

# 単点観測における流星の速度測定と輻射点推定

[2007/1/27 SonotaCo]

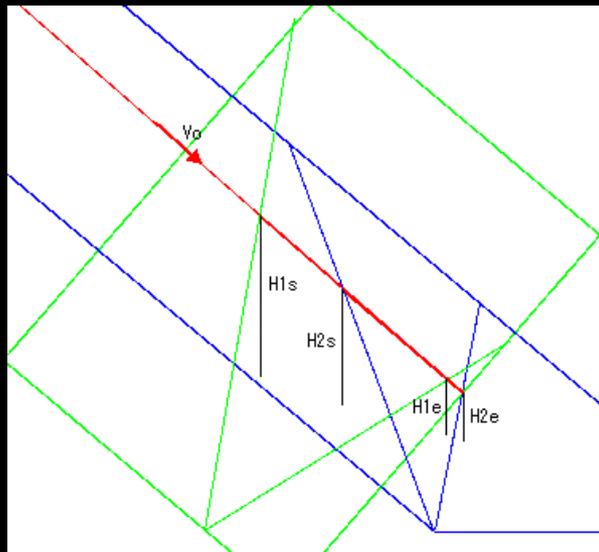


2007/01/04 02:30:23.464(UT+9)

V000003+027 W902H2U 6mm SonotaCo Tokyo1 SW

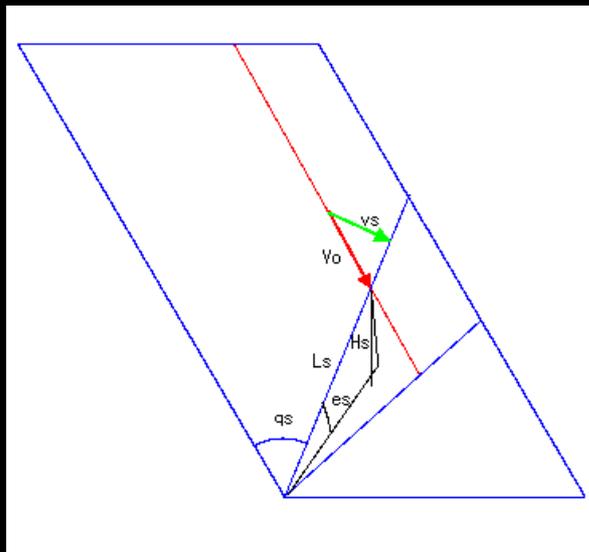
# 流星の速度測定方法

## 同時観測による測定



観測2平面の交線として経路の3次元位置は決定でき、  
観測角速度または観測時間から観測速度を決定できる

## 単点観測における推定



輻射点と高度 (または発光点高度と観測速度の関係) の仮定により観測速度を推定できる

UFOAnalyzerV0単点観測方式

[未知数]

輻射点離角  $qs$

発光高度  $Hs$

観測速度  $V_0$

これに対し、対象距離  $Ls$ 、発光点仰角  $es$  を使用して、

(1) カタログ上輻射点 ( $qs$ ) の仮定、

(2)  $V_0$  と観測角速度の関係

$$V_0 = Ls * vs / \sin(qs)$$

$$Ls = Hs / \sin(es)$$

(3) 発光点高度  $Hs$  と観測速度  $V_0$  間関係式

$$Hs = a * V_0 + H_0$$

この3つを連立させて、 $V_0$  を求める

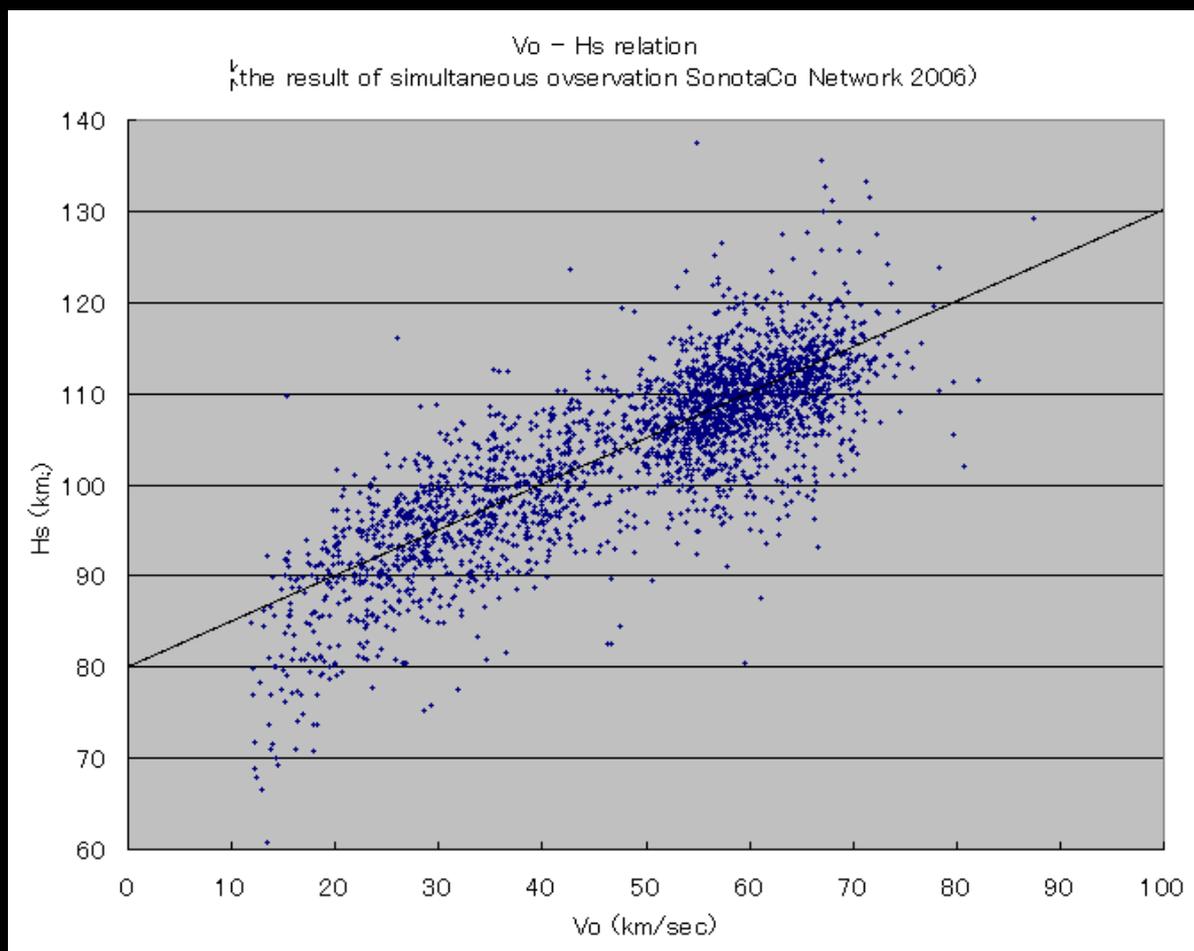
$$Hs = \frac{a * H_0 * vs}{\sin(qs) * \sin(es) - a * vs} + H_0$$

$$V_0 = vs * \frac{\sqrt{R^2 * \sin^2(es) + Hs^2 + 2 * R * Hs} - R * \sin(es)}{\sin(qs)}$$

# 発光点高度と観測速度の関係

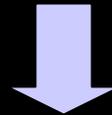
過去の同時観測による測定結果から UFOAnalyzerV0 において以下を採用した

$$H_s = 0.5 * V_o + 80.0 \quad (H_s: \text{発光点高度 (km)}, V_o: \text{観測速度 (km/s)})$$



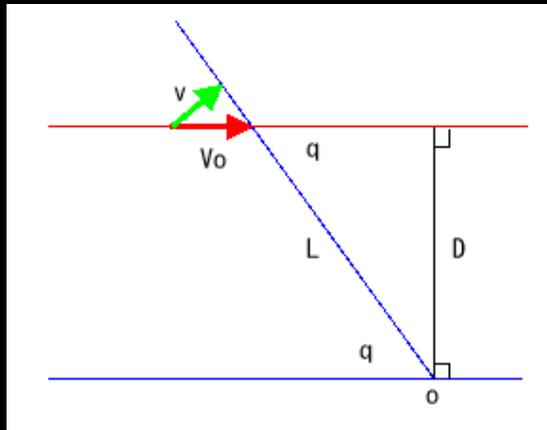
## 現状

- ・同時観測にならない多数の単点観測がある
- ・群を仮定できない散在流星は同時観測がない限り正体不明のまま終わってしまう。



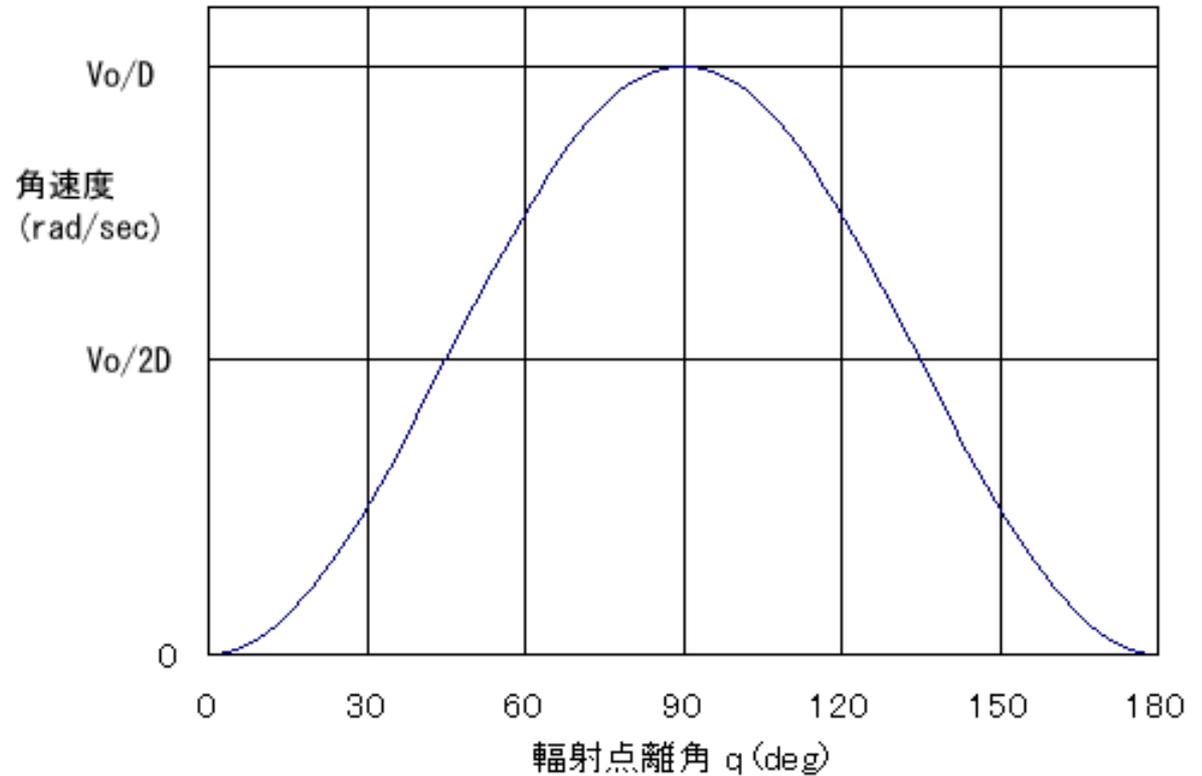
単点観測結果ら、輻射点を仮定せず、輻射点と速度を自動推定する方式を作りたい

# 流星経路と観測点を含む平面上での 観測点の輻射点離角 と角速度の関係



$$L = \frac{D}{\sin(q)}$$

$$v = \frac{V_o * \sin(q)}{L} = \frac{V_o}{D} \sin^2(q)$$



ある流星の角速度は 輻射点離角q が90度になった時に最大値  $V_o/D$  となり、 $\sin(q)$  の二乗に比例して変化する



角速度の変化が測定できれば、輻射点離角が推定できる

# 角速度変化を利用した観測速度と輻射点の計算方式

[観測データ]

発光点仰角  $es$ 、発光点角速度  $vs$ 、消滅点仰角  $ee$ 、消滅点角速度  $ve$

発光点から消滅点まで の経路角  $qse$ 、継続時間  $T$

観測点付近の地球半径  $R$ 、観測点標高  $H0$

[未知数]

発光点の輻射点離角  $qs$ 、発光点標高  $Hs$ 、消滅点標高  $He$ 、対地速度  $Vo$

[中間変数]

観測点地心距離

$$R0 = R + H0$$

観測点から発光点まで の直線距離

$$Ls = R0 \cdot \cos(\Pi/2 + es) + \sqrt{R0^2 \cdot \cos^2(\Pi/2 + es) - R0^2 + (R + Hs)^2}$$

観測点から消滅点まで の直線距離

$$Le = R0 \cdot \cos(\Pi/2 + ee) + \sqrt{R0^2 \cdot \cos^2(\Pi/2 + ee) - R0^2 + (R + He)^2}$$

経路長

$$Lo = \sqrt{Ls^2 + Le^2 - 2 \cdot Ls \cdot Le \cdot \cos(qse)}$$

[ $Vo$ に関する方程式]

$$Vo = Ls \cdot vs / \sin(qs)$$

$$Vo = Le \cdot ve / \sin(qs + qse)$$

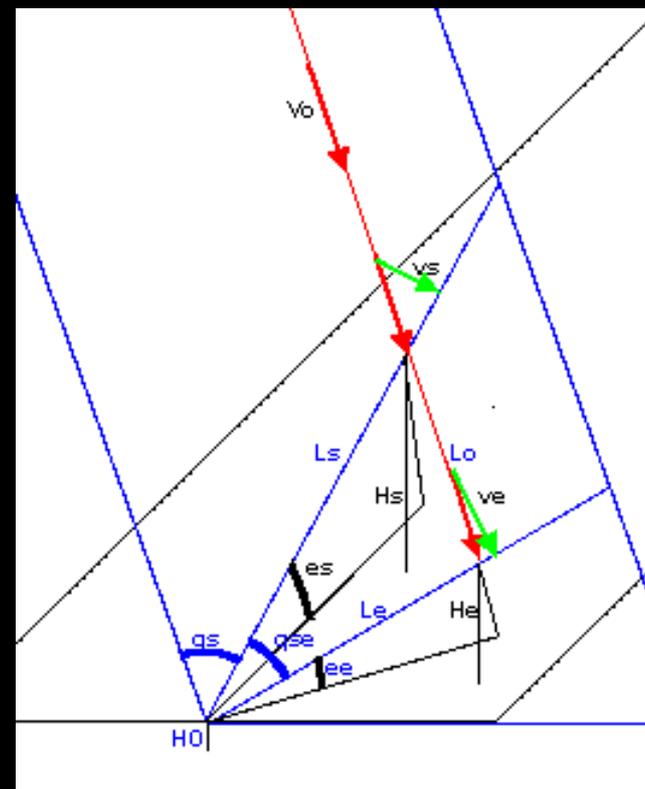
$$Vo = Lo / T$$

[過去の同時観測からの  $Vo, Hs$ 間関係式]

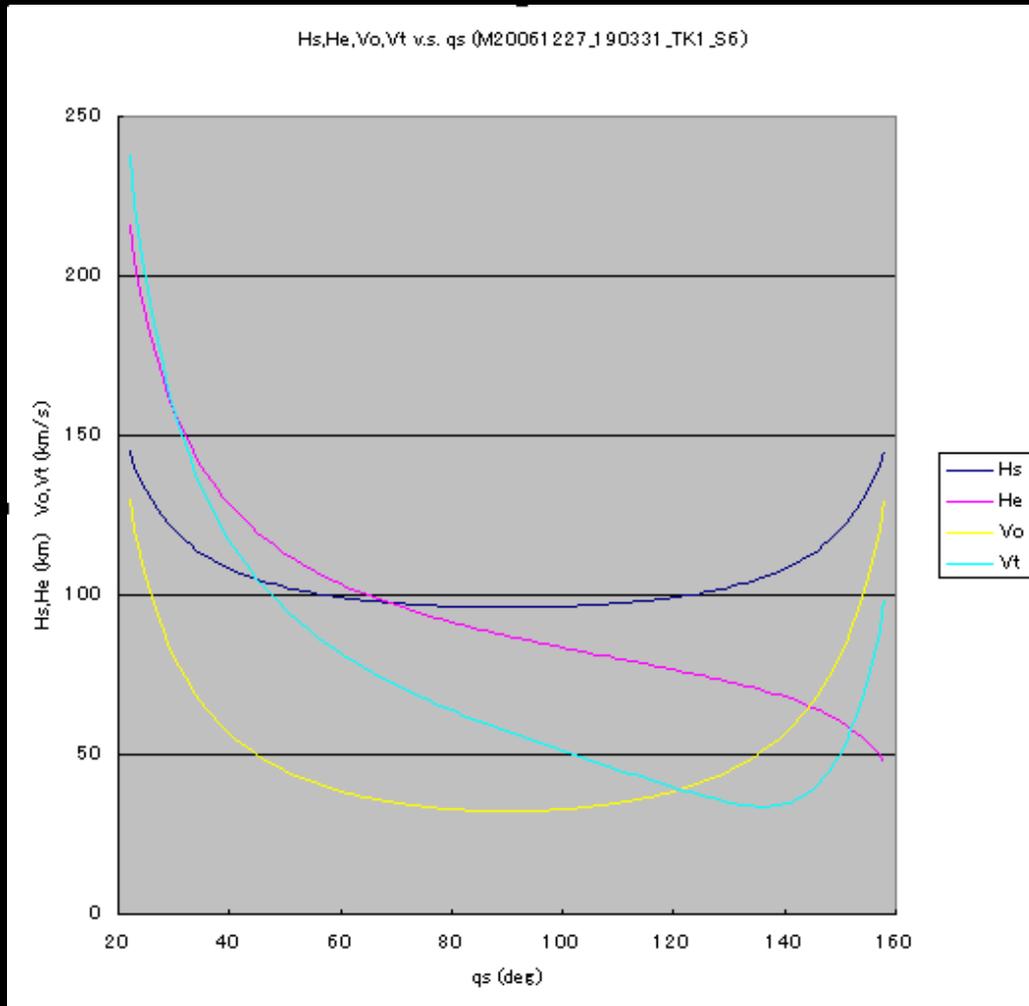
$$Vo = k \cdot Hs + j \quad (\text{typically, } k = 2.0, j = -160)$$

4つの未知数に対して 4つの独立した方程式を 同時に成立させる

$qs, Hs, He, Vo$ を数値解析により求める。



# 輻射点離角 仮定値 $q_s$ を変化させた時の各量の変化



4式中3つの式を使用すると  
1つの未知数を定めると他  
が定まる

左図は  $q_s$  をパラメータとし  
て、他を求めたもの

ここで、余った式を用いて  
観測速度 を2通り計算でき  
る。

$V_o$  :角速度から計算

$V_t$  :継続時間から計算

この2つの速度が一致する  
 $q_s$  が求める輻射点離角

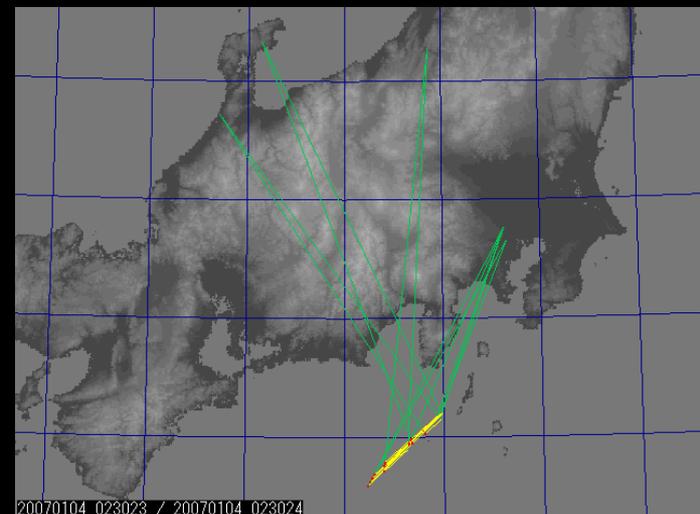
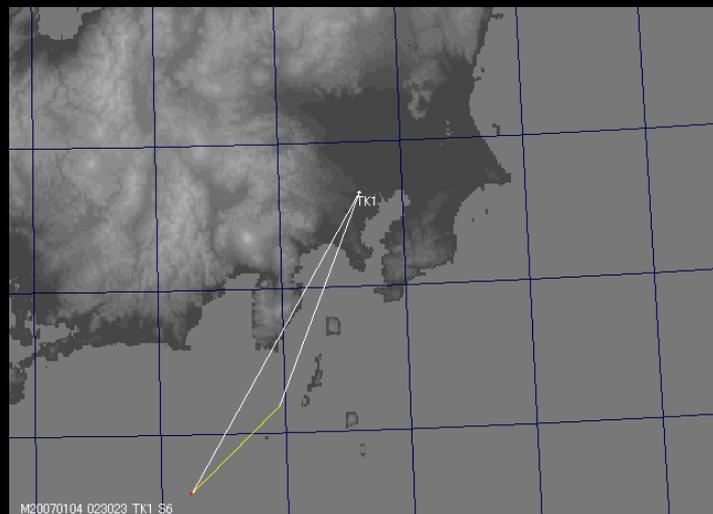
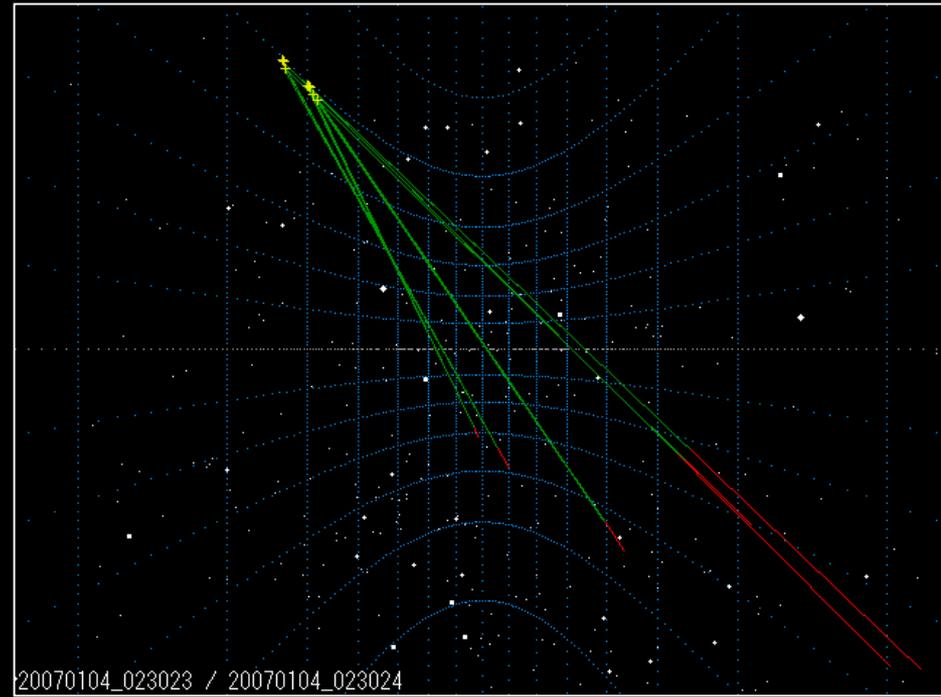
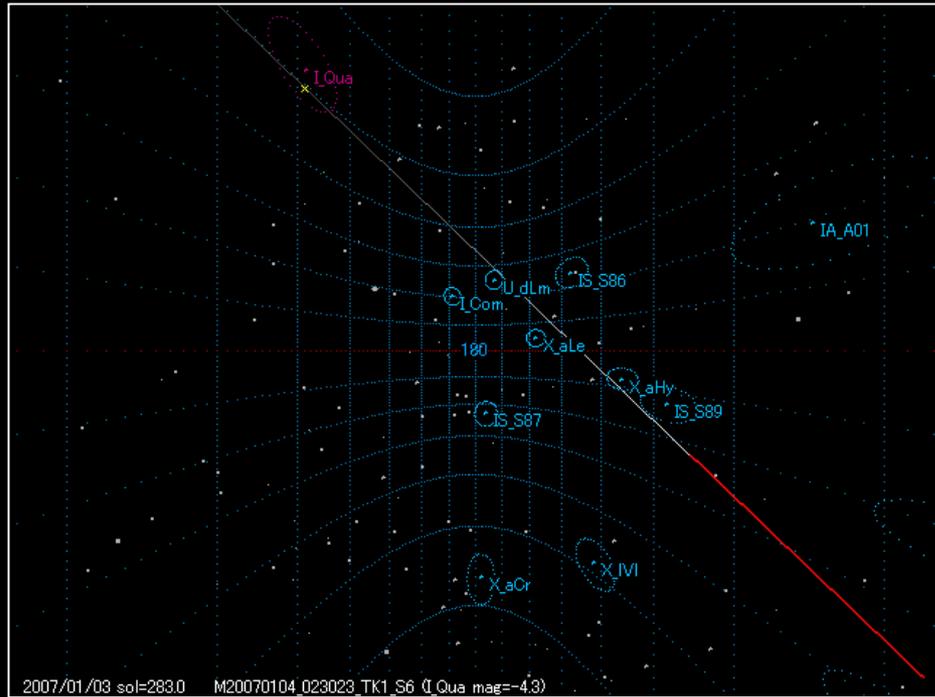


Vo-matching method

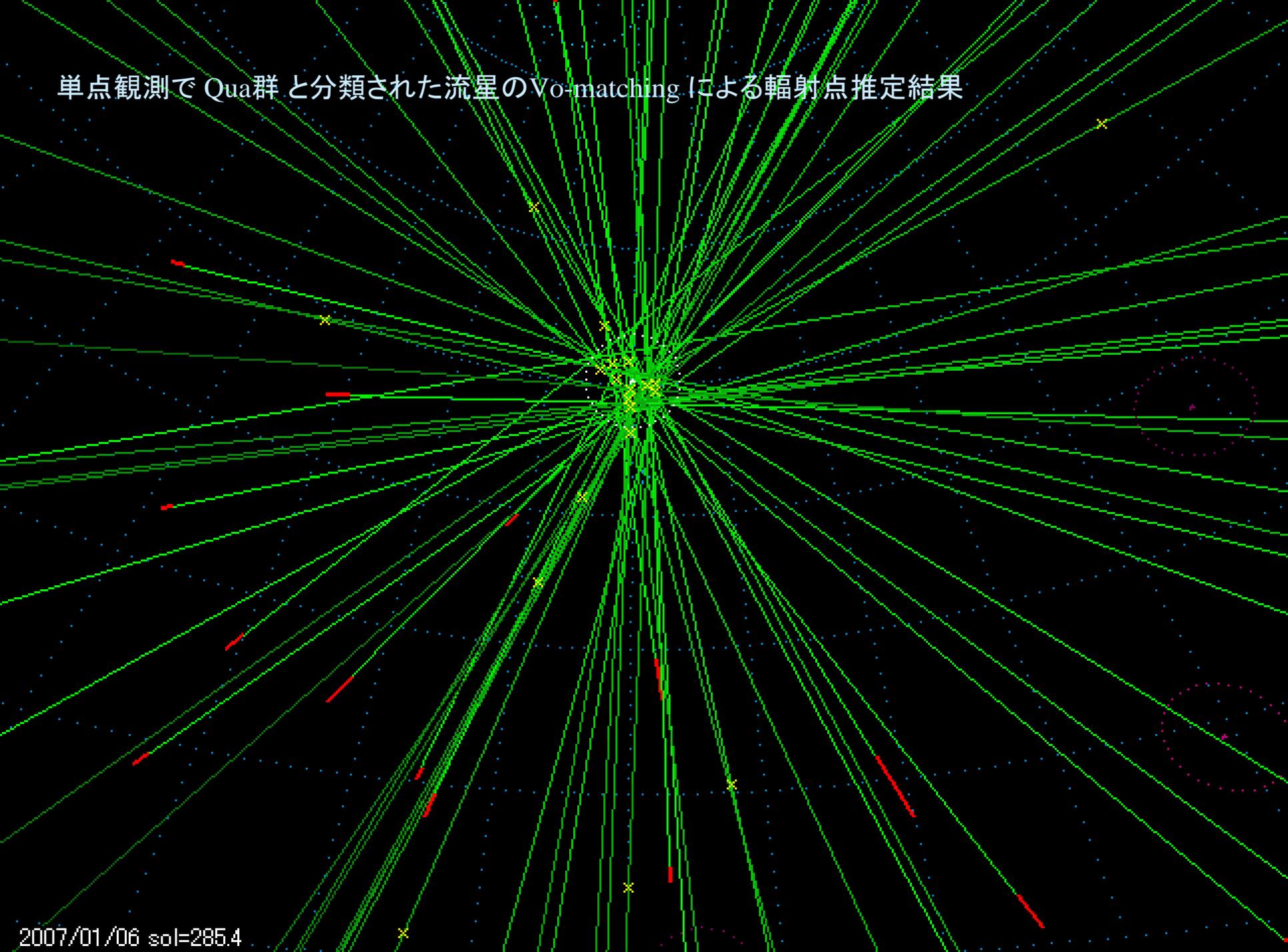
# Vo-matching を用いた実測例

Vo-maching

同時観測結果



単点観測で Qua群 と分類された流星の Vo-matching による輻射点推定結果



# 誤差の大きい例

anti-helion

← Vo-matching による 視輻射点

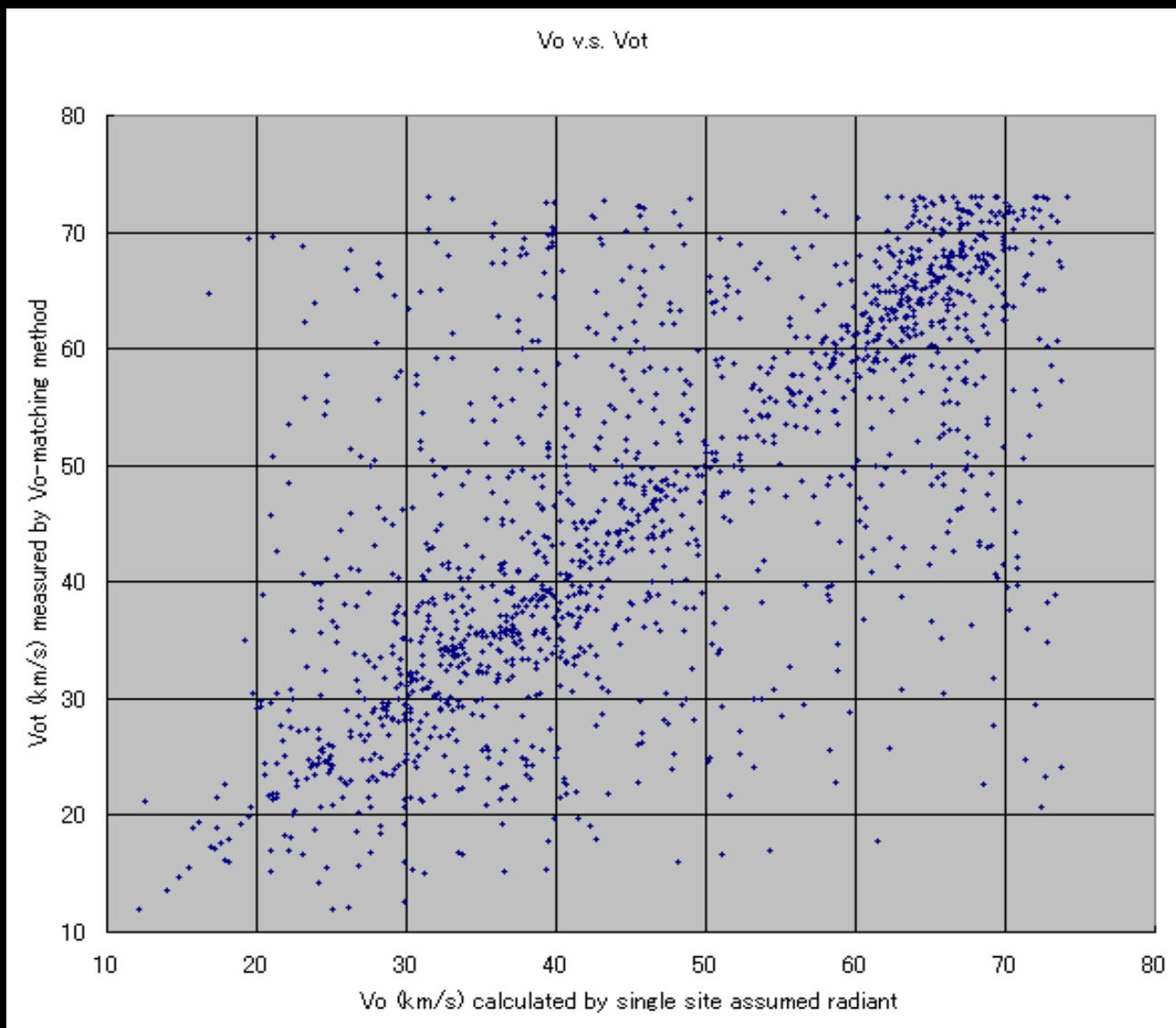
× ← Vo-matching による 天頂引力補正輻射点

× ra=93.3 dec=13.5

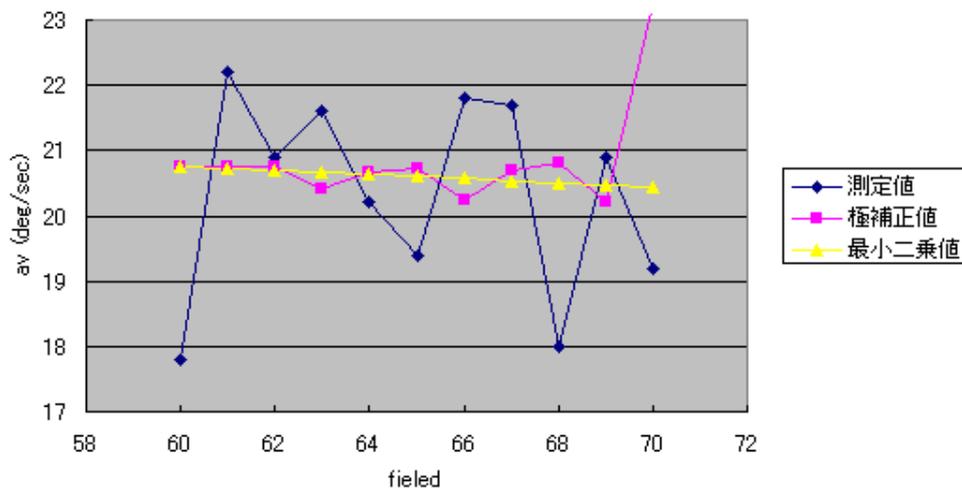
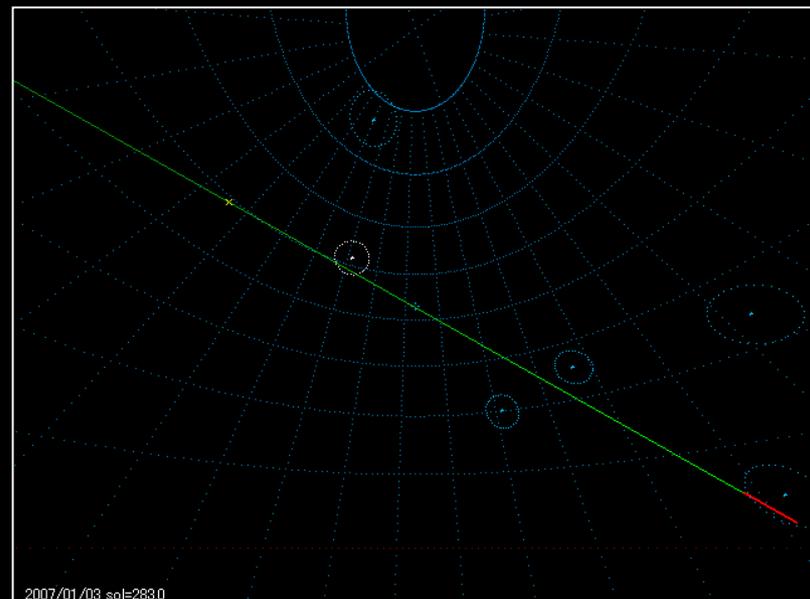
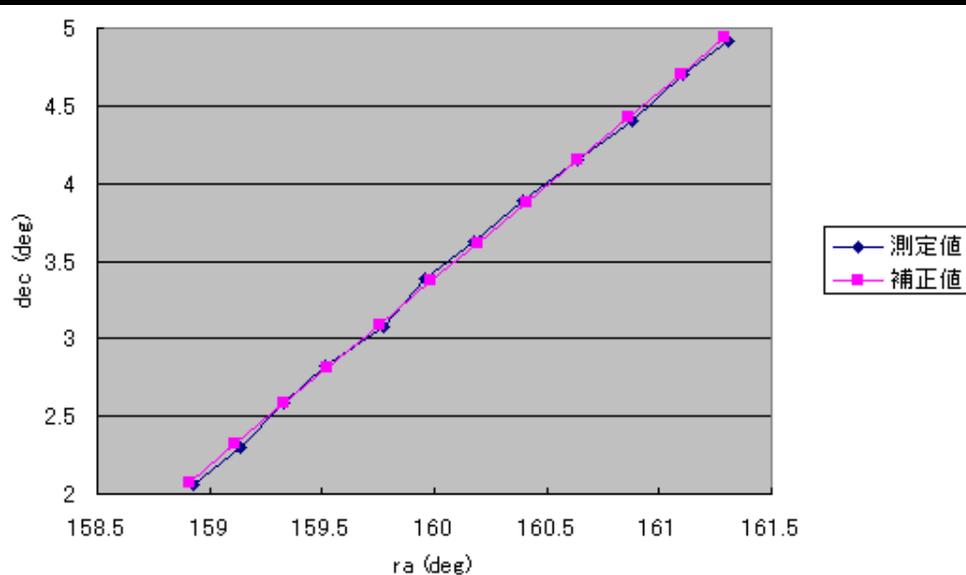
↑  
同時観測による天頂引力補正輻射点

90

# 単点仮分類による仮定輻射点からの速度推定値と Vo-matching による速度推定値の比較



# 誤差の大きい例の原因

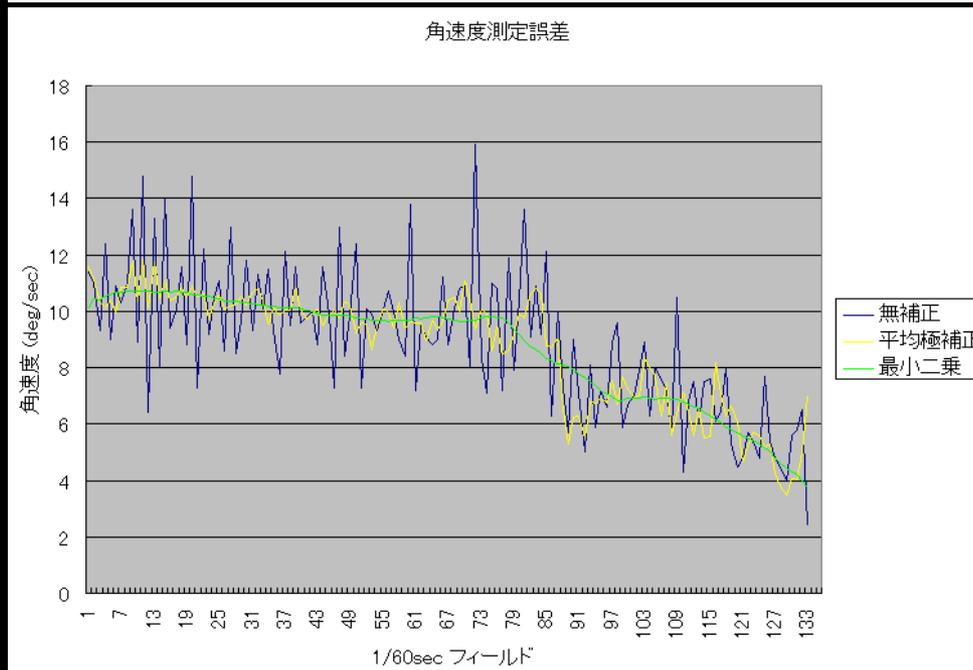
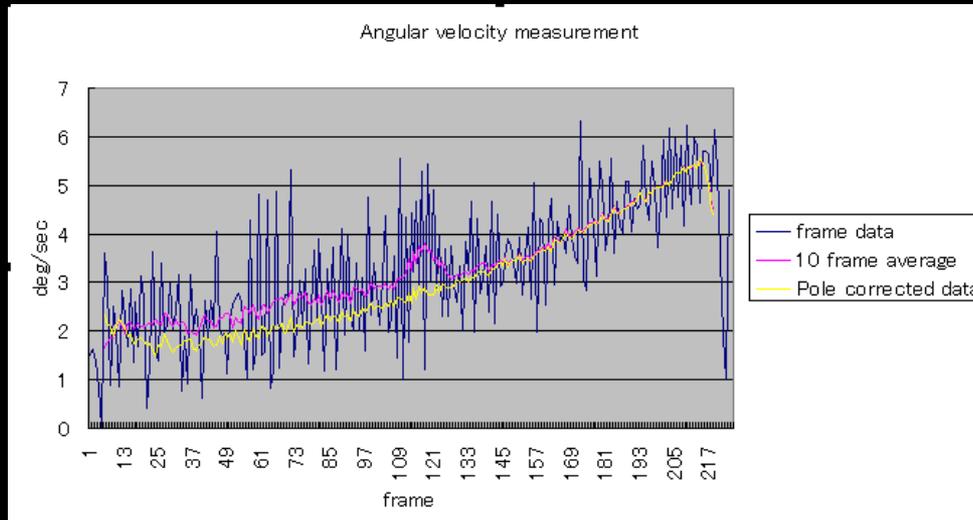


・角速度のばらつきが大き過ぎてその変化の傾きが正しく求まらない

・輻射点離角が90度付近は角速度変化が小さく精度がでない

この例ではQua離角 72.9 を 95.6度と間違えた

## 角速度測定例 (Vo-matching における最大の誤差要因)



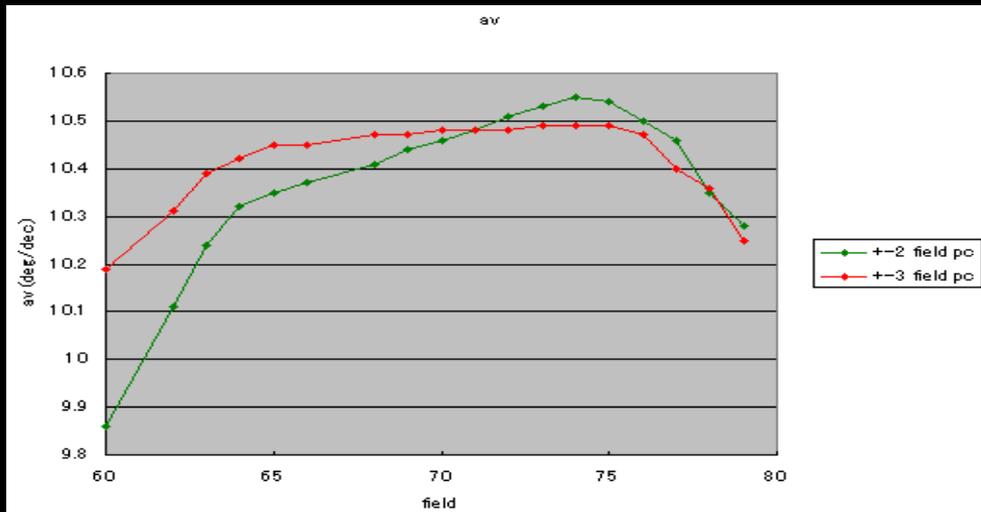
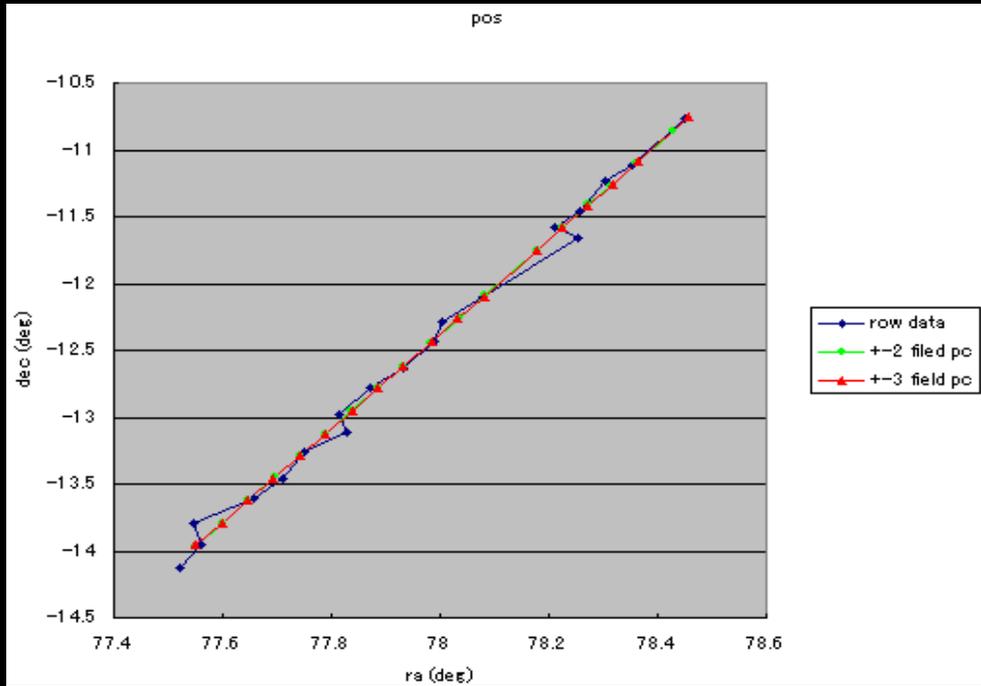
## UFOAnalyzerV2 における角速度測定誤差減少策

(1)平均極 (全測定点との内積の二乗和を最小にする方向)を用いた進行方向と直角な測定誤差のキャンセル

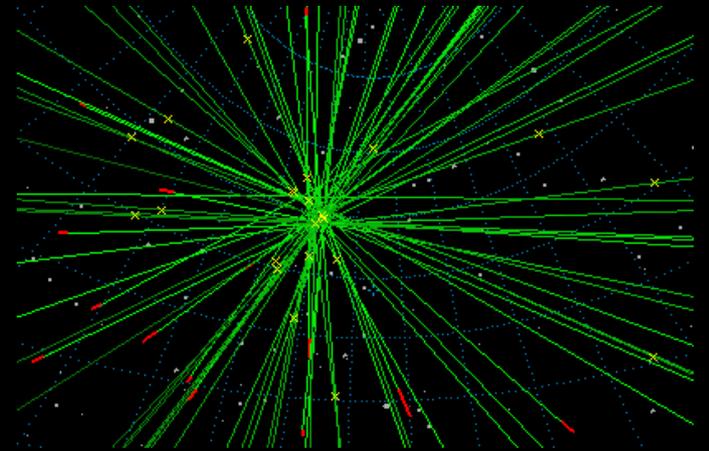
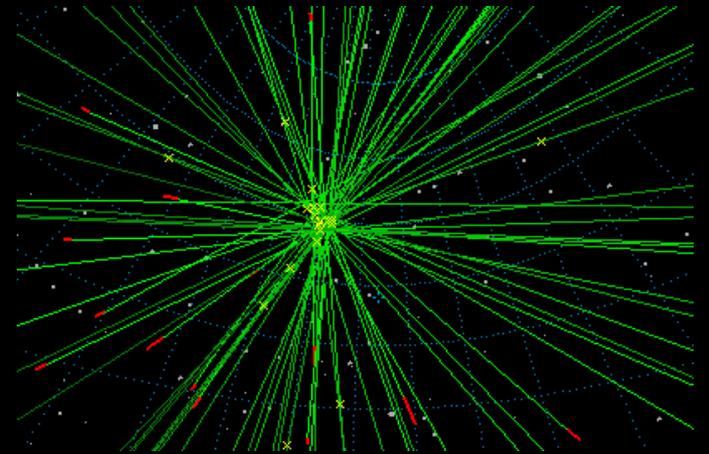
(2)短い区間毎の最小二乗直線近似

## 問題点

・できるだけ長い区間を利用したいが、爆発部分が入ると精度が落ちる



- ・僅かな統計処理の差で大差となる
- ・広角レンズでは光芒中心測定精度がVo-matchingで要求される精度に達していない?



# UFOAnalyzerV2.00 における Vo-matching インプリメント

単点観測時の参考情報として計算可能な全流星につき、  
Vo-matching 方式による自動計算結果を付加することとした。

## [計算条件]

- ・継続時間 0.013秒以上
- ・Vo が 12.0km/sec ~ 75.0km/sec までの値となる

## [計算方法]

- ・Vo-matching 用測定点 S,E を2点別に測定する  
(S は 2サンプル目、Eは経路の2/3の位置のサンプルとした)

## [計算結果]

- ・観測速度  $V_{oo}$
- ・観測輻射点座標  $rao, deco$
- ・天頂引力補正後の輻射点座標  $rot, dect$

## [結果の格納先]

AXML, Mcsv ( $V_{oo}, rot, dect$ のみ) , analyzelog

トレイルマップでは  $rao, deco$ (黄) および  $rot, dect$ (赤) で表示 (地上経路図では Vo-matching 結果は表示しない)

## まとめ

- ・ 条件の良い流星では単点観測からでも輻射点と速度の算出が可能
- ・ 条件は厳しく、半分程度の流星しか有意な結果とならない

## 今後の課題

- (1) 同時観測結果との大量比較による精度確認/誤差要因の調査
- (2) 長焦点レンズでの調査
- (3) 角速度測定精度の基本となる光芒中心点の精度向上

## 今後の可能性

- ・ 過去の単点観測データからの小流星群の発見
- ・ 単発、非同時火急の分析
- ・ 単点観測からのリアルタイム流星速報
- ・ UFOOrbit への数値解析の導入
  - ・ 同時観測からの速度計算に継続時間を利用した方法を併用する
  - ・ 各観測点における地上経路誤差、速度誤差を最小とする最適値探索による誤差補正

以上