

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Solar Polarization Workshop 9

氏 名：川畑佑典（宇宙科学研究所D3（渡航当時））

渡航先：ドイツ・ゲッティンゲン

期 間：2019年8月24～31日

今回、私はドイツのゲッティンゲンで開催された“Solar Polarization Workshop 9”という研究会に参加しました。この研究会では太陽大気における偏光の形成の素過程に加え、実際の偏光観測データ解析や磁気流体数値計算モデリングの結果が議論されました。

この研究会で私は“Chromospheric magnetic field: A comparison of He I 10830 Å observations with nonlinear force-free field extrapolation”というタイトルで口頭発表を行いました。太陽において太陽フレア、コロナ質量放出（CME）に代表されるような爆発的な物理現象は磁場を介したエネルギー変換によって起こっていることが知られています。一方で「どのような条件が満たされた時にフレア・CMEが駆動されるのか」という大問題が未解決として残されています。駆動機構の候補には磁場のねじれ度合いの増加、もしくは鉛直方向の磁場の減少率、といった磁場の3次元分布に起因する磁気流体力学的不安定（Kruskal & Schwarzschild 1954, Kliem & Török 2006）が提案されています。これらのモデルを検証するためには「フレア発生直前に磁場がどのように分布しているか」を観測的に示唆することが重要な鍵となります。太陽観測においては磁場の測定は主に偏光分光観測に基づいて行われていますが、偏光信号の大きさの制限のため、主に光球（太陽表面）の観測に限られています。そのため実際にフレアが発生している数Mmから数100 Mm上空のコロナの磁場の観測は現状では困難な状態で

す。そこで開発されたのが1)低プラズマ β と2)力学的平衡の2つを仮定し、光球から上空の磁場を推定する非線形フォースフリー磁場（NLFFF）外挿という手法です。しかしNLFFF外挿モデルにも弱点があり、1)の仮定である低プラズマ β は光球では妥当でないという指摘があります（Gary 2001）。そこで我々は2つの活動領域の観測結果に対して、光球より約1,500 km上空の彩層の磁場をHe I 10,830 Åの偏光観測から導出し、光球からNLFFF外挿を行った結果との比較を行いました。NLFFFの1,500 km高度での磁場ベクトルとHe I 10,830 Åから求めた磁場ベクトルの非ポテンシャル性をShear Signed Angle（SSA）と呼ばれる指標で見積もりました。その結果、彩層高度において実際の彩層磁場はNLFFF外挿の予測よりエネルギーの高い非ポテンシャル性を有している可能性があることを示しました。この結果は、現状のNLFFFモデルでは上空の3次元磁場構造を十分に再現できておらず、上空には過去に推測されたよりも高い磁気エネルギーが存在することを示唆しています。

口頭発表後にSami Solanki氏から、今回の研究では1,500 kmの高さを比較しているがHe I 10,830 Åは様々な形成高度の情報を持っているので他の高度での比較も行うべきだ、という指摘をいただきました。私の研究では1つの高度のみでしか比較を行っていませんでしたので、論文投稿前に非常に有意義なコメントをいただくことができました。またShahin Jafarzadeh氏から重力やガス圧をモデルに組み込むことで太陽の低層大気の磁場分布にどのような変化が生まれうるかについての話を聞くことができました。

他の研究者の方々の発表も興味深いものが多くあり非常に勉強になりました。Jaime de la Cruz

Rodriguez氏の発表では、異なる機器で観測されたデータを組み合わせて、散乱偏光や3次元の輻射輸送を考慮することで、従来の輻射輸送inversionに比べ高精度な物理量導出が可能になることが報告されました。現在観測が行われているGREGORやSST, 将来観測が予定されているDKISTなど、多くのデータが異なる機器で取得されることが期待されるので、非常に有効な手法であると感じました。またAsensio Ramos氏からは深層学習を偏光データに適用するアイデアが多く提案されました。Ramos氏の話に限らず、今回の会議で印象的であったのは偏光分光データの解析に深層学習の手法を取り入れた研究が多く行われ始めている点でした。日本では太陽のデータの解析に深層学習を適用する手法はあまり浸透しておらず、そこから得られている新規性の高い様々な結果は印象的でした。会議中にRamos氏と深層学習を基にした解析の今後の展望を議論することができました。偏光分光データのinversionに限らず、長期間観測を行って

いるデータ、膨大な多波長データ、3次元磁気流体計算などにも適用できる可能性があることを聞くことができました。



ゲッティンゲンの墓地にある
天才数学者ガウスのお墓

DKIST, EST,

Sunrise-3といった太陽偏光分光観測の将来ミッションに向けて日本でも新しい解析手法を開発していく必要があることを認識しました。会議の最後には2022年にSolar Polarization Workshop 10が京都で開催されることが発表され、より良い成果を次の会議で報告できるよう一層研究に励もうと強く感じました。

最後になりましたが、今回の渡航に対し多大な援助をいただいた、日本天文学会早川幸男基金および関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

X-RAY ASTRONOMY 2019

氏名：川室太希（国立天文台PD（渡航当時））

渡航先：イタリア・ボローニャ

期間：2019年9月7～14日

イタリア・ボローニャのINAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) にて開催の“X-RAY ASTRONOMY 2019”に参加しました。この会議は10年毎に開催されており、世界中のX線天文学者が一堂に集まり、その研究成果を発表する会議です。今回の参加者数は約300人にも及び、極めて大規模でした。学術的内容は、自身の主な研究対象である活動銀河核 (AGN: Active Galactic

Nucleus) だけでなく、重力波放出天体、星潮汐破壊現象 (TDE: Tidal Disruption Event)、銀河中心、熱い銀河間物質、星形成、超新星残骸、X線連星系など多岐にわたり、かつ将来ミッションについても発表や議論がありました。招待講演を除く口頭発表の枠数は約60程度で、その1つを幸いにも得ることができ、口頭発表をしました。

近年行ったChandraとALMAを用いたAGNの母銀河への影響の研究 (Kawamuro, Izumi & Imanishi 2019b) について話しました。超巨大ブラックホール (SMBH: Super-massive Black Hole) とその母銀河の特にバルジ成分の間の関係から、

両者はお互いに影響を及ぼしながら成長してきたと思われています。特に質量降着によって成長中であり、かつその莫大な重力エネルギーを開放している状態のSMBH、すなわちAGNは、母銀河の星形成を抑える必要があると理論的に要請されてきました。様々な星形成を抑制する機構が考えられるなかで、AGNのX線放射が分子ガスを解離する可能性に着目しました。というのも、分子ガスは星形成を起こす上で重要とされており、もしX線によって解離されるなら、基本的にX線で明るいAGNの母銀河では普遍的に起こりうる重要な抑制機構だと考えられたからです。そこで近傍の1つのAGNに対し、まず、Chandraの極めて高い角度分解能 ($<0.5''$) を活かして、X線が星間物質にあたっている領域を特定しました。そして、ALMAの高い角度分解能と感度で得られた分子ガスの詳細な空間分布と比較することで、X線照射領域で分子ガス輝線が弱いことを発見しました。更に、多様な分子輝線の強度比をもとに、その領域での水素分子ガス密度を推定しました。これは、分子ガスの回転準位は水素分子ガスとの衝突によって励起され、かつその頻度は各々の臨界密度に依存するため、輝線強度比から密度が求まるためです。その得られた密度と、詳細なイメージから距離、そして既に求まっているX線光度などをもとに電離パラメータが求められ、理論的なX-ray Dominated Regionモデルで分子ガスの解離が予測されるような高い値が達成されていることがわかりました。このように、X線が分子ガスを原子ガスに解離している現場を空間的かつ定量的に明らかにできることを主に話しました。また実際に、中間赤外線観測から対象の領域で星形成が弱いという示唆が得られていることも話しました。

発表によって、同様の研究を進めるグループのリーダー的存在のFabbiano, Giuseppina氏に認知してもらうことができました。彼女たちはこれま

で、上記のようにALMAの高い感度によって検出される複数の分子輝線を考慮した議論はしてきておらず、それについて先んじて報告できたのは良かったと思います。また、Elvis, Martin氏によるConcluding remarksでも、今となっては古いミッションであるChandraを用いて新しいサイエンスができてきていることの重要性について言及されていました。ただ、少し残念であったのは、今回発表した自身の内容ではなく、口頭発表を行っていないFabbiano氏の結果をもとにその重要性が言及されていたことでした。ひとえに自身のプレゼンスがまだまだ低いためであり、どんどん海外に出て自身の研究を宣伝していくのが極めて重要であると痛感しました。

AGNの研究についてだけでなく、現在進めているSMBHによるTDEの研究について、海外の研究者と打ち合わせも行いました。現在、SRG衛星に搭載のX線装置eROSITAとSubaru/HSCチームの間で共同研究が進んでいます。その中のTDE研究プロジェクトで、自身はHSC側のPIとして、eROSITA側からはRau, Arne氏がPIとして参加しています。本会議では、Rau氏の学生であるMalyali, Adam氏が進めている、機械学習を用いたeROSITA検出のX線源の母銀河の同定プログラムについて聞いてきました。TDEについてはまだ考慮できていませんが、eROSITAの情報だけでなく、可視や近/中間赤外線の情報を更に用いることでAGNや超高光度X線源(Ultraluminous X-ray source)といった系外X線放射源についてはうまく同定できるまで進んでいるようでした。

最後に、渡航を援助していただいた日本天文学会と早川幸夫基金並びにその業務に携わられている方々に心より感謝申し上げます。多くの論文があふれる現在の業界で、海外での研究発表によって、世界での日本のプレゼンスを保つためにも、早川幸男基金が続くことを切に願っております。