

# ソフトウェアGPS+SBAS受信 機の開発に関して

電子航法研究所 通信・航法・監視領域

近藤俊一郎

星野尾一明

# 項目

- 背景 (SBAS、電離層シンチレーション)
- ソフトウェア受信機
- 受信機の精度
- シンチレーション影響
- 今後の方針

# SBAS

- ICAO(国際民間航空機関)が規格化した広域ディファレンシャルGPS方式による補強システム
  - 大陸規模で有効な補強情報を静止衛星から放送。
  - GPSと同一のアンテナ、受信回路で補正情報やインテグリティ情報が得られる。
  
- MSAS
  - 昨年2月にMTSAT-1R(PRN129) 今年2月18日にMTSAT-2(PRN137)を打ち上げ、現在試験中。

# 電離層シンチレーション

- 電離層の局地的な不規則性によって、GPS信号の信号強度、位相が急激に変化する現象
- 受信機内でのサイクルスリップ
- GPSおよび補強システムの完全性(インテグリティ)、利用性(アベイラビリティ)、連続性(コンティニュイティ)に影響
- シンチレーションパラメータ
  - 位相分散  $\sigma_\phi$
  - 信号強度変化の分散  $S_4$

# 目的

- 電離層シンチレーションに対する受信機のロバスト性の確保
  - 電離層シンチレーションが及ぼす搬送波追尾への影響の推定
  - 搬送波追尾ループのフィルタ(雑音帯域幅)の調整
- GPS,SBAS対応のソフトウェア受信機の利用
  - バッチ処理による信号の解析
  - シンチレーションに対するロバスト性の検証
  - アルゴリズムの検討

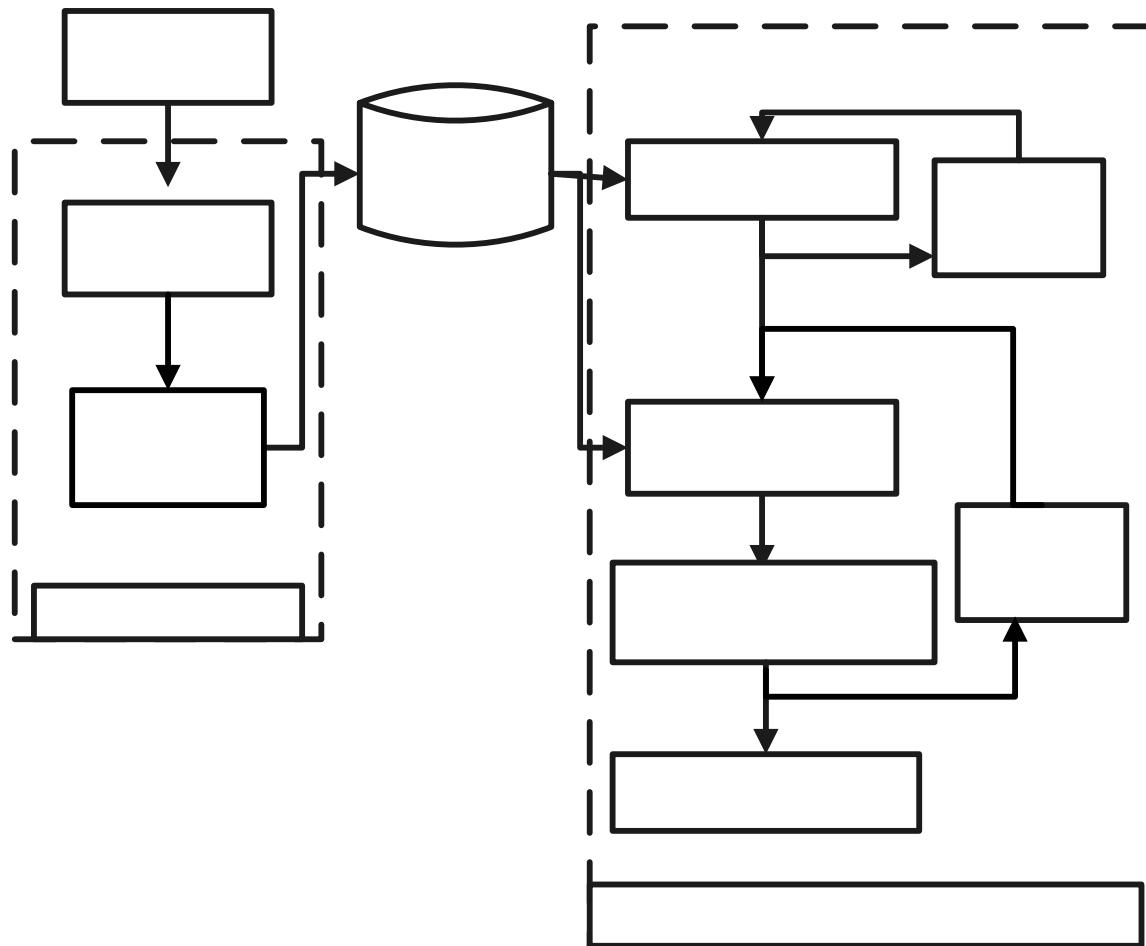
# ソフトウェア受信機

## ■ フロントエンド

- ダウンコンバータ
- ADコンバータ

## ■ 信号処理ソフトウェア (MATLAB)

- 信号捕捉
- 信号追尾
- 擬似距離測定
- 測位計算



# フロントエンド

## Dual Channel Downconverter (CRS社製)

周波数	1.57542GHz (L1) 1.2276GHz (L2)
IF (中間周波数)	13.991429MHz (L1) 13.60 (L2)
帯域幅	18MHz
ゲイン	65dB
REF 周波数	10MHz



## PCDAQ (アイダックス社製)

サンプリング周波数	最大105MHz
分解能	14bit
チャンネル数	4ch
収集容量	最大1.44TB



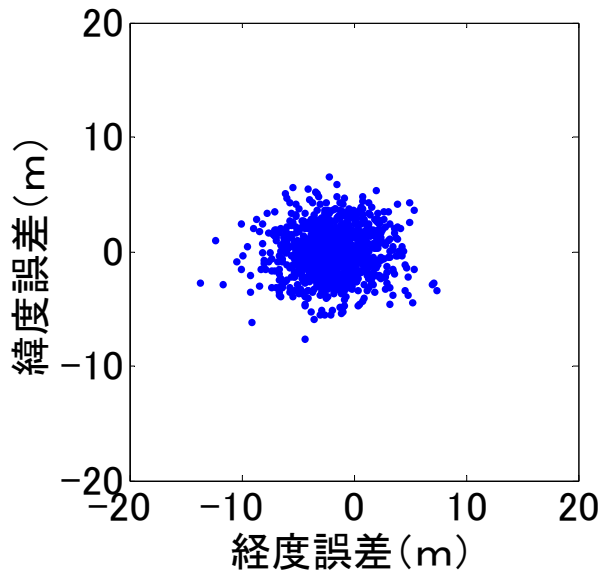
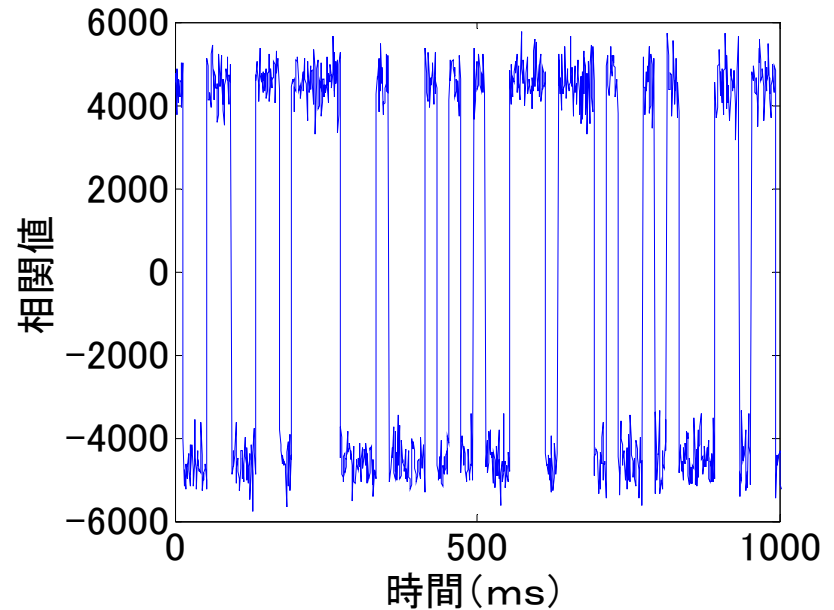
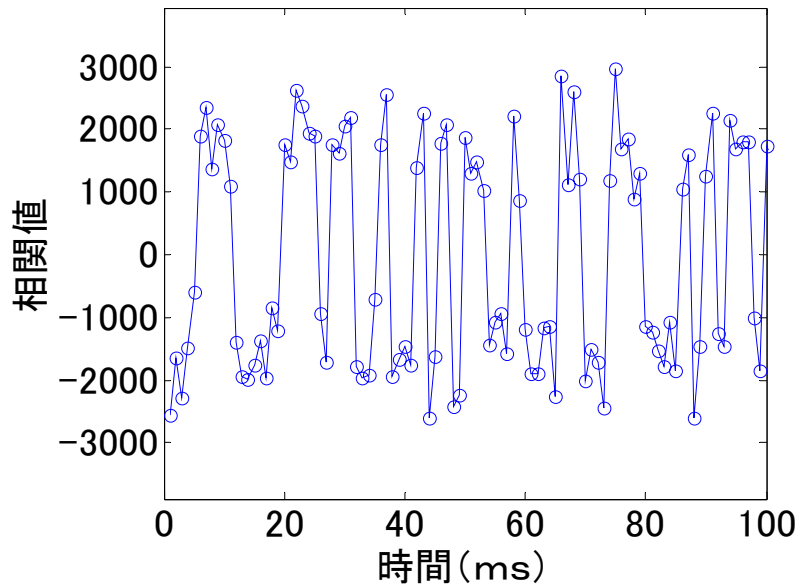
# 信号処理ソフトウェア

- 信号捕捉(Acquisition): FFTベース
- 信号追尾(Tracking)
  - コード追尾ループ: DLL
  - 搬送波追尾ループ: PLL FLL
- 測位計算: 単独測位(最小二乗法)

	GPS	SBAS
信号捕捉	L1CAのみ	PRN:129,134,137
信号追尾	L1CAのみ	PRN:129,134,137
Decoding 復号	L1CAのみ	追加予定
擬似距離測定	L1CAのみ	追加予定



# Performance



- 追尾ループ出力
- PRN14:46dB
- PRN134:40dB
- 単独測位結果
- 2drms:5~10m

# 信号追尾ループ

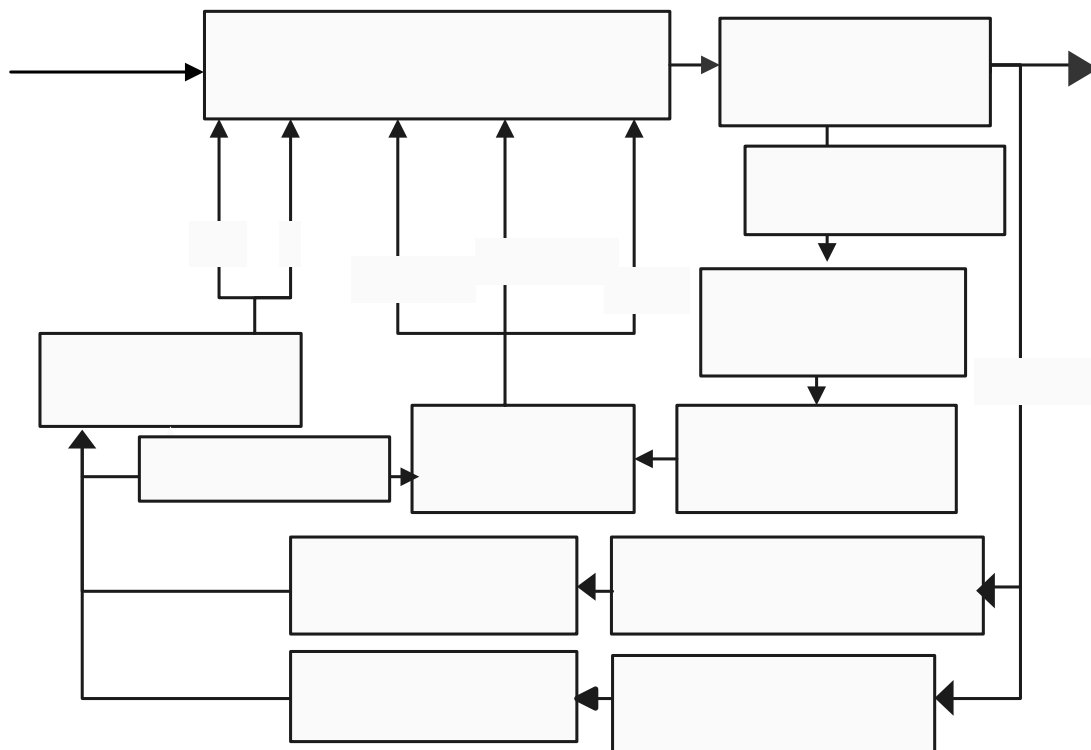
コード追尾ループ

DLL (2nd)

搬送波追尾ループ

PLL (3rd)

FLL (2nd)



# PLL loop filter (Kaplan, 1996)

$$F(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}$$

$$b_0 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{4} + \frac{a_3^{(0)} \omega_0^2 T_{coh}}{2} + b_3^{(0)} \omega_0$$

$$b_1 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{2} - 2b_3^{(0)} \omega_0$$

$$b_2 = \frac{T_{coh}^2 \omega_0^3}{4} - \frac{a_3^{(0)} \omega_0^2 T_{coh}}{2} + b_3^{(0)} \omega_0$$

$$a_3^{(0)} = 1.1 \quad b_3^{(0)} = 2.4 \quad \omega_0 = B_n / 0.7845$$

$\omega_0$  : 自然周波数     $T_{coh}$  : サンプルング間隔     $B_n$  : 雑音帯域幅

```
21 - Bn = 10*pi; %no
22 - W0=Bn/0.7845;
23 - Tcoh=1e-3;
24 - b0=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
25 - b1=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/2
26 - b2=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
```

```
21 - Bn = 18*pi; %nos
22 - W0=Bn/0.7845;
23 - Tcoh=1e-3;
24 - b0=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
25 - b1=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/2
26 - b2=Tcoh*Tcoh*W0*W0*W0/4
```

# 電離層シンチレーション

- 位相分散  $\sigma_\phi$
- 信号強度変化の分散  $S_4$

$$\sigma_{\phi_s} = \sqrt{E\langle\phi^2\rangle}$$

$$S_4 = \sqrt{\frac{E\langle SI^2\rangle - E\langle SI\rangle^2}{E\langle SI\rangle^2}}$$

$E\langle \rangle$  : 期待値     $\phi$  : 搬送波位相     $SI$ : 信号強度

シンチレーション クラス	S4 at L1	$\sigma_\phi$ (rad) at L1
強	$\geq 1.0$	$\geq 0.8$
中	0.7-0.75	0.4
弱	0.4-0.5	0.15
微弱	$\leq 0.1$	$\leq 0.05$

# シンチレーションの影響 (1/2)

## ■ ジッター

$$\sigma_{\phi\varepsilon}^2 = \sigma_{\phi s}^2 + \sigma_{\phi T}^2 + \sigma_{\phi,osc}^2$$

$$\sigma_{\phi T}^2 = \frac{B_n}{c/n_0(1-S_4^2)} \left( 1 + \frac{1}{2\eta c/n_0(1-2S_4^2)} \right)$$

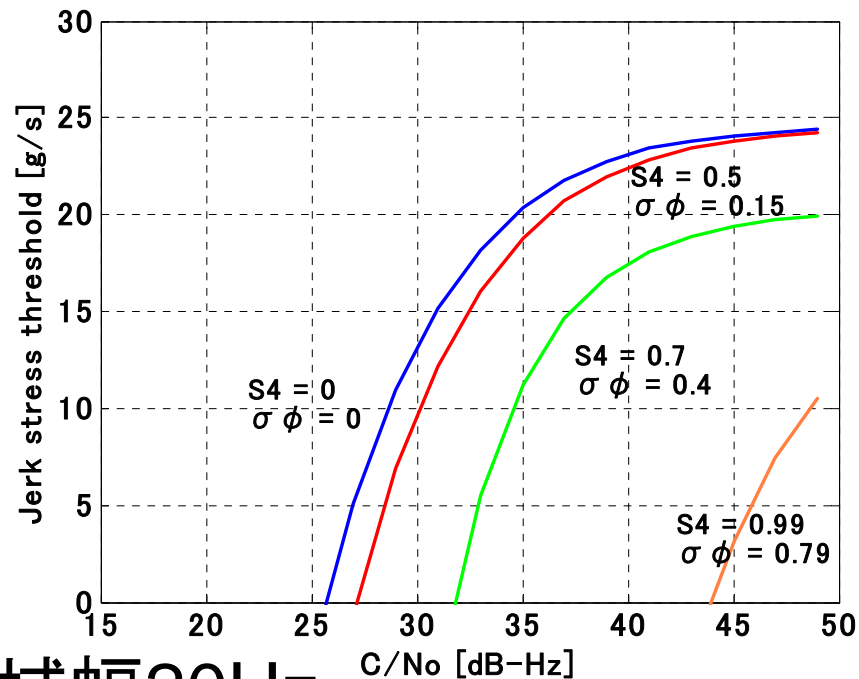
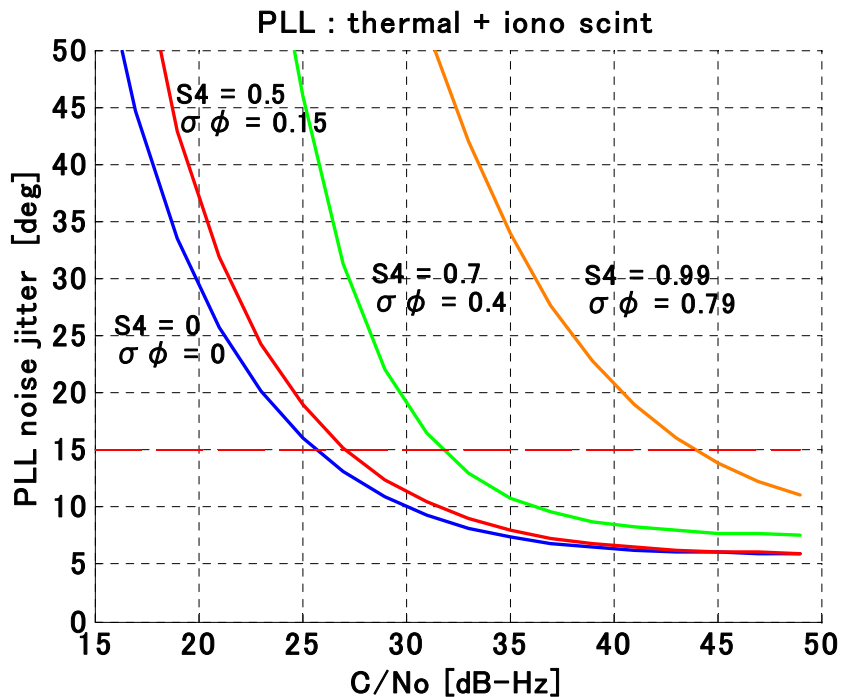
## ■ サイクルスリップの平均時間

$$\bar{t} = \frac{\pi^2}{800\sigma_{\phi\varepsilon}^2 B_n} I_0^2 \left( \frac{1}{4\sigma_{\phi\varepsilon}^2} \right)$$

## ■ ダイナミックストレスの上限

$$D_{thre} = \frac{B_n^3}{0.4828} (45 - 3\sigma_{\phi\varepsilon}) \quad [m/s^3]$$

# シンチレーションの影響 (2/2)



雑音帯域幅20Hz

ジッタの軽減には狭帯域  
ダイナミックストレスには広帯域

# まとめ

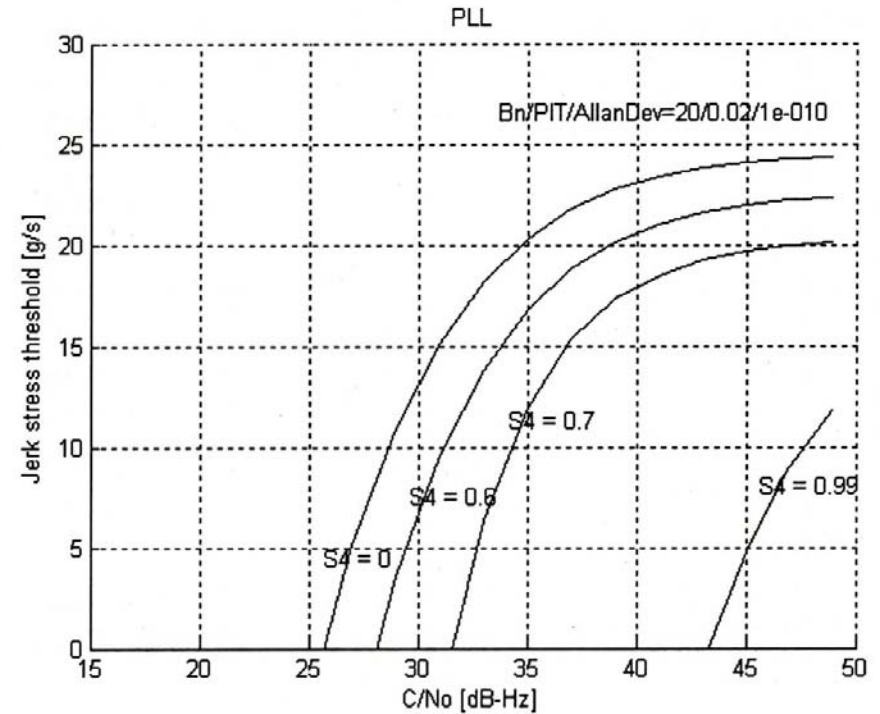
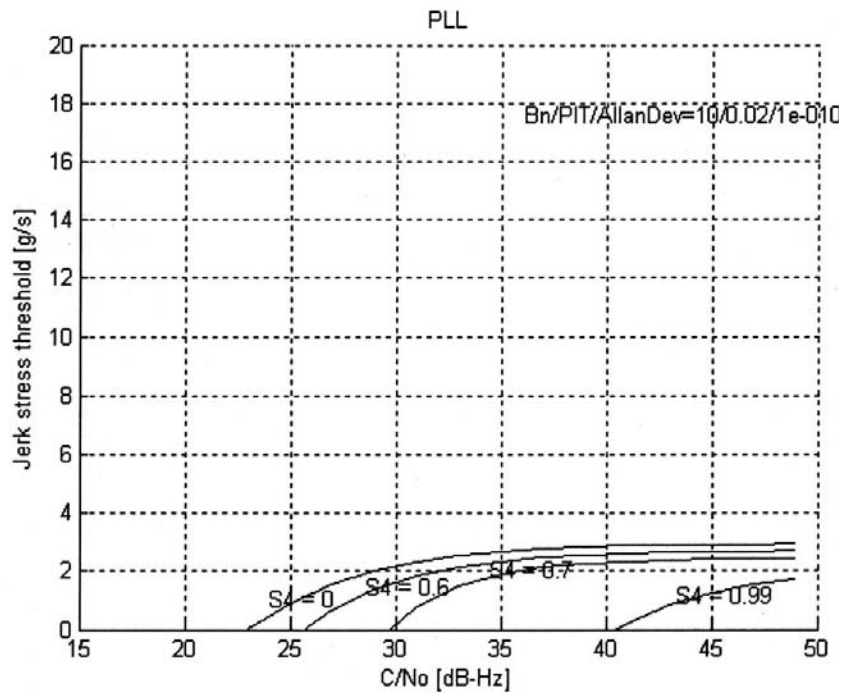
- ソフトウェア受信機によるシンチレーションへのロバスト性の検証は可能
- 精度の評価を行うには残ったSBASモジュールの製作が必要
- ダイナミックストレス(衛星-受信機間)、シンチレーションの最大値を考慮し、最適化な帯域を推定

# 今後の方針

- 雑音帯域幅の調整
- 雑音帯域幅の可変型アルゴリズム
- 実測もしくはシミュレータによってシンチレーション信号を取得
- 信号解析によりロバスト性の検証



# Jerk dynamic stress at threshold



# PLL Jitter noise as a function of CN0

