

第16回 光・赤外線天文学大学間連携ワークショップ
ニュートリノをトリガーとする
X線による超新星「待ち受け観測」の実現

Hiroyuki Uchida (Kyoto University), on behalf of **AMANE**

**Yudai Suwa, Akihiro Suzuki (The University of Tokyo), Teruaki Enoto, Keiichi Maeda, Roger Wendell
(Kyoto University), Hiromasa Suzuki (University of Miyazaki), Yoshiaki Kanemaru (ISAS/JAXA),
Yusuke Koshio, Fumi Nakanishi (Okayama University), Motoyasu Ikeda, Yudai Suwa, Guillaume Pronost,
Hiroyuki Sekiya, Masayuki Nakahata, (The University of Tokyo)**

XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission)

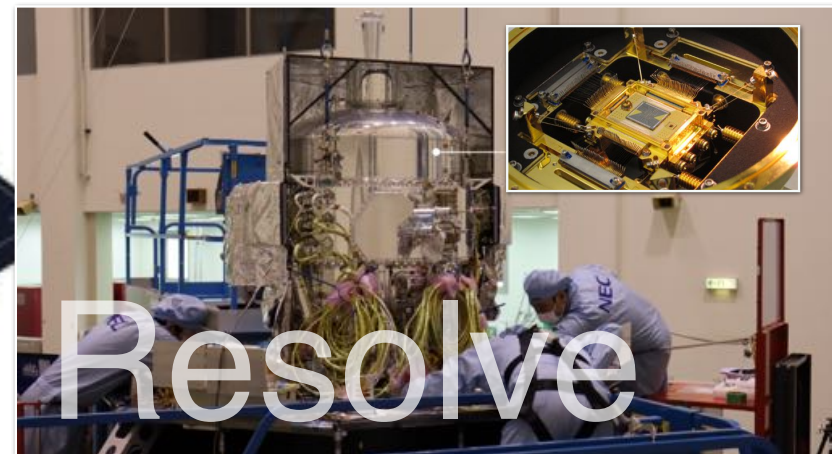
ひとみ衛星の事故 (2016) を受けて、
設計の大半を継承した衛星ミッション

X線を集める望遠鏡

X線望遠鏡(XMA)

JAXA 主導、NASA、
ESA の協力のもと日本
全国の大学・研究機関
が開発に参加

X線CCDカメラ (広視野撮像)



マイクロカロリメータ (精密X線分光)

X線CCDカメラ(Xtend) → 史上最高の広視野撮像

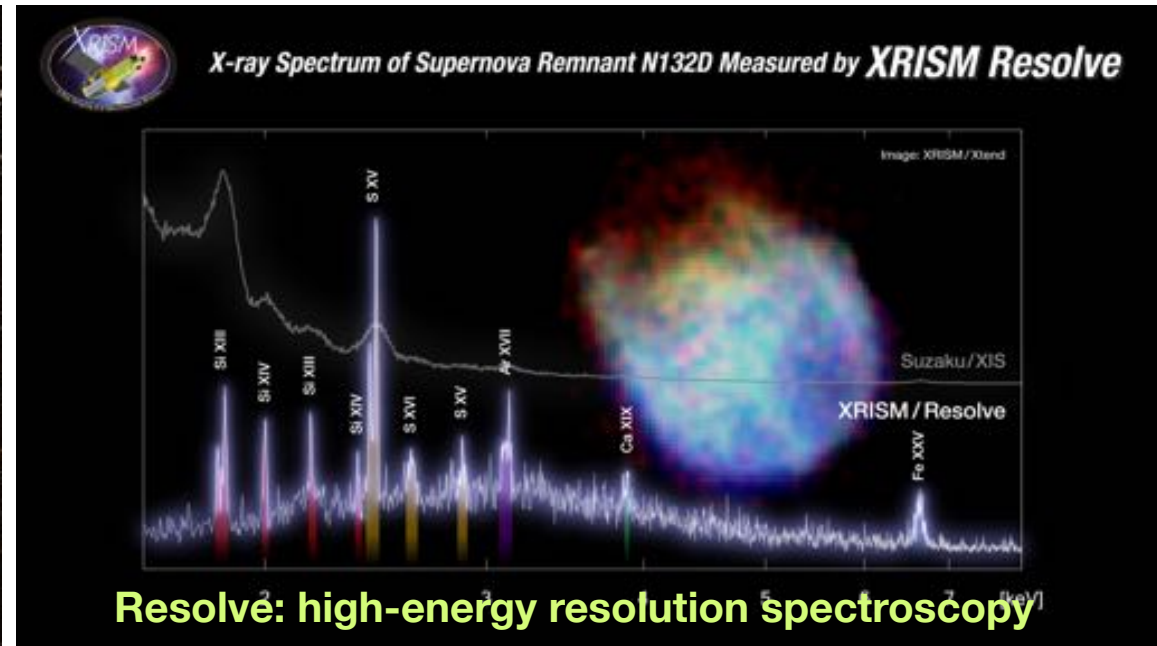
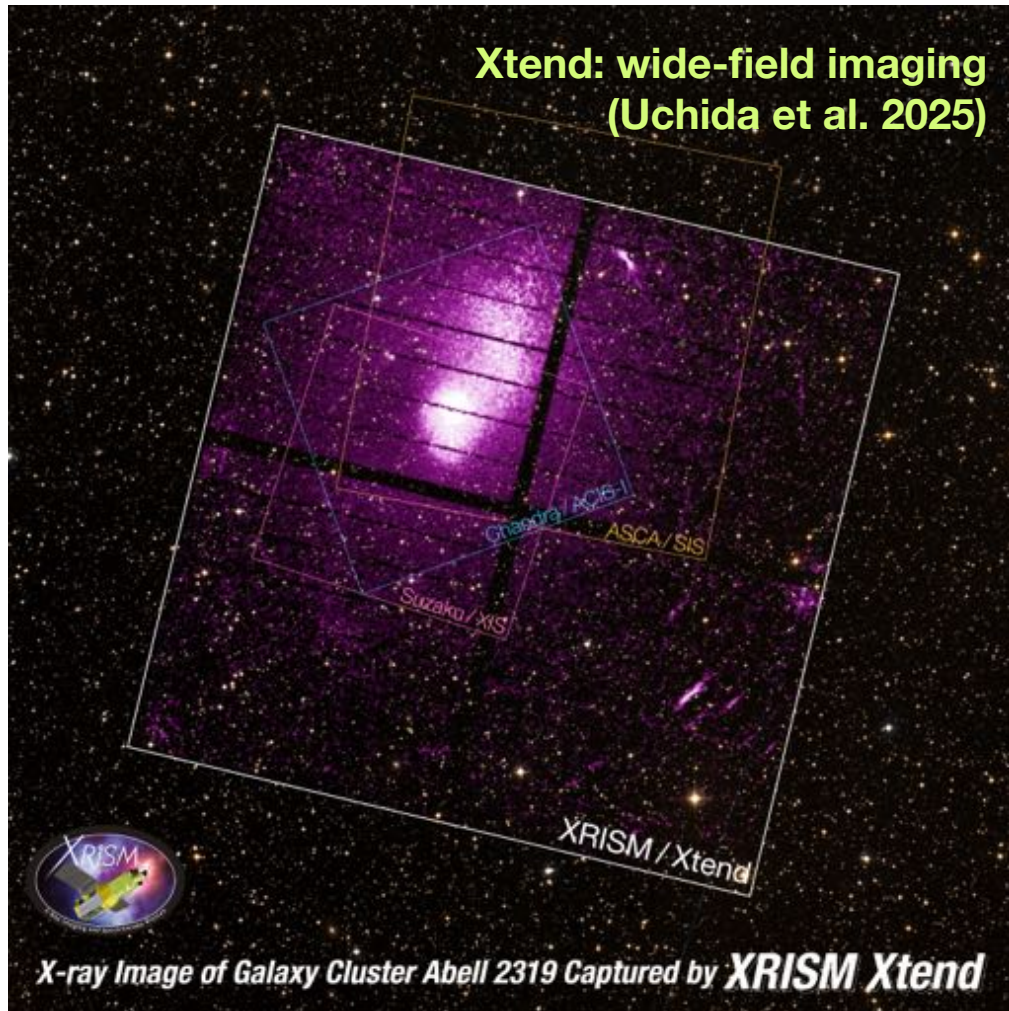
マイクロカロリメータ(Resolve) → 史上最高のエネルギー分解能

X線をとらえる検出器

ひとみの雪辱を果たし、2023年9月 打ち上げ成功！
2025年10月 XRISM 国際会議@京都 (LOC で疲弊中)

XRISM's First Light (2024.01.05): Xtend & Resolve

OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23

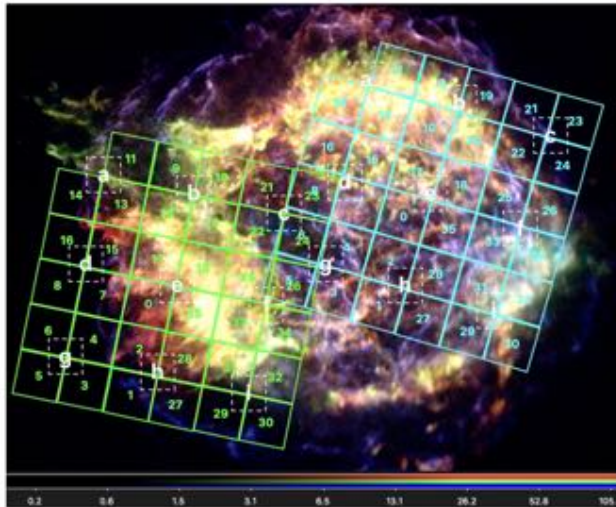


Since January 2024, XRISM has been in regular operation (nominal observation). Both Resolve and Xtend have achieved the planned high energy resolution and large effective area, respectively.

XRISM による超新星残骸 Cas A の観測

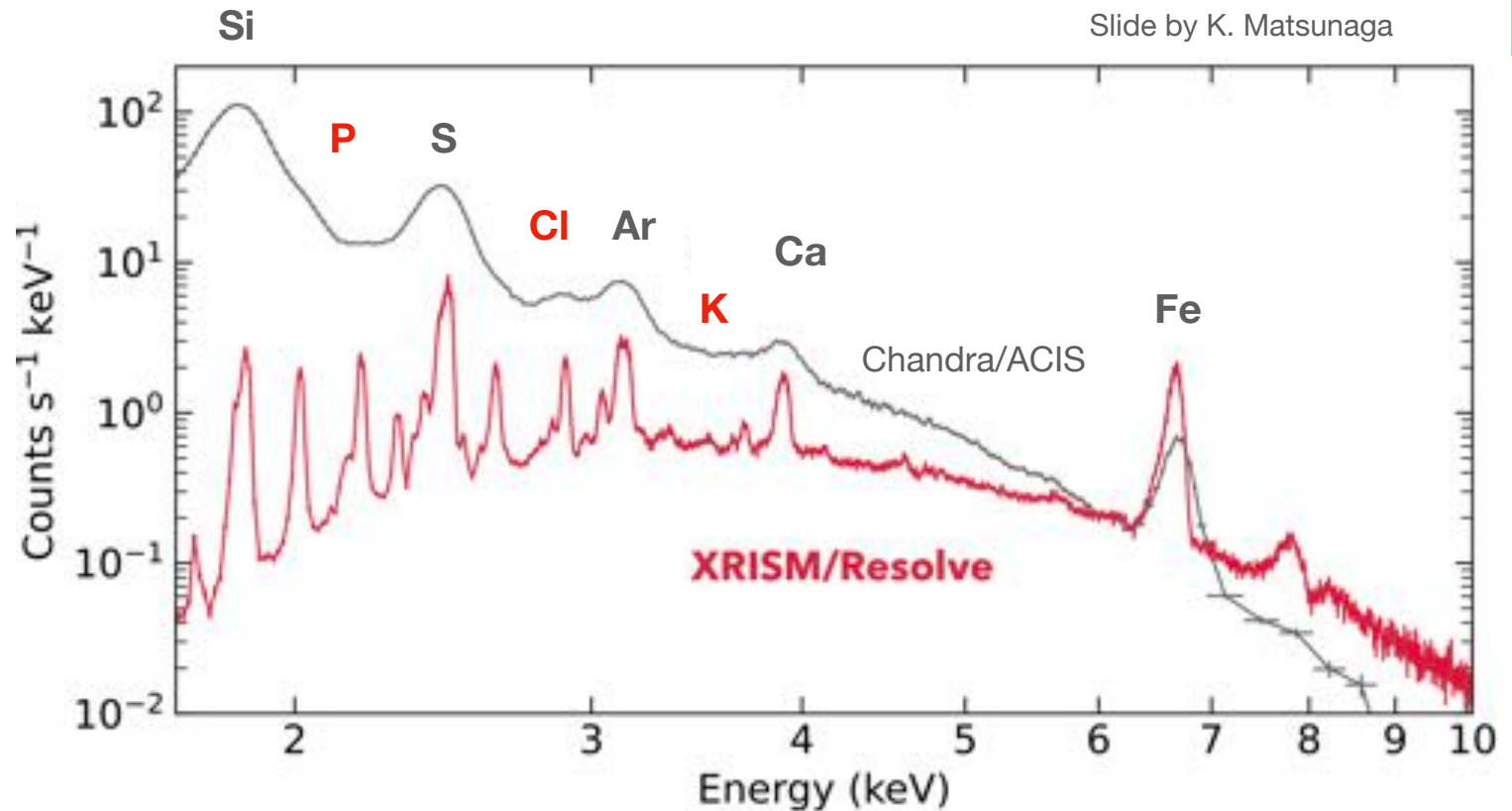
OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23

重力崩壊型超新星残骸
Cassiopeia A (Cas A)



Plucinsky et al. 2025

Slide by K. Matsunaga



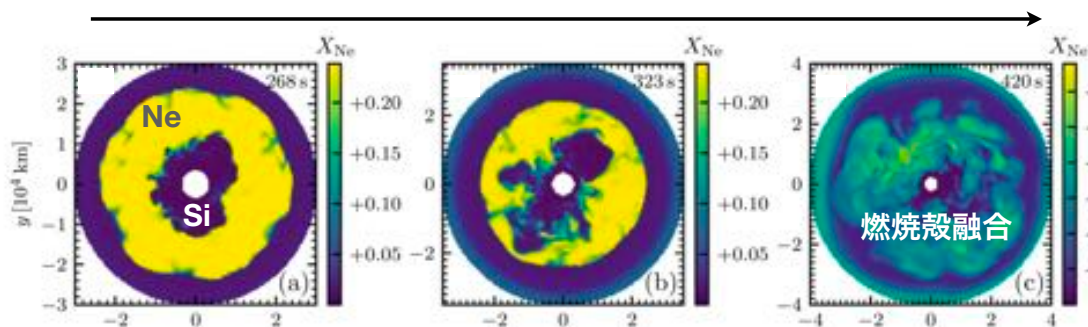
XRISM で残骸から生命必須元素を初検出 (T. Sato, K. Matsunaga, HU, accepted to Nature Astronomy)

星の死の直前に内部構造が破壊される? (明治大&京大からプレスリリース; 2025.09)

従来の描像を覆す過剰なカリウム生成

教科書的な元素の階層構造（たまねぎ構造）が爆発前に壊れている？ = **shell merger**

爆発直前、外層と内層の燃焼殻が融合



Yadav et al. 2020

内層で合成したカリウムが外層に拡散

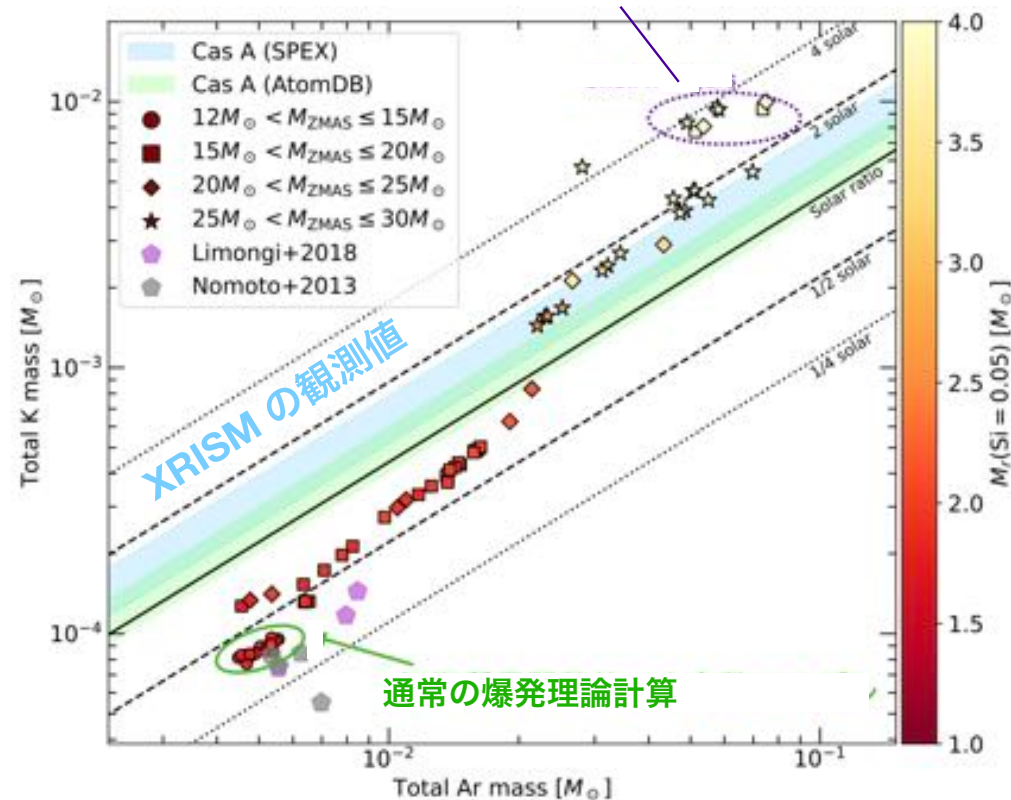
黄身と白身が勝手に混ざるイメージ



教科書的な階層構造では説明不可能



shell merger を考慮した理論計算



爆発前の数時間に shell merger が起きると Cl や K は大量生成。

星は重力崩壊の前に極めて不安定な状態に陥るかもしれない。

超新星爆発の直前、星は不安定になる？

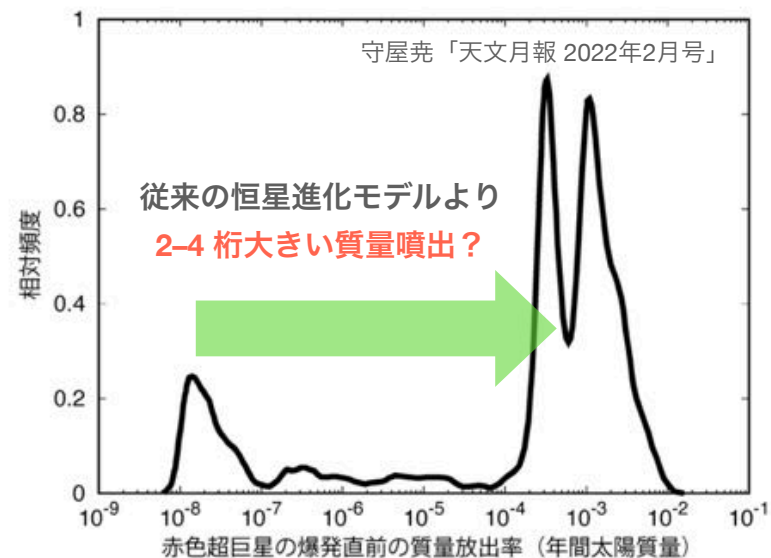
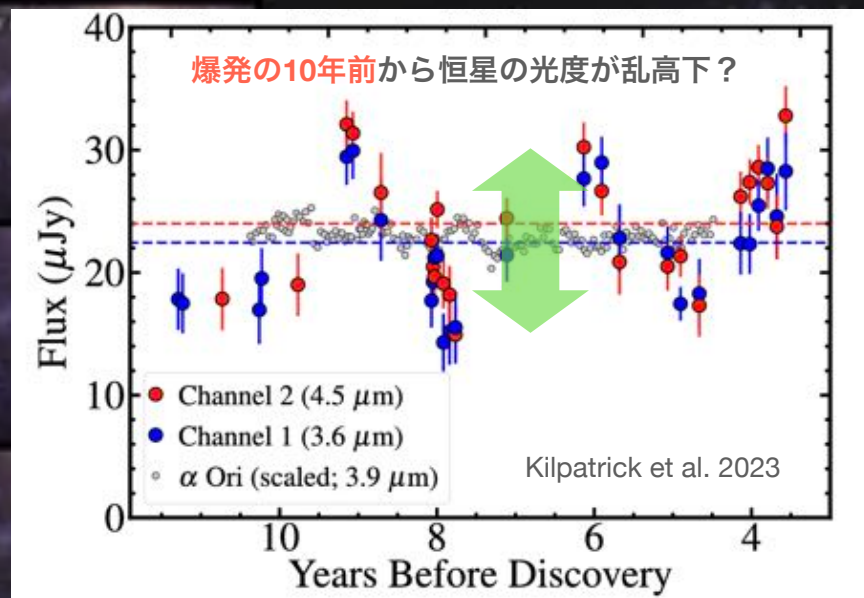


図6 観測された超新星爆発の爆発直後の明るさの変化と数値シミュレーションの比較から得られた赤色超巨星の爆発前数十年間の質量放出率分布. 8割以上の赤色超巨星が爆発直前に年間 10^{-4} 太陽質量以上の質量放出率を持っていることがわかります.

星は爆発の数10年前から不安定に？大規模な質量噴出？恒星進化末期の真の描像は？

超新星爆発しそうな星を四六時中監視

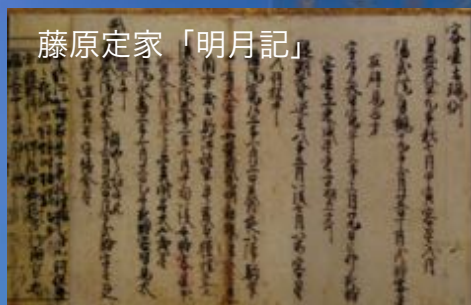
OISTER ワークショップ 2025

2025.10.23

古文書を紐解くと、**昼間でも明るく輝く超新星**が記録されている。次に備えて昼夜関係なく監視しておきたい。

西暦1054年午後の京都の空

藤原定家「明月記」



SN 1054 (後のかに星雲)

ベテルギウスが爆発すれば
さらに100倍明るく見える



\$ 500 で買える高性能望遠鏡

Intelligent Workflow

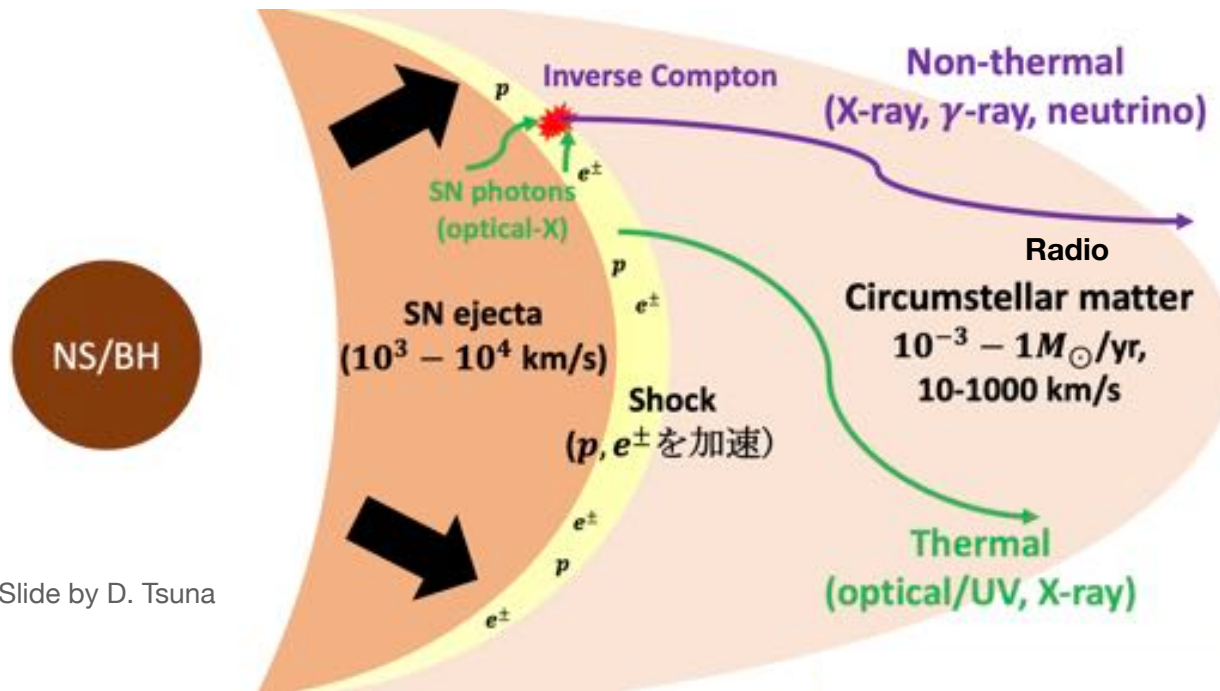
Seestar is a compact body that integrates a telescope, electrical focuser, astronomical camera, ASI AIR, altazimuth mount, dew heater, and filter wheel, all weighing only 2.5kg.



アマチュア変光星監視チームを参考に、安価に監視網を構築 w/ 池田さん (ICRR)、南野さん (横浜国立大) ほか
測光のプロを求む。協力いただける方、募集中。

超新星爆発直後の多波長観測

OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23



Slide by D. Tsuna

shock breakout (SBO)

親星・星周構造

→ UV/X-ray

Shock-powered SNe

星周構造：外層：爆発直前

→ radio/optical/UV/X-ray

^{56}Ni -powered SNe

イジェクタ構造：内層：爆発直後

→ X-ray/ γ -ray/neutrino

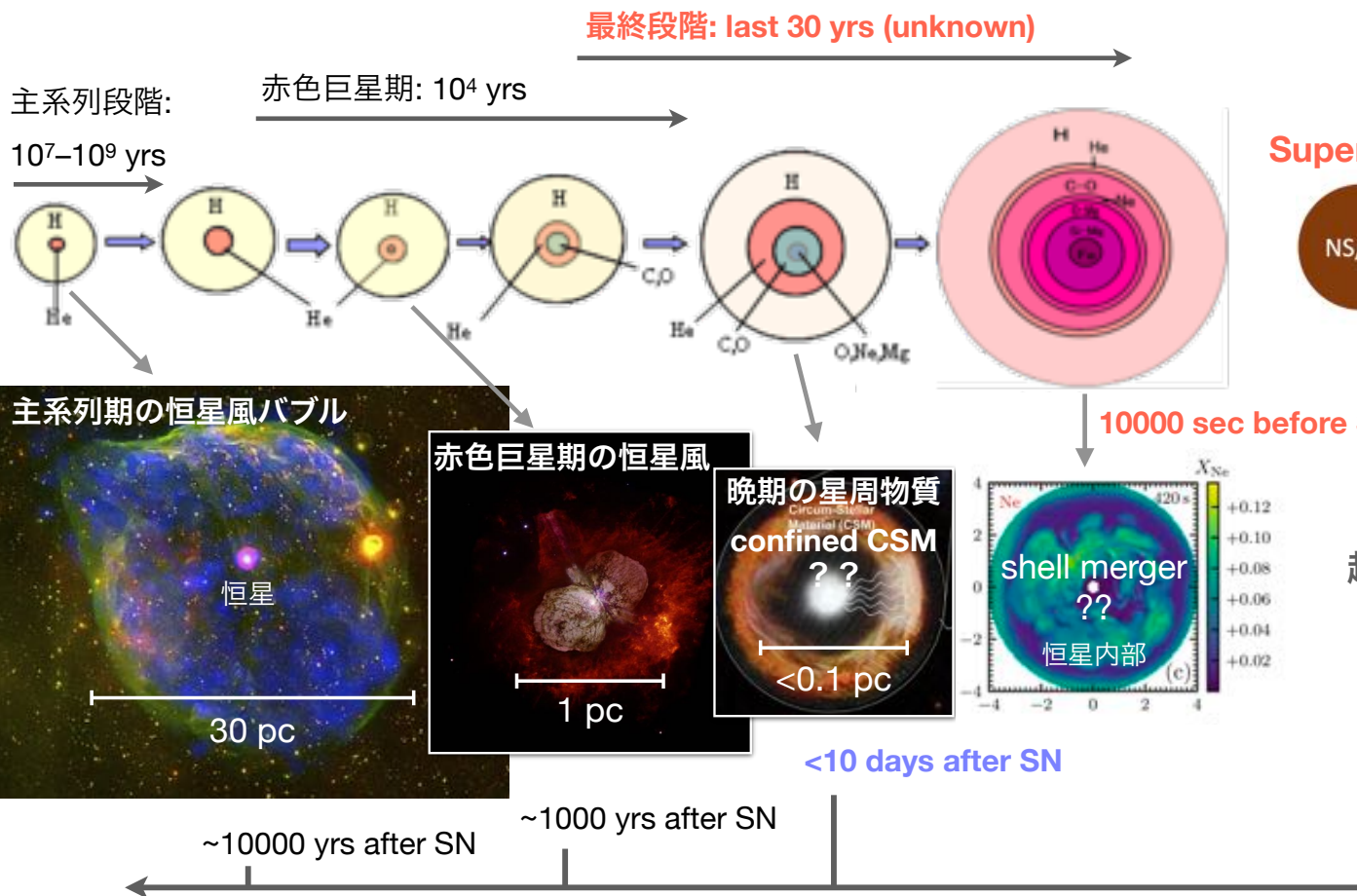
Accretion-powered SNe

恒星質量 BH への降着・形成過程

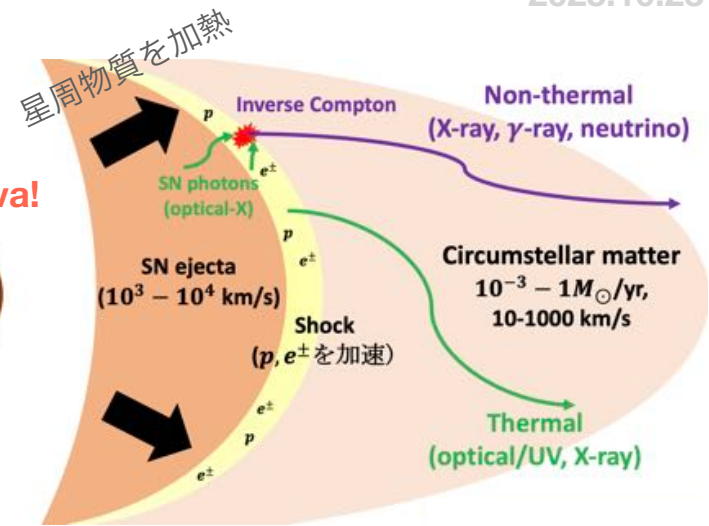
→ optical/UV/X-ray

ショックブレイクアウトから後期放射まで、多様な超新星爆発の多様な発光現象を追いかけてみたい。
爆発直後から UV・X線で超新星を追跡観測したい。

観測上の最後の砦：星の死の瞬間



Supernova!



超新星の衝撃波が星周物質を加熱。X線で輝く。

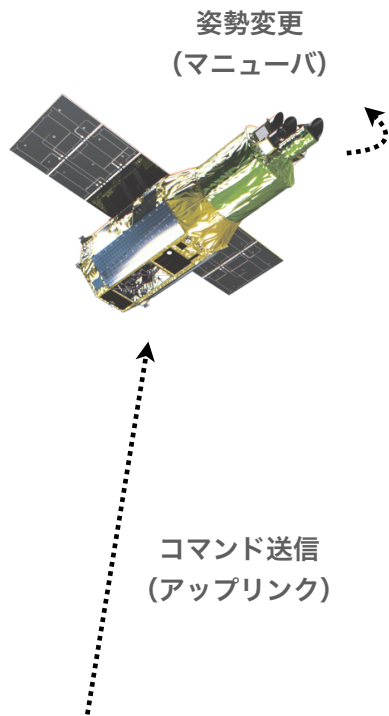
X線ライトカーブ=質量噴出の履歴

理論家と放射モデル構築中
(Matsuoka, Narita, HU et al., in prep.)

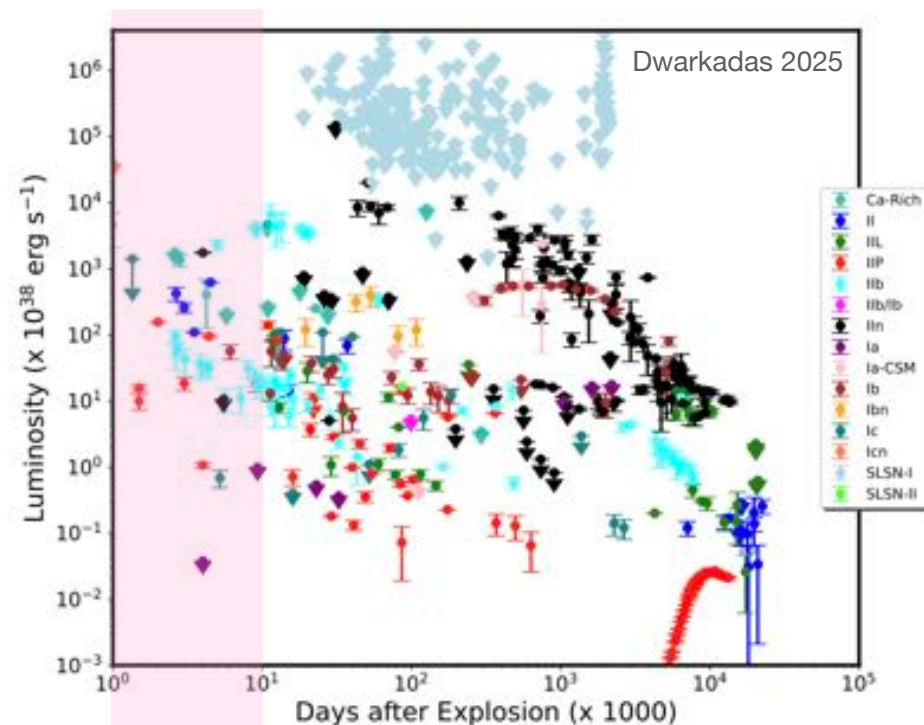
超新星爆発の 30 yr 前からの恒星の活動史 = 爆発から数日以内のX線観測が鍵
今の衛星だと最速でも数日かかる。突発天体を観測する体制の強化がこれからの課題。

超新星の即時/即応X線観測の難しさ

超新星の発見はアマチュア天文家の貢献が大きい。爆発後の可視光の光度上昇を「偶然」捉える。



過去に観測された超新星のX線光度変動



ここが大事 — 光度変動？
— 輝線構造？



爆発から10日以内のX線観測はまだ希少。高統計観測・輝線分光したい。XRISMで観測できないか？ 10/23



XRISM ToO 枠による超新星の即応観測

XRISM の "Generic ToO" という枠組みを使う。



XRISM X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission For Researchers

Home > For Proposers > ToO Requests

Home

News & Announcements

About XRISM

For Proposers

For Observers

Analysis

Helpdesk

Useful links

ToO Requests

ToO request form

Click to Email -- for pre-approved ToO (targets approved as a Guest Observation cycle-1 target.)

Click to Email -- for generic ToO (not approved as GO target. The data will be open to the public.)

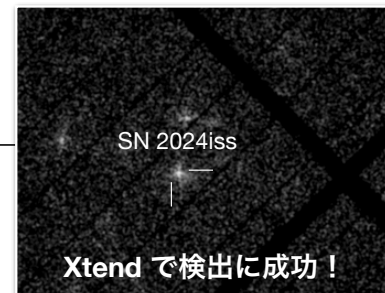
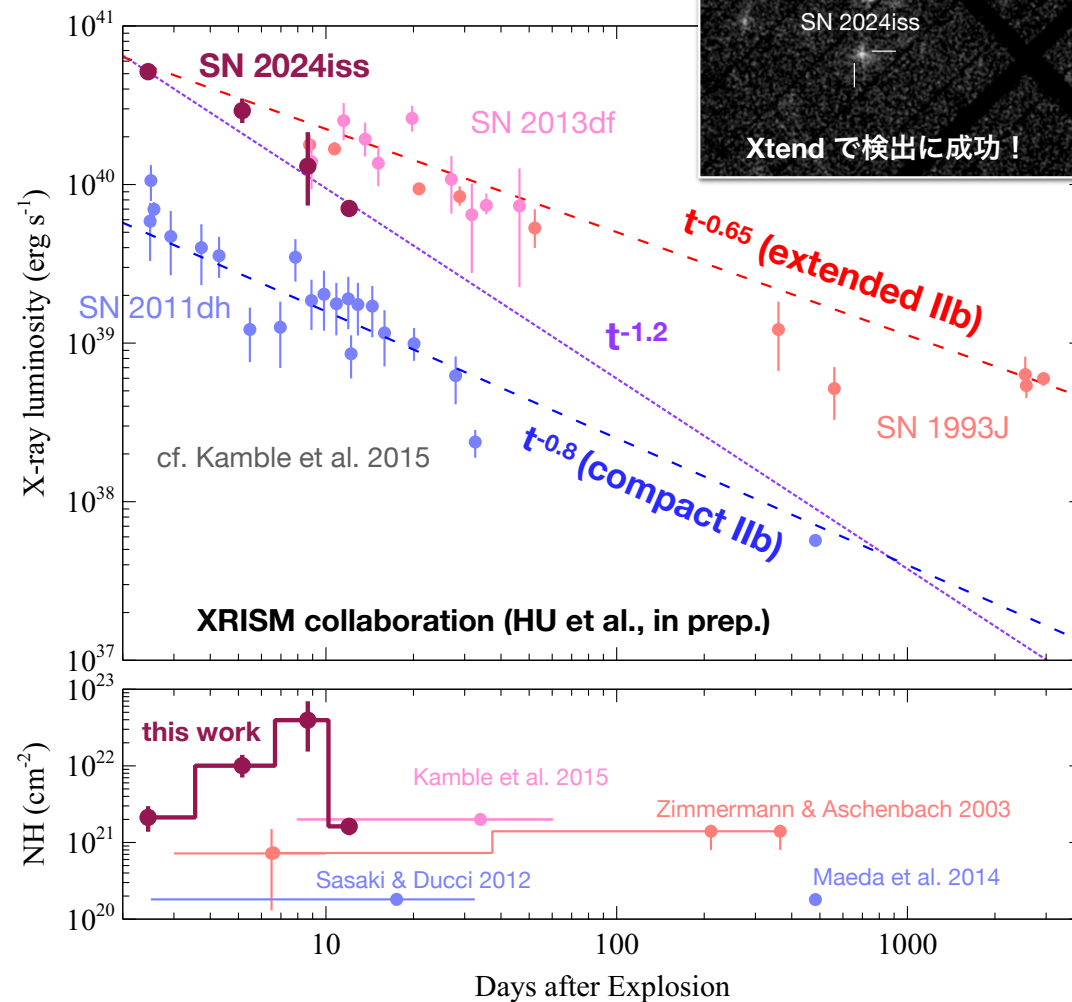
Targets of the generic ToO program are expected to be "historic events that should not be overlooked". The other ones, i.e., "Events expected to occur once or more every few years", may be regarded as a possible reserved ToO observation proposal for following Cycles of the guest observation program. Refer to the [list of approved generic ToO](#).

You can request of a pre-approved ToO or a generic ToO observation sending an e-mail to the XRISM operational team. If the mailer does not open after clicking on "Click to Email", please send an e-mail to "xrim-too-trigger@ml.isas.jaxa.jp" with the following information.

SN 観測キャンペーン@京大を開始

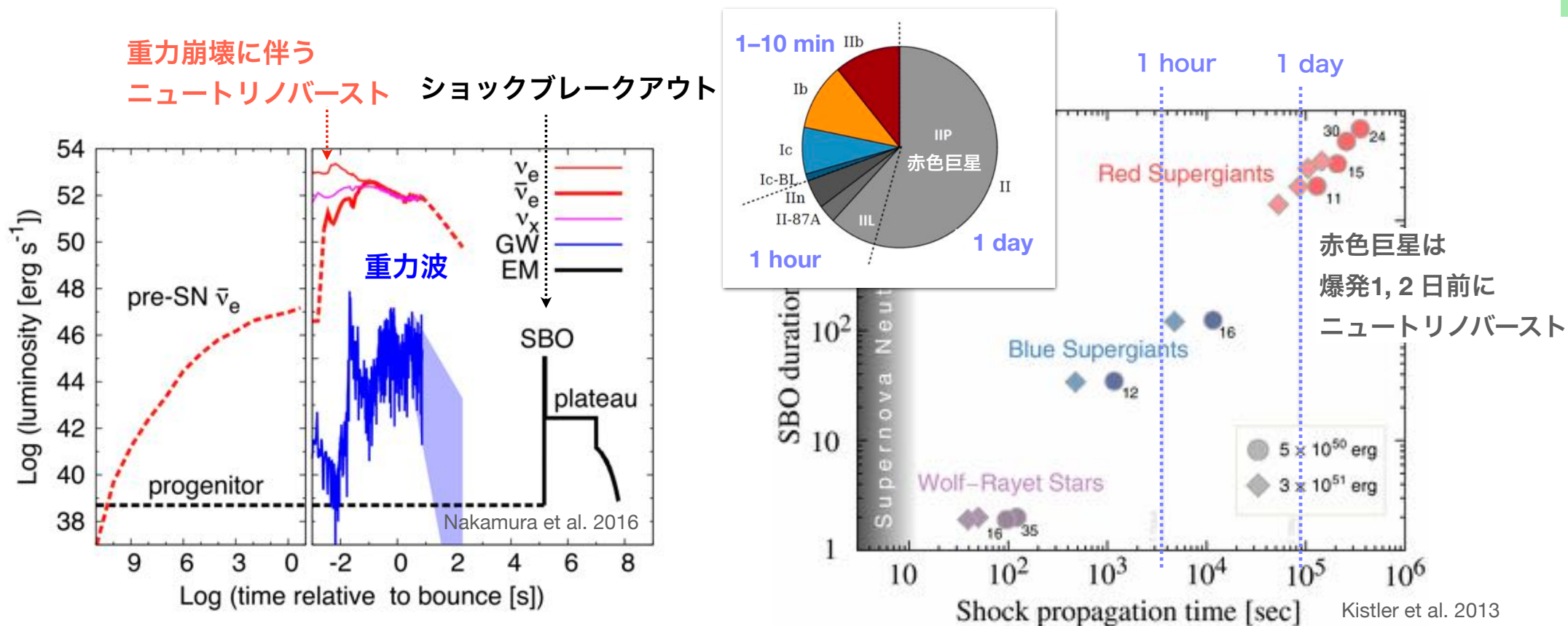
- SN 2023ixf, 2023.5.19 → 爆発前観測 (Matsunaga, HU et al. 2023)
- SN 2024ggi, 2024.4.11 → 爆発前観測 (Komura, HU et al. 2024)
- SN 2024iss, 2024.5.12 → **XRISM ToO (Target of Opportunity)**

SN ToO の初動が遅れた (ATel から 1 week): 要改善
リクエストから1.5日で観測開始: 実はここも短縮可能



ニュートリノ連携による待ち受け観測

重力崩壊の直後にニュートリノバースト発生 → 衝撃波が恒星表面に出てくるまで猶予がある（外層のサイズによる）。



ニュートリノ = 崩壊の時刻・熱の情報、重力波 = 星の回転・密度構造、X線 = 爆発時刻・星周環境

ニュートリノアラートを受け取り、爆発前から待機観測を行う：到来方向の**広視野サーベイ**が鍵。 12/23

XRISM/Xtend の開発 (2017-2023)

OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23

XRISM Xtend の「熱・構造設計」責任者兼、ハウジング、X線発生装置、光漏れ、ベントパイプ、CCD pkg & FPC、広報。

サイエンス検討では "Galactic Diffuse Sources, SN ToO" チームのコアメンバー。



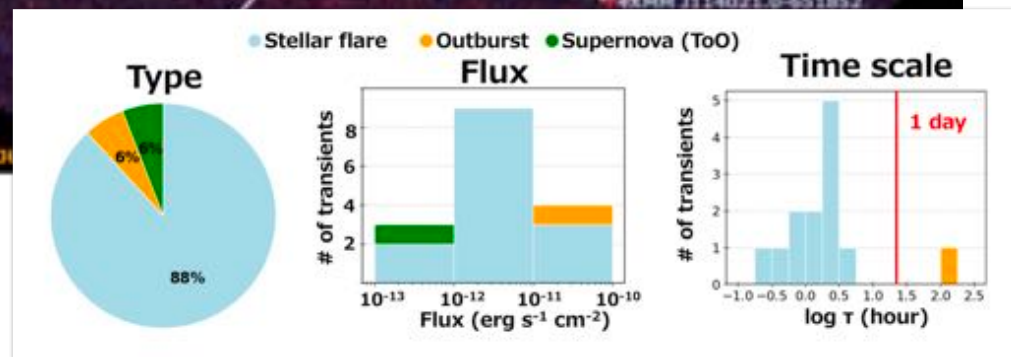
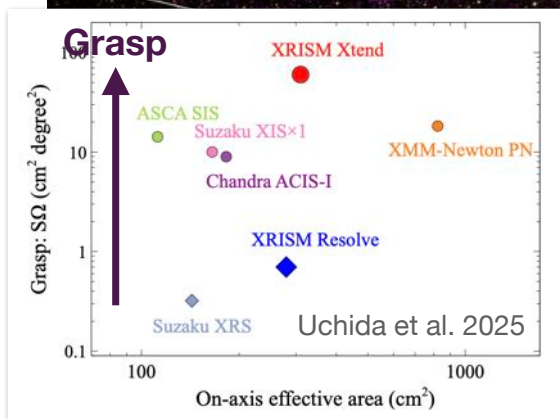
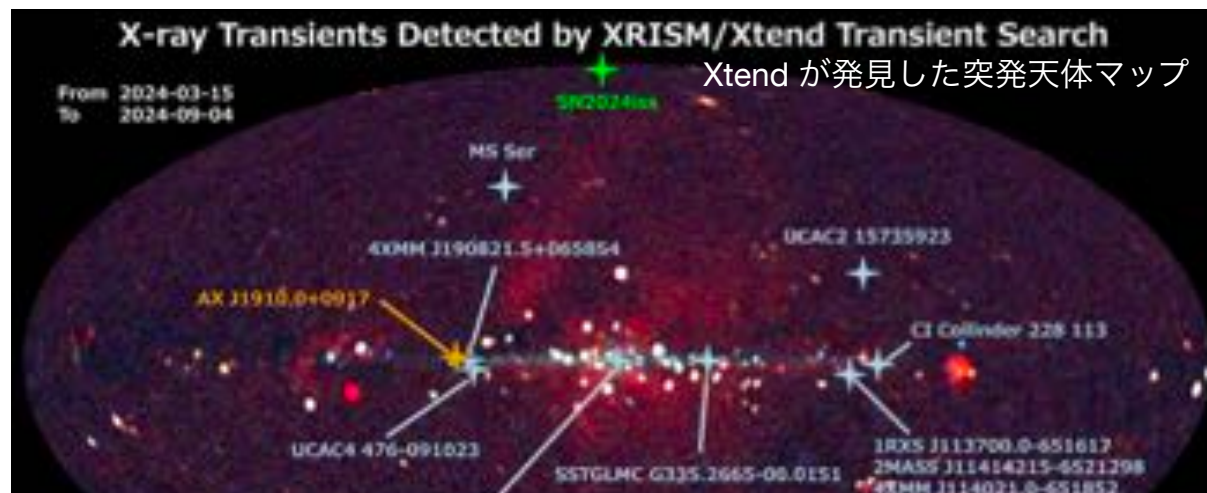
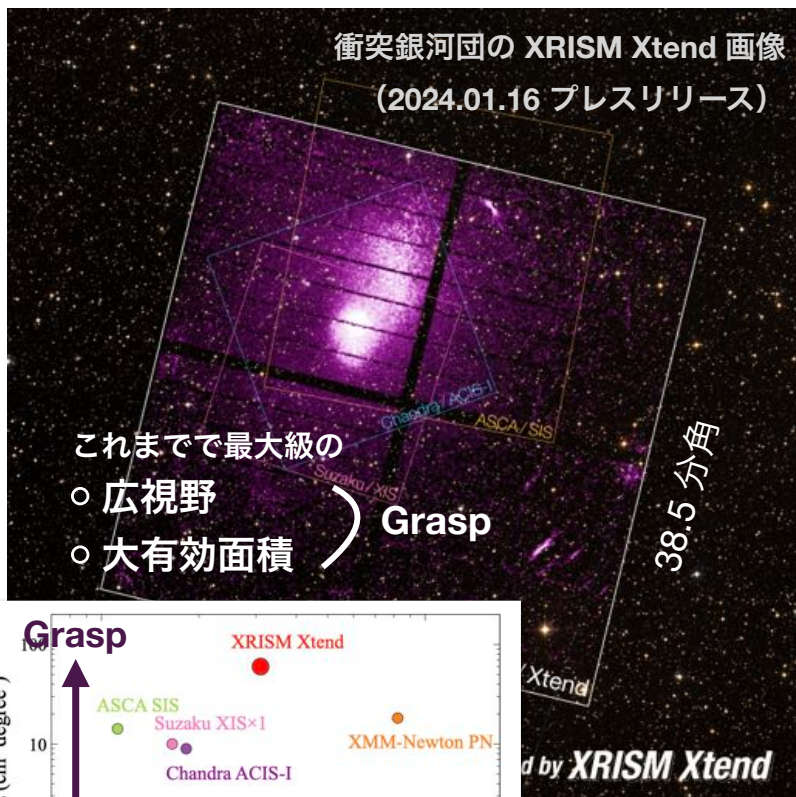
Xtendチーム：大学・JAXA・NASA の17機関スタッフ50名+学生多数で構成
試験計画立案から評価・解析まで開発チームを牽引



Xtend は Resolve の補助的位置づけだったが、「広視野」はそれだけで武器になる。

XRISM/Xtend を利用した突発天体観測

単焦点X線衛星で最大の視野と有効面積を実現 (Uchida et al. 2025)



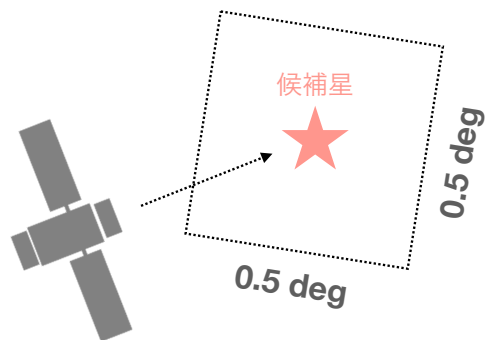
Xtend が発見した突発天体の内訳：恒星フレアが最多。

"Large Grasp" は突発天体の追観測・発見に有利。これを使わない手はない！

"史上初"に向けて — XRISM の観測戦略素案

0.1 kpc

KamLAND/SK からの Si 燃焼前兆ニュートリノ

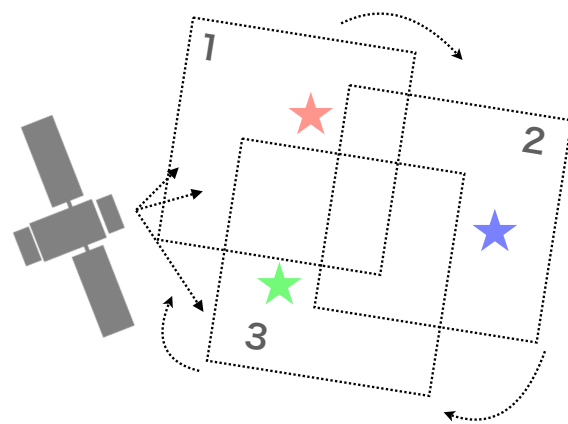


ポインティング観測

※ 太陽角制限等のない近傍星を指向

1-10 kpc

SK-Gd/HK からのニュートリノバースト



巡回マニューバ

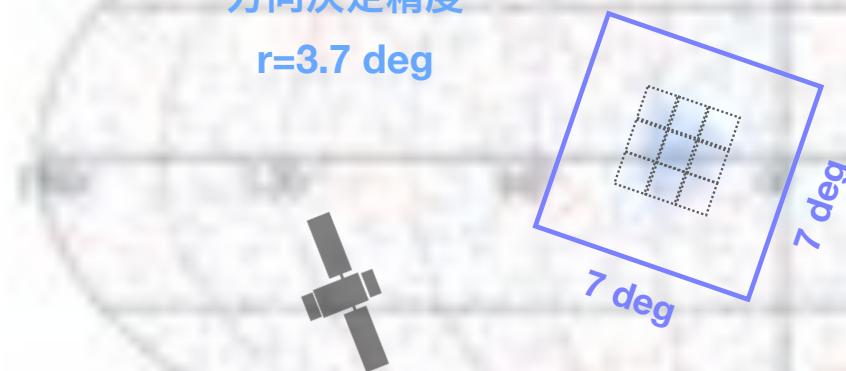
※ 距離と方向から絞り込んだ数天体を見る

>10 kpc

SK-Gd/HK からのニュートリノバースト

方向決定精度

$r=3.7$ deg



タイリング (走査観測)

※ 広範囲を走査しつつ待機

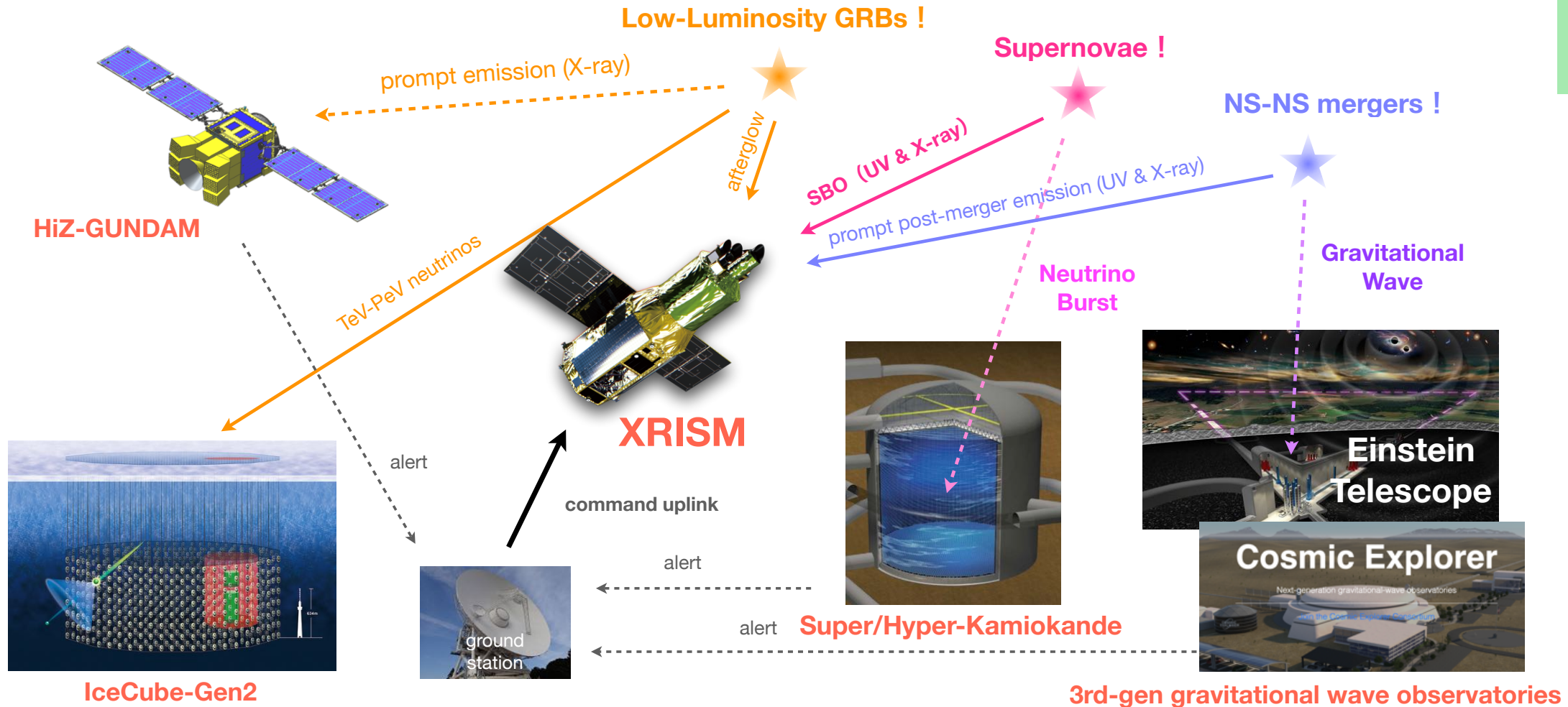
飛来ニュートリノ数 N 等によってアラートの種類を選別。"Golden" (かつ $IBD > 10$) は数分で公開 (GCN Notice)。

MOUを結べば、要求する False alarm rate (例えば数年に1回等) の Low level alert を受け取ることが可能。

超新星の発生した距離に応じて異なる戦略が必要。特に近傍で候補星を特定できれば **single pointing**。実現可能！

2030年代のマルチメッセンジャー天文学へ！

OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23



年間~60の超新星 etc. + 稀な重要事象の即時観測：2030年代のニュートリノ/重力波観測との連携を強化。

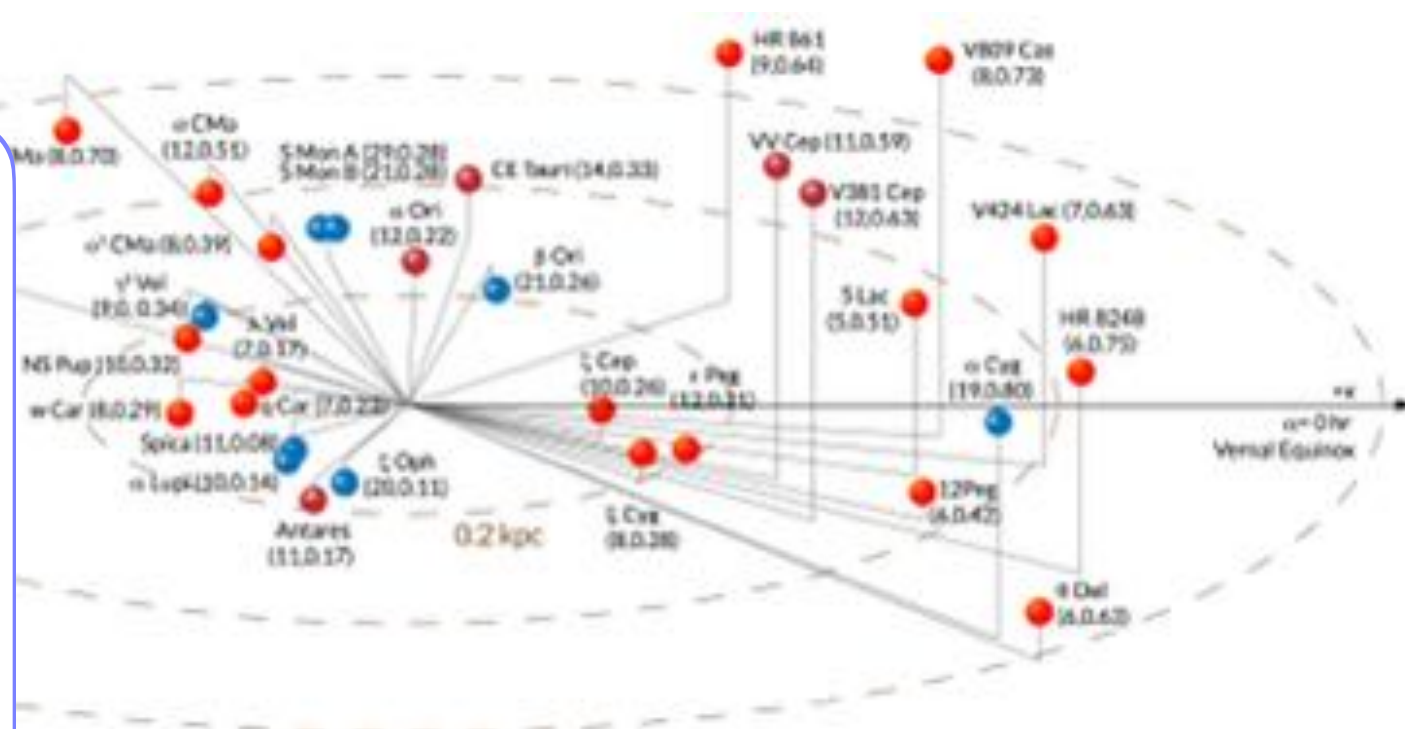
IceCube とも議論を開始。HiZ-GUNDAM 開発にも参入。長期目標として、小回りの効く新型衛星の開発も検討。

"超近傍" (<500 pc) 超新星の場合の観測戦略

前兆ニュートリノの事前アラート+赤色巨星リストによる絞り込みで観測可能性を向上。

● O,BA ● K ● M Name (M_{\odot} , kpc)

Mukhopadhyay et al. 2020



Suwa et al. 2024

< 10 kpc

Angle constraint (~ degree)

SN candidate!

Distance constraint (~0.1 kpc)

到来ニュートリノの距離制限
(恒星を候補数個まで絞り込み)

2024年度より、小汐さん（岡山大）、池田さん（東大 ICRR）、ウェンデルさん（京大）と打ち合わせを開始。

迅速な XRISM 運用に向けて、JAXA 運用チームとも折衝を開始（昨日 10/21 対面打ち合わせ）。

X線とニュートリノ観測の連携に向けて

OISTER ワークショップ 2025

2025.10.23



Astro-Multimessenger Alliance for Neutrino and Ex-ray (AMANE) 結成！



Motoyasu Ikeda, Guillaume Pronost,
Hirokazu Ishino, Yosuke Kataoka,
Yusuke Koshio, Atsushi Takeda



Hiroyuki Uchida, Yudai Suwa, Akihiro
Suzuki, Teruaki Enoto, Keiichi Maeda,
Roger Wendell, Hiromasa Suzuki,
Yoshiaki Kanemaru

Motoyasu Ikeda

Hiroyuki Uchida

AMANE と SK SN conveners 間で連携のための MoU 締結 (2025.5.22)。
今後：ニュートリノアラートを受けた即時観測体制の構築、XRISM の観測戦略の具体化、可視光望遠鏡との連携、爆発直後のX線ライトカーブ予測、、、

X線とニュートリノ観測の連携に向けて

OISTER ワークショップ 2025
2025.10.23

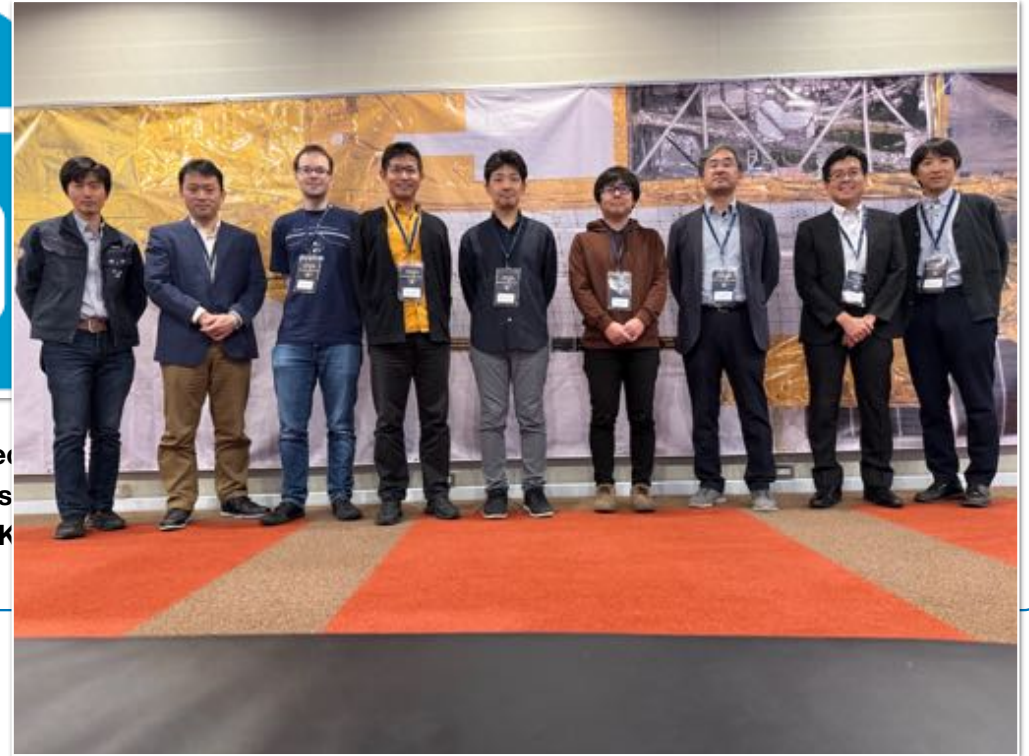
Astro-Multimessenger Alliance for Neutrino and Ex-ray (AMANE) 結成！

Super-Kamiokande 訪問
(2024.10.29)



Guillaume
さん

小汐さん



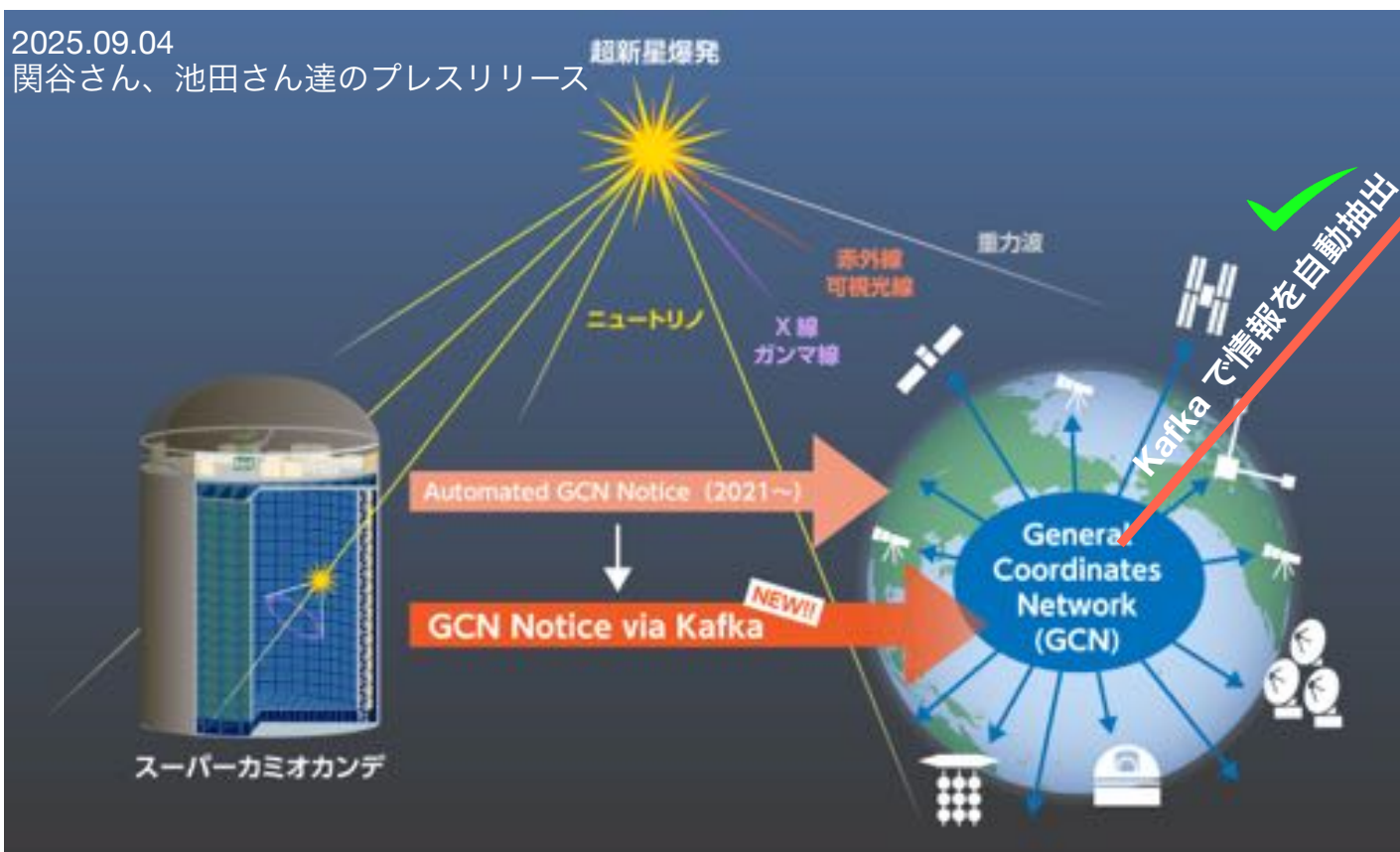
AMANE と SK SN conveners 間で連携のための MoU 締結 (2025.5.22)。
今後：ニュートリノアラートを受けた即時観測体制の構築、XRISM の観測戦略の具体化、可視光望遠鏡との連携、爆発直後のX線ライトカーブ予測、、、

"Golden Alert" の場合の基本戦略

スーパーカミオカンデからの新しい超新星アラート配信開始：超新星ニュートリノ検出時刻, 事象数, 超新星推定方向, etc.

2025.09.04

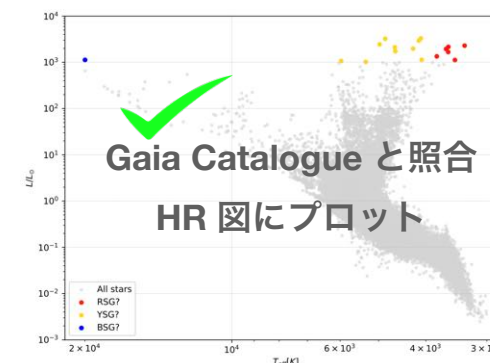
関谷さん、池田さん達のプレスリリース



常設PC@京大



到来方向、距離情報の抽出



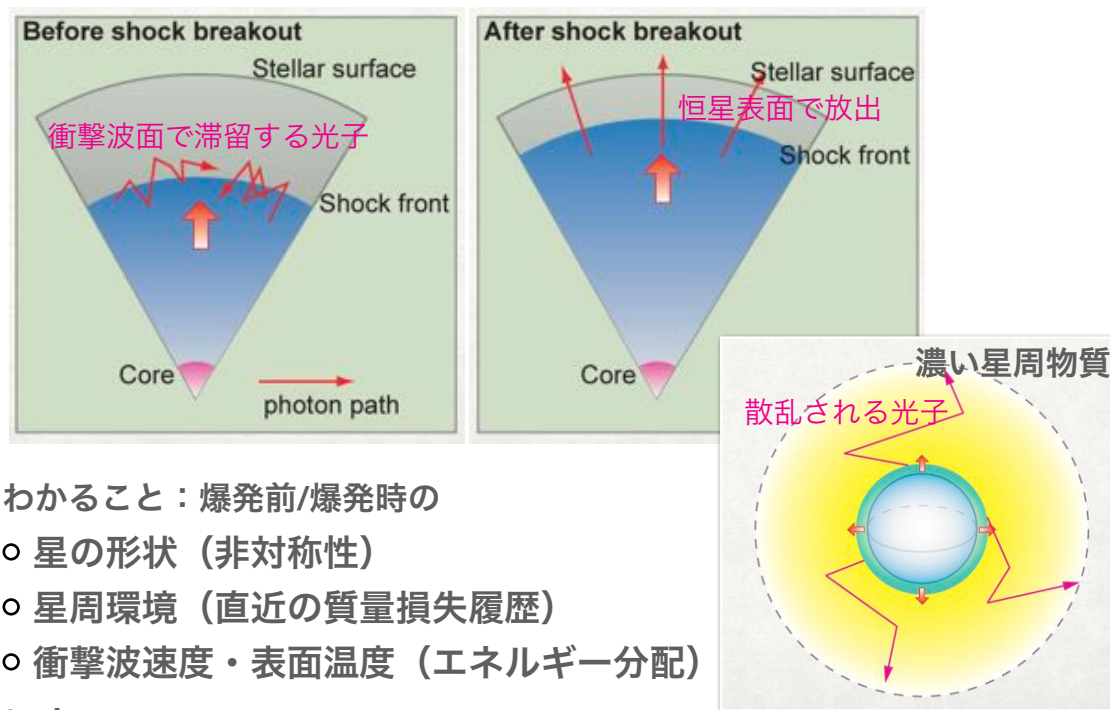
RSG 候補を抽出

観測戦略と ToO 提案書の自動生成

Kafka を介した GCN Notice をトリガーとして (best case の場合) 自動で ToO 提案まで行う。

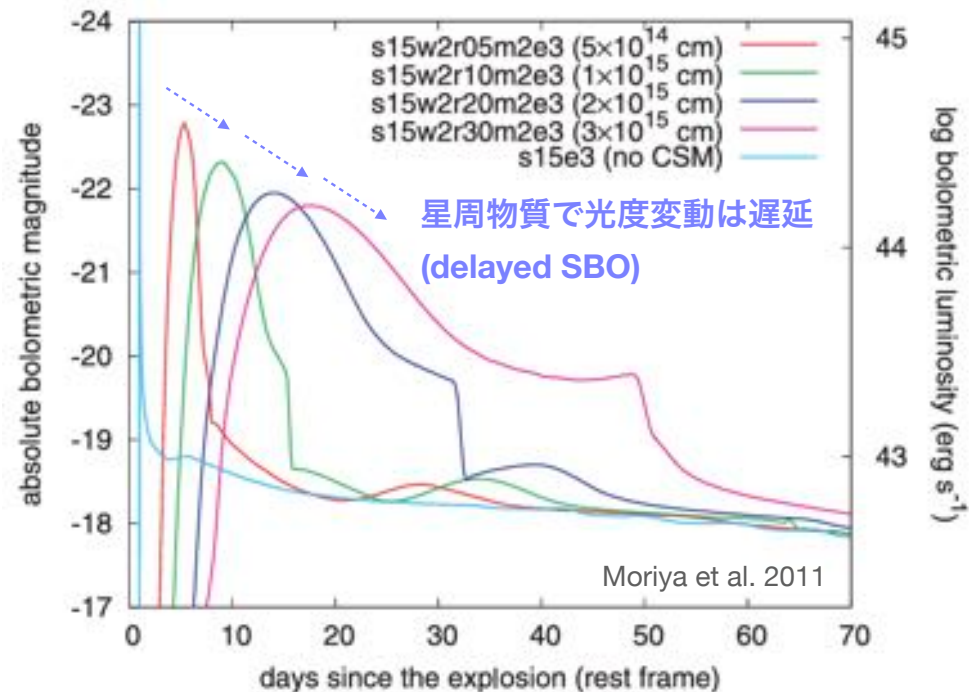
爆発の瞬間の閃光、ショックブレイクアウト

超新星爆発は銀河系あたり100年に1発。「次」こそが現代天文学で初めて間近に爆発を観測する機会。



わかること：爆発前/爆発時の

- 星の形状（非対称性）
- 星周環境（直近の質量損失履歴）
- 衝撃波速度・表面温度（エネルギー分配）
- etc.



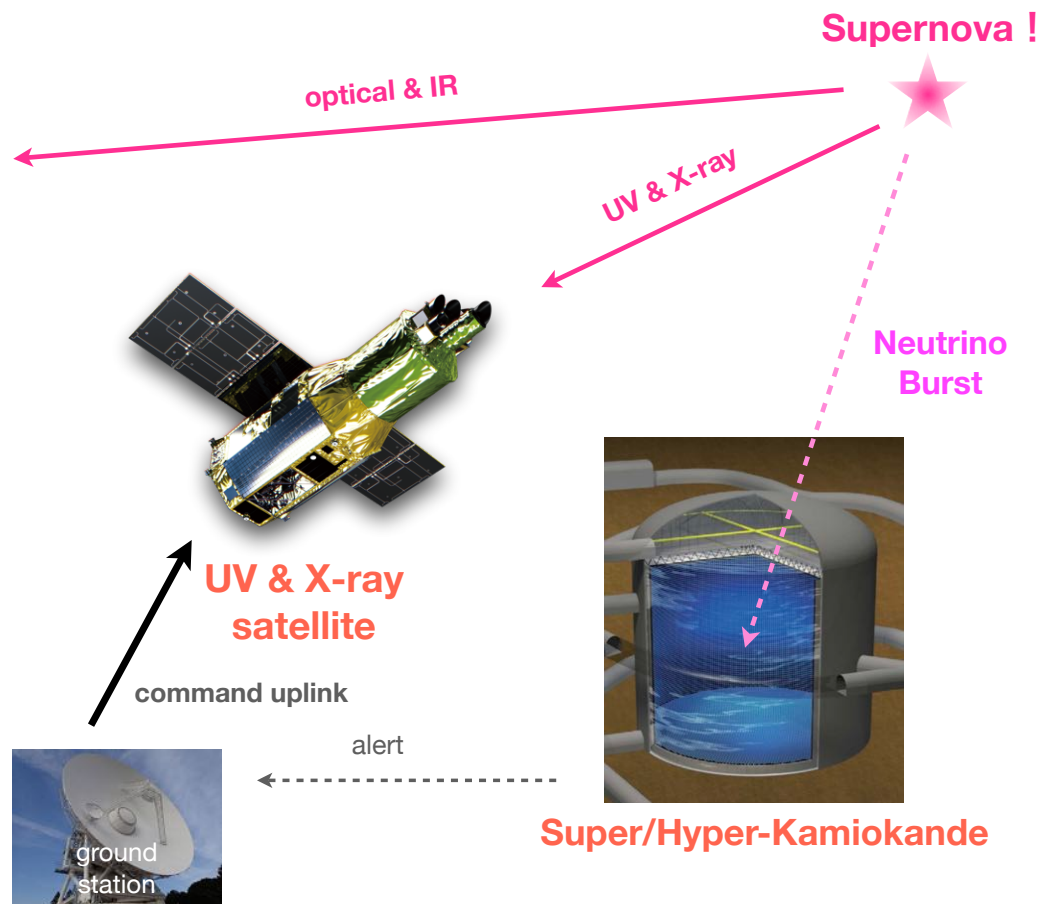
ショックブレイクアウト＝紫外・X線の閃光。爆発直前・直後の恒星の情報が手に入る。

ショックブレイクアウトを捉えられれば大成功。

しかし、その後の光度変動も極めて重要。全粒子・全波長で連携したい。

ニュートリノ-可視赤外-X線の連携に向けて

OISTER



SK-XRISM-OISTER 三者連携ができると嬉しい。キックオフ会議を開催。ゆくゆくは電波も？
どの波長で先に見えるだろう？多波長での光度変動予測（CSMあり/なし, 密度構造, etc.）がほしい。

ニュートリノ-可視赤外-X線の連携に向けて

OISTER

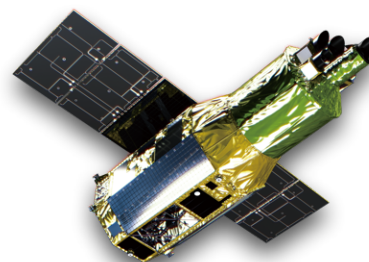


Supernova !

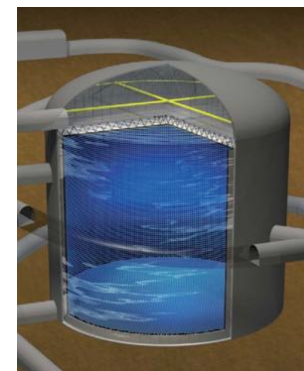


候補星の位置情報の共有
ショックブレイクアウト検出の速報

検出スペクトル・光度変動の共有



UV & X-ray
satellite



Super/Hyper-Kamiokande

光度上昇した星の
位置情報の共有

ニュートリノアラート

ニュートリノアラート

光度変動のほか、系内のどこで爆発するかによって戦略は大きく変わり得る。
距離、方角、太陽角制限など諸条件に応じて分岐を明確にする必要がある。これからの課題。

まとめ

長年の未解決問題だった超新星の爆発機構について
直前~10年の活動歴が解明の端緒となるかもしれない。

これまで困難だった超新星爆発の直後の観測が重要。
前兆ニュートリノによる待ち受け観測は大きなブレークスルーをもたらす。

爆発する星の方角や距離によって観測戦略は変わりうる。
「次」が起きる前に、多粒子・多波長の即応観測体制を整えておきたい。

AMANE
Astro-Multimessenger Alliance
for Neutrino and Ex-ray

連携観測の輪を広げていきたいところ。AMANE をよろしくお願いします！