

特異値分解による特徴ベクトルを利用した心電図T波オルタナンス検出手法の提案

歸山, 薫 / KAERIYAMA, Kaoru

(発行年 / Year)

2010-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2010-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

P377.3
M34
2009-12

2009年度 修士論文

特異値分解による特徴ベクトルを利用した
心電図T波オルタナンス検出手法の提案

指導教授 八名 和夫 教授

法政大学大学院工学研究科
情報電子工学専攻修士課程

カエリヤマ カオル

08R4112 歸山 薫



Abstract

This paper proposes a noble method for detecting T-wave alternans (TWA) based on 3-channel Holter ECG data. The method is intended to be the core of realizing an accurate and efficient TWA detection system based on the data acquired under non-controlled common daily activity. The method utilizes singular value decomposition (SVD) for highly sensitive differentiation of T-wave morphology in noisy recording conditions. SVD has been adopted for detecting the precise T-wave morphology change in the noisy Holter recording condition. We call T-wave morphology change found by the SVD, T-wave Vector Alternans (TWVA), which is the key notion in the proposed method. The method has been applied to ten normal subjects and ten subjects with TWA to confirm its validity. The method will be a useful tool to extract an extra important diagnostic index from the popular Holter ECG recordings.

目次

序論	4
第1章 特異値分解	6
1.1 特異値分解	6
1.2 入力基底となる正規直交行列	7
1.3 特徴空間	8
1.4 出力基底となる正規直交行列	9
第2章 基線変動除去	10
第3章 T波切り出し	13
第4章 解析手法	14
4.1 U を用いたTWA検出手法	15
4.2 V を用いたTWA検出手法	16
第5章 使用データ	18
第6章 解析結果	19
6.1 U を用いたTWA検出手法	19
6.2 V を用いたTWA検出手法	70
第7章 考察	121
7.1 U を用いたTWA検出手法	121
7.2 V を用いたTWA検出手法	123
結論	125

謝辭

126

序論

本論文では, 3誘導 (X,Y,Z) ホルター心電計より得られた心電図から心臓突然死の予測現象である T波オルタナンスを検出する新手法を提案する.

現在, アメリカにおいて年間 70 万人近くが心臓の心筋に十分な血液が供給されないために生じる冠状動脈性心臓病 (Coronary Heart Disease : CHD) で亡くなっており, そのうちの半分を心臓突然死 (Sudden Cardiac Death : SCD) が占めるとされている [1]. 日本においても SCD が年間 3 万件以上起きているとされており, また年々増加傾向にあり全世界において SCD が社会的問題となっている. SCD の主たる原因が心室細動 (Ventricular fibrillation : Vf) などの致死性不整脈であり, その救命には自動体外式除細動器 (Automated External Defibrillator : AED) などによる電氣的除細動しかない. さらに, 電氣的除細動による救命率は, 心臓が停止してから 1 分経過ごとに 7~10% ずつ低下するとされているため, 心停止が起こってからでは救命が困難である. そのため, 早期発見することで植え込み型除細動器 (Implantable Cardioverter Defibrillator : ICD) などを用いた予防をすることが極めて重要と考えられる.

これまでに SCD の予測現象として代償性休止期 (Compensatory Pause : CP) を伴う心室期外収縮 (Premature Ventricular Contraction : PVC) が出現した直後の同調律の変動現象であるハートレートタービュランス (Heart Rate Turbulence : HRT)[2], 心室筋の活動電位持続時間 (Action Potential Duration : APD) の平均的な長さを表す QT 間隔の延長 (QT-dispersion : QTd)[3] や Short QT 症候群 (Short QT syndrome : SQTs) による QT 間隔の短縮 [4] など様々な指標が考えられてきた. その中の 1 つ

として本論文ではTWA(T-Wave Alternans : TWA)を用いる。TWAとは心電図におけるT波がABABといった1拍ごとに交互変化する現象とされており、高解像度光学マッピングの研究によりTWAは心室筋細胞レベルの再分極交互脈から生じると示された [5]。そのため、TWAは μ Vレベルでの変化であり、心電図から肉眼で検出することは困難である。しかしながら、従来のTWA検出には運動、薬物投与、心房ペーシングなどにより心拍数を上昇させた上で検出を行うという患者への負担を伴っていた [6]。そこで現在では、T波の特徴をより明確にするために前拍を基にT波を修正していく修正移動平均解析 (Modified Moving Average : MMA)[7][8] や複数の誘導に対して主成分分析を用いた解析 [9][10] などの研究により、心拍数を上昇させることのない非侵襲的TWA検出の研究が行われている。

以上を踏まえて本論文では非侵襲的にTWA検出を行うために、3誘導(X,Y,Z)のホルター心電計から得られた心電図に対して、信号処理技術であり主成分分析としても用いられる特異値分解 (Singular Value Decomposition : SVD) を用いて解析を行う。SVDから得られる入力および出力の特徴ベクトルの主成分を用いて、新たなTWA検出手法をT波ベクトルオルタナンス (T-Wave Vector Alternans : TWVA) とし提案する。

第1章 特異値分解

本章では、本論文において主たる解析手法として用いる特異値分解 (Singular Value Decomposition : SVD) について述べる。

特異値分解とは信号処理技術の1つであり多変量データを解析する際に適しており、主成分分析としても用いられる手法である。任意の行列を2つの正規直交行列と1つの対角行列の積に分解することにより、行列の特徴が捉えやすくなるという利点がある。

本論文ではTWA検出のために、特異値分解から得られる2つの正規直交行列それぞれの視点から特徴を捉えていく。

1.1 特異値分解

任意の $m \times n$ 行列 X は

$$X = U\Sigma V^T \quad (1.1)$$

U : 行列 X の入力基底となる $m \times m$ 正規直交行列

V : 行列 X の出力基底となる $n \times n$ 正規直交行列

Σ : $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_K, K = \min(m, n)$ を主対角要素にもつ $m \times n$ 対角行列

μ : $\mu_1 \geq \dots \geq \mu_k \geq \dots \geq \mu_K$ となる行列 X の特異値

と分解することができる。

ここで、 $K \geq k$ の場合、 U, V はそれぞれ

$$UU^T = I \quad (1.2)$$

$$VV^T = I \quad (1.3)$$

を満たす $k \times m, k \times n$ の行列となる。ここで、 I は単位行列である。

1.2 入力基底となる正規直交行列

本論文で用いる3誘導ホルター心電図データ(X,Y,Z)から切り出したT波を, 特異値分解に用いる任意の行列 X とすると式1.4で表すことができる.

$$X = \begin{bmatrix} T_X(1,1) & \cdots & T_X(1,n) & \cdots & T_X(1,N) \\ T_Y(1,1) & \cdots & T_Y(1,n) & \cdots & T_Y(1,N) \\ T_Z(1,1) & \cdots & T_Z(1,n) & \cdots & T_Z(1,N) \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ T_X(i,1) & \cdots & T_X(i,n) & \cdots & T_X(i,N) \\ T_Y(i,1) & \cdots & T_Y(i,n) & \cdots & T_Y(i,N) \\ T_Z(i,1) & \cdots & T_Z(i,n) & \cdots & T_Z(i,N) \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ T_X(I,1) & \cdots & T_X(I,n) & \cdots & T_X(I,N) \\ T_Y(I,1) & \cdots & T_Y(I,n) & \cdots & T_Y(I,N) \\ T_Z(I,1) & \cdots & T_Z(I,n) & \cdots & T_Z(I,N) \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$T_X T_Y T_Z$: I 拍, 長さ N 点の3誘導(X,Y,Z)心電図T波
式1.4に特異値分解を用いて得られる正規直交行列 U は式1.5となる.

$$U = \begin{bmatrix} U_X(1,1) & \cdots & U_X(1,n) & \cdots & U_X(1,N) \\ U_Y(1,1) & \cdots & U_Y(1,n) & \cdots & U_Y(1,N) \\ U_Z(1,1) & \cdots & U_Z(1,n) & \cdots & U_Z(1,N) \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ U_X(i,1) & \cdots & U_X(i,n) & \cdots & U_X(i,N) \\ U_Y(i,1) & \cdots & U_Y(i,n) & \cdots & U_Y(i,N) \\ U_Z(i,1) & \cdots & U_Z(i,n) & \cdots & U_Z(i,N) \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ U_X(I,1) & \cdots & U_X(I,n) & \cdots & U_X(I,N) \\ U_Y(I,1) & \cdots & U_Y(I,n) & \cdots & U_Y(I,N) \\ U_Z(I,1) & \cdots & U_Z(I,n) & \cdots & U_Z(I,N) \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

$U_X U_Y U_Z$: 3誘導それぞれの I 拍分の特異ベクトル

以上のように入力基底となる正規直交行列 U は、特異値分解の入力となる任意の行列 X の各行、及び各列の特徴を示している。

ここで、 $k_0 (\leq K)$ までの特異値を用いて次元の縮約を行う。その際、次元の縮約に伴う元データの特徴量の損失を相対近似誤差 (Degree of Approximation : D.A.) から求める [11]。

$$\begin{aligned} D.A.[k] &= 1 - \sqrt{\frac{\sum_{k=k_0+1}^K \mu_k^2}{\sum_{k=1}^K \mu_k^2}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{k_0} \mu_k^2}{\sum_{k=1}^K \mu_k^2}} \end{aligned} \quad (1.6)$$

本論文で用いた U は式 1.6 から求めた相対近似誤差が、 $k_0=2$ にて相対近似誤差 80%以上を満たすことを確認した上で次元の縮約を行う。

$$U = \begin{bmatrix} U_X(1,1) & U_X(1,2) \\ U_Y(1,1) & U_Y(1,2) \\ U_Z(1,1) & U_Z(1,2) \\ \vdots & \vdots \\ U_X(i,1) & U_X(i,2) \\ U_Y(i,1) & U_Y(i,2) \\ U_Z(i,1) & U_Z(i,2) \\ \vdots & \vdots \\ U_X(I,1) & U_X(I,2) \\ U_Y(I,1) & U_Y(I,2) \\ U_Z(I,1) & U_Z(I,2) \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

1.3 特徴空間

特徴空間とは、ある対象を n 次のベクトルで表し、 n 次元の空間にマッピングしたものである。一般的に画像工学などの分野で用いられており、多変量解析などを行う際に適している。特徴空間の次元が高ければ情報量の損失も少ないが、パターンの識別、分類処理の計算時間も増してくる。そのため、必要な情報を失わずに次元を減らすことが重要になる。本論文では前節で述べたように 2 次のベクトルにて相対近似誤差が 80%以上になる確認を行ってから特徴空間を描画する。

1.4 出力の基底となる正規直交行列

本論文で必要となる出力の基底となる正規直交行列 V は、式 1.4 の 1 拍毎に求める。

$$X[i] = \begin{bmatrix} T_X(i, 1) & \cdots & T_X(i, n) & \cdots & T_X(i, N) \\ T_Y(i, 1) & \cdots & T_Y(i, n) & \cdots & T_Y(i, N) \\ T_Z(i, 1) & \cdots & T_Z(i, n) & \cdots & T_Z(i, N) \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

式 1.8 に対して特異値分解を行うことにより V が得られる。

$$V^T[i] = \begin{bmatrix} V_1(i, 1) & \cdots & V_1(i, n) & \cdots & V_1(i, N) \\ V_2(i, 1) & \cdots & V_2(i, n) & \cdots & V_2(i, N) \\ V_3(i, 1) & \cdots & V_3(i, n) & \cdots & V_3(i, N) \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

$V_1 V_2 V_3$: i 拍目の特異ベクトル

各特異ベクトルの重みを考慮するために、求めた V に特異値 Σ を乗算する。

$$\begin{aligned} S[i] &= \Sigma V^T[i] \\ &= \begin{bmatrix} \mu_1 V_1(i, 1) & \cdots & \mu_1 V_1(i, n) & \cdots & \mu_1 V_1(i, N) \\ \mu_2 V_2(i, 1) & \cdots & \mu_2 V_2(i, n) & \cdots & \mu_2 V_2(i, N) \\ \mu_3 V_3(i, 1) & \cdots & \mu_3 V_3(i, n) & \cdots & \mu_3 V_3(i, N) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} S_1(i, 1) & \cdots & S_1(i, n) & \cdots & S_1(i, N) \\ S_2(i, 1) & \cdots & S_2(i, n) & \cdots & S_2(i, N) \\ S_3(i, 1) & \cdots & S_3(i, n) & \cdots & S_3(i, N) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1.10)$$

特異値は降順に並んでいることから、 $S_1[i]$ が i 拍目における 3 誘導ホルター心電図から得られた第 1 主成分であり、以下 $S_2[i]$, $S_3[i]$ が第 2, 第 3 主成分となる。

第 1 章第 2 節同様に式 1.6 を用いて相対近似誤差を計算する。 V においては $k_0 = 2$ にて相対近似誤差 90% 以上を満たすことを確認した上で次元の縮約を行う。

$$S[i] = \begin{bmatrix} S_1(i, 1) & \cdots & S_1(i, n) & \cdots & S_1(i, N) \\ S_2(i, 1) & \cdots & S_2(i, n) & \cdots & S_2(i, N) \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

本論文では 3 誘導のため次元の縮約から計算量の短縮などの効果が大きくはないが、多数の誘導を有する心電図を用いる際には非常に有効である。

第2章 基線変動除去

本章では、本論文にて用いる心電図データに含まれる基線変動の除去を行う手法について述べる。

心電図とは心臓の電気現象を反映したものであるが、これには本来得られるべき心臓の活動以外に基線変動と呼ばれる低周波成分のアーチファクトが同時に記録されてしまう。原因としては筋繊維の活動や、皮膚と電極線の接触抵抗の変化によって生じる基線の同様などが考えられる。そのため、心電図を用いて心疾患などを診断を行う際には基線変動を除去する必要がある、本論文においても TWA 検出を行う前に基線変動の除去を以下の手順に沿って行う。

1. 対象データ *ECG* の R 波頂点の時刻 R_{pk} を計測し、R 波と R 波の間隔である RR 間隔 RRI を求める。

$$RRI[i] = R_{pk}[i] - R_{pk}[i - 1] \quad (2.1)$$

i : 対象データの拍数であり, $i = 1, \dots, I - 1$

2. R_{pk} と RRI に対して式 2.2, 式 2.3 を用いて、簡易的に *P* 波始点の時刻 P_{st} と *T* 波終点の時刻 T_{ed} を計算する。

$$P_{st}[i] = R_{pk}[i + 1] - RRI[i] \times 0.3 \quad (2.2)$$

$$T_{ed}[i] = R_{pk}[i] + RRI[i] \times 0.5 \quad (2.3)$$

3. $T_{ed}-P_{st}$ の間は ECG の値をとり, その他は 0 をとる時系列 ECG_{TP} を作成する.

$$ECG_{TP}[n] = \begin{cases} ECG[n] & T_{ed}[n] \leq n \leq P_{st}[n] \\ 0 & else \end{cases} \quad (2.4)$$

n : 心電図のデータ点数であり, $n = 1, \dots, N$

4. 3. で求めた ECG_{TP} に対しスプライン補間を行うことで対象データの基線部分 ECG_{SPL} を求める. 本論文で用いたスプライン補間は, 3 次多項式による 3 次スプライン補間法 (Cubic Spline Interpolation) である. 図 2.1 にスプライン補間することにより得られた基線部分 ECG_{SPL} を対象データと共に示す.

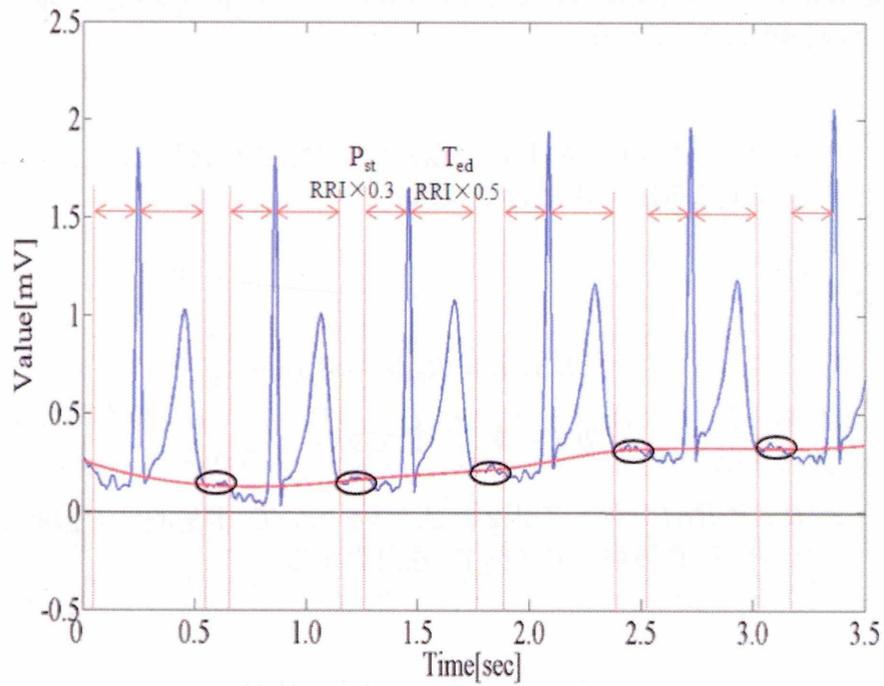


図 2.1: TP に対するスプライン補間

5. 対象データ ECG と 4. から得られた ECG_{SPL} との差分をとることにより基線変動が取り除かれたデータ $NECG$ が得られる.

$$NECG[n] = ECG[n] - ECG_{SPL} \quad (2.5)$$

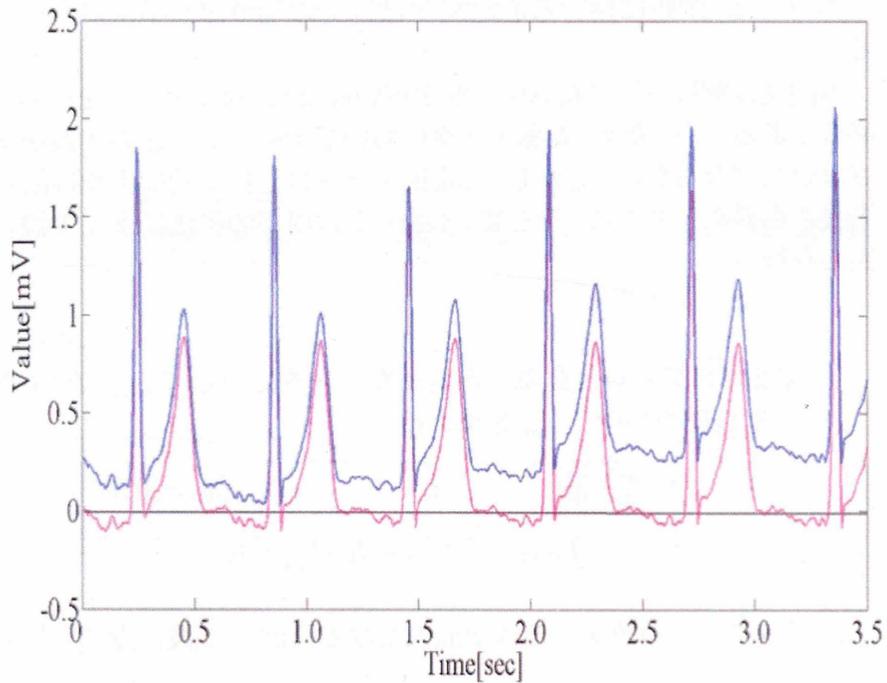


図 2.2: 基線変動除去後の心電図データ

本論文では, 3 誘導それぞれに対して上記の手法により基線変動除去を行った上で解析していく.

第3章 T波切り出し

本章では、解析に用いる心電図 T 波部分の切り出し手法について述べる。

本論文は解析手法に特異値分解を用いるため、対象データを行列とする必要がある。そのため、対象データにおいて全拍同じ長さの T 波を切り出さなければならない。しかし、心電図データは心拍変動により各拍の T 波の長さも異なってくる。そこで、本論文では以下の手法により T 波の切り出しを行う。

1. 第2章にて基線変動除去を行ったデータに対して R_{pk} , RRI をもとに T 波始点の時刻 T_{st} を求める。

$$T_{st}[i] = R_{pk}[i] + RRI[i] \times 0.1 \quad (3.1)$$

2. 求めた T_{st} の値から振幅が最大となる時刻を T 波頂点 T_{pk} とする。
3. T_{pk} の値から差分法により T 波終点の時刻 T_{ed} を求める。
4. 各拍の T_{ed} から全拍の T 波終点の時刻 T_{ed-all} を求める。

$$T_{ed-all} = \frac{\sum_{i=1}^{I-1} T_{ed}[i]}{I-1} \times 1.3 \quad (3.2)$$

5. 3 誘導全ての拍において T_{st} から T_{ed-all} の間隔を T 波として切り出す。

第4章 解析手法

本章では, TWA の検出を行う具体的な手法について述べる.
以下に示す手順に沿って TWA の検出を行っていく.

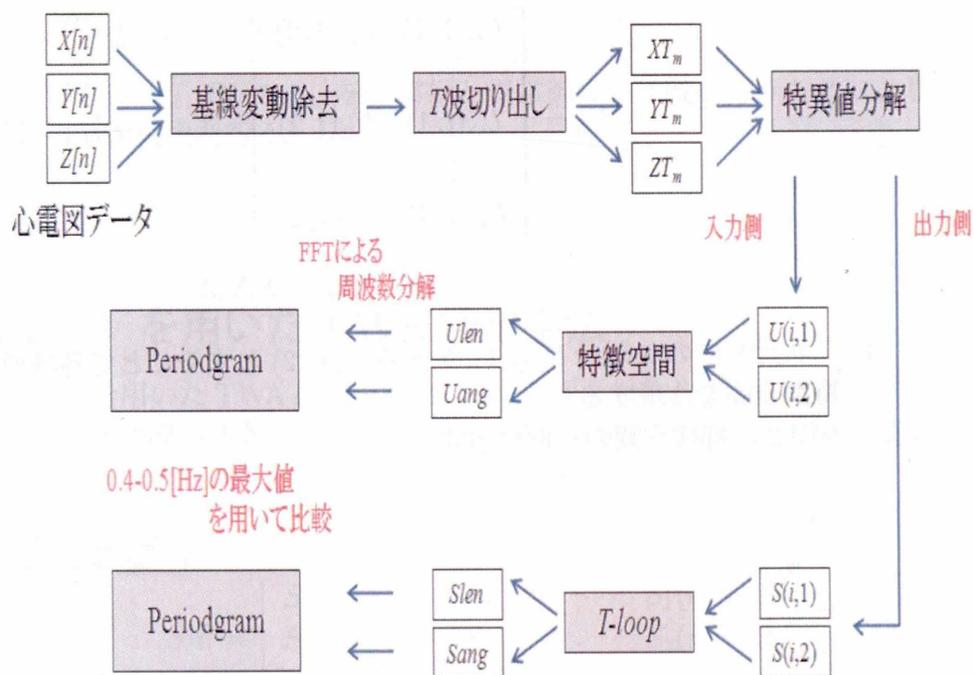


図 4.1: TWA 検出アルゴリズム

4.1 U を用いたTWA検出手法

1. 解析対象とする心電図データの3誘導全ての拍のT波を, 第3章の手順にて切り出して $M \times N$ ($M = I \times 3$) 行列 T_{cut} を作成する.
2. T_{cut} を特異値分解し, 求めた U に対して式 1.7 と同様に $k_0 = 2$ にて次元の縮約を行う.
3. 2. にて次元の縮約をした U から, 誘導別に分類した特異ベクトルを作成する.

$$U_\alpha = \begin{bmatrix} U_\alpha(1,1) & U_\alpha(1,2) \\ \vdots & \vdots \\ U_\alpha(i,1) & U_\alpha(i,2) \\ \vdots & \vdots \\ U_\alpha(I,1) & U_\alpha(I,2) \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\alpha = X, Y, Z$$

4. 二次元座標の X 軸を $U_\alpha(i,1)$, Y 軸を $U_\alpha(i,2)$ とすることで各誘導の特徴空間を作成する.

図 4.2 に特徴空間の一例に示す.

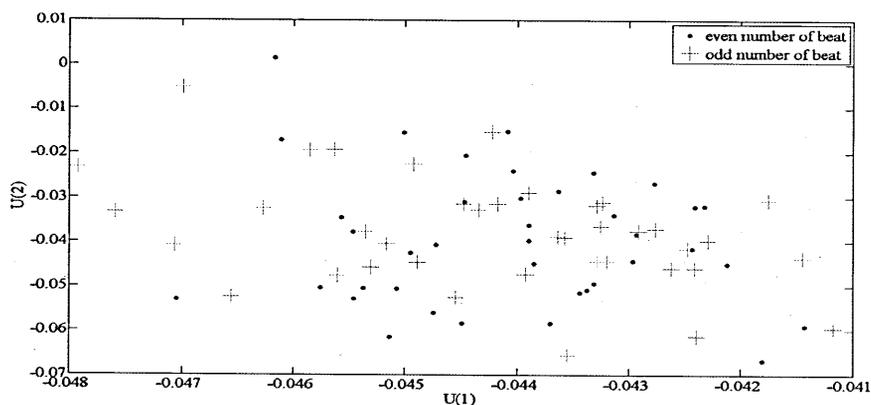


図 4.2: U_X の特徴空間

5. 特徴空間の原点と各点が成す線の長さ $U_\alpha len[i]$, および線の角度 $U_\alpha ang[i]$ を計算しそれぞれの時系列 UL_α, UA_α を作成する.

$$UL_\alpha = (U_\alpha len(1), \dots, U_\alpha len(i), \dots, U_\alpha len(I)) \quad (4.2)$$

$$UA_\alpha = (U_\alpha ang(1), \dots, U_\alpha ang(i), \dots, U_\alpha ang(I)) \quad (4.3)$$

$$\alpha = X, Y, Z$$

6. 高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) を用いてスペクトルを推定する方法であるペリオドグラム法により UL_α, UA_α を周波数分解し, 得られた値の 0.4-0.5[cycle/beat] の最大値 $PUL_{\alpha max}, PUA_{\alpha max}$ を計算する.
7. $PUL_{\alpha max}, PUA_{\alpha max}$ を正常例と異常例にて比較を行うことにより TWA 検出を行う.

4.2 V を用いた TWA 検出手法

1. U を用いた TWA 検出手法と同様に, 解析対象とする心電図データの 3 誘導の T 波を第 3 章の手順にて切り出し, 1 拍ごとに特異値分解を行い各拍の $S[i]$ を求める.

$$S[i] = \begin{bmatrix} S_1(i, 1) & \dots & S_1(i, n) & \dots & S_1(i, N) \\ S_2(i, 1) & \dots & S_2(i, n) & \dots & S_2(i, N) \\ S_3(i, 1) & \dots & S_3(i, n) & \dots & S_3(i, N) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

2. 求めた $S[i]$ に対して式 1.11 と同様に $k_0 = 2$ にて次元の縮約を行う.

$$S[i] = \begin{bmatrix} S_1(i, 1) & \dots & S_1(i, n) & \dots & S_1(i, N) \\ S_2(i, 1) & \dots & S_2(i, n) & \dots & S_2(i, N) \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

3. 二次元座標の X 軸を $S_1[i]$, Y 軸を $S_2[i]$ とすることで各拍の T 波ループ図 (T-loop) を作成する。
図に T-loop の一例を示す。

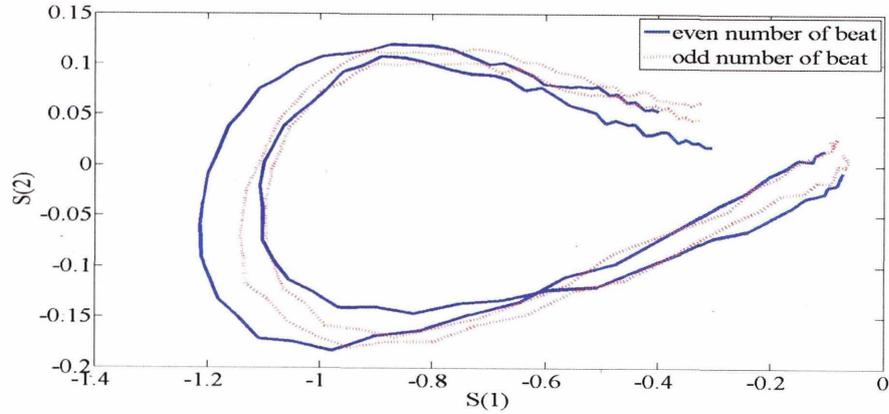


図 4.3: T-loop 図

4. 各拍の T-loop 図の終点と $S_1[i]$ の頂点 $s_{max}[i]$ が成す長さ $S^{1/2}len[i]$, および線の角度 $S^{1/2}ang[i]$ を計算し, I 拍分の時系列 $SL^{1/2}$, $SA^{1/2}$ を作成する。
5. 各拍の始点と $s_{max}[i]$ の中点 $s_{st-mid}[i]$, 終点と $s_{max}[i]$ の中点 $s_{ed-mid}[i]$ についても 4. と同様に $S^{1/4}len[i]$, $S^{1/4}ang[i]$, $S^{3/4}len[i]$, $S^{3/4}ang[i]$ を計算し, 時系列 $SL^{1/4}$, $SA^{1/4}$, $SL^{3/4}$, $SA^{3/4}$ を作成する。

$$SL^\beta = (S^\beta len(1), \dots, S^\beta len(i), \dots, S^\beta len(I)) \quad (4.6)$$

$$SA^\beta = (S^\beta ang(1), \dots, S^\beta ang(i), \dots, S^\beta ang(I)) \quad (4.7)$$

$$\beta = 1/4, 1/2, 3/4$$

6. ペリオドグラム法により SL^β , SA^β を周波数分解し, 得られた値の 0.4-0.5[cycle/beat] の最大値 $PSL^{\beta max}$, $PSA^{\beta max}$ を計算する。
7. $PSL^{\beta max}$, $PSA^{\beta max}$ を正常例と異常例にて比較を行うことにより TWA 検出を行う。

第5章 使用データ

3誘導ホルター心電計より 200[Hz] でサンプリングされたデータを用いる。データ数は正常者心電図 10 例, TWA を有しているされている人の心電図 20 例の合計 30 例である。

正常例 (NML 群) は比較的波形が安定した箇所を 90 秒間選出した。異常例のうち 10 例は高血圧のみ, または良性の不整脈を有している例 (TWA_low 群) であり, 残り 10 例は致死性不整脈を起こしている, または起こしうると判断された例 (TWA_high 群) である。また, 選出した箇所は, 心臓内科医から TWA が存在し得ると指摘を受けた地点を中心にした 90 秒間である。

第6章 解析結果

6.1 U を用いたTWA検出手法

次ページ以降に、各例の時系列 UL_α , UA_α ならびにそれぞれのペリオドグラムを示す。

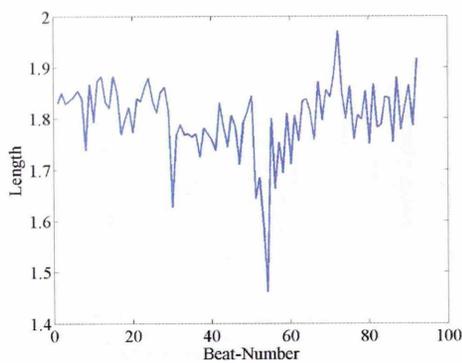
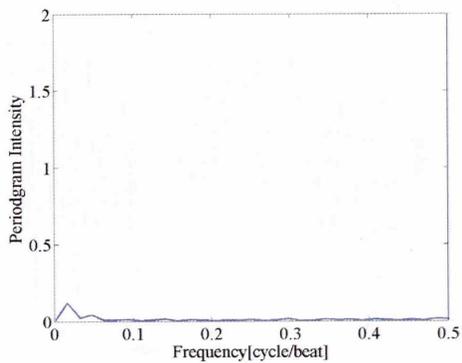


図 6.1: 左 : NML01 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

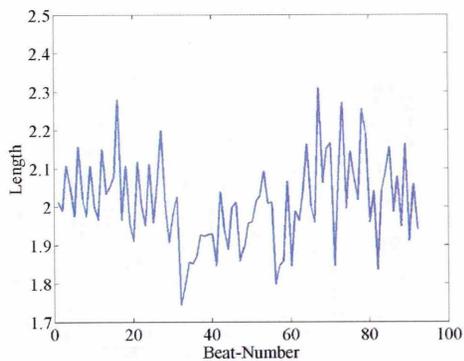
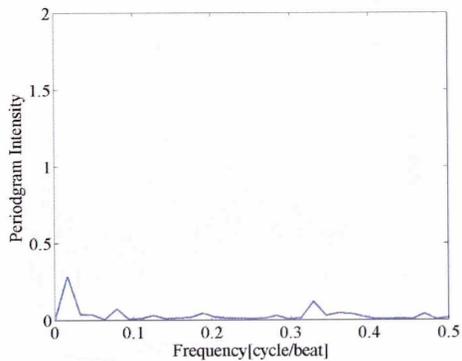


図 6.2: 左 : NML01 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

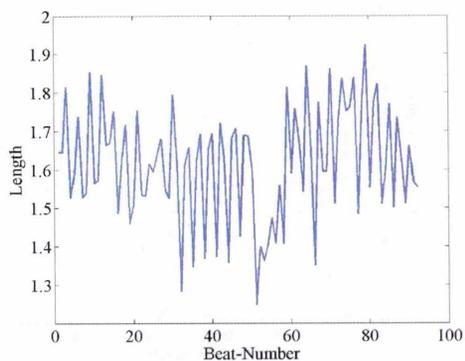
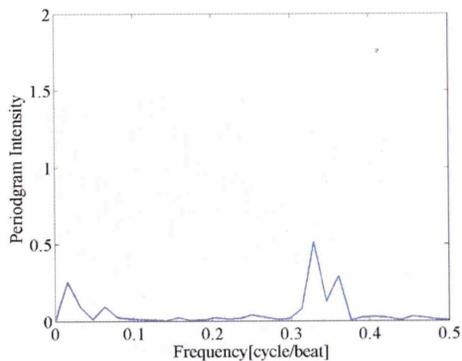


図 6.3: 左 : NML01 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

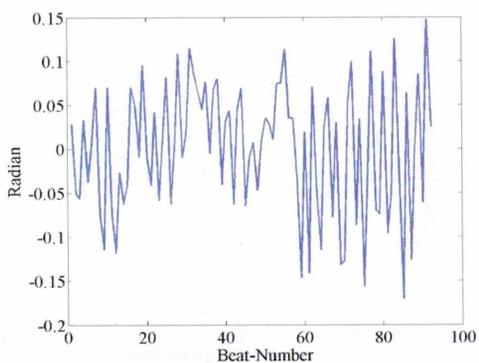
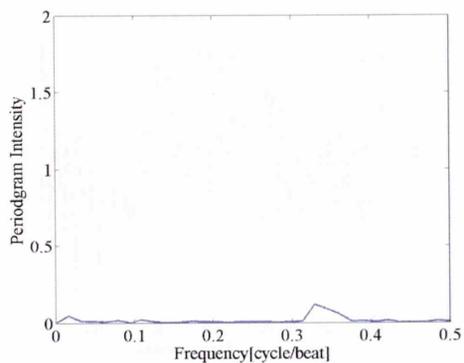


図 6.4: 左 : NML01 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

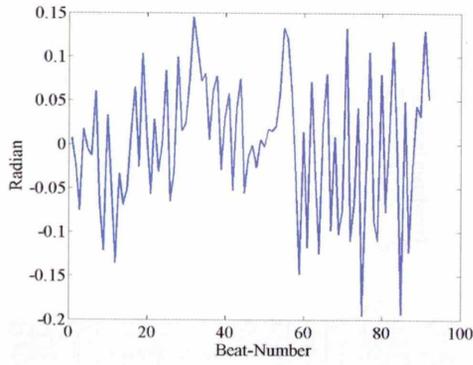
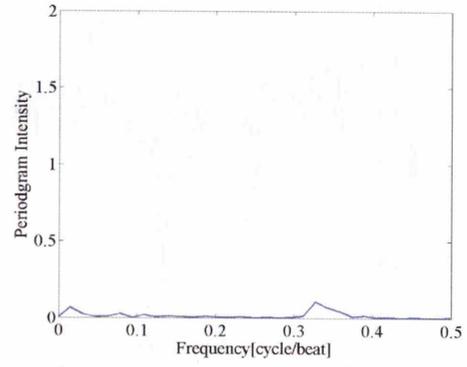


図 6.5: 左 : NML01 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

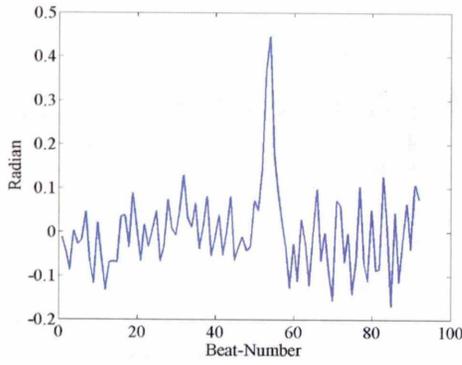
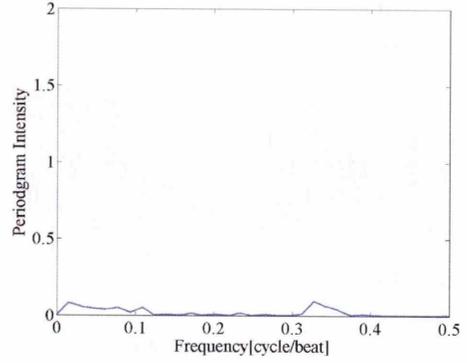


図 6.6: 左 : NML01 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

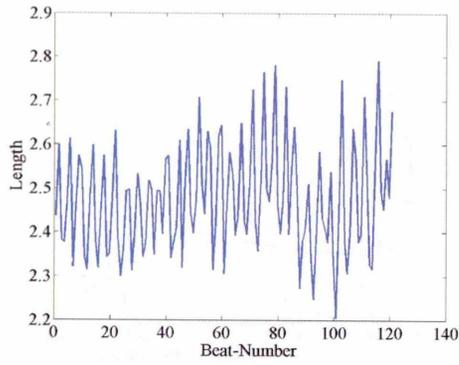
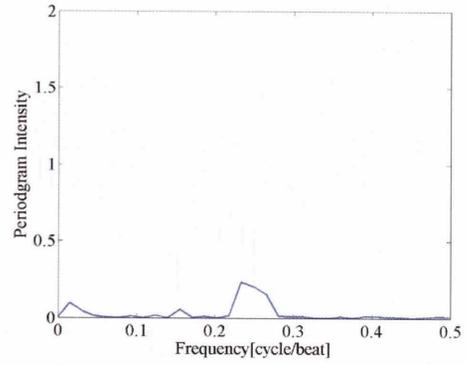


図 6.7: 左 : NML02 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

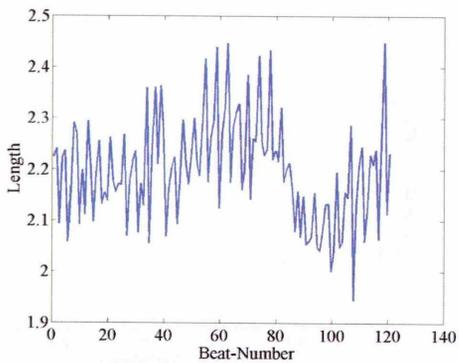
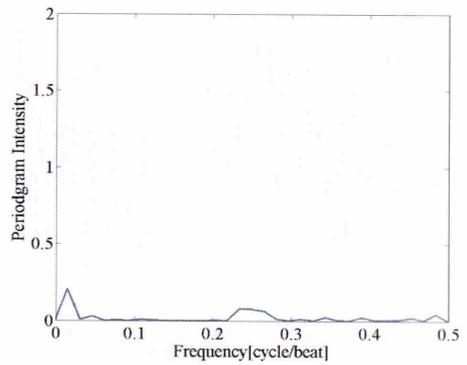


図 6.8: 左 : NML02 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

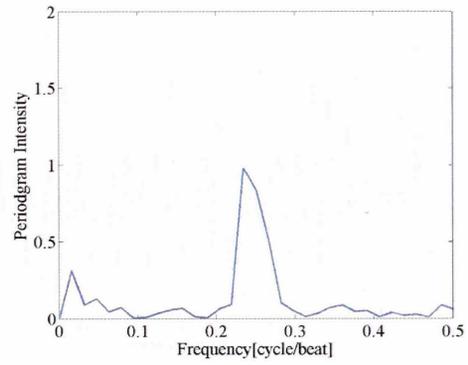
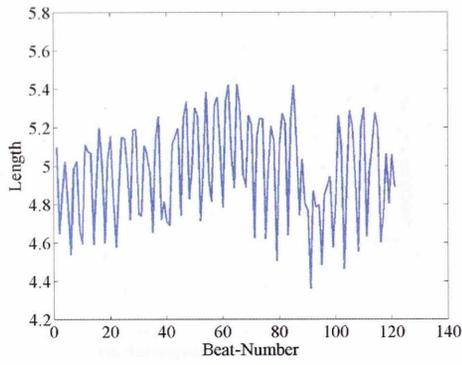


図 6.9: 左 : NML02 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

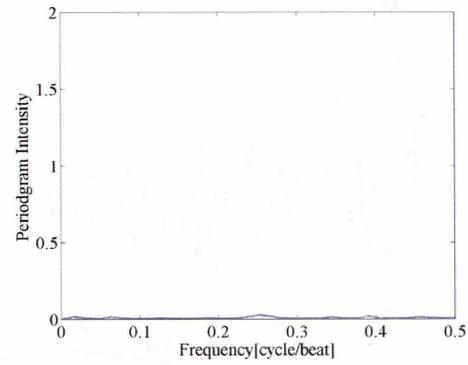
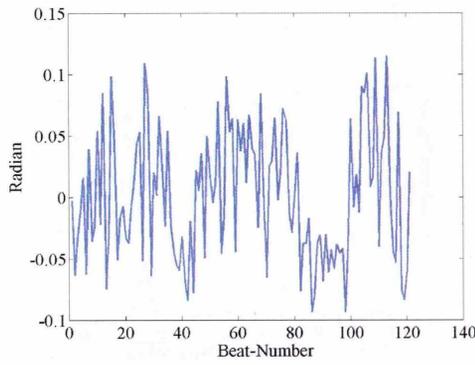


図 6.10: 左 : NML02 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

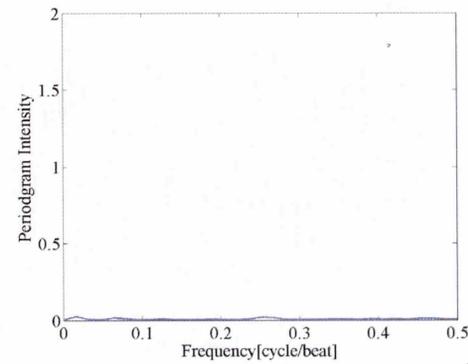
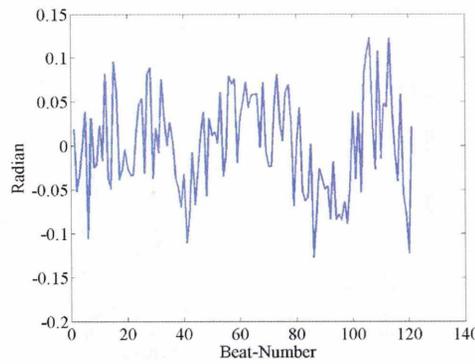


図 6.11: 左 : NML02 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

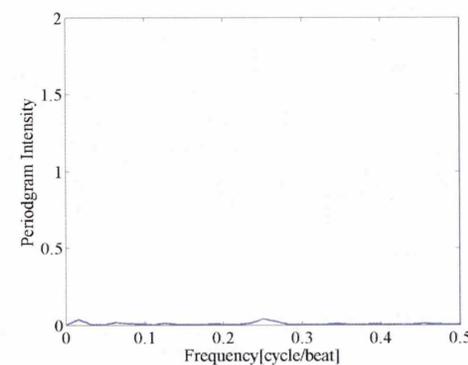
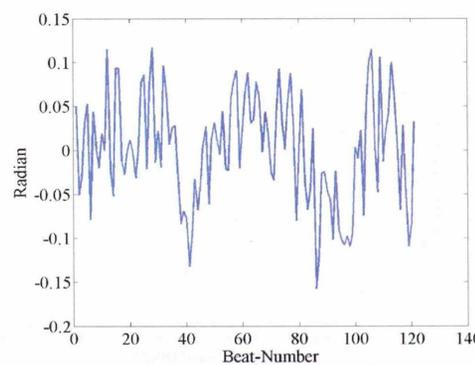


図 6.12: 左 : NML02 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

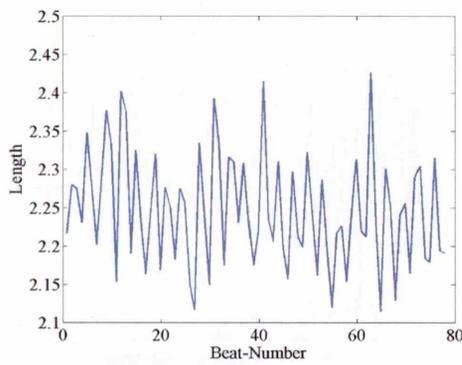
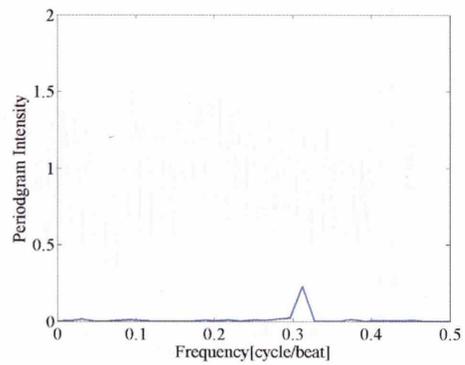


図 6.13: 左 : NML03 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

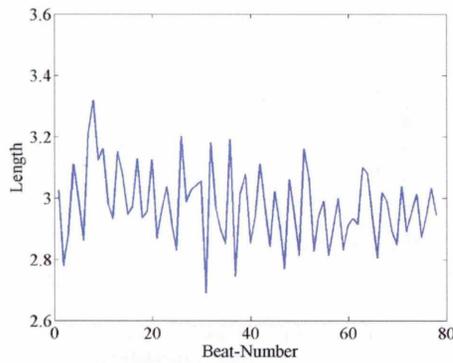
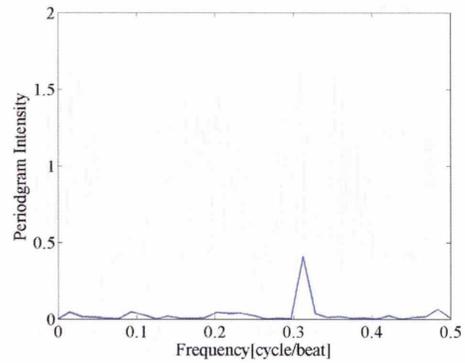


図 6.14: 左 : NML03 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

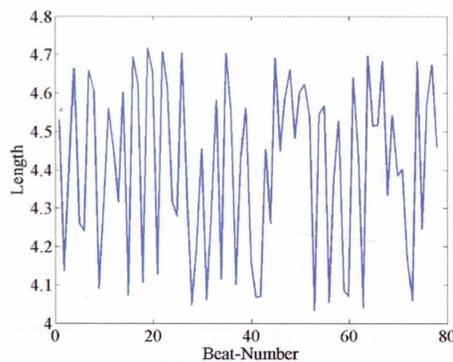
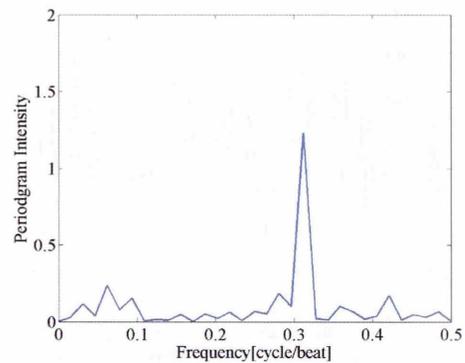


図 6.15: 左 : NML03 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

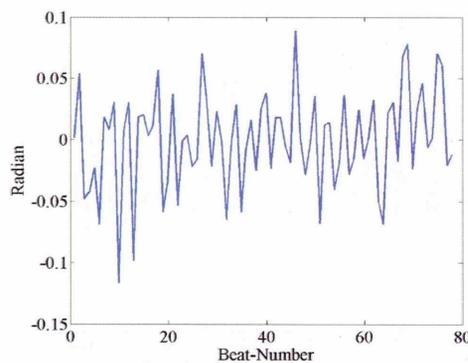
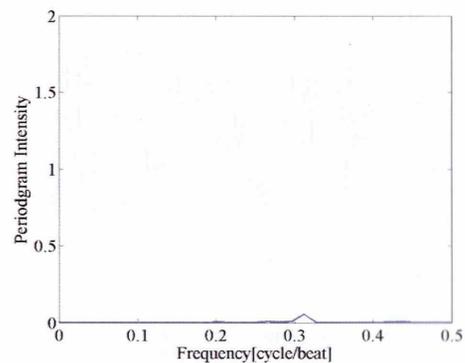


図 6.16: 左 : NML03 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

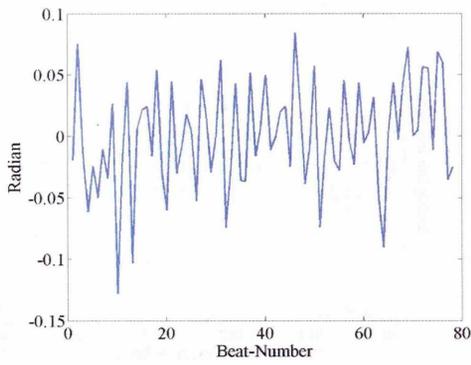
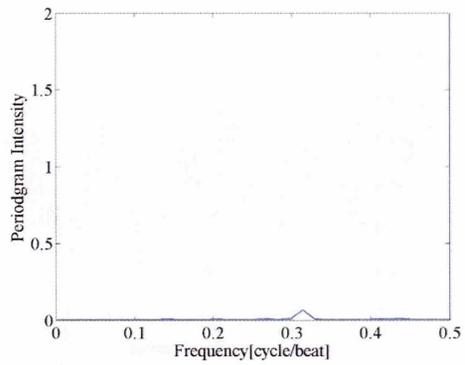


図 6.17: 左 : NML03 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

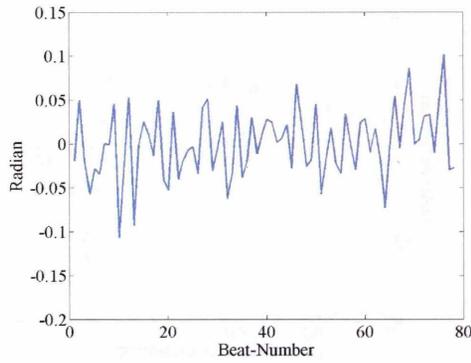
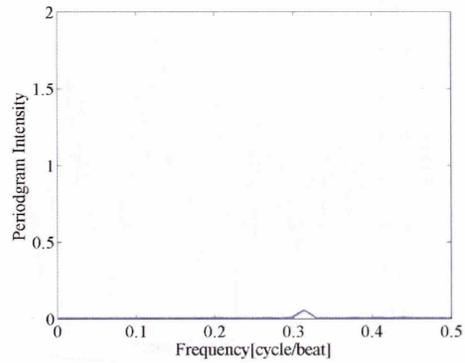


図 6.18: 左 : NML03 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

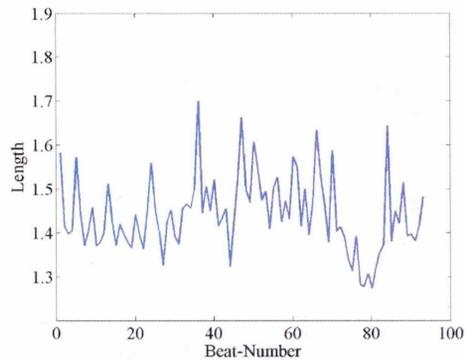
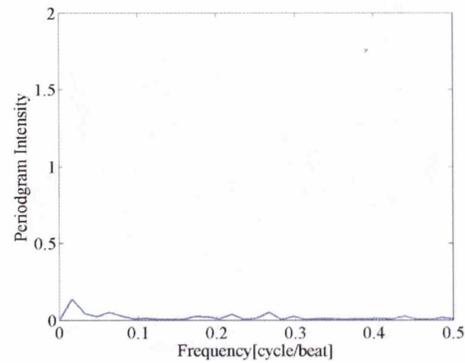


図 6.19: 左 : NML04 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

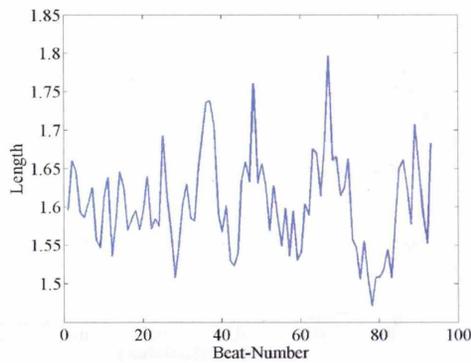
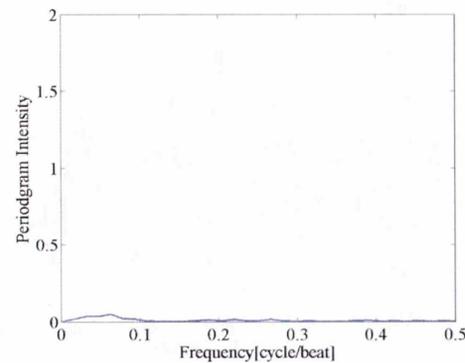


図 6.20: 左 : NML04 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

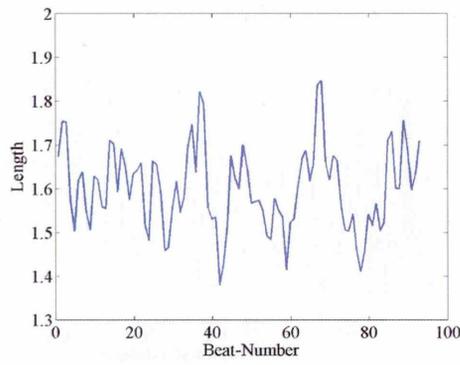
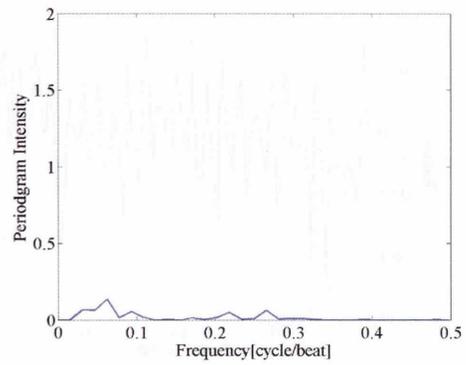


図 6.21: 左 : NML04 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

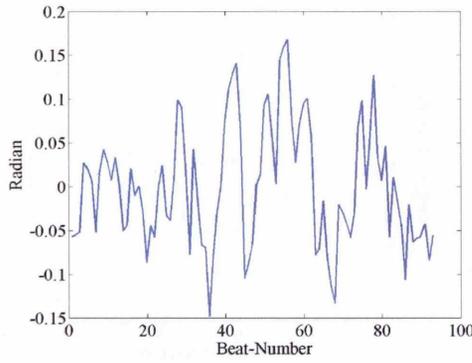
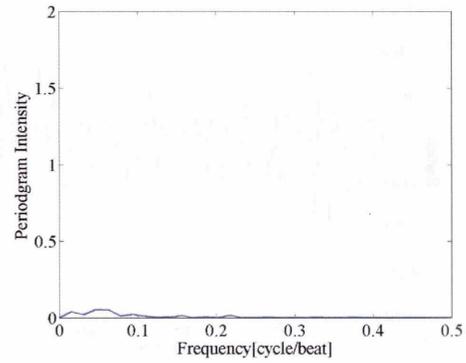


図 6.22: 左 : NML04 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

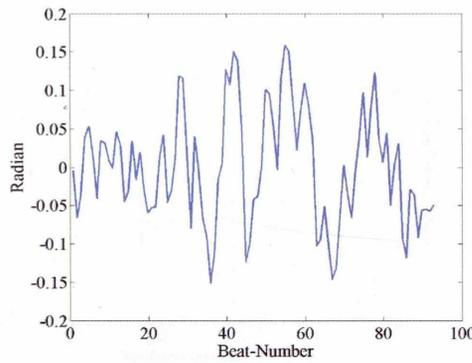
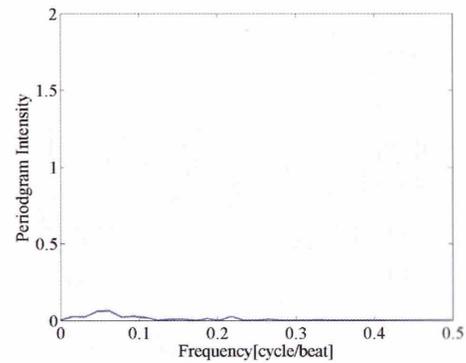


図 6.23: 左 : NML04 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

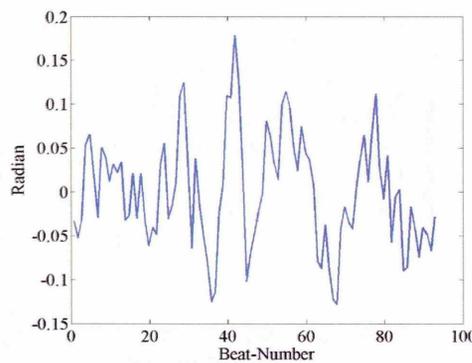
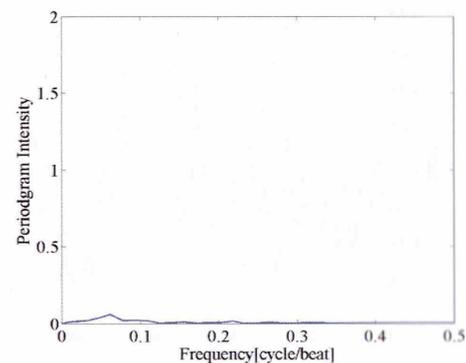


図 6.24: 左 : NML04 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

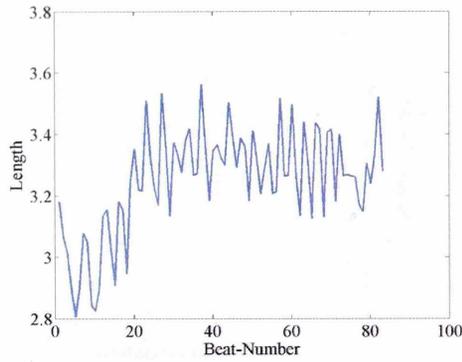
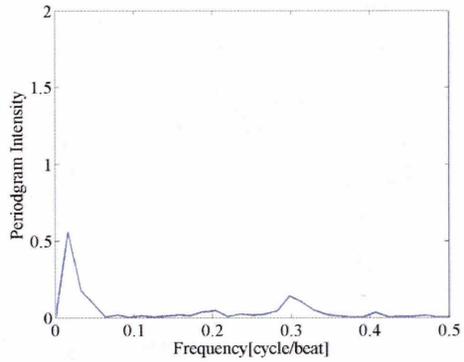


図 6.25: 左 : NML05 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

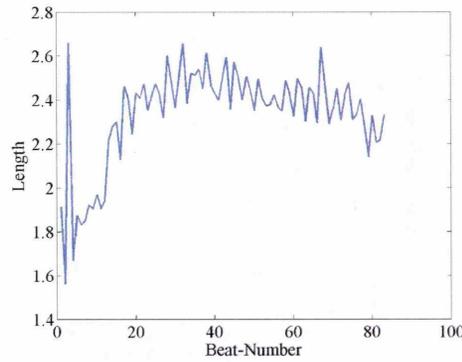
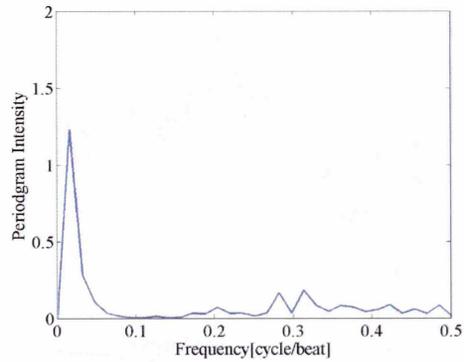


図 6.26: 左 : NML05 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

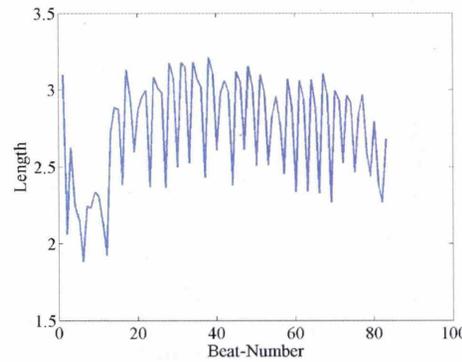
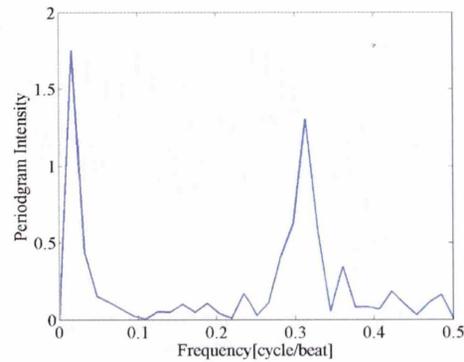


図 6.27: 左 : NML05 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

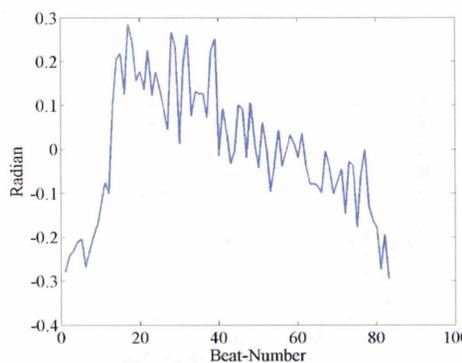
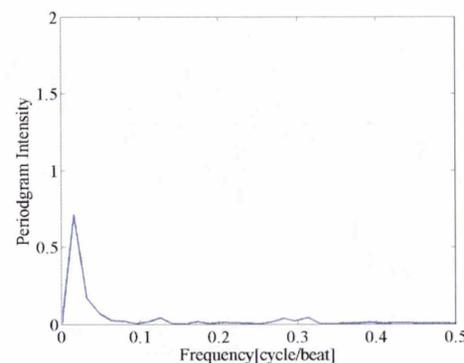


図 6.28: 左 : NML05 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

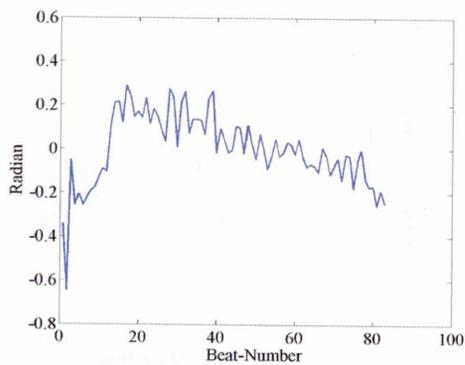
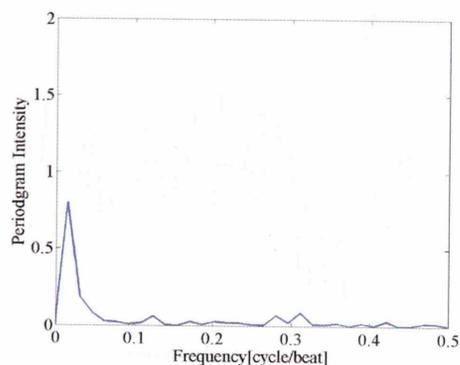


図 6.29: 左 : NML05 の U_{A_Y}



右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

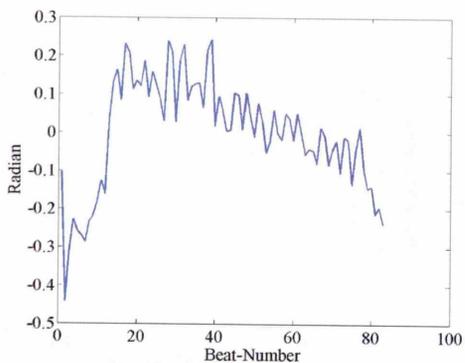
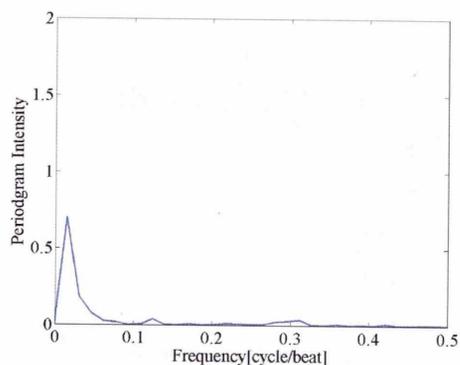


図 6.30: 左 : NML05 の U_{A_Z}



右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

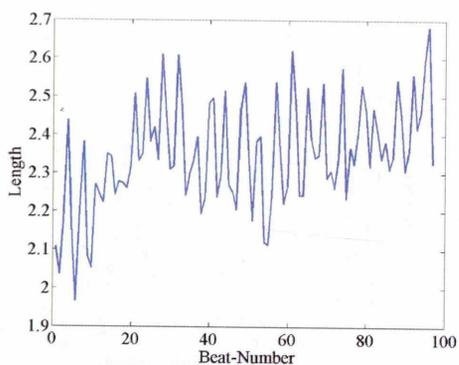
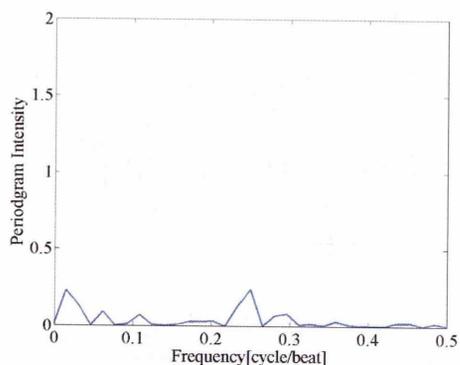


図 6.31: 左 : NML06 の U_{L_X}



右 : U_{L_X} のペリオドグラム

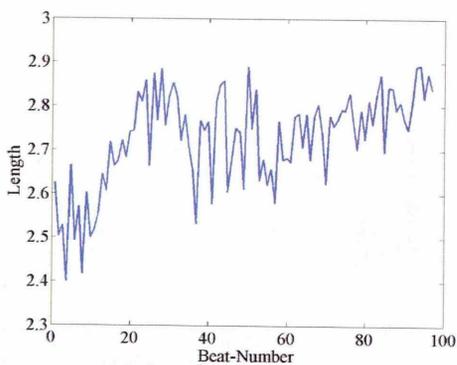
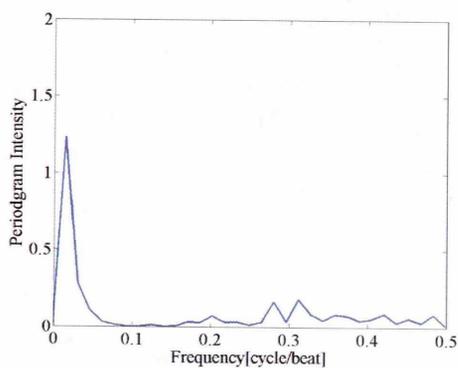


図 6.32: 左 : NML06 の U_{L_Y}



右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

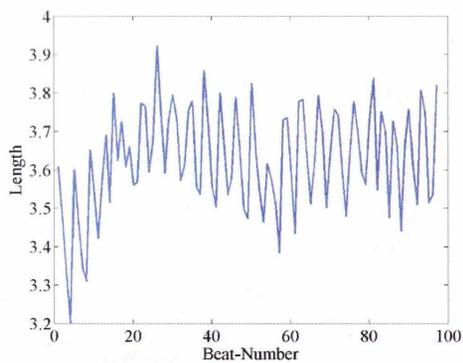
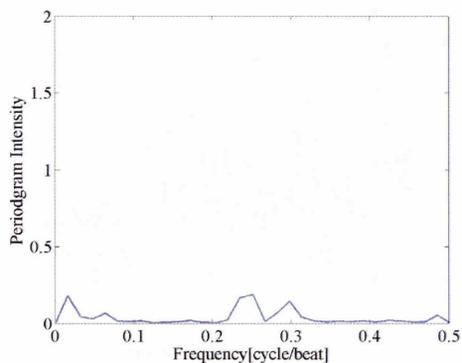


図 6.33: 左 : NML06 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

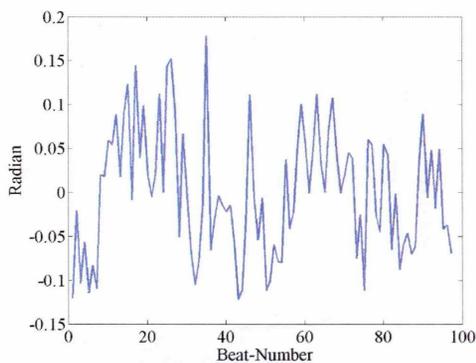
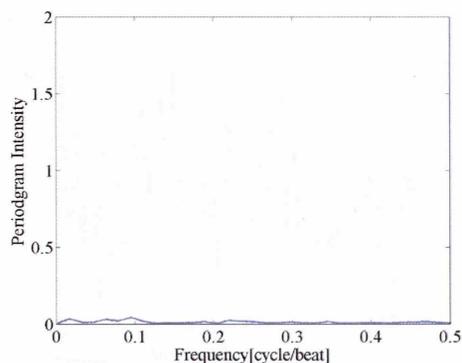


図 6.34: 左 : NML06 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

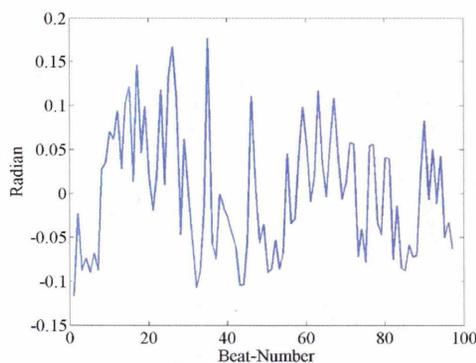
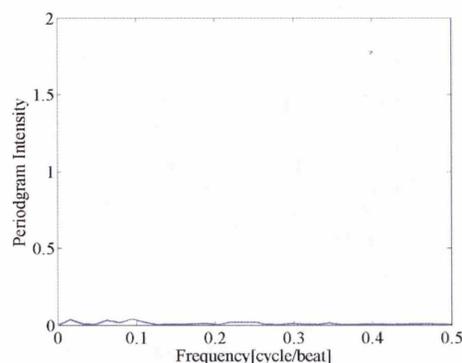


図 6.35: 左 : NML06 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

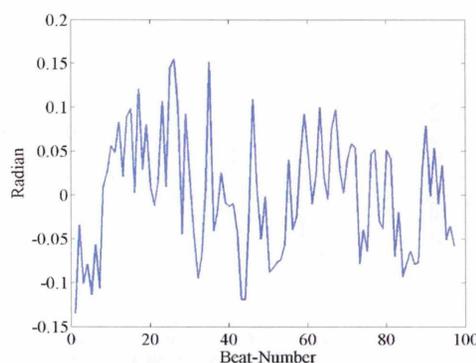
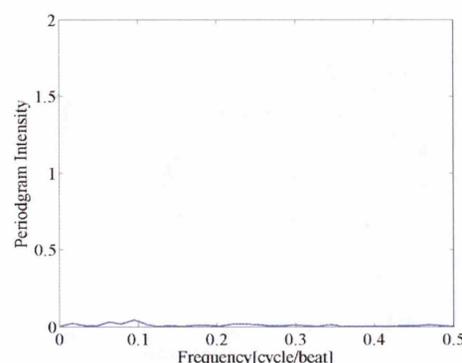


図 6.36: 左 : NML06 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

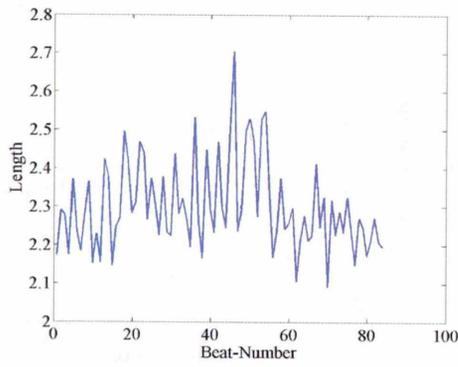
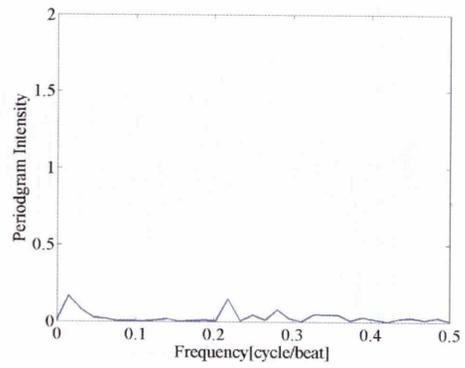


図 6.37: 左 : NML07 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

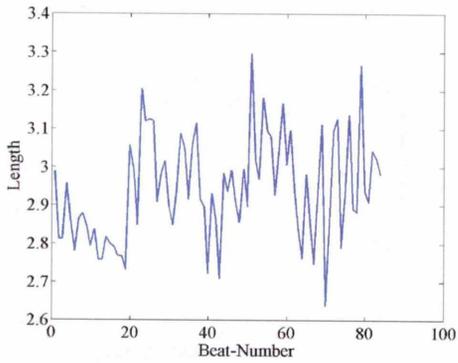
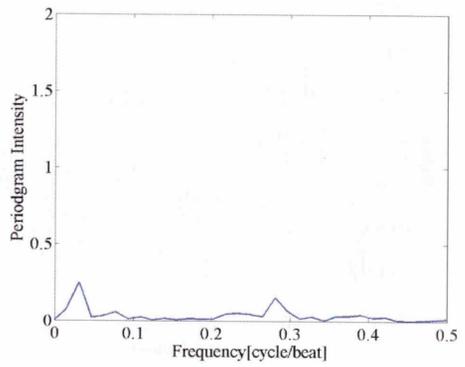


図 6.38: 左 : NML07 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

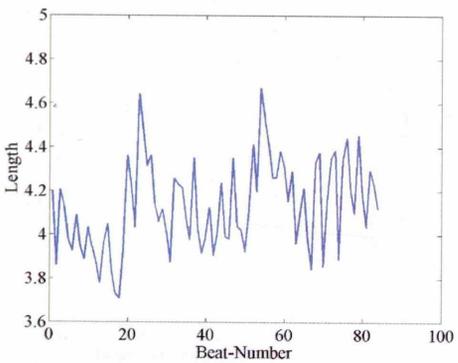
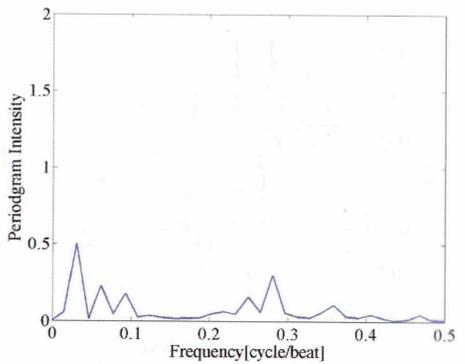


図 6.39: 左 : NML07 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

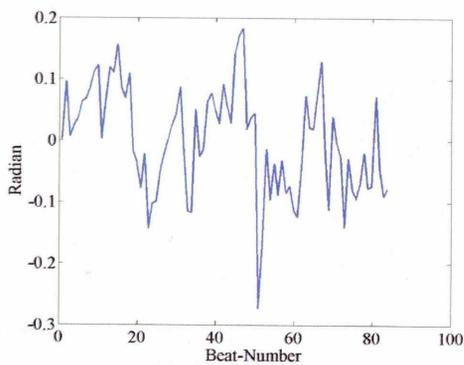
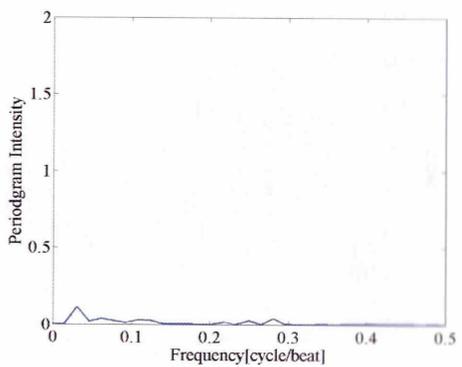


図 6.40: 左 : NML07 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

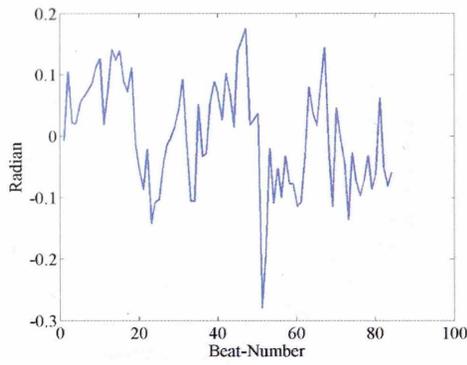
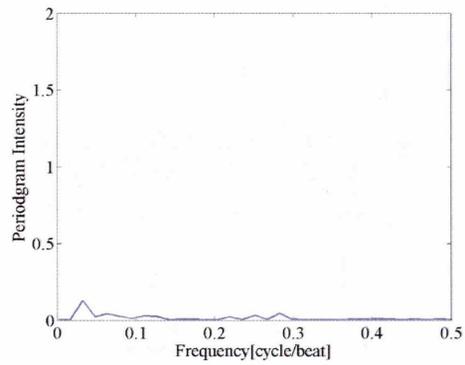


図 6.41: 左 : NML07 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

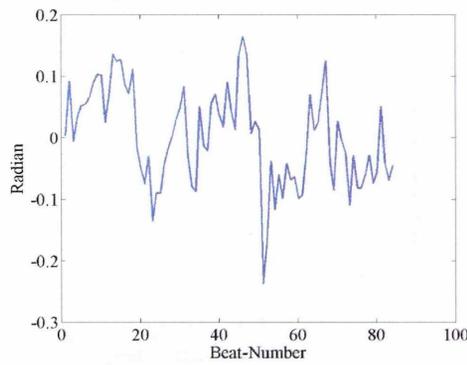
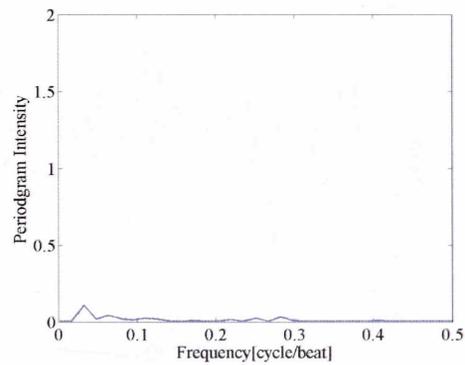


図 6.42: 左 : NML07 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

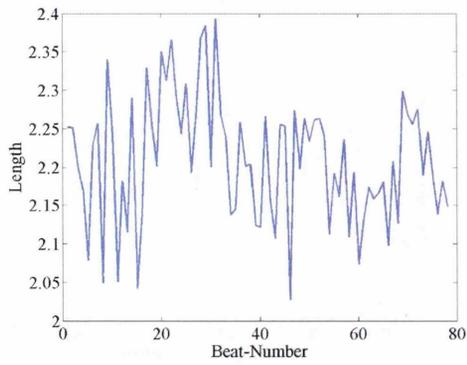
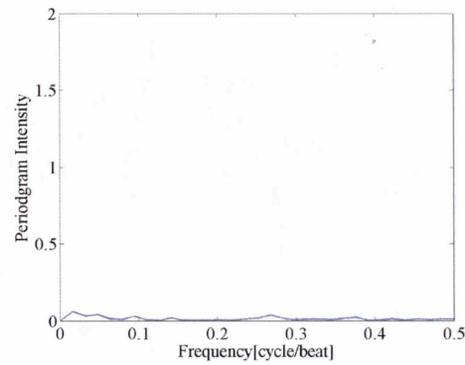


図 6.43: 左 : NML08 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

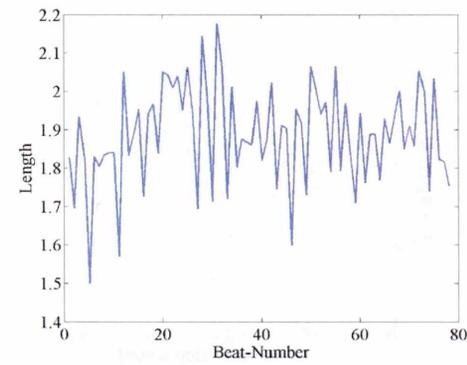
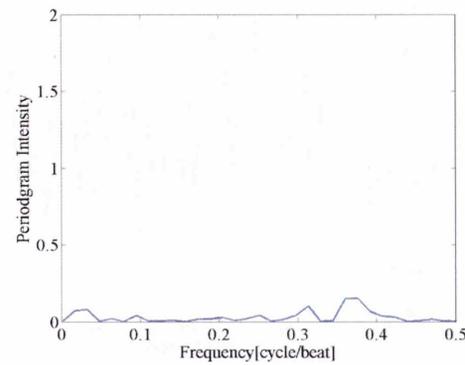


図 6.44: 左 : NML08 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

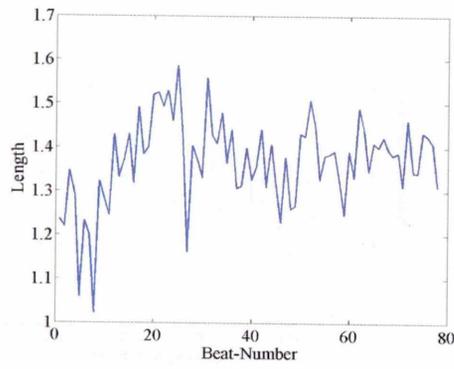
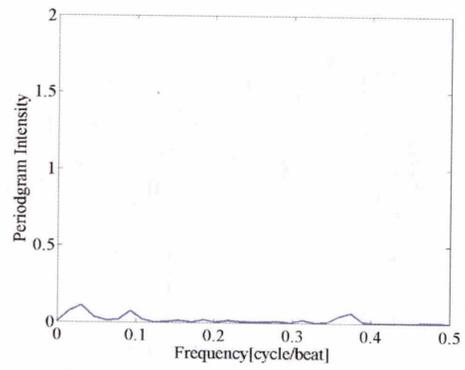


図 6.45: 左 : NML08 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

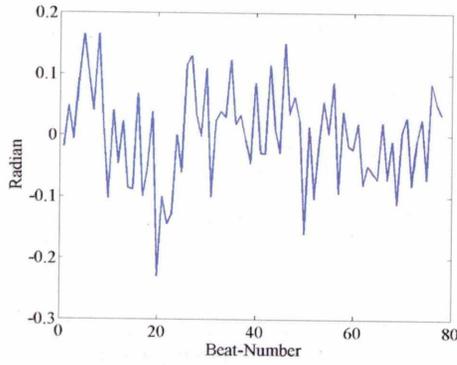
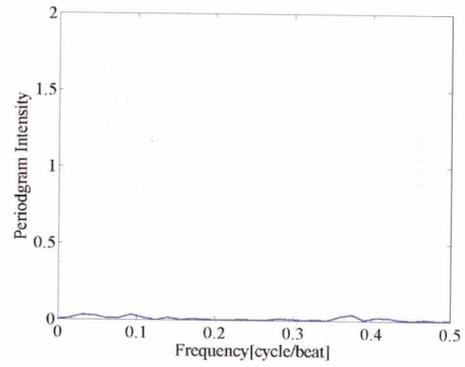


図 6.46: 左 : NML08 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

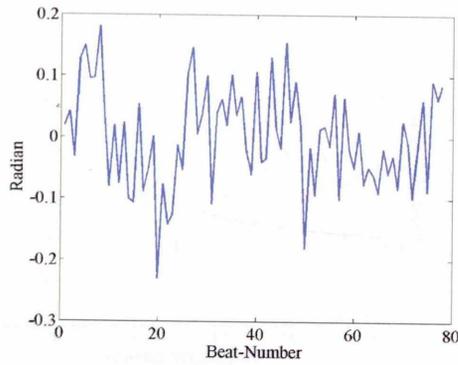
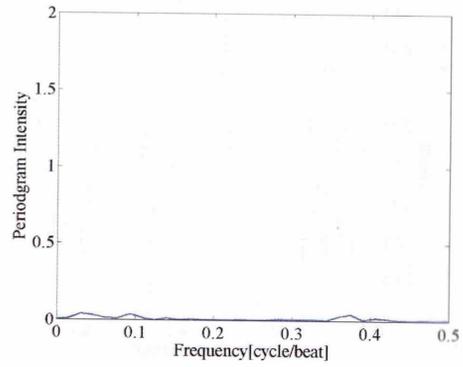


図 6.47: 左 : NML08 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

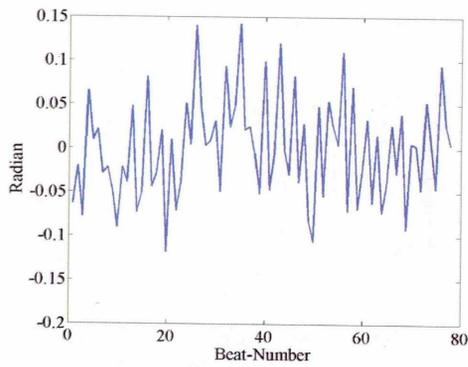
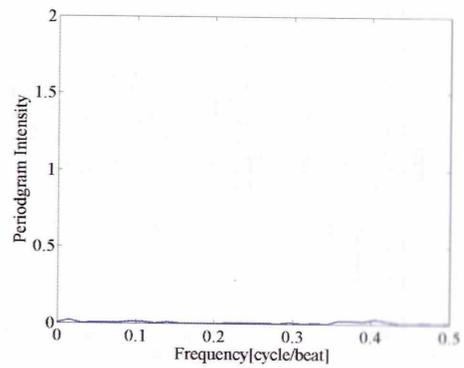


図 6.48: 左 : NML08 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

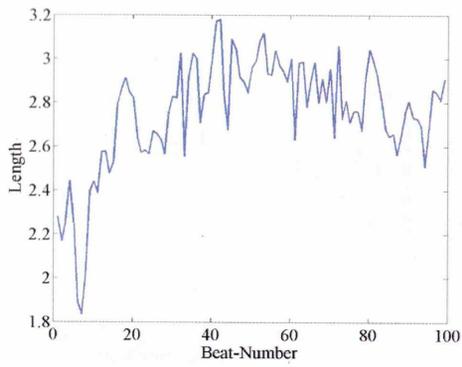
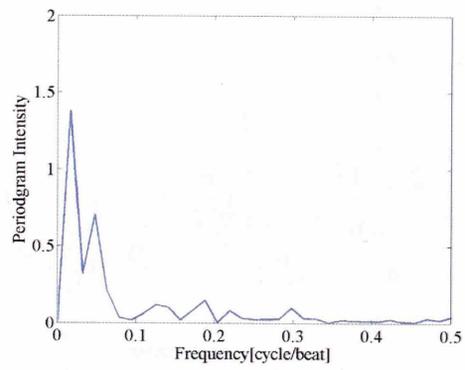


図 6.49: 左 : NML09 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

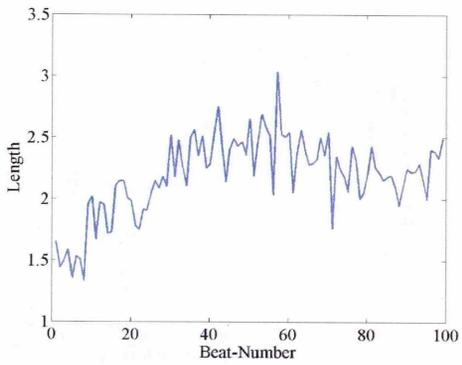
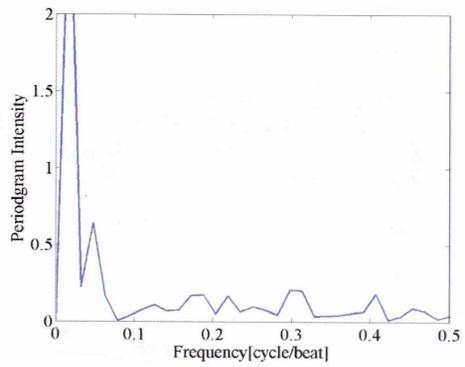


図 6.50: 左 : NML09 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

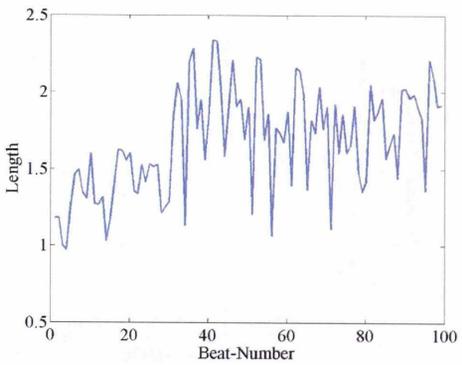
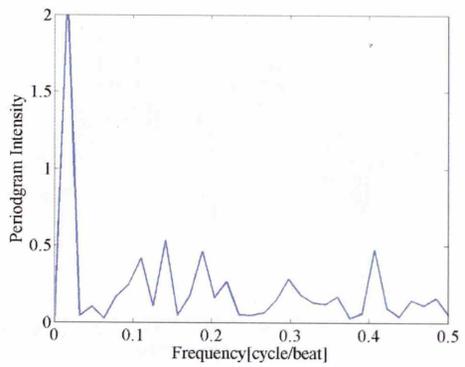


図 6.51: 左 : NML09 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

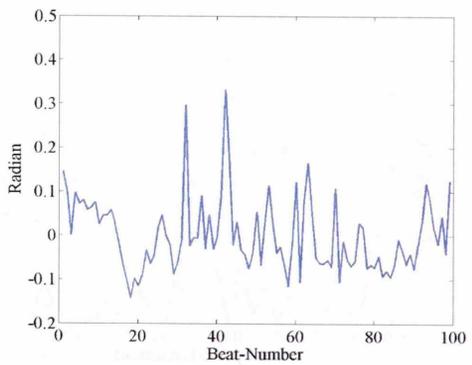
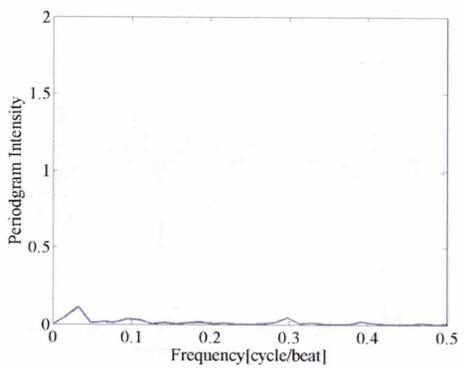


図 6.52: 左 : NML09 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

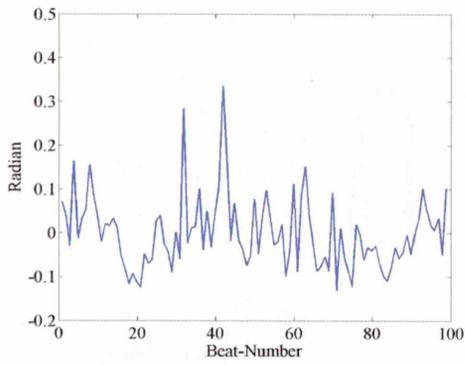
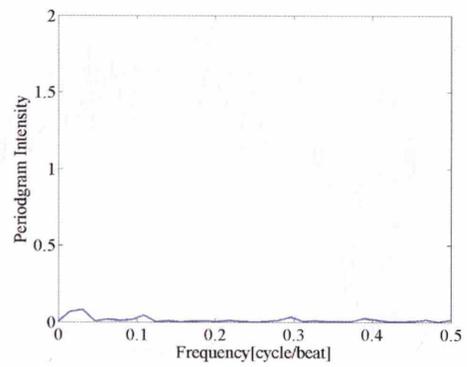


図 6.53: 左 : NML09 の UA_Y



右 : UA_Y のペリオドグラム

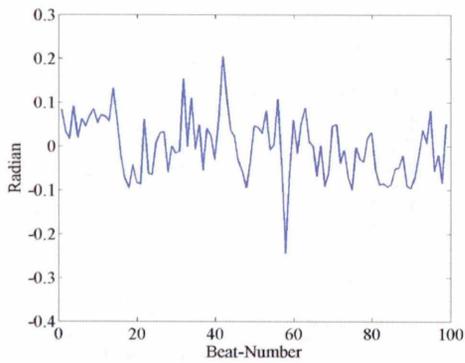
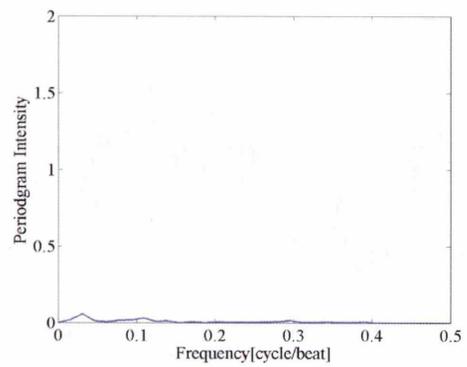


図 6.54: 左 : NML09 の UA_Z



右 : UA_Z のペリオドグラム

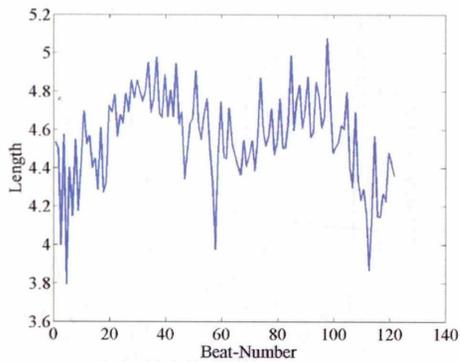
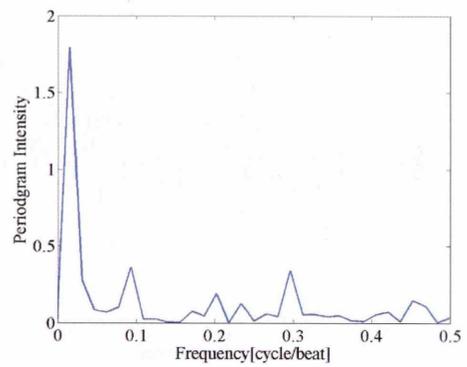


図 6.55: 左 : NML10 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

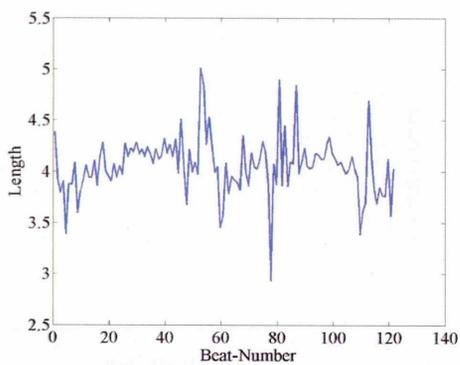
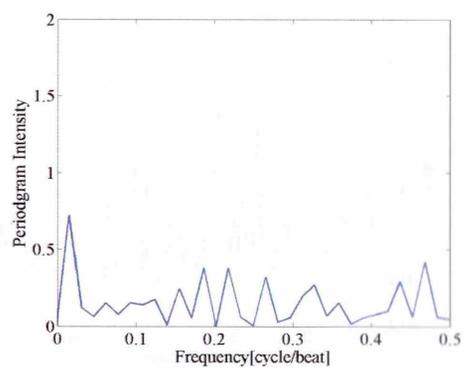


図 6.56: 左 : NML10 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

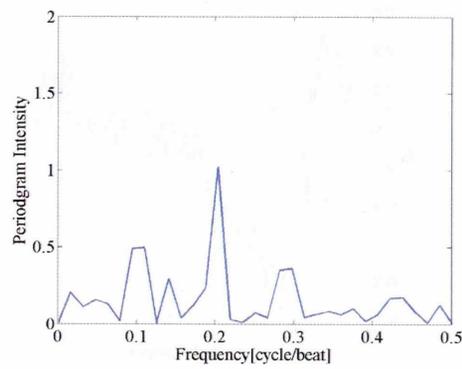
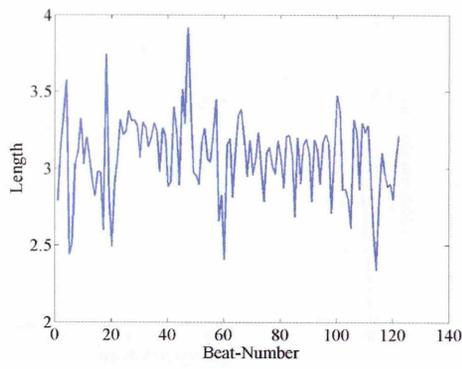


図 6.57: 左 : NML10 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

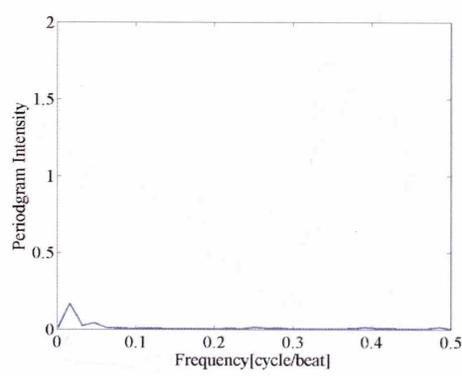
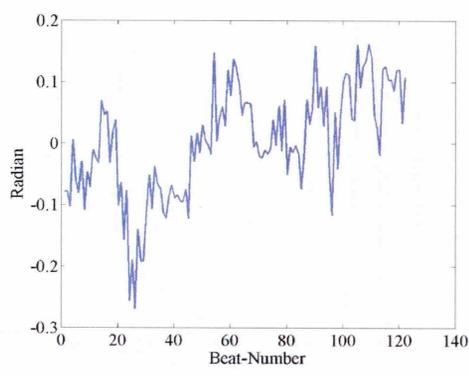


図 6.58: 左 : NML10 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

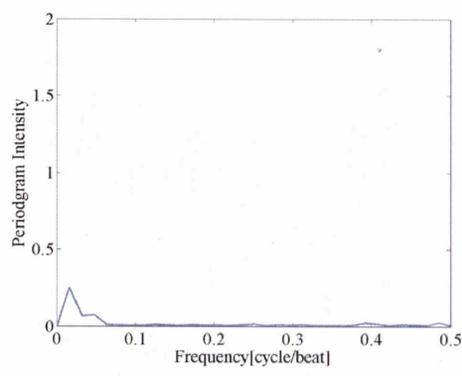
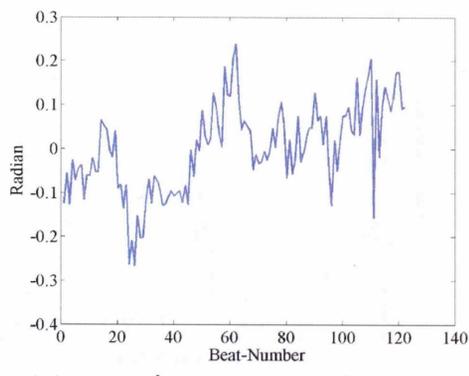


図 6.59: 左 : NML10 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

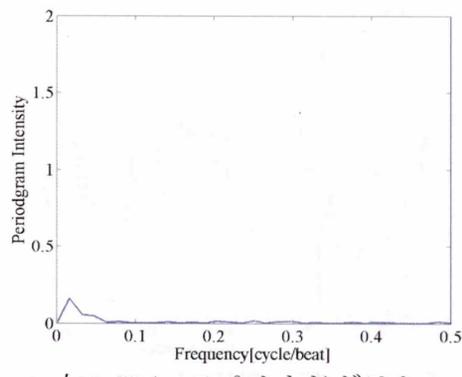
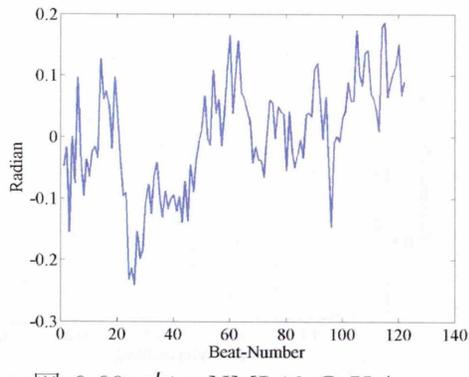


図 6.60: 左 : NML10 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

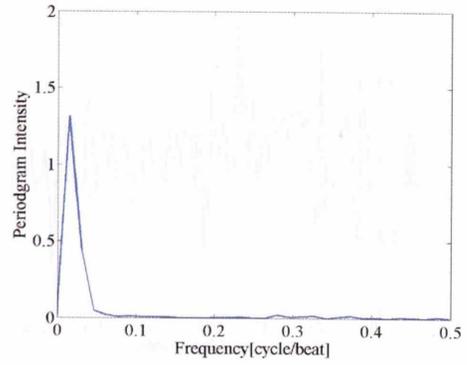
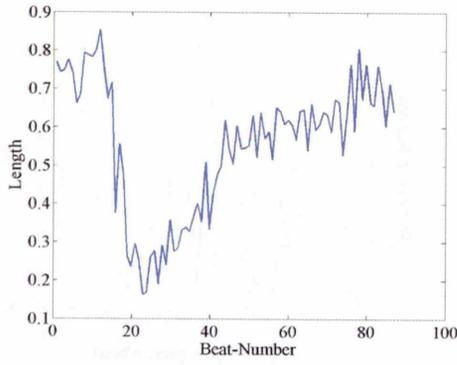


図 6.61: 左 : TWA_low01 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

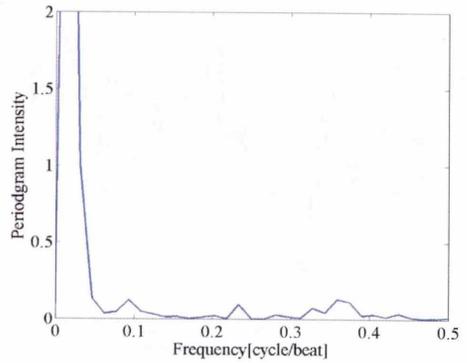
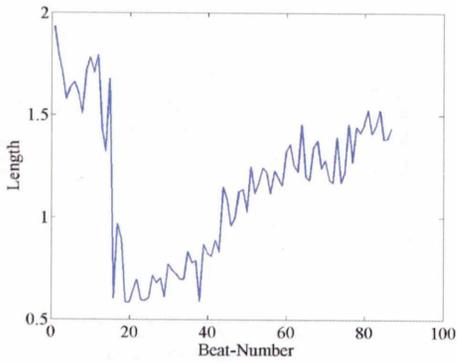


図 6.62: 左 : TWA_low01 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

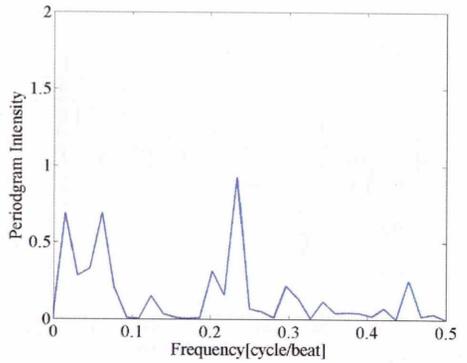
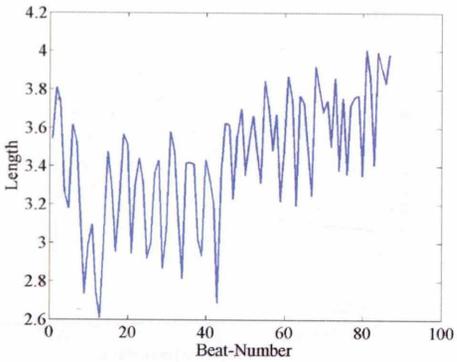


図 6.63: 左 : TWA_low01 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

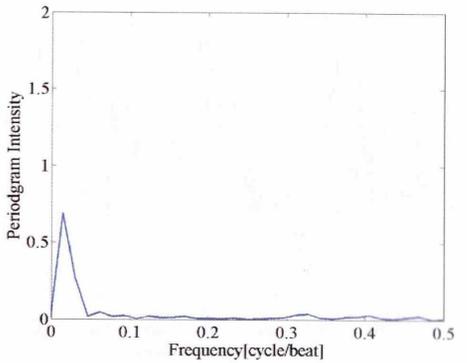
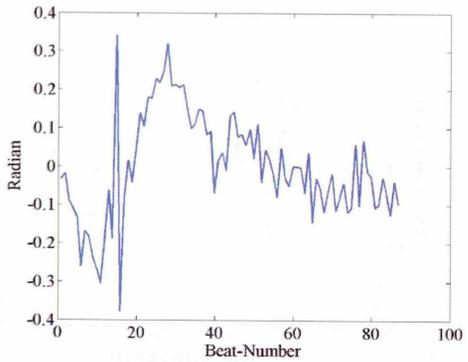


図 6.64: 左 : TWA_low01 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

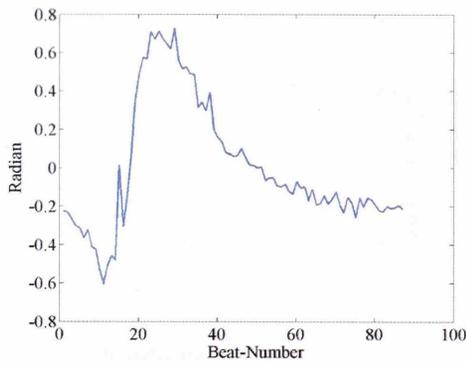
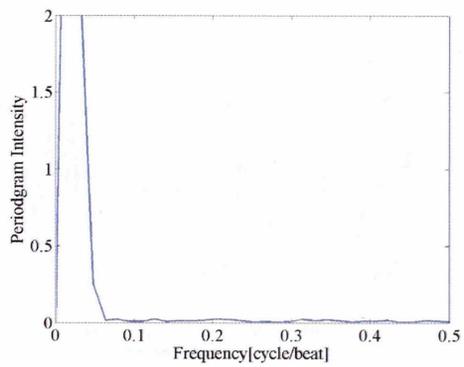


図 6.65: 左 : TWA_low01 の U_{A_Y}



右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

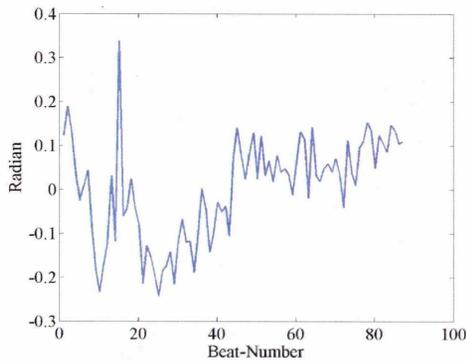
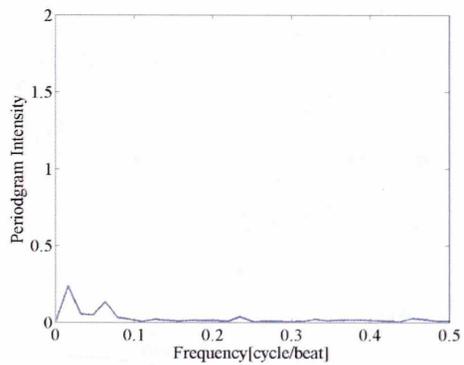


図 6.66: 左 : TWA_low01 の U_{A_Z}



右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

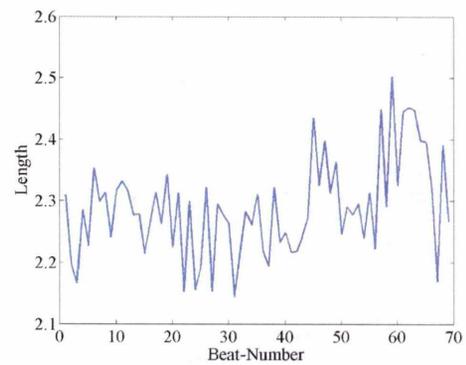
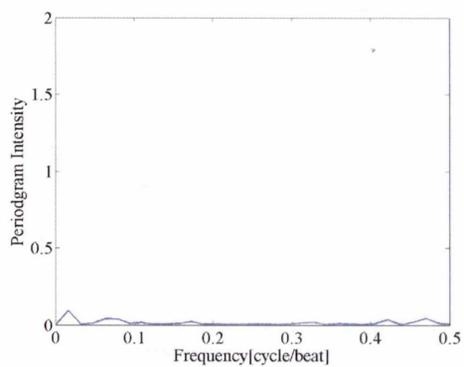


図 6.67: 左 : TWA_low02 の U_{L_X}



右 : U_{L_X} のペリオドグラム

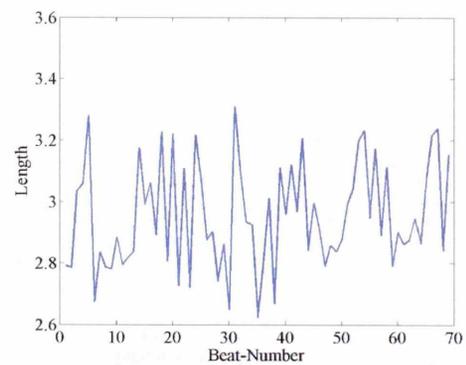
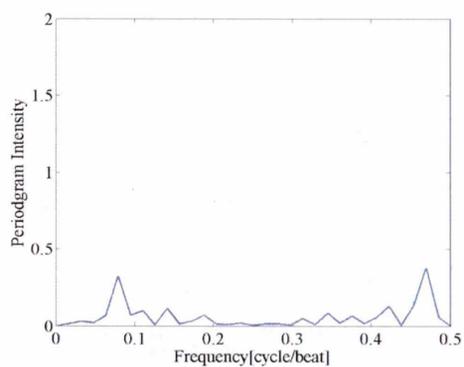


図 6.68: 左 : TWA_low02 の U_{L_Y}



右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

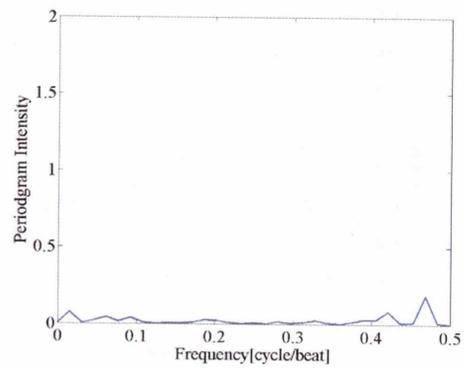
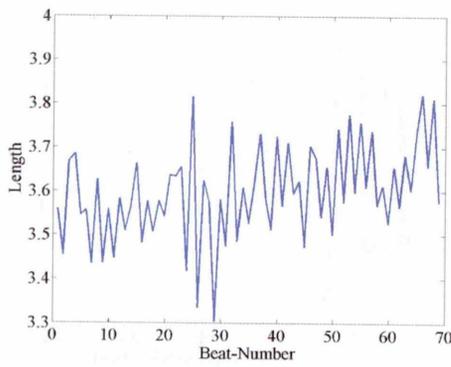


図 6.69: 左 : TWA_low02 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

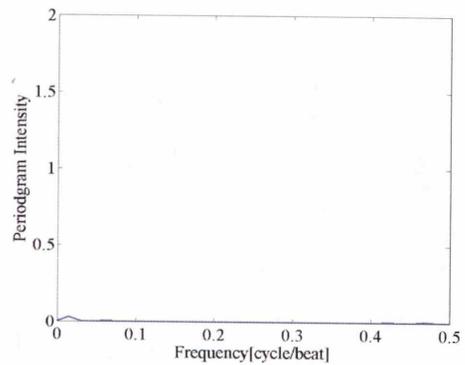
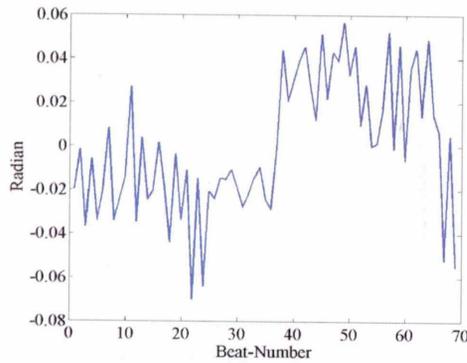


図 6.70: 左 : TWA_low02 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

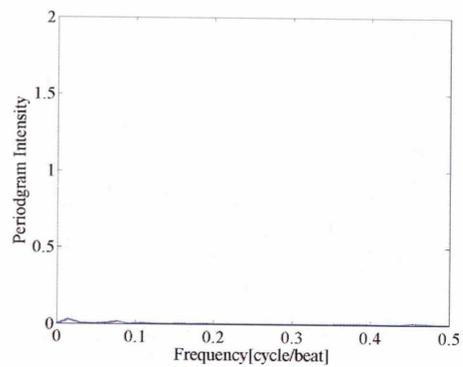
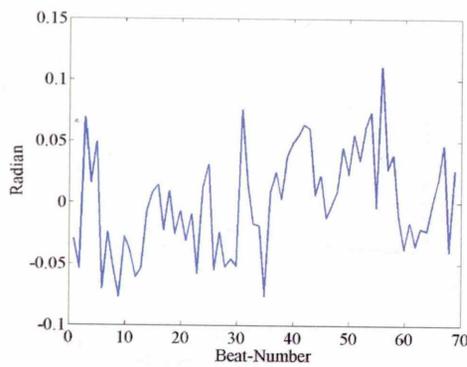


図 6.71: 左 : TWA_low02 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

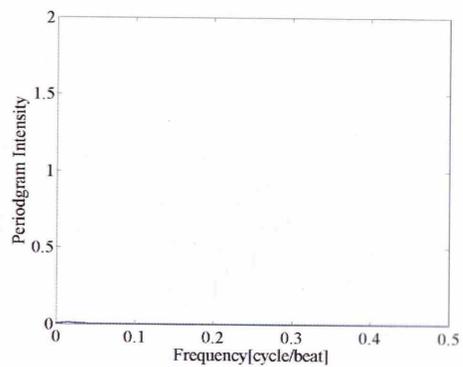
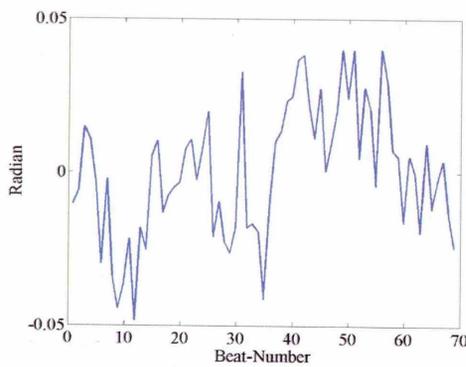


図 6.72: 左 : TWA_low02 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

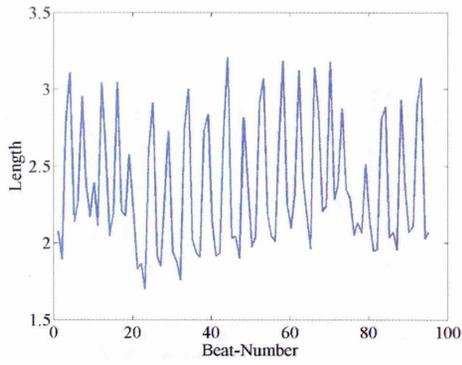
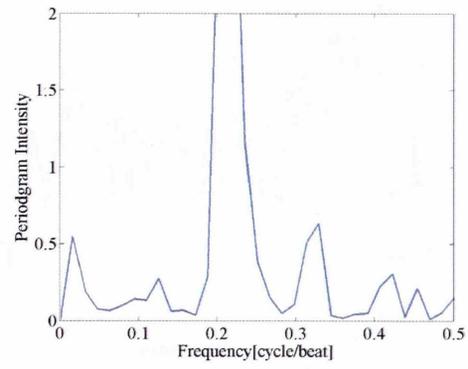


図 6.73: 左 : TWA_low03 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

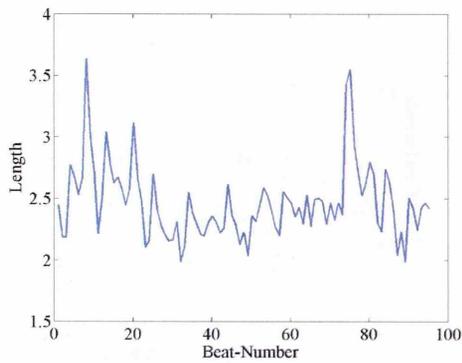
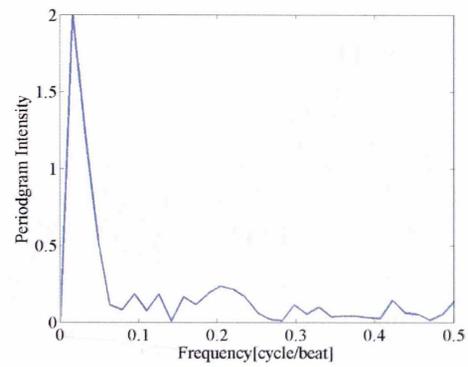


図 6.74: 左 : TWA_low03 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

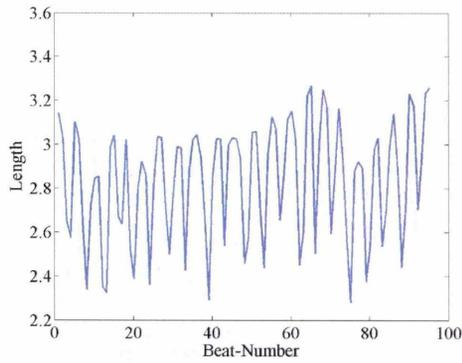
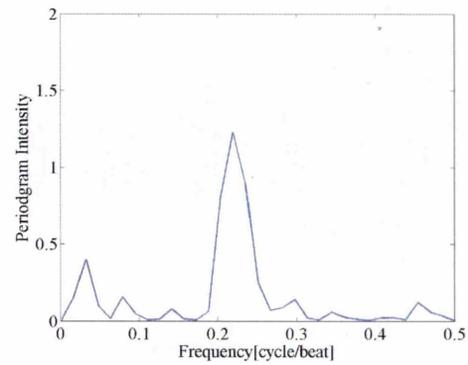


図 6.75: 左 : TWA_low03 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

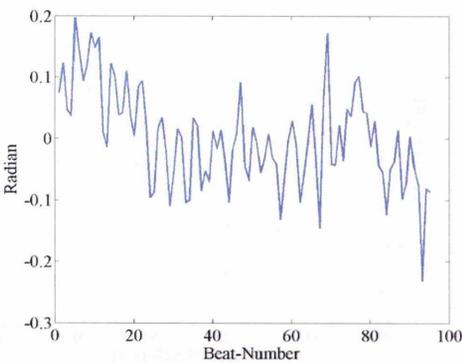
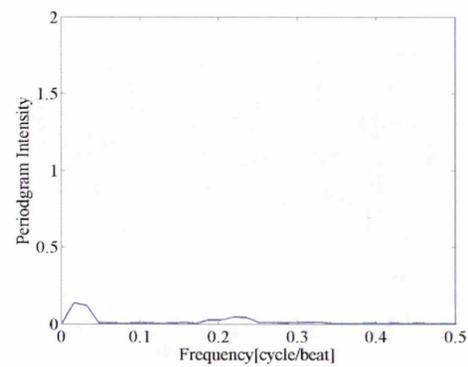


図 6.76: 左 : TWA_low03 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

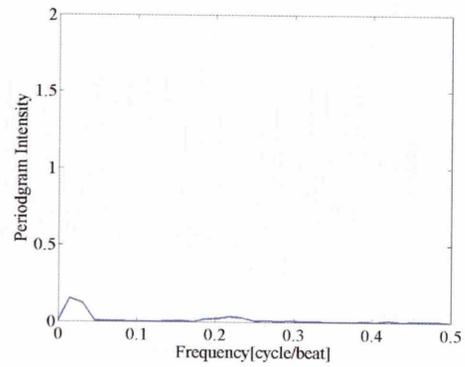
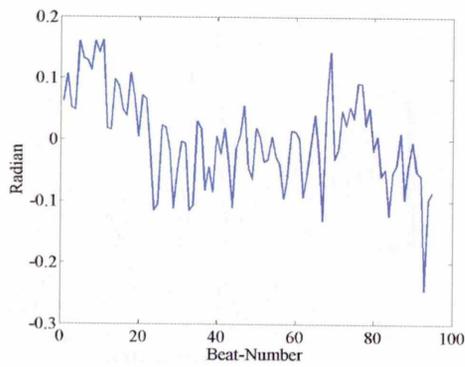


図 6.77: 左 : TWA_low03 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

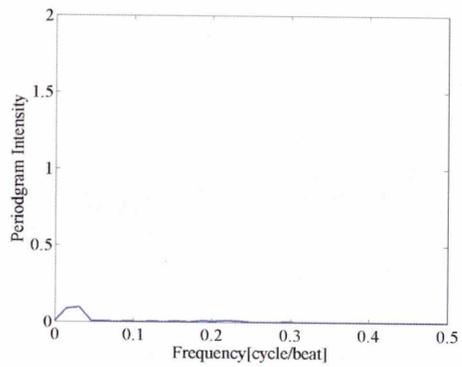
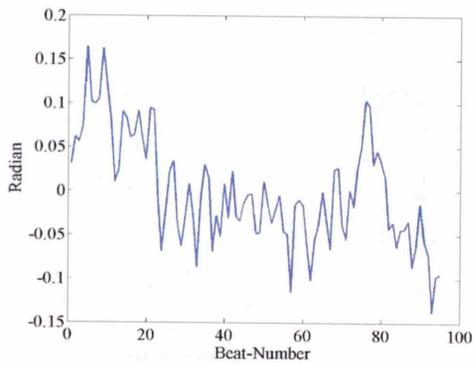


図 6.78: 左 : TWA_low03 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

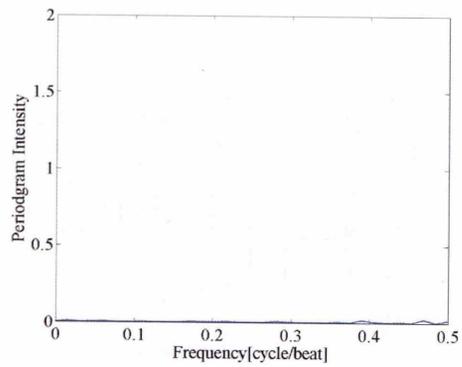
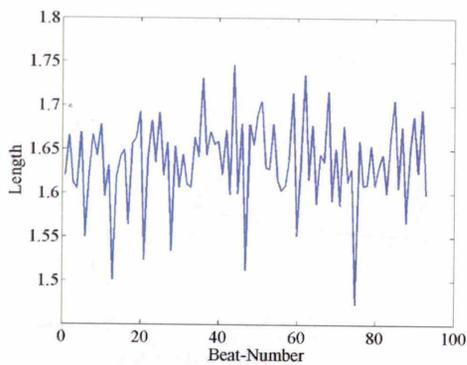


図 6.79: 左 : TWA_low04 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

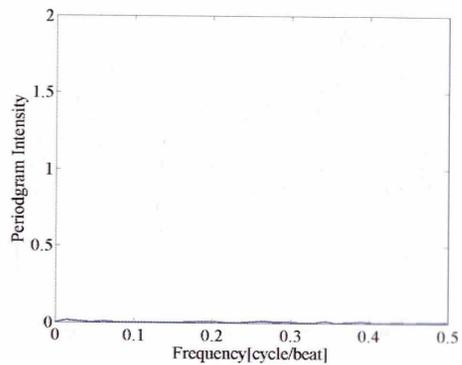
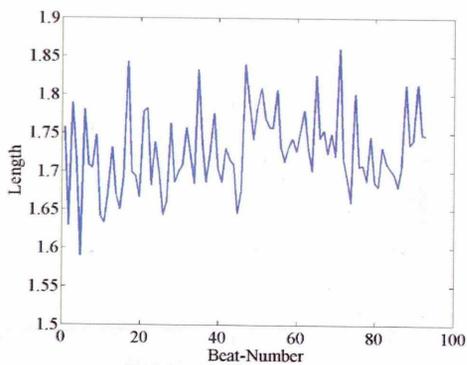


図 6.80: 左 : TWA_low04 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

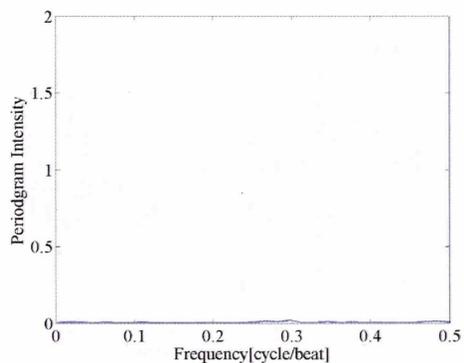
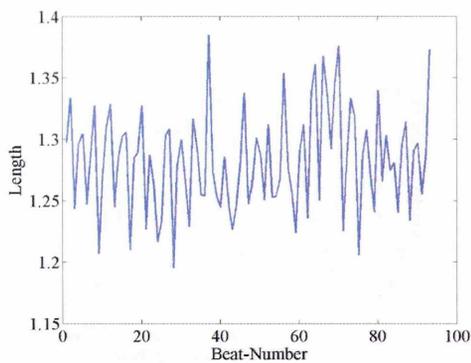


図 6.81: 左 : TWA_low04 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

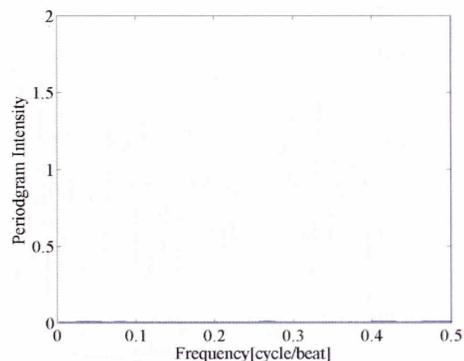
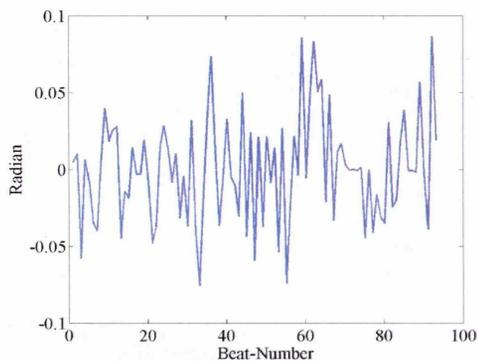


図 6.82: 左 : TWA_low04 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

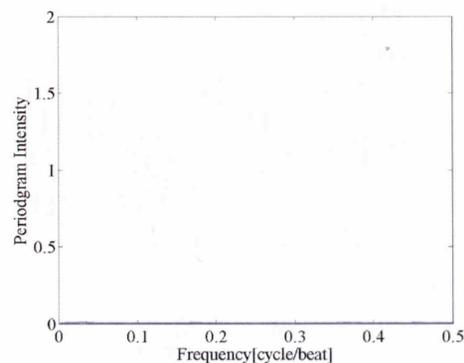
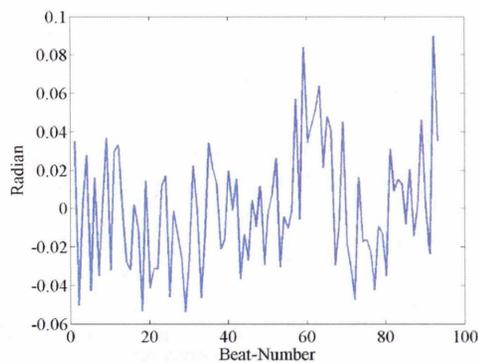


図 6.83: 左 : TWA_low04 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

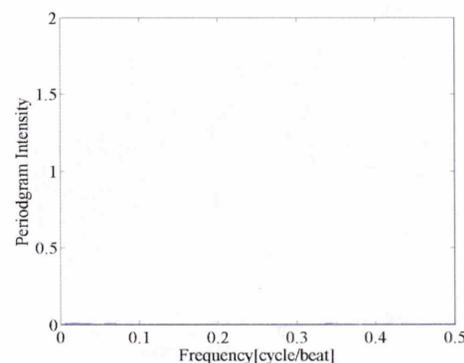
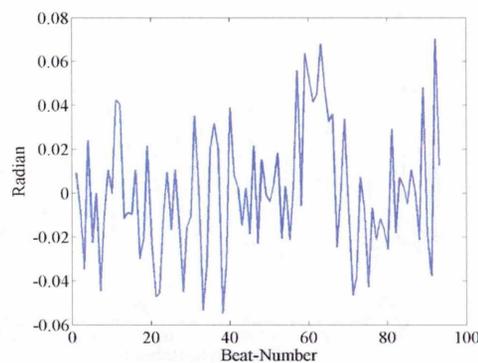


図 6.84: 左 : TWA_low04 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

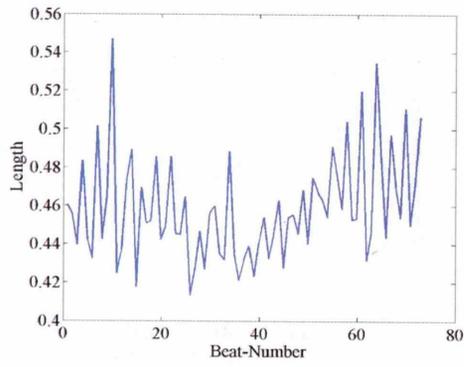
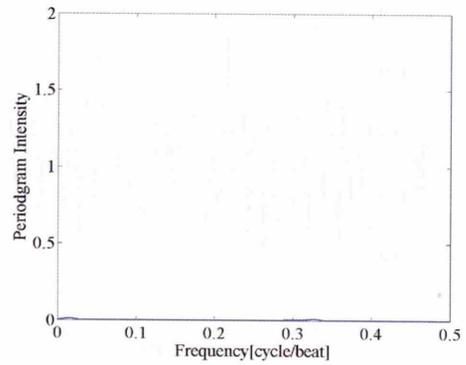


図 6.85: 左 : TWA_low05 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

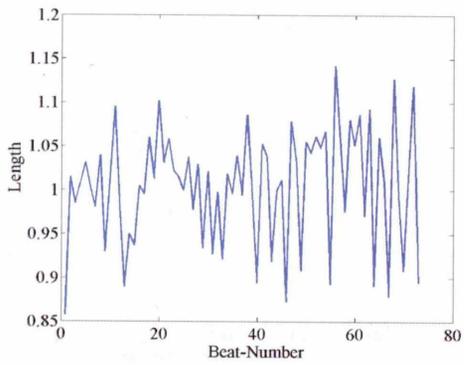
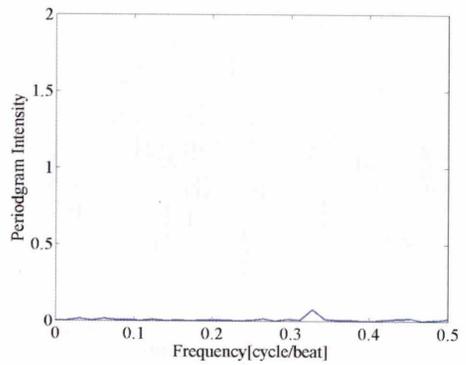


図 6.86: 左 : TWA_low05 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

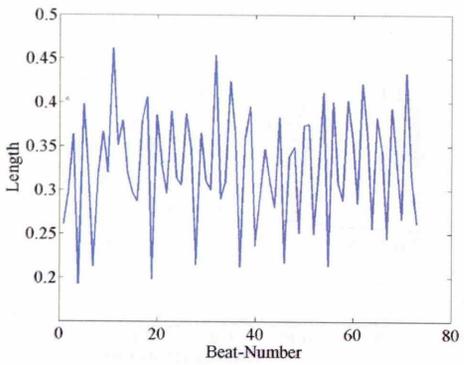
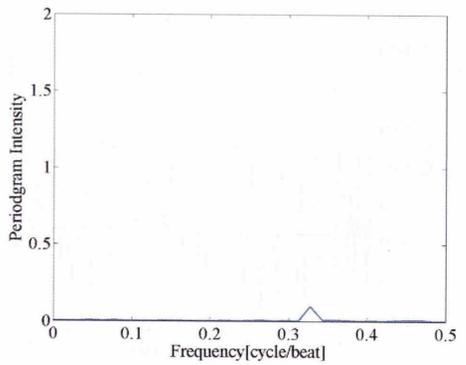


図 6.87: 左 : TWA_low05 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

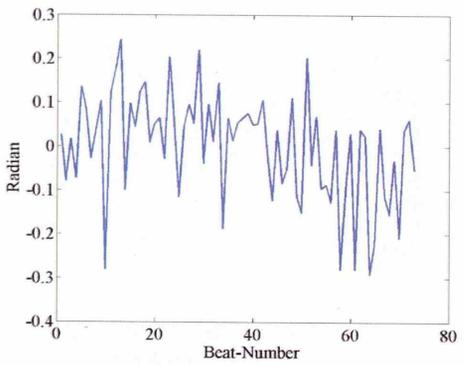
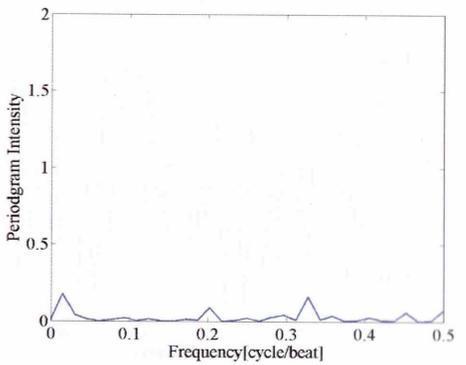


図 6.88: 左 : TWA_low05 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

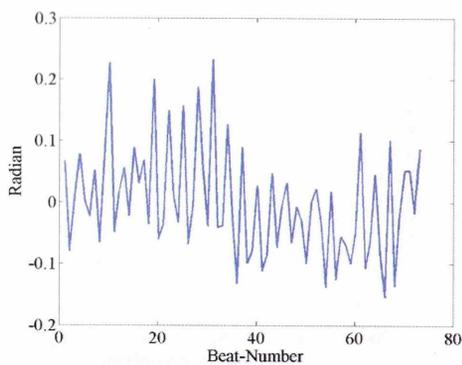
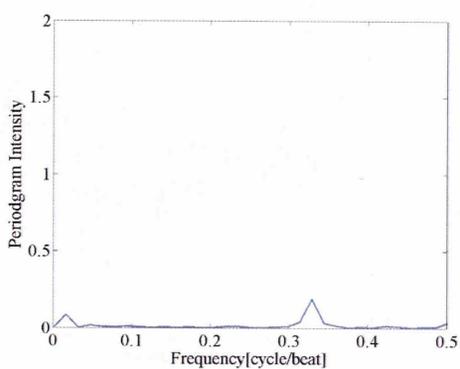


図 6.89: 左 : TWA_low05 の U_{A_Y}



右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

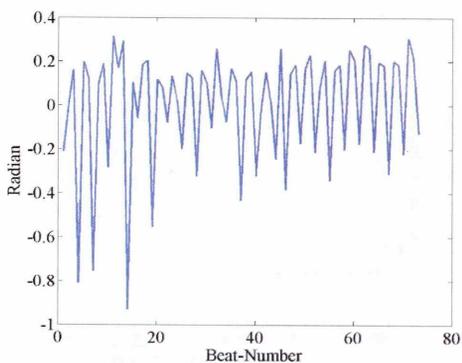
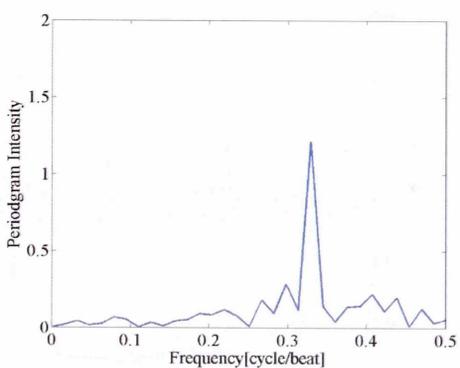


図 6.90: 左 : TWA_low05 の U_{A_Z}



右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

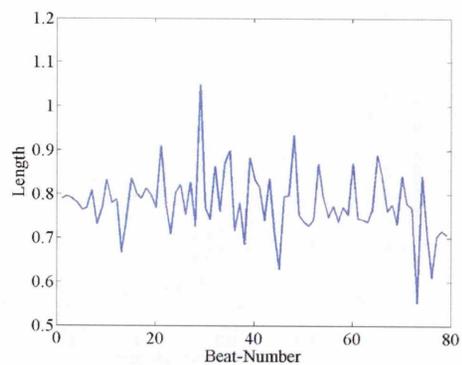
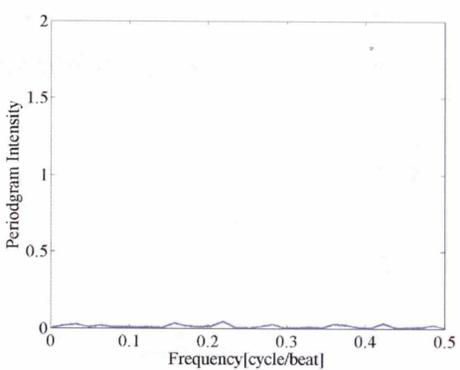


図 6.91: 左 : TWA_low06 の U_{L_X}



右 : U_{L_X} のペリオドグラム

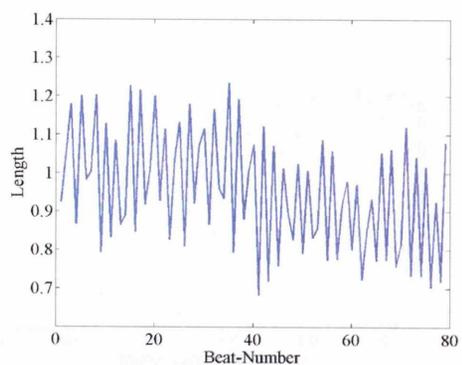
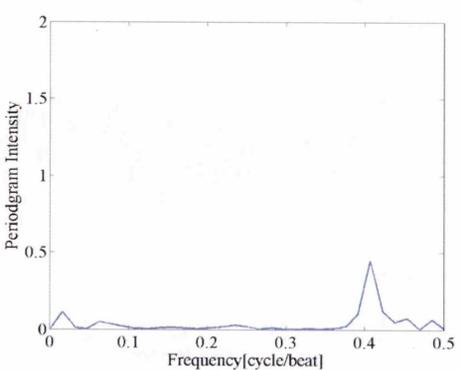


図 6.92: 左 : TWA_low06 の U_{L_Y}



右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

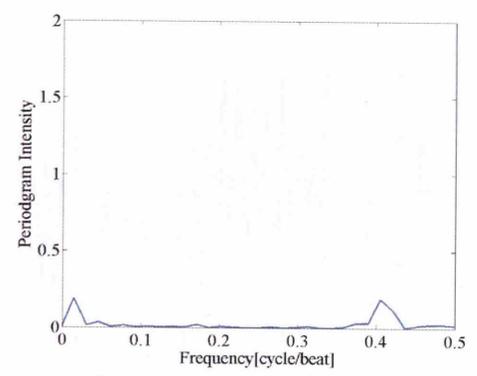
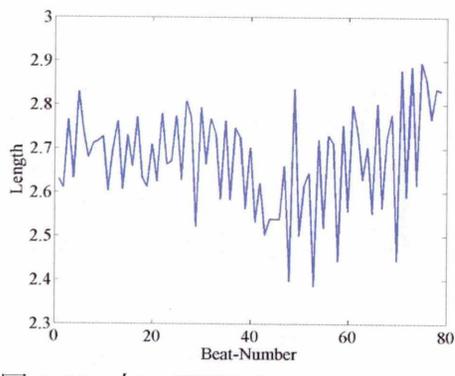


図 6.93: 左 : TWA_low06 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

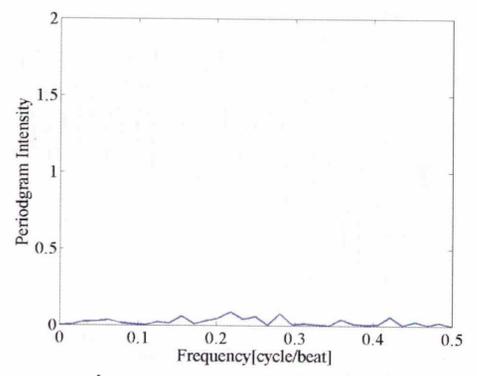
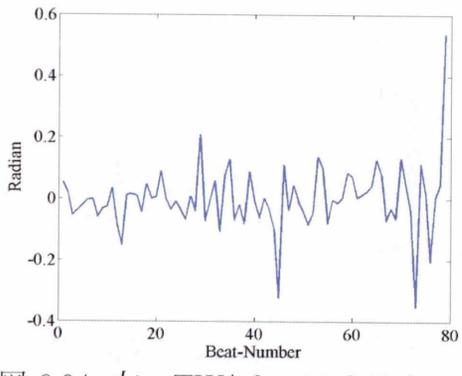


図 6.94: 左 : TWA_low06 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

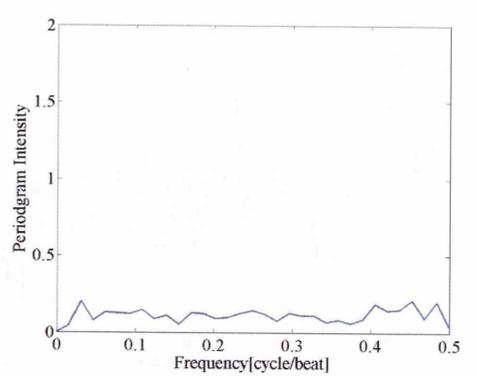
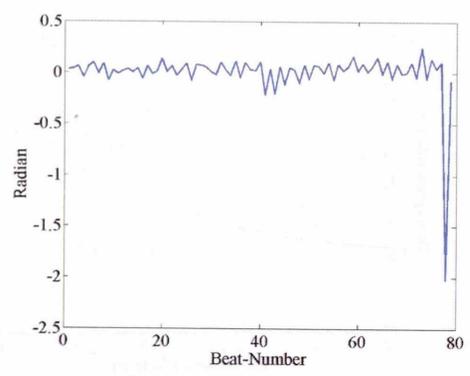


図 6.95: 左 : TWA_low06 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

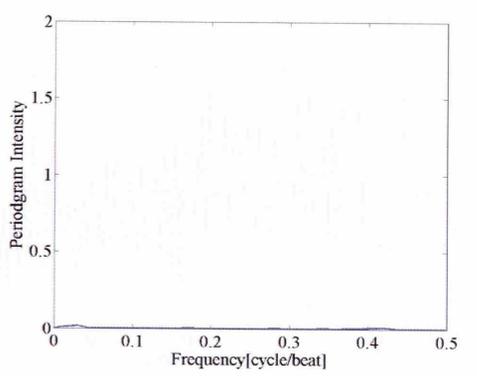
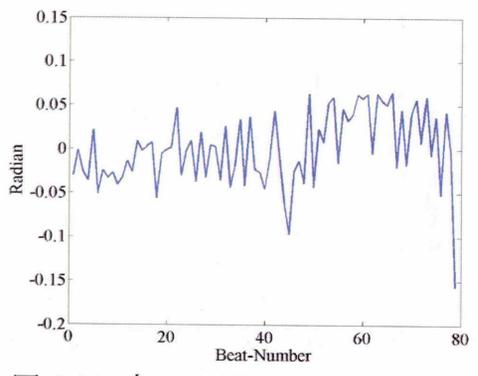


図 6.96: 左 : TWA_low06 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

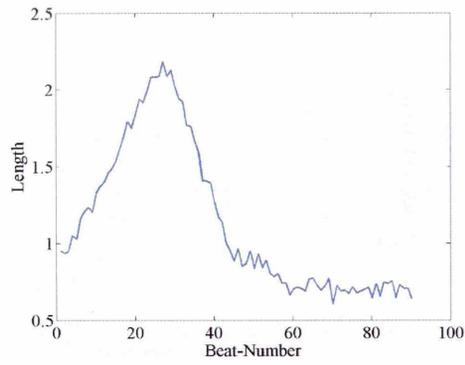
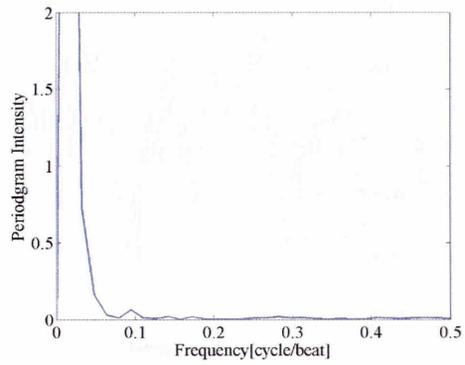


図 6.97: 左 : TWA_low07 の UL_X



右 : UL_X のペリオドグラム

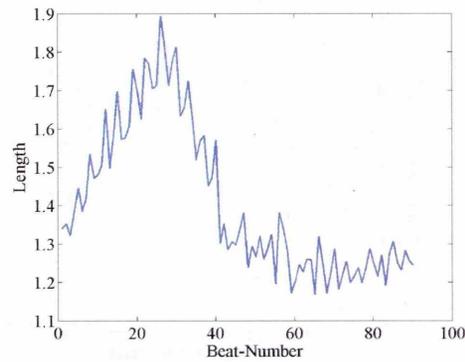
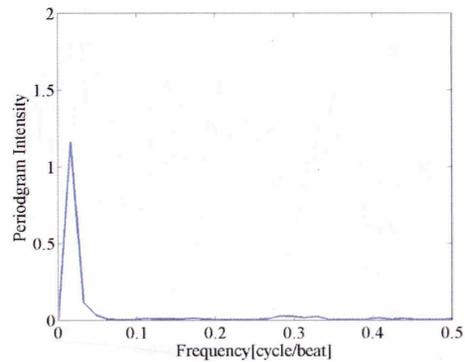


図 6.98: 左 : TWA_low07 の UL_Y



右 : UL_Y のペリオドグラム

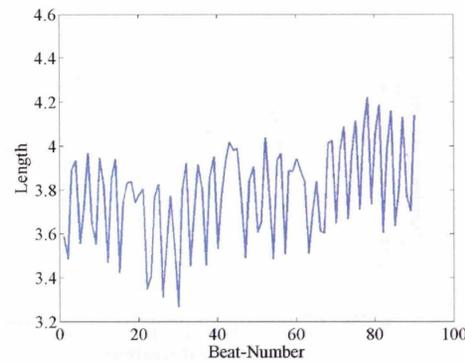
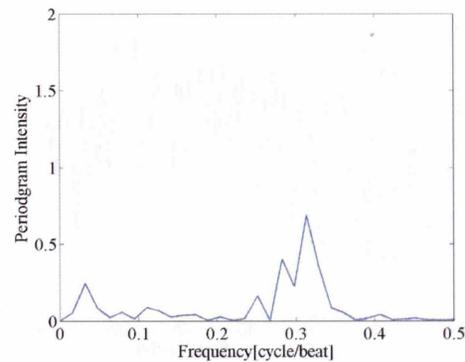


図 6.99: 左 : TWA_low07 の UL_Z



右 : UL_Z のペリオドグラム

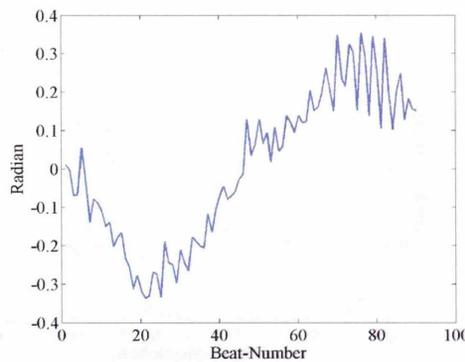
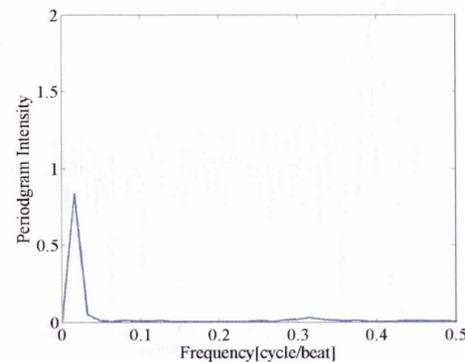


図 6.100: 左 : TWA_low07 の UA_X



右 : UA_X のペリオドグラム

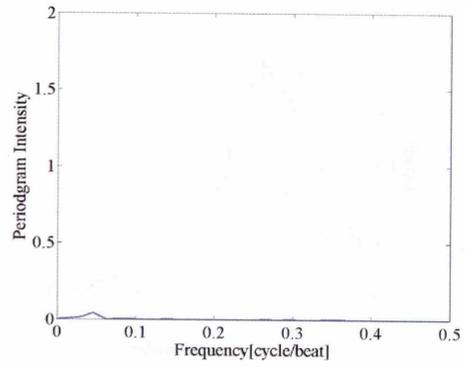
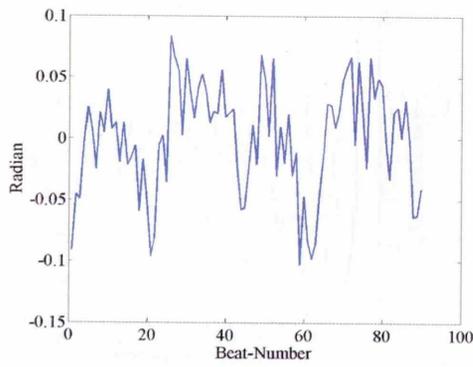


図 6.101: 左 : TWA_low07 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

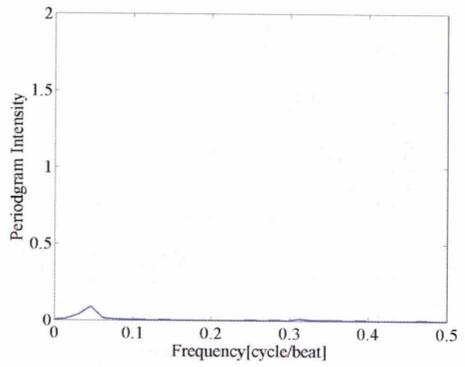
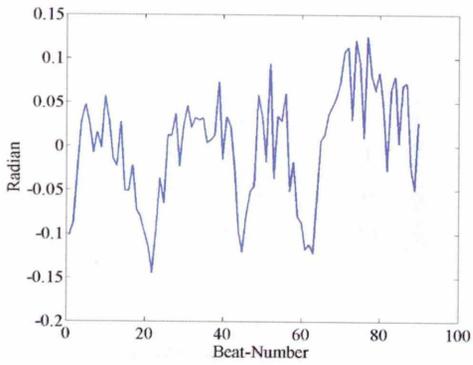


図 6.102: 左 : TWA_low07 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

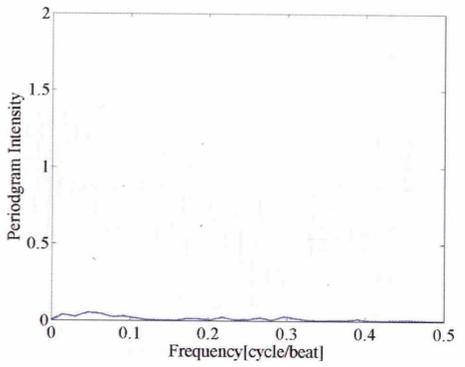
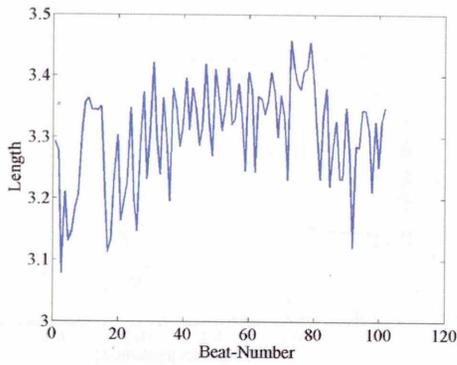


図 6.103: 左 : TWA_low08 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

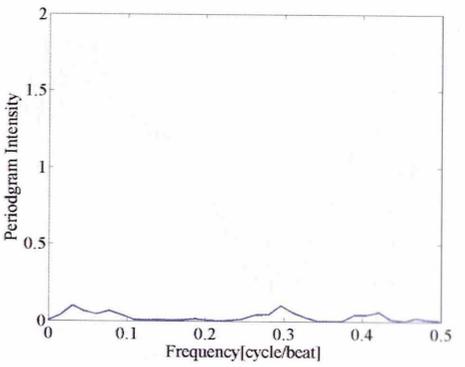
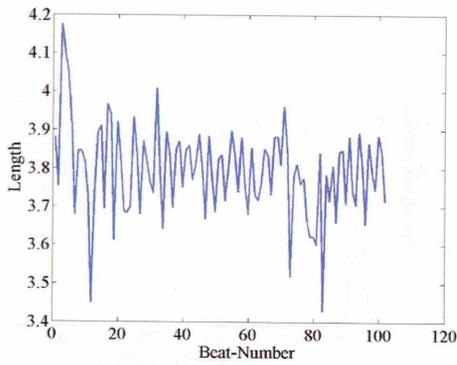


図 6.104: 左 : TWA_low08 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

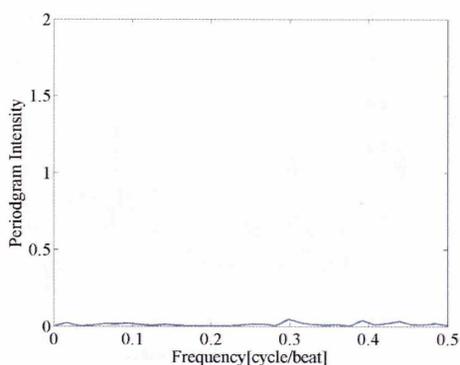
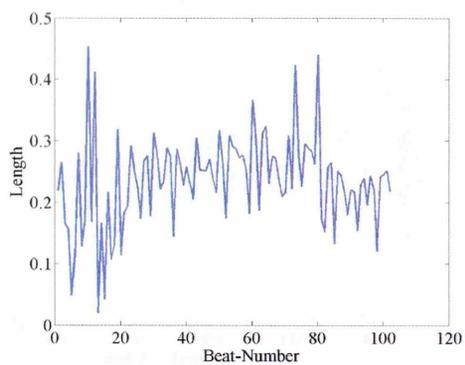


図 6.105: 左 : TWA_low08 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

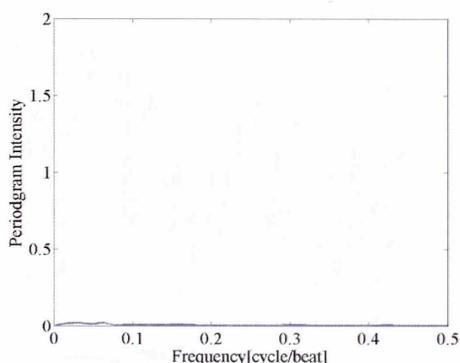
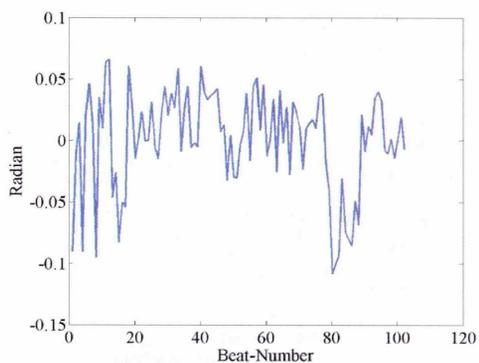


図 6.106: 左 : TWA_low08 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

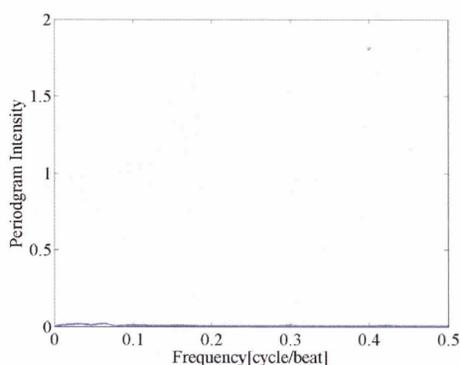
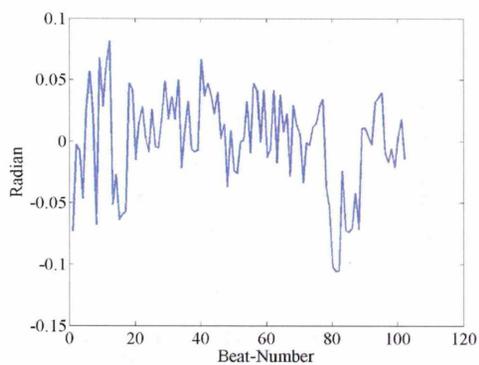


図 6.107: 左 : TWA_low08 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

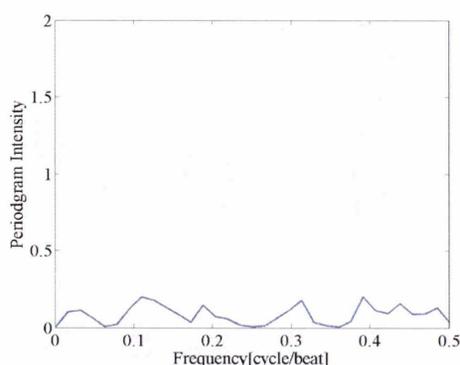
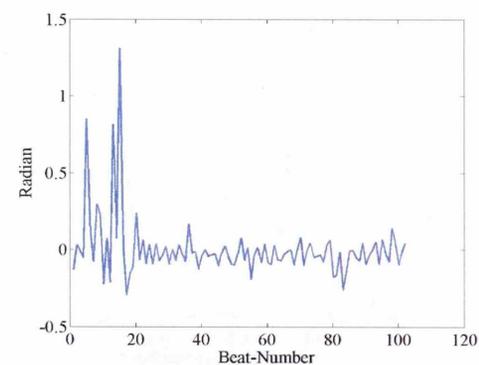


図 6.108: 左 : TWA_low08 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

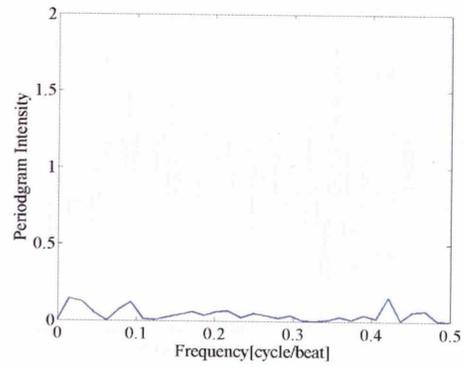
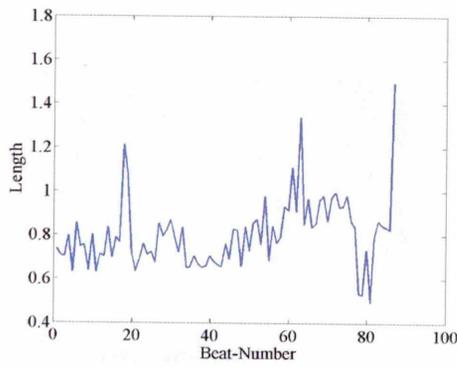


図 6.109: 左 : TWA_low09 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

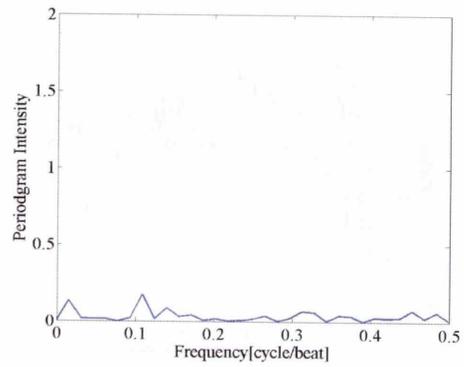
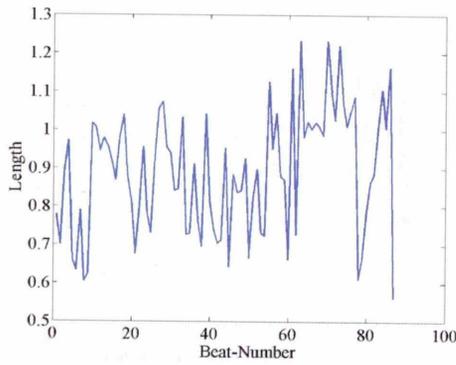


図 6.110: 左 : TWA_low09 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

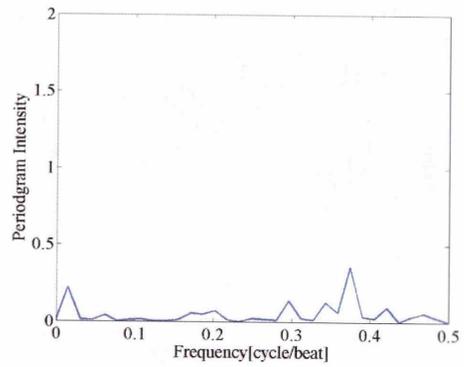
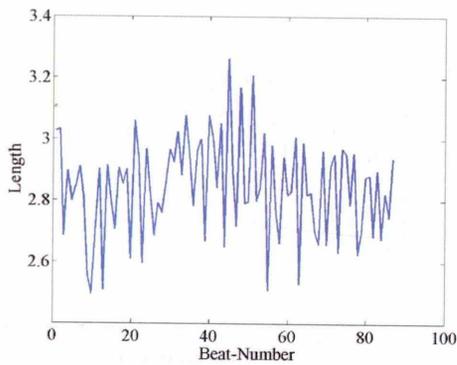


図 6.111: 左 : TWA_low09 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

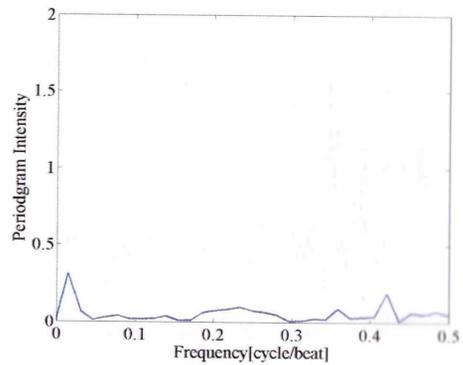
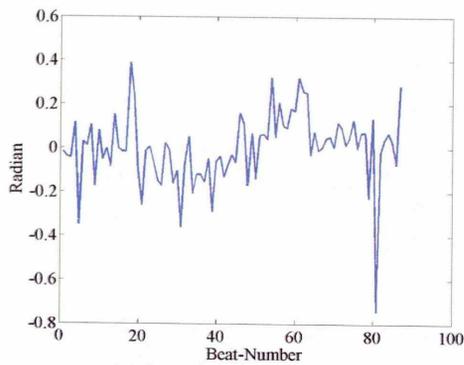


図 6.112: 左 : TWA_low09 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

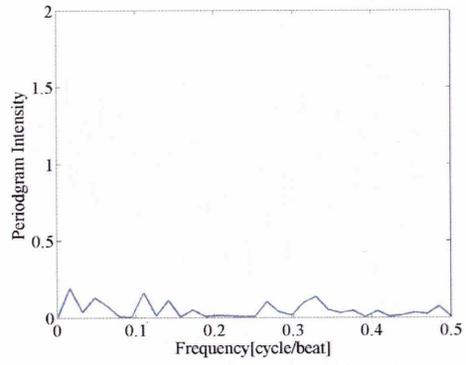
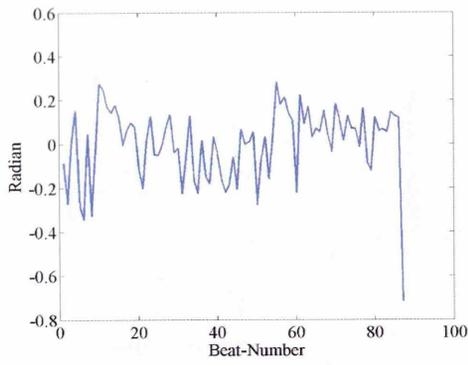


図 6.113: 左 : TWA_low09 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

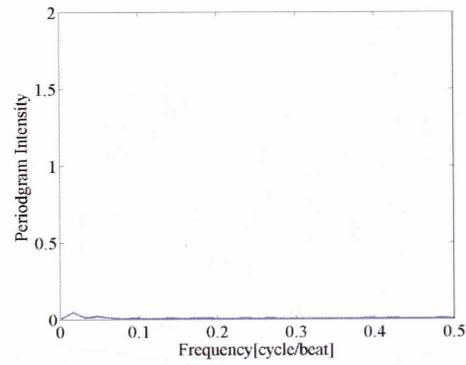
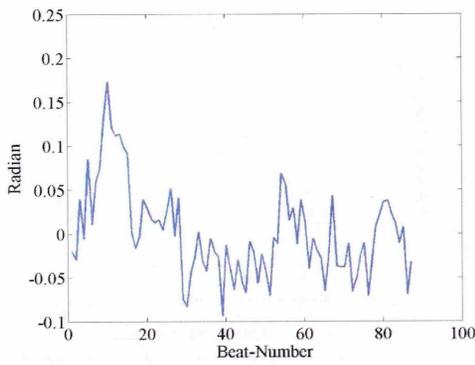


図 6.114: 左 : TWA_low09 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

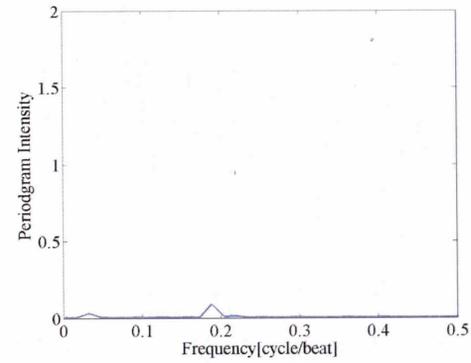
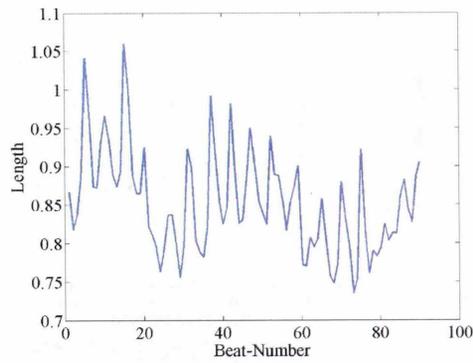


図 6.115: 左 : TWA_low10 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

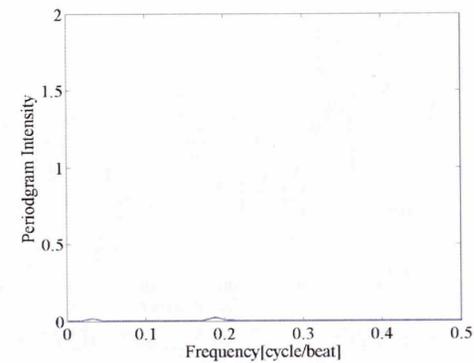
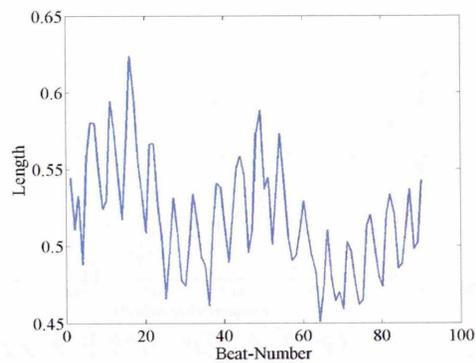


図 6.116: 左 : TWA_low10 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

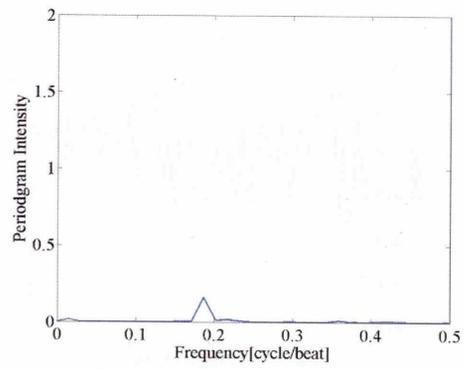
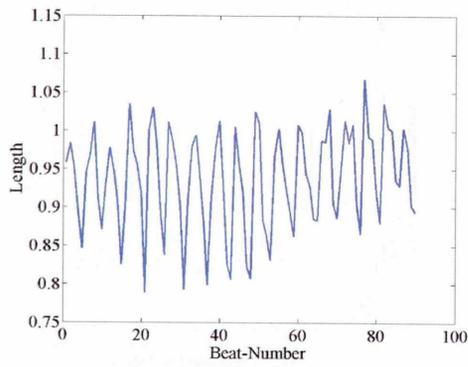


図 6.117: 左 : TWA_low10 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

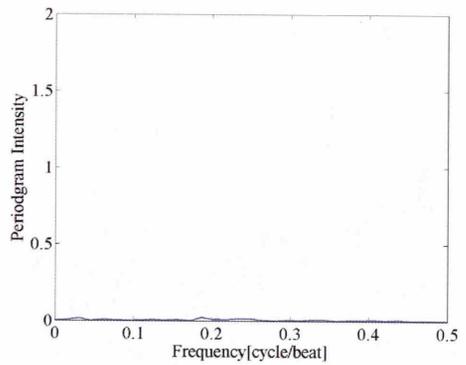
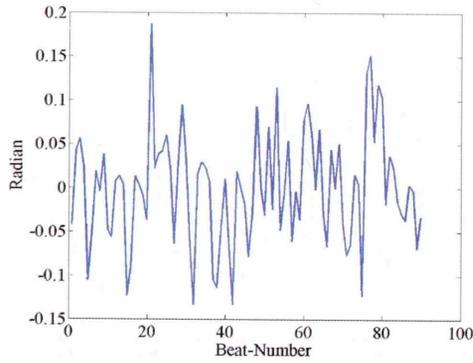


図 6.118: 左 : TWA_low10 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

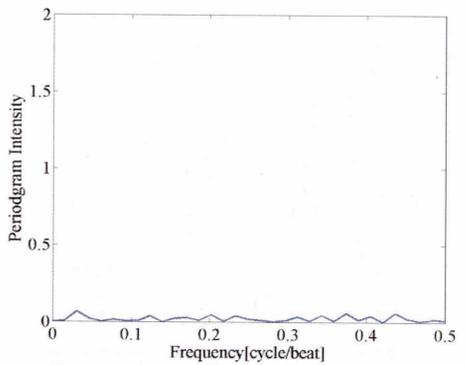
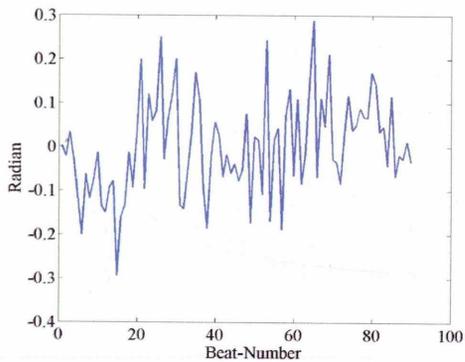


図 6.119: 左 : TWA_low10 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

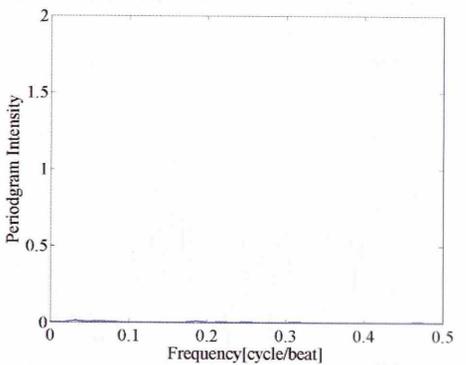
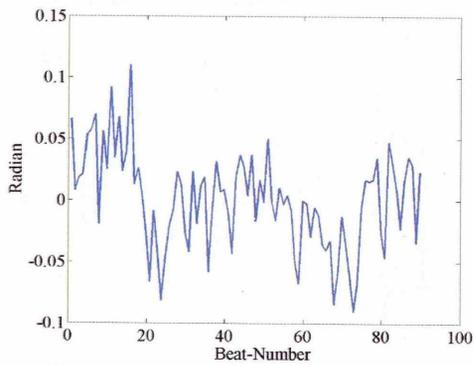


図 6.120: 左 : TWA_low10 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

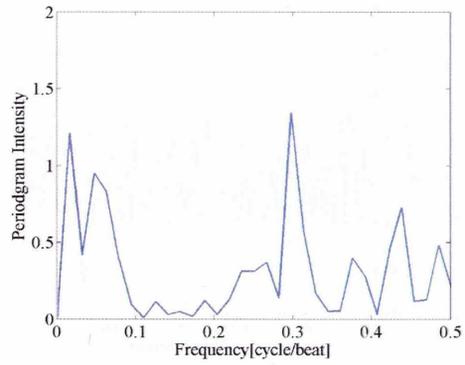
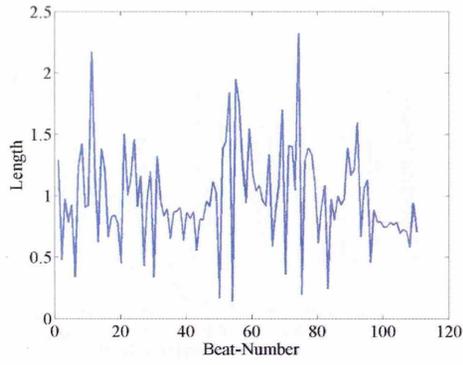


図 6.121: 左 : TWA_high01 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

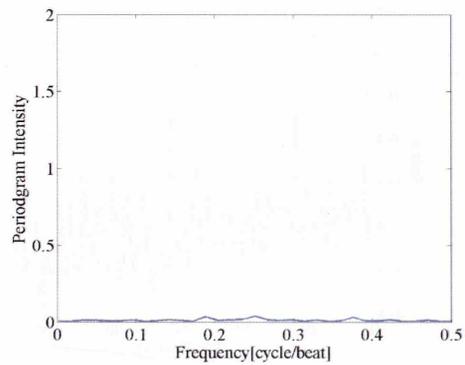
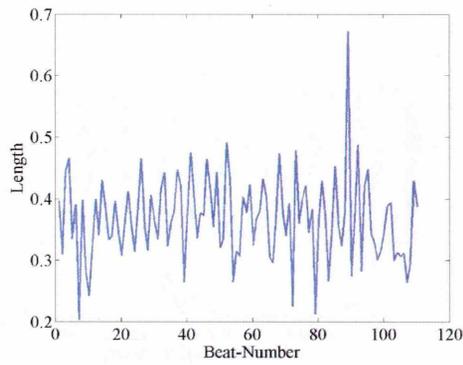


図 6.122: 左 : TWA_high01 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

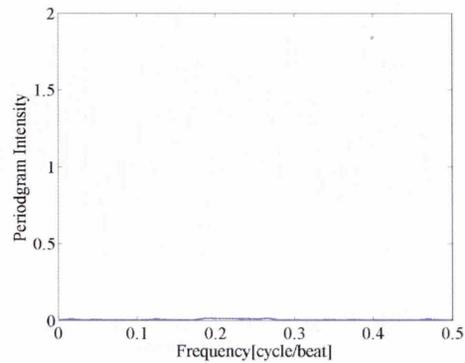
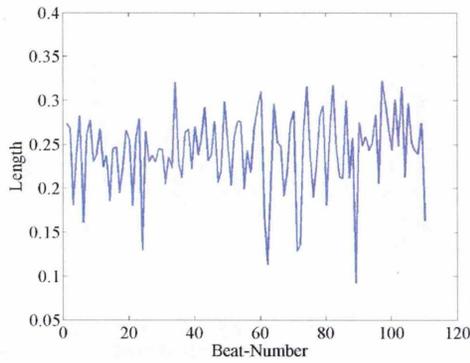


図 6.123: 左 : TWA_high01 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

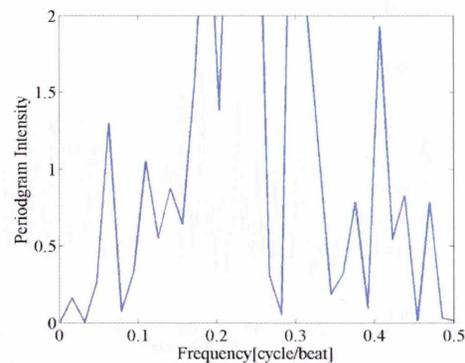
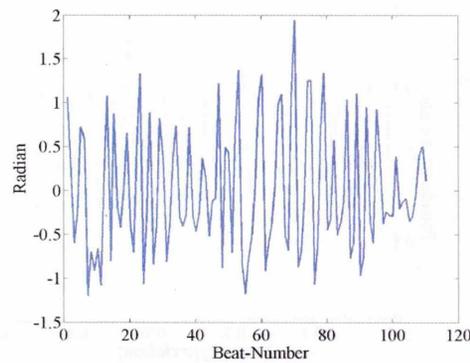


図 6.124: 左 : TWA_high01 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

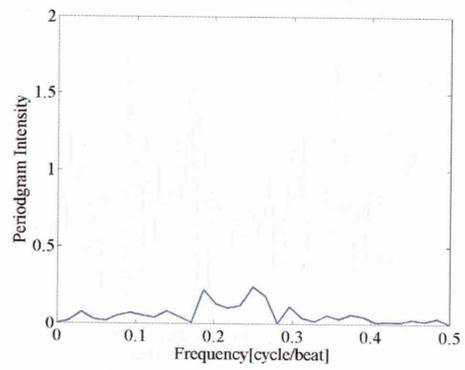
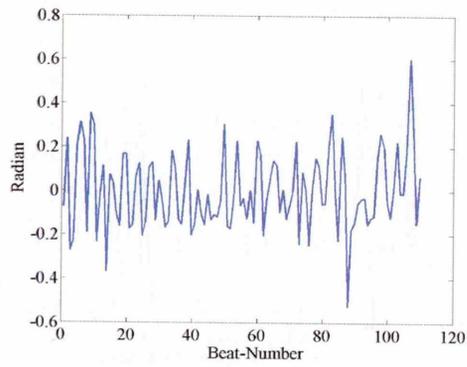


図 6.125: 左 : TWA_high01 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

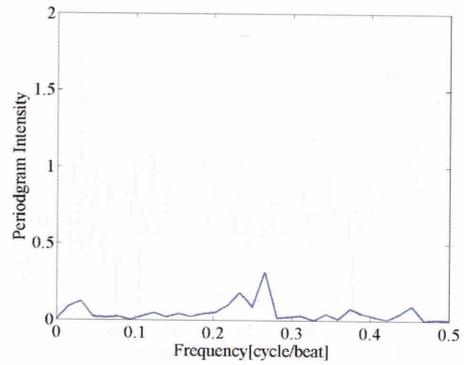
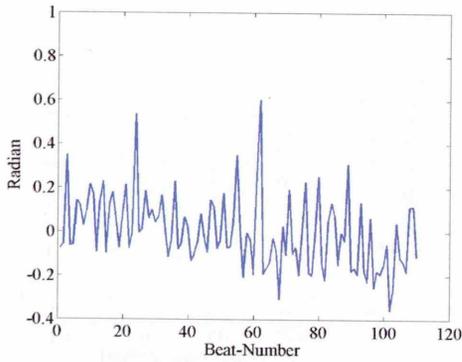


図 6.126: 左 : TWA_high01 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

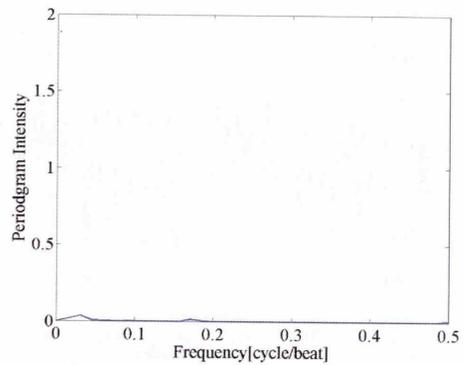
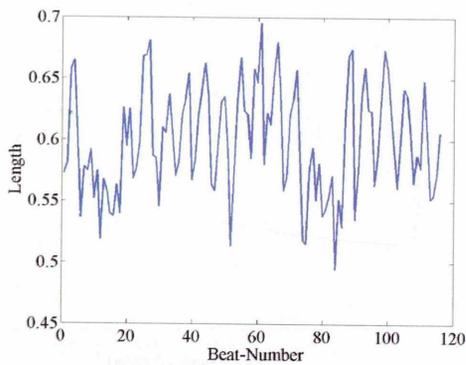


図 6.127: 左 : TWA_high02 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

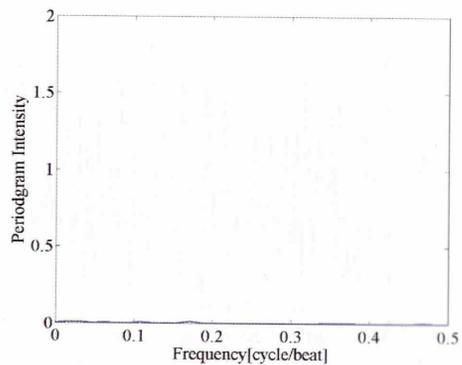
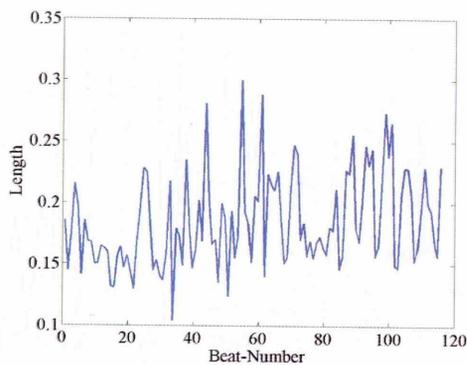


図 6.128: 左 : TWA_high02 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

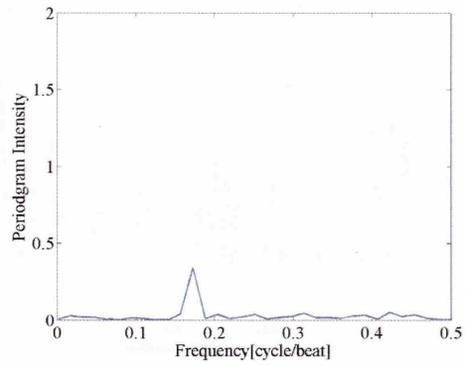
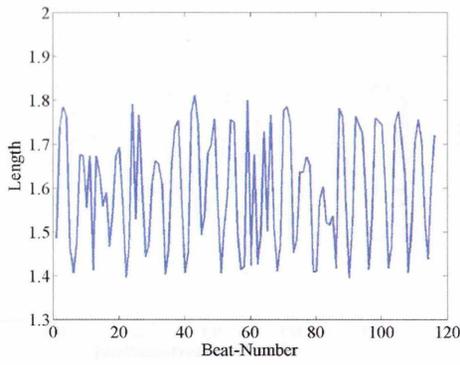


図 6.129: 左 : TWA_high02 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

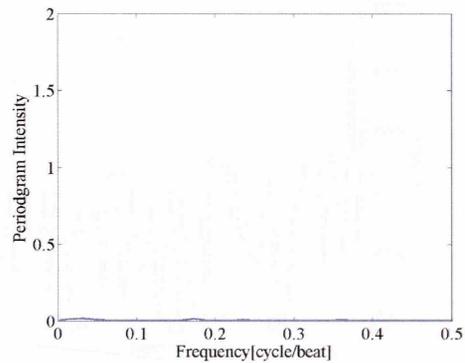
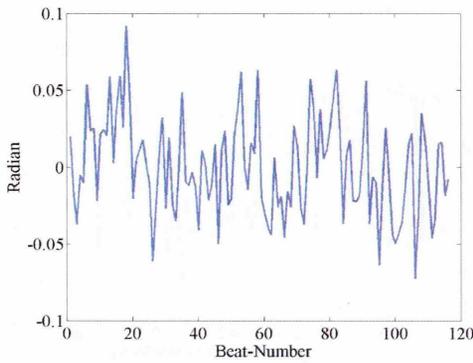


図 6.130: 左 : TWA_high02 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

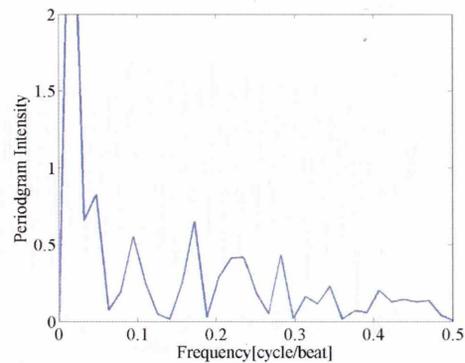
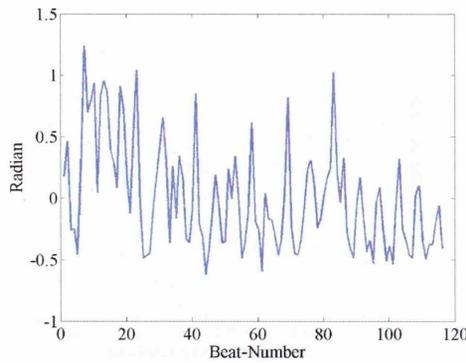


図 6.131: 左 : TWA_high02 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

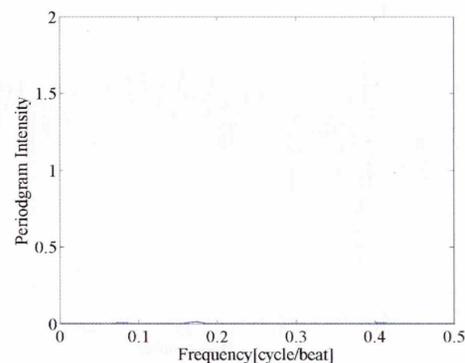
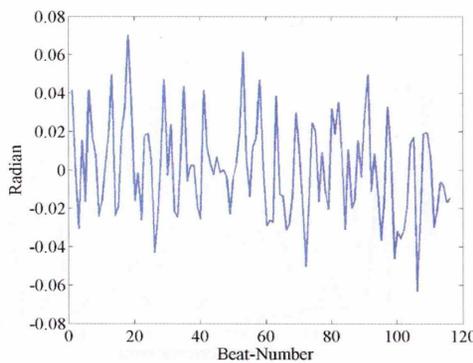


図 6.132: 左 : TWA_high02 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

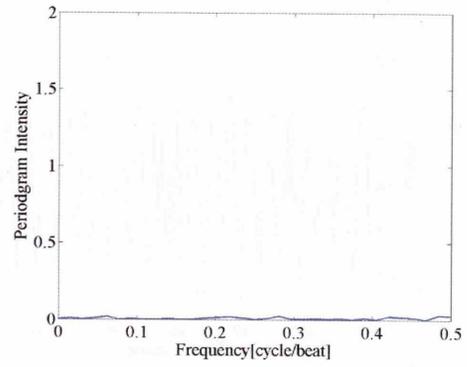
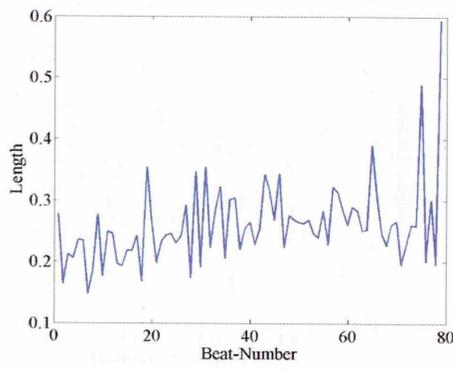


図 6.133: 左 : TWA_high03 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

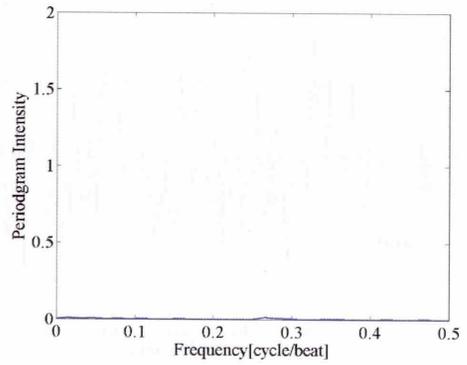
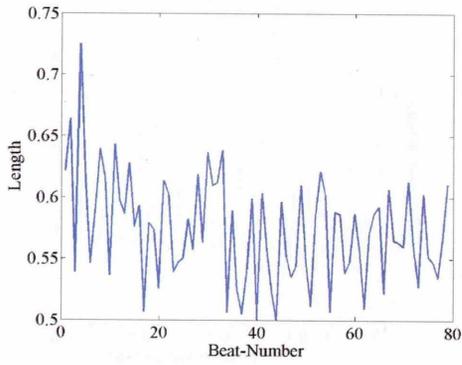


図 6.134: 左 : TWA_high03 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

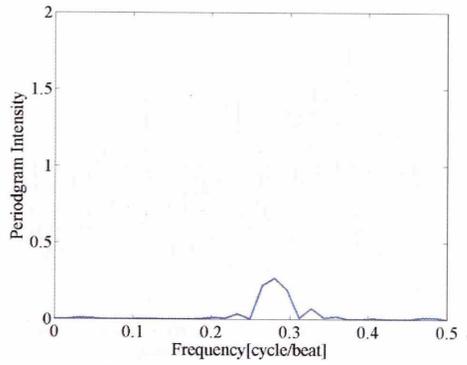
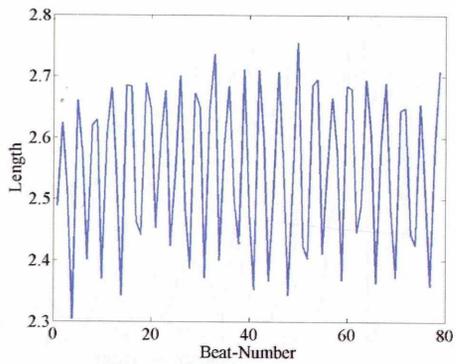


図 6.135: 左 : TWA_high03 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

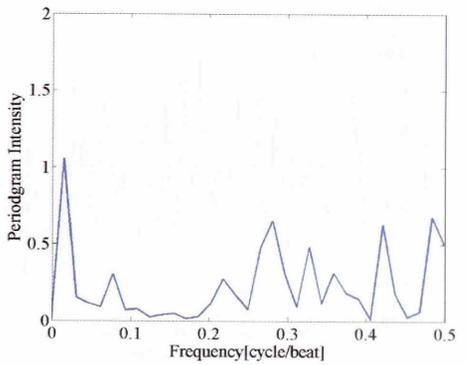
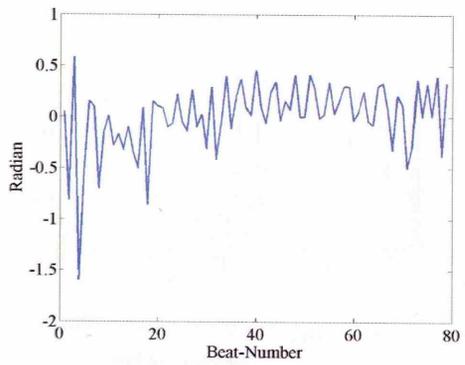


図 6.136: 左 : TWA_high03 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

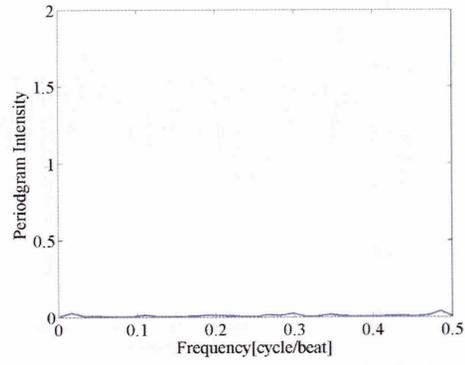
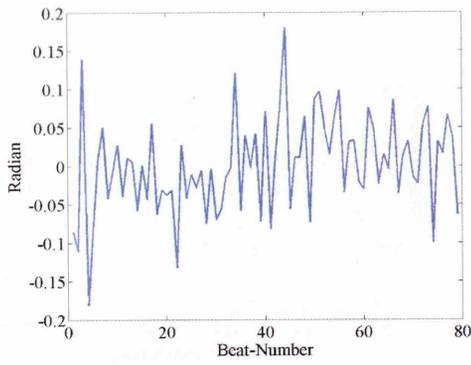


図 6.137: 左 : TWA_high03 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

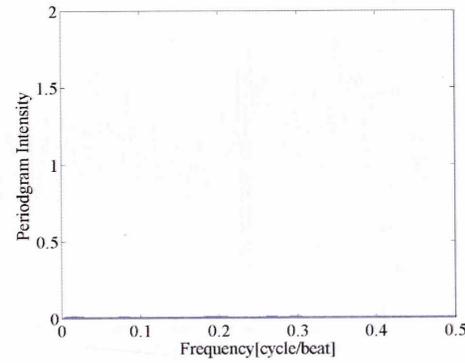
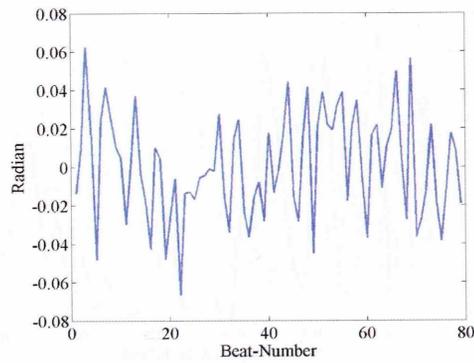


図 6.138: 左 : TWA_high03 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

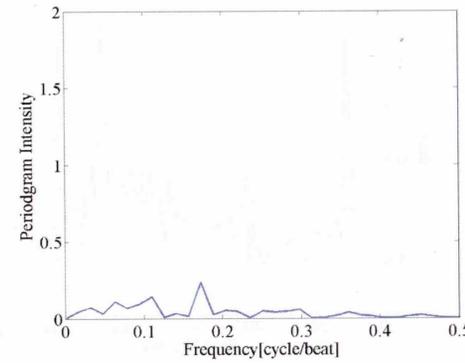
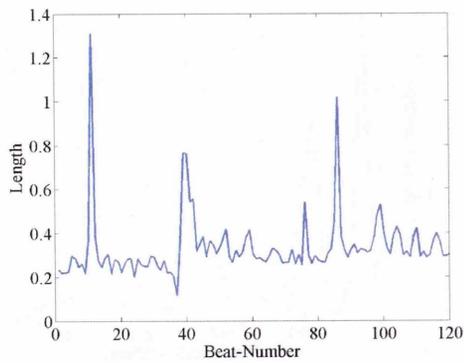


図 6.139: 左 : TWA_high04 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

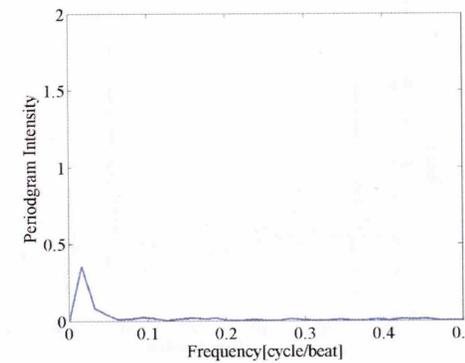
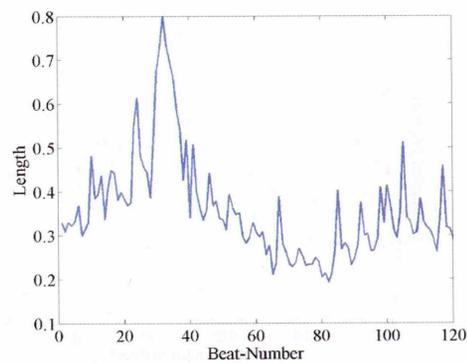


図 6.140: 左 : TWA_high04 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

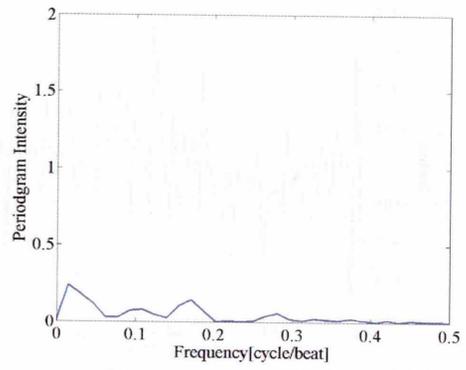
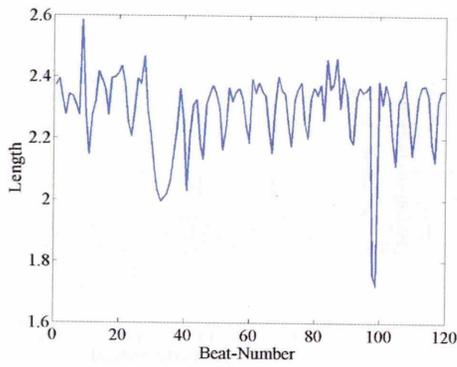


図 6.141: 左 : TWA_high04 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

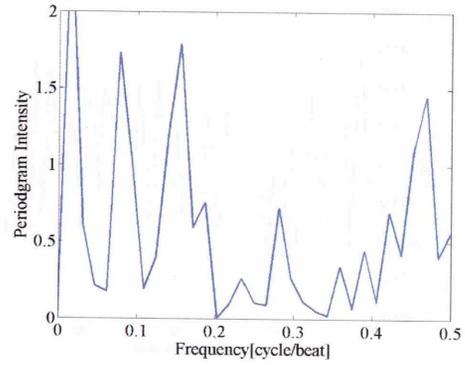
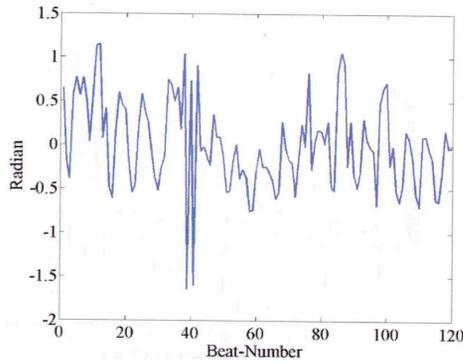


図 6.142: 左 : TWA_high04 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

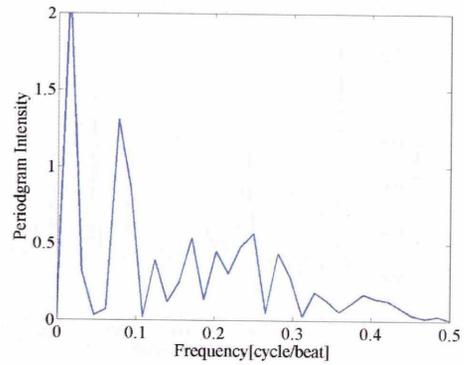
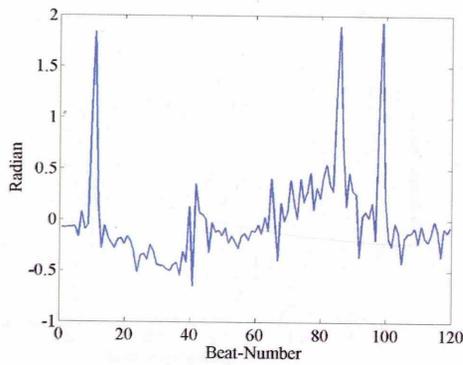


図 6.143: 左 : TWA_high04 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

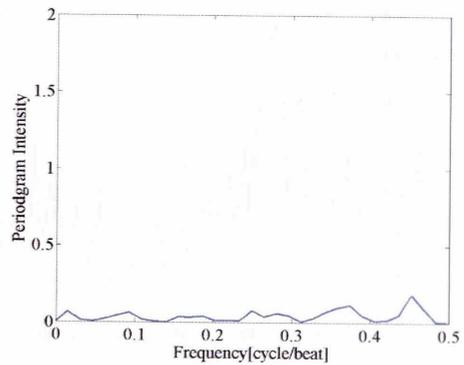
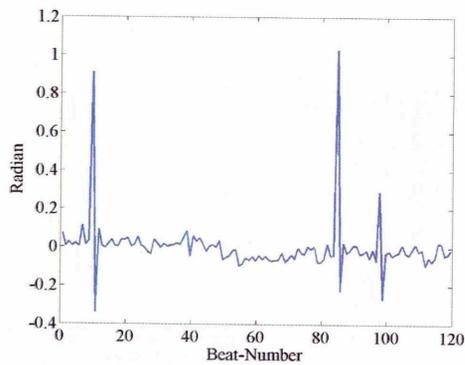


図 6.144: 左 : TWA_high04 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

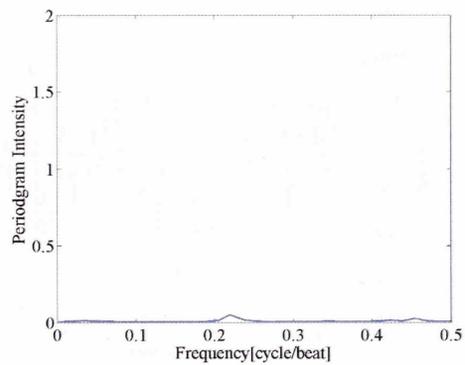
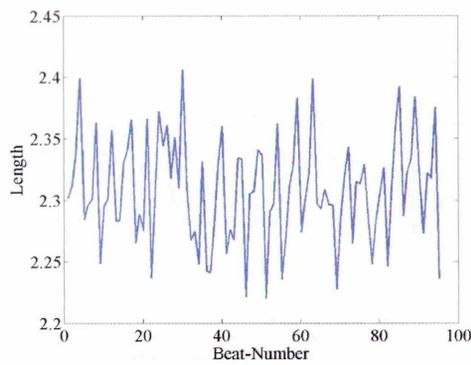


図 6.145: 左 : TWA_high05 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

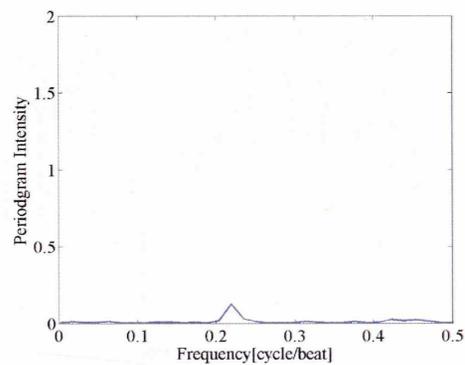
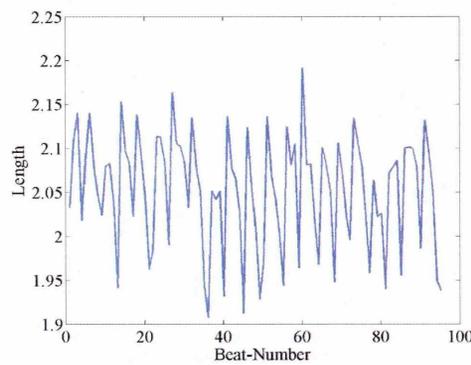


図 6.146: 左 : TWA_high05 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

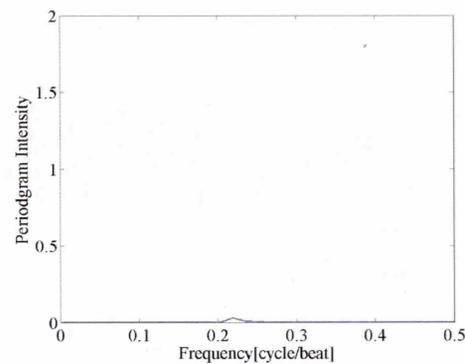
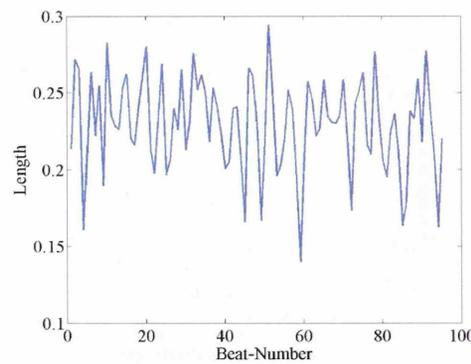


図 6.147: 左 : TWA_high05 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

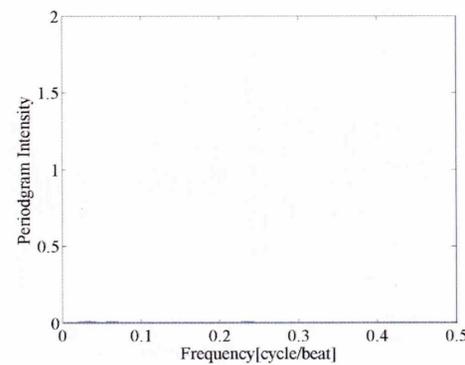
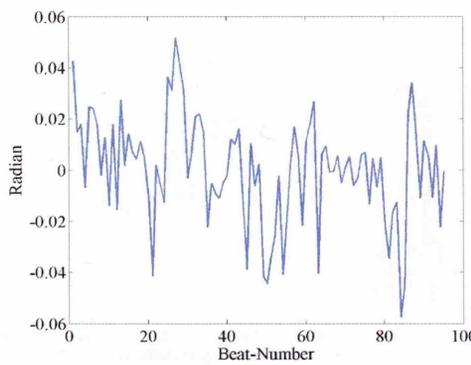


図 6.148: 左 : TWA_high05 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

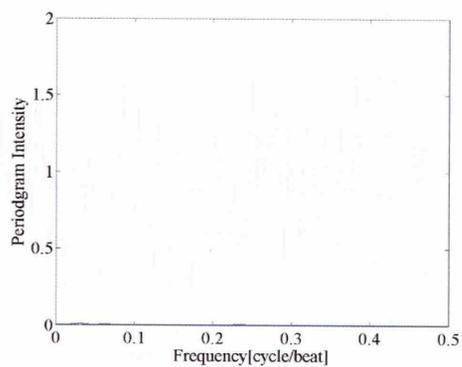
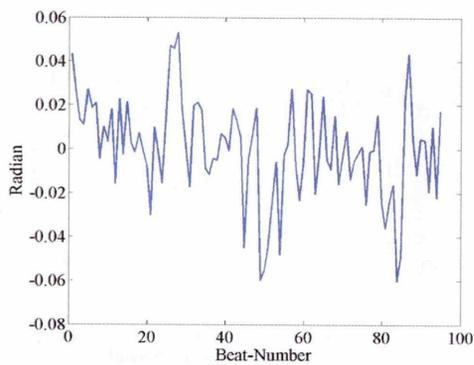


図 6.149: 左 : TWA_high05 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

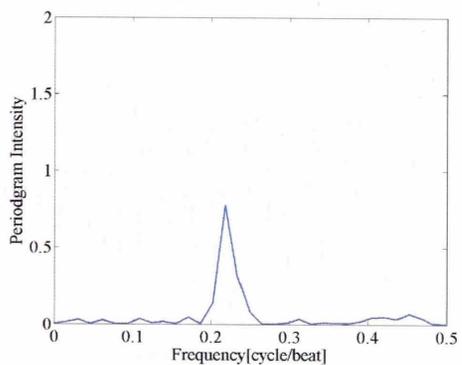
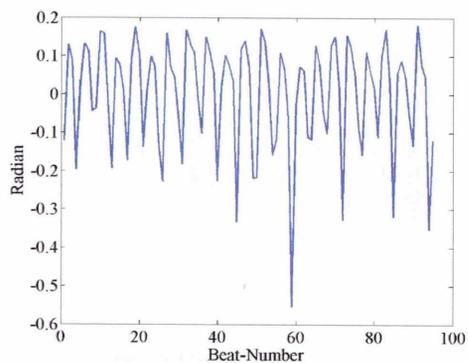


図 6.150: 左 : TWA_high05 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

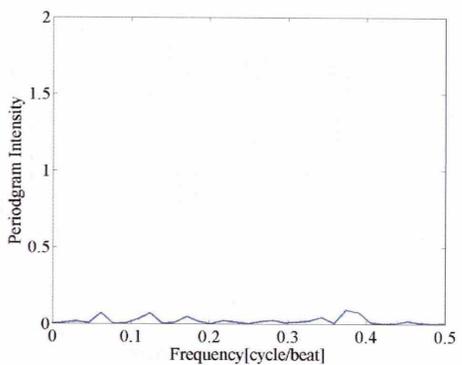
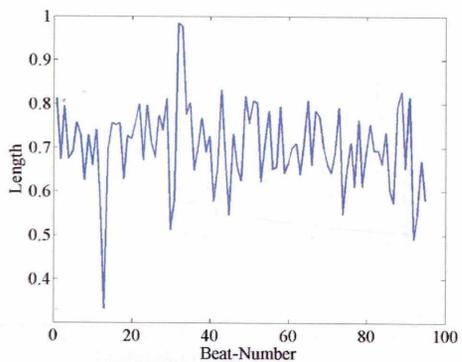


図 6.151: 左 : TWA_high06 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

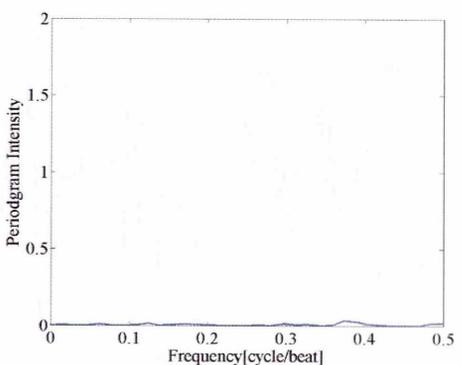
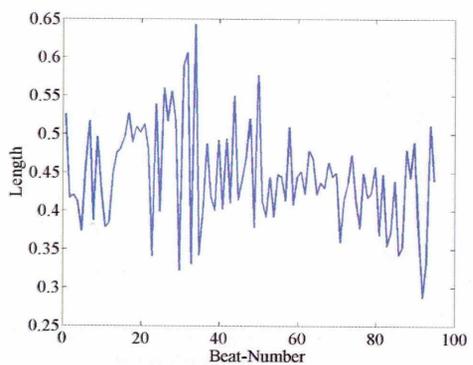


図 6.152: 左 : TWA_high06 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

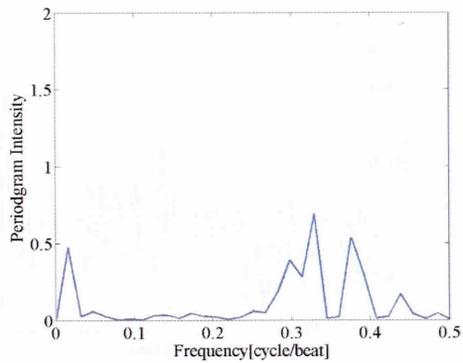
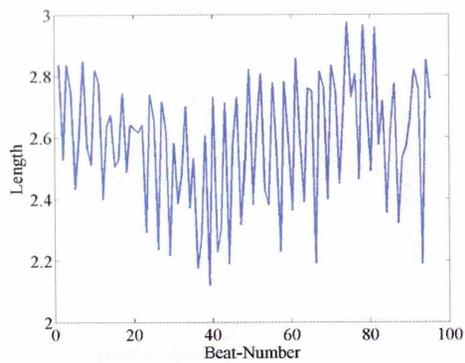


図 6.153: 左 : TWA_high06 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

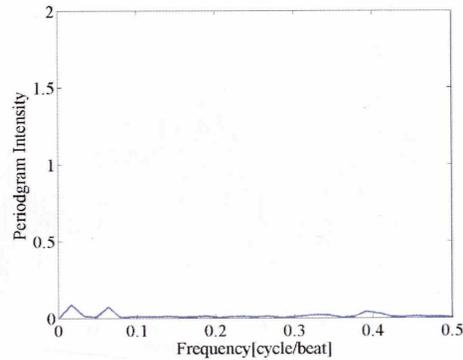
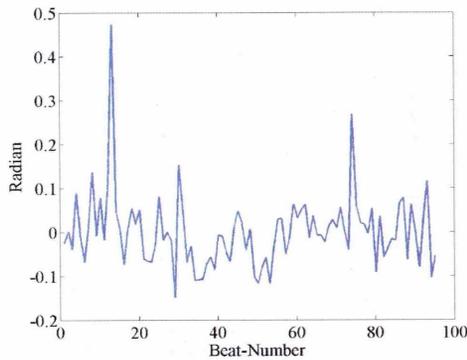


図 6.154: 左 : TWA_high06 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

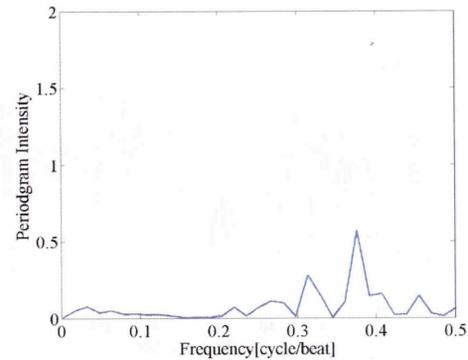
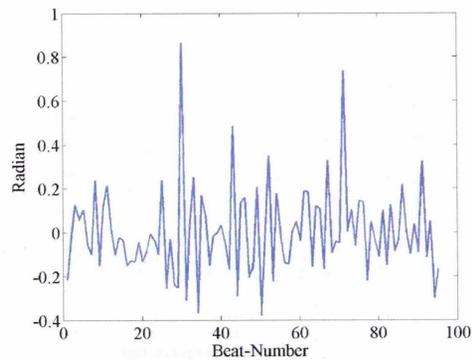


図 6.155: 左 : TWA_high06 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

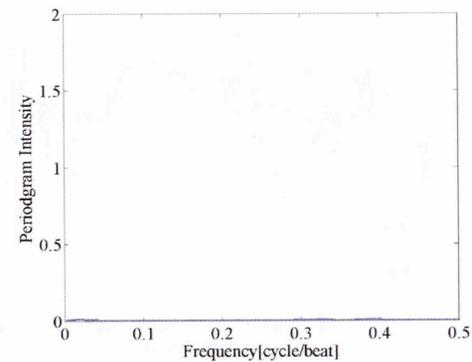
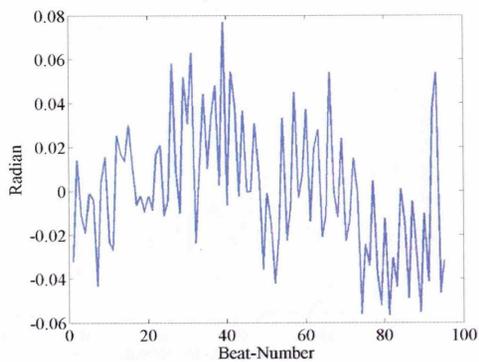


図 6.156: 左 : TWA_high06 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

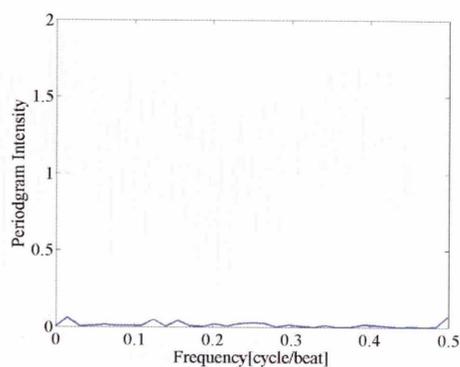
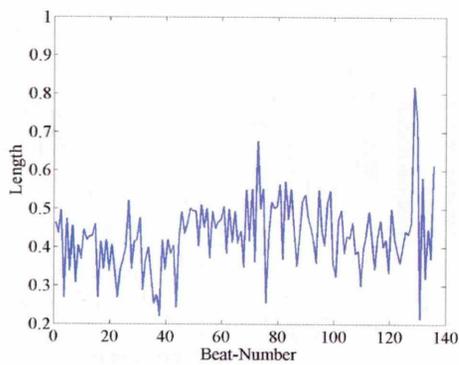


図 6.157: 左 : TWA_high07 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

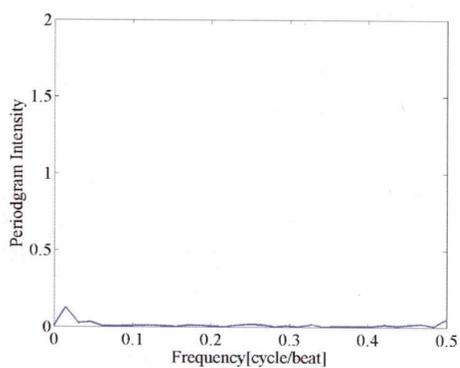
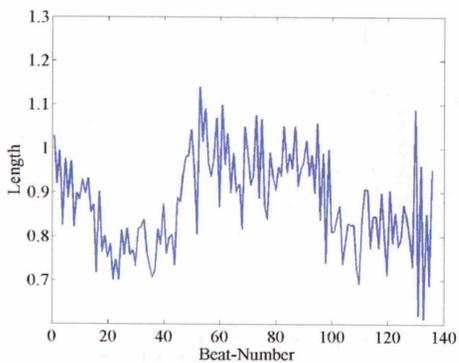


図 6.158: 左 : TWA_high07 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

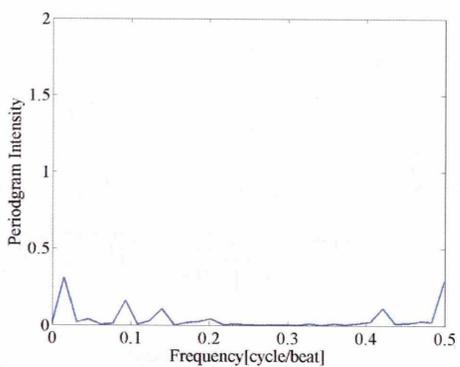
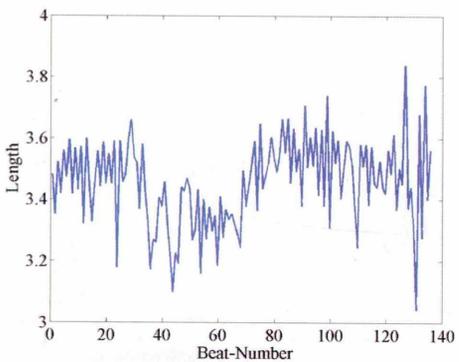


図 6.159: 左 : TWA_high07 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

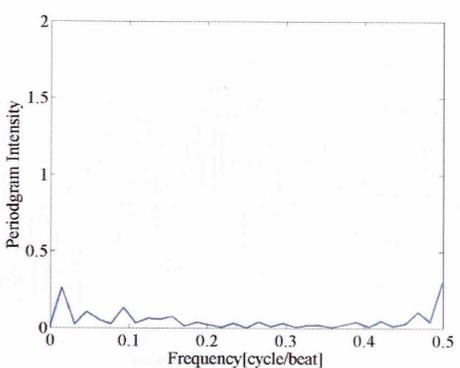
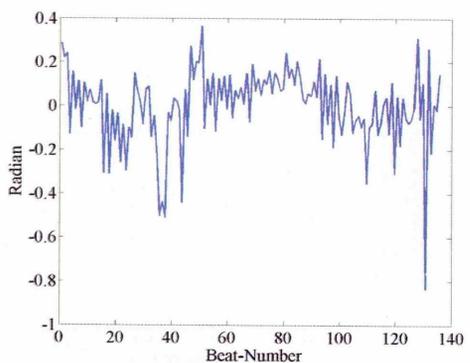


図 6.160: 左 : TWA_high07 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

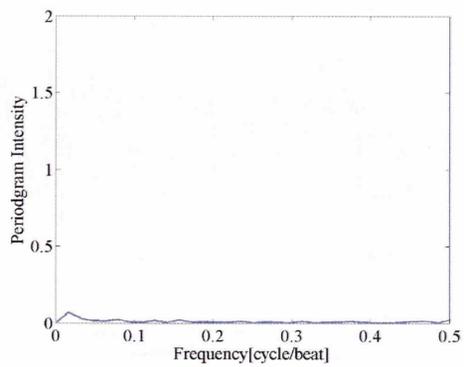
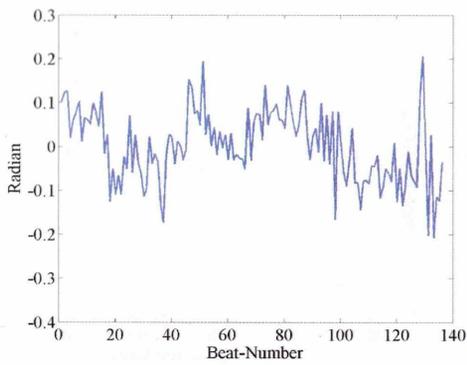


図 6.161: 左 : TWA_high07 の U_{Ay}

右 : U_{Ay} のペリオドグラム

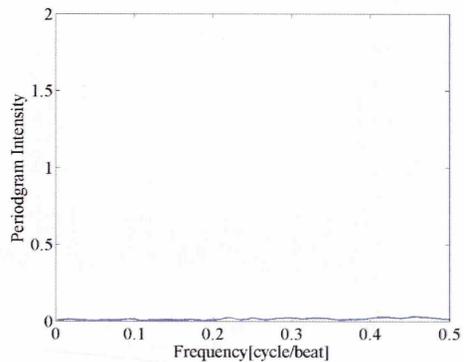
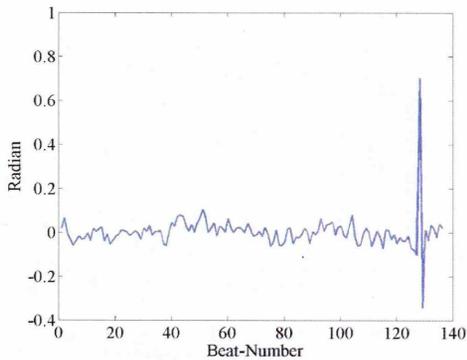


図 6.162: 左 : TWA_high07 の U_{Az}

右 : U_{Az} のペリオドグラム

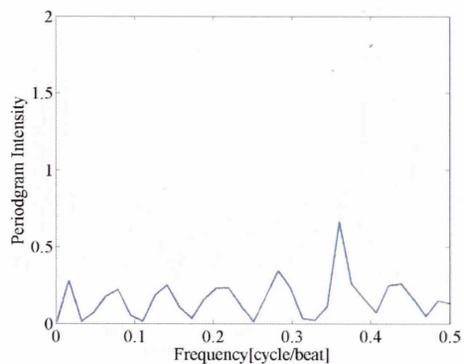
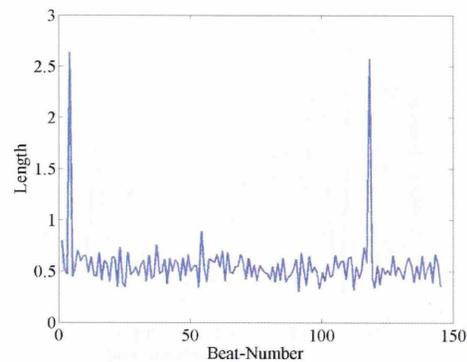


図 6.163: 左 : TWA_high08 の U_{Lx}

右 : U_{Lx} のペリオドグラム

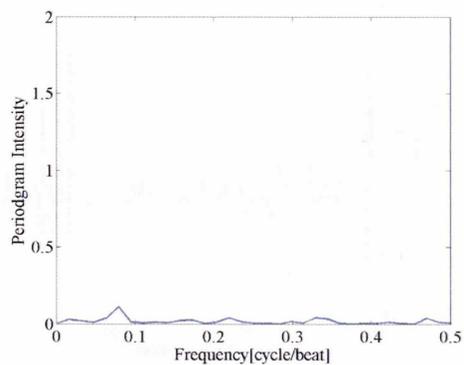
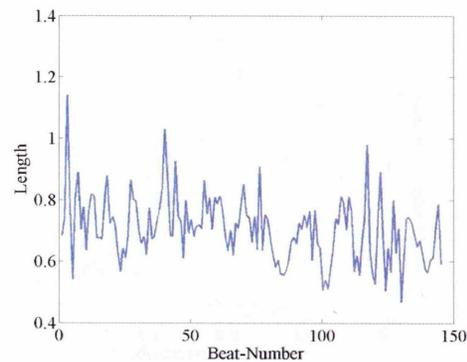


図 6.164: 左 : TWA_high08 の U_{Ly}

右 : U_{Ly} のペリオドグラム

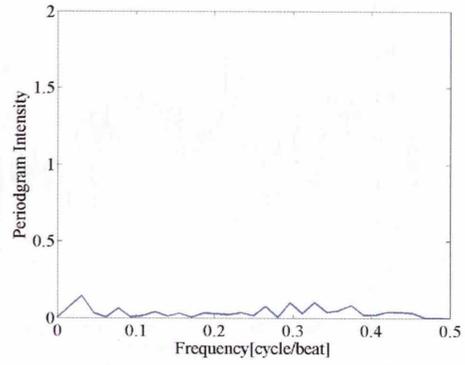
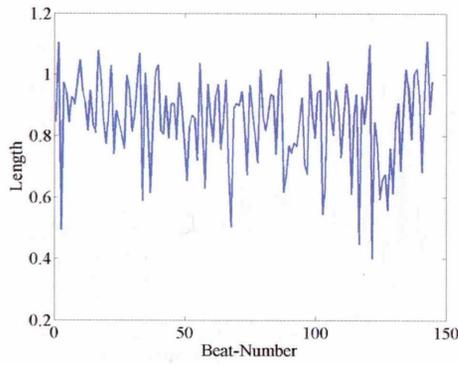


図 6.165: 左 : TWA_high08 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

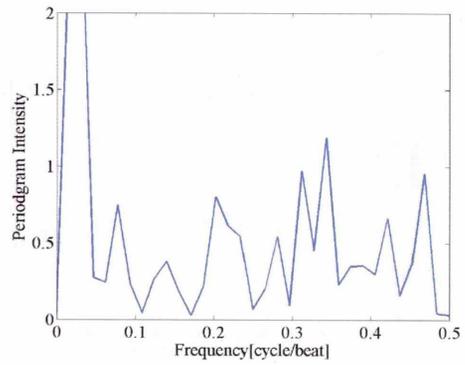
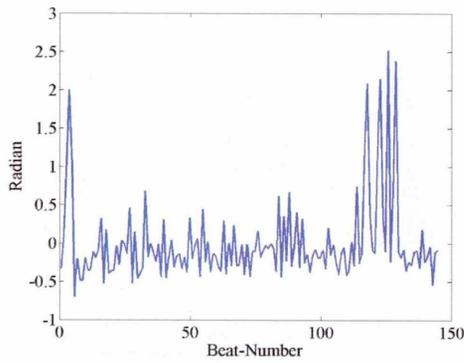


図 6.166: 左 : TWA_high08 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

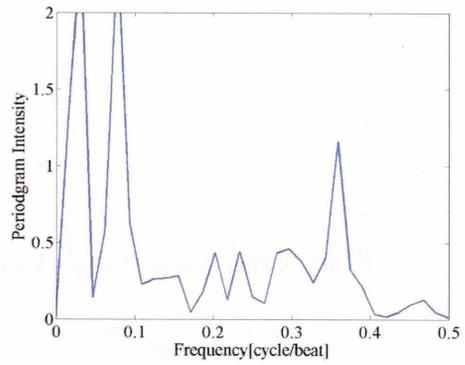
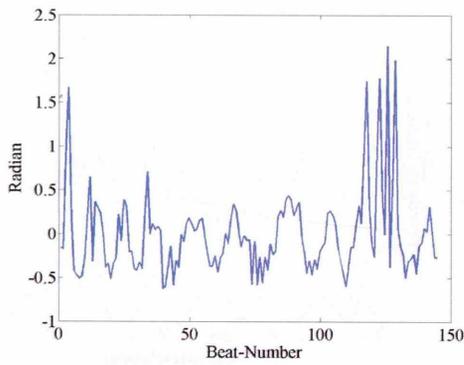


図 6.167: 左 : TWA_high08 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

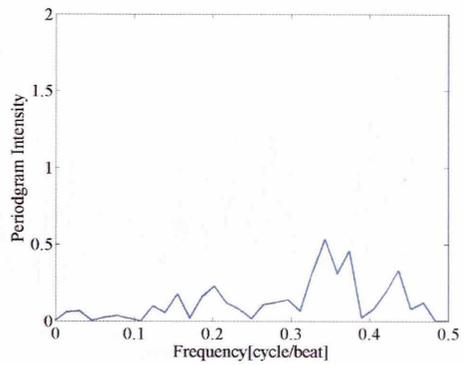
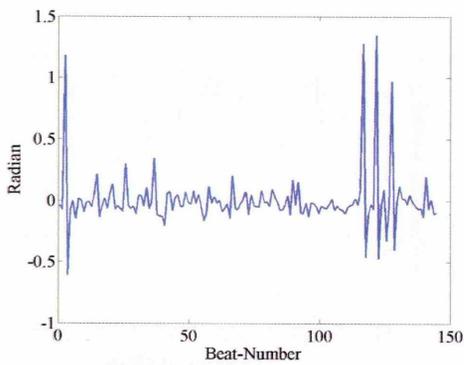


図 6.168: 左 : TWA_high08 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

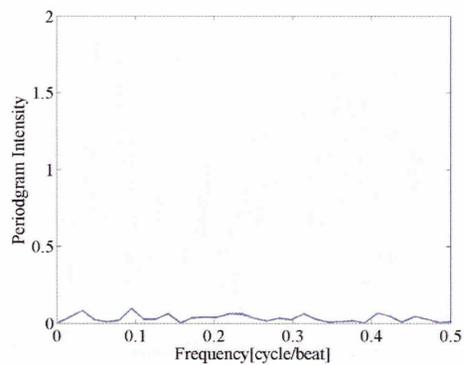
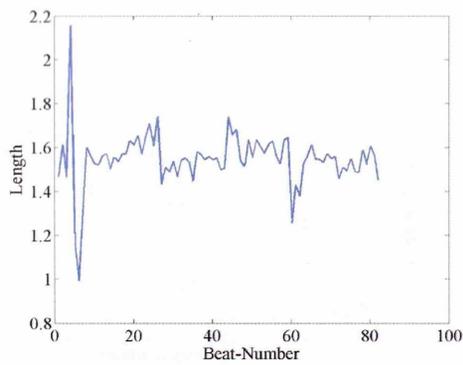


図 6.169: 左 : TWA_high09 の UL_X

右 : UL_X のペリオドグラム

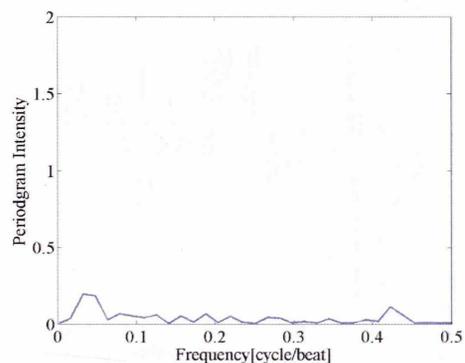
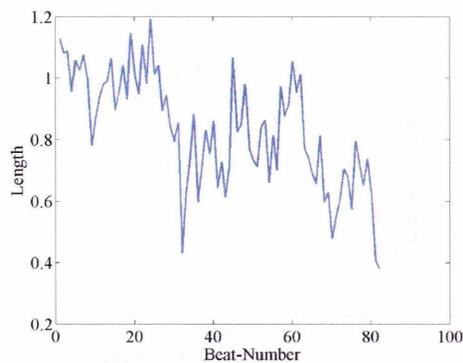


図 6.170: 左 : TWA_high09 の UL_Y

右 : UL_Y のペリオドグラム

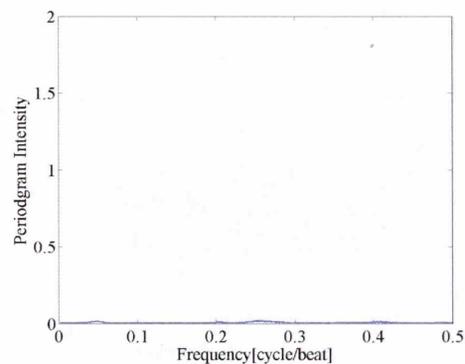
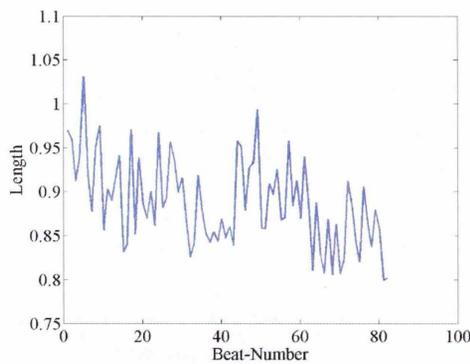


図 6.171: 左 : TWA_high09 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

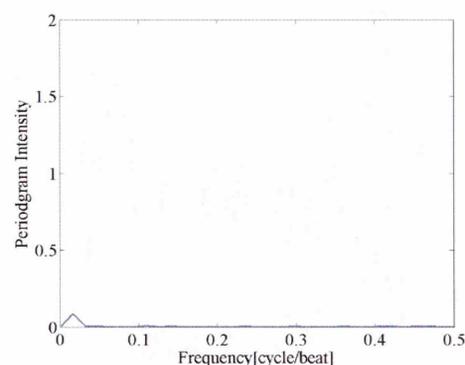
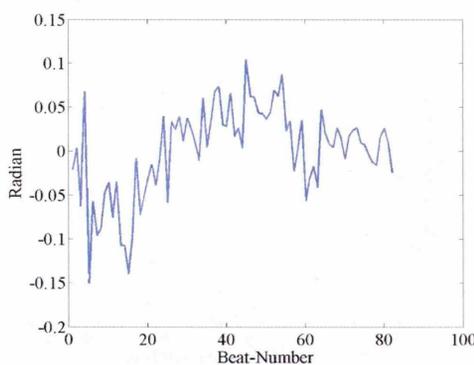


図 6.172: 左 : TWA_high09 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

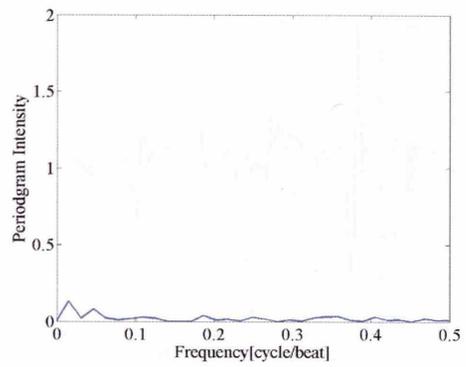
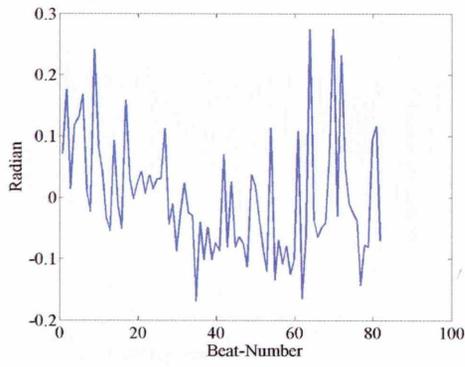


図 6.173: 左 : TWA_high09 の U_{A_Y}

右 : U_{A_Y} のペリオドグラム

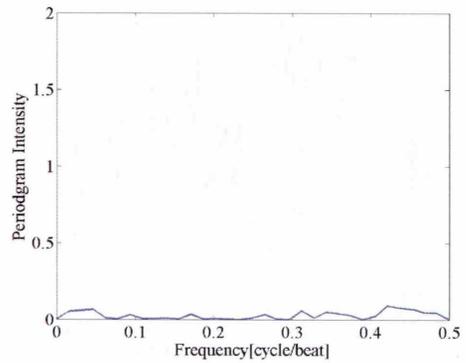
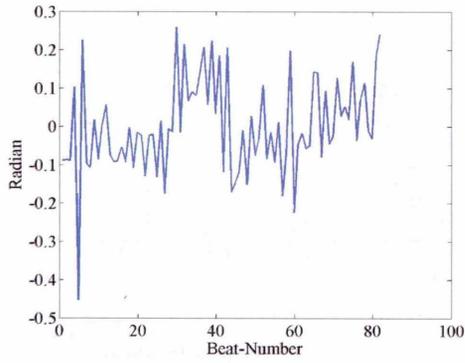


図 6.174: 左 : TWA_high09 の U_{A_Z}

右 : U_{A_Z} のペリオドグラム

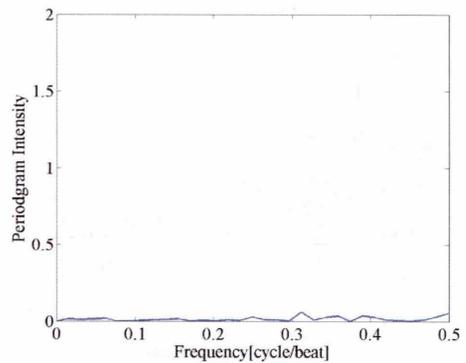
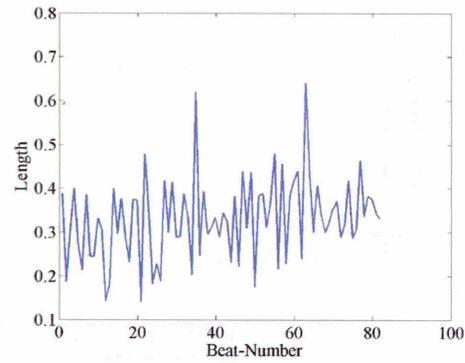


図 6.175: 左 : TWA_high10 の U_{L_X}

右 : U_{L_X} のペリオドグラム

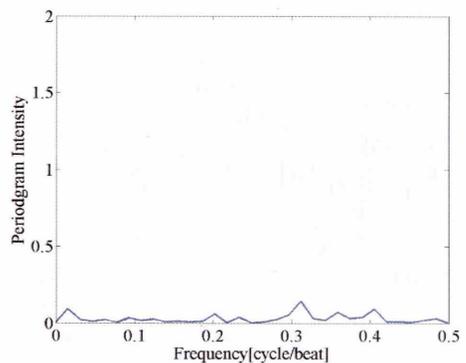
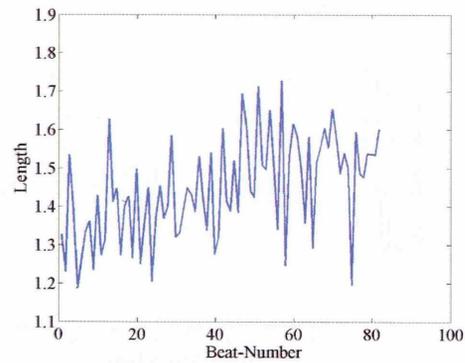


図 6.176: 左 : TWA_high10 の U_{L_Y}

右 : U_{L_Y} のペリオドグラム

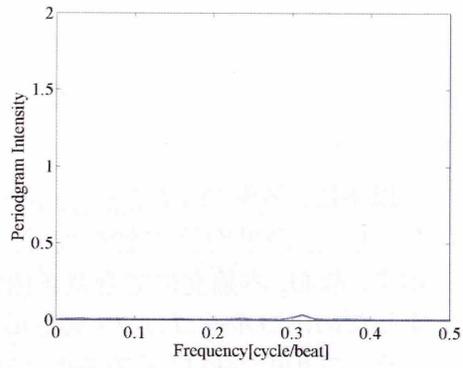
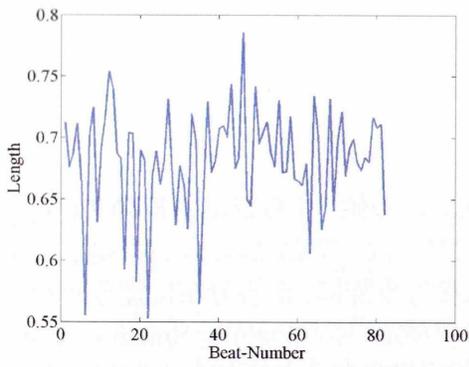


図 6.177: 左 : TWA_high10 の UL_Z

右 : UL_Z のペリオドグラム

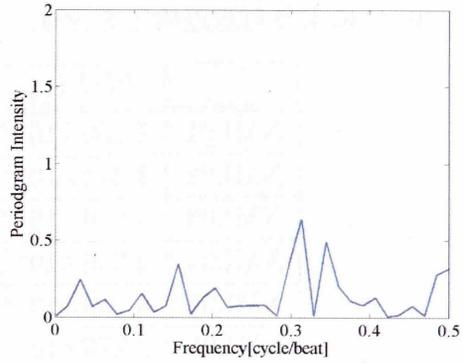
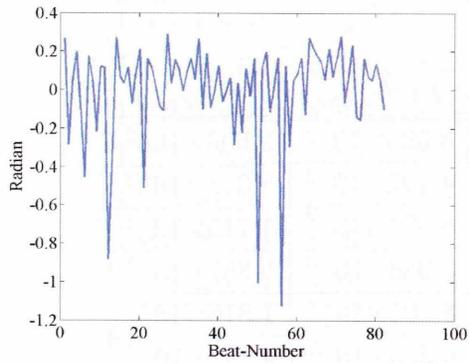


図 6.178: 左 : TWA_high10 の UA_X

右 : UA_X のペリオドグラム

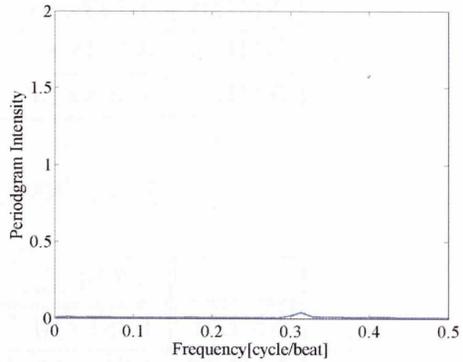
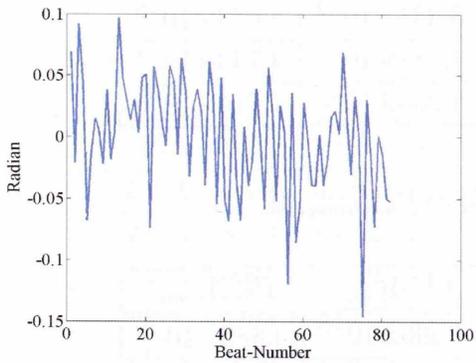


図 6.179: 左 : TWA_high10 の UA_Y

右 : UA_Y のペリオドグラム

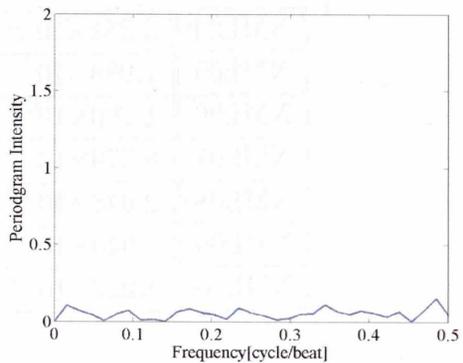
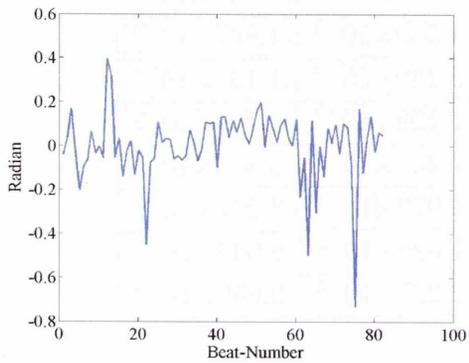


図 6.180: 左 : TWA_high10 の UA_Z

右 : UA_Z のペリオドグラム

以下に、各例の $PUL_{\alpha max}$, $PUA_{\alpha max}$ の値、ならびに各群の $PUL_{\alpha max}$, $PUA_{\alpha max}$ の平均値 ± 標準偏差、NML 群と TWA 群の有意差検定結果を示す。なお、本論文にて有意差検定を行う際に、正規分布に従うかを判断するためにコルモゴロフ・スミルノフ検定 (Kolmogorov-Smirnov Test) を行う。コルモゴロフ・スミルノフ検定結果により正規分布に従わないと判断し、ノンパラメトリックな検定であるウィルコクソン検定 (Wilcoxon Test) により有意差検定を行う。

	PUL_{Xmax}	PUL_{Ymax}	PUL_{Zmax}
NML01	1.250×10^{-2}	3.595×10^{-2}	2.600×10^{-2}
NML02	1.314×10^{-2}	4.491×10^{-2}	8.318×10^{-2}
NML03	5.618×10^{-3}	6.577×10^{-2}	1.715×10^{-1}
NML04	2.236×10^{-2}	3.988×10^{-3}	5.387×10^{-3}
NML05	3.150×10^{-2}	8.701×10^{-2}	1.816×10^{-1}
NML06	2.276×10^{-2}	6.203×10^{-2}	4.891×10^{-2}
NML07	4.696×10^{-2}	3.138×10^{-2}	1.176×10^{-1}
NML08	1.123×10^{-2}	3.431×10^{-2}	5.043×10^{-3}
NML09	3.714×10^{-2}	1.788×10^{-1}	4.743×10^{-1}
NML10	1.468×10^{-1}	4.205×10^{-1}	1.711×10^{-1}

表 6.1: NML 群の $PUL_{\alpha max}$ 値

	PUA_{Xmax}	PUA_{Ymax}	PUA_{Zmax}
NML01	1.381×10^{-2}	4.496×10^{-3}	4.882×10^{-3}
NML02	9.818×10^{-3}	9.334×10^{-3}	6.855×10^{-3}
NML03	5.931×10^{-3}	5.933×10^{-3}	6.545×10^{-3}
NML04	2.281×10^{-3}	1.539×10^{-3}	1.867×10^{-3}
NML05	7.988×10^{-3}	3.130×10^{-2}	1.194×10^{-2}
NML06	1.100×10^{-2}	7.198×10^{-3}	1.109×10^{-2}
NML07	8.579×10^{-2}	7.447×10^{-2}	3.853×10^{-2}
NML08	2.048×10^{-2}	1.979×10^{-2}	3.237×10^{-2}
NML09	7.940×10^{-3}	1.620×10^{-2}	2.045×10^{-3}
NML10	1.227×10^{-2}	2.227×10^{-2}	9.650×10^{-3}

表 6.2: NML 群の $PUA_{\alpha max}$ 値

	PUL_{Xmax}	PUL_{Ymax}	PUL_{Zmax}
TWA_low01	9.029×10^{-3}	3.604×10^{-2}	2.513×10^{-1}
TWA_low02	4.245×10^{-2}	3.771×10^{-1}	1.843×10^{-1}
TWA_low03	2.873×10^{-1}	1.341×10^{-1}	1.249×10^{-1}
TWA_low04	2.417×10^{-2}	6.242×10^{-3}	1.052×10^{-2}
TWA_low05	1.541×10^{-3}	1.705×10^{-2}	9.527×10^{-3}
TWA_low06	3.063×10^{-2}	4.480×10^{-1}	1.900×10^{-1}
TWA_low07	1.070×10^{-2}	1.430×10^{-2}	3.828×10^{-2}
TWA_low08	6.256×10^{-3}	5.952×10^{-2}	3.026×10^{-2}
TWA_low09	1.562×10^{-1}	7.308×10^{-2}	9.496×10^{-2}
TWA_low10	3.911×10^{-3}	8.740×10^{-4}	6.613×10^{-3}

表 6.3: TWA_low 群の $PUL_{\alpha max}$ 値

	PUA_{Xmax}	PUA_{Ymax}	PUA_{Zmax}
TWA_low01	2.911×10^{-2}	1.479×10^{-2}	2.222×10^{-2}
TWA_low02	5.705×10^{-3}	1.050×10^{-2}	5.727×10^{-4}
TWA_low03	8.612×10^{-3}	1.225×10^{-2}	1.712×10^{-3}
TWA_low04	4.959×10^{-3}	3.082×10^{-3}	1.907×10^{-3}
TWA_low05	7.073×10^{-2}	3.262×10^{-2}	2.165×10^{-1}
TWA_low06	5.985×10^{-2}	2.102×10^{-1}	1.056×10^{-2}
TWA_low07	5.959×10^{-3}	2.060×10^{-3}	3.730×10^{-3}
TWA_low08	5.027×10^{-3}	5.748×10^{-3}	1.558×10^{-1}
TWA_low09	1.870×10^{-1}	7.034×10^{-2}	4.893×10^{-3}
TWA_low10	9.506×10^{-3}	5.947×10^{-2}	3.593×10^{-3}

表 6.4: TWA_low 群の $PUA_{\alpha max}$ 値

	PUL_{Xmax}	PUL_{Ymax}	PUL_{Zmax}
TWA_high01	7.223×10^{-1}	1.120×10^{-2}	5.996×10^{-3}
TWA_high02	8.651×10^{-3}	5.767×10^{-3}	4.888×10^{-2}
TWA_high03	2.894×10^{-2}	5.300×10^{-3}	1.174×10^{-2}
TWA_high04	1.990×10^{-2}	1.210×10^{-2}	1.411×10^{-2}
TWA_high05	2.174×10^{-2}	2.298×10^{-2}	2.019×10^{-3}
TWA_high06	1.901×10^{-2}	1.666×10^{-2}	1.642×10^{-1}
TWA_high07	7.471×10^{-2}	5.101×10^{-2}	2.904×10^{-1}
TWA_high08	2.598×10^{-1}	3.820×10^{-2}	4.060×10^{-2}
TWA_high09	6.394×10^{-2}	1.091×10^{-1}	9.212×10^{-3}
TWA_high10	5.466×10^{-2}	9.167×10^{-2}	1.725×10^{-3}

表 6.5: TWA_high 群の $PUL_{\alpha max}$ 値

	PUA_{Xmax}	PUA_{Ymax}	PUA_{Zmax}
TWA_high01	1.928×10^0	3.474×10^{-2}	9.274×10^{-2}
TWA_high02	2.496×10^{-3}	2.028×10^{-1}	3.284×10^{-3}
TWA_high03	6.773×10^{-1}	3.414×10^{-2}	1.039×10^{-3}
TWA_high04	1.454×10^0	1.431×10^{-1}	1.821×10^{-1}
TWA_high05	1.728×10^{-3}	1.371×10^{-3}	6.831×10^{-2}
TWA_high06	2.760×10^{-2}	1.576×10^{-1}	8.764×10^{-4}
TWA_high07	2.999×10^{-1}	2.231×10^{-2}	2.768×10^{-2}
TWA_high08	9.579×10^{-1}	1.284×10^{-1}	3.305×10^{-1}
TWA_high09	5.097×10^{-3}	3.115×10^{-2}	9.261×10^{-2}
TWA_high10	3.169×10^{-1}	5.794×10^{-3}	1.518×10^{-1}

表 6.6: TWA_high 群の $PUA_{\alpha max}$ 値

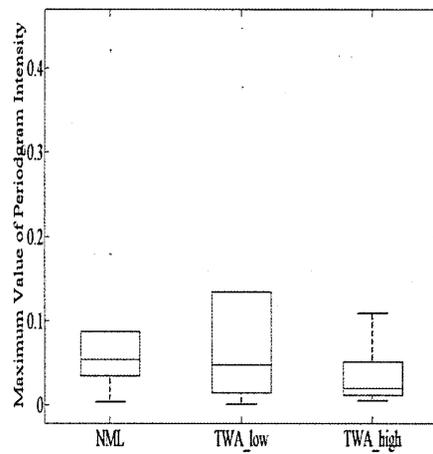
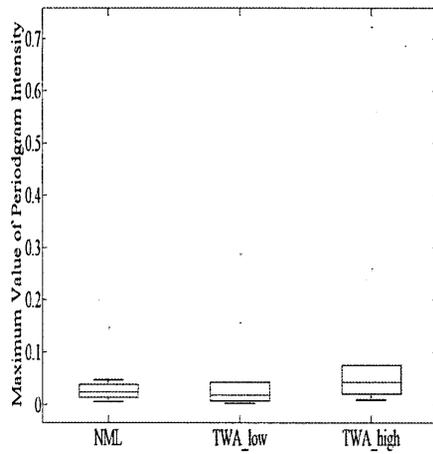


図 6.181: 左 : PUL_{Xmax} の boxplot

右 : PUL_{Ymax} の boxplot

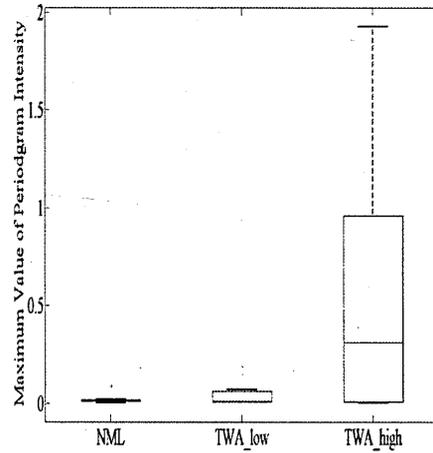
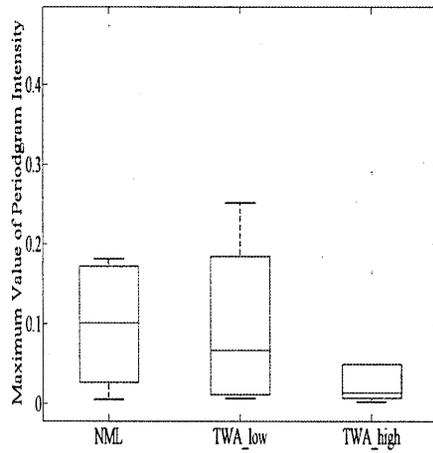


図 6.182: 左 : PUL_{Zmax} の boxplot

右 : PUA_{Xmax} の boxplot

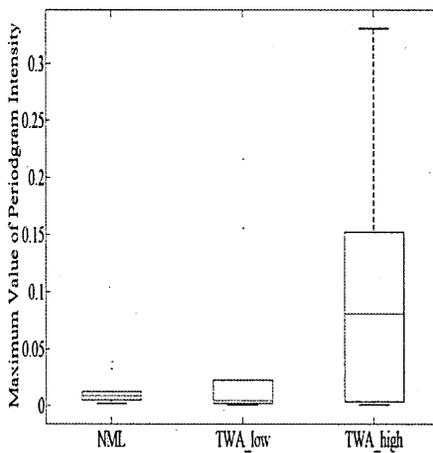
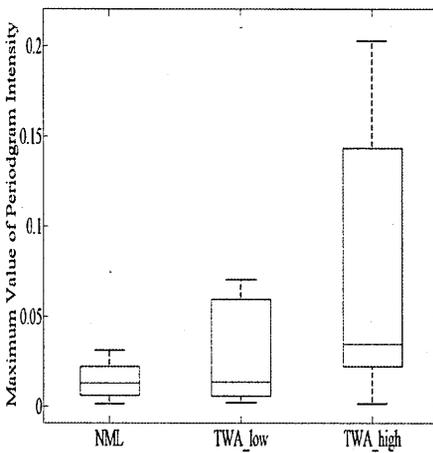


図 6.183: 左 : PUA_{Ymax} の boxplot

右 : PUA_{Zmax} の boxplot

	$PUL_{\alpha max}$		
	X-lead	Y-lead	Z-lead
NML	0.0350 ± 0.039	0.0965 ± 0.117	0.1285 ± 0.132
TWA_low	0.0572 ± 0.088	0.1166 ± 0.153	0.0941 ± 0.085
TWA_high	0.1274 ± 0.210	0.0364 ± 0.035	0.0589 ± 0.090

表 6.7: $PUL_{\alpha max}$ の平均値および標準偏差

	$PUA_{\alpha max}$		
	X-lead	Y-lead	Z-lead
NML	0.0177 ± 0.023	0.0193 ± 0.020	0.0126 ± 0.012
TWA_low	0.0386 ± 0.055	0.0421 ± 0.060	0.0421 ± 0.074
TWA_high	0.5671 ± 0.647	0.0761 ± 0.070	0.0951 ± 0.099

表 6.8: $PUA_{\alpha max}$ の平均値および標準偏差

	$PUL_{\alpha max}$		
	X-lead	Y-lead	Z-lead
TWA_low	0.6232	0.7913	1.0000
TWA_high	0.2413	0.1620	0.1212

表 6.9: $PUL_{\alpha max}$ の有意差検定結果

	$PUA_{\alpha max}$		
	X-lead	Y-lead	Z-lead
TWA_low	1.0000	0.6776	0.5708
TWA_high	0.1212	0.0539	0.1405

表 6.10: $PUA_{\alpha max}$ の有意差検定結果

6.2 V を用いた TWA 検出手法

次ページ以降に, 各例の時系列 SL^β , SA^β ならびにそれぞれのペリオドグラムを示す.

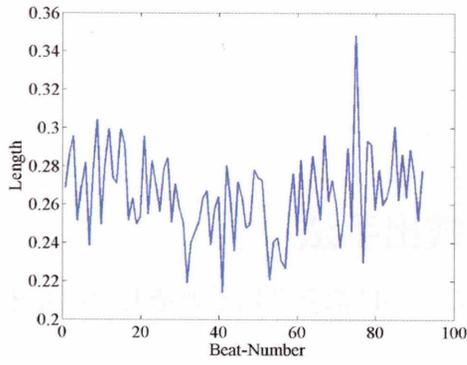
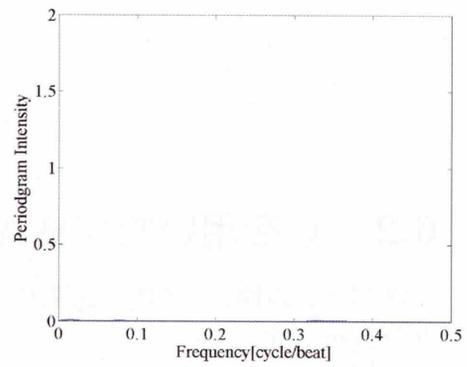


図 6.184: 左 : NML01 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

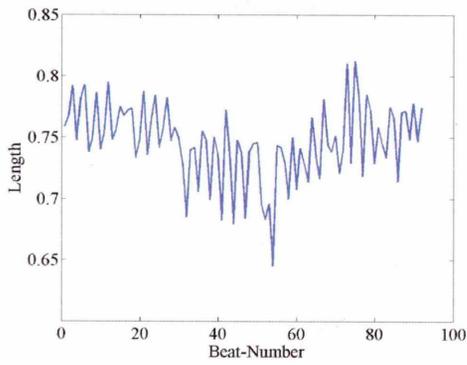
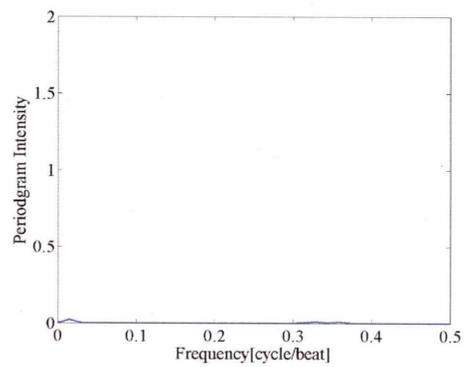


図 6.185: 左 : NML01 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

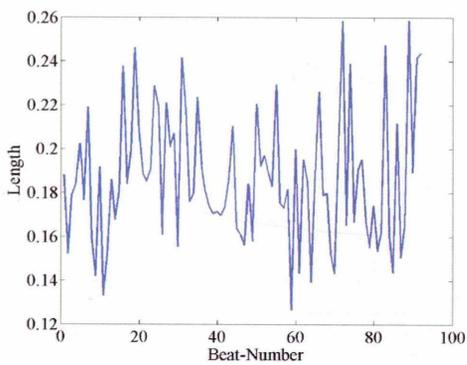
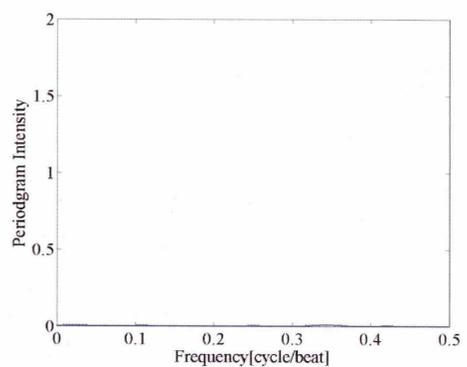


図 6.186: 左 : NML01 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

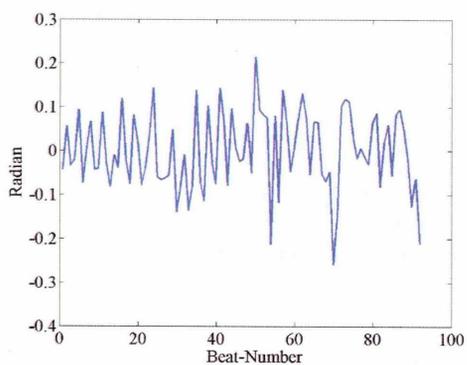
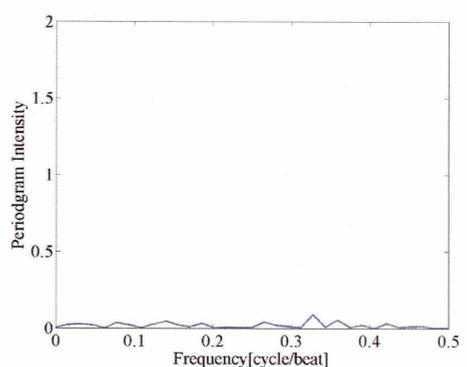


図 6.187: 左 : NML01 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

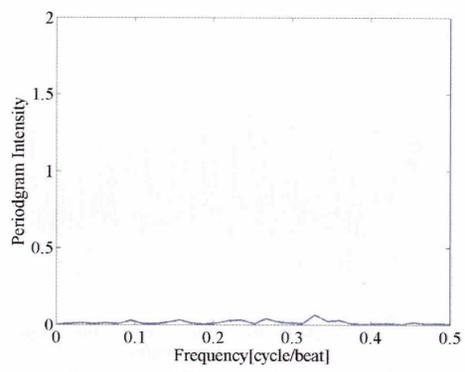
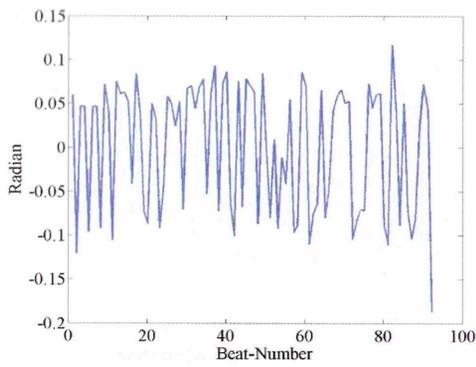


図 6.188: 左 : NML01 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

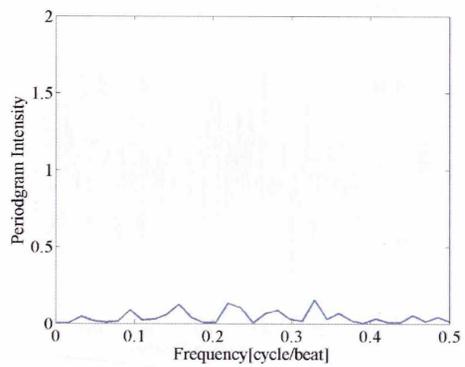
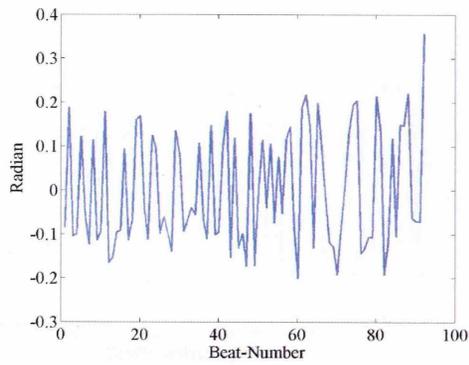


図 6.189: 左 : NML01 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

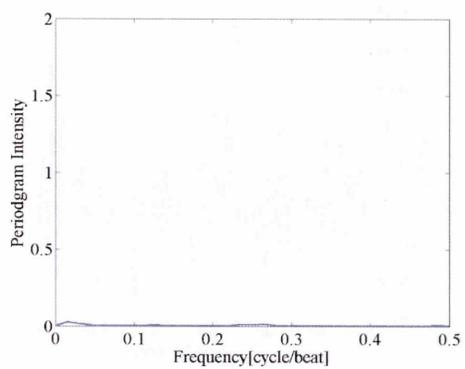
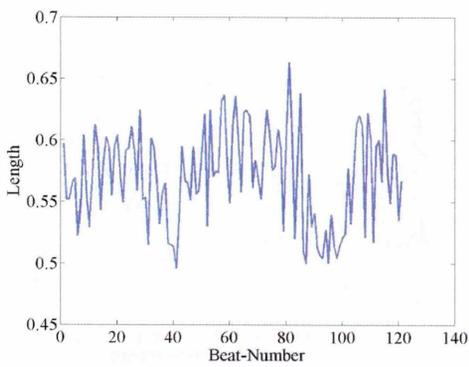


図 6.190: 左 : NML02 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

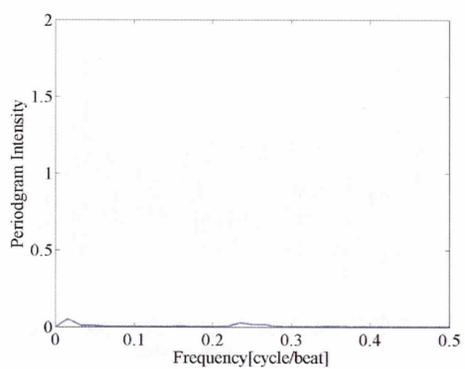
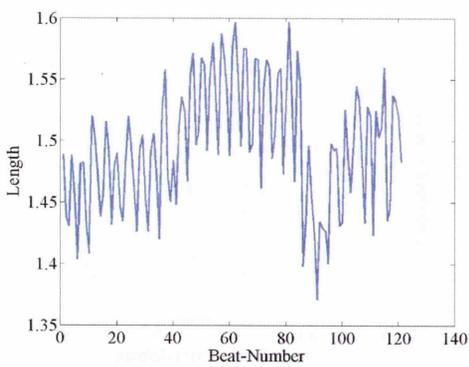


図 6.191: 左 : NML02 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

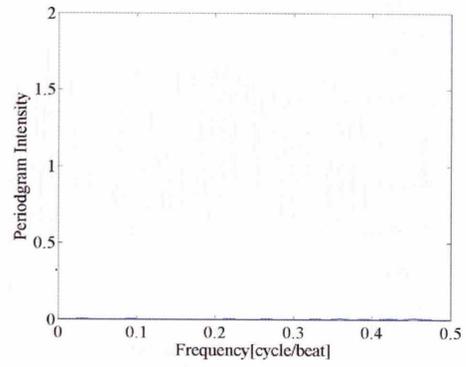
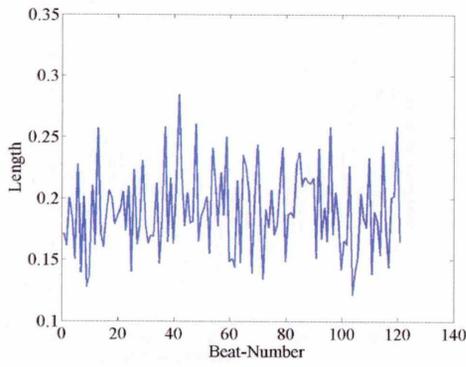


図 6.192: 左 : NML02 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

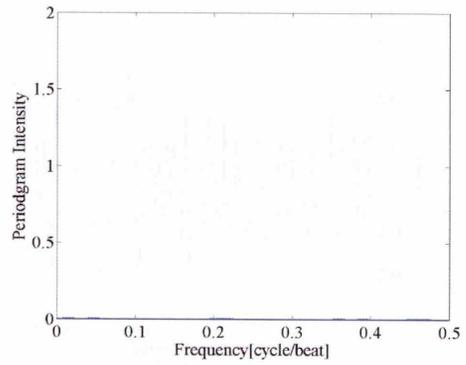
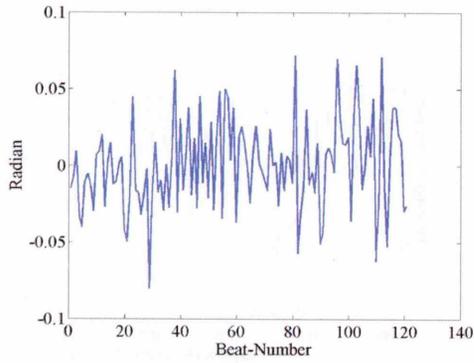


図 6.193: 左 : NML02 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

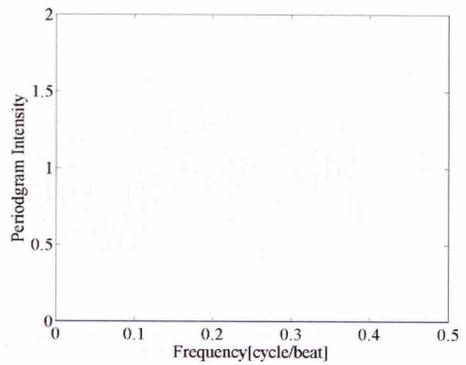
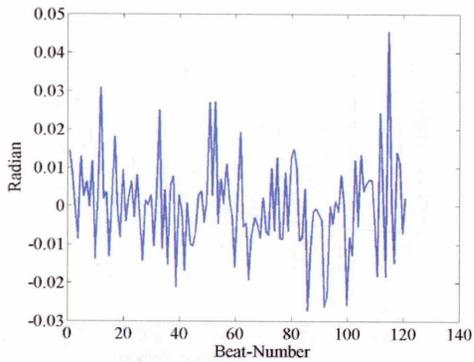


図 6.194: 左 : NML02 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

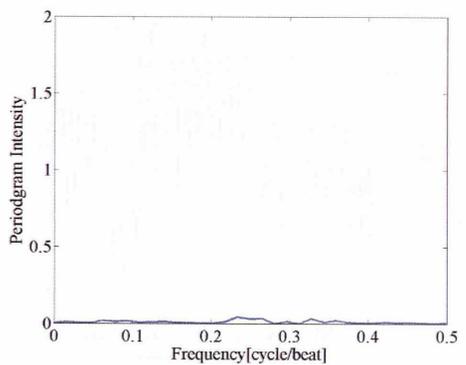
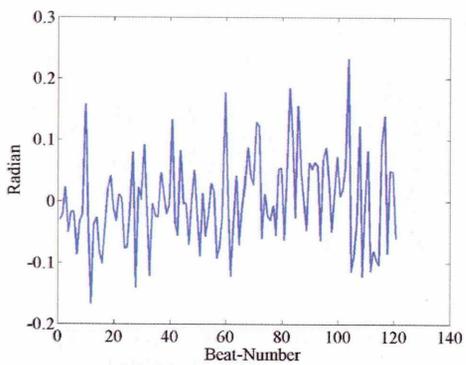


図 6.195: 左 : NML02 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

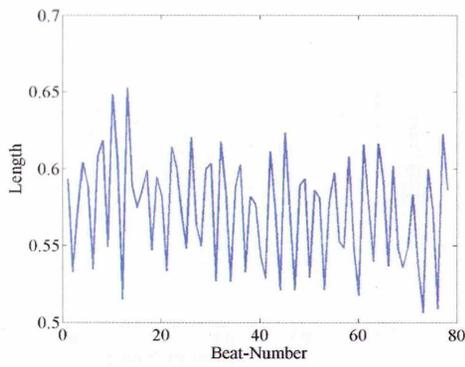
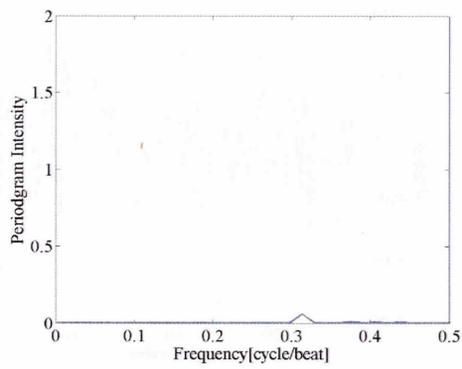


図 6.196: 左 : NML03 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

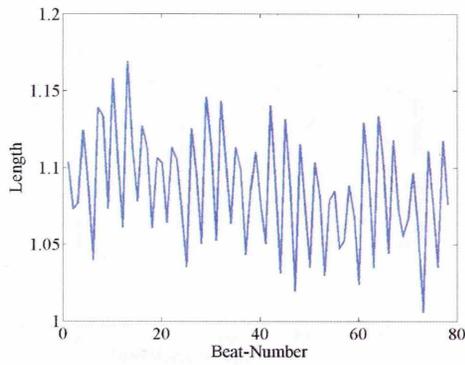
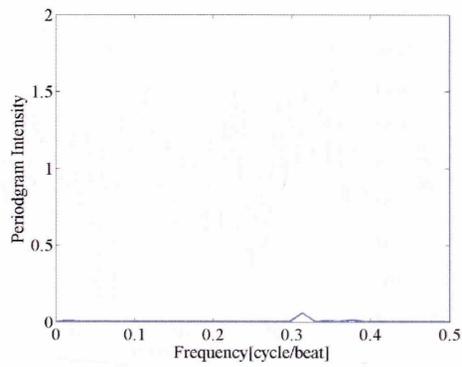


図 6.197: 左 : NML03 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

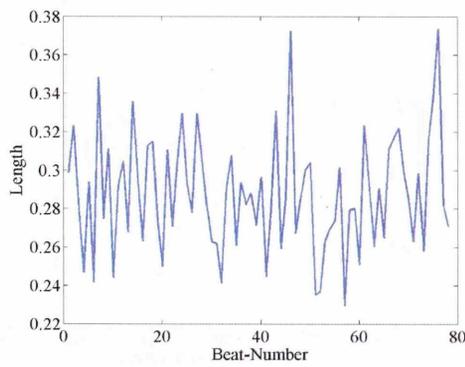
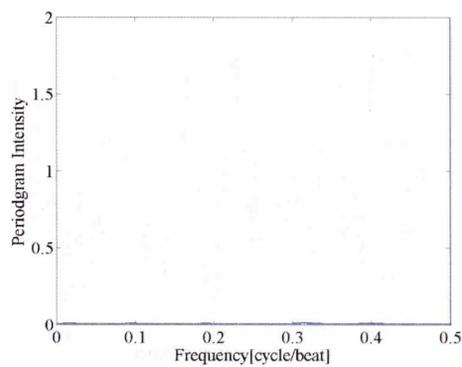


図 6.198: 左 : NML03 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

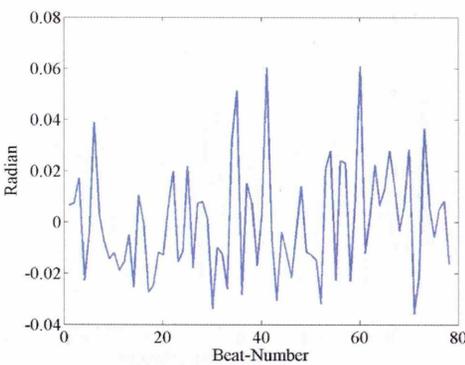
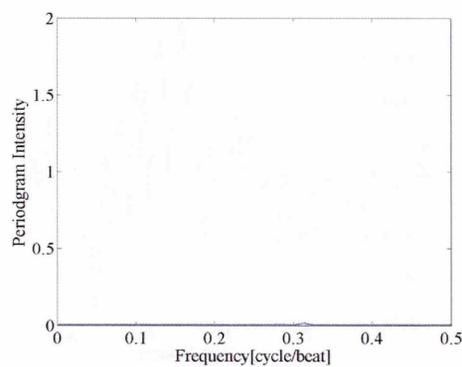


図 6.199: 左 : NML03 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

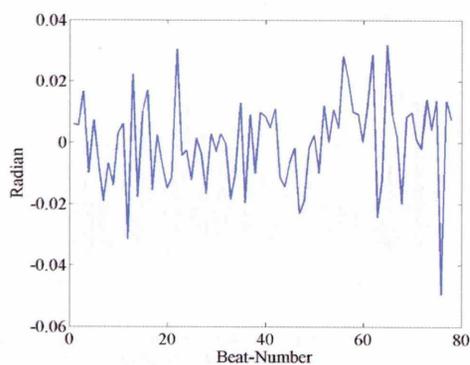
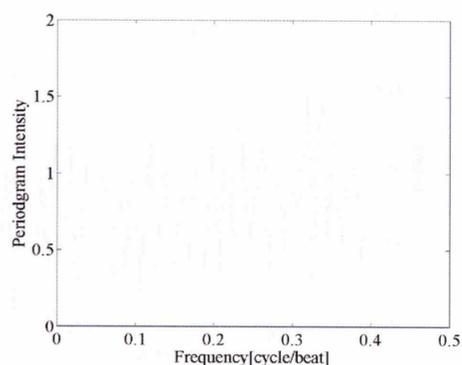


図 6.200: 左 : NML03 の $SA^{1/2}$



右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

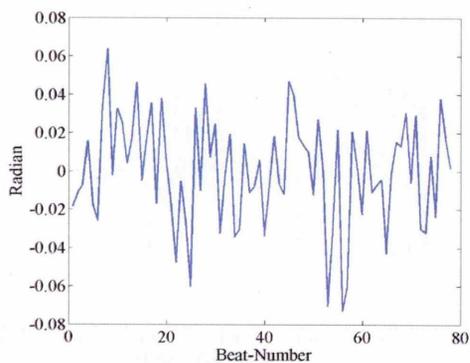
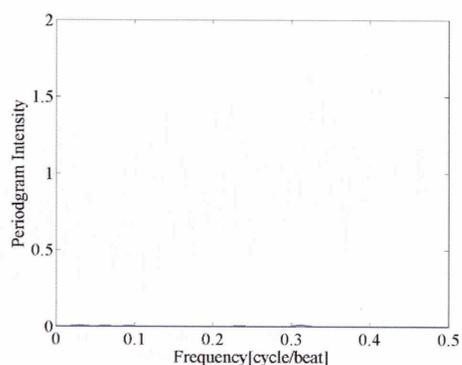


図 6.201: 左 : NML03 の $SA^{3/4}$



右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

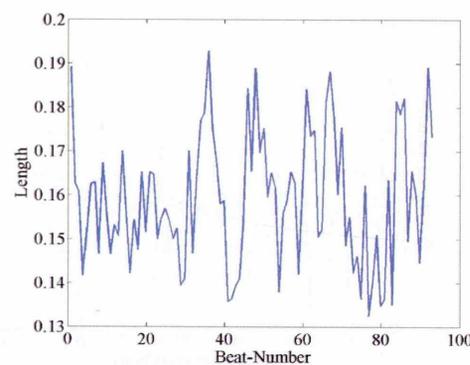
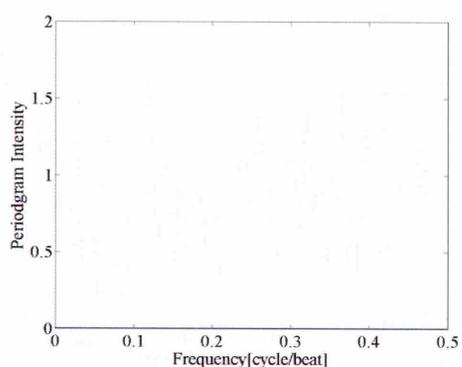


図 6.202: 左 : NML04 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

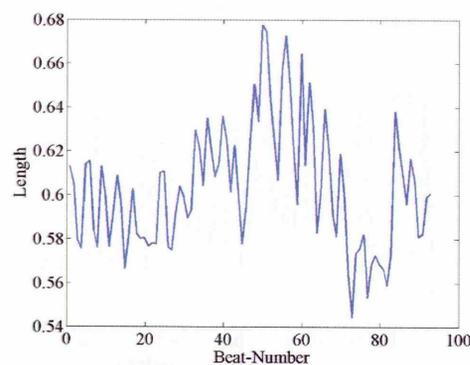
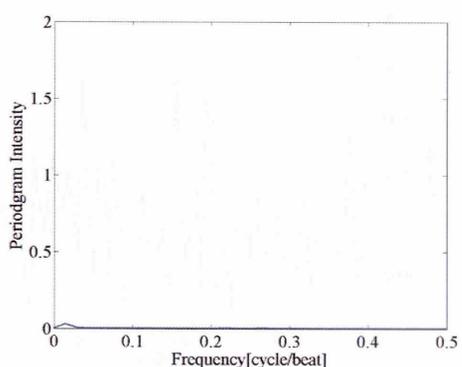


図 6.203: 左 : NML04 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

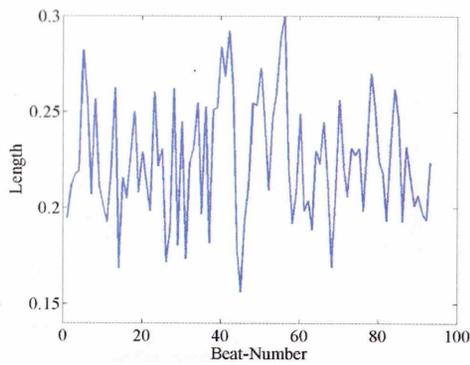
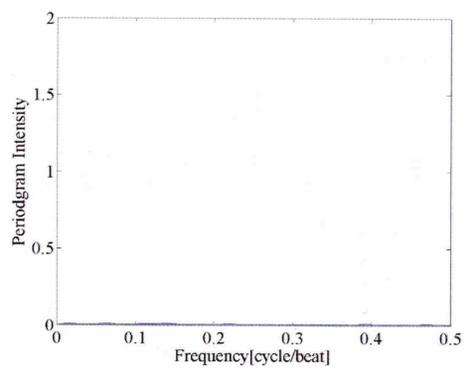


図 6.204: 左 : NML04 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

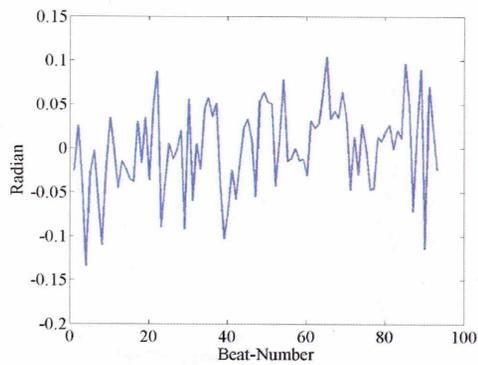
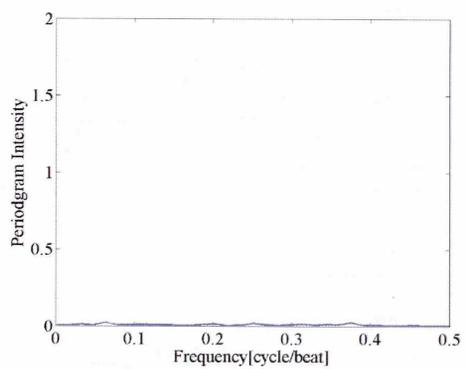


図 6.205: 左 : NML04 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

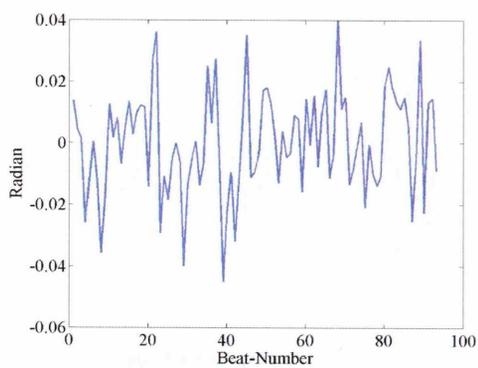
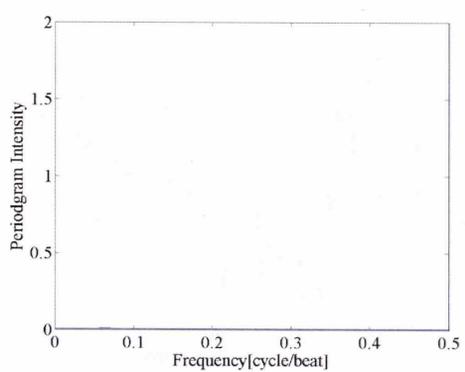


図 6.206: 左 : NML04 の $SA^{1/2}$



右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

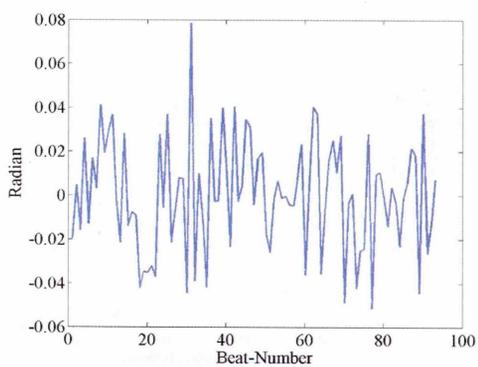
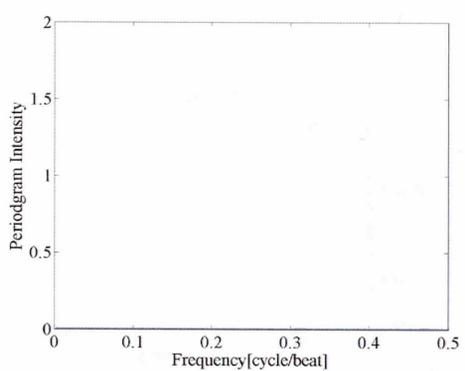


図 6.207: 左 : NML04 の $SA^{3/4}$



右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

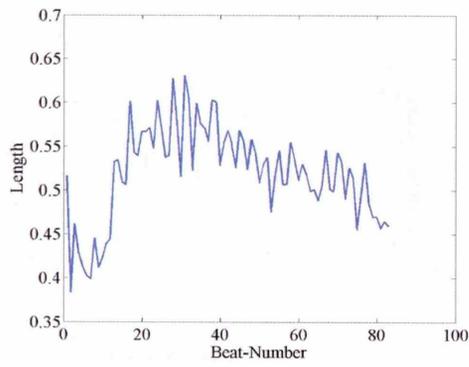
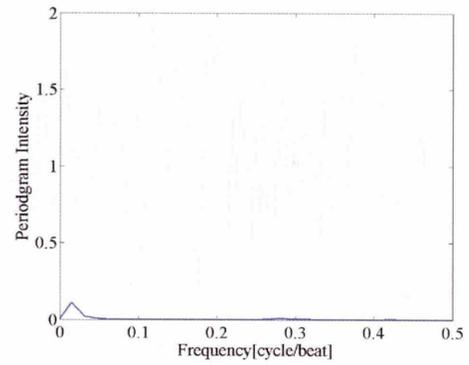


図 6.208: 左 : NML05 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

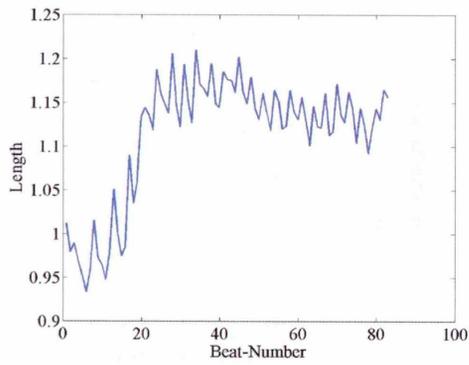
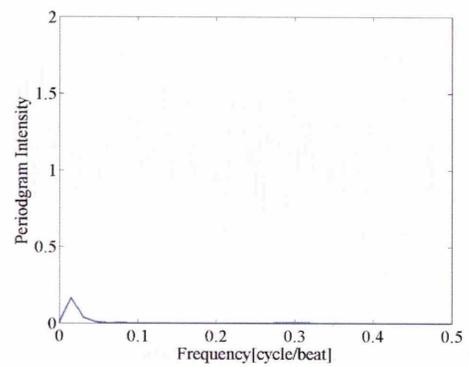


図 6.209: 左 : NML05 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

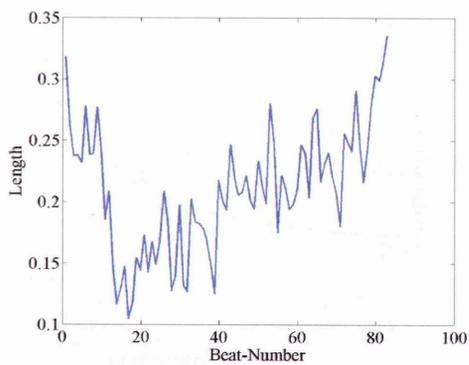
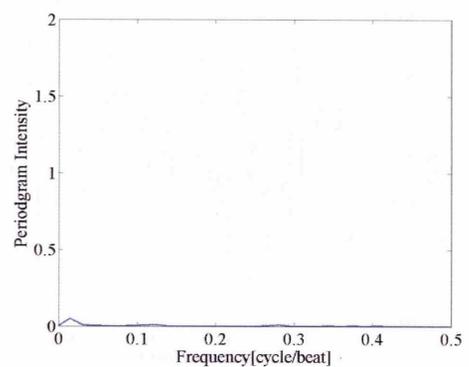


図 6.210: 左 : NML05 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

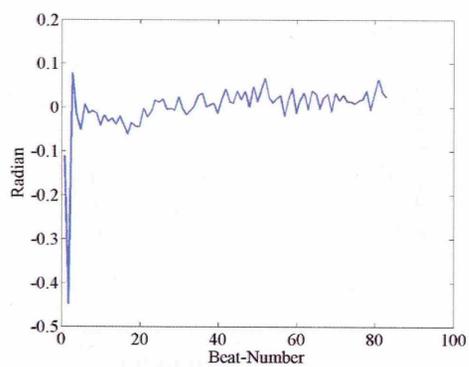
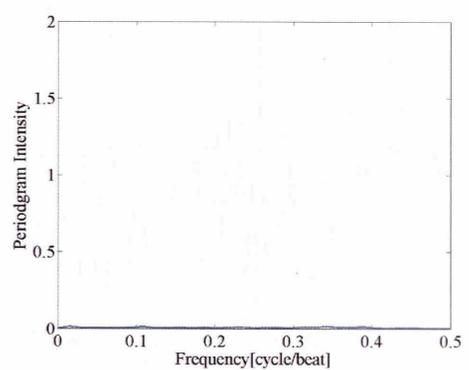


図 6.211: 左 : NML05 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

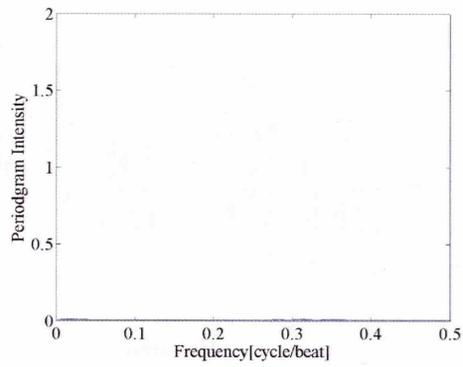
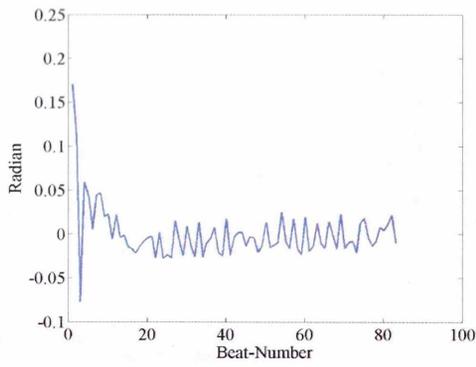


図 6.212: 左 : NML05 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

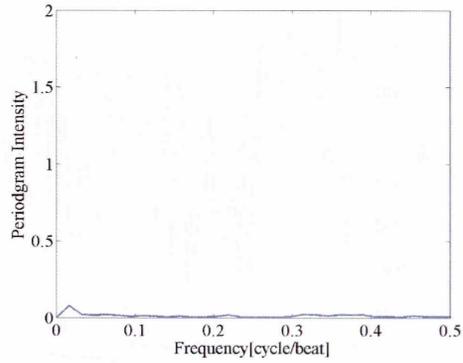
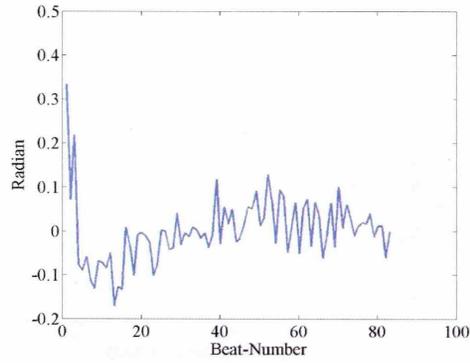


図 6.213: 左 : NML05 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

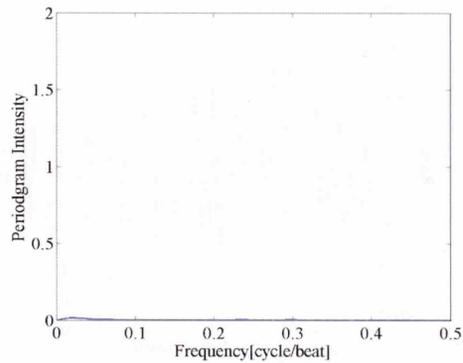
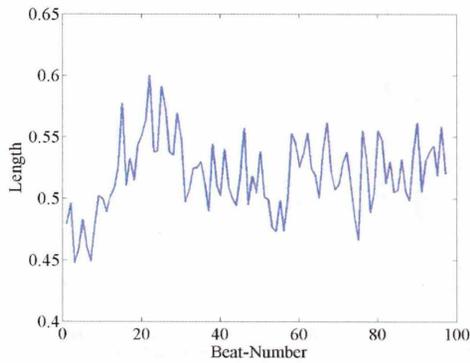


図 6.214: 左 : NML06 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

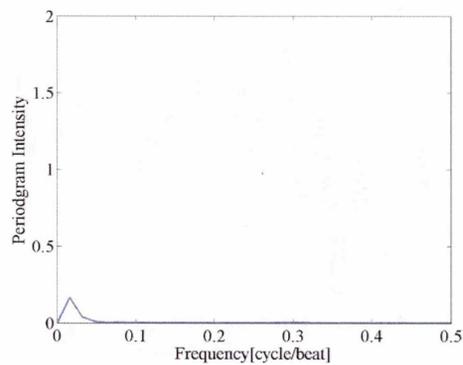
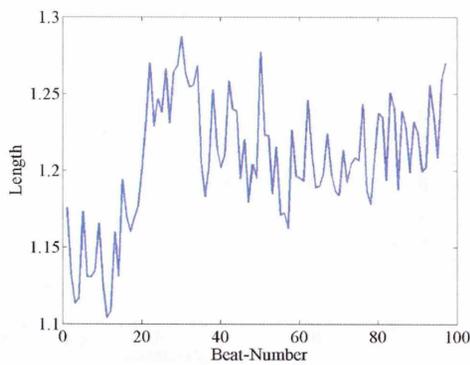


図 6.215: 左 : NML06 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

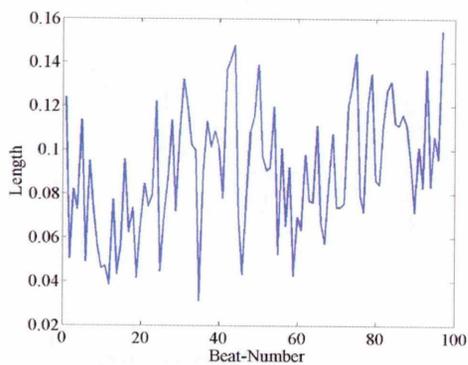
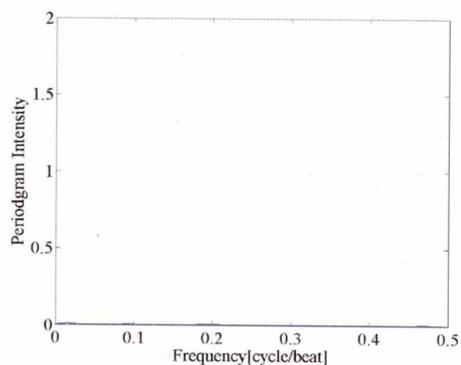


図 6.216: 左 : NML06 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

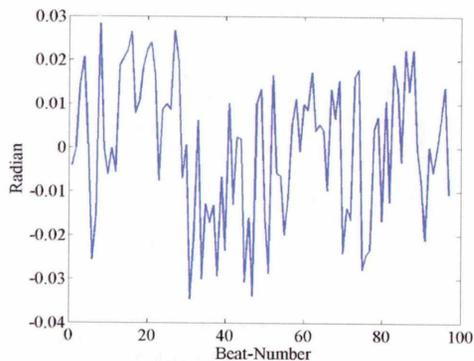
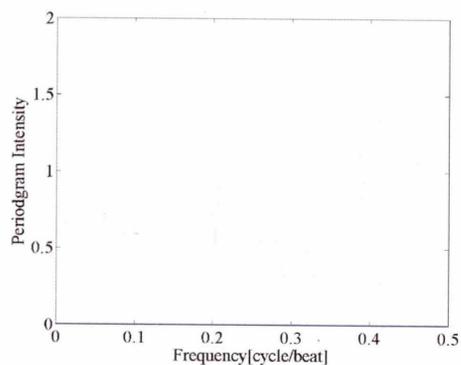


図 6.217: 左 : NML06 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

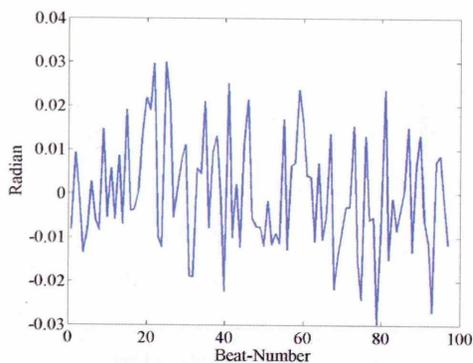
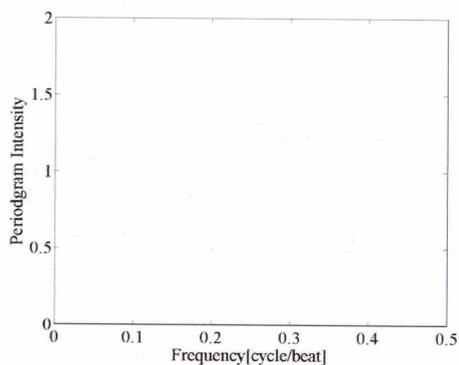


図 6.218: 左 : NML06 の $SA^{1/2}$



右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

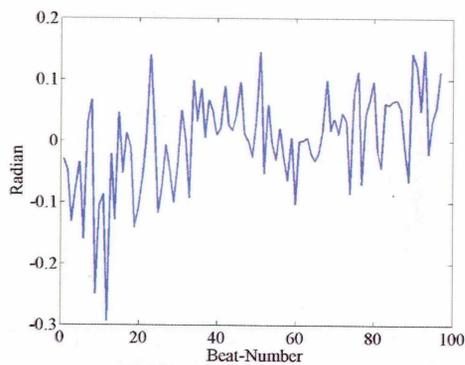
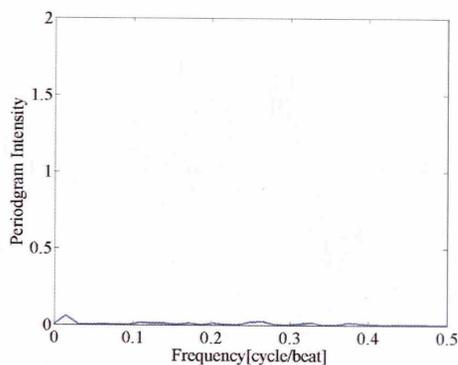


図 6.219: 左 : NML06 の $SA^{3/4}$



右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

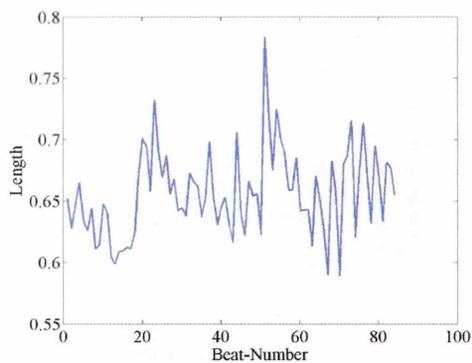
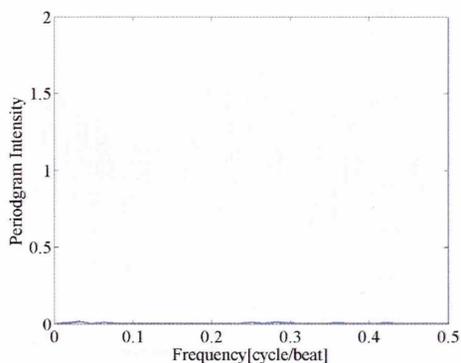


図 6.220: 左 : NML07 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

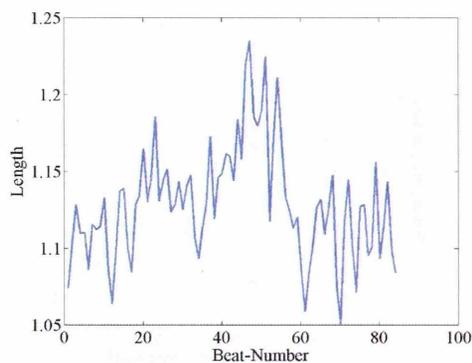
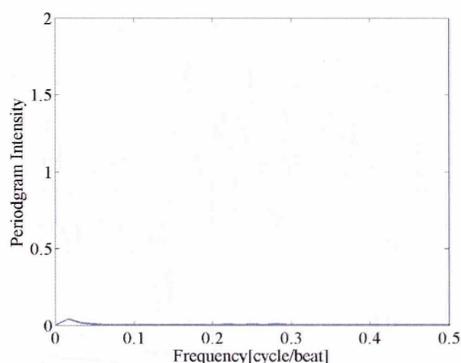


図 6.221: 左 : NML07 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

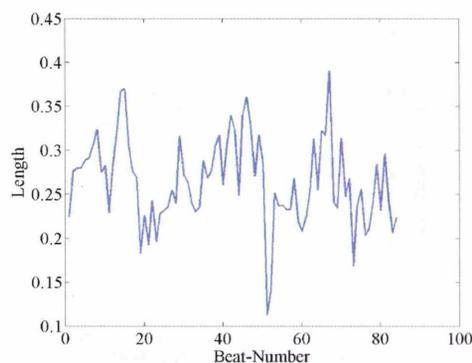
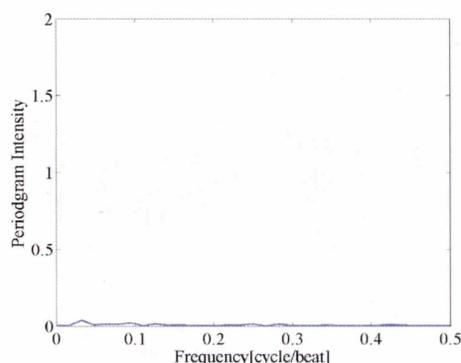


図 6.222: 左 : NML07 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

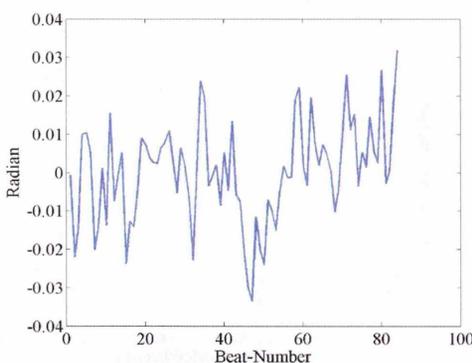
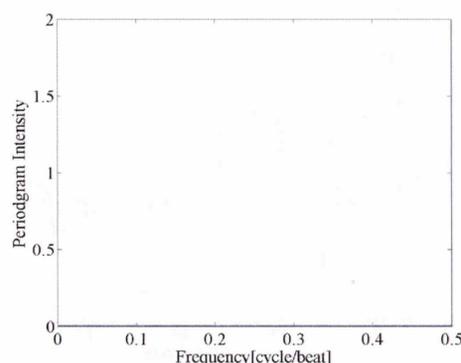


図 6.223: 左 : NML07 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

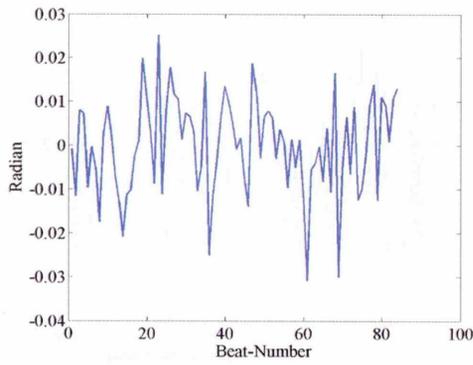
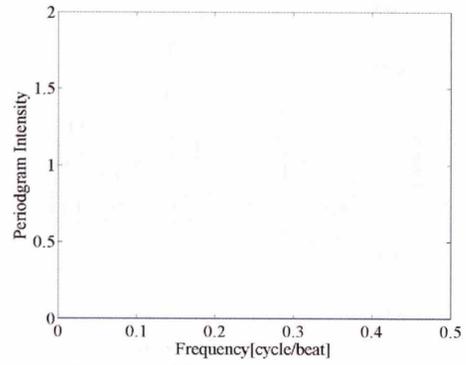


図 6.224: 左 : NML07 の $SA^{1/2}$



右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

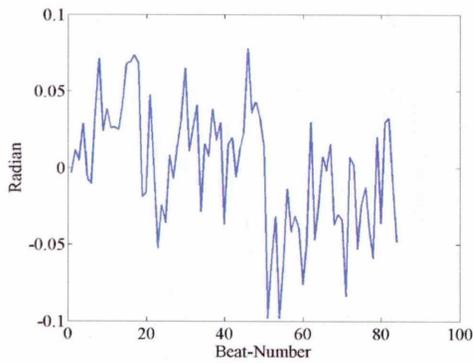
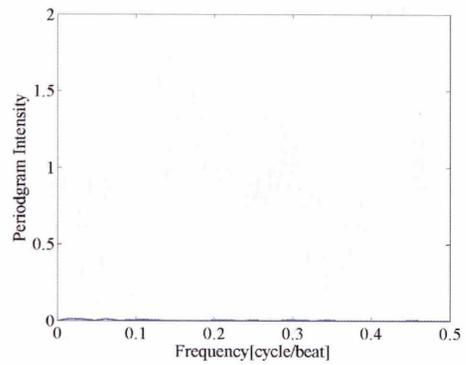


図 6.225: 左 : NML07 の $SA^{3/4}$



右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

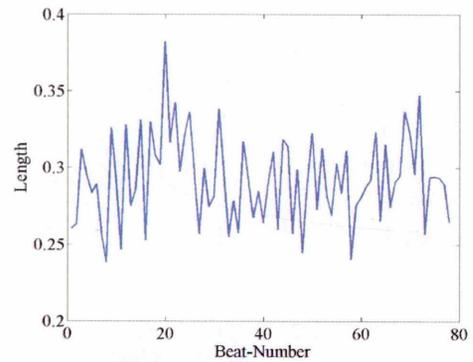
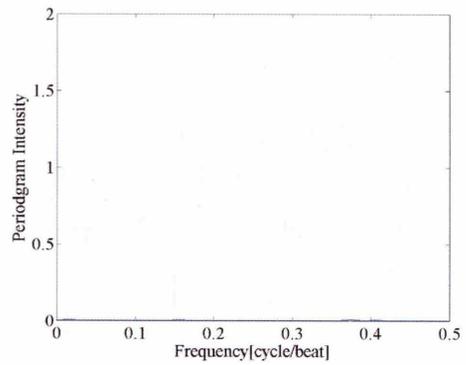


図 6.226: 左 : NML08 の $SL^{1/4}$



右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

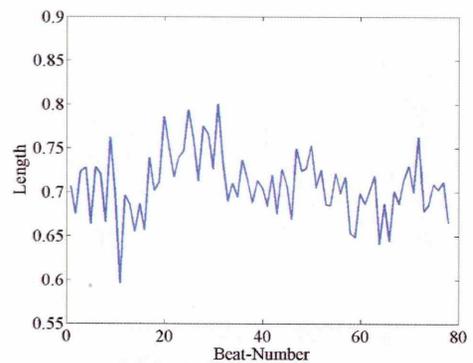
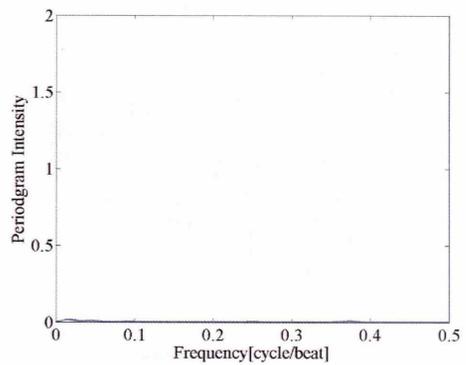


図 6.227: 左 : NML08 の $SL^{1/2}$



右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

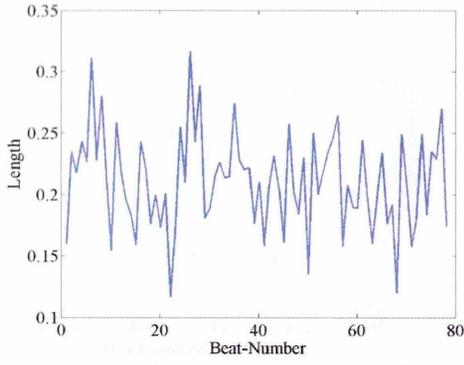
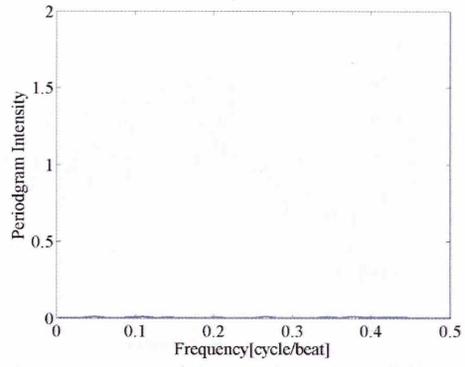


図 6.228: 左 : NML08 の $SL^{3/4}$



右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

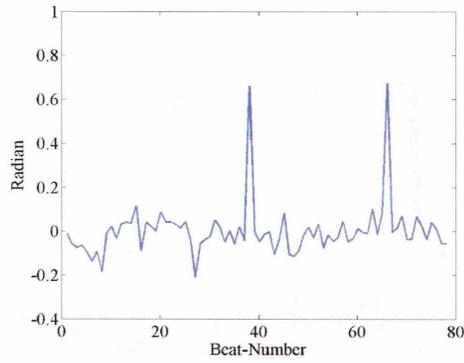
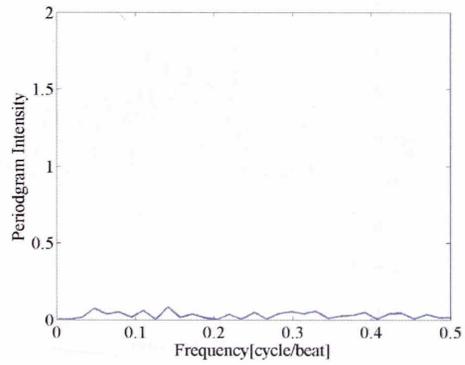


図 6.229: 左 : NML08 の $SA^{1/4}$



右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

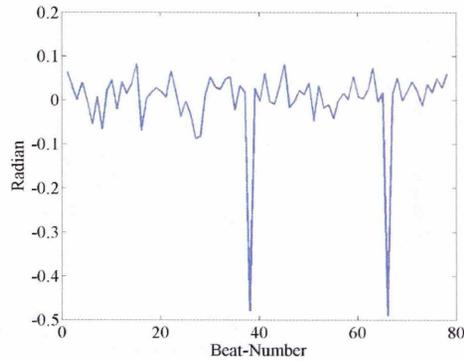
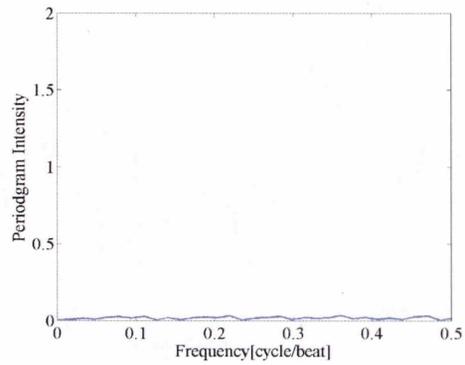


図 6.230: 左 : NML08 の $SA^{1/2}$



右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

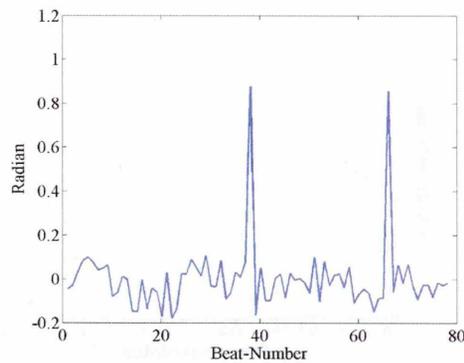
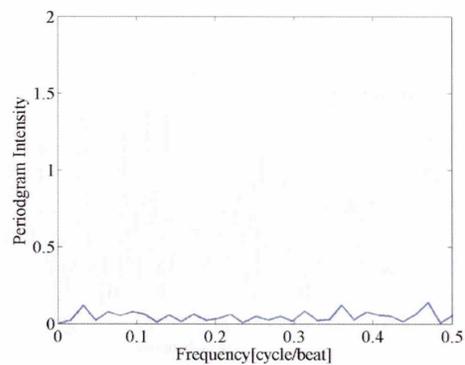


図 6.231: 左 : NML08 の $SA^{3/4}$



右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

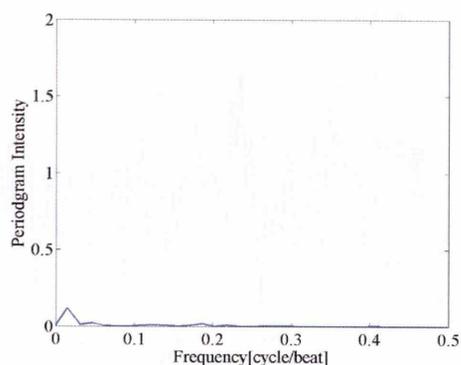
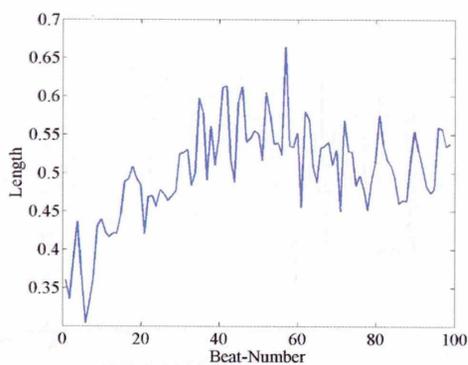


図 6.232: 左 : NML09 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

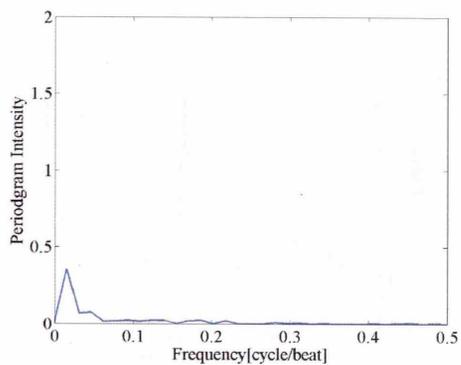
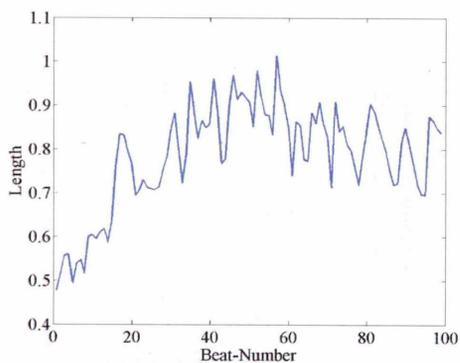


図 6.233: 左 : NML09 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

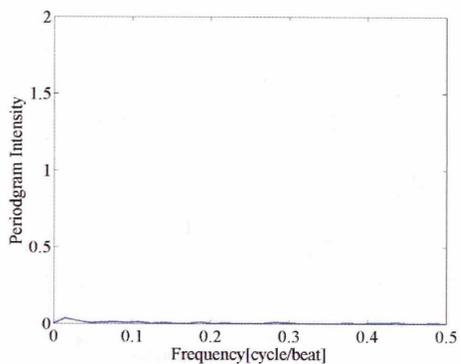
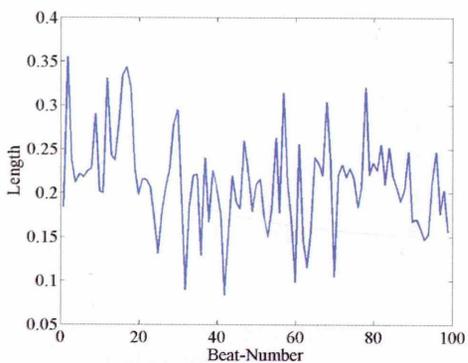


図 6.234: 左 : NML09 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

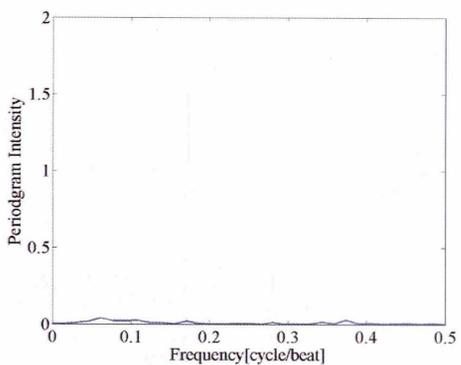
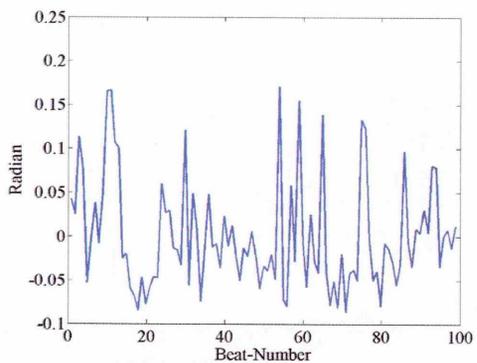


図 6.235: 左 : NML09 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

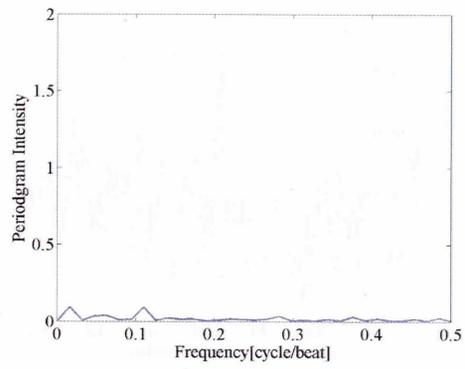
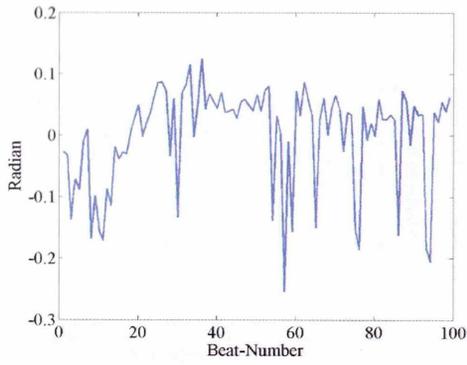


図 6.236: 左 : NML09 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

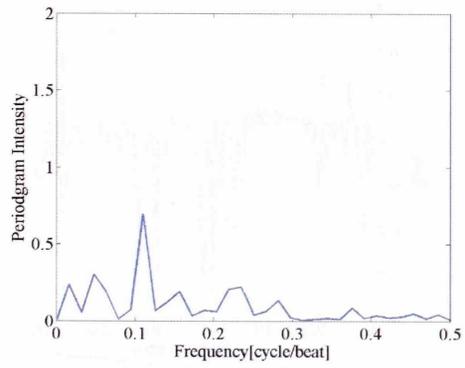
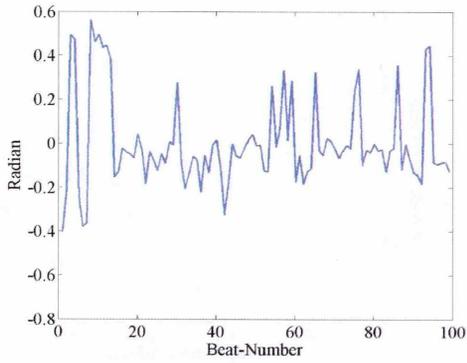


図 6.237: 左 : NML09 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

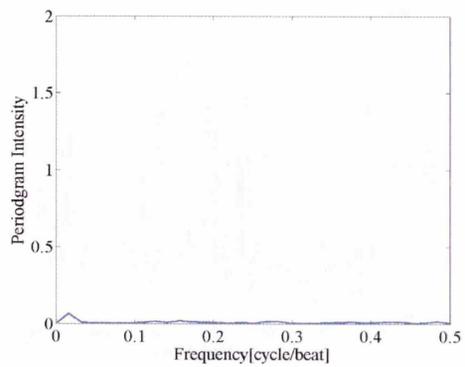
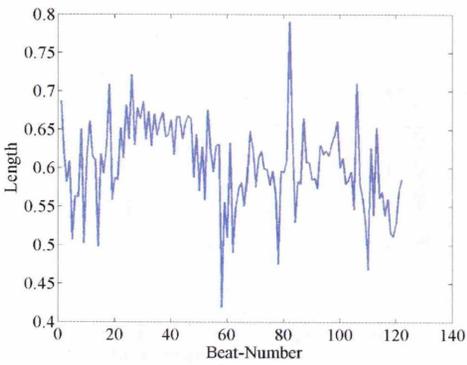


図 6.238: 左 : NML10 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

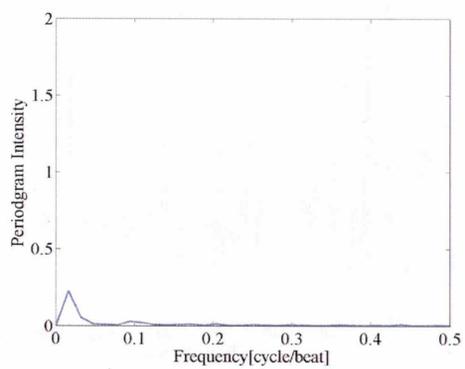
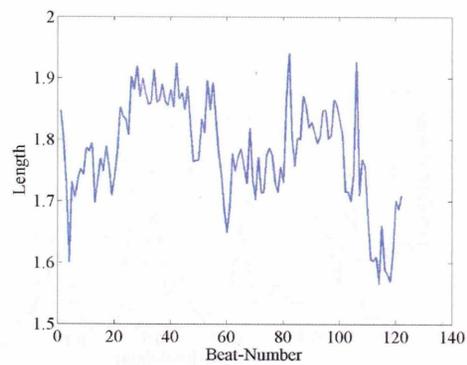


図 6.239: 左 : NML10 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

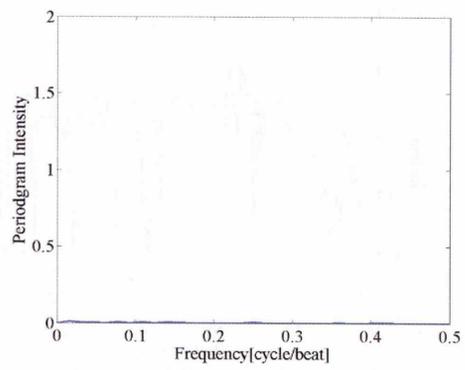
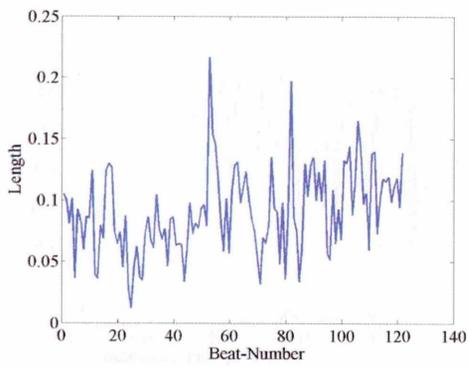


図 6.240: 左 : NML10 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

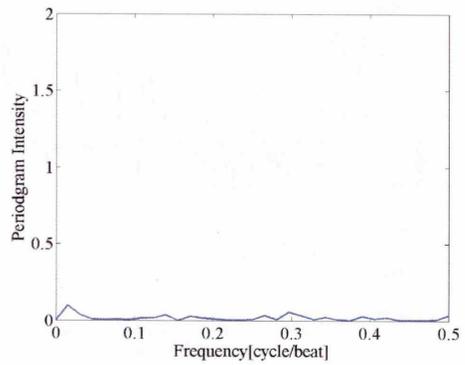
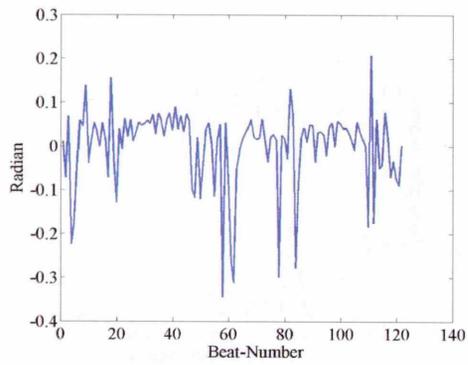


図 6.241: 左 : NML10 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

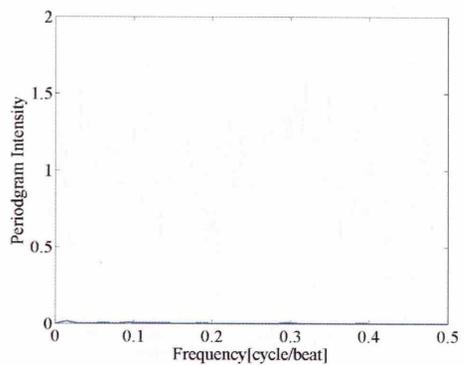
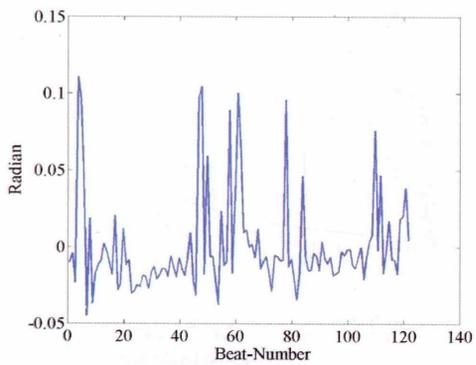


図 6.242: 左 : NML10 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

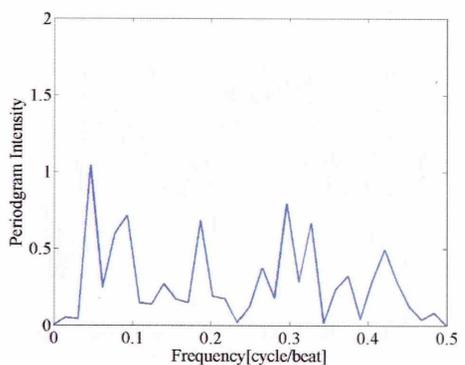
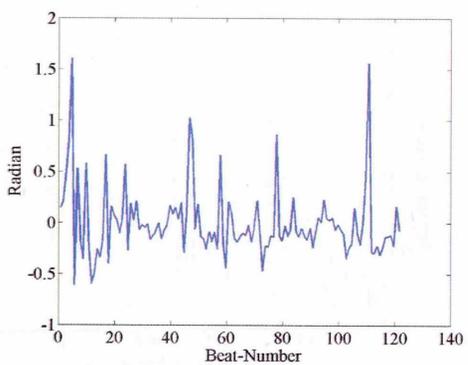


図 6.243: 左 : NML10 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

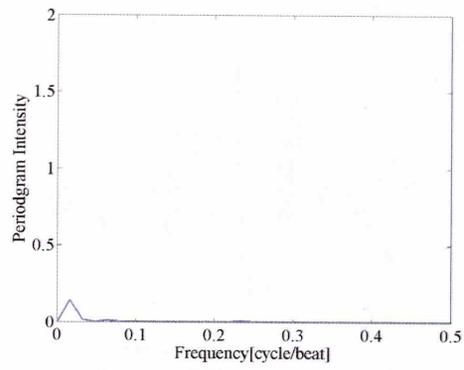
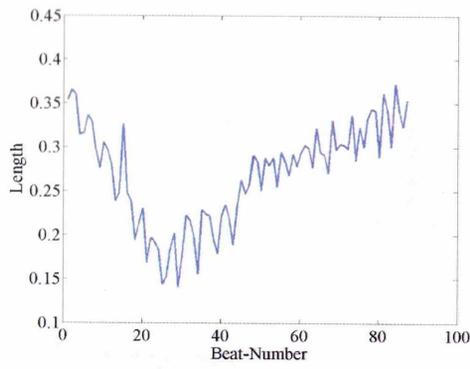


図 6.244: 左 : TWA_low01 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

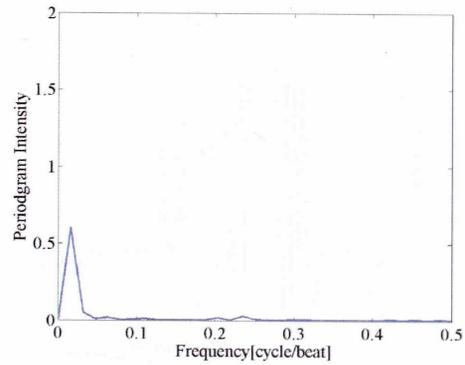
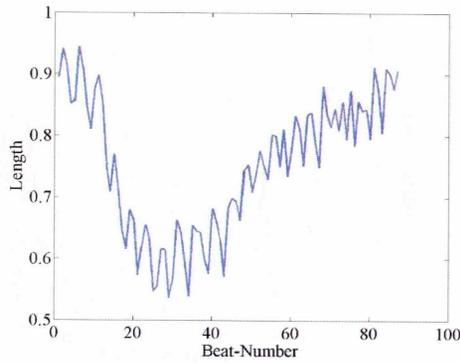


図 6.245: 左 : TWA_low01 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

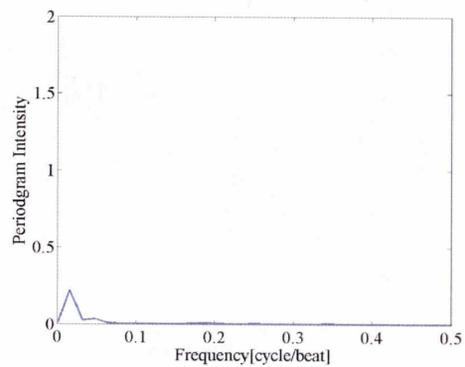
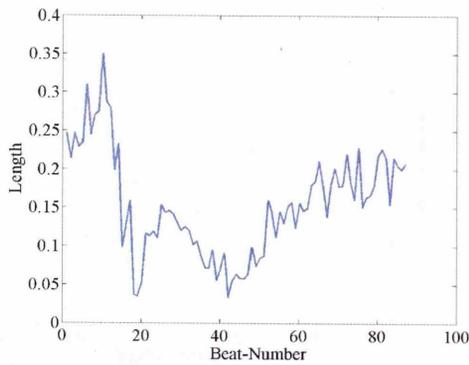


図 6.246: 左 : TWA_low01 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

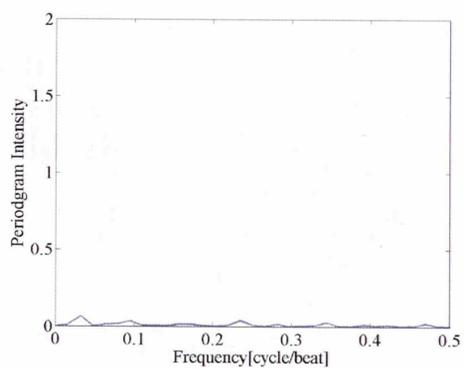
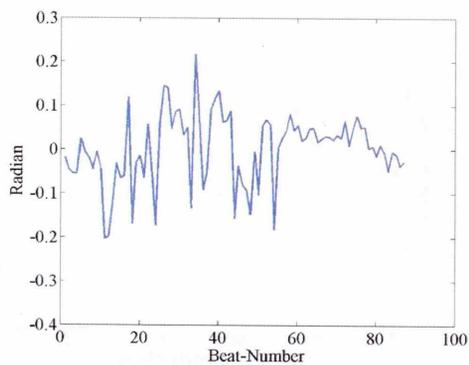


図 6.247: 左 : TWA_low01 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

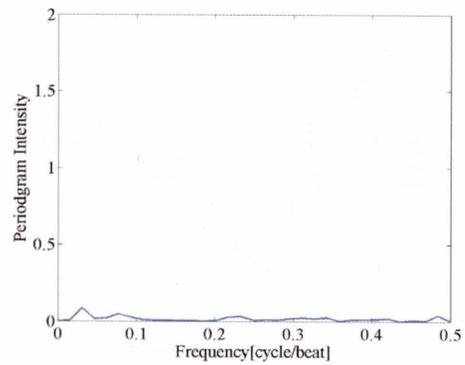
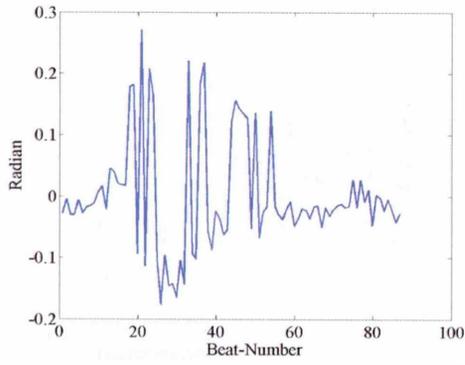


図 6.248: 左 : TWA_low01 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

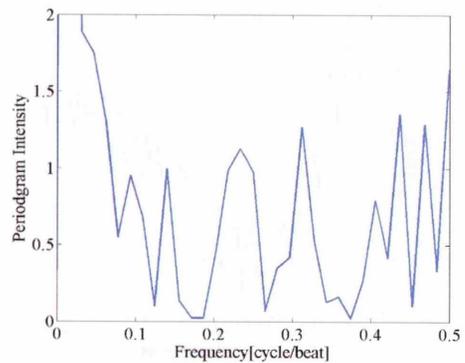
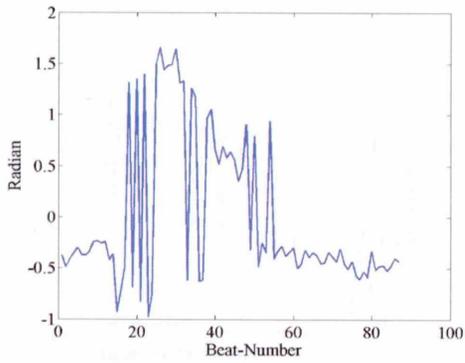


図 6.249: 左 : TWA_low01 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

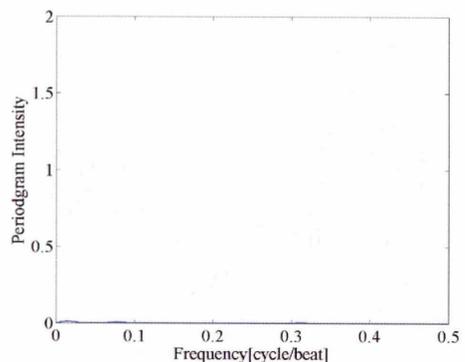
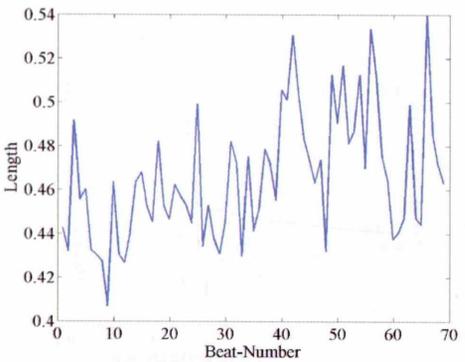


図 6.250: 左 : TWA_low02 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

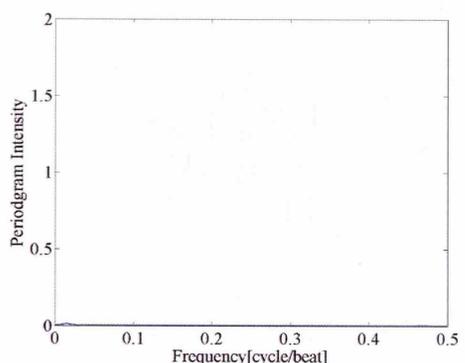
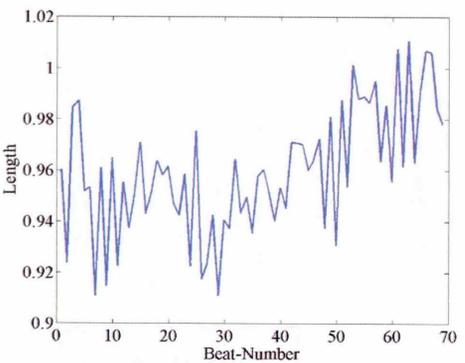


図 6.251: 左 : TWA_low02 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

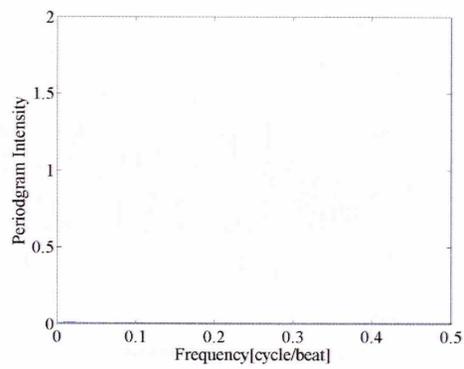
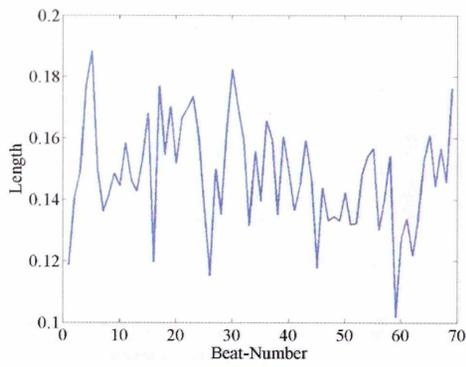


図 6.252: 左 : TWA_low02 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

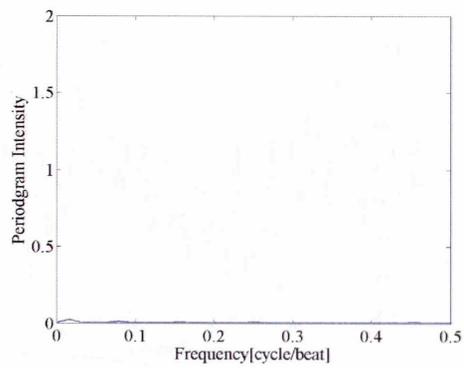
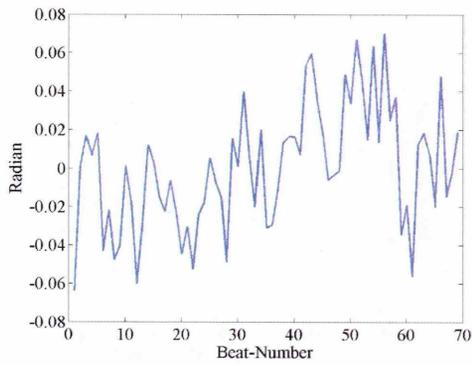


図 6.253: 左 : TWA_low02 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

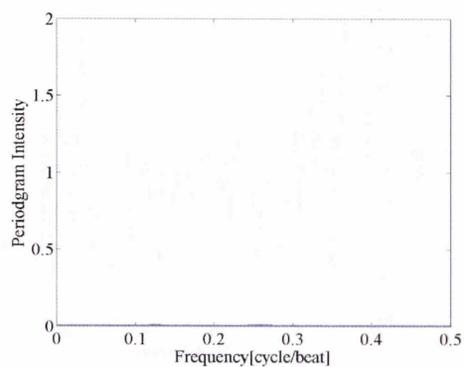
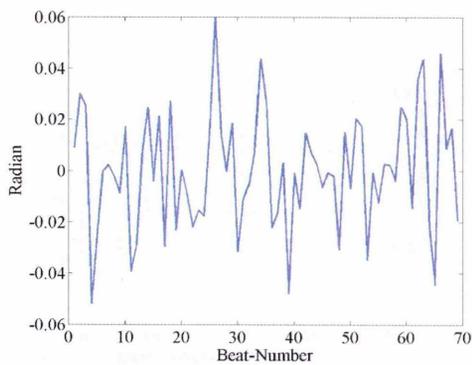


図 6.254: 左 : TWA_low02 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

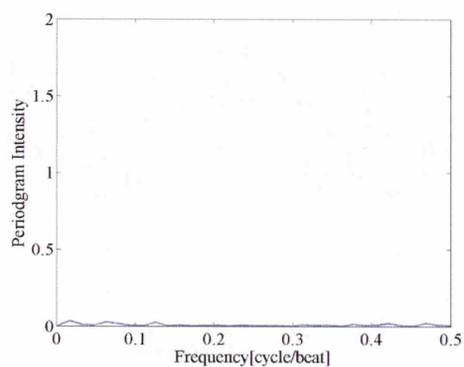
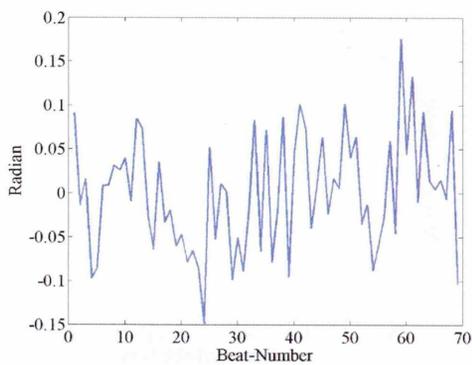


図 6.255: 左 : TWA_low02 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

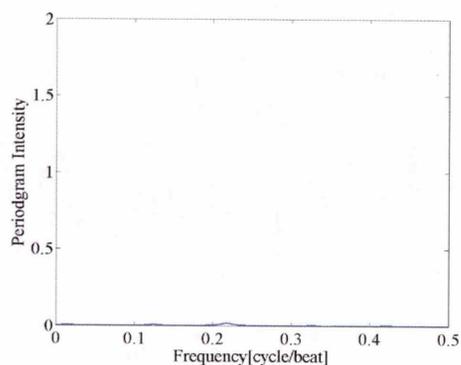
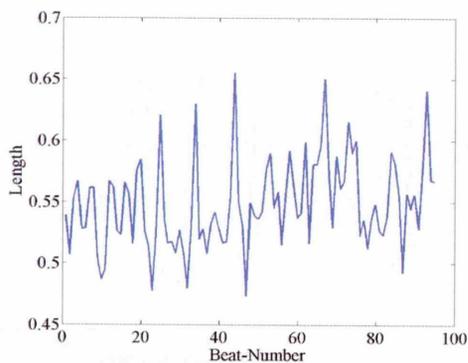


図 6.256: 左: TWA_low03 の $SL^{1/4}$

右: $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

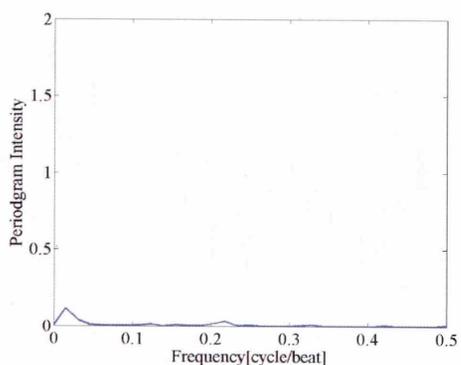
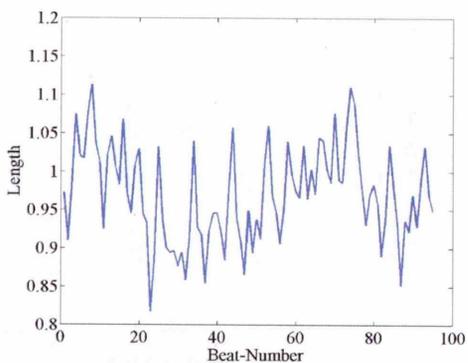


図 6.257: 左: TWA_low03 の $SL^{1/2}$

右: $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

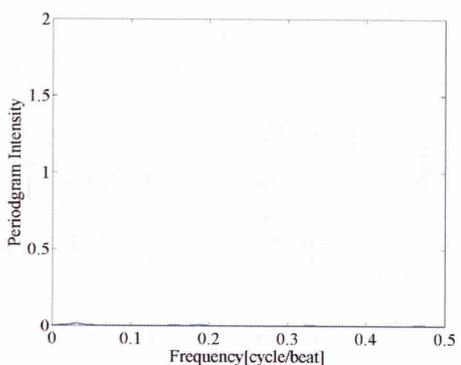
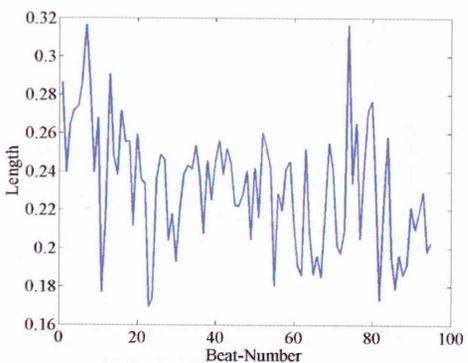


図 6.258: 左: TWA_low03 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

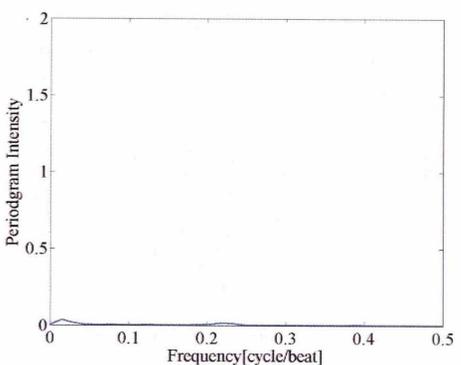
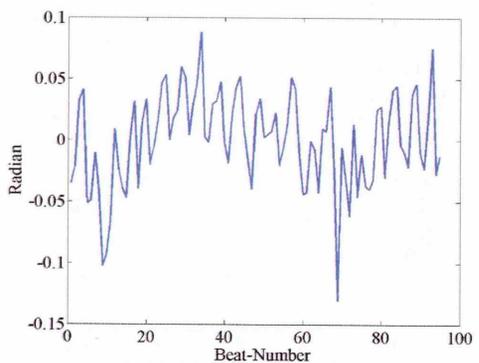


図 6.259: 左: TWA_low03 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

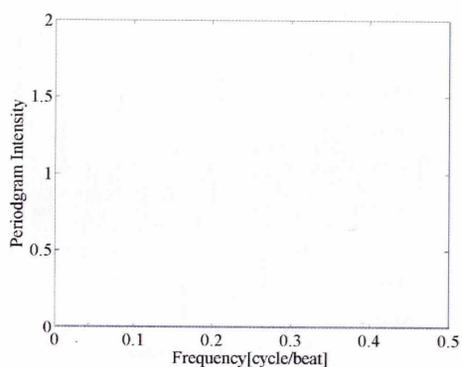
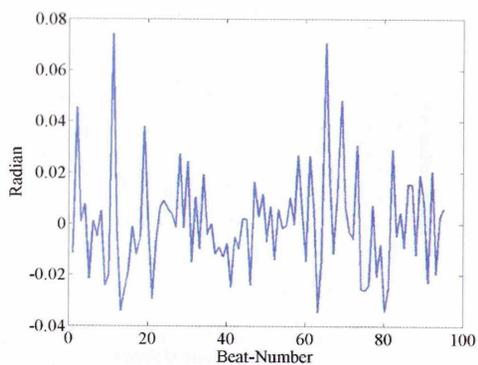


図 6.260: 左 : TWA_low03 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

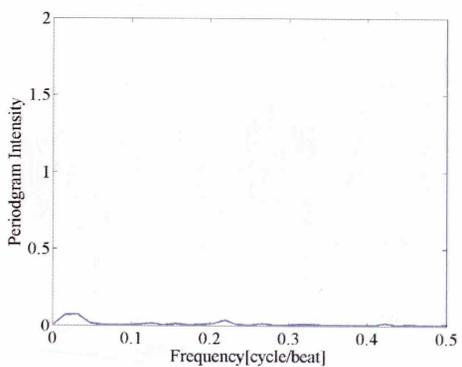
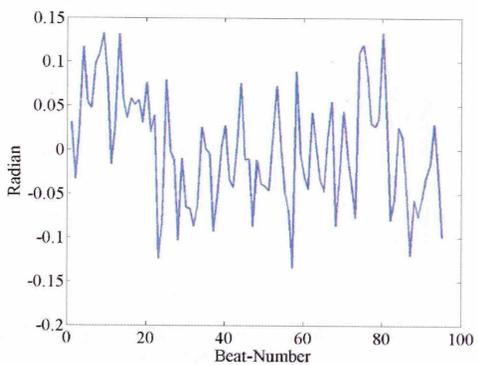


図 6.261: 左 : TWA_low03 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

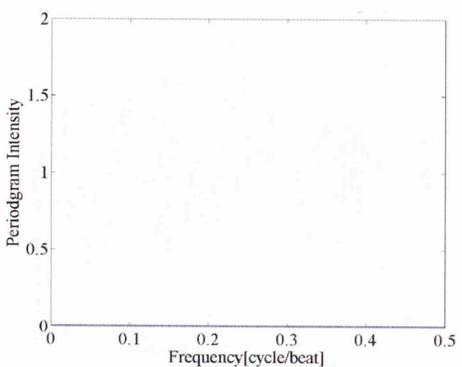
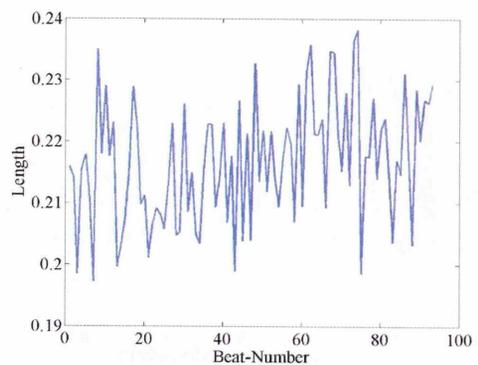


図 6.262: 左 : TWA_low04 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

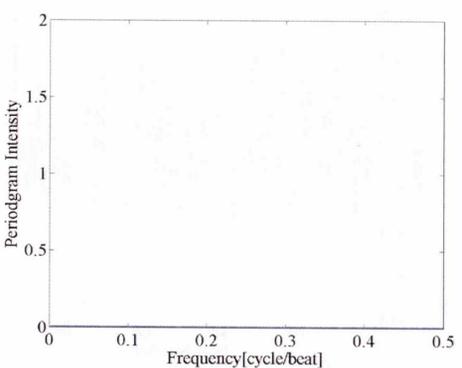
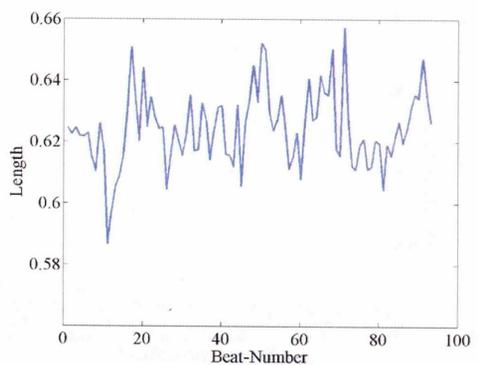


図 6.263: 左 : TWA_low04 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

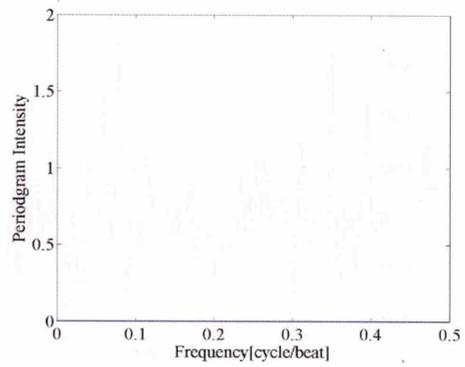
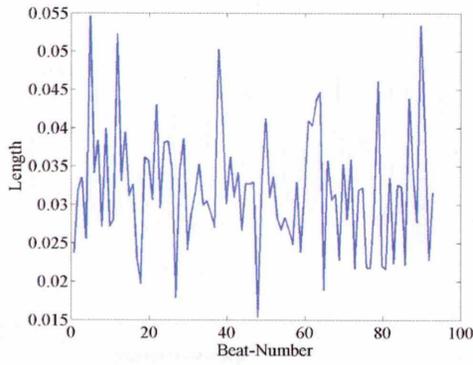


図 6.264: 左: TWA_low04 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

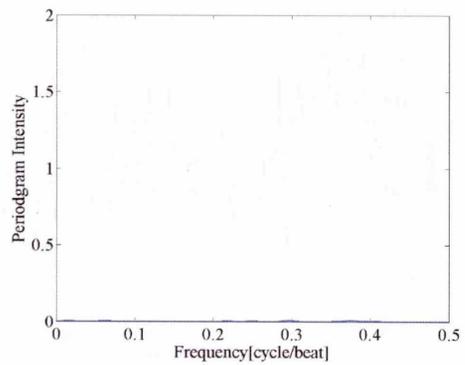
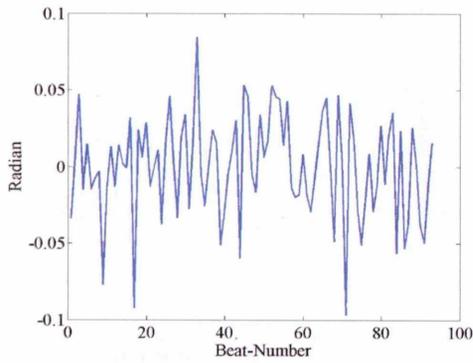


図 6.265: 左: TWA_low04 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

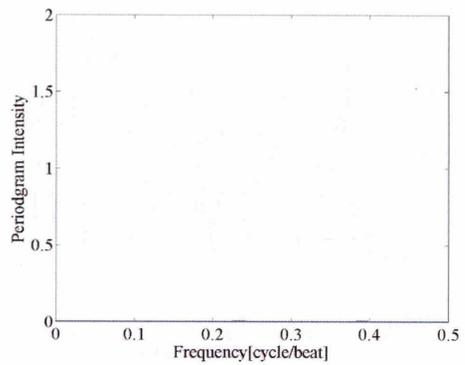
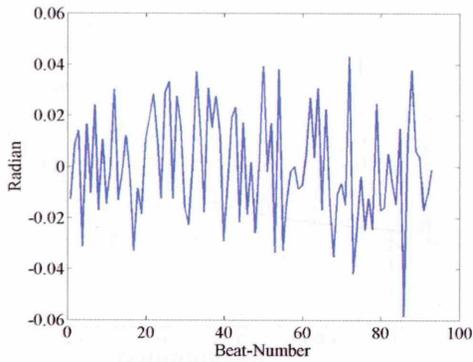


図 6.266: 左: TWA_low04 の $SA^{1/2}$

右: $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

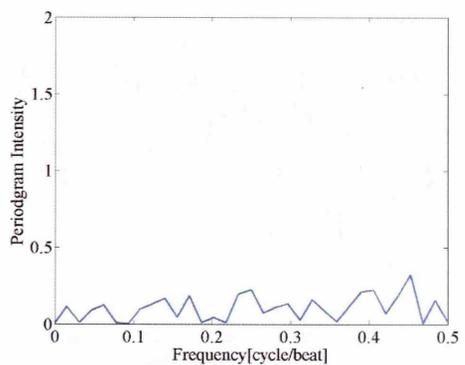
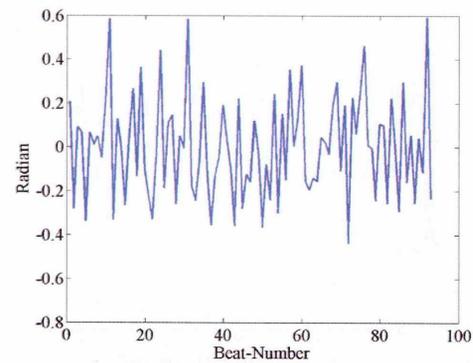


図 6.267: 左: TWA_low04 の $SA^{3/4}$

右: $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

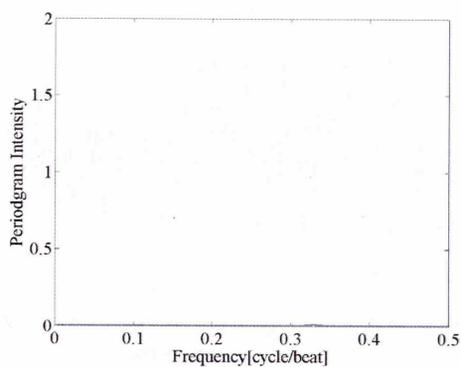
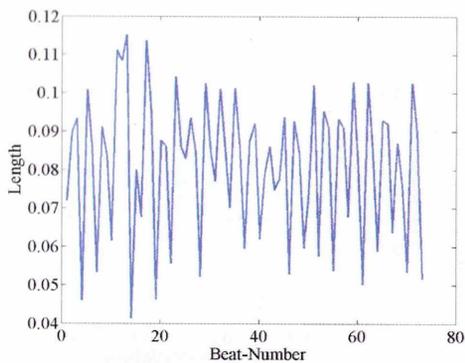


図 6.268: 左: TWA_low05 の $SL^{1/4}$

右: $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

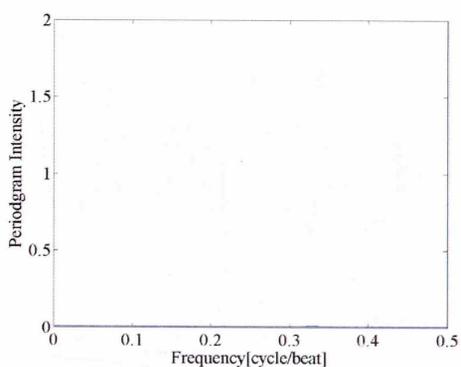
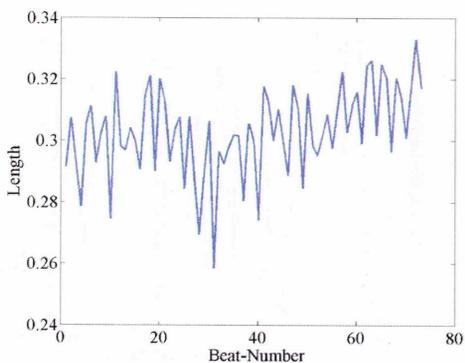


図 6.269: 左: TWA_low05 の $SL^{1/2}$

右: $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

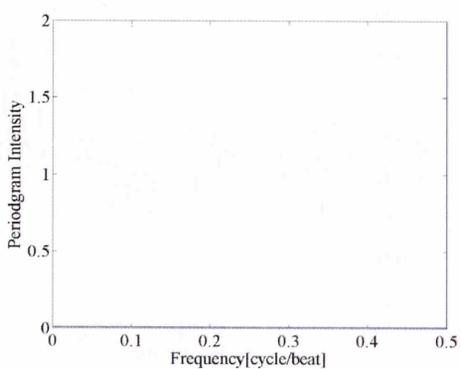
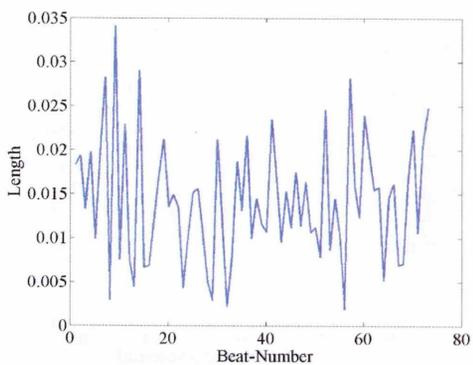


図 6.270: 左: TWA_low05 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

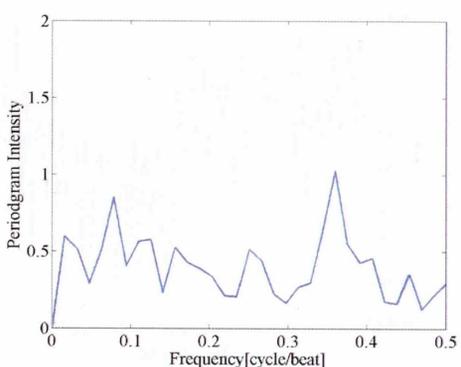
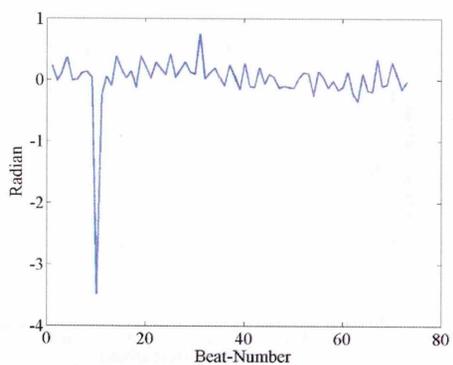


図 6.271: 左: TWA_low05 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

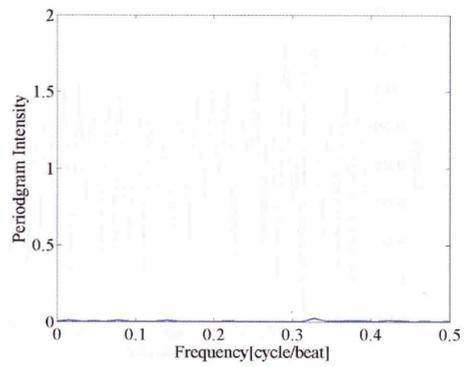
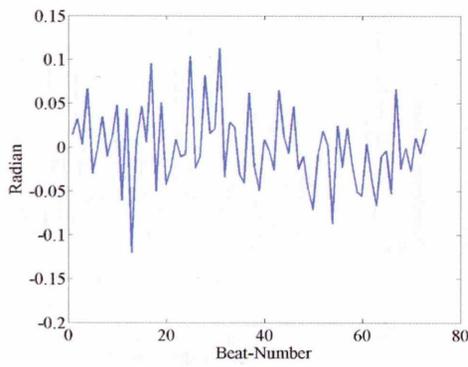


図 6.272: 左 : TWA_low05 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

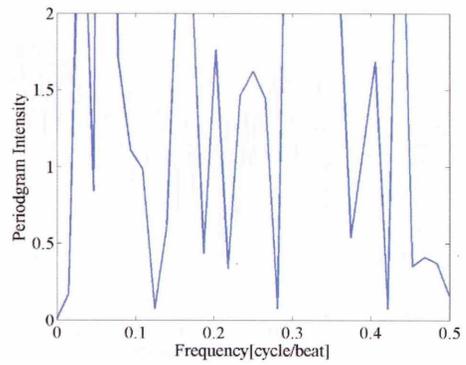
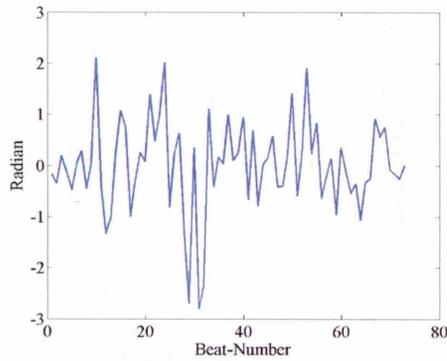


図 6.273: 左 : TWA_low05 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

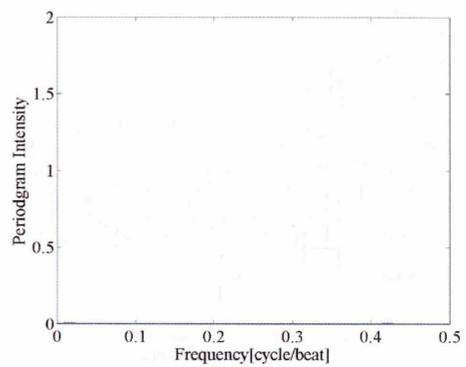
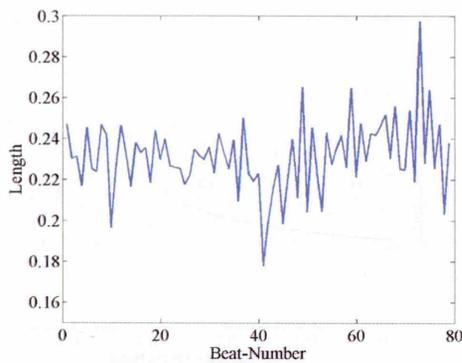


図 6.274: 左 : TWA_low06 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

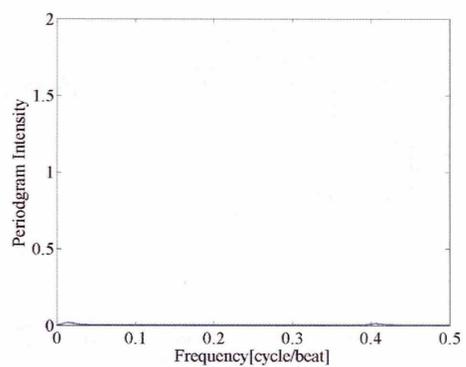
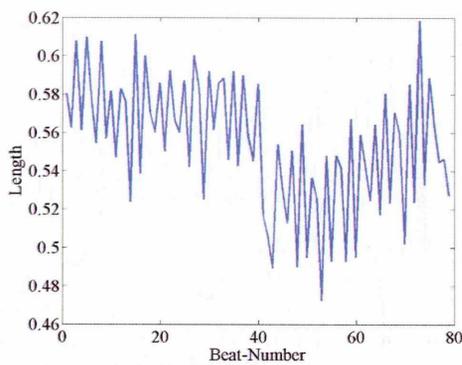


図 6.275: 左 : TWA_low06 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

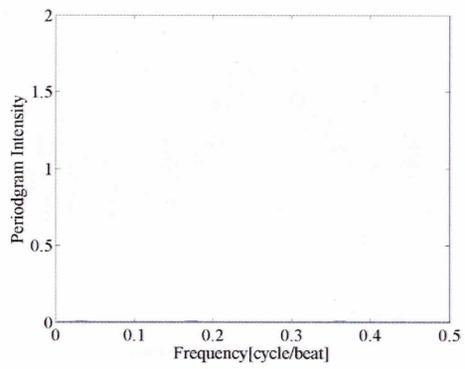
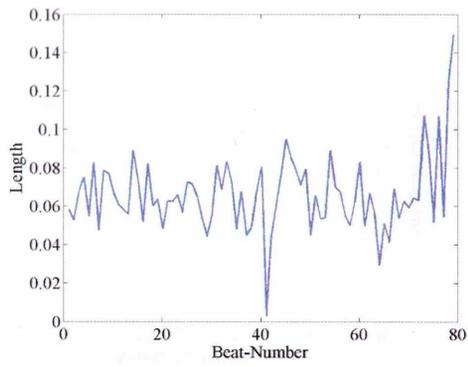


図 6.276: 左: TWA_low06 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

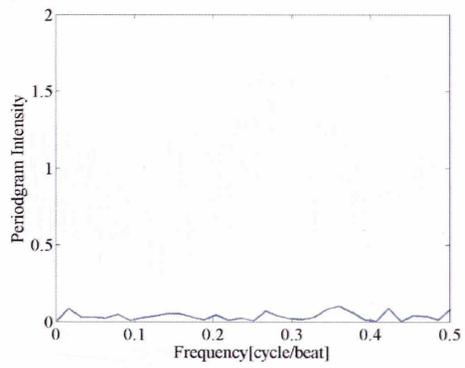
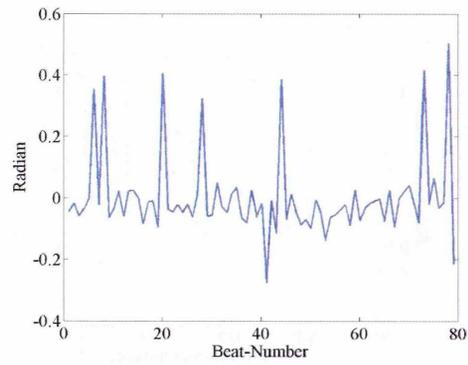


図 6.277: 左: TWA_low06 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

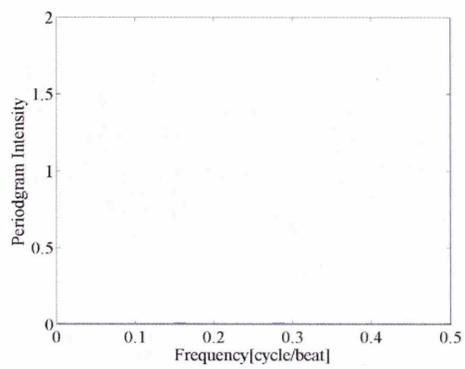
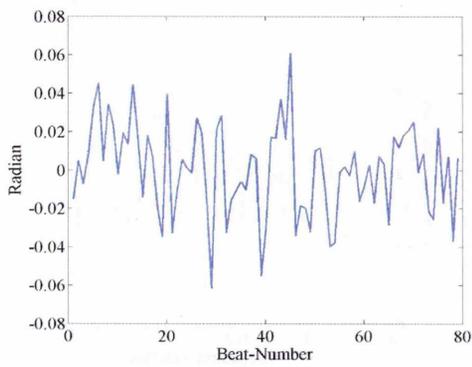


図 6.278: 左: TWA_low06 の $SA^{1/2}$

右: $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

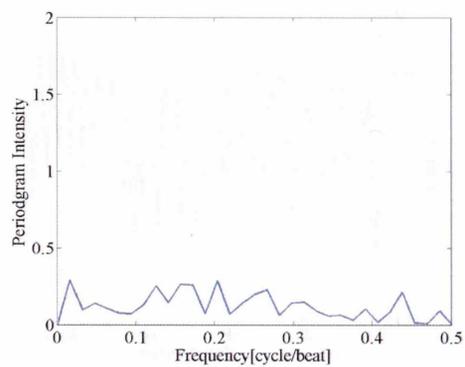
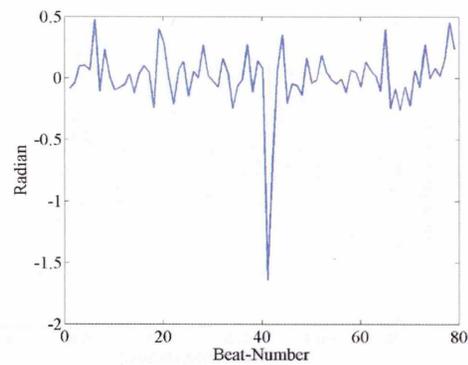


図 6.279: 左: TWA_low06 の $SA^{3/4}$

右: $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

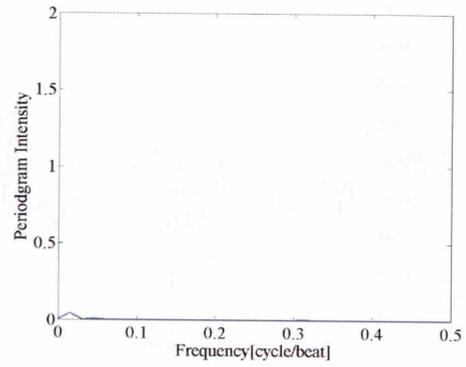
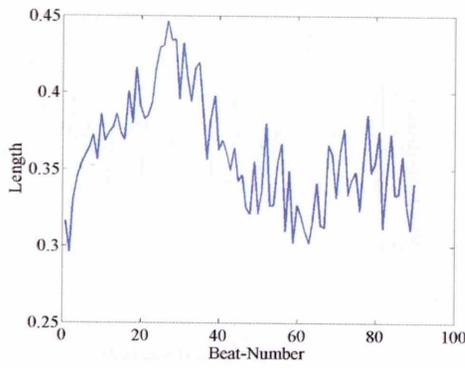


図 6.280: 左 : TWA_low07 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

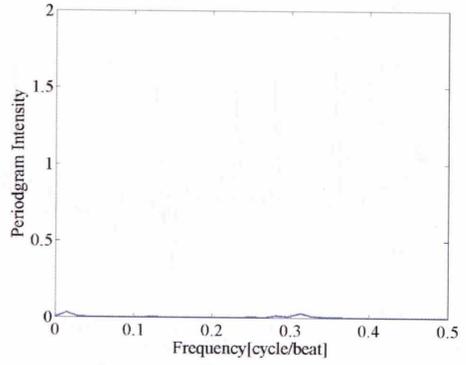
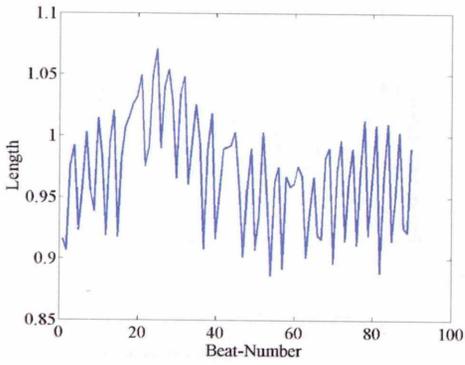


図 6.281: 左 : TWA_low07 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

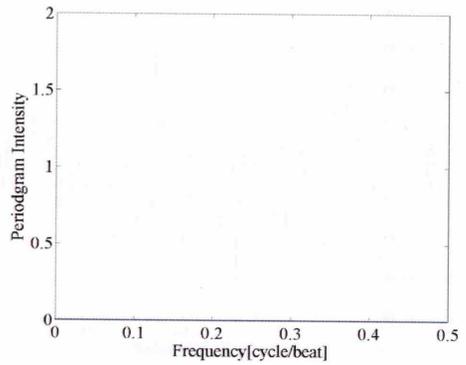
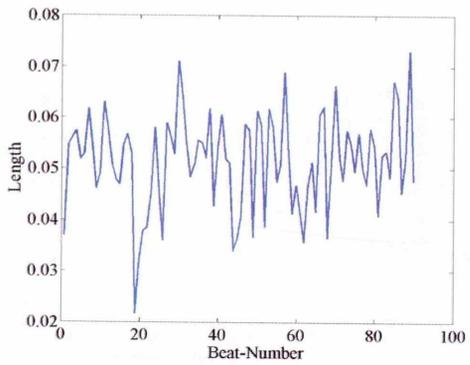


図 6.282: 左 : TWA_low07 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

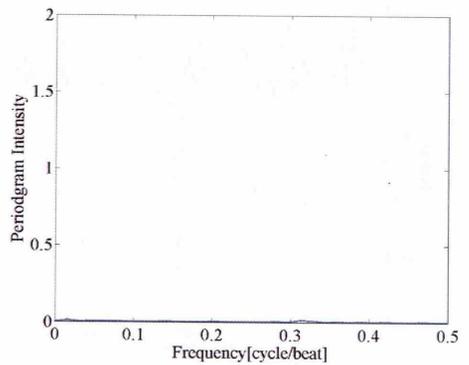
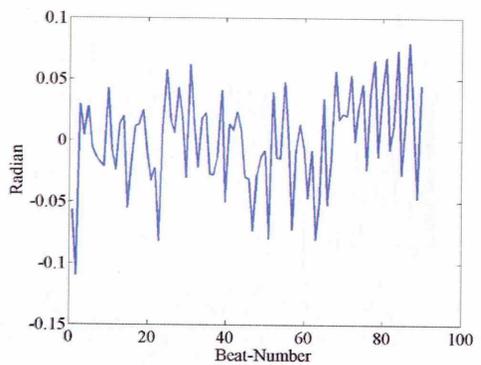


図 6.283: 左 : TWA_low07 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

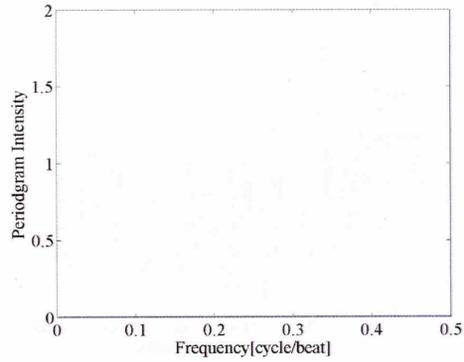
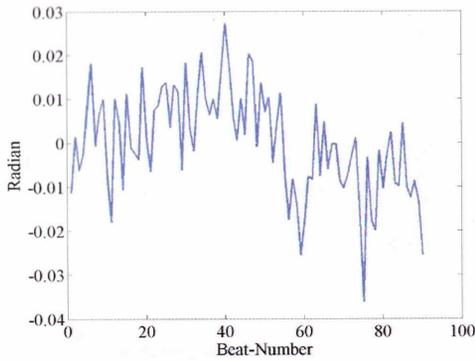


図 6.284: 左 : TWA_low07 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

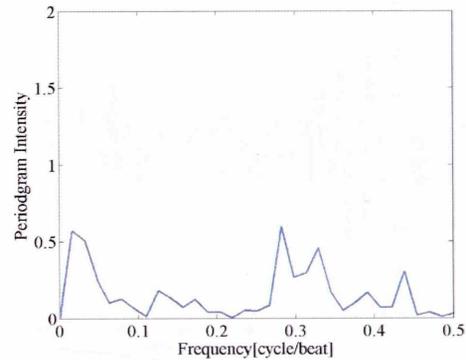
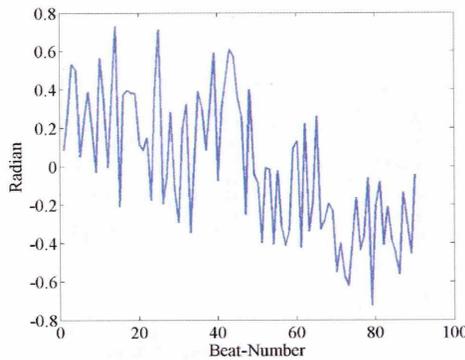


図 6.285: 左 : TWA_low07 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

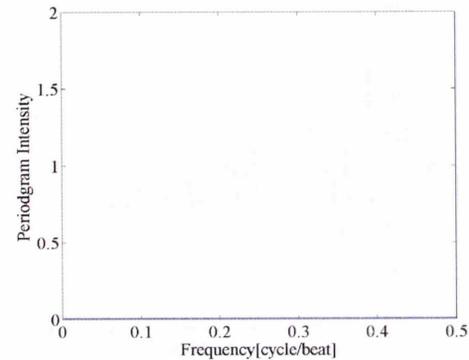
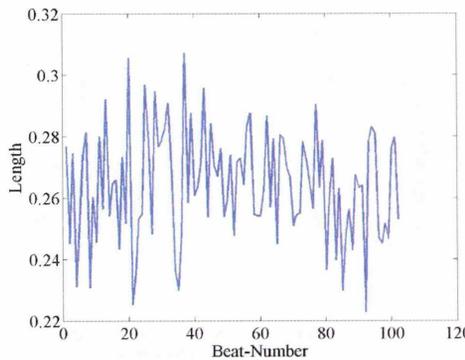


図 6.286: 左 : TWA_low08 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

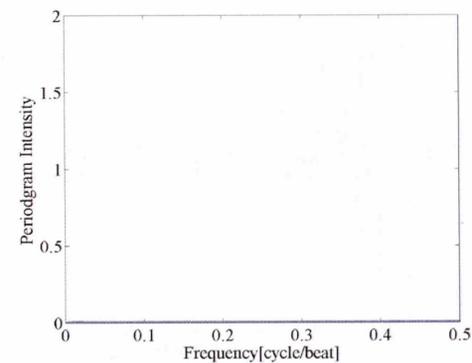
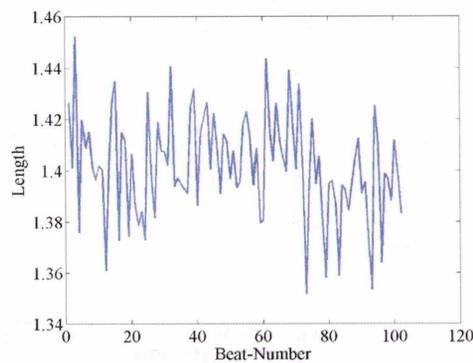


図 6.287: 左 : TWA_low08 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

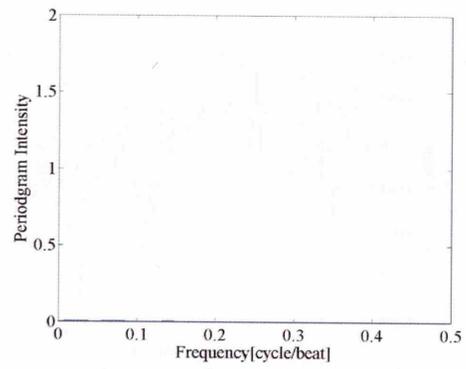
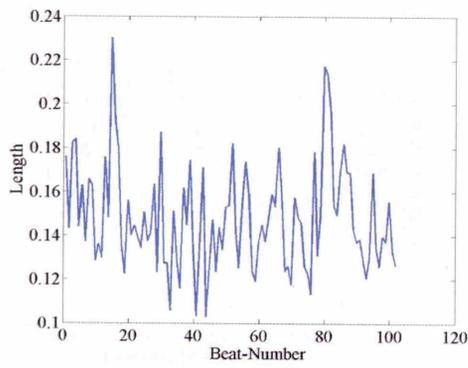


図 6.288: 左: TWA_low08 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

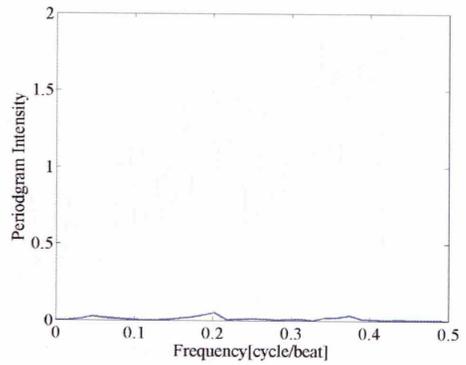
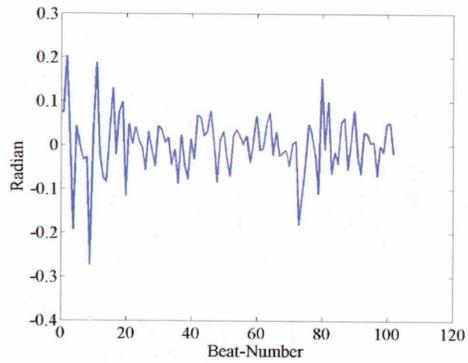


図 6.289: 左: TWA_low08 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

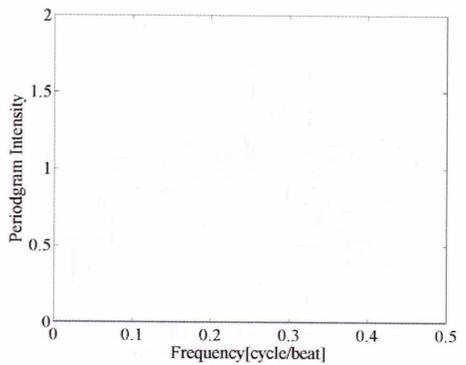
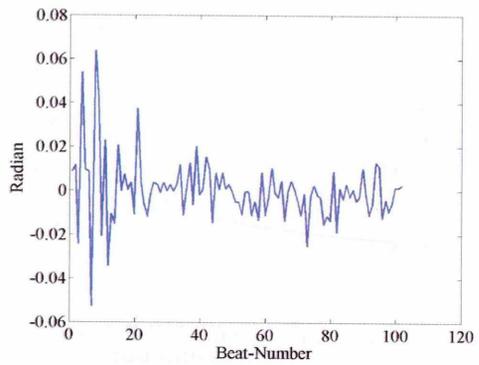


図 6.290: 左: TWA_low08 の $SA^{1/2}$

右: $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

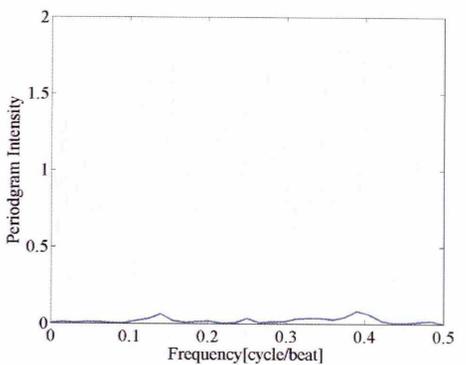
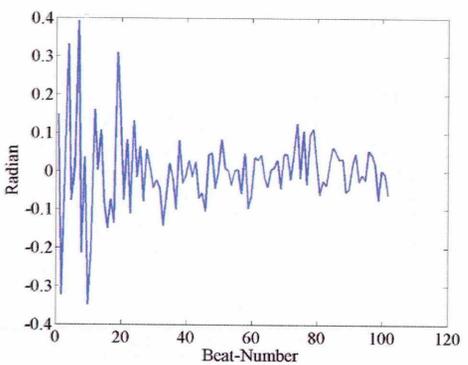


図 6.291: 左: TWA_low08 の $SA^{3/4}$

右: $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

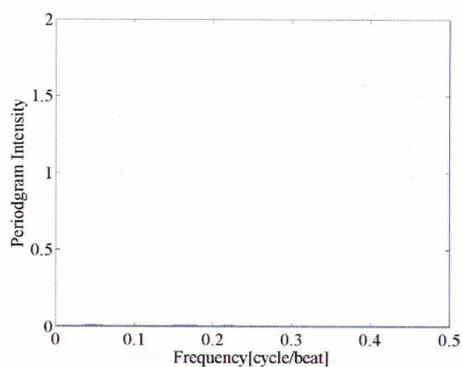
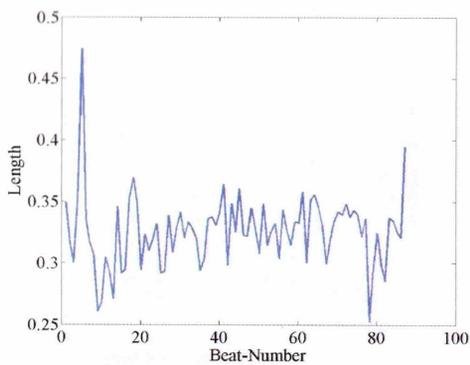


図 6.292: 左 : TWA_low09 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

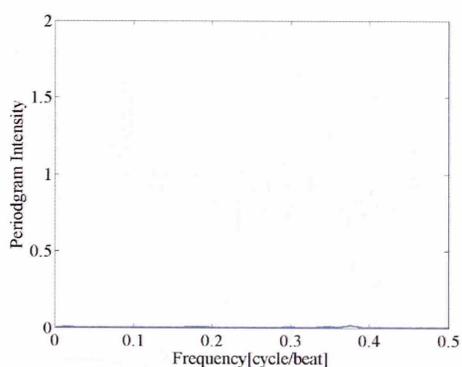
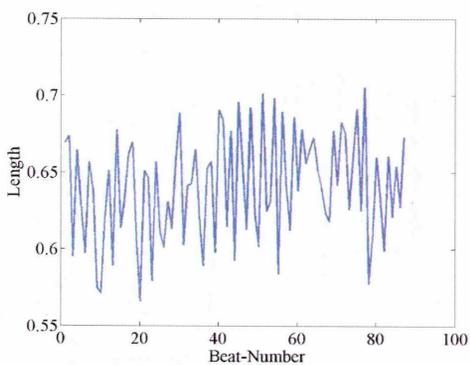


図 6.293: 左 : TWA_low09 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

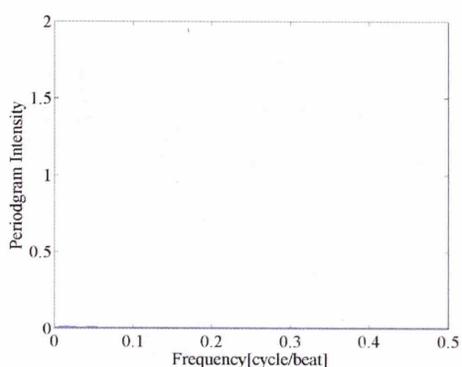
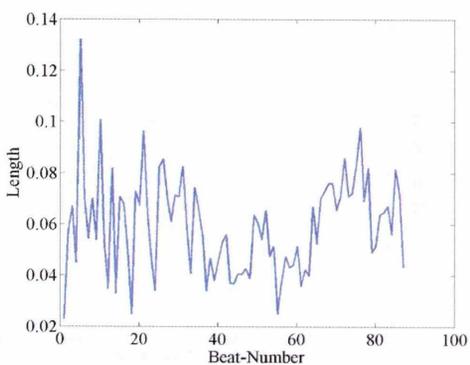


図 6.294: 左 : TWA_low09 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

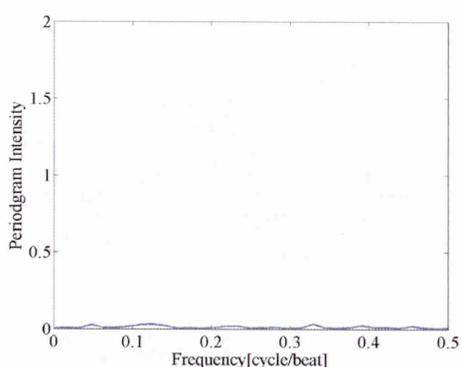
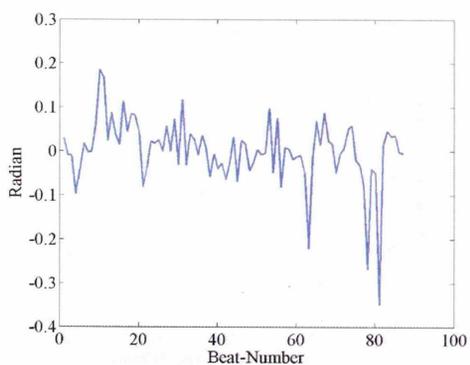


図 6.295: 左 : TWA_low09 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

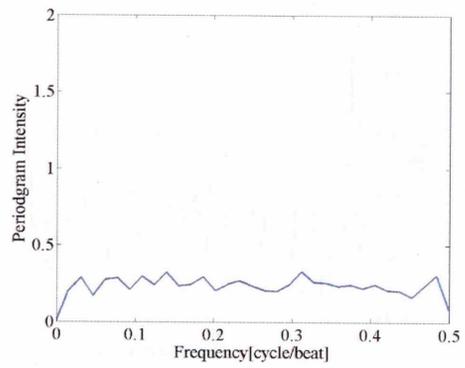
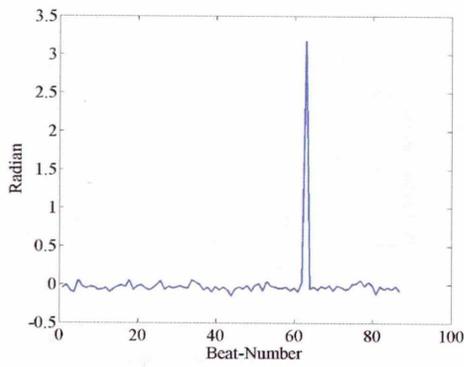


図 6.296: 左 : TWA_low09 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

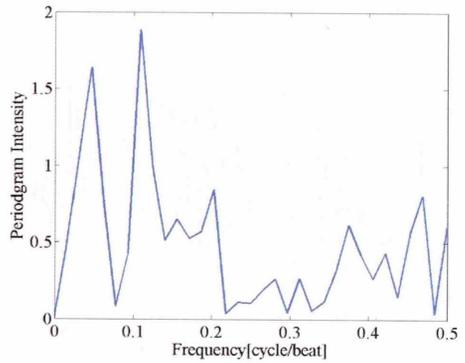
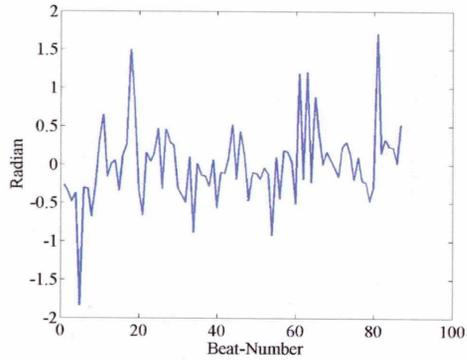


図 6.297: 左 : TWA_low09 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

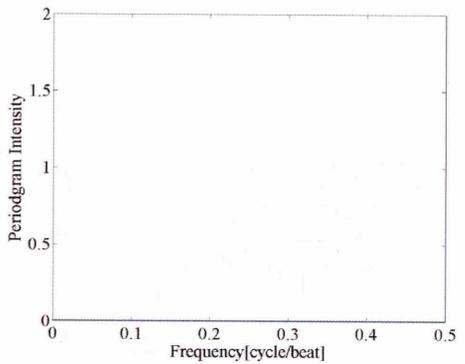
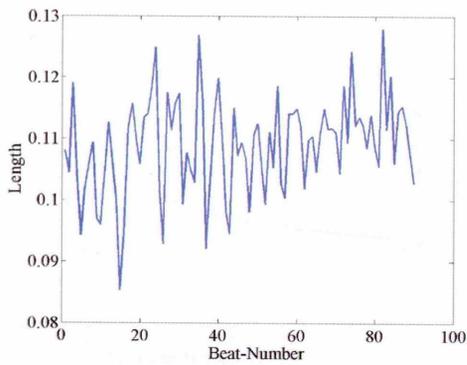


図 6.298: 左 : TWA_low10 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

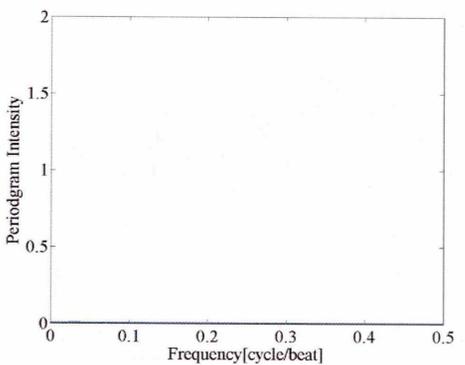
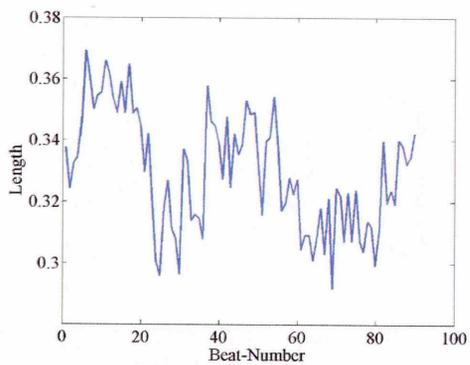


図 6.299: 左 : TWA_low10 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

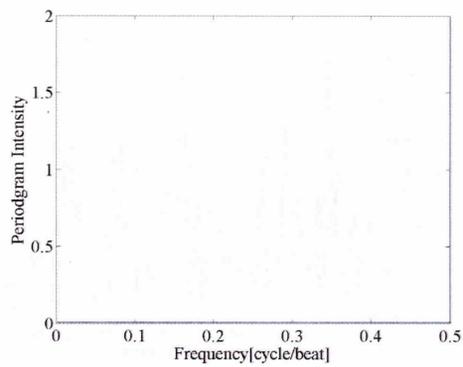
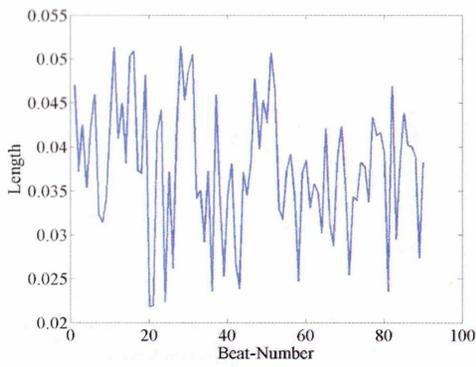


図 6.300: 左 : TWA_low10 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

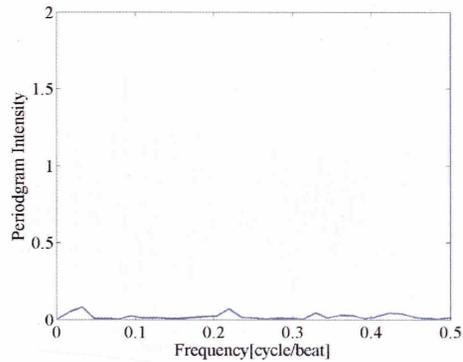
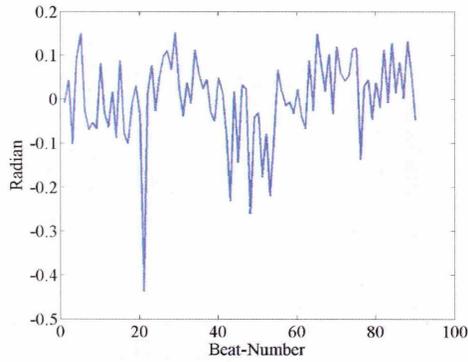


図 6.301: 左 : TWA_low10 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

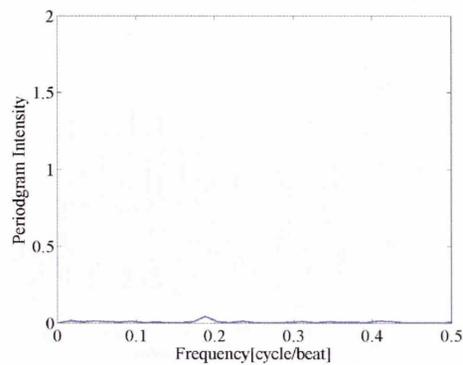
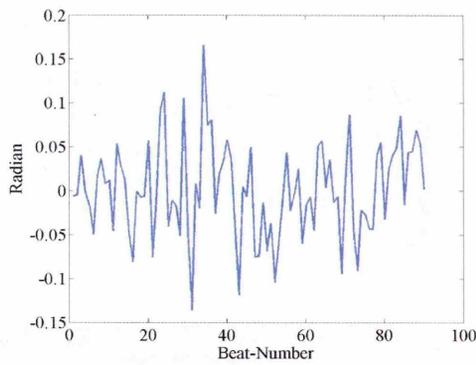


図 6.302: 左 : TWA_low10 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

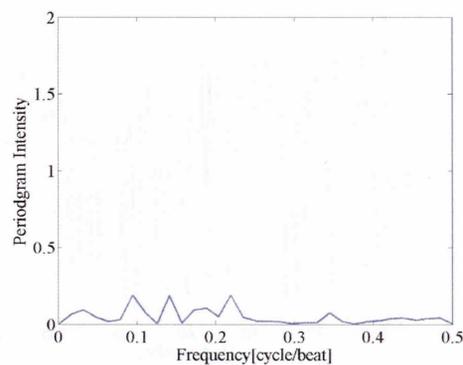
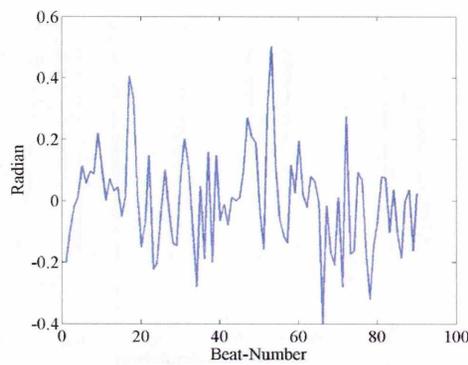


図 6.303: 左 : TWA_low10 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

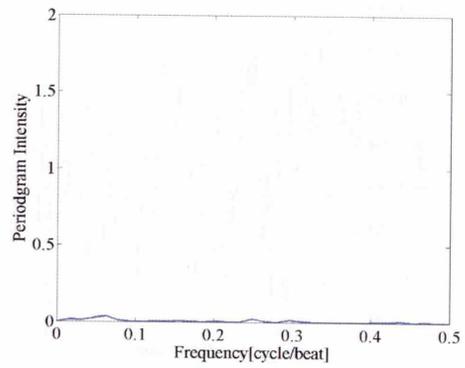
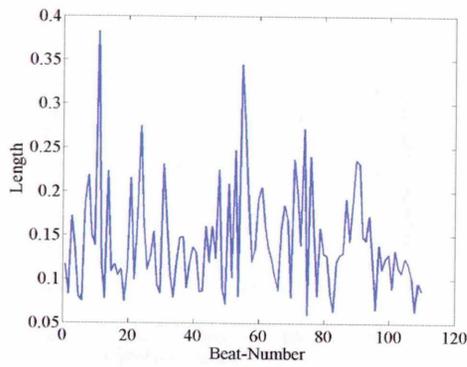


図 6.304: 左 : TWA_high01 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

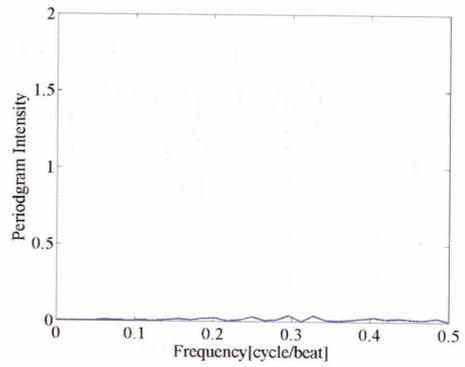
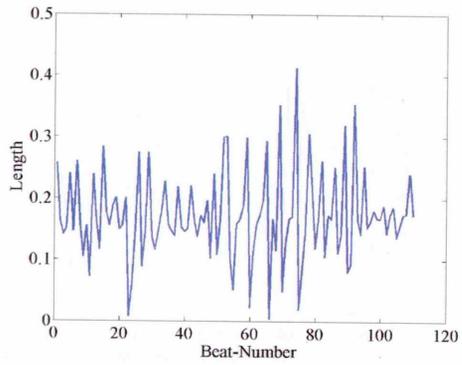


図 6.305: 左 : TWA_high01 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

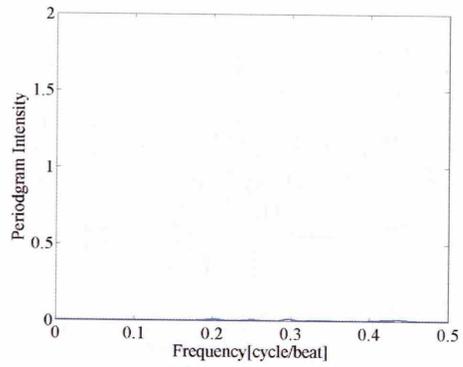
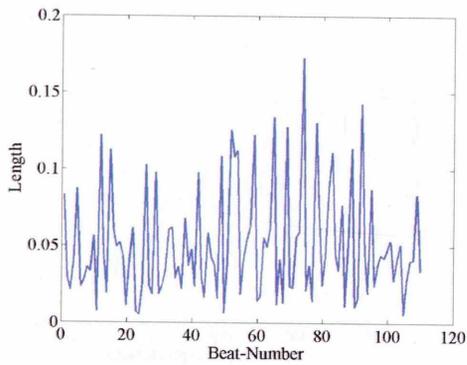


図 6.306: 左 : TWA_high01 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

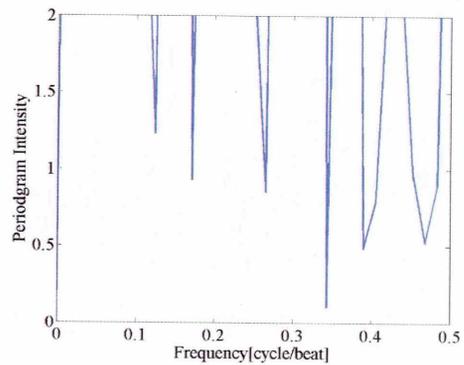
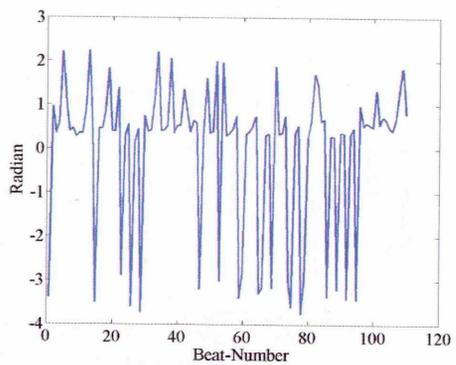


図 6.307: 左 : TWA_high01 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

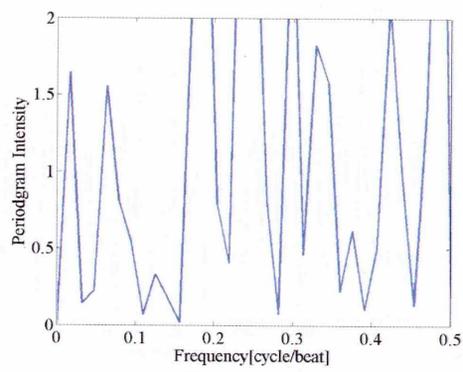
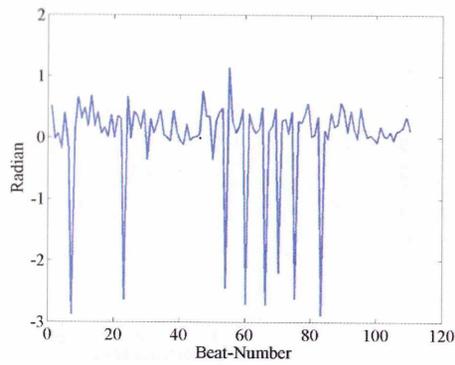


図 6.308: 左 : TWA_high01 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

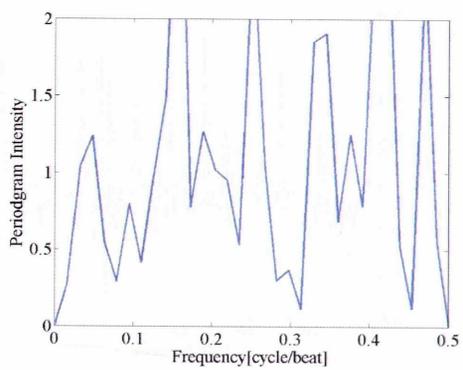
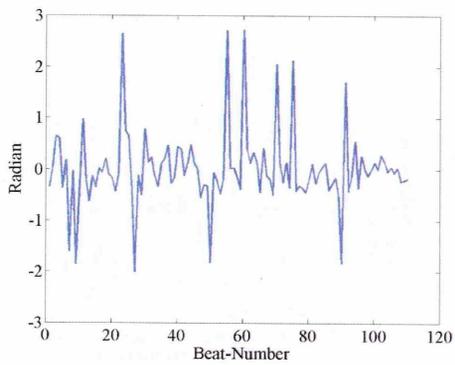


図 6.309: 左 : TWA_high01 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

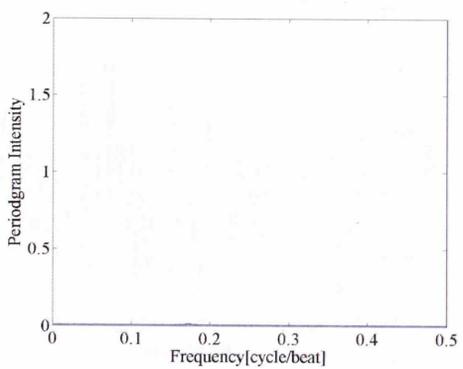
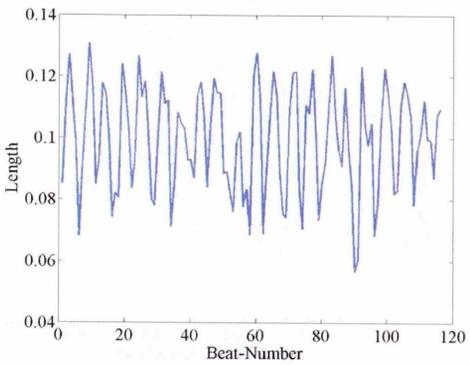


図 6.310: 左 : TWA_high02 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

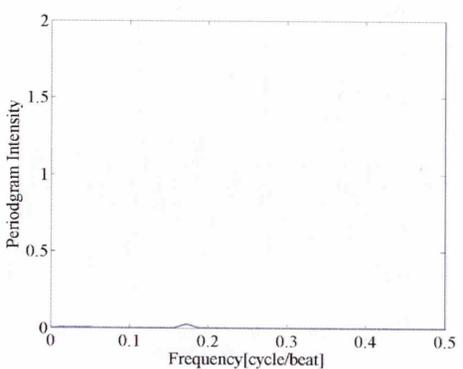
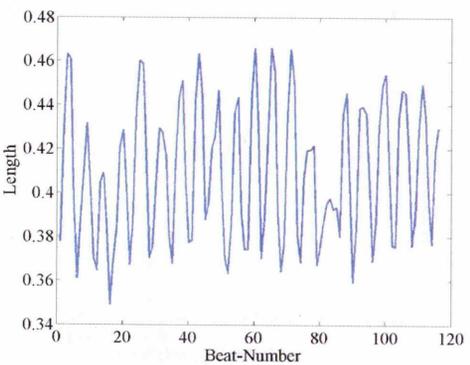


図 6.311: 左 : TWA_high02 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

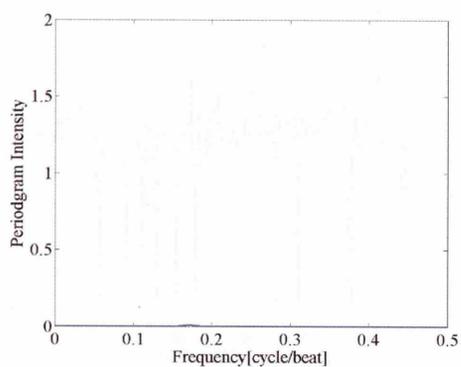
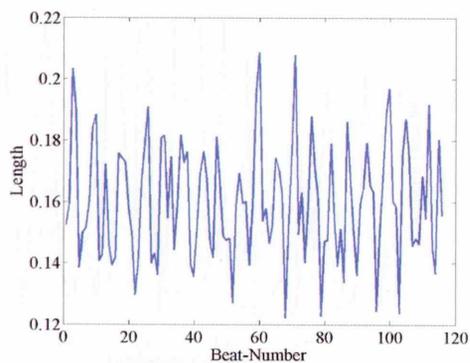


図 6.312: 左 : TWA_high02 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

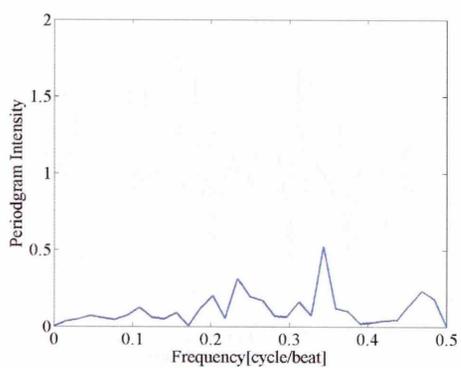
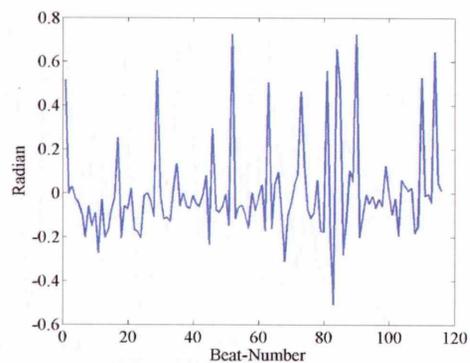


図 6.313: 左 : TWA_high02 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

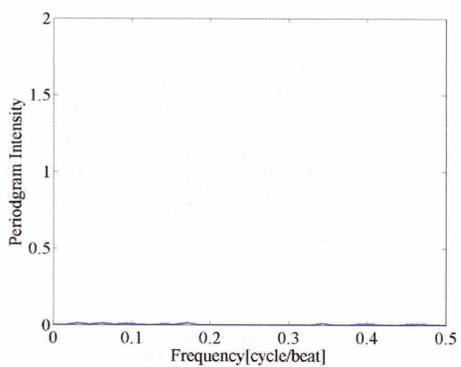
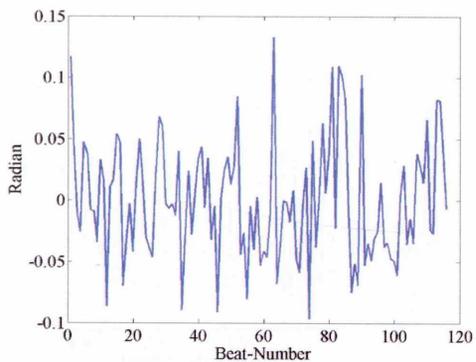


図 6.314: 左 : TWA_high02 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

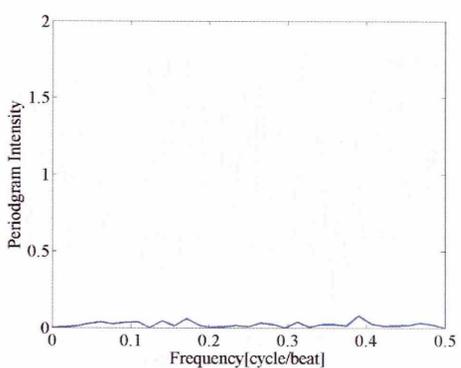
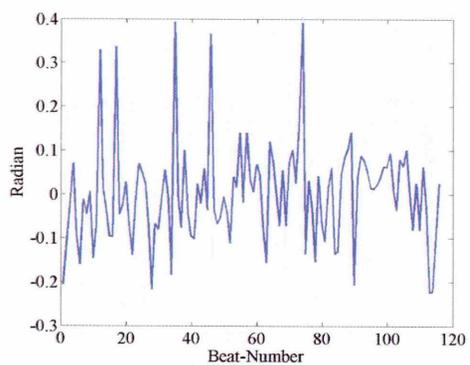


図 6.315: 左 : TWA_high02 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

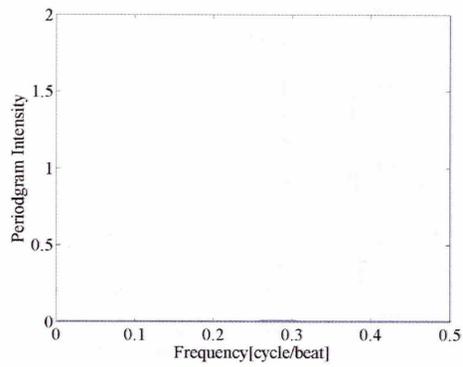
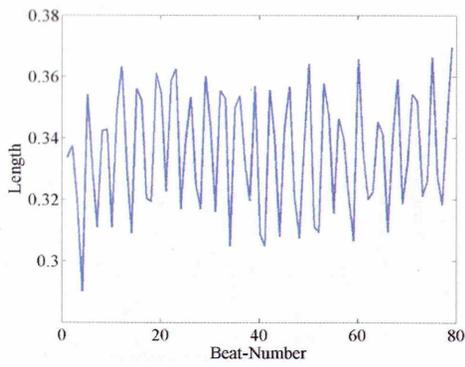


図 6.316: 左 : TWA_high03 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

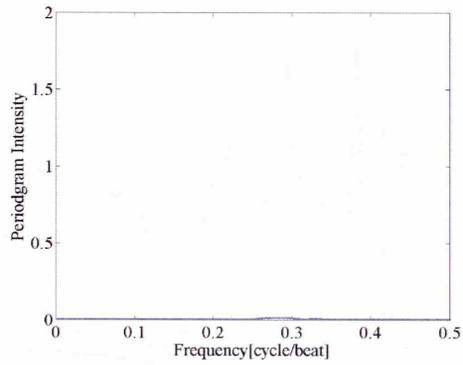
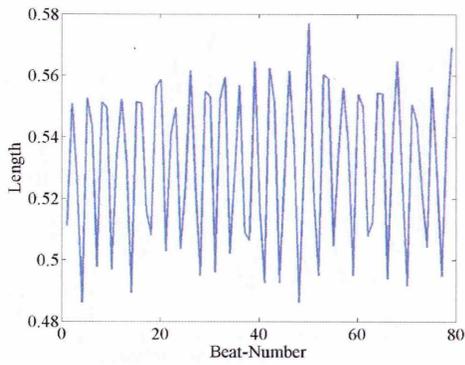


図 6.317: 左 : TWA_high03 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

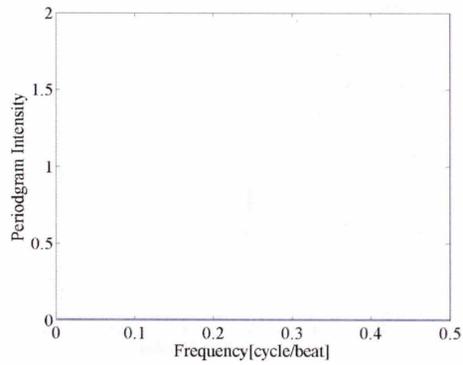
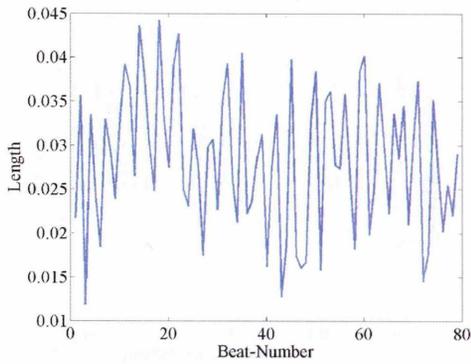


図 6.318: 左 : TWA_high03 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

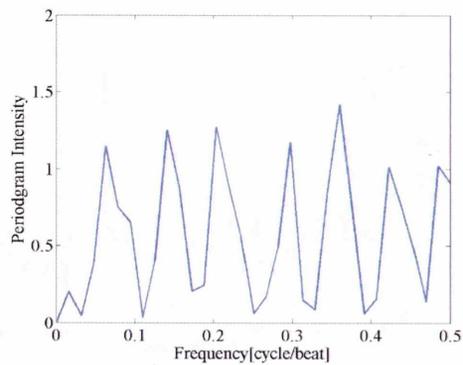
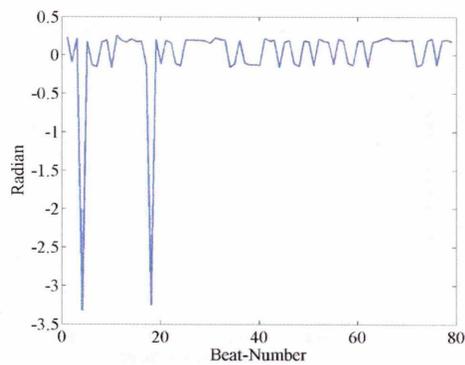


図 6.319: 左 : TWA_high03 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

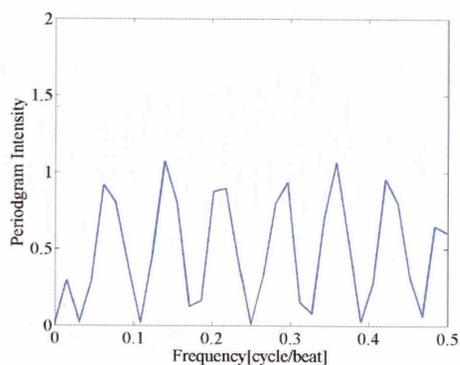
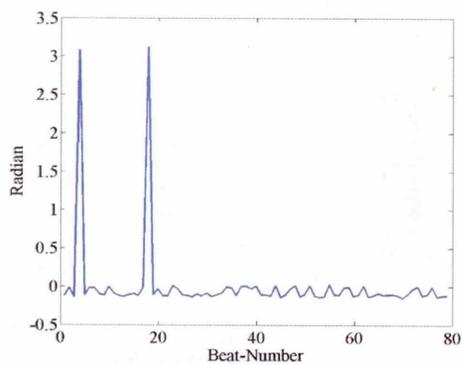


図 6.320: 左 : TWA_high03 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

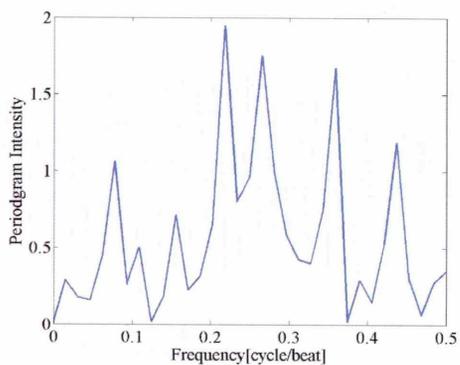
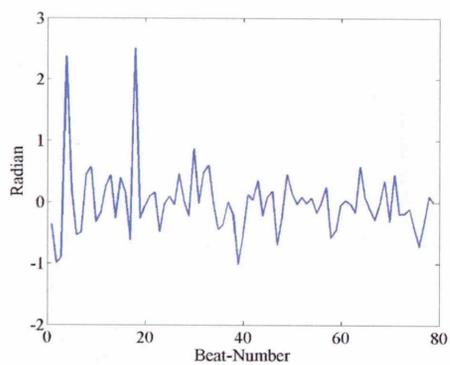


図 6.321: 左 : TWA_high03 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

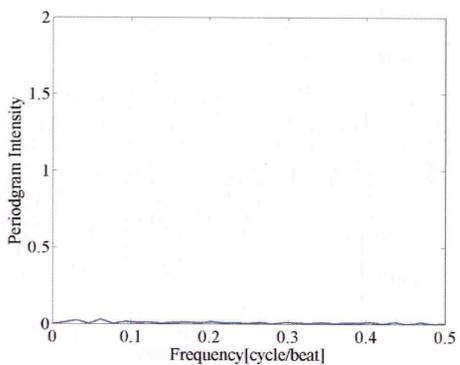
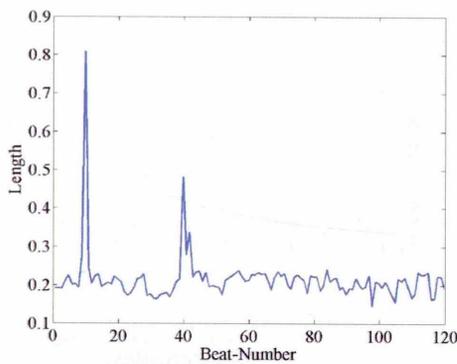


図 6.322: 左 : TWA_high04 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

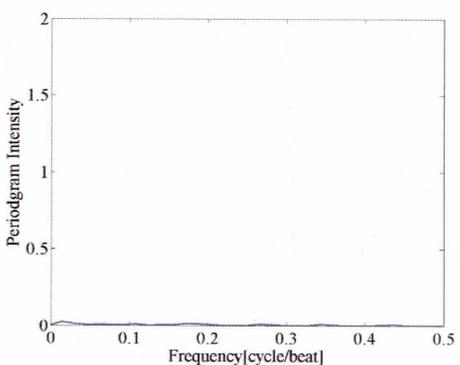
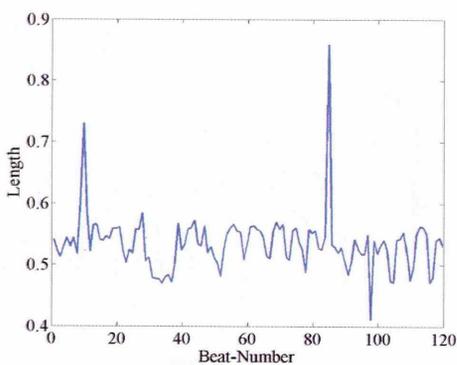


図 6.323: 左 : TWA_high04 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

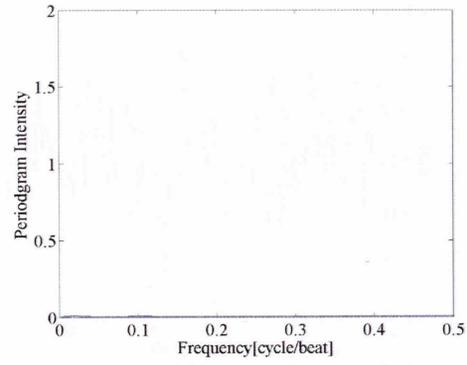
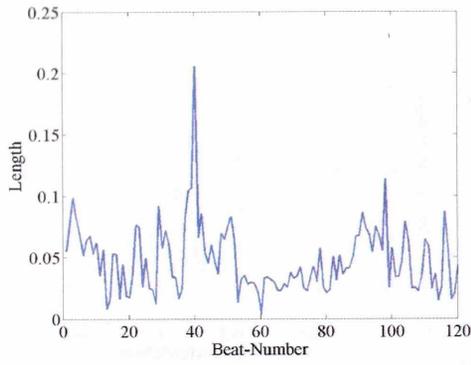


図 6.324: 左 : TWA_high04 の $SL^{3/4}$ 右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

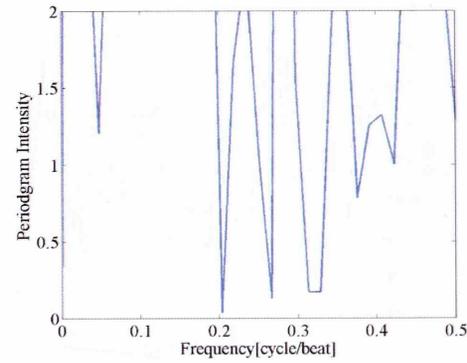
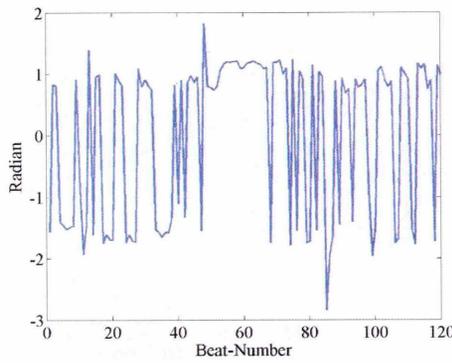


図 6.325: 左 : TWA_high04 の $SA^{1/4}$ 右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

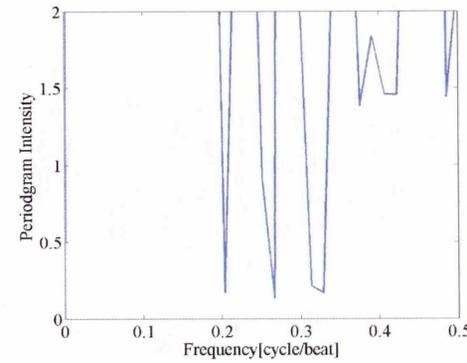
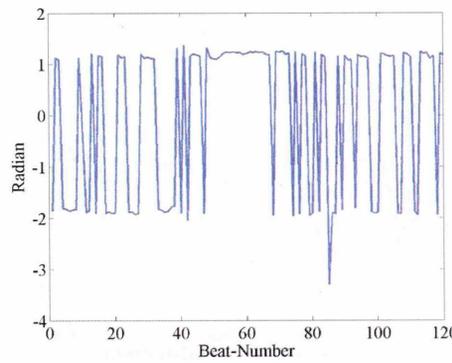


図 6.326: 左 : TWA_high04 の $SA^{1/2}$ 右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

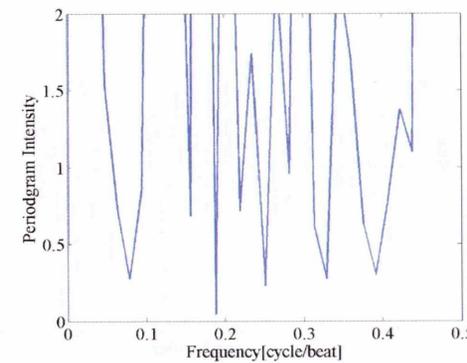
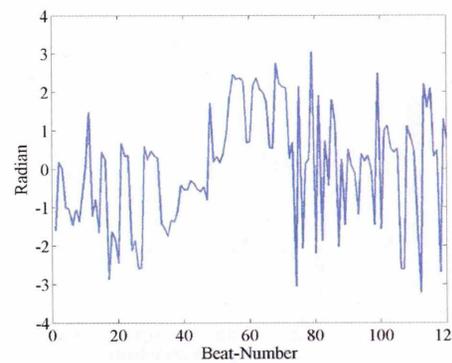


図 6.327: 左 : TWA_high04 の $SA^{3/4}$ 右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

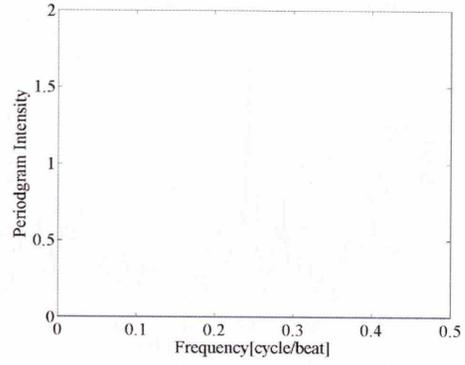
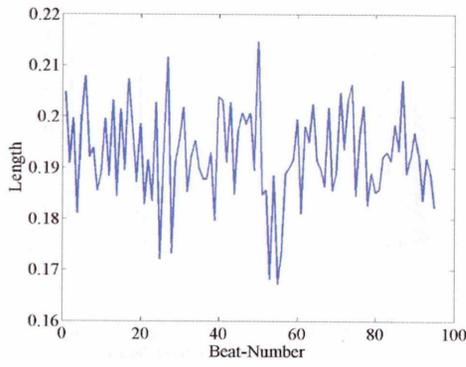


図 6.328: 左: TWA_high05 の $SL^{1/4}$

右: $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

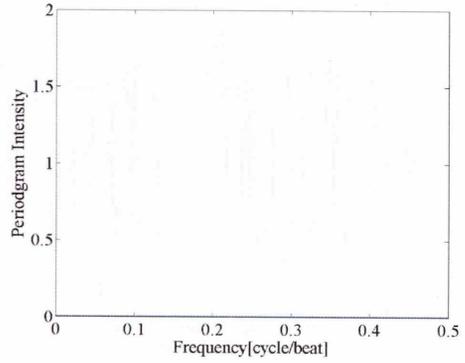
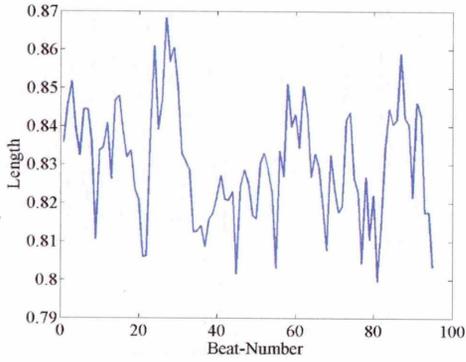


図 6.329: 左: TWA_high05 の $SL^{1/2}$

右: $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

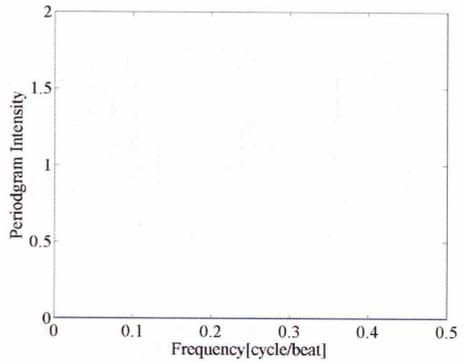
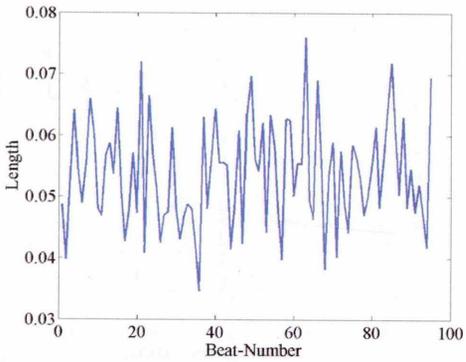


図 6.330: 左: TWA_high05 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

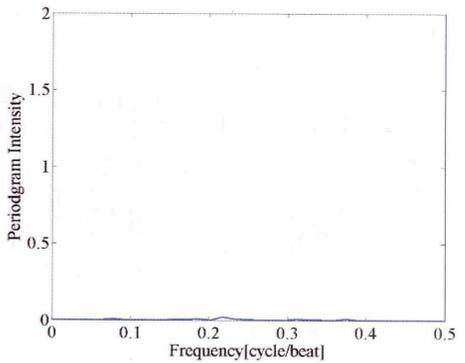
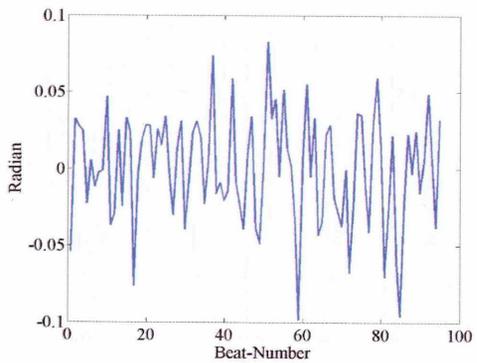


図 6.331: 左: TWA_high05 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

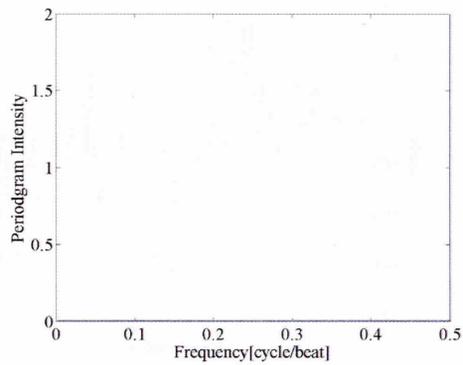
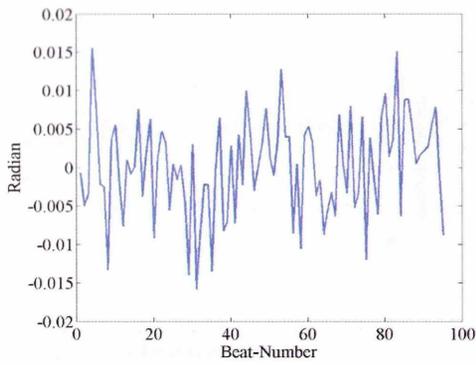


図 6.332: 左 : TWA_high05 の $SA^{1/2}$ 右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

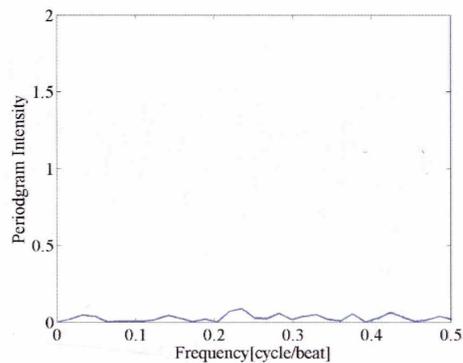
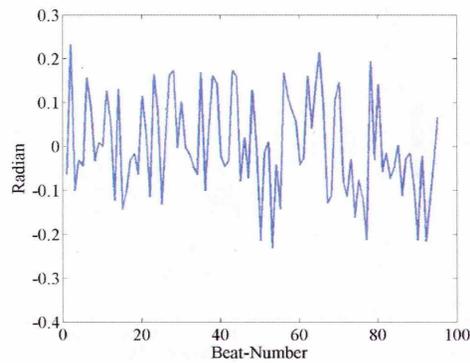


図 6.333: 左 : TWA_high05 の $SA^{3/4}$ 右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

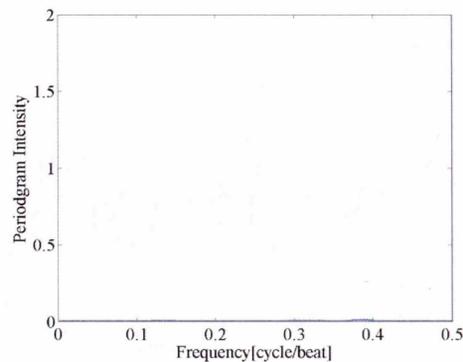
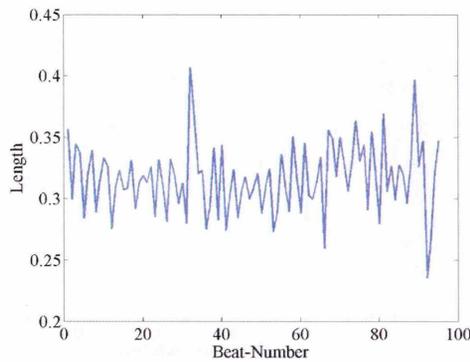


図 6.334: 左 : TWA_high06 の $SL^{1/4}$ 右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

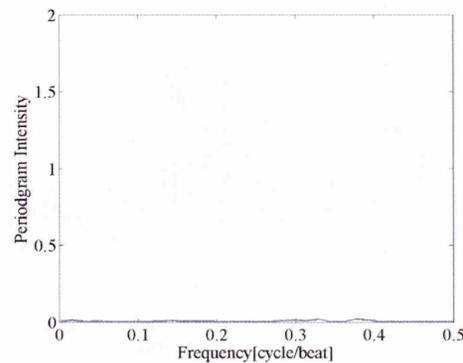
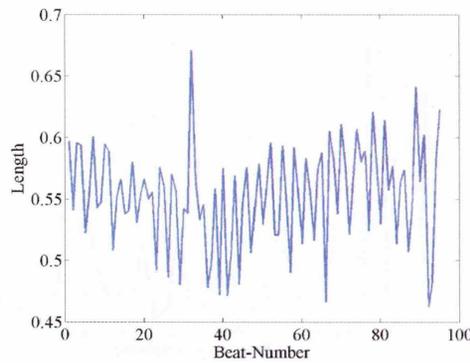


図 6.335: 左 : TWA_high06 の $SL^{1/2}$ 右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

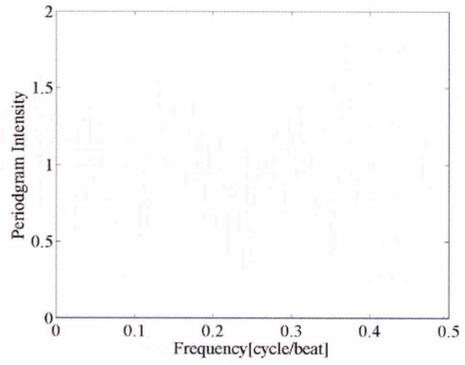
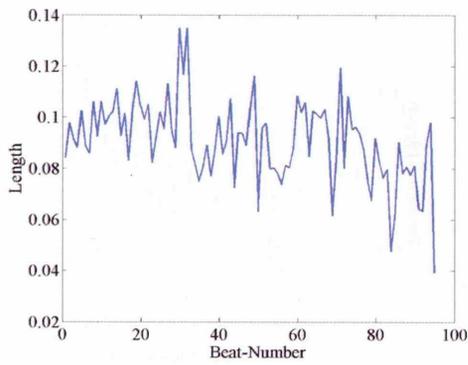


図 6.336: 左: TWA_high06 の $SL^{3/4}$

右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

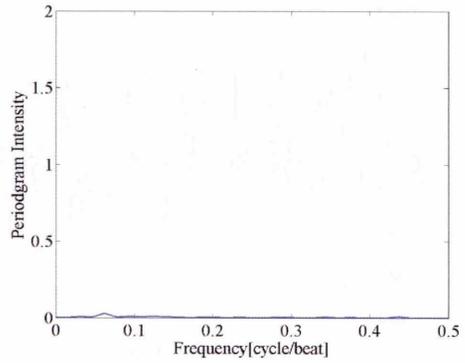
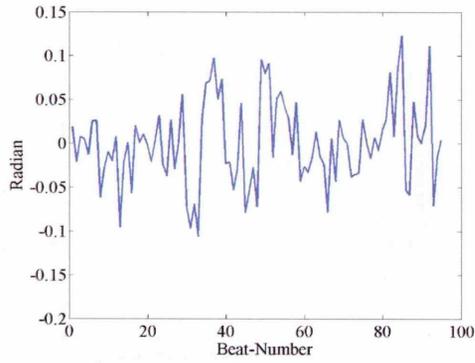


図 6.337: 左: TWA_high06 の $SA^{1/4}$

右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

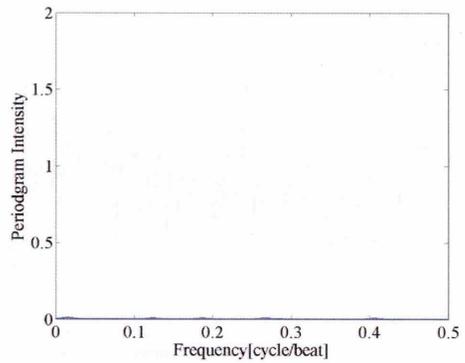
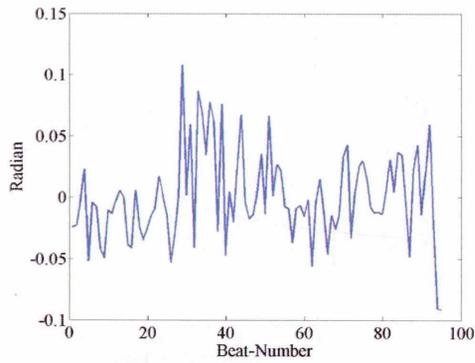


図 6.338: 左: TWA_high06 の $SA^{1/2}$

右: $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

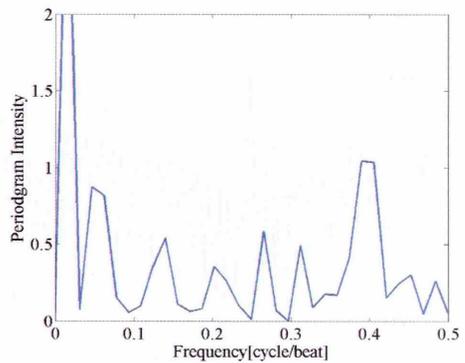
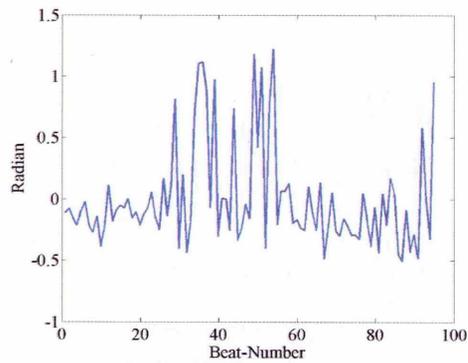


図 6.339: 左: TWA_high06 の $SA^{3/4}$

右: $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

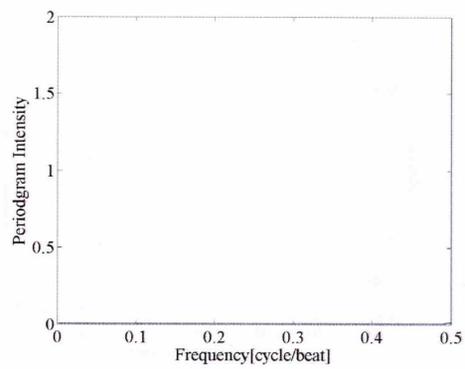
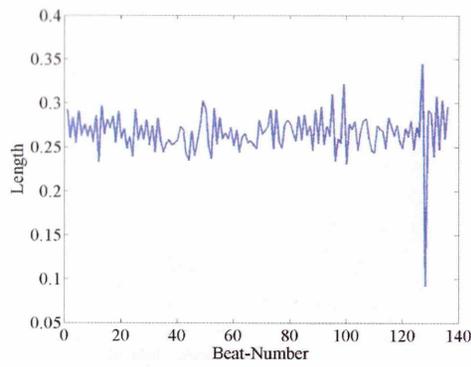


図 6.340: 左 : TWA_high07 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

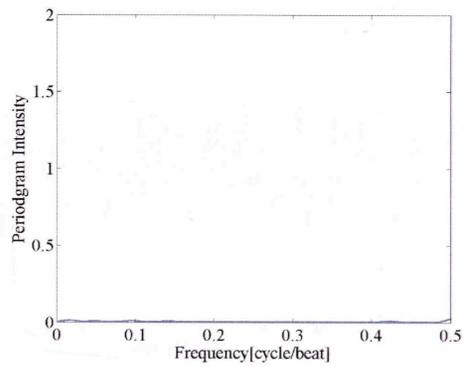
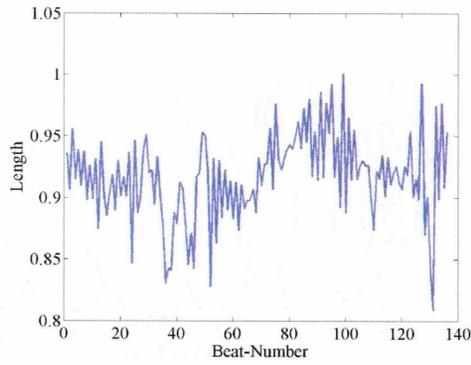


図 6.341: 左 : TWA_high07 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

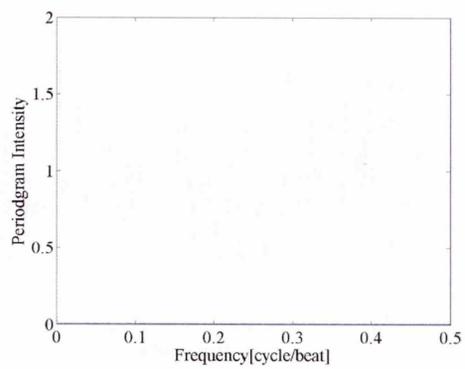
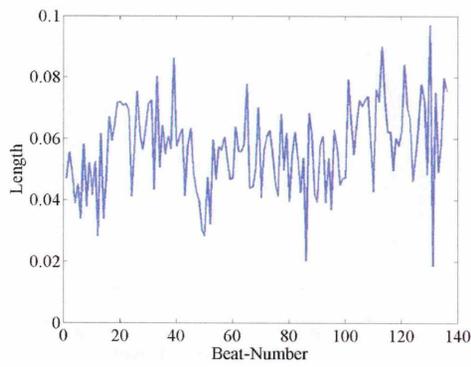


図 6.342: 左 : TWA_high07 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

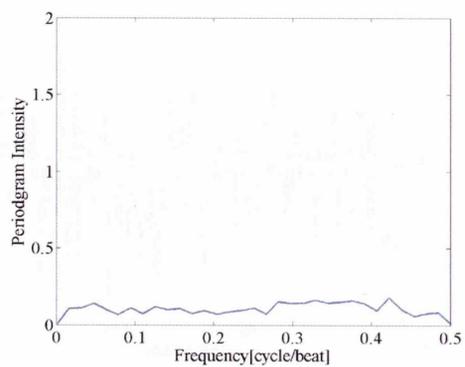
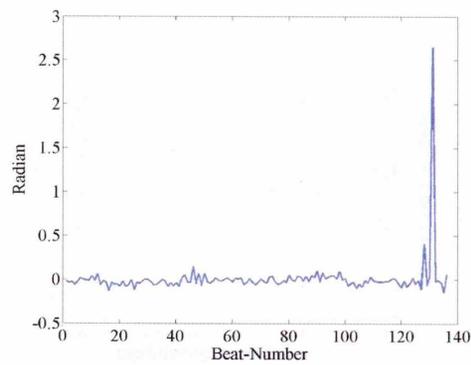


図 6.343: 左 : TWA_high07 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

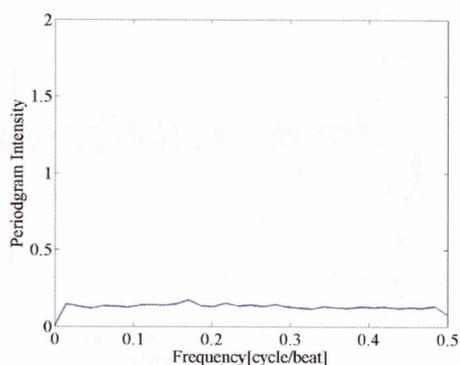
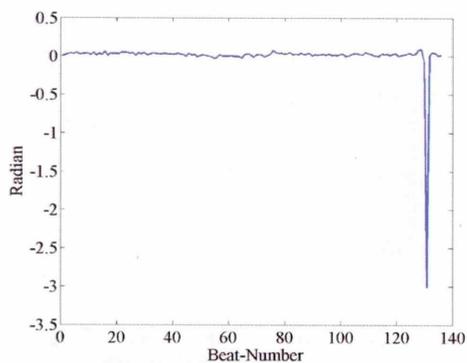


図 6.344: 左 : TWA_high07 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

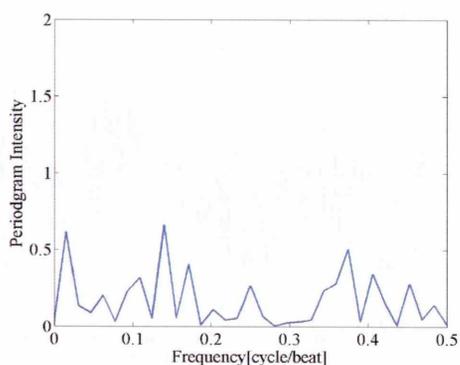
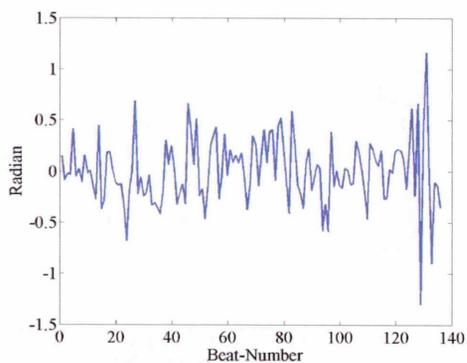


図 6.345: 左 : TWA_high07 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

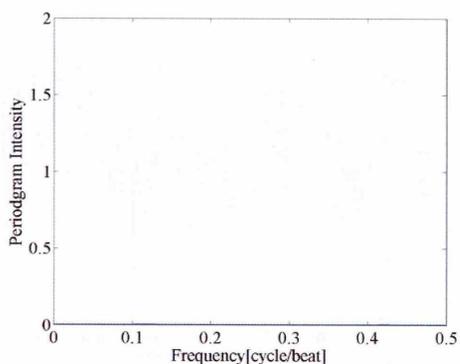
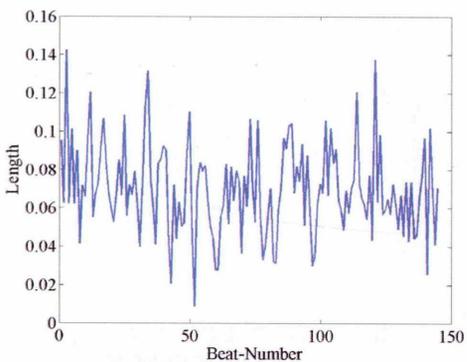


図 6.346: 左 : TWA_high08 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

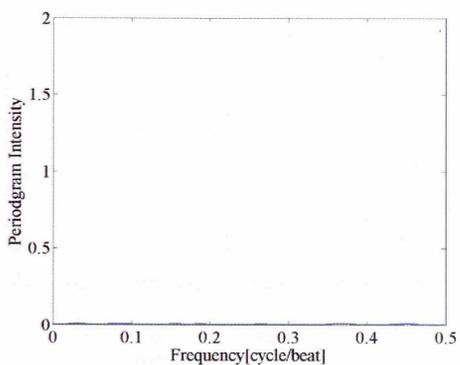
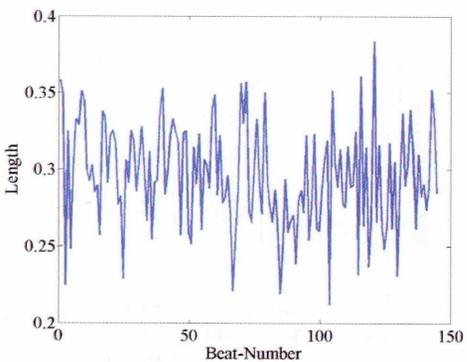


図 6.347: 左 : TWA_high08 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

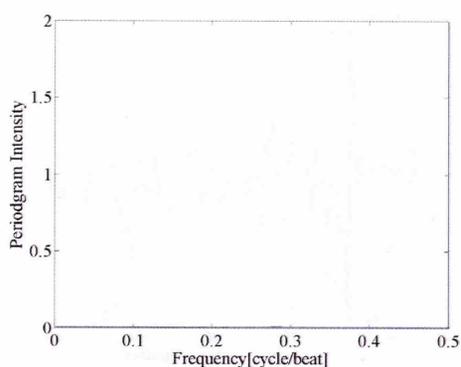
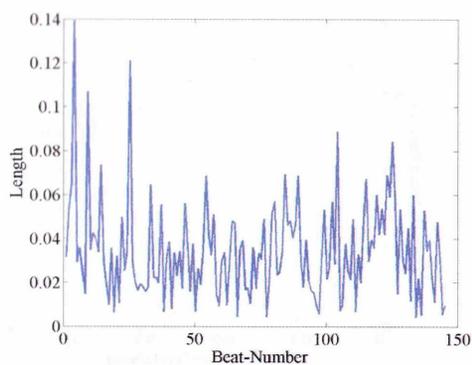


図 6.348: 左 : TWA_high08 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

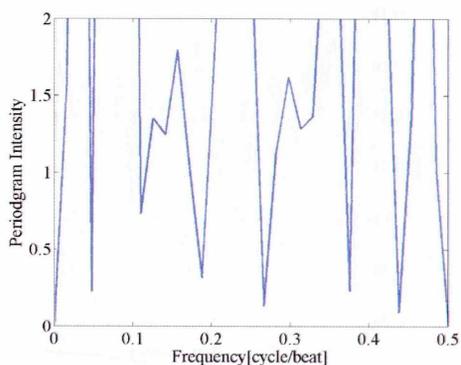
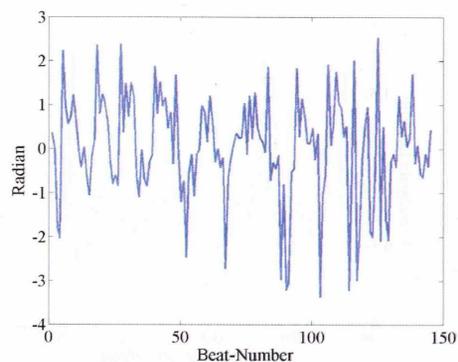


図 6.349: 左 : TWA_high08 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

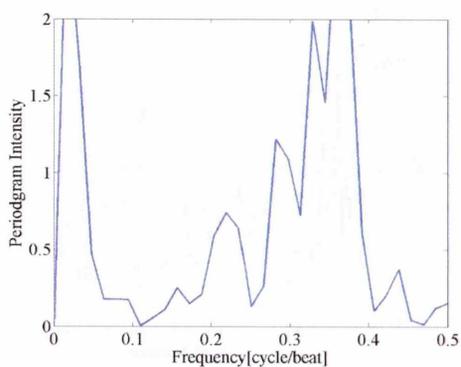
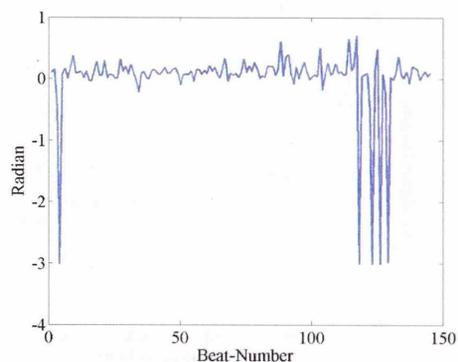


図 6.350: 左 : TWA_high08 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

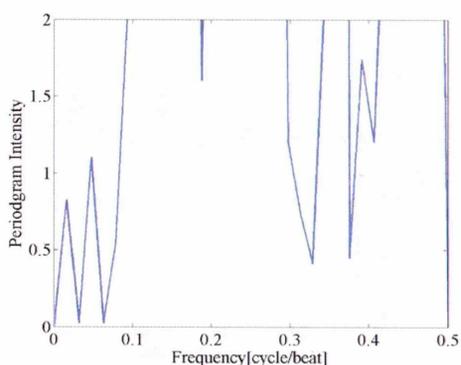
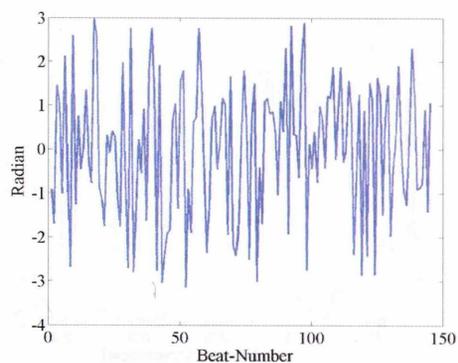


図 6.351: 左 : TWA_high08 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

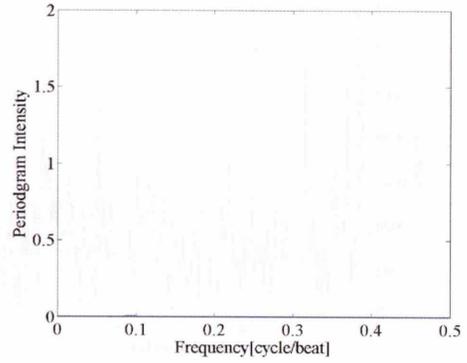
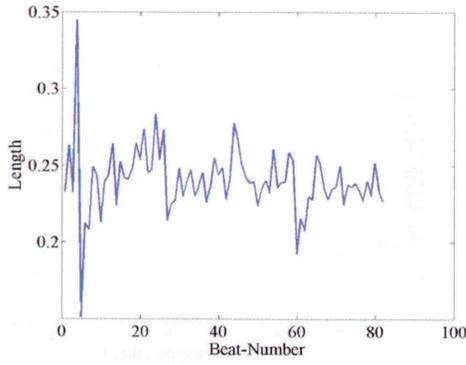


図 6.352: 左 : TWA_high09 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

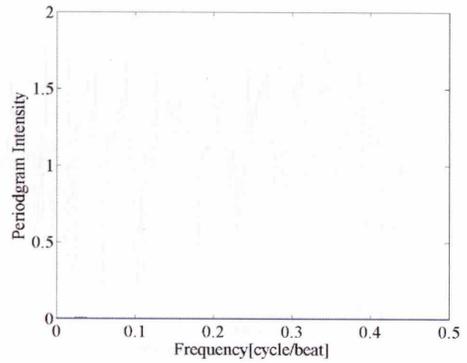
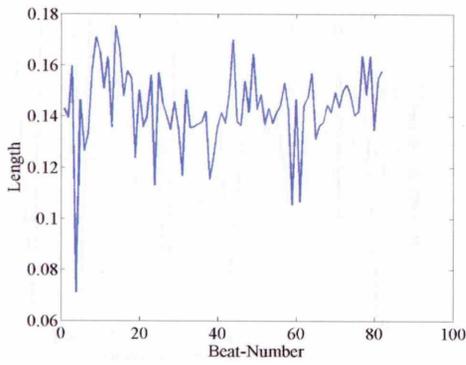


図 6.353: 左 : TWA_high09 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

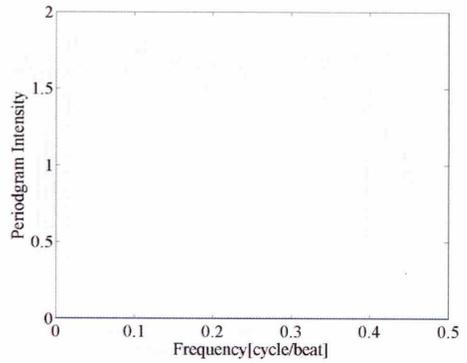
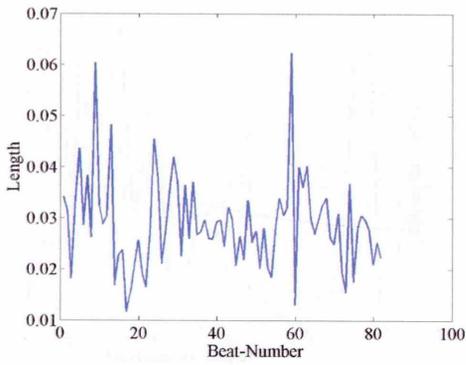


図 6.354: 左 : TWA_high09 の $SL^{3/4}$

右 : $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

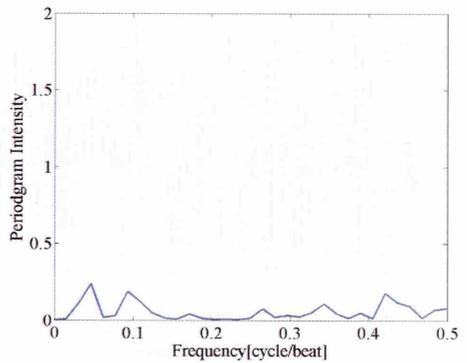
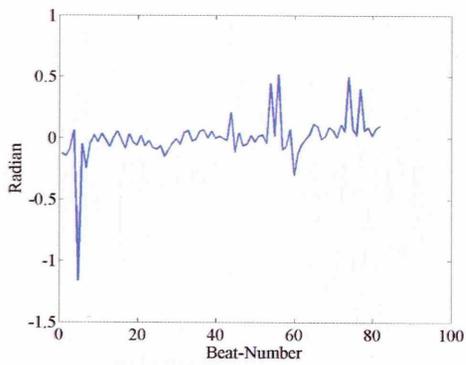


図 6.355: 左 : TWA_high09 の $SA^{1/4}$

右 : $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

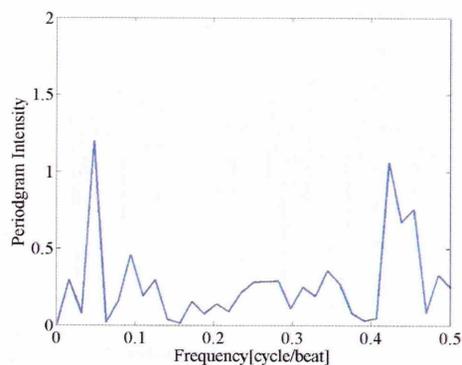
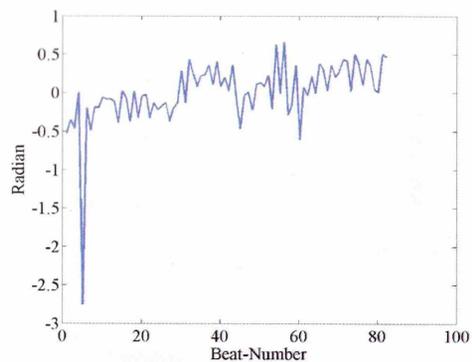


図 6.356: 左 : TWA_high09 の $SA^{1/2}$

右 : $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

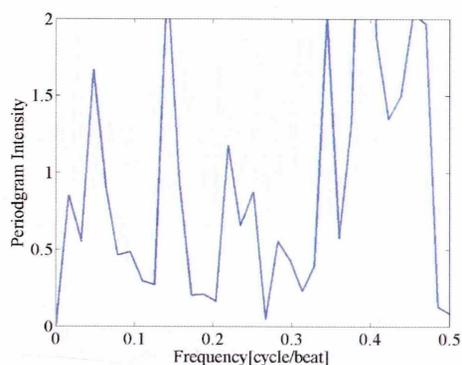
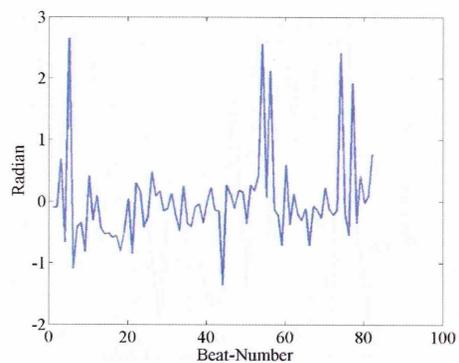


図 6.357: 左 : TWA_high09 の $SA^{3/4}$

右 : $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

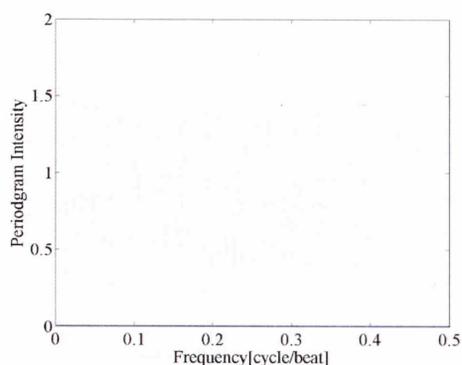
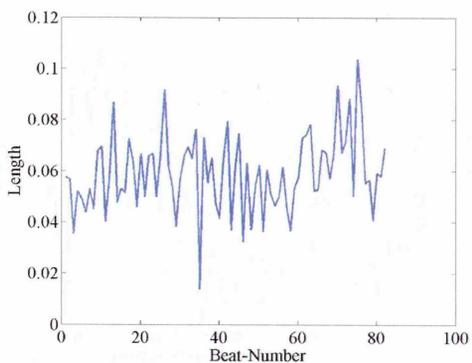


図 6.358: 左 : TWA_high10 の $SL^{1/4}$

右 : $SL^{1/4}$ のペリオドグラム

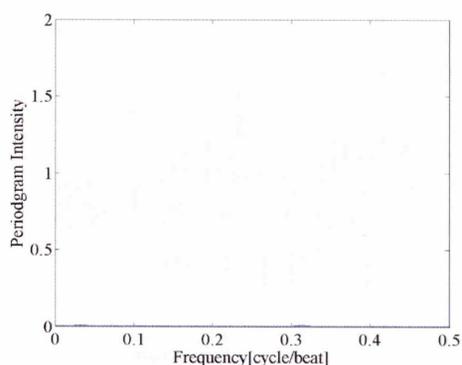
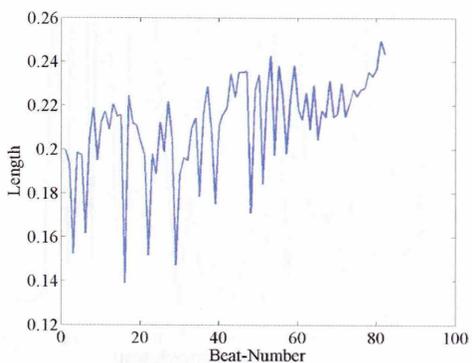


図 6.359: 左 : TWA_high10 の $SL^{1/2}$

右 : $SL^{1/2}$ のペリオドグラム

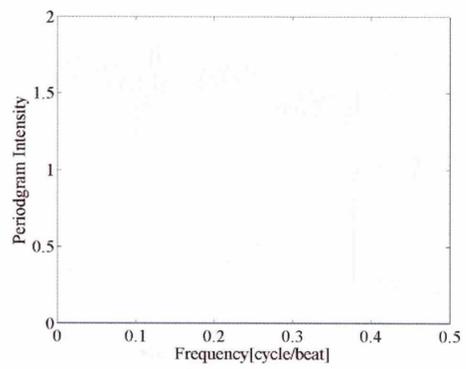
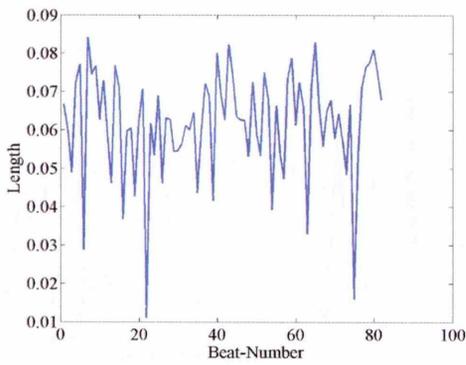


図 6.360: 左: TWA_high10 の $SL^{3/4}$ 右: $SL^{3/4}$ のペリオドグラム

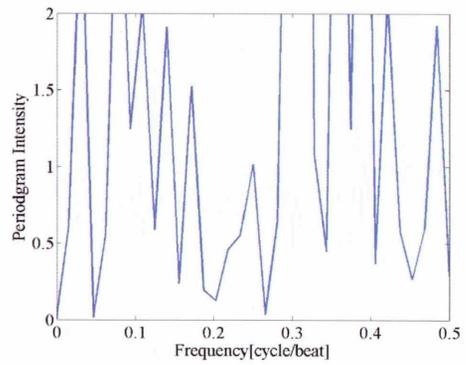
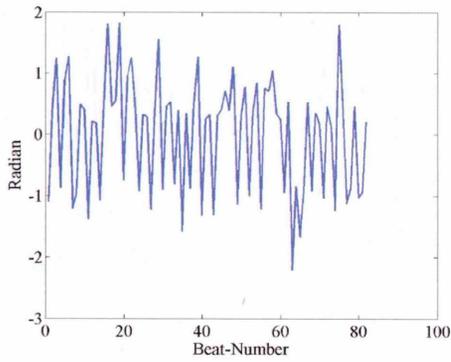


図 6.361: 左: TWA_high10 の $SA^{1/4}$ 右: $SA^{1/4}$ のペリオドグラム

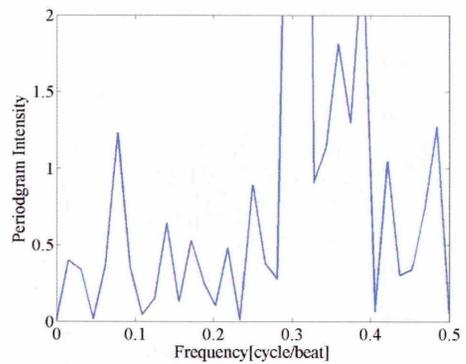
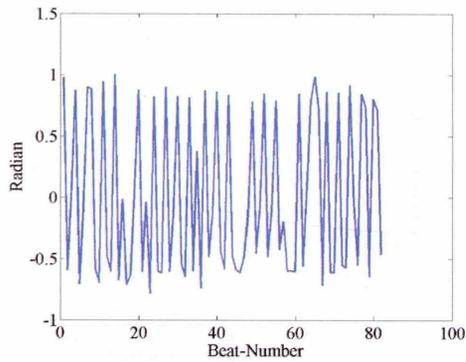


図 6.362: 左: TWA_high10 の $SA^{1/2}$ 右: $SA^{1/2}$ のペリオドグラム

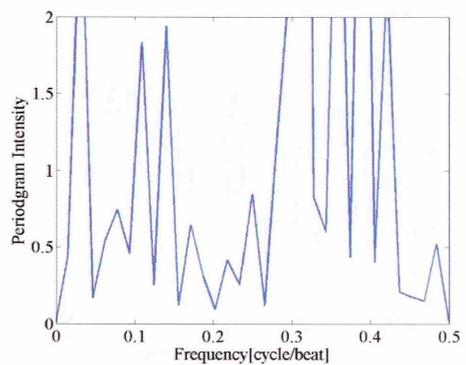
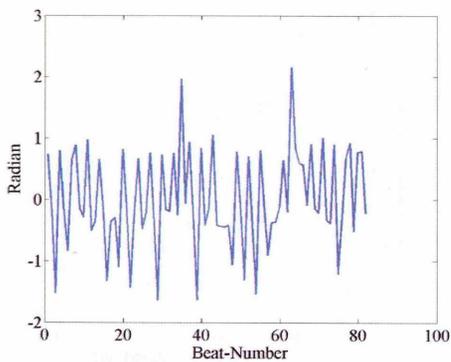


図 6.363: 左: TWA_high10 の $SA^{3/4}$ 右: $SA^{3/4}$ のペリオドグラム

以下に、各例の $PSL^{\beta_{max}}$, $PSA^{\beta_{max}}$ の値, ならびに各群の $PSL^{\beta_{max}}$, $PSA^{\beta_{max}}$ の平均値 ± 標準偏差, NML 群と TWA 群の有意差検定結果を示す.

	$PSL^{1/4max}$	$PSL^{1/2max}$	$PSL^{3/4max}$
NML01	1.753×10^{-3}	8.615×10^{-4}	3.676×10^{-3}
NML02	4.243×10^{-3}	1.587×10^{-3}	1.078×10^{-2}
NML03	3.075×10^{-3}	1.785×10^{-3}	3.094×10^{-3}
NML04	4.274×10^{-4}	8.392×10^{-4}	3.230×10^{-3}
NML05	3.172×10^{-3}	1.910×10^{-3}	2.729×10^{-3}
NML06	1.577×10^{-3}	2.400×10^{-3}	3.219×10^{-3}
NML07	5.700×10^{-3}	3.206×10^{-3}	6.121×10^{-3}
NML08	3.559×10^{-3}	2.349×10^{-3}	4.623×10^{-3}
NML09	5.118×10^{-3}	5.673×10^{-3}	8.001×10^{-3}
NML10	1.374×10^{-2}	9.288×10^{-3}	3.975×10^{-3}

表 6.11: NML 群の $PSL^{\beta_{max}}$ 値

	$PSA^{1/4max}$	$PSA^{1/2max}$	$PSA^{3/4max}$
NML01	3.081×10^{-2}	1.482×10^{-2}	5.114×10^{-2}
NML02	3.816×10^{-3}	8.310×10^{-4}	1.018×10^{-2}
NML03	1.227×10^{-3}	1.421×10^{-3}	2.296×10^{-3}
NML04	4.327×10^{-3}	3.482×10^{-4}	3.258×10^{-3}
NML05	5.322×10^{-3}	7.077×10^{-4}	1.008×10^{-2}
NML06	6.048×10^{-4}	5.965×10^{-4}	4.668×10^{-3}
NML07	1.678×10^{-2}	4.418×10^{-3}	1.631×10^{-1}
NML08	4.139×10^{-2}	2.794×10^{-2}	1.391×10^{-1}
NML09	7.391×10^{-3}	1.923×10^{-2}	4.407×10^{-2}
NML10	3.499×10^{-2}	2.518×10^{-3}	4.932×10^{-1}

表 6.12: NML 群の $PSA^{\beta_{max}}$ 値

	$PSL^{1/4max}$	$PSL^{1/2max}$	$PSL^{3/4max}$
TWA_low01	1.819×10^{-03}	3.952×10^{-03}	2.560×10^{-03}
TWA_low02	2.034×10^{-03}	3.276×10^{-03}	9.068×10^{-04}
TWA_low03	3.984×10^{-03}	5.768×10^{-03}	3.348×10^{-03}
TWA_low04	8.383×10^{-04}	1.342×10^{-04}	2.028×10^{-04}
TWA_low05	7.398×10^{-04}	4.515×10^{-04}	2.471×10^{-04}
TWA_low06	3.043×10^{-03}	1.245×10^{-02}	1.483×10^{-03}
TWA_low07	8.797×10^{-04}	9.986×10^{-04}	1.692×10^{-04}
TWA_low08	1.749×10^{-03}	7.935×10^{-04}	1.282×10^{-03}
TWA_low09	2.034×10^{-03}	1.689×10^{-03}	8.241×10^{-04}
TWA_low10	1.448×10^{-04}	3.963×10^{-04}	2.074×10^{-04}

表 6.13: TWA_low 群の $PSL^{\beta max}$ 値

	$PSA^{1/4max}$	$PSA^{1/2max}$	$PSA^{3/4max}$
TWA_low01	2.164×10^{-2}	3.989×10^{-2}	1.649×10^0
TWA_low02	3.292×10^{-3}	1.147×10^{-3}	2.210×10^{-2}
TWA_low03	1.430×10^{-3}	2.174×10^{-3}	1.518×10^{-2}
TWA_low04	4.259×10^{-3}	1.752×10^{-3}	3.237×10^{-1}
TWA_low05	4.537×10^{-1}	7.690×10^{-3}	3.596×10^0
TWA_low06	8.515×10^{-2}	2.623×10^{-3}	2.100×10^{-1}
TWA_low07	4.137×10^{-3}	1.709×10^{-4}	3.005×10^{-1}
TWA_low08	7.216×10^{-3}	1.553×10^{-3}	6.299×10^{-2}
TWA_low09	1.728×10^{-2}	3.058×10^{-1}	8.066×10^{-1}
TWA_low10	4.064×10^{-2}	1.331×10^{-2}	4.146×10^{-2}

表 6.14: TWA_low 群の $PSA^{\beta max}$ 値

	$PSL^{1/4max}$	$PSL^{1/2max}$	$PSL^{3/4max}$
TWA_high01	9.036×10^{-3}	2.669×10^{-2}	9.692×10^{-3}
TWA_high02	5.741×10^{-4}	4.978×10^{-4}	1.064×10^{-3}
TWA_high03	4.077×10^{-4}	6.454×10^{-4}	2.205×10^{-4}
TWA_high04	1.330×10^{-2}	6.907×10^{-3}	2.119×10^{-3}
TWA_high05	3.747×10^{-4}	4.827×10^{-4}	2.319×10^{-4}
TWA_high06	1.514×10^{-3}	2.430×10^{-3}	5.342×10^{-4}
TWA_high07	1.196×10^{-2}	2.215×10^{-2}	9.647×10^{-4}
TWA_high08	3.955×10^{-3}	8.432×10^{-3}	1.727×10^{-3}
TWA_high09	2.424×10^{-3}	1.396×10^{-3}	2.804×10^{-4}
TWA_high10	9.376×10^{-4}	2.059×10^{-3}	5.390×10^{-4}

表 6.15: TWA_high 群の $PSL^{\beta max}$ 値

	$PSA^{1/4max}$	$PSA^{1/2max}$	$PSA^{3/4max}$
TWA_high01	1.779×10^{-1}	1.316×10^{-1}	3.428×10^{-1}
TWA_high02	6.572×10^0	4.465×10^0	2.655×10^0
TWA_high03	2.320×10^{-1}	7.325×10^{-3}	3.263×10^{-2}
TWA_high04	1.021×10^0	9.571×10^{-1}	1.189×10^0
TWA_high05	6.053×10^0	1.016×10^1	1.033×10^1
TWA_high06	1.130×10^{-3}	1.451×10^{-4}	6.075×10^{-2}
TWA_high07	8.638×10^{-3}	5.601×10^{-3}	1.037×10^0
TWA_high08	4.460×10^0	3.727×10^{-1}	6.569×10^0
TWA_high09	1.779×10^{-1}	1.056×10^0	2.032×10^0
TWA_high10	2.091×10^0	1.276×10^0	2.277×10^0

表 6.16: TWA_high 群の $PSA^{\beta max}$ 値

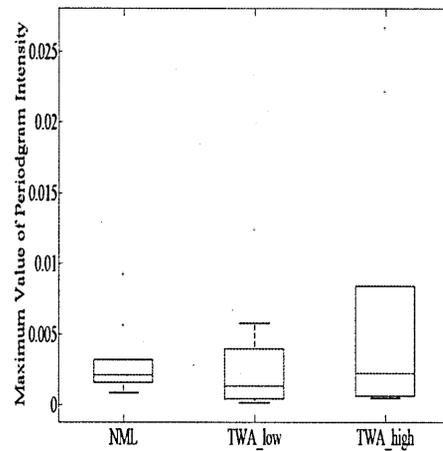
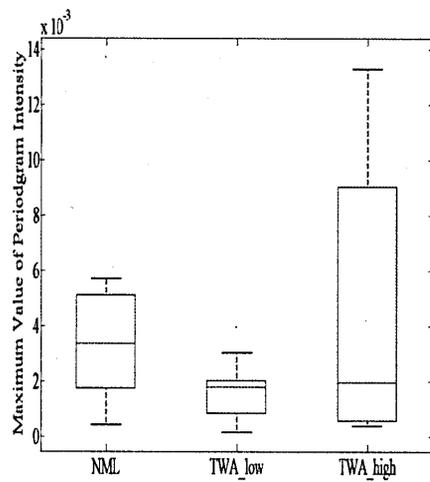


図 6.364: 左 : $PSL^{1/4max}$ の boxplot

右 : $PSL^{1/2max}$ の boxplot

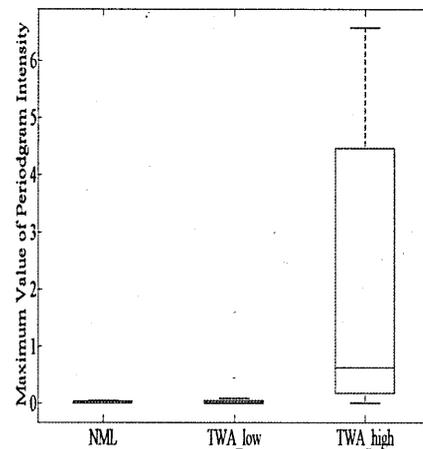
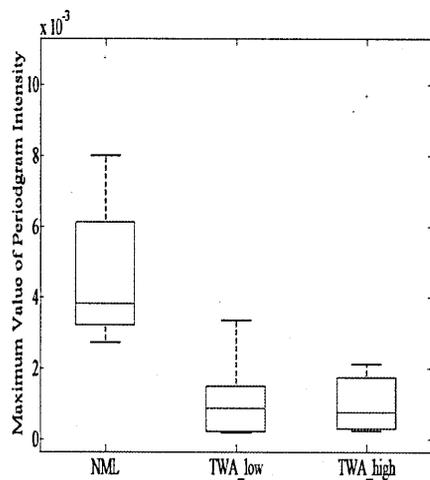


図 6.365: 左 : $PSL^{3/4max}$ の boxplot

右 : $PSA^{1/4max}$ の boxplot

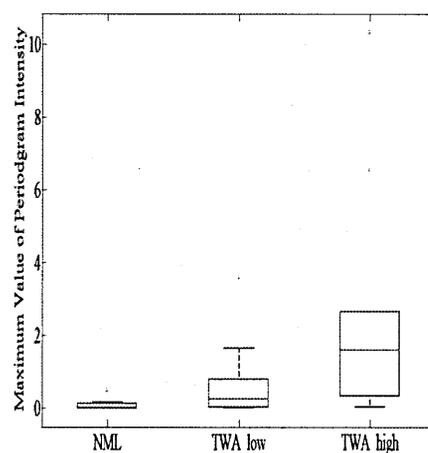
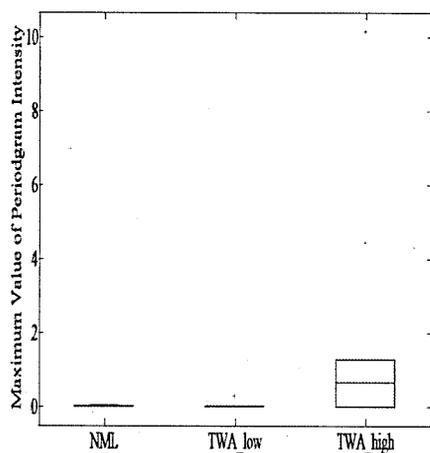


図 6.366: 左 : $PSA^{1/2max}$ の boxplot

右 : $PSA^{3/4max}$ の boxplot

	$PSL^{\beta_{max}}$		
	1/4	1/2	3/4
NML	0.0042 ± 0.004	0.0030 ± 0.002	0.0049 ± 0.002
TWA_low	0.0017 ± 0.001	0.0030 ± 0.004	0.0011 ± 0.001
TWA_high	0.0044 ± 0.005	0.0072 ± 0.009	0.0017 ± 0.003

表 6.17: $PSL^{\beta_{max}}$ の平均値および標準偏差

	$PSA^{\beta_{max}}$		
	1/4	1/2	3/4
NML	0.0147 ± 0.015	0.0073 ± 0.009	0.0921 ± 0.145
TWA_low	0.0639 ± 0.132	0.0376 ± 0.090	0.7028 ± 1.078
TWA_high	2.0795 ± 2.490	1.8434 ± 3.050	2.6527 ± 3.138

表 6.18: $PSA^{\beta_{max}}$ の平均値および標準偏差

	$PSL^{\beta_{max}}$		
	1/4	1/2	3/4
TWA_low	0.0452	0.4727	0.0005
TWA_high	0.4274	0.9097	0.0022

表 6.19: $PSL^{\beta_{max}}$ の有意差検定結果

	$PSA^{\beta_{max}}$		
	1/4	1/2	3/4
TWA_low	0.5708	0.5205	0.0312
TWA_high	0.0058	0.0113	0.0022

表 6.20: $PSA^{\beta_{max}}$ の有意差検定結果

第7章 考察

7.1 U を用いたTWA検出手法

図6.181-182のboxplotから、 $PSL_{\alpha max}$ においてTWA_high群がNML群、TWA_low群に対して一概に大きい値が得られたとは言えない結果となった。また、表6.7からも $PSL_{X max}$ の平均値においてはTWA_high群が他群に比べて大きな値となったが、その他についてはTWA_high群の値が小さくなった。これは、表6.1, 3, 5のそれぞれの値に着目すると各データごとに値のばらつきが非常に大きいため、更に多くのデータを用いることにより各群の差を明らかにすることが可能になるのではないかと考える。また、表6.9の有意差検定結果はX誘導においても5%有意水準を満たさなかった。ただし、5%有意水準を満たしていないということは有意差が無いということではなく、有意差について断言できないということである。つまり、本論文の結果にも有意差がある可能性があり、使用データを増やすことでデータの信頼性を高めることにより有意差が生じる可能性は十分にある。

角度に関してはTWA_high群が他群に比べて全ての誘導において大きな値が得られた。有意差検定結果からも5%有意水準を満たすまでには至らなかったものの、全ての誘導において5%に近い値を取る結果となった。

以上より、特異ベクトル U を用いた検出手法においては角度を用いてTWA検出を行っていくことが有効であると考えられる。

ただし今回はTWAの自動検出を目標としているため、T波切り出し、時系列作成、ペリオドグラムの計算などを全て自動で行った。そこで、時系列、ペリオドグラムが正確に計測できているか確認してみると、図6.97では時系列に低周波成分が含まれていたり、図6.139では時系列に数ヶ所非常に大きな値が含まれている。原因を考えてみるために、基線変動を除去した心電図データに着目してみる。

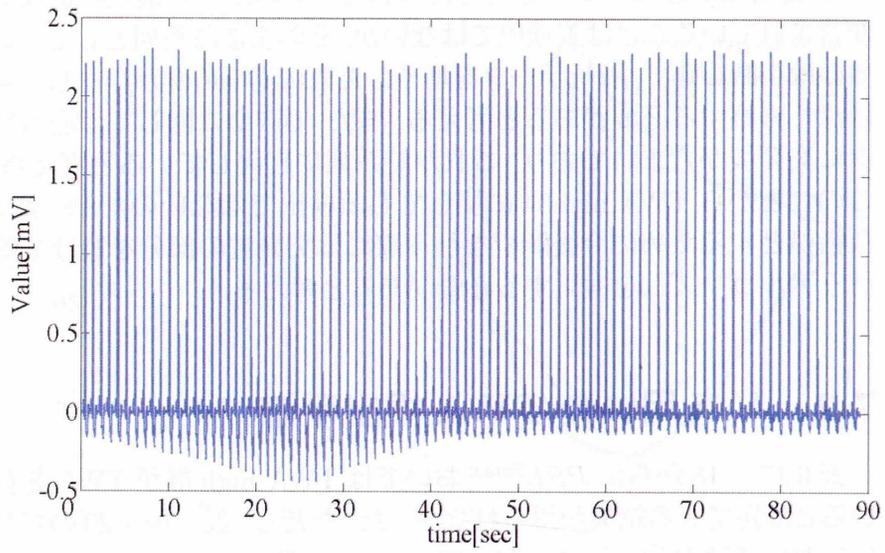


図 7.1: TWA_low07 の心電図データ (X 誘導)

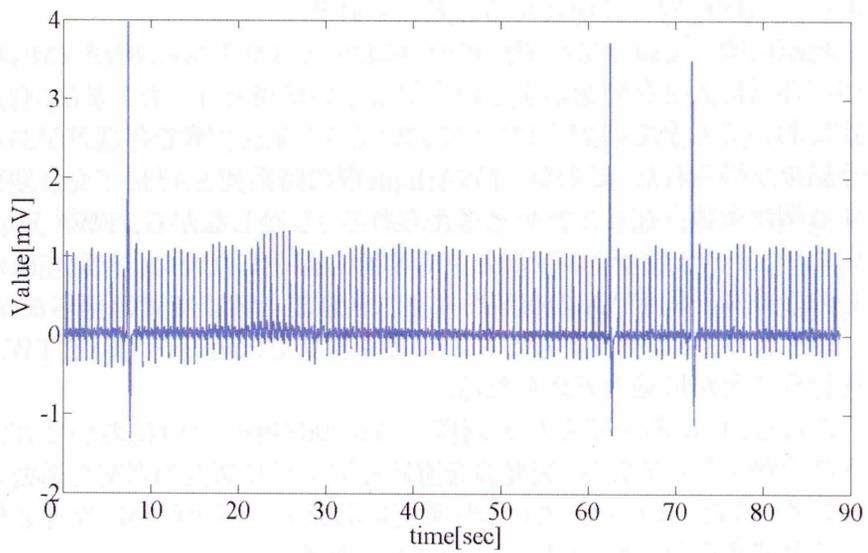


図 7.2: TWA_high04 の心電図データ (Y 誘導)

図 7.1 から TWA_low07 に関しては時系列の低周波成分に心電図データの T 波振幅が起因していると考えられる。そのため時系列に低周波成分が含まれていることは誤検出ではないが、そのまま時系列として用いるべきかは判断し難く、解析データを増やした際に同様の例が存在した場合には深く考察する必要があると考える。また、図 7.2 に関しては心電図データに突発波が含まれており、これが時系列に起因していると考えられる。このことから TWA_high04 についても誤検出ではないのだが、より優良な指標とするために今後解析を行う際には突発波の部分を避けて解析を行うアルゴリズムを検討する必要があると考える。

7.2 V を用いた TWA 検出手法

表 6.17 – 18 から $PSL^{\beta_{max}}$ においては TWA_high 群が TWA を有していると断定できる結果が得られなかった。ただし、表 6.19 – 20 の有意差検定においては $PSL^{3/4_{max}}$ において TWA_low 群、TWA_high 群共に有意差があるという結果が得られた。しかしながら、平均値において NML 群が 1 番大きいと、TWA を検出する指標として用いるには不適切であるとされる。これは、 U を用いた TWA 検出手法と同様に今回用いたデータ数が統計的に十分ではないために生じたものと考えられ、 $PSL^{1/4_{max}}$ においても同様のことが言えると考えられる。

角度に関しては全ての $PSA^{\beta_{max}}$ において TWA_high 群が NML 群と比べて非常に大きな値を示すという望ましい結果となった。また、有意差検定においても全ての $PSA^{\beta_{max}}$ において 5% 有意水準で有意差があるという結果が得られた。これは、TWA_high 群の時系列 SA^{β} にて交互変化を有する例が多数存在したためと考えられる。しかしながら、TWA_high 群の中に $PSA^{\beta_{max}}$ 値が NML 群と同等の例も存在したため、有意差は示せたものの一例一例 TWA の有無を完璧に判断できるまでには至らなかった。

以上より、特異ベクトル S においても現状では角度を用いて TWA 検出を行うことが最適と考えられる。

ただし、 V においても U と同様に図 6.296 や図 6.319 において非常に大きな値が存在しており、突発波を避けるアルゴリズムの考案を重要と考えられる。また、図 6.325, 326 の時系列において一見きれいに交互変化していると考えられるが、T-loop は図 7.3 となる。

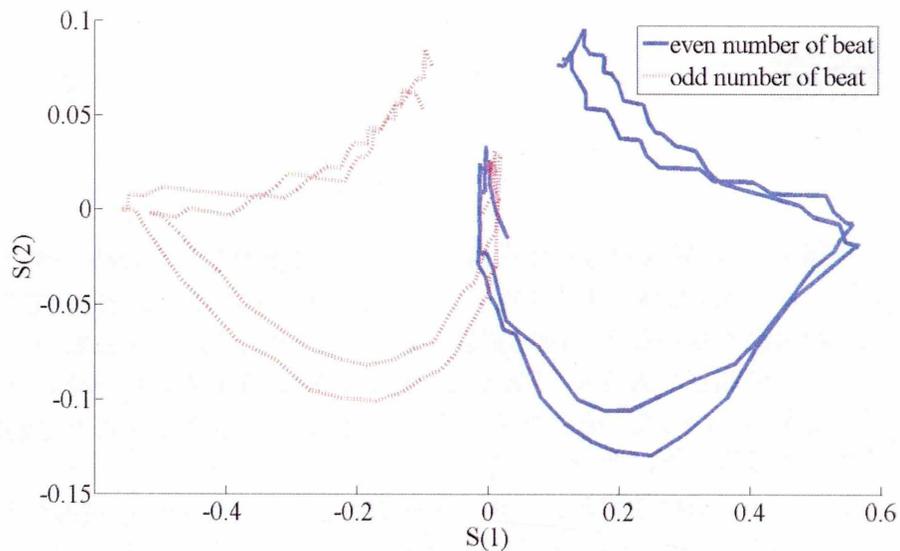


図 7.3: TWA_high04 の T-loop 図

図 7.3 から $S_1[i]$ において交互変化しているが、特異値分解より得られた直交行列 V は符号は関係無く、 $S_1[i]$ を同一の符号に反転することが可能である。そのため、T-loop の向きを全て同様にした場合、図 6.326 の時系列は変化し、ペリオドグラム の 0.4-0.5[cycle/beat] の最大値も変化してくる。しかし、今回解析したデータでは正常例にはそのような T-loop のデータが 1 つも無く、異常例にのみ存在した。そのため、今回の結果においては T 波が交互に変化している部分が起因して T-loop の符号が反転しているものと考えられるが、今後解析データを増やすことにより正常例においても符号の反転が起きるようであるならば原因究明していく必要がある。

結論

本論文では、特異値分解から得られる入力と出力の2つの特異ベクトルを用いてTWAを検出するTWVAを提案し、 U , S 共に角度を用いてTWA検出が可能となることが確認できた。しかし、どちらの手法においても全体的に標準偏差が大きく、TWAの有無を判断する明確な基準を設けるまでには至らなかった。そのため、今後は解析データを増やすことで明確な基準を設けることに繋げていきたい。

また、今回は90秒間という短いデータからのTWA検出を試みたが、実際には24時間のデータからTWAを検出する必要がある。そのためにも今回の解析の前段階として、計算量の少ない簡易的な手法によるスクリーニングを行うことで突発波などを含む解析対象とできない部分を除き、TWAと疑わしい部分を抽出していく。

以上の手順によりTWA検出の手法を確立した上で、最終的にその他のSCDの予測現象と併用してSCDの予測を行っていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、格別なる御指導と御高配を賜りました八名和夫教授に深く感謝の意を表します。

また、本研究の礎を築いて下さった佐藤俊寿氏、紫竹弘之氏、ならびに貴重な御教示を賜りました日本医科大学の小野卓哉氏、板倉潮人氏に心より感謝申し上げますとともに、4年間お世話になりました八名研究室諸氏に厚く謝意を表し、謝辞といたします。

参考文献

- [1] Caroline S. Fox, Jane C. Evans, Martin G. Larson, William B. Kannel and Daniel Levy "Temporal Trends in Coronary Heart Disease Mortality and Sudden Cardiac Death From 1950 to 1999: The Framingham Heart Study" *Circulation*, vol.110, pp522-527, 2004
- [2] Roger K.G. Moore, David G. Groves, Pauline E. Barlow, Keith A.A. Fox, Ajay Shah, James Nolan, Mark T. "Kearney Heart rate turbulence and death due to cardiac decompensation in patients with chronic heart failure" *The European Journal of Heart Failure*, vol.8, pp585-590, 2006
- [3] G. Michael Vincent "The Molecular Genetics of the Long QT Syndrome: Genes Causing Fainting and Sudden Death" *Annual Reviews*, vol.49, pp263-274, 1998
- [4] Fiorenzo Gaita, Carla Giustetto, Francesca Bianchi, Christian Wolpert, Rainer Schimpf, Riccardo Riccardi, Stefano Grossi, Elena Richiardi, Martin Borggrefe "Short QT Syndrome: A Familial Cause of Sudden Death" *Circulation*, vol.108, pp965-970, 2003
- [5] Mariah L. Walker, David S. Rosenbaum "Repolarization alternans: implications for the mechanism and prevention of sudden cardiac death" *Cardiovascular Research*, vol.57, pp599-614, 2003
- [6] Masahiko Takagi, Junichi Yoshikawa, "T wave Alternans And Ventricular Tachyarrhythmia Risk Stratification: A Review" *Indian Pacing and Electrophysiology Journal*, vol.3, Issue 2, pp67-73, 2003
- [7] Bruce D. Nearing and Richard L. Verrier "Modified moving average analysis of T-wave alternans to predict ventricular fibrillation with high accuracy" *J Appl Physiol*, vol.92, pp541-549, 2002

- [8] Veronica Cox, Mitul Patel, Jason Kim, Taylor Liu, Gowri Sivaraman, and Sanjiv M. Narayan "Predicting arrhythmia-Free Survival Using Spectral and Modified-Moving Average Analyses of T-Wave Alternans" *PACE*, vol.30, pp352-358, 2007
- [9] V Monasterio, JP Martinez "Multilead T-Wave Alternans Quantification Based on Spatial Filtering and the Laplacian Likelihood Ratio Method" *Computers in Cardiology*, vol.35, pp601-604, 2008
- [10] Violeta Monasterio, Pablo Laguna, and Juan Pablo Martinez "Multi-lead Analysis of T-Wave Alternans in the ECG Using Principal Component Analysis" *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.56, NO:7, pp1880-1890, 2009
- [11] Toshihisa Satoh, Kazuo Yana, Hiroyuki Shichiku, Hirohisa Mizuta, Takuya Ono "T-wave Vector Alternans Detection Based on Holter ECG Recordings" *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, pp690-693, 2007