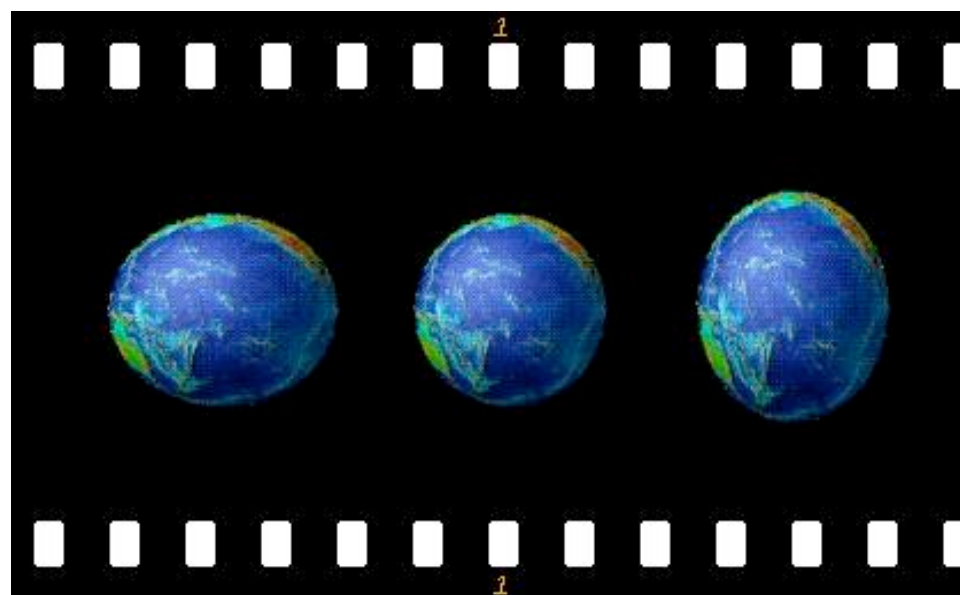


長周期Love波の定常励起

-常時地球自由振動の励起源の探索-

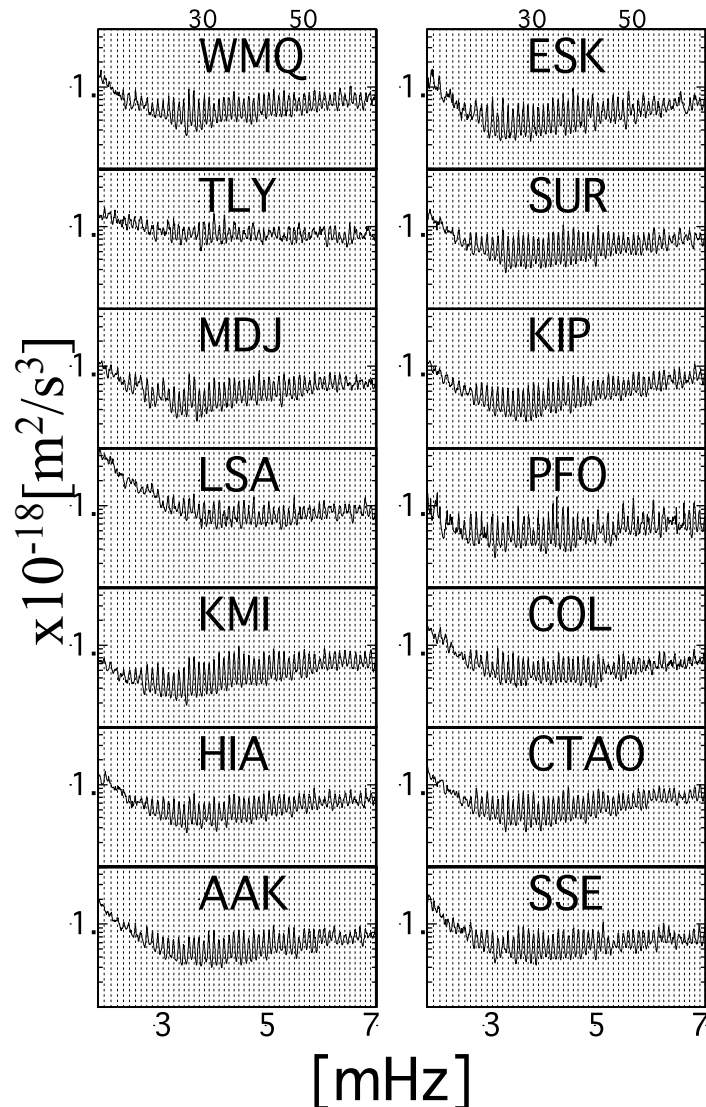
西田 究

東京大学地震研究所





常時地球自由振動の発見



Nishida and Kobayashi [1998]

- *Benioff et al.* [1959]の試み:精度が足りず
- チリ地震[1960]:地球自由振動を観測

常時地球自由振動の発見!

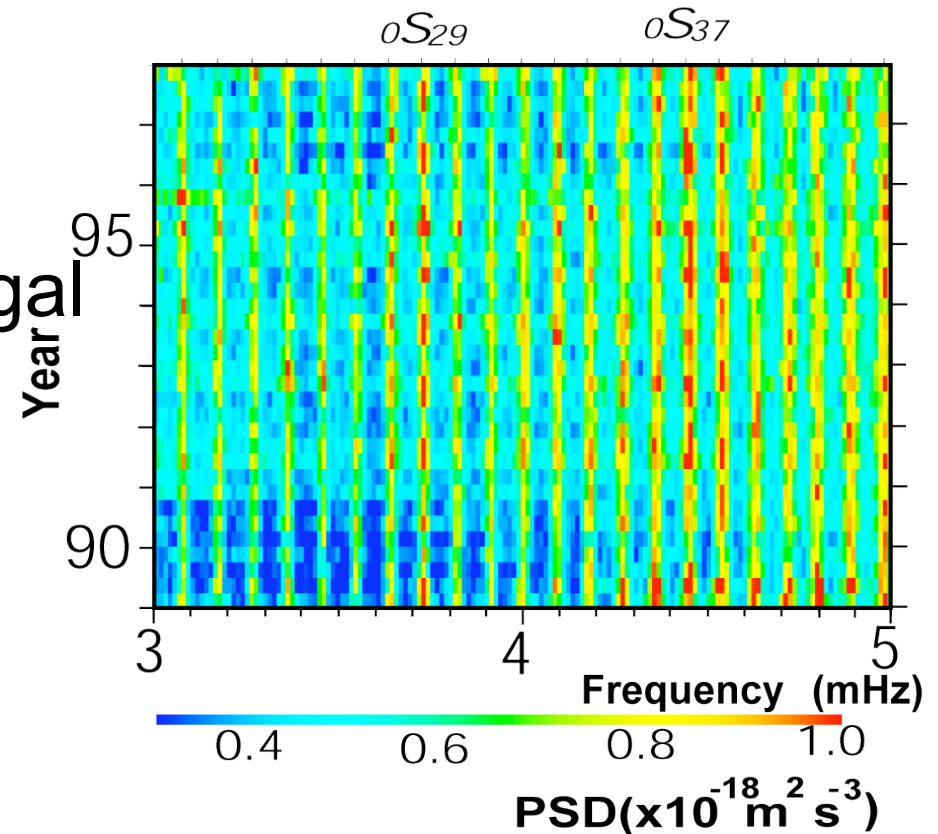
- *Nawa et al.* [1998] 南極:超伝導重力計
- *Suda et al.* [1998], IDA:LaCoste
- *Kobayashi and Nishida* [1998] IRIS:STS1

伸び縮み基本モード:0.5 nano gal($10^{-11}m/s^2$)

Mw6/day に相当
地震では説明できず

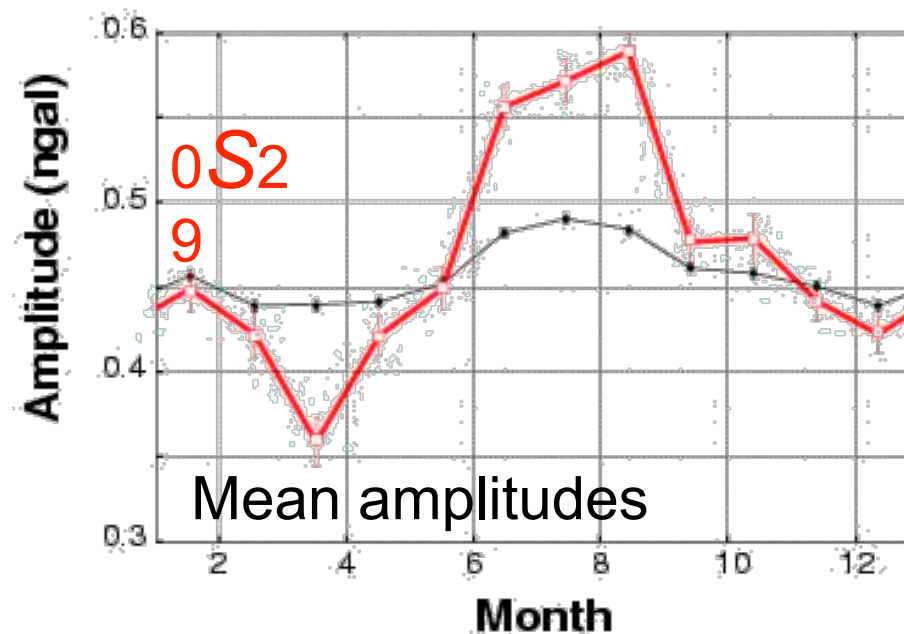
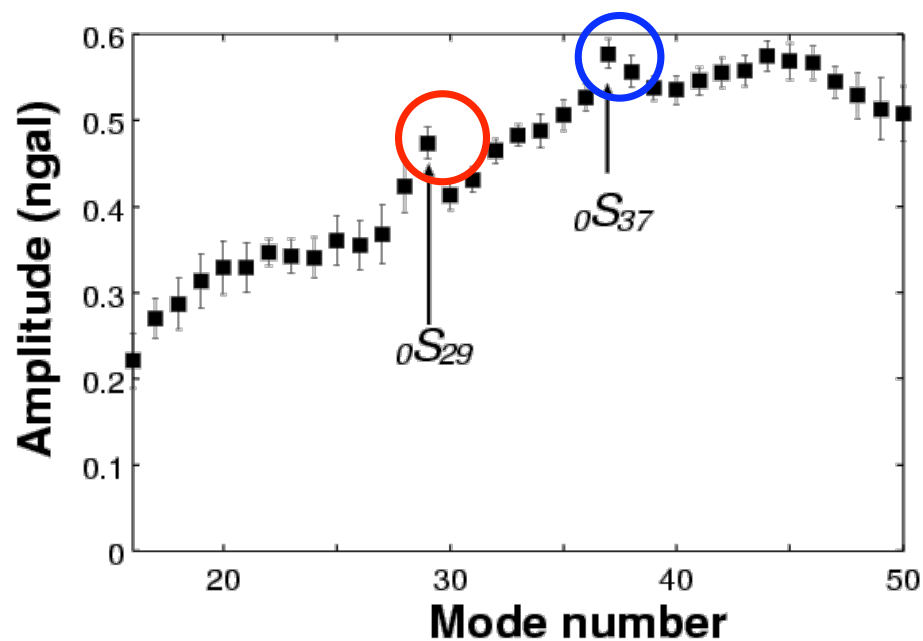
励起の特徴

- 伸び縮み基本モード
 - 2-20mHz~0.5 nano gal
 - 地表付近に励起源
- 励起振幅の季節変動
- モード間の相関低い
 - 励起源が面的に分布



Nishida et al. [2000]

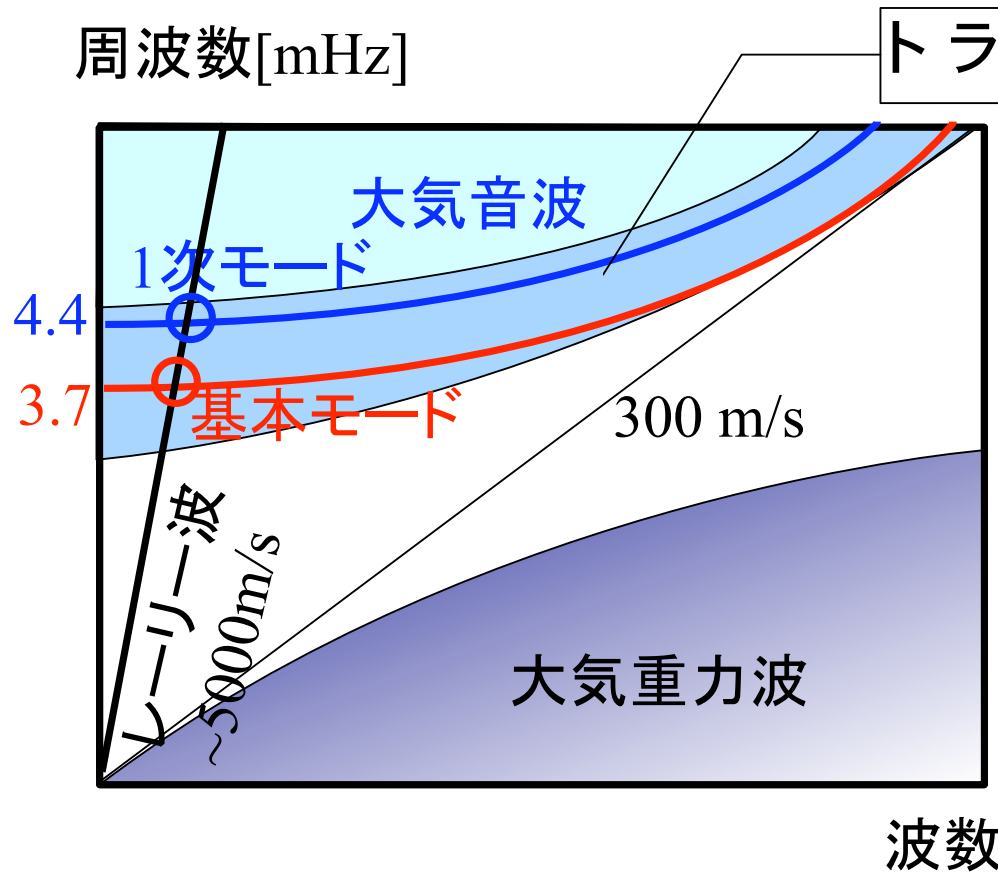
音響共鳴による振幅異常



Nishida et al. [2000]

- 音響共鳴の証拠: $0S_{29}$, $0S_{37}$ の余剰振幅
- $0S_{29}$ の季節変動が大きい

固体地球と大気の共鳴振動



- ほとんどの固体モードは大気モードとデカップルしている
- 2つの 固体モードのみカップルしている

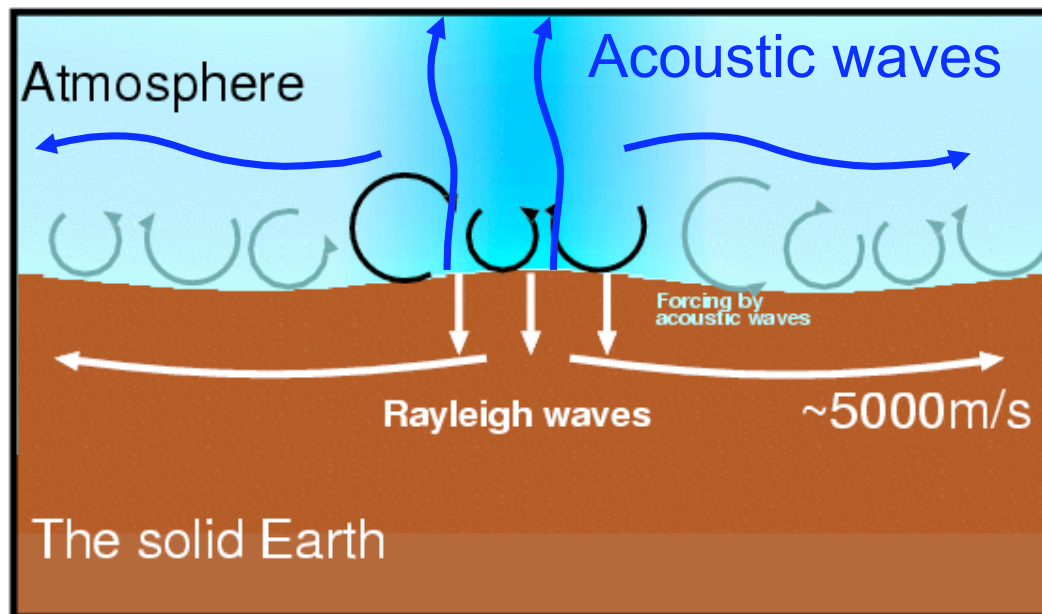
□ **0S29(3.7mHz)**

□ **0S37(4.4 mHz)**

大気励起仮説

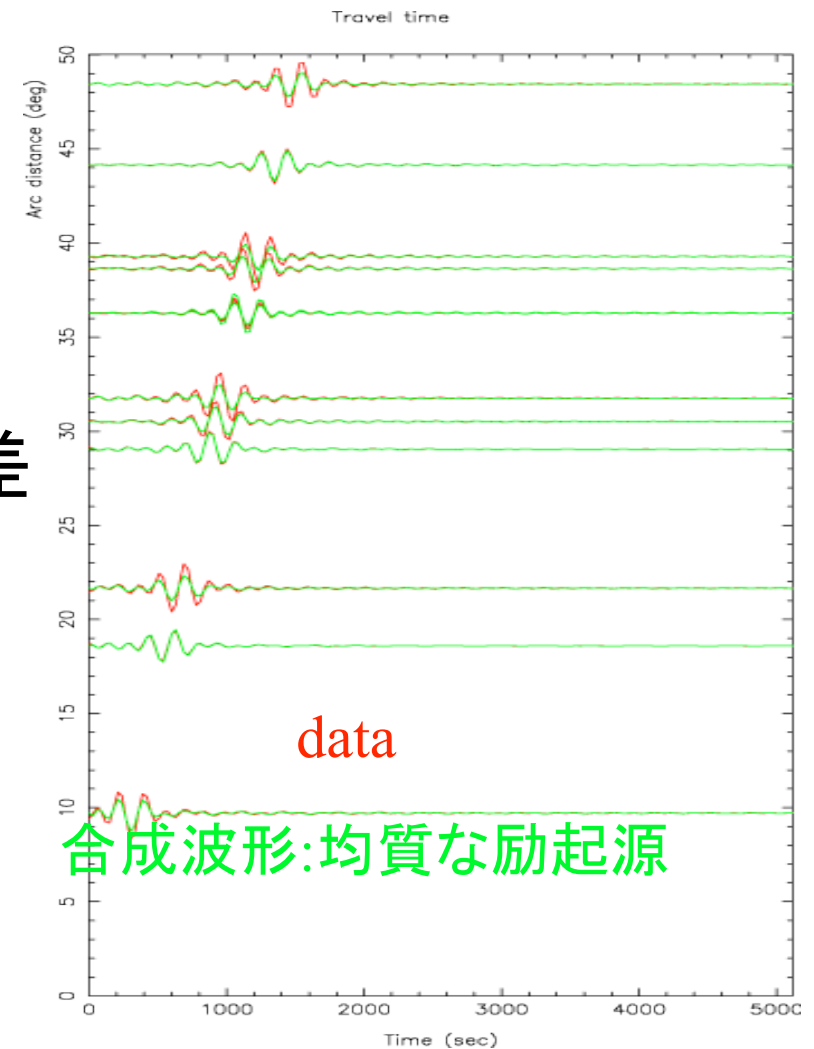
■ 大気擾乱が励起源だと

- 音響共鳴, $0S_{29}$ (3.7mHz), $0S_{37}$ (4.4 mHz)
- $0S_{29}$ の励起振幅の季節変化が大きい

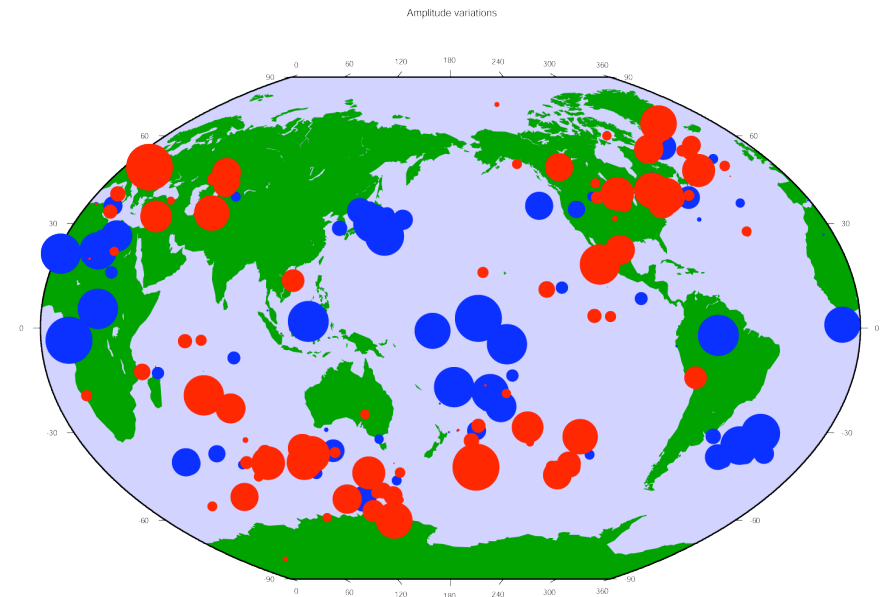
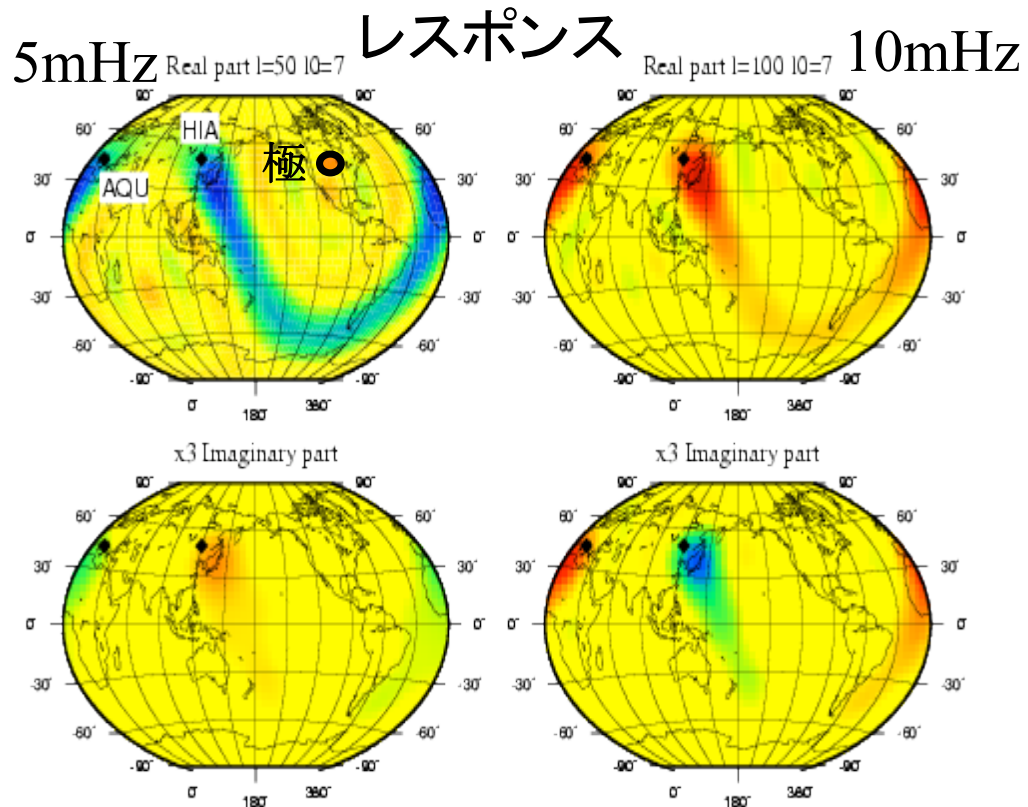


クロススペクトルを用いた 励起源の空間構造推定

- **クロススペクトル**(相互相関関数)
 - データ: STS1鉛直成分, 54点
- **レーリー波の定常励起**
 - 観測点間の距離に応じた走時差
- **振幅の異常**




励起源に対する感度



GMT 2005 Apr 26 15:58:44 Example 20 in Cookbook

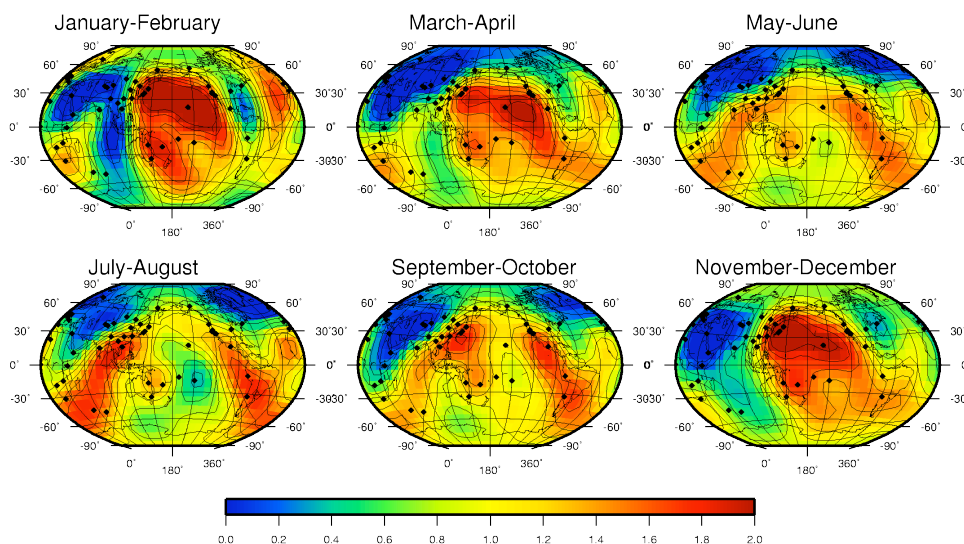
- 大円上の異常に敏感
- 偶数次の構造を反映
- 高周波数では奇数次構造も反映



空間分布の推定方法

- 励起源空間分布のmodel
 - 球面調和関数7次まで
- レスポンスを計算
 - 励起源はランダムな擾乱
 - 擾乱のスケールはRayleigh波の波長より十分短い
 - *Fukao et al.* [2002]を改良
- 観測クロススペクトルにフィッティング
 - モデルをレスポンスで畳み込む(3-10mHz)
 - 滑らかさの制約

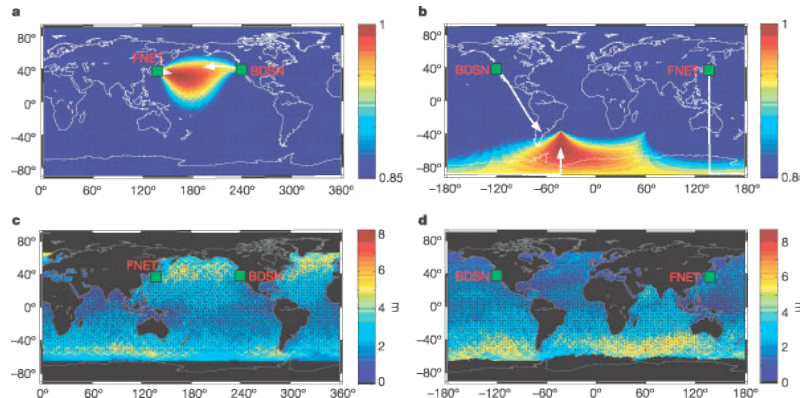
励起源の空間分布



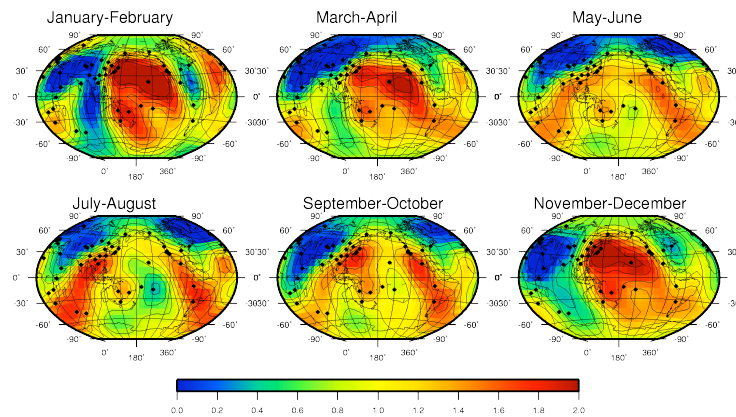
- 海洋地域の励起が強い
 - Rhie and Romanowicz[2004]と調和的
 - 大陸地域の励起は常に弱い
 - 大陸棚だけではなく、海洋地域一面に分布
 - 11-4月: 北太平洋地域が強い
 - 5-10月: 赤道域、南半球に極大

海洋起源 or 大気起源？

空間分布から励起メカニズムを推定する試み



Rhie and Romanowicz [2004]

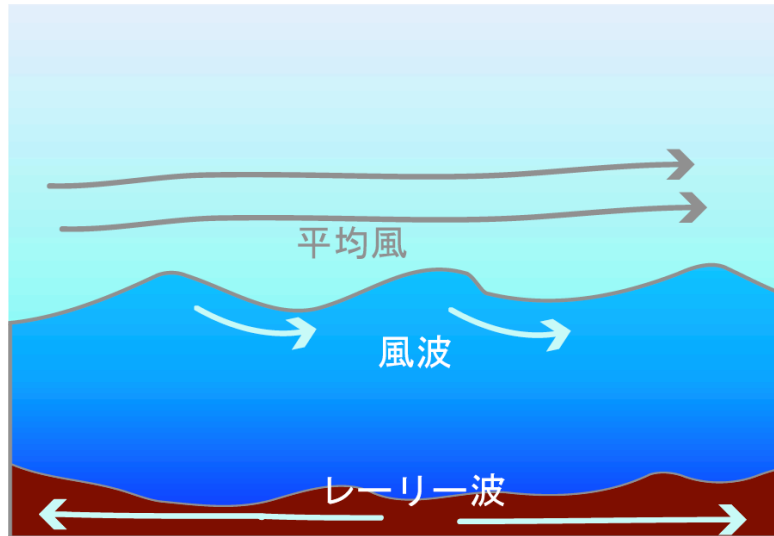


Nishida and Fukao [2007]

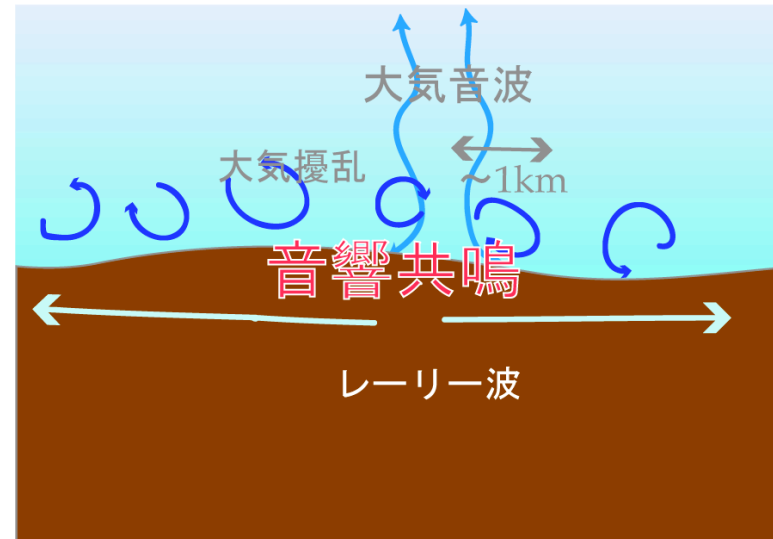
- *Rhie and Romanowicz [2004]*
Watada and Masters [2001], Webb [2007]
- 海洋波浪起源:
 - アレー解析
 - 大陸棚:波高分布
- 本研究:
 - クロススペクトルのモデリング
 - 海洋地域の励起が強い
 - 0次の構造が卓越

Hi-net傾斜計を用いた水平動の解析: 本当に単純な圧カソースなのか?

海洋波浪



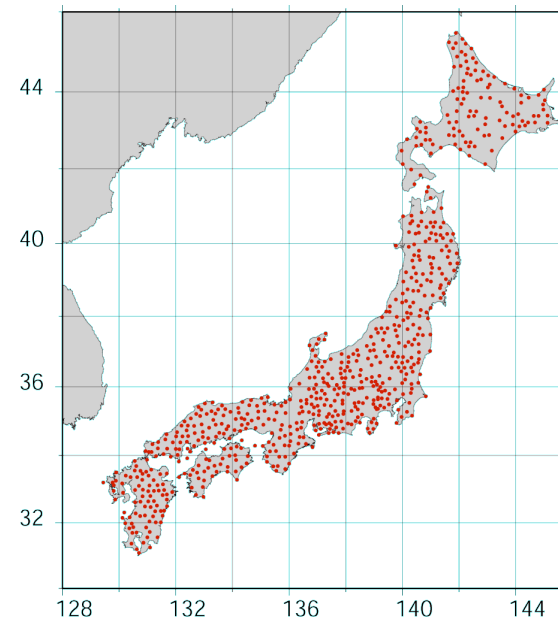
大気擾乱



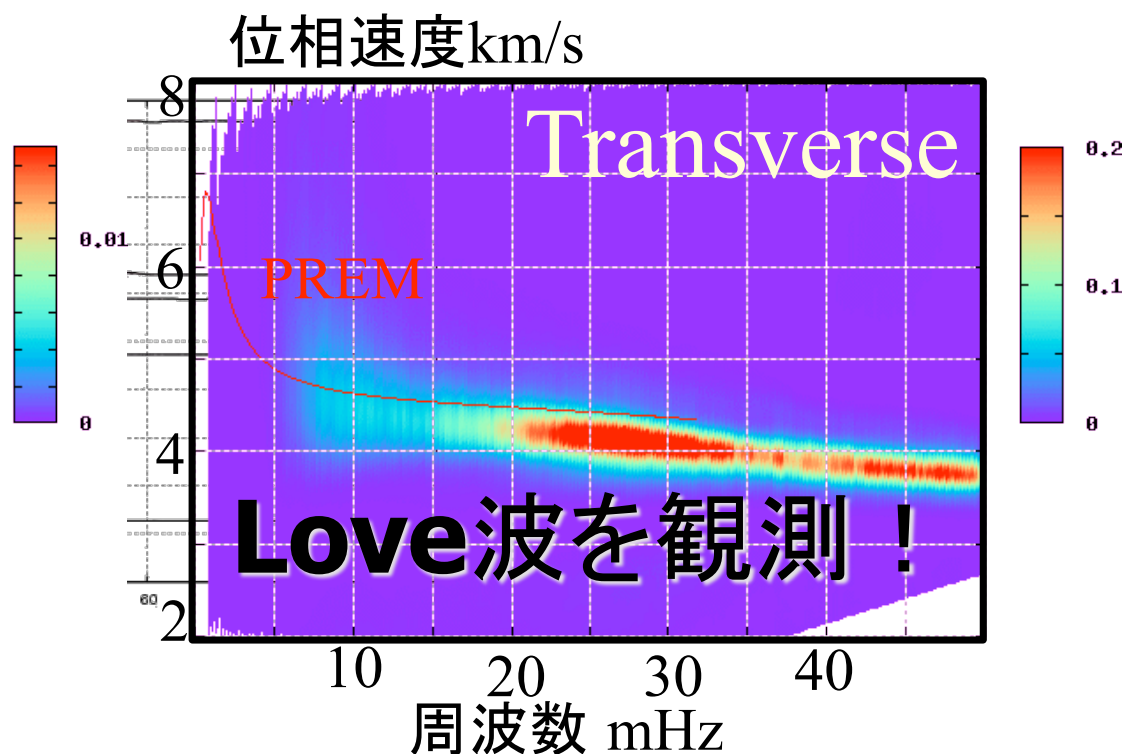
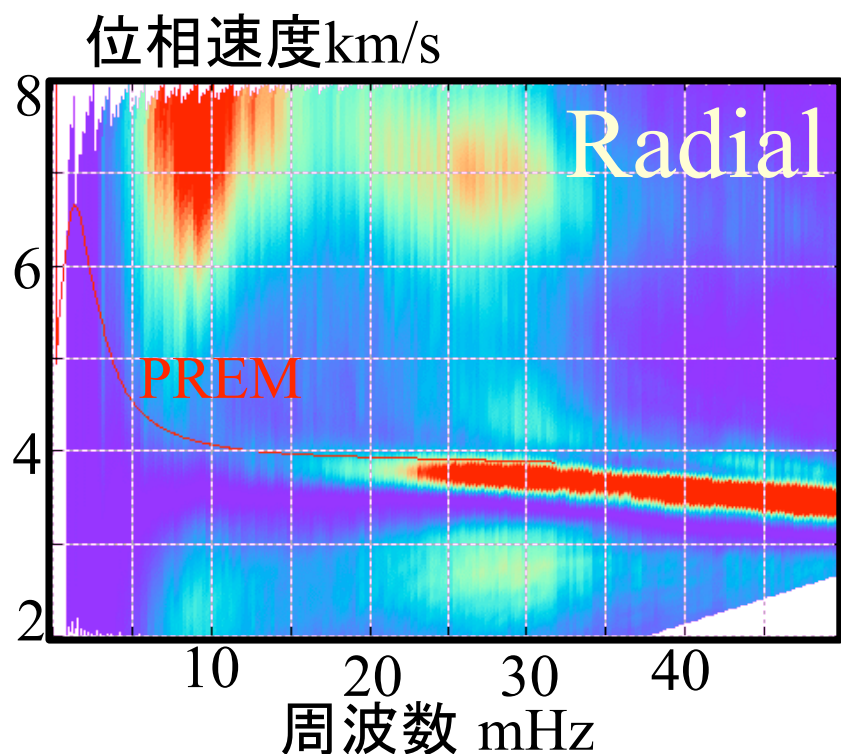
- 大気海洋現象:(予想)Rayleigh波が卓越
 - 上下動ではLove波が見えない
- Love波の観測:励起メカニズムの情報を持っている
 - しかし検出は難しい:水平動のS/Nが悪いため
- 数を稼ぐ(アレー解析):Hi-net傾斜計679点

データ

- Hi-net傾斜計**679**点 水平2成分2004/8-2004/12
- 大きな地震の影響がある期間のデータは捨てる
- 4096秒ごとと2048秒ずつ、ずらしながら切り出す
- 切り出した時系列のrmsを計算: **最大: NLNMの100倍**

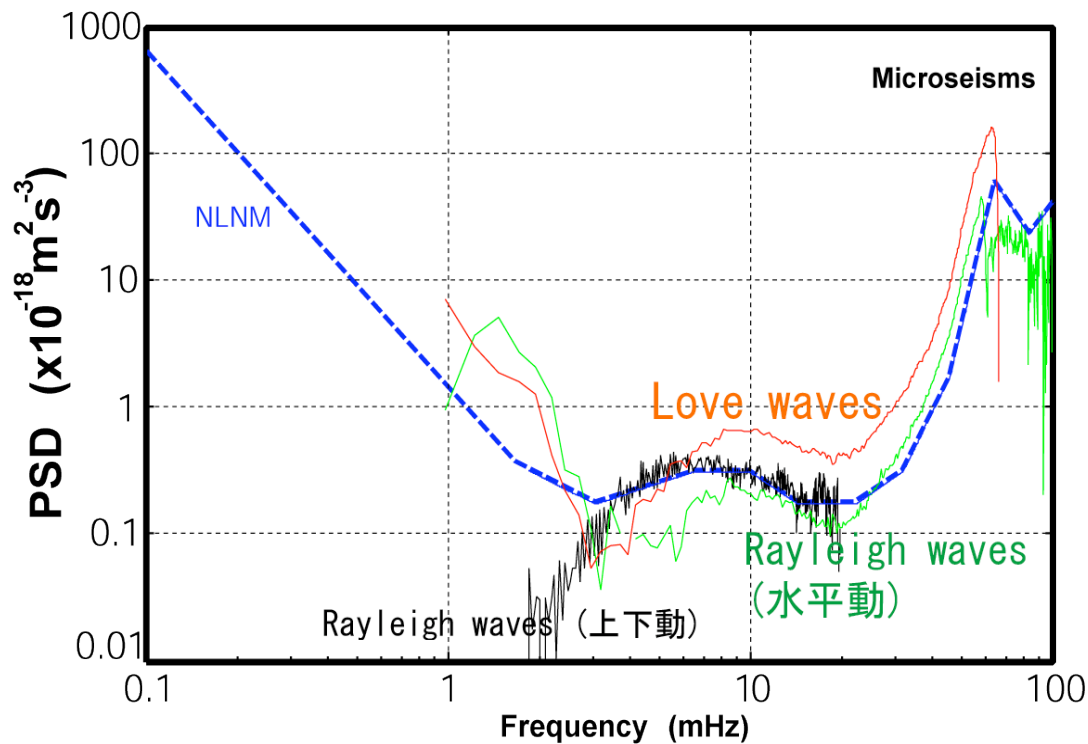


(1)相互相関解析



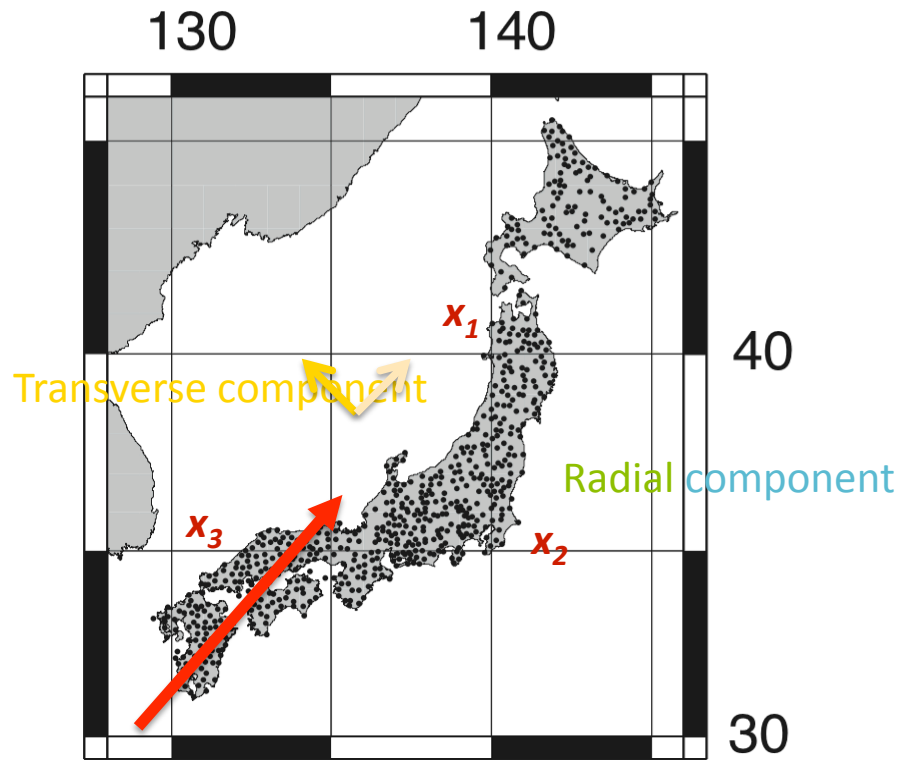
- 任意の2観測点間のクロススペクトルを計算
 - 観測点ペアごとにRadial成分とTransverse成分に分離

励起振幅の比較

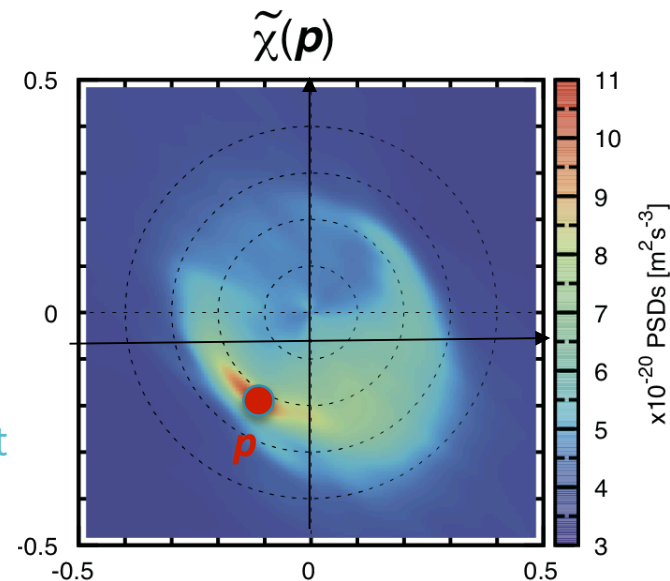


- Rayleigh波：
 - 常時地球自由振動の結果 (上下動)と調和的
- Love波：
 - Rayleigh波の振幅の倍程度
 - エネルギーとしては同程度
 - Love/Rayleigh波の周波数依存性は弱い

(2) Slant stack



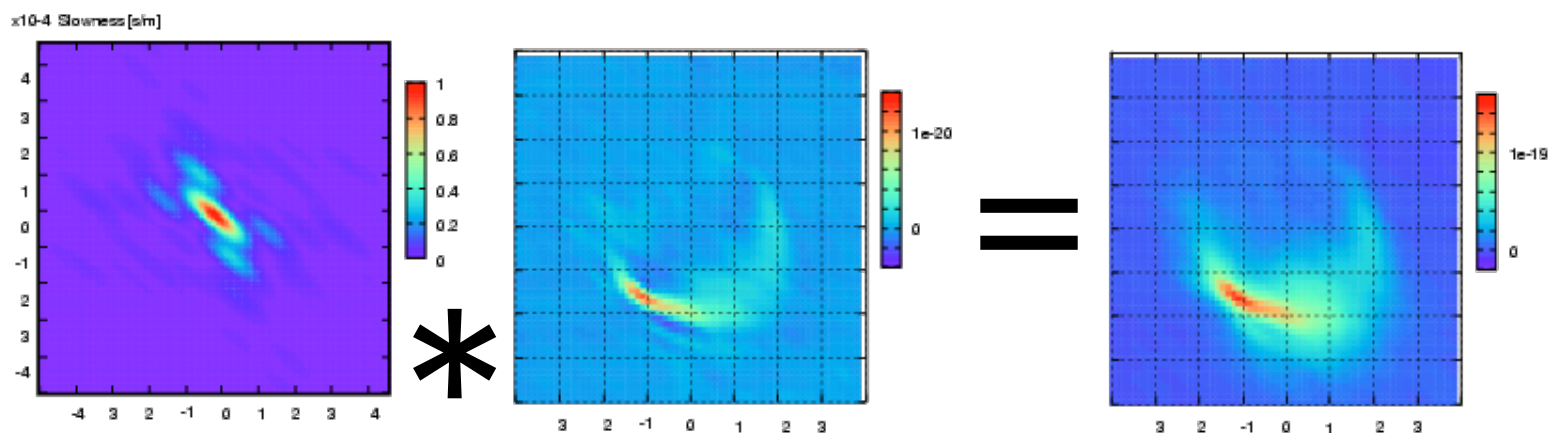
Slowness vector p



- Hi-net傾斜計679点 水平2成分
2004/8-2004/12
- 大きな地震の影響がある期間
のデータは捨てる
- 静穏な期間を選ぶ

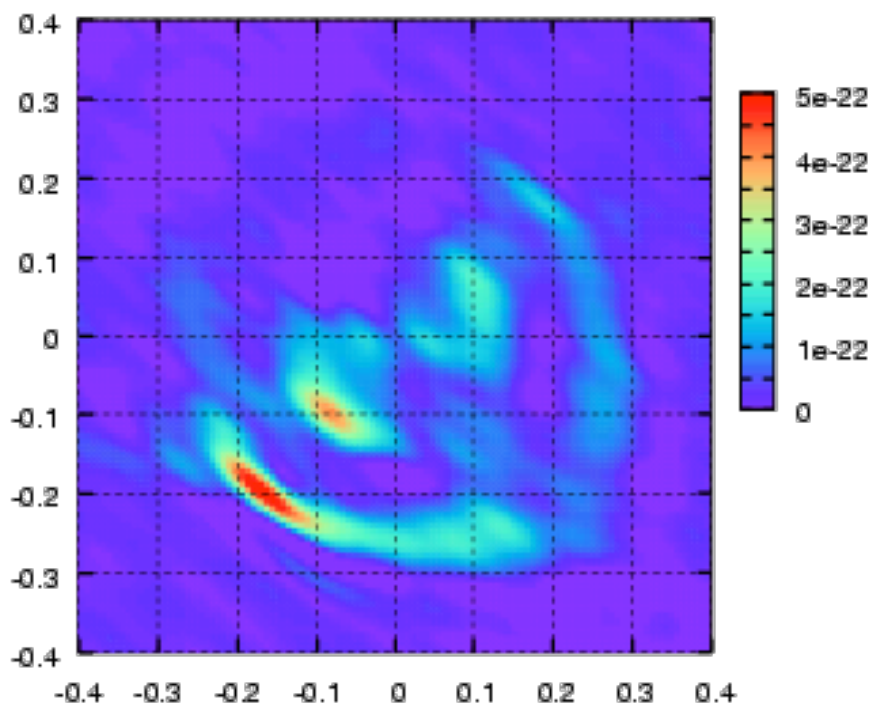
励起振幅の見積もり

- レスポンスをデコンボリューション
- $\Phi(\mathbf{p}, f) = \{\sum u_i(\mathbf{p} - \mathbf{k} \cdot \mathbf{x})\}^2 = \sum R(\mathbf{p}, \mathbf{p}_i) \psi_i(f)$
 - R: アレーレスポンス
 - ψ : スローネス \mathbf{p}_i をもつ波のPSD

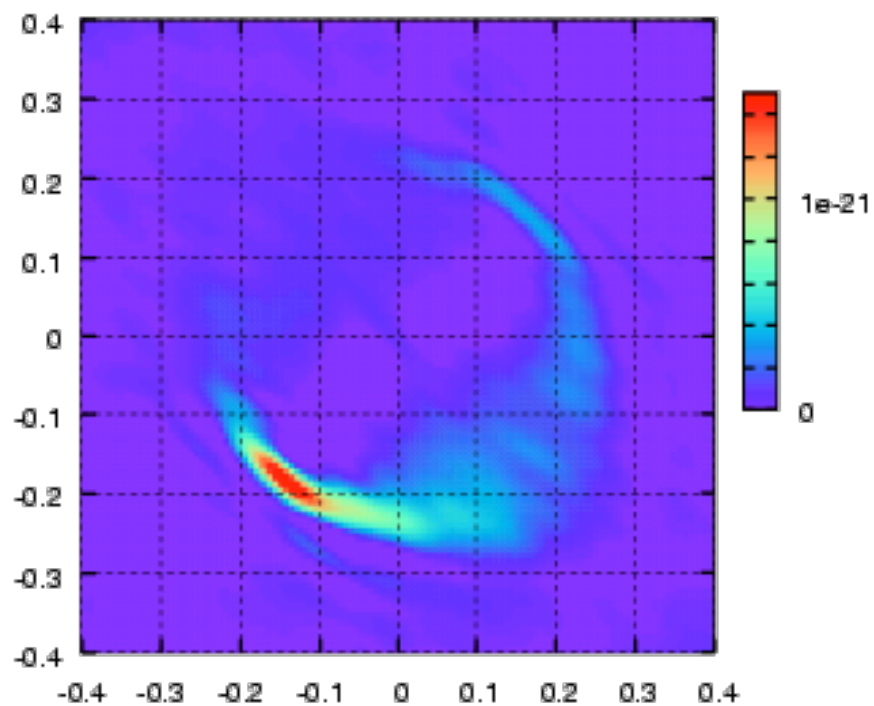


結果(6-9月/2004)

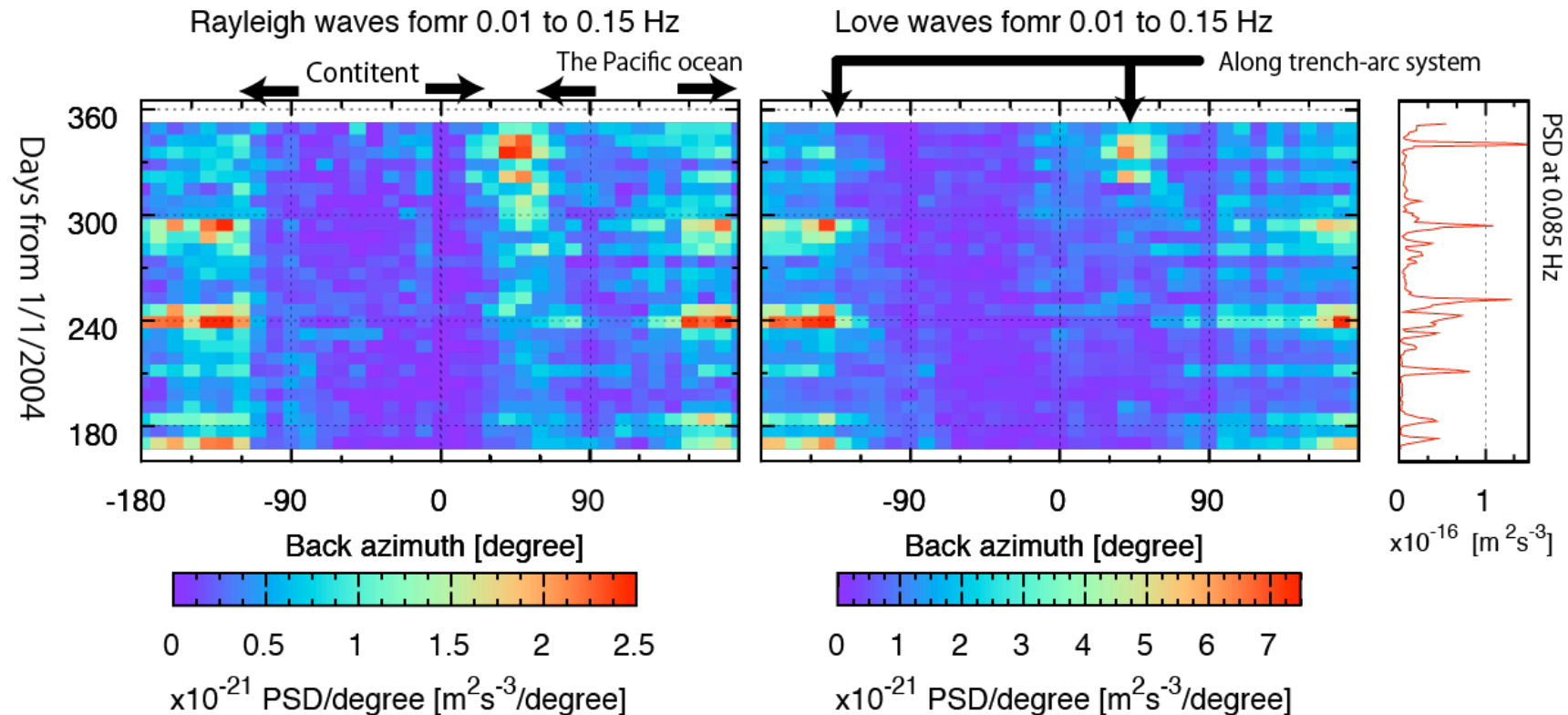
Radial



Transverse



方位分布

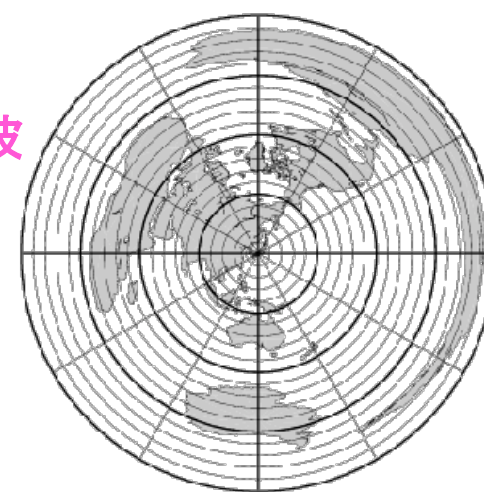
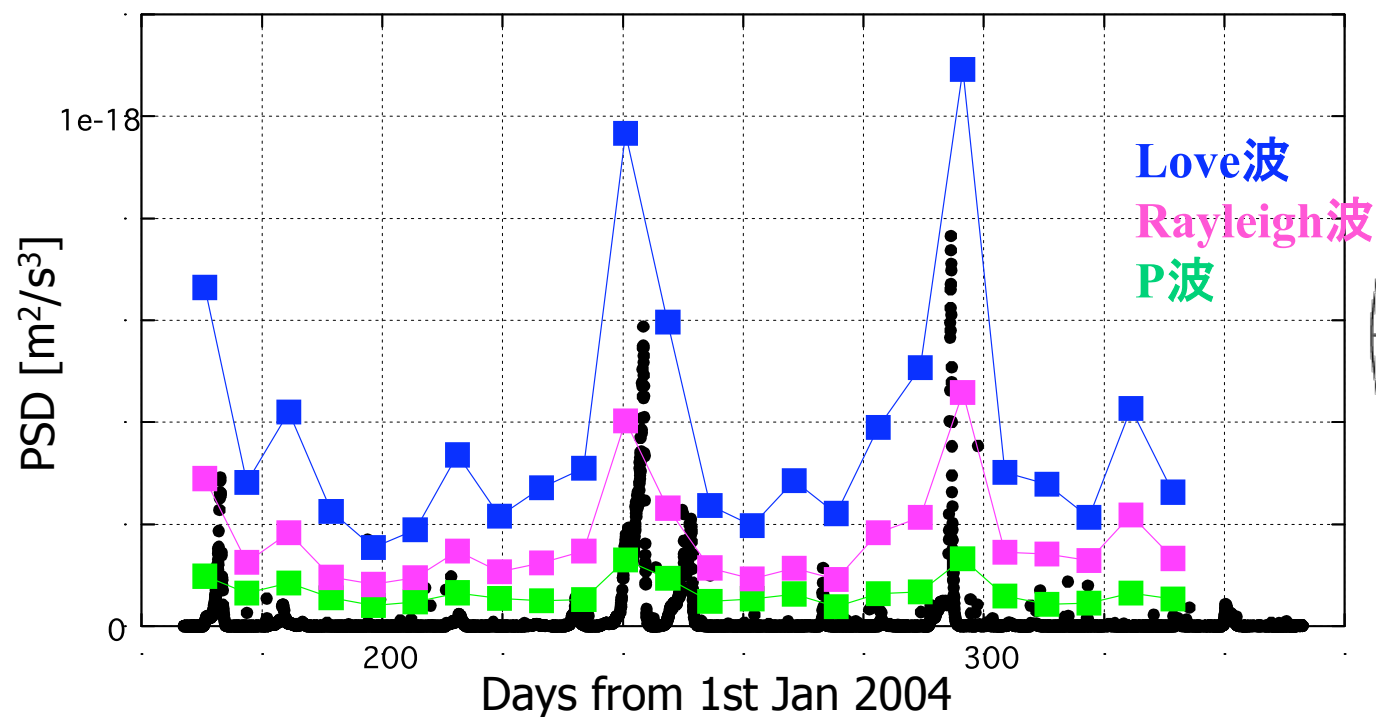


- (1) 最も強い: 島弧沿い
- (2) 平均的: 太平洋の海底
- (3) 弱い: 大陸

Love波の振幅が卓越!!
運動エネルギーとしては同程度

励起振幅の時間変化

- 定常励起 + 海洋波浪の影響
 - 脈動の振幅が波浪の目安(黒丸)
 - P波の変動小さい: 波浪が強い場所は遠い

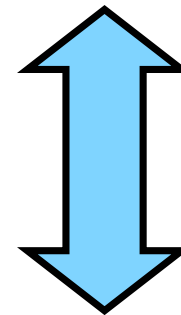
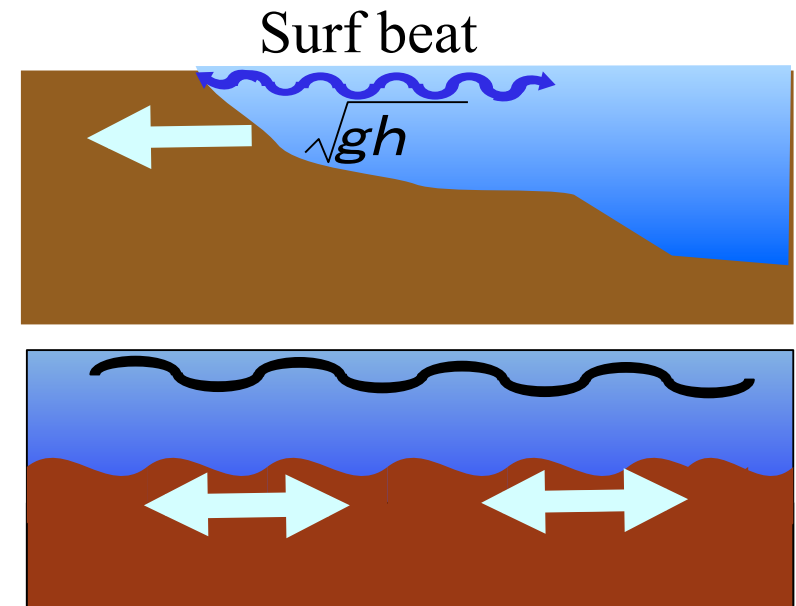


励起メカニズム

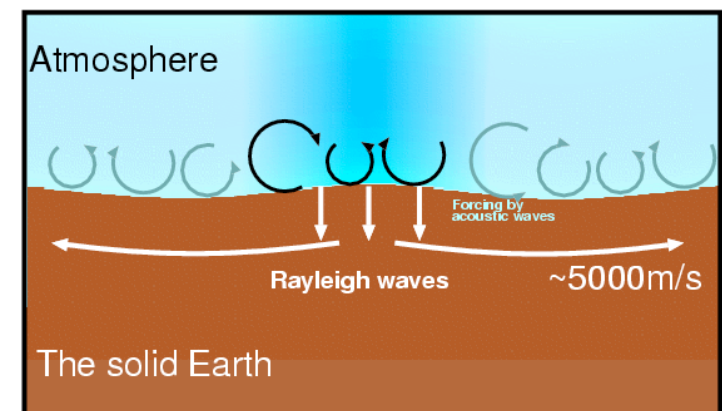
Love波の結果からの推測

- 水平方向の力が必要
 - 陸海境界: 一番大きな水平方向の不均質
 - 浅瀬にトラップされた重力波: surf beat
- 海洋底での地形カップリング

- 励起源は空間的に広い領域に分布
- 大気音波との共鳴振動
- 大気擾乱



実際の現象





まとめ

- 音響共鳴を検出
 - 大気中に励起源がないと説明できない
- 海洋地域に励起源が分布：長波長構造が卓越
- 周期20-100秒でLove波の定常励起を確認
 - Love波励起振幅はRayleigh波の倍程度
 - Rayleigh波の振幅は上下動と同程度
 - 励起源の候補：
 - 陸海境界でのsurf beat
 - 海洋重力波との地形カップリング
- 励起源は複数の大気海洋現象の可能性が強い
 - 海陸境界の励起源だけではすべての観測を説明できない