

# Carrier Phase Multipath

Nobuaki Kubo

*Tokyo University of Marine Science  
and Technology*

# 概要

- 搬送波位相マルチパスの特徴について簡単にまとめた。
- **参考文献**は以下の通り。オハイオ大学のBrassch先生はマルチパスの基礎について多く執筆されています。

\* GPS Carrier-Phase Multipath Model Validation

(ION annual meeting 2003)

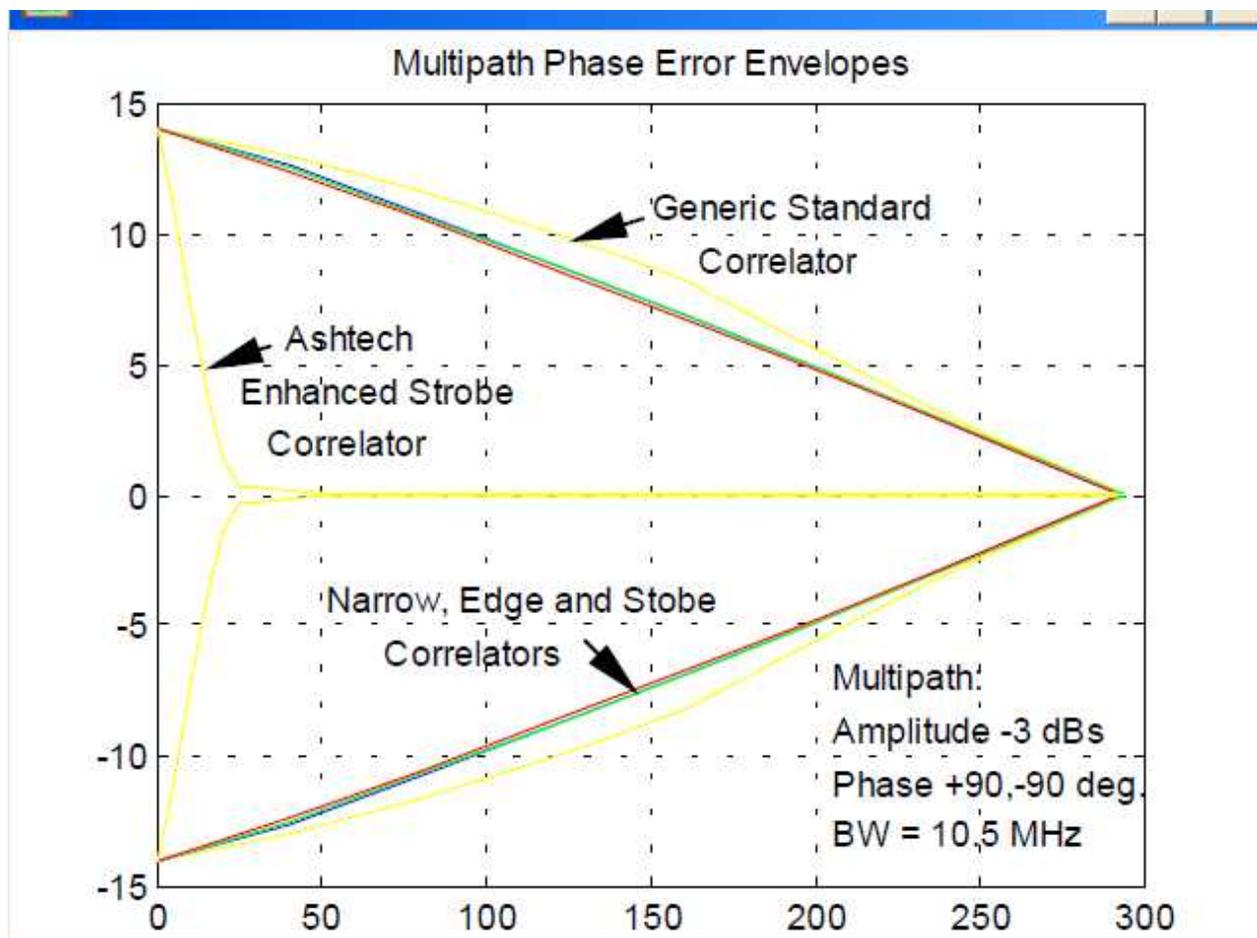
\* Influence of GPS Code Tracking on Carrier-Phase Multipath Performance

(IEEE Aerospace Conference Proceedings 2004)

\* UNDERSTANDING GPS (second edition)

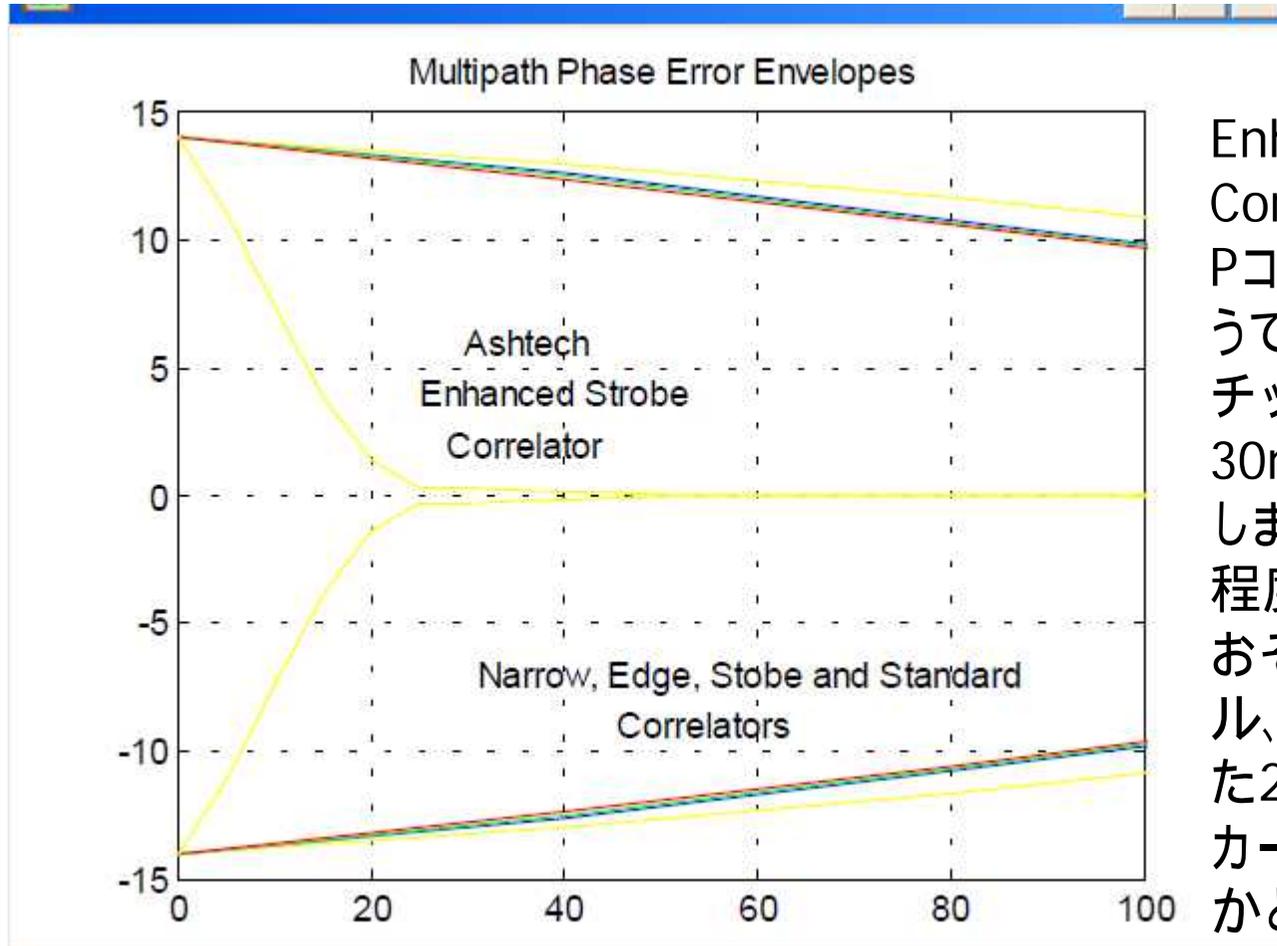
\* Enhanced Strobe Correlator Multipath Rejection for Code & Carrier (ION 1997)

# まず結論のEnvelopeから



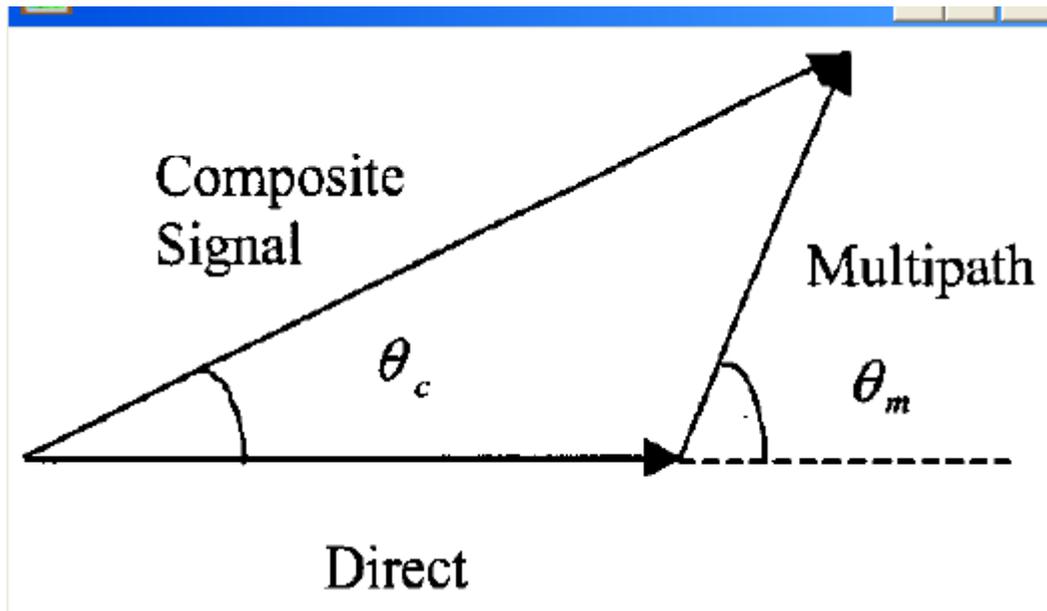
縦軸単位がmmとすると、-3dBはおかしいです。おそらく-6dBくらいかと、、、横軸はm。  
いずれにしても、搬送波位相のマルチパス誤差は遅延距離が非常に小さい領域から発生します。また1cm以上というのは、アンビギュイティ決定に影響の出てる誤差です。この誤差はあくまでも、最大、最小値です。

# 拡大バージョン (100mまで)



Enhanced Strobe Correlatorは、確かに軍用Pコードよりも良い性能のようです。Pコードの場合、チップレートが10MBのため、30m程度まで誤差が発生しますが、この図では25m程度となっています。おそらく、ノバテル、トリンプル、JAVAD、マゼランといった2周波高精度受信機メーカーの性能はこれと同程度かと。

# 搬送波位相マルチパス



左図が搬送波位相によるマルチパスの発生をイメージしやすいようです。

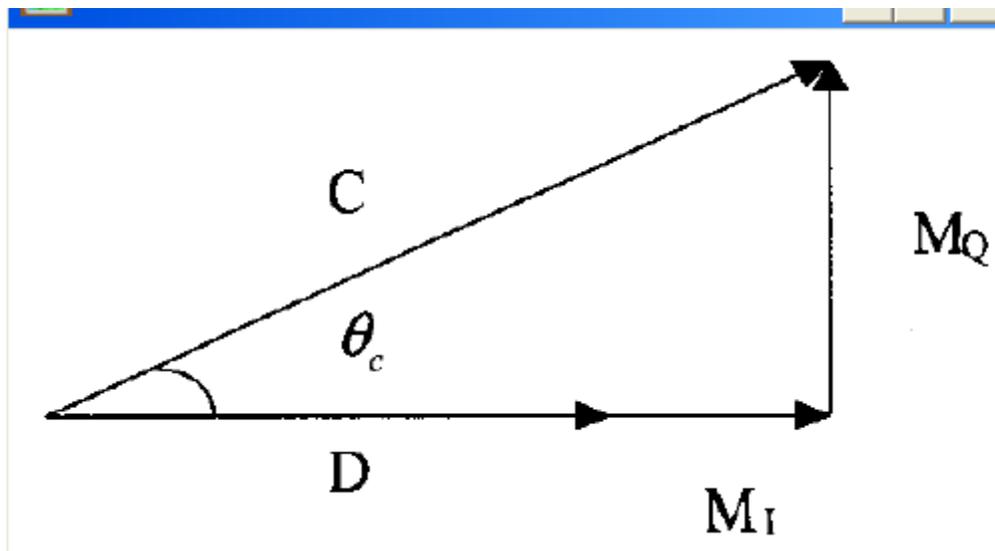
RはPRNコードの相関関数  
 $\tau_c$ はコードトラッキングのタイミング。

$\alpha$ は直接波に対する大きさ  
 $\delta$ はマルチパスの遅延距離

$$D = R(\tau_c)$$
$$M = \alpha R(\tau_c - \delta)$$

最終的には、 $\tau_c$ の誤差を生じている。マルチパスの大きさと遅延距離による位相差によって、この値が時々刻々変化することをイメージできる。

# さきほどの図を分解すると



マルチパス成分を $M_I$ と $M_Q$ に分解しています。

下の式のように、搬送波位相のマルチパス誤差  $\theta_c$  は、直接波とマルチパスを直接波の同位相成分、90度遅れた位相成分に分解したそれぞれの値より、計算されることがわかります。

$$\theta_c = \arctan\left(\frac{M_Q}{D + M_I}\right)$$

# さらに相関関数等まで含めると

$$\theta_c = \arctan\left(\frac{\alpha R(\tau_c - \delta)\sin(\theta_m)}{R(\tau_c) + \alpha R(\tau_c - \delta)\cos(\theta_m)}\right)$$

where

$\theta_m$  = phase of the multipath with respect to the direct,

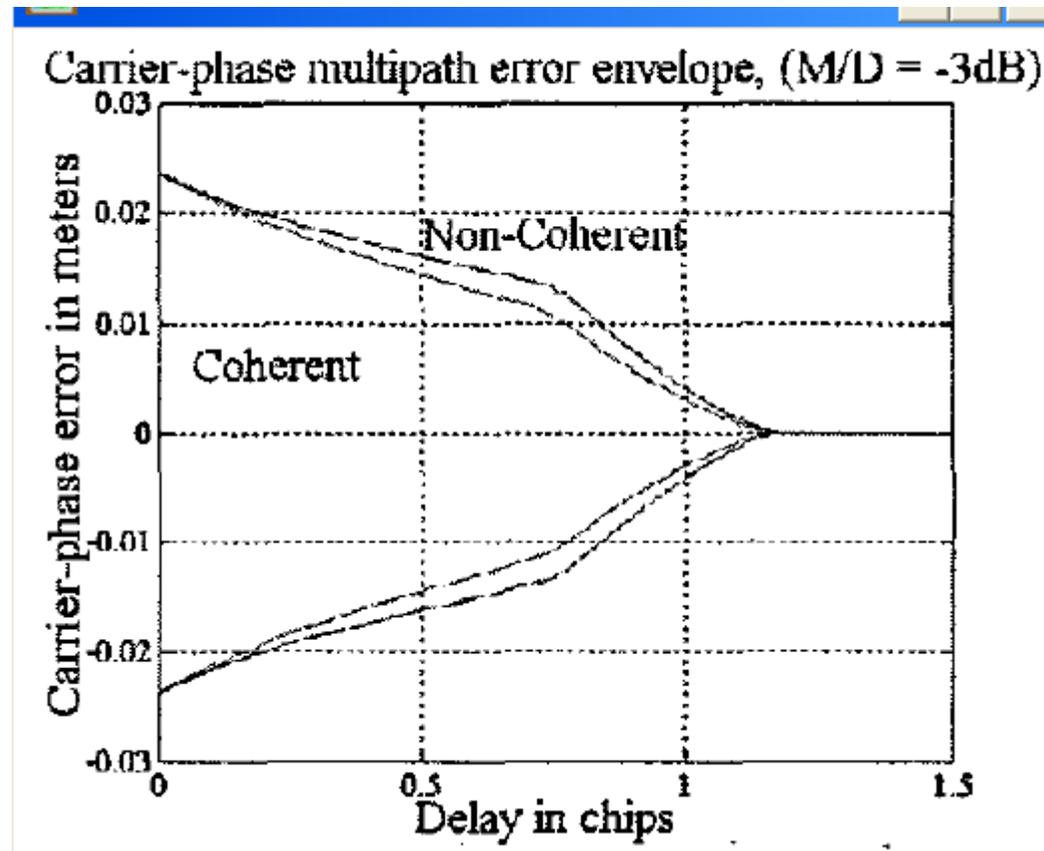
$\theta_c$  = composite phase tracking error,

$\tau_c$  = code tracking error in chips, and

$\delta$  = delay of the multipath with respect to the direct.

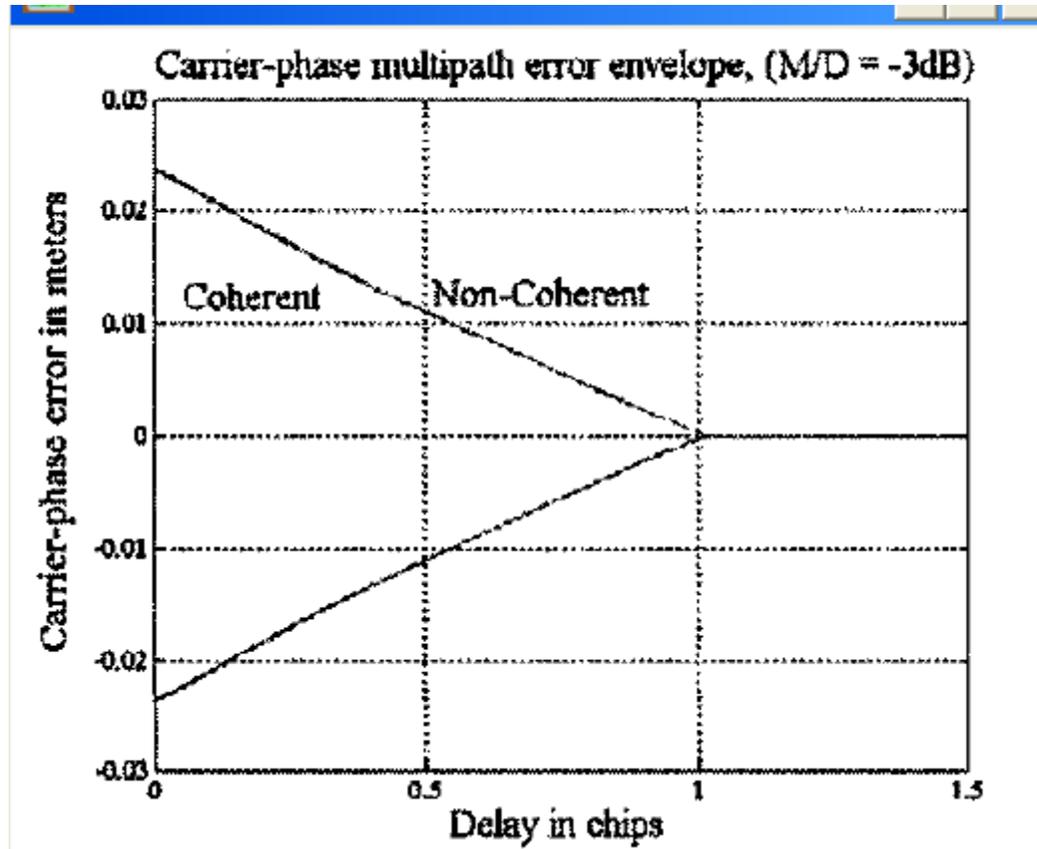
上式より、Envelopeを計算することができます。基本的に、 $\theta_c$ と  $\theta_m$ に依存しています。 $\theta_m$ が変化するとき、1波長で19cm程度(L1)となります。よって、コードのマルチパスと同様、ある条件では、SIN波のような誤差となります。直接波がマルチパスよりも大きいとすると、搬送波位相の最大誤差は  $\theta_m$ が90度のと看で、 $\theta_c$ を1として  $\theta_c = 45$ 度(1/4波長で4.8cm)となります。

# シミュレーション例



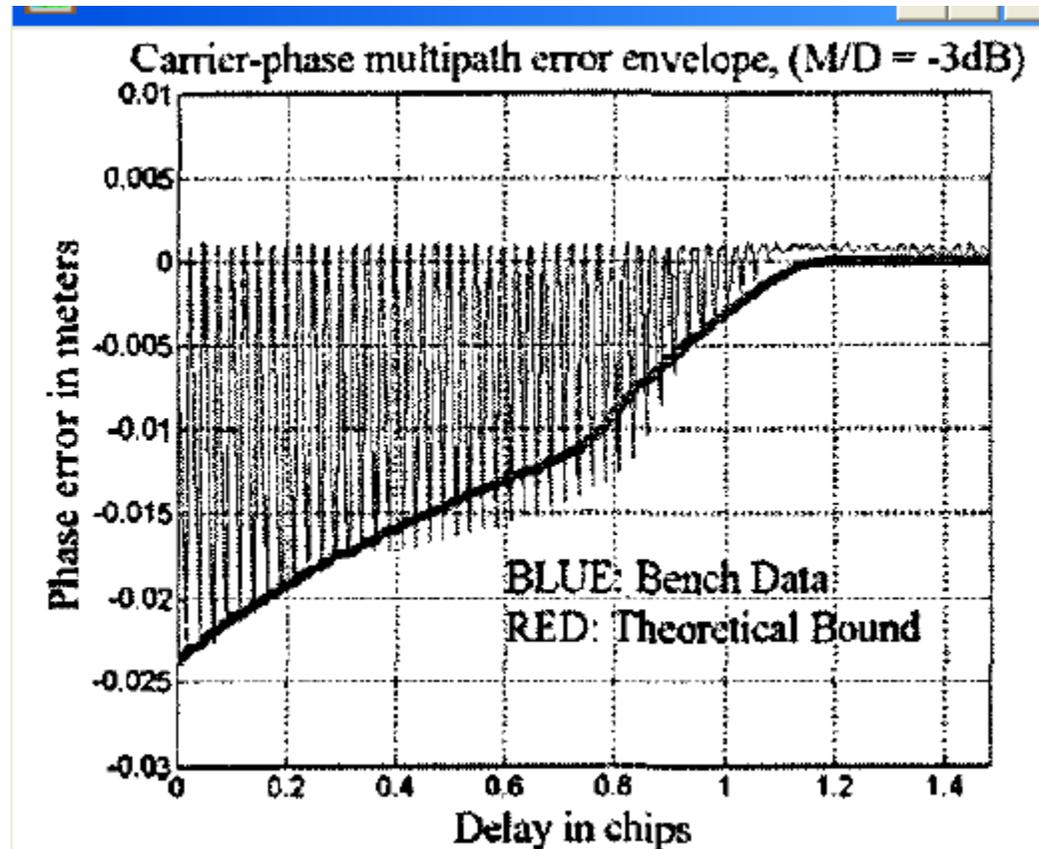
これは1チップの標準的なコリレータの場合。Coherentとは、キャリアをロックした状態でコードトラッキングを行っているモード。0.8チップ前後の遅延距離付近でやや膨らんでいることがわかります。

# シミュレーション例



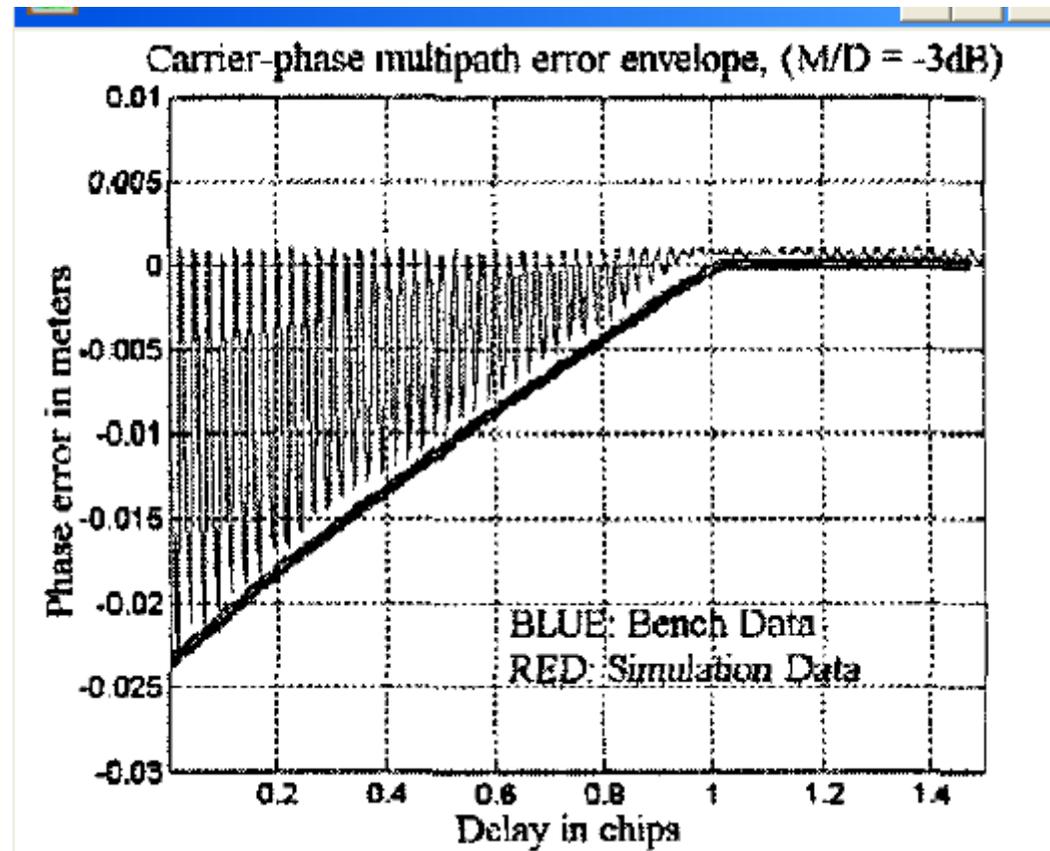
0.1チップのナローコリレータの場合。0.8チップ前後の遅延距離でやや膨らんでいた部分が見られないことがわかる。-3dBのマルチパスは非常に大きいため、誤差も非常に大きい。近接では最大2cmを超えている。

# ベンチテスト例



1チップの標準コリレータのケース。ノバテル受信機(チップ等可変)とSpirentのシミュレータを利用。シミュレーションとよく一致している。また遅延距離を徐々に増加させると、SIN波のような誤差になっていることがわかる。

# ベンチテスト例



0.1チップのナローコリレータのケース。ノバテル受信機(チップ等可変)とSpirentのシミュレータを利用。シミュレーションとよく一致している。

# まとめ

- 搬送波位相にマルチパス誤差は、下式より推定することができる。
- 受信機での低減手法としては、最初のEnhanced Strobe Correlatorで見たように、相関をとる時間を狭める方式が有効である (R自体を変更)。標準1チップの場合とナローコリレータでは擬似距離の場合ほど、大きな低減効果はないといえる。
- ただし、いずれの場合も、遅延距離の非常に短い近接障害物による影響は、擬似距離よりも大きいと思われる。

$$\theta_c = \arctan\left(\frac{\alpha R(\tau_c - \delta)\sin(\theta_m)}{R(\tau_c) + \alpha R(\tau_c - \delta)\cos(\theta_m)}\right)$$

where

$\theta_m$  = phase of the multipath with respect to the direct,

$\theta_c$  = composite phase tracking error,

$\tau_c$  = code tracking error in chips, and

$\delta$  = delay of the multipath with respect to the direct.