



Hyper-Kamiokande



UPPSALA
UNIVERSITET

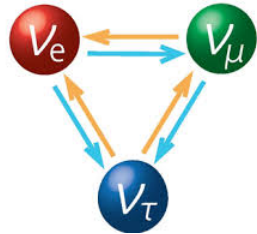
The Hyper-Kamiokande Experiment

Erin O'Sullivan
Uppsala University

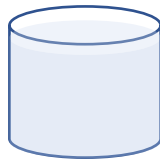
The Kamiokandes



Kamiokande
3 kton
(1983-1996)

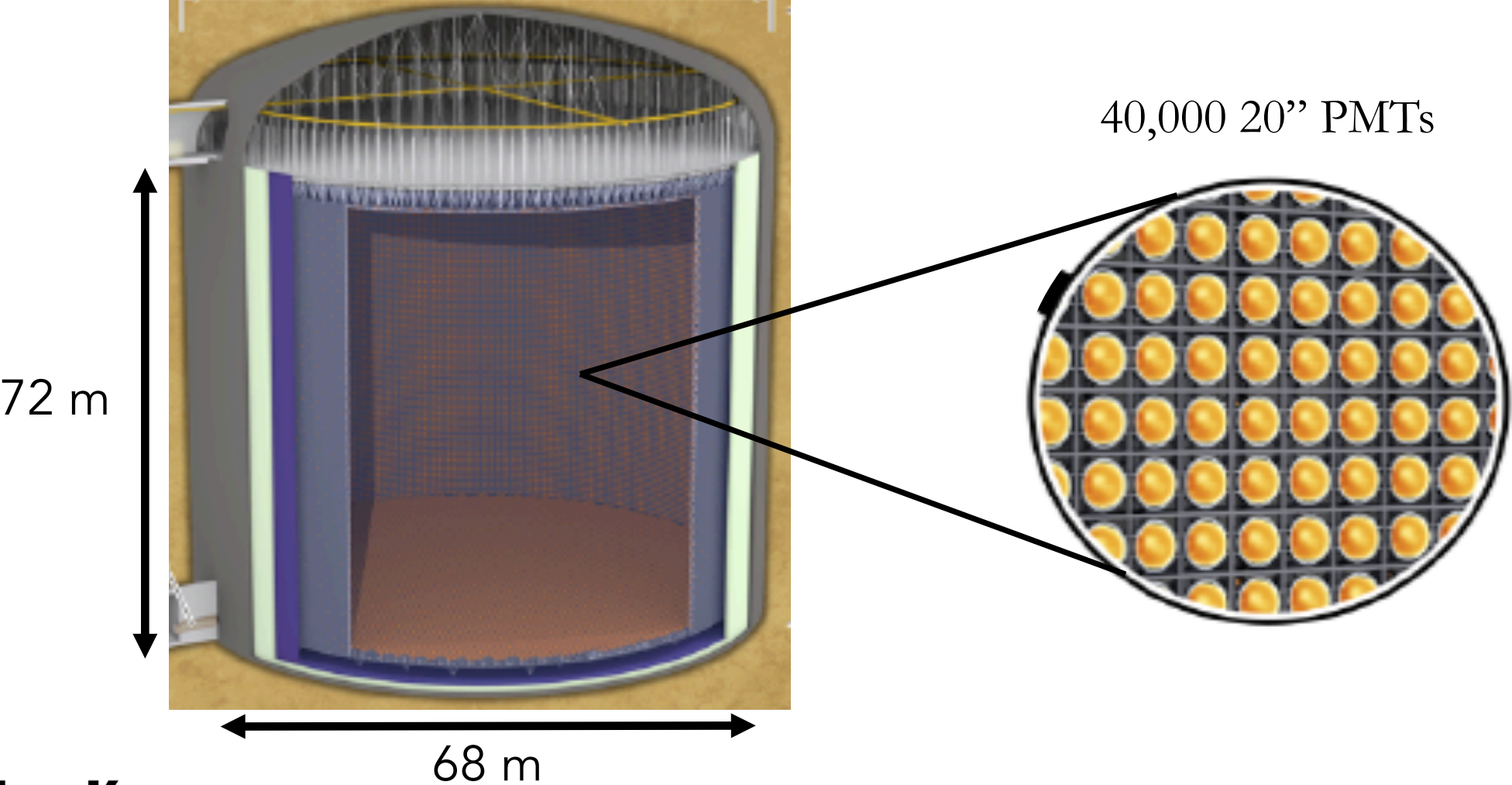


Super-Kamiokande
50 kton
(1996-)

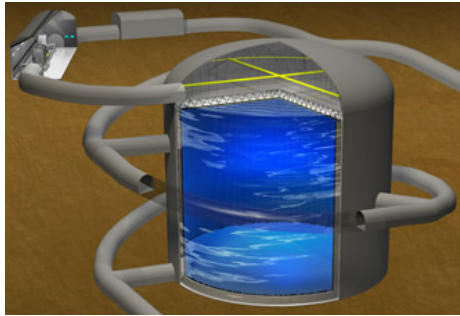


Hyper-Kamiokande
260 kton
(2027-)

The Hyper-Kamiokande detector



Hyper-Kamiokande Overview



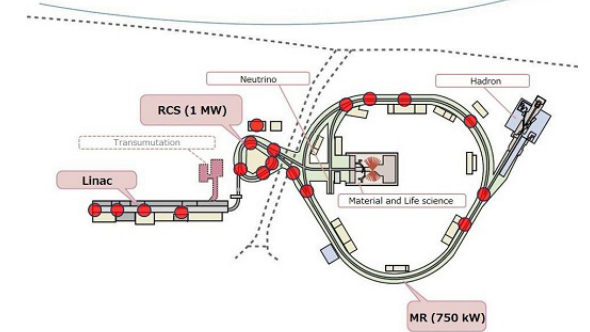
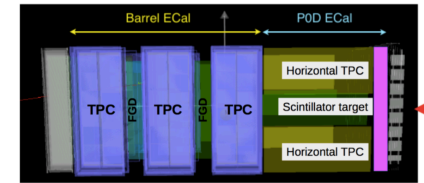
Hyper-K detector (Kamioka)

←
295 km



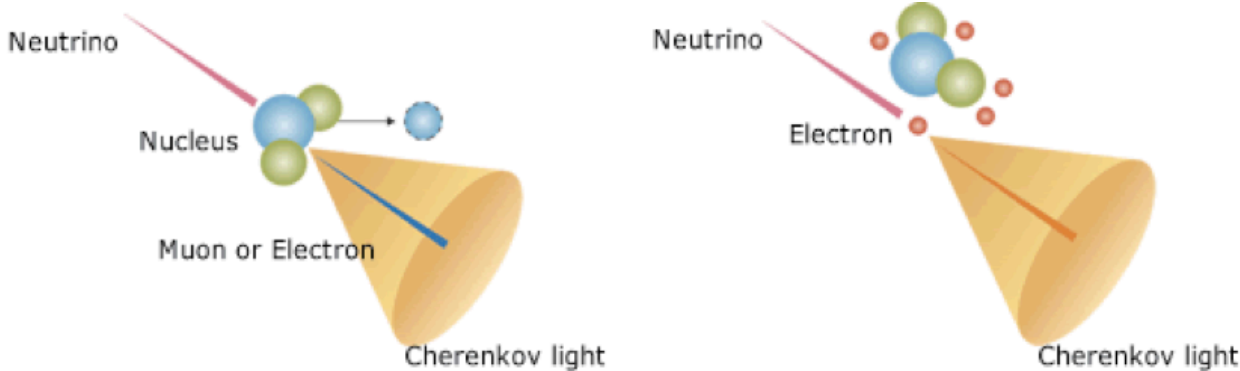
Intermediate
water Cherenkov detector

Near detector (Tokai)



J-PARC neutrino Beam (Tokai)

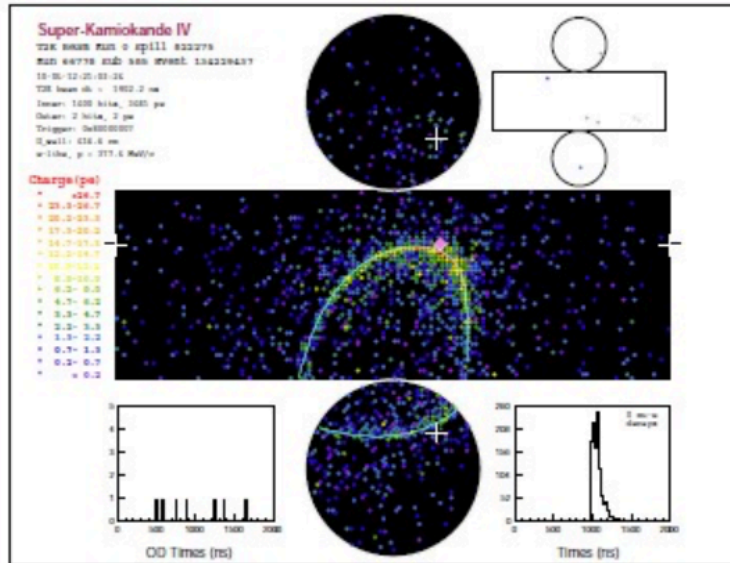
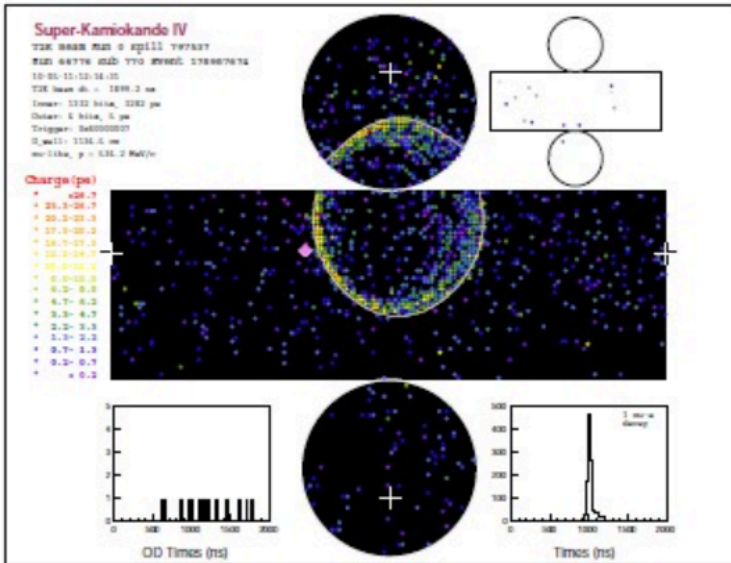
Water Cherenkov detection



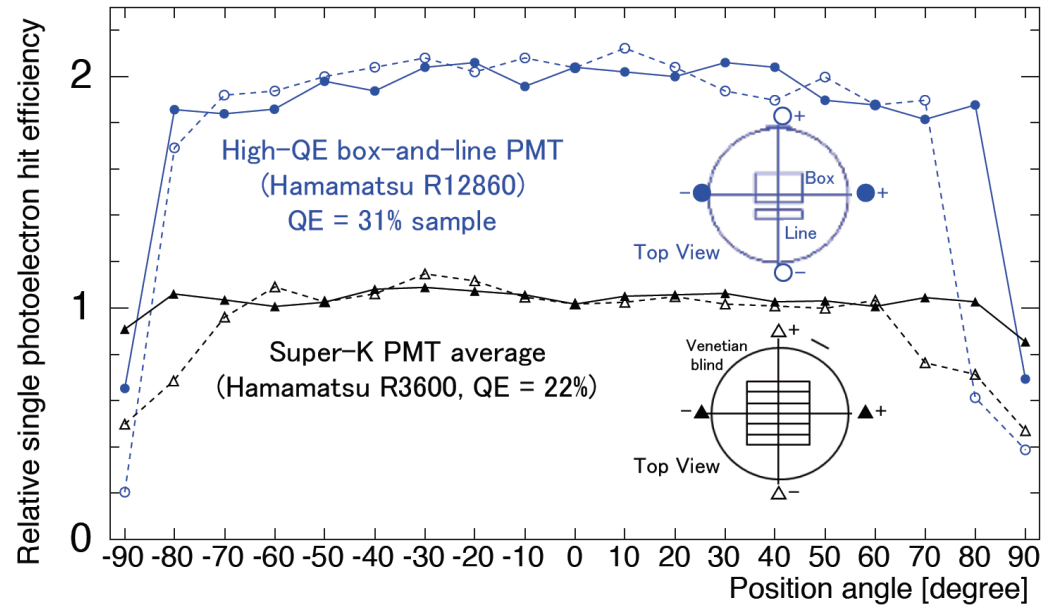
The generated charged particle emits the Cherenkov light.

Muon: sharp ring

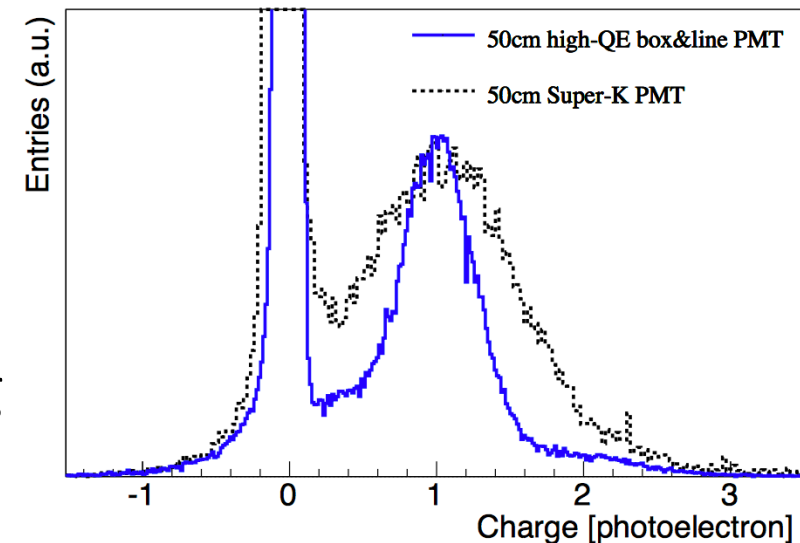
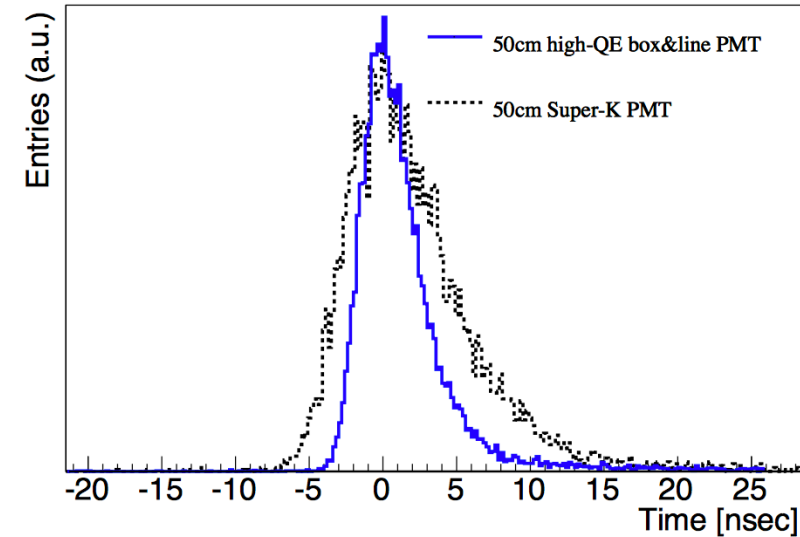
Electron: fuzzy ring



Photosensors



Hyper-K baseline design:
 box and line PMTs
 Twice the detection efficiency, better timing
 and charge resolution

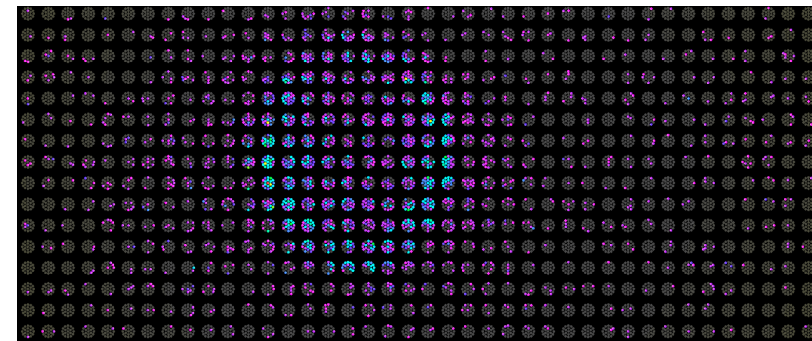
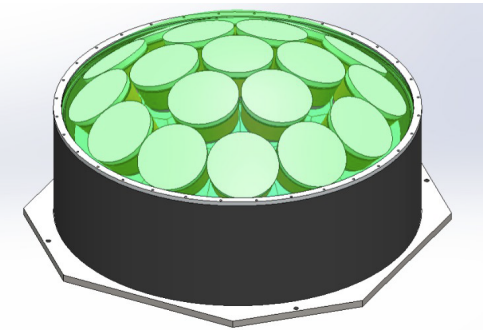
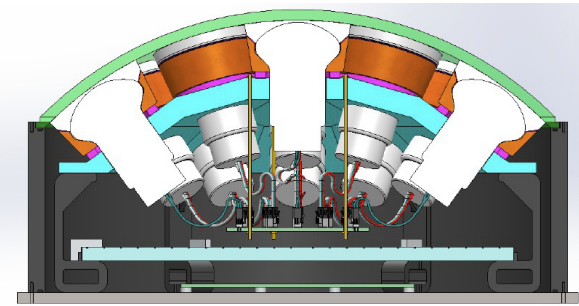


Photosensors

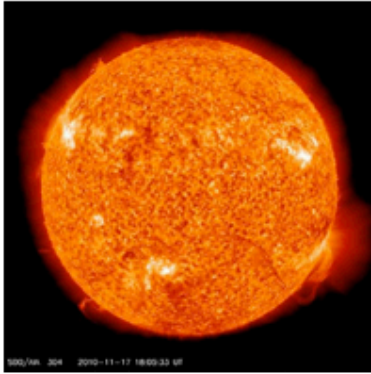
Covers to protect against pressure are being developed



Multi-PMT option being explored



Broad physics program



Solar neutrinos



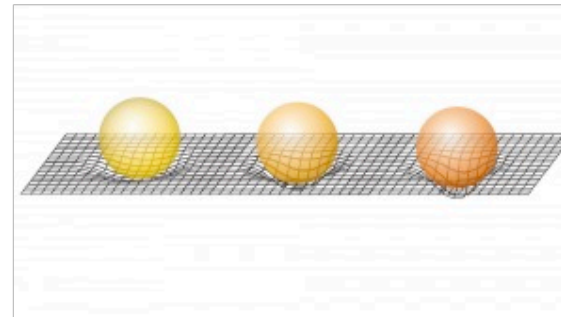
CP violation



Supernova neutrinos



Proton decay

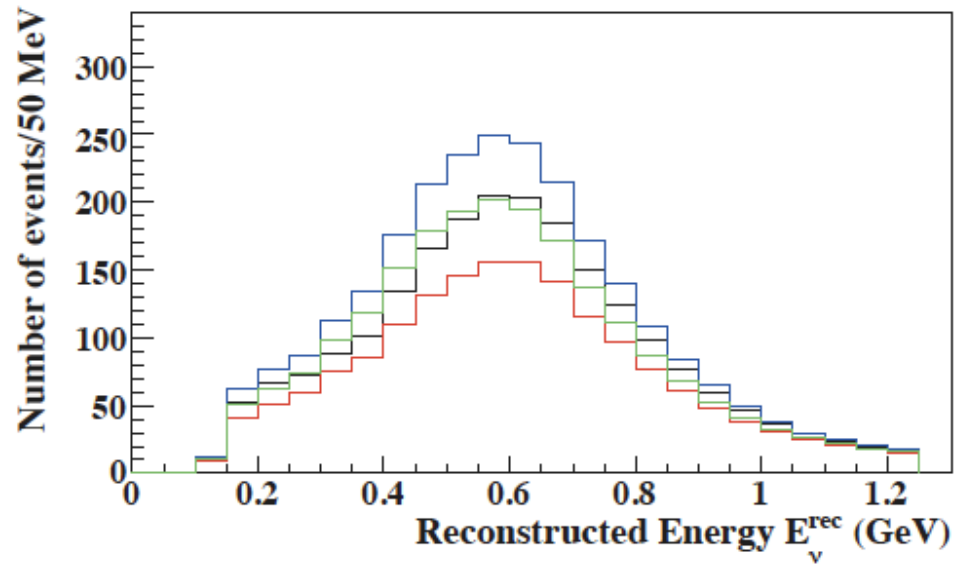


Mass hierarchy

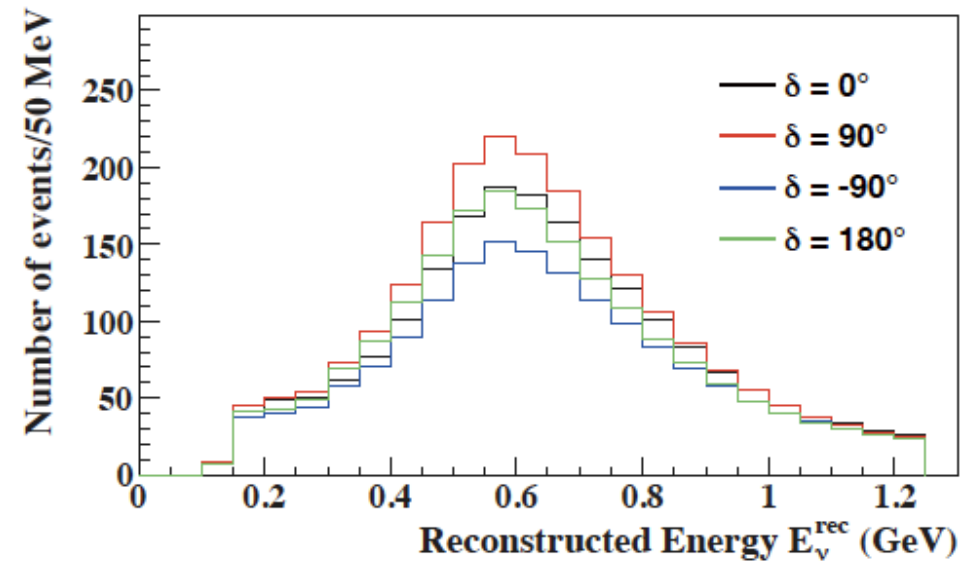
CP-violation

Looking for differences in the oscillation behaviour between neutrinos and anti-neutrinos

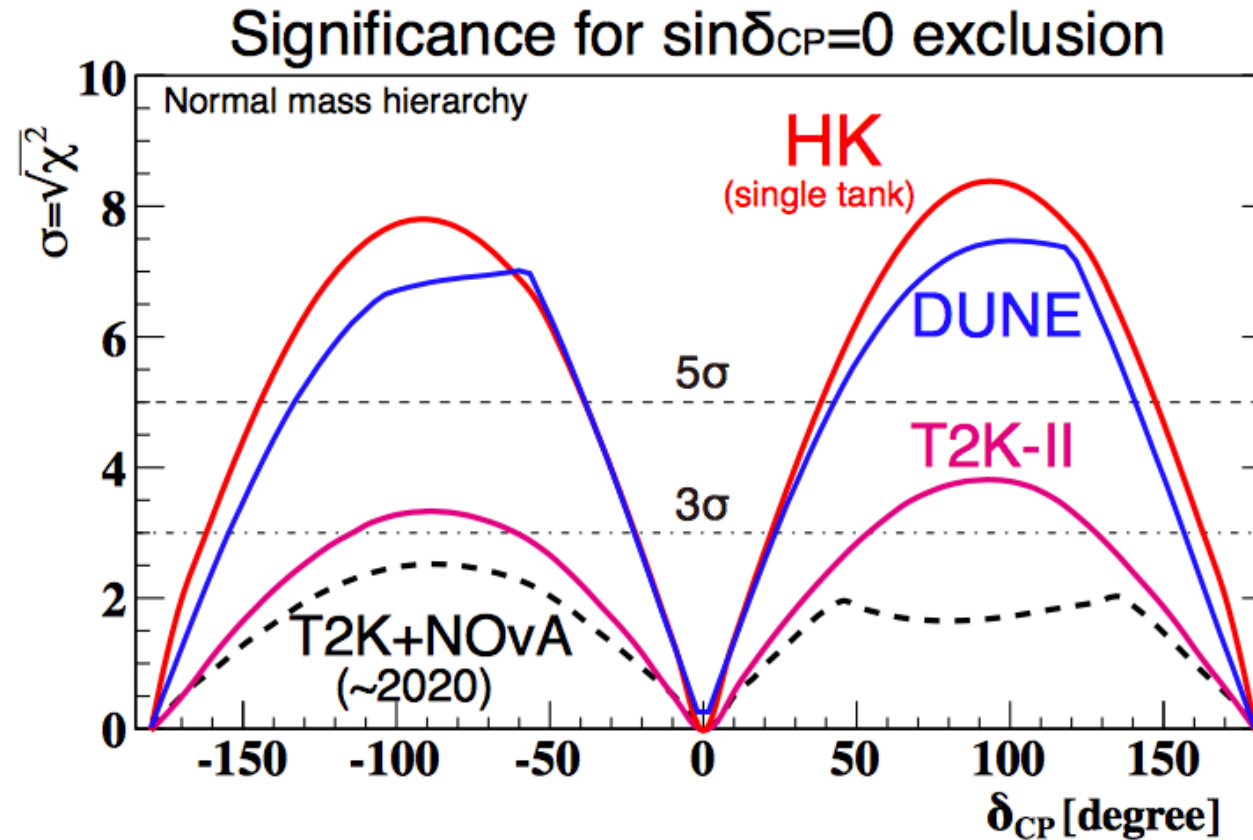
Neutrino mode: appearance



Antineutrino mode: appearance

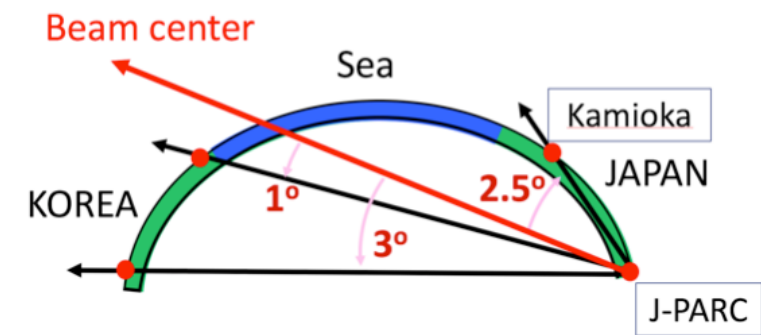


CP-violation

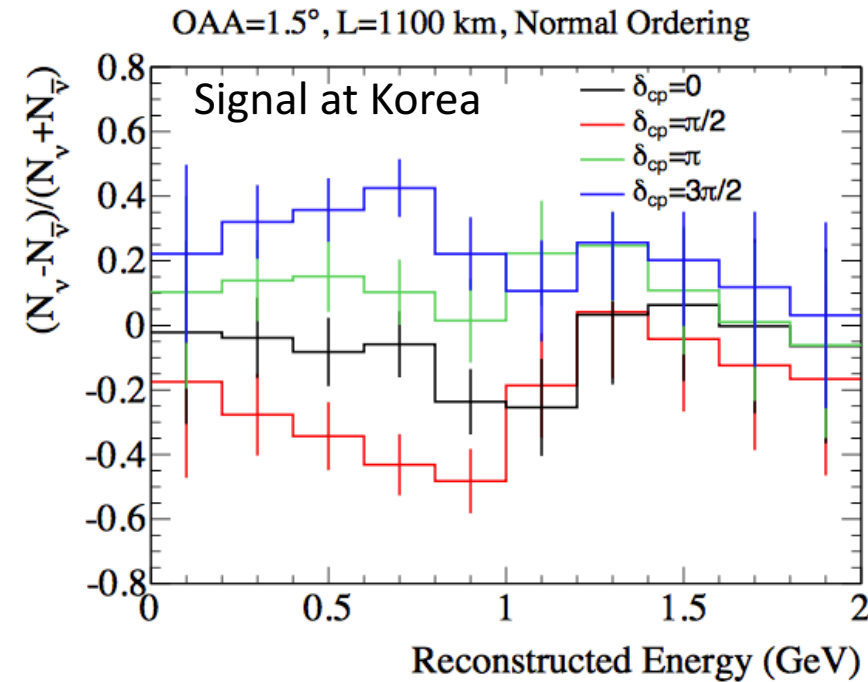
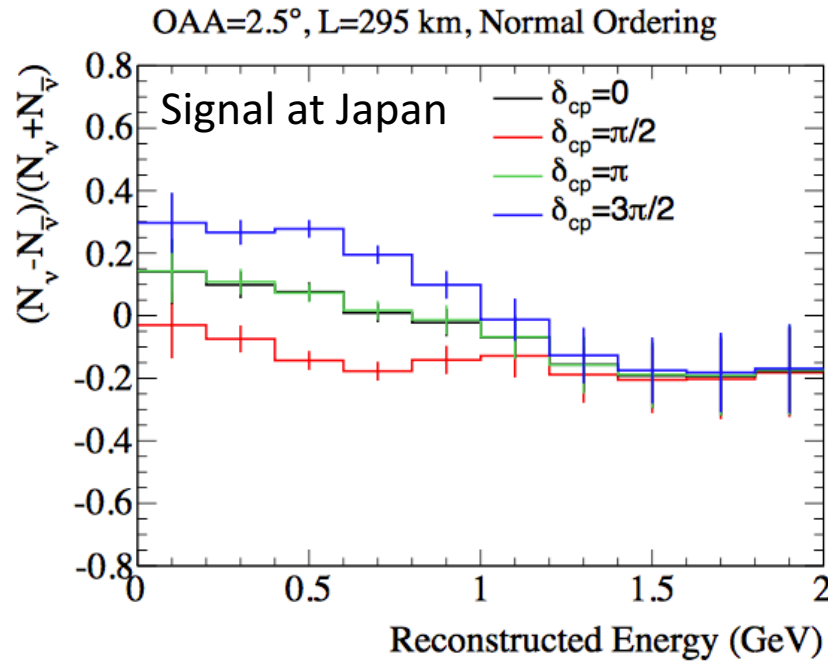


After 10 years of running, HK will be able to measure $\sim 50\%$ ($\sim 80\%$) of the δ_{CP} space to better than 5σ (3σ)

CP-violation

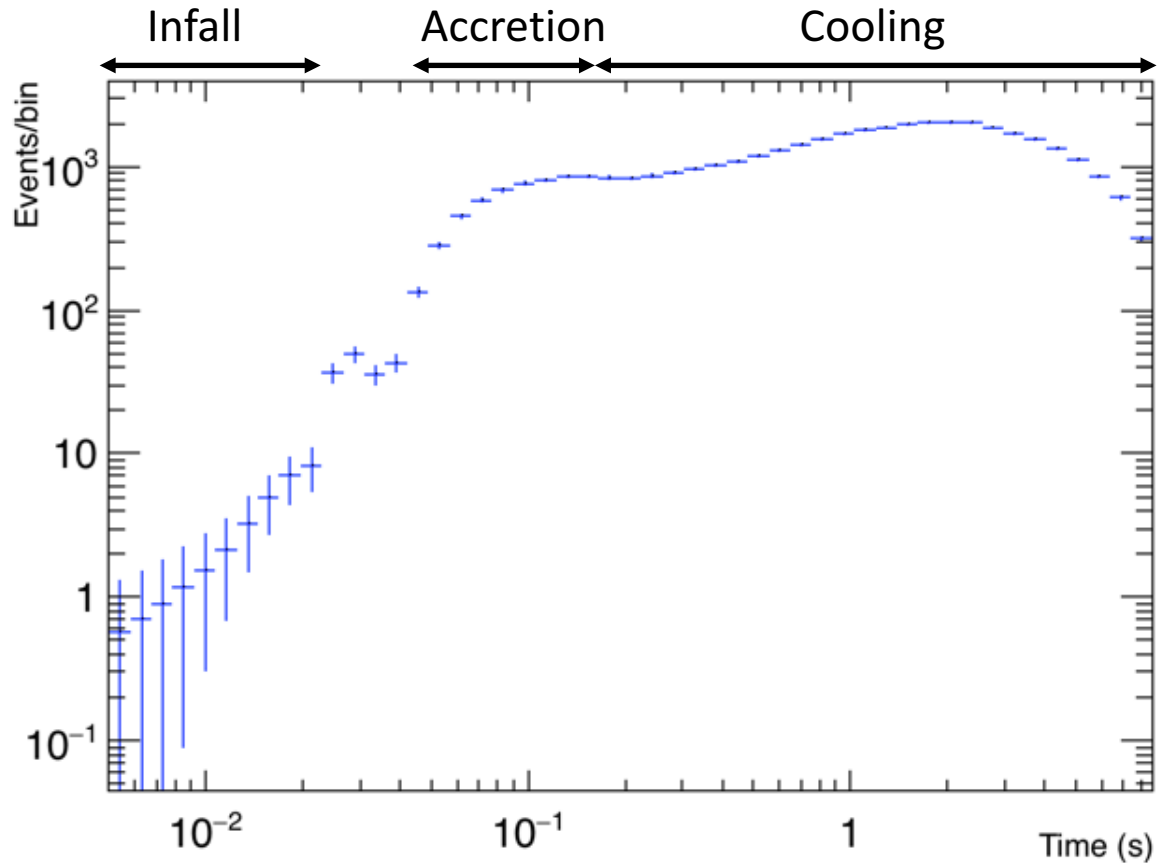


Exploring option of putting second HK tank in Korea

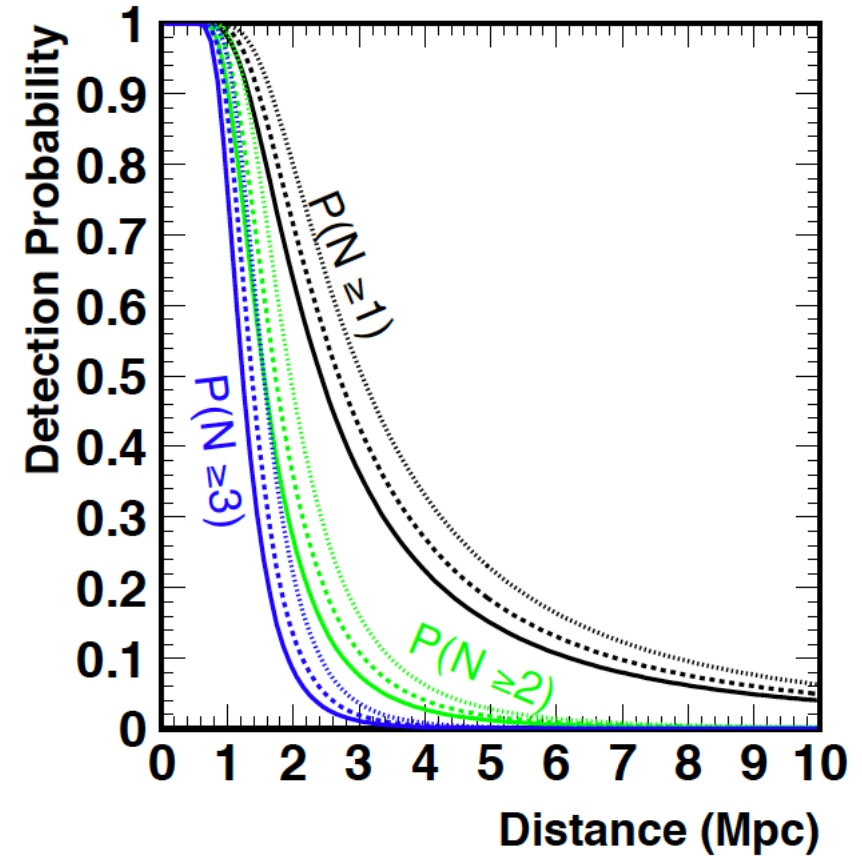


Putting the second detector at the second oscillation maximum means our signal has a different shape → makes us less sensitive to systematic errors

Supernova neutrinos



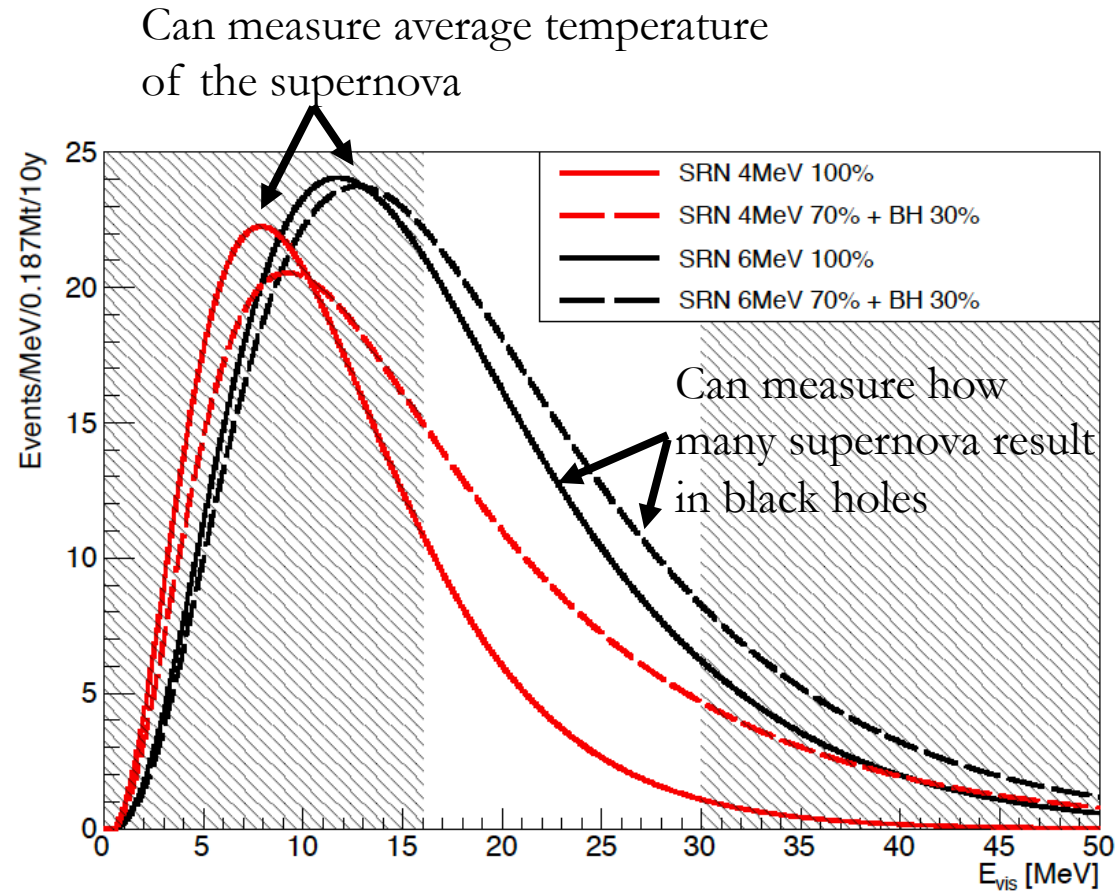
Detailed measurements of a galactic supernova



Measuring supernovae out to the Mpc range

Supernova neutrinos

Measuring the average properties with the diffuse supernova neutrino background



Hyper-Kamiokande funding status

世界の学術フロンティアを先導する大規模プロジェクトの推進

令和2年度要求・要望額 40,826百万円
(前年度予算額 34,382百万円)

参考

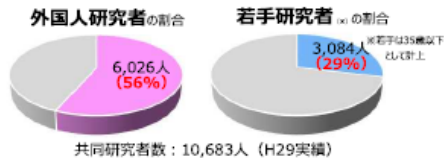


目的

- 最先端の大型研究装置等により人類未踏の研究課題に挑み、**世界の学術研究を先導**。
- 国内外の優れた研究者を結集し、**国際的な研究拠点を形成**するとともに、国内外の研究機関に対し**研究活動の共通基盤を提供**。
- **日本学術会議**において科学的観点から策定した**マスタープラン**を踏まえつつ、専門家等で構成される**文部科学省の審議会**において戦略性・緊急性等を加味し、**ロードマップを策定**。
- ロードマップの中から大規模学術フロンティア促進事業として実施するプロジェクトを選定の上、国立大学法人運営費交付金等の基盤的経費により戦略的・計画的に推進。原則、**10年間の年次計画を策定**し、審議会における**厳格な評価・進捗管理**を実施。
- 現行の13プロジェクトに加え、**令和2年度より、ニュートリノ研究の次世代計画である「ハイパーカミオカンデ計画」に新たに着手**。

主な成果

- **ノーベル賞受賞につながる画期的研究成果**
(受賞歴：H14小柴昌俊氏、H20小林誠氏、益川敏英氏、H27梶田隆章氏)
- **年間約1万人の共同研究者が集結し、国際共同研究を推進**。このうちの**半数以上が外国人研究者、3割程度が若手研究者と割合が高い**。



- 天文分野では、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡の**TOP10%論文割合や国際共著論文割合は、分野全体と比較しても高い**。

天文学・宇宙物理学分野	論文数	Top10%割合	国際共著割合
すばる望遠鏡	644	18.5%	86.3%
アルマ望遠鏡	878	27.3%	89.0%
日本全体	8,938	12.9%	68.0%
世界全体	103,445	9.6%	50.6%

(※共同利用機関法人自然科学研究機構「InCites」(Web of Science)に基づき、013-2017の5か年間に出版された天文学・宇宙物理学分野の論文 (article, review) 分析 (2019年7月)。「日本全体」は、著作権所に日本を含む論文を抽出。

大規模学術フロンティア促進事業等の主な事業

大型電波望遠鏡「アルマ」による国際共同利用研究の推進 (自然科学研究機構国立天文台)



宇宙・銀河系・惑星系の誕生過程を解明するため、日米欧の国際協力により、南米チリのアタカマ高地 (標高5,000m) に建設した「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計」による**国際共同利用研究を推進**。2019年4月にM87銀河の中心にある**超巨大ブラックホールの「影」の撮影に世界で初めて成功した国際プロジェクトに参加し**、高い感度の観測機能により、その成果に大きく貢献。

新しいステージに向けた学術情報ネットワーク(SINET)整備 (情報・システム研究機構国立情報学研究所)



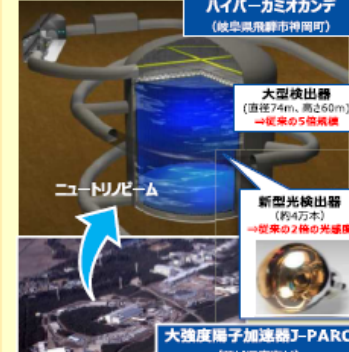
国内の大学等を高速通信回線ネットワークで結び、共同研究の基盤を提供。全国900以上の大学や研究機関、約300万人の研究者・学生が活用する我が国の教育研究活動に**必須の学術情報基盤**。

<産業等への波及>

- 産業界と連携した最先端の研究装置開発により、**イノベーションの創出にも貢献**
(事例) ・【すばる望遠鏡】超高度カメラ技術→**医療用X線カメラへの応用**
・【放射光施設】加齢による毛髪のパリ・コンの低下が毛髪内の亜鉛と銅の関係を解明→**亜鉛を毛髪に浸透させる新しいヘアケア技術の開発・製品化に成功**

NEW

ハイパーカミオカンデ(HK)計画の推進 (東京大学宇宙線研究所) (高エネルギー加速器研究機構)



日本が切り拓いてきた**ニュートリノ研究の次世代計画**として、**超高感度光検出器を備えた総重量26万トンの大型検出器の建設及びJ-Parcの高度化により、ニュートリノの検出性能を著しく向上**。素粒子物理学の大統一理論の鍵となる**未発見の中性子崩壊探索やCP対称性の破れなどのニュートリノ研究を通じ、新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明を目指す**。[ロードマップ2017掲載事業]

Hyper-Kamiokande funding status

(MEXT) will start the next-generation neutrino research project "Hyper-Kamiokande" in JFY2020.

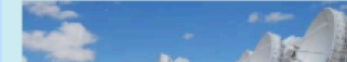
- **日本学術会議**において科学的観点から策定した**マスタープラン**を踏まえつつ、専門家等で構成される**文部科学省の審議会**において戦略性・緊急性等を加味し、**ロードマップ**を策定。
- ロードマップの中から大規模学術フロンティア促進事業として実施するプロジェクトを選定の上、国立大学法人運営費交付金等の基盤的経費により戦略的・計画的に推進。原則、**10年間の年次計画**を策定し、審議会における**厳格な評価・進捗管理**を実施。
- 現行の13プロジェクトに加え、**令和2年度より、ニュートリノ研究の次世代計画である「ハイパーカミオカンデ計画」に新たに着手。**

主な成果

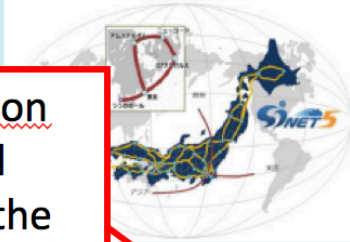
- **ノーベル賞受賞につながる画期的研究成果**
(受賞歴：H14小柴昌俊氏、H20小林誠氏、益川敏英氏、H27梶田隆章氏)
- **年間約1万人の共同研究者が集結し、国際共同研究を推進。このうちの半数以上が外国人**

大規模学術フロンティア促進事業等の主な事業

大型電波望遠鏡「アルマ」による国際共同利用研究の推進
(自然科学研究機構国立天文台)



新しいステージに向けた学術情報ネットワーク(SINET)整備
(情報・システム研究機構国立情報学研究所)



等を高速通信回線ネットワークで究の基盤を提供。全国900以上機関、約300万人の研究者・学我が国の教育研究活動に必須の

NEW

ハイパーカミオカンデ(HK)計画の推進
(東京大学宇宙線研究所)
(高エネルギー加速器研究機構)



日本が切り拓いてきたニュートリノ研究の次世代計画として、**超高感度光検出器**を備えた総重量26万トン**の大型検出器の建設**及び**J-PARCの高度化**により、ニュートリノの検出性能を著しく向上。素粒子物理学の大統一理論の鍵となる未発見の**中性子崩壊探索**や**CP対称性の破れ**などのニュートリノ研究を通じ、**新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明**を目指す。【ロードマップ2017掲載事業】

Next generation of neutrino project with a **260 kton** detector and the J-PARC upgrade. The project will reveal the mysteries in elementary particles and the Universe by the observation of proton decays and the neutrino researches including CP violation.

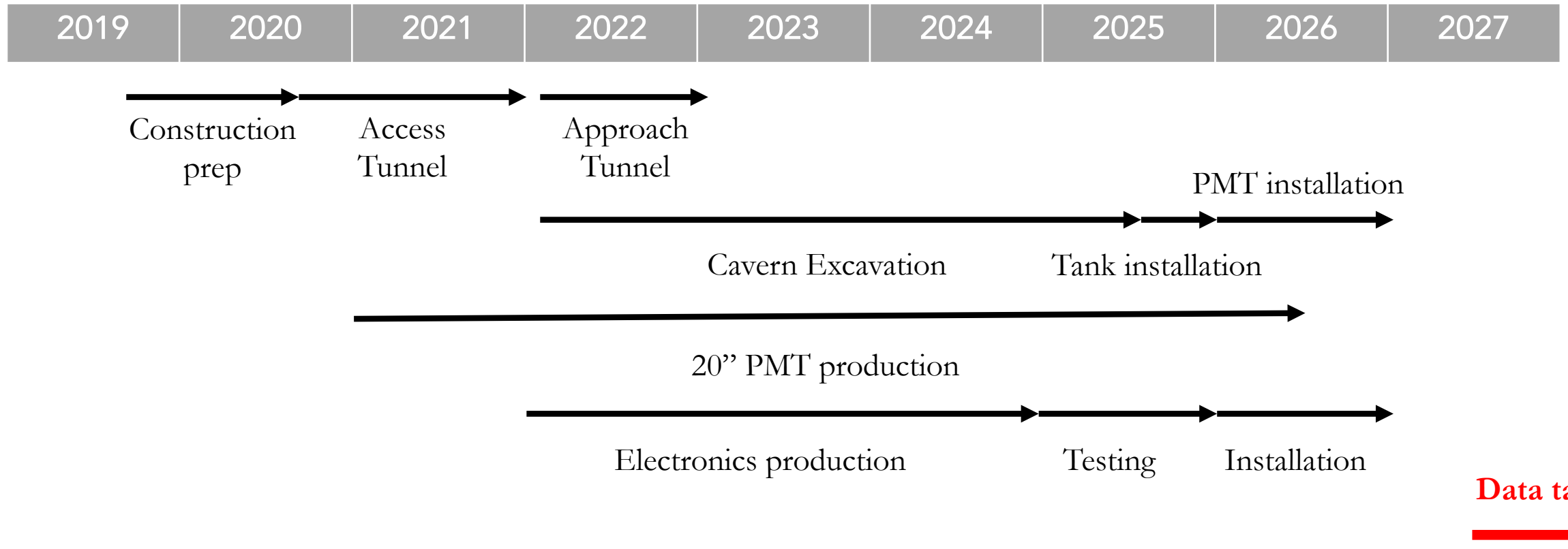
天文学・宇宙物理学分野	論文数	Top10 %割合	国際共著割合
すばる望遠鏡	644	18.5%	86.3%
アルマ望遠鏡	878	27.3%	89.0%
日本全体	8,938	12.9%	68.0%
世界全体	103,445	9.6%	50.6%

巨大ブラックホールの「影」の撮影に世界で初めて成功した国際プロジェクトに参加し、高い感度の観測機能により、その成果に大きく貢献。

<産業等への波及>

- 産業界と連携した最先端の研究装置開発により、イノベーションの創出にも貢献
(事例) ・【すばる望遠鏡】超高感度カメラ技術⇒医療用X線カメラへの応用
・【放射光施設】加齢による毛髪のパリ・コシの低下が毛髪内の亜鉛と関係性を解明⇒亜鉛を毛髪に浸透させる新しいヘアケア技術の開発・製品化に成功

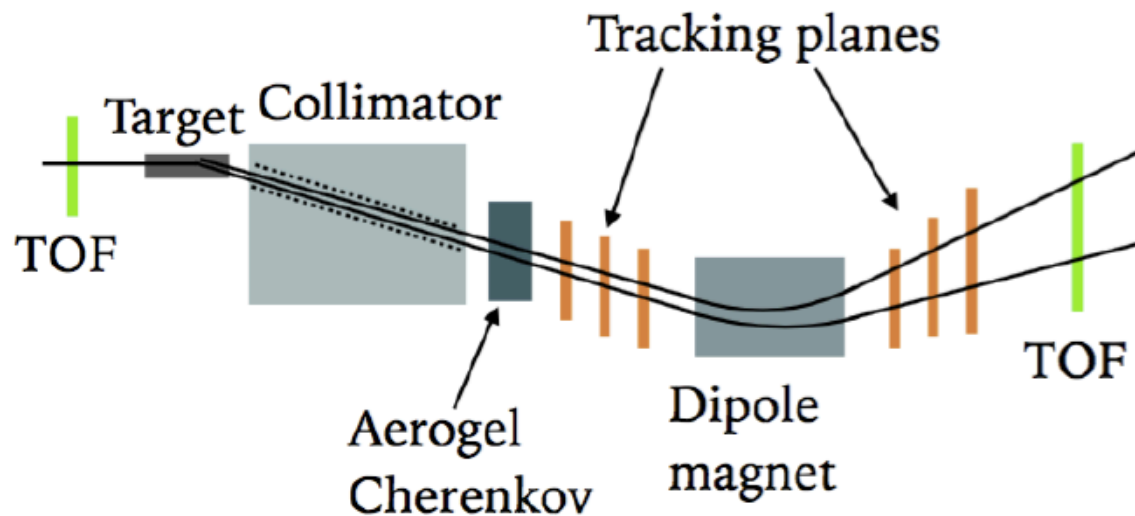
Hyper-Kamiokande timeline



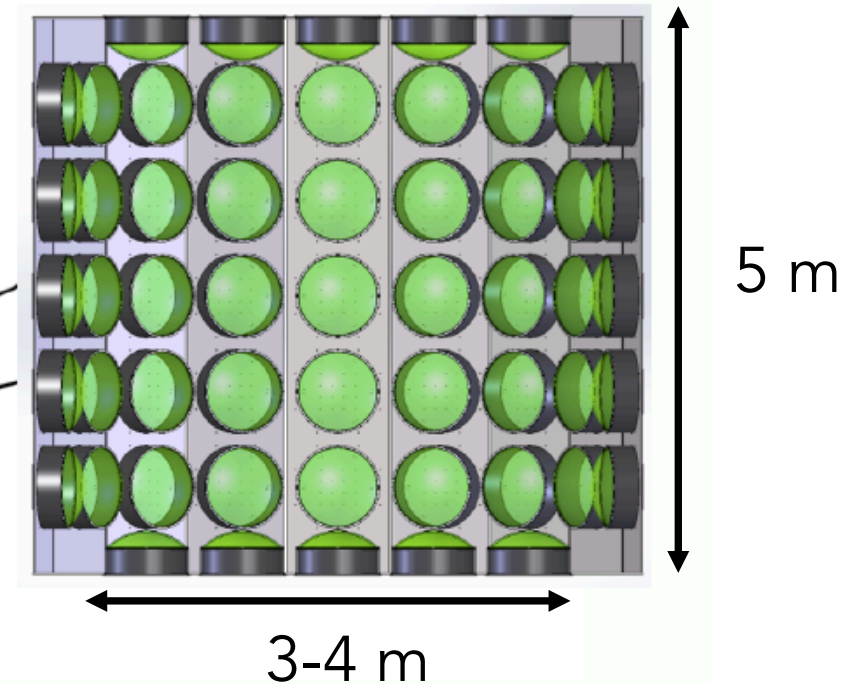
Data taking

The Water Cherenkov test experiment @ CERN

Forming a new, multi-collaboration group
(Hyper-K, ESSnuSB, THEIA)



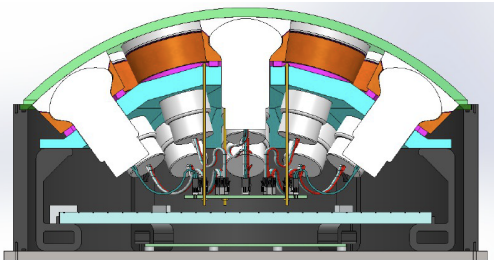
Water Cherenkov detector + Gd



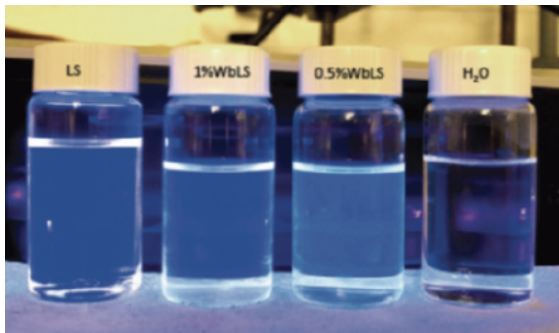
The Water Cherenkov test experiment: goals

Testing of critical components

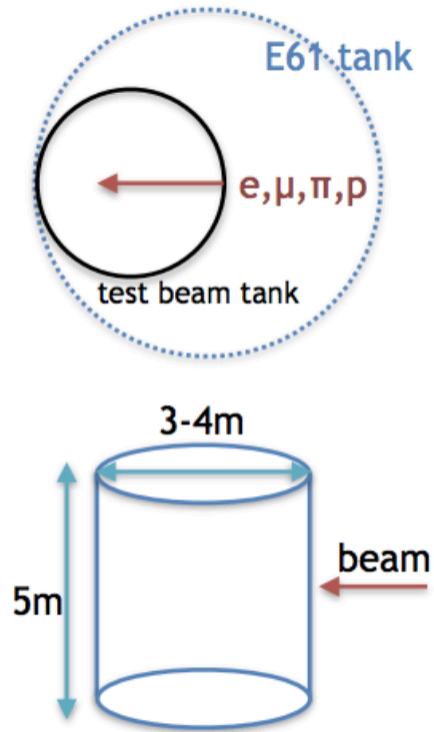
Multi-PMTs



Water-based liquid scintillator (THEIA)



Measure the detector response in a beam of known particle type and energy



Test calibration devices



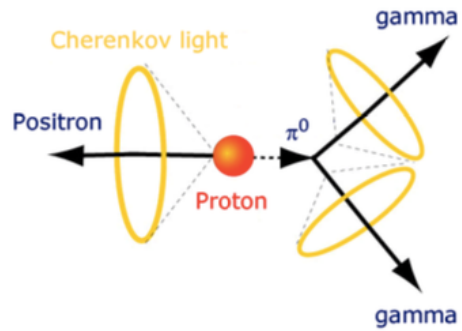
Hyper-Kamiokande outlook

- Construction will start in April 2020, data taking expected in April 2027
- An experiment is planned at CERN to test crucial hardware for the intermediate and far detectors (2021-2024)
- More information in our design report [arXiv:1805.04163](https://arxiv.org/abs/1805.04163), a technical design report should be released shortly

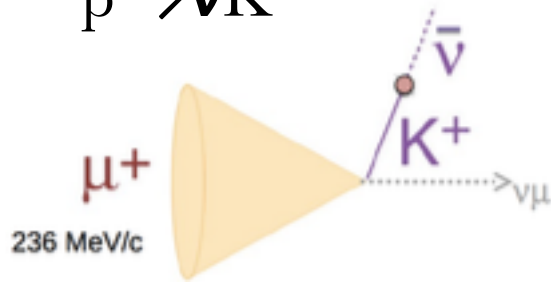
Nucleon decay

Flagship nucleon decay modes:

$$p \rightarrow e^+ \pi^0$$



$$p \rightarrow \bar{\nu} K^+$$

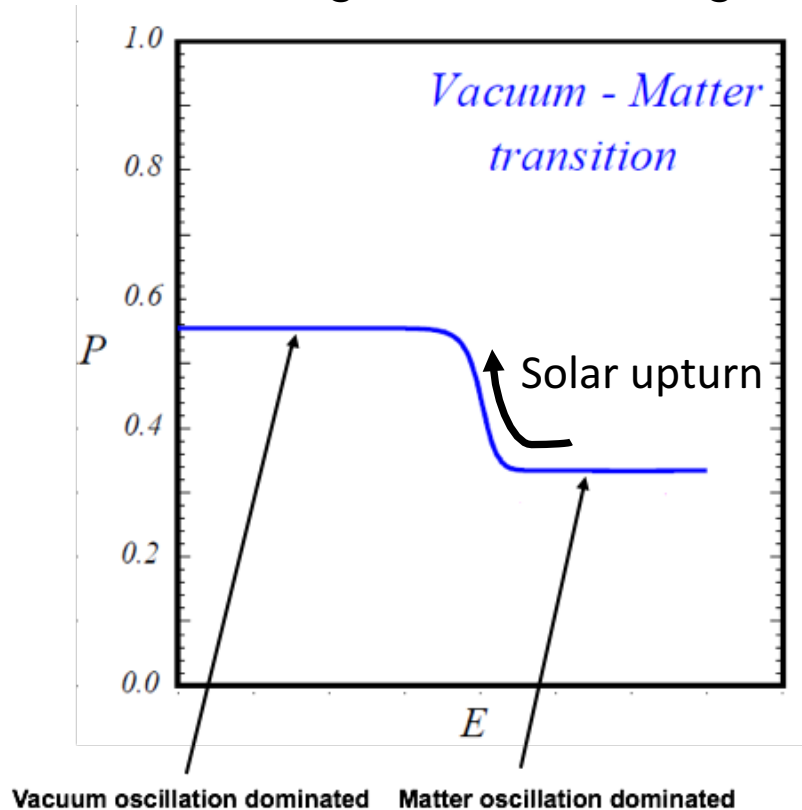


Mode	Sensitivity (90% CL) [years]	Current limit [years]
$p \rightarrow e^+ \pi^0$	7.8×10^{34}	1.6×10^{34}
$p \rightarrow \bar{\nu} K^+$	3.2×10^{34}	0.7×10^{34}
$p \rightarrow \mu^+ \pi^0$	7.7×10^{34}	0.77×10^{34}
$p \rightarrow e^+ \eta^0$	4.3×10^{34}	1.0×10^{34}
$p \rightarrow \mu^+ \eta^0$	4.9×10^{34}	0.47×10^{34}
$p \rightarrow e^+ \rho^0$	0.63×10^{34}	0.07×10^{34}
$p \rightarrow \mu^+ \rho^0$	0.22×10^{34}	0.06×10^{34}
$p \rightarrow e^+ \omega^0$	0.86×10^{34}	0.16×10^{34}
$p \rightarrow \mu^+ \omega^0$	1.3×10^{34}	0.28×10^{34}
$n \rightarrow e^+ \pi^-$	2.0×10^{34}	0.53×10^{34}
$n \rightarrow \mu^+ \pi^-$	1.8×10^{34}	0.35×10^{34}

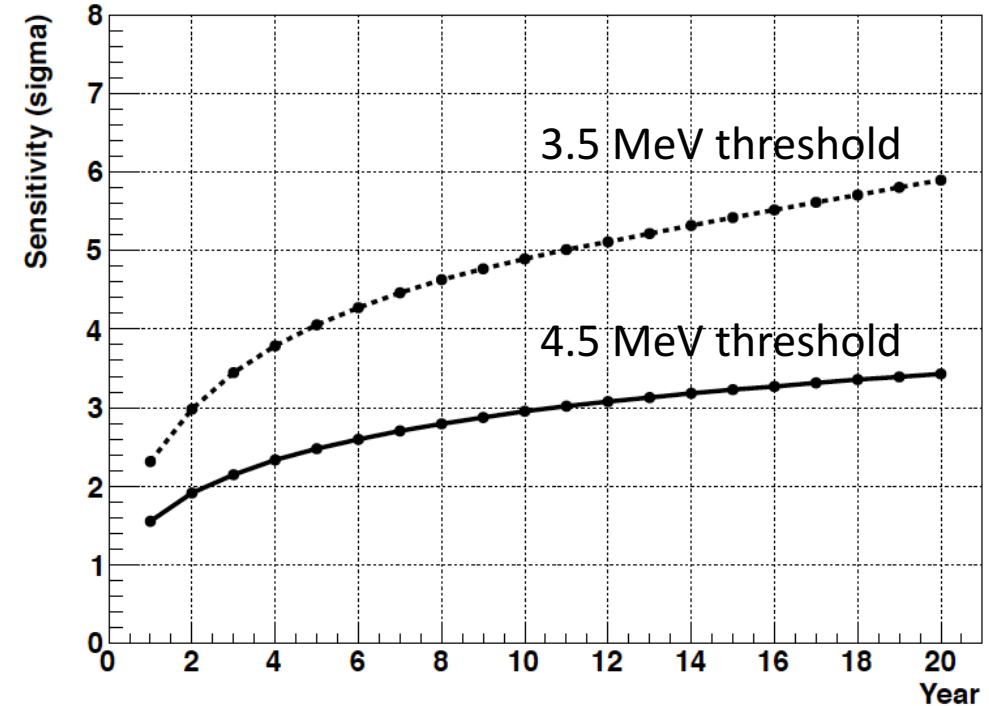
Limits will be improved across all nucleon decay channels, some by an order of magnitude.

Solar neutrinos

Measuring the transition region



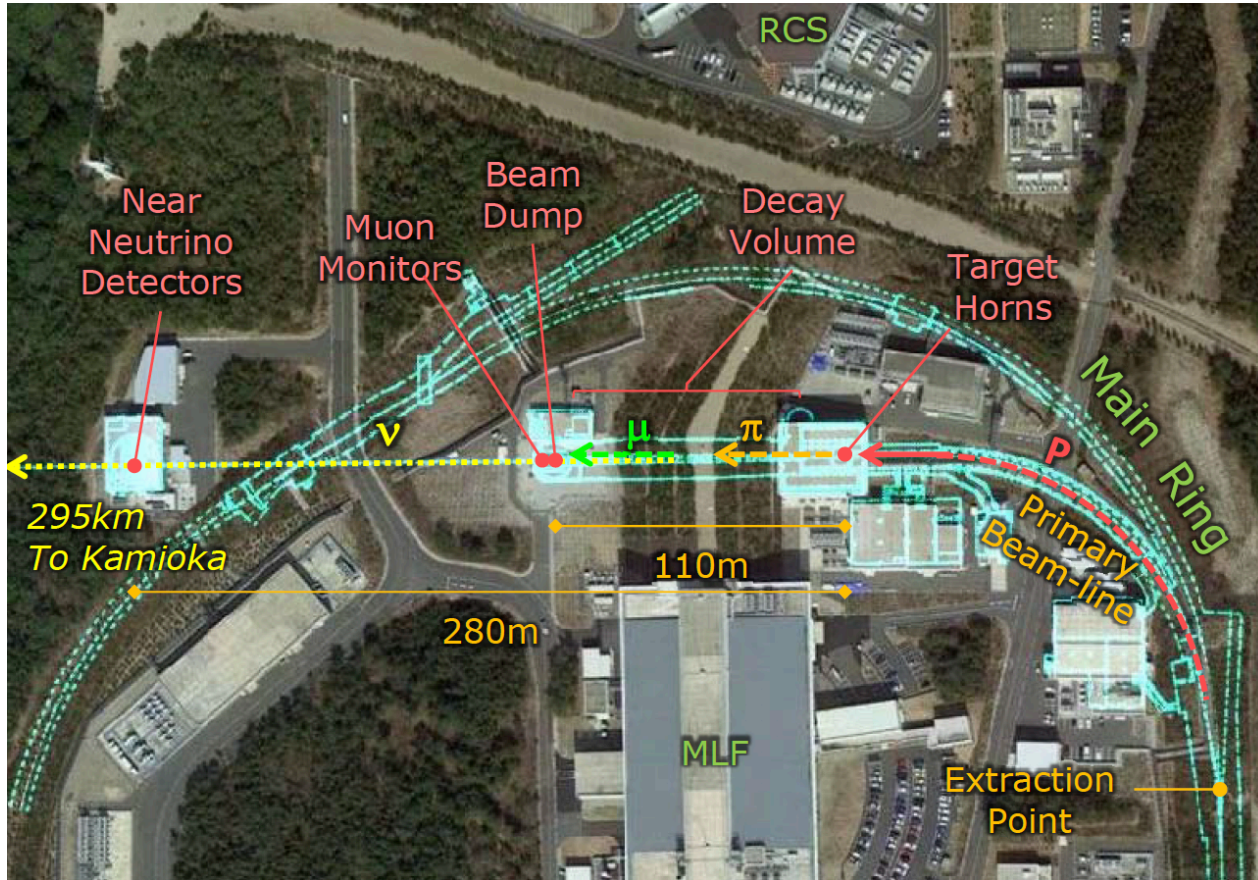
Solar upturn sensitivity



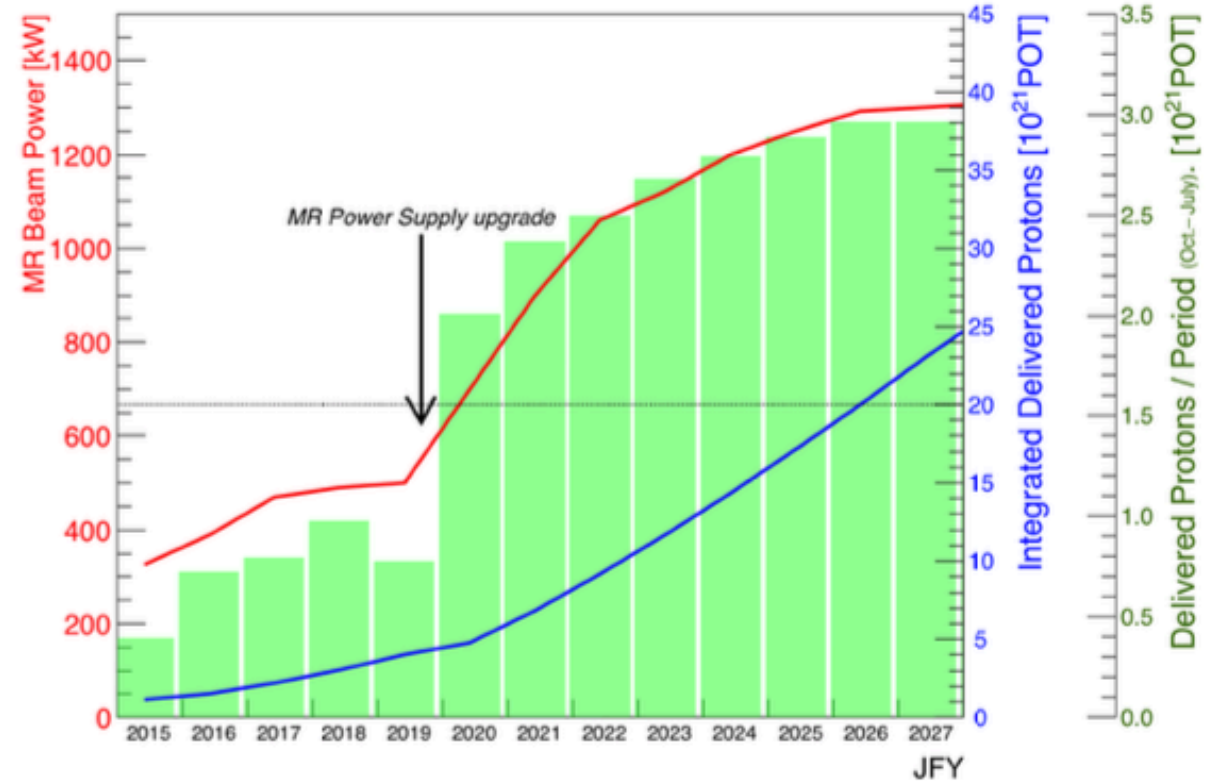
Hyper-K can measure the solar upturn to $\sim 5\sigma$ (3σ) after 10 years with 3.5 MeV (4.5 MeV) threshold

JPARC Neutrino Beam

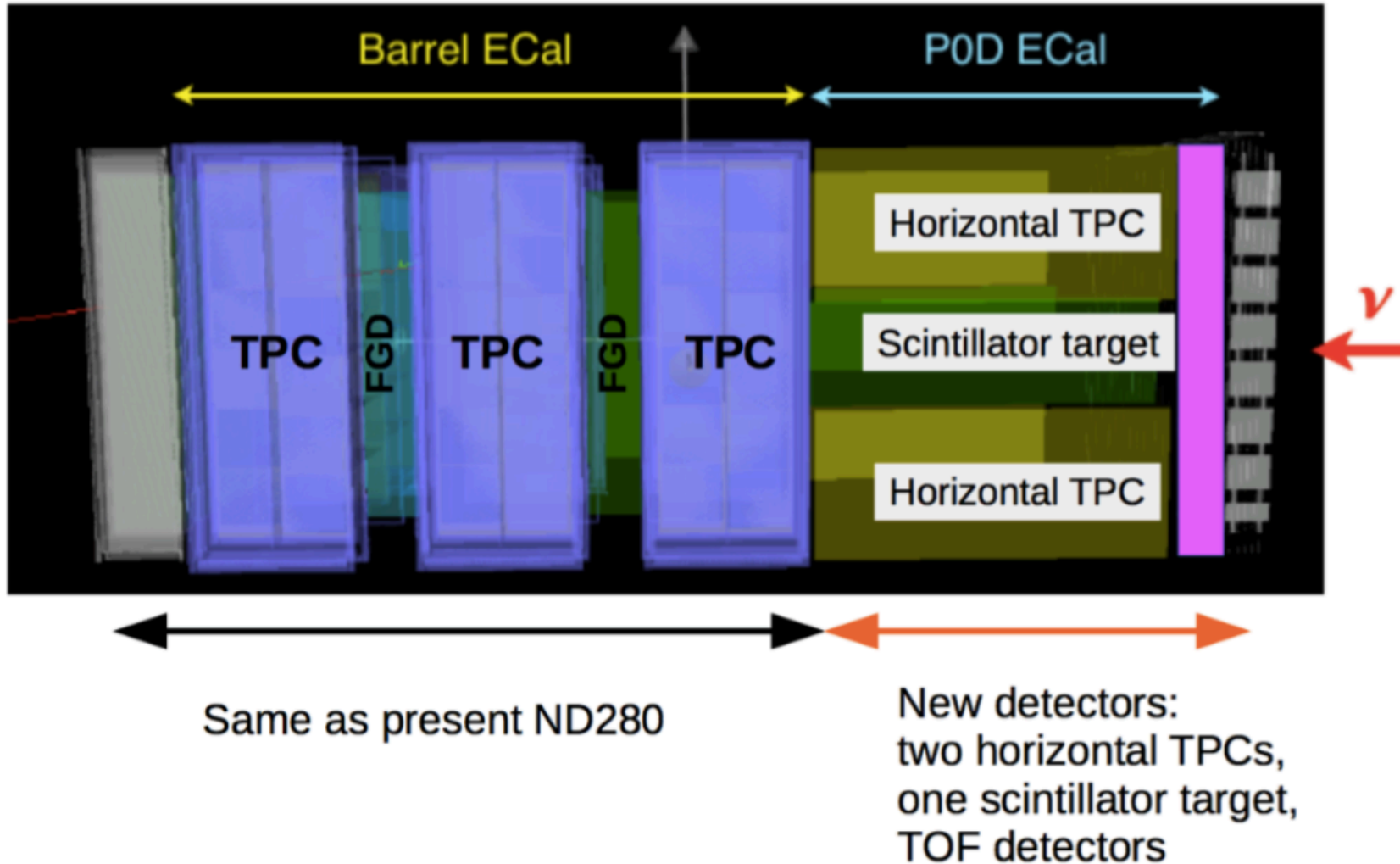
Plans to upgrade main ring would increase beam power to ~1.3MW (3x current power)



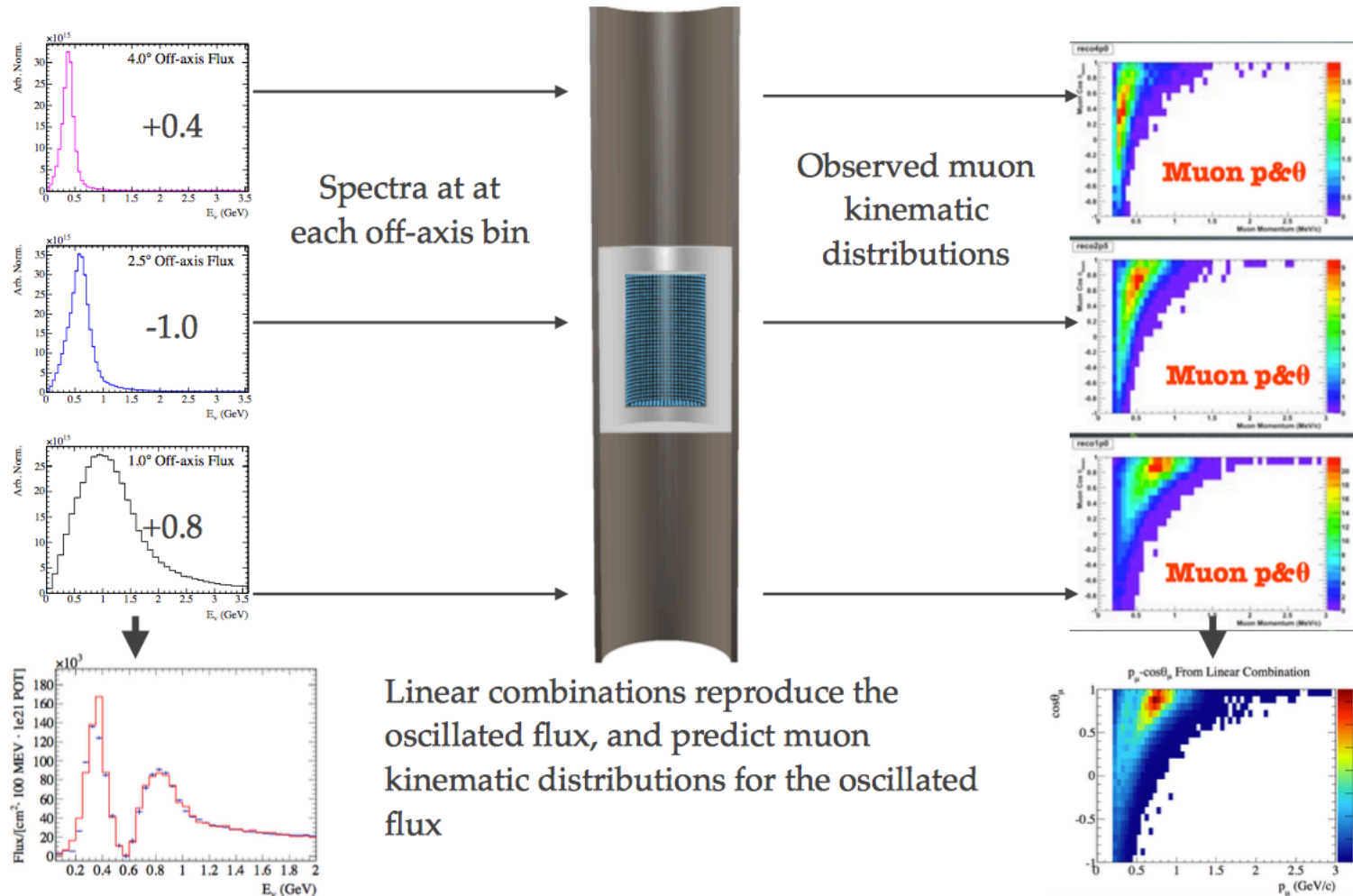
T2K-II Protons-On-Target Request



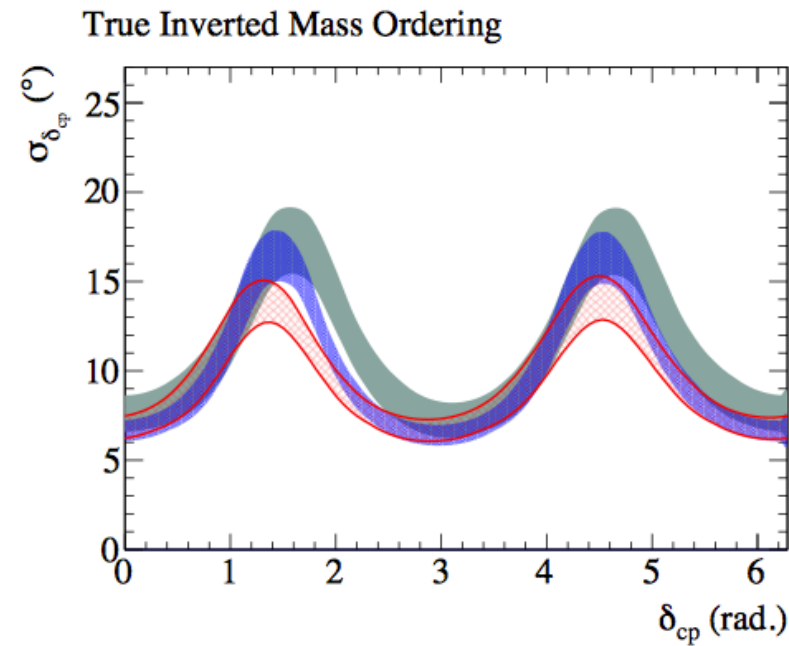
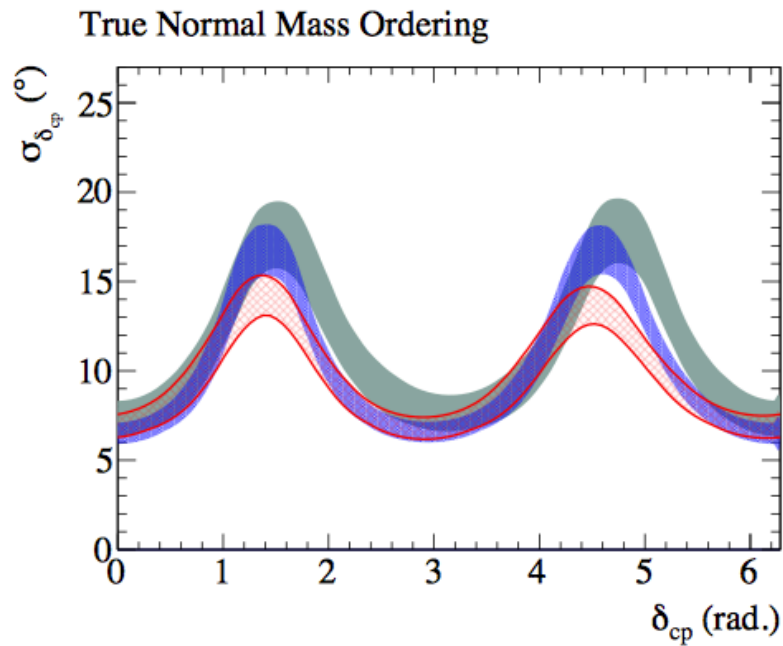
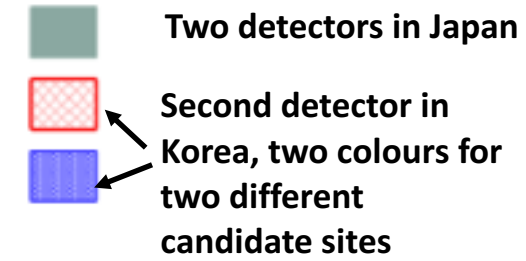
The Hyper-Kamiokande near detector



The Hyper-Kamiokande Intermediate Water Cherenkov Detector



T2HKK



The second detector in Korea allows us to better measure the CP-phase, compared with both detectors in Japan