

地表経路計算の謎

Jan/2008

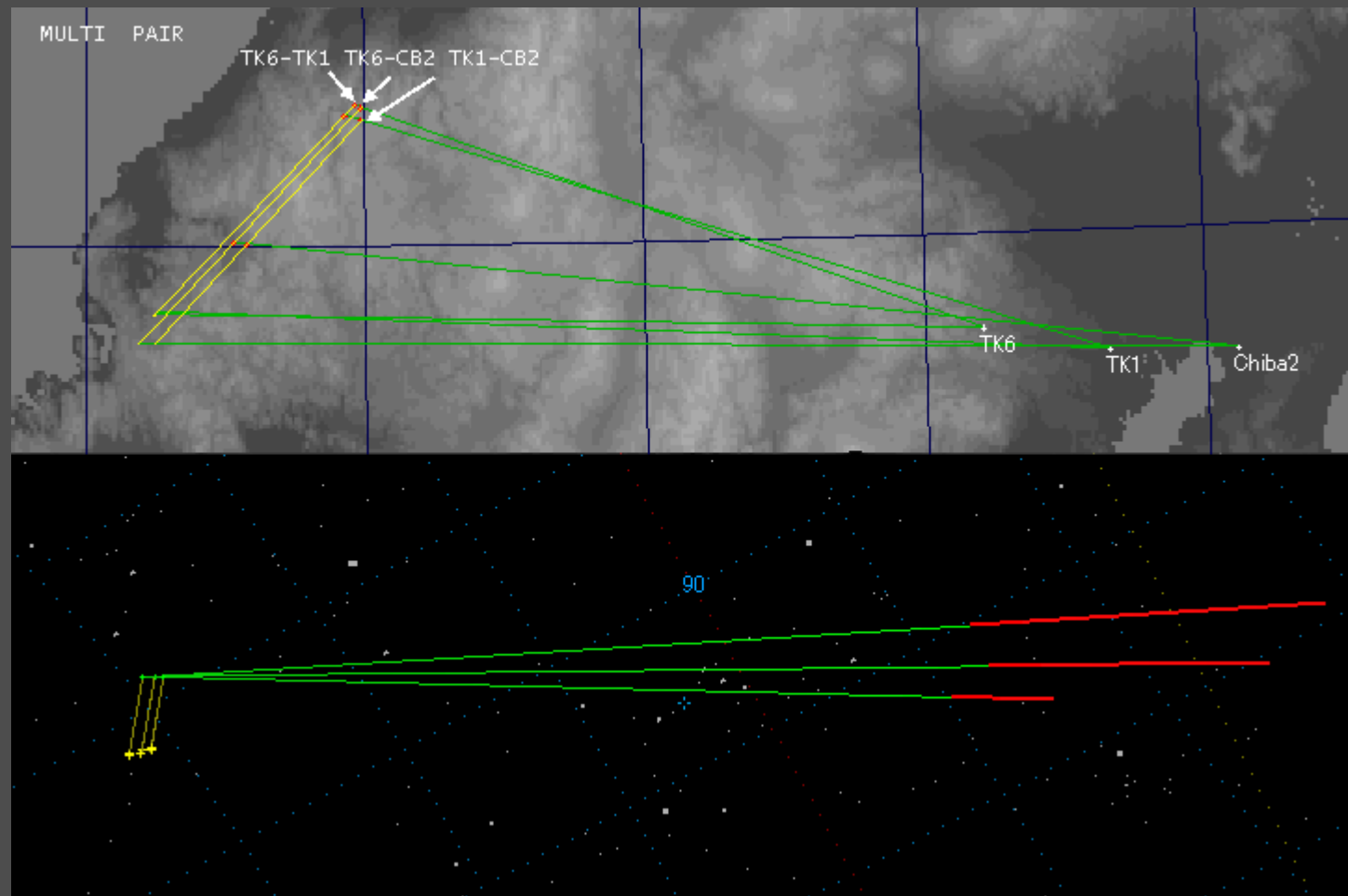
SonotaCo

Multi Pair 方式では 地表経路は複数現れる

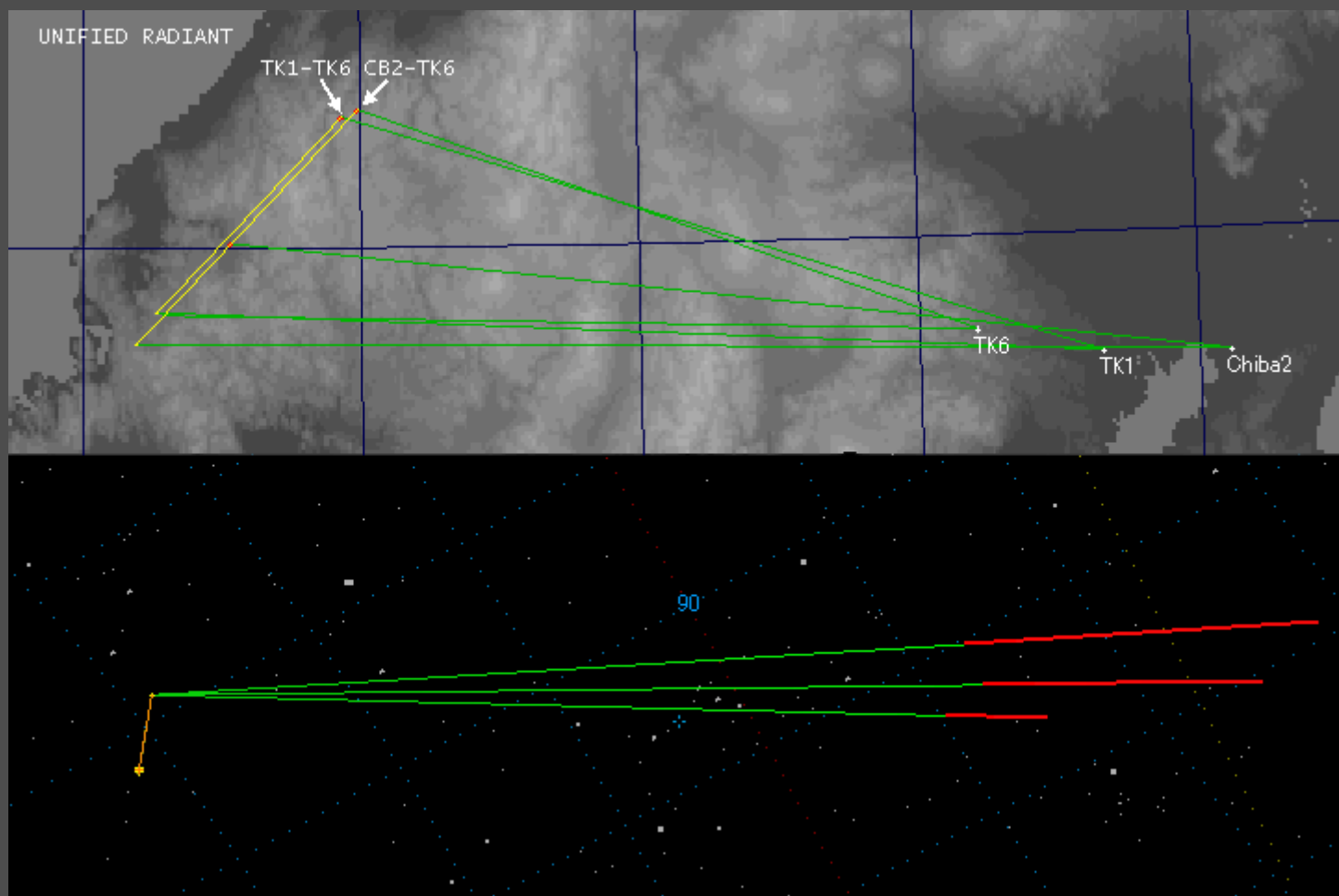
ペア毎に輻射点が僅かに異なるので、地表経路が違うのも自然。

以下では3ペアでペア毎に輻射点と地表経路に明瞭な差が出ている。

輻射点を統一すれば、経路も一致しそうだが.....

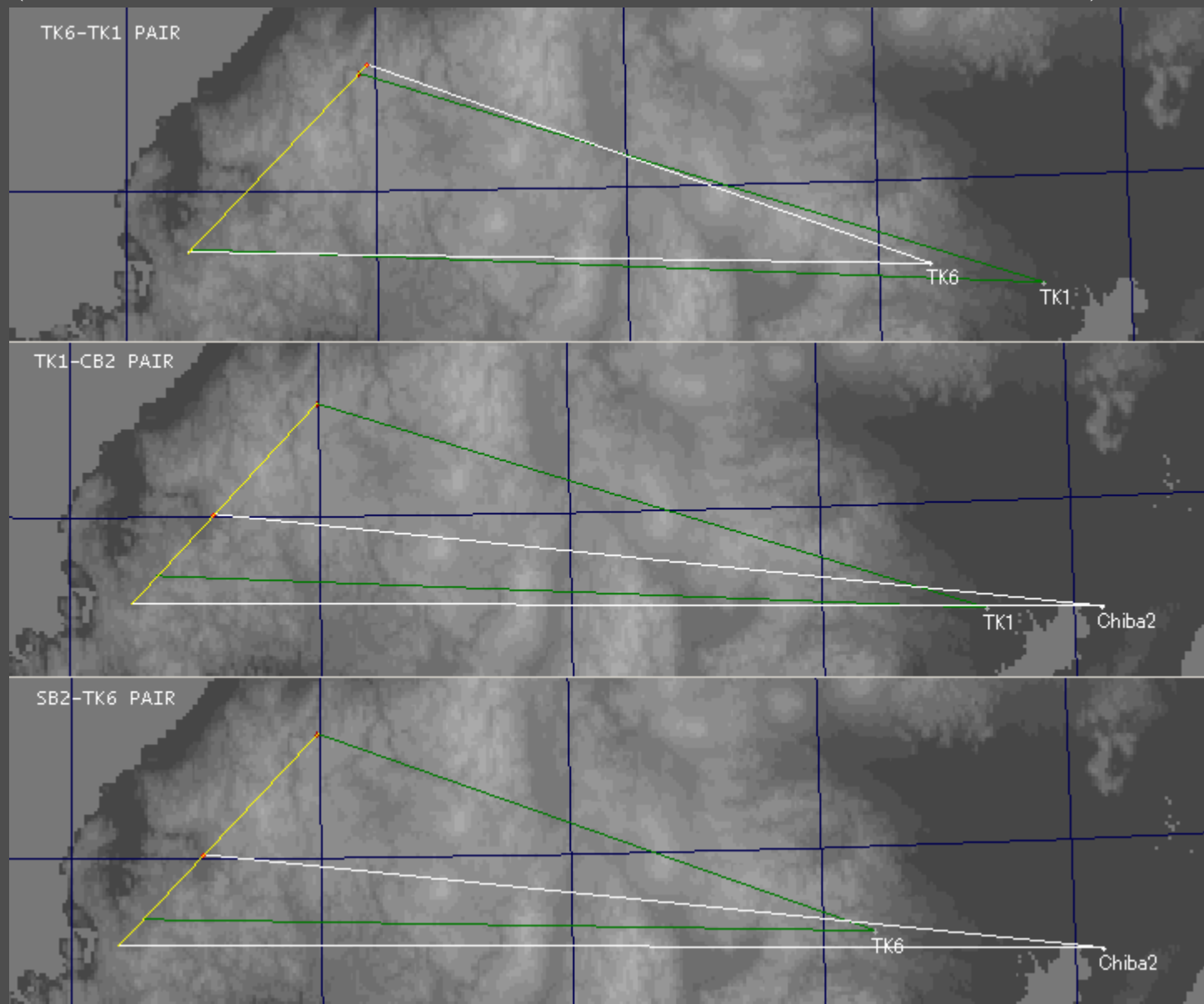


統一輻射点を用いても 地表経路は一致しない!! 何故?



ちなみに、各ペア内の2経路はよく揃っている

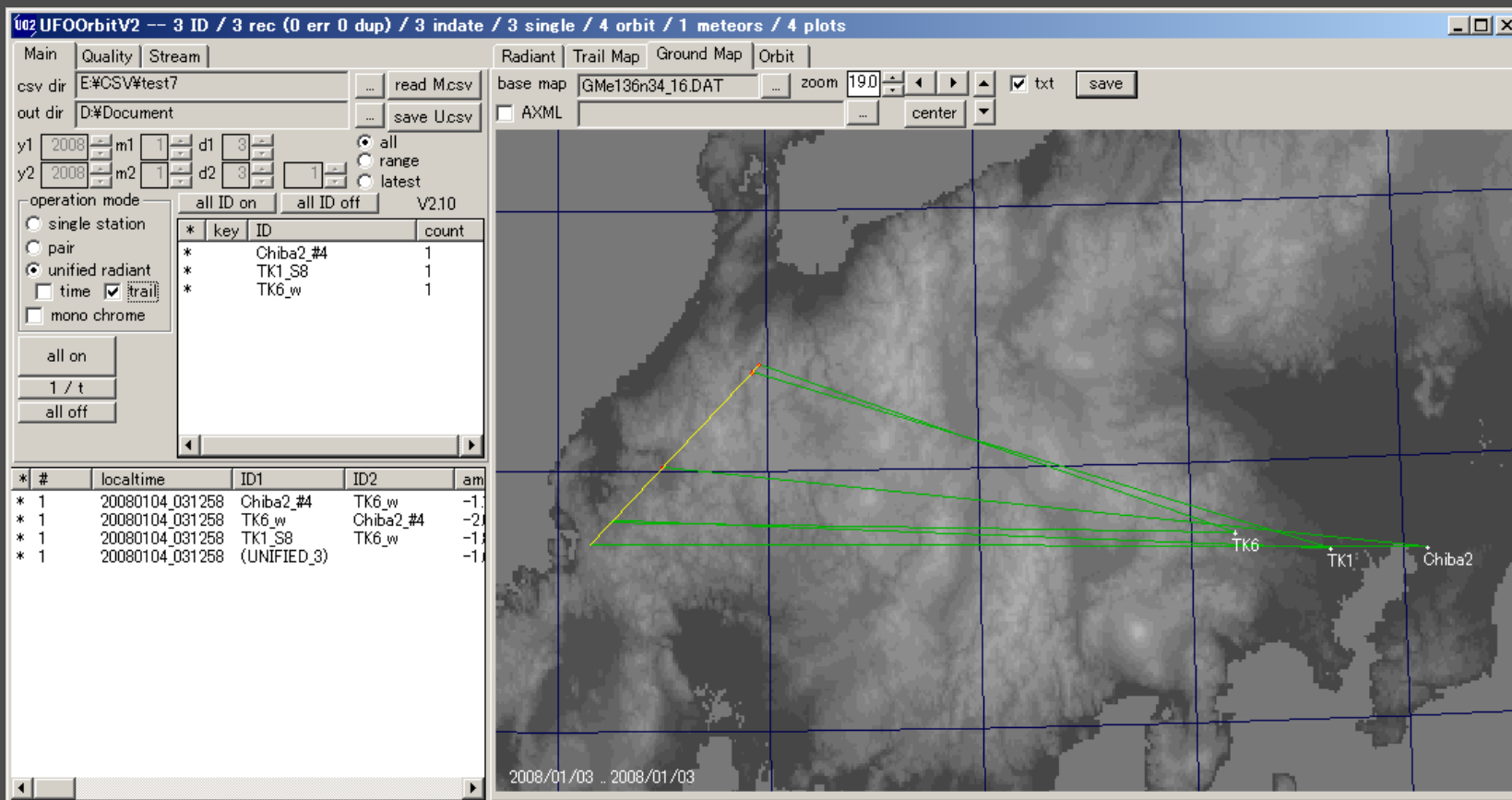
(観測方向と極の直交性、極と輻射点の直交性、計算精度 はすべて充分)



もちろん、

UFOOrbitV2 V2.10 の trail 統一を使用すれば以下のように一本になる

この機能は1つの仮想平面を決めて、その平面上で各観測方向を元に交線を求めている



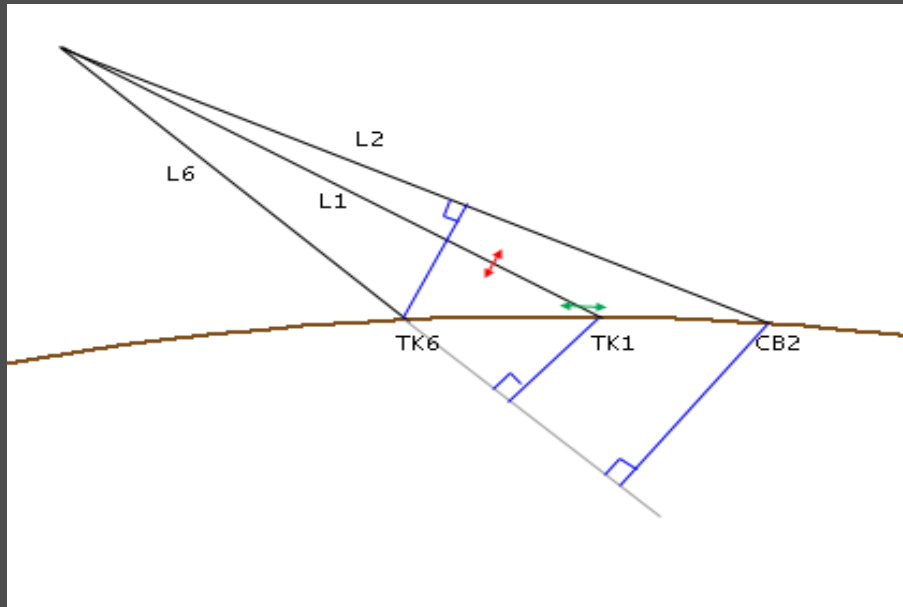
ということは、経路計算で使用する平面が異なることが原因している?

CB2とTK6は互いの観測平面上で位置を計算し、TK1はTK6上上で計算している。

CB2とTK6は相対で普通のペアと同じだから経路は必ず一致する。

ところが同じTK6平面を使用してもCB2とTK1で結果が一致しないということ。

友達の友達は友達でない?



2直線の交点は必ず1点なので、ペア間では必ず交点の位置が一致する

が (友達は友達だ!)

3本目の直線がその交点を通るのには全ての誤差が十分小さい必要がある

(友達の友達が友達であるのは、元々友達だった時だけ)

では、具体的にはその誤差は何?

この計算に使用するのは、極方向余弦、観測方向余弦、地心座標だけ

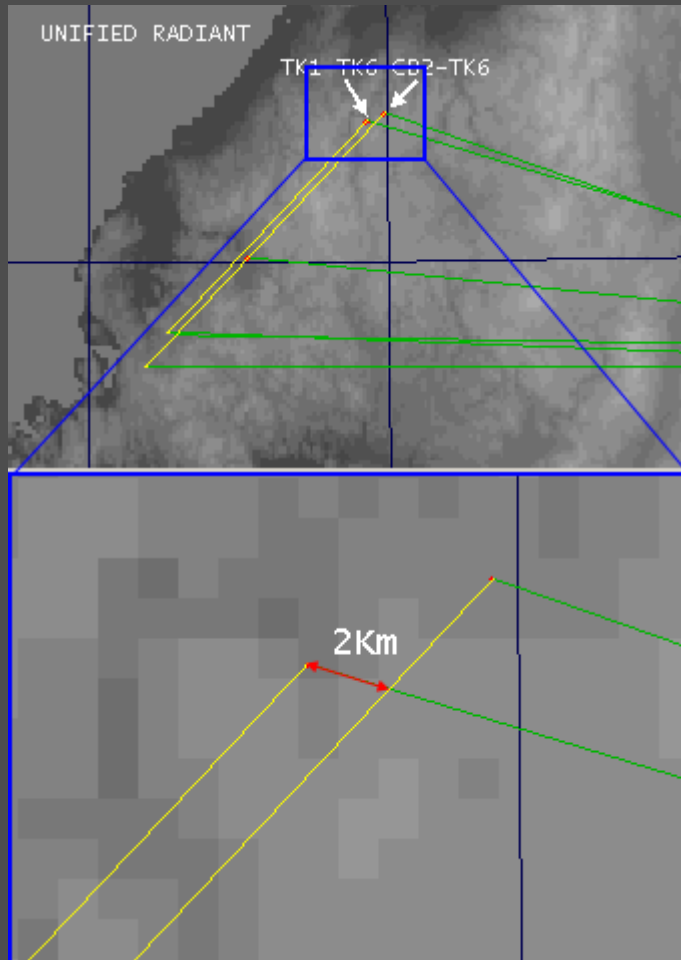
極方向の共通の輻射点に対する直交性と、観測方向の極方向に対する直交性は倍精度浮動小数点の範囲確認されている ... となると

誤差の原因は以下の2点のいずれか

1. 観測方向の輻射点方向と直行する方向の誤差
2. 観測点の地心座標 (地心赤道直交座標)の誤差

先の例では Q_d は2度、 $1/\sin Q_d = 28.6$ 倍 (TK1垂線の長さは11.3km、L1は325km)

地心位置は距離計算に4回計算に使われるので、地心座標誤差は最大100倍程度拡大される可能性がある



地表経路図を拡大してみると、この例では地表経路のずれは、観測点-対象間距離のおよそ2kmの誤差である。

観測方向誤差とすると、

$$11.342 \text{ km} / \sin 2^\circ .000 = 325.0 \text{ km}$$

$$11.342 \text{ km} / \sin 2^\circ .012 = 323.0 \text{ km}$$

なので、**0.012°** の方向誤差 に相当する。

(6mmレンズの標準的な観測誤差 は 0.03°)

地心座標誤差とすると

誤差が100倍に拡大されているとすると 観測点位置に20mの誤差があったところになる

現状の緯度経度は小数点以下4桁までの指定であり、0.0001度は 日本付近で 経度方向で 6.4m、緯度方向で11m に対応する

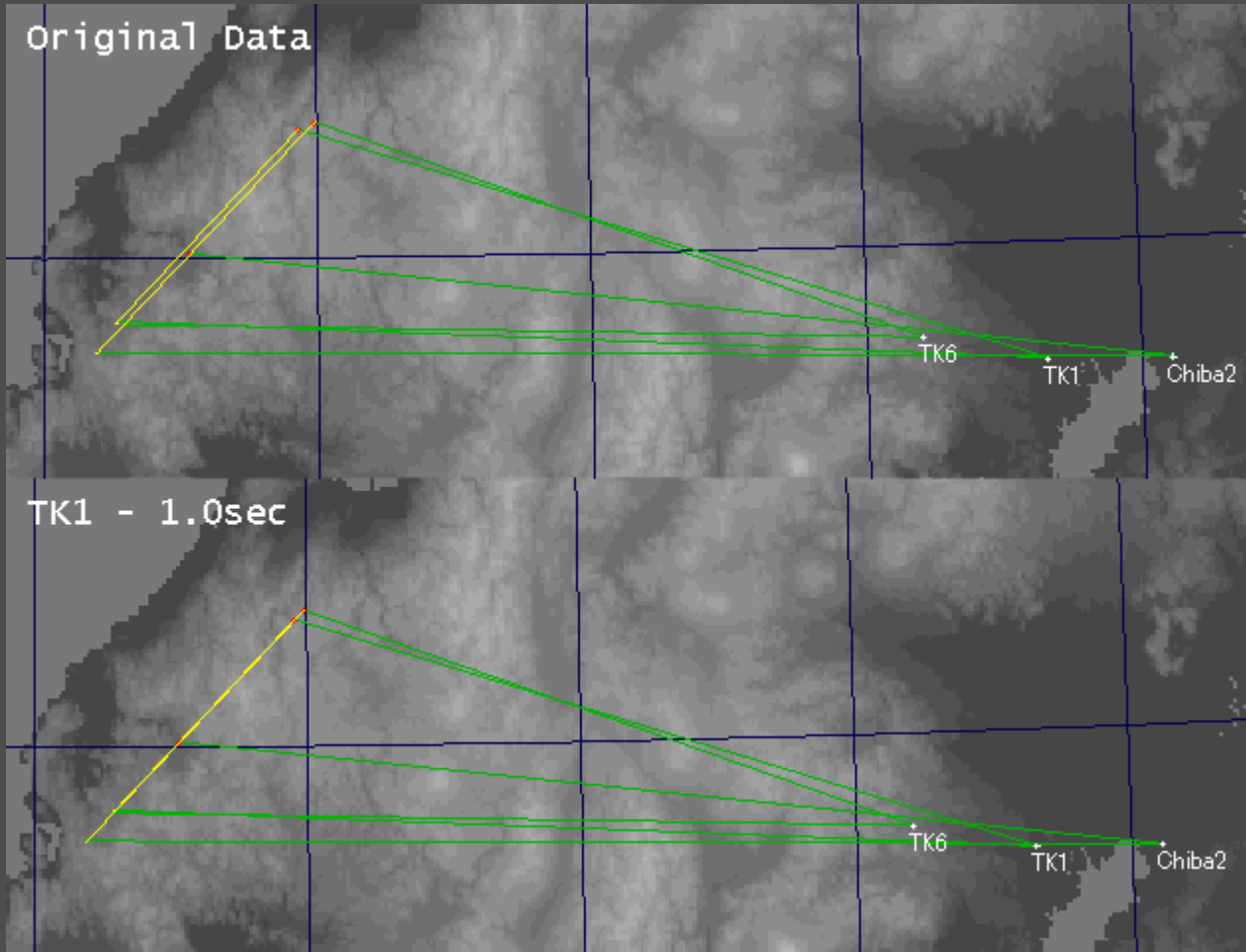
従って、2kmは、

0.0002度の緯度または0.0003度の経度誤差 に相当する

(地心座標は時角に依存しており、地球の自転による観測点移動は日本付近では、約400m/s で、20mは決定時刻差に換算すると、**0.05秒の時刻誤差** となる。

-> すべて厳密に同時刻で計算した座標を使用べき)

試しに... CSVファイル上でTK1の時刻を1秒前に変更したデータを用いて統一輻射点計算すると、



地表経路もほぼ一致する

(全ての誤差を時刻誤差による観測点地心座標誤差に肩代わりした場合の話で、必ずしも実際の時刻誤差がそうだったわけではない)

結論

統一輻射点を使用し、極の直交性を保障しても、交差角が小さければ、 0.01° オーダーの観測方向誤差(輻射点方向と直交する成分)、または 0.0001° オーダーの観測地緯度経度誤差により 数kmの地表経路誤差は発生してしまう。

・謎は解けたかもしれないが、解決は容易でない

(観測方向精度を上げることが最も効果的だが、現状の解像度では難しい)

せめて、

観測点緯度経度は 0.0001 度の単位で正確に設定が必要

(数m違ったら設定を見直すべき!!)

→ 将来的には地球形状モデルの見直しとともにもう一桁増やしたい

すべての地心座標計算は同一時刻で行われたいといけない

→ UO2 V2.10 の時刻強制統一機能

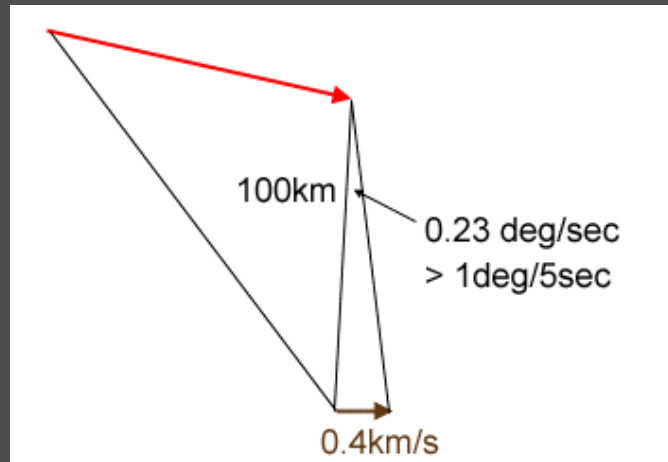
将来的な流星の非直線経路計算(瞬時位置計算)においては、観測時刻誤差を10msecオーダーに抑えることが必要

→同期カメラでの観測が望まれる

(遠隔地でも外部同期可能カメラを使い公共放送と同期させれば比較的簡単に実現できるかも?)

将来のための技術的メモ

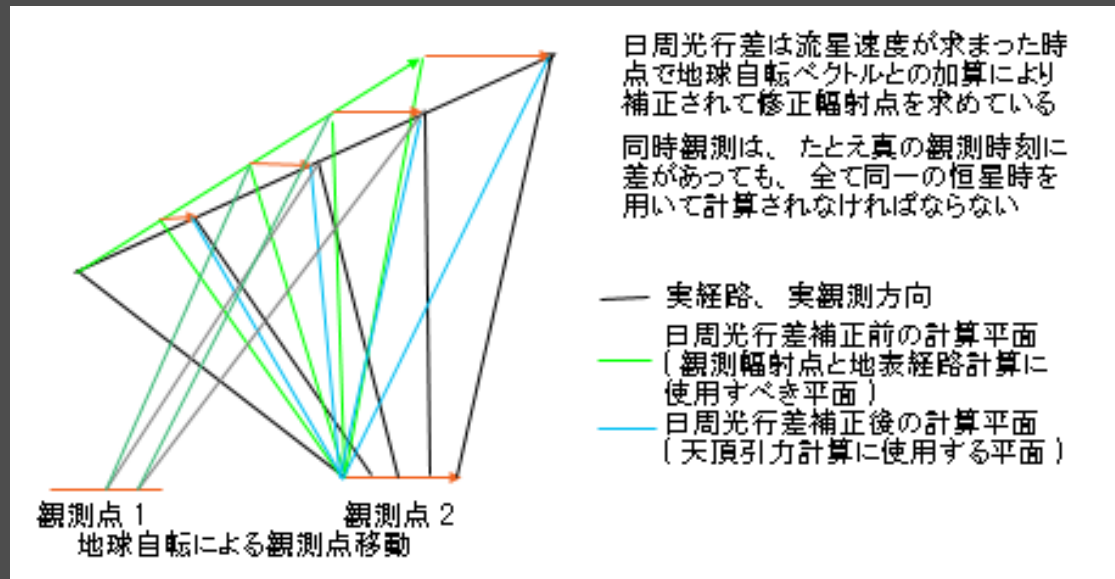
(観測区間が異なる場合の軌道計算)



観測方向には地球自転による観測点移動による大きな視差が含まれている。

この視差は日周光行差の補正として、地表経路計と観測速度の計算後にまとめて補正される。

時刻が異なる部分的な観測もあくまで全て同一の時刻を使用して計算する必要がある(統一した発光開始時刻の観測点位置を用いないと正しい交線が求まらない)。→ unify time 機能は重要



現在計算されている地上経路は緑の平面であり、これは実際の観測の方向と一致している(移動する地表上から見た観測輻射点を向いており、地図上に表現しているので、それで正しい)

ただし、観測方向の決定はあくまで各時点の恒星位置を利用して決定すべきである。各観測の継続時間の分の誤差は現在の計算では無視されている(これは数秒角程度で他の観測誤差より1桁小さい)。