

ALMAによる太陽観測

下条圭美 (しもじょう ますみ)

アルマプロジェクト・太陽観測科学プロジェクト・天文データセンター, 国立天文台

太陽研究最前線体験ツアー2023 2023/03/28@MTK, NAOJ

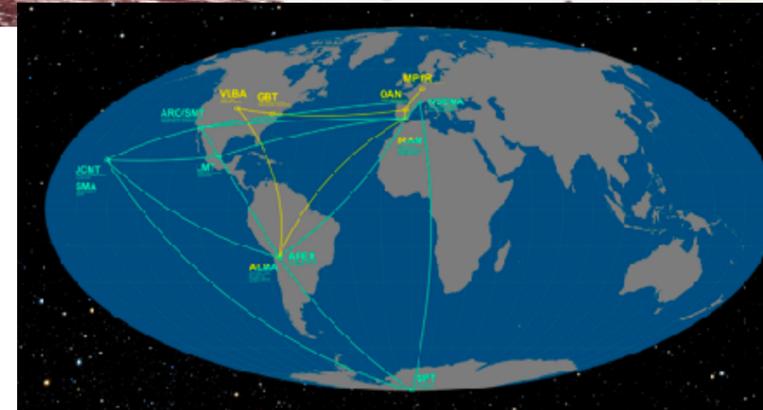
太陽研究における彩層研究の重要性

すでに、昨日からいろいろ議論されていると思いますが・・・。

- 彩層は、太陽内部で生成・増幅された磁場ならびにエネルギーの伝搬経路
 - 磁場強度・密度が急激に変化する層 → プラズマ優勢から磁場優勢へ
 - 非線形な現象が発生すると思われる大気層で、さらに上空にある遷移層・コロナ、果ては惑星間空間での構造・現象を説明するにも重要。
- 彩層におけるエネルギー（磁気・流体・放射・波動）の流れを把握したい！
 - 温度・密度・磁場の水平方向だけでなく、高さ方向の構造が重要。
 - 可視光・紫外線・赤外線でのライン（輝線・吸収線）を利用した診断
 - ex. 地上太陽望遠鏡・SUNRISE気球実験・CLASPロケット実験・SOLAR-C衛星計画
 - 電波による彩層研究 → ALMAによる太陽観測！

電波望遠鏡の空間分解能（視力）

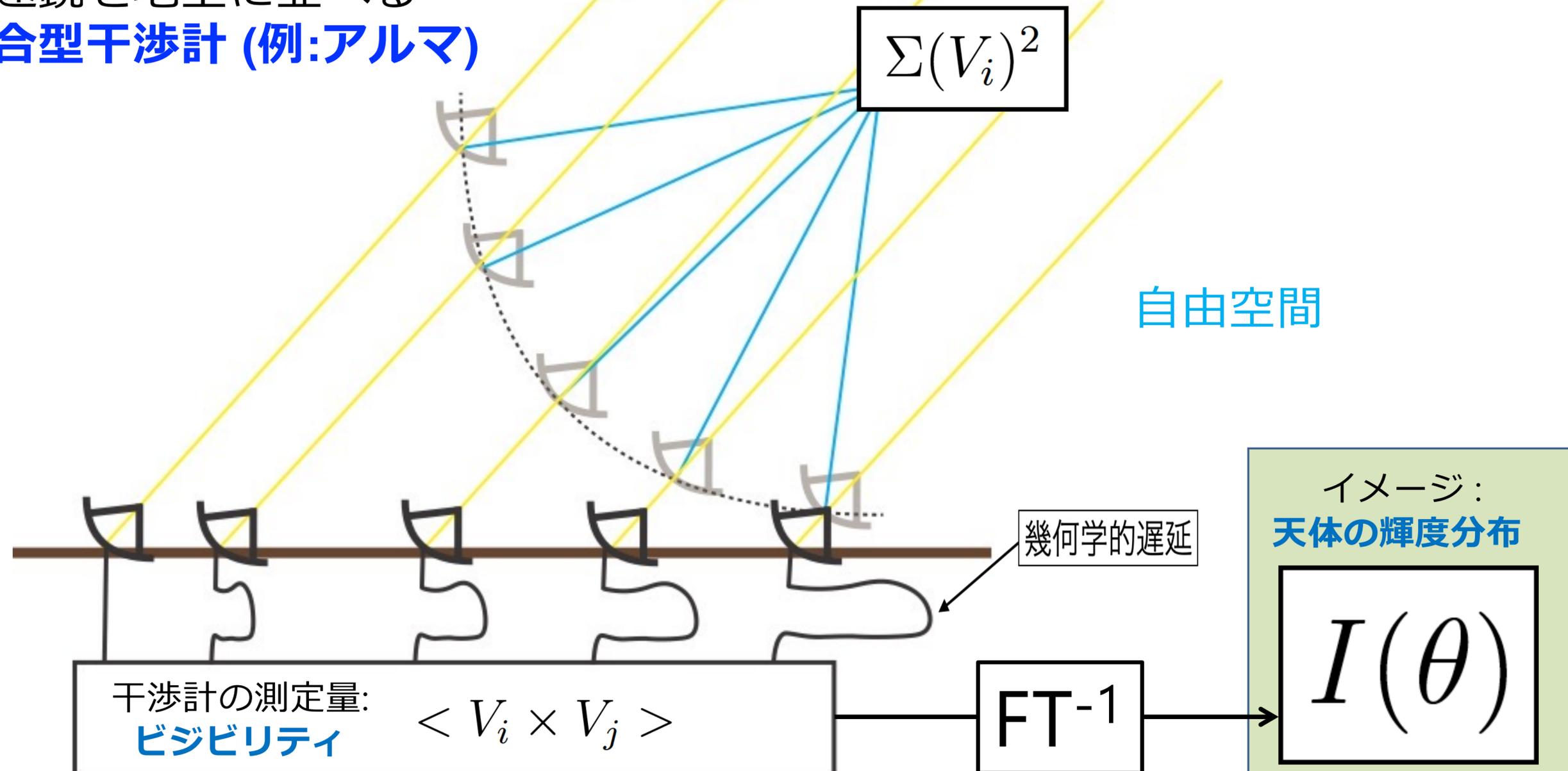
- 野辺山45m電波望遠鏡 → 14秒角@110 GHz ~ 視力：4.4
 - 可視光(500nm:緑) では、口径8.4cmの望遠鏡に相当！
- アンテナを並べて擬似的に巨大な電波望遠鏡を構成→電波干渉計
 - 野辺山電波ヘリグラフ(太陽専門)：
有効口径500m → 8秒角@17 GHz ~ 視力：7.5
 - アタカマ大型ミリ波・サブミリ波干渉計(ALMA)：
最大有効口径16km → 0.0091秒角@460 GHz ~ 視力：6600
 - Event Horizon Telescop (EHT)：
有効口径 ~10000km → 0.00002秒角@230 GHz ~ 視力：300万





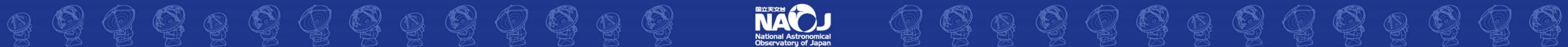
電波干渉計とは

望遠鏡を地上に並べる
結合型干渉計 (例:アルマ)



2022/7/5

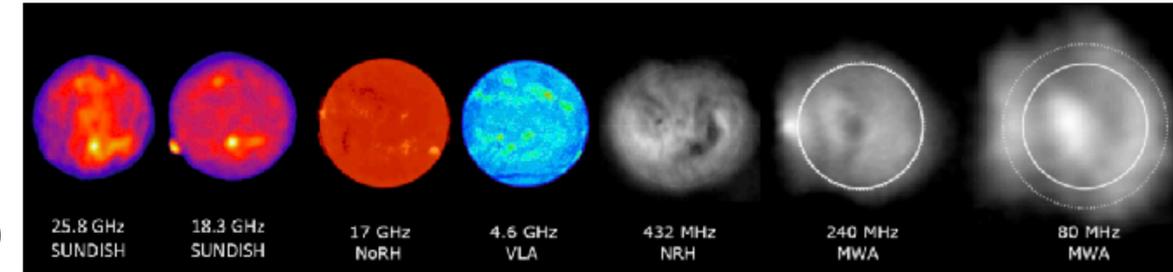
8



太陽から放射される電波

観測波長毎に、研究対象（構造・現象）が異なる。

- (デシ) m波(波長： ≤ 1 m / 周波数 MHz帯)
 - 観測領域：コロナ～惑星間空間
 - 観測対象（放射源）：コロナおよび惑星間空間を伝搬する非熱的電子や衝撃波(フレア・CME起源)
- cm波（波長： cmオーダー / 周波数 1~30 GHz / マイクロ波)
 - 観測領域：彩層上部～遷移層&コロナ(主にフレア時)
 - 観測対象（放射源）：
 - 彩層上部～遷移層からの熱放射(偏波無し)・黒点上空のコロナからの熱放射（円偏波が強い）
 - フレアで生成された高エネルギーが溜まったコロナループ(強烈に強くで、円偏波が強い時もある)
- mm波（波長： mmオーダー / 周波数 30~300 GHz)
 - 観測領域：彩層 (主に彩層下部)
 - 観測対象（放射源）：
 - 彩層からの熱放射(偏波無し)
 - 黒点上空の彩層からの熱放射は、少し円偏波がある。



電波の弱点

望遠鏡の分解能 \propto 主鏡口径/波長

可視光望遠鏡(波長: $0.7 \mu\text{m}$)
と同程度の空間分解能を得るため
には、波長が長いため、
実現不可能な巨大な主鏡が必要



電波干渉計

ALMAによる
太陽観測の
ターゲット

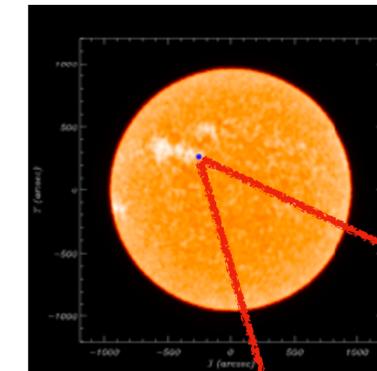
mm波による太陽観測の利点 = ALMAの利点：1

とにかく、放射メカニズムがシンプル。

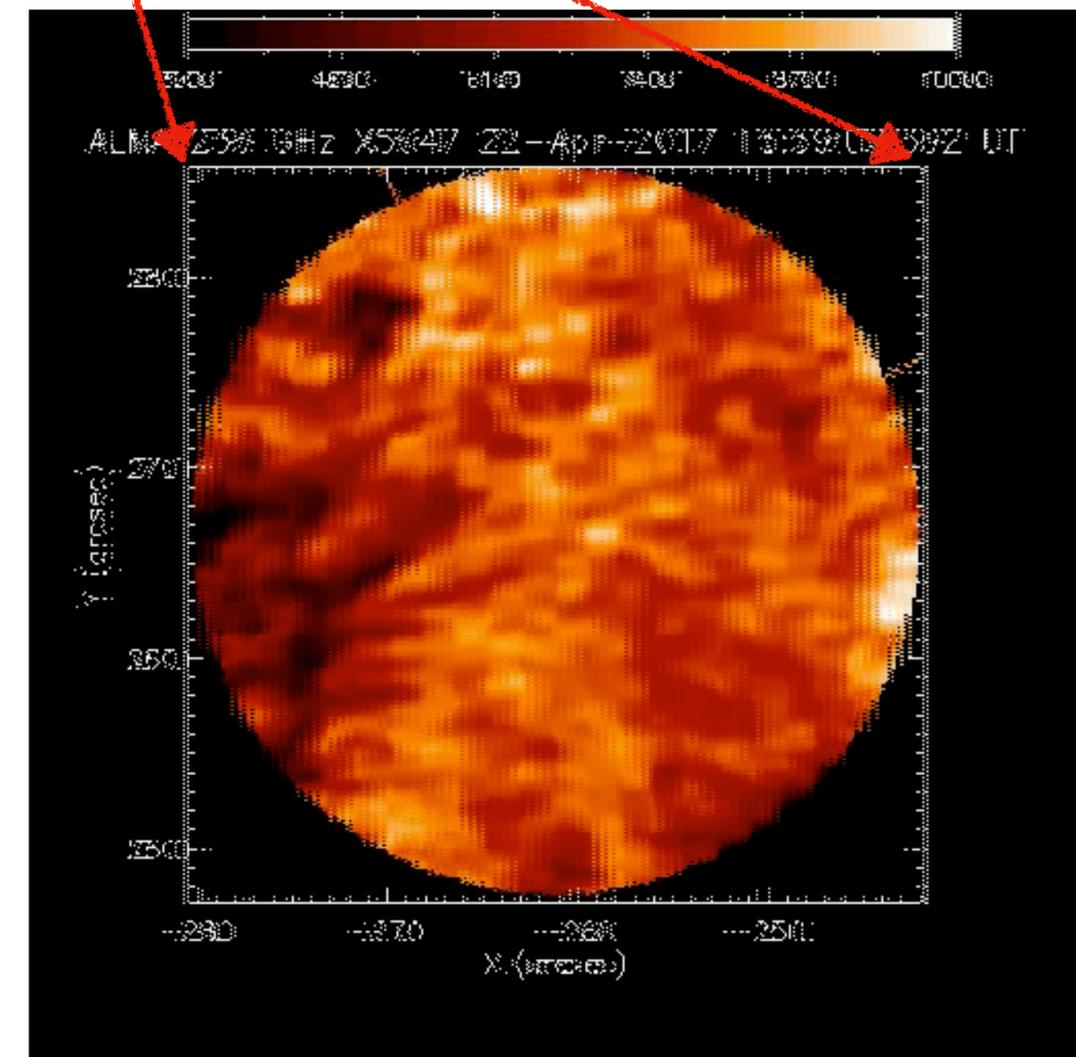
- 紫外・可視・赤外での彩層観測 = 輝線・吸収線観測
→ 情報量も豊富だが、データの解釈が難しい。
- mm波での彩層観測 = 光学的厚い層からの熱的放射(～黒体放射)を観測
→ 輝度が放射層の物理的温度に対応
→ **輝度分布 = 温度分布 (彩層のサーモグラフ)**

1秒に1枚の画像生成が可能であり、高い時間解像度もALMA太陽の利点！

黒体放射のように連続光なので、ドップラー効果を使った速度を測定できない。



ALMA Band6
(239 GHz, 0.8秒角分解能, 2秒に1枚の画像)



ALMAによる太陽観測での科学的目標

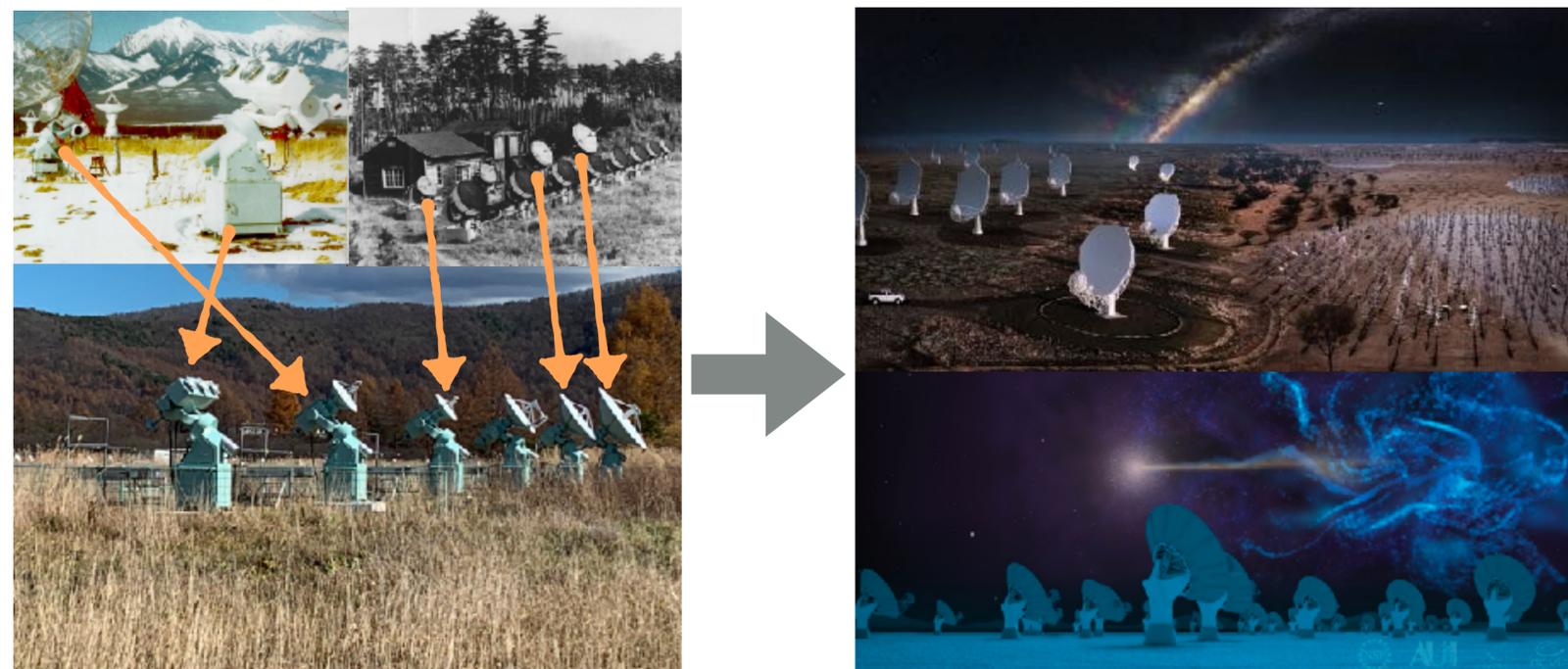
今後数年は、ALMA太陽観測が始まってから最初の太陽極大期！

- ALMAで得られた温度分布の物理的解釈
 - 特に、ここ数年は黒点・活動領域上空の彩層診断が盛んになる。
 - 彩層での磁場構造？ 波動(含む衝撃波)？ 磁気エネルギーの開放？
 - 分子のラインや水素再結合線が検出ができれば、もっと情報を得れる。
- コロナでの活動現象（フレア等）による高エネルギー電子の研究
 - 1 MeV以上の電子があれば、非熱的放射がALMAでも検出できる。

電波を使った太陽・恒星研究@NAOJ

ALMA以外での太陽電波研究

- ngVLAやSKA(主にcm波)での恒星電波観測を見越した、太陽電波の研究
 - ALMA等の現在の電波望遠鏡では、ごく近傍(十数光年)の恒星しか熱的放射の電波は受からない。
 - ここ10年に観測を開始するngVLAやSKAの高感度でかなり遠くの星でも、太陽と同等に熱放射が観測できるはず。
 - 太陽電波で得た知識は、恒星にどこまで利用できるのか。



興味があったら、以下のアドレスまでメールをください。

masumi.shimojo@nao.ac.jp

