

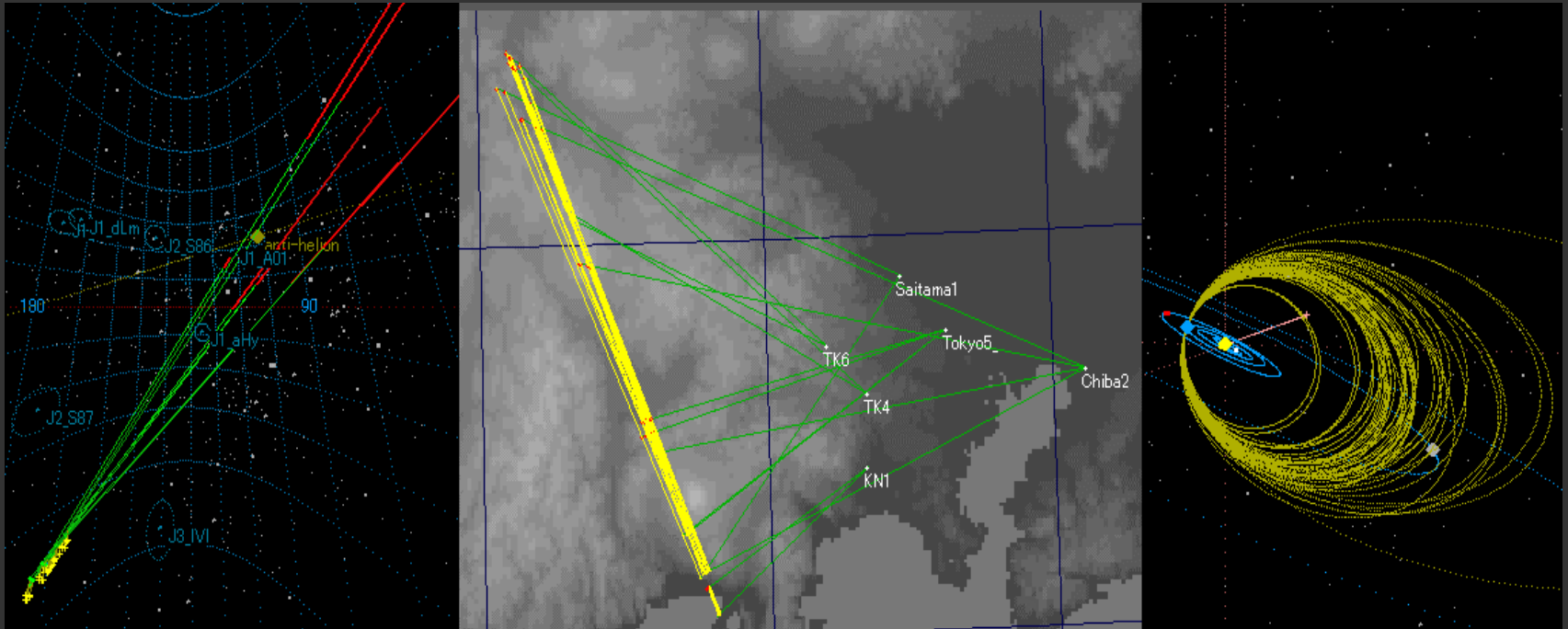
多点流星観測からの統一軌道計算

Unified Orbit Computation from Multi Station Meteor Observation

9/Feb/2008

SonotaCo

現状の問題点と課題



問題点

2点間計算方式では、多点観測において多数の組合せ結果が生成されるものの、その評価は難しく、誤差が大きい

課題

多点観測の情報を利用して、輻射点、地表経路、軌道の誤差を減らし、1つの結果を得たい

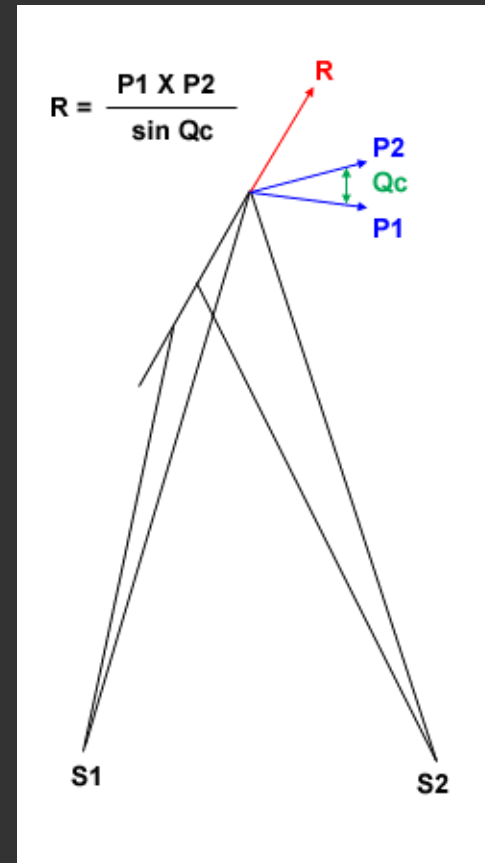
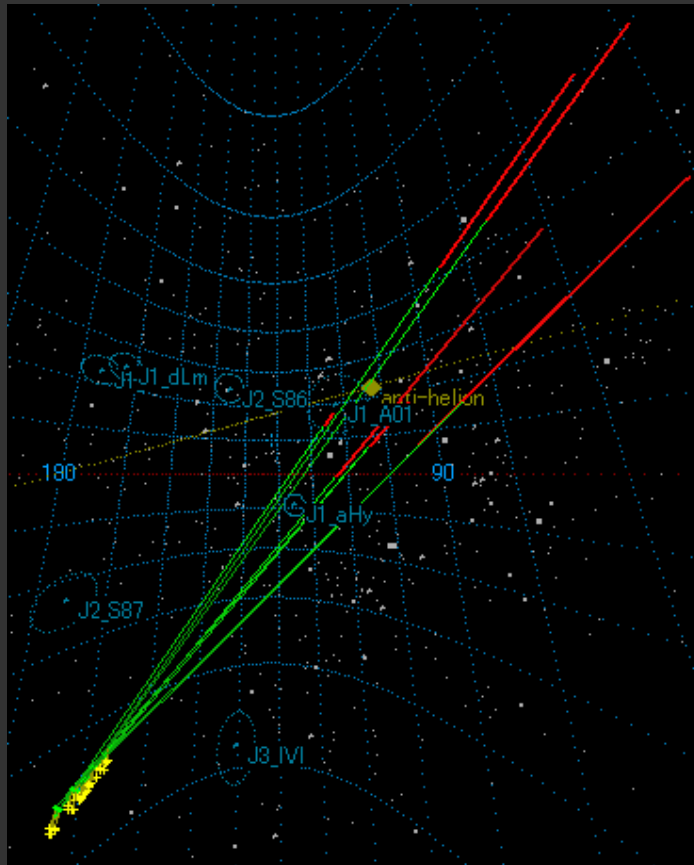
軌道計算における主な誤差要因 (誤差要因 低減要素 増幅要素)

- ・光芒の形状による中心決定誤差
- ・シャッター時間の光芒重畳による瞬時位置誤差
 - ・光芒中心位置誤差
 - ・レンズ収差、縦横比、中心位置の補正誤差
 - ・座標決定誤差(恒星位置誤差) (多数の恒星平均による誤差低減)
 - ・観測方向誤差
 - ・観測平面極方向誤差 (最小自乗法による誤差低減)
 - ・観測輻射点誤差 *(過小基線長、過小交差角 Q_c による誤差拡大)
 - ・時刻誤差、地球形状モデリング誤差、緯度経度誤差
 - ・観測地位置誤差
 - ・対象距離誤差 (過小交差角 Q_d による誤差の増幅)
 - ・地心位置誤差*
 - ・観測速度誤差 *(過小経路による誤差の増幅)
 - ・地心速度誤差 (特異点(地球脱出速度)による誤差の増幅)
 - ・軌道半径誤差 (特異点(太陽系脱出速度)による誤差の増幅)

誤差伝播
と増幅

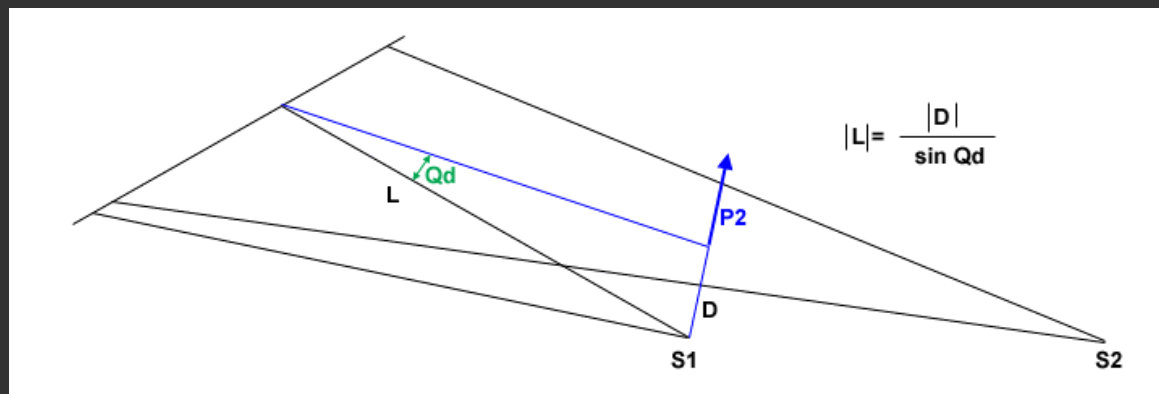
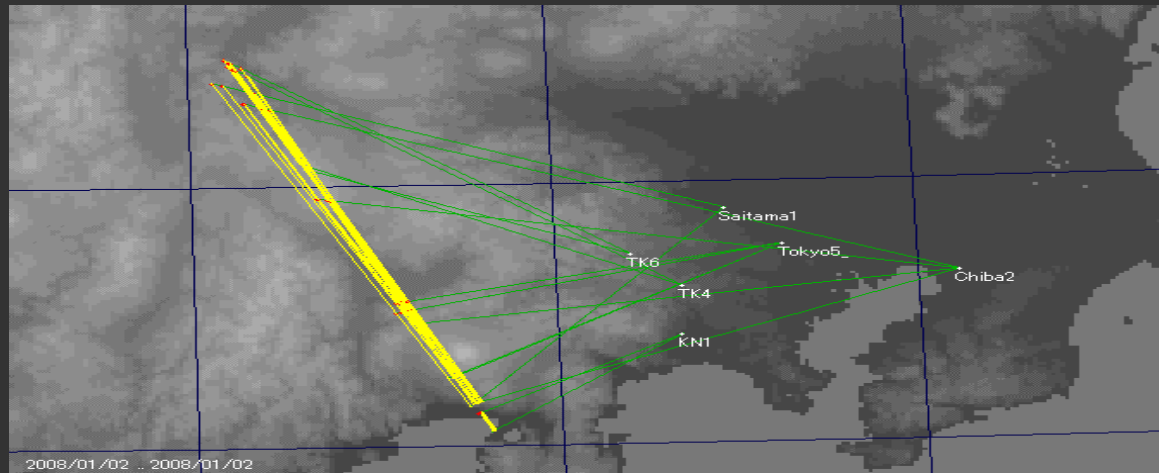
* : 多点観測における改良項目

2点間計算結果例(輻射点)



- ・交差角 Qc が小さい場合、僅かな観測誤差が大きな輻射点誤差を生む

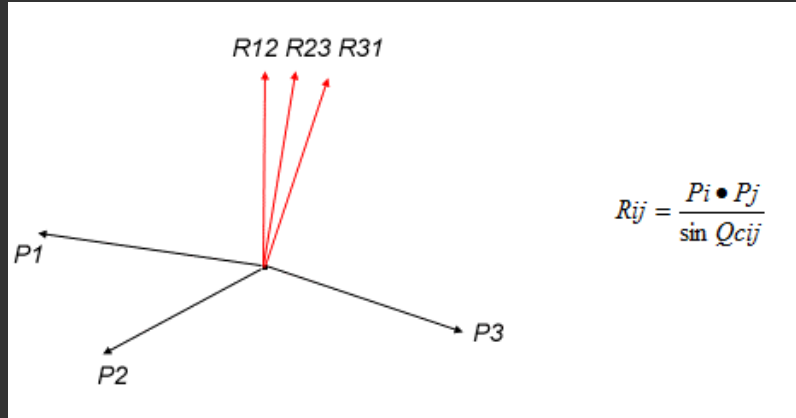
2点間計算結果例(地表経路)



・地心座標計算上の交差角 Q_d が小さい場合、輻射点方向、観測方向、観測点位置の誤差が増幅され大きな経路誤差を生んでいる

多点観測における統一輻射点計算

Multi Pair Computation



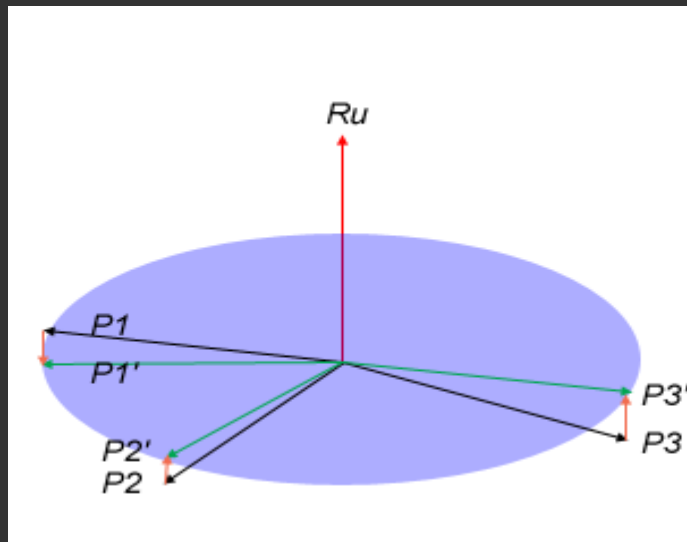
課題

- ・多数の観測平面極から1つの統一輻射点を求める
- ・全ての観測情報を利用することによって観測点数増加に従って誤差を低減する

UFOOrbitV2 V2.10での実装

- ・輻射点方向と観測極との直交誤差を尺度とする最小自乗法

Least Square Unified Radiant Computation



unit vector of pole direction: $P_i = (\lambda_i, \mu_i, \nu_i)$

unit vector of unified radiant direction: $Ru = (\lambda_r, \mu_r, \nu_r)$

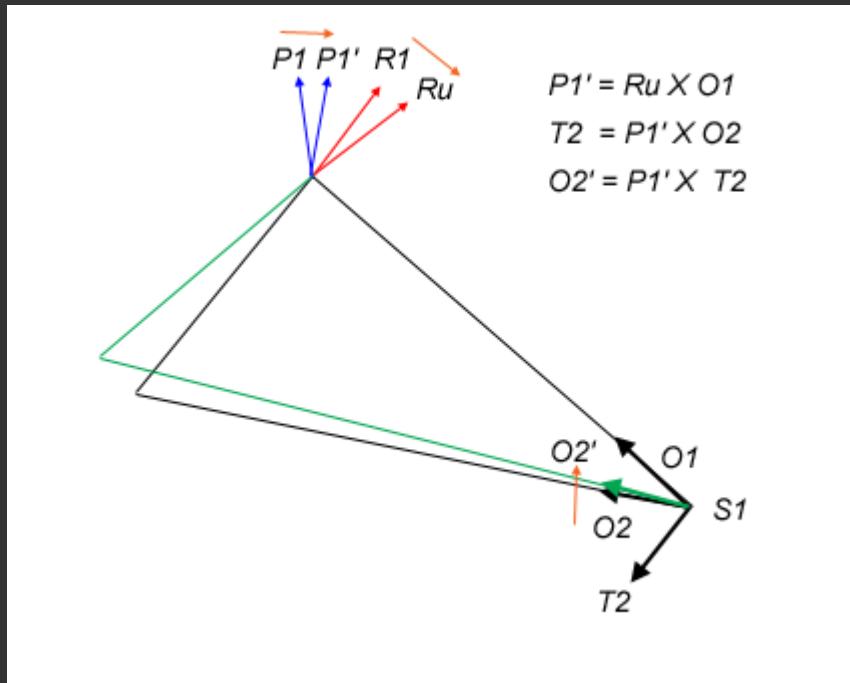
$$\text{TotalError} : E = \sum_i (\lambda_i \lambda_r + \mu_i \mu_r + \nu_i \nu_r)^2$$

$$\frac{dE}{d\lambda_r} = \sum_i \lambda_i^2 + 2\nu_r \sum_i \nu_i \lambda_i + 2\mu_r \sum_i \lambda_i \mu_i = 0$$

$$\frac{dE}{d\mu_r} = \sum_i \mu_i^2 + 2\lambda_r \sum_i \lambda_i \mu_i + 2\nu_r \sum_i \mu_i \nu_i = 0$$

$$\frac{dE}{d\nu_r} = \sum_i \nu_i^2 + 2\mu_r \sum_i \mu_i \nu_i + 2\lambda_r \sum_i \nu_i \lambda_i = 0$$

統一輻射点からの観測方向補正



軌道再計算のため、統一輻射点に従って観測平面極および観測方向を補正して一貫性を保つ

- ・観測平面極 $P1$ を Ru と直交した $P1'$ とする
方法1 : $Ru, P1$ を含む平面内で補正
方法2 : $Ru, O1$ と直交するように補正
→ 実験の結果、方法2 とした

- ・ $O1$ 以外の観測方向を $P1'$ と直交するように補正

多点観測における地表経路および観測速度の補正

案1 統一経路地心極による補正

複数の経路地心極または経路上1点の座標を最小自乗法などで1つ定め、各観測情報をそれに一致させる

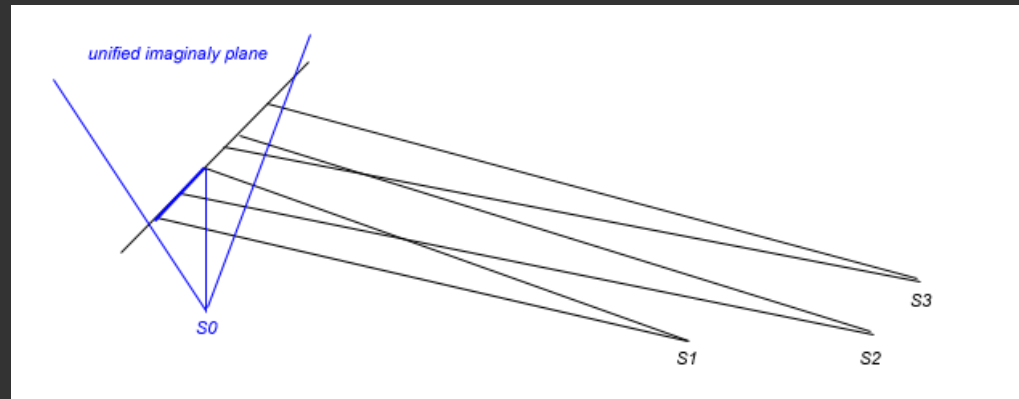
-> 試行したが、たびたび大きな誤差が出て安定しなかった

案2 代表経路の選択による補正

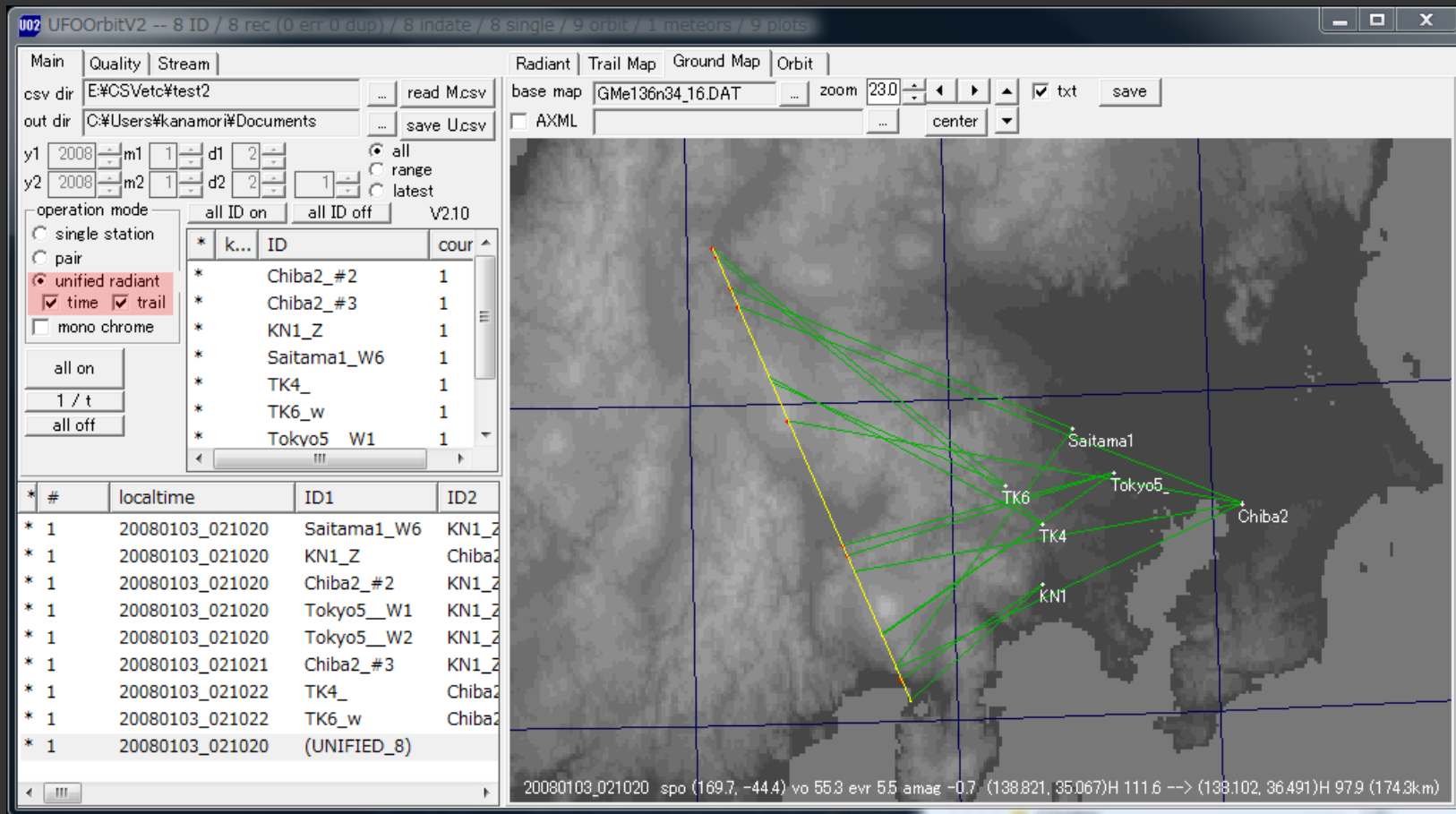
統一輻射点を用いて2点間計算をしておいて各ペアの経路を求め、その中から経路重複率 G_m , 地心極誤差 dG_p をもとに最良経路を1つ選択し、これに他の観測の結果を一致させる。

→ UFOOrbitV2 V2.10

最良経路とその直下の点を含む統一仮想平面を求め
この平面との交差により
各観測の地上経路と速度を再計算



UFOOrbitV2 V2.10 における実装



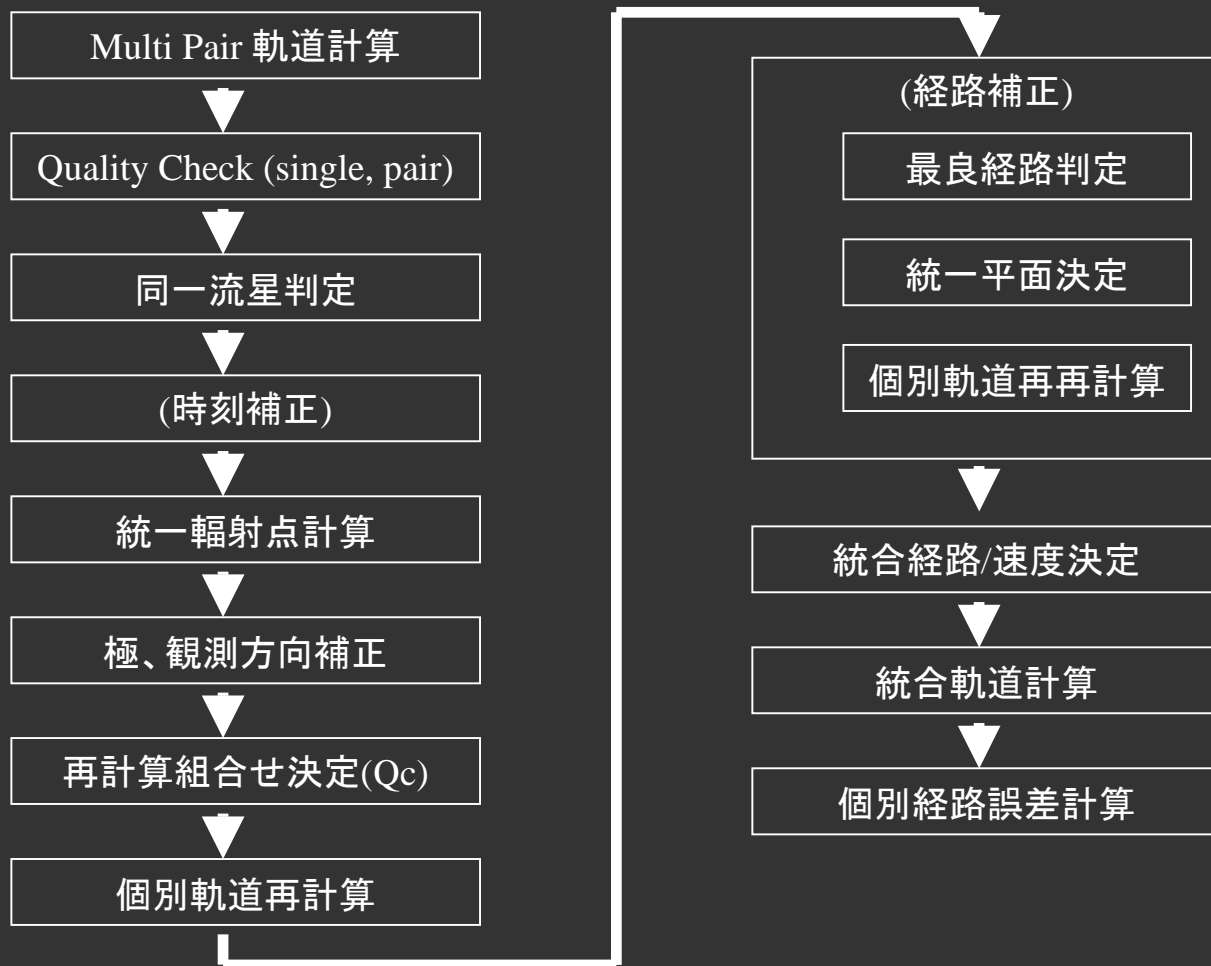
pair : 従来と同じ2点間複数組合せ計算

unified radiant : 最小自乗法による統一輻射点と平均観測速度を用いた軌道計算

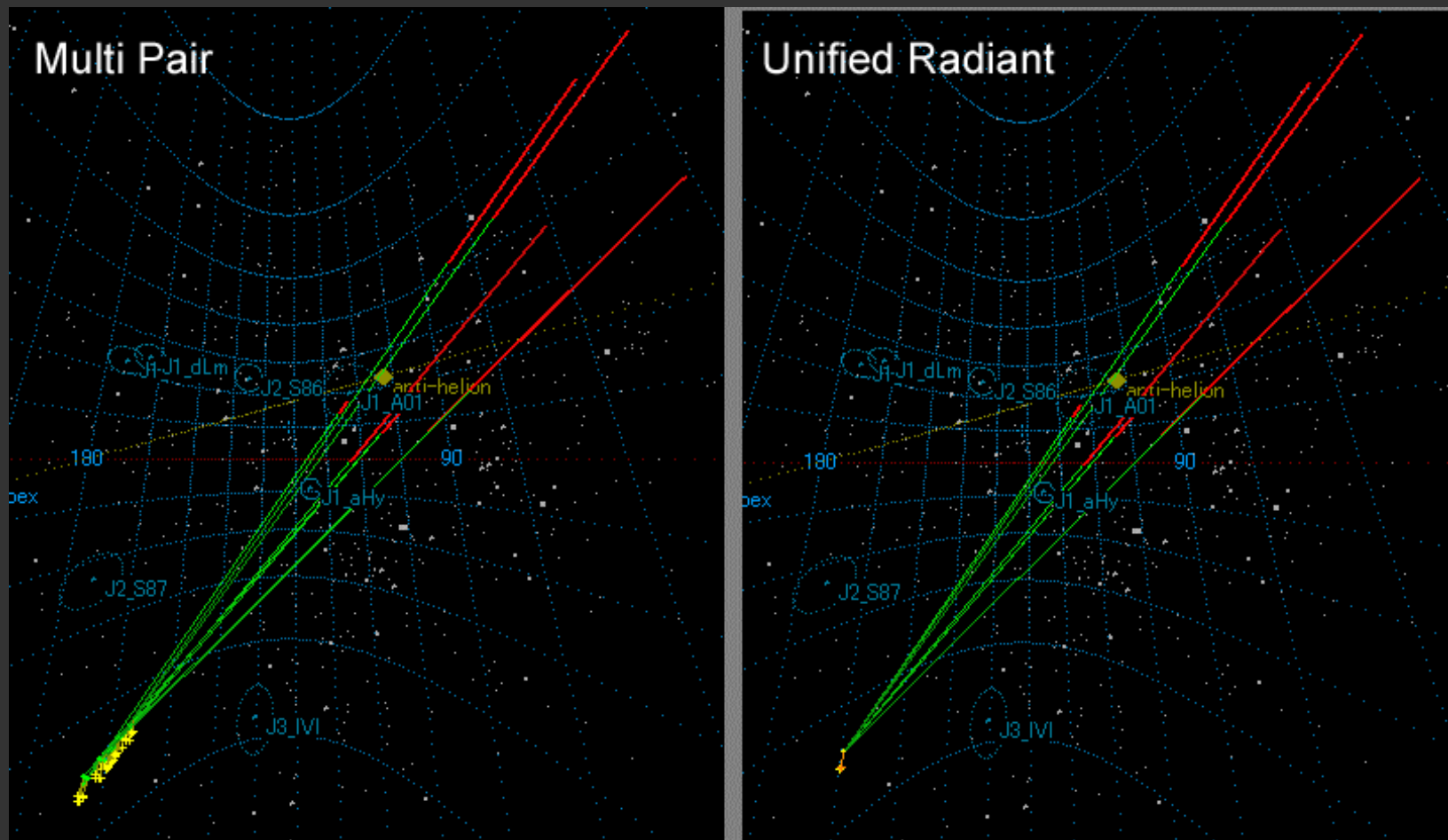
time : 統一輻射点を用い、観測時刻を最も早い時刻に統一した軌道計算

trail : 統一輻射点を用い、代表地表経路によって経路を統一した軌道計算

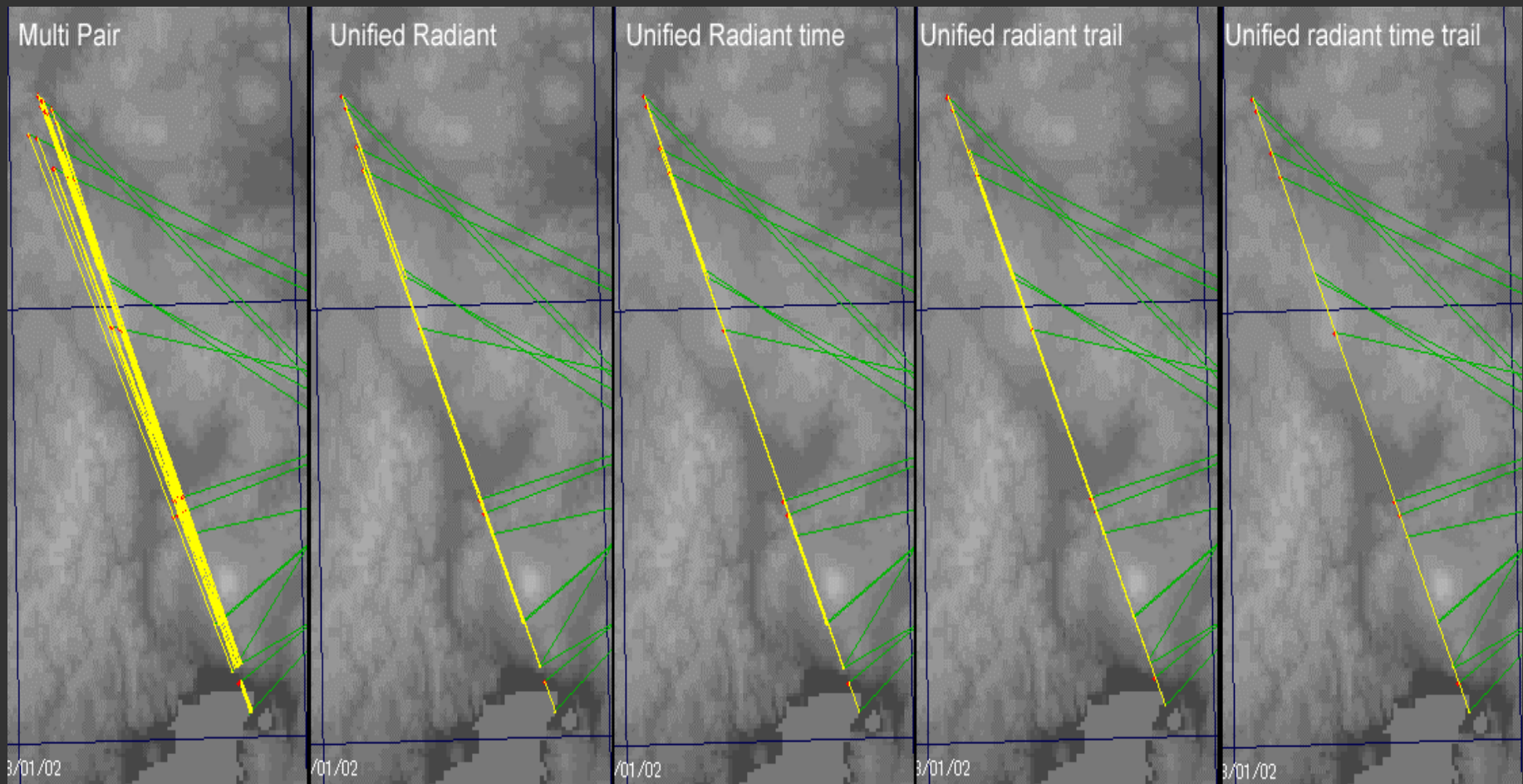
UFOOrbitV2 V2.10 統一軌道計算プロセス



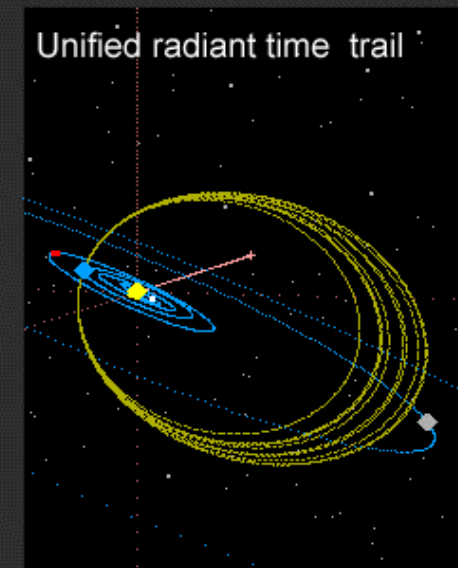
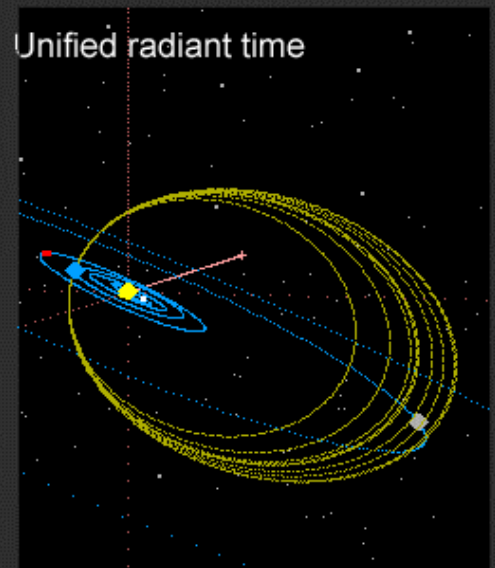
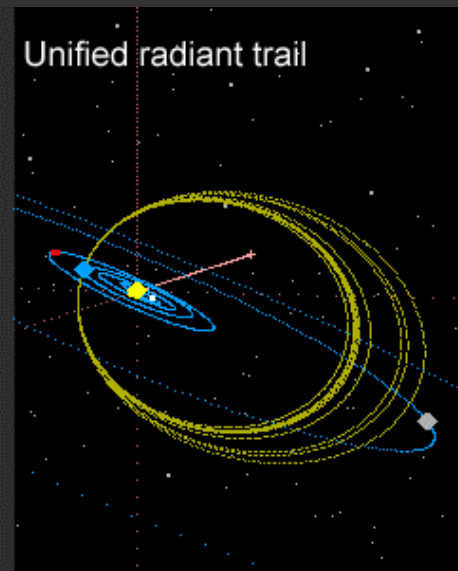
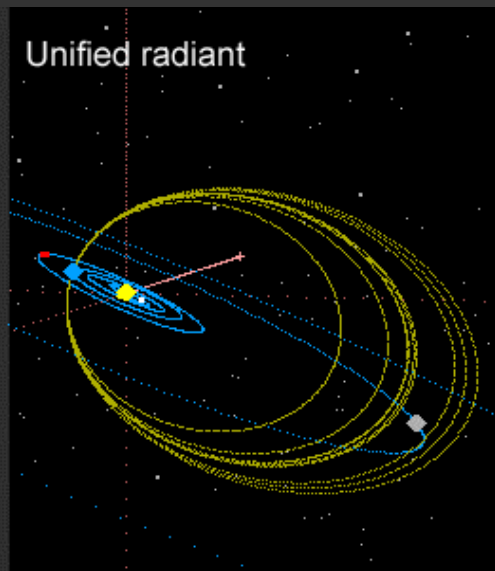
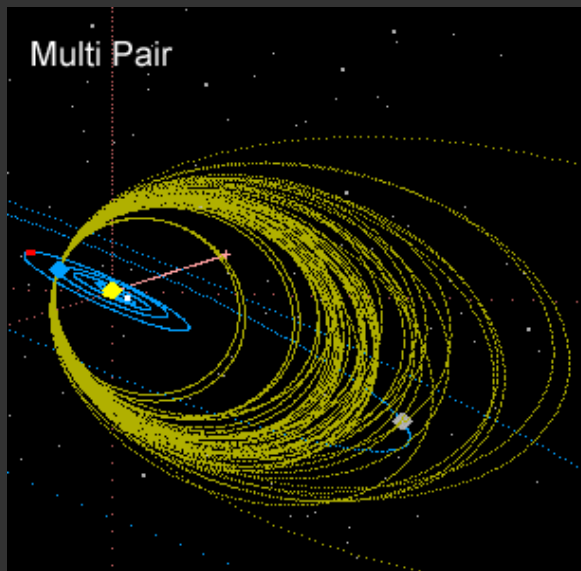
UFOOrbitV2 V2.10 による統一輻射点計算例 (輻射点)



UFOOrbitV2 V2.10 による統一輻射点計算例 (地表経路)



UFOOrbitV2 V2.10 による統一輻射点計算例 (日心軌道)

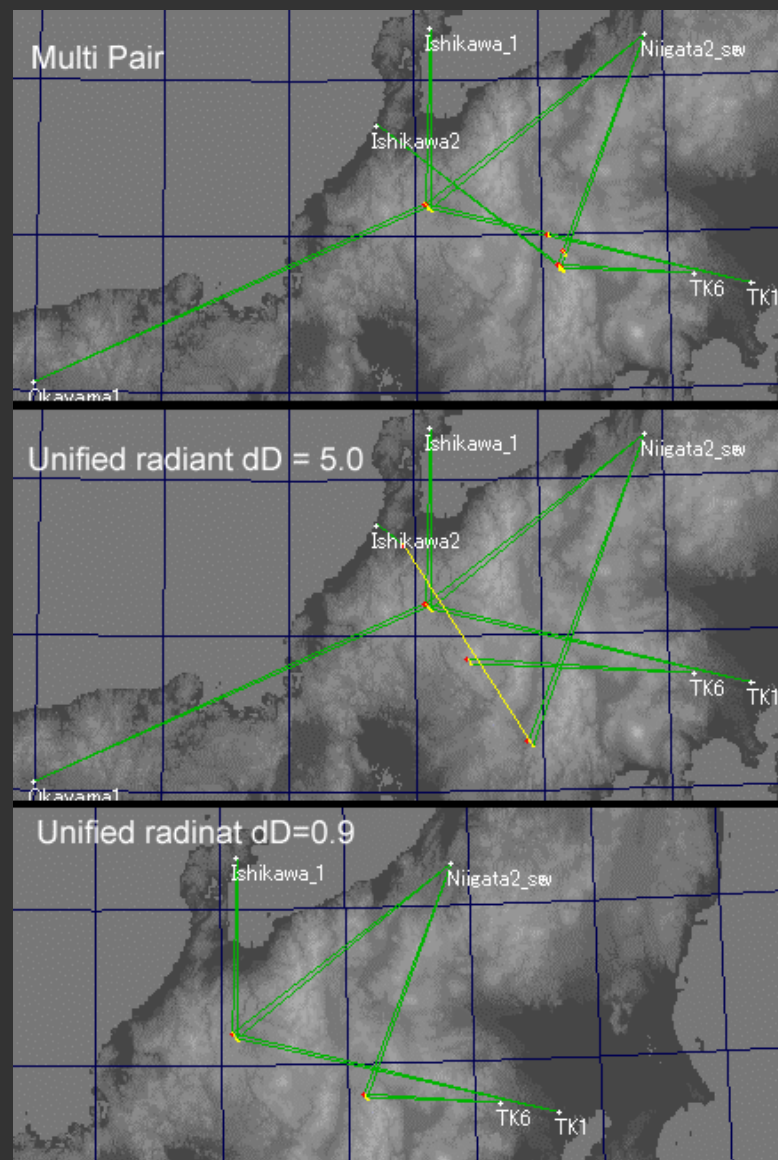


UFOOrbitV2 V2.10 使用上の注意

複数流星の同時発生時などで、同一流星判定を誤り、誤った計算結果となることがある

このため、V2.10 では Quality シートに dD を追加し、輻射点方向誤差 または 経路極誤差が dD を超える観測は同一流星と見なさないようにした。

→同一流星判定パラメータ dD を適切に設定する必要がある



失敗の記録

- ・ 輻射点統一時に 統一輻射点離角 Q_p などを用いて計算に算入する観測を選択する方法
 - ・ 多点観測の中では3点の同時観測が一番多いが、この時が一番選択が難しい
 - ・ 適当な評価関数が作成できなかった
 - (Q_p を尺度とすると良いものが捨てられることが頻発した)
 - ・ 全体の処理を何度も繰り返すことになり、丁度よく収束させることが難しい
- ・ 自動時刻補正
 - ・ 観測区間が異なる場合と時計が狂っている場合の区別が困難だった
 - ・ 観測方向誤差まで時刻で補正してしまい、数10秒もの過補正が頻発した
- ・ 地表経路の地心極 G_p の 最小自乗による統一値を求めて、これで経路を補正する
 - ・ 元々の個々の地表経路に誤差が大きすぎて、輻射点とかけ離れた方向となる
 - ・ 高度の補正計算が複雑になる

将来の開発のためのメモ

今回断念したこと

- ・ 統一計算における重み付け
 - ・ Q_o, Q_c, Q_A などの評価尺度を用いた重み付けによる誤差低減
 - ・ 経験的に良い評価方法を見つけ、それを用いた計算方法を開発する必要がある
- ・ 手動による時刻補正
 - ・ 現状でもM*.CSVを変更すれば可能
 - ・ 変更前データの保存を考えるとデータ形式と操作が極めて複雑になる
- ・ 統一計算に含めない観測の手動設定
 - ・ データ形式と操作が複雑になるが、是非欲しい機能
- ・ 発光開始点 x_1, y_1, z_1, T_1 を未知数とする最小自乗法または最適化による統一経路の決定
 - ・ 現状では誤差の大きい観測の影響が大きく、同時観測数が少ないと精度がでない
 - ・ 観測平面への距離が最良の評価尺度かどうか疑問
 - ・ 観測時刻誤差が大きい可能性がある場合、現状の速度決定後に日周光行差を補正する方式では時刻の扱いが混沌とってしまう

遠い将来への期待

- ・ フィールド毎測定データを用いた軌道計算
 - ・ 現状のM*.csvには必要な情報がない
 - 大量のデータを自動集約するオンラインDBが望まれる
 - ・ 経路、輻射点の試算後に観測情報を補正しながら再計算可能になる
 - ・ フィールド時刻推定、フィールド毎位置決定が可能になる
 - ・ 大気減速の計算ができ、観測区間が異なる場合の精度が向上する
 - ・ Earth Grazer などにも対応ができ、より正確な末端位置を算出できる