

付録

A.1 微動アレイおよび単点微動による地下構造モデル化

A.1.1 微動アレイ観測

① はじめに

近年の被害地震において大加速度・速度を観測した強震観測点を対象に，グリーン関数の高度化を目的として，微動アレイ観測を実施し，解放基盤面までの地下構造のモデル化を行う。強震観測点は比較的硬質なサイトを対象とし，茨城県で微動アレイ4ヶ所（山方，大宮，高萩と日立）に実施した。なお，各アレイ中心測点のデータを単点微動観測として，H/Vスペクトル解析を行った。

② 微動アレイ調査の概要

(1) 観測場所：図 A.1.1-1 に示す茨城県内の4地点（山方，大宮，高萩と日立）において微動アレイ観測を実施した。

1. 山方 (YMG)
茨城県大宮市山方周辺地区
2. 大宮 (OMY)
茨城県大宮市市街周辺地区
3. 高萩市 (TKH)
茨城県高萩市市街周辺地区
4. 日立 (HTC)
茨城県日立市市街周辺地区

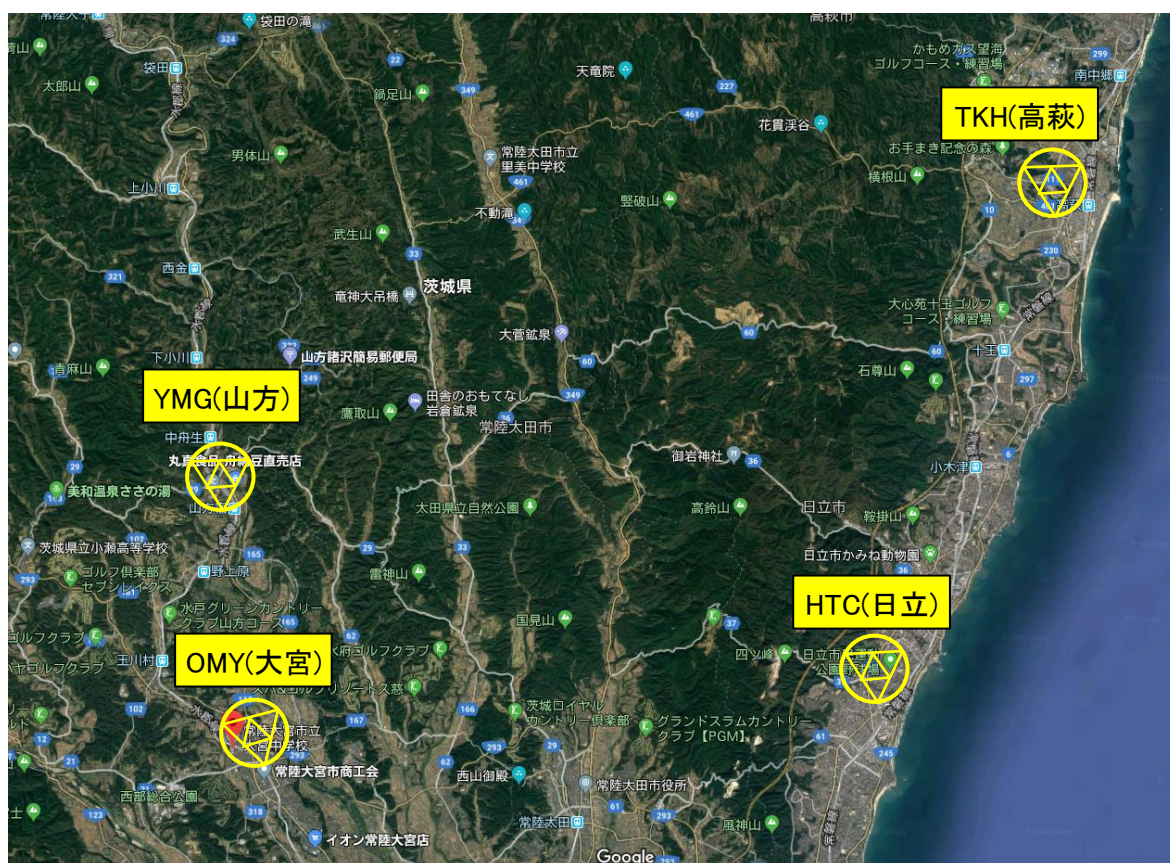


図 A.1.1-1 微動アレイ観測実施地点（図中の黄色枠内）

(2) 計測機器

地震計は固有周期 5 秒の 3 成分速度計(LE-3D/5s, lennartz-electronic 社)を用いた (図 A.1.1-2 参照)。また、データ収録器は LS-8800 (A/D 変換 : 24bit, 白山工業) を用いた (図 A.1.1-3 参照)。なお、各機材の時刻校正は GPS によって独立に行っている。



図 A.1.1-2 地震計 (LE-3D/5s)

(http://www.lennartz-electronic.de/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=56)



図 A.1.1-3 データ収録器(LS-8800)

(<http://www.hakusan.co.jp/products/keisoku/main/ls8800.shtml>)

③ 解析方法

微動は車、工場などのような人間の日常活動あるいは海の波浪、気圧変動、風等のような自然現象によって誘起される地面の微弱な振動である。前者は一般に周期1秒以下の微動で、振幅に明瞭な日変化が認められる特徴がある。一方、後者は周期1秒以上の微動（脈動という）で、主として気圧変化に伴う風や波浪等の自然現象の規模によって振幅は変化する。

微動は時間的・空間的にも変化するという特徴を持った複雑な波動であり、弾性論的には、実体波（P波、S波）や表面波（レイリー波、ラブ波）の集まりと考えられる。通常観測される微動は複雑な微動の発生源、伝播経路、観測地点直下の地下構造などに関する様々な情報を実体波や表面波の形で含んでいる。ただし、微動源の多くは地表面にあると予想されることから微動中に含まれる波は実体波に比べて距離減衰の小さい表面波が卓越しているものと考えられる。この表面波には波の周期（あるいは周波数）によって伝播速度（以後、位相速度）が変わる、いわゆる「分散性」の性質がある。表面波位相速度の分散性は地下構造に密接に関係しており、表面波の周期（周波数）と伝播速度の関係がわかれば、逆に、その関係から地下構造が推定できることになる。以下に、岡田・他(1990)を参考に微動アレイ観測による地下構造を推定する手法のフローを図A.1.1-4に示す。

- ① 微動アレイ観測：地表に面的に展開した地震観測アレイにより微動を観測する。この時のアレイ形状として、通常、図A.1.1-5に示すような二重正三角形の頂点と重心および各辺の midpoint に地震計を配置したものが用いられる。
- ② 位相速度の推定：アレイ直下の地下構造の情報を含む表面波の分散性（位相速度－周期の関係）を検出する。この時、空間自己相関法(以下、SPAC法；Aki, 1957)を用いる。SPAC法では基本的には円形アレイ（図A.1.1-6参照）を展開し、中心点と半径 r の円周上に等間隔に設置した各観測点の相関係数を方位平均した空間自己相関係数を求める。この時、微動が定常確率過程であるということから、空間自己相関係数は

$$\rho(f, r) = J_0\left(\frac{2\pi f}{c} r\right)$$

と表現される。左辺は観測量（ ρ ：空間自己相関係数）であり、得られた空間自己相関係数 $\rho(f, r)$ は0次のベッセル関数(J_0)で変化することを意味している。左辺の観測量を満たすベッセル関数の変数を見つければ、半径 r における周波数 f での位相速度 c が求まる。図A.1.1-6にある周波数(f)における空間自己相関係数の変化の例を示す。横軸は観測点間隔(r)、縦軸は空間自己相関係数(ρ)を示している。

- ③ S波速度の推定：表面波位相速度の分散性を利用して、図A.1.1-7に示すように観測位相速度の分散性と一致する地下構造モデルを推定する。この時、P波速度および密度はLudwig et al. (1970)による既存の統計資料からS波速度の関数とし、未知数の数を減らしている。地下構造のモデリングにおいては、本検討では遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, 略称 GA）による地下構造のモデリング方法(長・他,1999)を利用する。GAでは初期モデルとして層の数、各層の層厚の最大値・最小値、S波速度の最大値・最小値を与え、これらの範囲内で残差最小解の解を求める。

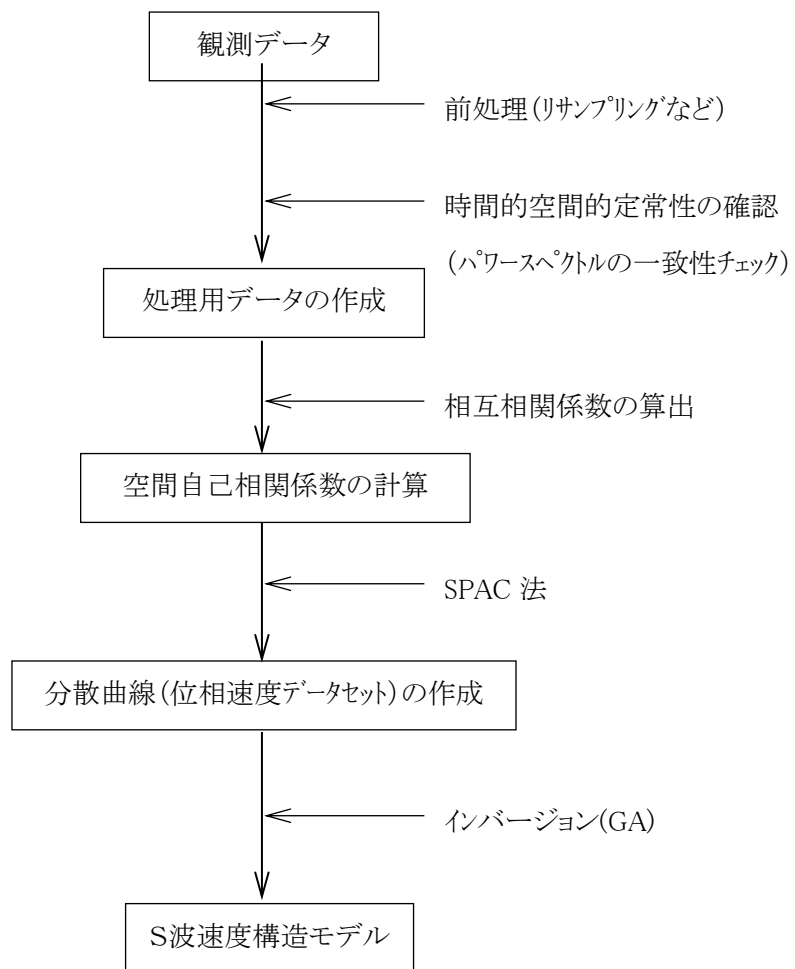


図 A.1.1-4 微動アレイ観測のデータ処理・解析手順

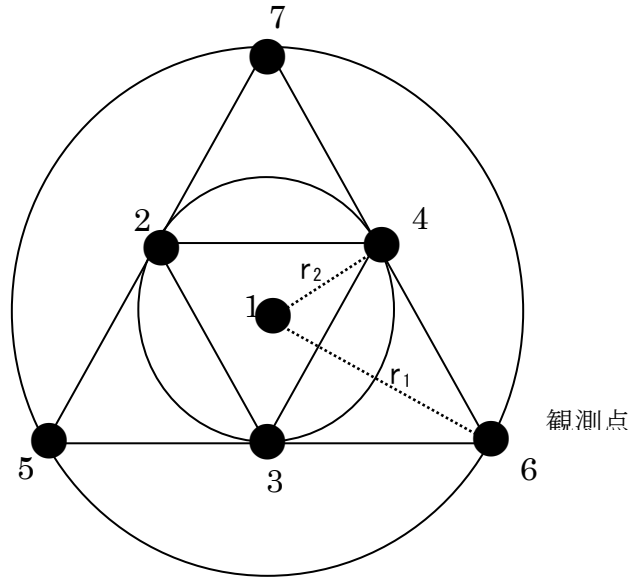


図 A.1.1-5 二重正三角形アレイの概念図
 r_1 , r_2 : アレイ半径 ($r_1=2r_2$), ● : 地震計設置点 (7点の場合)

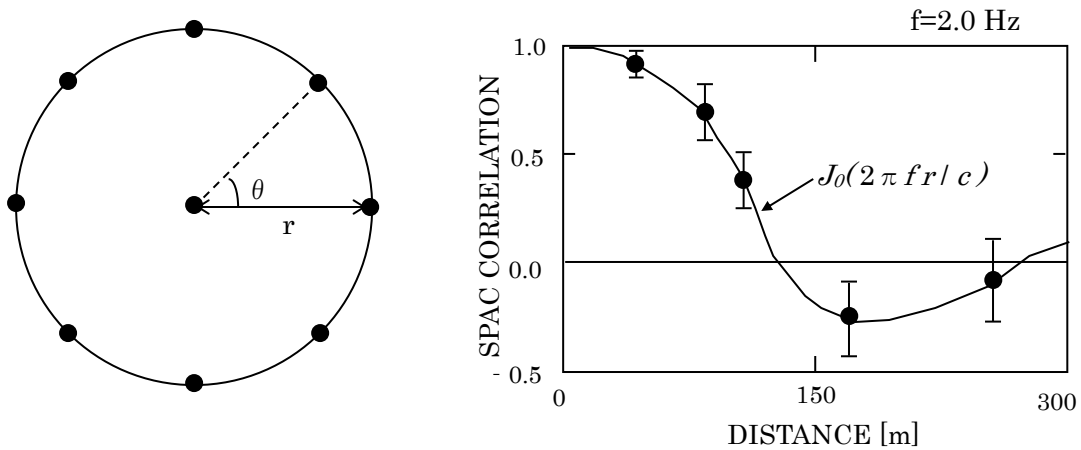


図 A.1.1-6 SPAC (空間自己相関) 法による位相速度推定の概念図。
 左—半径 r における円形アレイ。
 右— $f=2.0\text{Hz}$ における空間自己相関係数 (ρ) の例。
 ● : 観測空間自己相関係数。
 実線 : 0次ベッセル関数。 $\rho=J_0(2\pi f r / c)$ から位相速度(c)が求まる。

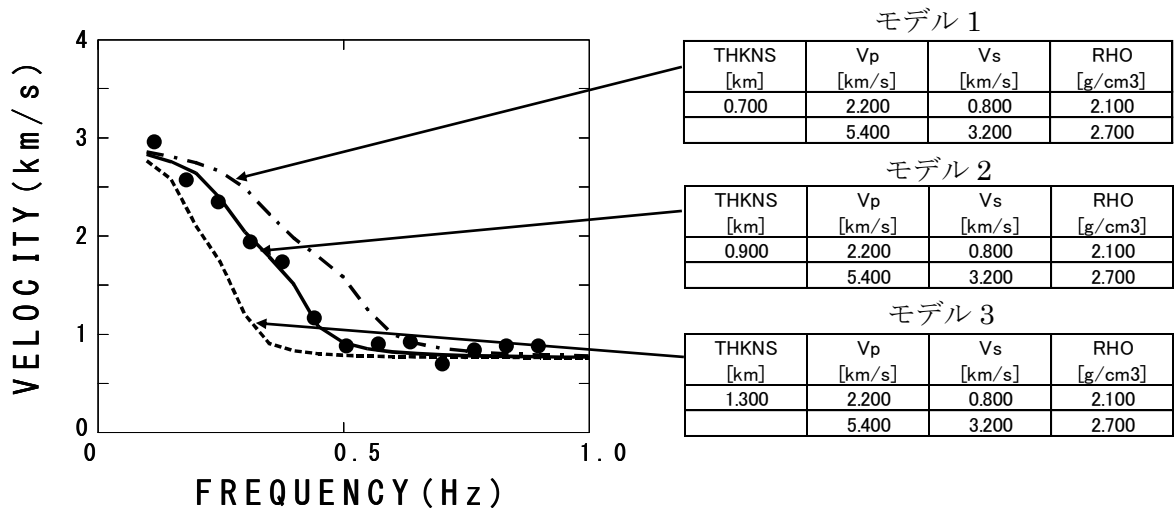


図 A.1.1-7 微動アレイ観測による地下構造モデルの推定概念。

第1層の層厚を0.7km（一点鎖線；モデル1）、0.9km（実線；モデル2）、1.3km（破線；モデル3）とした場合の Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線の例。●：観測位相速度。観測位相速度（●）と最も一致がよい分散曲線となるモデル2が最適地下構造モデルとなる。

④ 微動アレイ観測

山方における微動アレイ観測

大宮市山方周辺において実施した微動アレイ（YMG）観測の観測点配置を図 A.1.1-8(a), (b), (c)に示す。微動アレイ観測は $R_{\max}=496\text{m}$ （以下，Lアレイ）， $R_{\max}=120\text{m}$ （以下，Mアレイ）， $R_{\max}=30\text{m}$ （以下，Sアレイ）のそれぞれ7点で構成される二重正三角形アレイを展開している。表 A.1.1-1 に微動アレイ観測を実施した日時を示す。写真 A.1.1-Y1～写真 A.1.1-Y21 に現場写真を示す。表 A.1.1-2 に L、M と S アレイの各観測点座標（世界測地系）を示す。なお，M、S アレイの場合，精度よくなるため，各観測点間距離を巻尺で測量した。

表 A.1.1-1 山方微動アレイ観測の観測日時

アレイ	年月日	時間
L	2017/07/25	10:10-11:40
M	2017/07/25	12:25-13:25
S	2017/07/25	13:50-14:35

表 A.1.1-2 山方微動 L、M、S アレイ観測の観測点座標

St.	緯度	経度	St.	緯度	経度	St.	緯度	経度
No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]
L1	36.634674	140.401649	M1	36.636042	140.400443	S1	36.636066	140.399949
L2	36.630467	140.399150	M2	36.636983	140.399817	S2	36.636299	140.399813
L3	36.638410	140.398910	M3	36.635900	140.401810	S3	36.636040	140.400298
L4	36.634550	140.407006	M4	36.635133	140.399679	S4	36.635830	140.399756
L5	36.634530	140.398700	M5	36.636390	140.399780	S5	36.636146	140.399798
L6	36.636760	140.402880	M6	36.635890	140.400450	S6	36.636069	140.399839
L7	36.632690	140.403690	M7	36.635763	140.399733	S7	36.635984	140.399774

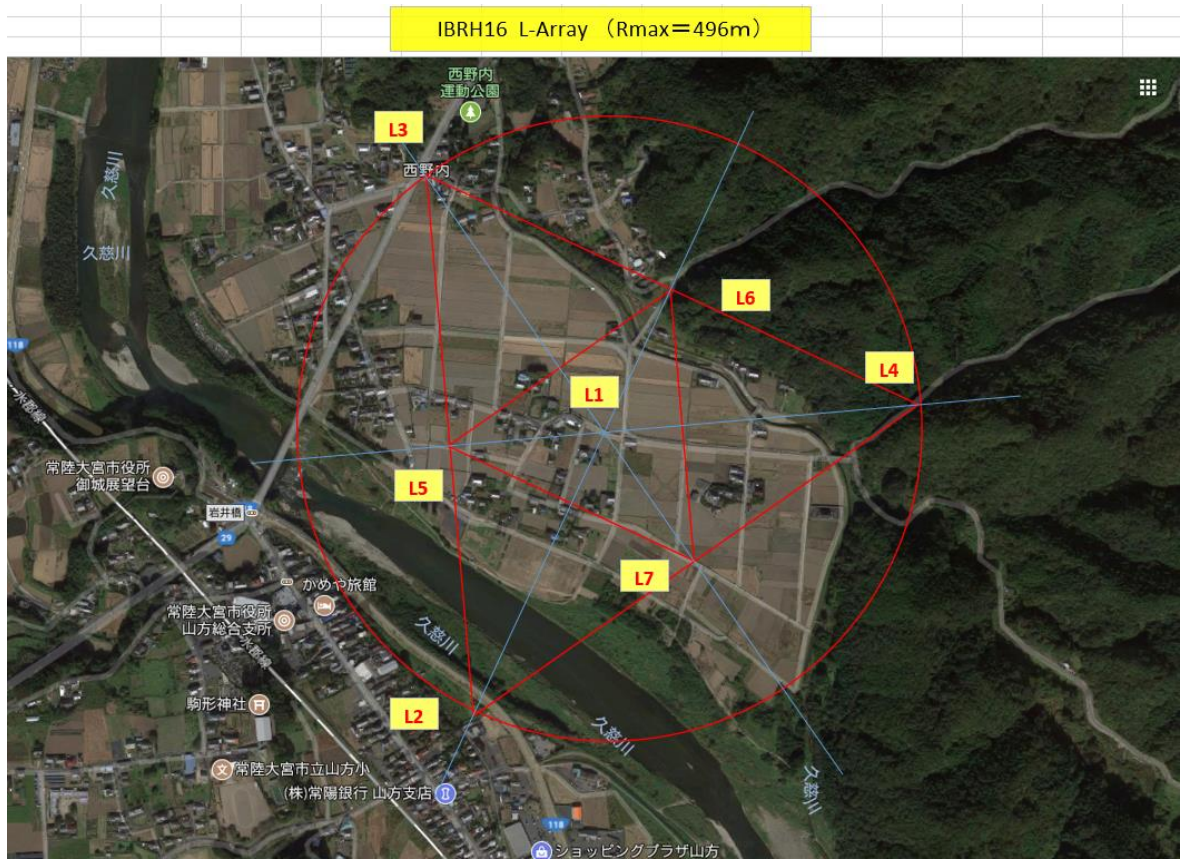


図 A.1.1-8(a) 山方微動アレイ観測地点 (Lアレイ)

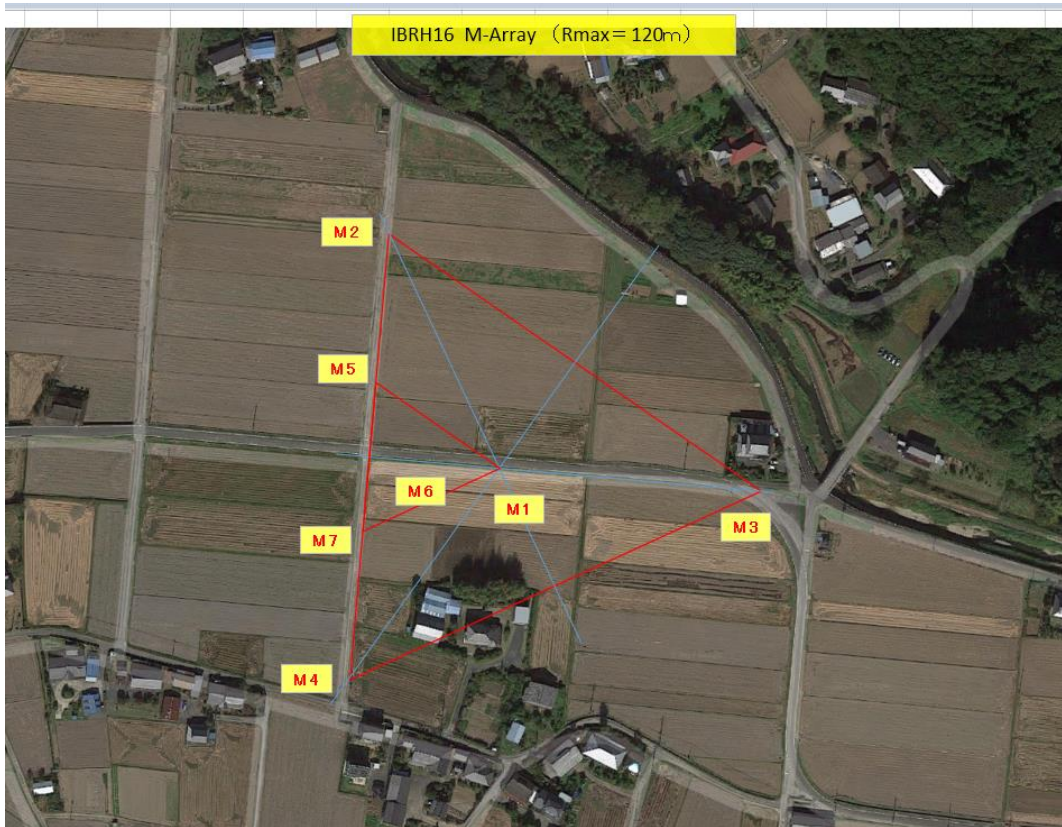


図 A.1.1-8(b) 山方微動アレイ観測地点 (Mアレイ)



図 A.1.1-8(c) 山方微動アレイ観測地点 (Sアレイ, Rmax=30m)



写真 A.1.1-Y1 山方 Lアレイ観測点 L1



写真 A.1.1-Y2 山方 Lアレイ観測点 L2



写真 A.1.1-Y3 山方 Lアレイ観測点 L3



写真 A.1.1-Y4 山方 Lアレイ観測点 L4



写真 A.1.1-Y5 山方 Lアレイ観測点 L5



写真 A.1.1-Y6 山方 Lアレイ観測点 L6



写真 A.1.1-Y7 山方 Lアレイ観測点 L7



写真 A.1.1-Y8 山方 Mアレイ観測点 M1



写真 A.1.1-Y9 山方 Mアレイ観測点 M2



写真 A.1.1-Y10 山方 Mアレイ観測点 M3



写真 A.1.1-Y11 山方 Mアレイ観測点 M4



写真 A.1.1-Y12 山方 Mアレイ観測点 M5



写真 A.1.1-Y13 山方 Mアレイ観測点 M6



写真 A.1.1-Y14 山方 Mアレイ観測点 M7



写真 A.1.1-Y15 山方 Sアレイ観測点 S1



写真 A.1.1-Y16 山方 S アレイ観測点 S2



写真 A.1.1-Y17 山方 S アレイ観測点 S3



写真 A.1.1-Y18 山方 S アレイ観測点 S4



写真 A.1.1-Y19 山方 S アレイ観測点 S5



写真 A.1.1-Y20 山方 S アレイ観測点 S6



写真 A.1.1-Y21 山方 S アレイ観測点 S7

大宮における微動アレイ観測

茨城県大宮市市街地において実施した微動アレイ (OMY) 観測の観測点配置を図 A.1.1-9(a), (b), (c)に示す。微動アレイ観測は $R_{\max}=510\text{m}$ (以下, Lアレイ), $R_{\max}=90\text{m}$ (以下, Mアレイ), $R_{\max}=30\text{m}$ (以下, Sアレイ) のそれぞれ7点で構成される二重正三角形アレイを展開している。表 A.1.1-3 に微動アレイ観測を実施した日時を示す。写真 A.1.1-O1～写真 A.1.1-O21 に現場写真を示す。表 A.1.1-4 に L、M と Sアレイの各観測点座標 (世界測地系) を示す。なお, M、Sアレイの場合, 精度よくなるため, 各観測点間距離を巻尺で測量した。

表 A.1.1-3 大宮微動アレイ観測の観測日時

アレイ	年月日	時間
L	2017/07/26	10:05-11:35
M	2017/07/26	12:45-13:45
S	2017/07/26	14:20-15:05

表 A.1.1-4 大宮微動 L、M、Sアレイ観測の観測点座標

St.	緯度	経度	St.	緯度	経度	St.	緯度	経度
No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]
L1	36.545844	140.417712	M1	36.552063	140.411683	S1	36.552733	140.409234
L2	36.791700	140.779300	M2	36.552300	140.411000	S2	36.552948	140.409421
L3	36.550550	140.417830	M3	36.552420	140.412630	S3	36.552499	140.409357
L4	36.543775	140.422451	M4	36.551226	140.411706	S4	36.552771	140.408895
L5	36.546970	140.414910	M5	36.552120	140.411180	S5	36.552884	140.409246
L6	36.546920	140.420160	M6	36.551900	140.411430	S6	36.552823	140.409181
L7	36.543400	140.417500	M7	36.551614	140.411441	S7	36.552824	140.409060

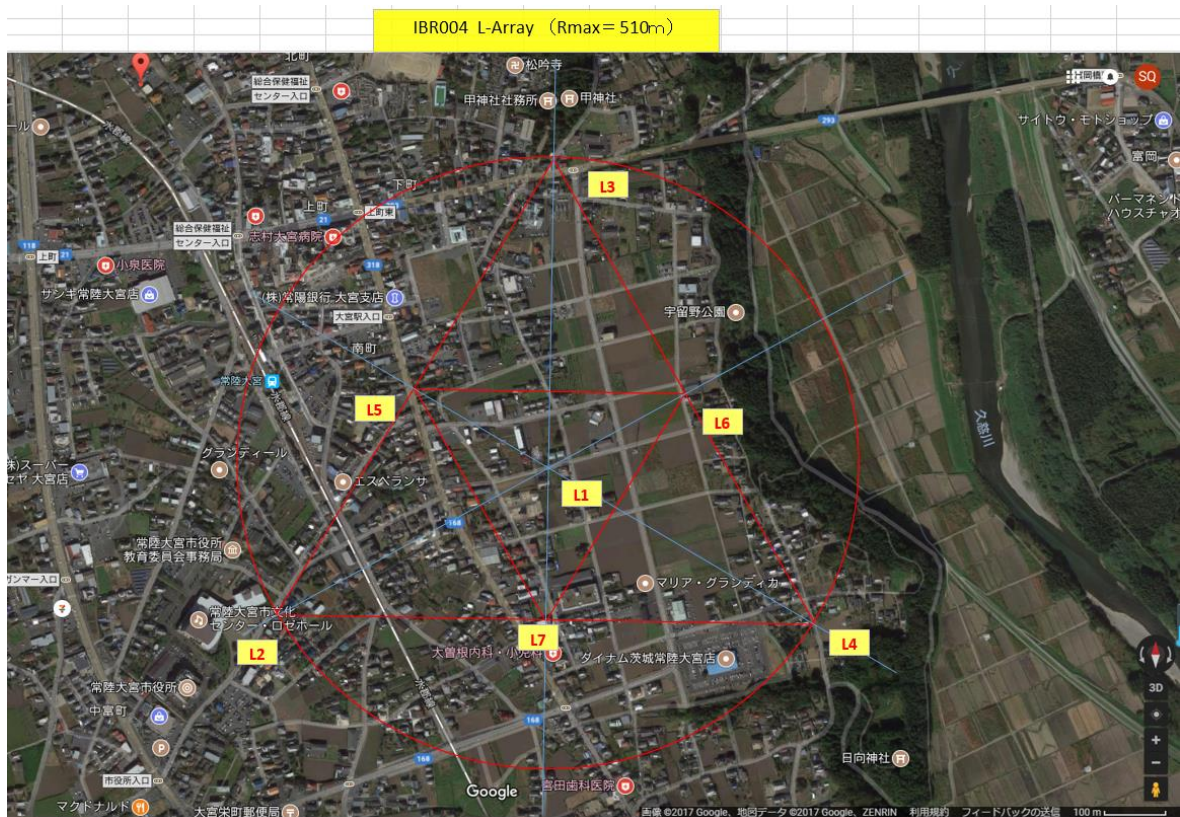


図 A.1.1-9(a) 大宮微動アレイ観測地点 (Lアレイ)

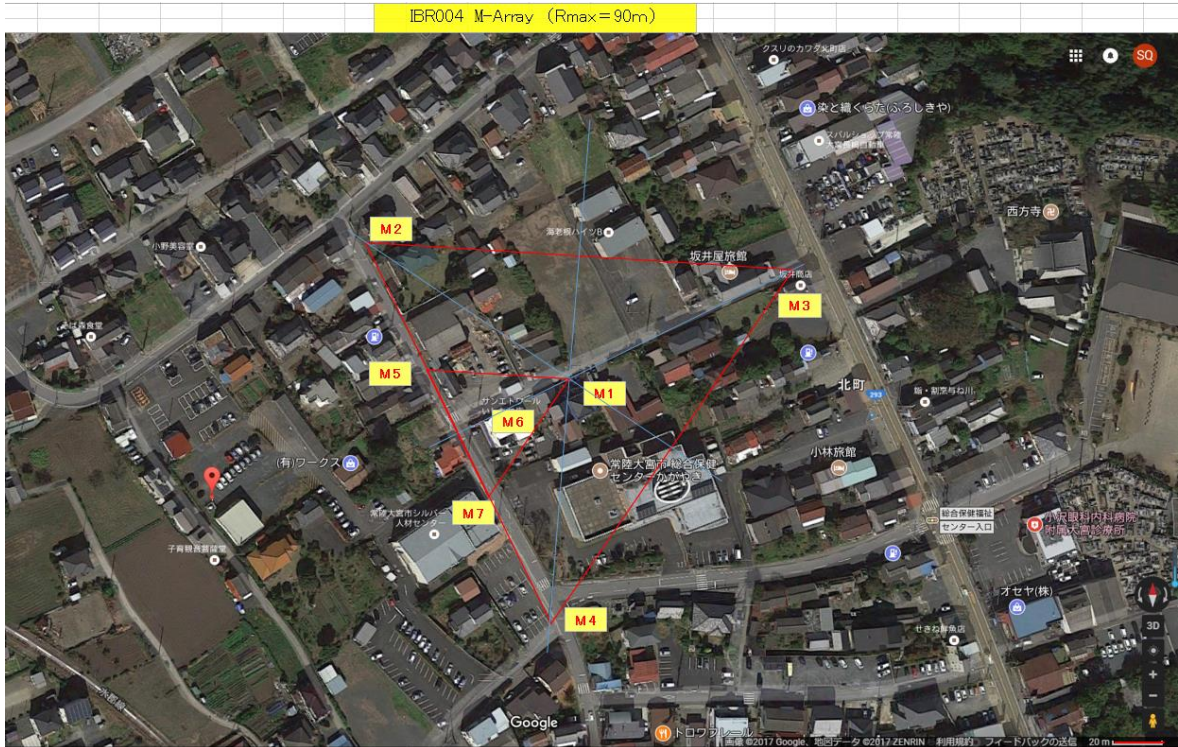


図 A.1.1-9(b) 大宮微動アレイ観測地点 (Mアレイ)



図 A.1.1-9(c) 大宮微動アレイ観測地点 (Sアレイ, Rmax=30m)



写真 A.1.1-O1 大宮 Lアレイ観測点 L1



写真 A.1.1-O2 大宮 Lアレイ観測点 L2



写真 A.1.1-O3 大宮 Lアレイ観測点 L3



写真 A.1.1-O4 大宮 Lアレイ観測点 L4



写真 A.1.1-O5 大宮 Lアレイ観測点 L5



写真 A.1.1-O6 大宮 Lアレイ観測点 L6



写真 A.1.1-07 大宮 Lアレイ観測点 L7



写真 A.1.1-08 大宮 Mアレイ観測点 M1



写真 A.1.1-09 大宮 Mアレイ観測点 M2



写真 A.1.1-O10 大宮 Mアレイ観測点 M3



写真 A.1.1-O11 大宮 Mアレイ観測点 M4



写真 A.1.1-O12 大宮 Mアレイ観測点 M5



写真 A.1.1-O13 大宮 Mアレイ観測点 M6



写真 A.1.1-O14 大宮 Mアレイ観測点 M7



写真 A.1.1-O15 大宮 Sアレイ観測点 S1



写真 A.1.1-O16 大宮 S アレイ観測点 S2



写真 A.1.1-O17 大宮 S アレイ観測点 S3



写真 A.1.1-O18 大宮 S アレイ観測点 S4



写真 A.1.1-O19 大宮 S アレイ観測点 S5



写真 A.1.1-O20 大宮 S アレイ観測点 S6



写真 A.1.1-O21 大宮 S アレイ観測点 S7

高萩市における微動アレイ観測

高萩市市役所周辺において実施した微動アレイ（TKH）観測の観測点配置を図 A.1.1-10(a) , (b) , (c) に示す。微動アレイ観測は $R_{\max}=400\text{m}$ （以下、Lアレイ）, $R_{\max}=100\text{m}$ （以下、Mアレイ）, $R_{\max}=30\text{m}$ （以下、Sアレイ）のそれぞれ7点で構成される二重正三角形アレイを展開している。表 A.1.1-5 に微動アレイ観測を実施した日時を示す。写真 A.1.1-T1～写真 A.1.1-T21 に現場写真を示す。表 A.1.1-6 に L、M と Sアレイの各観測点座標（世界測地系）を示す。なお、M と Sアレイの場合、精度よくなるため、各観測点間距離を巻尺で測量した。

表 A.1.1-5 高萩微動アレイ観測の観測日時

アレイ	年月日	時間
L	2017/07/27	07:50-09:20
M	2017/07/27	05:00-06:00
S	2017/07/27	06:25-07:10

表 A.1.1-6 高萩微動 L, M, Sアレイの観測点座標

St.	緯度	経度	St.	緯度	経度	St.	緯度	経度
No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]
L1	36.712353	140.709540	M1	36.712333	140.709798	S1	36.712977	140.708420
L2	36.711300	140.705000	M2	36.713168	140.709677	S2	36.712919	140.708081
L3	36.716010	140.710410	M3	36.711920	140.710840	S3	36.713241	140.708517
L4	36.709960	140.712820	M4	36.711739	140.708847	S4	36.712771	140.708651
L5	36.713610	140.707810	M5	36.712680	140.707390	S5	36.712866	140.708267
L6	36.711282	140.711800	M6	36.712400	140.709440	S6	36.712898	140.708386
L7	36.710640	140.709120	M7	36.712224	140.709135	S7	36.712824	140.708458

IBR002 L-Array (Rmax=400m)

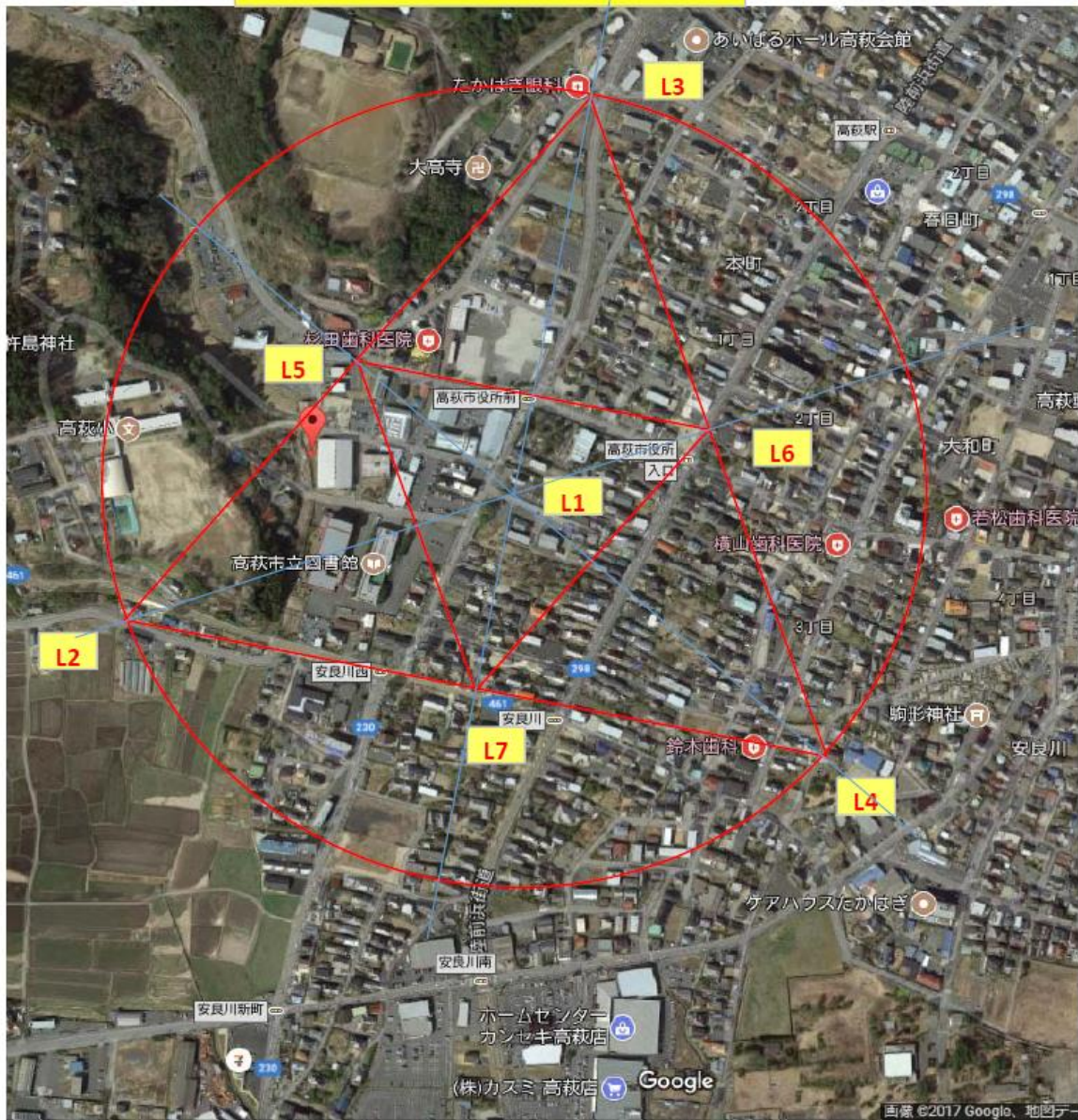


図 A.1.1-10(a) 高萩微動アレイ観測地点 (Lアレイ)



図 A.1.1-10(b) 高萩微動アレイ観測地点 (Mアレイ)

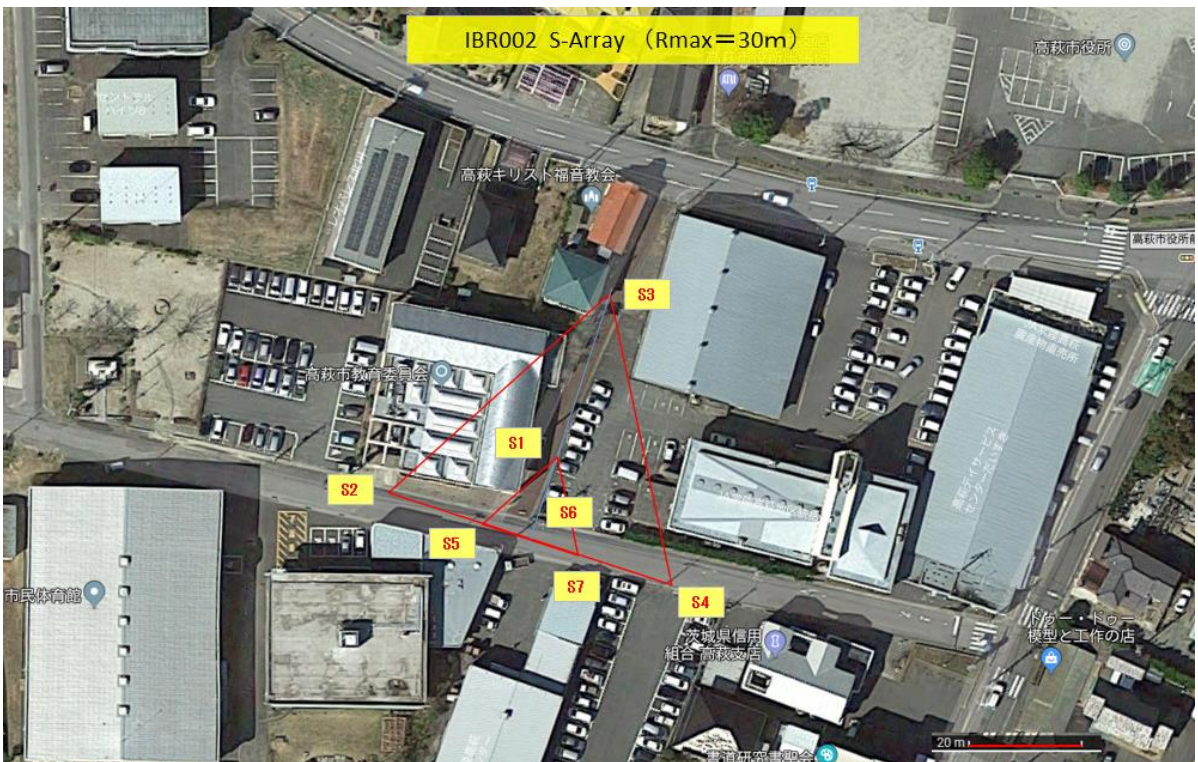


図 A.1.1-10(c) 高萩微動アレイ観測地点 (Sアレイ)



写真 A.1.1-T1 高萩 L アレイ観測点 L1



写真 A.1.1-T2 高萩 L アレイ観測点 L2



写真 A.1.1-T3 高萩 L アレイ観測点 L3



写真 A.1.1-T4 高萩 L アレイ観測点 L4



写真 A.1.1-T5 高萩 L アレイ観測点 L5



写真 A.1.1-T6 高萩 L アレイ観測点 L6



写真 A.1.1-T7 高萩 Lアレイ観測点 L7



写真 A.1.1-T8 高萩 Mアレイ観測点 M1



写真 A.1.1-T9 高萩 Mアレイ観測点 M2



写真 A.1.1-T10 高萩 Mアレイ観測点 M3



写真 A.1.1-T11 高萩 Mアレイ観測点 M4



写真 A.1.1-T12 高萩 Mアレイ観測点 M5



写真 A.1.1-T13 高萩 M アレイ観測点 M6



写真 A.1.1-T14 高萩 M アレイ観測点 M7



写真 A.1.1-T15 高萩 S アレイ観測点 S1



写真 A.1.1-T16 高萩 S アレイ観測点 S2



写真 A.1.1-T17 高萩 S アレイ観測点 S3



写真 A.1.1-T18 高萩 S アレイ観測点 S4



写真 A.1.1-T19 高萩 S アレイ観測点 S5



写真 A.1.1-T20 高萩 S アレイ観測点 S6



写真 A.1.1-T21 高萩 S アレイ観測点 S7

日立市における微動アレイ観測

日立市市街地において実施した微動アレイ観測の観測点配置を図 A.1.1-11(a), (b), (c)に示す。微動アレイ観測は $R_{\max}=400\text{m}$ (以下, Lアレイ), $R_{\max}=106\text{m}$ (以下, Mアレイ), $R_{\max}=30\text{m}$ (以下, Sアレイ) のそれぞれ7点で構成される二重正三角形アレイを展開している。表 A.1.1-7 に微動アレイ観測を実施した日時を示す。写真 A.1.1-H1～写真 A.1.1-H21 に現場写真を示す。表 A.1.1-8 に L, M と S アレイの各観測点座標 (世界測地系) を示す。なお, S アレイの場合, 精度よくなるため, 各観測点間距離を巻尺で測量した。

表 A.1.1-7 日立微動アレイ観測の観測日時

アレイ	年月日	時間
L	2017/07/27	21:15-22:30
M	2017/07/27	23:20-24:20
S	2017/07/28	10:10-10:55

表 A.1.1-8 日立微動 L, M と S アレイの観測点座標

St.	緯度	経度	St.	緯度	経度	St.	緯度	経度
No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]	No.	[°]	[°]
L1	36.592699	140.652539	M1	36.591870	140.650160	S1	36.592368	140.646274
L2	36.591900	140.648800	M2	36.591930	140.649010	S2	36.592312	140.646599
L3	36.596030	140.653170	M3	36.592690	140.650790	S3	36.592166	140.646051
L4	36.592982	140.656650	M4	36.590990	140.650710	S4	36.592642	140.646174
L5	36.594010	140.650920	M5	36.592300	140.649870	S5	36.592420	140.646462
L6	36.593090	140.654700	M6	36.591810	140.650690	S6	36.592439	140.646348
L7	36.591780	140.652730	M7	36.591470	140.649830	S7	36.592528	140.646311

IBR003 L-Array (Rmax= 400m)

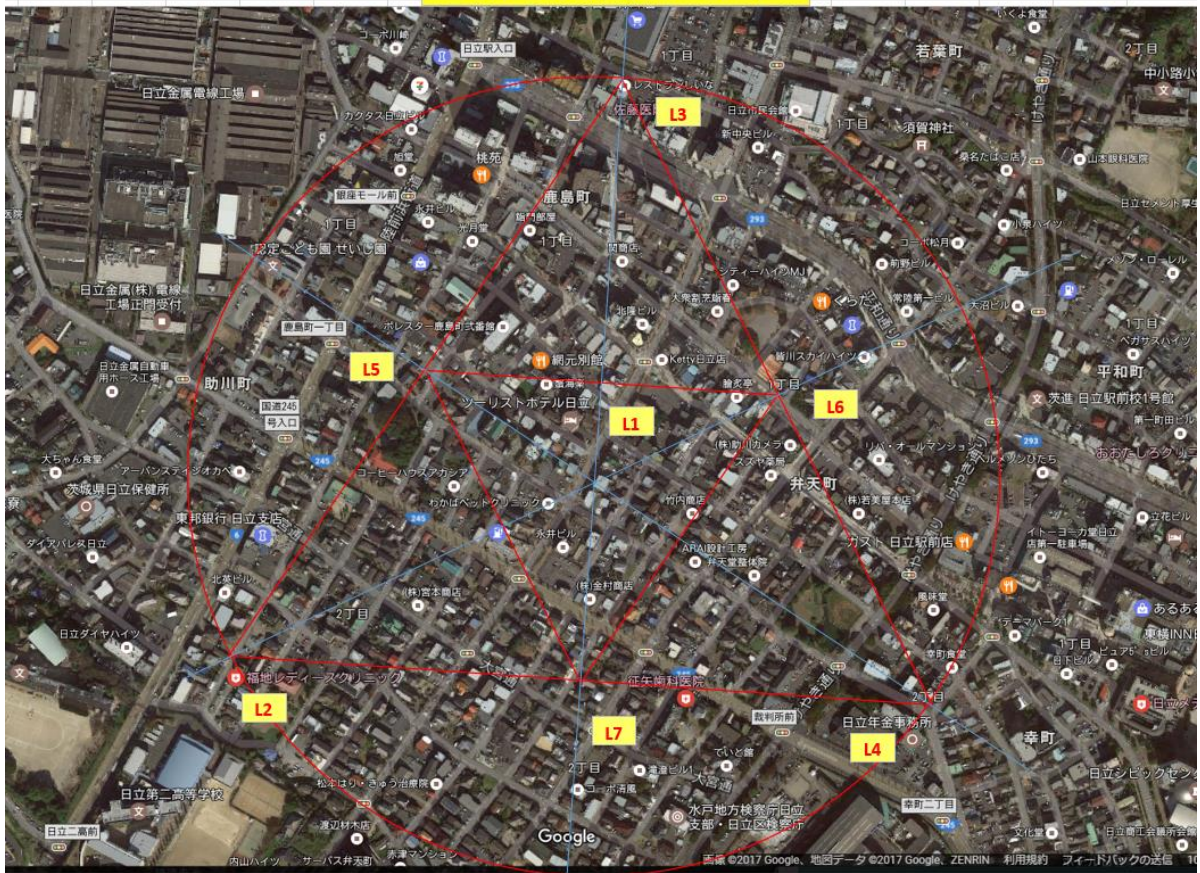


図 A.1.1-11(a) 日立微動アレイ観測地点 (Lアレイ)



図 A.1.1-11(b) 日立微動アレイ観測地点 (Mアレイ)

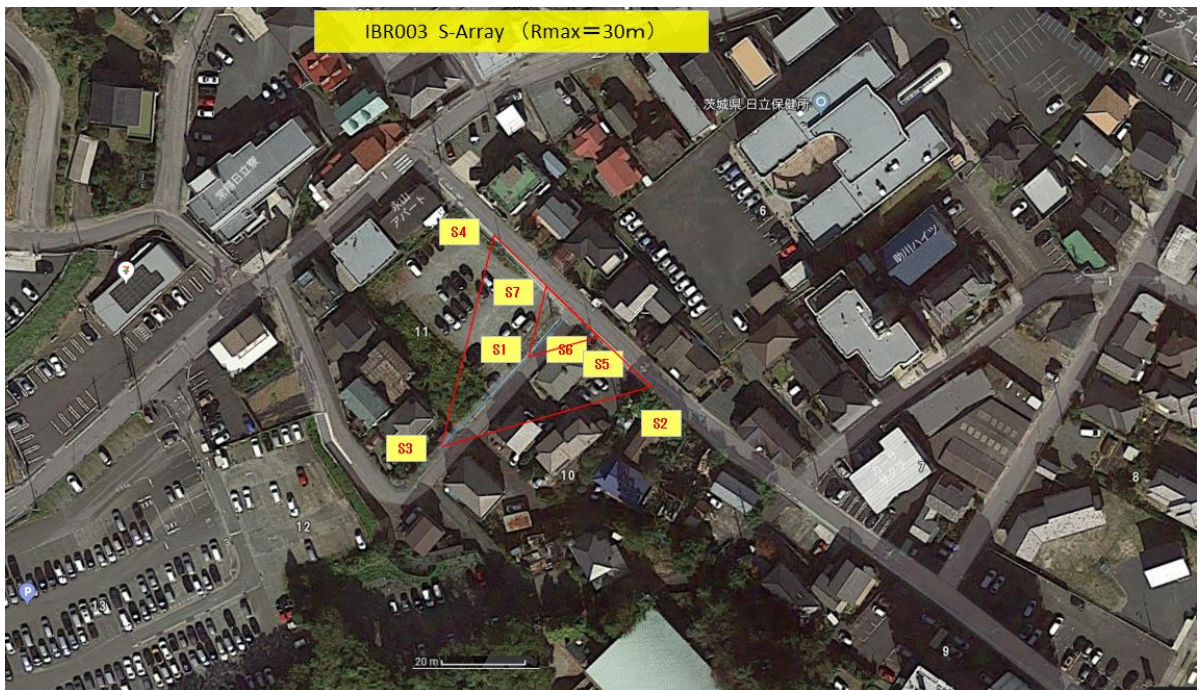


図 A.1.1-11(c) 日立微動アレイ観測地点 (Sアレイ)



写真 A.1.1-H1 日立 L アレイ観測点 L1



写真 A.1.1-H2 日立 L アレイ観測点 L2



写真 A.1.1-H3 日立 L アレイ観測点 L3
A.1-41



写真 A.1.1-H4 日立 L アレイ観測点 L4



写真 A.1.1-H5 日立 L アレイ観測点 L5



写真 A.1.1-H6 日立 L アレイ観測点 L6



写真 A.1.1-H7 日立 L アレイ観測点 L7



写真 A.1.1-H8 日立 M アレイ観測点 M1



写真 A.1.1-H9 日立 M アレイ観測点 M2



写真 A.1.1-H10 日立 M アレイ観測点 M3



写真 A.1.1-H11 日立 M アレイ観測点 M4



写真 A.1.1-H12 日立 M アレイ観測点 M5



写真 A.1.1-H13 日立 Mアレイ観測点 M6



写真 A.1.1-H14 日立 Mアレイ観測点 M7



写真 A.1.1-H15 日立 Sアレイ観測点 S1
A.1-45



写真 A.1.1-H16 日立 S アレイ観測点 S2



写真 A.1.1-H17 日立 S アレイ観測点 S3



写真 A.1.1-H18 日立 S アレイ観測点 S4



写真 A.1.1-H19 日立 S アレイ観測点 S5



写真 A.1.1-H20 日立 S アレイ観測点 S6



写真 A.1.1-H21 日立 S アレイ観測点 S7
A.1-47

A.1.2 地下構造のモデル化

① 山方における位相速度の推定

微動データについて、Lアレイ、MアレイとSアレイの各観測点ではサンプリング間隔100Hzで、記録長はLアレイ90分間、Mアレイ60分間、Sアレイでは45分間である。図A.1.2.1-1に得られた観測微動波形例(UD成分)を示す。解析にはL、M、Sアレイともに、40.96秒間を解析区間の単位として40秒間ずらしながら、時間的、空間的に安定した5区間に対してSPAC法(Aki, 1957)を適用し、微動中に含まれる表面波(Rayleigh波)位相速度1つを推定し、これを繰り返し、同様な位相速度9つ(合計45区間)を推定する。この9つの位相速度の平均値と標準偏差は山方アレイの位相速度の平均値と標準偏差となる。

空間自己相関係数の推定に用いた解析パラメータを表A.1.2.1-1に示す。なお、スペクトルを求める際のスムージング長について、Lアレイは0.24414Hz、Mアレイは0.24414Hz、Sアレイは0.341797Hzである。図A.1.2.1-2に各観測点の5区間の平均パワースペクトルを示す。図A.1.2.1-3に空間自己相関係数(図中の○)の例を示す。図中の実線は空間自己相関係数に対してフィッティングさせた0次のベッセル関数(J_0)を示しており、そのフィッティングから位相速度が得られる。図A.1.2.1-4に観測位相速度を示す。

表 A.1.2.1-1 空間自己相関係数の計算に用いた解析パラメータ (山方)

アレイ	L	M	S
データブロック長	40.96s	40.96s	40.96s
ブロック移動時間	40.0s	40.0s	40.0s
ブロック数	45	45	45
解析周波数範囲	0.0-5.0Hz	0.0-5.0Hz	0.0-10.0Hz
インバージョンで用いた周波数範囲	0.60-2.30Hz	2.30-4.90Hz	4.90-9.90Hz
解析周波数間隔	0.050Hz	0.050Hz	0.10Hz

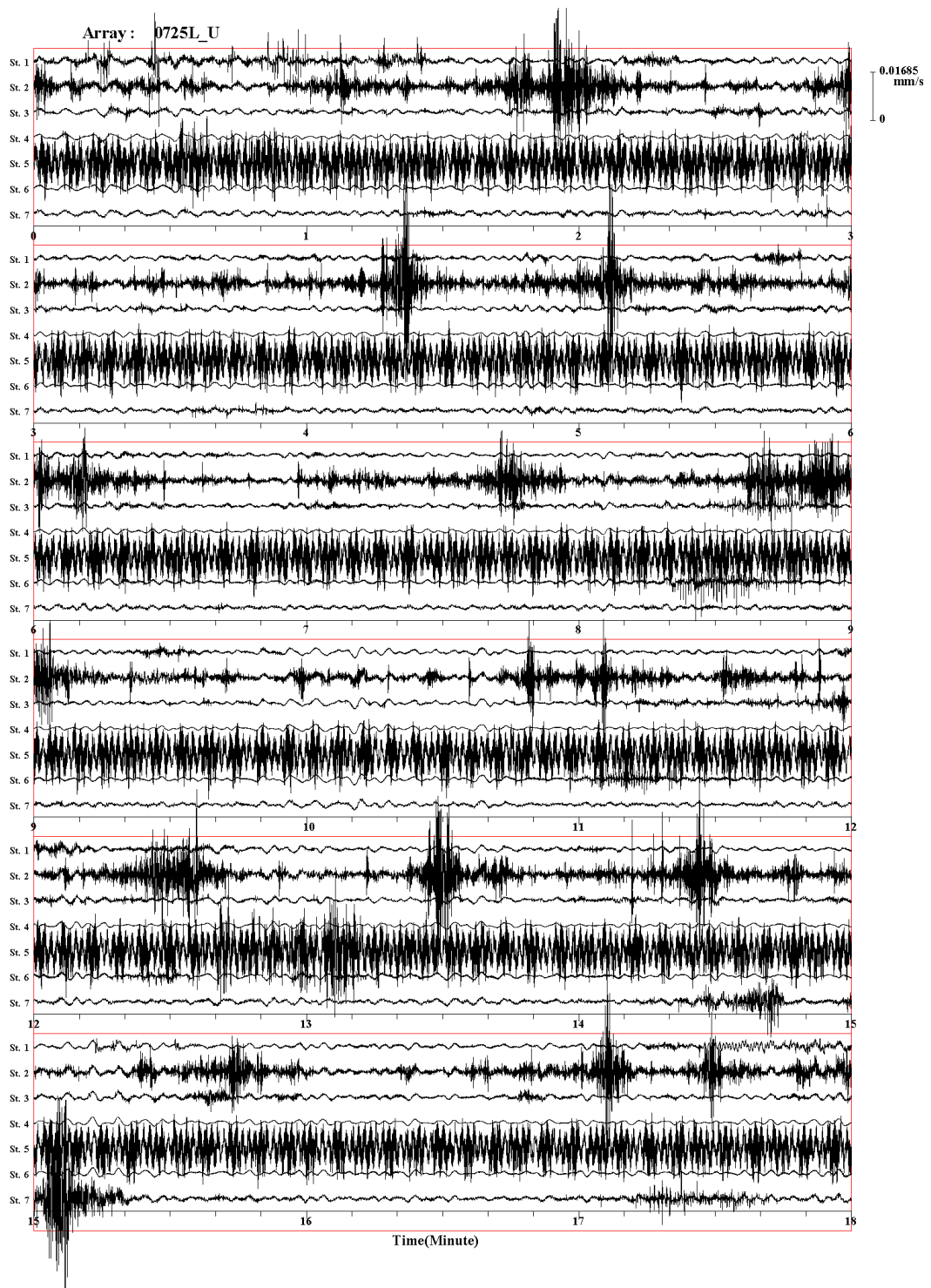


図 A.1.2.1-1(1) 山方 (Lアレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

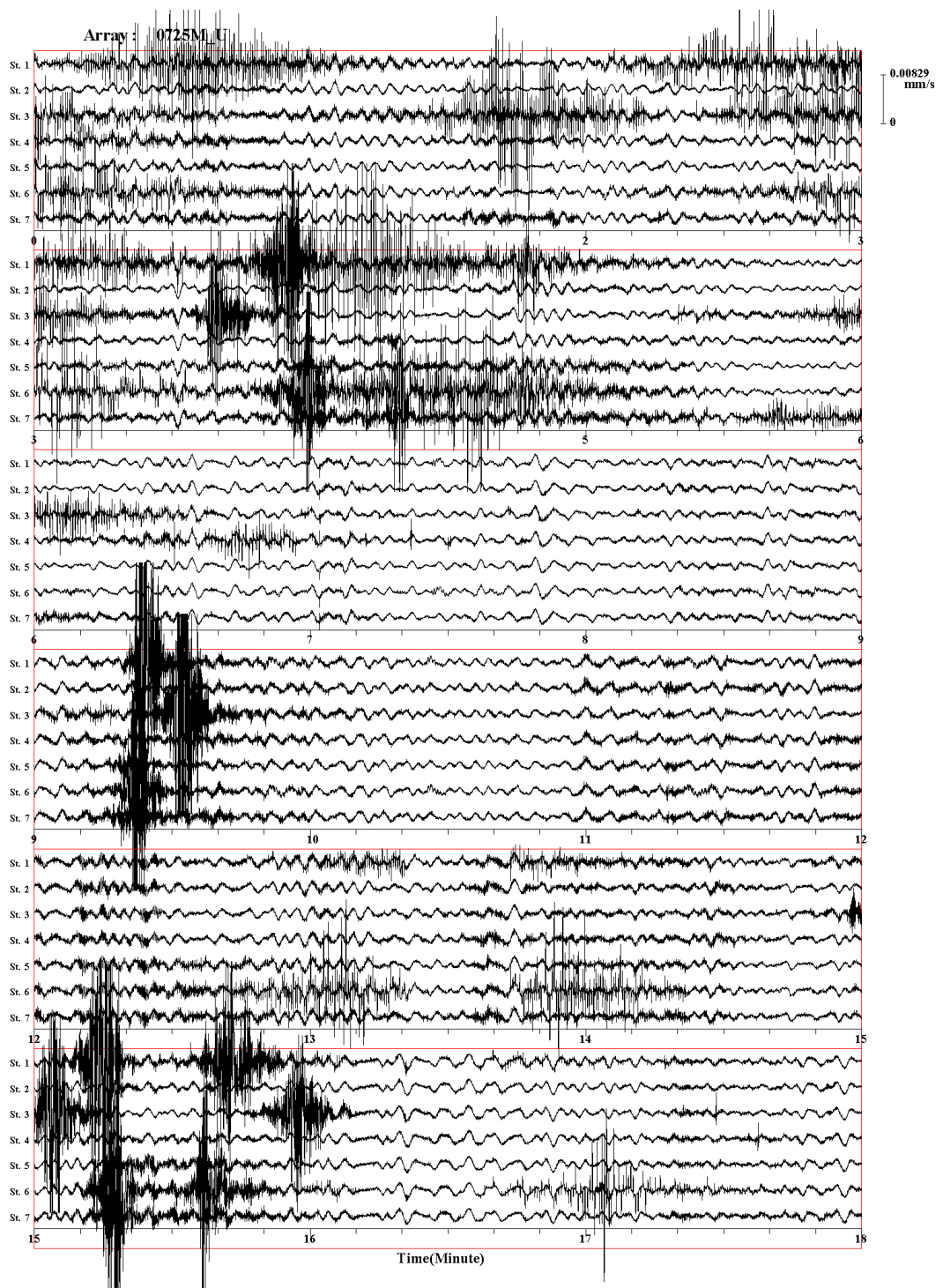


図 A.1.2.1-1(2) 山方 (M アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

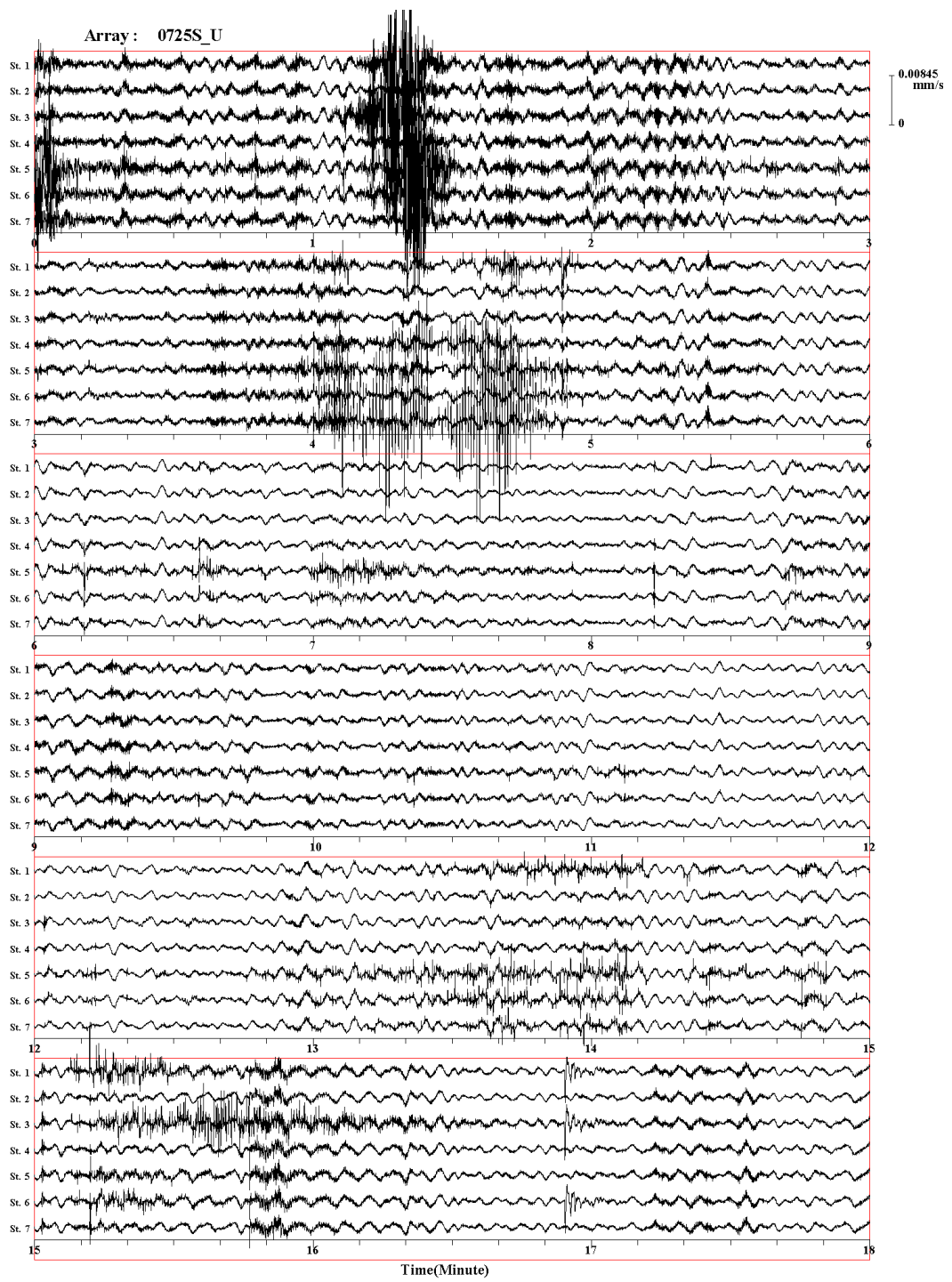


図 A.1.2.1-1(3) 山方 (S アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

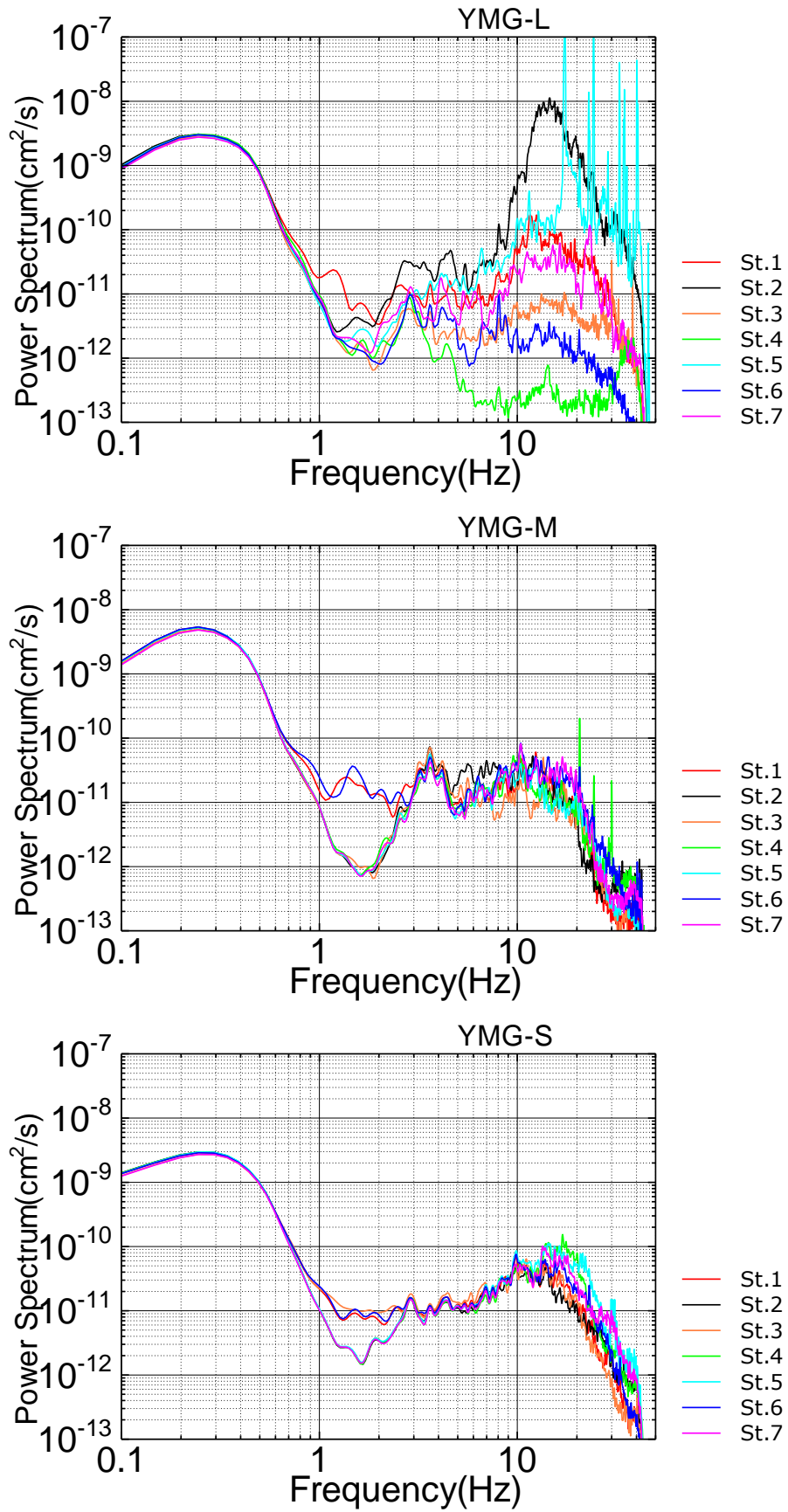


図 A.1.2.1-2 山方 (L, M、S アレイ) における各観測点の 5 ブロックの平均パワースペクトル

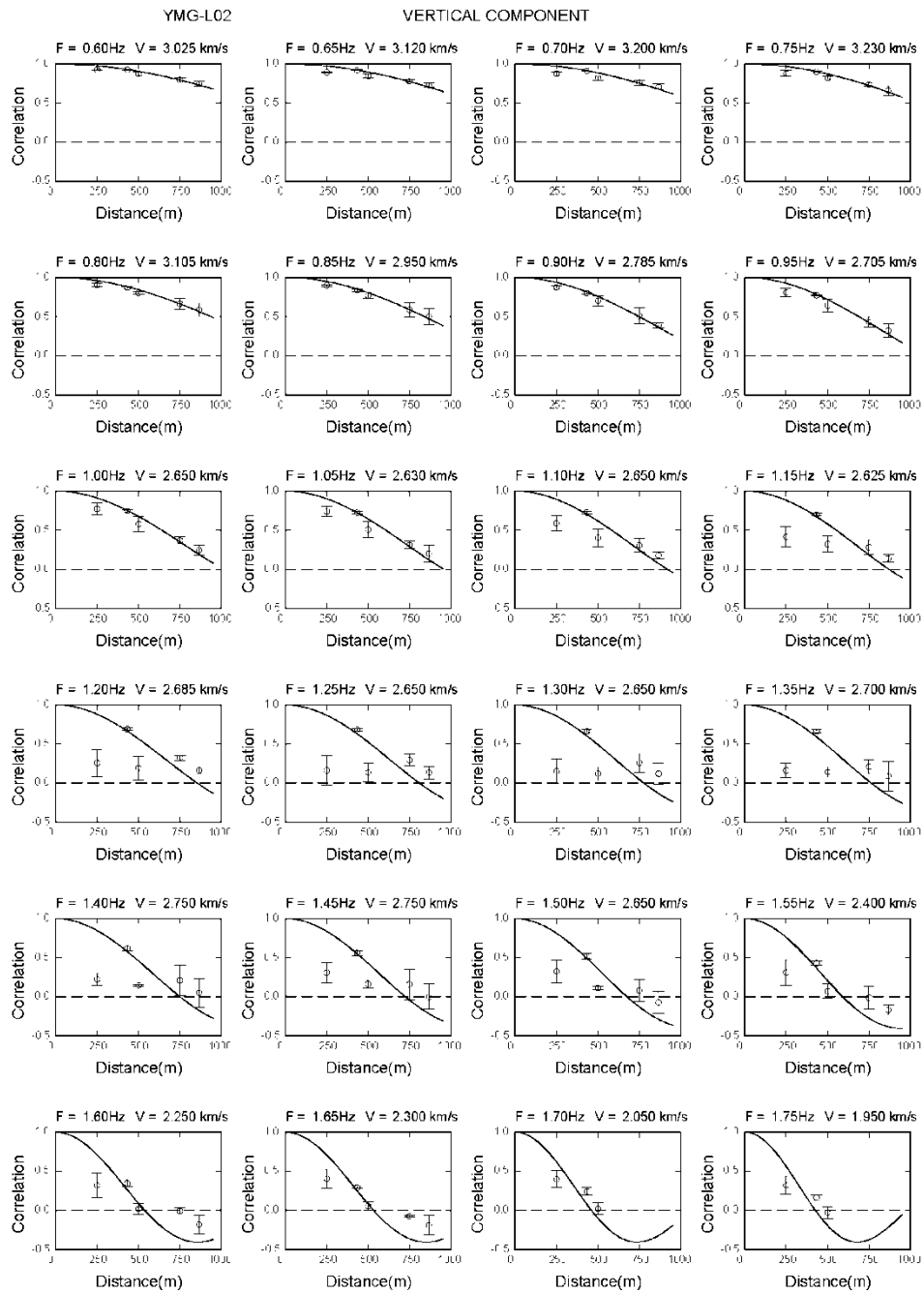


図 A.1.2.1-3(1) 山方 (Lアレイ) における空間自己相関係数 (図中の○) および得られた空間自己相関係数に対してフィッティングさせた 0 次のベッセル関数(J_0) (図中の実線) の例

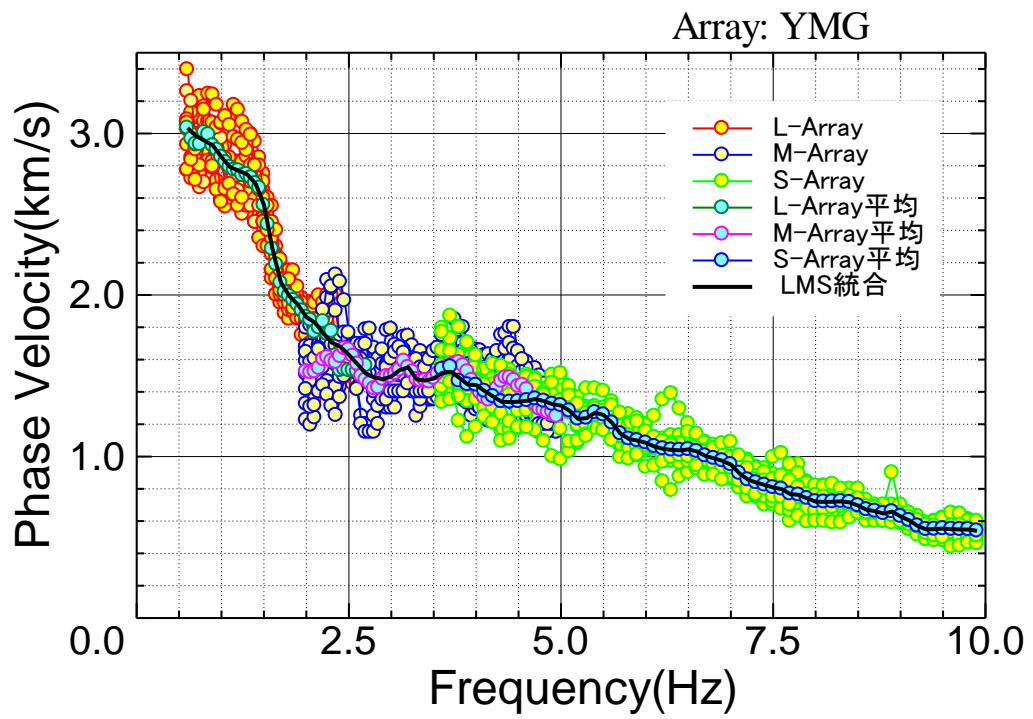


図 A.1.2.1-4 山方 (L, M, S アレイ) における観測位相速度

② 大宮における位相速度の推定

微動データについて、Lアレイ、MアレイとSアレイの各観測点ではサンプリング間隔 100Hz で、記録長はLアレイ 90 分間、Mアレイ 60 分間、Sアレイでは 45 分間である。図 A.1.2.2-1 に得られた観測微動波形例 (UD 成分) を示す。解析には L、M、Sアレイともに、40.96 秒間を解析区間の単位として 40 秒間ずらしながら、時間的、空間的に安定した 5 区間に対して SPAC 法 (Aki, 1957) を適用し、微動中に含まれる表面波 (Rayleigh 波) 位相速度 1 つを推定し、これを繰り返り、同様な位相速度 9 つ (合計 45 区間) を推定する。この 9 つの位相速度の平均値と標準偏差は大宮アレイの位相速度の平均値と標準偏差となる。

空間自己相関係数の推定に用いた解析パラメータを表 A.1.2.2-1 に示す。なお、スペクトルを求める際のスムージング長について、Lアレイは 0.195313Hz、Mアレイは 0.244141Hz、Sアレイは 0.341797Hz である。図 A.1.2.2-2 に各観測点の 5 区間の平均パワースペクトルを示す。図 A.1.2.2-3 に得られた空間自己相関係数 (図中の○) の例を示す。図中の実線は空間自己相関係数に対してフィッティングさせた 0 次のベッセル関数(J_0)を示しており、そのフィッティングから位相速度が得られる。図 A.1.2.2-4 に観測位相速度を示す。

表 A.1.2.2-1 空間自己相関係数の計算に用いた解析パラメータ (大宮)

アレイ	L	M	S
データブロック長	40.96s	40.96s	40.96s
ブロック移動時間	40.0s	40.0s	40.0s
ブロック数	45	45	45
解析周波数範囲	0.0-5.0Hz	0.0-5.0Hz	0.0-10.0Hz
インバージョン で用いた周波数範囲	0.30-2.00Hz	2.00-4.60Hz	4.60-9.90Hz
解析周波数間隔	0.05Hz	0.05Hz	0.10Hz

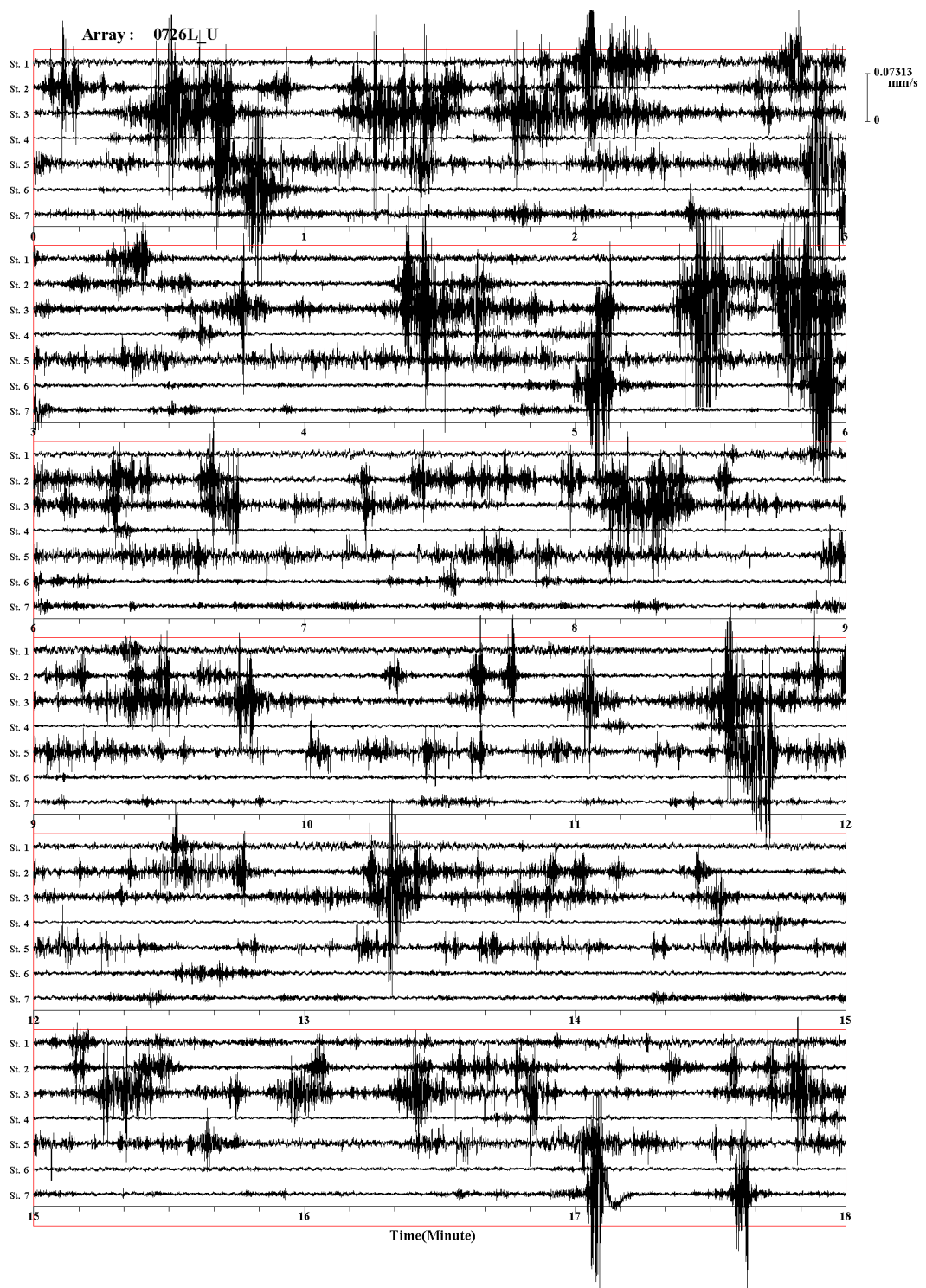


図 A.1.2.2-1(1) 大宮 (Lアレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

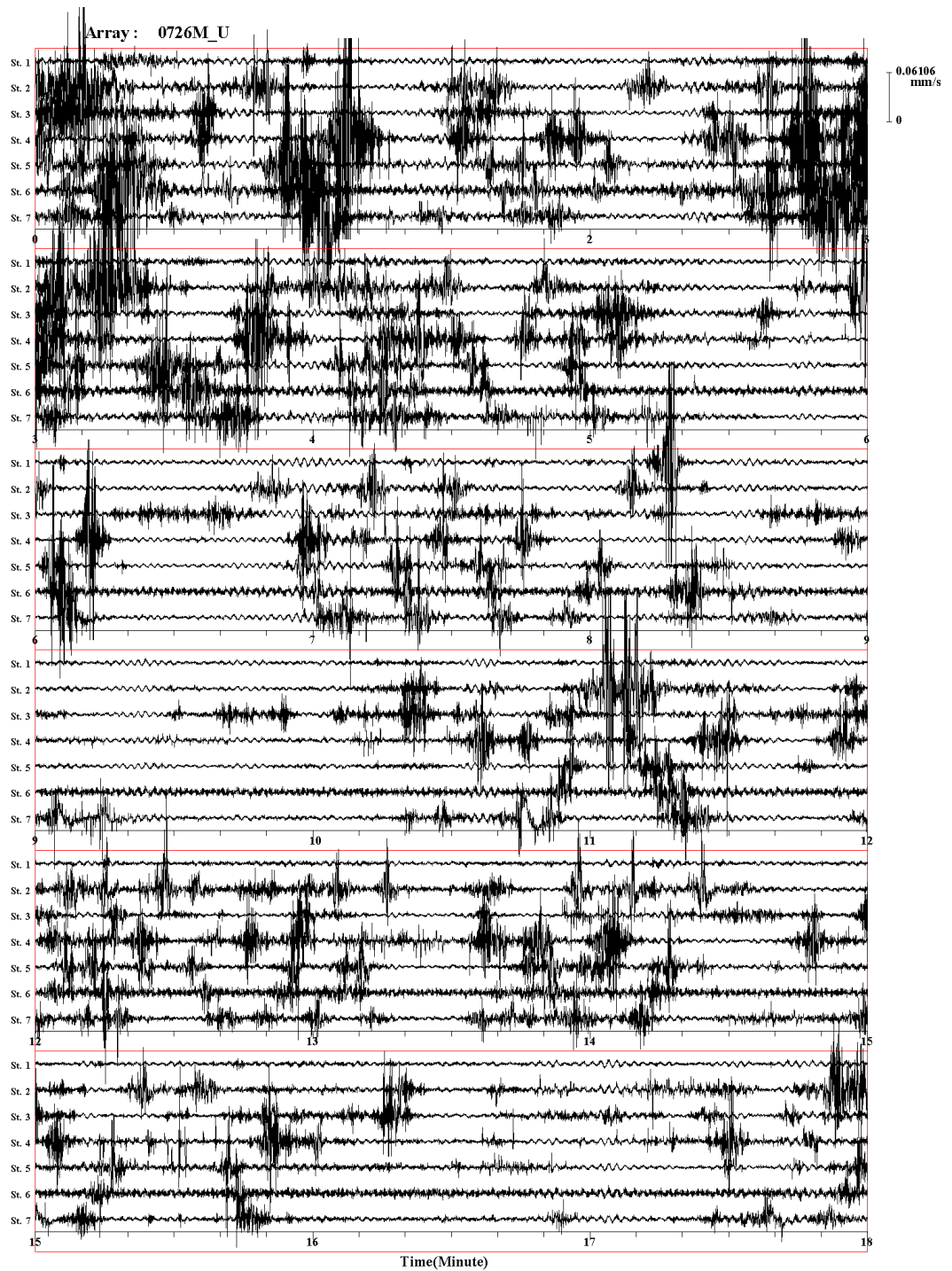


図 A.1.2.2-1(2) 大宮 (Mアレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

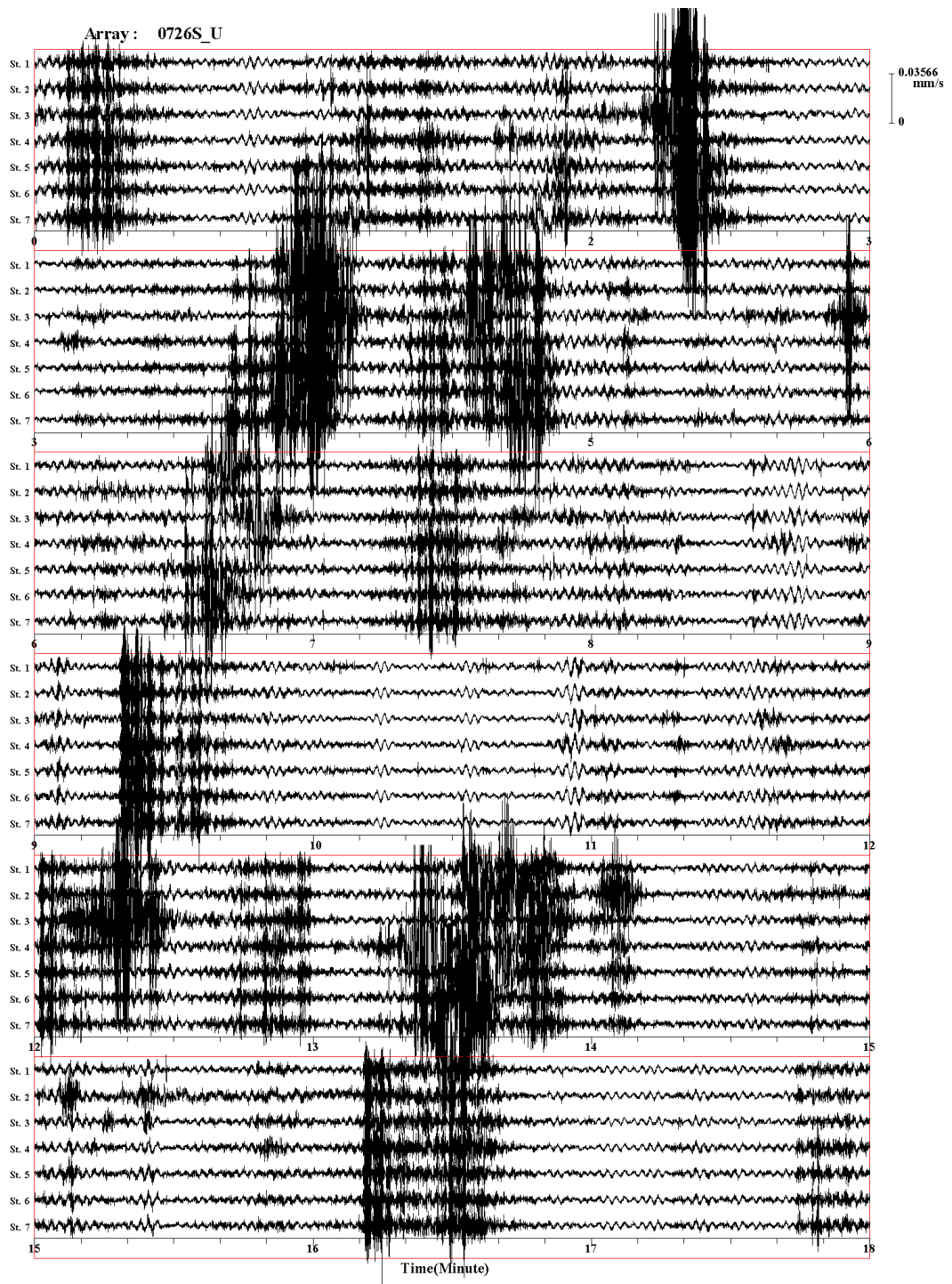


図 A.1.2.2-1(3) 大宮 (S アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

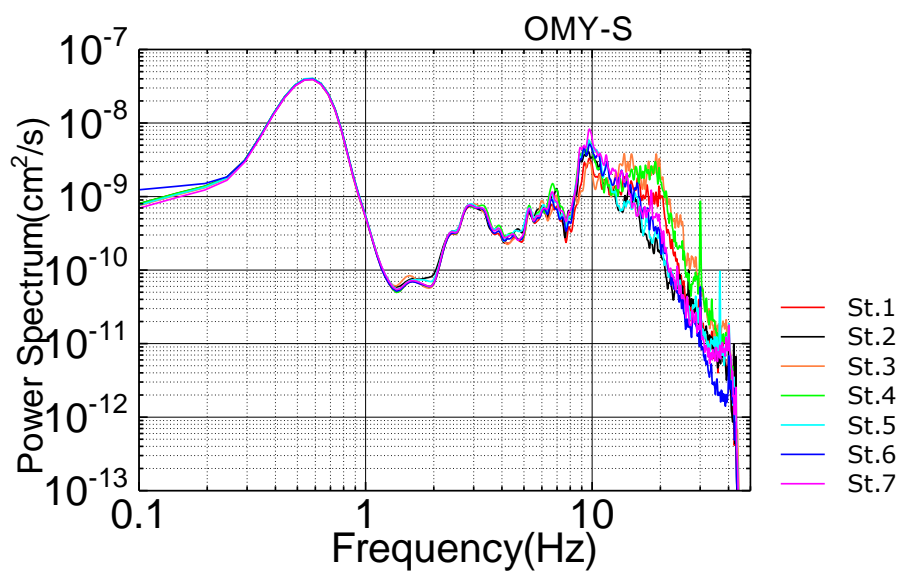
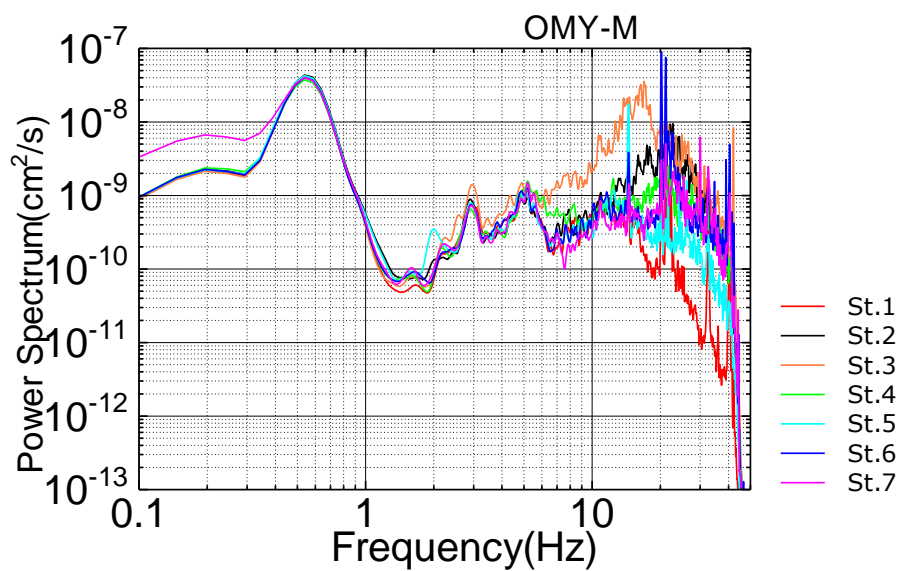
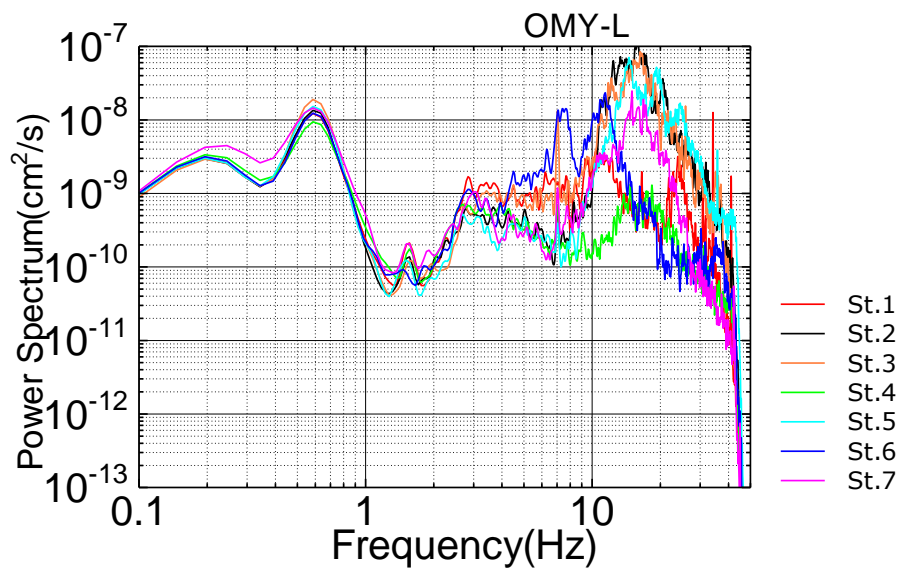


図 A.1.2.2-2 大宮 (L, M、S アレイ) における各観測点の 5 ブロックの平均パワースペクトル

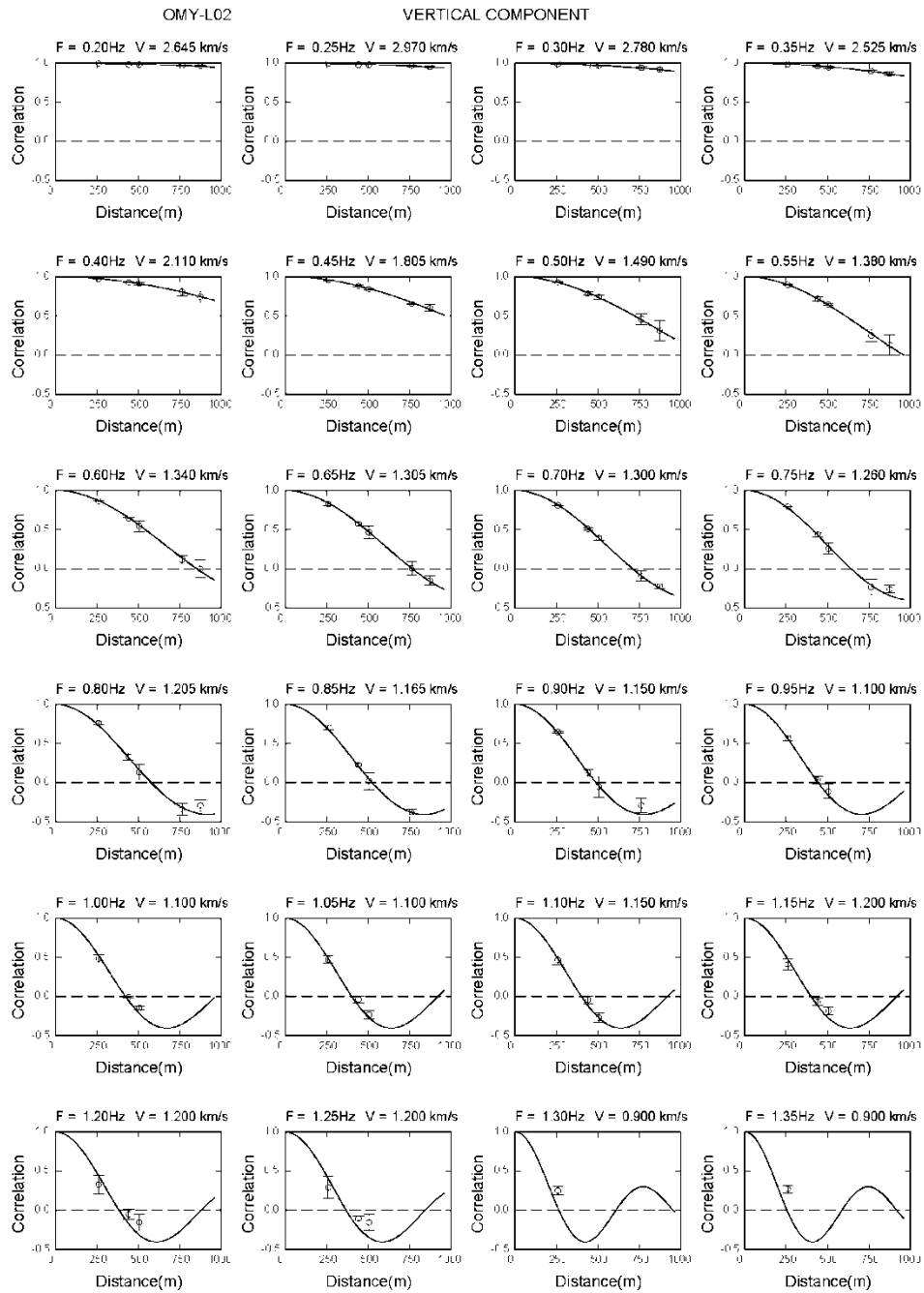


図 A.1.2.2-3(1) 大宮 (Lアレイ) における空間自己相関係数 (図中の○) および得られた空間自己相関係数に対してフィッティングさせた0次のベッセル関数(J_0) (図中の実線) の例

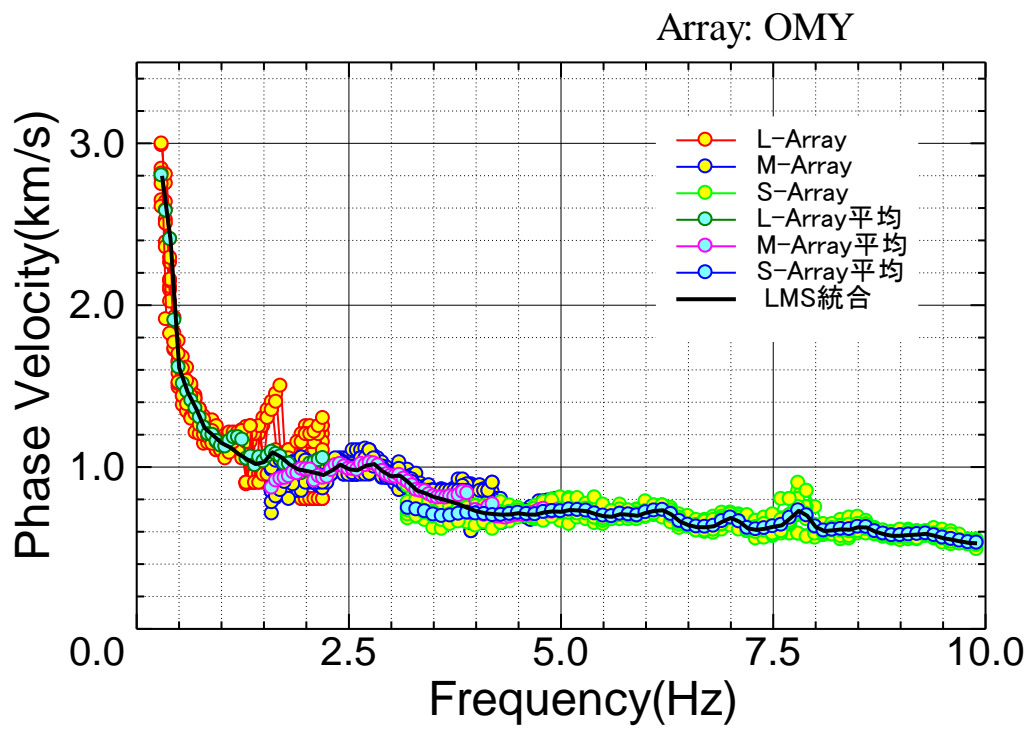


図 A.1.2.2-4 大宮 (L, M, S アレイ) における観測位相速度

③ 高萩における位相速度の推定

微動データについて、Lアレイ、MアレイとSアレイの各観測点ではサンプリング間隔100Hzで、記録長はLアレイは90分間、Mアレイは60分間、Sアレイ45分間である。図A.1.2.3-1に得られた観測微動波形例(UD成分)を示す。解析にはL、Mアレイの場合、40.96秒間を解析区間の単位として40秒間ずらしながら、時間的、空間的に安定した5区間に対してSPAC法(Aki, 1957)を適用し、微動中に含まれる表面波(Rayleigh波)位相速度1つを推定し、これを繰り返して、同様な位相速度9つ(合計45区間)を推定する。この9つの位相速度の平均値と標準偏差は高萩アレイの位相速度の平均値と標準偏差となる。

空間自己相関係数の推定に用いた解析パラメータを表A.1.2.3-1に示す。なお、スペクトルを求める際のスムージング長について、Lアレイは0.195313Hz、Mアレイは0.244141Hz、Sアレイは0.341797Hzである。図A.1.2.3-2に各観測点5区間の平均パワースペクトルを示す。図A.1.2.3-3に得られた空間自己相関係数(図中の○)の例を示す。図中の実線は空間自己相関係数に対してフィッティングさせた0次のベッセル関数(J_0)を示しており、そのフィッティングから位相速度が得られる。図A.1.2.3-4に観測位相速度を示す。

表 A.1.2.3-1 空間自己相関係数の計算に用いた解析パラメータ (高萩)

アレイ	L	M	S
データブロック長	40.96s	40.96s	40.96s
ブロック移動時間	40.0s	40.0s	40.0s
ブロック数	45	45	45
解析周波数範囲	0.0-5.0Hz	0.0-5.0Hz	0.0-10.0Hz
インバージョン で用いた周波数範囲	0.30-1.20Hz	1.20-2.50Hz	2.50-9.90Hz
解析周波数間隔	0.05Hz	0.05Hz	0.10Hz

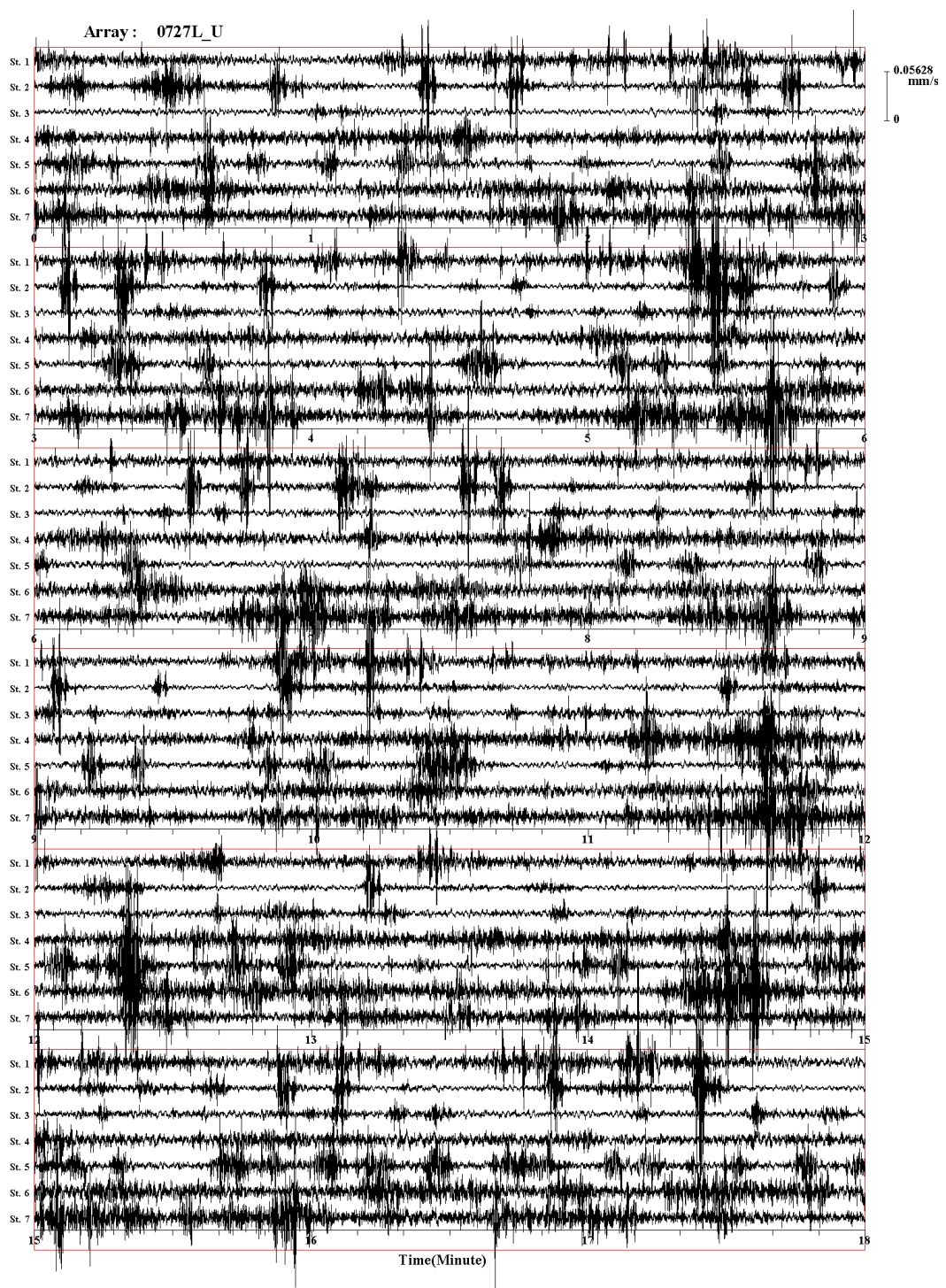


図 A.1.2.3-1(1) 高萩 (Lアレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

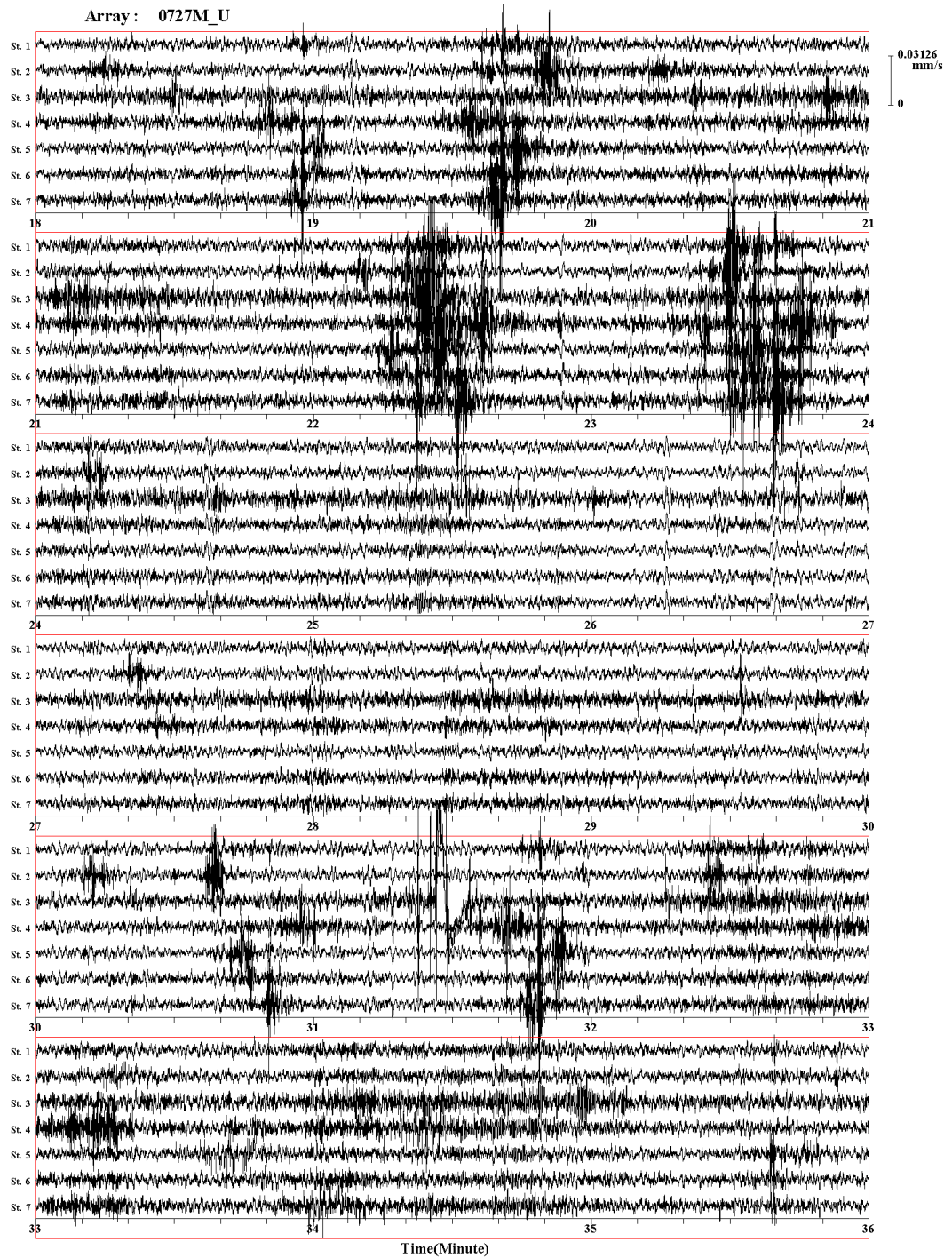


図 A.1.2.3-1(2) 高萩 (M アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

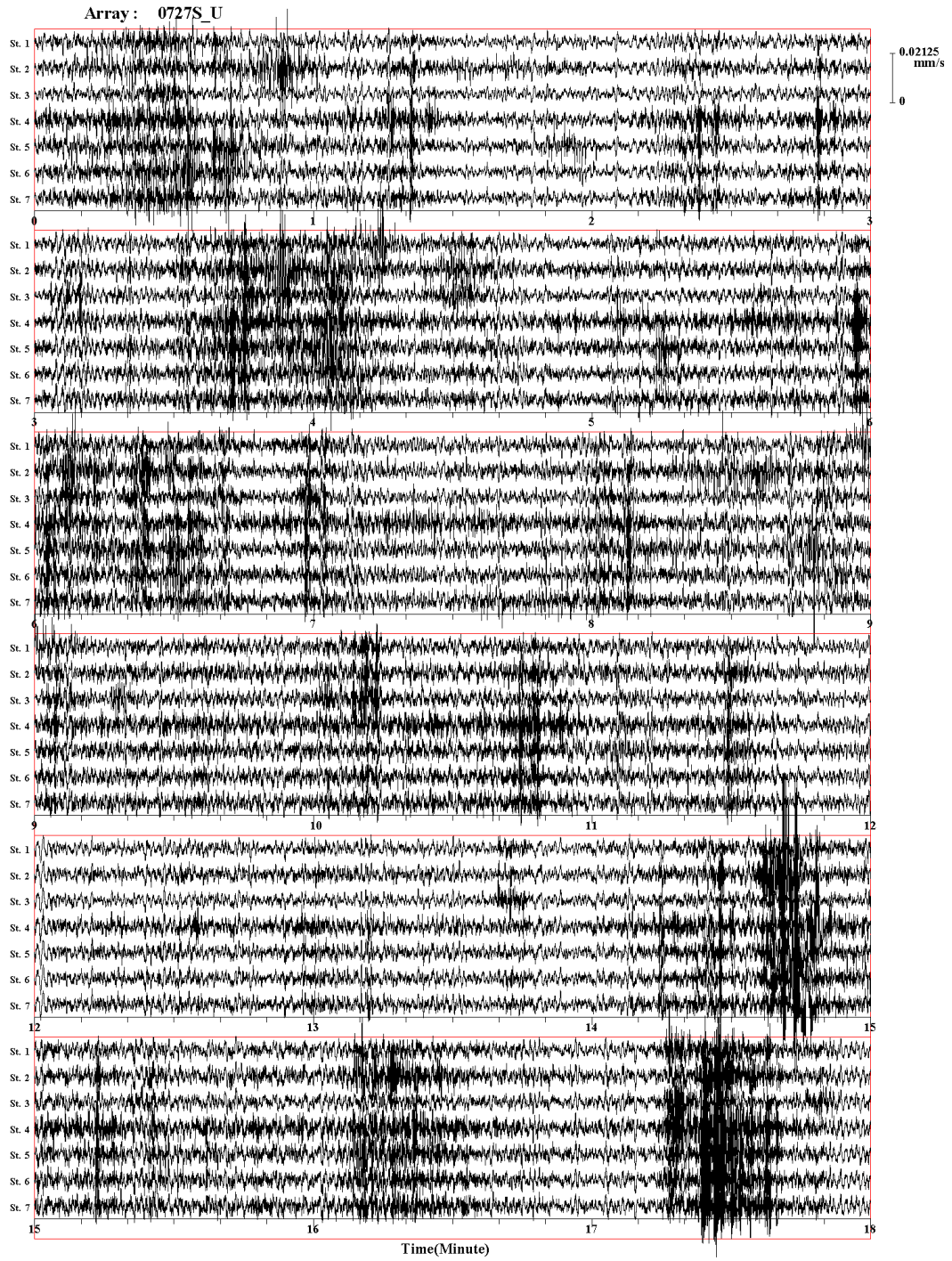


図 A.1.2.3-1(3) 高萩 (Sアレイ) における観測微動波形の例(UD成分)

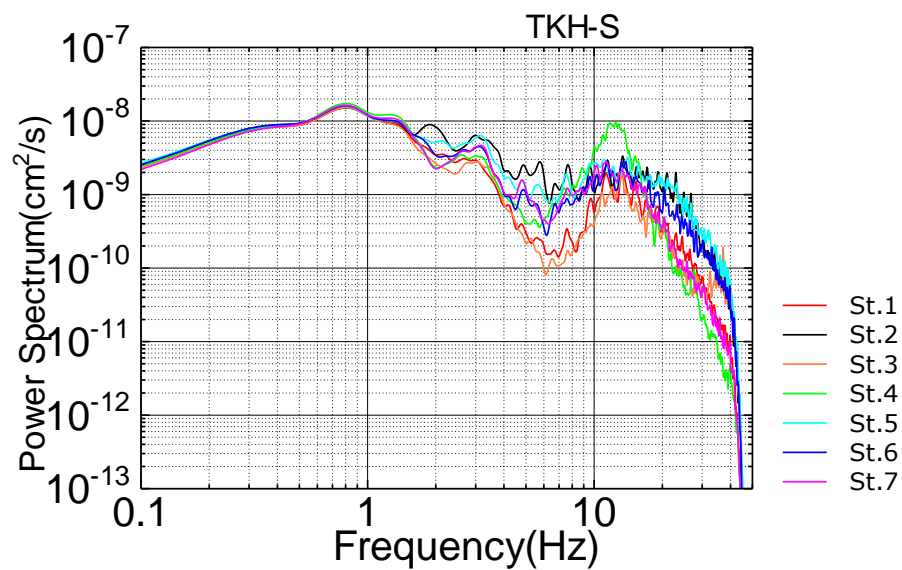
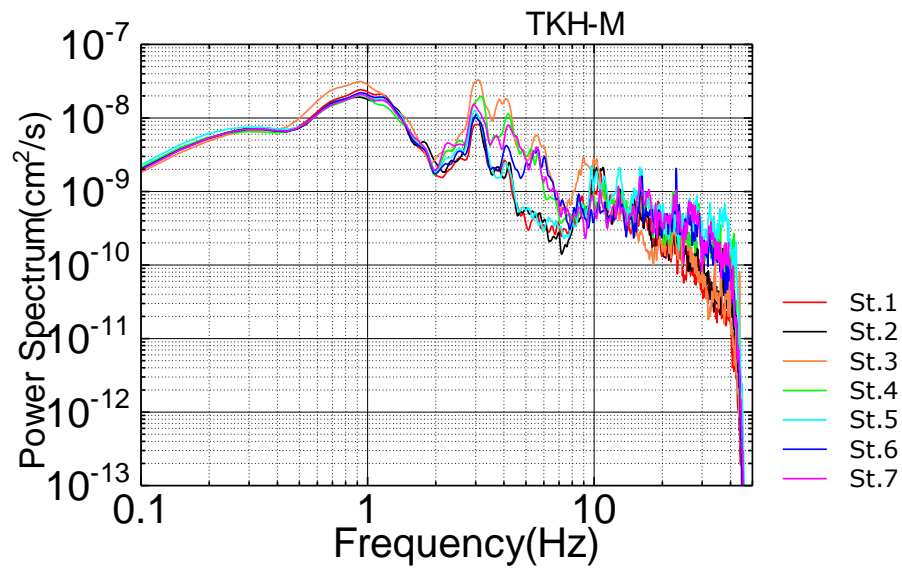
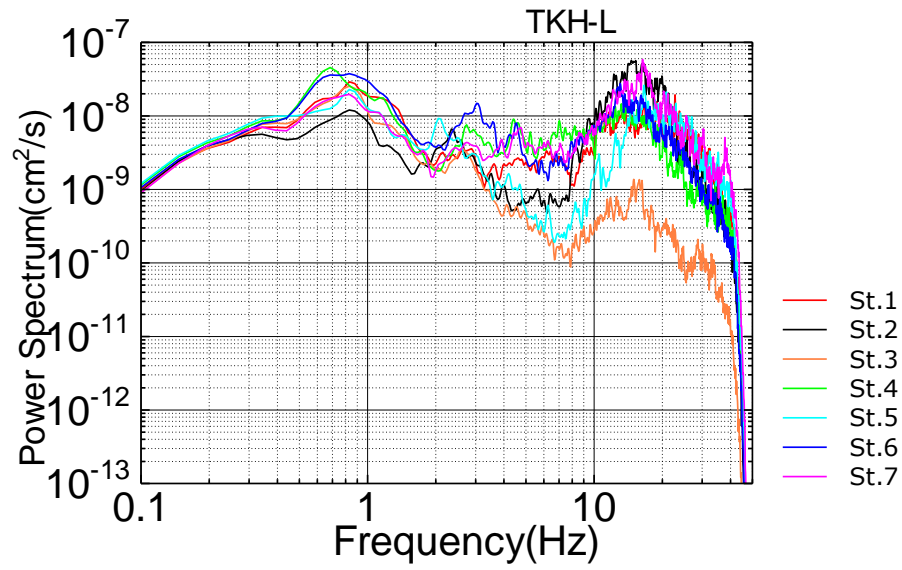


図 A.1.2.3-2 高萩 (L, M, S アレイ) における各観測点の5ブロックの平均パワースペクトル

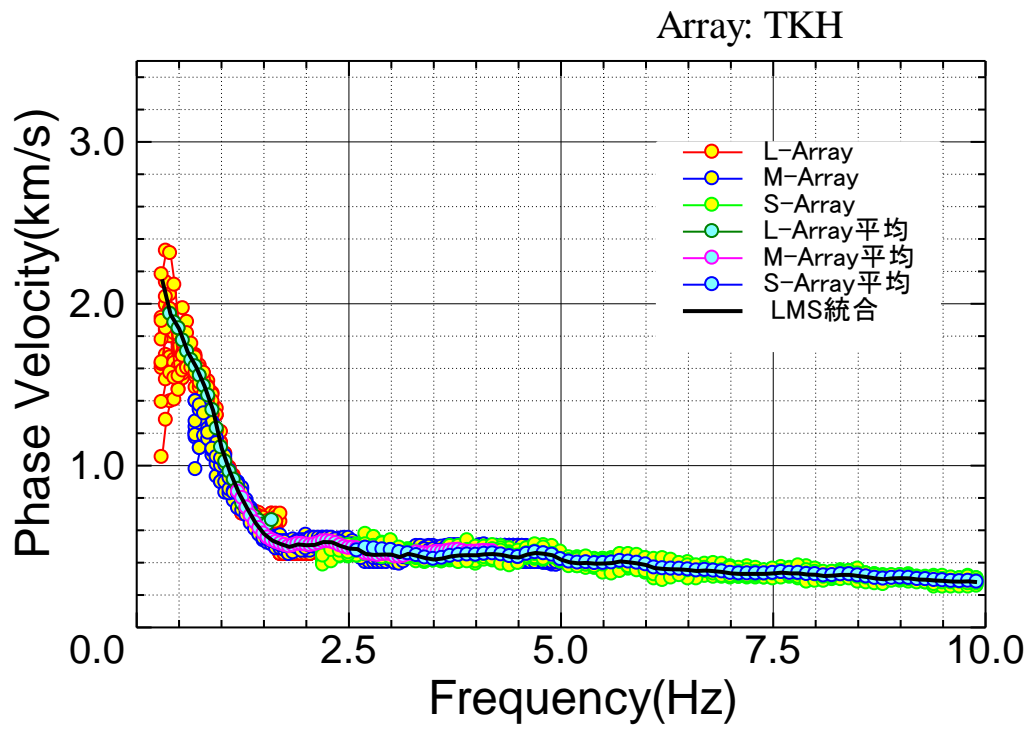


図 A.1.2.3-4 高萩 (L, M, S アレイ) における観測位相速度

④ 日立における位相速度の推定

微動データについて、Lアレイ、MアレイとSアレイの各観測点ではサンプリング間隔100Hzで、記録長はLアレイ75分間、Mアレイ60分間、Sアレイでは45分間である。図A.1.2.4-1に得られた観測微動波形例(UD成分)を示す。解析にはL、M、Sともに40.96秒間を解析区間の単位として40秒間ずらしながら、時間的、空間的に安定した5区間に対してSPAC法(Aki, 1957)を適用し、微動中に含まれる表面波(Rayleigh波)位相速度1つを推定し、これを繰り返し、同様な位相速度9つ(合計45区間)を推定する。この9つの位相速度の平均値と標準偏差は日立アレイの位相速度の平均値と標準偏差となる。

空間自己相関係数の推定に用いた解析パラメータを表A.1.2.4-1に示す。なお、スペクトルを求める際のスムージング長について、Lアレイは0.195313Hz、Mアレイは0.292969Hz、Sアレイは0.439453Hzである。図A.1.2.4-2に得られた各観測点の5区間の平均パワースペクトルを示す。図A.1.2.4-3に得られた空間自己相関係数(図中の○)の例を示す。図中の実線は空間自己相関係数に対してフィッティングさせた0次のベッセル関数(J_0)を示しており、そのフィッティングから位相速度が得られる。図A.1.2.4-4に観測位相速度を示す。

表 A.1.2.4-1 空間自己相関係数の計算に用いた解析パラメータ (日立)

アレイ	L	M	S
データブロック長	40.96s	40.96s	40.96s
ブロック移動時間	40.0s	40.0s	40.0s
ブロック数	45	45	45
解析周波数範囲	0.0-5.0Hz	0.0-5.0Hz	0.0-10.0Hz
インバージョン で用いた周波数範囲	0.90-1.50Hz	1.50-4.60Hz	4.60-9.90Hz
解析周波数間隔	0.05Hz	0.05Hz	0.10Hz

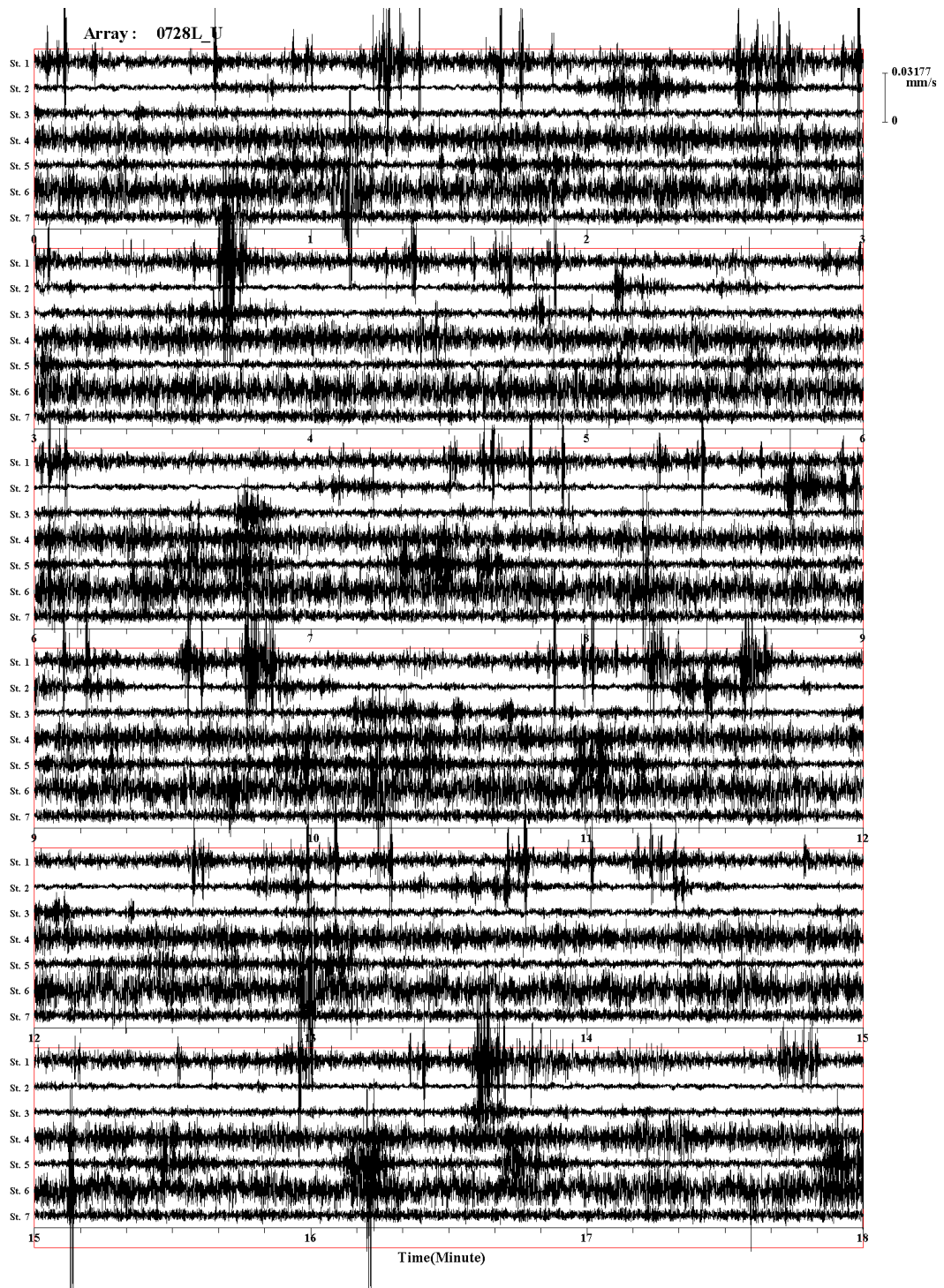


図 A.1.2.4-1(1) 日立 (Lアレイ) における観測微動波形の例(UD成分)

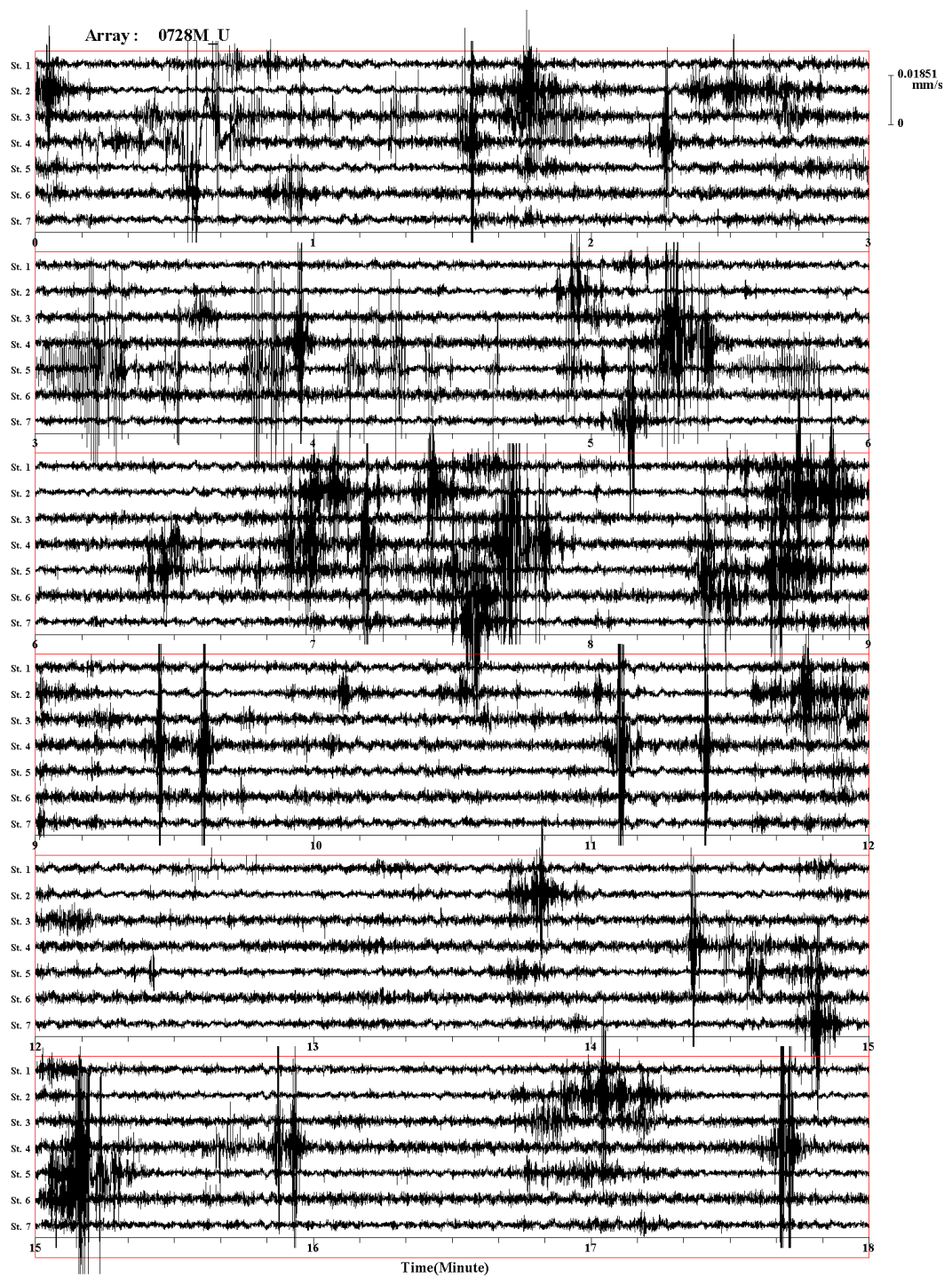


図 A.1.2.4-1(2) 日立 (M アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

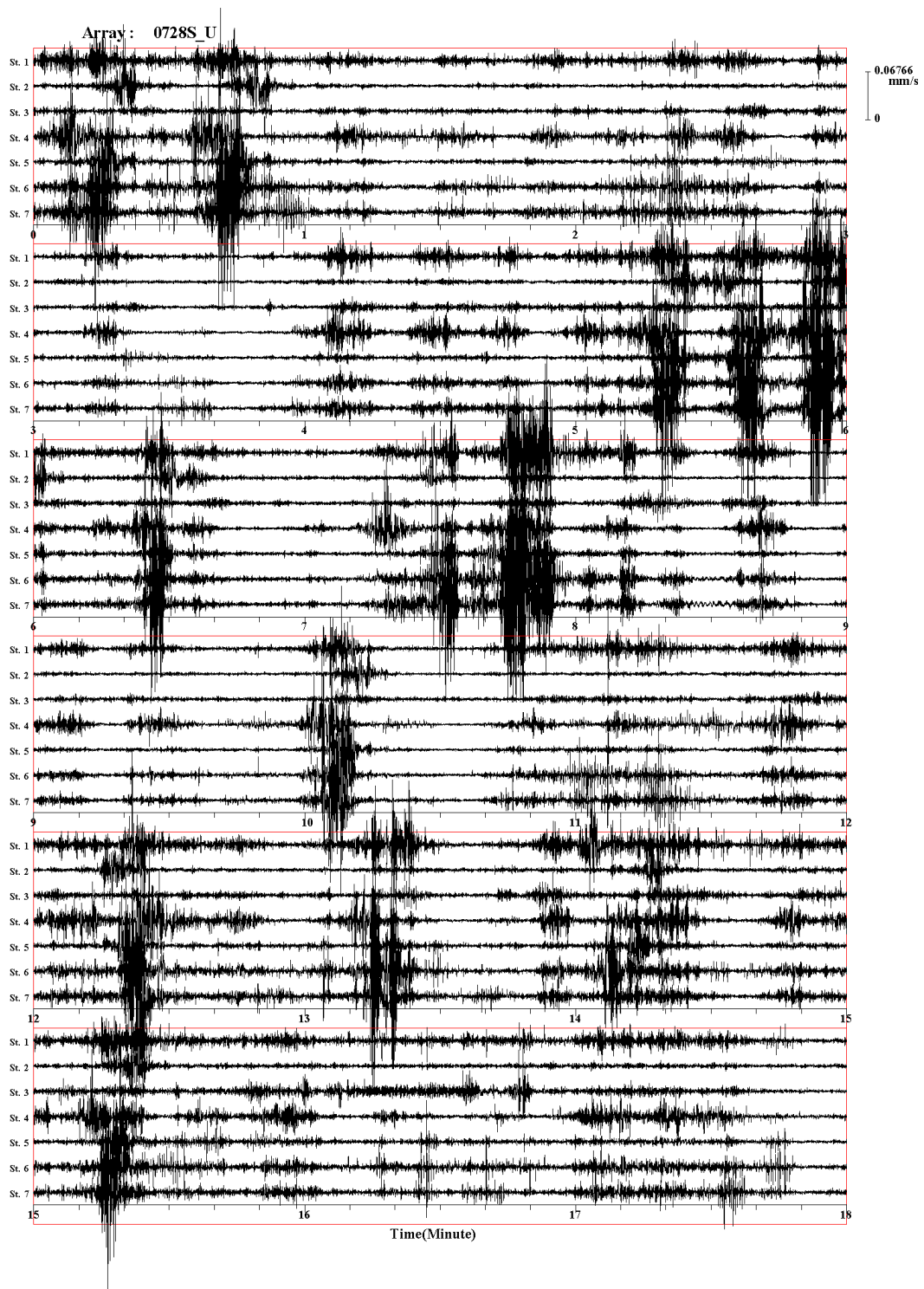


図 A.1.2.4-1(3) 日立 (S アレイ) における観測微動波形の例(UD 成分)

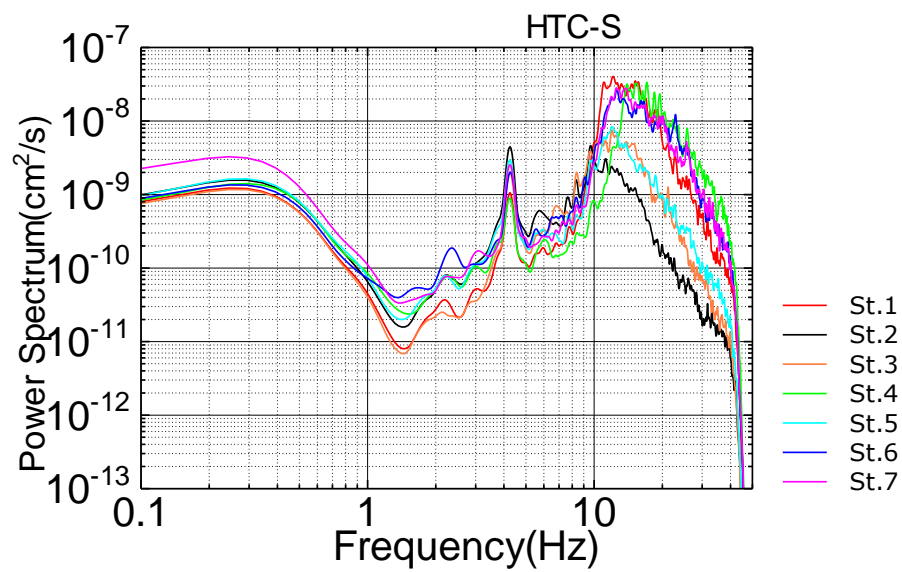
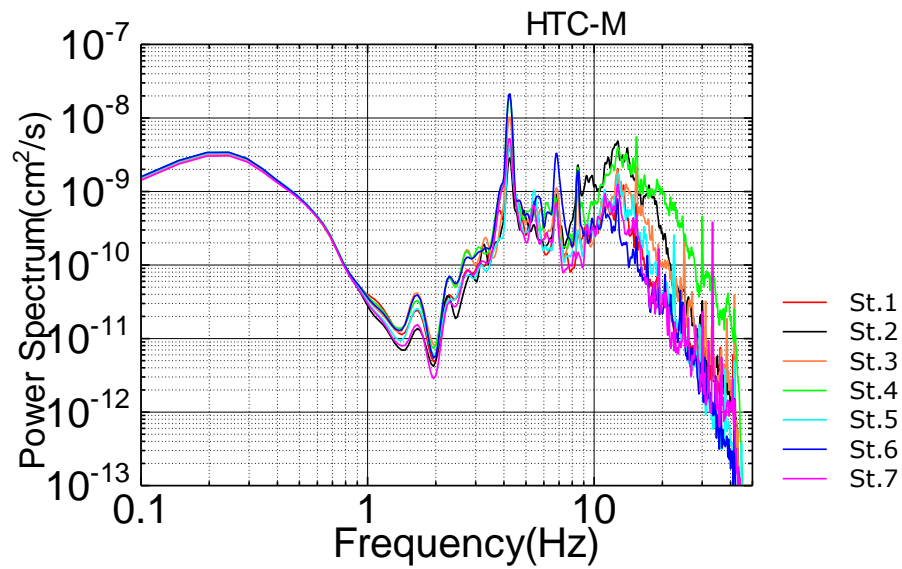
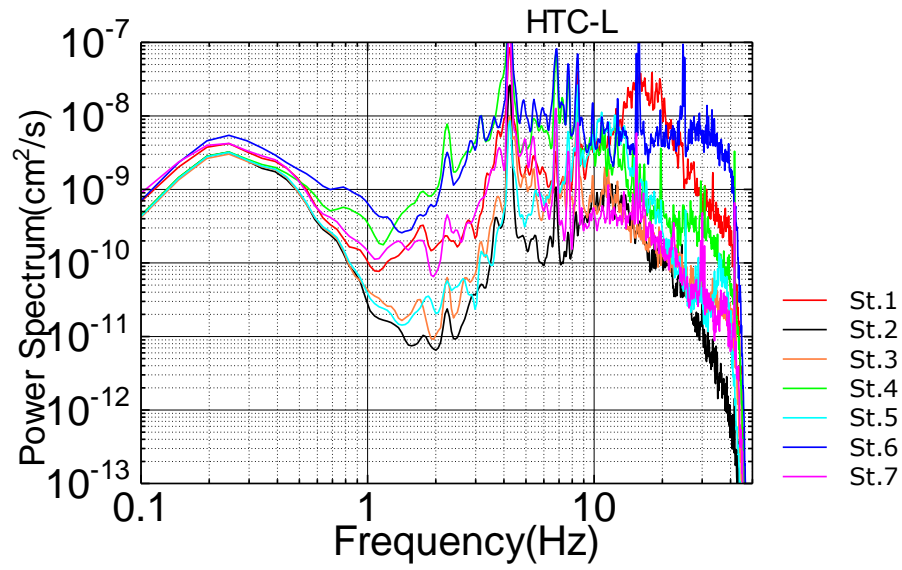


図 A.1.2.4-2 日立 (L, M, S アレイ) における各観測点の5ブロックの平均パワースペクトル

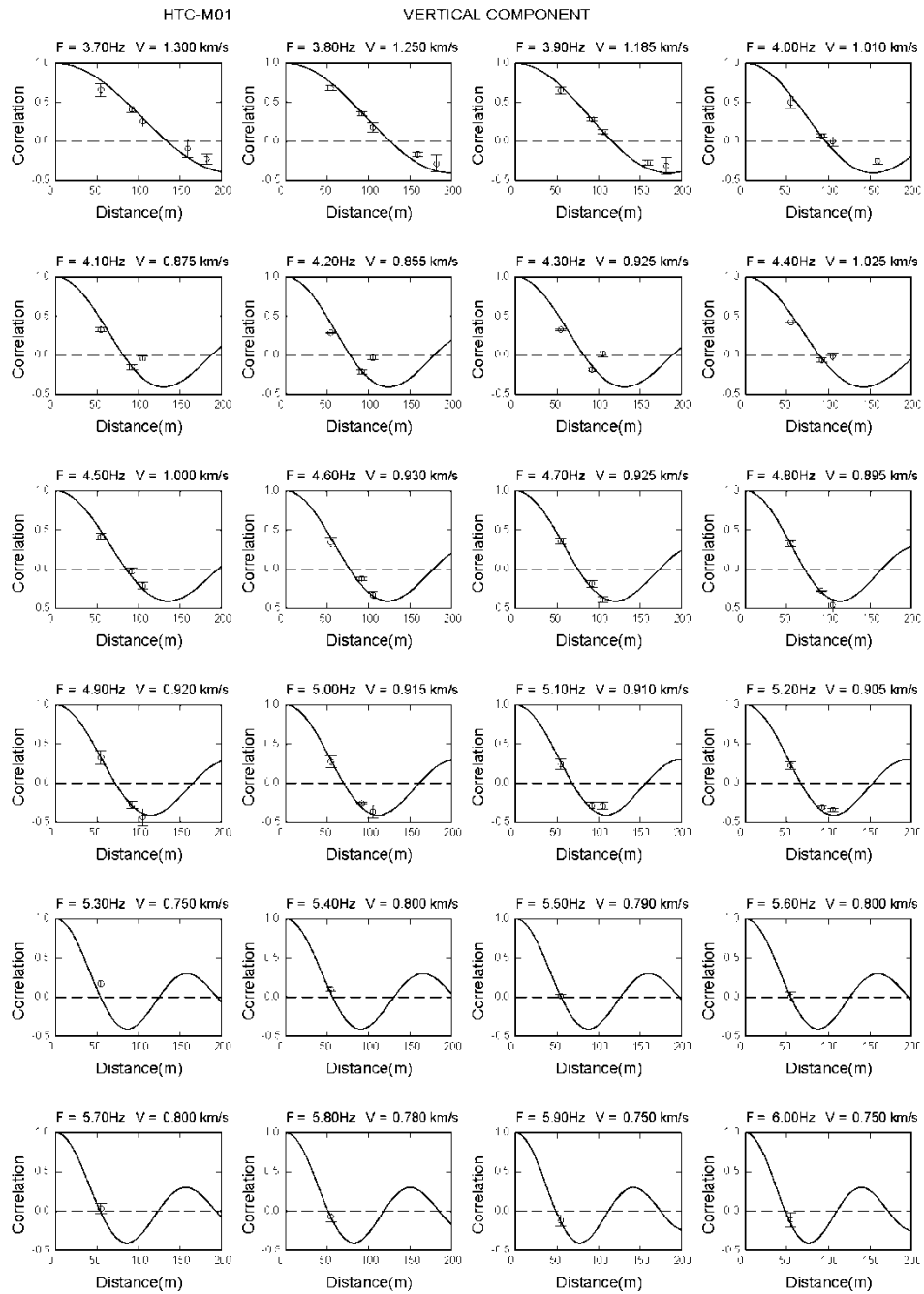


図 A.1.2.4-3(2) 日立 (Mアレイ) における空間自己相関係数 (図中の○) および得られた空間自己相関係数に対してフィッティングさせた0次のベッセル関数(J_0) (図中の実線) の例

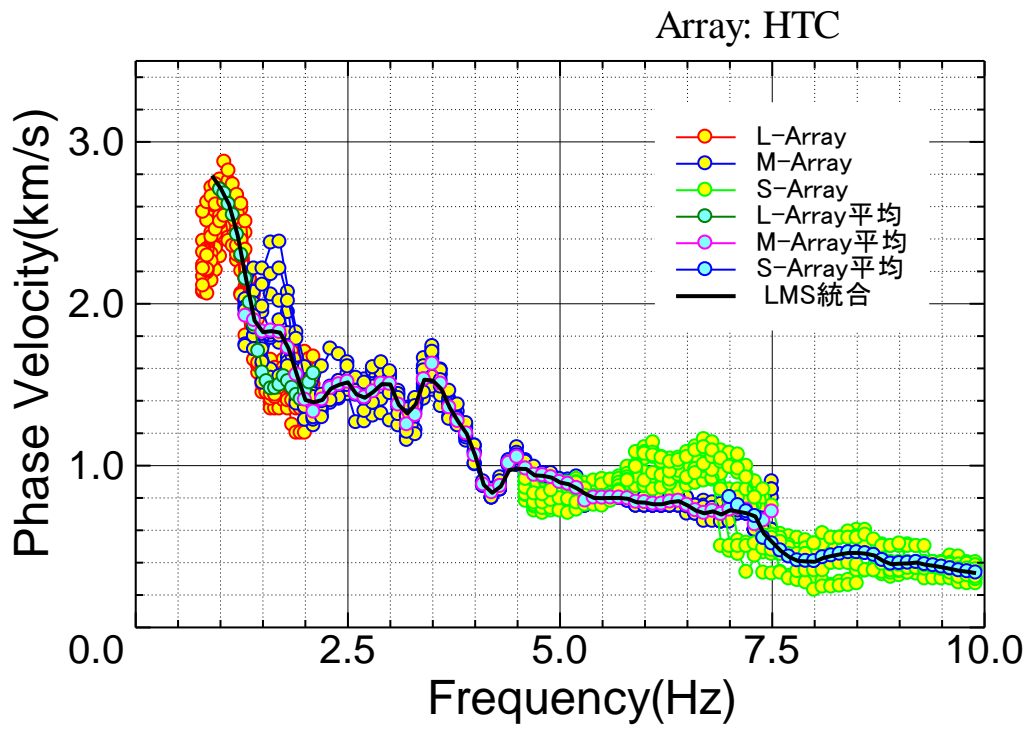


図 A.1.2.4-4 日立 (L, M, S アレイ) における観測位相速度

⑤ S波速度構造モデルの推定

観測位相速度に対してGA (Genetic Algorithm ; 長・他, 1999) を用いてS波速度構造モデルを求めた。GAの計算では、層数ができるだけ少ないモデルで観測位相速度が説明できるように試行錯誤を行い、4層+半無限速度構造モデルを採用した。なお、前述したようにP波速度および密度はLudwig et al. (1970)による既存の統計資料からS波速度の関数としている。山方、大宮、高萩、日立において表A.1.2.5-1～表A.1.2.5-4で示すS波速度およびその層厚の探索範囲を設定して速度構造モデルの推定を行った。その際、GAのパラメータとして、1世代当たりの個体数を10、世代数は5000世代とし、乱数の初期値を変えて10回試行し、残差最小解を最適な速度構造モデルとした。推定された地下構造モデルの物性値を表A.1.2.5-5～表A.1.2.5-8に示す。図A.1.2.5-1～図A.1.2.5-4にそれぞれ山方、大宮、高萩、日立での観測位相速度とともに最適な地下構造モデルによるRayleigh波基本モードの位相速度分散曲線を示す。また、山方、大宮、高萩、日立でのS波速度構造モデルを図A.1.2.5-5～図A.1.2.5-8に示す。各観測点ともに推定地下構造モデルによるRayleigh波基本モードの位相速度分散曲線は観測位相速度とよく一致しており、観測位相速度をよく説明できる地下構造モデルの推定が可能であった。

表 A.1.2.5-1 GA の探索範囲 (山方 YMG)

No.	層厚 (m)		Vs (km/s)	
	下 限	上 限	下 限	上 限
1	15	40	0.350	0.600
2	30	55	0.850	1.200
3	300	450	1.500	2.500
4	20	50	2.600	3.200
5	---	---	3.200	3.600

表 A.1.2.5-2 GA の探索範囲 (大宮 OMY)

No.	層厚 (m)		Vs (km/s)	
	下 限	上 限	下 限	上 限
1	10	35	0.300	0.500
2	60	110	0.600	0.850
3	450	600	1.000	1.400
4	850	1100	1.400	2.000
6	---	---	2.800	3.600

表 A.1.2.5-3 GA の探索範囲 (高萩 TKH)

No.	層厚 (m)		Vs (km/s)	
	下 限	上 限	下 限	上 限
1	10	40	0.250	0.400
2	140	200	0.450	0.600
3	650	900	1.400	2.000
4	1100	1350	2.000	2.500
5	---	---	2.800	3.600

表 A.1.2.5-4 GA の探索範囲 (日立 HTC)

No.	層厚 (m)		Vs (km/s)	
	下 限	上 限	下 限	上 限
1	10	40	0.250	0.450
2	60	90	0.750	1.200
3	150	250	1.400	1.800
4	200	450	1.600	2.200
5	---	---	2.900	3.600

表 A.1.2.5-5 推定地下構造モデルによる各層の物性値 (山方 YMG)

No.	Thickness (m)	Depth (m)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Density (g/cm ³)
1	25	0-25	0.455	1.85	1.86
2	40	25-65	1.000	2.38	2.07
3	367	65-432	1.815	3.44	2.30
4	30	432-462	2.980	5.19	2.56
5	---	---	3.480	6.07	2.73

表 A.1.2.5-6 推定地下構造モデルによる各層の物性値 (大宮 OMY)

No.	Thickness (m)	Depth (m)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Density (g/cm ³)
1	19	0-19	0.415	1.81	1.84
2	80	19-99	0.750	2.14	1.99
3	500	99-599	1.160	2.53	2.12
4	980	599-1579	1.655	3.22	2.26
5	---	---	3.350	5.82	2.68

表 A.1.2.5-7 推定地下構造モデルによる各層の物性値（高萩 TKH）

No.	Thickness (m)	Depth (m)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Density (g/cm ³)
1	22	0-22	0.300	1.70	1.78
2	168	22-190	0.505	1.89	1.88
3	790	190-980	1.800	3.42	2.30
4	1250	980-2230	2.120	3.88	2.37
5	---	---	3.050	5.31	2.58

表 A.1.2.5-8 推定地下構造モデルによる各層の物性値（日立 HTC）

No.	Thickness (m)	Depth (m)	Vs (km/s)	Vp (km/s)	Density (g/cm ³)
1	20	0-20	0.330	1.72	1.80
2	75	20-95	0.895	2.27	2.04
3	180	95-275	1.750	3.35	2.28
4	288	275-563	1.860	3.50	2.31
5	---	---	3.500	6.12	2.74

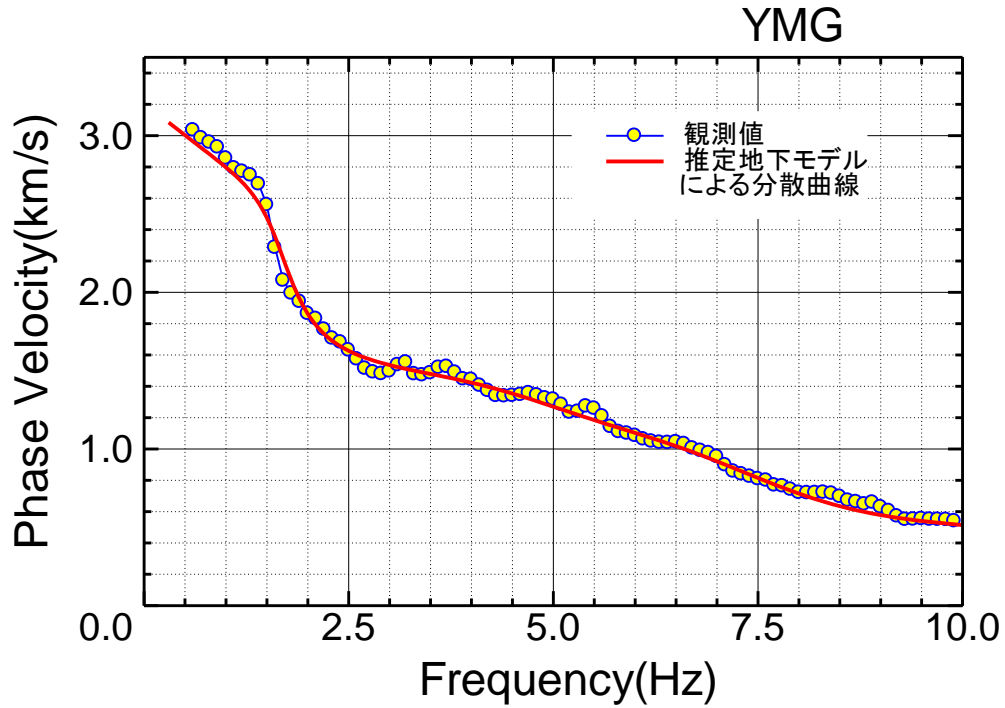


図 A.1.2.5-1 山方における観測位相速度（図中の○）と推定地下構造モデル（表 A.1.2.5-5）から計算される Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線（図中の赤実線）の比較。

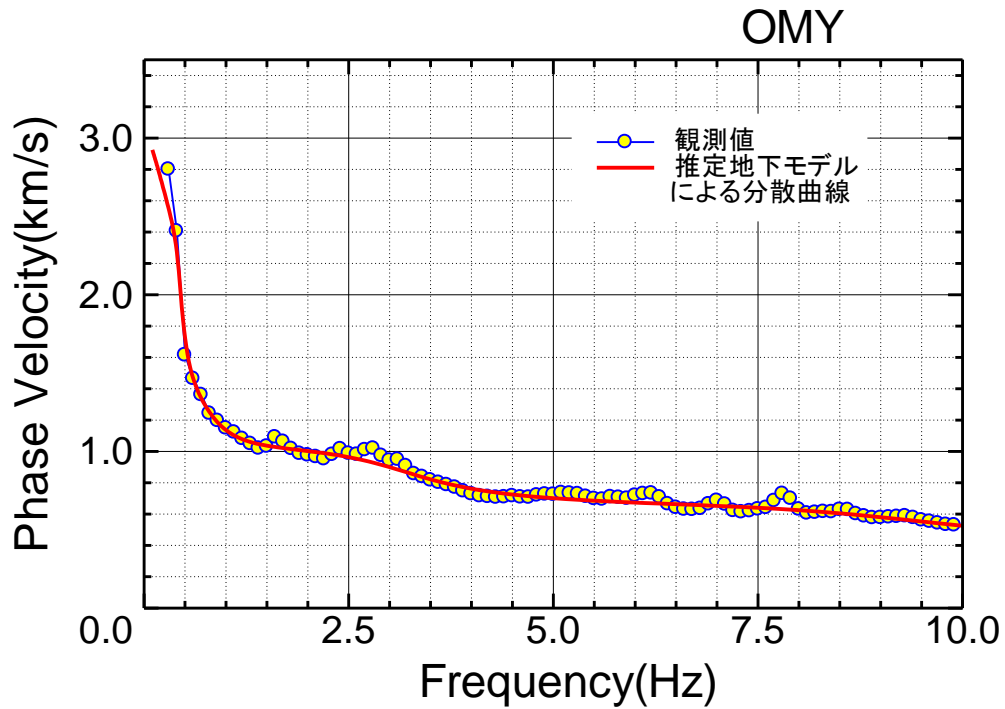


図 A.1.2.5-2 大宮における観測位相速度（図中の○）と推定地下構造モデル（表 A.1.2.5-6）から計算される Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線（図中の赤実線）の比較。

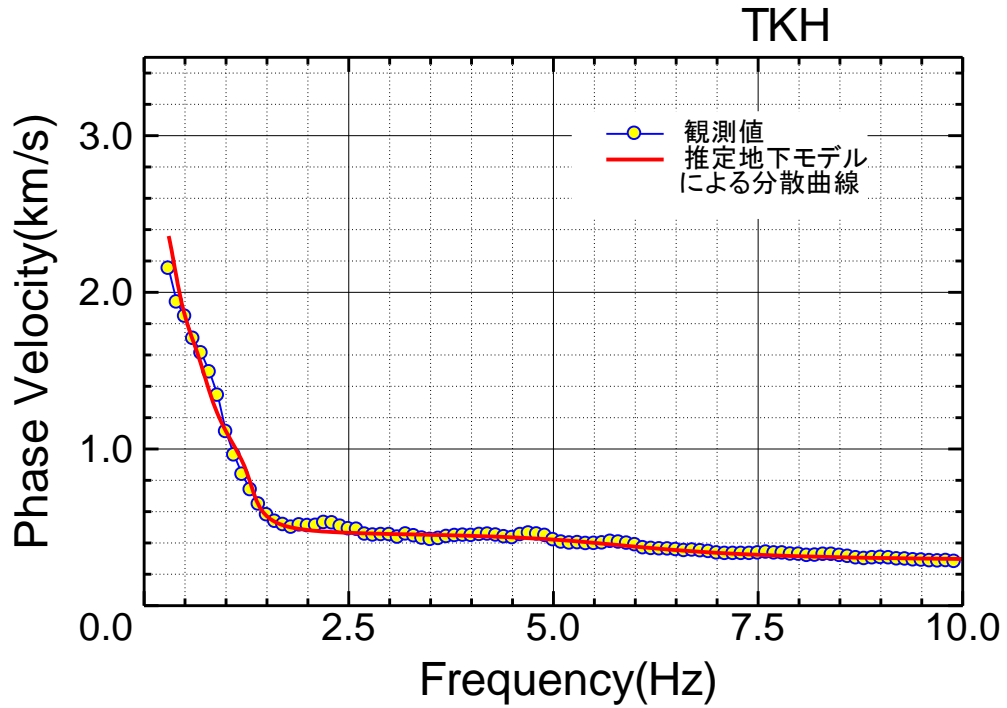


図 A.1.2.5-3 高萩における観測位相速度（図中の○）と推定地下構造モデル（表 A.1.2.5-7）から計算される Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線（図中の赤実線）の比較。

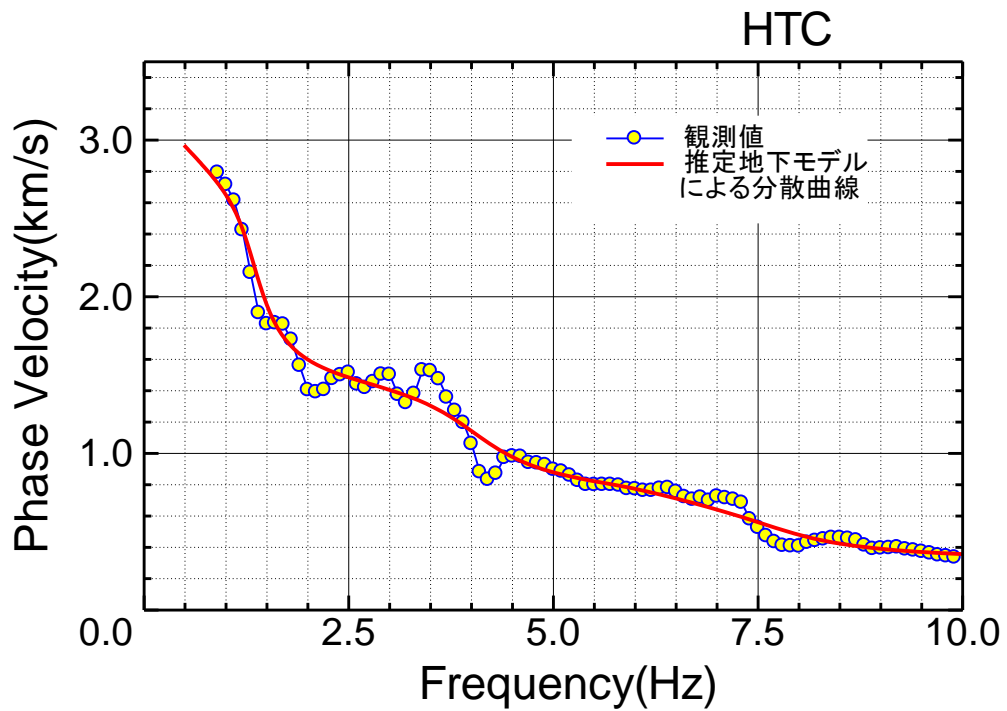


図 A.1.2.5-4 日立における観測位相速度（図中の○）と推定地下構造モデル（表 A.1.2.5-8）から計算される Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線（図中の赤実線）の比較。

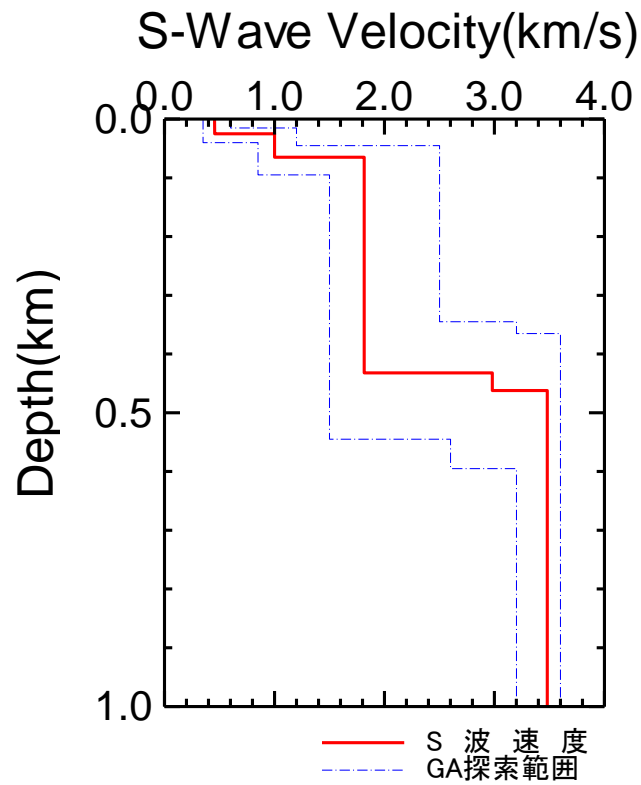


図 A.1.2.5-5 推定地下構造モデルによる S 波速度構造モデル (山方)

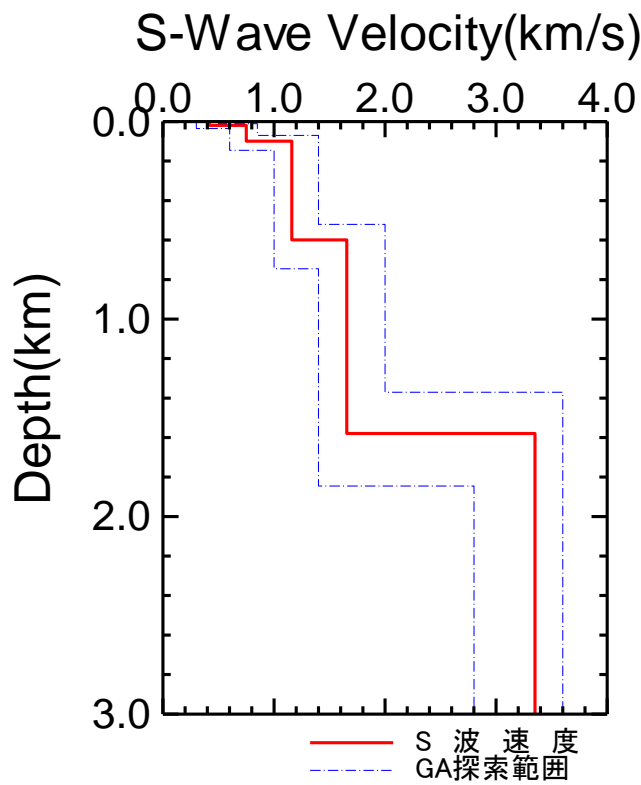


図 A.1.2.5-6 推定地下構造モデルによる S 波速度構造モデル (大宮)

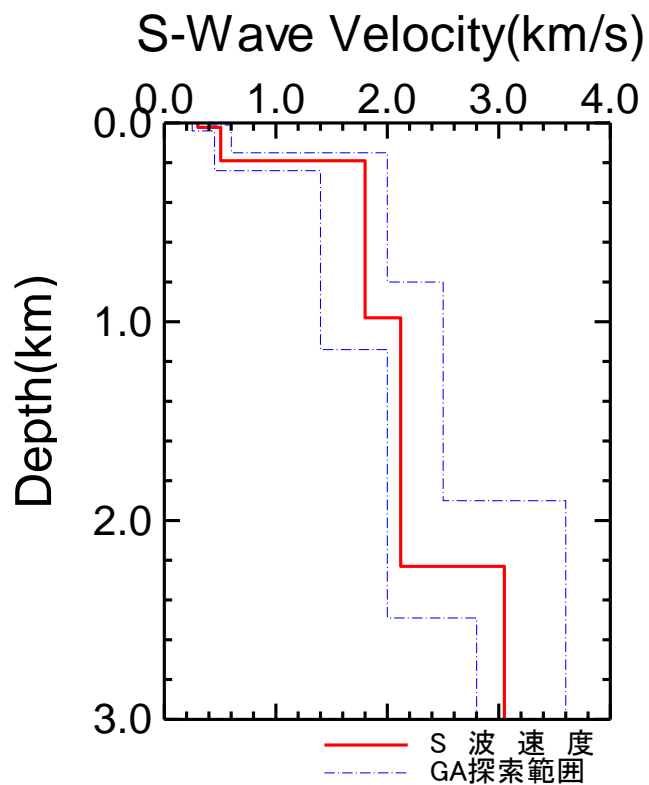


図 A.1.2.5-7 推定地下構造モデルによる S 波速度構造モデル (高萩)

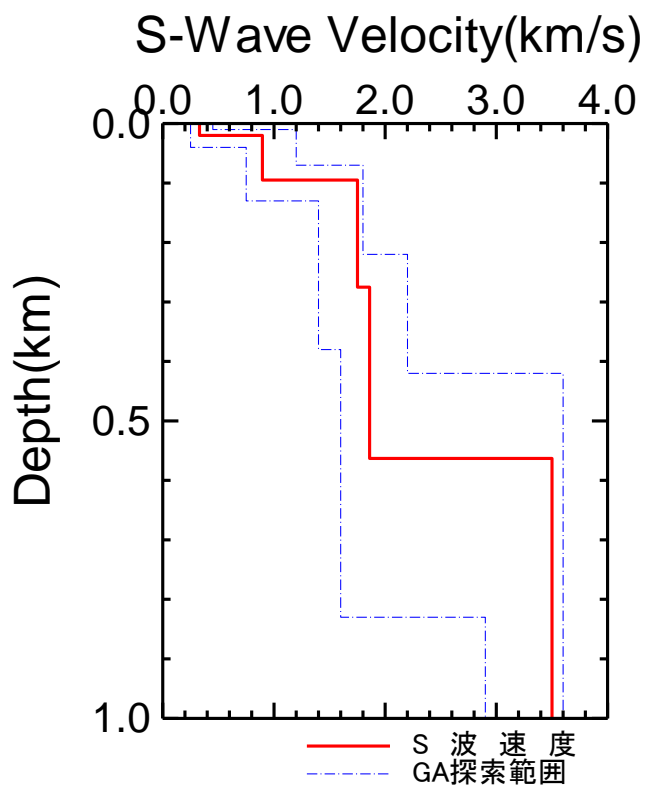


図 A.1.2.5-8 推定地下構造モデルによる S 波速度構造モデル (日立)

⑥ 単点微動における水平動と上下動のスペクトル比(H/V スペクトル比)

茨城県の K-NET 観測点 (IBR002、IBR003、IBR004 と IBRH16) の傍に単点微動 4 ヶ所を設置し、単点微動の観測を行った。

なお、山方、大宮、高萩および日立アレイ観測について、すべての観測点は 3 成分の地震計を使い、3 成分の微動を記録した。ここで、山方アレイ : L1、M1、S1 ; 大宮アレイ : L1、M1、S1 ; 高萩アレイ : L1、M1、S1 および日立アレイの L1、M1、S1 を単点微動として、水平動と上下動のスペクトル比 (H/V スペクトル比) を計算する。

図 A.1.2.6-1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31 に観測点毎の 3 成分微動観測波形を示す。

スペクトル解析を行う場合、収録された微動データに対し、目視で交通ノイズ等を避け、比較的定常な 40.96 秒間の解析区間を 10 区間選び出し、次に、選び出されたブロックのデータから FFT によって、各成分のフーリエスペクトルを計算し、なお、平均フーリエスペクトルを算定する。

次に、次式を用いて H/V スペクトル比を求める。

$$(\text{H/V スペクトル比}) = \frac{\sqrt{(\text{NS 成分}) \times (\text{EW 成分})}}{(\text{UD 成分})}$$

これをその地点の H/V とした。

図 A.1.2.6-2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 に各測点の H/V スペクトル比を示す。図中には成分毎(NS, EW, UD)のフーリエスペクトル、ベクトル合成のスペクトル比を示している。図 A.1.2.6-33～図 A.1.2.6-37 に各アレイの選んだ測点における H/V の卓越周波数を示す。図 A.1.2.6-38 に上述の方法から得られた観測卓越周波数 (以下、観測値) と推定した地下構造で計算した卓越周波数 (以下、計算値) の比較を示す。図を見て分かるように、各アレイは観測値と計算値はよく一致しているが分かる。

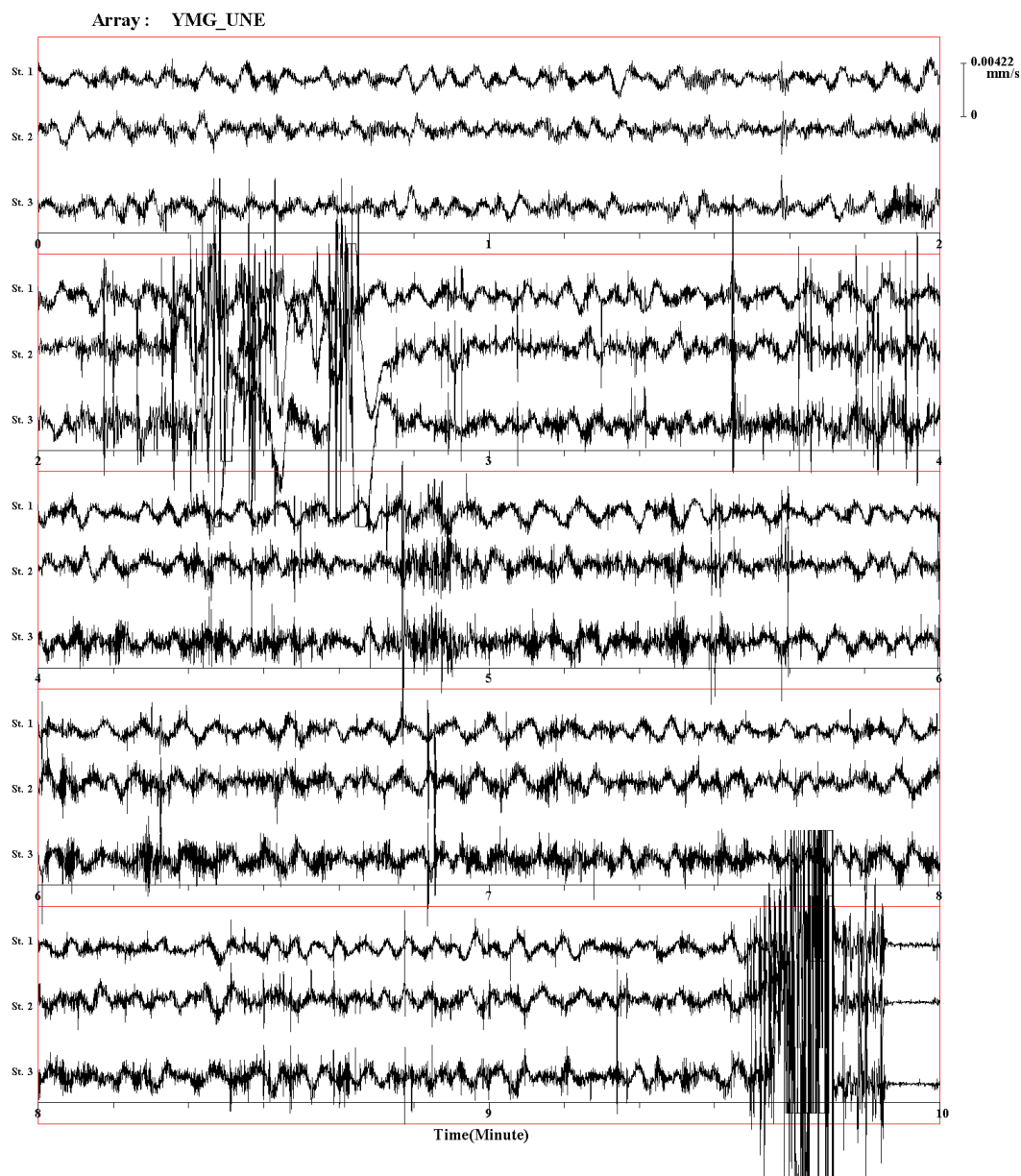


図 A.1.2.6-1 山方観測点 (IBRH16) 傍における微動の3成分波形

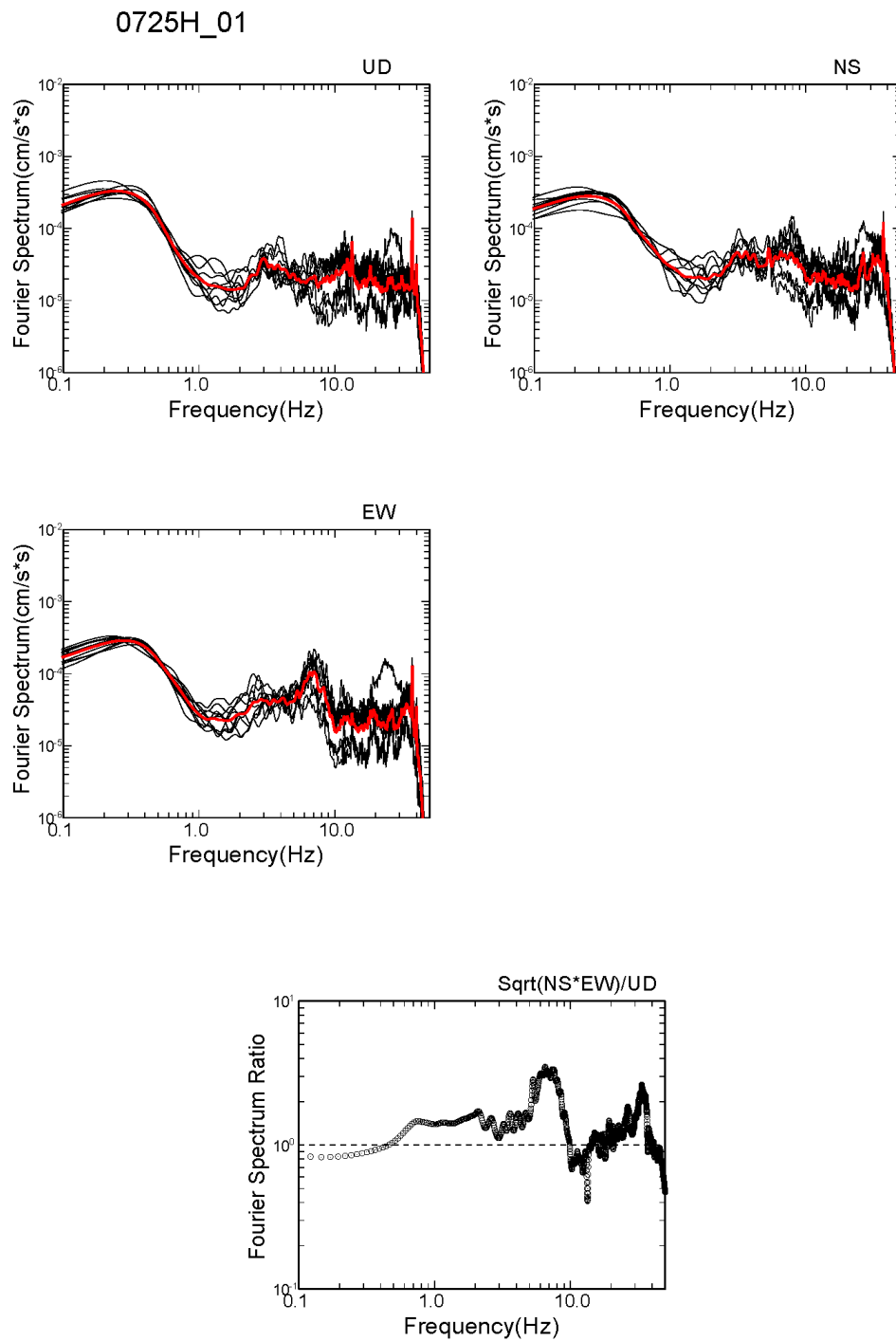


図 A.1.2.6-2 山方観測点 (IBRH16) 傍における微動 UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線 (下の図)：平均スペクトル比

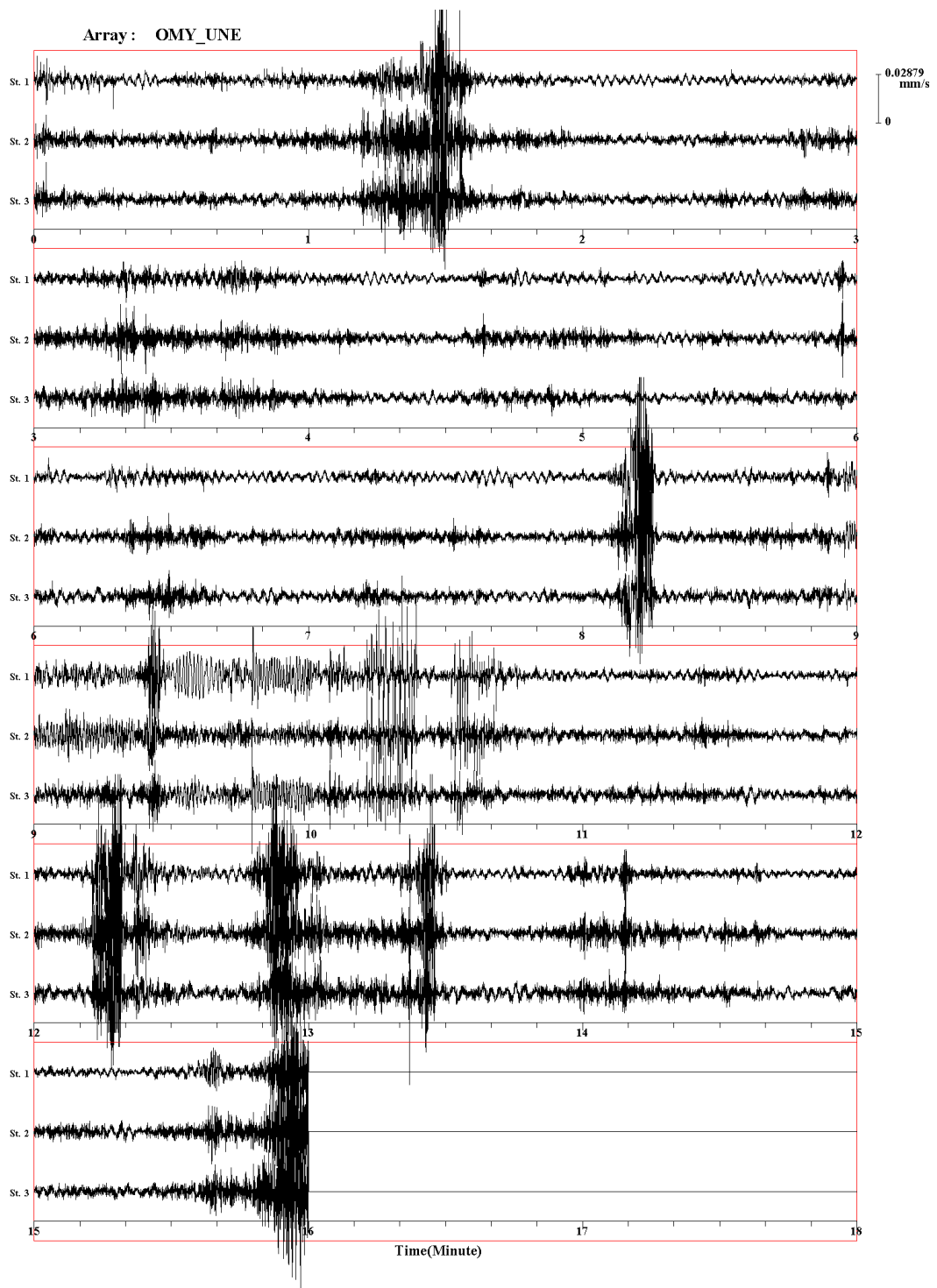


図 A.1.2.6-3 大宮観測点 (IBR004) 傍における微動の3成分波形

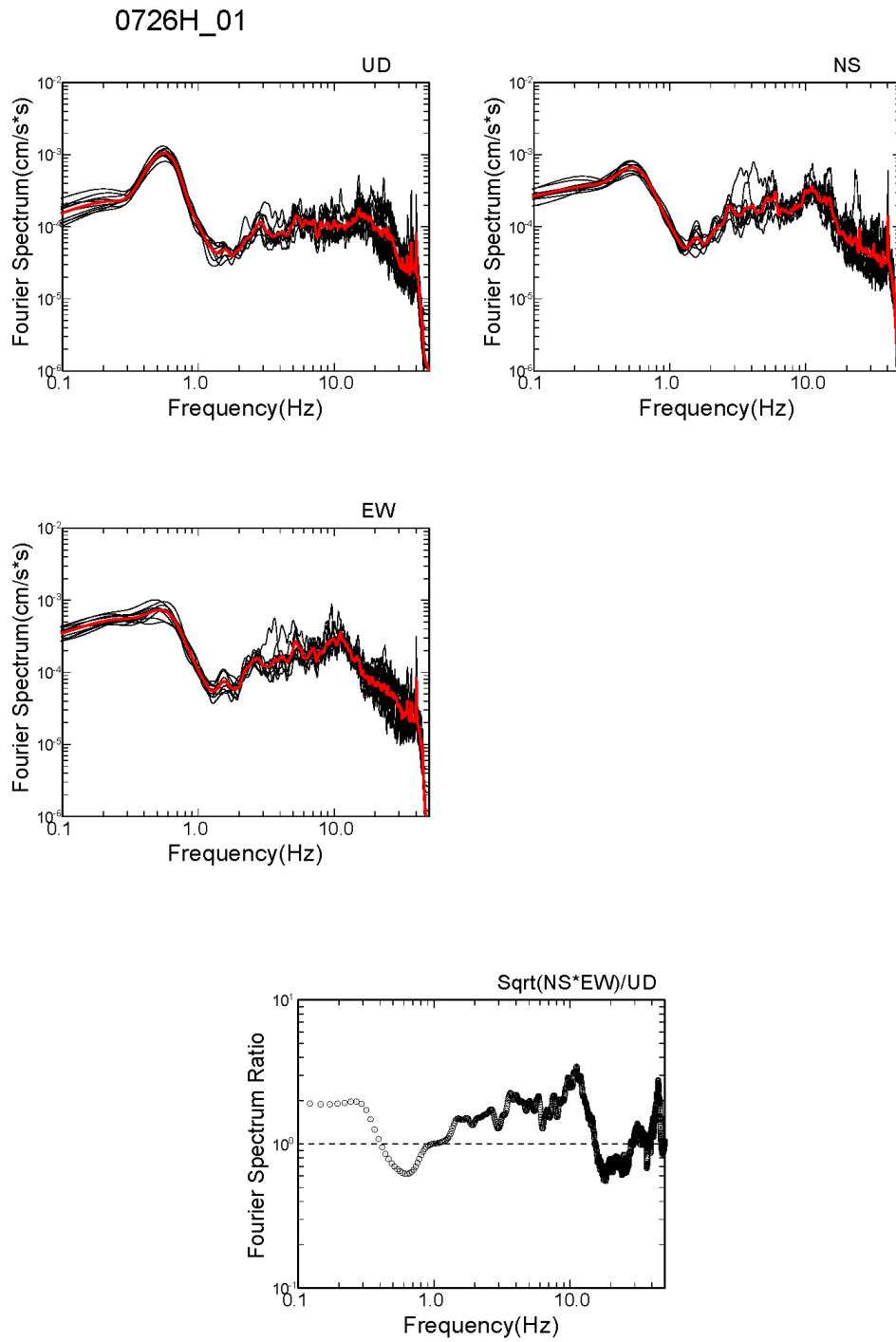


図 A.1.2.6-4 大宮観測点 (IBR004) 傍における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比(Sqrt(NS*EW)/UD)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線 (下の図)：平均スペクトル比

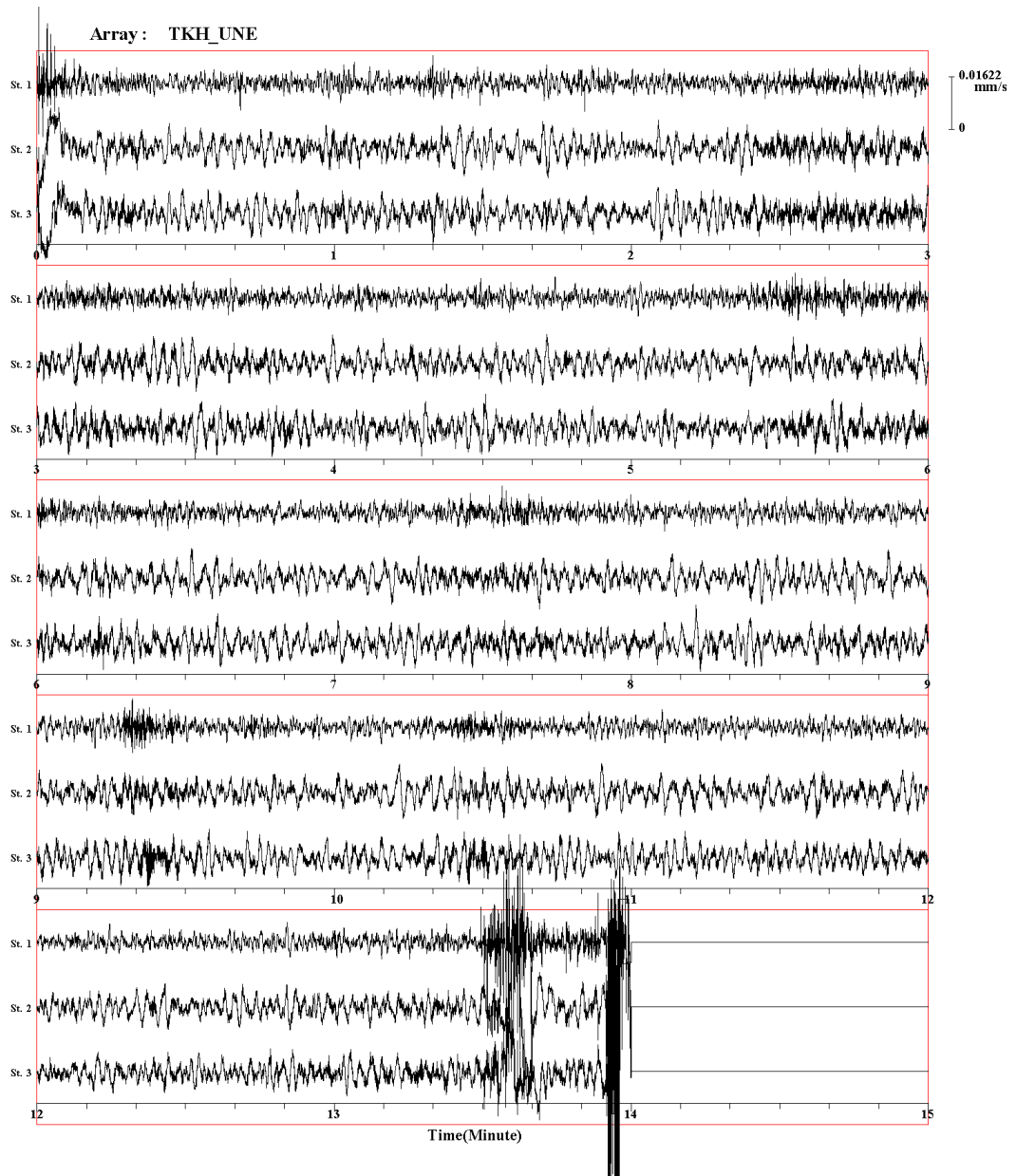


図 A.1.2.6-5 高萩観測点 (IBR002) 傍における微動の3成分波形

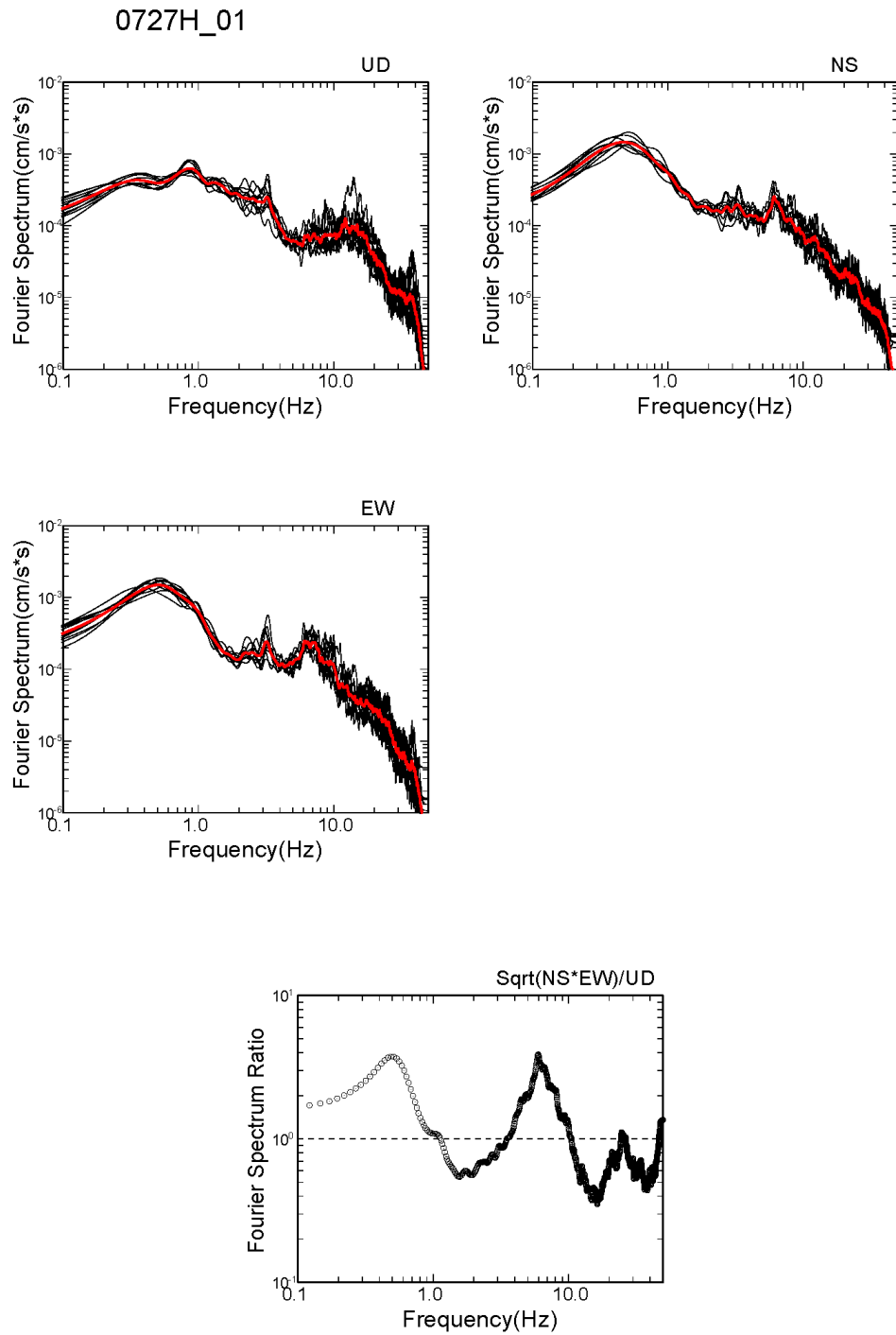


図 A.1.2.6-6 高萩観測点 (IBR002) 傍における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線 (下の図)：平均スペクトル比

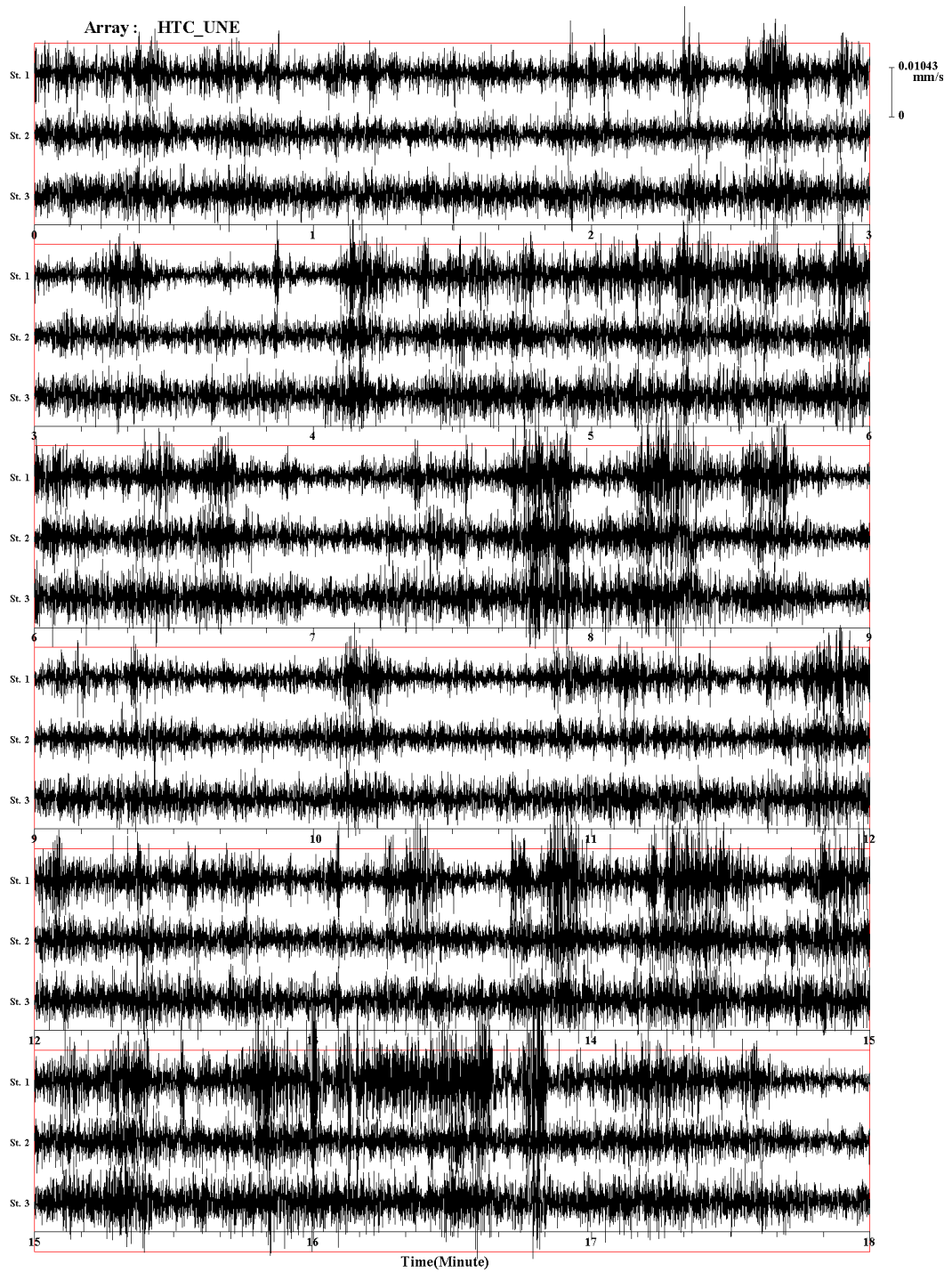


図 A.1.2.6-7 日立観測点 (IBR003) 傍における微動の3成分波形

0728H_01

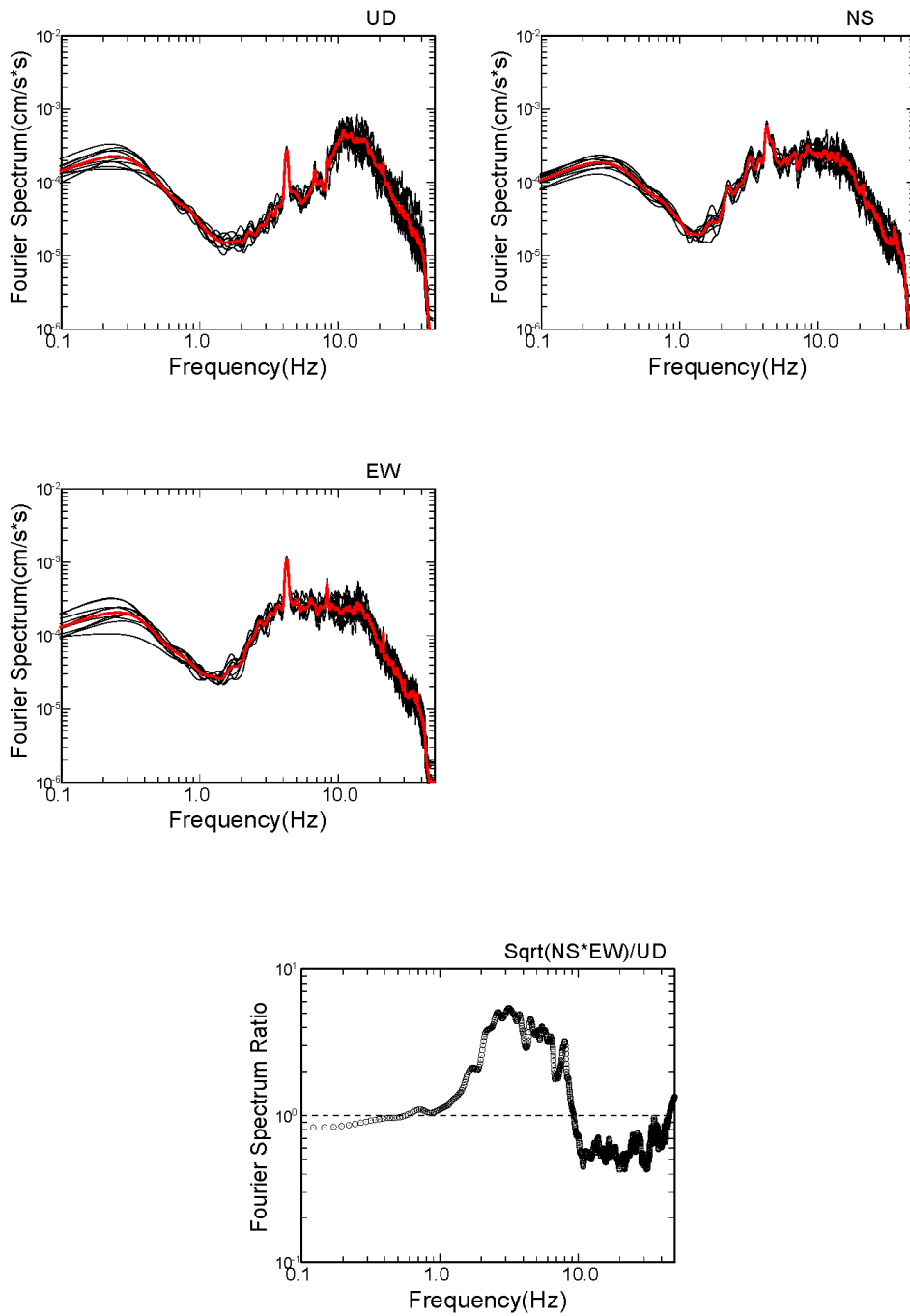


図 A.1.2.6-8 日立観測点 (IBR003) 傍における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS*EW}/UD$)
 赤線: 平均スペクトル 黒線: 各解析区間のスペクトル
 太黒線 (下の図): 平均スペクトル比

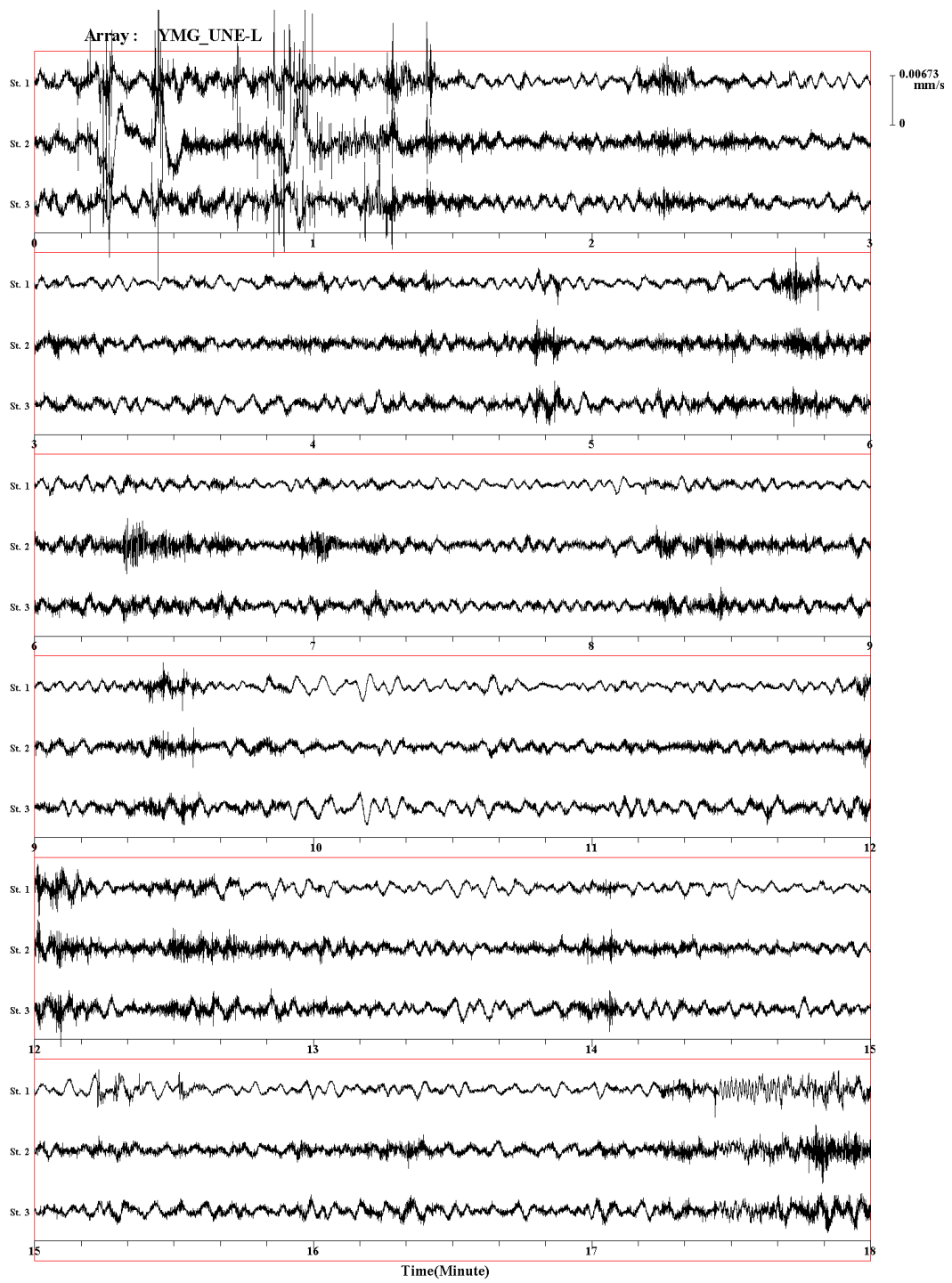


図 A.1.2.6-9(1) 山方アレイ L1 測点における微動の3成分波形

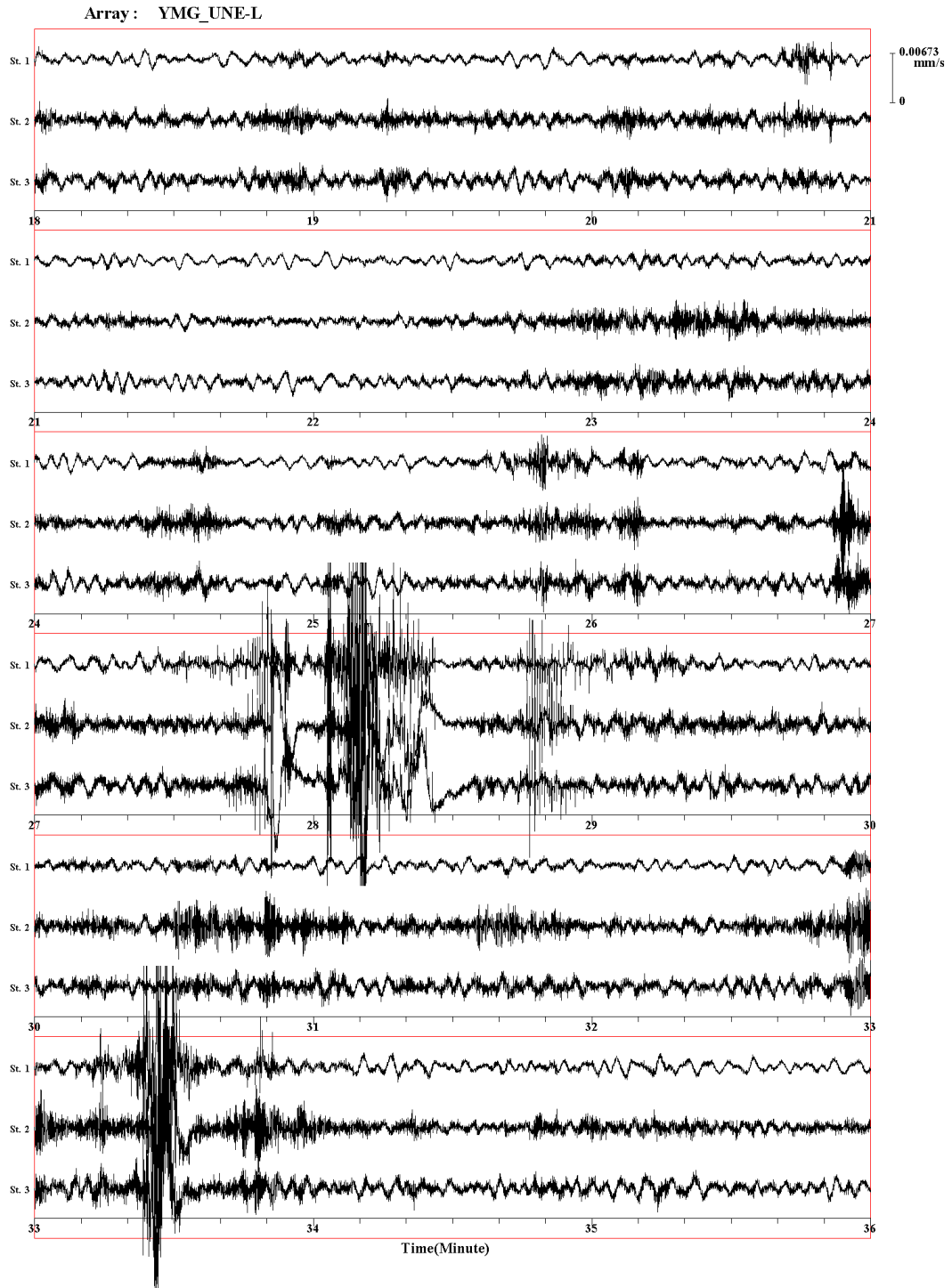


図 A.1.2.6-9(2) 山方アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

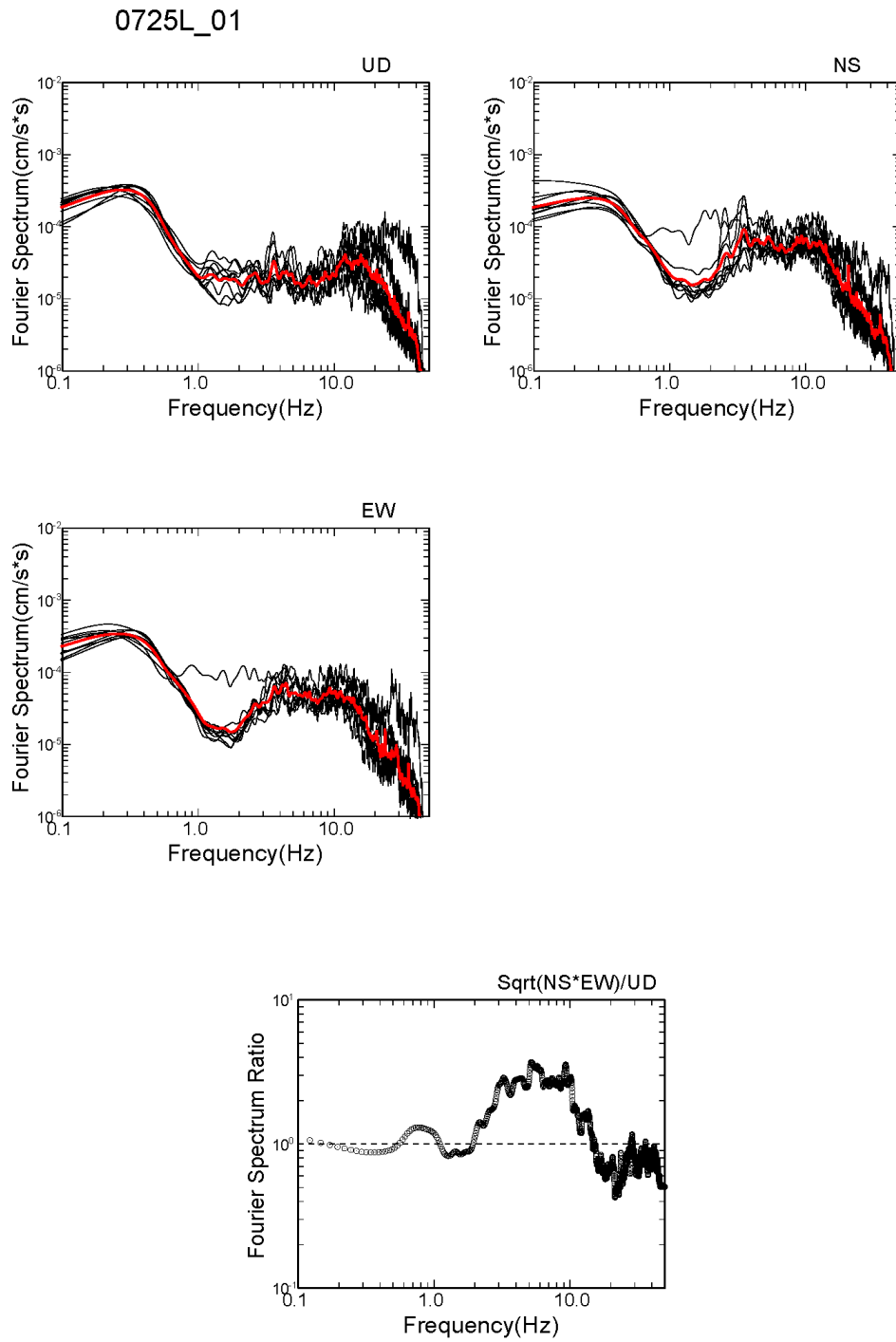


図 A.1.2.6-10 山方アレイ L1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS \cdot EW} / UD$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

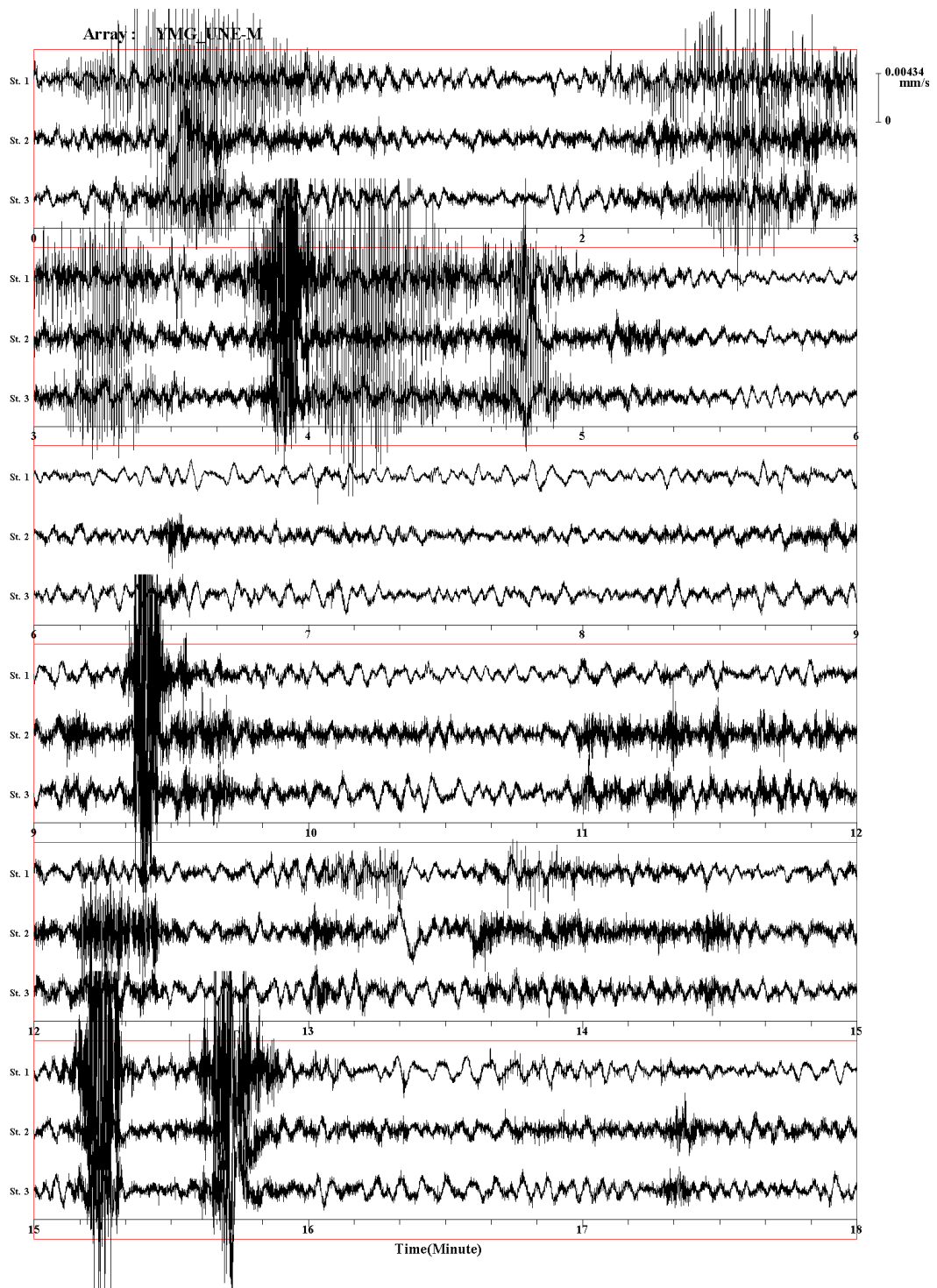


図 A.1.2.6-11(1) 山方アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

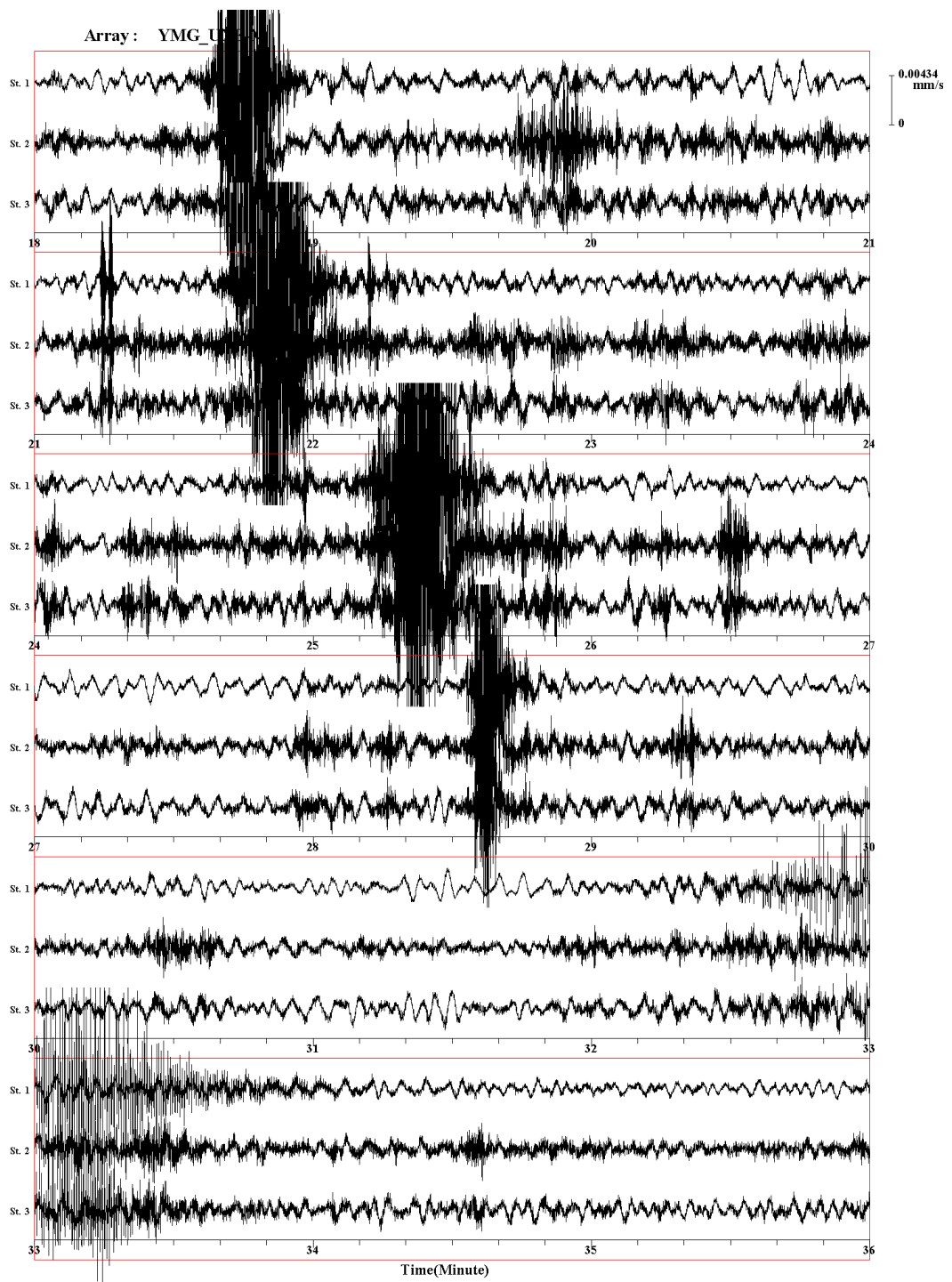


図 A.1.2.6-11(2) 山方アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

0725M_01

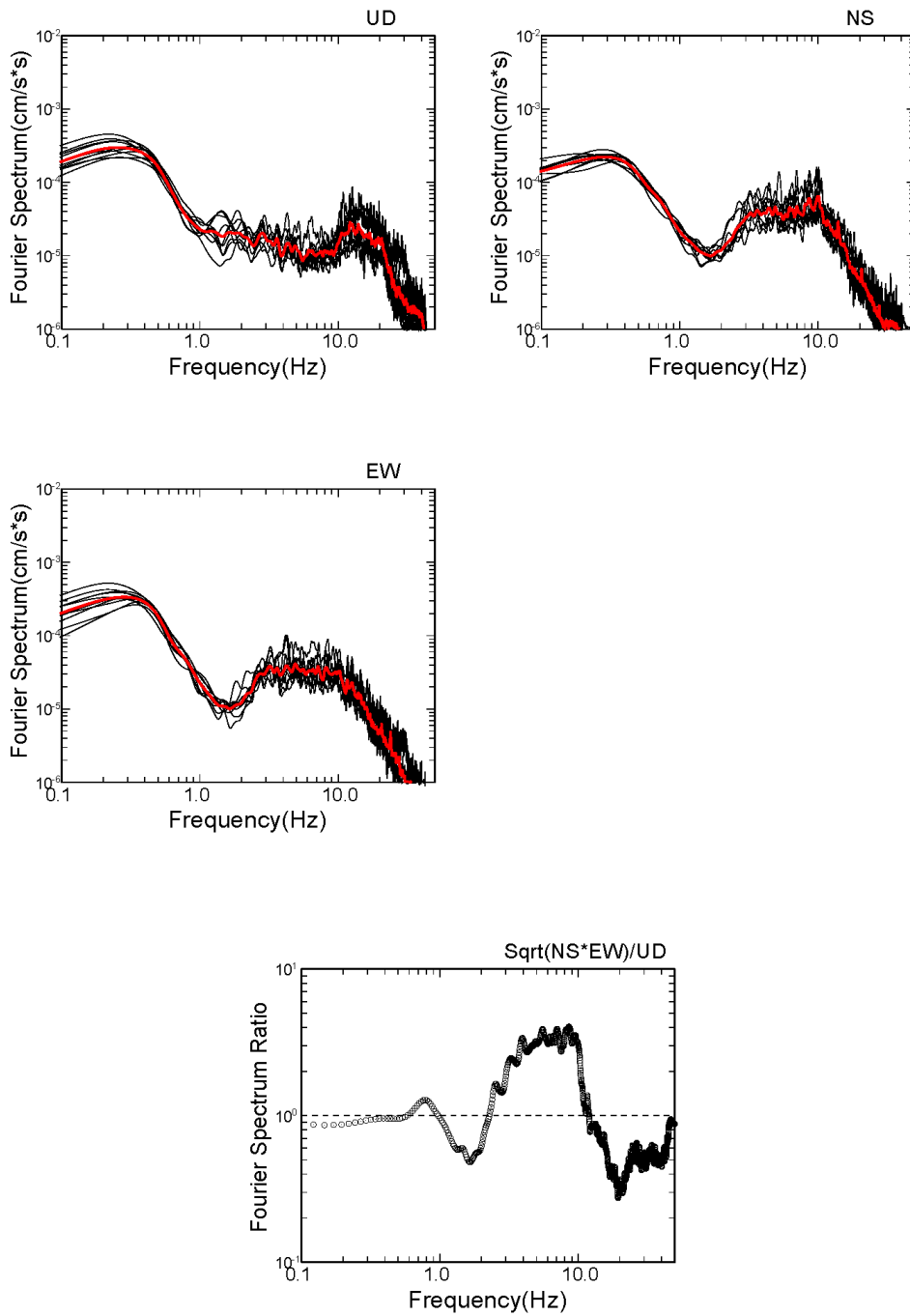


図 A.1.2.6-12 山方アレイ M1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS \cdot EW} / UD$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

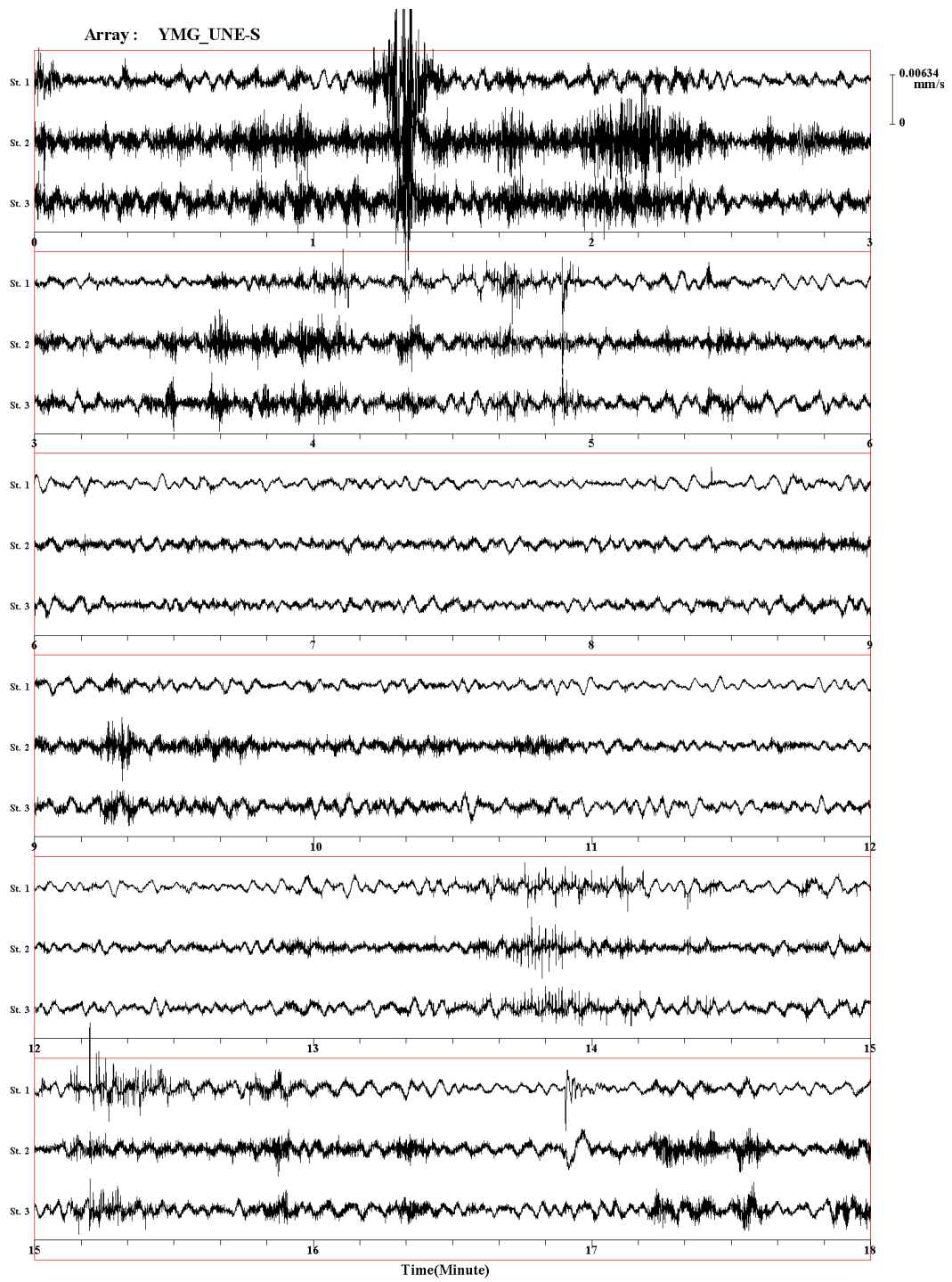


図 A.1.2.6-13(1) 山方アレイ S1 測点における微動の3成分波形

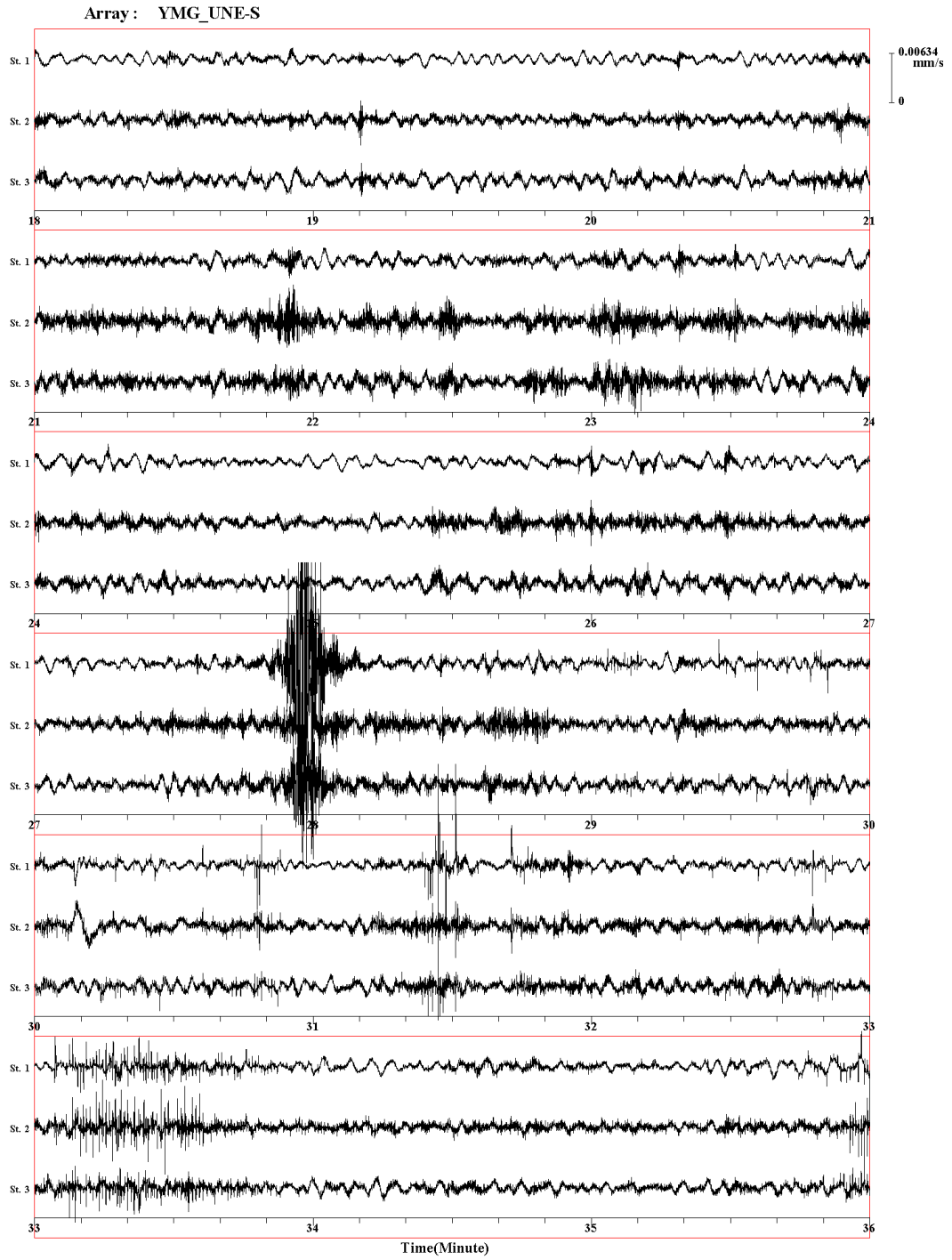


図 A.1.2.6-13(2) 山方アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

0725S_01

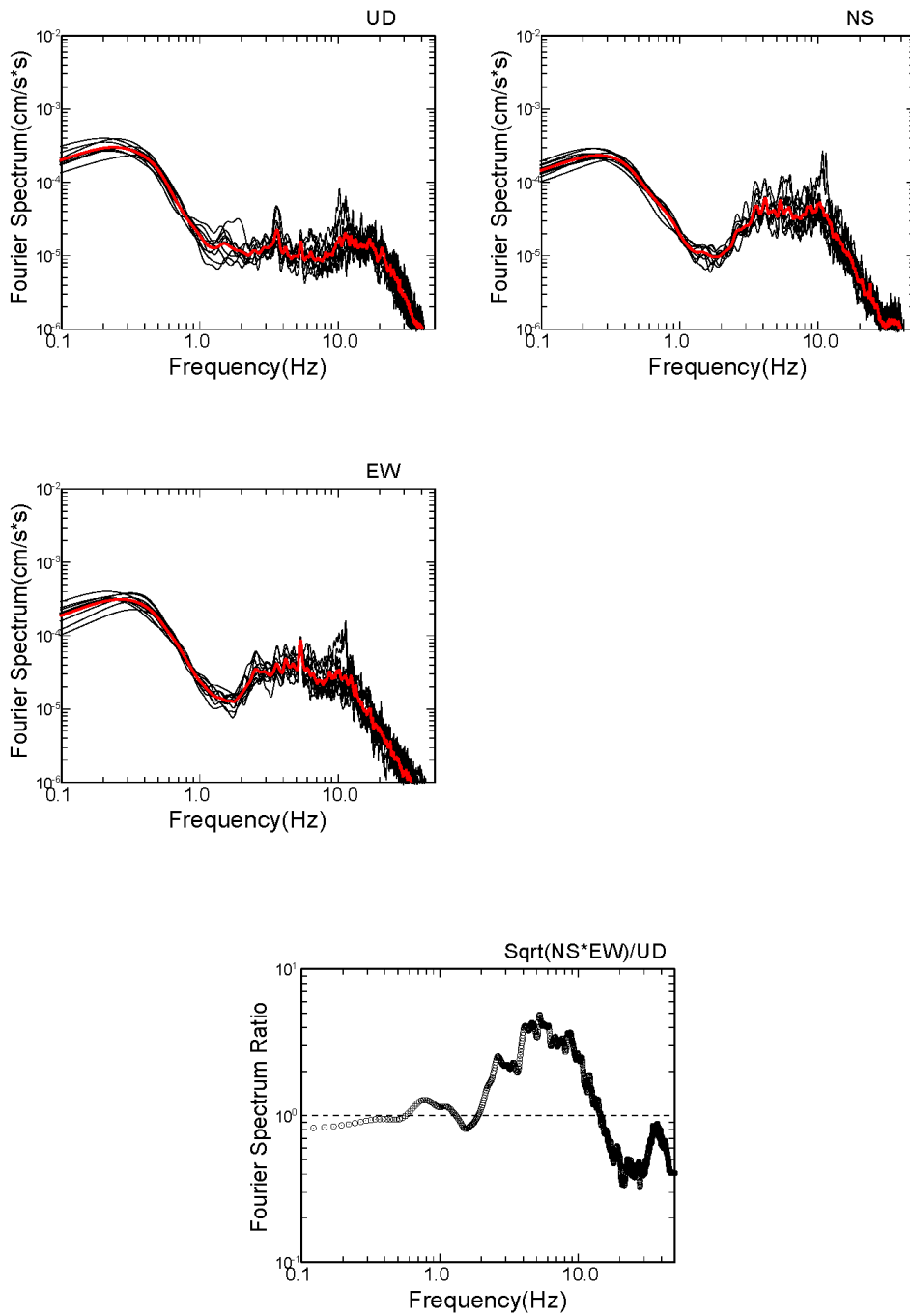


図 A.1.2.6-14 山方アレイ S1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS \cdot EW} / UD$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

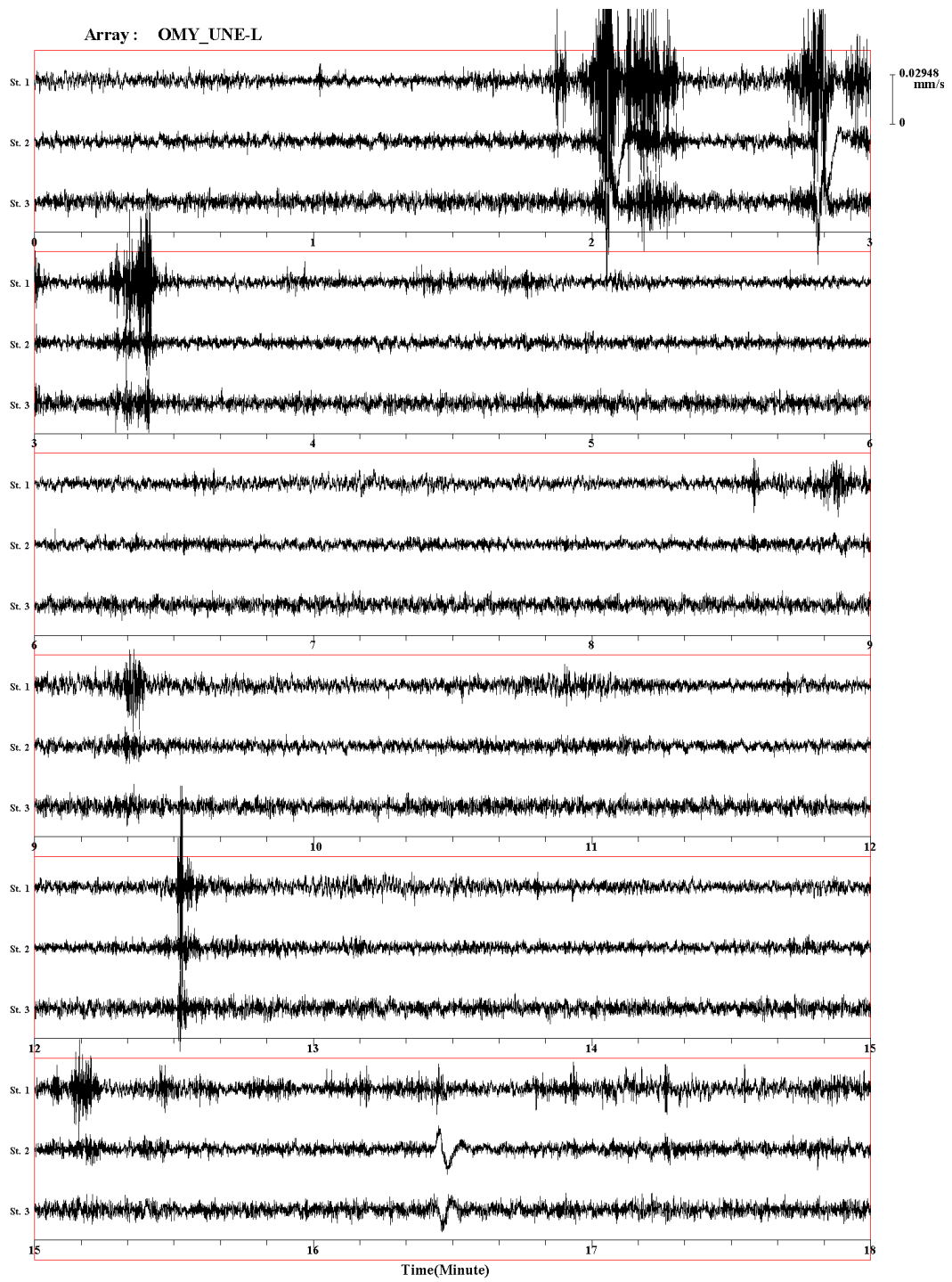


図 A.1.2.6-15(1) 大宮アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

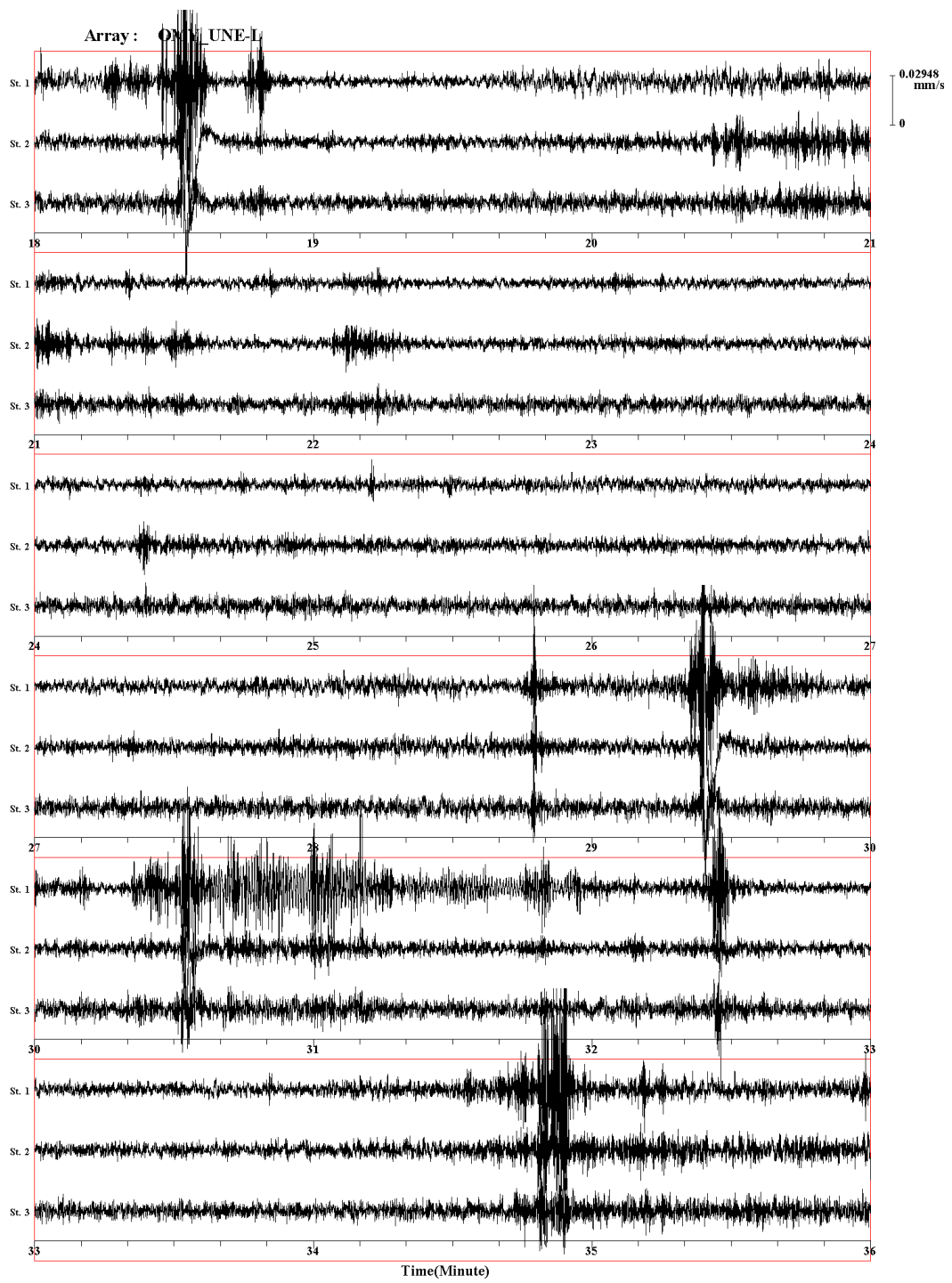


図 A.1.2.6-15(2) 大宮アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

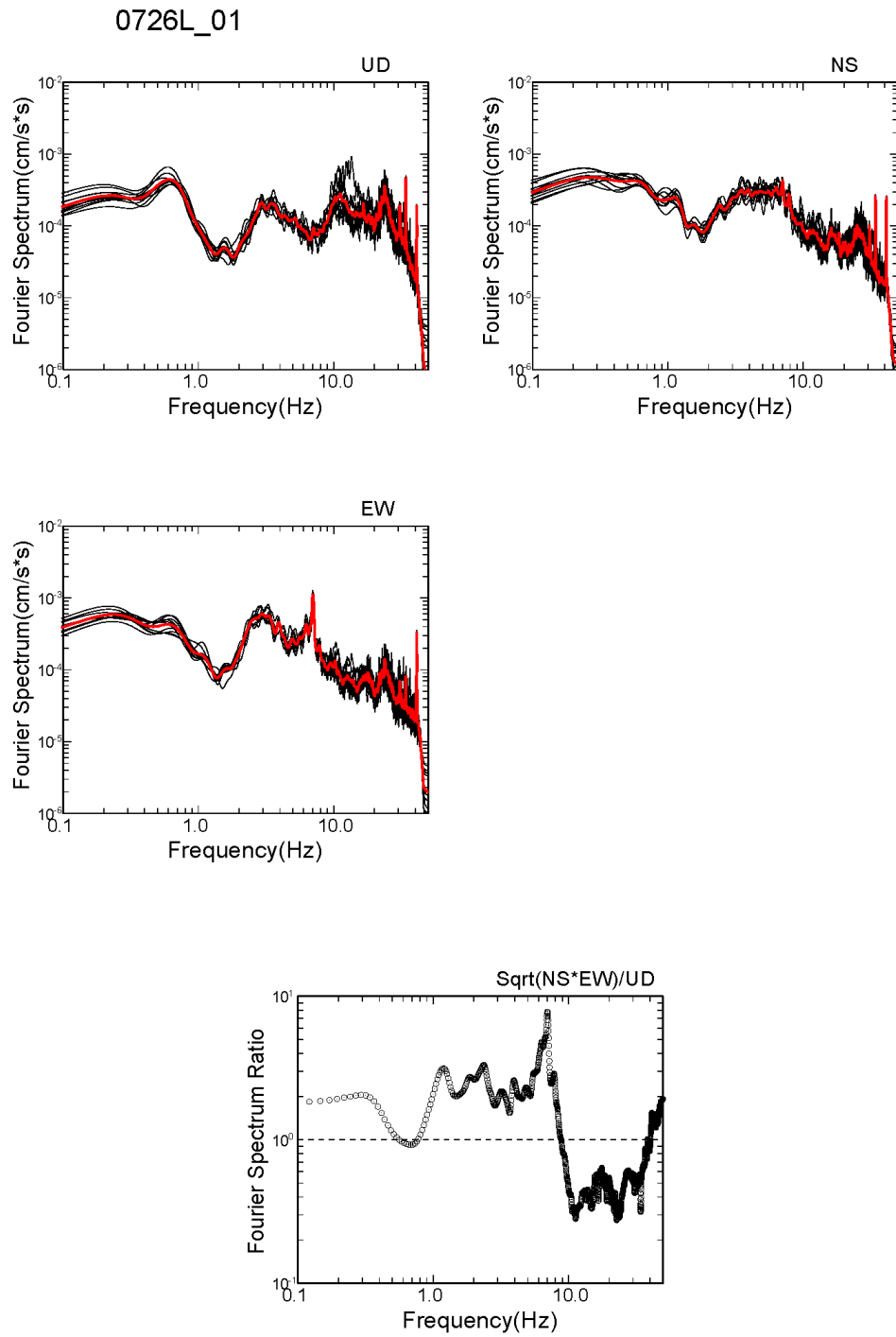


図 A.1.2.6-16 大宮アレイ L1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比(Sqrt(NS*EW)/UD)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

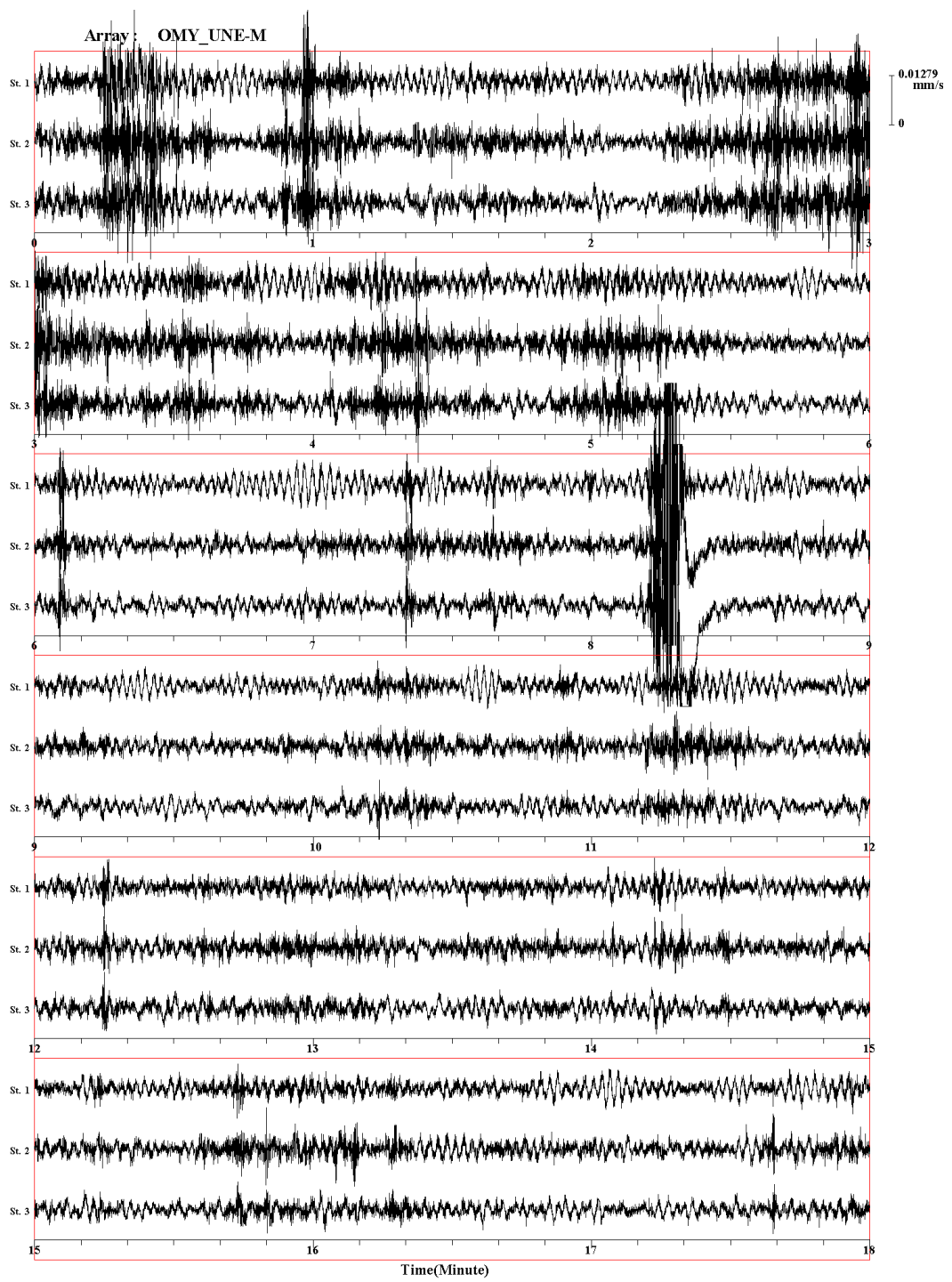


図 A.1.2.6-17(1) 大宮アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

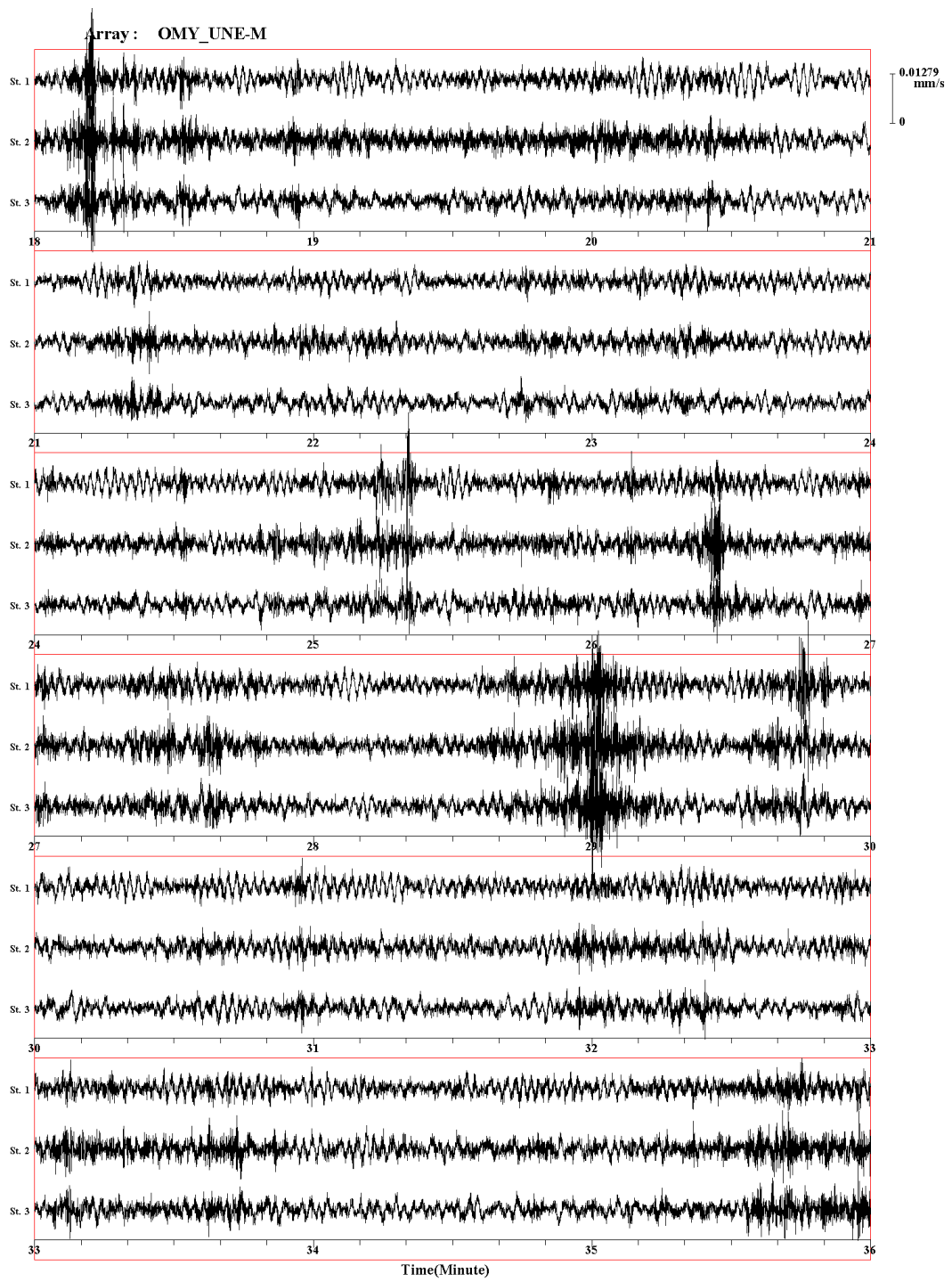


図 A.1.2.6-17(2) 大宮アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

0726M_01

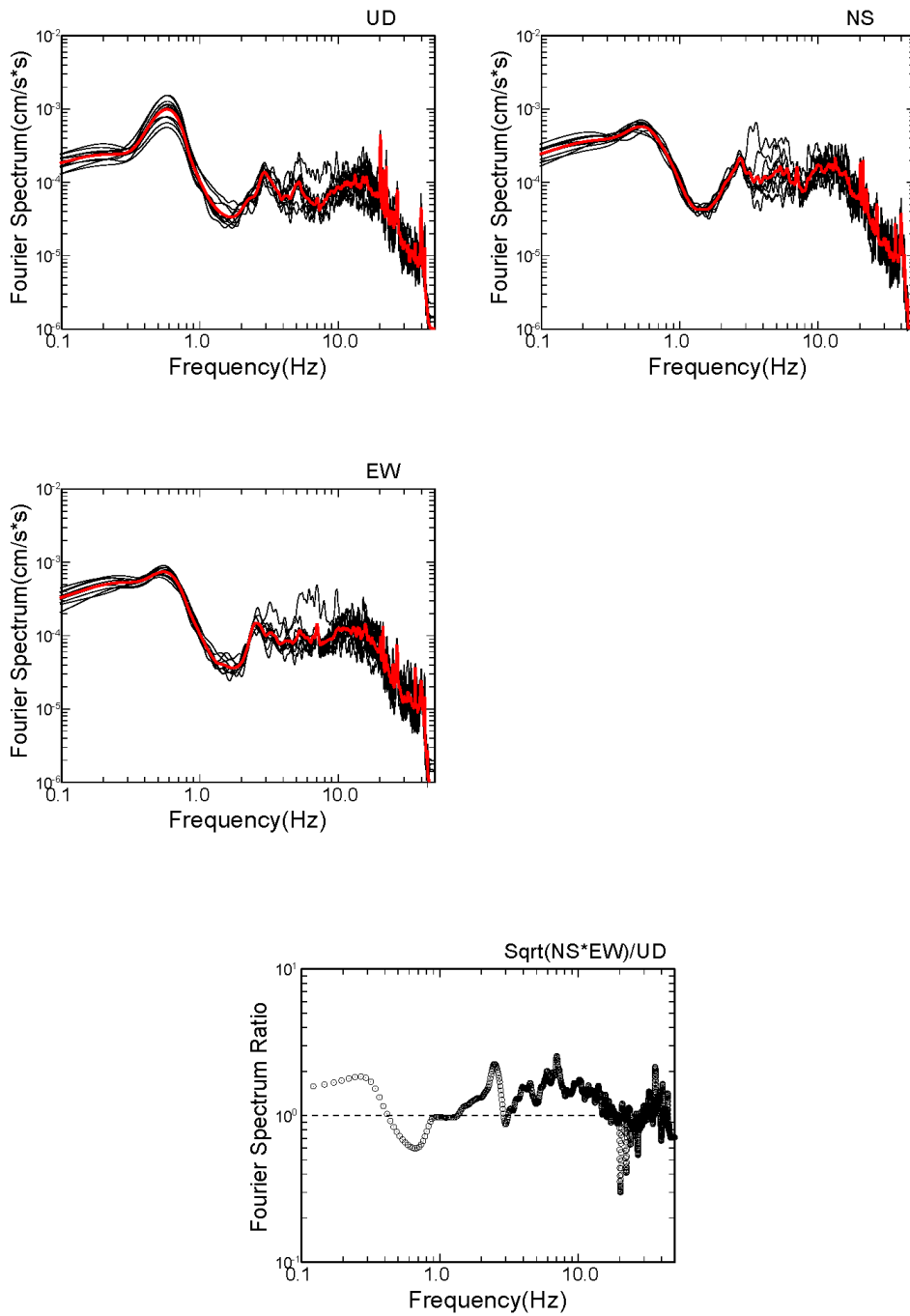


図 A.1.2.6-18 大宮アレイ M1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

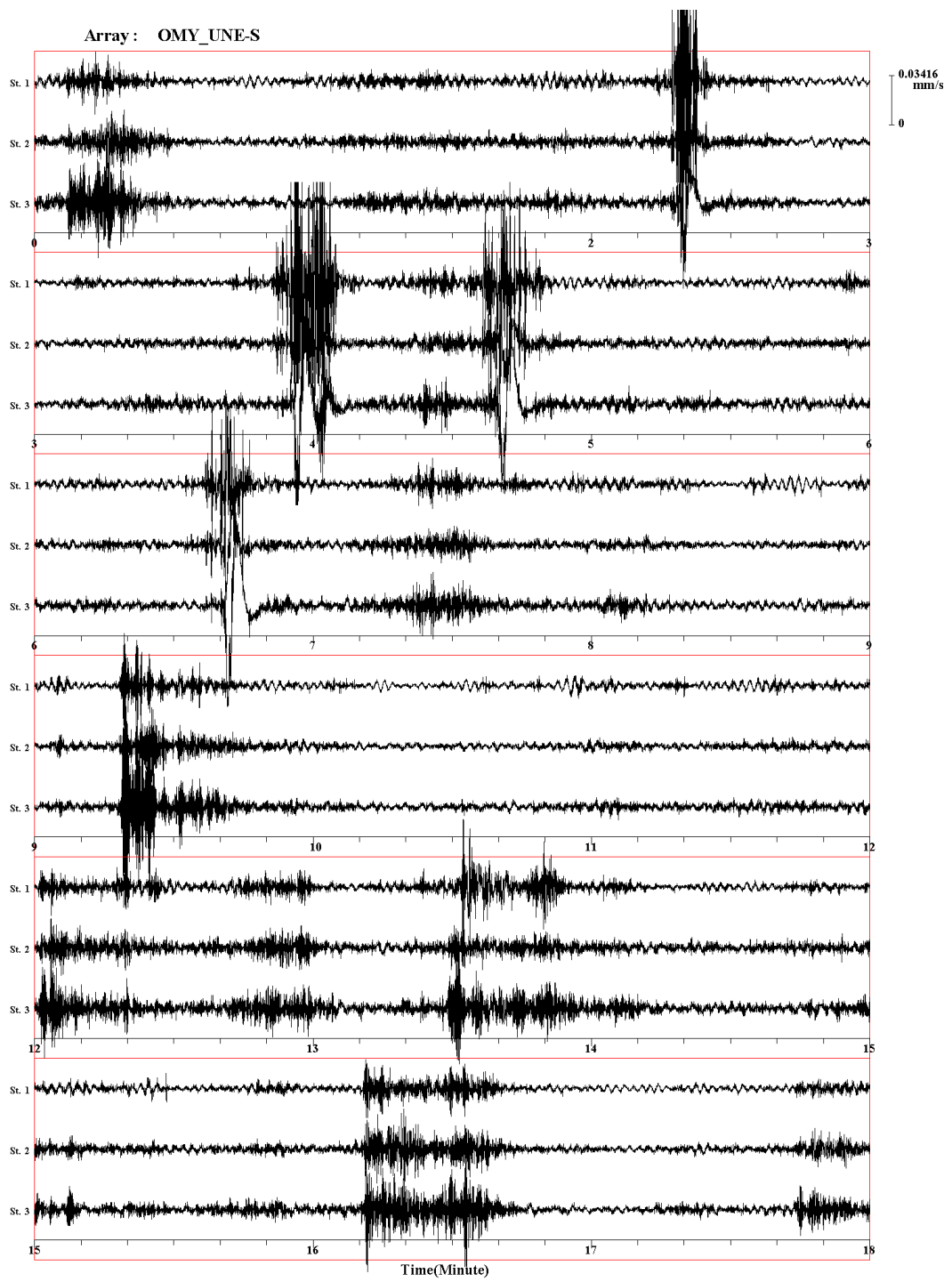


図 A.1.2.6-19(1) 大宮アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

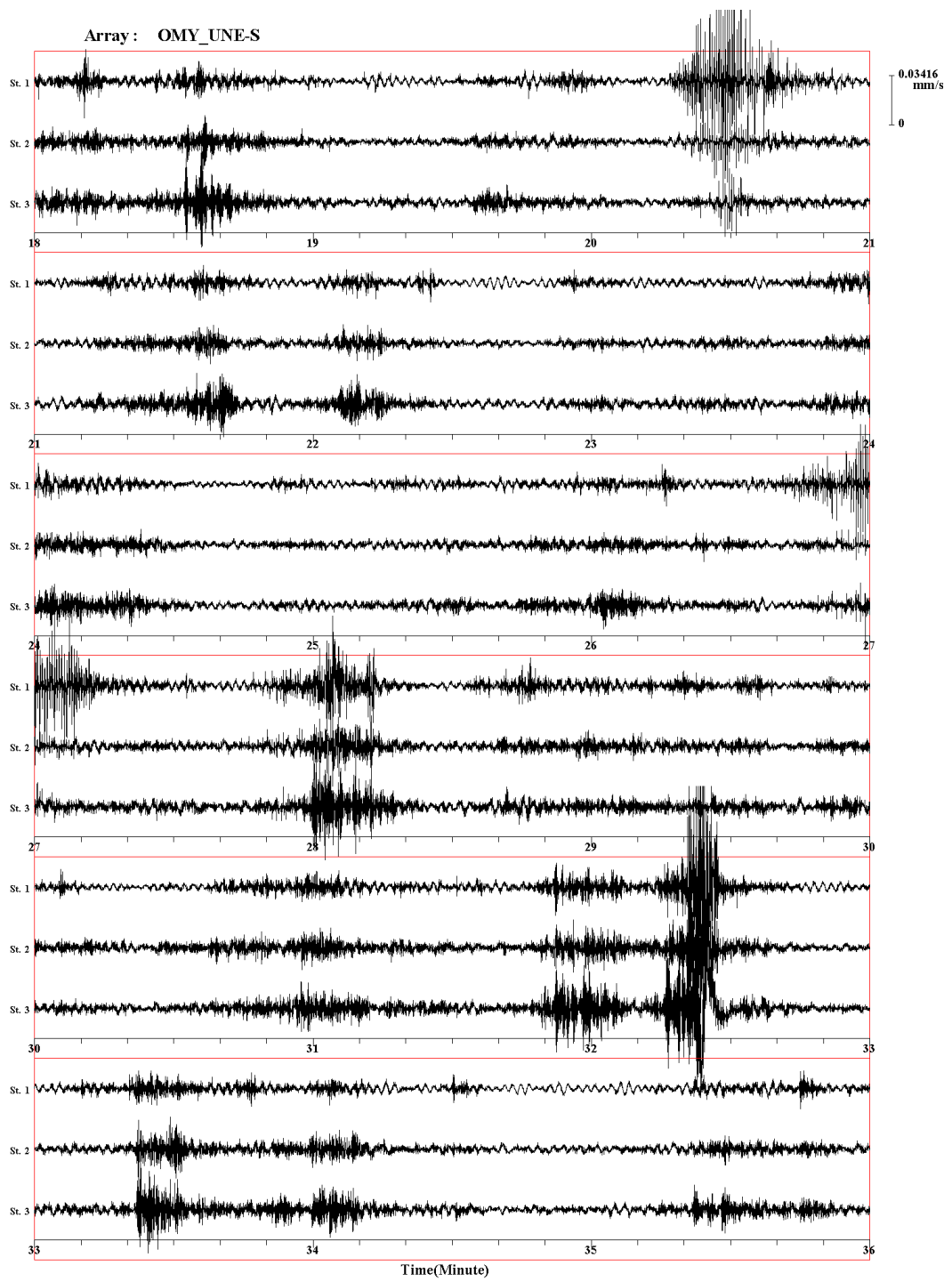


図 A.1.2.6-19(2) 大宮アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

0726S_01

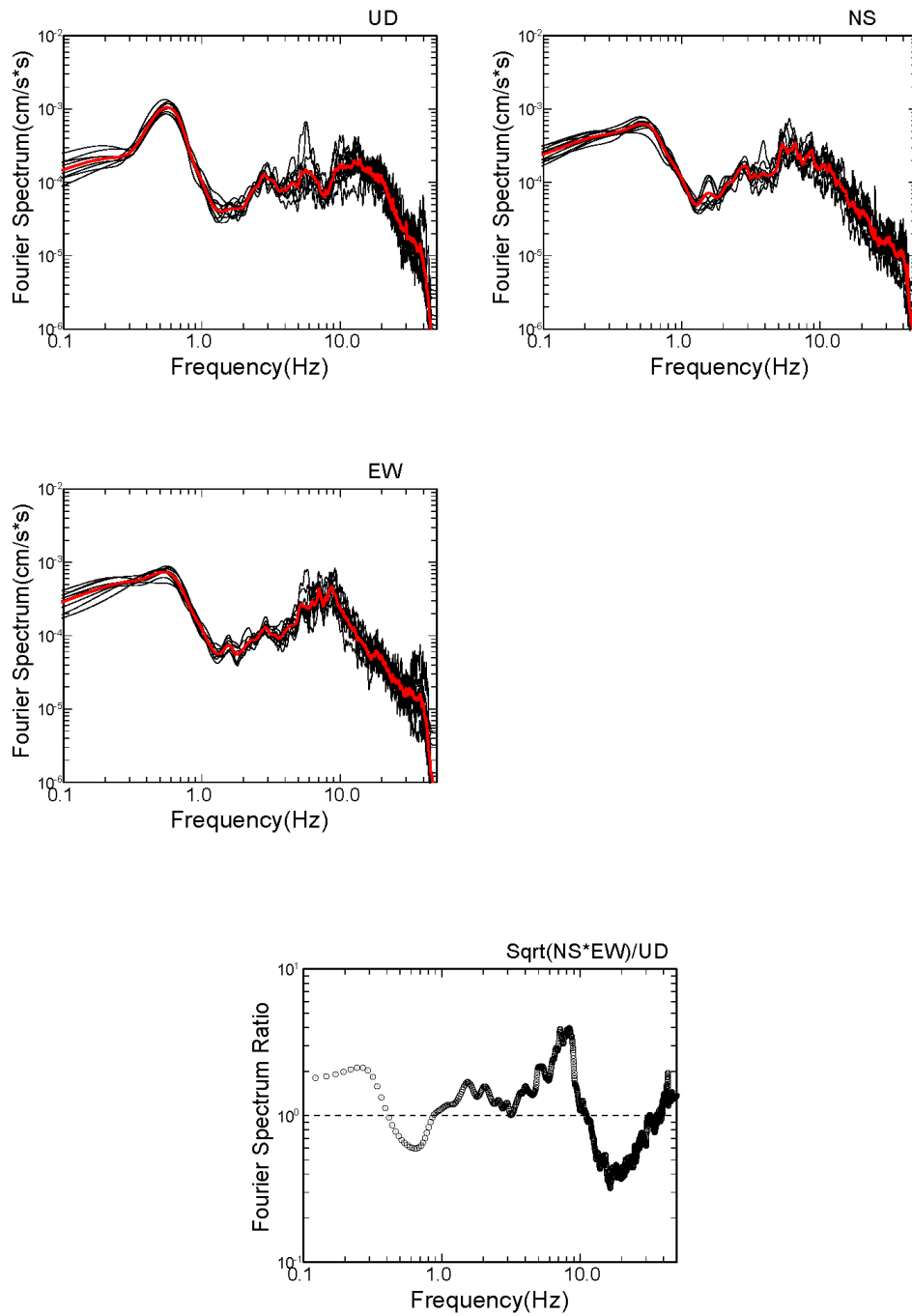


図 A.1.2.6-20 大宮アレイ S1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
水平動/上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
太黒線（下の図）：平均スペクトル比

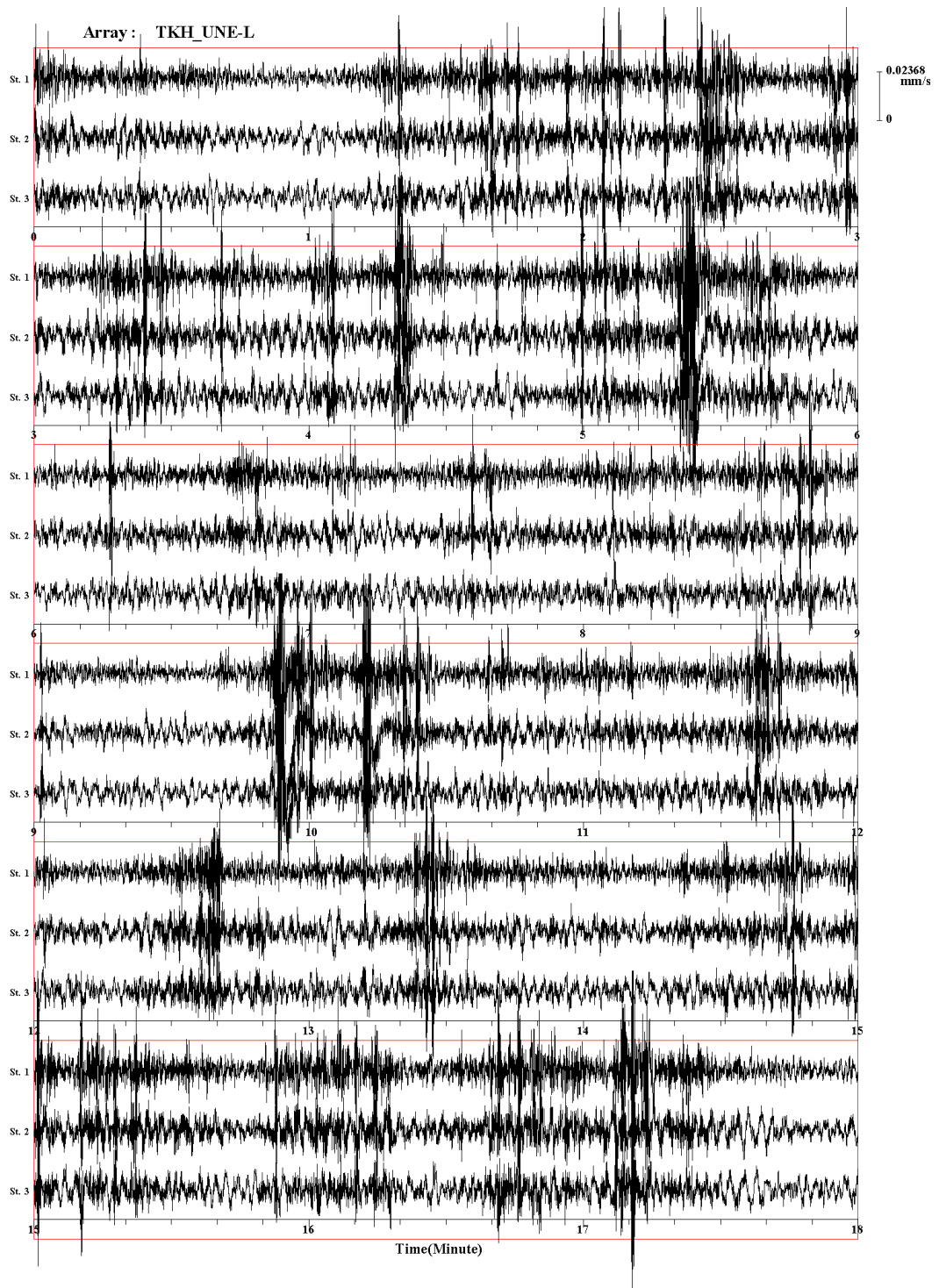


図 A.1.2.6-21(1) 高萩アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

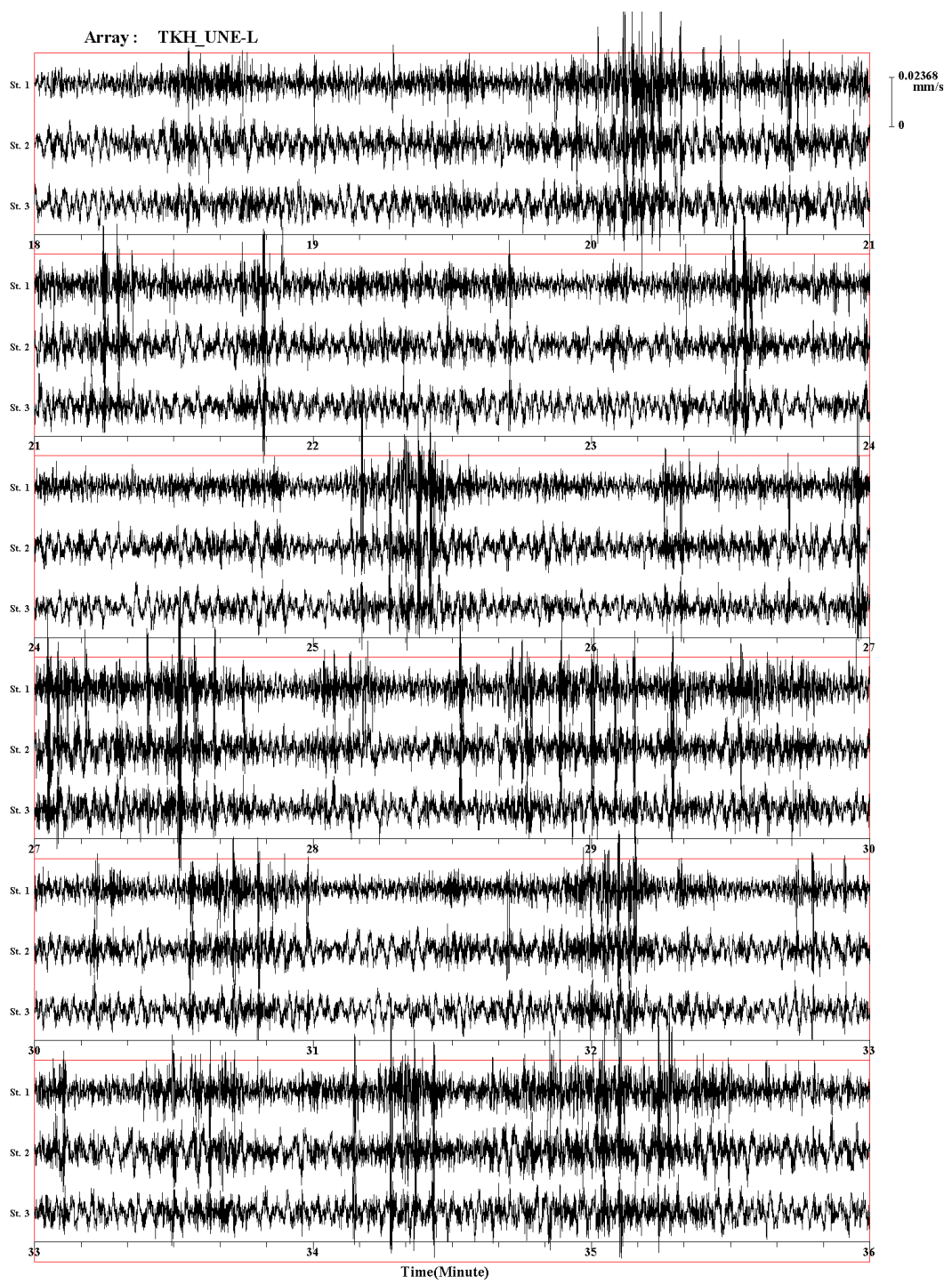


図 A.1.2.6-21(2) 高萩アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

0727L_01

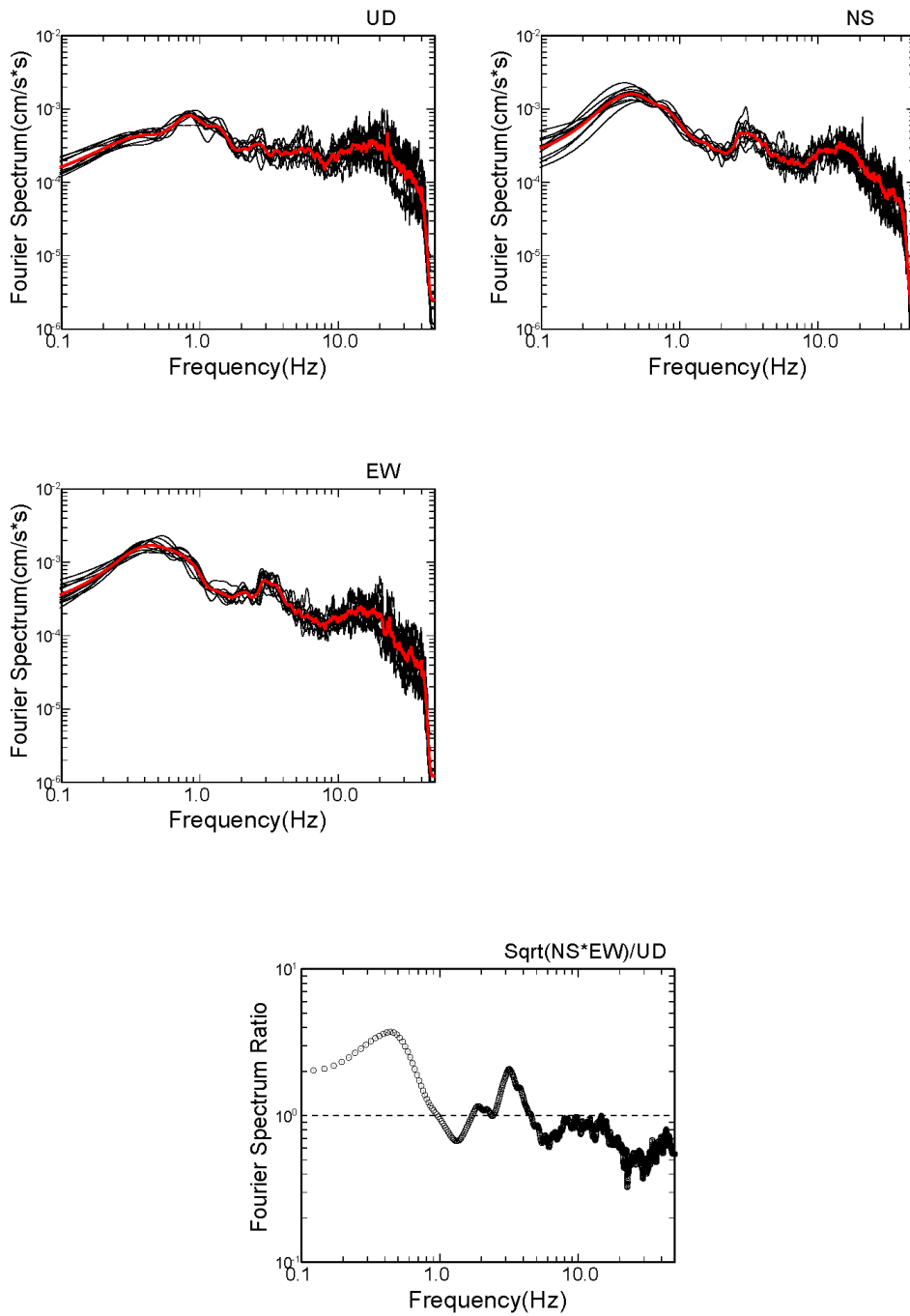


図 A.1.2.6-22 高萩アレイ L1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS*EW}/UD$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

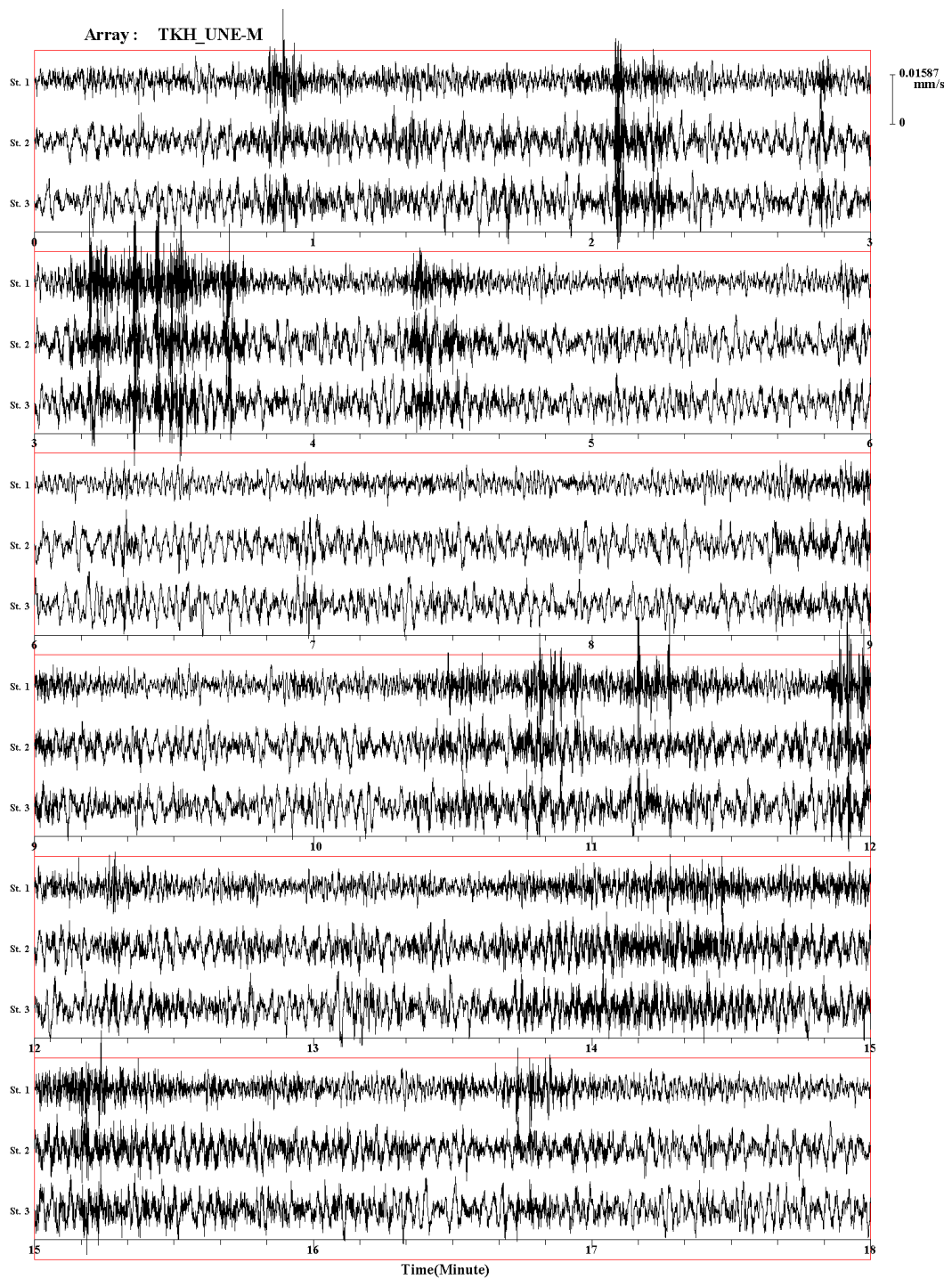


図 A.1.2.6-23(1) 高萩アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

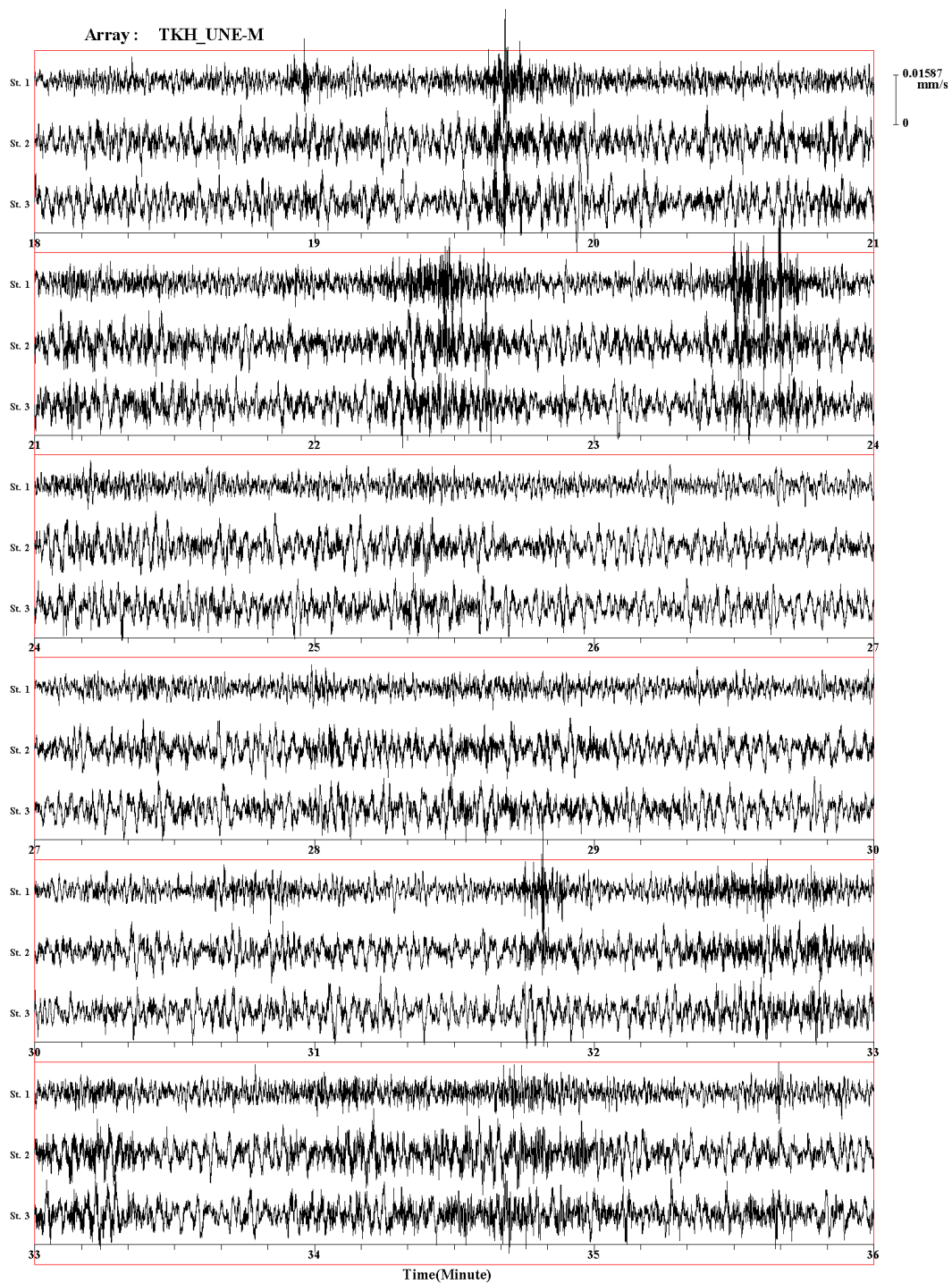


図 A.1.2.6-23(2) 高萩アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

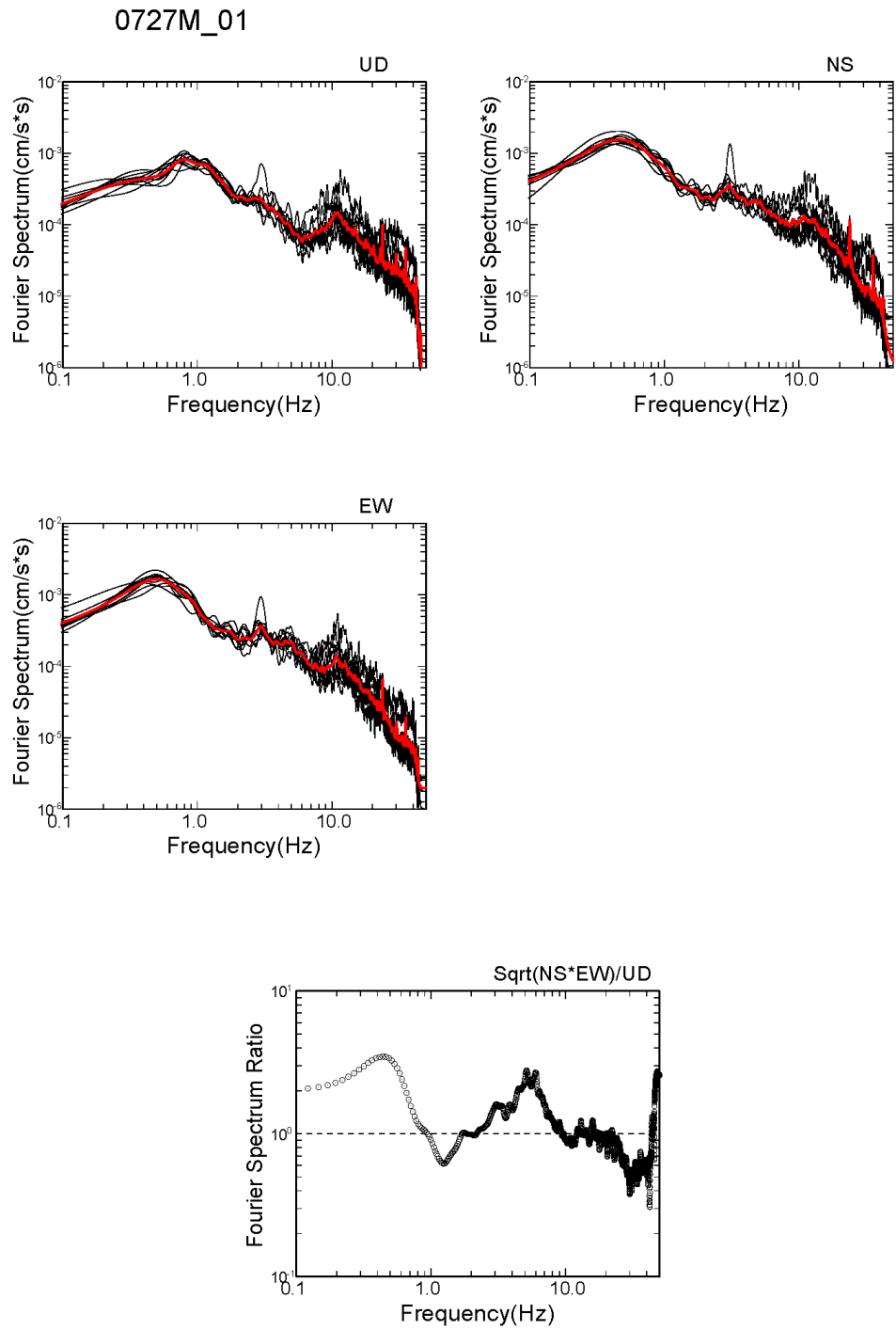


図 A.1.2.6-24 高萩アレイ M1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比($\sqrt{NS*EW}/UD$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線 (下の図)：平均スペクトル比

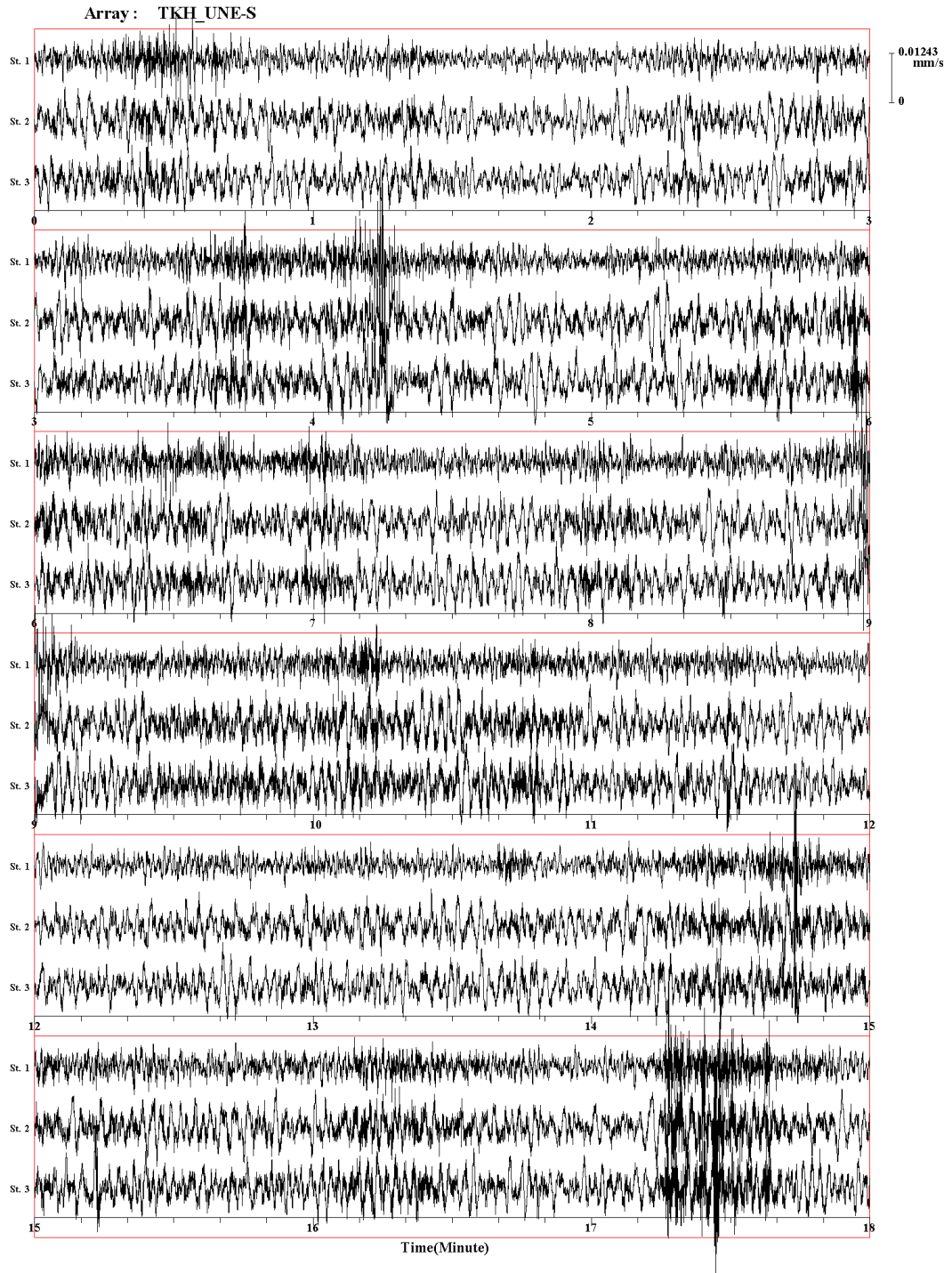


図 A.1.2.6-25(1) 高萩アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

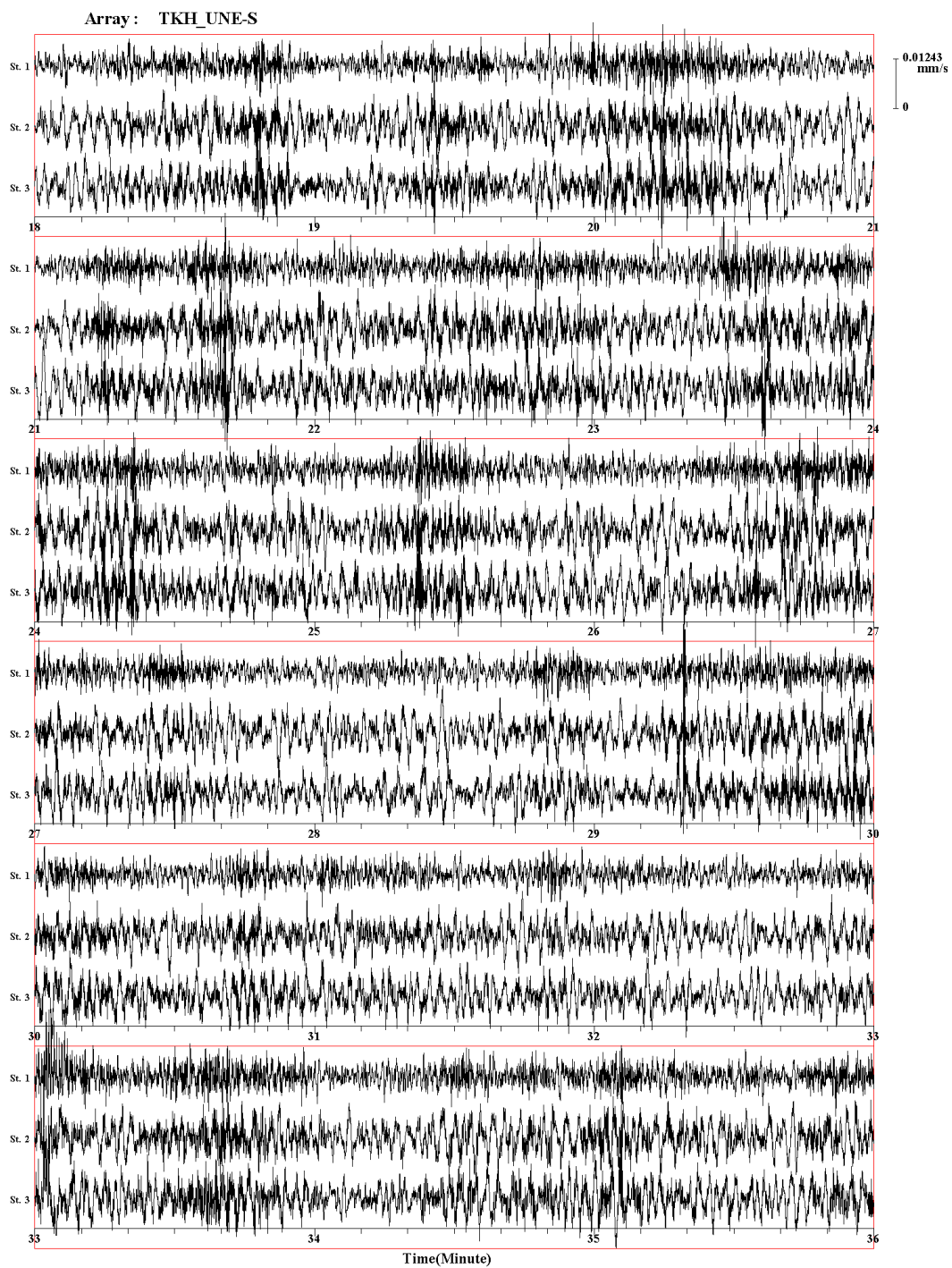


図 A.1.2.6-25(2) 高萩アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

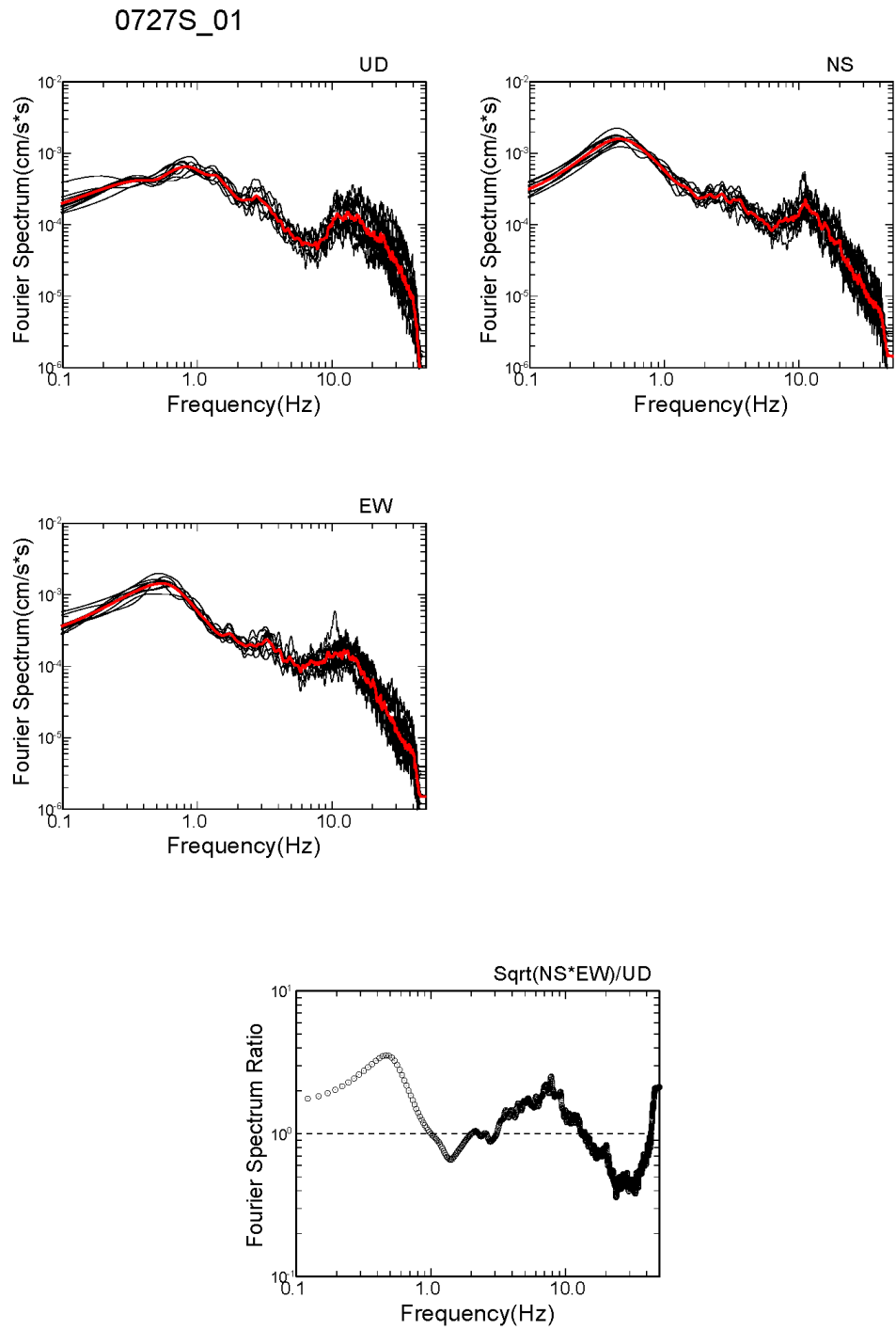


図 A.1.2.6-26 高萩アレイ S1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

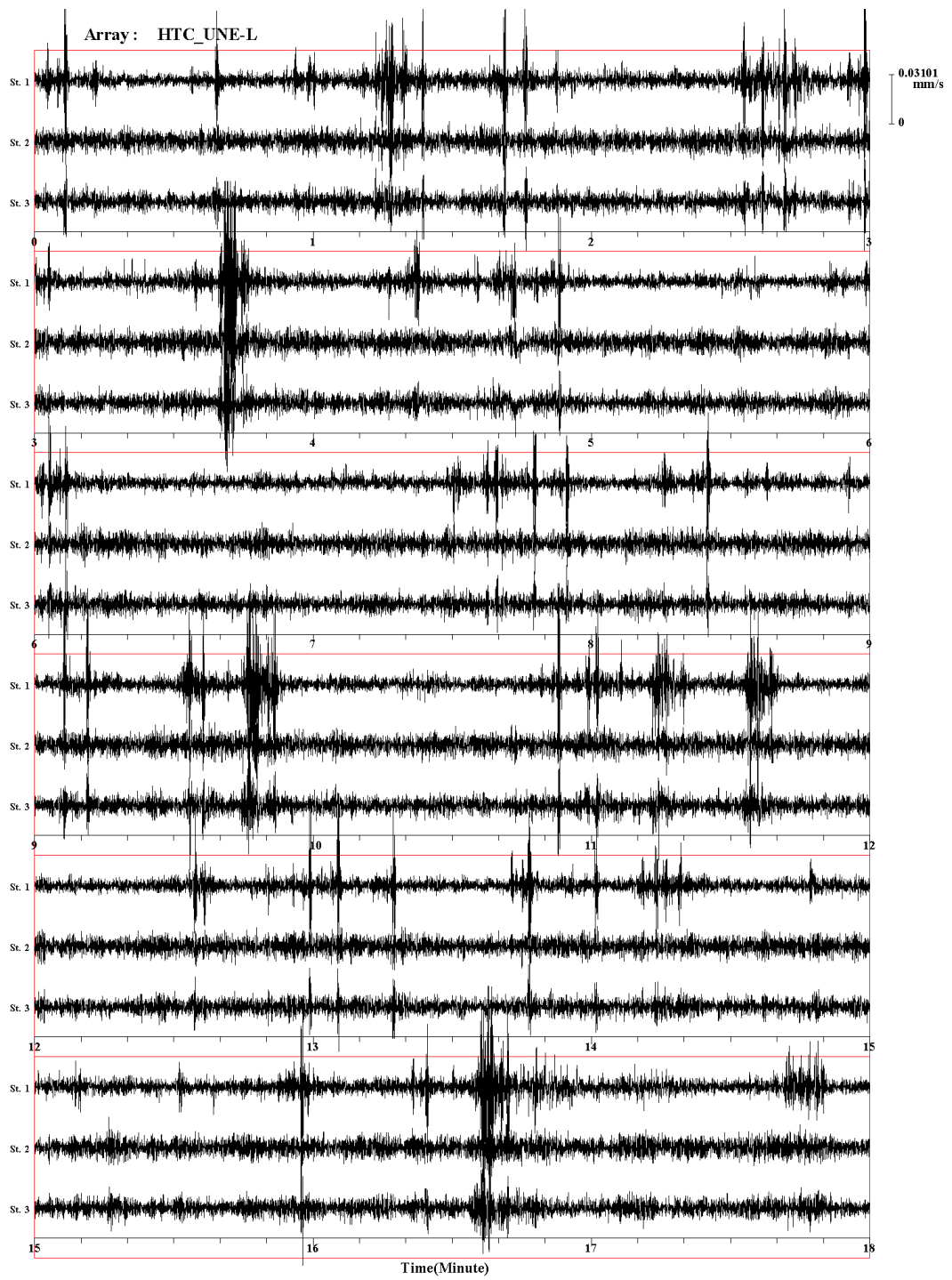


図 A.1.2.6-27(1) 日立アレイ L1 測点における観測の 3 成分波形

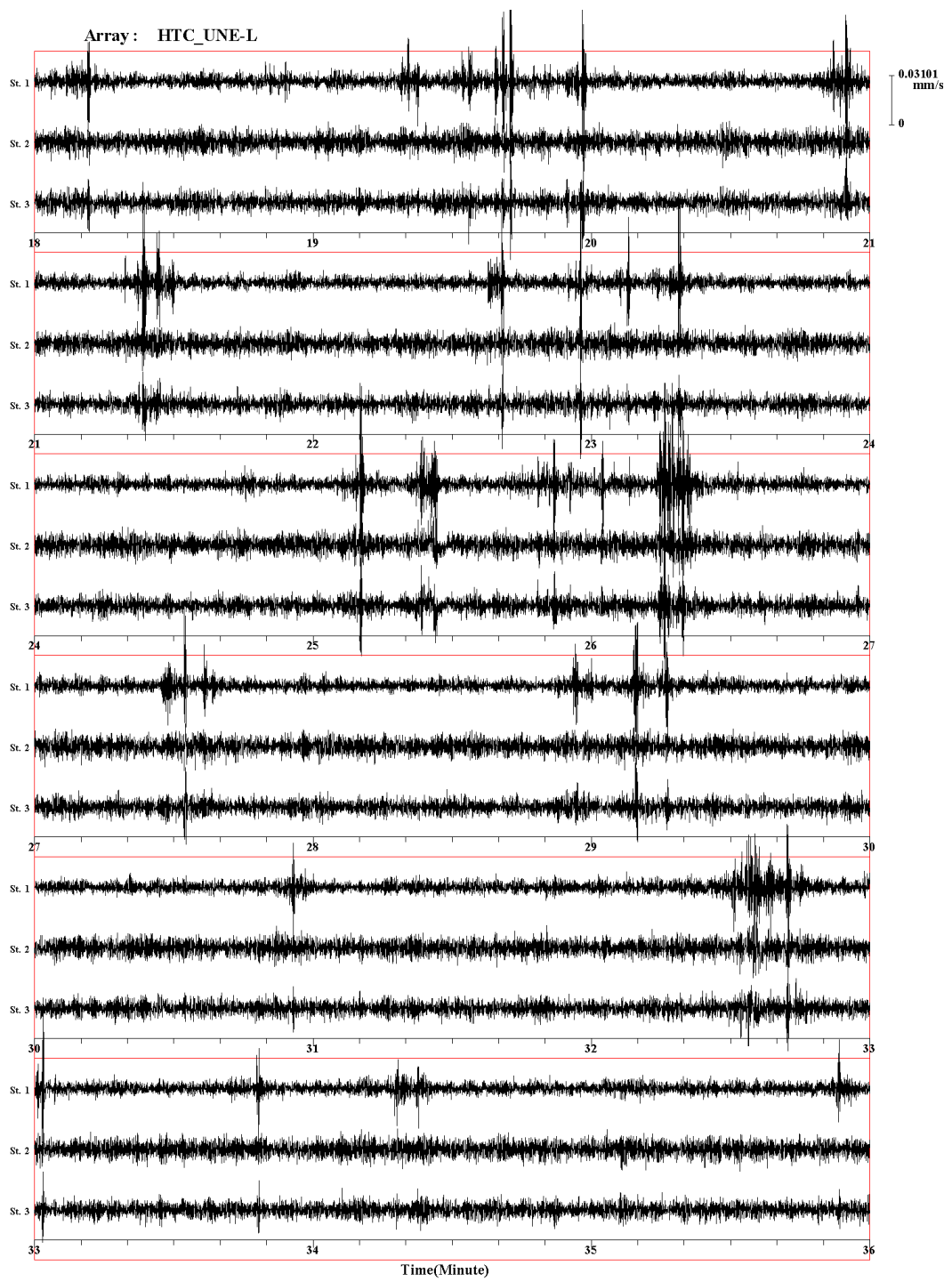


図 A.1.2.6-27(2) 日立アレイ L1 測点における微動の 3 成分波形

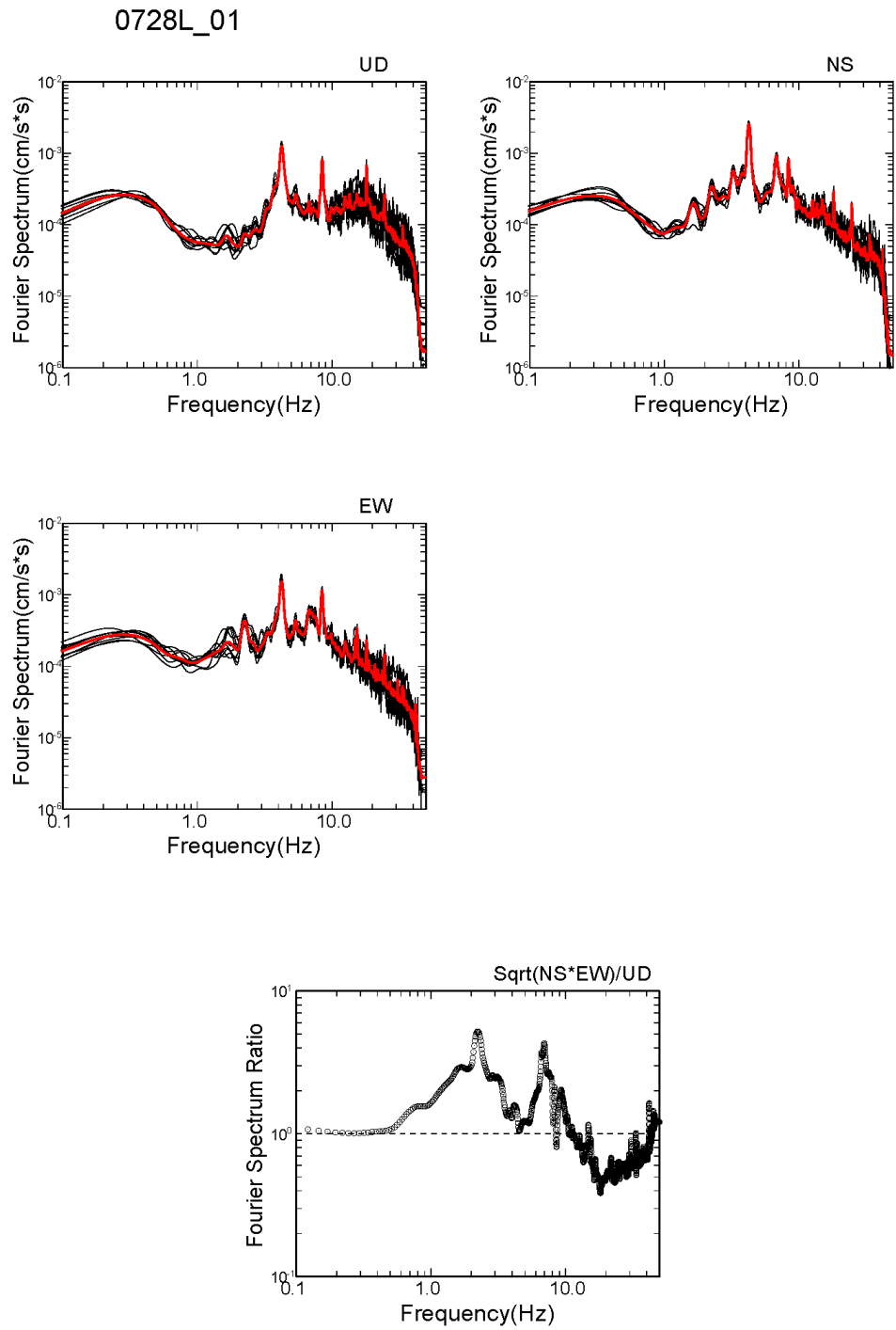


図 A.1.2.6-28 日立アレイ L1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比(Sqrt(NS*EW)/UD)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

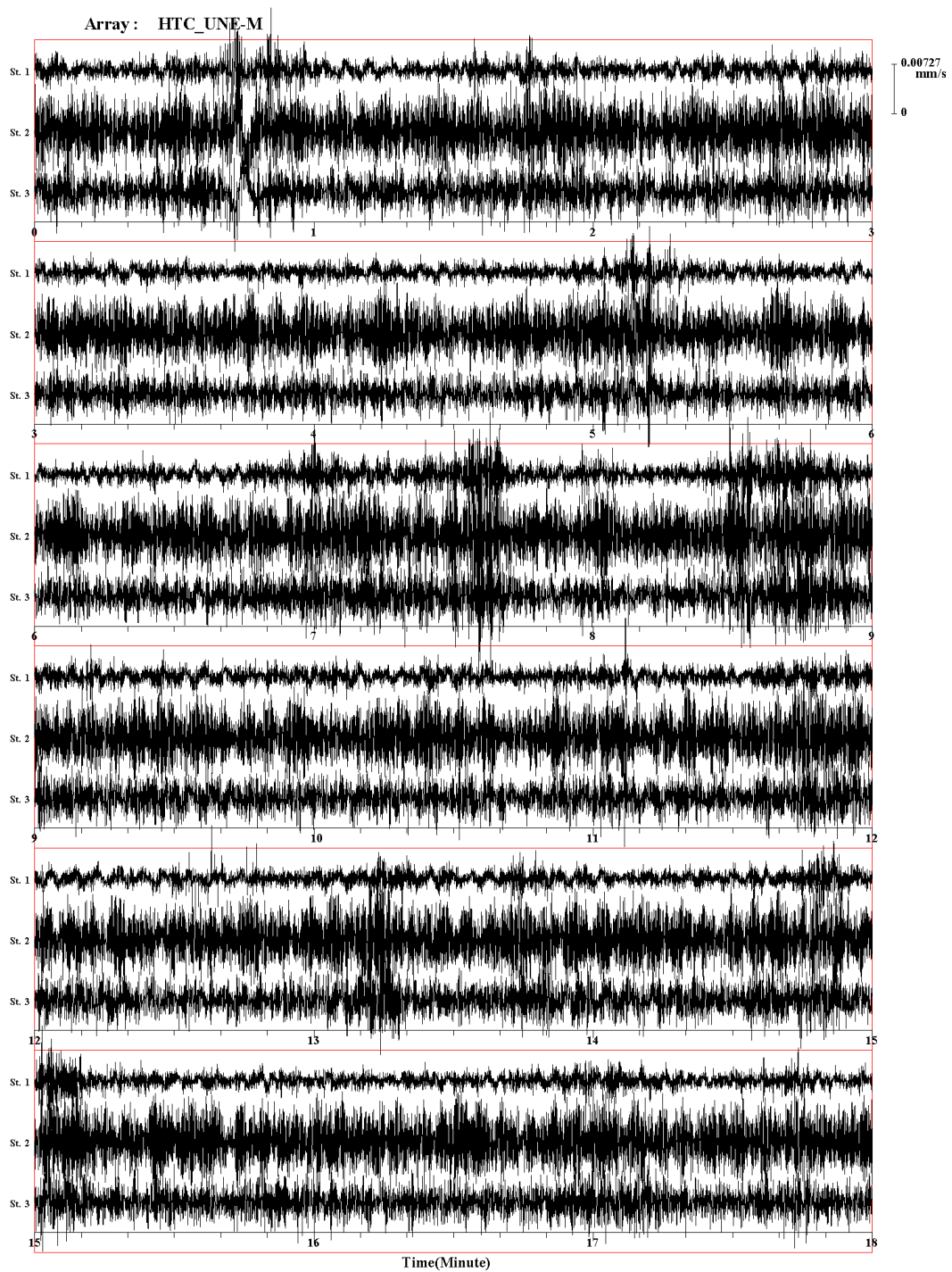


図 A.1.2.6-29(1) 日立アレイ M1 測点における観測の 3 成分波形

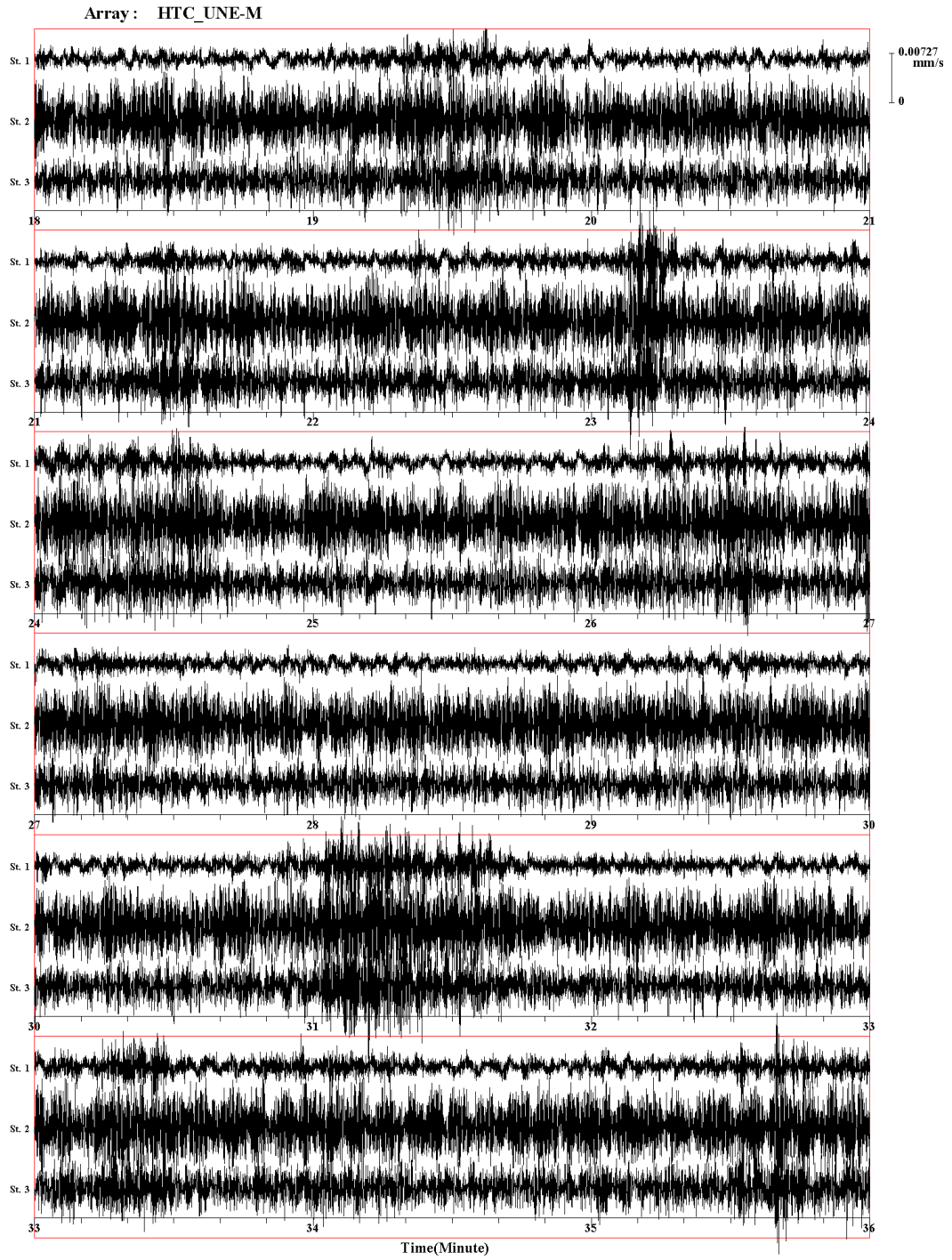


図 A.1.2.6-29(2) 日立アレイ M1 測点における微動の 3 成分波形

0728M_01

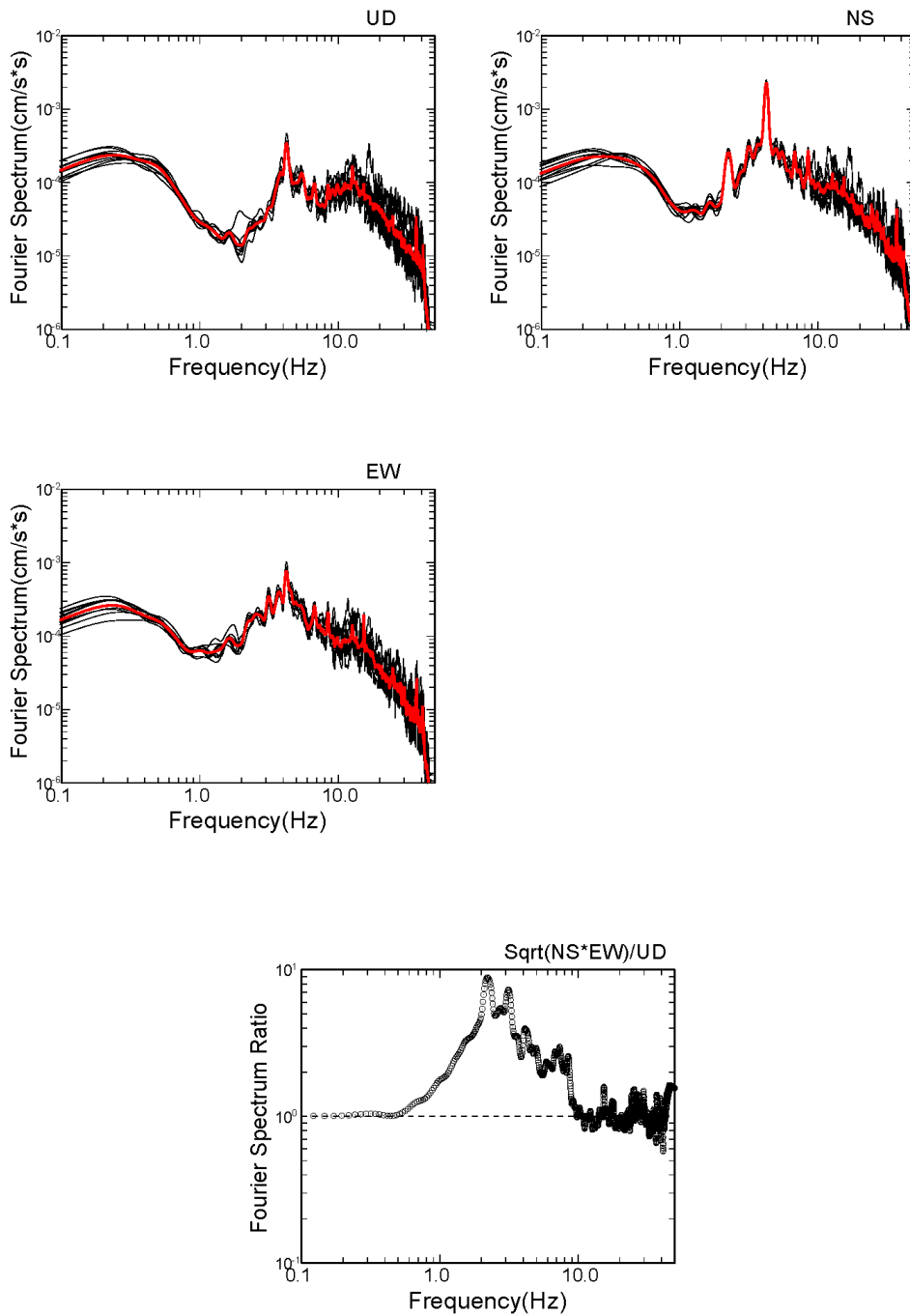


図 A.1.2.6-30 日立アレイ M1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動/上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW})/\text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

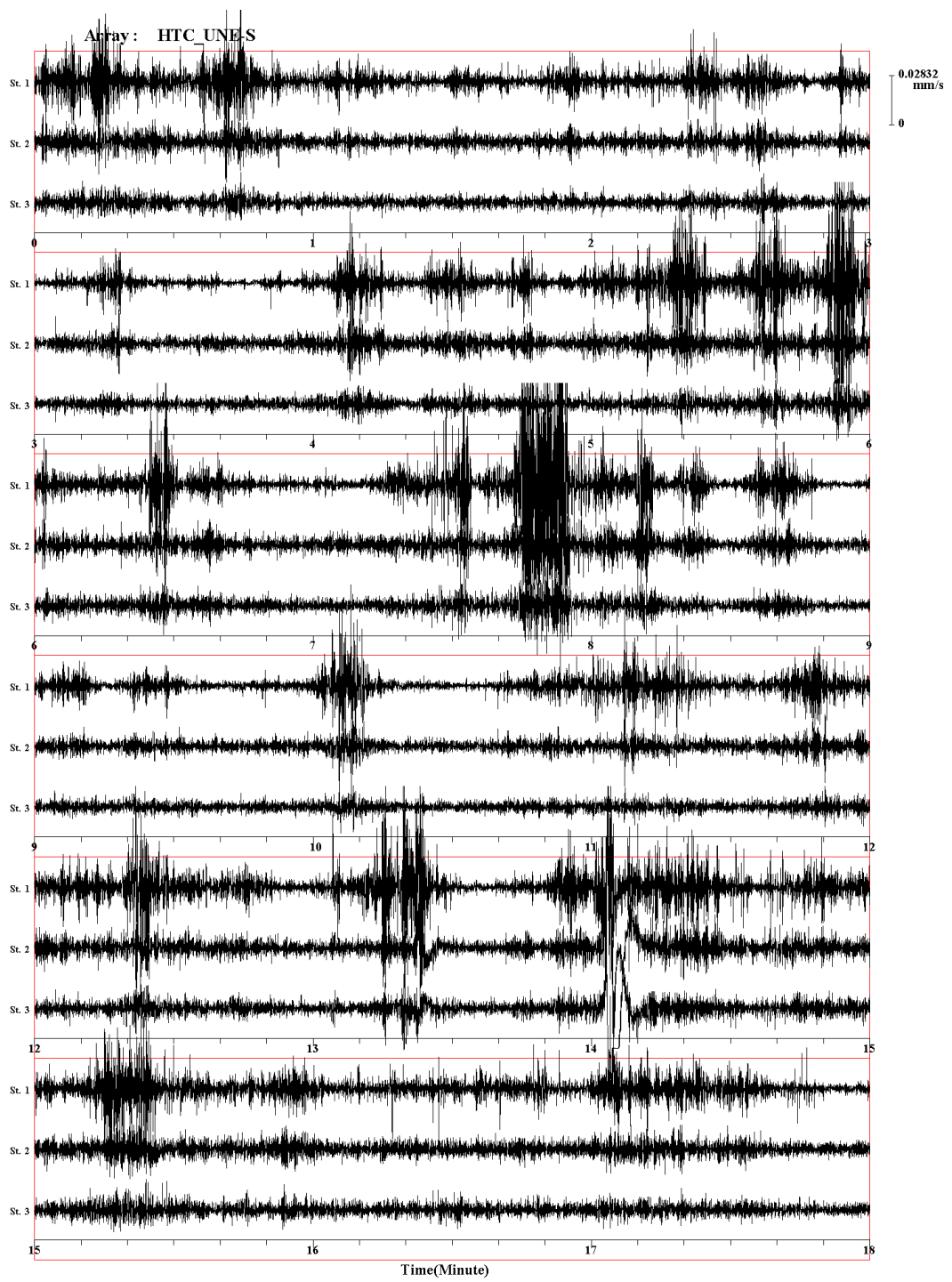


図 A.1.2.6-31(1) 日立アレイ S1 測点における観測の 3 成分波形

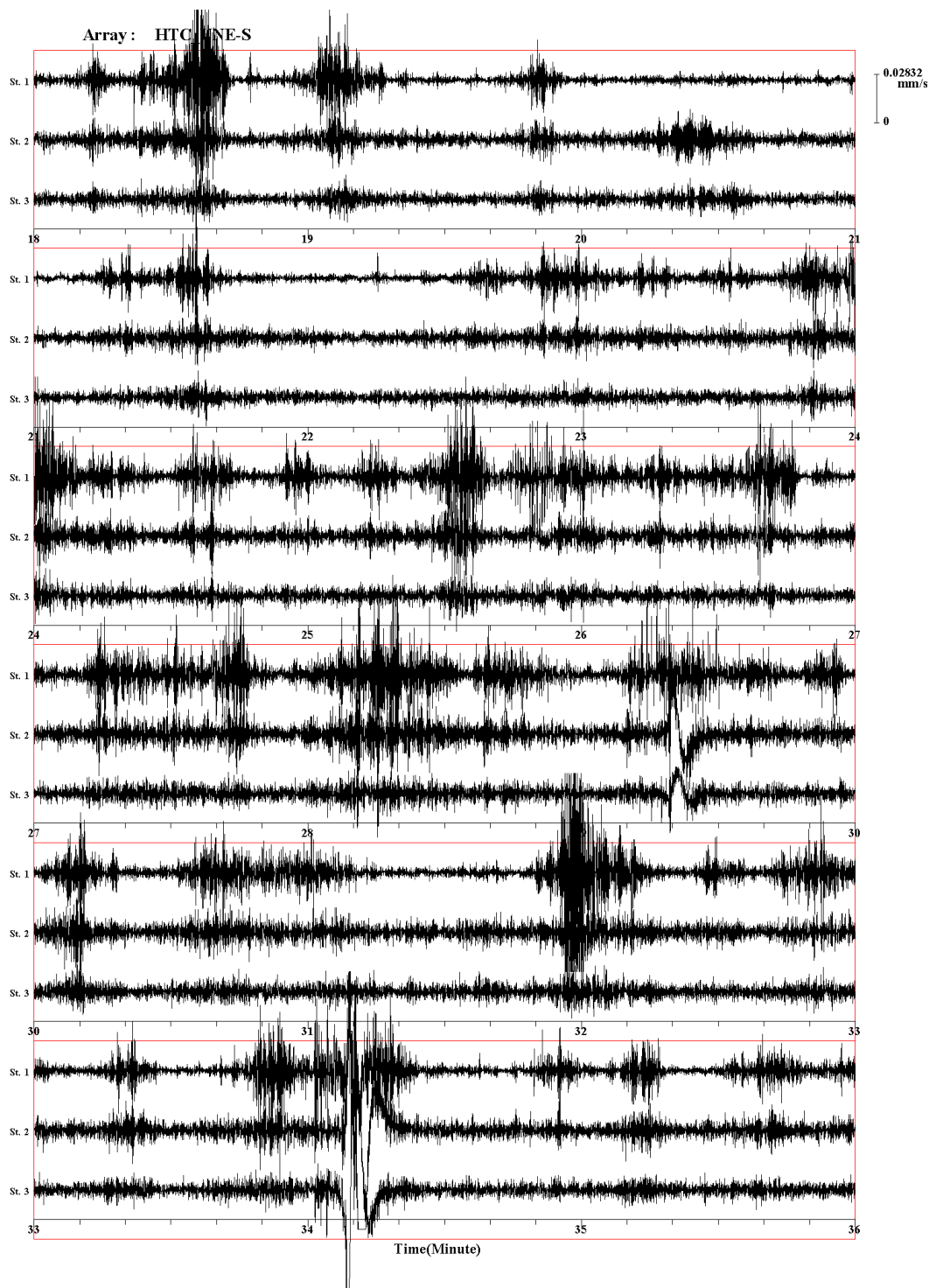


図 A.1.2.6-31(2) 日立アレイ S1 測点における微動の 3 成分波形

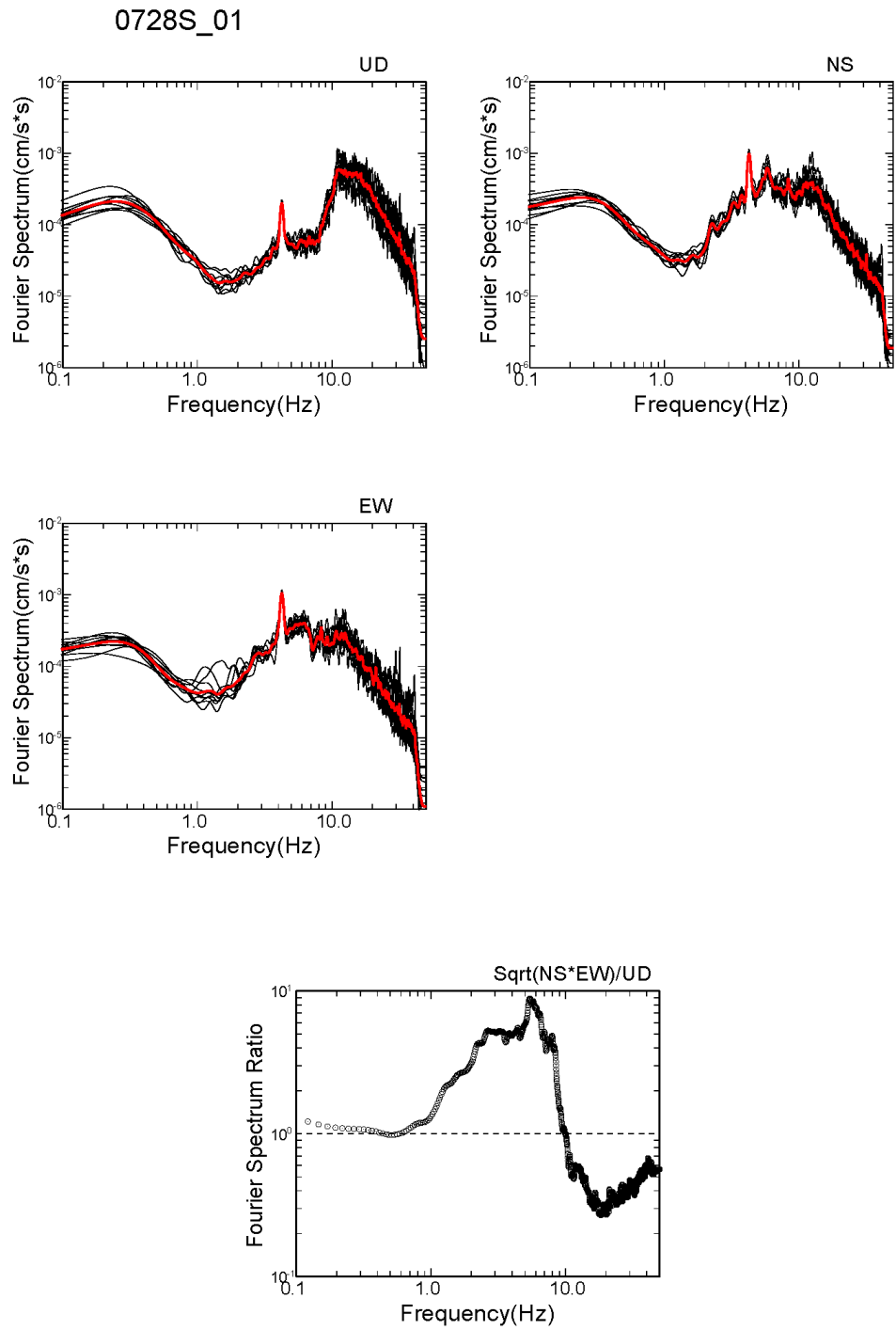


図 A.1.2.6-32 日立アレイ S1 測点における UD,NS,EW 成分のスペクトルおよび
 水平動／上下動成分スペクトル比($\text{Sqrt}(\text{NS} \cdot \text{EW}) / \text{UD}$)
 赤線：平均スペクトル 黒線：各解析区間のスペクトル
 太黒線（下の図）：平均スペクトル比

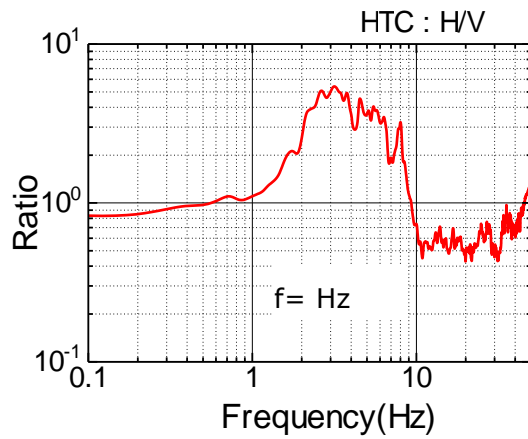
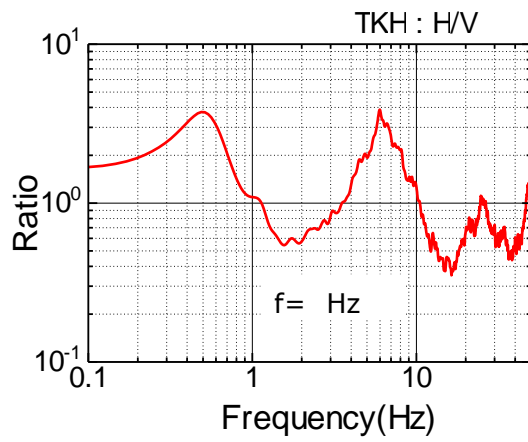
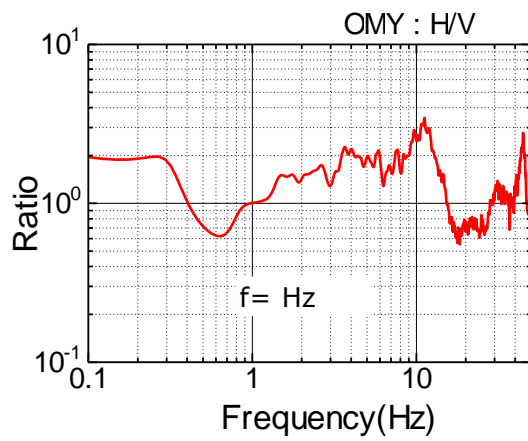
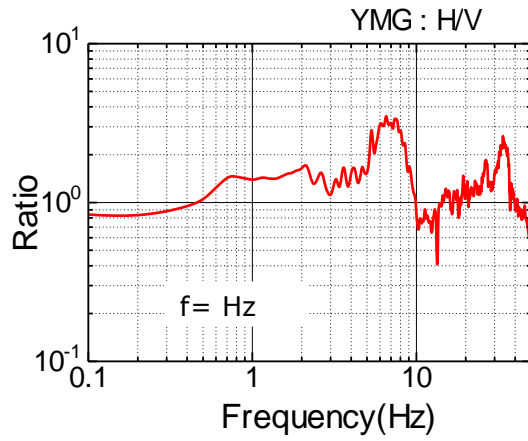


図 A.1.2.6-33 各観測点傍の測点における H/V の卓越周波数

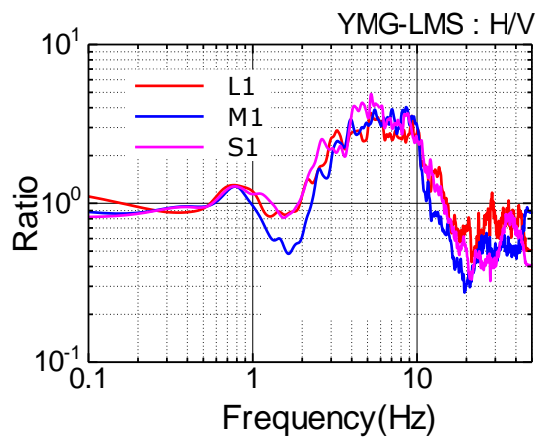
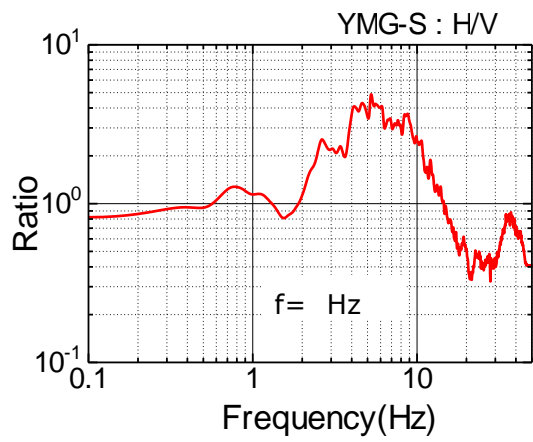
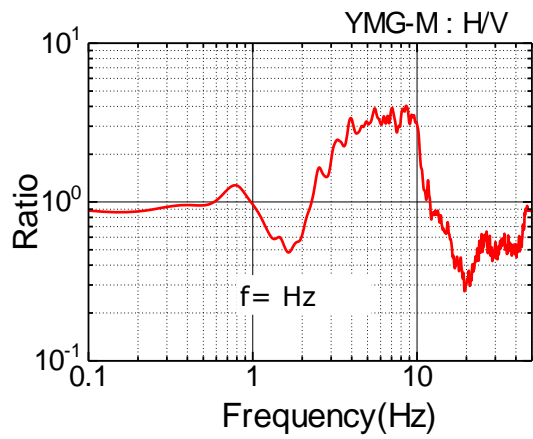
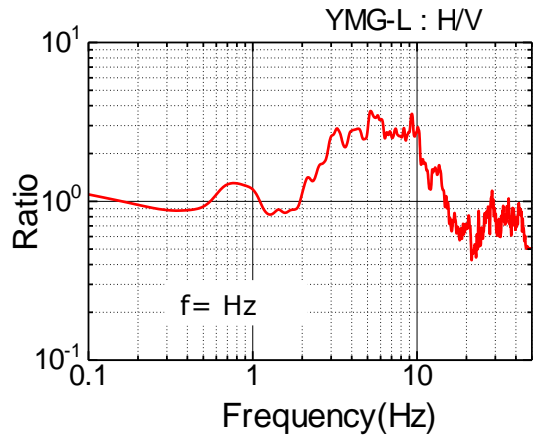


図 A.1.2.6-34 山方アレイの L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数

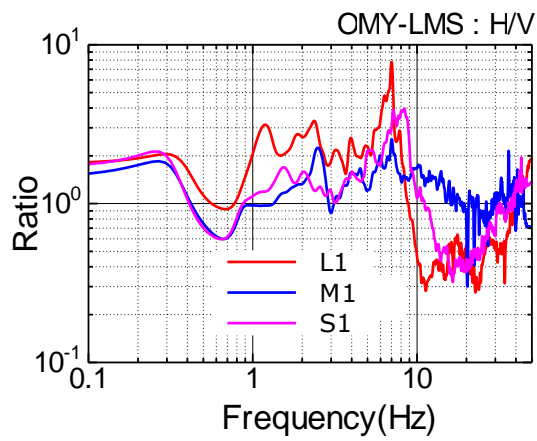
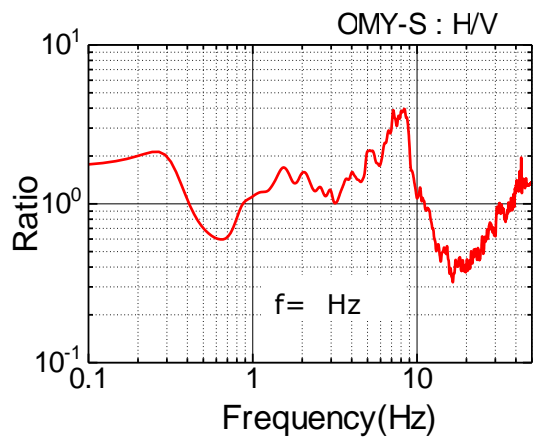
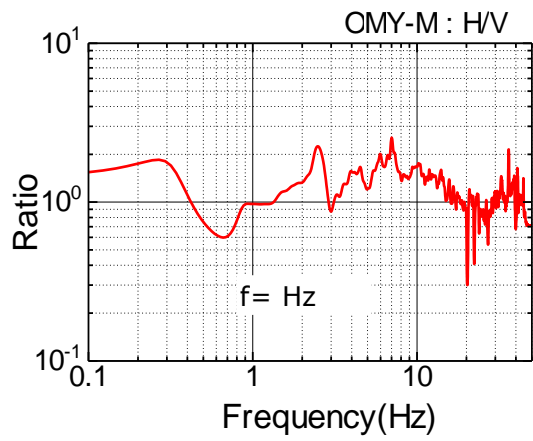
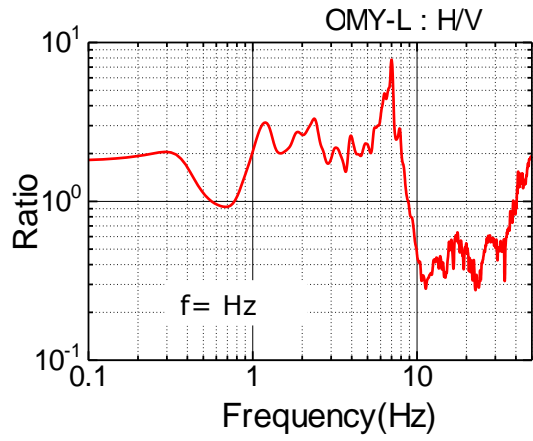


図 A.1.2.6-35 大宮アレイの L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数

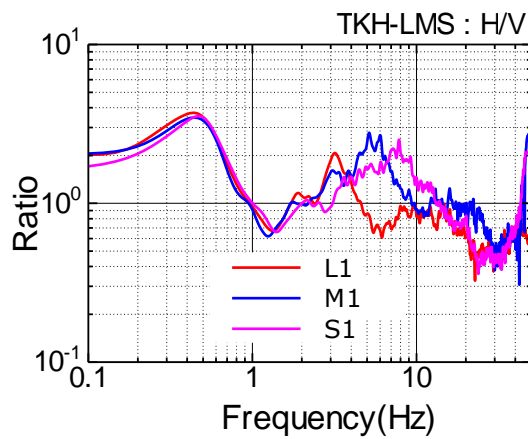
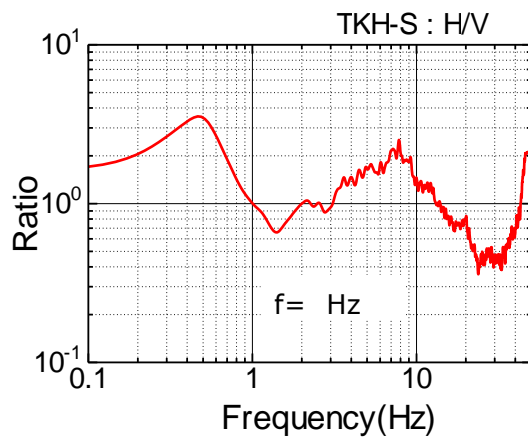
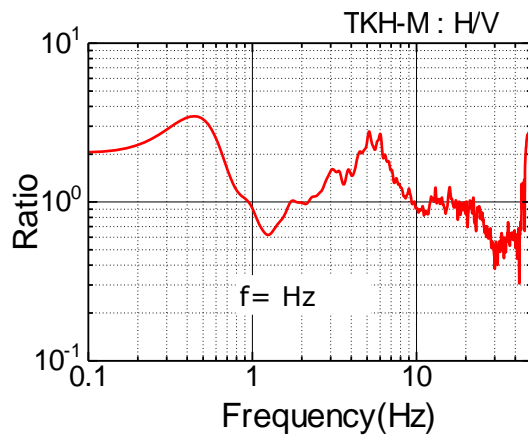
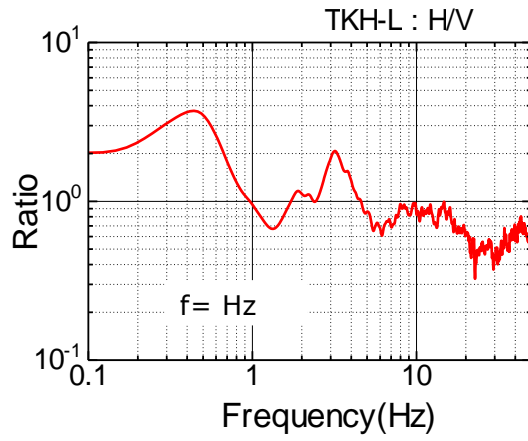


図 A.1.2.6-36 高萩アレイの L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数

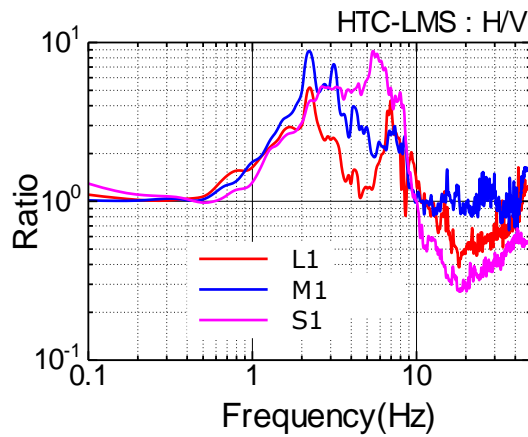
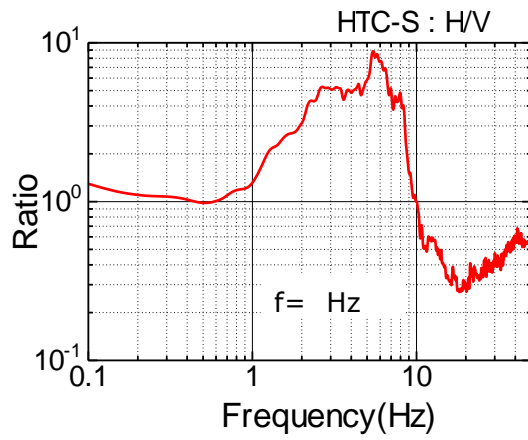
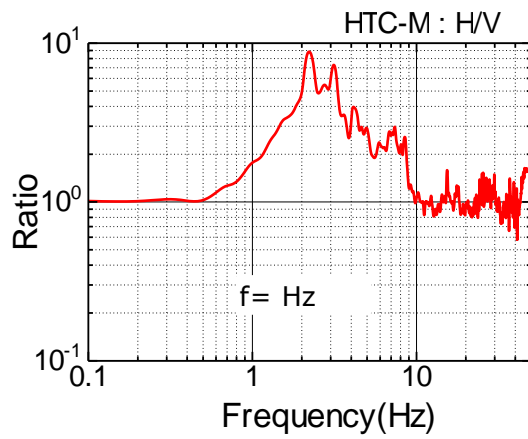
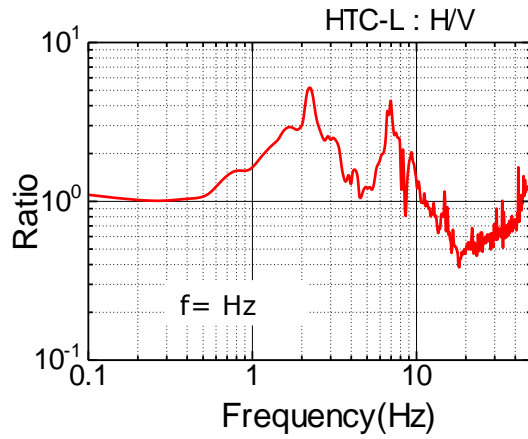


図 A.1.2.6-37 日立アレイの L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数

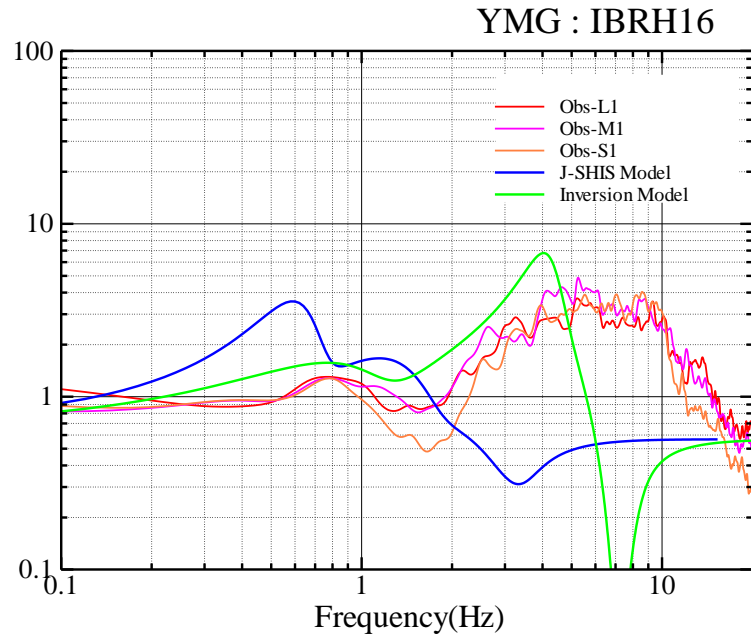


図 A.1.2.6-38(1) 山方アレイ L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数の比較
(観測値、J-SHIS Model と Inversion Model)

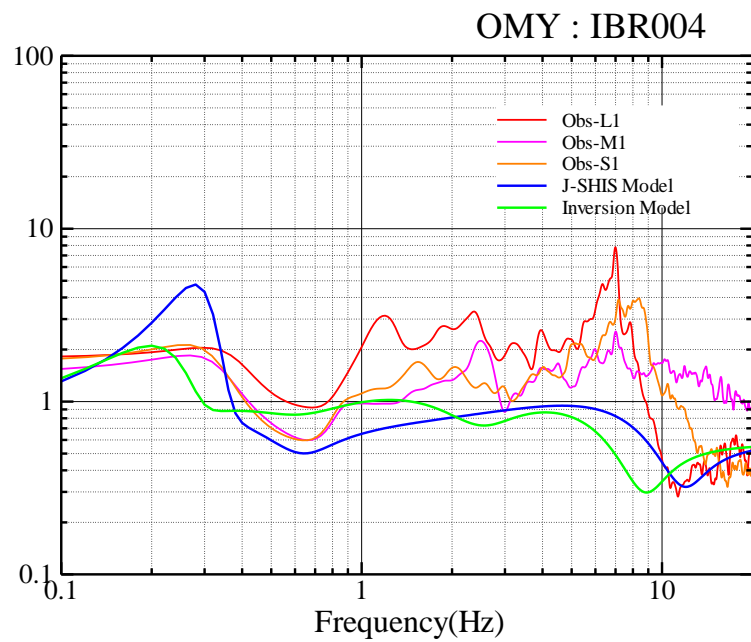


図 A.1.2.6-38(2) 大宮アレイ L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数の比較
(観測値と Inversion Model)

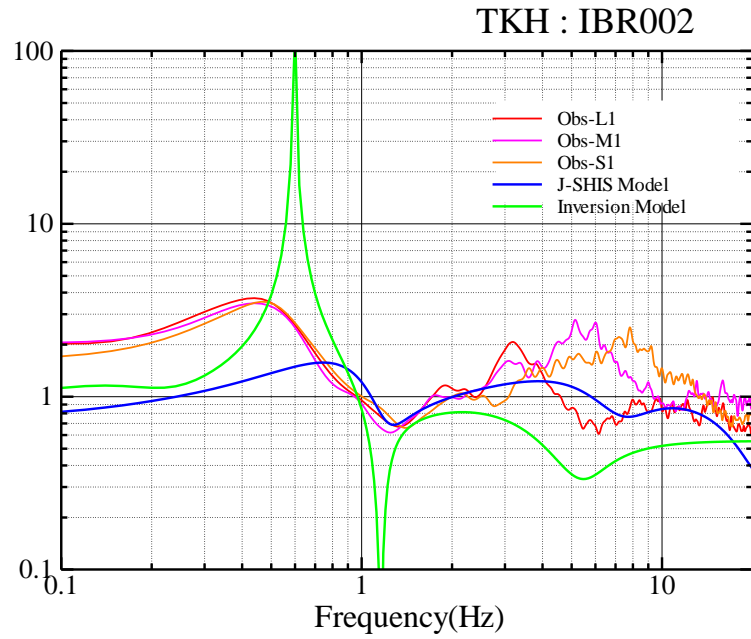


図 A.1.2.6-38(3) 高萩アレイ L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数の比較
(観測値、J-SHIS Model と Inversion Model)

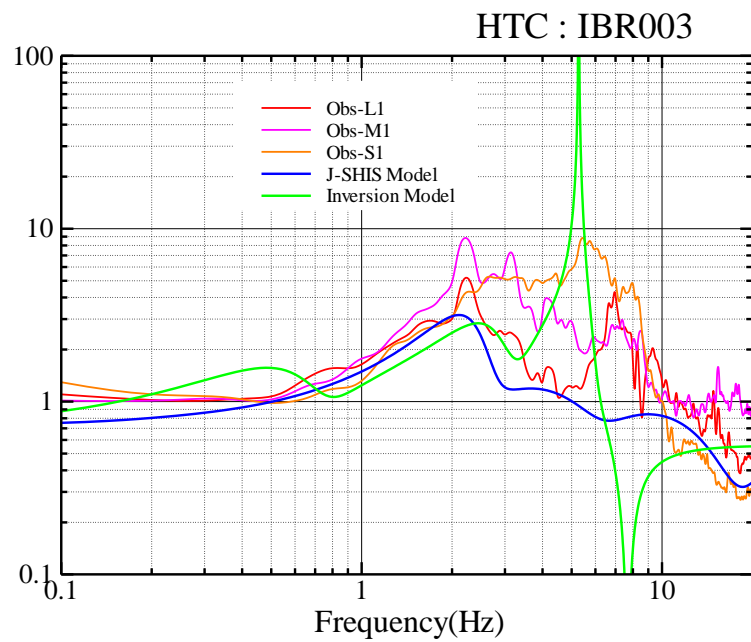


図 A.1.2.6-38(4) 日立アレイ L1、M1、S1 測点における H/V の卓越周波数の比較
(観測値、J-SHIS Model と Inversion Model)

■参考文献 A.1

Aki, K. (1957) : Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 35, 415-456.

長 郁夫・中西一郎・凌 甦群, 岡田 広(1999) : 微動探査法への個体群探索分岐型遺伝的アルゴリズムfGAの適用, 物理探査, 第52巻3号, 227-246.

神野達夫・先名重樹・森川信之・成田 章・藤原広行(2003) : 金沢平野における3次元地下構造モデル, 物理探査, 第56巻5号, 313-326.

Ludwig, W. J., J. E. Nafe, and Drake (1970): Seismic refraction, *The Sea*, 4-I, 53-84.

岡田 広・松島 健・森谷武男・笹谷 努 (1990) : 広域・深層地盤調査のための長周期微動探査法, 物理探査, 第43巻6号, 402-417.