

KAGRA Newtonian noise investigation meeting

Purpose of this meeting

2020/12/22

Takaaki Yokozawa

Newtonian noise

安東正樹著「重力波とはなにか」P164より

第5章 進化する「第二世代」

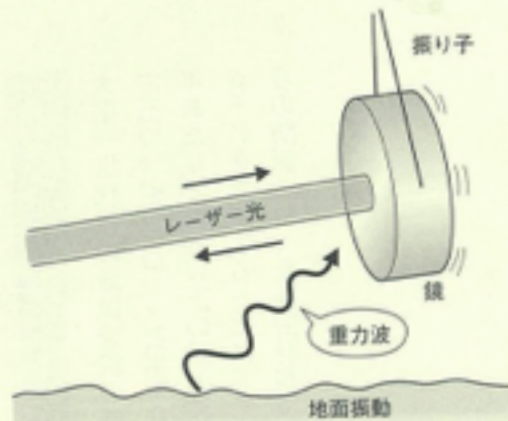


図5-12 重力勾配雑音
地面振動など、周囲の物体が変動したときに生じる重力変動によって干渉計の鏡が揺れる

てくる可能性があります。「重力勾配雑音」です。これは、地面振動、つまり地面の局地的な密度変動が重力を介して、鏡を揺らしてしまうという雑音です。

これまで説明してきたように、地面の振動が懸架振り子を通じて鏡を揺らしてしまう影響は、高性能の防振装置で抑えることができます。しかし、この重力勾配雑音は重力を介して伝わるので、遮ることができないのです。地面振動のモデルなどを用いた理論計算によると、この雑音は数Hz以下の周波数で問題になってくると見積もられています。地球上のレーザー干渉計を用いる場合、最終的にはこの雑音の影響で低周波数帯の観測はできないだろうと考えられています。

とはいえ、少しでもその影響を避けようとする研究はすでに進められています。たとえば、干渉計の周りに地震計や重力勾配計をたくさん並べて、その信号を用いて重力勾配雑音成分を干渉計出力から差し引く、などの研究です。

が必要になるため、このような単純な振り子では十分ではありません。そこで、振り子で吊られたおもりからさらにおもりを吊る、ということを繰り返した多段振り子が用いられます。さらに、より低い周波数からの防振ができるようにゆっくりとした周期（低い共振周波数）をもつ振り子が組み込まれたり、縦方向の防振をする装置が組み込まれたりもします。LIGOでは高さ1・6mの4段振り子が用いられ、MAGRAでは高さ13mの9段の振り子が用いられています。

振り子の原理を用いたこの受動防振に加え、重力波望遠鏡では能動防振も用いられます。受動防振は高い防振比を実現できる反面、地面の傾きなどの長期的な変動に影響されやすく、また、昼夜などで地面振動の大きさが変わると、鏡の振動の大きさも変化して、一定の状態を保つことが難しくなります。能動防振とは、受動防振系の土台の変動を地震計などのセンサーで読みとり、その信号を土台にフィードバックして動かし、変動を抑圧するという防振装置です。その性能はセンサーの感度で制限されるため、高い防振性能の実現は難しいのですが、周辺環境に影響されない安定な状態をつくりだすには非常に有効です。実際、LIGOの初期段階やTAMAとった第一世代干渉計では、昼間や近隣の人的活動が盛んな時期は干渉計がまともに動作しないことがありましたが、能動防振装置の導入によって問題が解決し、長期間の安定な観測運転が可能になったのです。

将来、第三世代のレーザー干渉計型重力波望遠鏡では、地面振動がまた違った形で問題になっ

Newtonian noise

Amaldi 9 and NRDA 2011
Journal of Physics: Conference Series **363** (2012) 012004

IOP Publishing
doi:10.1088/1742-6596/363/1/012004

Newtonian noise and ambient ground motion for gravitational wave detectors

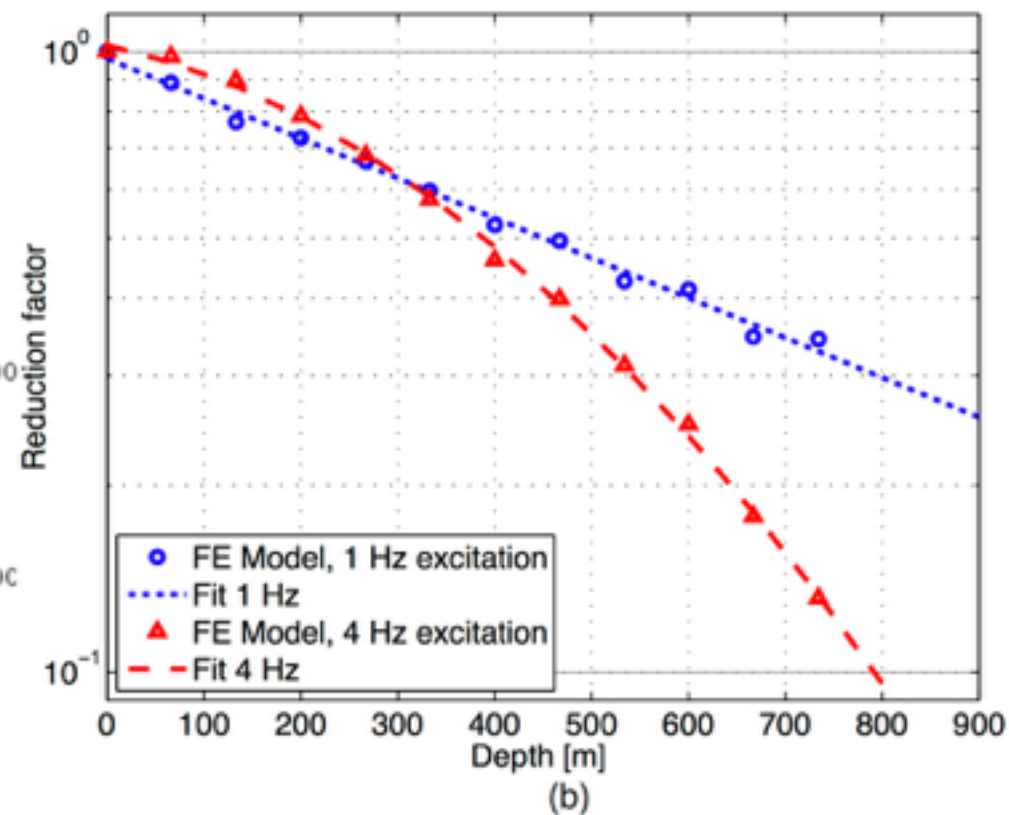
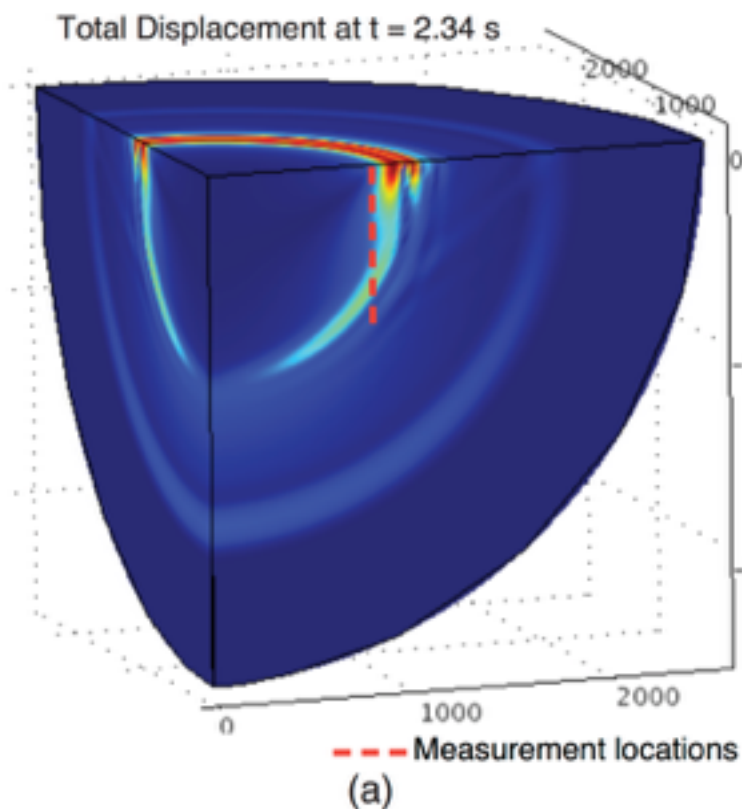
M.G. Beker¹, J.F.J. van den Brand^{1,2}, E. Hennes¹, D.S. Rabeling^{1,2}

¹National Institute for Subatomic Physics Nikhef, Science Park 105, 1098 XG Amsterdam, The Netherlands

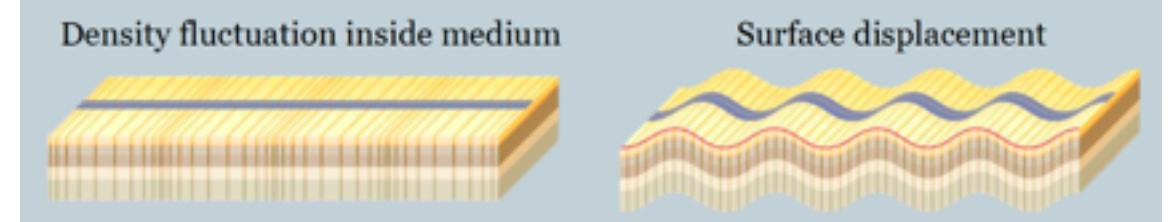
²VU University Amsterdam, de Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands

E-mail: M.Beker@Nikhef.nl

Newtonian noise and
reduction rate
measurement in Europe



Newtonian noise

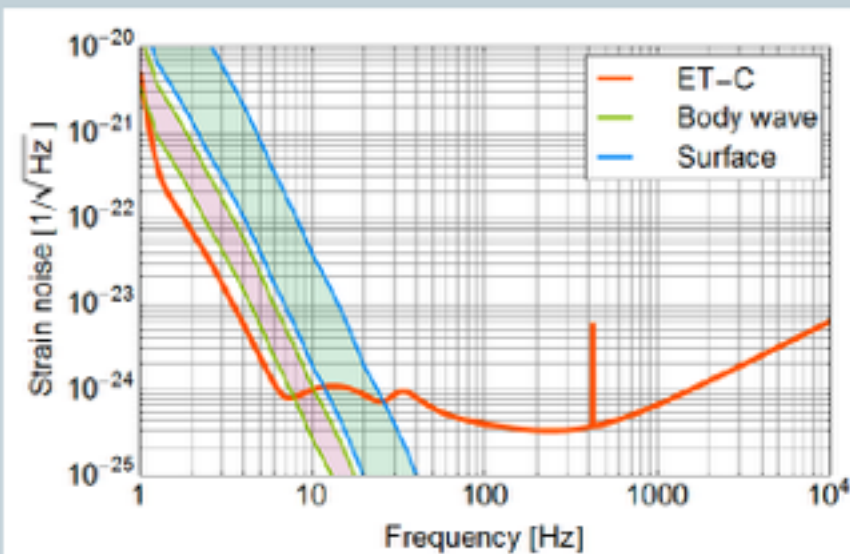


Presentation by Jan Harms and Vuk Mandic

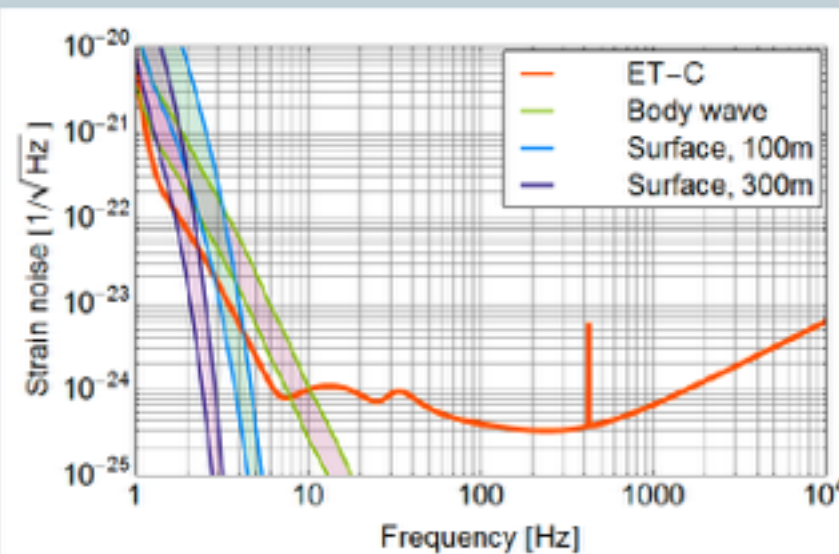
[https://events.ego-gw.it/indico/getFile.py/access?](https://events.ego-gw.it/indico/getFile.py/access?contribId=26&sessionId=1&resId=0&materialId=slides&confId=34)

[contribId=26&sessionId=1&resId=0&materialId=slides&confId=34](https://events.ego-gw.it/indico/getFile.py/access?contribId=26&sessionId=1&resId=0&materialId=slides&confId=34)

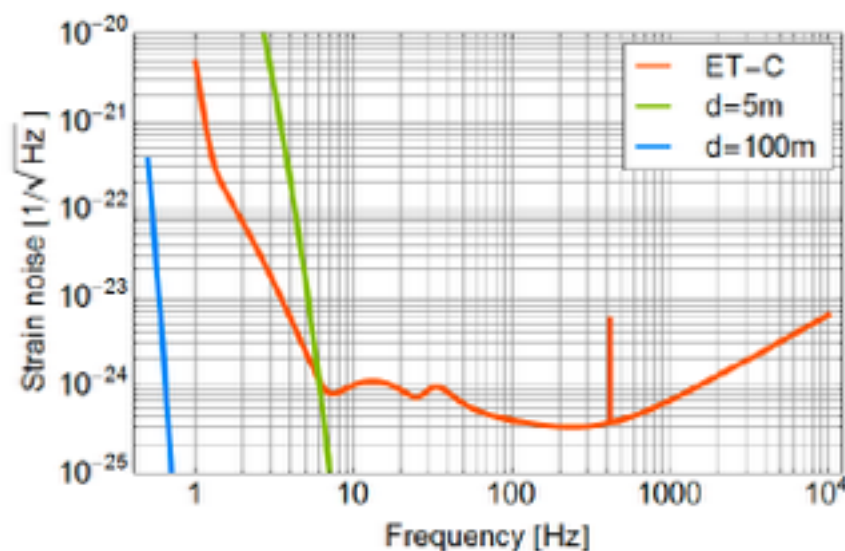
Seismic NN in a surface detector



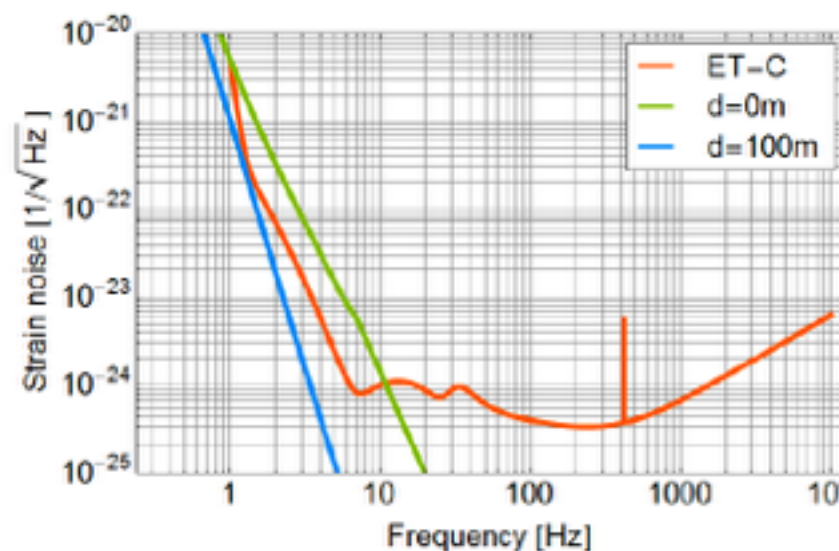
Seismic NN in an underground detector



Temperature NN
Uniform air flow, $v=20\text{m/s}$



Infrasound NN



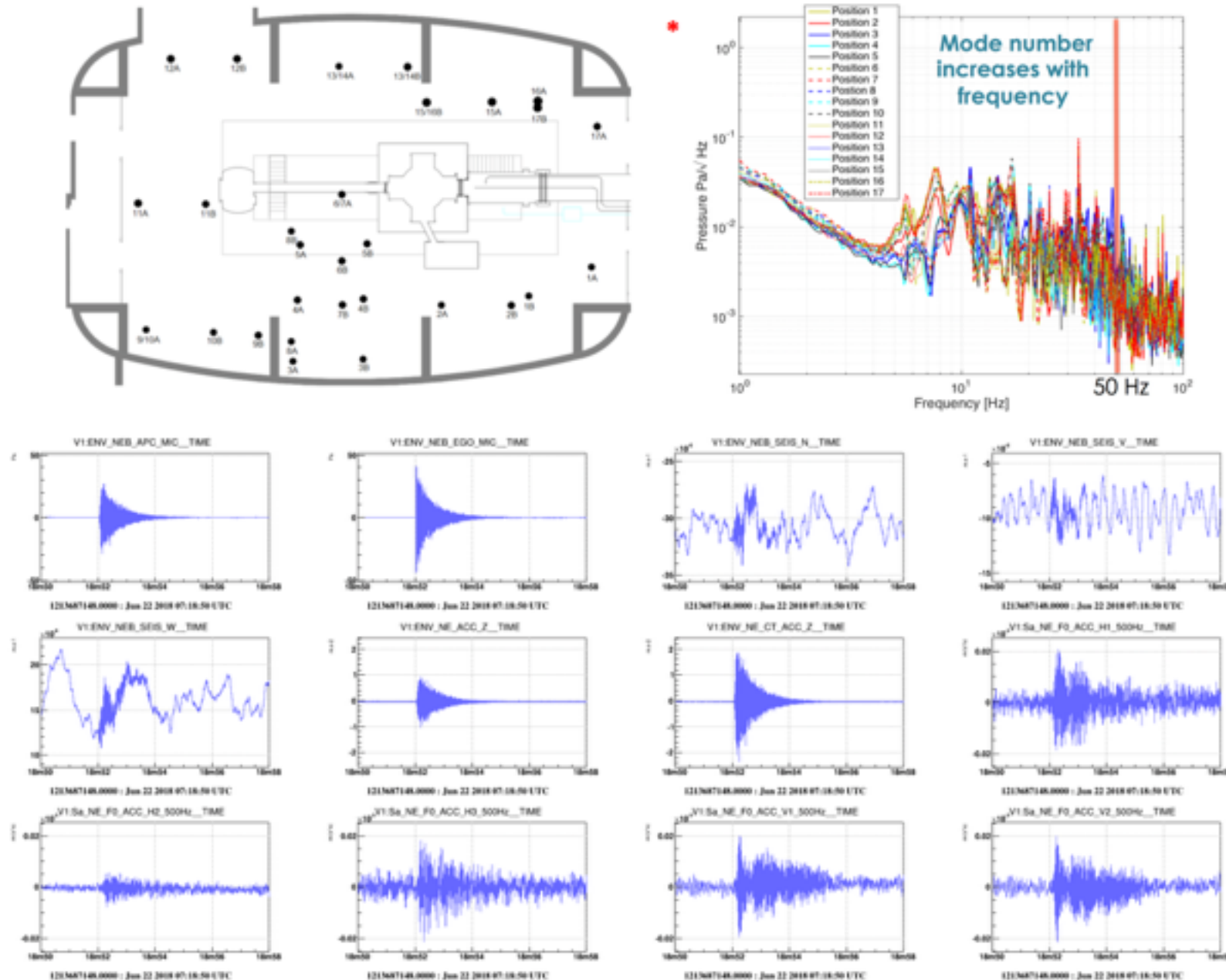
Newtonian noise

<https://agenda.infn.it/event/15928/contributions/88921/attachments/63250/76092/GWADW2019.pdf>

Atmospheric Newtonian Noise (NN): attenuation & cancellation strategies

D. Fiorucci¹, J. Harms¹, F. Paoletti², I. Fiori³, M. Falxa⁴,
M. Barsuglia⁵, F. Gibert⁶, F. Badaracco¹

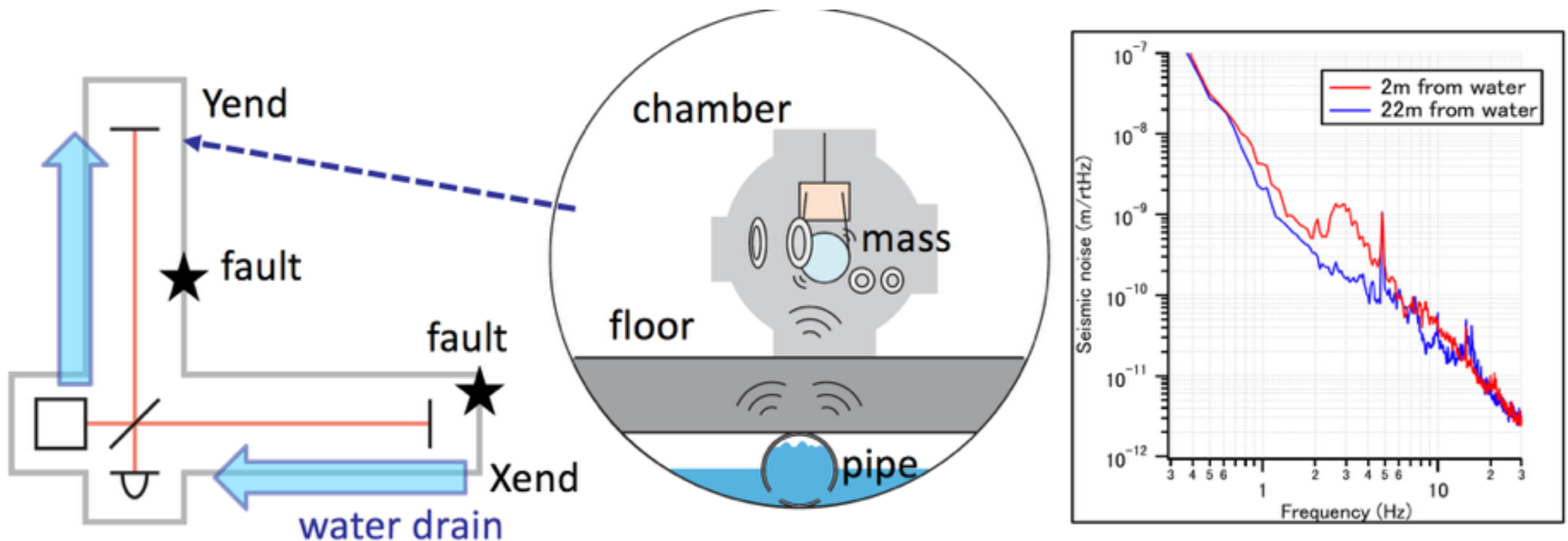
NEB measurements: **not taken at the same time!**



Newtonian noise

Presentation by Somiya-san at TAUP2019

<https://gwdoc.icrr.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/private/DocDB/ShowDocument?docid=10792>



Newtonian noise

Report by Nishizawa-san

Water Newtonian noise for KAGRA

Atsushi Nishizawa, Junko Kasuya, Kazuhiro Hayama
(Dated: February 3, 2019)

We consider Newtonian noise from a water channel and a water fall and estimate how large these Newtonian noises are to conclude whether it finally affects KAGRA sensitivity or not.

I. NEWTONIAN NOISE FROM A WATER CHANNEL

A. Noise power spectrum

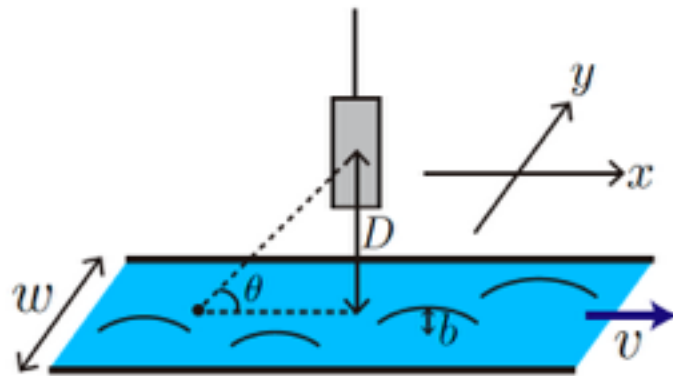


Figure 1. Schematic views of Newtonian force exerted on a mirror from a water channel.

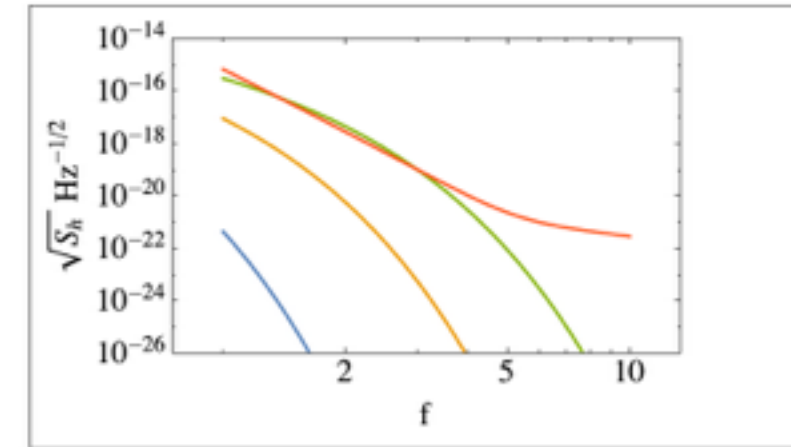


Figure 13. Power spectra of Newtonian noise from a water fall as a function of frequency f ($\Omega = 2\pi f$) to the mirror $D = 5$ m (blue), 2 m (orange), and 1 m (green). Other parameters are set to $\rho = 1$ g/cm³, $S_{A,1Hz} = 5^4$ cm⁴/Hz, $v = 2$ m/s. The red line is KAGRA design noise curve [3].

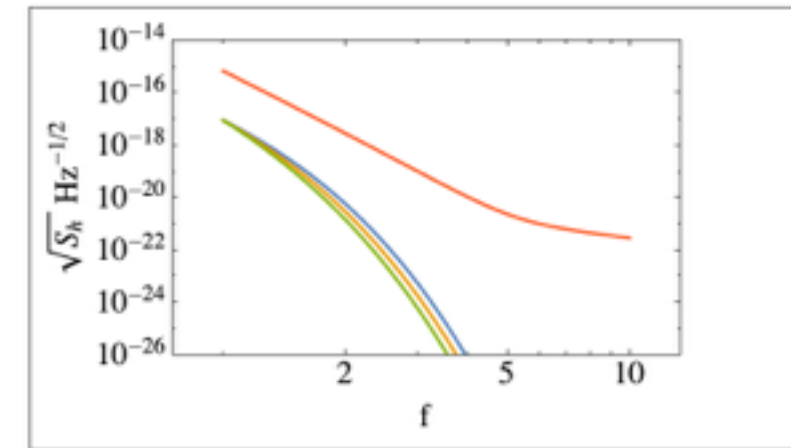


Figure 14. Power spectra of Newtonian noise from a water fall as a function of frequency f ($\Omega = 2\pi f$, $\alpha = 0$ (blue), -2 (orange), and -4 (green). Other parameters are set to $D = 2$ m, $\rho = 1$ g/cm³, $L = 1$ m, $v = 2$ m/s. The red line is KAGRA design noise curve [3].

Newtonian noise

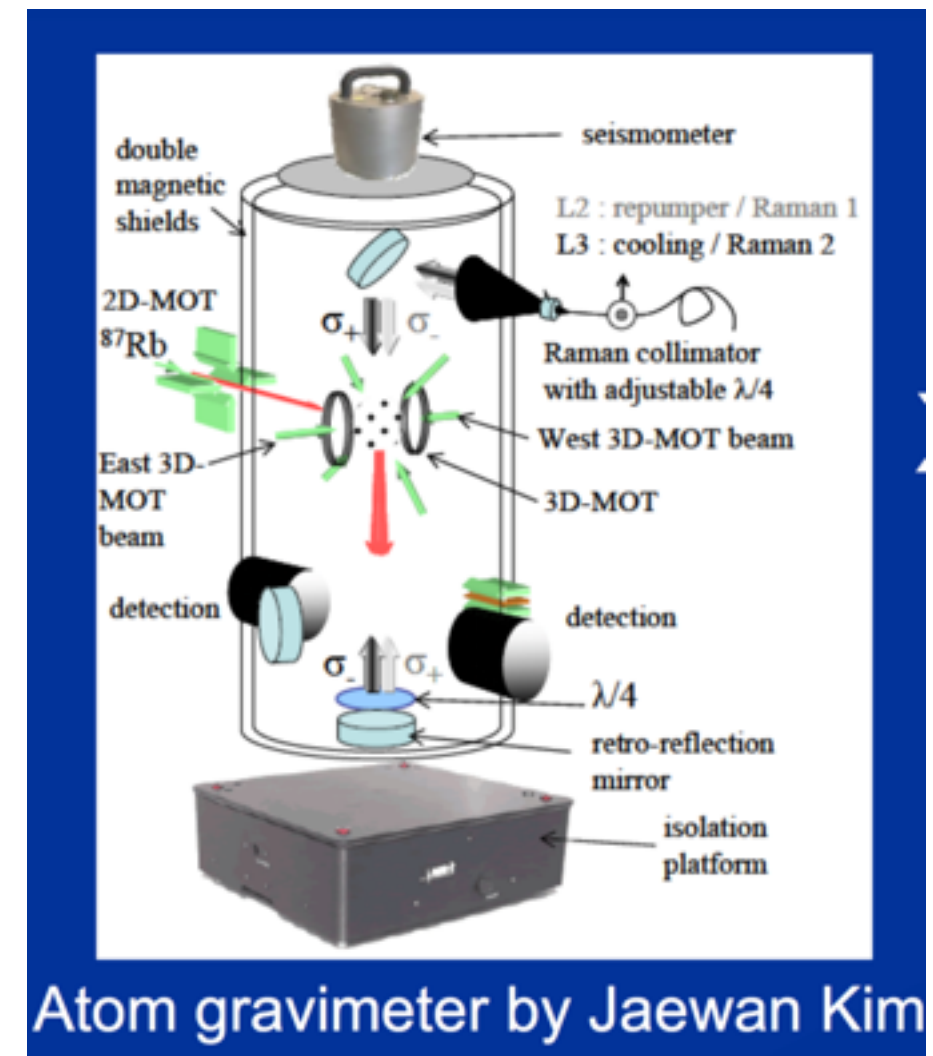
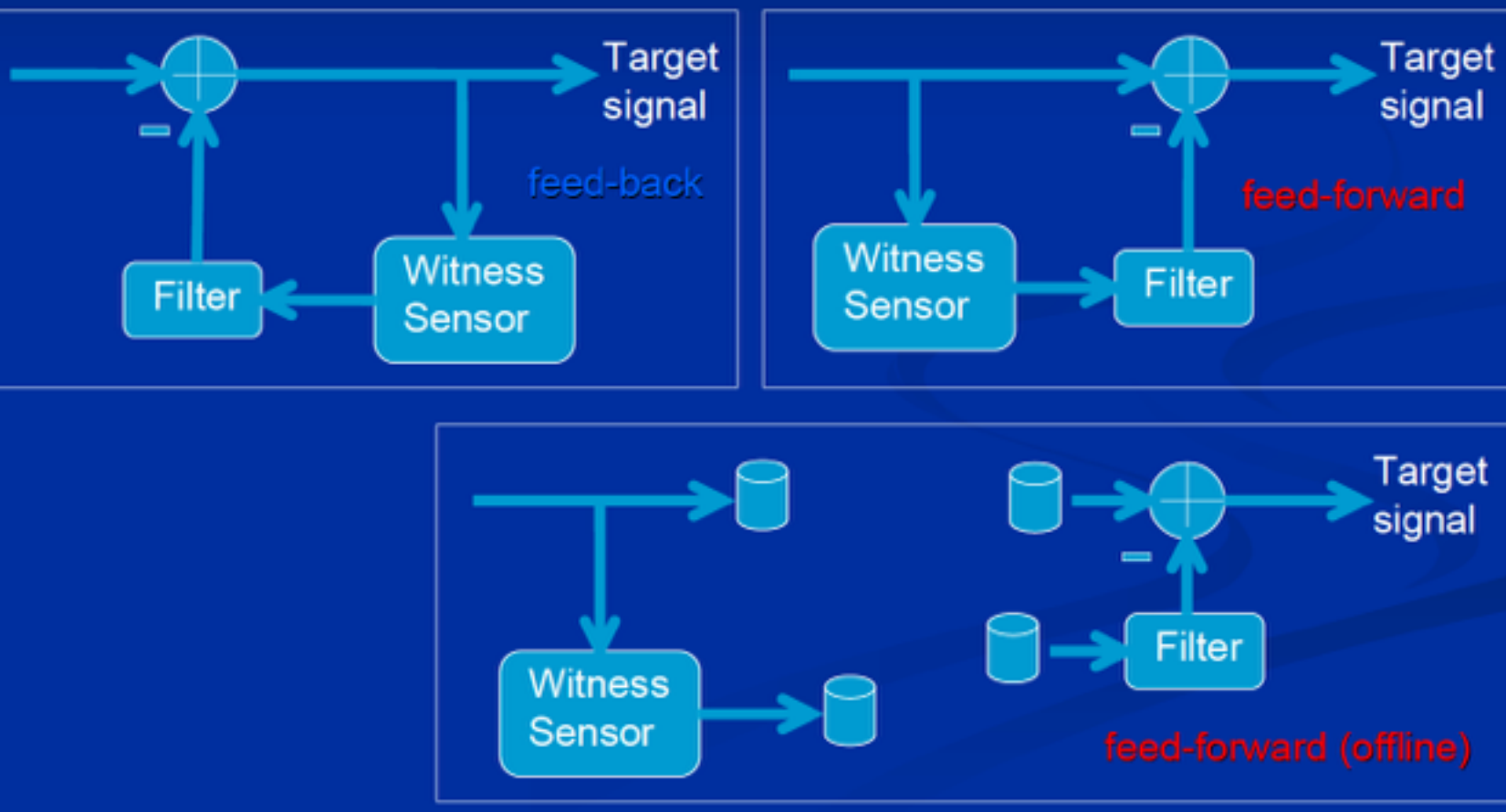
Reported by R.Takahasi-san

<https://gwdoc.icrr.u-tokyo.ac.jp/DocDB/0010/G1201050/001/K-J%20workshop%20120528.pdf>

Feed-forward control

Comparison with feed-back control

- Witness sensor is effected by the **feed-back** control.
- Witness sensor is NOT effected by the **feed-forward** control.



KAGRA Newtonian noise

- Newtonian noise from Ikenoyama mountain
 - I remembered some discussion about mountain pulsation(脈動) when I became KAGRA collaborator(~2013), but no report...
- Newtonian noise from water fluid (Main topic today)
 - Measurement
 - Theoretical calculation, model investigation
 - Simulation
- NN measurement by seismometer/microphone
 - From density fluctuation inside medium
 - Sound reverberation time measurement
 - Surface displacement
 - Preliminary result was obtained from Virgo group
 - Atmospheric NN
 - Temperature NN
 - Infrasound NN
- NN measurement by Gravity Gradiometer
 - Superconducting gravimeter(超電導重力計) at Misawa Naoj
 - TOBA