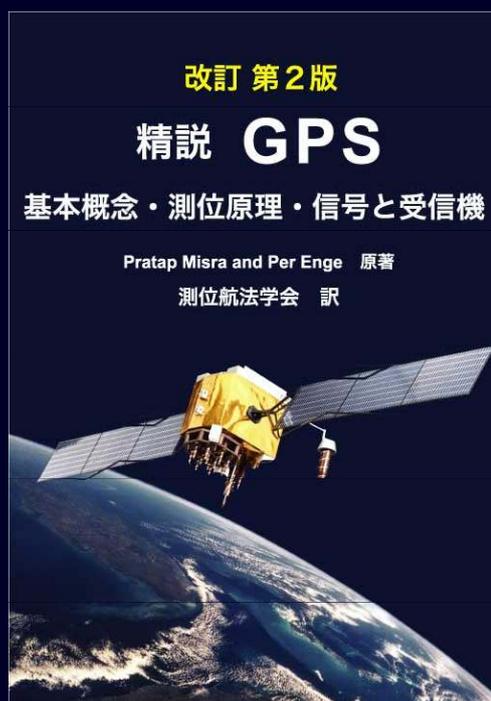


測位航法学会 平成22年度全国大会  
精説GPS第2版セミナー

# 精説GPS 第9章 GPS信号

 東京海洋大学 高須知二



## 第9章 GPS信号

### 目次

- 9.1 L1民生用信号
- 9.2 自己相関
- 9.3 相互相関とチャンネル共有
- 9.4 最大長線形シフトレジスタ系列
- 9.5 長さ31と1023のゴールドコード
- 9.6 電力スペクトル密度
- 9.7 狭帯域無線周波数干渉
- 9.8 L1とL2におけるP(Y)コード
- 9.9 GPSの新しい民生用信号
- 9.10 BOC信号
- 9.11 まとめ

# GPS信号: 時間領域表現

9.1.1

$$\begin{aligned}
 L1 \quad S_{L1}(t) &= \sqrt{2P_{C1}} D(t) x(t) \cos(2\pi f_{L1} t + \theta_{L1}) && \text{民生用信号} \\
 &+ \sqrt{2P_{Y1}} D(t) y(t) \sin(2\pi f_{L1} t + \theta_{L1}) && \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{軍用信号} \\
 L2 \quad S_{L2}(t) &= \sqrt{2P_{Y2}} D(t) y(t) \sin(2\pi f_{L2} t + \theta_{L2})
 \end{aligned}$$

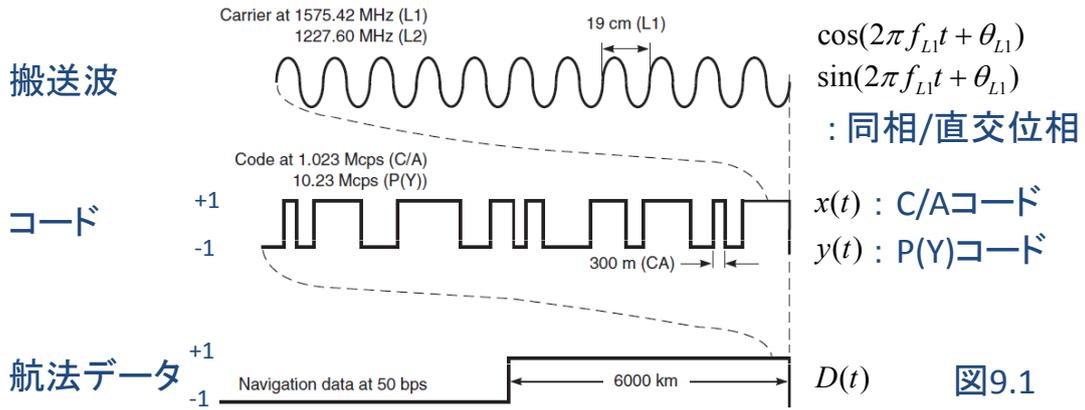


図9.1

3

# GPS信号: 搬送波

9.1.1

$$\begin{aligned}
 f_{L1} &= 1575.42 \text{ MHz} & \lambda_{L1} &= f_{L1} / c \approx 19 \text{ cm} \\
 f_{L2} &= 1227.60 \text{ MHz} & \lambda_{L2} &= f_{L2} / c \approx 24 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

長波    中波    短波    超短波    極超短波    センチ波

	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	
$\lambda$	10 km	1 km	100 m	10 m	1 m	0.1 m	1 cm
$f$	30 kHz	300 kHz	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz

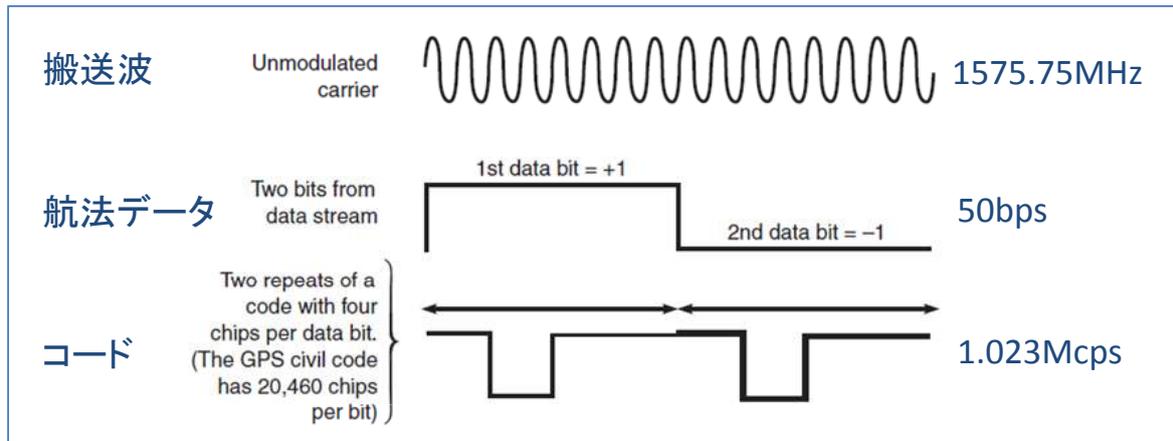


図9.2

4

# GPS信号: 変調

9.1.1



L1C/A

Carrier modulated by code and navigation data



図9.3

**BPSK (Binary Phase Shift Keying/二位相偏移変調)**

# GPS信号: 振幅スペクトル

9.1.2

$$L1C/A : \mathcal{F} \left\{ \sqrt{2P_{C1}} x_1(t) \cos(2\pi f_{L1}t) \right\} = \sqrt{\frac{P_{C1}}{2}} X_1(f - f_{L1}) + \sqrt{\frac{P_{C1}}{2}} X_1(f + f_{L1})$$

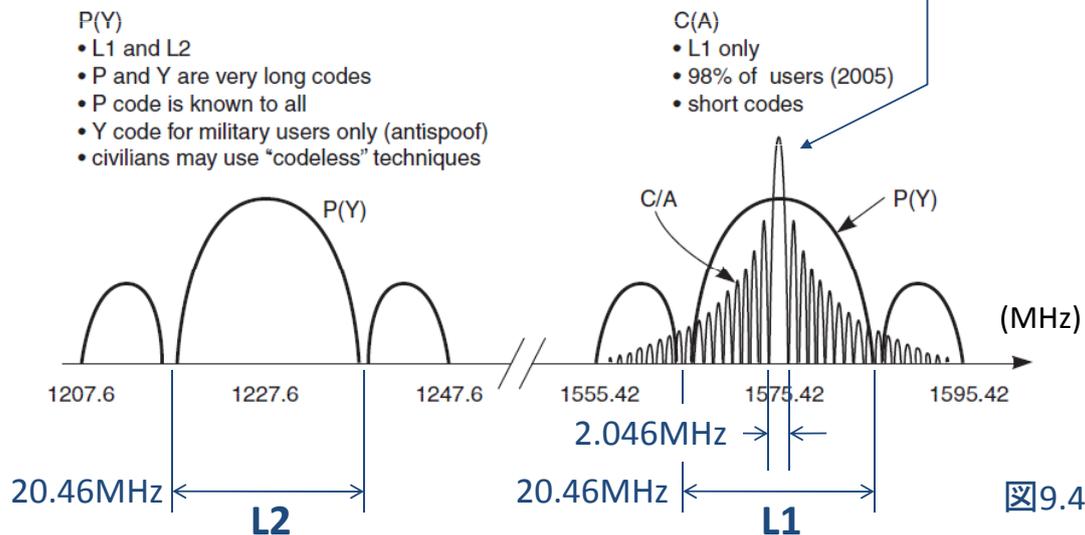
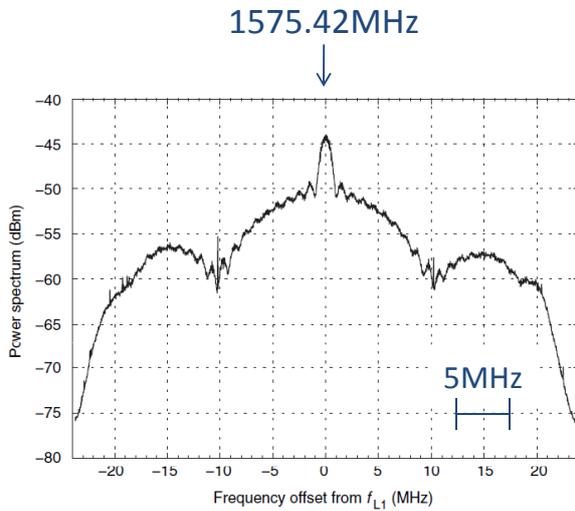


図9.4

# GPS信号: 電力スペクトル

9.1.2



L1受信信号電力  
(2003年2月 PRN31) 図9.5



米スタンフォード大  
46 mφパラボラアンテナ  
(www.insidegnss.com)

7

# GPSコード: 自己相関 (1)

9.2

自己相関関数: 
$$R(\tau) = \frac{1}{T_{code}} \int_0^{T_{code}} x^{(k)}(t)x^{(k)}(t-\tau)dt$$

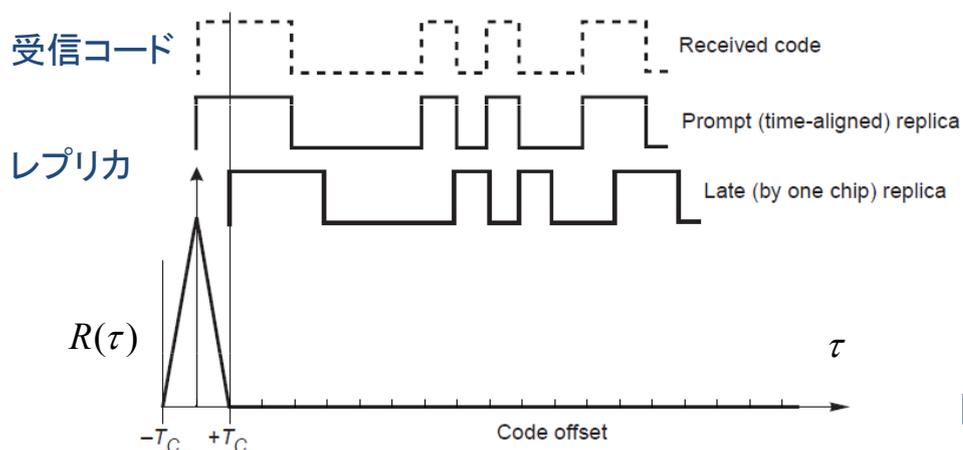
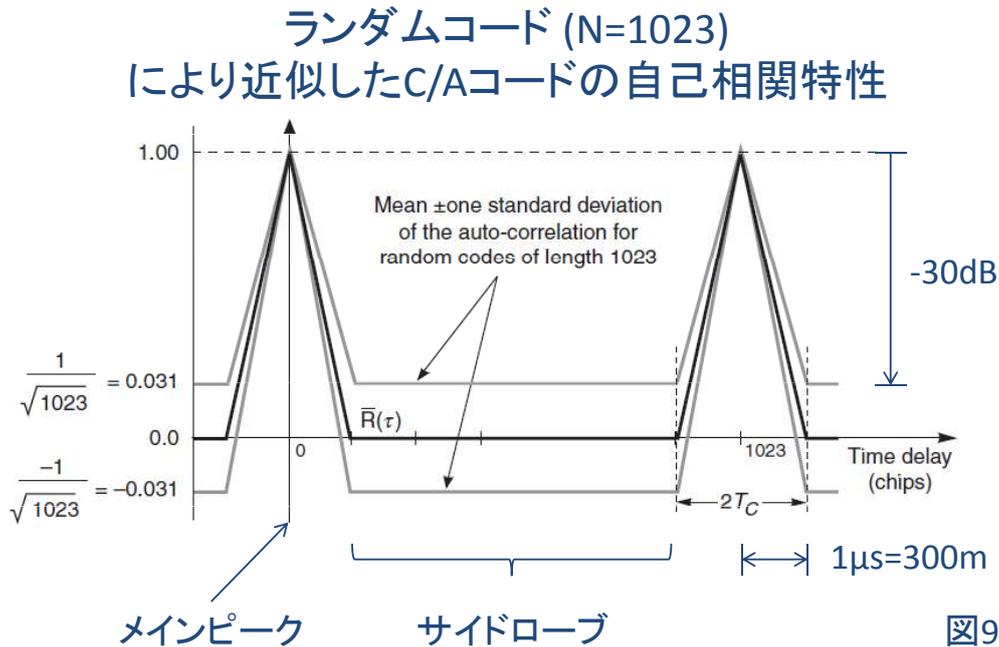


図9.6

$T_{code}$  : コード周期=1ms  $T_c$  : チップ幅=1μs (C/Aコード)

8



- 測距精度 (C/Aコード)

- チップ幅=1 $\mu\text{s}$   $\rightarrow$  300m、測定精度: 0.1%  $\rightarrow$  0.3m
- マルチパスの除去

$$\sigma_{\Delta r} = cT_C \sqrt{\frac{1}{4TC/N_0}} \quad T_C : \text{チップ幅}$$

$T$  : 平均化時間  $C/N_0$  : 信号雑音比

- 信号捕捉

- 受信機におけるコードの初期同期
- 雑音下での信号捕捉
- メインピーク/サイドローブ比はコード長に依存 (C/Aコード:  $N=1023 \rightarrow \sim 30\text{dB}$ )

# GPSコード: 相互相関

9.3

相互相関関数: 
$$R^{(k,l)}(\tau) = \frac{1}{T_{code}} \int_0^{T_{code}} x^{(k)}(t)x^{(l)}(t-\tau)dt$$

- 相互相関サイドローブ～自己相関サイドローブ
  - C/Aコード: N=1023 → ~30dB
- チャンネル共有
  - コードによる衛星の識別
  - 同一周波数による同時送信
- CDMA: 符号分割多元接続
  - FDMA: 周波数分割多元接続 (GLONASS)
  - TDMA: 時分割多元接続

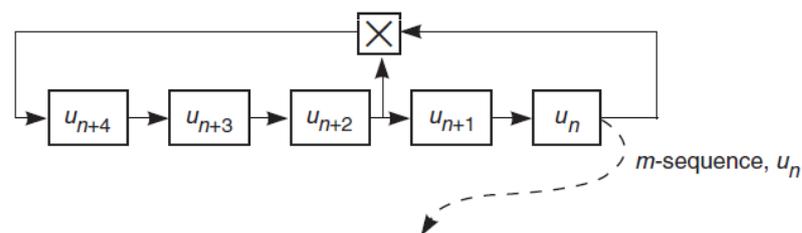
11

# GPSコード: 生成 (1)

9.4

- PRN (擬似ランダム雑音) コード

M系列 (最大長線形シフトレジスタ系列)  
 $N=2^n-1$



{-1, 1, 1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1}

M系列を生成する線形帰還シフトレジスタの例  
(コード長: N=31)

図9.9

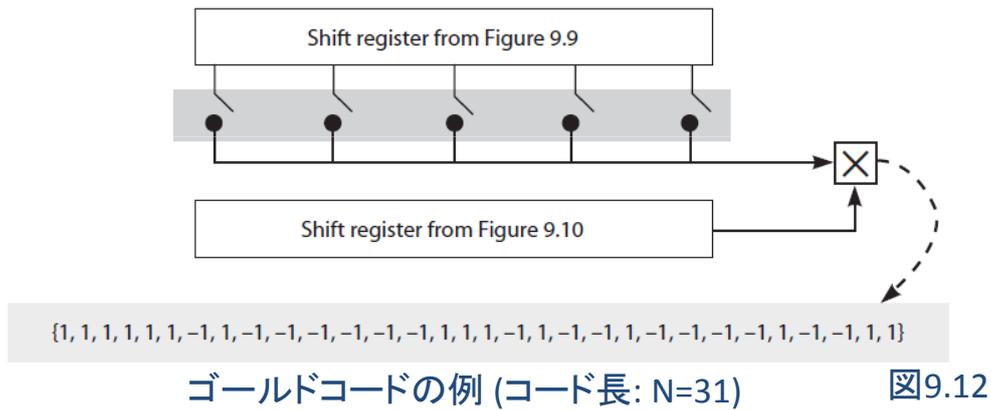
12

# GPSコード: 生成 (2)

9.4

- ゴールドコード (ゴールド系列)

長さNのM系列ペアの組み合わせ  
→ ゴールドコードN+2個のファミリー



13

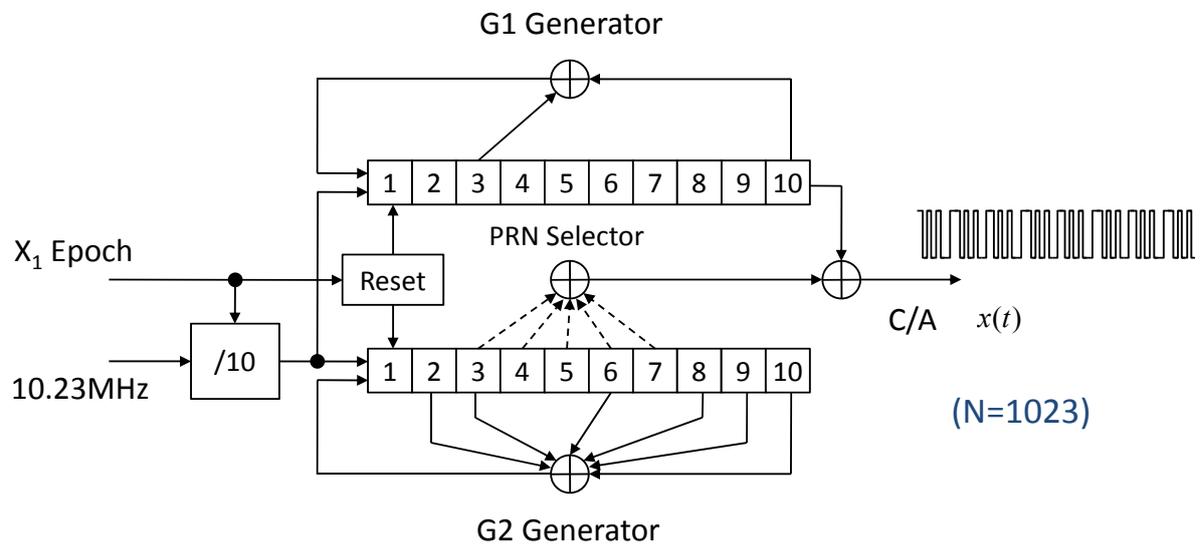
# GPSコード: 生成 (3)

9.4

C/Aコード生成器ブロック図

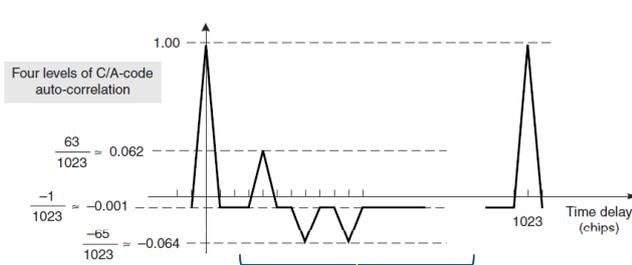
$$G_1 = X^{10} + X^3 + 1$$

$$G_2 = X^{10} + X^9 + X^8 + X^6 + X^3 + X^2 + 1$$



14

## C/Aコード自己相関

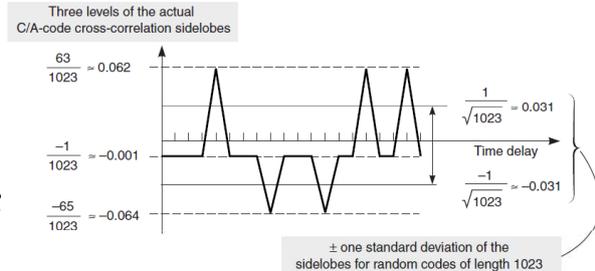


自己相関サイドローブ 図9.14

$$R^{(k)}(\tau = iT_C) \in \left\{ 1, \frac{-1}{N}, \frac{-\beta(n)}{N}, \frac{\beta(n)-2}{N} \right\}$$

$$\{1, -1/1023, -65/1023, 63/1023\}$$

## C/Aコード相互相関



相互相関サイドローブ 図9.15

$$R^{(k,l)}(\tau = iT_C) \in \left\{ \frac{-1}{N}, \frac{-\beta(n)}{N}, \frac{\beta(n)-2}{N} \right\}$$

$$\{-1/1023, -65/1023, 63/1023\}$$

# GPSコード: コードスペクトル

$$|X_1(f)| = |T_C \text{sinc}(\pi T_C f)| \sqrt{N} |X_{code}(f)|$$

$$X_{code}(f) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^N x_n \exp(-j2\pi f n T_C)$$

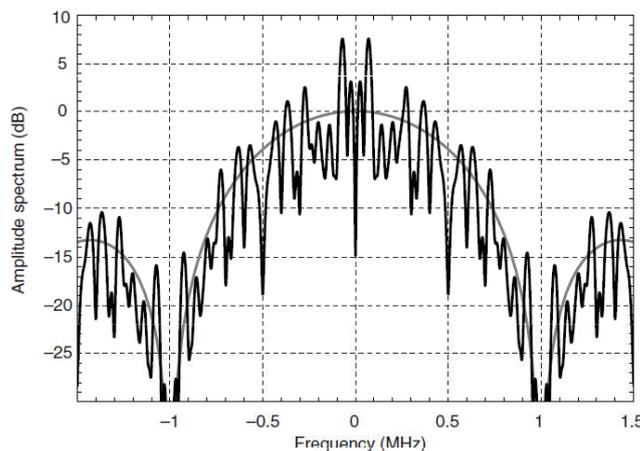


図9.17

ゴールドコード (コード長: N=31) の振幅スペクトル

# 狭帯域RFI (1)

9.7

- 無線周波数干渉 (RFI)
  - パルス
  - 連続波: 広帯域RFI
  - 連続波: 狭帯域RFI (トーン干渉)
- 相関処理 (逆拡散)
  - 干渉波電力の拡散
  - 信号対干渉波電力比の改善
  - 処理利得 (Processing Gain):

$$PG = \frac{B_{code}}{B_{data}} = \frac{T_B}{T_C} \quad PG > 20\text{dB (C/Aコード)}$$

17

# 狭帯域RFI (2)

9.7

## 狭帯域RFIに対する相関処理の影響

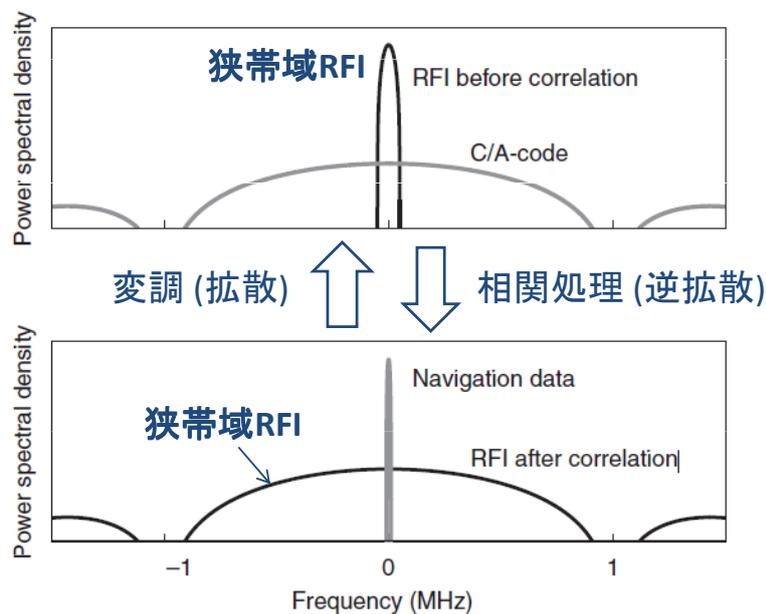


図9.19

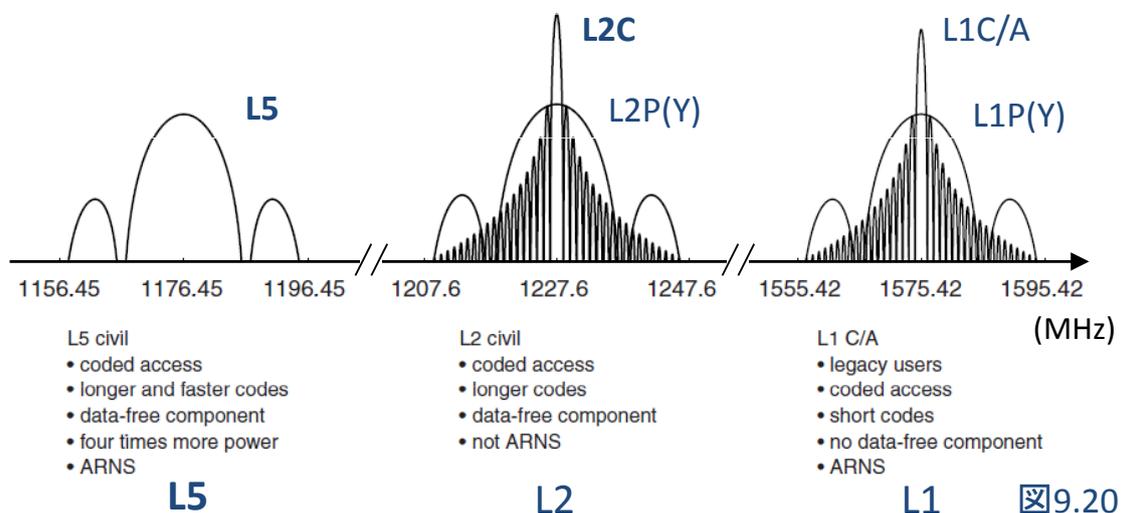
18

- 軍用コード
  - Pコード (公開)
  - Yコード (暗号化/非公開、1994年1月～)
  - AS (Anti-Spoofing、欺瞞防止)、なりすましの防御
- コード特性
  - チップレート: 10.23 Mcps
  - 帯域幅: 20.46 MHz (ヌル間帯域幅)
  - コード長: 38週→37個の部分コード
  - コード同期補助が必要 (C/Aコード+航法データ)

# 新しい民生用信号

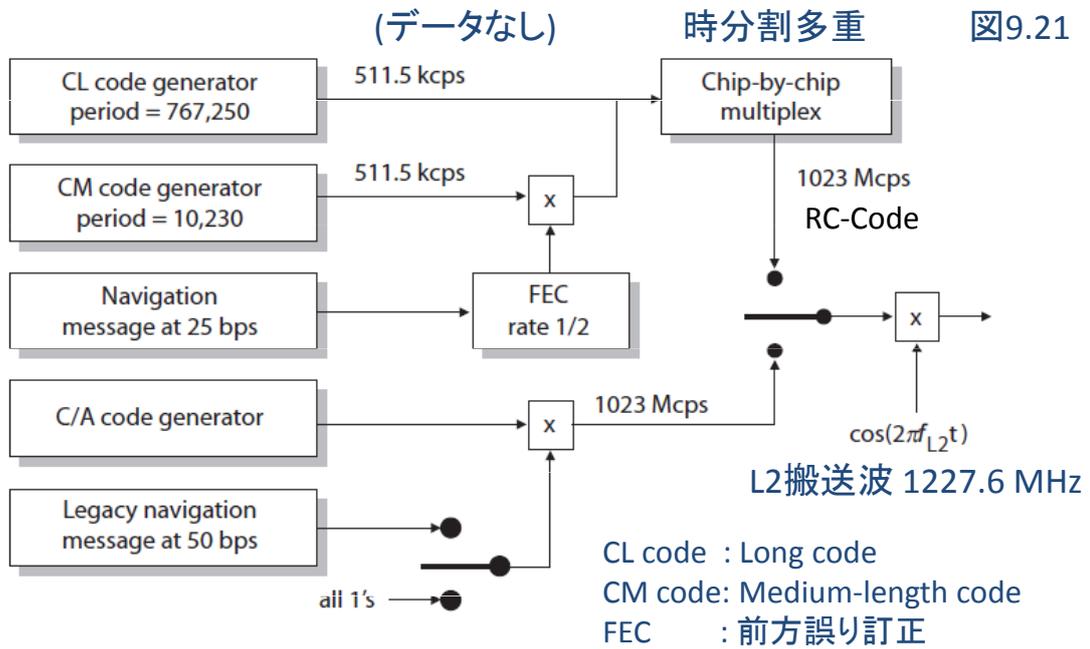
L2C: Block IIR-M～ (2005年9月～)

L5 : Block IIF～ (2010年5月～)



# L2C信号: 生成器

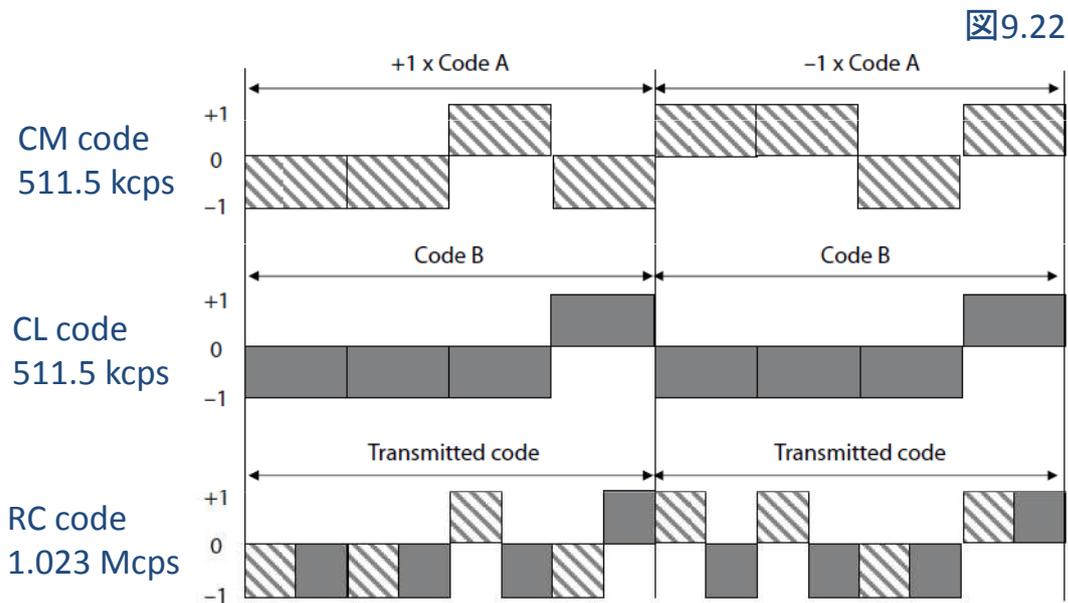
9.9.1



21

# L2C信号: 時分割多重

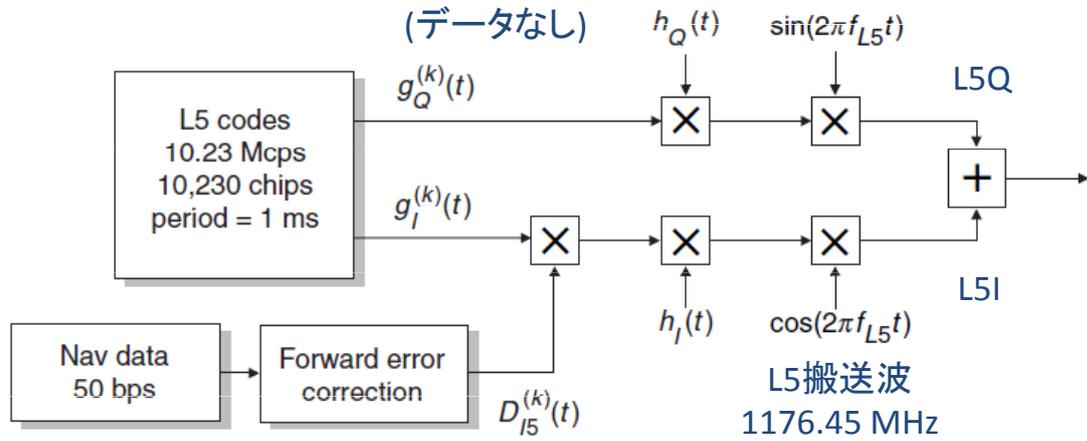
9.9.1



22

# L5信号: 生成器

9.9.2



$h_Q(t), h_I(t)$ : ノイマン-ホフマン (N-H) コード

図9.23

# L5信号: N-H コード

9.9.2

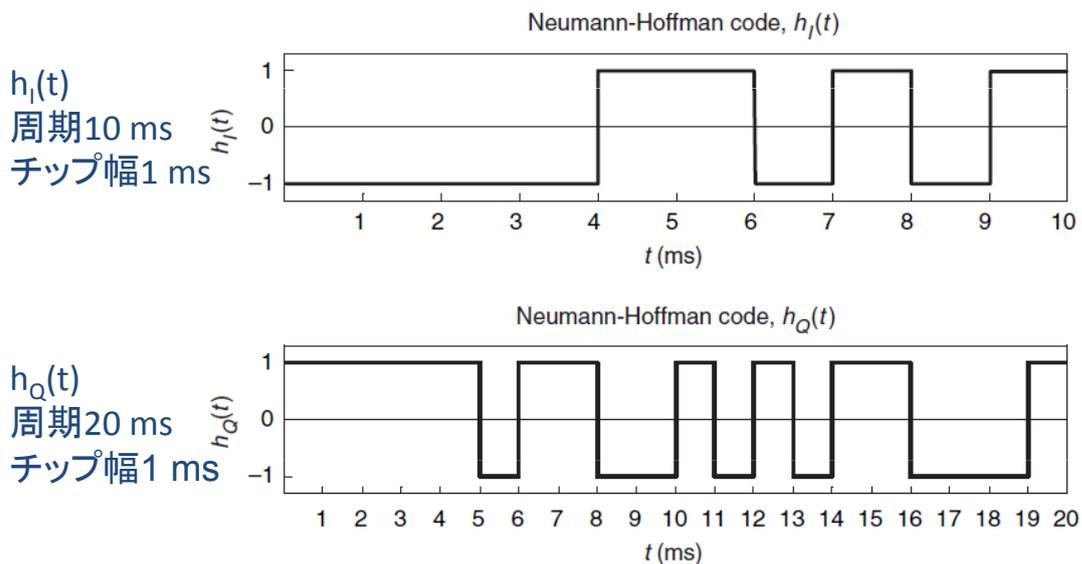


図9.24

# BOC信号 (1)

9.10

BOC( $\alpha, \beta$ )

$\alpha$ : サブキャリア周波数,  $\beta$ : チップレート  
(1.023Mcps単位)

BOC(10,5)  
の例

( $T_C = 1/5.115M$ )

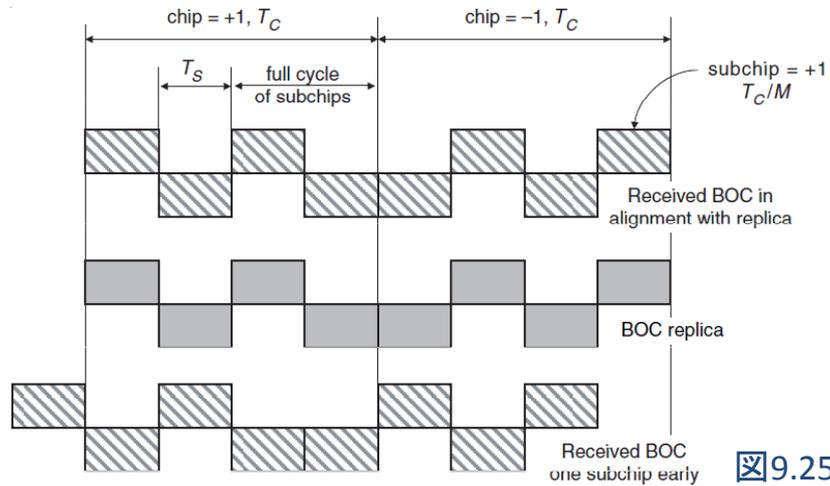


図9.25

25

# BOC信号 (2)

9.10

BOC(1,1)とC/Aコード  
の電カスペクトル

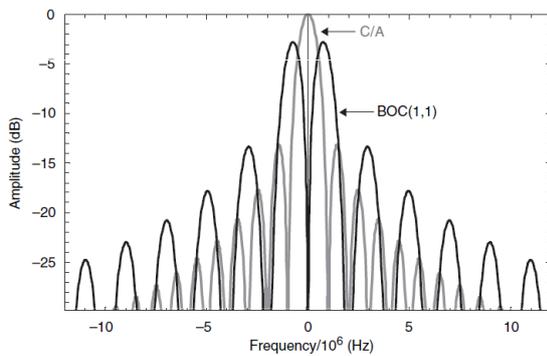


図9.26

BOC(0.5,0.25)とC/Aコード  
の自己相関関数

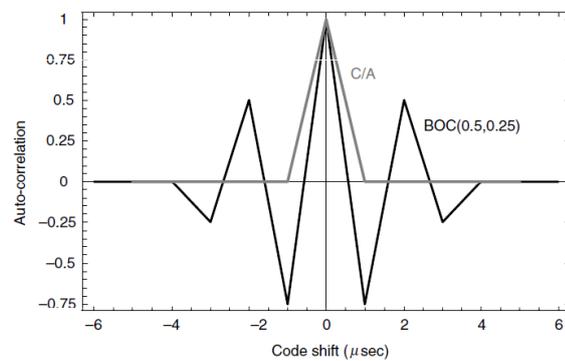


図9.28

26

表9.1

GPS信号	L1 C/A	L1/L2 P(Y)	L2C	L5
相対電力	0 dB	-3 dB	0 dB	+4 dB
チップレート	1.023Mcps	<b>10.23 Mcps</b>	1.023 Mcps	<b>10.23 Mcps</b>
RFI耐性	0 dB	> 7 dB	0 dB	> 14 dB
コード長 (chip)	1023	P: 1週間	CM: 10,230 CL:767,250	I: 102,300 Q: 204,600
航法データ なし	不可	不可	可 時分割	可 同相・直交
エラー訂正	不可	不可	可	可

27

## まとめ

- **スペクトル拡散信号**
  - PRN (擬似ランダム雑音) コード
  - 周波数帯域の拡散
  - 自己相関・相互相関特性
  - CDMA
- **GPS信号種別**
  - 民生用信号: L1C/A
  - 軍用信号: L1P(Y), L2P(Y)
  - 新しい民生用信号: L2C, L5
  - BOC信号
- **無線周波数干渉 (RFI) 耐性**

28