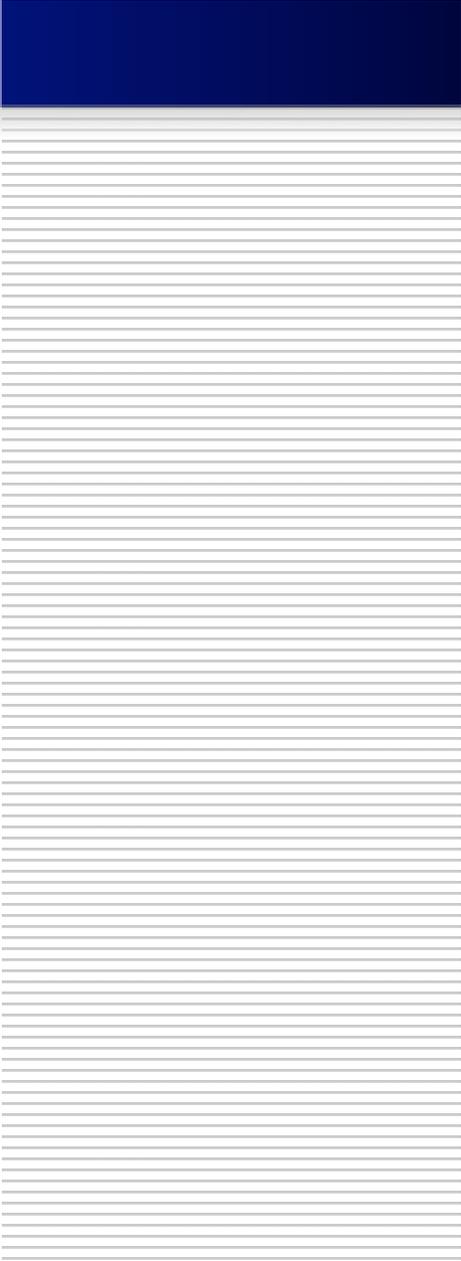




相関磁場雑音

西澤篤志

2013年4月9日 KAGRA DetChar 会議



紹介する論文

arXiv: 1303.2613

Correlated magnetic noise in global networks of gravitational-wave interferometers: observations and implications

E. Thrane,¹ N. Christensen,² and R. M. S. Schofield³

¹*LIGO-California Institute of Technology, Pasadena, California 91125, USA^a*

²*Physics and Astronomy, Carleton College, Northfield, MN 55057, USA*

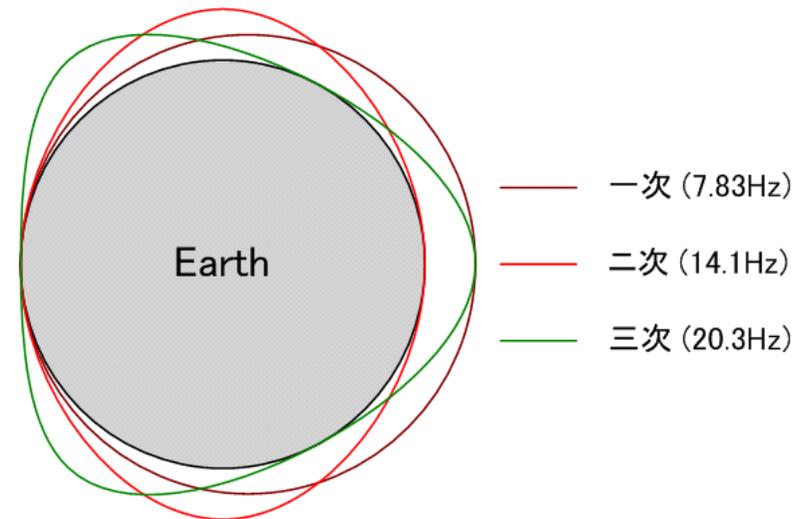
³*University of Oregon, Eugene, Oregon 97403, USA*

One of the most ambitious goals of gravitational-wave astronomy is to observe the stochastic gravitational-wave background. Correlated noise in two or more detectors can introduce a systematic error, which limits the sensitivity of stochastic searches. We report on measurements of correlated magnetic noise from Schumann resonances at the widely separated LIGO and Virgo detectors. We investigate the effect of this noise on a global network of interferometers and derive a constraint on the allowable coupling of environmental magnetic fields to test mass motion in gravitational-wave detectors. We find that while correlated noise from global electromagnetic fields could be safely ignored for initial LIGO stochastic searches, it could severely impact Advanced LIGO and third-generation detectors.

Schumann 共振

[Wikipedia より]

- 1952年: W. O. Schumann が理論的に予言.
1954年: W. O. Schumann & H. Konig が観測.
- 地球の地表と電離層との間で極極超長波 (ELF) が反射をして、その波長の整数倍がちょうど地球一周の距離に一致したもの.
- その周波数は 7.83 Hz (1次), 14.1 Hz (2次), 20.3 Hz (3次), …… と多数存在する.
- 常に共振し続けているので常時観測できる.
- シューマン共振のエネルギー源は雷の放電や太陽風による電離層の震動だといわれている.



Schumann 共振の観測値

- 世界中で毎秒 100 回の雷による放電
(距離 3-5 km に渡って 20-30 kA)
- 0.5-1.0 pT /rHz [D. D. Sentman 1995]
- 10 pT のバーストは2秒に1回くらい起きている。
[M. Fullekrug 1995]
- 共振の幅は共振周波数の $\sim 1/5$.
- 季節や嵐の到来に依って変動する.
- 磁場のコヒーレント長 ~ 1000 km

重力波検出器への影響

- 磁場雑音の混入

iLIGO の場合: ミラーに取り付けられた磁石を通して.

aLIGO の場合: ミラー懸架系の磁気感受性体を通して.

- 相関雑音が存在すると、相関解析の感度を制限

stochastic: 相関磁場雑音レベルまでしか背景重力波を検出出来ない.

burst: coincident false event の増大
→ 検出 SNR 閾値が大きくなる

...

磁場相関の測定 (1)

磁力計はそれぞれの観測所の建物内に置かれたものを用いる。

LIGO: Bartington Mag-03 磁力計

Virgo: Metronix MFS-06磁力計

$$\text{coh}(f) \equiv \frac{|S_{12}(f)|^2}{S_1(f) S_2(f)}$$

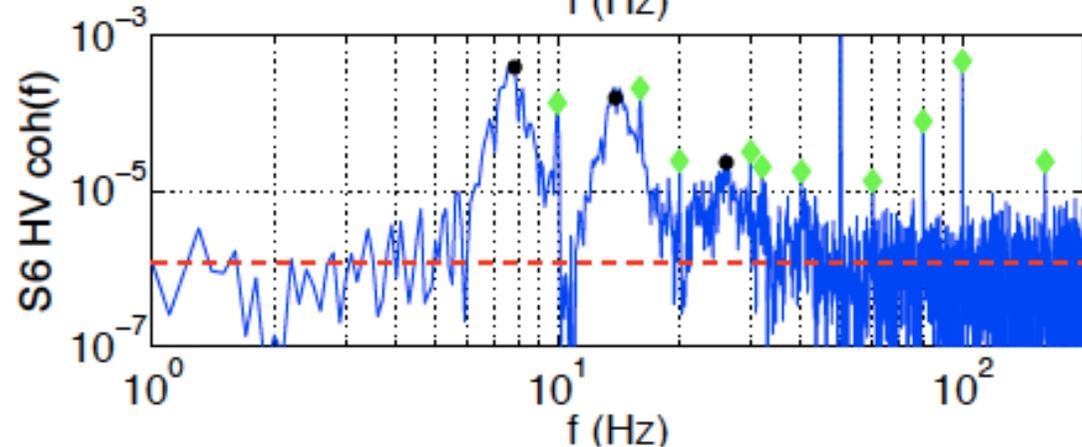
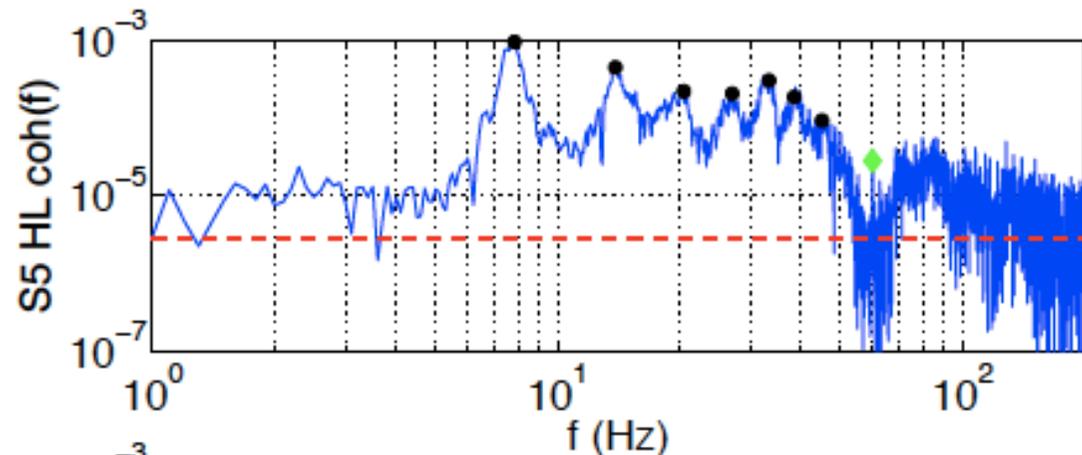
HL: S5 (330 日)

HV: S6-VSR2/3 (100 日)

黒点: Schumann 共振

緑点: 電気雑音のライン

赤線: 無相関の場合の
コヒーレンスレベル



磁場相関の測定 (2)



- 測定された共振周波数 7.8, 13.9, 20.5 Hz は Schumann 共振と consistent.
- 他の磁力計 (異なる場所、異なる方向) に対しても同じような結果を得た.
- 異なる観測期間のデータに対しても同じような結果を得た.
- 累積コヒーレンスを見て、非定常雑音ではないことを確認.
- 高周波数 (HL: 200 Hz 以上, HV: 50 Hz 以上) では有意なコヒーレンスは見えなかった.
- データを10秒ずらして相関をとると、電気雑音のピークだけが残ることを確認

iLIGO での相関磁場雑音 (1)

- 応答関数 $T(f)$ を測定
(外部磁場から GW チャンネルへのカップリング)
- 真空チェンバーの外に置かれた磁気コイルで変動磁場を発生.
- 両方のサイトで

$$T(f) = 0.003(f/1 \text{ Hz})^{-3} \text{ m/T}$$

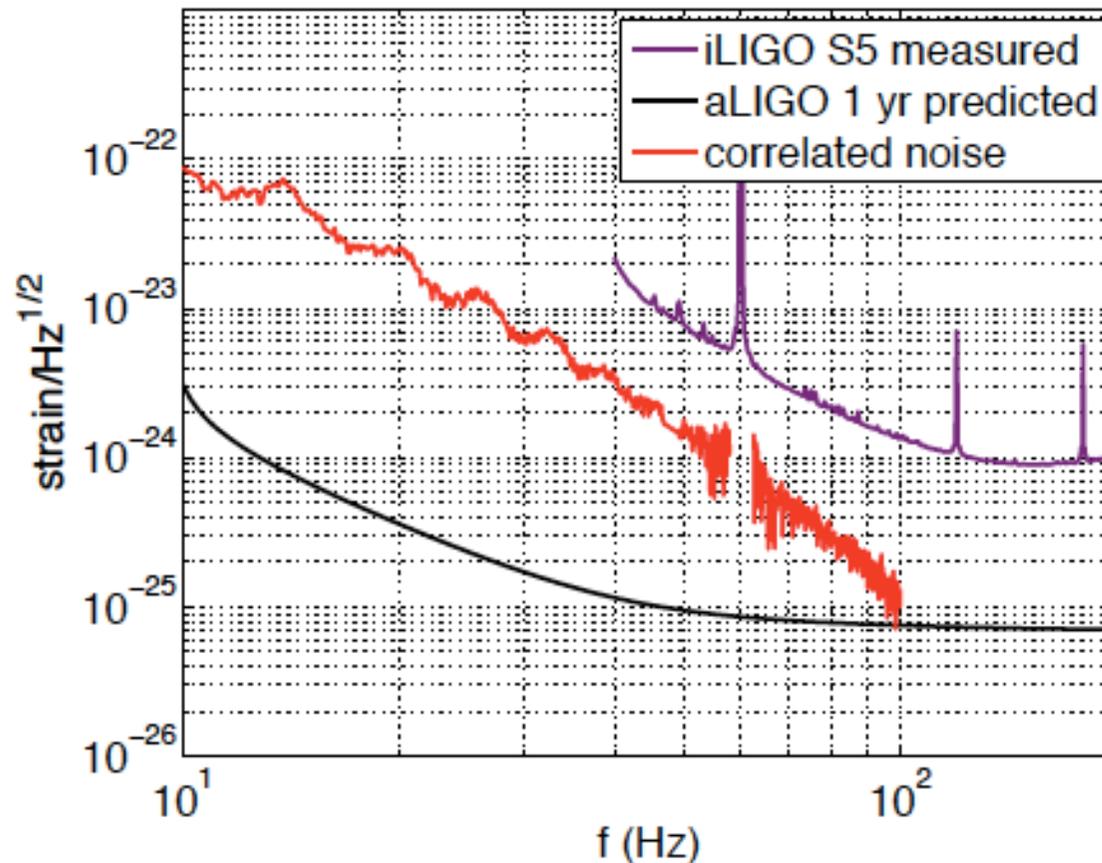
[R. Schofield (2012), <http://www.ligo-wa.caltech.edu/~robert.schofield/iLIGOenvironmentalinfluences.htm#PEMinjections>]

- ビーム軸に平行な場合と垂直な場合でもファクター 2 倍以内で一致.

iLIGO での相関磁場雑音 (2)

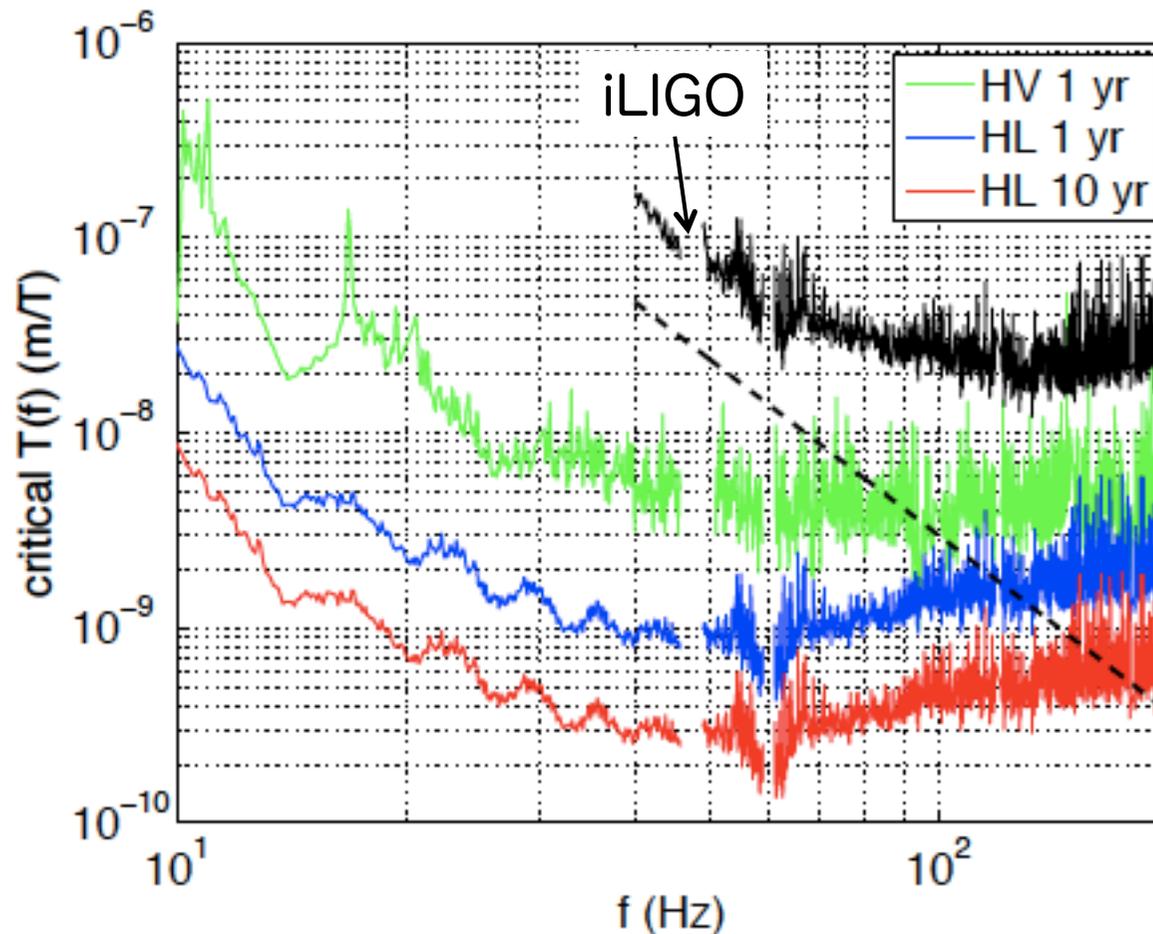
GW 振幅に換算した雑音クロスパワースペクトル

$$N_{12}^m(f) \approx \frac{1}{L^2} T_1(f) T_2(f) |M_{12}(f)| \quad M_{12}(f) \equiv \frac{1}{\mathcal{N}} \overline{\tilde{m}_1^*(f) \tilde{m}_2(f)}$$



aLIGO に要求される磁場カップリング

aLIGO で相関雑音が効かないためには、どれくらいの磁場カップリングが必要か？



この要求を満たしても十分では無い。

周波数ビンで積分すると $T(f)$ への要求は \sqrt{N} できつくなる。

例えば、 $N = 400$ ならば、20倍小さなカップリングが必要。

KAGRA での対策



- 要求値: iLIGO よりも ~100 倍小さな相関磁場雑音
- 最もシンプル (簡単ではない?) な対策は磁場カップリングを減らすこと.
- 他の可能性は、磁場環境モニターのデータを用いて相関磁場雑音の差っ引きを行う (e.g. Newtonian noise).