

レーザー伸縮計と超伝導重力計の同時観測による 地球の固有振動の研究（継続）

国立天文台 水沢VLBI観測所 田村 良明
京都大学防災研究所 森井 亙

京大防災研究所	川崎一朗、加納靖之
京都大学	福田洋一、由井智志
東大地震研究所	新谷昌人、高森昭光、堀 輝人
東大海研究所研	今西祐一
東大宇宙線研究所	大橋正健、三代木伸二、内山 隆、
筑波大学	池田 博
産業技術総合研	名和一成
国立天文台	寺家孝明

計 16 名

採択予算額 24万円

支出 神岡出張旅費（東京～神岡
（奥州～神岡、など）
GWグループの予算と一括して管理

神岡で実施している地球物理観測

観測機器

1. レーザー伸縮計
2. 超伝導重力計

主な担当者

新谷、高森、森井
田村、今西、池田

神岡地下施設に設置されたレーザー伸縮計(GW)と超伝導重力計(旧LISM)



超伝導重力計

鉛直方向の加速度を計測



レーザー伸縮計

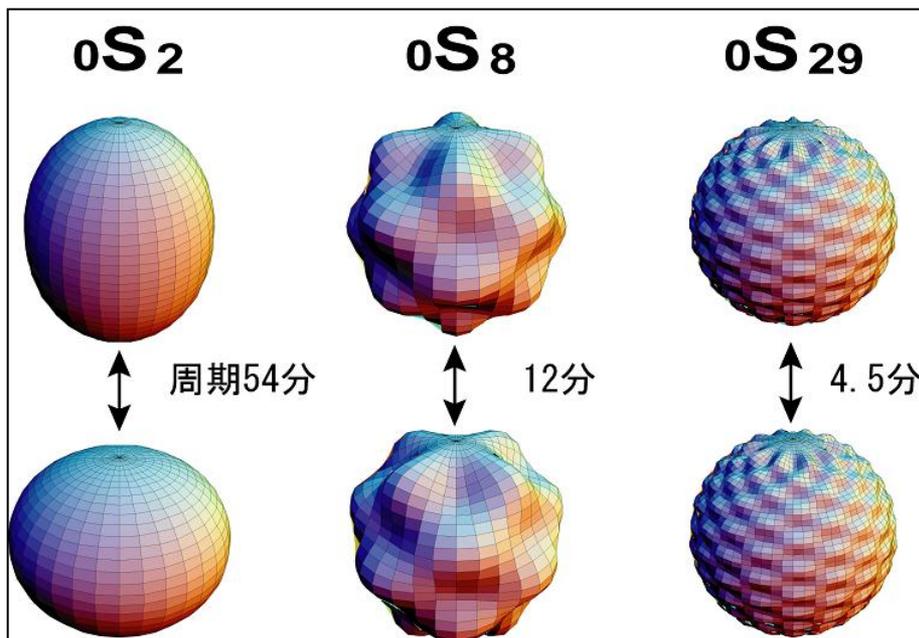
水平方向の歪を計測

両者の記録を相補的に使用して、地球の固有振動を解析する

- 主な研究対象
- 1) 地球自由振動
 - 2) 常時地球自由振動
 - 3) 地震に伴って生じる永久変形(歪・質量の再配分)
 - 4) コア・モードの検出

地球の固有振動の観測

地球の自由振動



伸縮モードのイメージ

イラストは須田直樹氏による

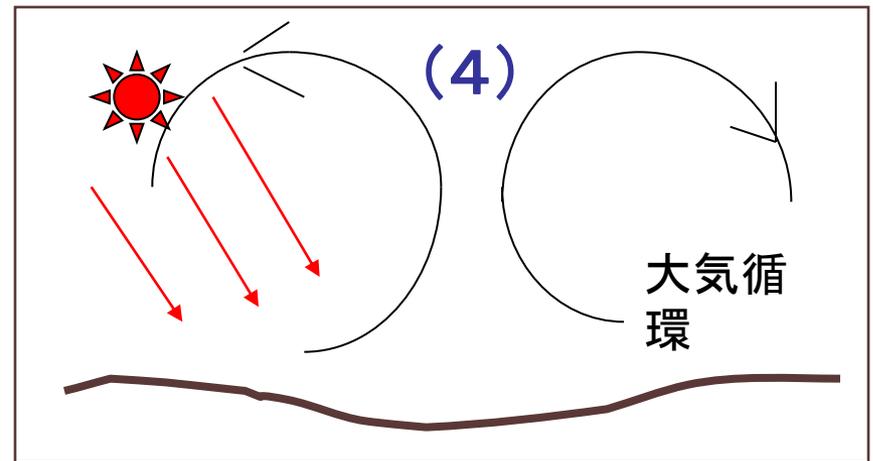
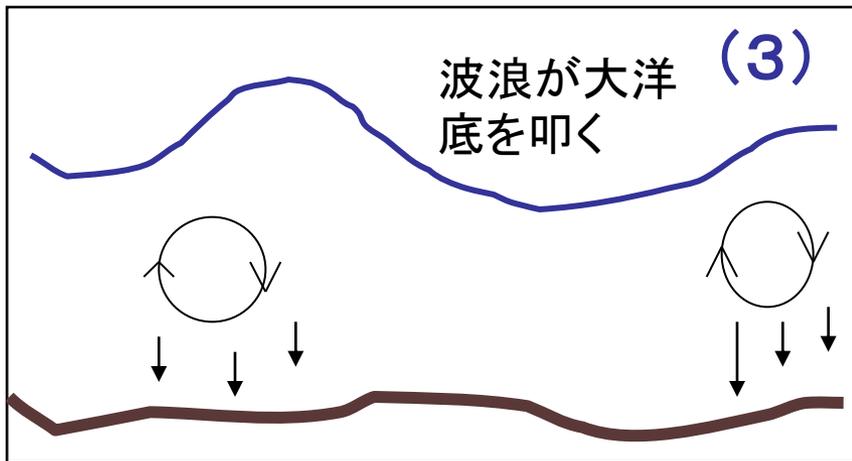
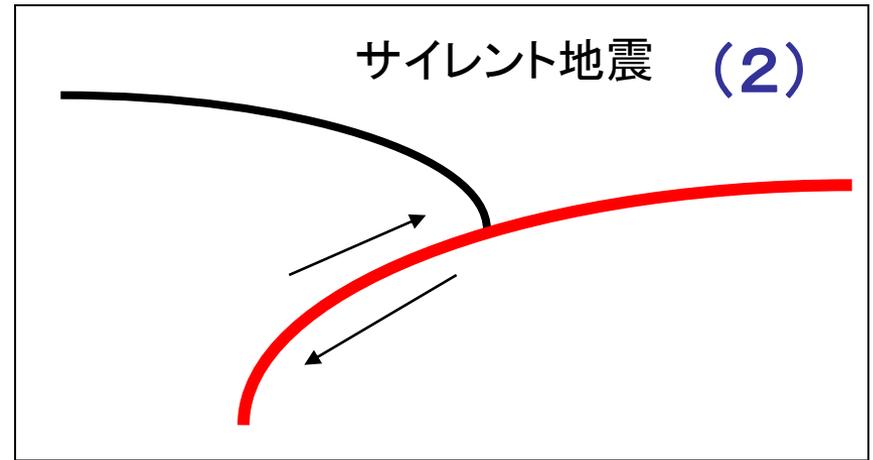
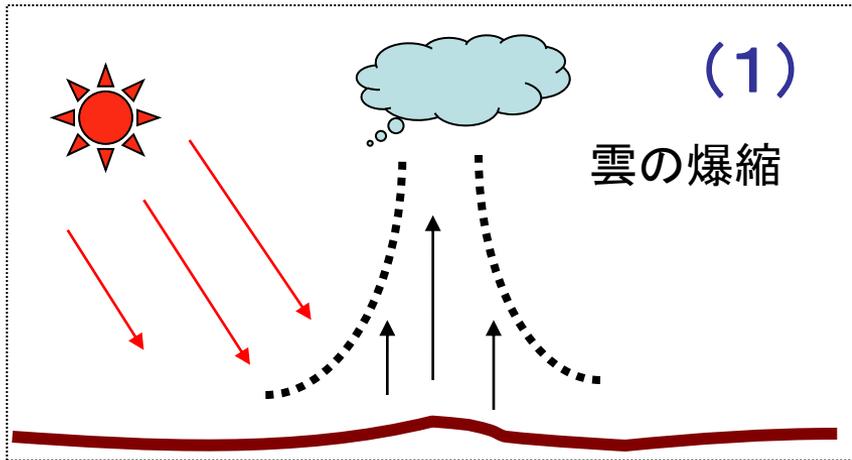
以前は、大地震や火山の大爆発によって励起されるものと考えられていた。

近年になって、地震や火山の噴火とは関係なしに**常時励起**されているらしいことが分かった(名和一成・他)。

本講演では常時地球自由振動に注目した解析結果について報告する。

常時地球自由振動の励起源

下記は何れも仮説である。今のところ決め手が無い。



(1)、(3)、(4)が原因であれば、捩れモードは励起されない？

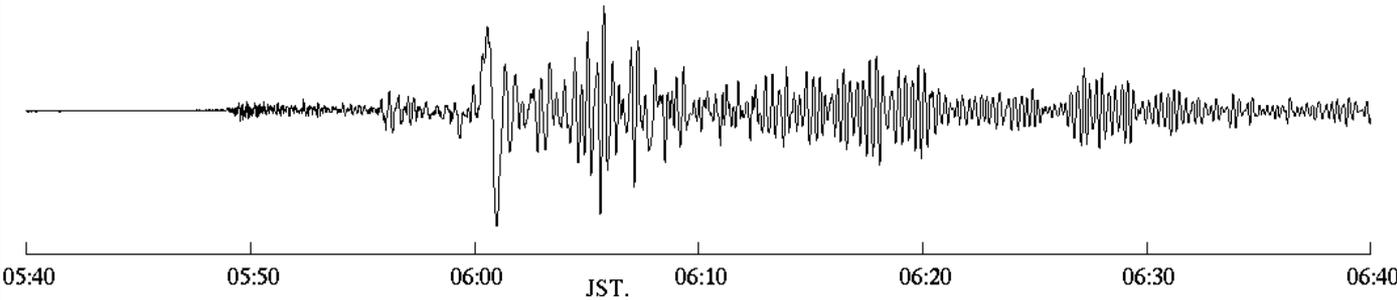
大規模地震によって励起された地球自由振動のスペクトル

ソロモン島沖地震
によって励起された
地球自由振動。

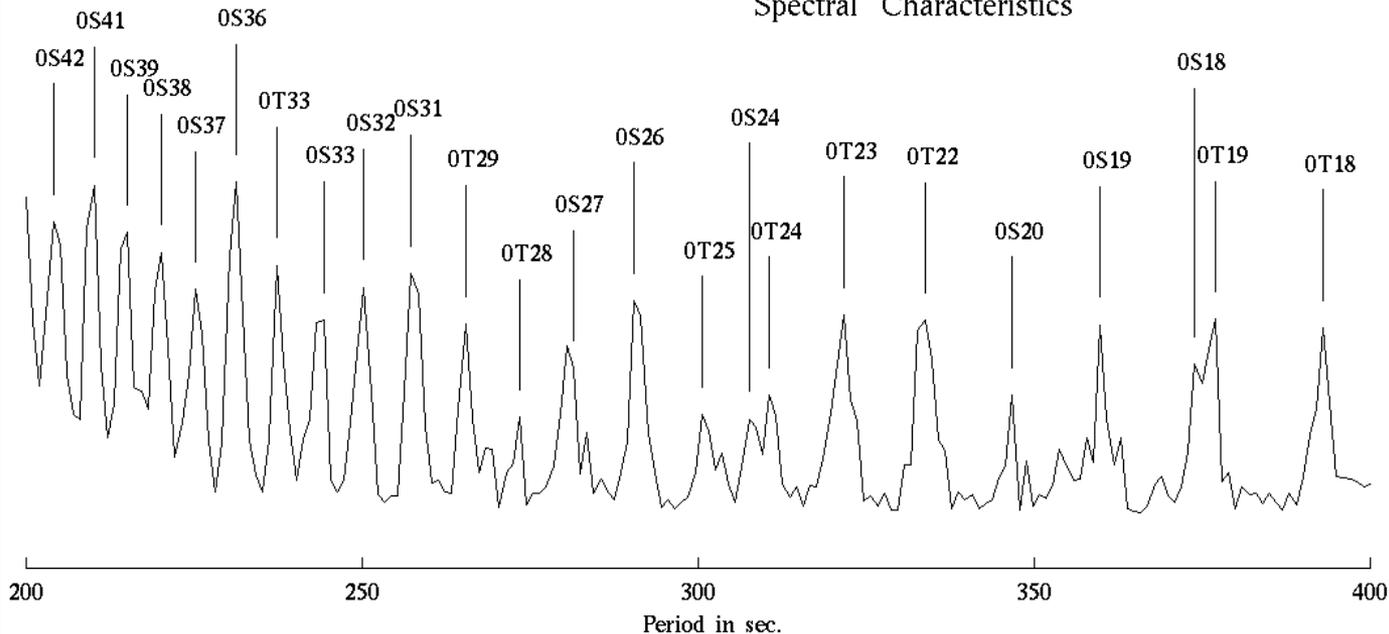
左図の上部は、
レーザー伸縮計に
よって記録された歪
地震動。下部は、歪
地震記録の振幅ス
ペクトルの一部(周
期200~400秒の
帯域)。

${}_0S_n$ は伸び縮み
モード、 ${}_0T_n$ は捩れ
モードを示す。いず
れも基本モード。

Apr.02, 2007 Kamioka Laser Strain-meter: D.=5381Km Az.=153.5 Mw=8.1

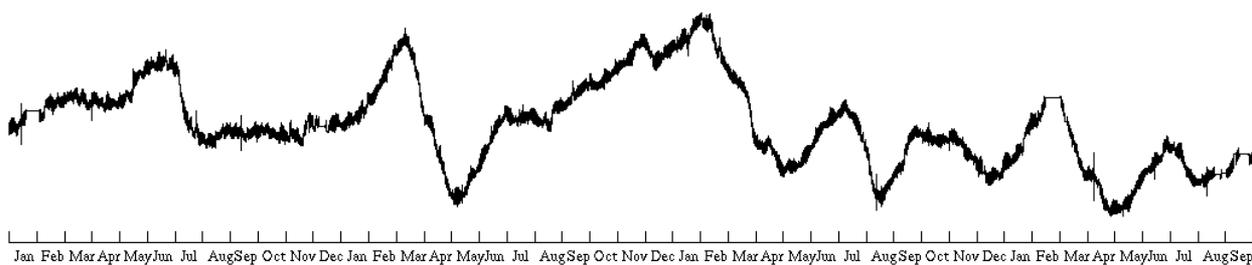


Spectral Characteristics

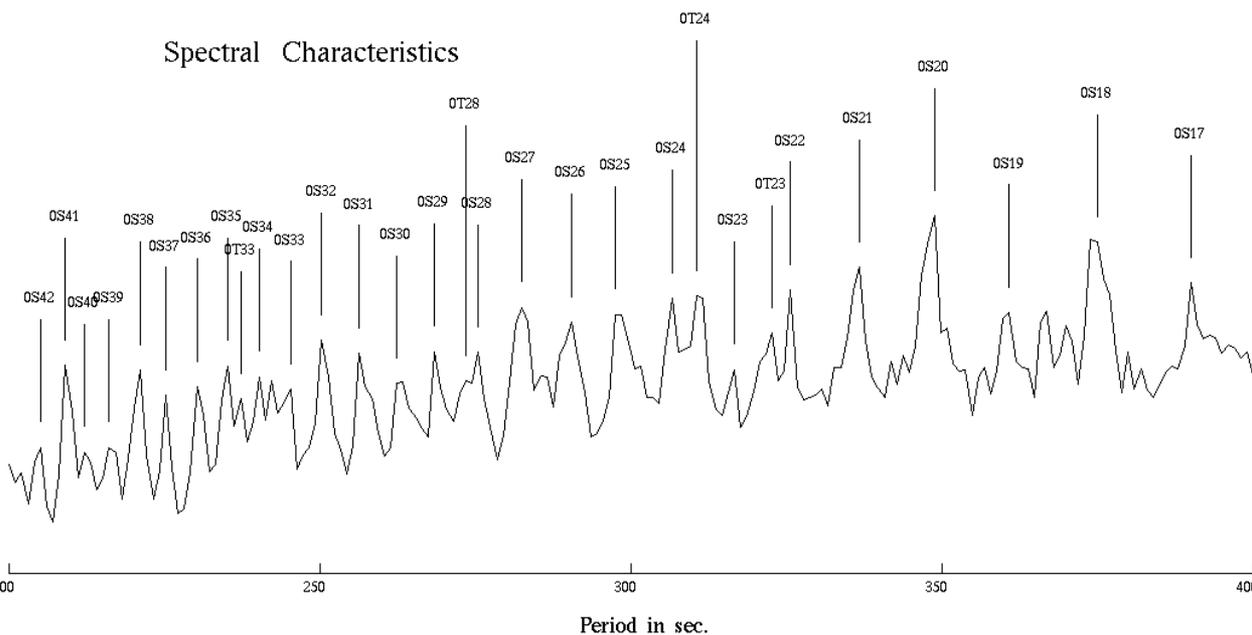


2007年1月1日から2010年9月29日までの 全区間のスペクトル

Kamioka Laser Strain-meter. From 2007 to 2010



Spectral Characteristics



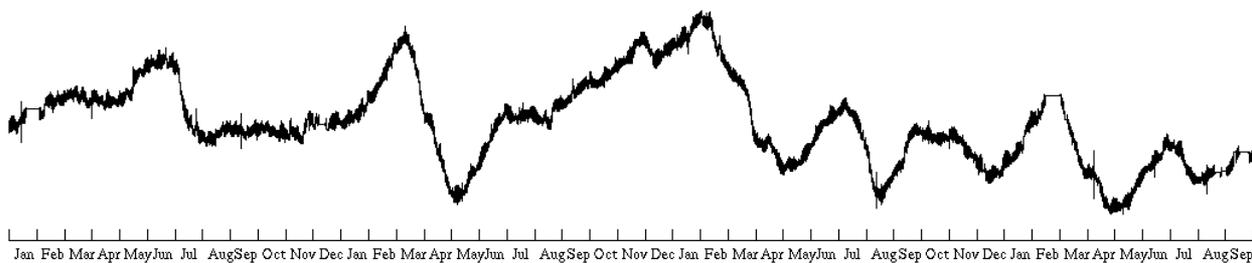
左図上部はレーザー伸縮計の記録。大振幅・長周期の変動は岩盤内の間隙水圧の変化に伴うもの。線の太さが変化するよう見えるのは、地球潮汐(月と太陽の引力により、潮の干満と同じように固体地球が変形する現象)。

下部は伸縮計記録の振幅スペクトルの一部(周期200~400秒の帯域)。

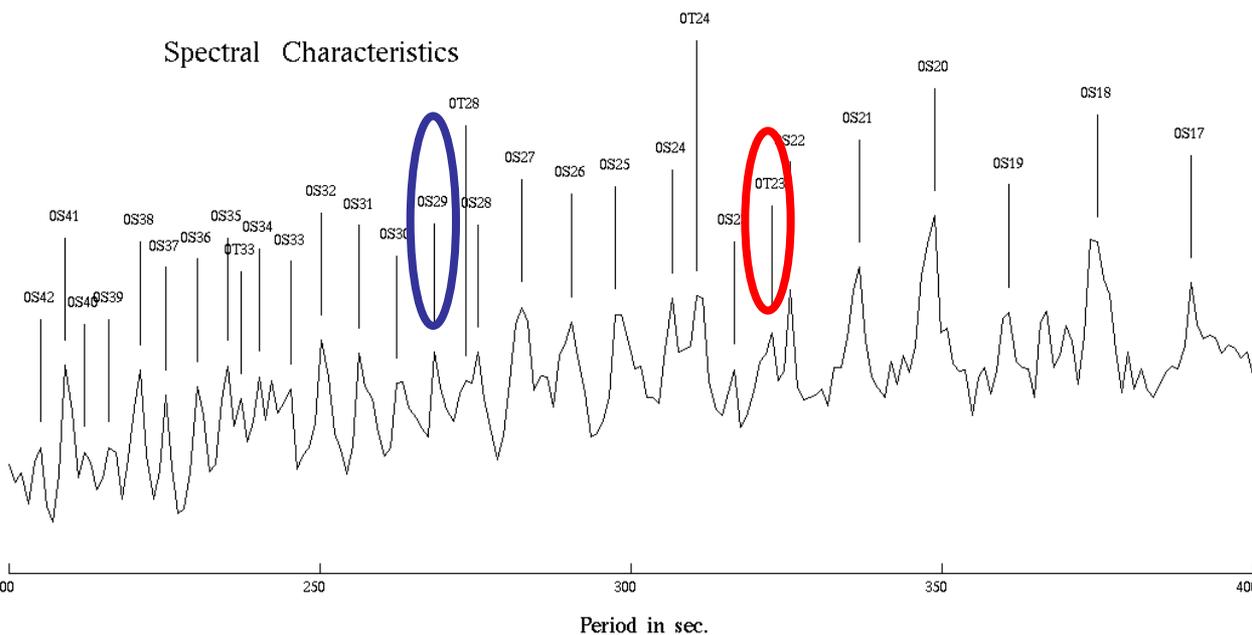
地球自由振動の各モードに対応するピークが目立つ。

2007年1月1日から2010年9月29日までの 全区間のスペクトル

Kamioka Laser Strain-meter. From 2007 to 2010



Spectral Characteristics



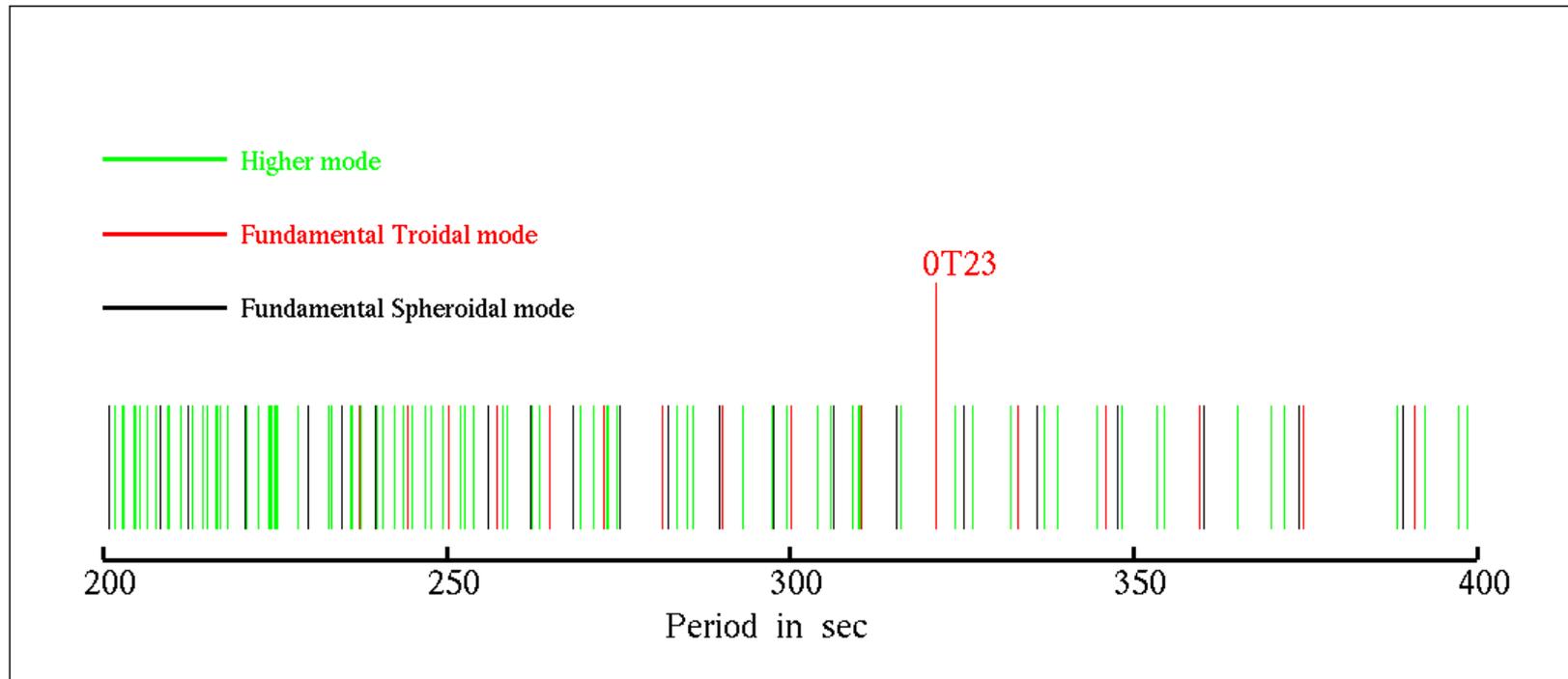
${}_0S_{29}$ と ${}_0T_{23}$ に注目する。

${}_0S_{29}$ は大気振動と最も強くカップリングすると考えられている。

${}_0T_{23}$ は常時地球自由振動が良好に検知される帯域(200~400秒)で、最も孤立した固有周期を持つ(近傍周期に他のモードが存在しない)。

振れモードが常時励起されているか否かは、常時地球自由振動のメカニズム解明に重要な意味を持つ。

地球自由振動各モードの固有周期の分布

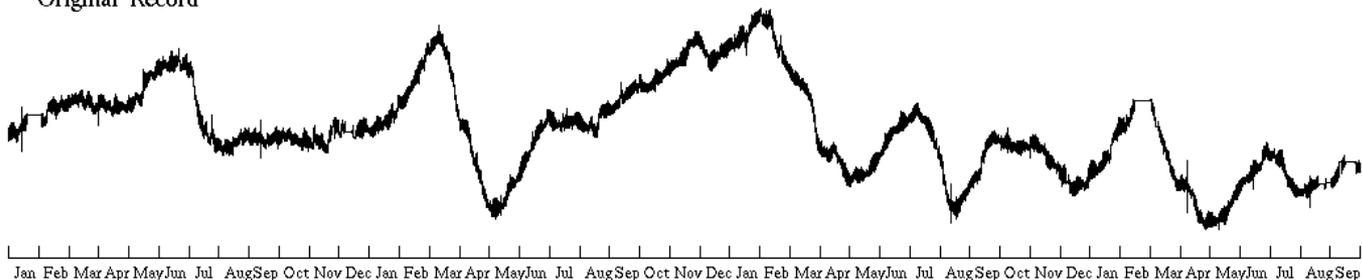


${}_0T_{23}$ は近傍に他のモードが存在しない捩れモードである。

${}_0S_{29}$ に対応する周期成分の信号強度

Kamioka Laser Strain-meter. From 2007 to 2010

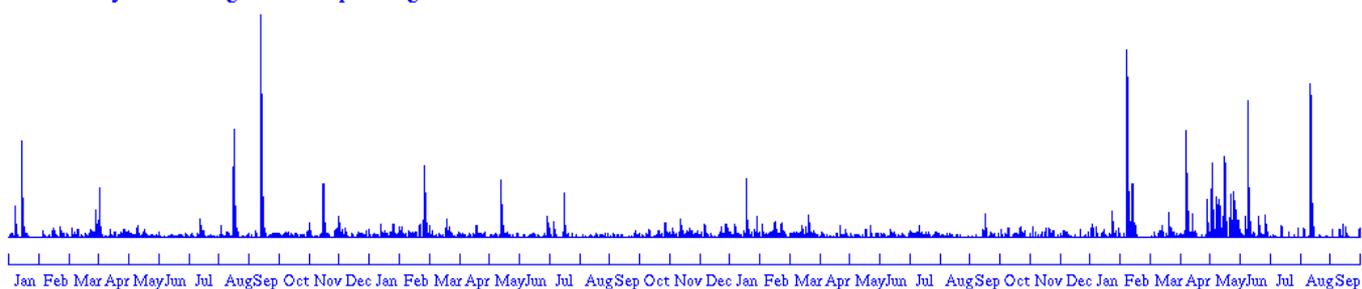
Original Record



High-Pass Filtered Record



Intensity of the Signal corresponding to ${}_0S_{29}$



左図中段は上段に示した歪記録に3600秒のハイパスフィルタを掛けた記録。鉛直方向の線分に見えるのは地震による歪振幅。

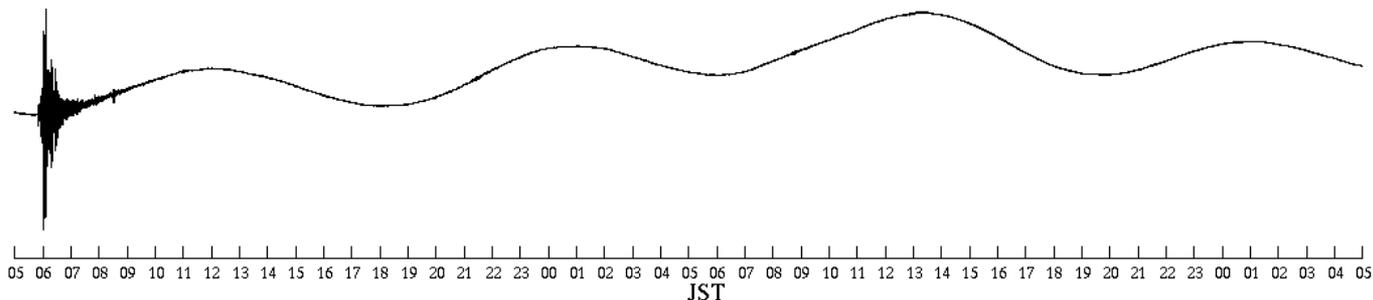
下段は歪記録に含まれる周期268秒 (${}_0S_{29}$ モードに対応)の信号強度の変化を示している。

中段に見える地震に対応して信号強度が大きくなっている。

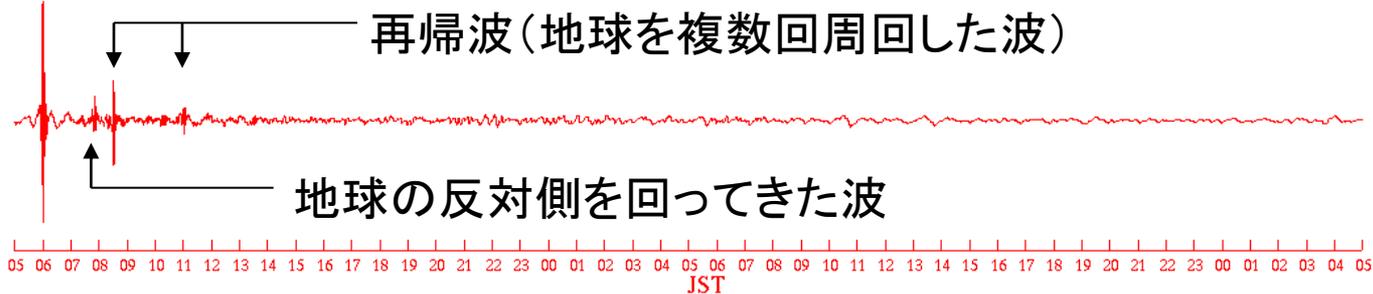
地震で励起された ${}_0S_{29}$ モードの信号強度

Kamioka Laser Strain-meter. From Apr. 02 to 04, 2007

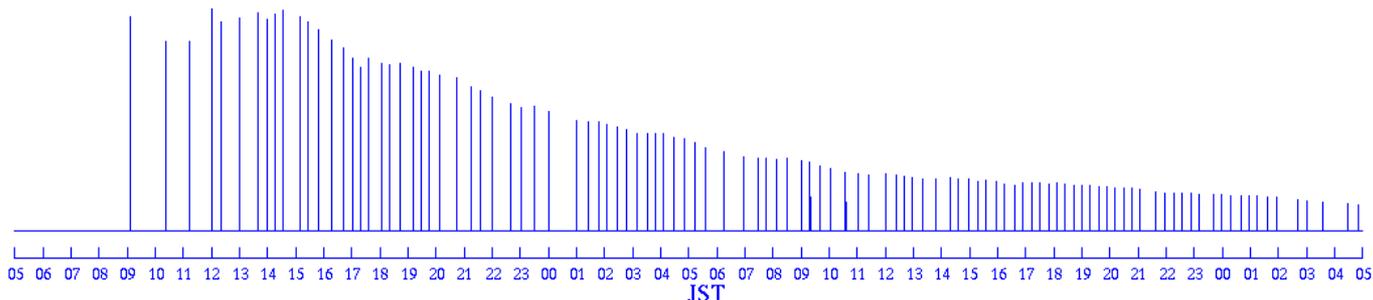
Original Record (MAX=7.1E-08)



Band-Pass Filtered Record (MAX=5.9E-09)



Intensity of the Signal corresponding to ${}_0S_{29}$ (MAX=1.3E-11)



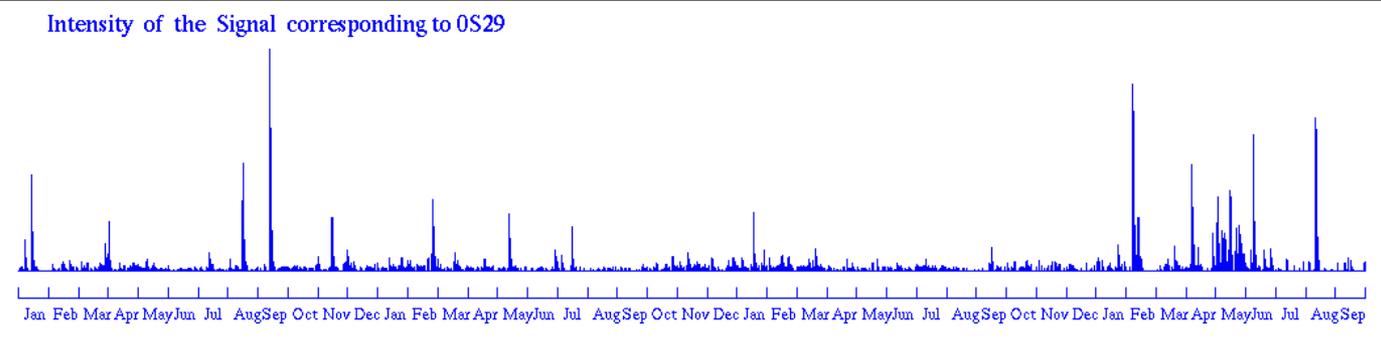
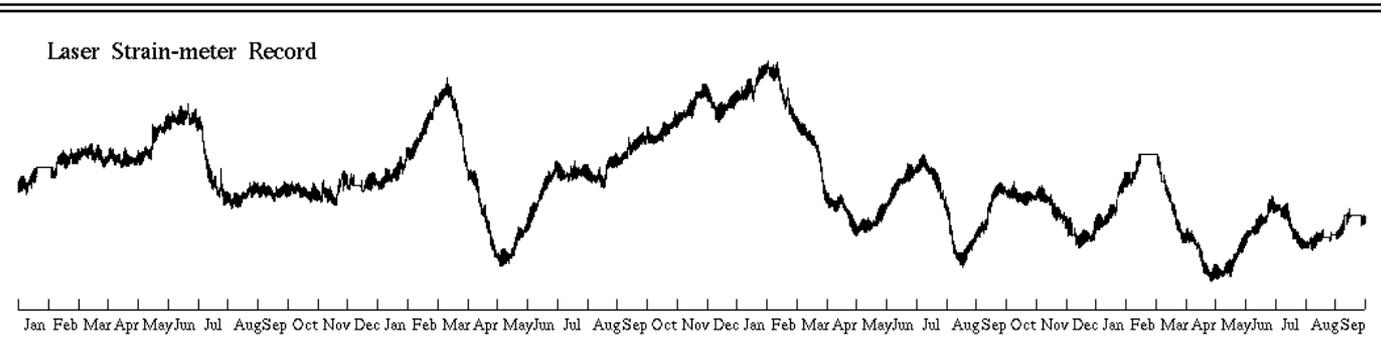
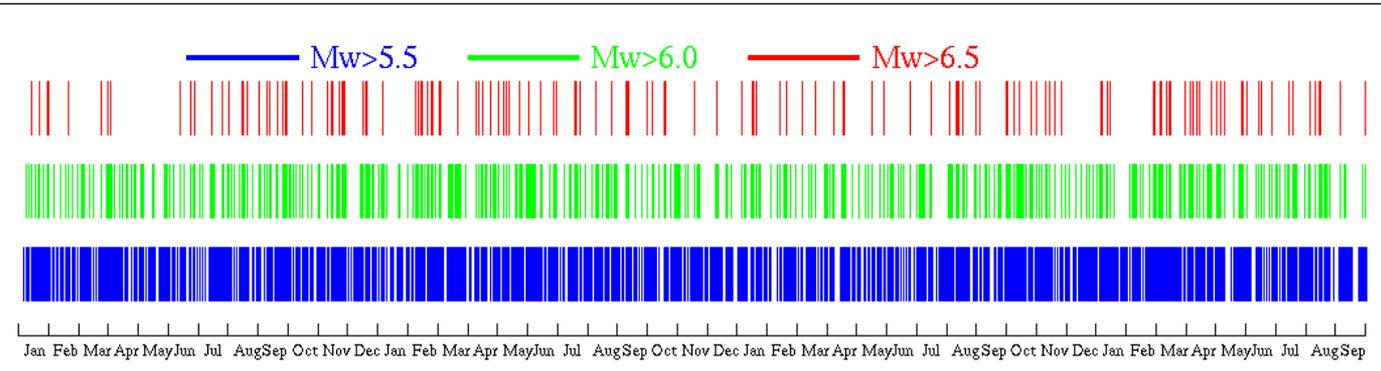
上段: 歪地震記録

中段: 歪地震記録に
帯域200~3600
秒のバンドパスフ
ィルタを掛けたもの。

下段: ${}_0S_{29}$ モードに
対応する周期成分
の信号強度変化。

信号強度は地震
発生後に概ね最大
になり、時間経過と
共に単調に減少して
いる。

地球上全体で発生した地震の規模別時間分布



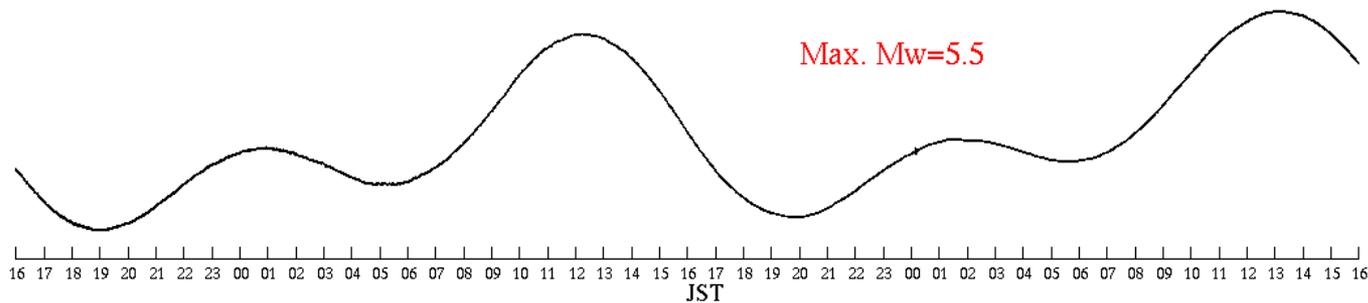
常時地球自由振動を解析するためには全地球的に静穏な時期を選ぶ必要がある。左図上段はマグニチュード5.5以上、6.0以上、6.5以上の規模別に地震の発生した時刻を示している。

マグニチュード5.5以上(青色)の地震が起きていない時期で、しかも規模の大きな地震(赤色)発生から十分な時間が経過した後でなければならない。

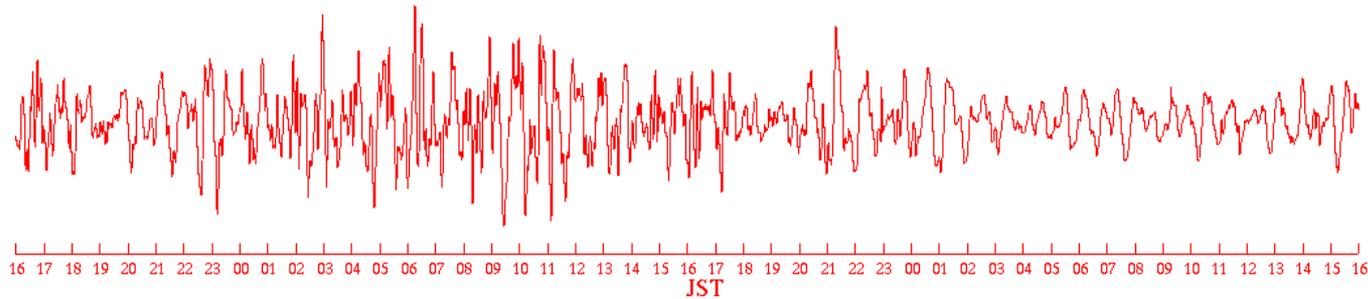
$0S_{29}$ モードに対応する周期成分の信号強度 (静穏時)

Kamioka Laser Strain-meter. From Apr. 17 to 19, 2007

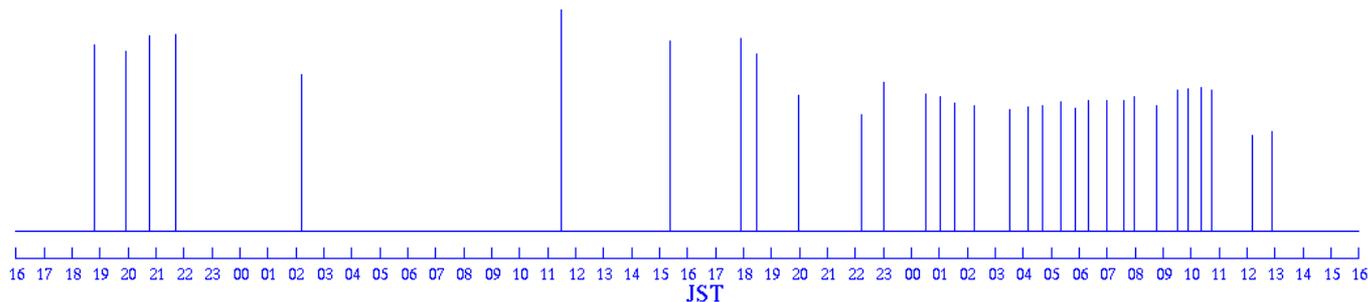
Original Record (MAX=4.6E-08)



Band-Pass Filtered Record (MAX=4.0E-10)



Intensity of the Signal corresponding to $0S_{29}$ (MAX=1.5E-12)



マグニチュード6.5を超える地震発生から2週間後。解析区間に発生した最大規模の地震はマグニチュード5.5である。

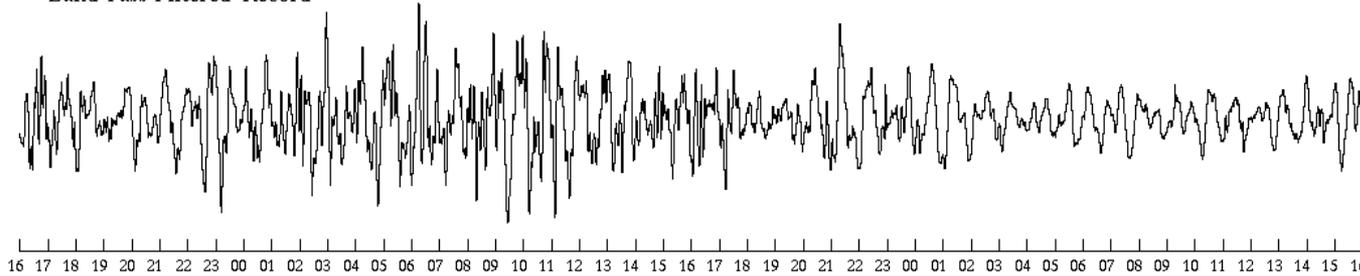
下段は周期268秒 ($0S_{29}$ モードに対応)の周波数成分の信号強度。

地震による励起の場合と異なり、信号強度が時間の経過と共に増減を繰り返している。

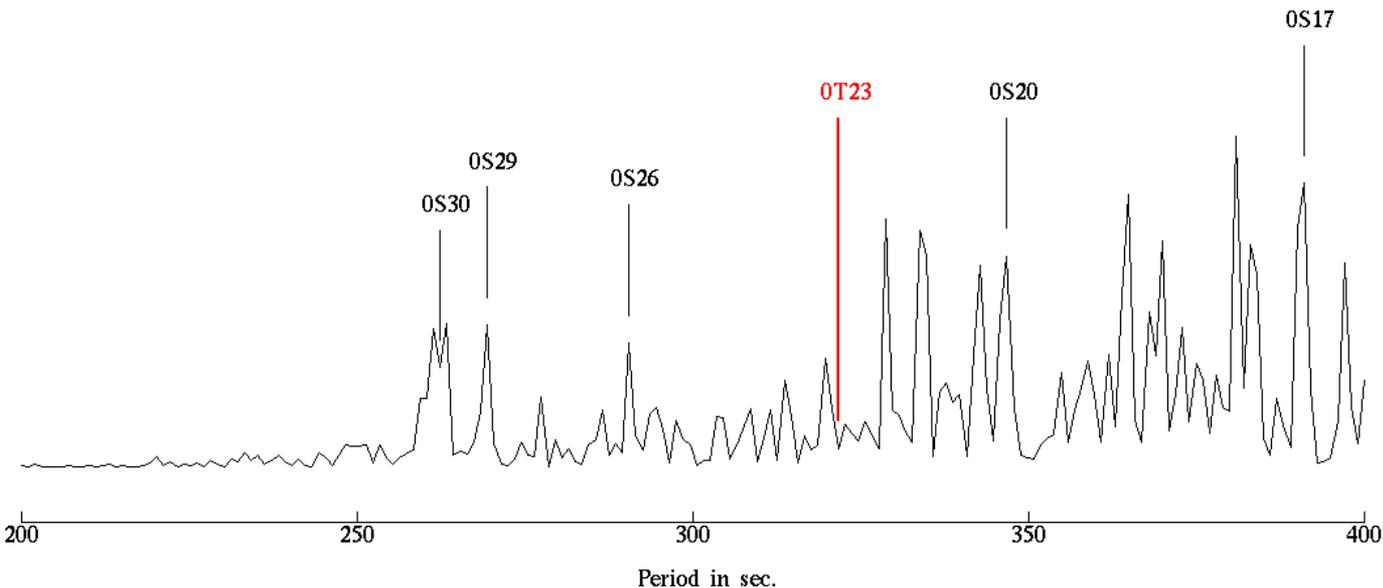
歪記録の振幅スペクトル I (静穏時)

Kamioka Laser Strain-meter. From Apr. 17 to 19, 2007

Band-Pass Filtered Record



Spectral Characteristics



上段:歪記録。200
~3600秒の帯域通
過フィルタを掛けた
もの。

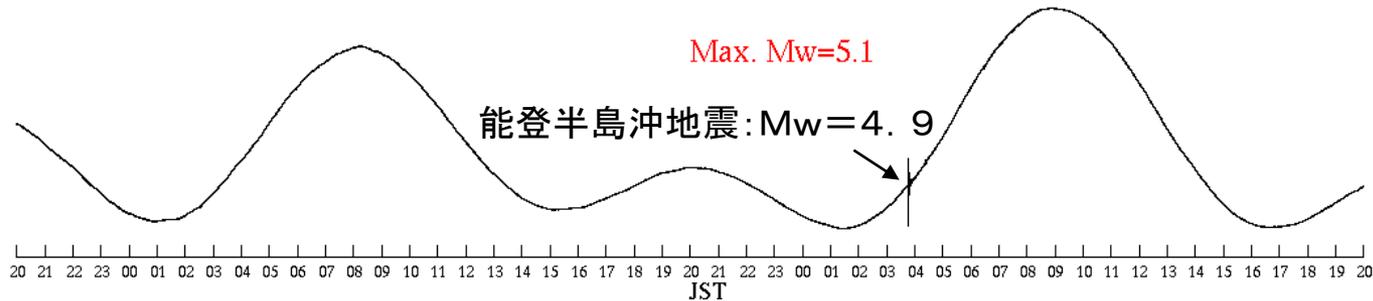
下段:上段の記録の
振幅スペクトルの一
部。帯域200~400
秒。

${}^0S_{30}$, ${}^0S_{29}$, ${}^0S_{26}$,
 ${}^0S_{20}$, ${}^0S_{17}$ のモード
に対応するスペクト
ル・ピークが見える。

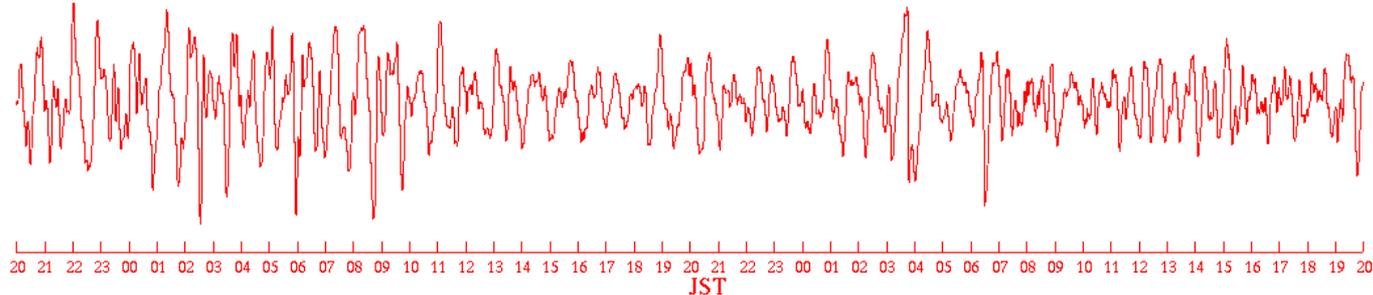
$0T_{23}$ モードに対応する周期成分の信号強度 (静穏時)

Kamioka Laser Strain-meter. From Jun. 09 to 11, 2007

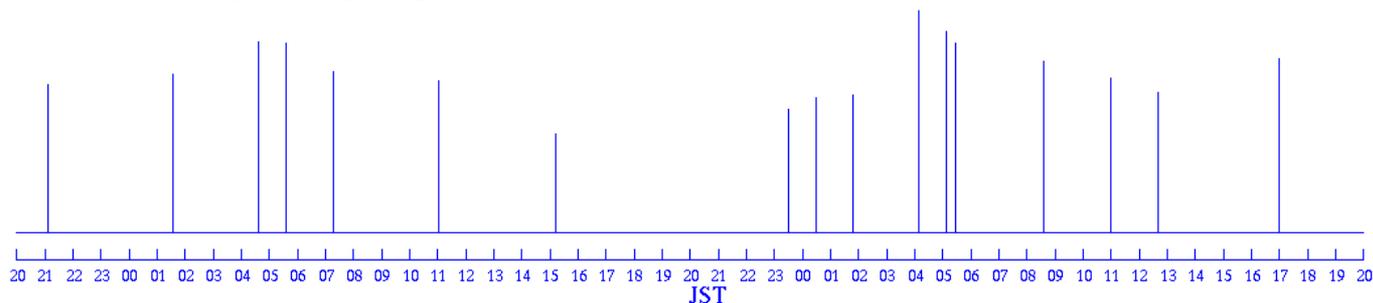
Original Record (MAX=2.3E-08)



Band-Pass Filtered Record (MAX=2.0E-10)



Intensity of the Signal corresponding to $0T_{23}$ (MAX=7.5E-13)



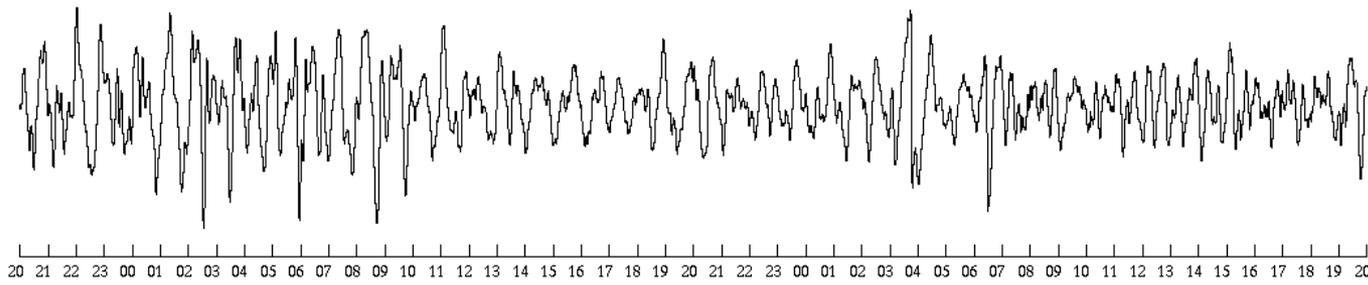
マグニチュード6.5以上の地震発生から9週間後。解析区間内に発生した地震の最大規模はマグニチュード5.1である。

$0T_{23}$ モードに対応する周期成分の存在が認められるが、その信号強度は検出限界に近い。

歪記録の振幅スペクトルⅡ（静穏時）

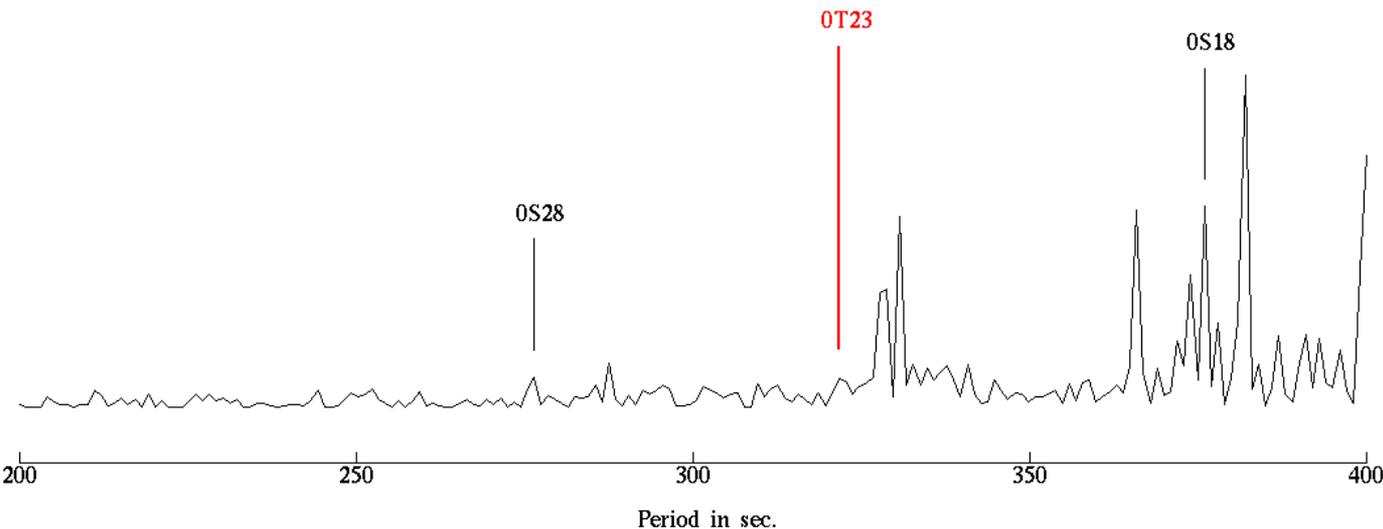
Band-Pass Filtered Record

Kamioka Laser Strain-meter. From Jun. 09 to 11, 2007



上段：歪記録。200～3600秒の帯域通過フィルタを掛けたもの。

Spectral Characteristics



下段：上段の記録の振幅スペクトルの一部。帯域200～400秒。

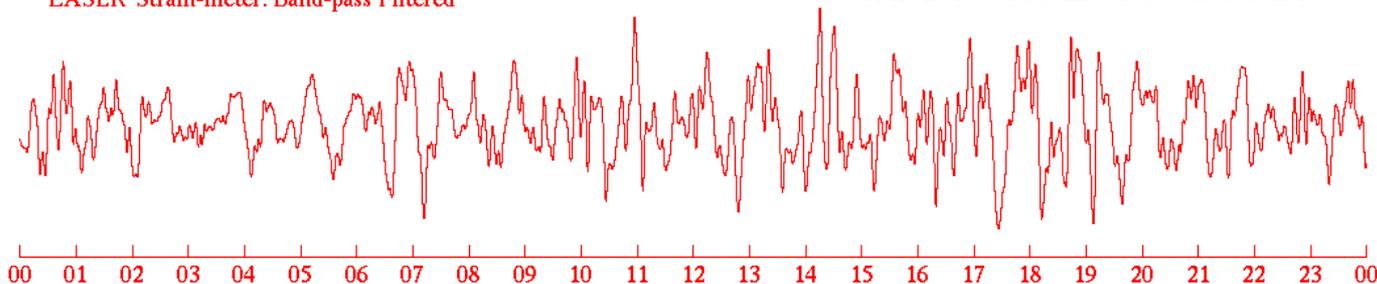
0T23モードに対応するスペクトル・ピークは明瞭でない。

歪記録に対する大気圧変化の影響

Kamioka Record: Apr.17, 2007

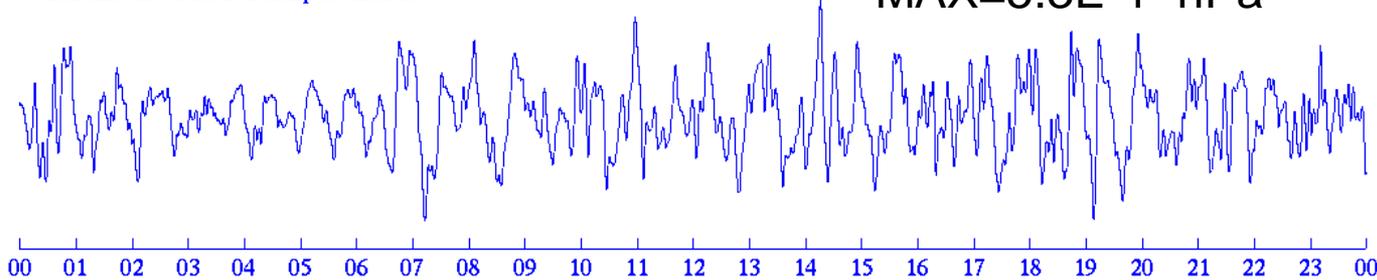
LASER Strain-meter: Band-pass Filtered

MAX=4.0E-10 strain

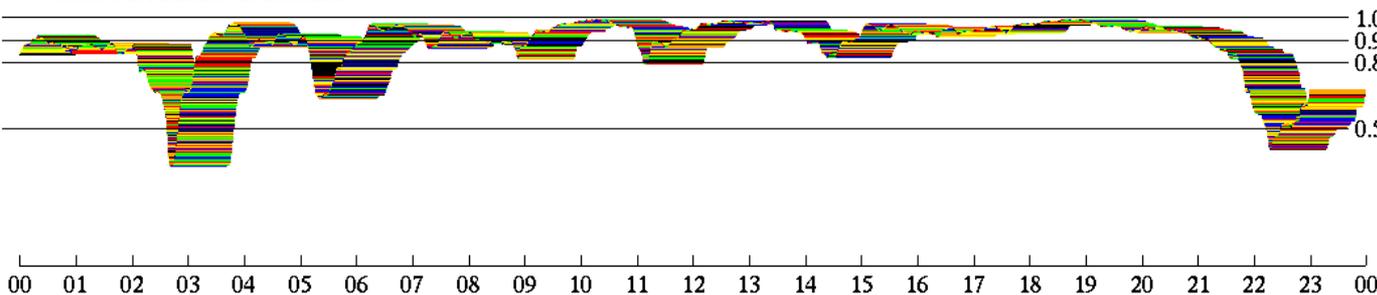


Barometer Record: Band-pass filtered

MAX=5.3E-1 hPa



Cross-Correlation Coefficient



静穏時、歪記録の地球自由振動帯域における信号は、主として大気圧変化である。

上段は歪記録、中段は気圧計記録、夫々に地球自由振動帯域(200~3600秒)のフィルタを掛けたものである。ただし、気圧計記録は符号を反転させている。

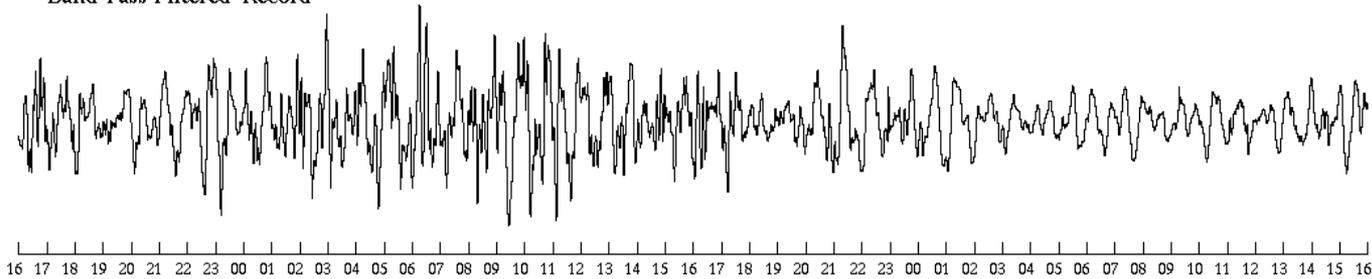
下段は、歪記録(上段)と気圧計記録(中段)の相互相関係数(ウィンドウ幅1時間)。

極めて高い相関が認められた。

気圧記録と歪記録のスペクトルの比較 I

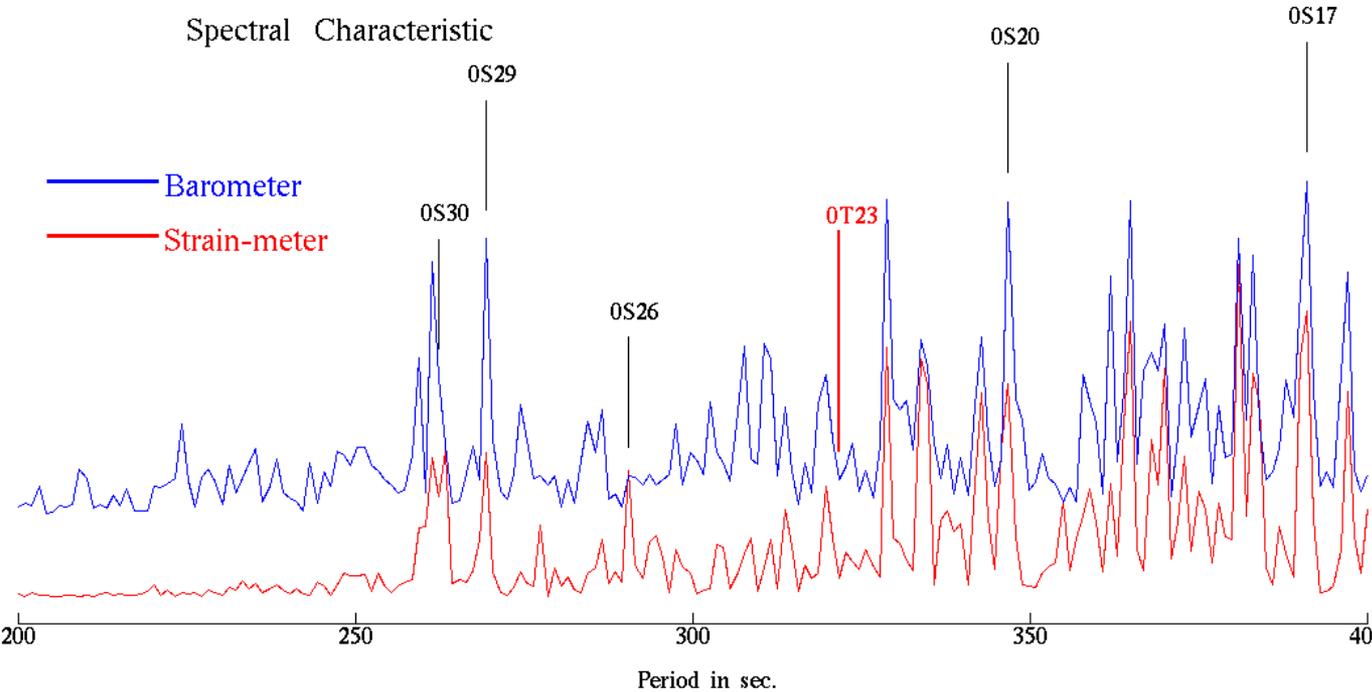
Kamioka Laser Strain-meter. From Apr. 17 to 19, 2007

Band-Pass Filtered Record



Spectral Characteristic

— Barometer
— Strain-meter



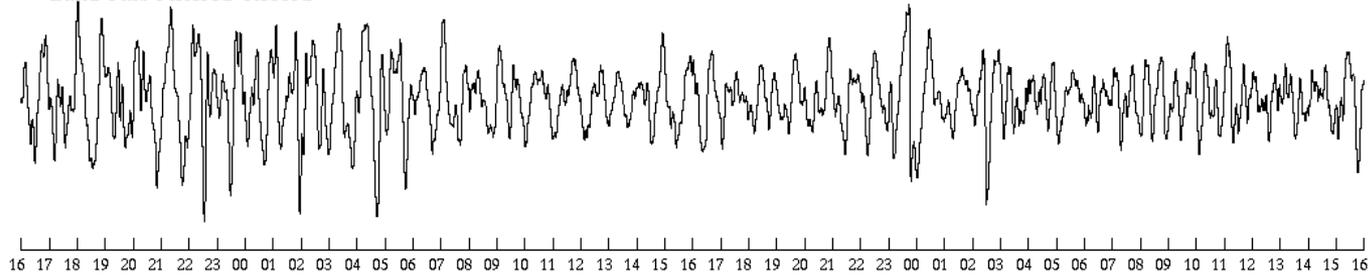
左図下段は歪記録のスペクトル(赤)と気圧計記録のスペクトル(青)を比較したものである。

静穏時の歪記録のスペクトルに見られるピークは、既知のモードに対応するものも含めて、ほとんど全てが気圧計記録のスペクトルピークに対応している。

気圧記録と歪記録のスペクトルの比較 II

Kamioka Laser Strain-meter. From Jun. 09 to 11, 2007

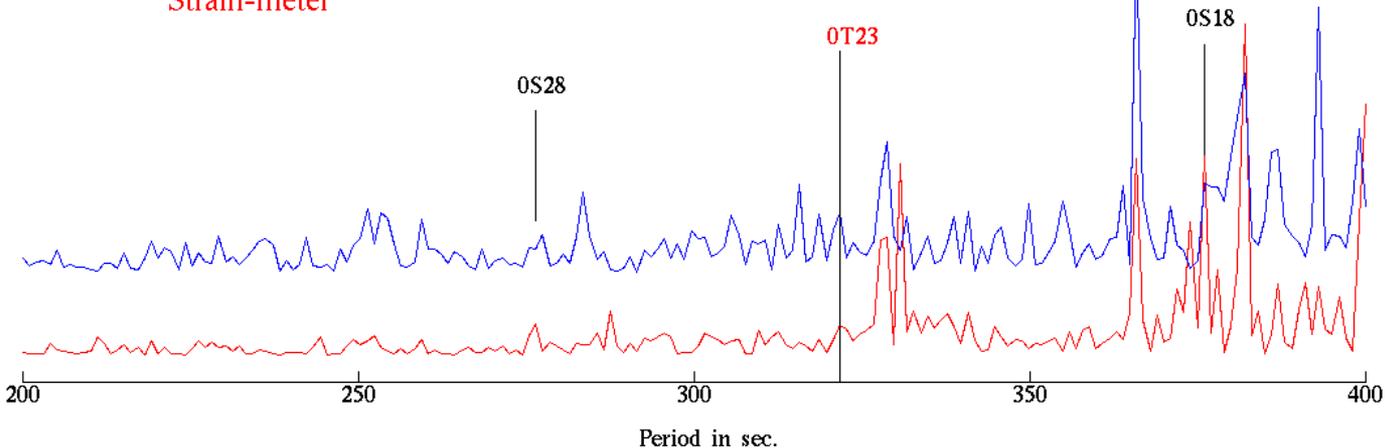
Band-Pass Filtered Record



OT23に対応する
周期のピークが気圧
計記録のスペクトル
に見られる。

Spectral Characteristic

— Barometer
— Strain-meter



まとめ

「静穏時」の歪記録から、地球自由振動のモードに対応する信号が明瞭に検出された。しかし、幾つかの疑問が残った。

静穏時の歪記録と気圧計記録は、地球自由振動帯域においてきわめて相関が高く、双方のスペクトル・ピークは地球自由振動の周期に一致するものも含めてほぼ全てが対応していた。これは、地球自由振動が大気の振動と共振して励起されるとする仮説を支持することであるのか、あるいは、**全く偶然に気圧変動に含まれていた信号成分を地球自由振動の信号と誤認したものであるのか**、さらに検討する必要がある。