



13

スーパーカミオカンデによる

# 超新星ニュートリノ観測データの解析手法の開発

Suwa et al., ApJ, in press, arXiv:2404.18248 (2024)

Nakanishi et al., in prep.

原田了 (茨城工業高等専門学校)

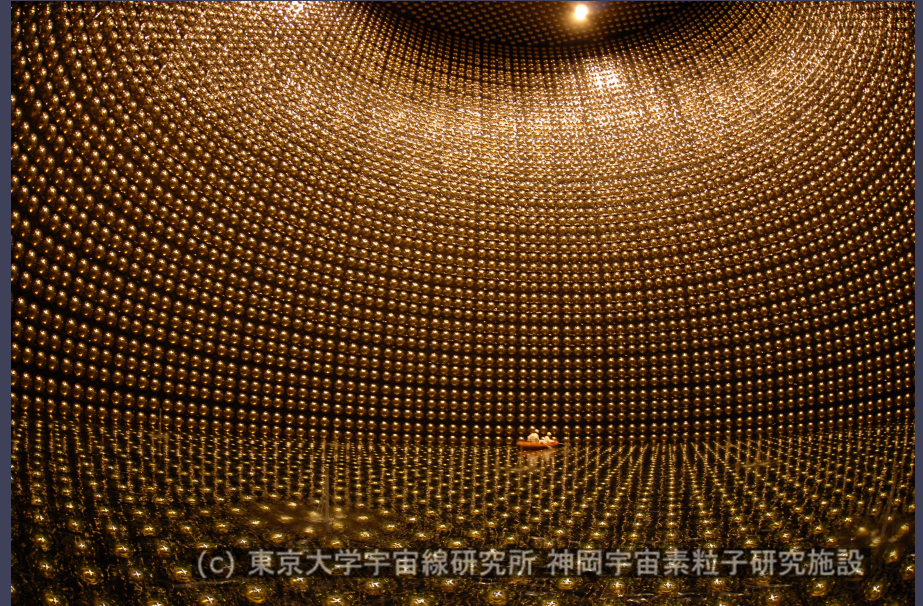
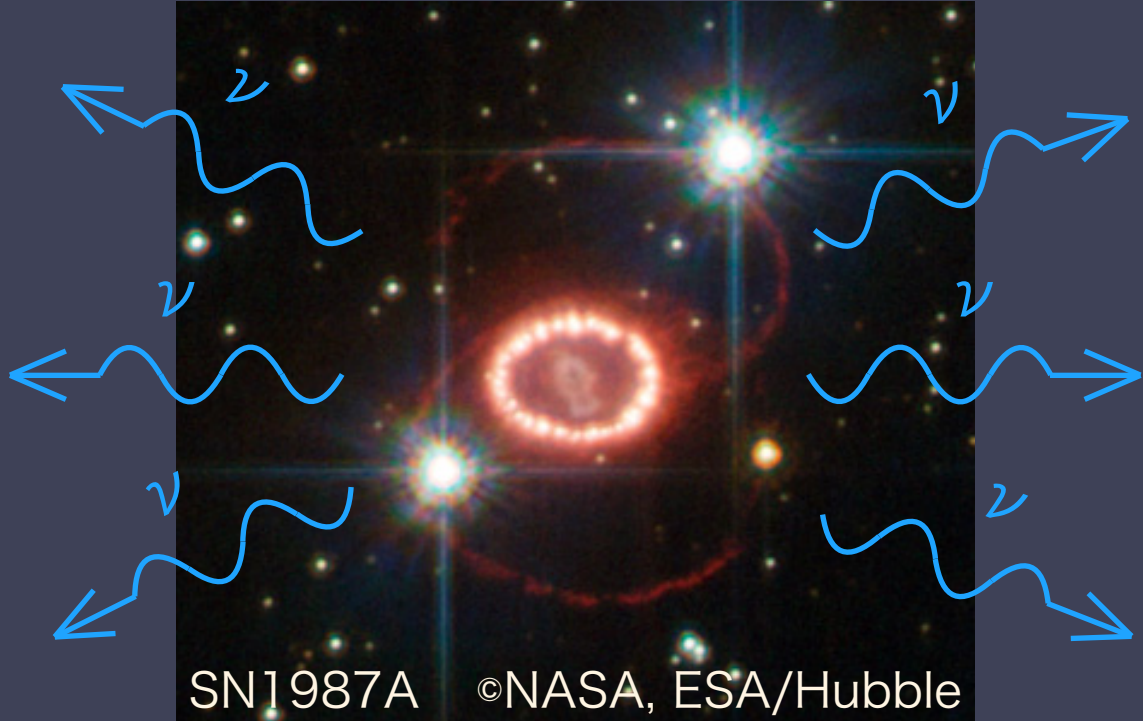
共同研究者: nuLC collaboration (中西史美、小汐祐介 (岡山大)、原田将之 (宇宙線研)、中里健一郎 (九州大)、ロジャー・ウェンデル (京都大)、森正光 (国立天文台)、諏訪雄大 (東京大)、住吉光介 (沼津高専)、赤穂龍一郎 (早稲田大))

査定額：オンライン打ち合わせのためのslack利用料として20万円

→slack education programの割引により利用料に5万、残り15万円を論文投稿費に充当

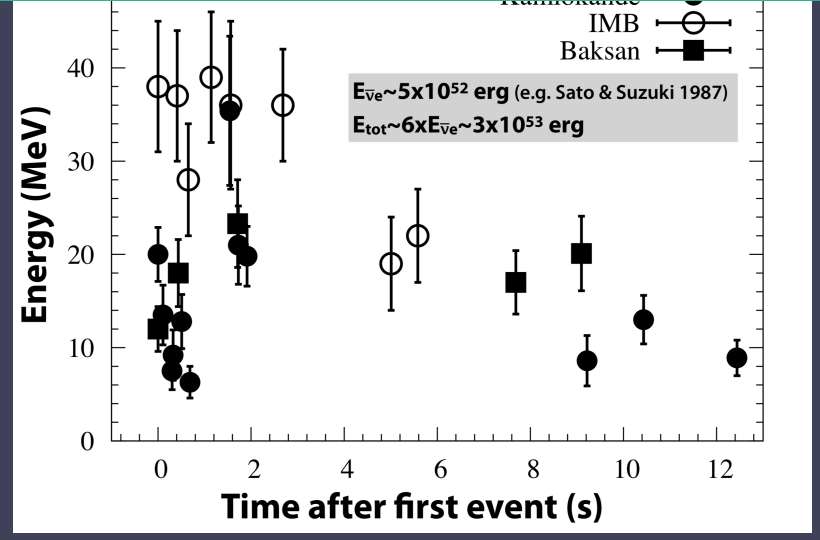
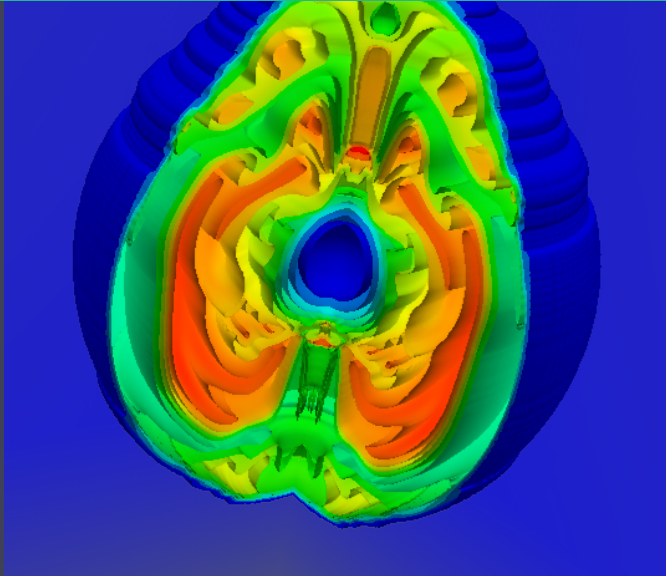
# 超新星ニュートリノ観測と理論

## 超新星からのニュートリノ放射



理論家と実験家で協力して超新星ニュートリノ検出に備える

超新星を  
シミュレート



ニュートリノを観測

理論モデルと観測データの対応づけ

# nuLC コラボレーション

neutrino Light Curve



原田将之(宇宙線研, 実験)

原田了(茨城高専, 理論)

Roger Wendell, 芦田洋輔(京都大, 実験)

諏訪雄大、財前真理(東京大, 理論)

小汐由介、中西史美(岡山大, 実験)

森正光(国立天文台, 理論/実験)

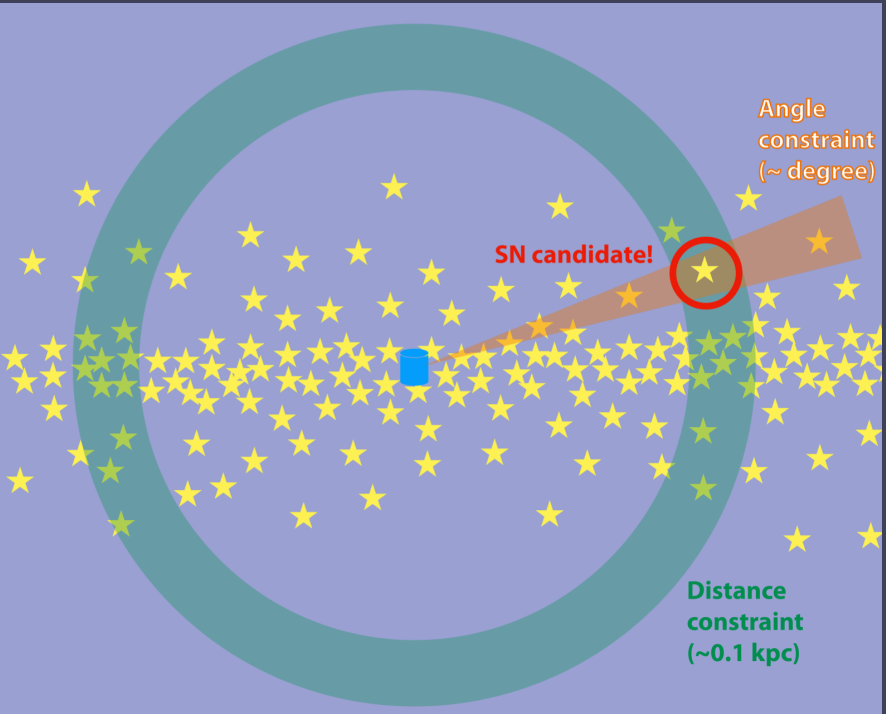
赤穂龍一郎(早稲田大, 理論)

中里健一郎(九州大, 理論)

住吉光介(沼津高専, 理論)

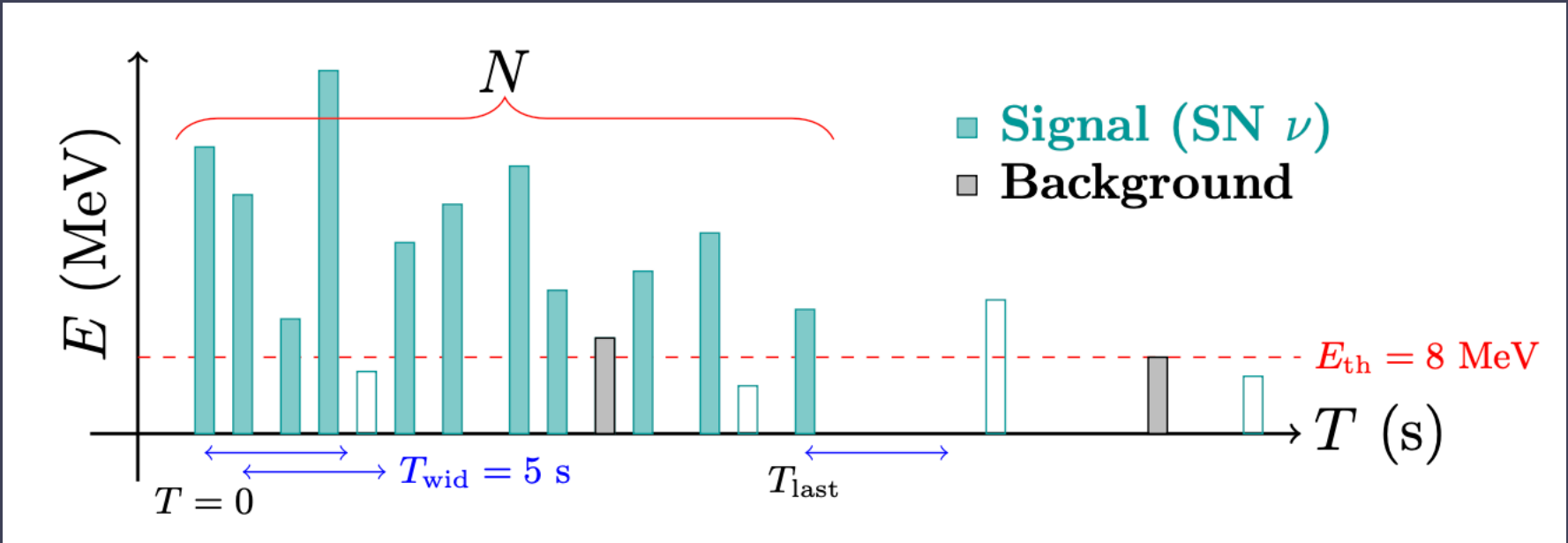
# 2024年度の成果

・超新星ニュートリノによる地球—超新星間距離推定手法の開発

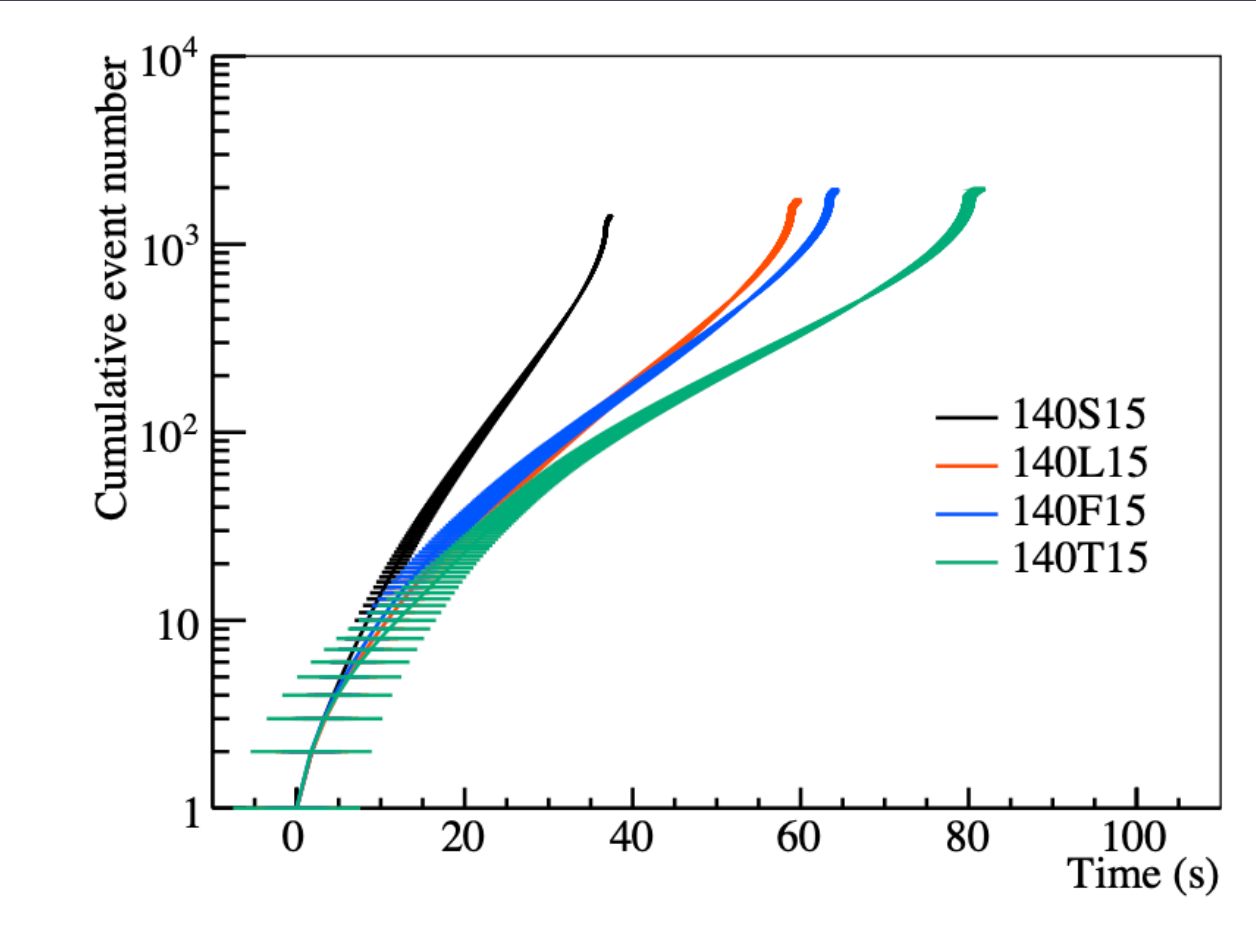


Suwa et al. (2024)

・現実的な原子中性子星冷却ニュートリノ解析手法の開発

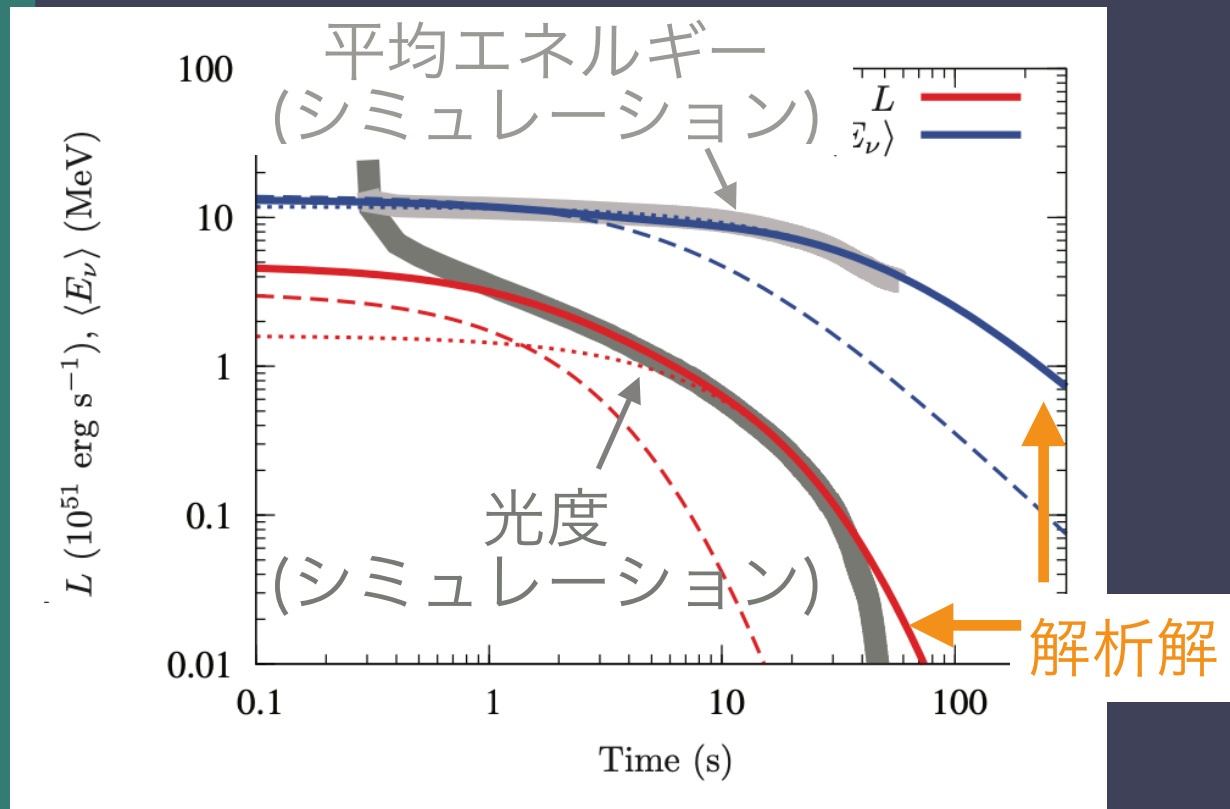


Nakanishi et al. in prep.



Nakanishi et al. in prep.

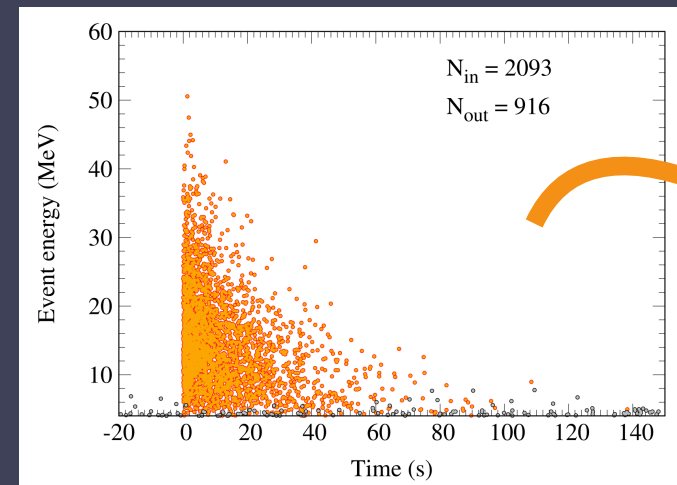
# ニュートリノ光度曲線解析モデル



Suwa et al. (2021)

2020年度(課題一年目)

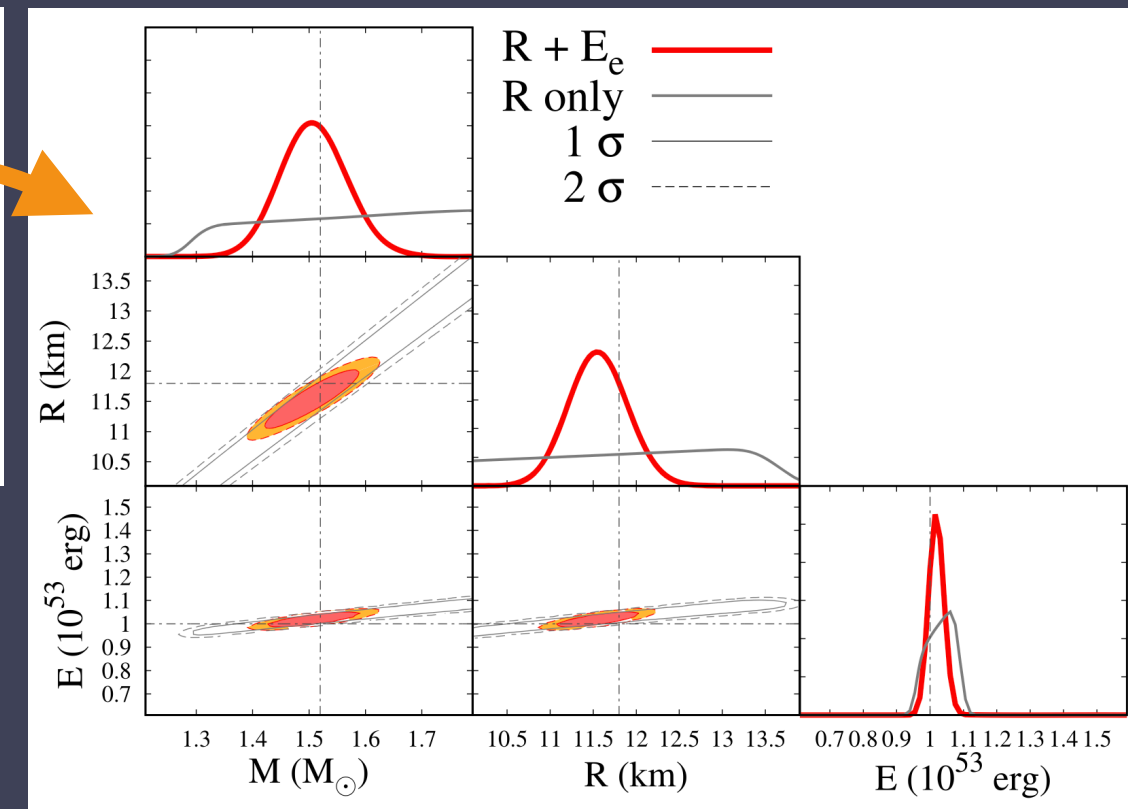
- ・ニュートリノ光度曲線の解析解の開発



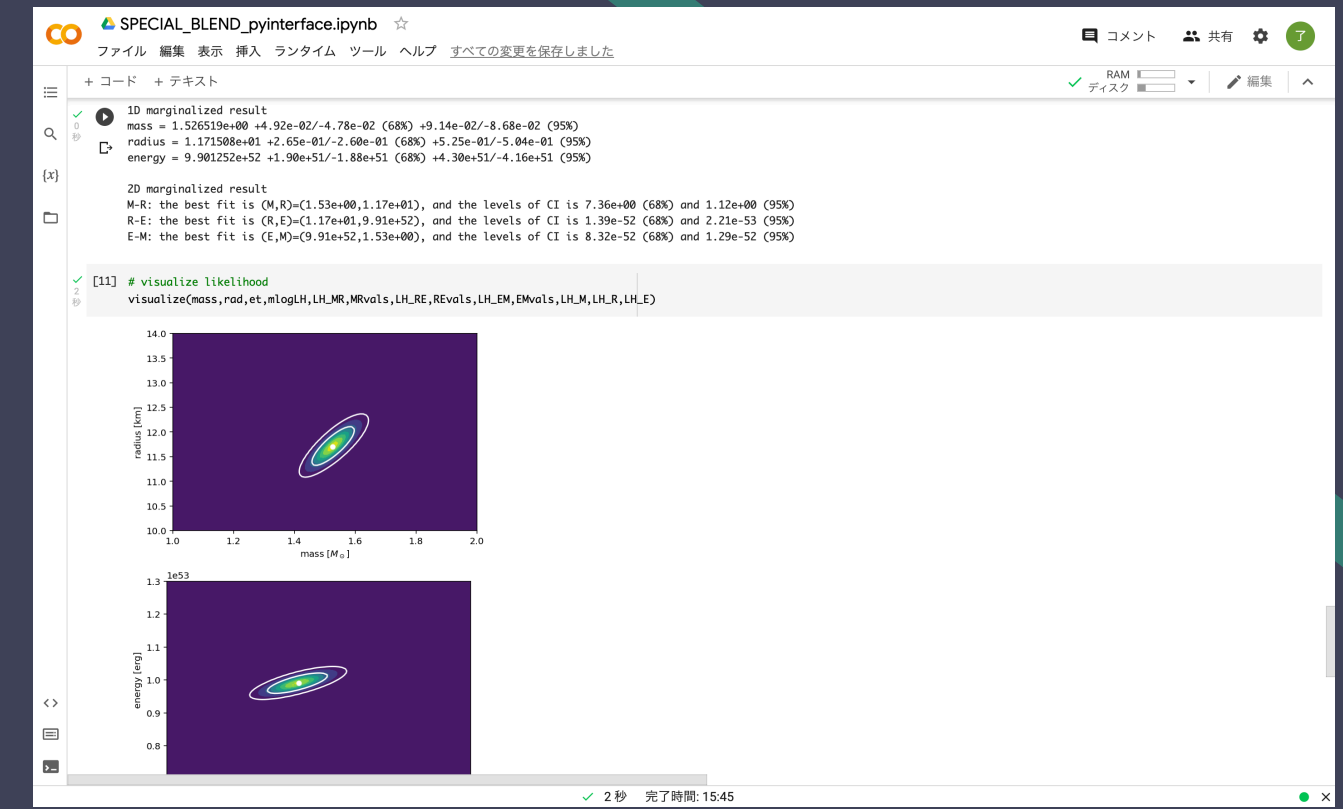
模擬観測データ  
(イベントエネルギー  
vs 時間)

2022年度(課題三年目)

- ・解析解に基づく超新星  
ニュートリノ観測データ  
解析手法開発



Suwa et al. (2022)

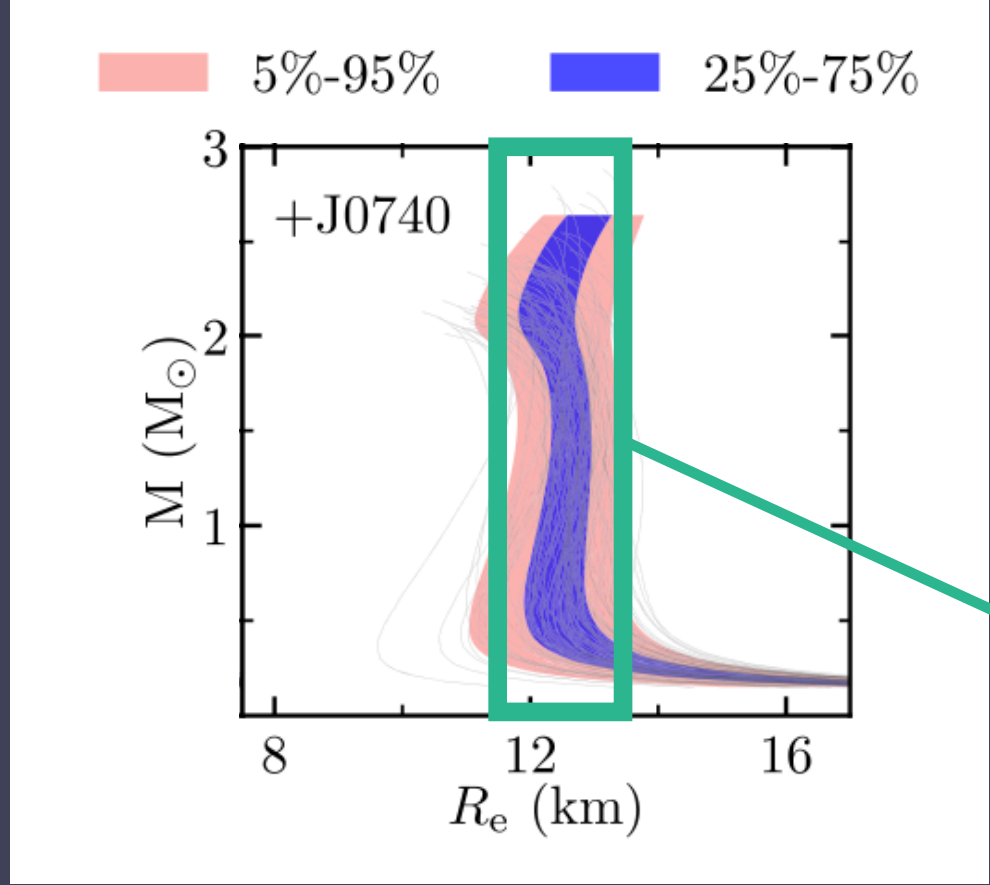


Harada et al. (2023)

2023年度(課題四年目)

- ・ベイズ推定に基づく解析コード  
SPECIAL BLEND公開

# 光度曲線解析モデル—超新星距離推定



Miller et al. (2021)

NICER等で中性子星  
半径は大体わかる  
→事前確率

## 超新星パラメータ

中性子星質量

中性子星半径

放射  
エネルギー

距離

解析解

データ解析

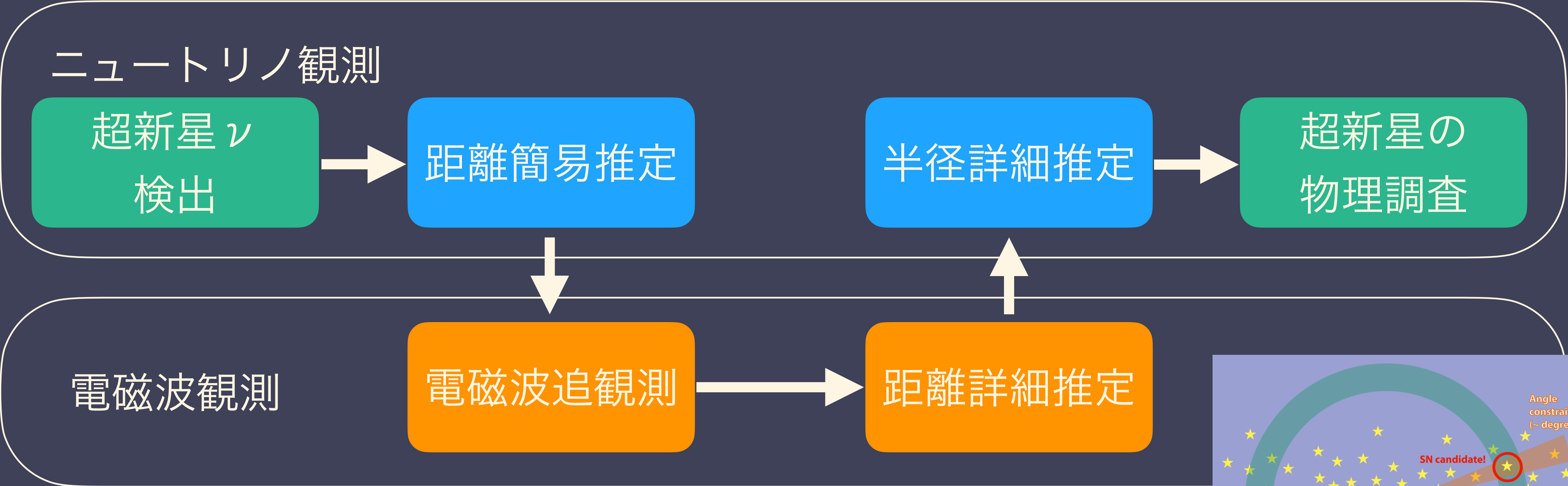
推定精度 ( $1\sigma$ )は  
質量：9%  
半径：6%  
エネルギー：15%  
距離：8%

ニュートリノ  
観測データ

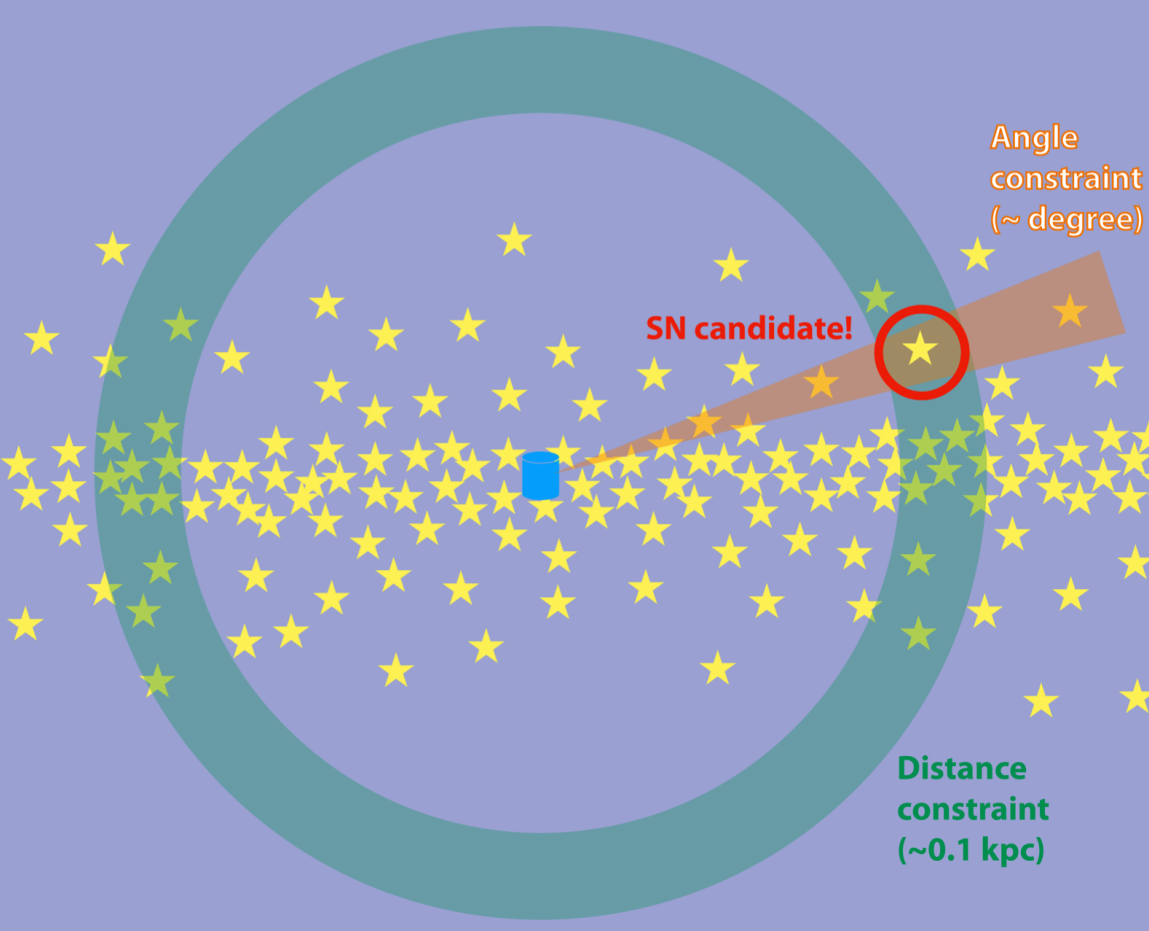
イベント  
レート

平均  
エネルギー

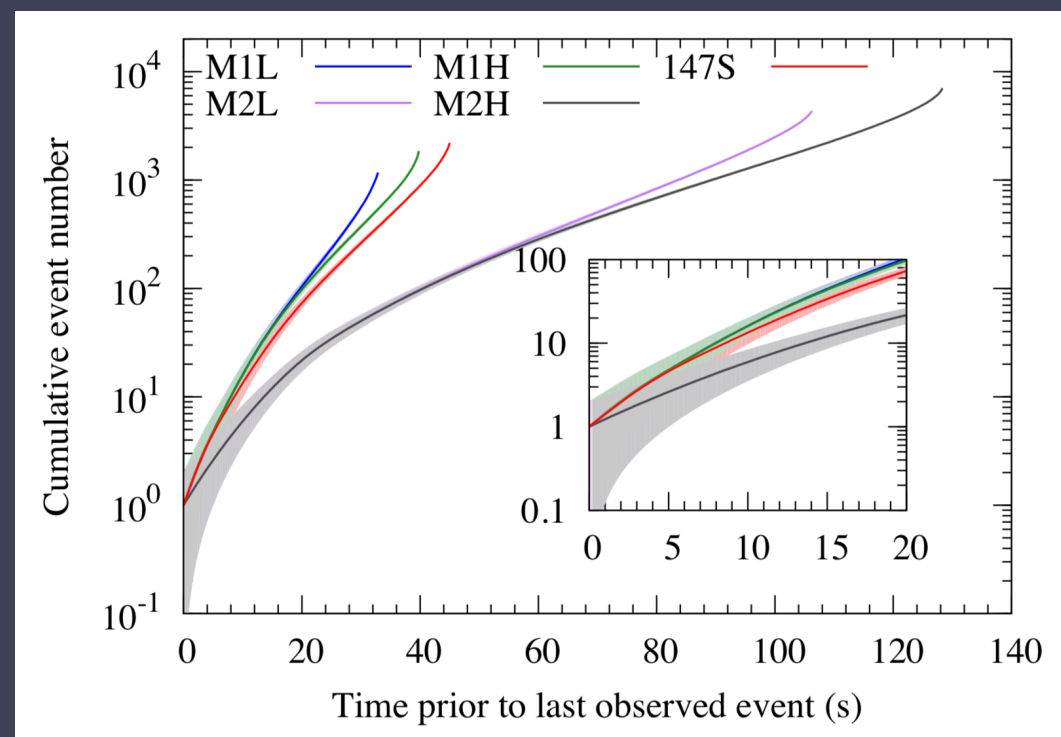
# 光度曲線解析モデル—超新星距離推定



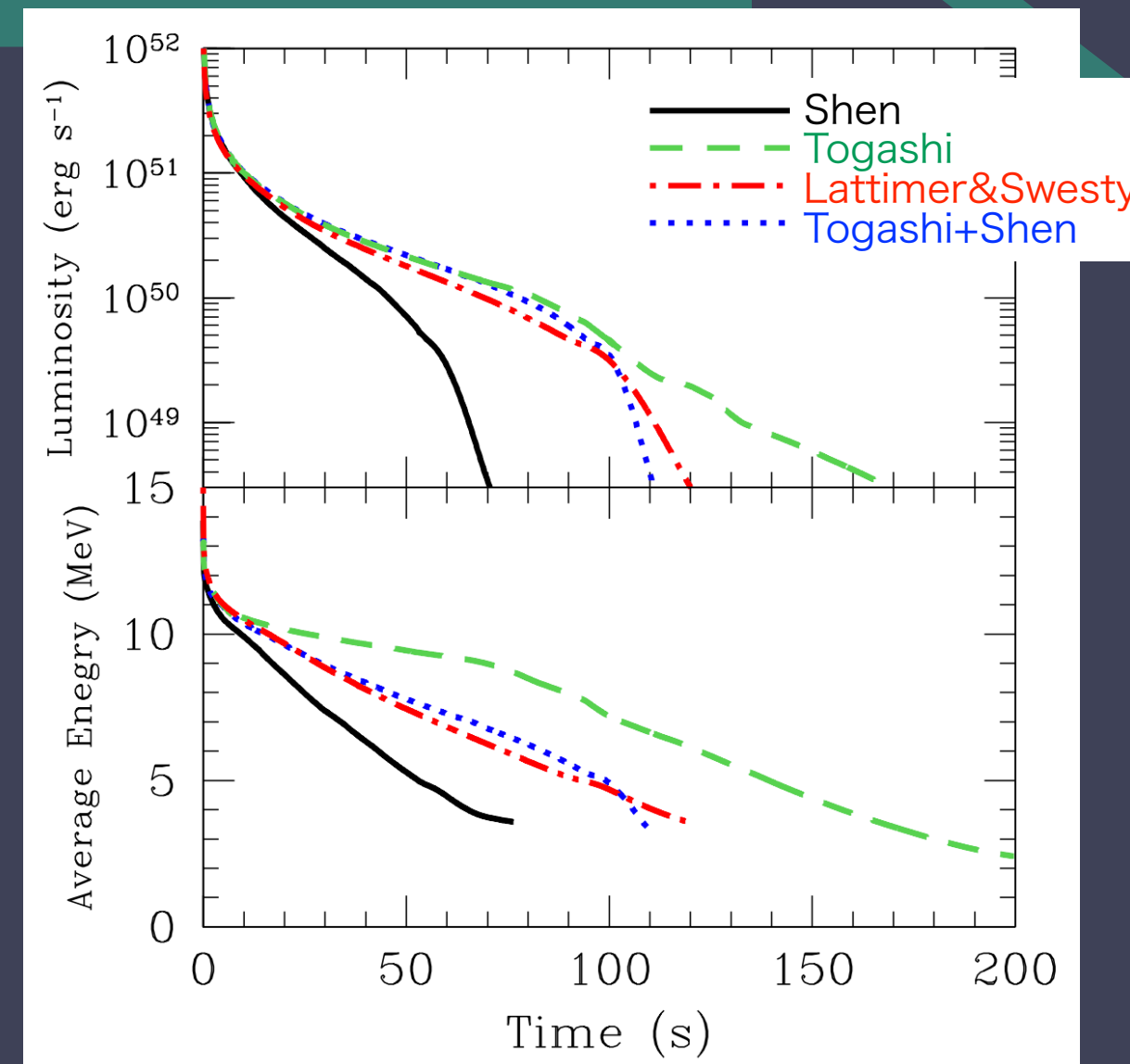
超新星の3次元的位置を大まかに推定  
→他のメッセンジャーによる詳細観測する手がかりに



# ニュートリノ信号逆時間解析



Suwa et al. (2019)



Nakazato et al. (2022)

2019年度(採択前)

- ・ニュートリノ信号の逆時間解析  
によるモデル弁別手法開発

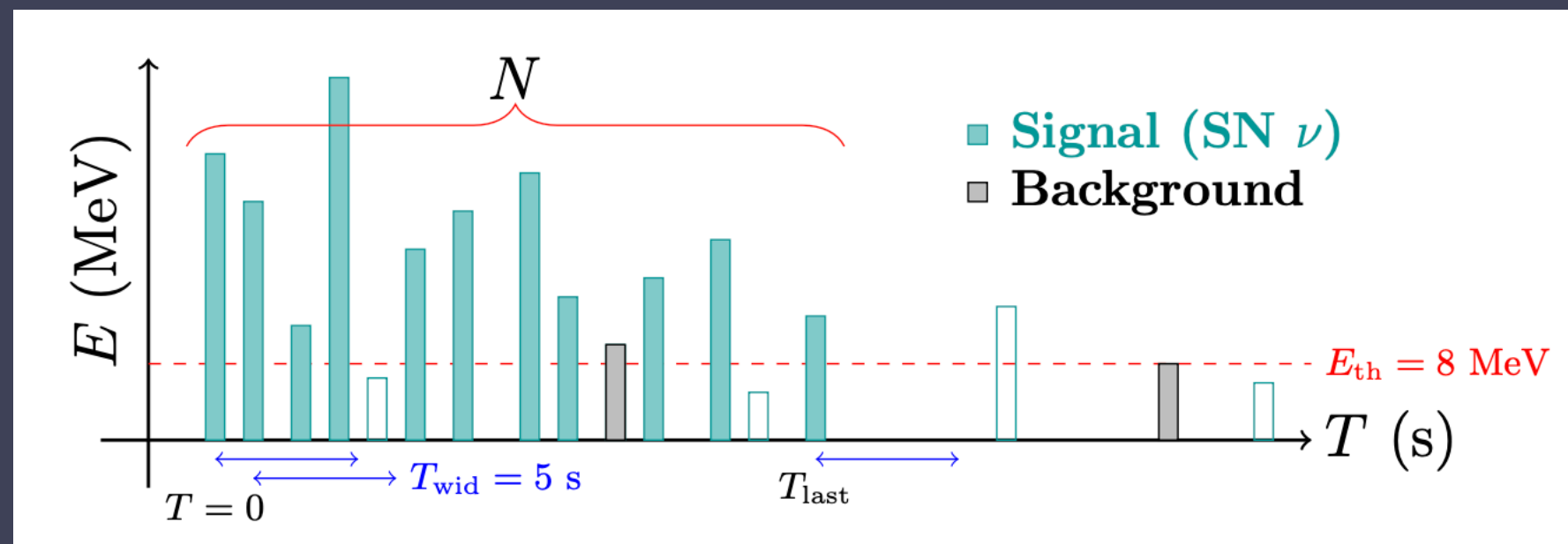
2021年度(課題二年目)

- ・ニュートリノ信号理論  
テンプレートの拡充



# 現実的データ解析

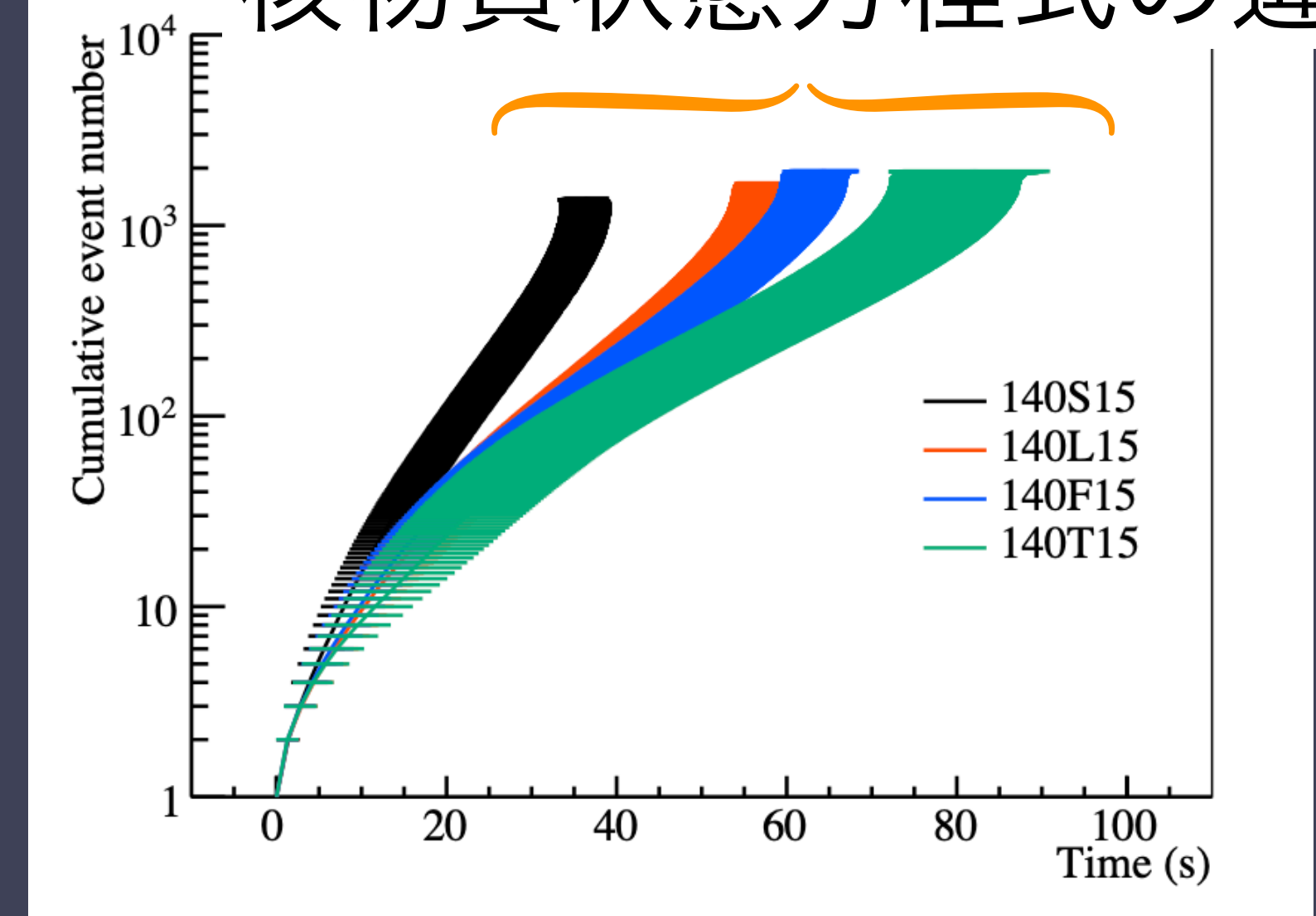
- ・「最後の1イベント」から遡って累積イベント数を見る
  - 理想：理論期待値的な最後の時刻
  - 現実：背景ノイズのコンタミ  
ポアソン統計によるゆらぎ



Nakanishi et al. in prep.

一定期間、高エネルギーのニュートリノ検出がなければそれが「最後の1イベント」

## 核物質状態方程式の違い

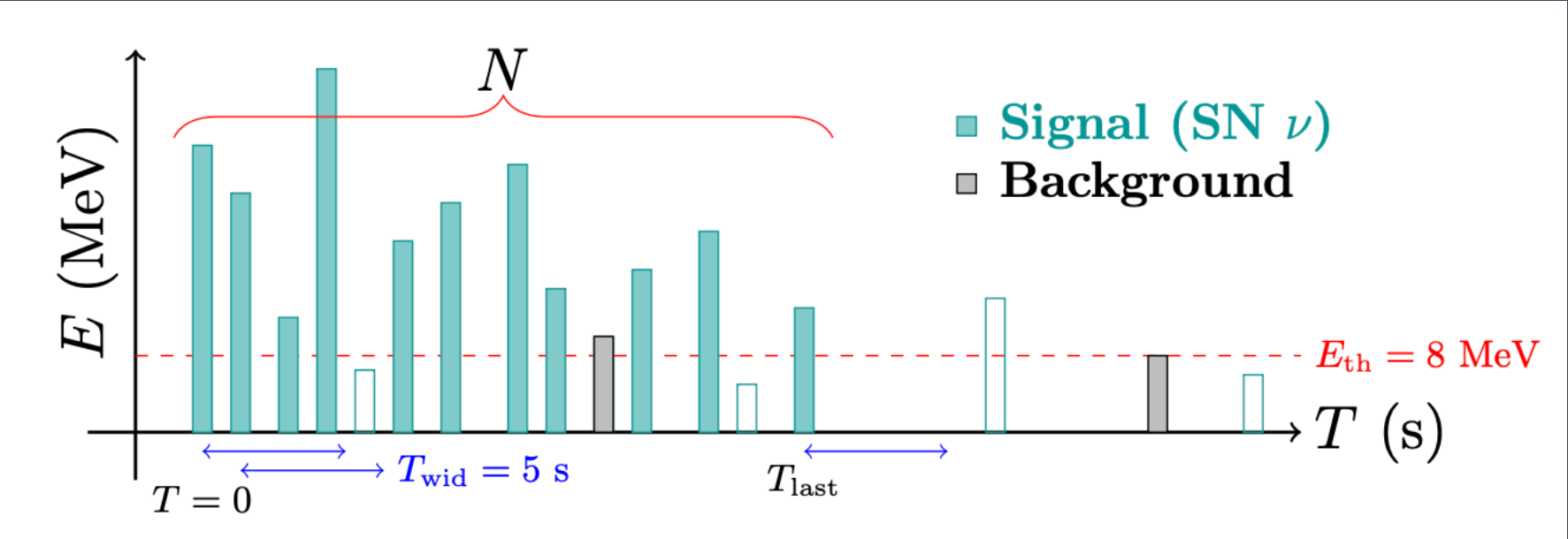


Nakanishi et al. in prep.

最後の1イベントから遡ると、  
エラーバンドが大きく、モデルを峻別しきれない

# 現実的データ解析

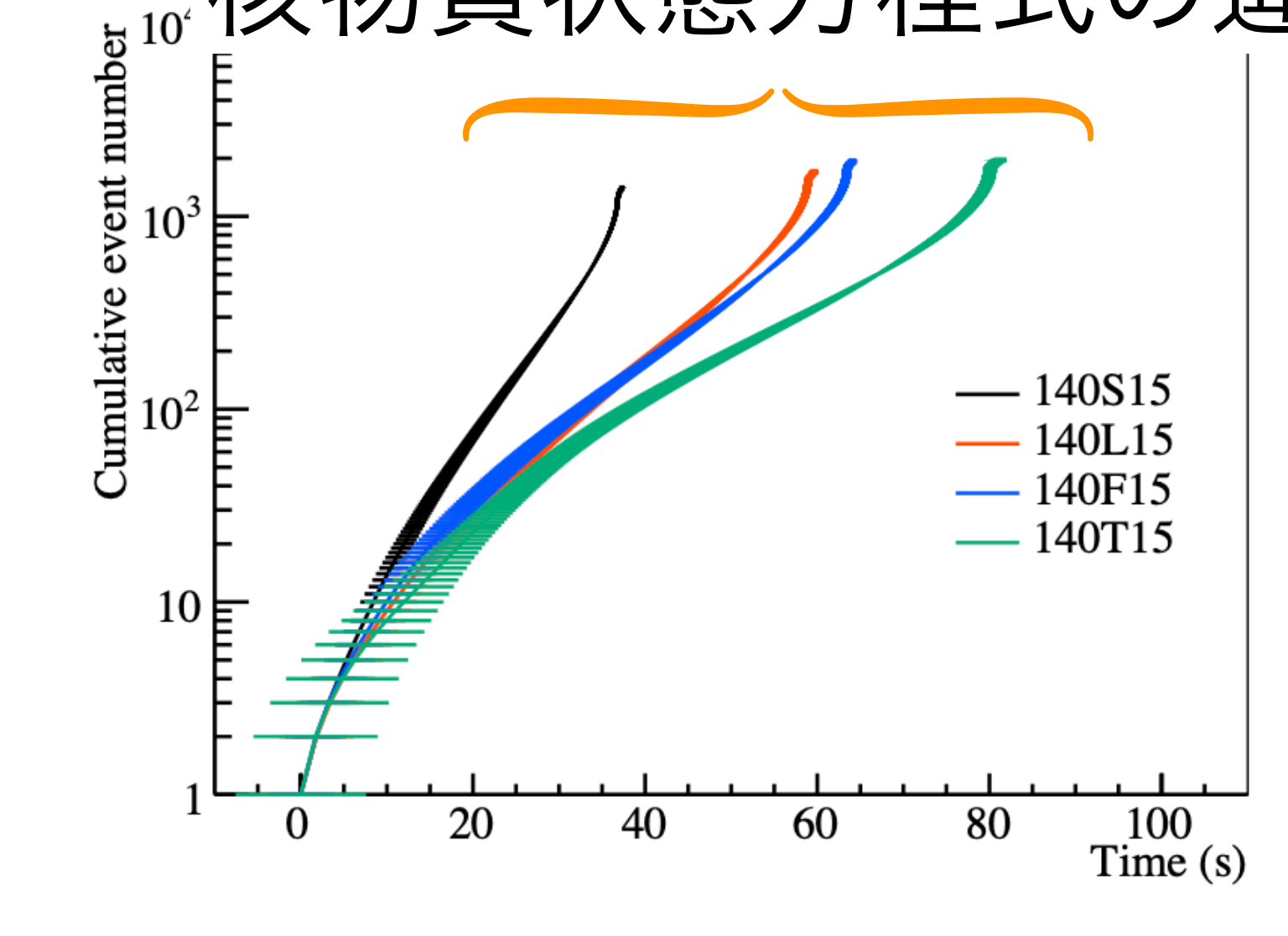
- ・「最後の1イベント」から遡って累積イベント数を見る
  - 理想：理論期待値的な最後の時刻
  - 現実：背景ノイズのコンタミ  
ポアソン統計によるゆらぎ



Nakanishi et al. in prep.

一定期間、高エネルギーのニュートリノ検出がなければそれが「最後の1イベント」

## 核物質状態方程式の違い



Nakanishi et al. in prep.

最後から500イベント目を起点にすれば、エラーバンドが狭まり、モデルを峻別しやすい

# まとめ

2019年度(課題開始前) Suwa et al., ApJ, **881**, 139 (2019): 逆時間解析手法の提案

2020年度(課題一年目) Suwa et al., PTEP, 013E01 (2021):  $\nu$  光度曲線解析解の開発

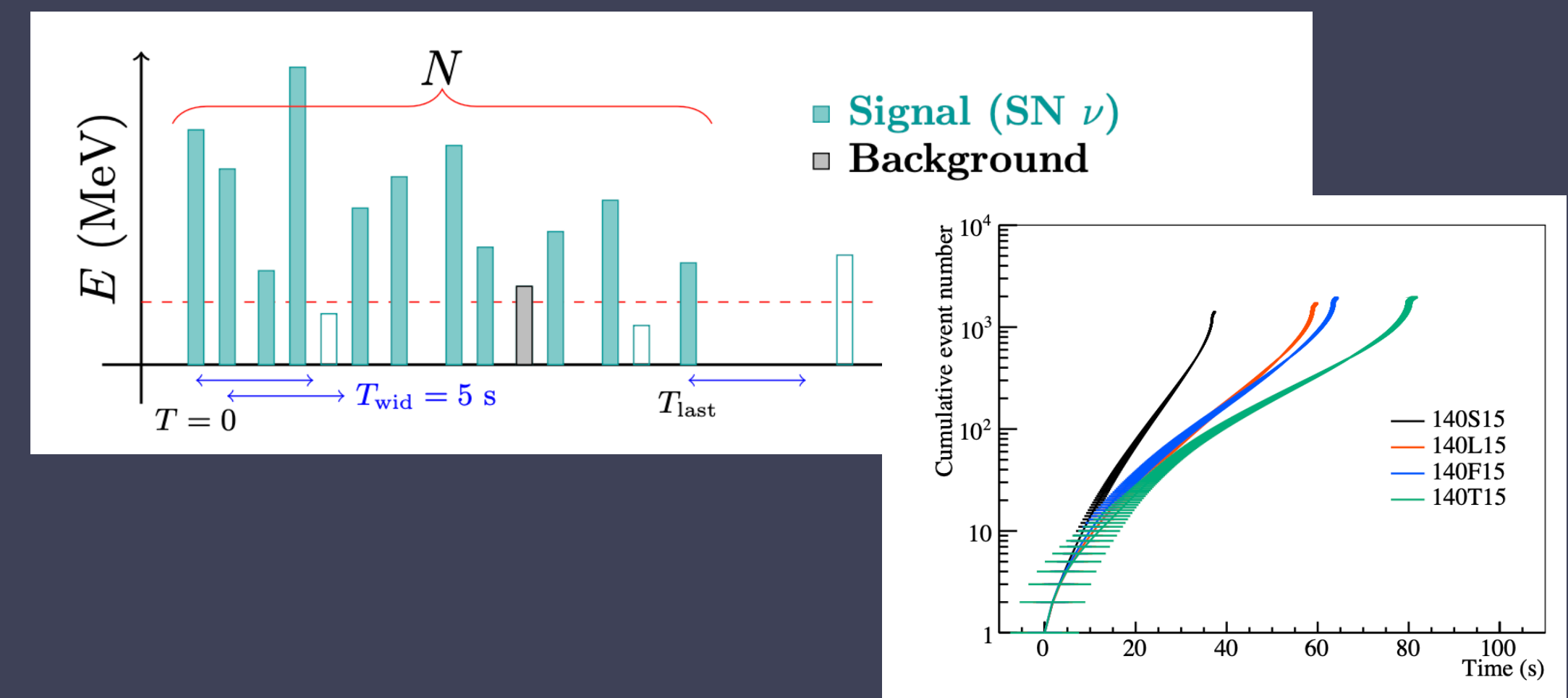
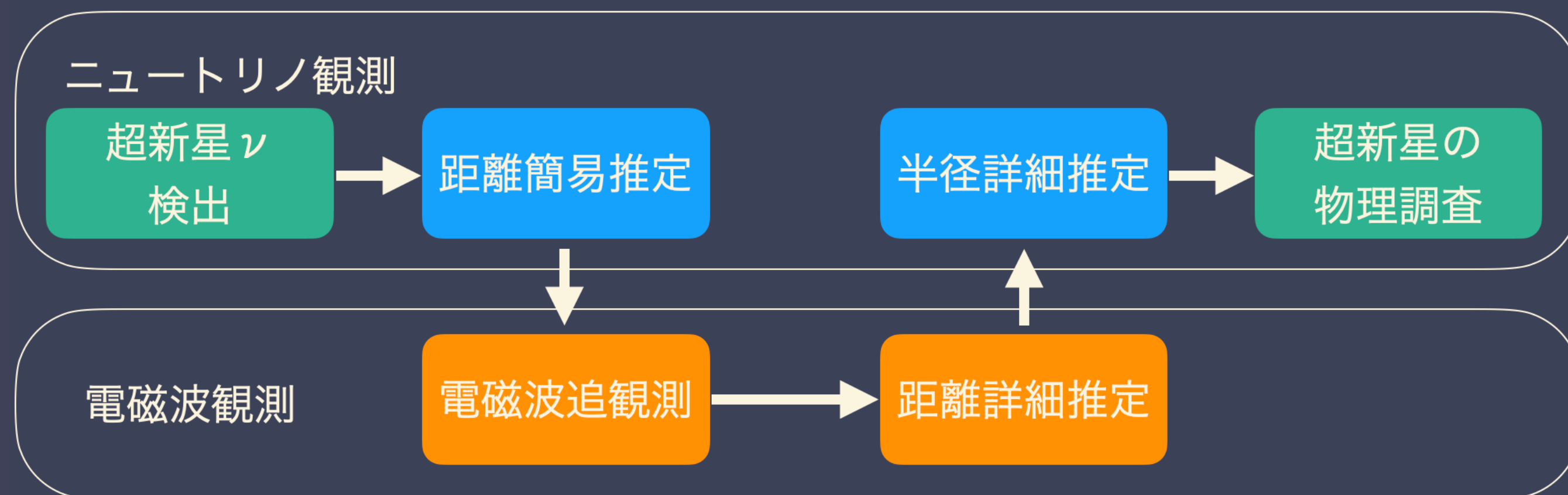
2021年度(課題二年目) Nakazato et al., ApJ, **925**, 98 (2022): 超新星 $\nu$ 信号データベースの開発

2022年度(課題三年目) Suwa et al., ApJ, **934**, 15 (2022): 超新星 $\nu$ 信号解析手法の開発(in-house簡易版)

2023年度(課題四年目) Harada et al., ApJ, **954**, 52 (2023): 超新星 $\nu$ 信号解析手法の開発(公開詳細版)

2024年度(課題五年目)

- ・超新星までの距離をニュートリノで推定する手法の開発 (Suwa et al., ApJ in press, arXiv:2404.18248 (2024))
- ・逆時間解析手法を現実的なデータに適用できるように洗練 (Nakanishi et al. in prep.)



Nakanishi et al. in prep.