

宇宙天気予報改善に向けた太陽風の観測的研究課題ーグローバルな太陽風の観点から

徳丸 宗利 [1]
[1] 名大 ISEE

Observational research subjects of the solar wind for improvement of space weather forecast

Munetoshi Tokumaru[1]
[1] ISEE, Nagoya Univ.

<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~tokumaru>

Precise prediction of the solar wind variations is an essential issue in the space weather forecast. Since intense solar eruptions rarely occurs these days owing to marked reduction in the solar activity, prediction of the non-transient fast wind is getting particularly important. Many attempts to predict the solar wind at the earth from solar observations have been made using the most up-to-date computer simulations. However, those reliabilities are insufficient. In this talk, I will review subjects in observational studies of the solar wind to be addressed to improve the space weather predictions.

太陽風の変動を正確に予測することは宇宙天気予報における根本的な課題である。太陽活動が顕著に低下し、大きな爆発現象が希になった近年、過渡的でない高速風の予測は一層重要になっている。太陽面観測から地球へ到来する太陽風を予測する試みは最新の計算機シミュレーションを用いて実施されてきたが、その信頼性は未だ十分ではない。本講演では、宇宙天気予報を改善させるため太陽風の観測的研究においてどんな課題があるかについてレビューする。

太陽風の予測を困難にしている最大の原因は、太陽風を加速する機構が未だ解明されていないことである。太陽風加速機構として有力視されているのは、太陽からのアルベン波が駆動するもの（波動モデル）とナノフレアによって駆動する（リコネクションモデル）の2つがある。波動モデルはエネルギー方程式の散逸項として組み込まれて、数値計算による太陽風の再現が行われている。しかし、太陽面の観測量と波動による加速効果との関係はよく分かっていないので、現実的な数値計算を行うため散逸項に観測から求めた太陽観測データと太陽風速度との経験的な関係式が用いられている。例えば Wang & Sheeley モデル（1990）では磁力線拡大率 f と太陽風速度 V の逆相関関係が仮定されていて、これを数値計算の散逸項に反映させることで現実的な太陽風を再現可能となる。一方、リコネクションモデルは、波動モデル同様にその過程が未だよくわかっていないので、数値計算により精度良く太陽風を再現するには観測に基づく経験則を導入せねばならない。ここで注意したいのは、1AU 以内なら太陽風の分布はこの仮定が専ら決めるので高度な3次元 MHD コードを使わなくとも、動径方向に等速度で伝搬すると仮定した場合でもかなり精度よく太陽風を再現できることである。WS モデルとその改良版は太陽風予測にしばしば使われてきたが、最近のその精度が問題視されるようになった。このため太陽風加速を決定する新たな観測量を見つける試みがされている。今年から実施される Parker Solar Probe による太陽風加速域の直接測定からは、太陽風を駆動する源（波動かリコネクションか）について決定的なデータが期待される。波動モデルの場合、太陽面の観測量と波動、そして太陽風との関係が明らかになれば、太陽風の予測精度を向上させることができる。但し、これまでの電波による遠隔測定では太陽風を加速するのに十分な磁気波動は検出されていない。

もう一つ Parker Solar Probe によって検証されるのは太陽風の2成分性である。Helios, Ulysses の太陽風探査により、太陽風は 300-400km/s の低速風と 700-800km/s の高速風の2成分より成るといふモデル（bimodal solar wind）が構築された。このモデルでは中間の太陽風は、伝搬過程における高速風と低速風の相互作用によって生まれる。よって Parker Solar Probe による太陽近傍での観測からは相互作用がない高速風・低速風の特徴を調べることが可能となる。高速風と低速風は速度だけでなく組成等にも有意な違いが見られ、両者の起源の違いを反映していると考えられる。高速風の起源は大規模なコロナホールであるのに対して低速風の起源は未だ定まっていない。前述した WS モデルや MHD モデルでは大きな磁力線拡大率を持つ開いた磁場領域が低速風の流源となるが、低速風の電離状態のデータからは閉じた磁場領域に一定時間捕捉されていたことが示唆され、ループ磁場がリコネクションを起こして低速風が流出するというモデルも提案されている。その場合、太陽風の予測にはリコネクションによるコロナ磁場の形状変化まで含めた解析が必要になる。

太陽風と共に惑星間空間磁場（IMF）の予測も宇宙天気予報にとって重要である。太陽から遠ざかれば太陽風のダイナミックスが IMF の形状を決めるため、コロナ磁場の観測結果から太陽風モデルによって IMF を再現することが可能となる。しかし、宇宙天気予報で重要な IMF 南北成分については、コロナ磁場観測の精度の問題やその値が通常小さく擾乱が支配的であることから太陽風モデルの改良が進んでも正確な予測は困難と思われる。そこで期待されるのが、電波のファラデー回転を使った地上から IMF を決定する試みである。これを実現するには極めて多くの天体電波源について同時にファラデー回転を決定する必要がある。得られたファラデー回転データから IMF、特に磁気ロープの3次元分布が決定でき、地球に到来する IMF の南北成分を事前に知ることが可能となる。この IMF の遠隔測定は目下建設中の大型低周波電波アレイ SKA（Square Kilometer Array）で目指す重要サイエンス項目の1つとなっている。