日本物理学会2017年秋季大会(宇都宮大学)　2017年9月13日

重力波望遠鏡KAGRAの干渉計高度化

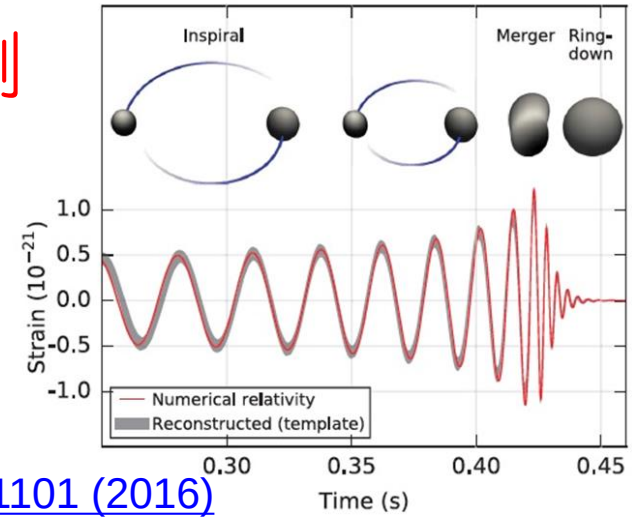
道村唯太
東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻

小森健太郎、榎本雄太郎、宗宮健太郎

重力波天文学の豊富なサイエンス

- 重たい恒星質量ブラックホールの起源
- 中間質量ブラックホールの存在
- 中性子星連星、中性子星ブラックホール連星合体
  中性子星の状態方程式
  ガンマ線バーストとの関係、重元素合成
- 超新星爆発、パルサー、中間質量比連星合体(IMRI)
- 重力波による宇宙膨張の直接観測
- 一般相対性理論の検証
  ブラックホール準固有振動
  重力波の分散、偏極

などなど……

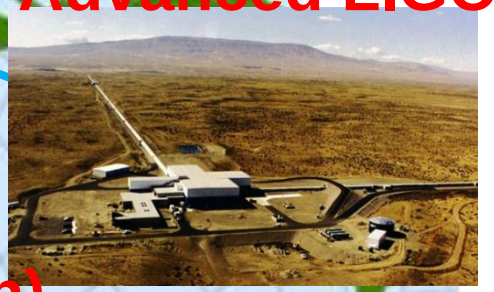


PRL 116, 221101 (2016)

→ 複数台での高分解能で高精度な観測が必要

重力波の国際観測ネットワーク

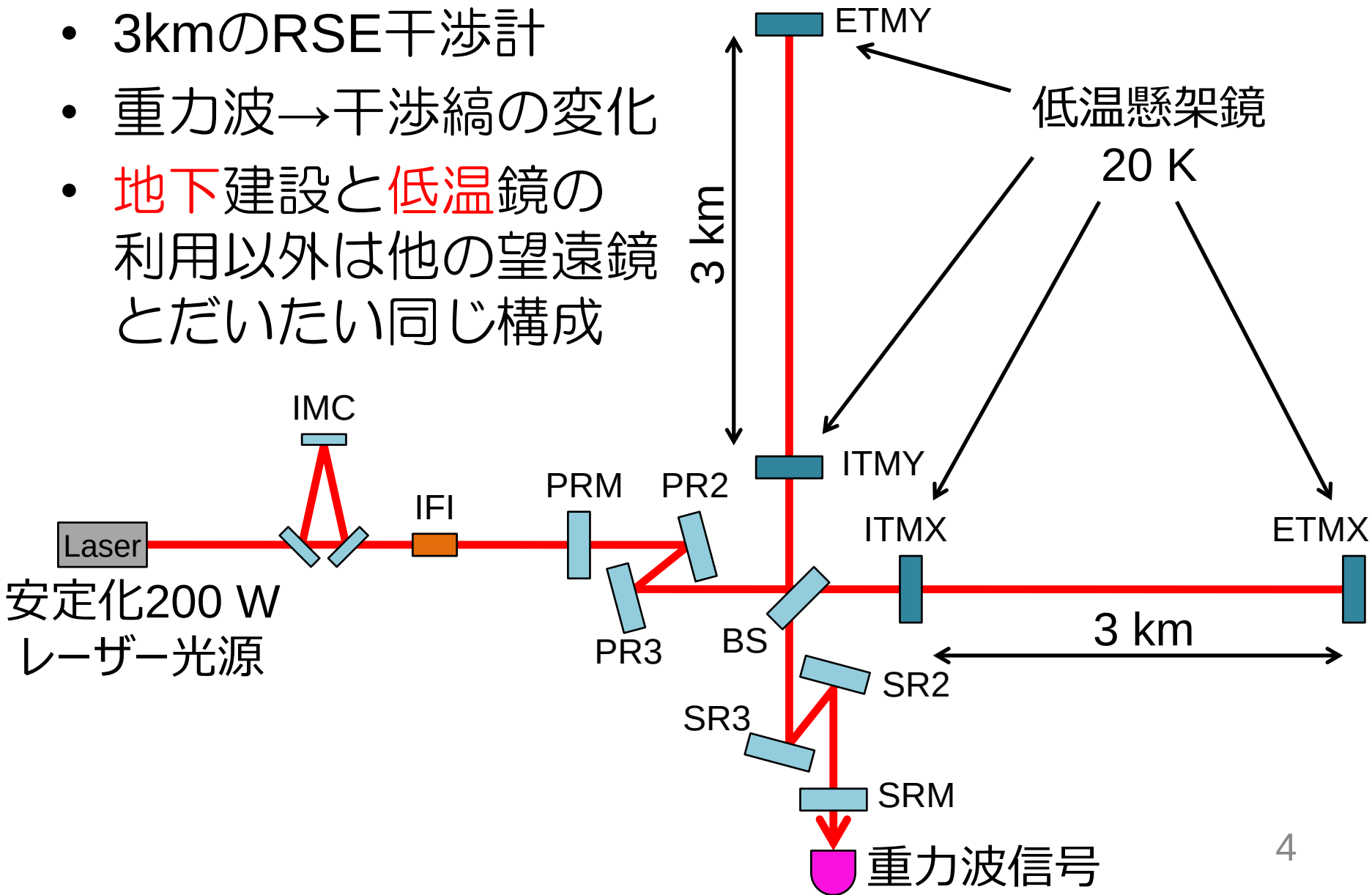
- アメリカ、イタリア、日本に基線長3-4 kmの干渉計



LIGO-India (approved)

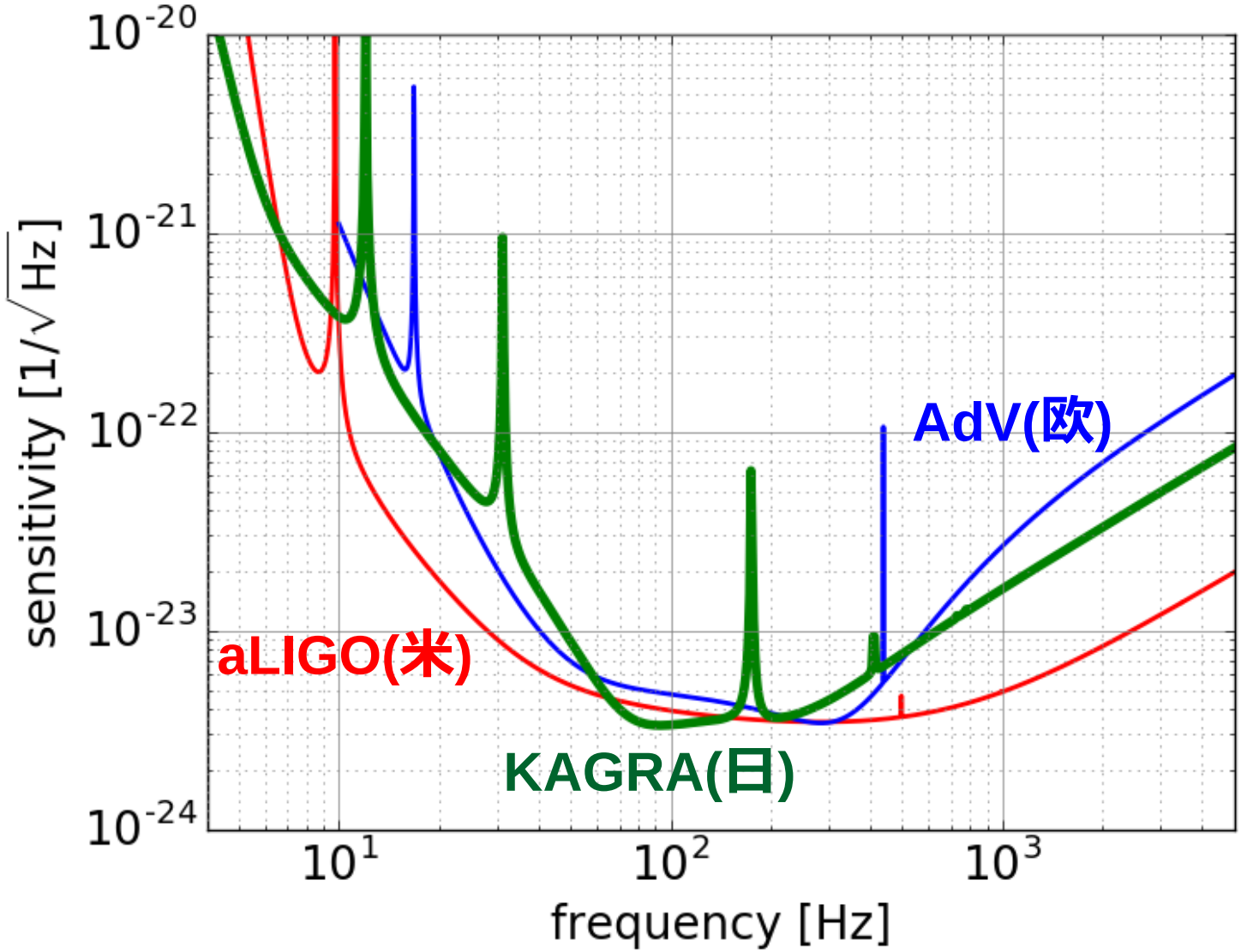
KAGRAの干渉計構成

- 3kmのRSE干渉計
- 重力波→干渉縞の変化
- 地下建設と低温鏡の利用以外は他の望遠鏡とだいたい同じ構成



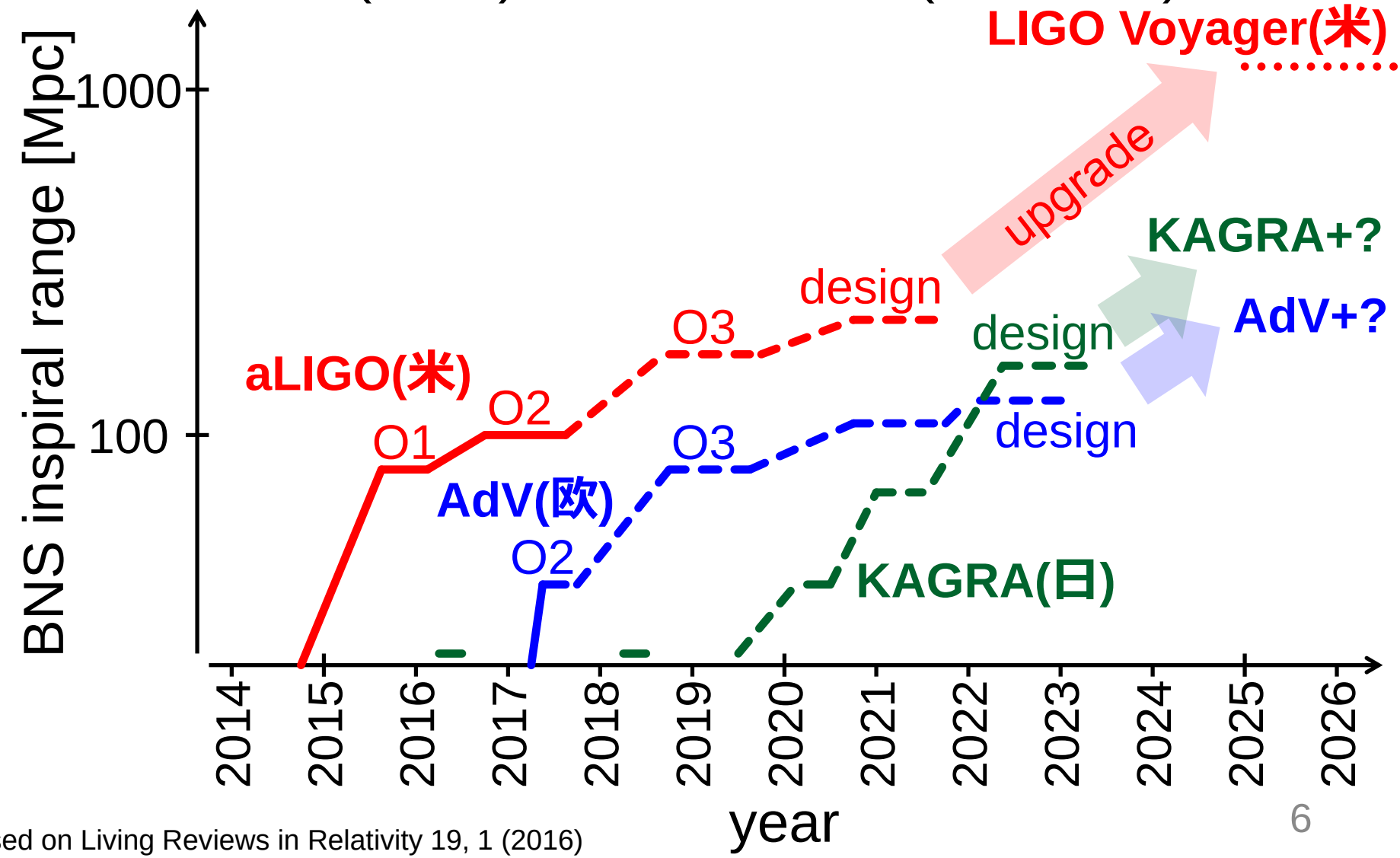
世界の重力波望遠鏡の設計感度

- 中性子星連星の観測可能距離で150-200 Mpc程度



感度の進展予想

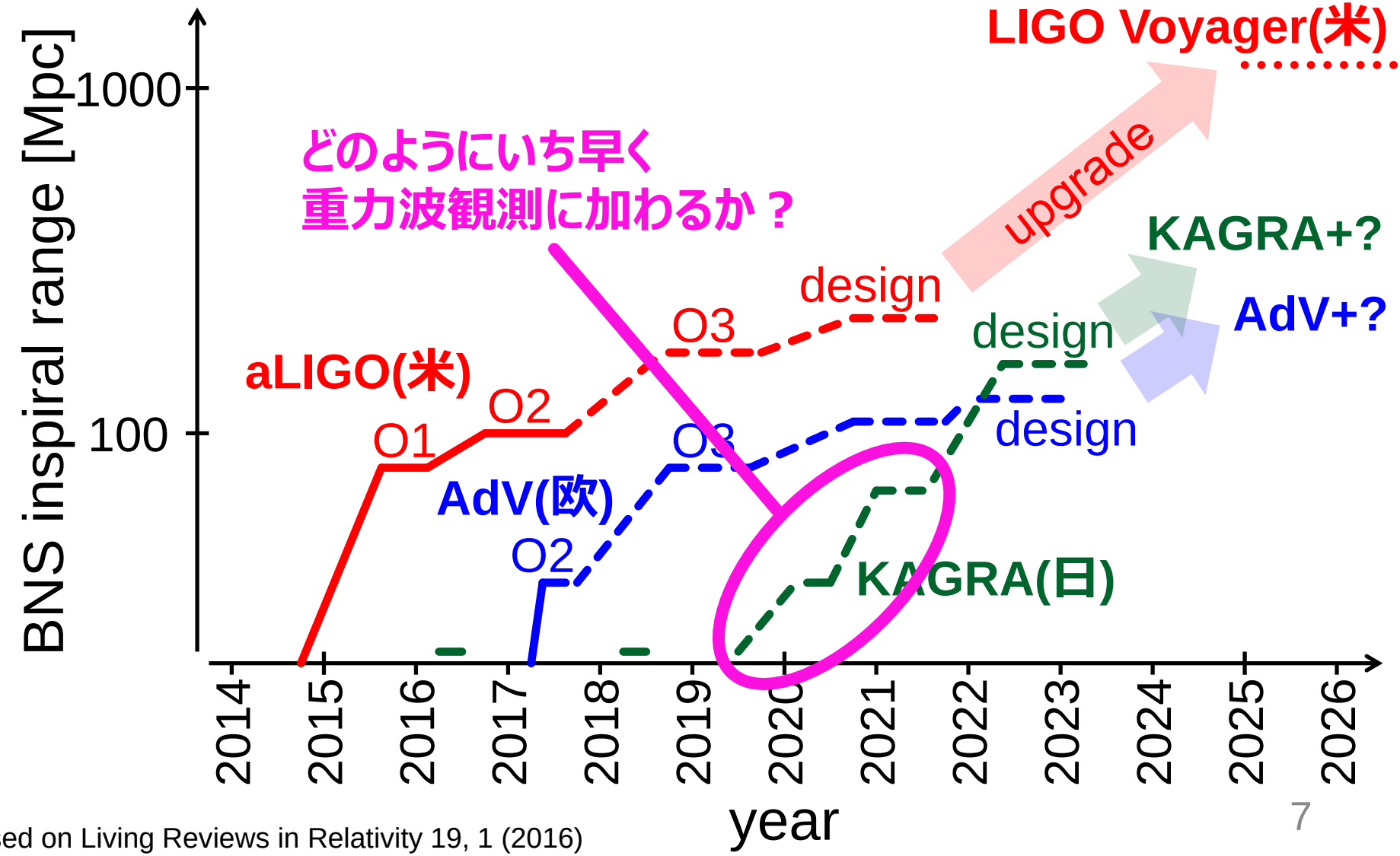
- LRR 19, 1 (2016)に書かれている(楽観的な)予想



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

感度の進展予想

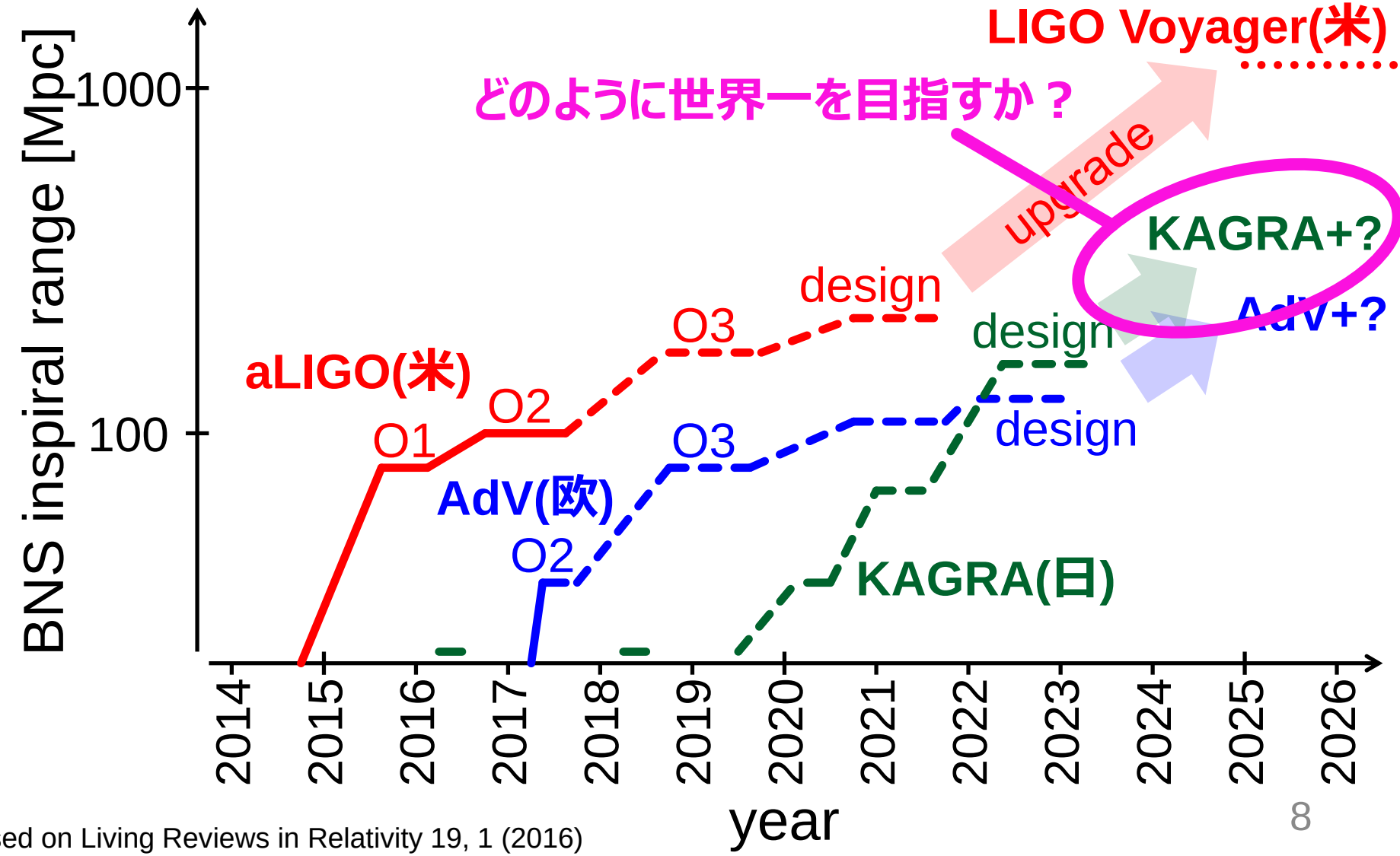
- KAGRAはどのように感度を上げていくか？



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

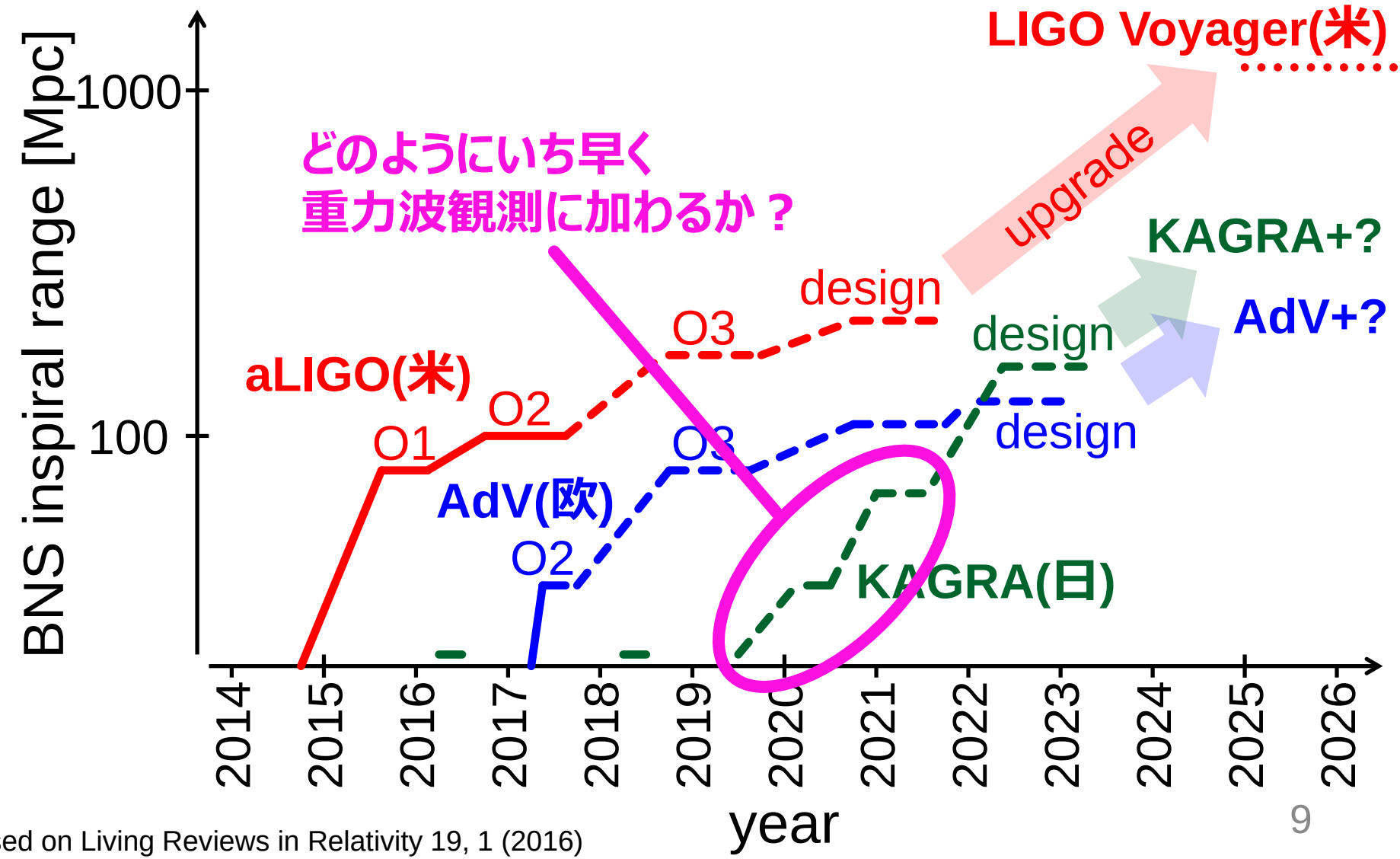
感度の進展予想

- KAGRAはどのように感度を上げていくか？



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

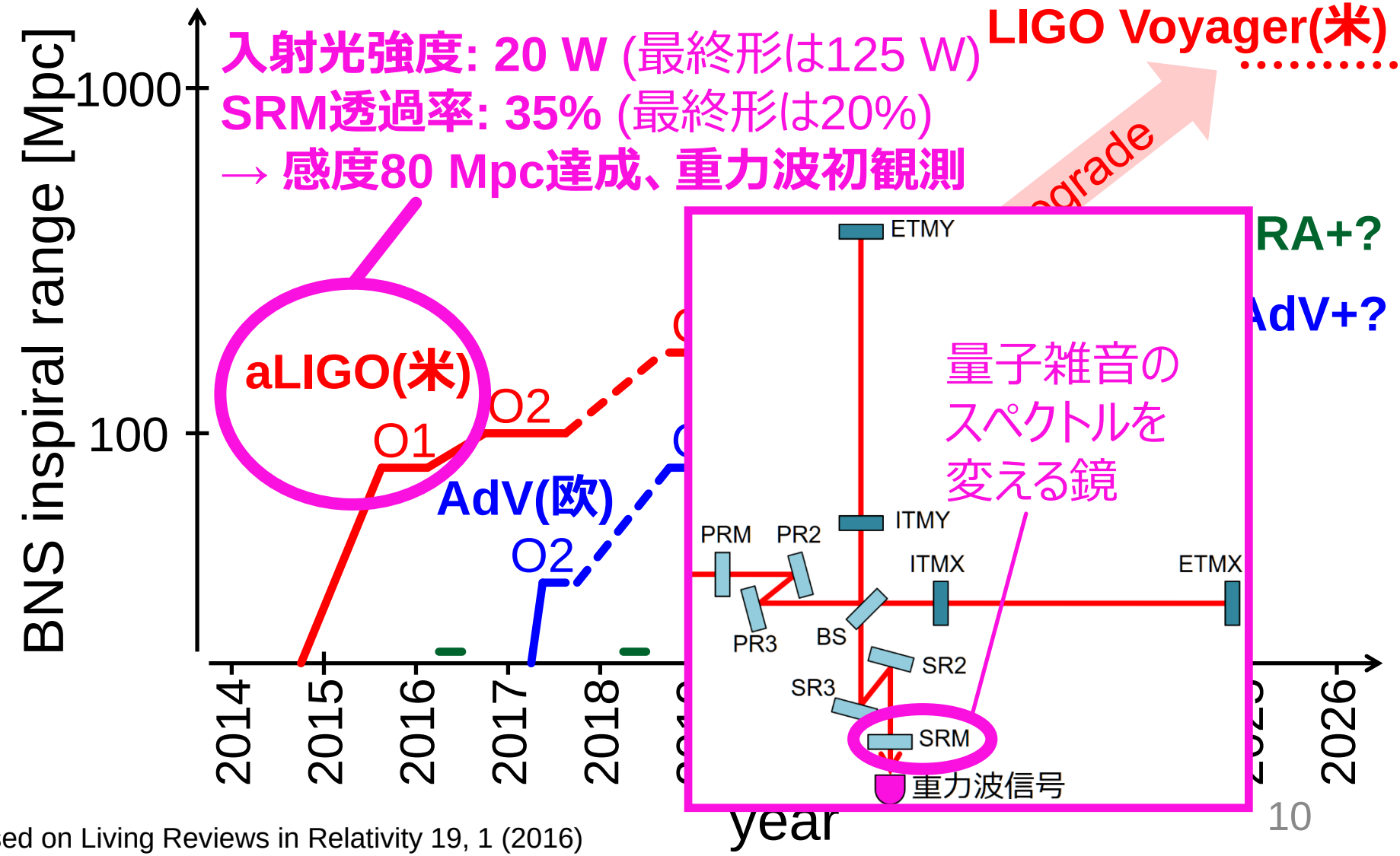
1つ目の話



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

他の望遠鏡に学ぶ

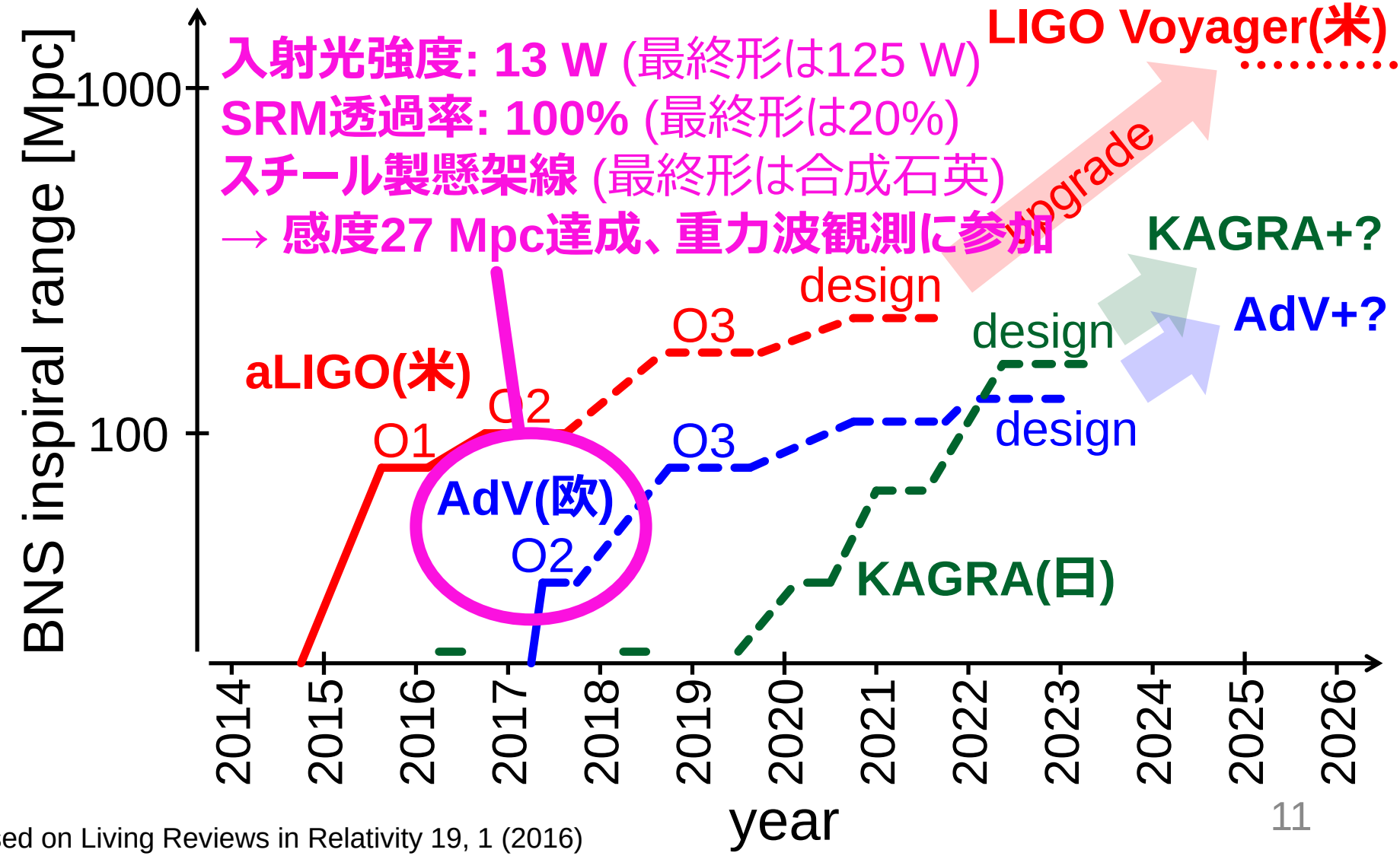
- 最終形でなくとも重力波観測は可能



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

他の望遠鏡に学ぶ

- 最終形でなくとも重力波観測は可能



Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

重力波観測の条件

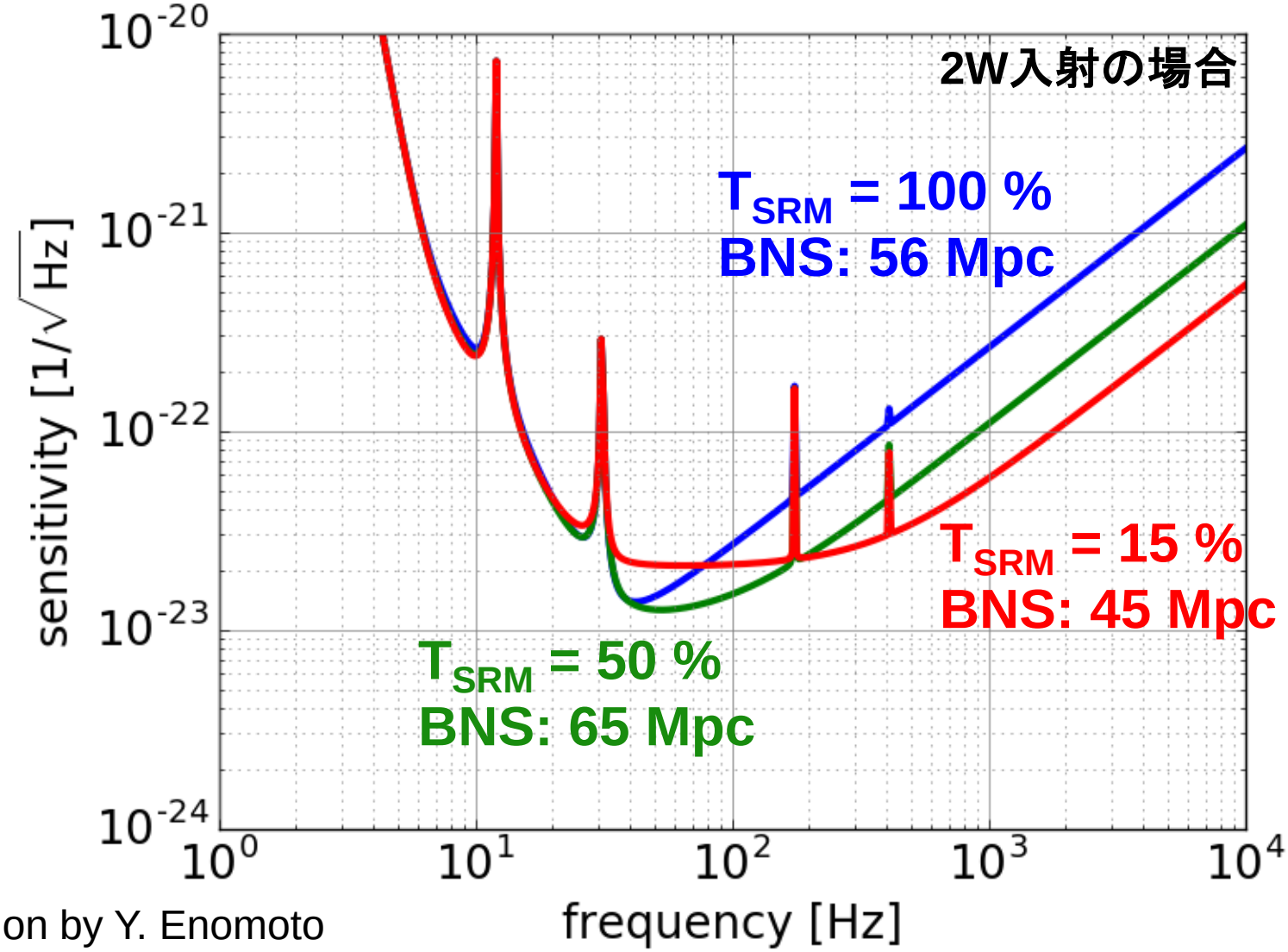
- 重力波の初観測
  連星中性子星レンジで30-50 Mpc程度？
- 重力波観測ネットワークへの参加
  その時一番良い望遠鏡の1/4程度の感度で
  パラメータ推定に貢献できる

- KAGRAでもこれらの条件をいち早く満たすべき
- 最終形実現が重力波観測に最も近いとは限らない
  - 高い入射光強度は技術的に難しい
  - 共振器の離調、量子非破壊計測(QND)も困難

→ 初期の段階では低い入射光強度での最適化
離調なし、QNDなしで考える

入射光強度とSRM透過率

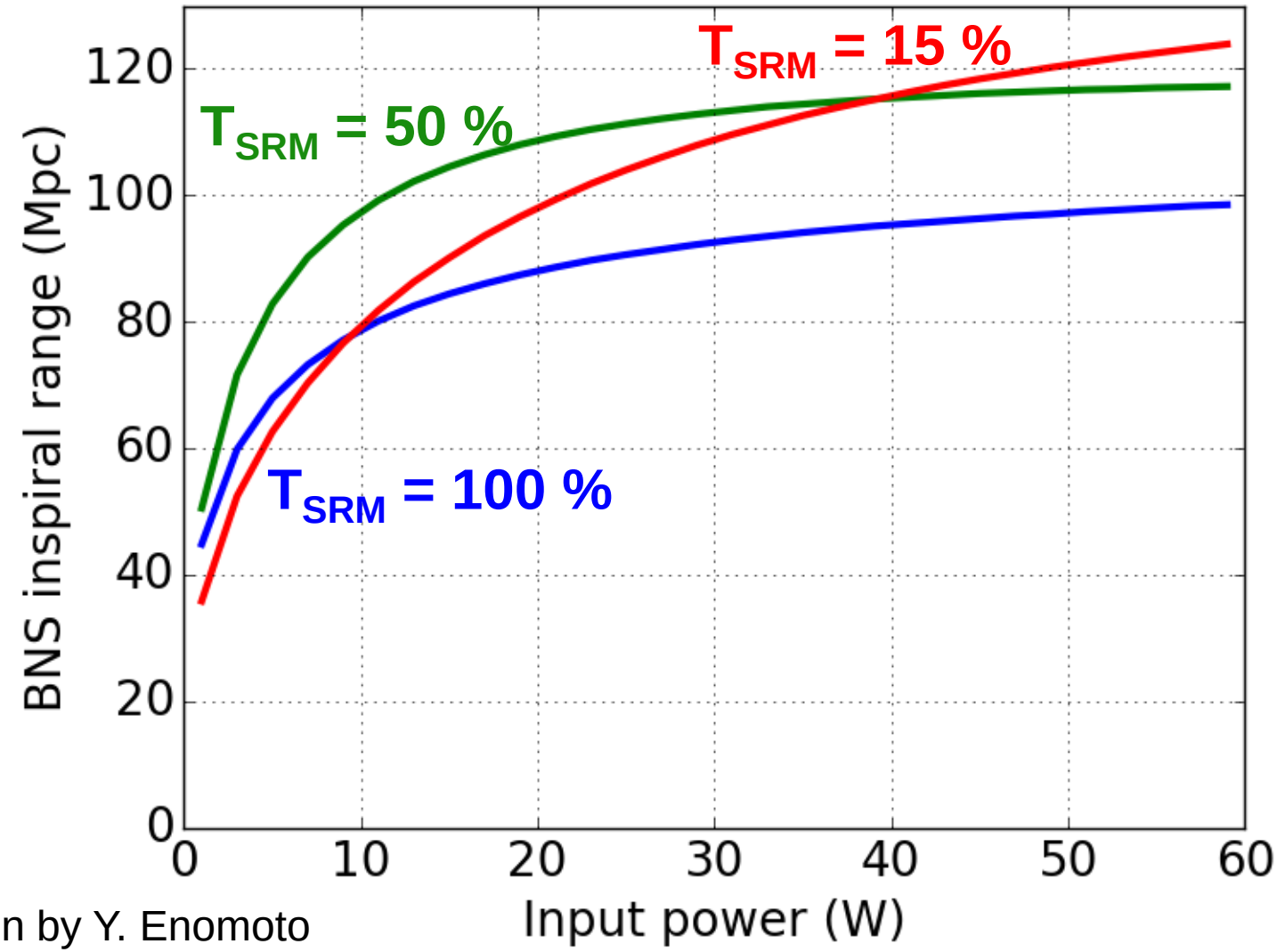
- 低い入射光強度ではSRM透過率は高い方がよい



Calculation by Y. Enomoto

入射光強度とSRM透過率

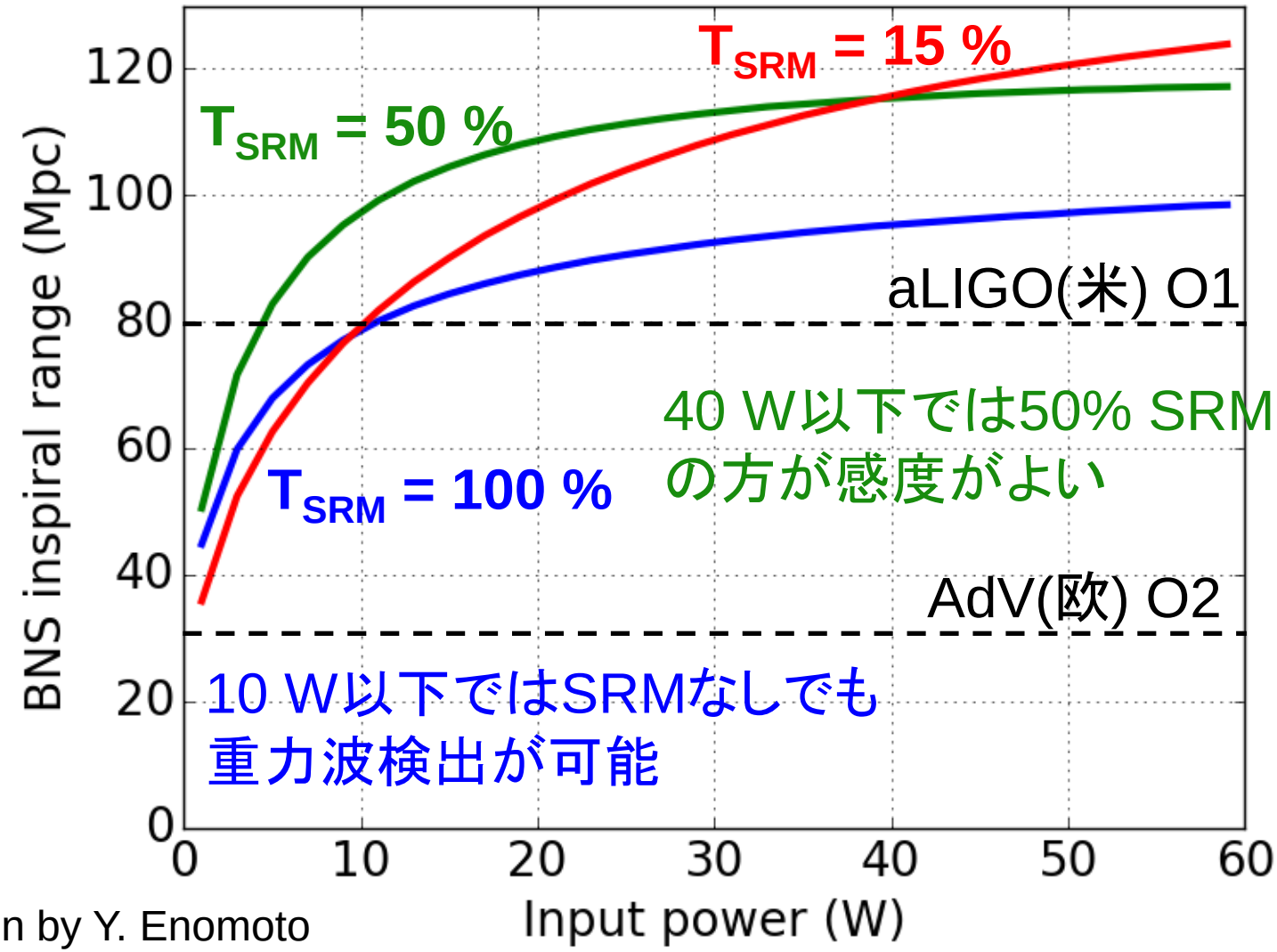
- 初期段階は透過率の高いSRMを使うのはどうか？



Calculation by Y. Enomoto

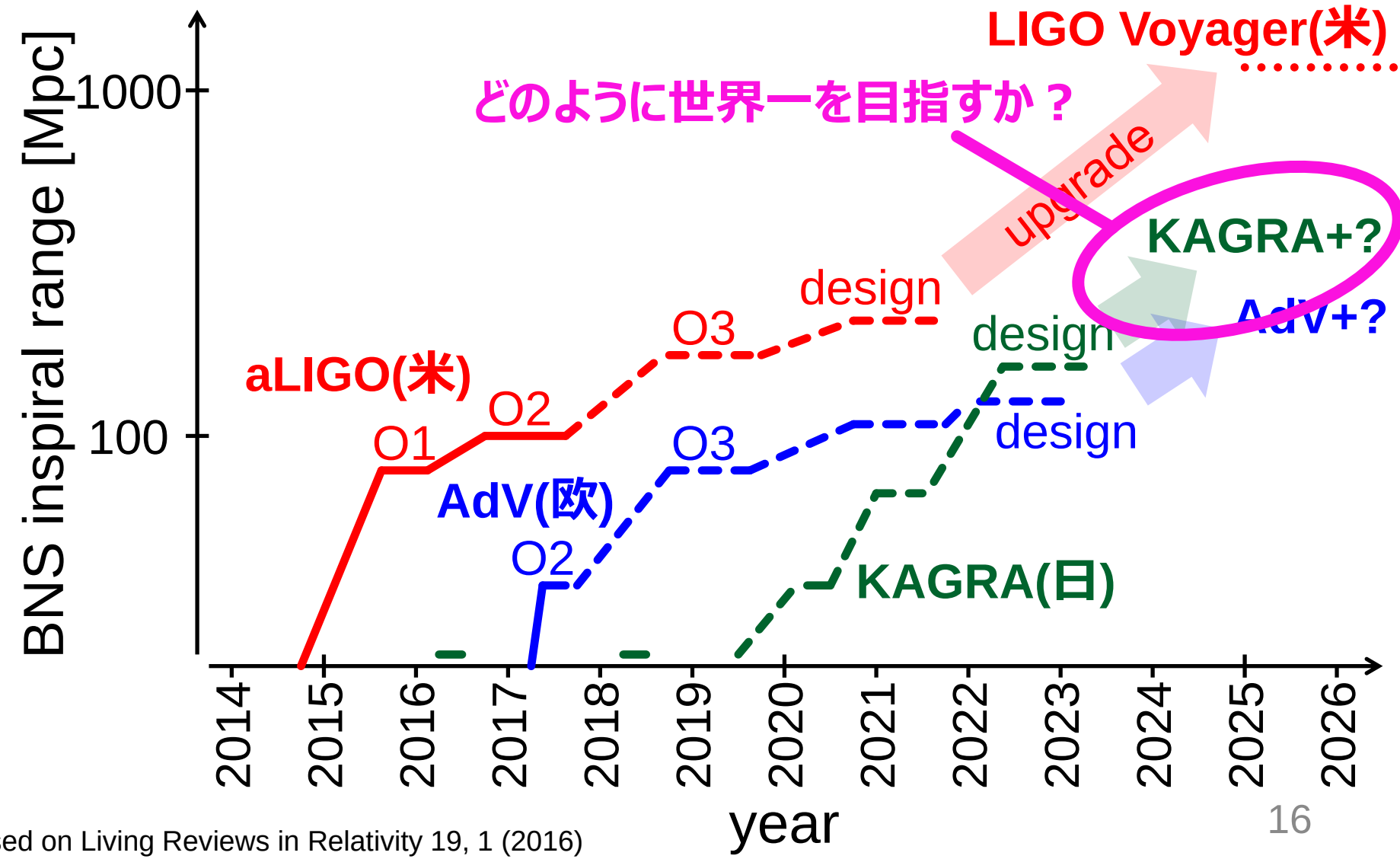
入射光強度とSRM透過率

- 初期段階は透過率の高いSRMを使うのはどうか？



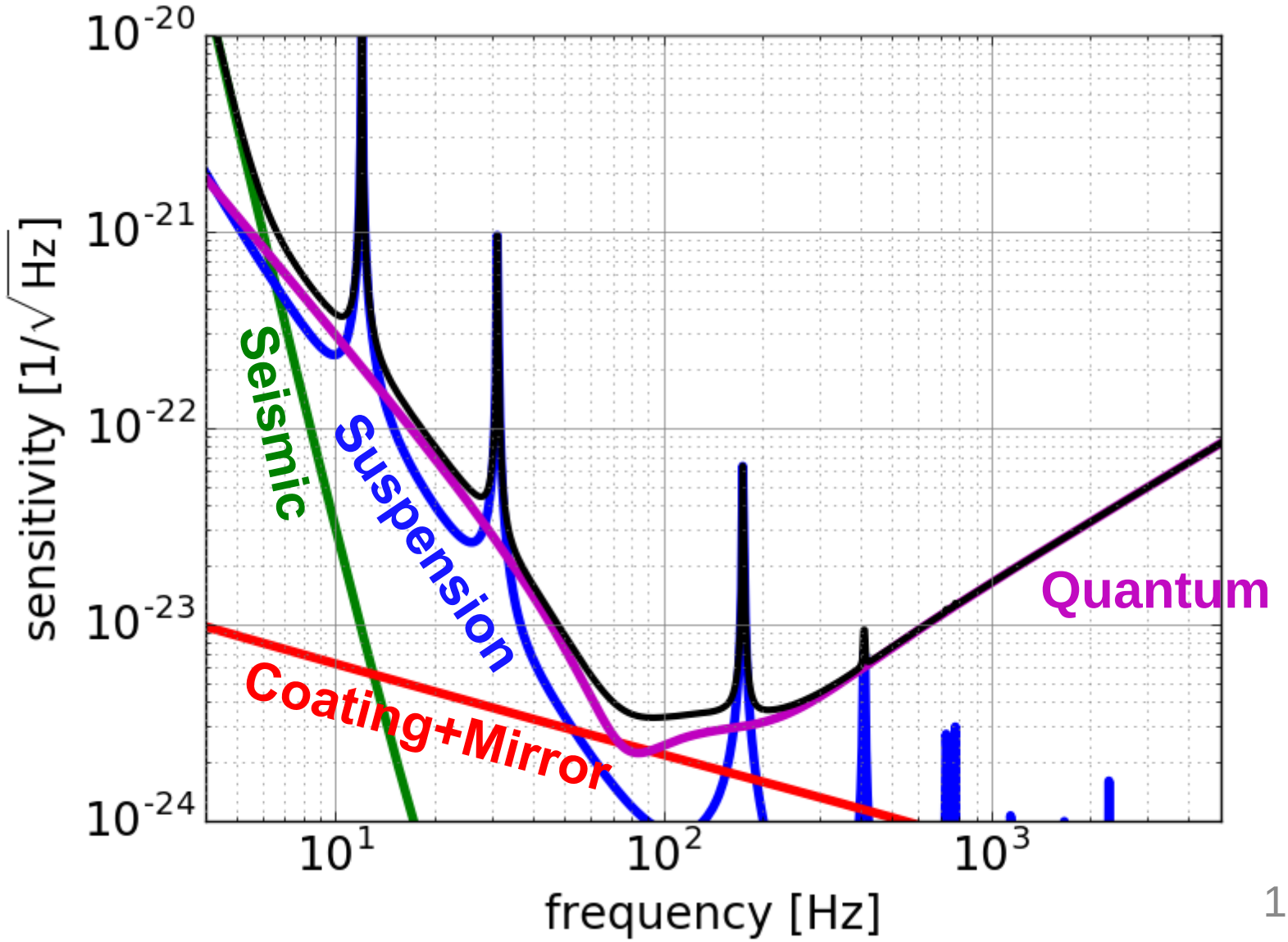
Calculation by Y. Enomoto

2つ目の話

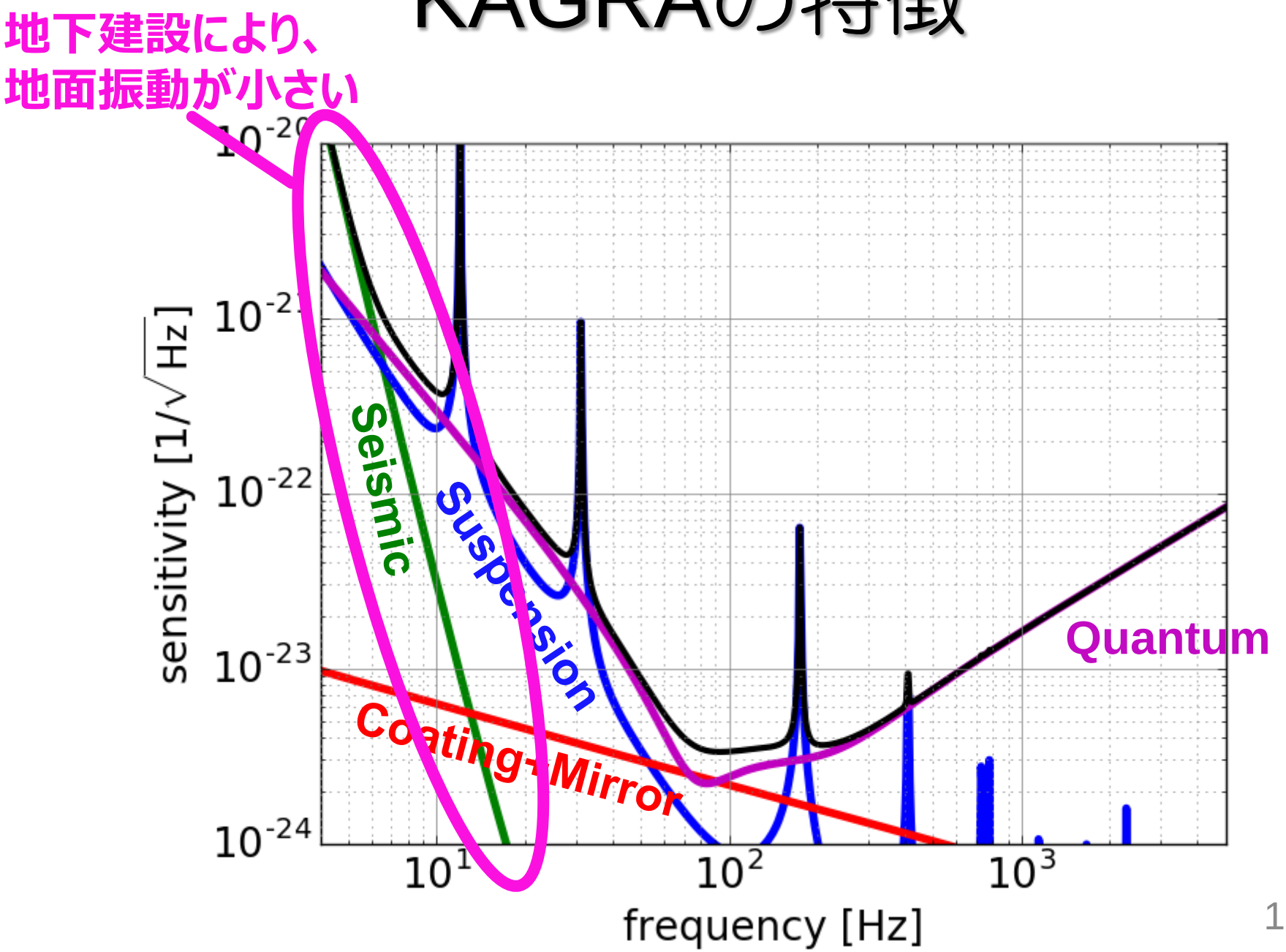


Based on Living Reviews in Relativity 19, 1 (2016)

KAGRAの特徴

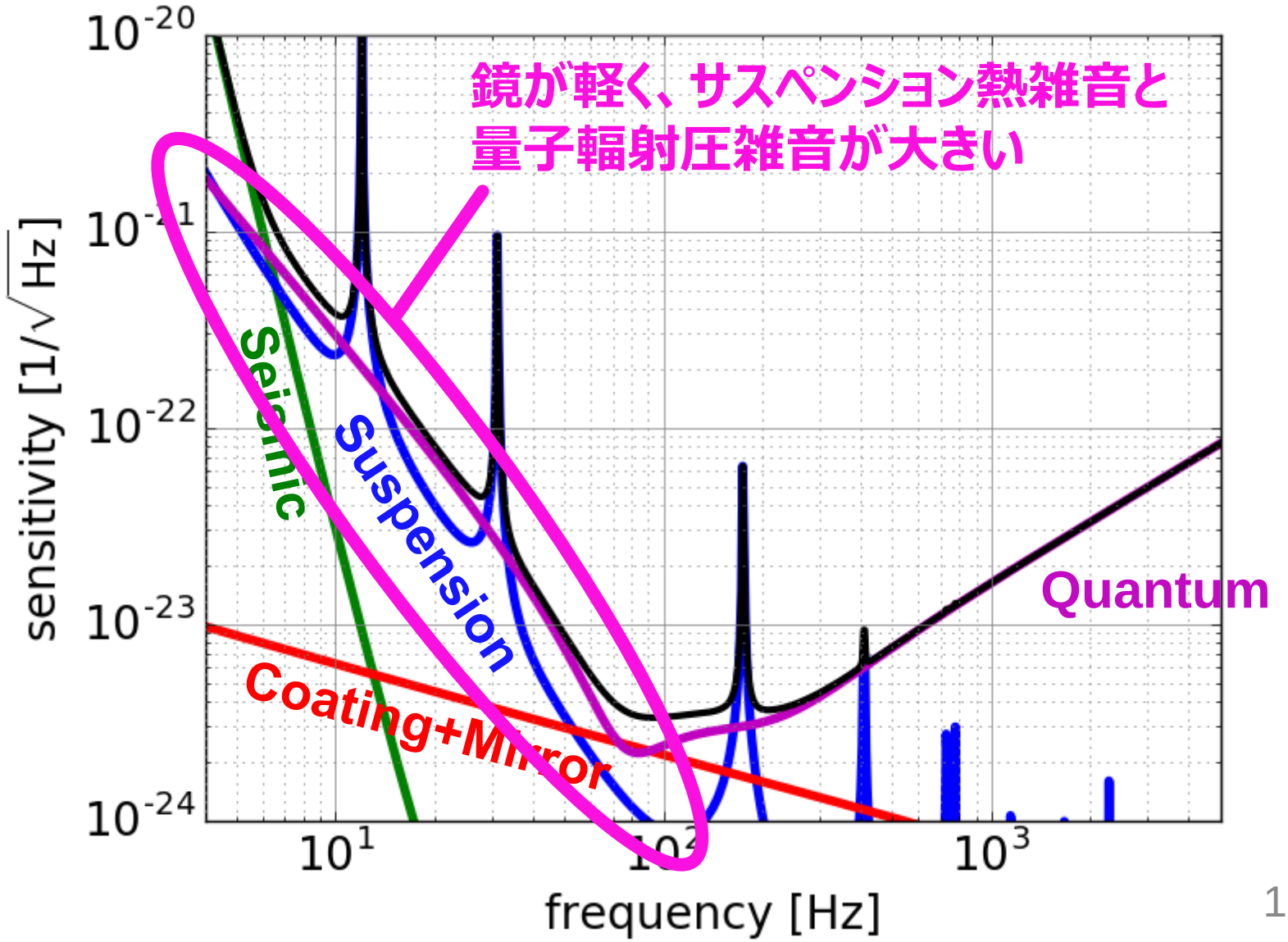

10^{-20}
10^{-21}
10^{-22}
10^{-23}
10^{-24}
sensitivity [$1/\sqrt{\text{Hz}}$]
10^{1}
10^{2}
10^{3}
frequency [Hz]
Seismic
Suspension
Quantum
Coating+Mirror

KAGRAの特徴


地下建設により、
地面振動が小さい
sensitivity [1/√Hz]
frequency [Hz]
Seismic
Suspension
Coating+Mirror
Quantum

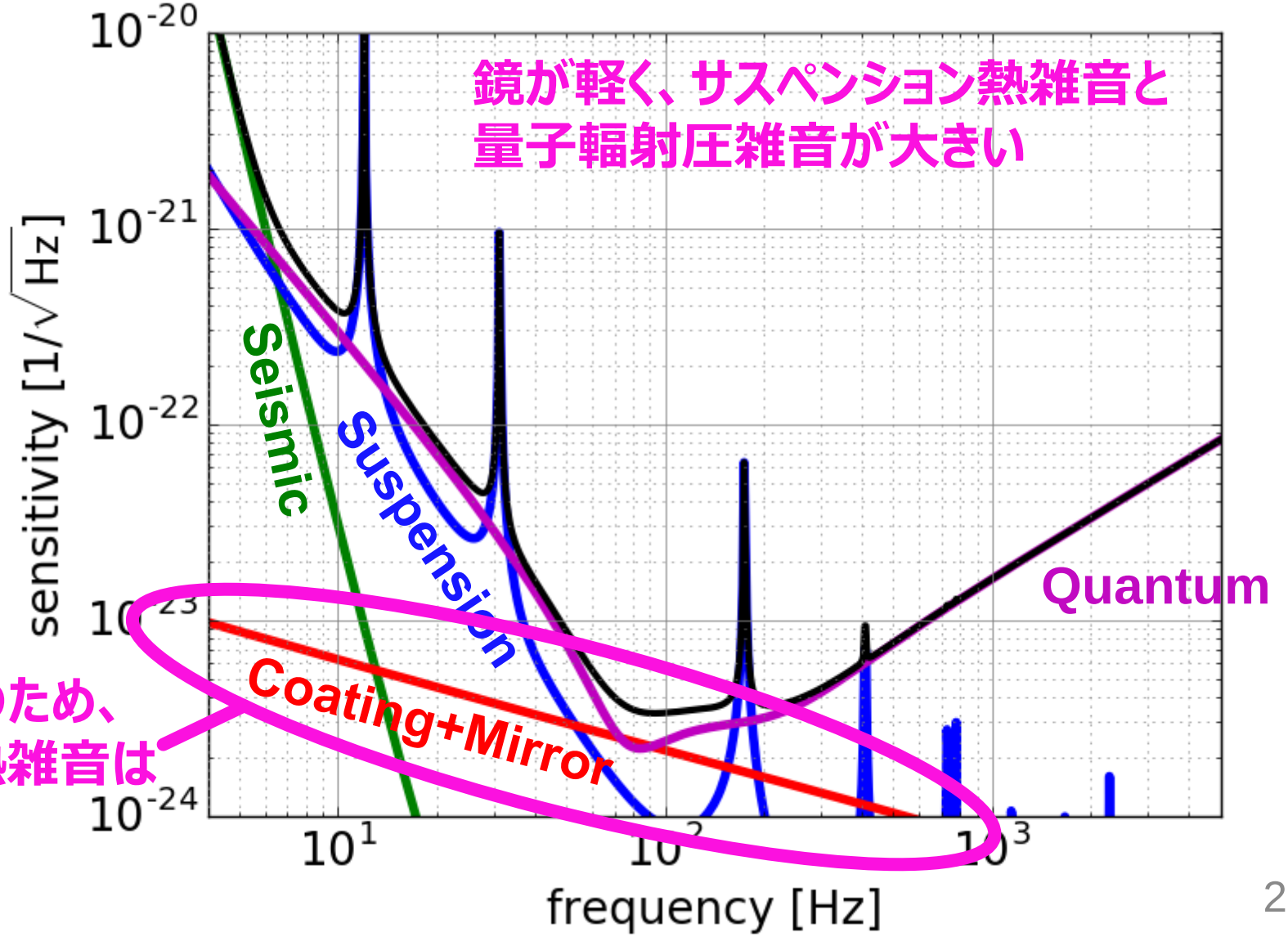
KAGRAの特徴

地下建設により、
地面振動が小さい



KAGRAの特徴

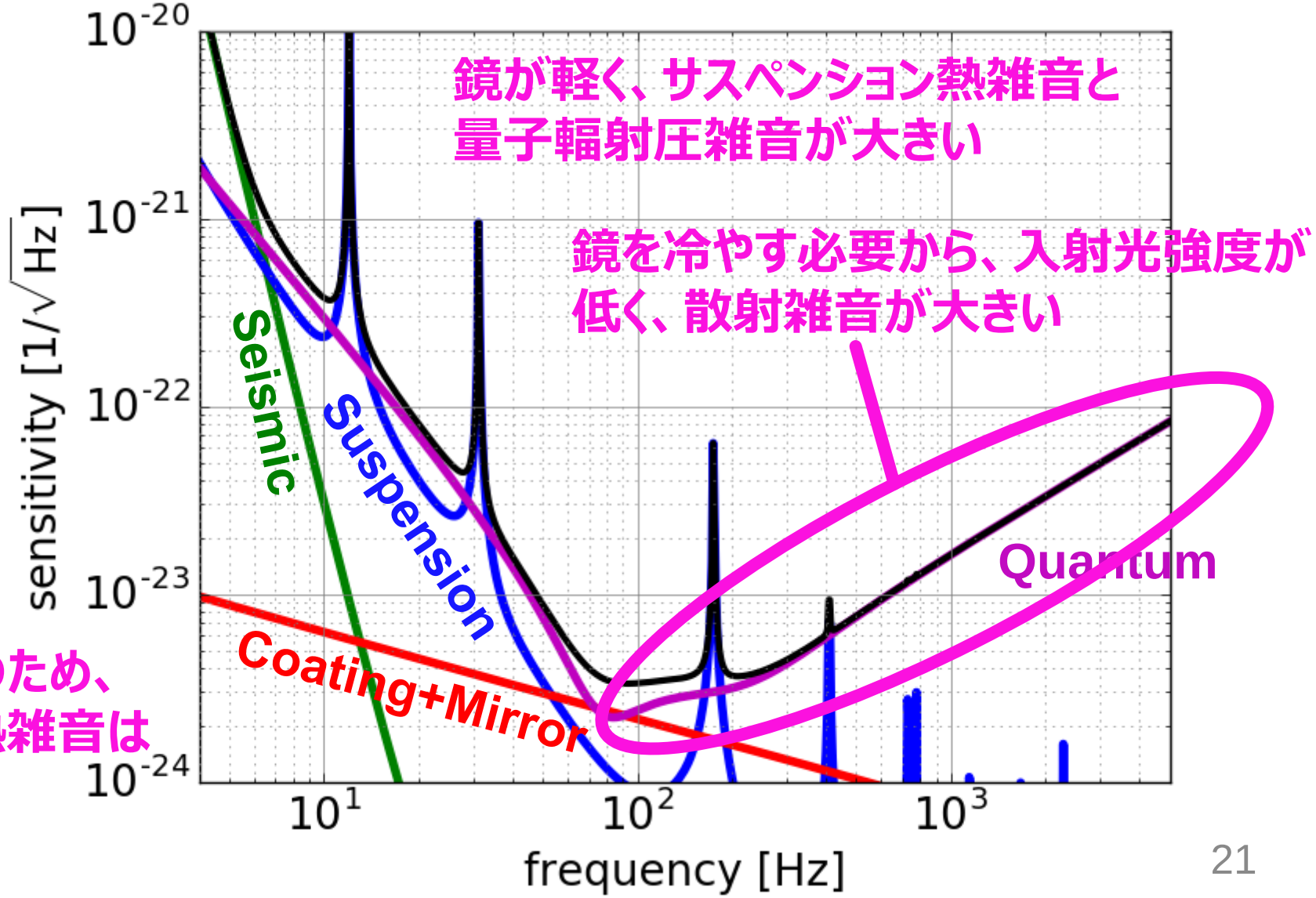
地下建設により、
地面振動が小さい



低温のため、
鏡の熱雑音は
小さい

KAGRAの特徴

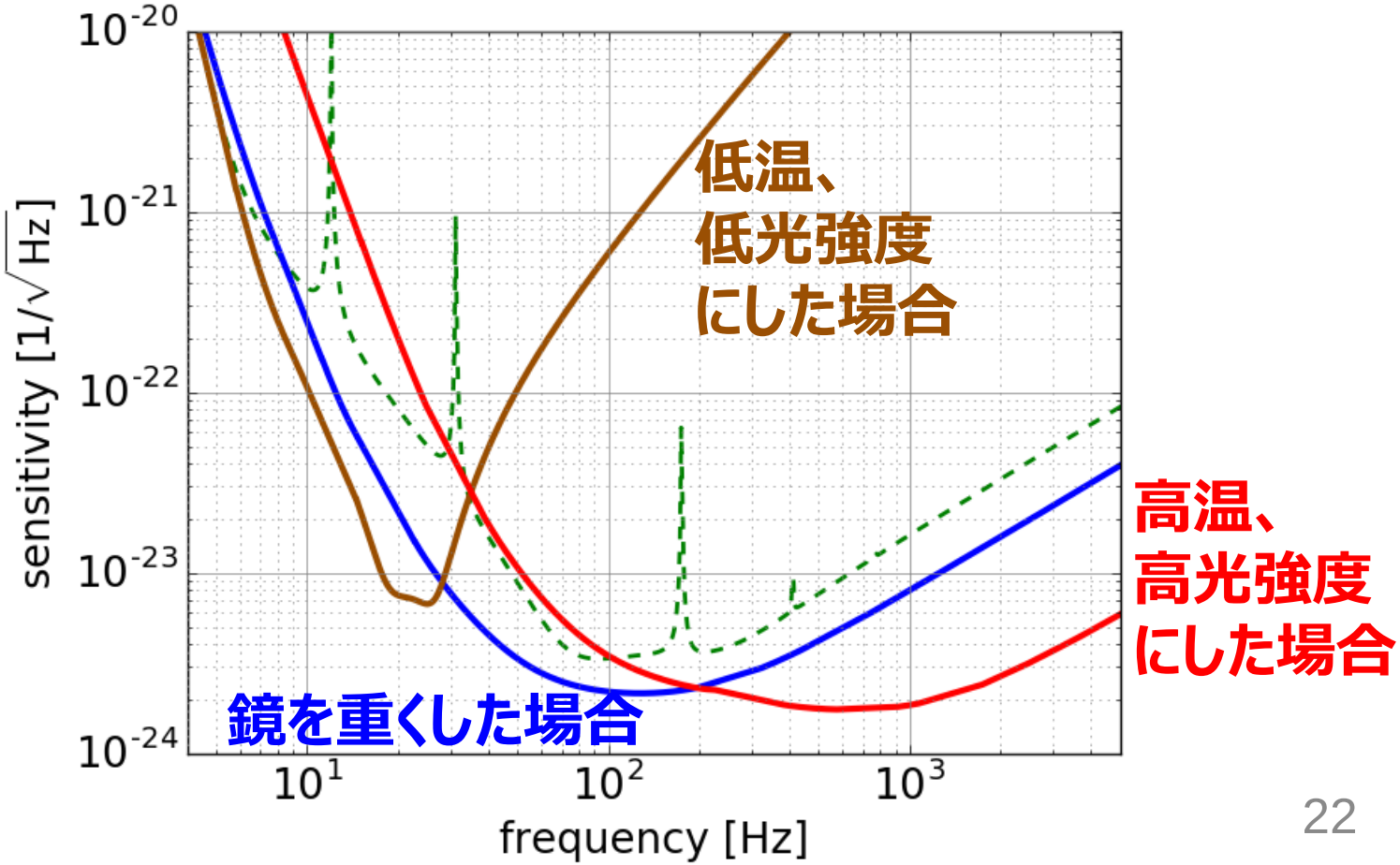
地下建設により、
地面振動が小さい



低温のため、
鏡の熱雑音は
小さい

KAGRAの改良: KAGRA+

- 低温・地下建設により、他の望遠鏡より低コストでアップグレード可能なはず
- 2020年代中盤に独自のサイエンス



Calculation by
K. Komori,
Y. Enomoto,
K. Nagano,
Y. Michimura

サイエンス例

- 低周波特化
  中間質量BHの初検出
  500M$_\odot$ が ~0.5 event/year (hierarchical growth model)
- 広帯域で感度向上
  BH連星の波源特定
  ホスト銀河を1つに特定できる可能性あり
  → 宇宙膨張の直接観測など
- 高周波特化
  パルサーの楕円率
  中性子星の状態方程式 (δR~0.5 kmの精度)

- 技術的実現性と共に検討する必要がある

inputs from H. Nakano, H. Shinkai, T. Kinugawa, A. Nishizawa, M. Shibata

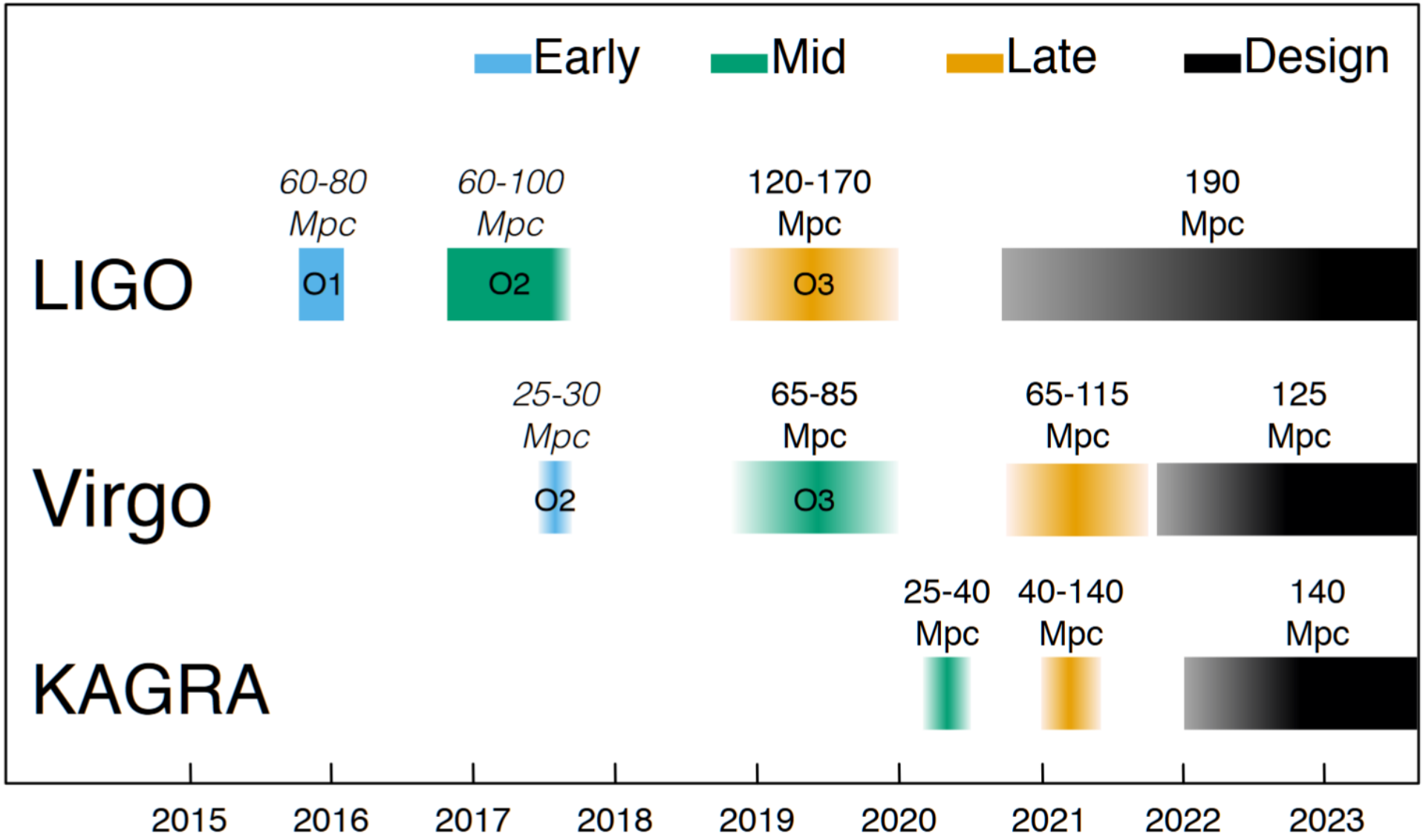
まとめ

- KAGRAにとって
  一刻も早い重力波観測
  アップグレードにより世界一を目指すこと
  は重要

- KAGRA初期段階では透過率の高いSRMを使うことで感度の早期向上、重力波観測の早期実現が可能

- 低コストなアップグレードで2020年代中盤に独自のサイエンスを得るためにアップグレード案を議論中

Observing Scenario



JGW-P1706086

サイエンス例

	KAGRA	低周波	大質量	高周波
BH準固有振動による一般相対性理論検証	×	×	△	○
階層的合体からの中間質量BH	△	△	○	△
POP III起源の恒星質量BH連星	×	×	×	×
BH連星の波源特定	△	×	○	○
パルサーの楕円率	×	×	△	○
NSの状態方程式	×	×	△	○

inputs from H. Nakano, H. Shinkai, T. Kinugawa, A. Nishizawa, M. Shibata