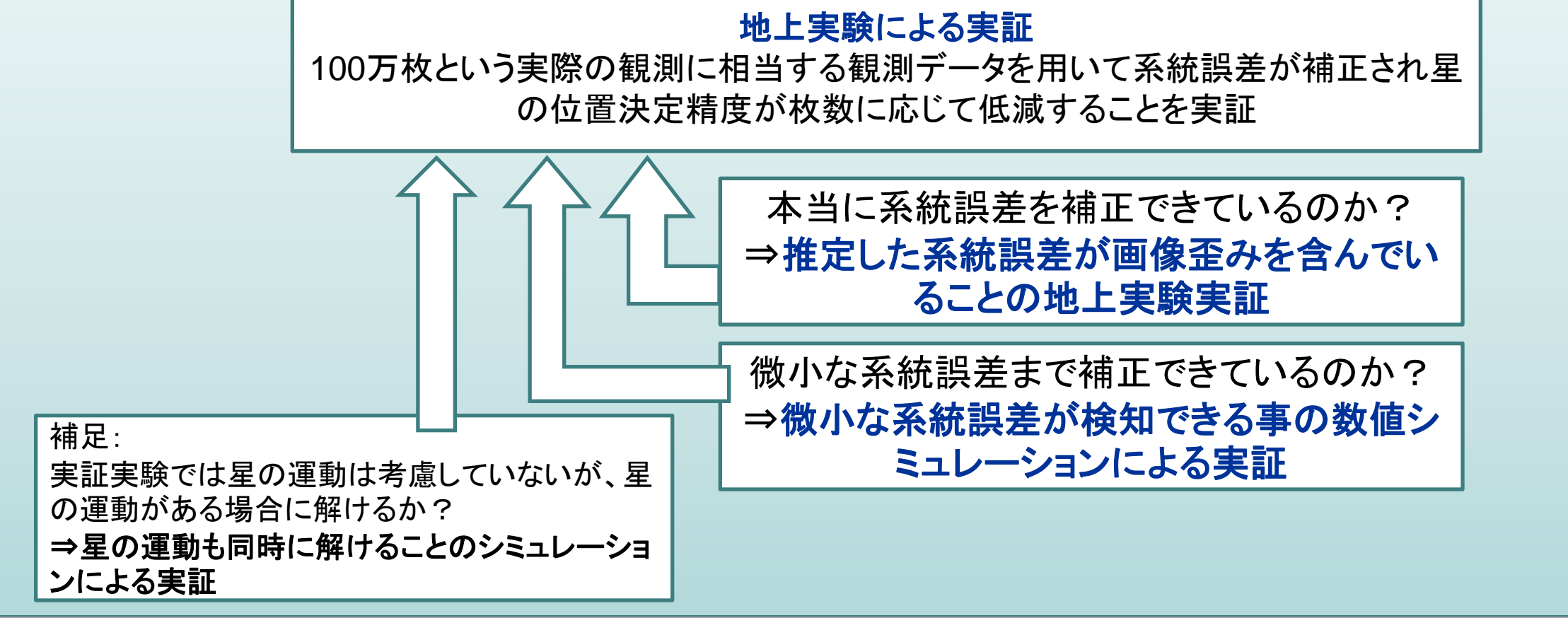
●推定した系統誤差が画像歪みを含んでいることの実証

複数点の星像間の距離測定を行う。それらがもし、正しく高精度に測定されているならば、幾何学的な性質を満たす。今回複数星像間距離が幾何学的に無矛盾に高精度に測定できている事を実証。

●微小な系統誤差が検知できる事の数値シミュレーションによる実証

我々の衛星のミッションでは、同一の星を多数回測定する事により系統誤差を導出し、補正を行う事で高精度位置決定が達成される予定である。そうしたプロセスが確かに有効に効いている事を実証するために、一回の観測では導出できない微小な系統誤差を人為的に挿入した疑似データを作成し、我々の解析プロセスで確かに系統誤差が導出され補正される事を実証する。

チャート

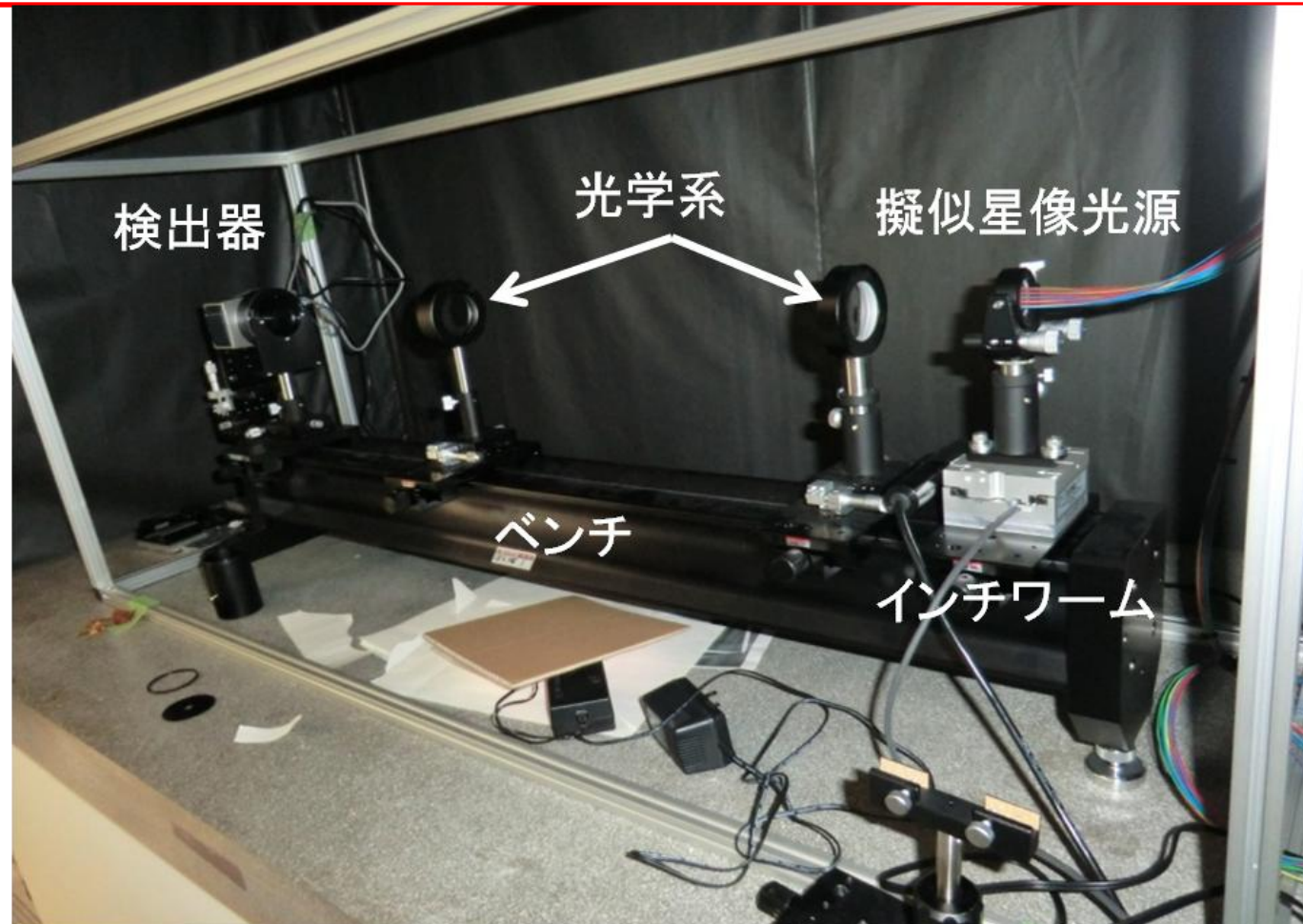


地上実験装置

- ・ 擬似星像光源、光学系、検出器がベンチの上に配置され固定。
- ・ 検出器はビットラン製772×580pixel、サイズ6.4mm×4.8mm(8.3ミクロン/pixel)の冷却CCD

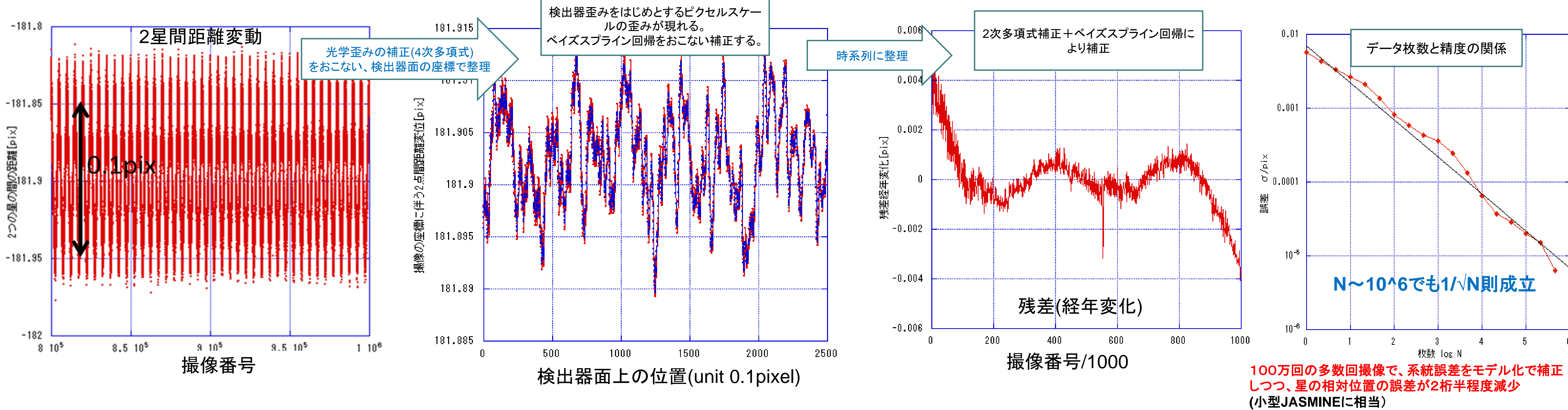
運用

- ・ 光源はインチワームにより移動可(検出器面上の画像で擬似星像が0.1pixel (0.83ミクロンに相当)ずつ移動させる)
- ・ 2500ステップ進むと逆方向に進める往復運動を繰り返す事により画像を取得する。
- ・ 100万枚のデータを取得する。
- ・ CCDのフラット補正は事前に作成されたフラット画像を用いて解析の際、あらかじめ行う。
- ・ 一方、CCDのピクセル毎のサイズや形状の不均一、光学歪みなどは、事前の測定、補正は行っていない。
- ・ 温度安定についても特に要求はしておらず、経年変化のコントロールはしていない。



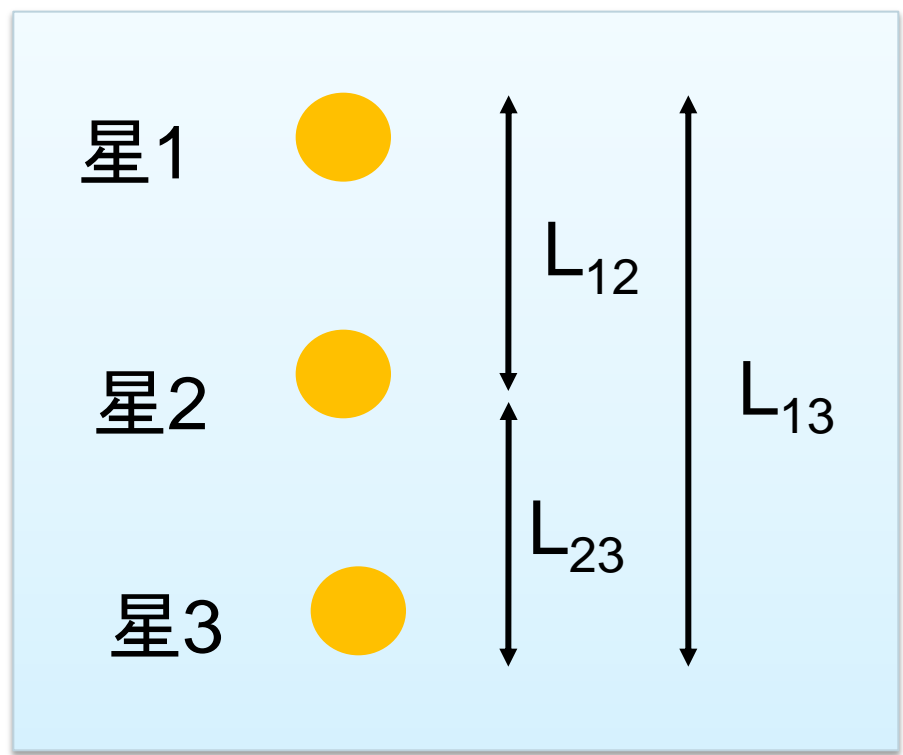
地上実験装置のセットアップ

地上実験による実証

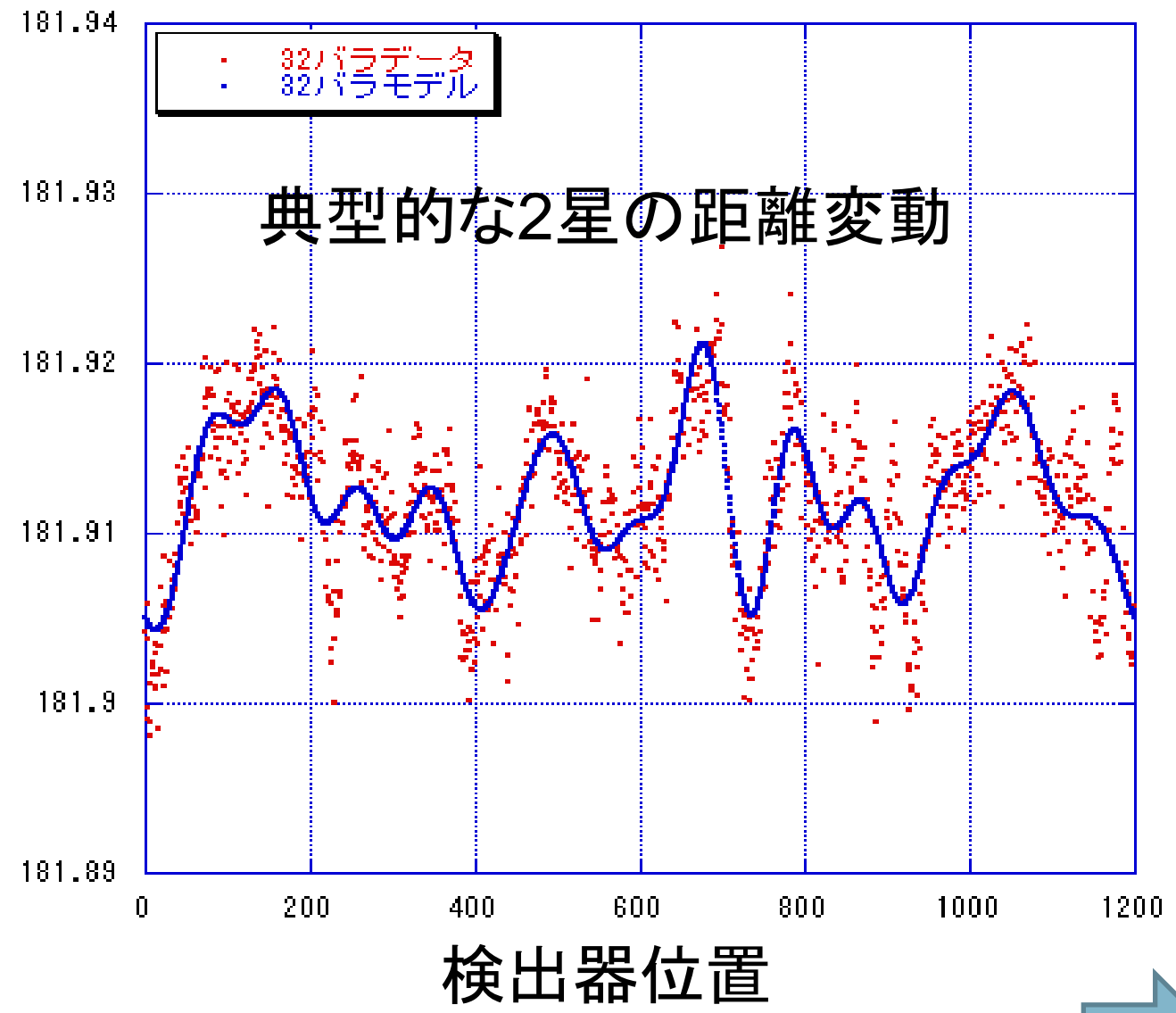


100万回の多数回撮像で、系統誤差をモデル化で補正しつつ、星の相対位置の誤差が2桁半程度減少 (小型JASMINEに相当)

推定した系統誤差が画像歪みを含んでいることの地上実験実証

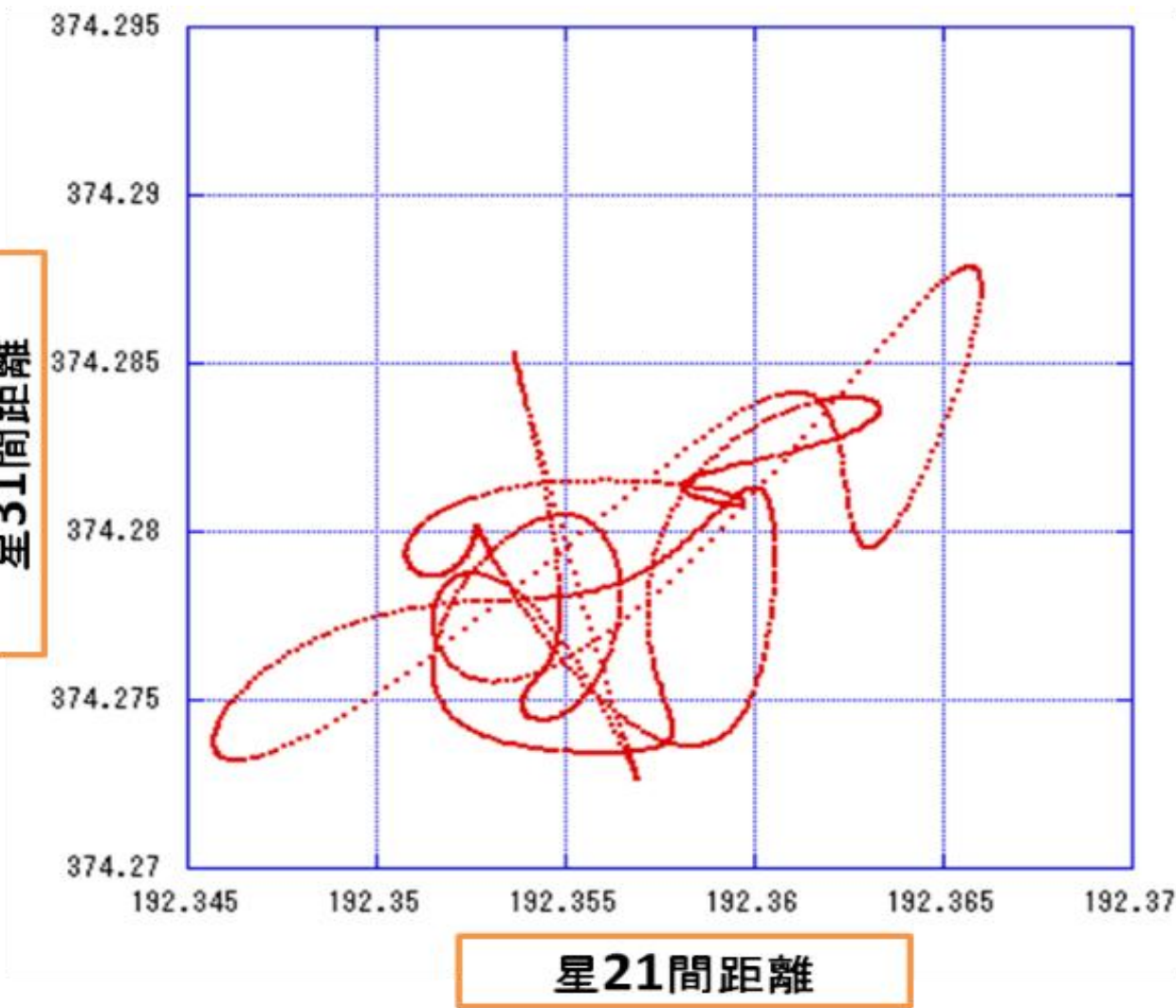


1列にならぶ3つの星に対して多数撮像を行い L_{12} 、 L_{23} 、 L_{13} を推定



各長さに対して相関をとる

* L_{12} 、 L_{23} 、 L_{13} の変動は、各々独立に0.01pixel程度。



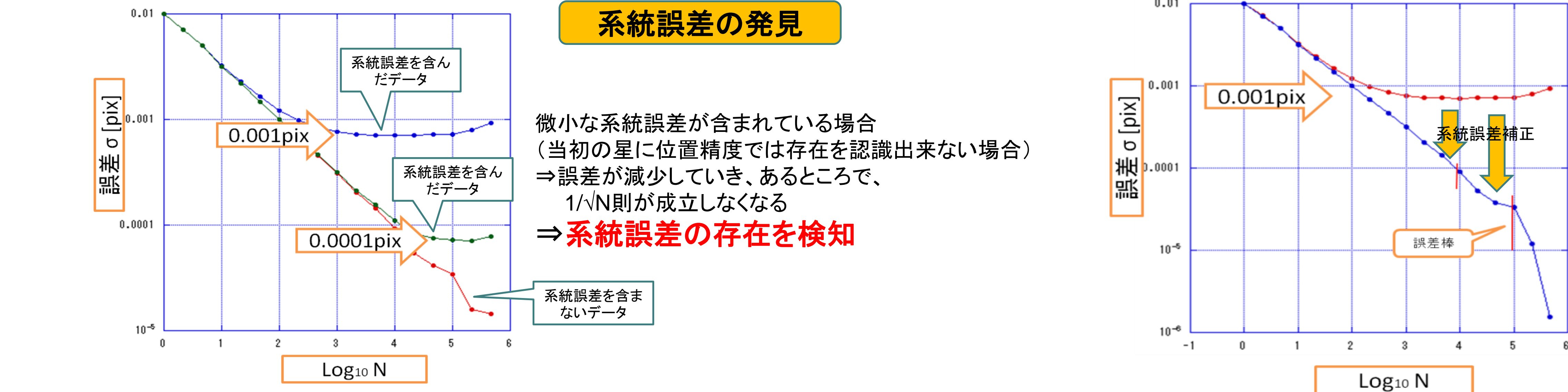
L_{12} と L_{13} の変動は無相関



* $L_{12} + L_{23}$ と L_{13} の変動は強い相関

画像歪みが補正できていることに相当

微小な系統誤差が検知できる事の数値シミュレーションによる実証



系統誤差の発見

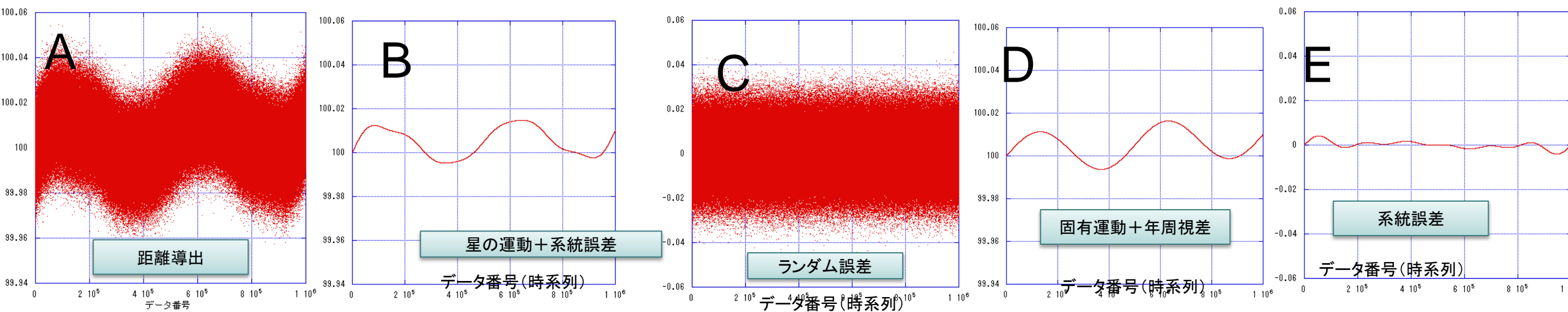
微小な系統誤差が含まれている場合 (当初の星に位置精度では存在を認識出来ない場合) => 誤差が減少していき、あるところで、 $1/\sqrt{N}$ 則が成立しなくなる => **系統誤差の存在を検知**

系統誤差の補正

モデル化: ○多項式、○フーリエ級数
→ * 低次から試行して、順次、高次の補正をしていくことが可能。
* ステップ関数型の系統誤差も対応可能
○ベイズ型スプライン回帰法 + 赤池情報量規準
モデルを改良して補正可能

星の運動も同時に解けることのシミュレーションによる実証

- A 横軸はデータ番号で、縦軸は各時刻求められた2星間距離。
- B 2星間距離をモデル化し、そのパラメータを導出後、そのモデルに従い、プロットしたもの。このBには星の運動のみならず、系統誤差も混入しており、補正されていない状態となる。
- C AのモデルBとの残差。適切にモデル化されていると、Cはランダム誤差となる。
- D Bで得られた2星間距離のうち、星の運動成分である直線運動+1年周期の楕円運動成分を取り出したもの。
- E 2星間距離Bのうち、星の運動成分を除いたもので、すべて系統誤差となる。



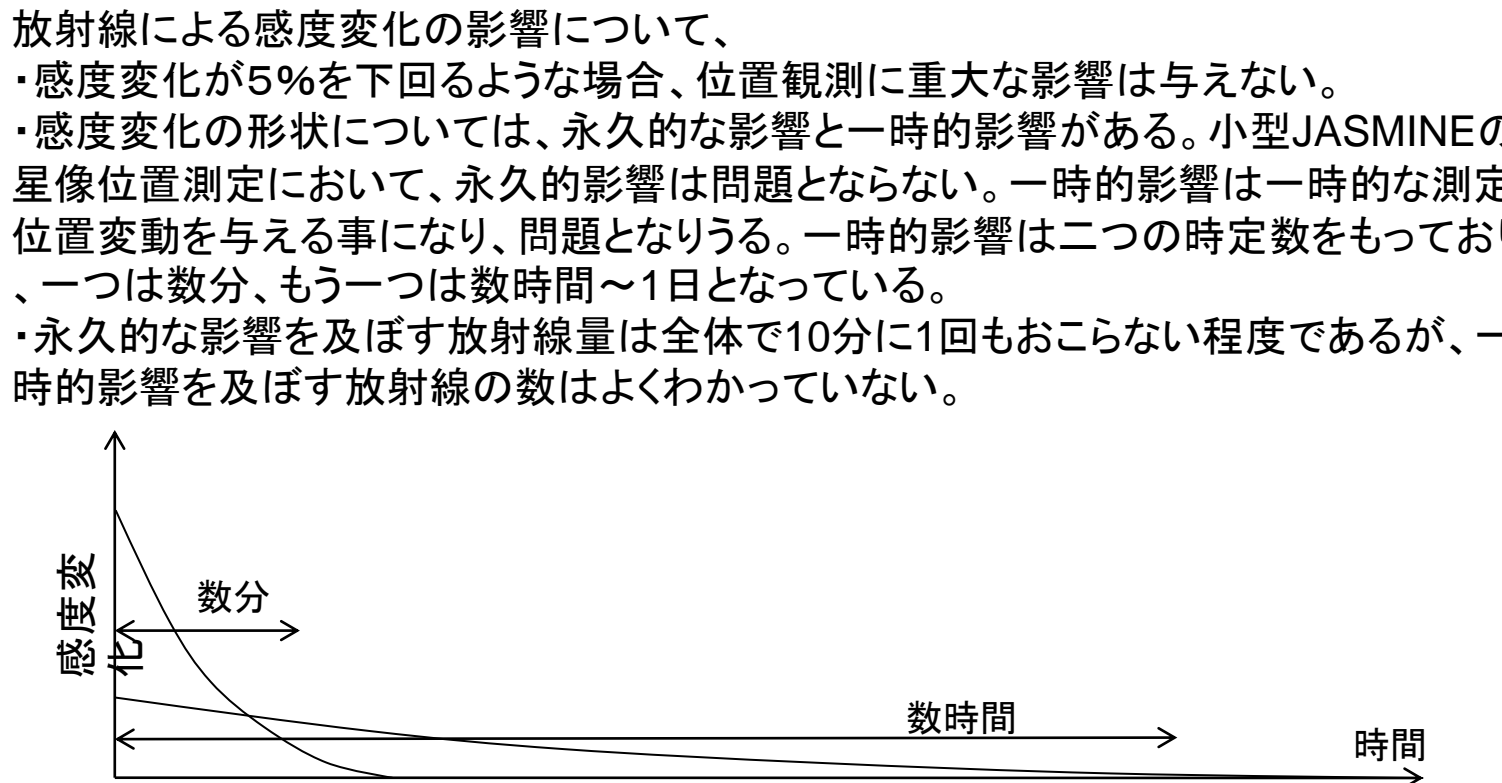
上述プロセスにより観測データから星の固有運動+1年周期の楕円運動を抽出できることが示される。

ただし、年周期で変動する系統誤差、または、画像が一様に膨張、もしくは収縮する系統誤差が存在することを想定して、実際には、年周視差や固有運動が既知のデータを用いて校正を行う必要がある。

検出器の放射線による影響

放射線の影響により検出器の感度が変わる。その影響が位置観測にどのように影響を与えるのか、今後の重要な検討課題のひとつとなる。影響を検討する上で重要なパラメータは以下の3つである。

- ・ 影響を受ける感度変化量
- ・ 影響を受ける感度の関数形状
- ・ 影響を受ける放射線の数



放射線の影響時定数を t_1 (数分)と t_2 (数時間)とする。放射線強度 ΔI によっておよそ以下3パターン考えられる。

ケース1 放射線時間間隔 $\Delta T > t_2$ の場合 (影響の頻度が少ない場合)

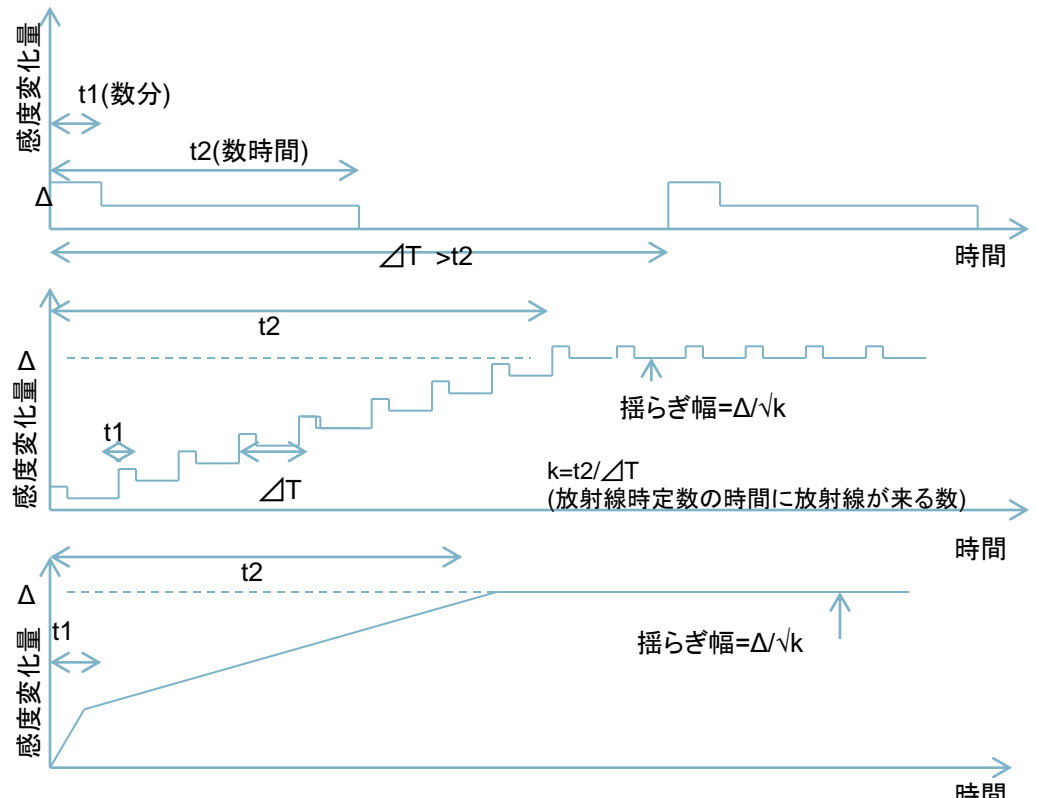
時刻により1回分の影響があるかないかどちらか。影響十分にある大きさならば、関数フィットできる。

ケース2 放射線時間間隔 $t_2 > \Delta T > t_1$ の場合

長時間時定数が多数回影響し、短時間時定数は1回分の影響があるかないか。長時間時定数をもつ部分が多量の影響となっているのでほぼ等しい。関数フィットできる。2 ~ 3分で変動形状が不明なり、パゼットとして扱うより良い。

ケース3 放射線時間間隔 $\Delta T < t_1$ の場合 (影響の頻度が多い場合)

放射線の影響が多数回に及んでおり、影響の程度はポアソン揺らぎの幅 $\Delta n \sim \sqrt{n}$ だけある。 $t_2 > \Delta T$ で感度変化しないとなる。



ケース1 放射線時間間隔が長時間時定数より長い場合。関数フィットされ感度変化は補正が可能である。したがって、感度変化量が大い場合でも問題とはならない見込みである。

ケース2 長時間時定数より短い場合。その時定数の間にどれだけ放射線がくるかの頻度でポアソン揺らぎが生じる。短時間の時定数より放射線間隔は長いので、短時間時定数の影響が内のように ΔT 間隔で感度変化する。

ケース3 (ケース2もそうであるが) はじめの立ち上がり部分は長時間時定数の時間スケールとなり、せいぜい数時間のレベル。すなわち、基本的には影響はコンスタント(ポアソン揺らぎ)となる。放射線量が十分な場合(遠く)ポアソンノイズの影響が小さいといえるので、影響はコンスタントとなり、補正可能である。

以上をうけて、問題となるのは、放射線時間間隔 ΔT が感度変化の時定数に非常に近く、感度の変化が5%以上大きい場合である。