

図 4.13: NG-FICA を用いた場合の ELF 帯観測信号選択数 r と推定局所信号の GIC の関係

4.7 ELF 帯環境電磁界観測データへの適用

実際の ELF 帯環境電磁波データに対し、ICA を用いた大域信号除去を適用する。

4.7.1 選択数 r の設定

観測信号を選択して解析する場合、その選択数によって結果は異なる。妥当な選択数 r をあらかじめ決定しておくことは重要である。今回の実験において、処理に用いる観測点の数 n は 30 とする。

29 セットの ELF 帯環境電磁波データに対し、選択数を変化させながら NG-FICA を用いた大域信号除去を適用し、推定された局所信号の GIC を計算した。その結果を図 4.13 に示す。図 4.13(a) の横軸は選択数 r 、縦軸は 29 データの平均の GIC を表し、誤差棒は標準偏差を表している。図 4.13(b) の横軸はデータセットの中で GIC が最小となった際の選択数 r 、縦軸はその頻度を表している。これらの結果より、概ね $r = 5$ の場合に最良の結果が得られると言える。よって、本章においては選択数 r を 5 に設定し、大域信号の推定と除去を行うこととする。

4.7.2 実験 1

まず、地震前兆信号が含まれていないと考えられる期間のデータに適用する。図 4.14 は、(a) 秋田県男鹿、(b) 岐阜県坂内、(c) 岐阜県南濃、(d) 長崎県雲仙に設置した観測点が、2001

表 4.2: 大域信号除去結果の評価 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

データ	<i>GIC</i>
観測信号	0.2512
推定された局所信号	
平均的な観測信号	0.1496
NG-FICA (全ての観測信号を解析)	0.1844
NG-FICA (選択した観測信号を解析)	0.0503
ExInfomax(全ての観測信号を解析)	0.1419
ExInfomax(選択した観測信号を解析)	0.0507

年 1 月 1 日から 3 日にかけて観測した信号である。この期間においては大きな地震が発生しておらず、異常信号もほとんど観測されていない。図の横軸は時系列(日時)を表し、縦軸は電磁界強度 [$\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$] を表している。これらの観測信号はお互いによく似ており、主な特徴として、夜は大きく昼は小さいといった日変化が見られる。この日変化は、一年を通して全ての観測点において観測されるものであり、大域信号によるものである。また、1 月 1 日の 14 時頃にはスパイク状の信号が見られる。これは、日変化とは異なるものの、ほとんどの観測点において確認できることから、大域信号によるものと言える。

図 4.15 は、第 3 章の式 (3.5) によって求めた平均的な観測信号である。横軸は時系列(日時)を、縦軸は信号の振幅を表している。解析する観測信号の選択や、推定された源信号からの大域信号の特定は、この信号との相互相関係数に基づいて行う。

図 4.16 と図 4.17 は、全ての観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号と局所信号である。推定された源信号の中で図 4.15 とよく似ており、相互相関計数が最も大きい成分であることから、図 4.16 は大域信号を推定したものとなる。この信号を観測信号から除去した結果が図 4.17 である。1 月 1 日の 14 時頃のスパイク状の信号が取り除かれているものの、日変化が共通して残っている。これは、スパイク状の信号は日変化とは別であり、これら 2 つは別個の大域信号として推定する必要があることを示唆している可能性があるが、平均的な観測信号(図 4.15)との相互相関係数が 0.5 を超える推定源信号は図 4.16 のみであり、大域信号の推定に失敗している可能性もある。

図 4.18 と図 4.19 は、選択した観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号と局所信号である。図 4.18 は、全ての観測信号を解析した場合と同様に、平均的な観測信号とよく似ている。そして、局所信号(図 4.19 からは、スパイク状の信号と日変化の両方が取り除かれている。大域信号の推定と除去が成功している可能性が高いと言える。

図 4.20 と図 4.21 は、全ての観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号と局所信号である。日変化とは多少異なる波形であるが、推定された源信号の中で図 4.15 との相互

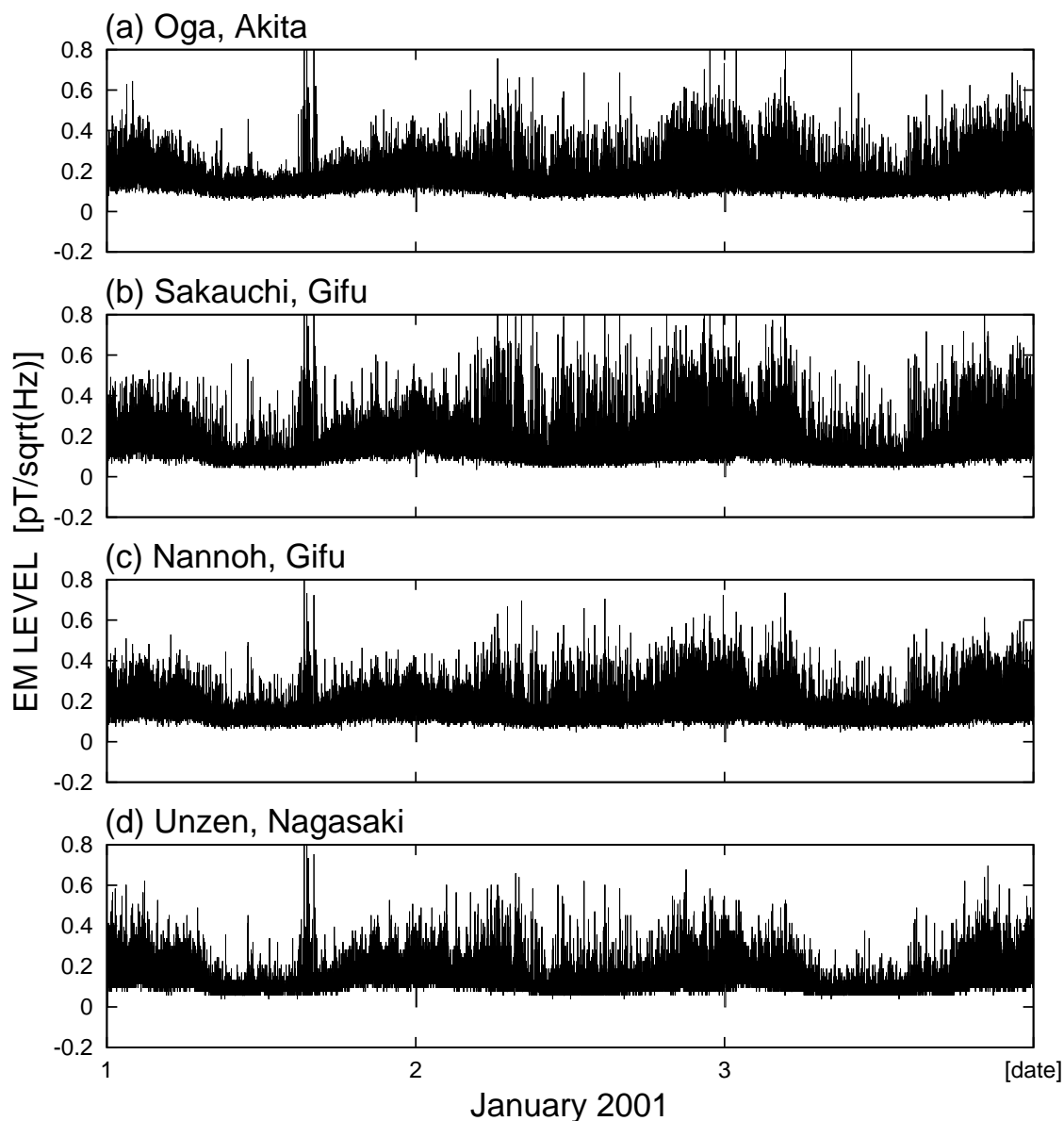


図 4.14: ELF 帯環境電磁波の観測信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

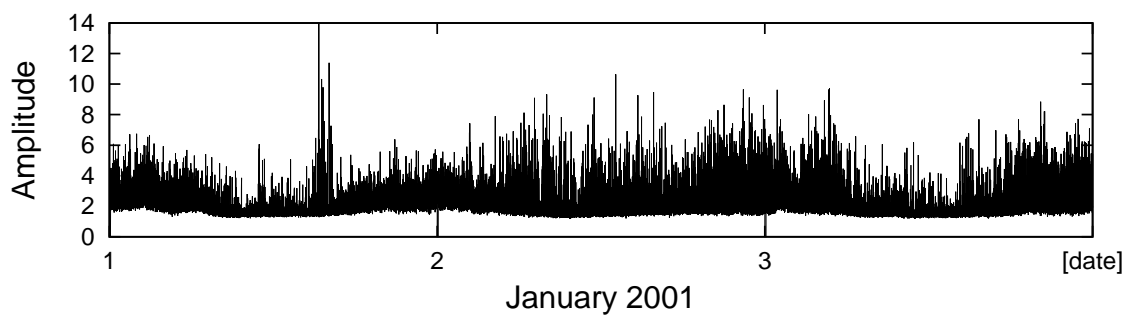


図 4.15: 平均的な観測信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

相関計数が最も大きい成分であることから、図 4.20 は大域信号を推定したものとなる。これを観測信号から除去した結果が図 4.21 であるが、岐阜県坂内の日変化が取り除かれておらず、大域信号除去に成功しているとは言い難い。

一方、選択した観測信号から ExInfomax によって推定された信号 (図 4.22 と図 4.23) は、それぞれ図 4.18 と図 4.19 によく似た結果となった。

これらの結果を、 GIC に基づいて評価する。表 4.2 は、観測信号およびそれぞれの局所信号から求めた GIC である。 GIC が小さいほど大域信号が適切に除去されていることを意味する。いずれの局所信号も、観測信号と比較して GIC が小さくなっている。また、全ての観測信号を解析した場合と比較して、選択した観測信号を解析した場合の方が GIC が小さくなっており、選択した観測信号を解析した場合において、NG-FICA と ExInfomax の差はほとんどなかった。このことから、ELF 帯環境電磁波データに関しても、ICA を用いて大域信号を除去することが可能と言える。また、解析する観測信号を選択することによって、その精度を向上させることができると言える。

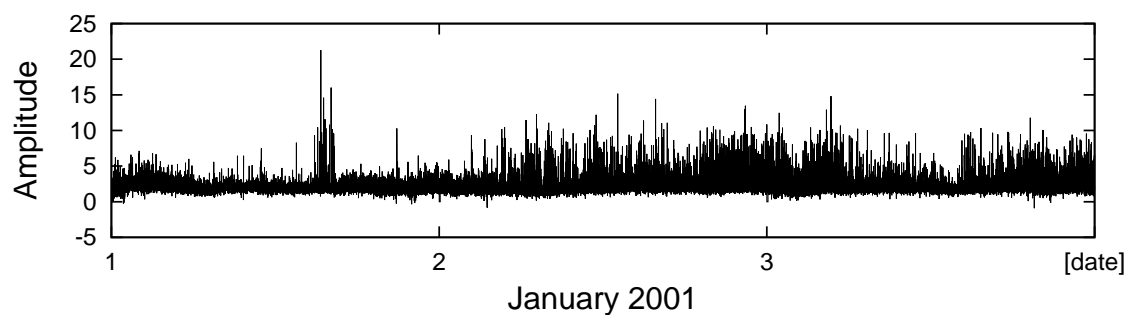


図 4.16: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

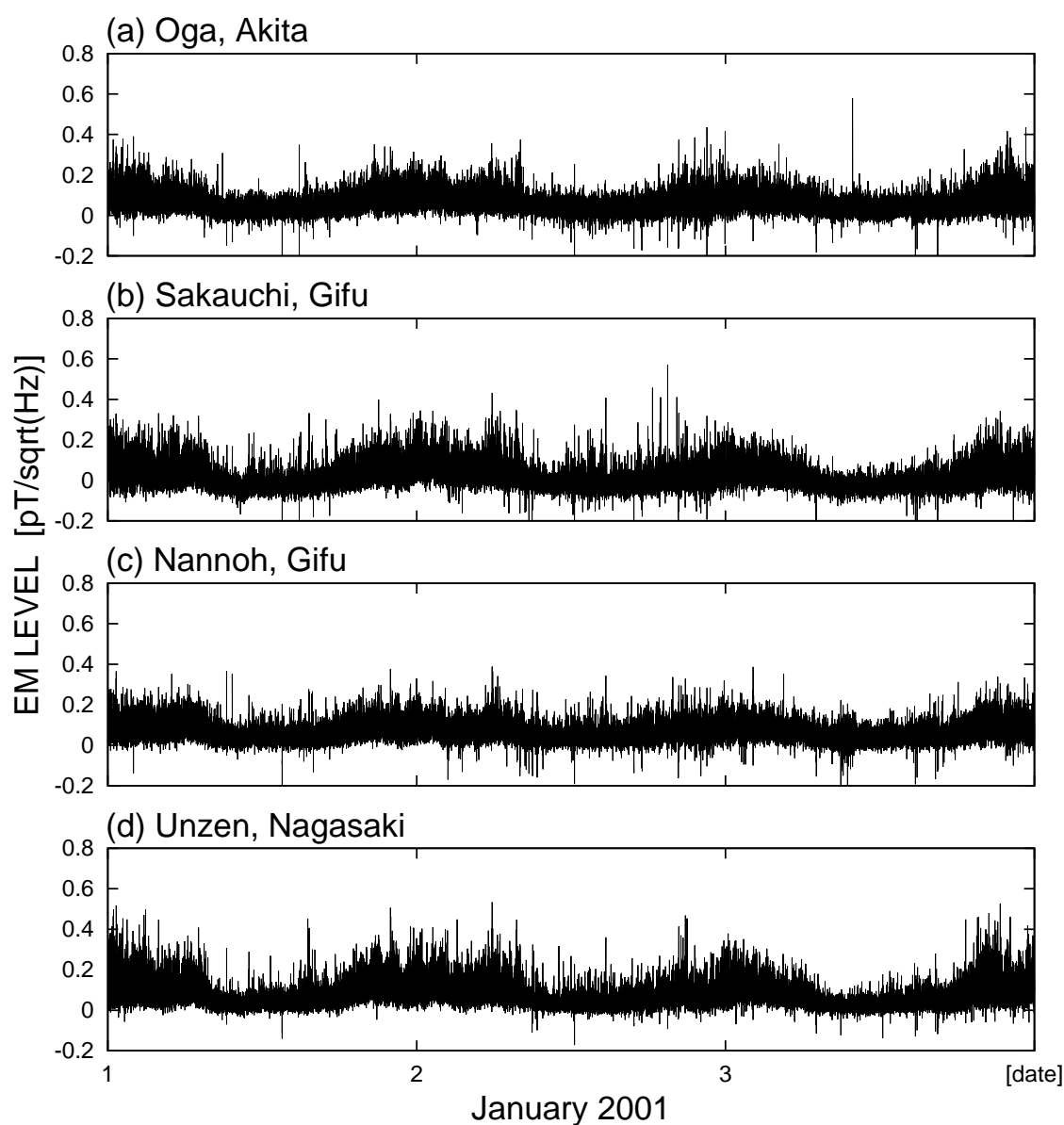


図 4.17: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

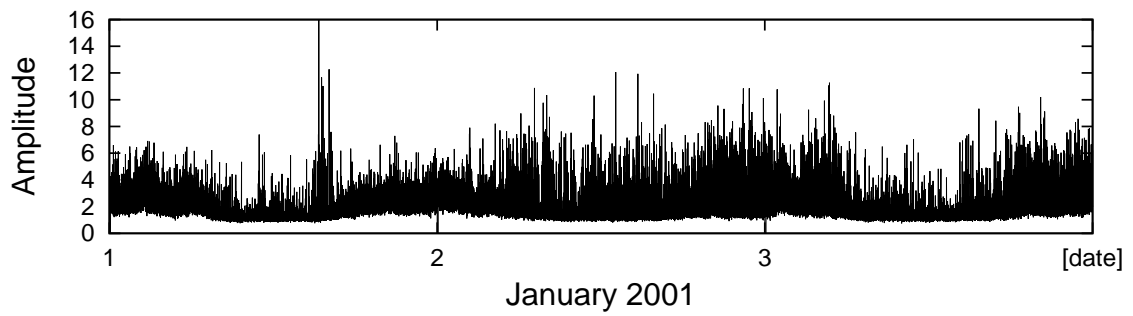


図 4.18: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

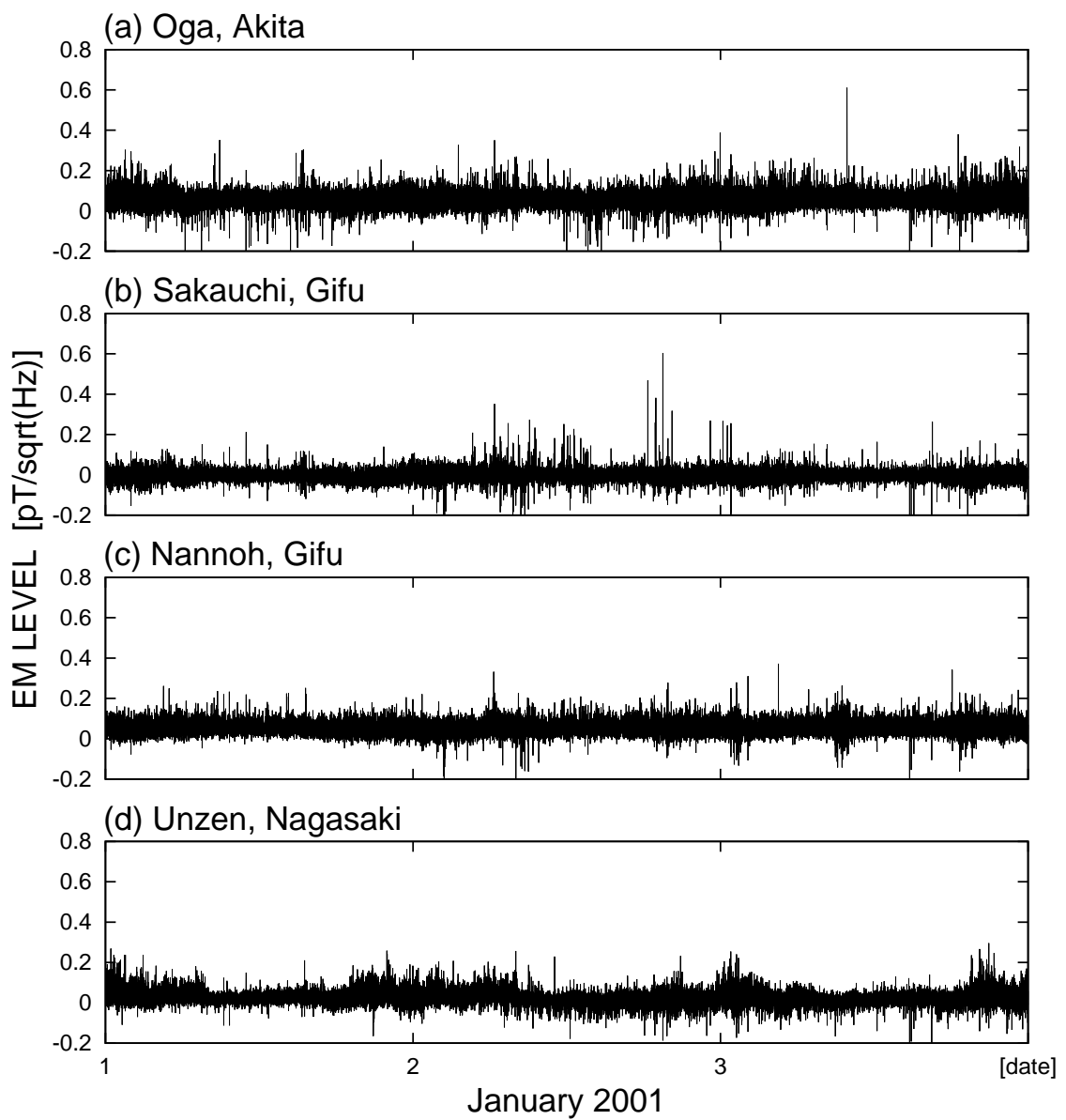


図 4.19: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

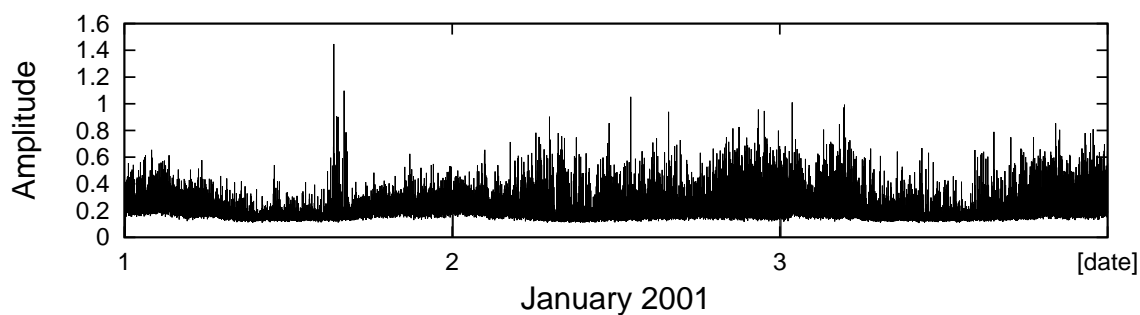


図 4.20: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

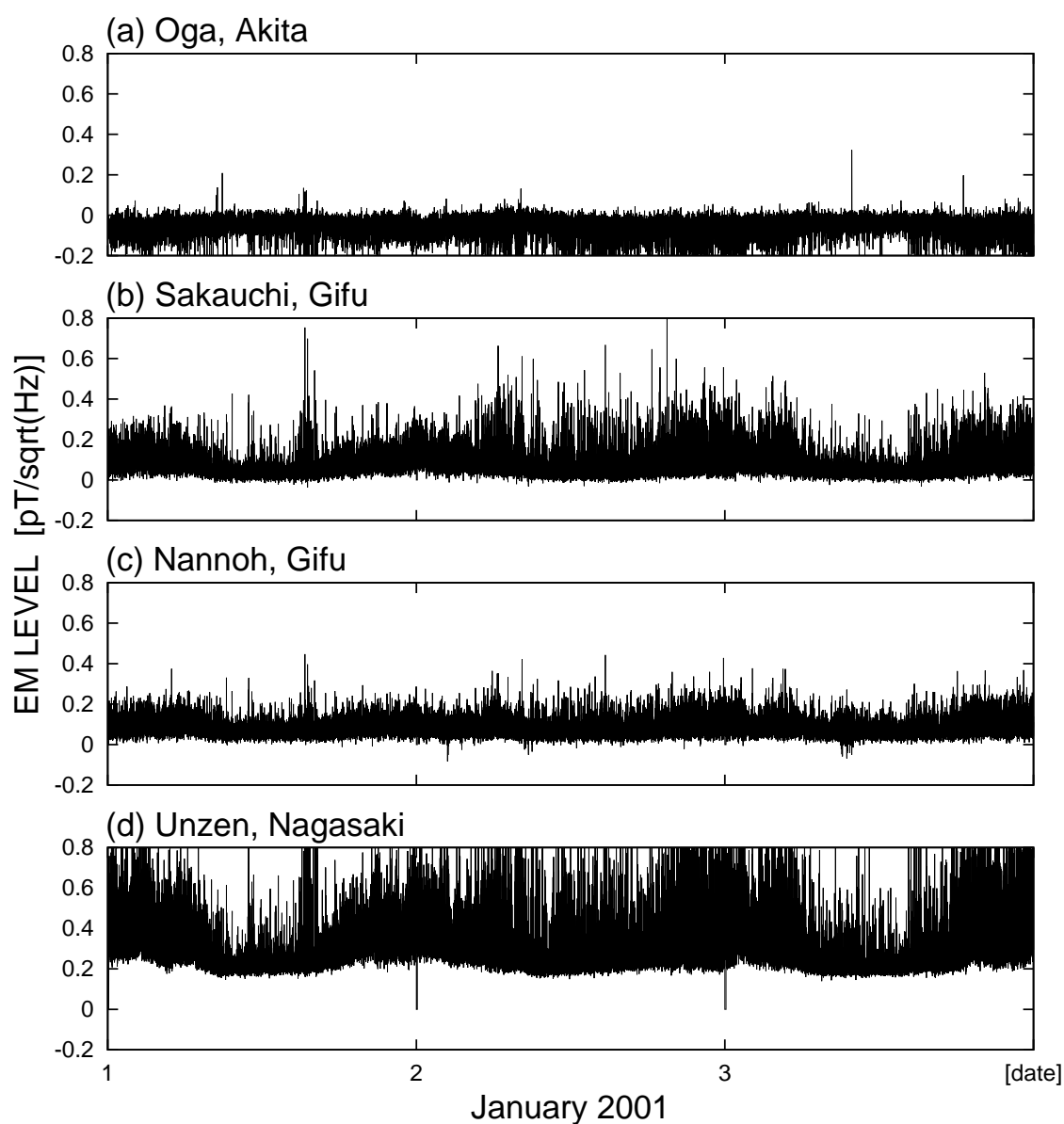


図 4.21: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

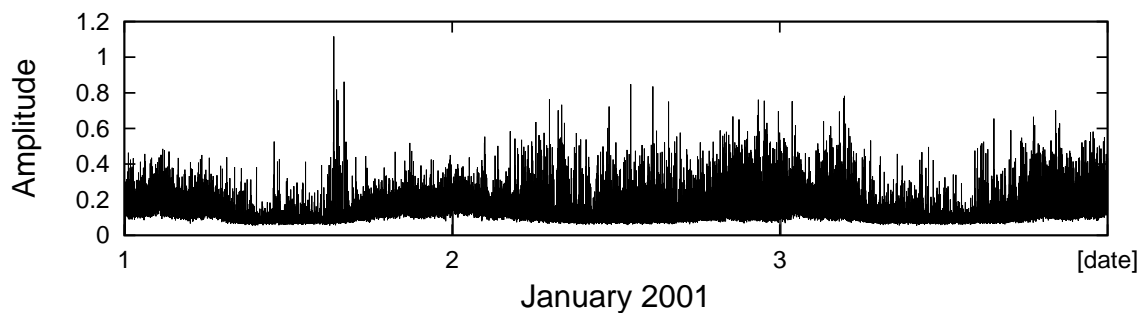


図 4.22: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

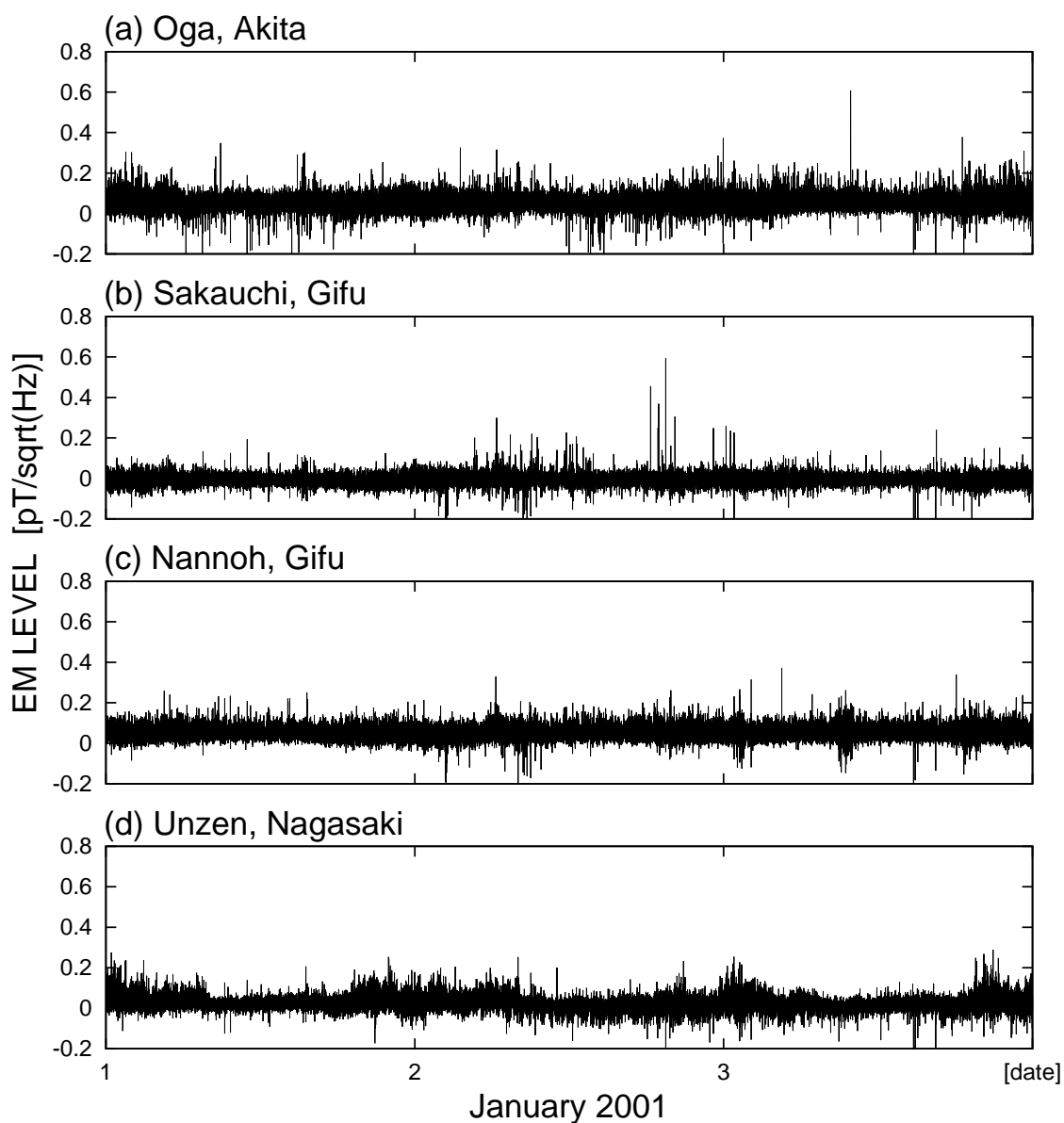


図 4.23: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 1 日から 3 日, 振幅値利用)

表 4.3: 大域信号除去結果の評価 (2005年3月16日から18日, 振幅値利用)

データ	<i>GIC</i>
観測信号	0.2085
推定された局所信号	
平均的な観測信号	0.1225
NG-FICA (全ての観測信号を解析)	0.1487
NG-FICA (選択した観測信号を解析)	0.0456
ExInfomax(全ての観測信号を解析)	0.1331
ExInfomax(選択した観測信号を解析)	0.0457

4.7.3 実験2

2005年3月17日に、長崎県雲仙の観測点において異常信号を確認した。その3日後である3月20日に福岡県西方沖地震 (M7.0) が発生していることから、確認された異常信号が地震と関連している可能性がある。そこで、3月16日から18日にかけての観測信号に対し、大域信号除去を行う。

観測信号を図4.24に示す。図の(a)から(d)は、それぞれ(a)秋田県男鹿、(b)岐阜県萩原、(c)大阪府茨木、(d)長崎県雲仙の観測信号を表している。(d)長崎県雲仙においては、3月16日の1時頃から12時頃の振幅が非常に大きくなっていることが確認できる。また、大域信号の特徴である日変化が、全ての観測信号において共通して確認できる。

図4.25は平均的な観測信号である。解析する観測信号の選択や、推定された源信号からの大域信号の特定は、この信号との相互相関係数に基づいて行う。

図4.26と図4.27は、全ての観測信号からNG-FICAによって推定された大域信号と局所信号である。また、図4.28と図4.29は、選択した観測信号からNG-FICAによって推定された大域信号と局所信号である。

図4.30と図4.31は、全ての観測信号からExInfomaxによって推定された大域信号と局所信号である。また、図4.32と図4.33は、選択した観測信号からExInfomaxによって推定された大域信号と局所信号である。

図4.26より、推定された大域信号には日変化のようなものが見られる。しかし、局所信号(図4.27)には依然として日変化が共通して確認できる。大域信号の除去が適切でないと言える。一方、選択した観測信号から推定した大域信号(図4.28)には日変化がはっきりと確認できる。また、局所信号(図4.29)において、岐阜県萩原や大阪府茨木の信号はほぼ平坦になっており、長崎県雲仙の信号も、異常信号の確認できる期間を除いてほぼ平坦になっている。大域信号が適切に除去されていると考えられる。ExInfomaxについてはNG-FICAと同様の

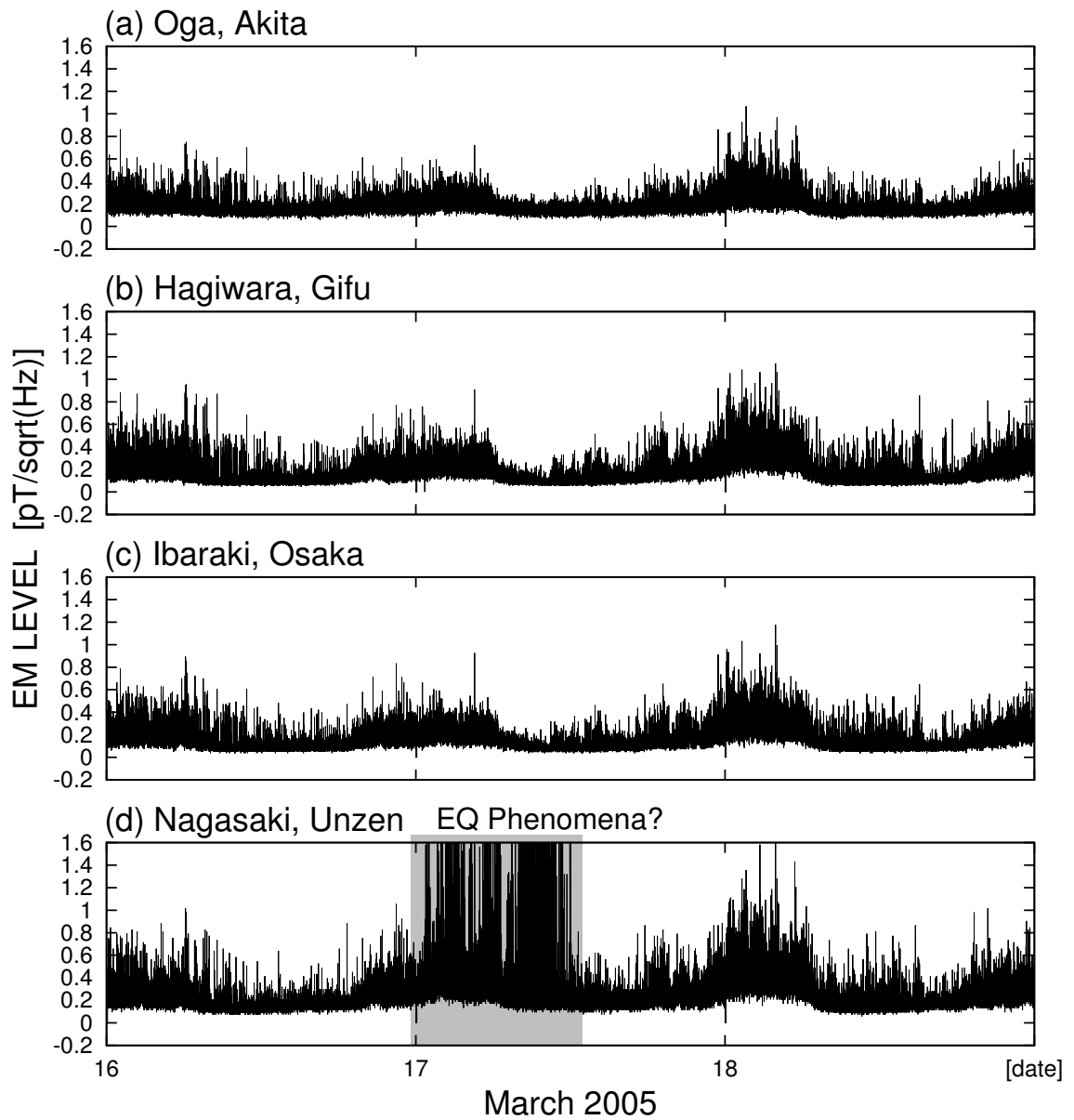


図 4.24: ELF 帯環境電磁波の観測信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

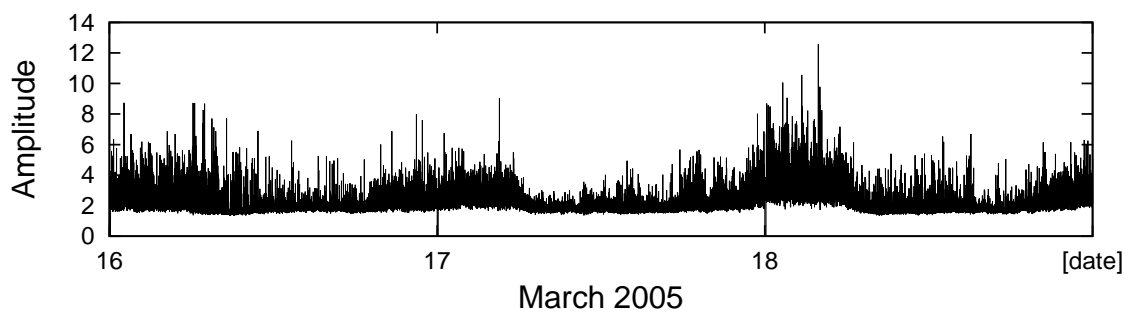


図 4.25: 平均的な観測信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

結果となった。

それぞれの局所信号から算出した GIC を表 4.3 に示す。これまでの実験と同様に、観測信号、全ての観測信号から推定した局所信号、選択した観測信号から推定した局所信号という順で GIC が小さくなっている。このことから、ICA を用いて大域信号を適切に除去するには、やはり観測信号を選択することが必要だと言える。

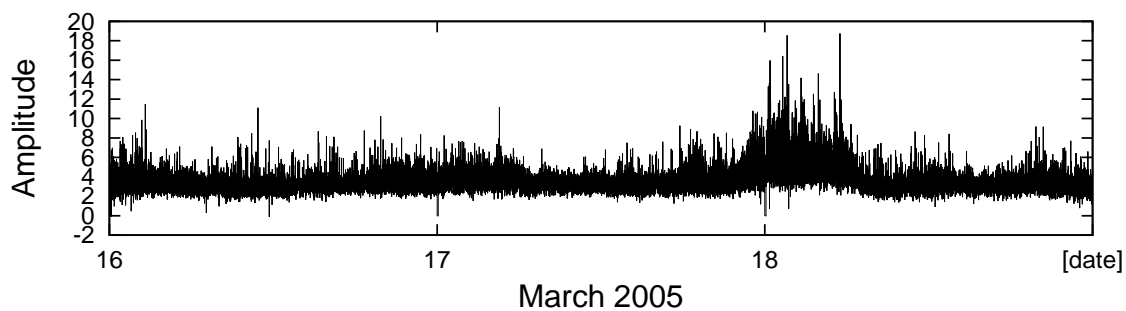


図 4.26: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

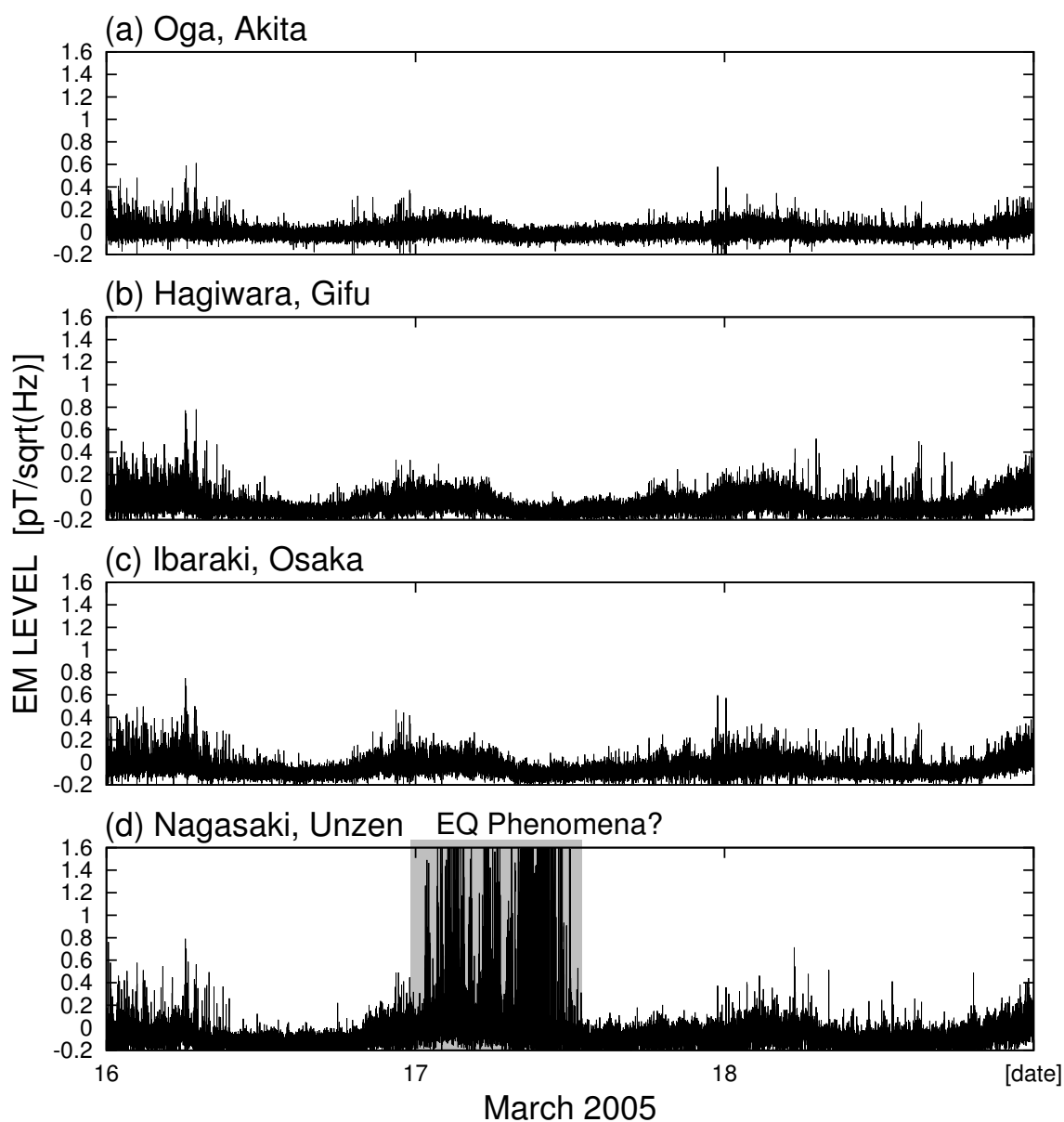


図 4.27: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

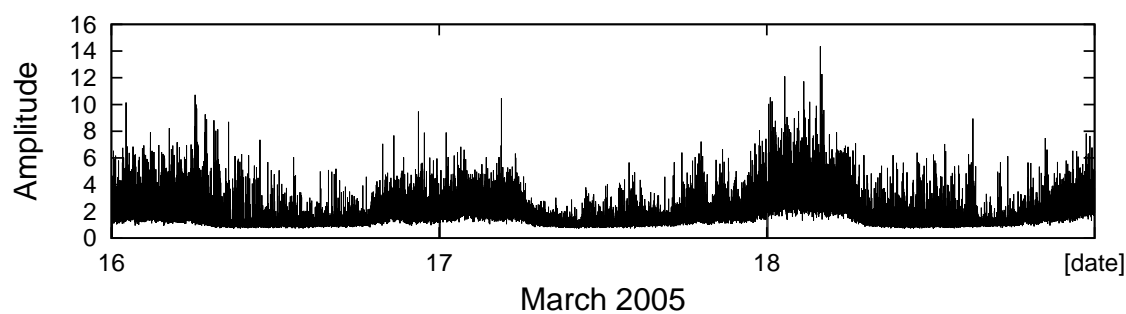


図 4.28: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

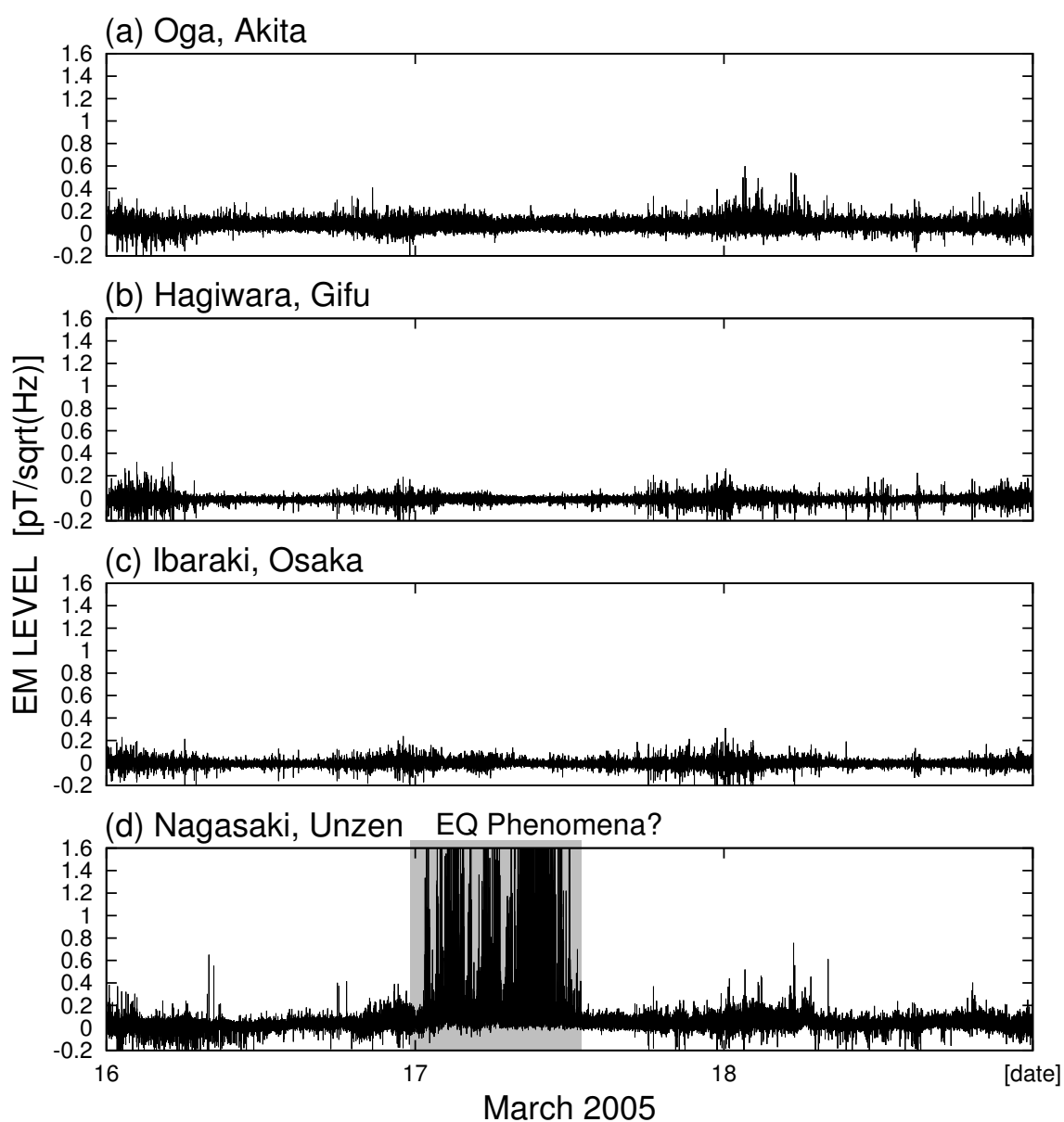


図 4.29: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

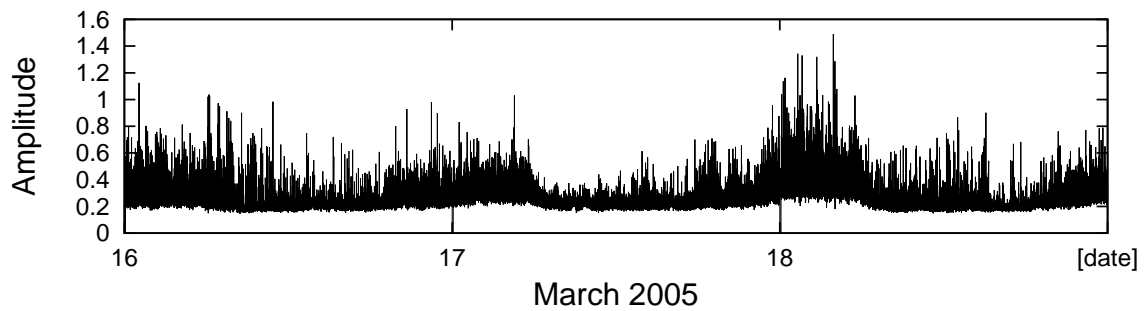


図 4.30: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

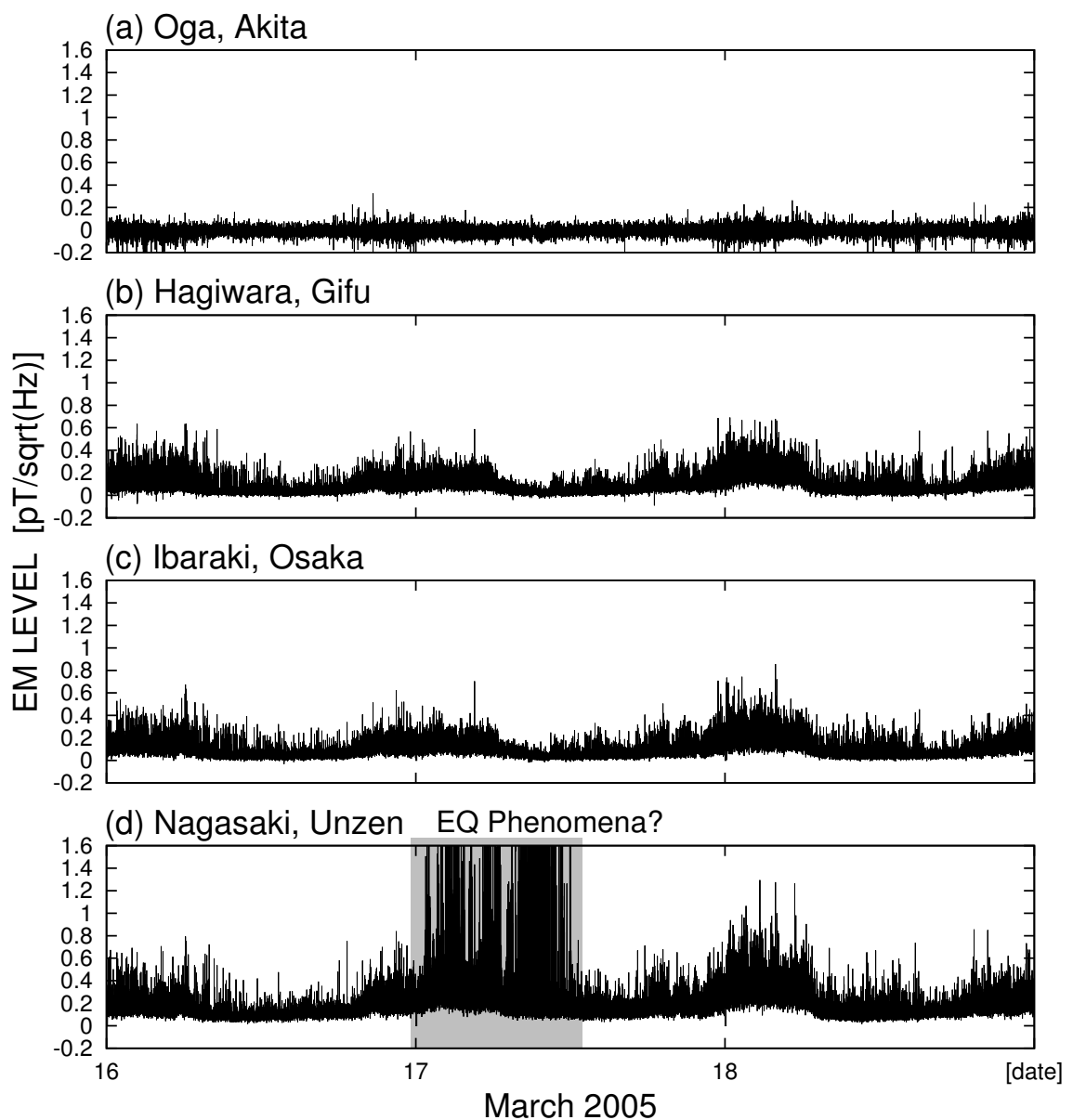


図 4.31: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

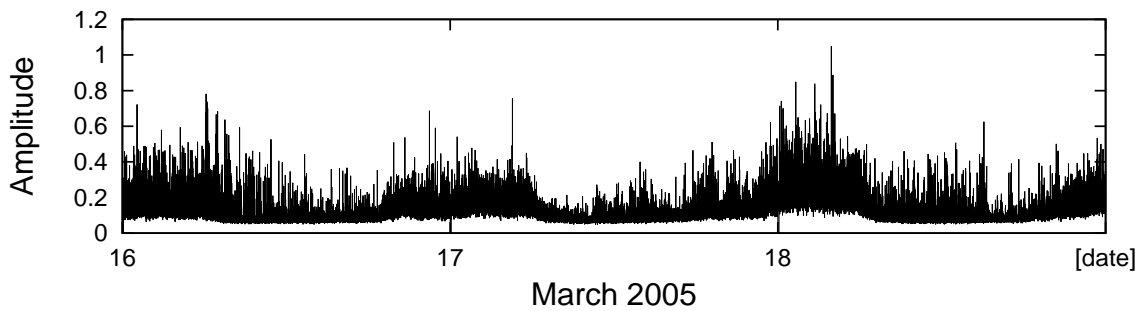


図 4.32: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

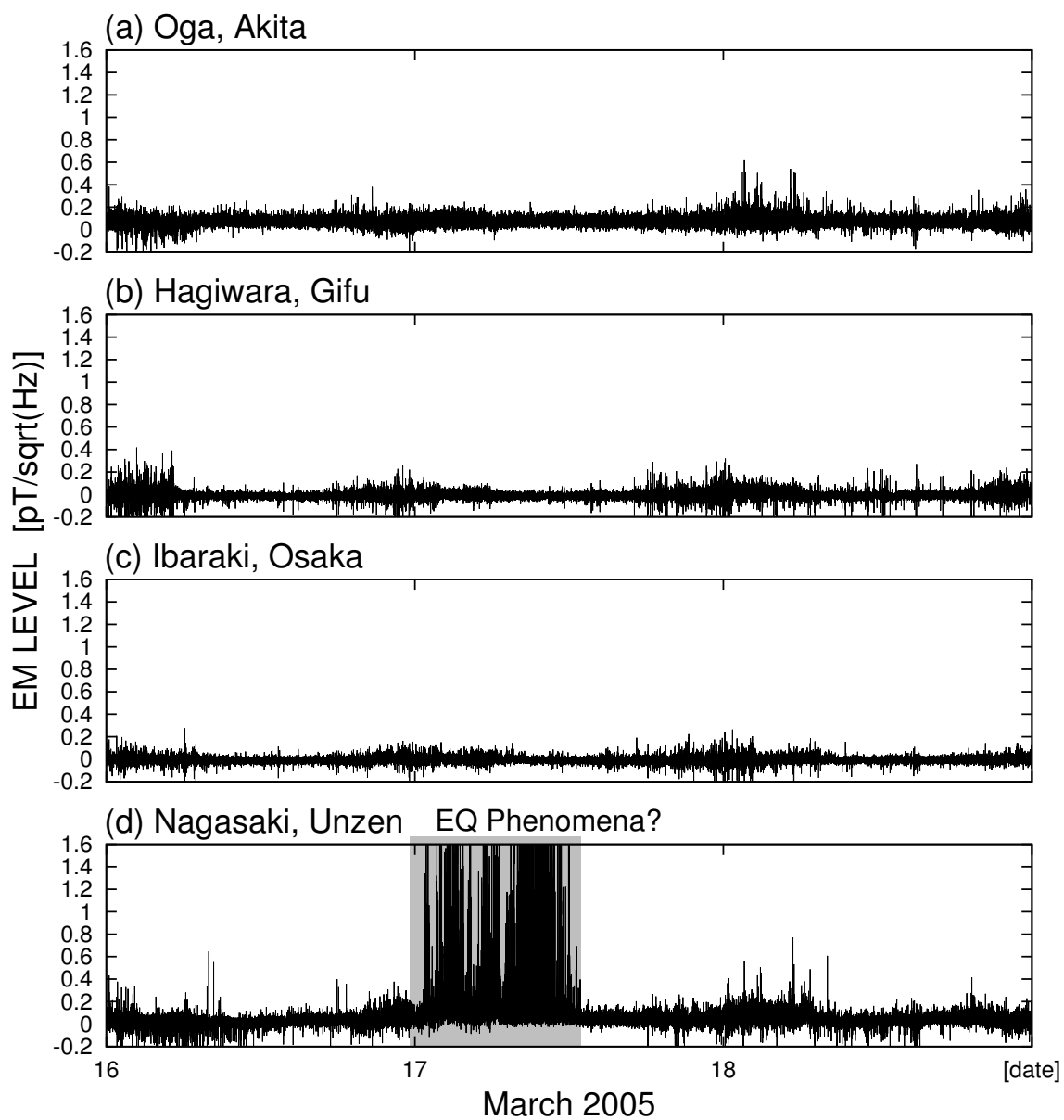


図 4.33: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2005 年 3 月 16 日から 18 日, 振幅値利用)

表 4.4: 大域信号除去結果の評価 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

データ	GIC
観測信号	0.1821
推定された局所信号	
平均的な観測信号	0.1938
NG-FICA (全ての観測信号を解析)	0.1074
NG-FICA (選択した観測信号を解析)	0.0489
ExInfomax(全ての観測信号を解析)	0.1053
ExInfomax(選択した観測信号を解析)	0.0498

4.7.4 実験 3

2001 年 1 月 4 日から 6 日にかけて, 岐阜県南濃の観測点において異常信号が観測された. 同月 6 日 11 時 48 分に岐阜県東濃において M4.8 の規模の地震が発生しており, 岐阜県南濃で観測された異常信号との関連が考えられる. そこで, 2001 年 1 月 4 日~6 日の観測信号に対し, 大域信号除去を適用する.

2001 年 1 月 4 日~6 日に観測された信号のうち, 一部の観測点のものを図 4.34 に示す. 図の横軸は時刻 (日時) を, 縦軸は磁界強度 [$\text{pT}\sqrt{\text{Hz}}$] を表している. 岐阜県南濃の観測信号は図 4.34(b) に示したものであるが, 他の観測信号と比較しても, 異常信号を確認することは難しい. 他の観測点と外形が似ていることから, 大域信号に埋もれてしまっているといえる.

図 4.35 は平均的な観測信号である. 解析する観測信号の選択や, 推定された源信号からの大域信号の特定は, この信号との相互相関係数に基づいて行う.

図 4.36 と図 4.37 は, 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号と局所信号である. また, 図 4.38 と図 4.39 は, 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号と局所信号である.

図 4.40 と図 4.41 は, 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号と局所信号である. また, 図 4.42 と図 4.43 は, 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号と局所信号である.

図 4.36 より, 推定された大域信号には日変化のようなものが見られる. また, 推定された局所信号 (図 4.37) より, (c) の岐阜県南濃の 4 日 6 時頃から 6 日 8 時頃にかけて, 異常信号らしきものが確認できるようになった. しかし, (b) の岐阜県坂内や (a) の秋田県男鹿に残っている日変化と比較して, 振幅に優位性があるとは言えない. 一方, 選択した観測信号から推定した大域信号 (図 4.38) には日変化がはっきりと確認でき, 局所信号 (図 4.39) には日変化が見られなくなっている. また, 岐阜県南濃の異常信号も, はっきりと確認できる. ExInfomax

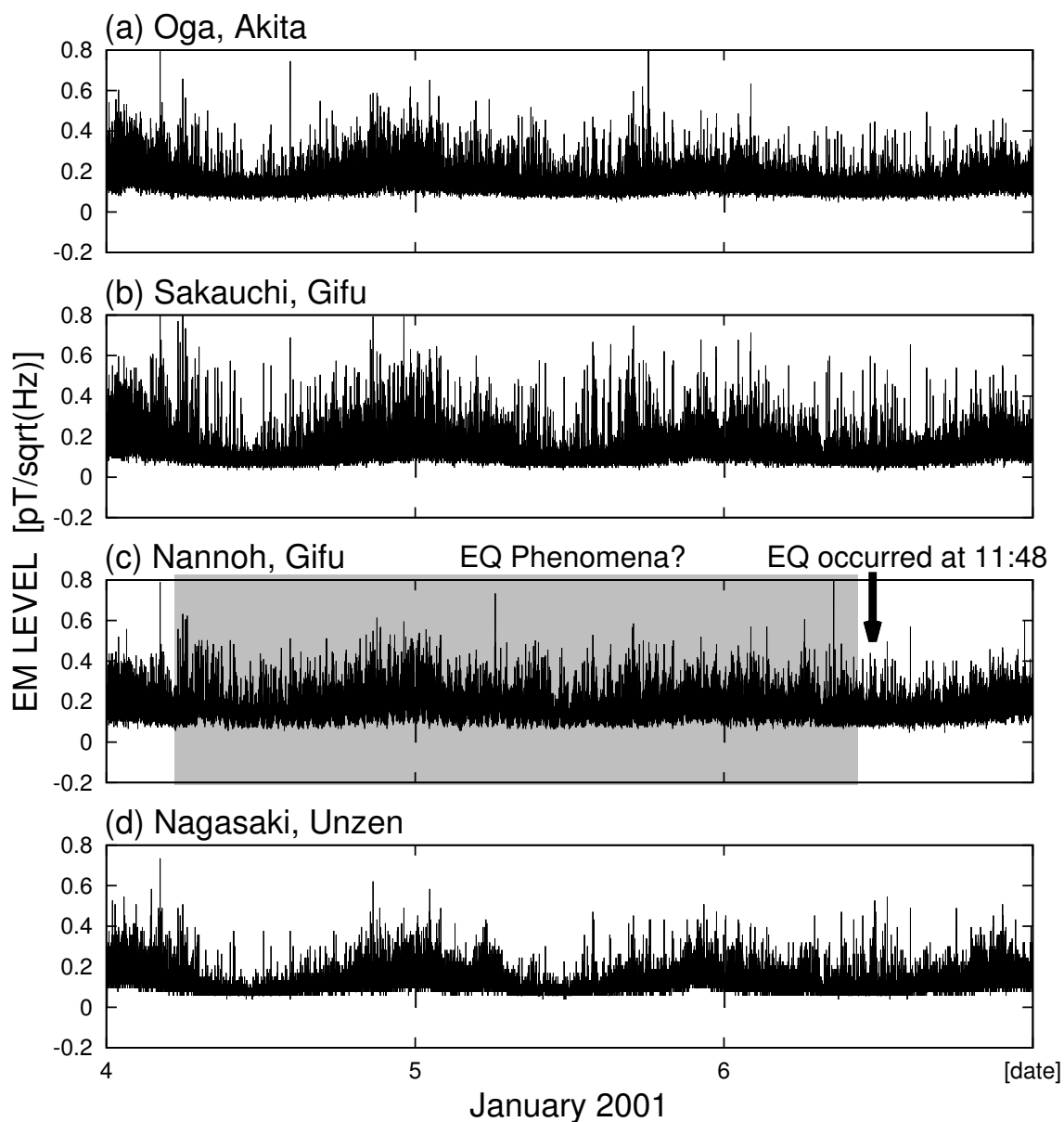


図 4.34: ELF 帯環境電磁波の観測信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

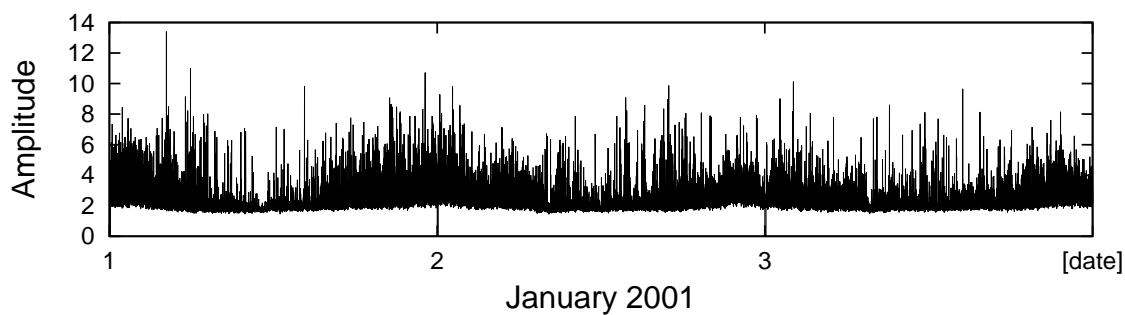


図 4.35: 平均的な観測信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

についてはNG-FICAと同様の結果となった。

それぞれの局所信号から算出した GIC を表 4.4 に示す。前節の実験と同様に、観測信号、全ての観測信号から推定した局所信号、選択した観測信号から推定した局所信号という順で GIC が小さくなっている。

4.8 まとめ

本章では、独立成分解析を用いた大域信号除去について述べた。まず、多点観測信号から源信号を推定する独立成分解析について説明した。次に、実際に大域信号を推定するに当たって、すべての観測信号を用いた場合に推定精度が低下することから、使用観測点を少数に絞り込み、それらを用いた大域信号推定結果を全ての観測信号と対応付け、除去する工夫について述べた。また、シミュレーション実験とともに ELF 帯環境電磁波観測データへ適用と評価を行い、独立成分解析によって大域信号が推定されること、工夫によって大域信号の推定・除去精度が向上することを示した。

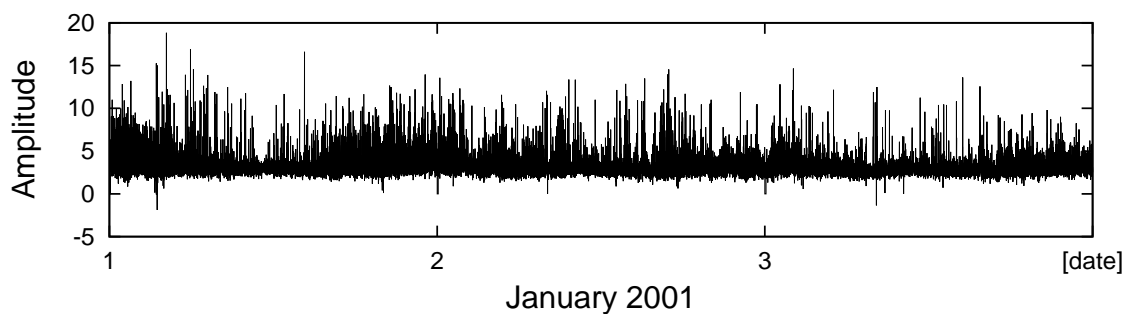


図 4.36: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

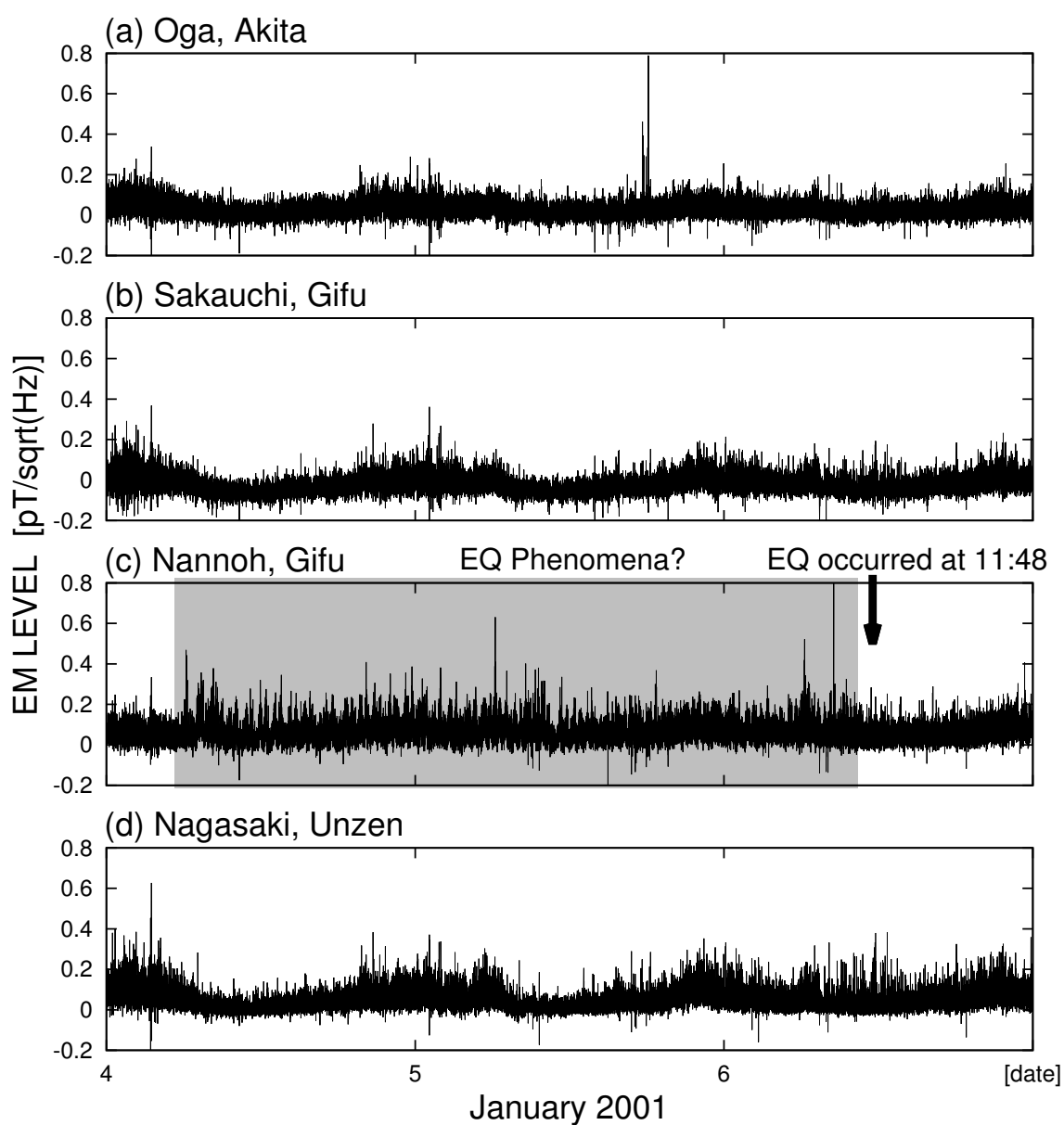


図 4.37: 全ての観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

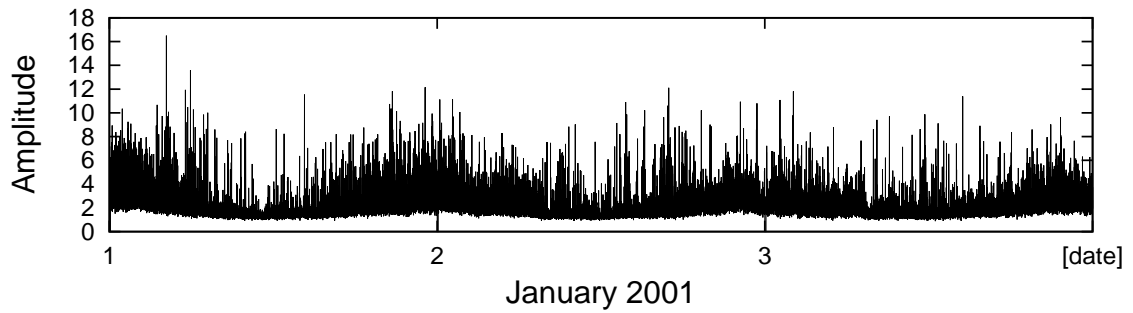


図 4.38: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

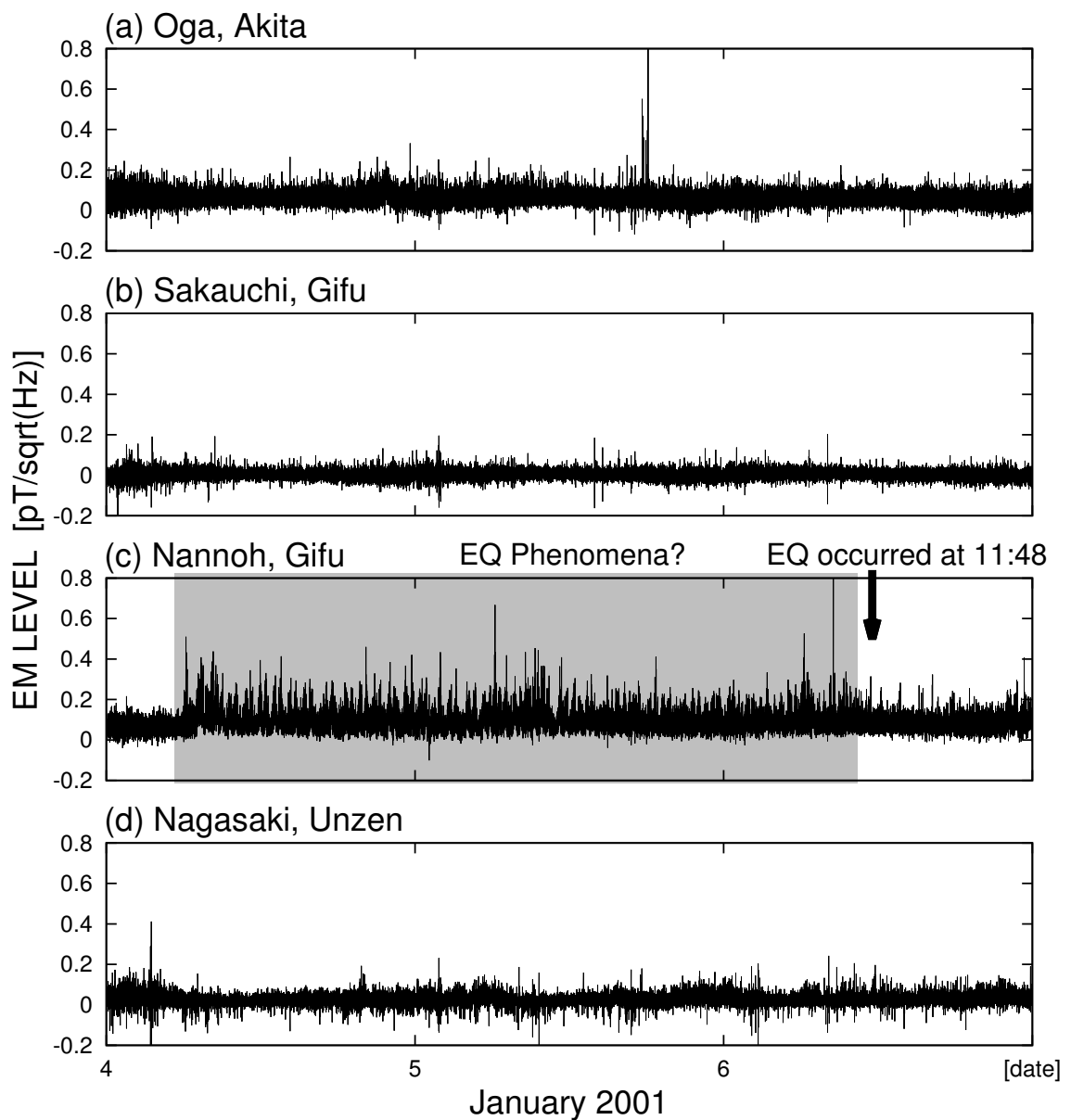


図 4.39: 選択した観測信号から NG-FICA によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

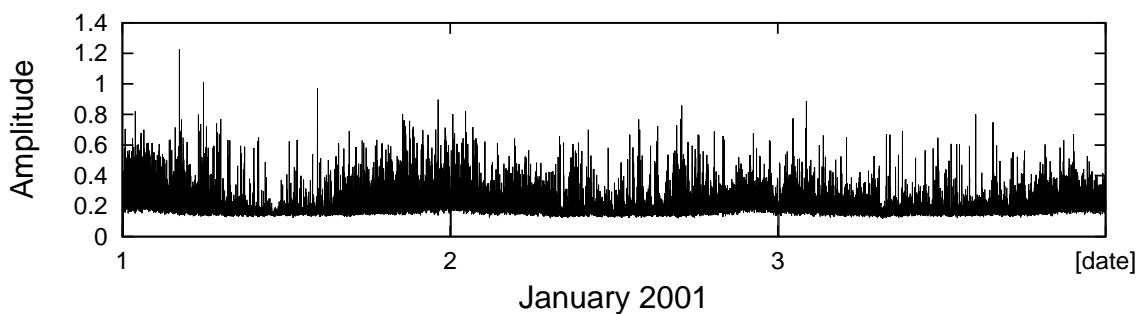


図 4.40: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

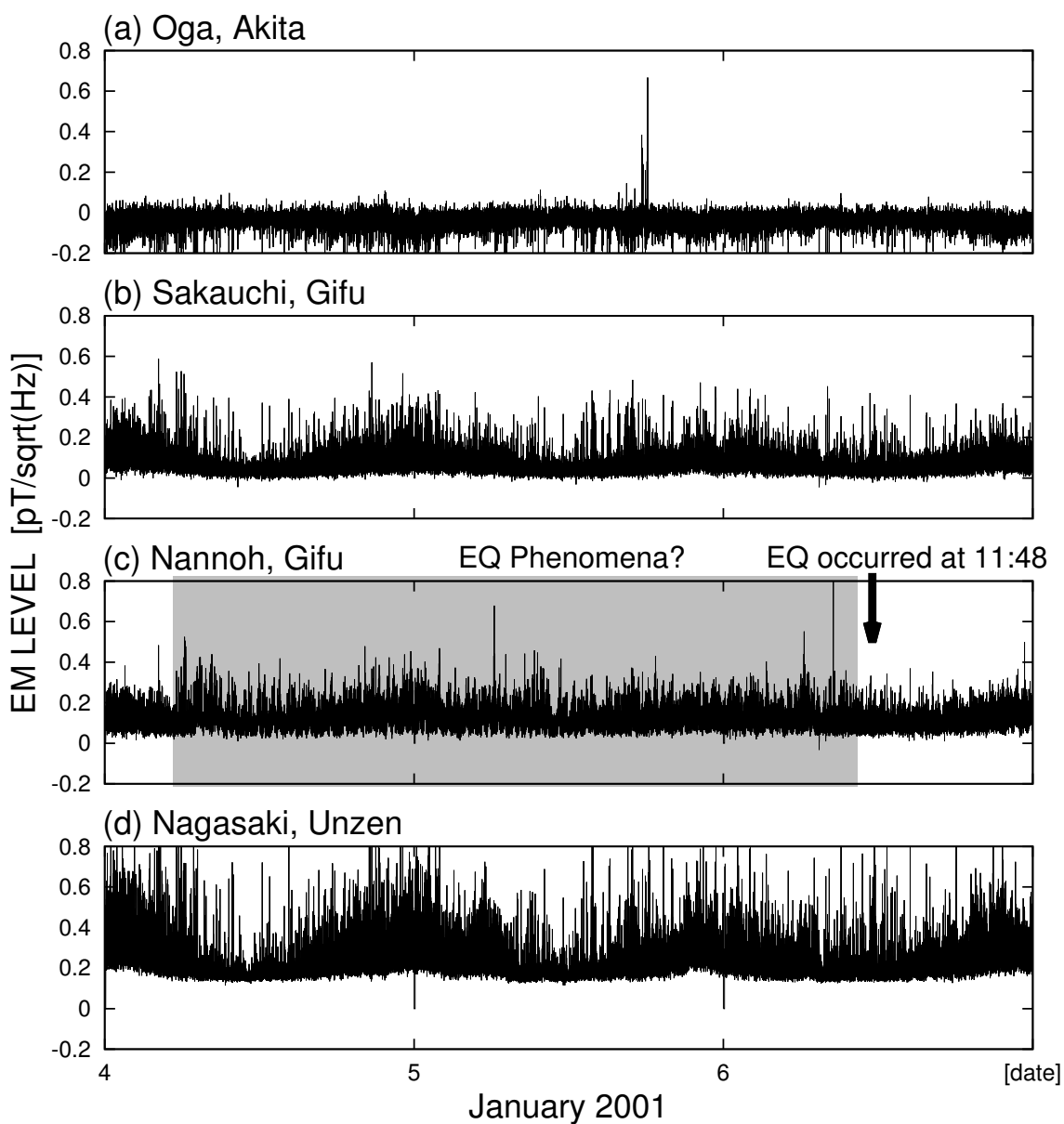


図 4.41: 全ての観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

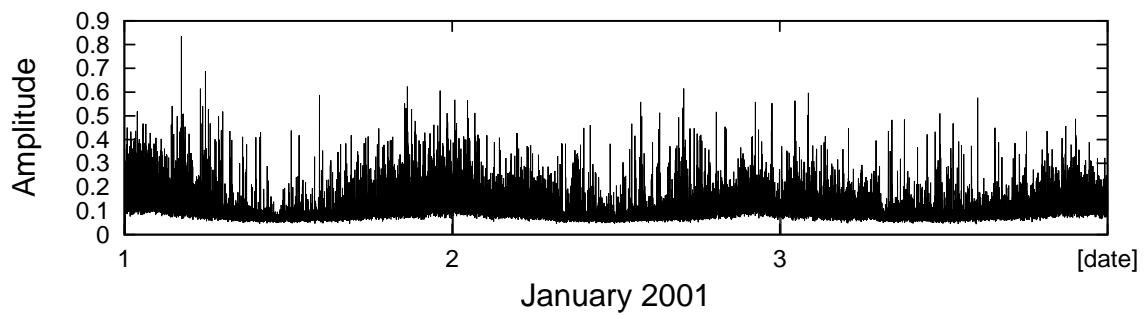


図 4.42: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された大域信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

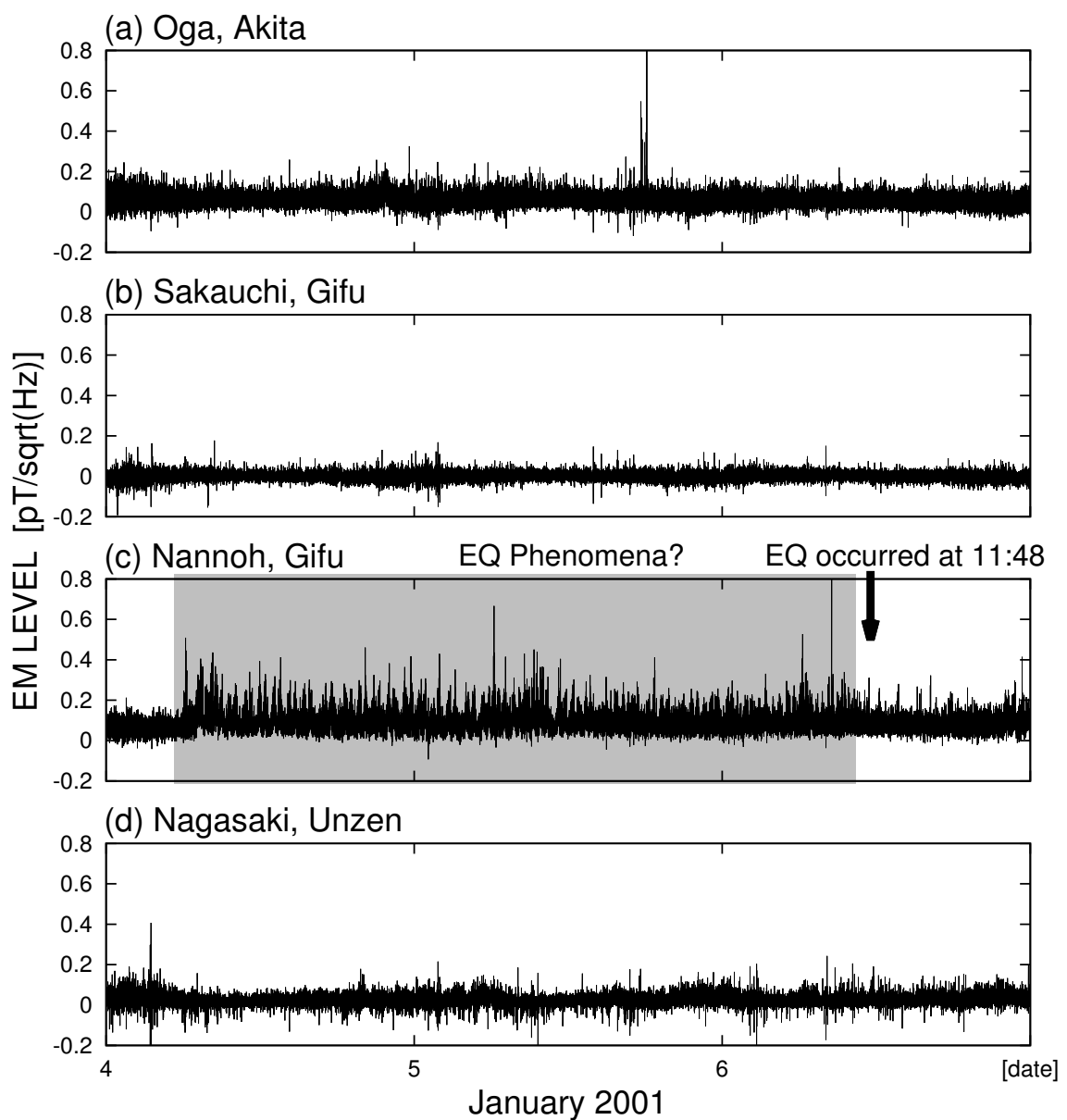


図 4.43: 選択した観測信号から ExInfomax によって推定された局所信号 (2001 年 1 月 4 日から 6 日, 振幅値利用)

