

R007-03

Zoom meeting A : 11/1 AM1 (9:00-10:30)  
10:00-10:15

## 太陽風磁気ロープの観測される非対称構造の解析

#丸橋 克英

情報通信研究機構

### Analysis of observed asymmetric structure of interplanetary flux ropes

#Katsuhide Marubashi

NICT

Interplanetary magnetic flux ropes (IFRs) are the central part of plasma structures which are launched into the solar wind in association with coronal mass ejections. Many of them are observed as asymmetric structures by in situ measurement by spacecraft. In particular, decreases of the solar wind speed are common within IFRs, which are generally taken as evidence that IFRs are in expansion. Understanding generation and subsequent evolution of IFRs requires knowledge of precise details of those structures. The following 4 interpretations are possible to explain the asymmetric signatures which are seen in in situ observations by spacecraft: (1) IFRs are being accelerated (decelerated) during spacecraft passage. (2) IFRs are in the state of expansion (contraction). (3) IFRs are really of asymmetric structure. (4) Magnetic field lines are eroded at some part of the IFR near the surface. The cases (1) and (2) indicate that the time variations obtained by single point observations can be asymmetric even if the structure itself is spatially symmetric. Some appropriate structural model is needed to explain the observed asymmetric signature by invoking the assumption. Actually, no reliable models have proposed so far. In a sense, the case (4) is a special case of (3), and the erosion idea is becoming a popular research subject. The author has long been trying explain observed IFRs based on flux rope models of expanding force-free structure. In such studies not a few IFRs were encountered which require invoking situations (1) and (3) for interpretation. Recently, Demoulin et al. (A&A 639, A6,2020) analyzed more than 90 IFRs and showed statistical results about the asymmetric features of IFRs. Their study starts with estimation of expansion rate of IFRs from the temporal variations of the solar wind velocity within IFRs, and then proceed to estimate how the expansion affects the spacecraft observation of magnetic fields. They showed that observed magnetic field variations could be explained only for about 30 % of the cases, and concludes that some additional mechanism is needed for understanding the magnetic field variations. In my opinion, however, it is needed to analyze both velocity and magnetic field data simultaneously for estimation of the IFR expansion. Therefore, I've made up my mind that I should examine more details about the observed asymmetric behaviors of the IFRs. Our final objective is to estimate the mutual importance among (1) ? (4) in each of the observed IFRs. However, it may not be expected that the least squares fitting analysis with a model which includes all of the conditions (1) ? (4) simultaneously. The reason is that the effects of (1)-(4) are more or less similar. Thus, we first compare the fitting a result obtained by assuming one of the four condition independently with another fitting result obtained from a different condition. Then, we calculate one possible theoretical model with one of the four conditions (for example, condition (1)), and try fitting analyses with a model which take other Conditions (for example, (2) or (3) or (4)). Through such trials it is expected that we can get insight to distinguish groups of IFRs for which what conditions are most effective in each of the all observed IFRs.

太陽風磁気ロープはコロナガス噴出 (CME)によって太陽風中にとび出すプラズマの塊り (ICME)の中心をなすものである。飛翔体による直接測定では多くは非対称な構造として観測される。特に、磁気ロープ内部で速度が減少することが多いので、コロナから膨張しながら伝搬してくるものと考えられている。その構造を解析することは、コロナにおける発生からそれ以後の発展を理解するために必須である。飛翔体による観測で太陽風磁気ロープが非対称に見えることの説明として以下のようなことが考えられる。(1) 磁気ロープが減速(加速)している。(2) 磁気ロープが膨張(収縮)している。(3) 構造そのものが非対称である。(4) 磁気ロープ外縁の磁力線が部分的に剥ぎとられている。(1)と(2)は空間構造が対称であっても、飛翔体で観測される時間変化が非対称に見える場合である。(3)の空間的非対称構造で観測を説明するためには、適当な構造モデルを仮定する必要があり、いまだに試行されていない。ただし(4)は(3)のうちの特殊例であり、磁気ロープの浸食(erosion)と呼ばれ、関心を集めている。

筆者は自己相似則にしたがって膨張するフォースフリー磁気ロープモデルを用いて観測の説明を試みてきた。その中で、膨張(収縮)だけでなく、(1)、(3)を含める説明が示唆される事例に遭遇している。

最近、Demoulin et al. (A&A 639, A6, 2020)が90例以上の磁気ロープを解析して非対称性について統計結果を発表している。彼等は磁気ロープ内部の太陽風速度変化から磁気ロープの膨張率を算定し、その膨張が磁場強度にどんな影響をおよぼすかを評価している。それによれば観測される磁場強度が説明できる事例は30%程度であり、別の理由を考える必要があると結論している。筆者は、磁気ロープの膨張は速度と磁場のデータの非対称性を同時にあつかって算定すべきだと考える。そこで、観測される磁気ロープの非対称性について詳しく検討することとした。目標は、個々の磁気ロープ観測例について(1)から(4)までの効果を評価することであるが、すべての効果を同時にふくむ最小2乗法がうまく答えをだしてくれるとはあまり期待できない。なぜならば、(1)から(4)の効果はおたがいに似ていると思われるからである。そこで第1段階として、4つの効果を独立に仮定して最小2乗により観測とあわせえた結果を比較してみる。次の段階として、たとえば(1)だけを仮定した理論モデルを(2)、(3)、

(4) の仮定による最小 2 乗法で fitting をかけたらどんな結果がえられるかを調べる。このような試行により、観測事例ごとに (1) から (4) のどんな仮定が最も効果的であったかを考察する。今のところ解析は始まっていないが、(1) から (4) のもつ特徴について、いくつかはわかっている。それは飛翔体が横切って掃引していく磁束に関するものである。(1)、(3) では飛翔体が磁気ロープの内側に進む間に掃引する磁束は、外側に出ていく間に掃引する磁束と等しい。(2) では、2 つの磁束は磁場の時間変化に相当する差をもち、その補正をすれば等しくなる。(4) では非対称が本質であり、入るときと出るときの磁束は異なる。この非対称性が erosion の効果である。erosion を議論するには、非対称性が見える理由を正しく判定しなければならない。