

# 天体現象としての新しい磁気リコネクション・モデル

新 田 伸 也

〈総合研究大学院大学教育研究交流センター 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町湘南国際村〉

e-mail: snitta@th.nao.ac.jp

磁気リコネクションは、磁力線同士がつながり変わることによって磁気エネルギーを解放してプラズマの運動エネルギーや熱エネルギーに変換する一種のエンジン機構である。プラズマが存在するあらゆる系で生じる普遍的な現象であり、天体現象としてもさまざまな場所で見られる。例えば、「宇宙天気予報」で話題になっている太陽フレアや地球磁気嵐での素過程として有名である。しかし、天体現象として真にふさわしいリコネクション・モデルはまだ提唱されていなかった。筆者らは、天体現象に特化したリコネクションを考察し、「リコネクションの自己相似的時間発展モデル」を提唱した。次期太陽観測衛星「Solar-B」によってこのモデルが検証されることを期待している。

## 1. イントロダクション

2003年10月28日に過去30年間で最大規模の巨大太陽フレア発生のニュースが流れた。その結果、地球では激しい磁気嵐が生じ、本州でオーロラが見られたり、送電システムへの悪影響が懸念されるなど、地球、ひいては文明生活にもさまざまに影響した。これら一連の現象のキーワードが、本稿で取り上げる磁気リコネクションである。磁気リコネクションは、天体プラズマでの普遍的なエネルギー解放機構として広く受け入れられている。普遍的な現象であるにもかかわらず、リコネクションには素過程自体に未解決の問題がいくつも残されているが、ここでは、流体力学で扱えるような巨視的な問題に限って考えてみよう。筆者の問題意識は、「天体現象としてふさわしいリコネクション・モデル」とはどういうものか、という点にある。

図1は太陽フレア（カस्प型と呼ばれるもの）における磁場の様子を示している。丸印のところでは磁力線がつながり変わり、磁場の持つエネルギーを解放している。

これがリコネクションである。リコネクションによってプラズマの塊が惑星間空間に射出される（図1中の上向きの流れ）。これが地球の磁場（磁気圏）に衝突すると、磁気嵐を生じる。図2は地球磁気嵐における磁場の様子を示している。昼側と夜側の2カ所で磁気リコネクションが生じる。夜側のリコネクションで射出されたプラズマ塊の一方は地球に向かって飛んできて、やがて南北両磁極付近には高エネルギーの荷電粒子が降り注ぐ。この粒子によって大気が発光するのがオーロラである。このように、リコネクションは太陽コロナでのフレアと地球磁気圏の活動をつなぐ「見えざる」プロセスである。このようなリコネクションに起因する現象は、さまざまな場所（銀河団、銀河、活動銀河核、原始星、恒星、惑星系など）で普遍的に生じていると考えられている。

ここで「見えざる」と強調したのは、リコネクション自体はほとんど光を出さないために、従来の天文学的手法での観測が困難であることを言いたいがためである。そのため、リコネクション、

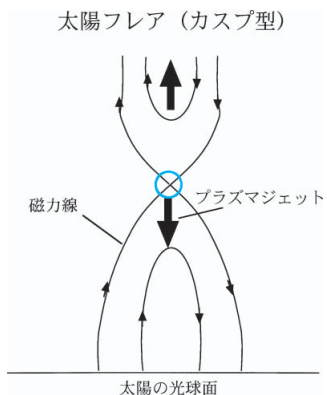


図 1 太陽フレア (カスプ型)での磁場配位. 丸印のところ磁力線がつながり変わる (磁気リコネクション). その結果上下方向に強いプラズマの流れを生じる.

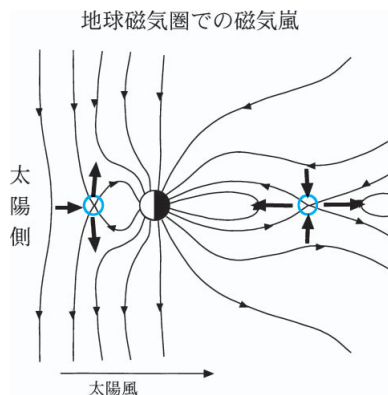


図 2 地球磁気圏での磁気嵐での磁場配位. 昼側と夜側の2カ所でリコネクションが起きる. 夜側のリコネクションで射出されたプラズマ流の一方は地球に向かって飛んでくる. この結果生じる高エネルギーの荷電粒子は磁力線に沿って地球の両磁極付近に降り注ぐ. オーロラはこの荷電粒子が大気中の分子を発光させることによって生じるものである.

ひいては磁場の関与が本質的な現象全般の研究は、かつて天文学の邪道として虐げられてきた感がある。しかし、ここで取り上げたいいくつかの現象は天体現象として普遍的であり、磁場が本質的である以上、今後の天文学研究では磁場やプラズマに関する研究も正道の一派として取り上げられるべきであろう。

本題に戻る。反平行に磁化された二つのプラズマ塊が接しているとき、その境界面には膜状の電流が流れることになる (図3参照)。このような系を「カレントシート・システム」と呼び、膜状電流の流れる部分をカレントシートと呼ぶ。多くの場合、天体プラズマは良導体と近似できる。もし、プラズマ中に電気抵抗が全くない場合には、プラ

ズマと磁力線とは互いに凍り付いている (磁力線凍結)。したがって、カレントシート・システムはそのまま変化しない。しかし、このカレントシート中に有限の電気抵抗が生じると、磁力線凍結が破れ、磁力線はプラズマから遊離して、反平行の磁力線同士が接近して互いに打ち消し合うようになる (磁気拡散, 図4参照)。特に、局所的に電気抵抗が大きくなった部分 (拡散領域) が生じると、そこだけ素速く磁力線の移動が生じるため磁力線のつなぎ換え (図4参照) が起こる。もともと別の磁力線だったもの同士が、拡散領域でつながり

カレントシート・システムと磁場の拡散

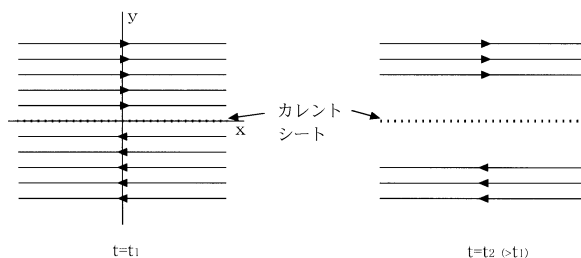


図 3 電気抵抗による磁場の拡散. 電気抵抗があると、磁場を均すように拡散が始まる。拡散領域の厚みは時間とともに増大し、拡散はどんどん遅くなる。実線は磁力線で、矢印が磁場の方向を表す。

## 磁気拡散とリコネクション

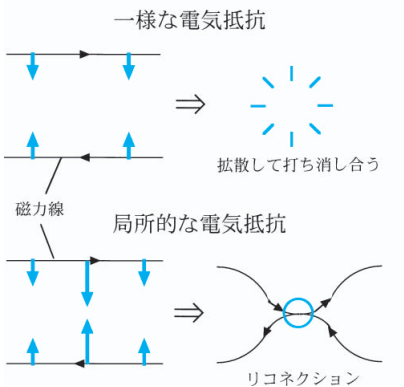


図 4 リコネクションの概念. 拡散速度が一樣であれば (上図), 接近した極性の異なる磁力線同士は打ち消し合う. 拡散速度が非一樣であれば (下図), 素速く接近した部分で磁力線同士のつなぎ変え (リコネクション) が起こる.

変わったのである. これが磁気リコネクション (再結合) と呼ばれる現象である. この結果, 磁場のエネルギーが解放され, プラズマの加熱や加速を生じる. リコネクションとは, 磁氣的にエネルギーの高い状態から低い状態に移る巨視的な不安定現象である. まず, このリコネクションのイメージを持ってもらうために, 代表的モデルである Sweet-Parker モデル<sup>1), 2)</sup>と Petschek モデル<sup>3)</sup>を紹介しよう.

### • Sweet-Parker モデル

カレントシートに沿った有限長さの領域 (拡散領域: 図 5 のハッチの部分) では一樣に電気抵抗が生じている場合を考えよう. この場合, 拡散領域の至る所同じ速度で磁場の拡散を生じる. その結果, 接近した反平行の磁力線同士は互いに打ち消し合い, 解放された磁気エネルギーでプラズマは加熱される (電熱器と同じオーム加熱). このとき, 磁場が拡散によって弱くなった領域は, 時間の経過とともに図の上下の方向に広がっていくので, 拡散はどんどん遅くなってしまふ. 速くエネルギー解放するには, 磁場のエネルギー変換が進むにつれて拡散領域が広がろうとするのを, プラ

## Sweet-Parker Model

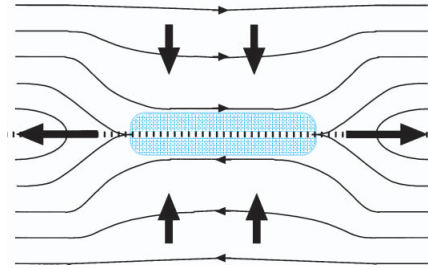


図 5 Sweet-Parker モデル. 拡散領域 (ハッチの部分) が上下に広がらないように, プラズマの流入 (太い矢印) で押しえつけている. ここでつながり変わった磁力線 (細い矢印付きの実線) とともに, 流入したプラズマは左右に排出される.

ズマを上下方向から押し込んで, 広がらないようにすれば良い (図 5 参照). これが Sweet-Parker モデル<sup>1), 2)</sup>である.

凍結した状態で押し込まれた磁場は, 拡散領域に入るとプラズマから遊離して反平行のもの同士で打ち消し合って消滅する. しかし, 上下から注入されたプラズマ同士は消えることができないので, つながり変わった磁力線とともにカレントシートに沿って左右に排出される. 以上の過程は定常的に持続する. Sweet-Parker モデルは初めてのリコネクション・モデルである.

Sweet-Parker モデルでのエネルギー変換のスピードを評価してみると, 実際には数十分で起きているはずの太陽フレアと同程度のエネルギー解放をするのに何十年もかかってしまふ. これでは遅すぎてフレアのモデルとしては使えない. このモデルでは磁気拡散によって磁気エネルギーを変換している. このような過程を「磁氣的燃焼」と呼ぼう. 天体プラズマでは, 電気抵抗が小さく空間スケールが大きいために磁気拡散が遅く, 磁氣的燃焼による磁気エネルギー解放は非常にゆっくりしたものになってしまう. では, もっと速い爆発的なエネルギー変換には何が必要なのだろうか?

● Petschek モデル

エネルギー変換速度を革命的に向上させた **Petschek** モデル<sup>3)</sup>を紹介しよう (図6参照)。一見して **Sweet-Parker** モデルと良く似た概念図であるが、カレントシートに沿ったX字型の破線が特徴になっている。この破線は、プラズマ中の衝撃波の一つである、スロー・ショックを表している。衝撃波では、プラズマが上流から衝撃波面を通過して下流側に出る瞬間に、物理量が不連続に変化する。特にスロー・ショックでは、磁場が急激に弱まるという性質を持っている。そのため、上流側プラズマが持っていた磁気エネルギーは、スロー・ショックを横切る瞬間に別のエネルギーに変換される。この概念図では、スロー・ショック面で磁力線が折れ曲がっているが、これは、スロー・ショック面に強い膜状電流が流れていることを示している。磁場と電流が存在する場合、磁場から **Lorentz** 力(電気モーターを駆動する力)という電磁氣的な力が電流にかかる。**Petschek** モデルにおいては、このスロー・ショック面で生じる **Lorentz** 力によって、電流を流しているプラズマが左右に加速されてジェット状の流れ(リコネクション・ジェット)を作ることになる。このように、スロー・ショックで失われた磁気エネルギーは、ジェットの運動エネルギーと熱エネルギーに変換される。このスロー・ショックはそのままにしておくと上下方向に伝播してしまう。そこで、上下からスロー・ショックの伝播速度と一致した速度でプラズマを注入することによって、スロー・ショックを定在波としている。

**Petschek** モデルにおいて磁気エネルギーを変換しているのは、磁気拡散ではなく、定在スロー・ショックである。スロー・ショックの伝播速度は、カレントシート外のプラズマ諸量によって決まるが、天体プラズマの場合、拡散速度よりずっと大きい。このため、拡散速度が小さい天体プラズマであっても、**Petschek** モデルでは速いエネルギー変換が可能となる。太陽フレアのエネルギー

Petschek Model

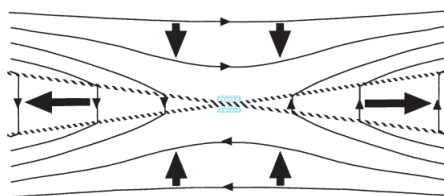


図6 **Petschek** モデル。X字型のスロー・ショック(破線)が特徴。拡散領域はごく小さい。磁気エネルギーのほとんどは、スロー・ショック面で解放される。スロー・ショックが上下に広がらないように、プラズマの流入で押さえつけている。

を変換する時間で言うなら、数十分で可能であり、フレアのモデルとして期待が持てる。

**Petschek** モデルのように波動の伝播によって磁気エネルギーを解放する過程を「磁氣的爆発」と呼ぼう。リコネクションの研究分野では、拡散速度に支配されないリコネクションのことを「速いリコネクション」と呼んでいる。**Petschek** モデルは初めて提唱された速いリコネクション・モデルである。

以上のように、太陽フレアを説明するには速いリコネクションが必要である。筆者らは、天体現象としての速いリコネクションを考える場合、従来の研究でしばしば応用されてきた **Petschek** モデルでは不十分であると考えている。本稿の以下の部分では、我々の指摘した問題点と、天体現象としてふさわしい速いリコネクション・モデルを提示する。

2. 天体現象としてのリコネクション・モデル

● 自発的リコネクション

天体現象としての磁気リコネクションの最大の特徴は、その空間スケールが5~7桁も拡大することにある。太陽コロナのプラズマでは、カレントシートの厚みが数メートルにまで圧縮されたとき、突然電気抵抗が大きくなり(異常抵抗)、磁気

リコネクションが始まると考えられている。したがって、初期のリコネクション・システムは数メートルの大きさである。一方、巨大フレアの最終的なスケールは数万 km に達する。以下の説明のように、この 7 桁にもわたる拡大の過程においては、外部の環境はあまりに遠すぎて影響しえないことに注意してもらいたい。

外部環境の影響はプラズマ中の波によってシステムに伝えられる。波の伝播速度は有限であるので、外部環境がシステムに影響するには、波が伝わるだけの時間がかかる。波が内部まで伝わるまでのシステムの時間変化には外部環境は影響しえず、システムは自発的に発展する。後で述べるように、今考えているリコネクション・システムの場合、システムの拡大の速さは情報を伝える波の速さと同じである。拡大が速いために、リコネクション開始からしばらくの間は外部環境の影響を受けることなく自由に発展できる。すなわち、拡大中のすべてのことは、リコネクション・システム自身が自発的に決定するはずである。

しかし、従来の研究での主導的立場は、このような天体現象としてのリコネクションの特質を反映していないものであった。Petschek モデルでは、スロー・ショックを定在波とするために、上下の境界からのプラズマ注入が必要であった。この注入を、境界条件として人為的に与えるという立場での研究が数多く行われてきた<sup>4)~6)</sup>。この立場は外部環境駆動型リコネクションと呼ぶことにしよう。この場合、燃料にあたる磁場を運ぶプラズマの注入は外的に支配されており、リコネクション・システムは、せいぜいその上限値を決める程度の寄与しかしない。

局所的に励起された電気抵抗によって自発的に始まるリコネクションについての数値的研究はこれまでも行われてきた<sup>7)</sup>。しかし、自由な空間での発展途上にあるリコネクションに関して、発展のすべてがシステム自身によって自発的に決定される自発的発展モデルはこれまで提唱されてい

ない。筆者らは、無限に広い「自由な空間」(外部環境の影響から自由である、という意味)でのリコネクション・モデルを構築しようとしている<sup>8),9)</sup>。これこそが天体現象のモデルとしてふさわしい。

### • 自己相似的発展解

ここで、筆者らが発見した新しいリコネクションの発展の様子を概観しておこう(図 7 参照)。各図の左下隅が拡散領域で、横軸に沿ってカレントシートが横たわる。システムは上下左右に対称なので、全体の 1/4 の部分(右上側)のみを描いている。

#### (1) 開始期(図 7a)

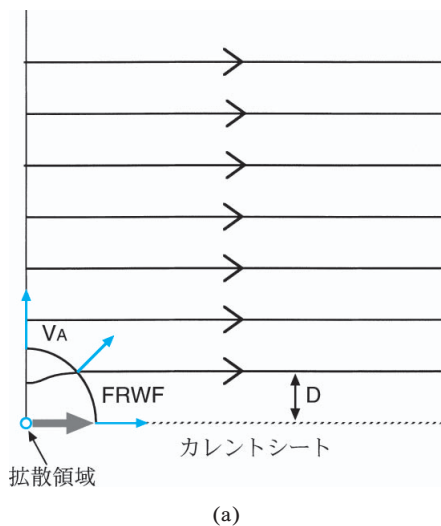
薄くなったカレントシート中で局所的に電気抵抗が増大する(筆者らの研究では電気抵抗の値と分布を解かずにと手与えている)。この電気抵抗によってリコネクションが始まる。左右にリコネクション・ジェットが射出されると、拡散領域ではプラズマが希薄になる。この情報は、プラズマ中の波動モードの一種であるファストモードの希釈波(Fast-mode Rarefaction Wave; FRW)となって、カレントシート外の Alfvén 速度  $V_A$  でほぼ円状に広がる(紙面奥行き方向には並進対称性を仮定しているので、紙面内の 2 次元問題を考える)。

#### (2) インフロー誘導期(図 7b)

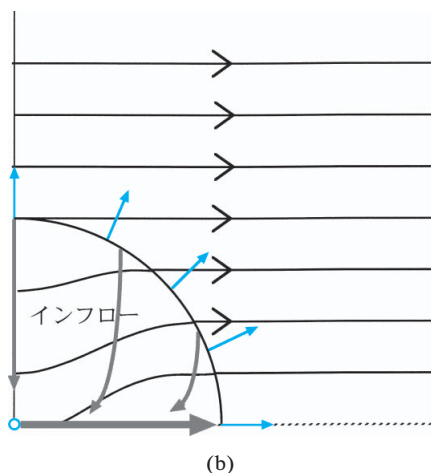
FRW の伝播した領域ではプラズマの全圧(ガス圧と磁気圧の和)が周囲より低くなるため、この領域では、拡散領域に向かうインフローを生じる。このインフローは境界条件として外部的に注入されているものではなく、システム自身が吸い込んでいるものであることに注意してもらいたい。すなわち、その速度は、外的にではなく自発的に決定される。プラズマの流入に伴って燃料である磁場も供給されるので、この流入速度がエンジンとしてのパワー(リコネクション・レート)を表している。

#### (3) 自己相似的発展期(図 7c)

インフローが発達すると、上下から吸い込まれ

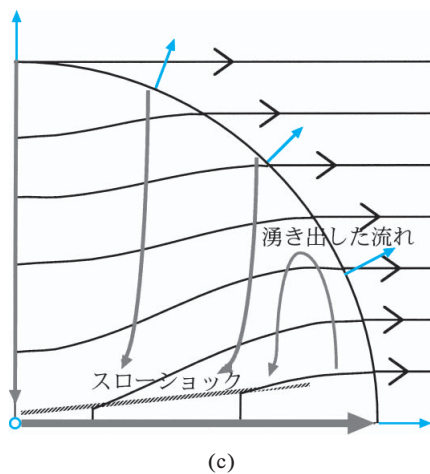


(a)



(b)

たインフローがカレントシート付近で衝突し、Petschek モデルに見られる X 字型スロー・ショックを形成する。いったん、このスロー・ショックが形成されると、速いリコネクションとなり、エネルギー解放が爆発的に進む。この自己相似期において、系のスケールを表すのは、リコネクション開始からの時間に比例して拡大する FRW の波面のスケールだけである。このように、時間に比例して増大するたった一つだけの特徴的スケールを持つ系には、自己相似的に拡大する解しかありえない。したがって、この最後のステージでは、外部環境の影響が現れるまで自己相似的に拡大を



(c)

図 7 自由な空間でのリコネクションの自己相似的發展の概念図

- (1) 開始期 (図 7a): 局所的に増大した電気抵抗によってリコネクションが始まる。ファストモードの希釈波 (FRW: 図の 1/4 円) が Alfvén 速度  $V_A$  で等方的に広がる。矢印付きのほぼ平行な多数の実線は磁力線、拡散領域から始まる太い矢印はリコネクション・ジェットである。
- (2) インフロー誘導期 (図 7b): FRW によって自発的にインフローが誘導される。
- (3) 自己相似的發展期 (図 7c): インフロー同士の衝突で X 字型スローショックが形成される。速いリコネクションとなり、爆発的に磁気エネルギーが解放される。この状態は自己相似的に拡大を続ける。

続けることが分かる。

發展の全体の中で、(3) がほとんどの時間を占めている。また、システムは時間に比例して拡大するので、磁場の単位時間当たりの流入量も時間に比例して増大する。したがって、エネルギー解放のほとんども (3) の間に起こる。

### 3. 数値解と解析解

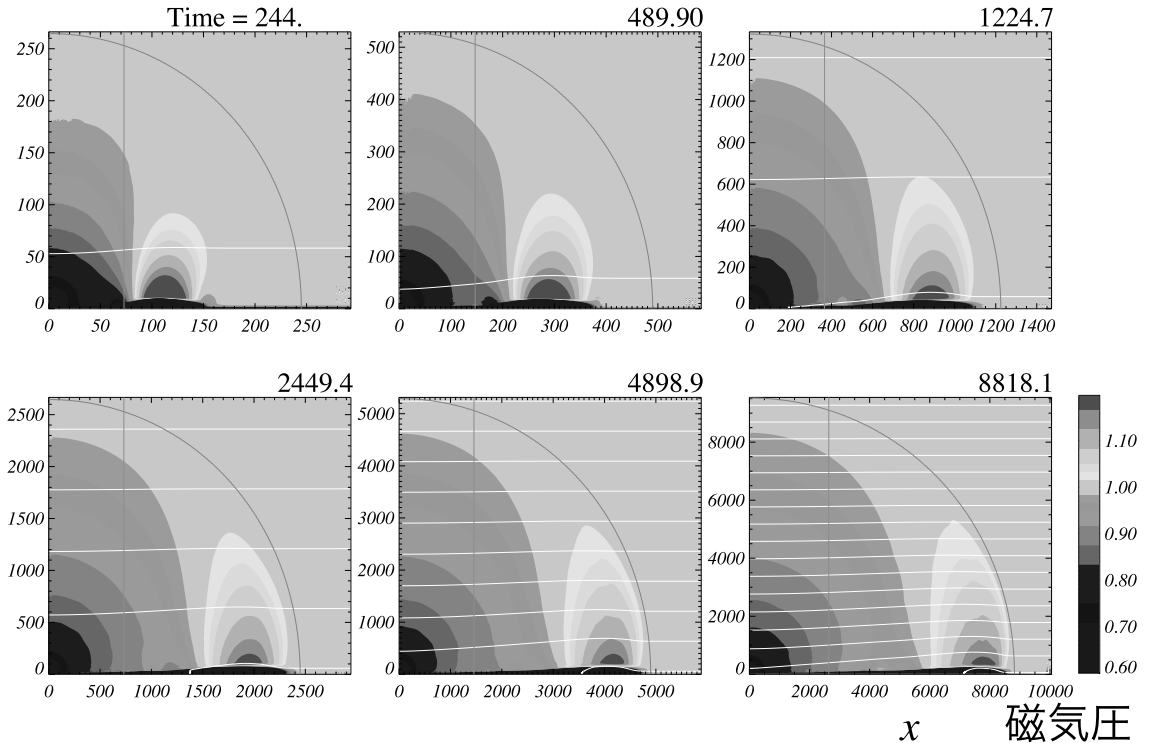
このように、天体現象としてふさわしい自由な空間でのリコネクションは、自己相似的に発達することが予想される。では、一体どのような解になるのかを調べてみよう。筆者らは、プラズマを磁気流体 (MHD) 近似し、支配方程式 (MHD 方程式) を元にして、計算機シミュレーションと解

析計算（手計算）の両面から追求する.

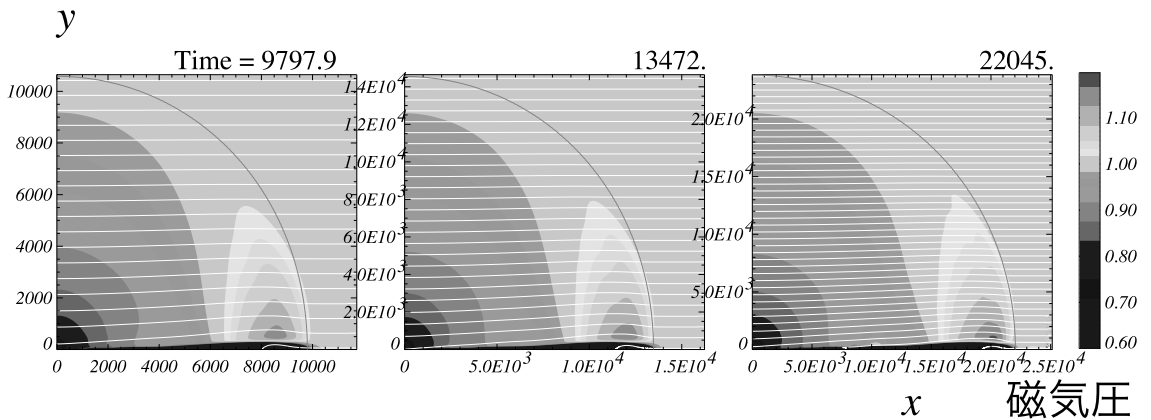
図8に示された9枚のパネルは、リコネクション・システムの異なる時刻での様子を並べたもの

• シミュレーション結果<sup>8)</sup>

## 自己相似的拡大の様子



(a)



(b)

図8 自己相似的発展の様子. 拡大するシステムが常に同じ大きさになるよう、ズームアウトしながら変化を追った. 横軸は電流シート, 左下隅が拡散領域である. 実線は磁力線, 等高線は磁気圧を表す.  $t=1224.7$ 以後はほとんど変化が見られない. これは、スケールが時間に比例して拡大していることを示している. すなわち自己相似的拡大である.

## 異なる時刻での解の比較

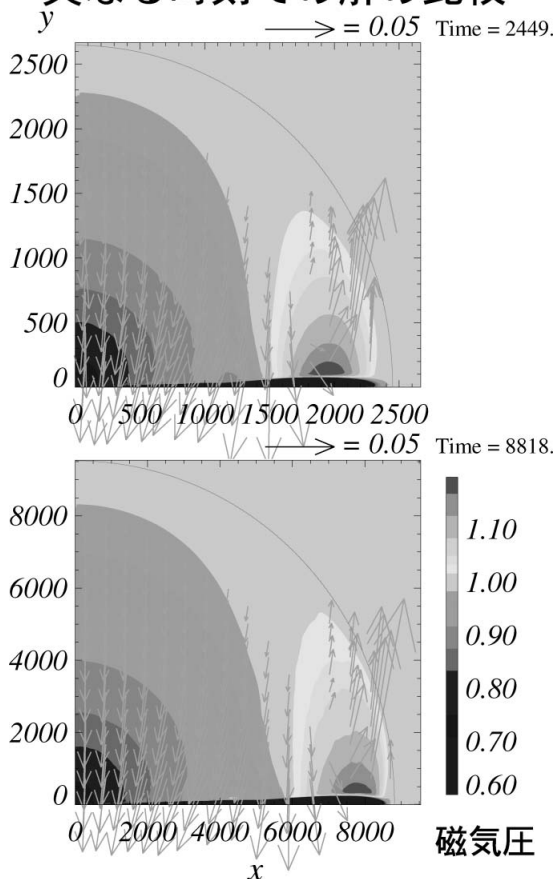


図 9 自己相似的発展をさまざまな量で見てみる。図 8 の諸量に加えて、プラズマ速度場を矢印で示している。上下でスケールは 4 倍ほど異なっているが、ズームアウトすると区別できないほど似ている。どの物理量で見ても自己相似的拡大が確認される。

である。図 7 と同じく全体の 1/4 の部分 (右上側) のみを描いている。それぞれの図で縦軸と横軸のスケールが時刻の 1 次関数として収縮していることに注意してほしい。このように、ズームアウトしながらシステムの発展を眺めてみると、次のことに気づく。様子に変化するのは最初の 2 枚のパネルだけであり、その後は、スケールの違いを除くと、ほとんど変化しなくなっている。ズームアウトしていることを考えると、これは、システムの発展が自己相似的になっていくことを意味して

いる。このことは図 9 を見るとよりはっきりと理解できる。上下のパネルでは空間スケールが約 4 倍異なっているが、構造は区別できないほど似ている。このように、計算機シミュレーションによって、少なくとも数百倍拡大する間は自己相似的発展を保つことが確認された。

この自己相似解の特徴を、従来より知られるモデルと比較して確認しておこう。拡散領域近傍には、X 字型スロー・ショックの形成など Petschek モデルと同じ構造が見られる。エネルギー変換は主にこのスロー・ショックで行われる「速いリコネクション」である。発展解であることから、従来のモデルには見られない特徴がある。リコネクション・ジェットには先端があり、この付近からは、むしろプラズマが上方に湧き出している。これは、元のカレントシート・プラズマにリコネクション・ジェットが突入したために高圧部を生じた影響である (ピストン効果)。インフロー部も FRW の伝播やジェットの成長とともに自己相似的に拡大していく。

### • 解析解<sup>9)</sup>

我々の数値シミュレーションでは、数百倍の自己相似的拡大が確認された。しかし、実際の天体現象では、リコネクション・システムは 5~7 桁もの拡大を続ける。これほどの拡大を計算機シミュレーションで再現するのは、現代のスーパーコンピュータを用いても絶望的である。それでは、数値解として得られたものが本当に自己相似的に発展を続ける解なのかどうか分からない。

そこで、旧態依然とした手計算が活躍する。最初から自己相似的発展解の存在を仮定して、MHD 方程式を解析的に解いた。その結果、数値解と極めて良く一致する解を得た。このことは、数値解で得たものが本当に自己相似解であり、外部環境の影響が顕著になるまではひたすら自己相似的に拡大し続けることを保証する。一方、解析解については、その安定性を調べていないが、同じ解と思われる数値解があらゆる MHD モード



# 自己相似的発展のX線画像 (予想図)

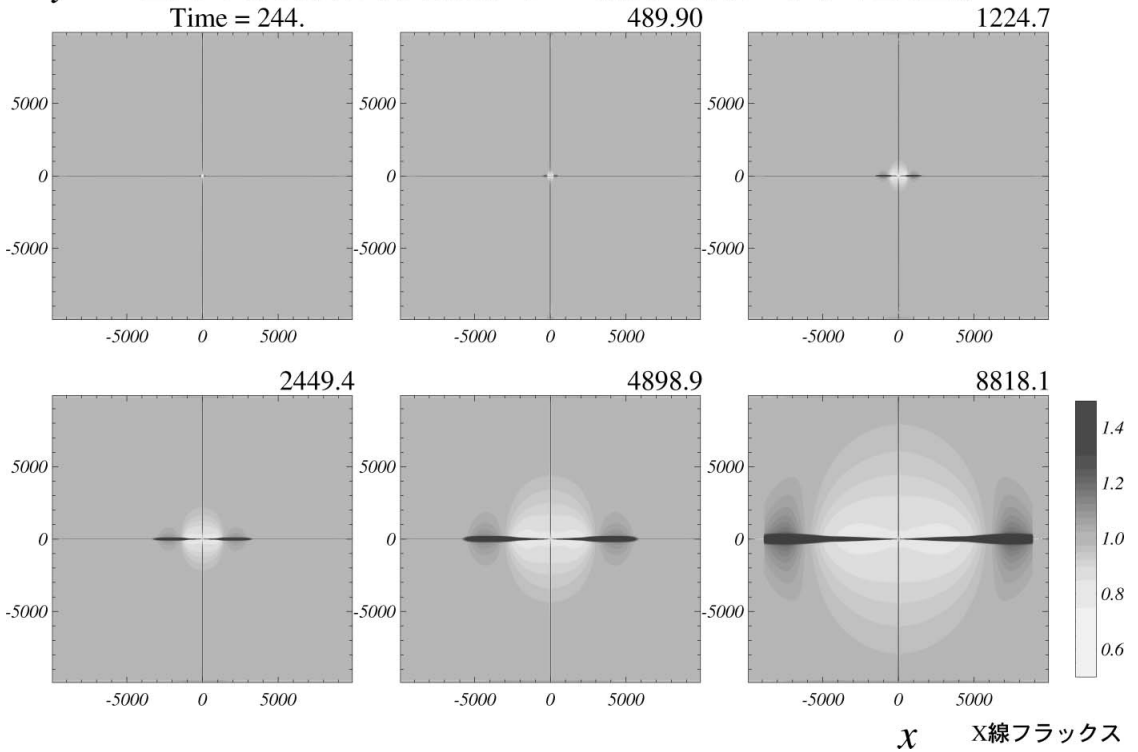


図 10 自己相似的発展の様子を X 線で観測したときの予想. X 線の明暗が逆転して表されている. 各図の中央が拡散領域で, 左右にキノコ状に伸びているのがリコネクション・ジェットと湧き出した流れ. 拡散領域を中心としたほぼ円形の部分が白く抜けている. これがディミングに当たると考えている. このディミングした領域も自己相似的に拡大し続ける.

に対して安定である (少なくとも数百倍の拡大の間) ことから, 安定であろうと判断される. このように, 数値的研究と解析的研究が相補的になって, 自己相似解の実現性を示している.

## 4. まとめと議論

本研究は, 真に天体現象としてふさわしい磁気リコネクション・モデルの確立を企図して行ったものである. その結果, FRW の伝播とともに自己相似的に拡大を続ける解を得た. この解は, 拡散領域近傍には Petschek モデルと同じ構造を含む「速いリコネクション」解である. その外側には, 時間発展解としての特徴が現れている (ジェット先端部からの湧き出しや, インフロー

領域の持続的拡大). 発展中のすべてのことが自発的に決まる点が目新しい.

この自己相似モデルは, 現象としてはどのように観測されるはずであろうか? 筆者らは「ディミング」と呼ばれる現象に注目した. これは, 太陽フレアを X 線で観測したとき, リコネクション領域の周辺が, 急に暗くなる現象である. 筆者らは, この暗くなった領域は, FRW の伝播によってプラズマが希薄になった領域であろうと想像している. この自己相似モデルの時間発展を X 線で観測したときの予想をしてみた (図 10 参照). この図では, X 線で明るい部分は黒く, 暗い部分は白っぽく表示されている. 拡散領域 (各図の中央) 近傍から, 暗くなった部分が円状に Alf-

ven 速度で広がっていくのが見て取れる。太陽フレアなら、2,000 km/s 程度の速さで数百秒かけてディミングが拡大していくように見えるはずである。Solar-B 衛星に搭載される X 線望遠鏡の時間分解能は 2 秒程度であるので、十分にアニメーションとして観測されるであろう。また、キノコ状に黒く見えているリコネクション・ジェット

の成長が観測されれば、フレア、ディミング、リコネクションの関係を直接に証明することができる。将来、筆者らのモデルを観測的に検証できるよう、これからも現象論的予言をしたいと思う。今後の発展として特に関心を持っているのが、エネルギー変換パワー（リコネクション・レート）の自発的決定機構である。この問題を解決するにはリコネクション・ジェットの内部構造を解

かななくてはならない。この研究は現在進行中であり、完成したら、また報告させていただきたい。本稿の冒頭で述べたように、大規模フレアは我々の文明生活に影響を及ぼすことから、フレアとその影響を予測する「宇宙天気予報」がビジネスチャンスとしてとらえられている。本稿で議論してきたとおり、フレアや磁気嵐の素過程が磁気リコネクションである。近年のコンピュータ・シ

ミュレーションの発達と普及により、日本天文学会の年会でもリコネクションの話題が多く聞かれるようになった。しばしば話題になる磁気リコネクションであるが、その素過程にさえ未知の部分が残されていることを知ってもらいたかった。応用も大切であるが、基礎も同じように大切である。応用学問である天体物理の裏方としての基礎学問であるプラズマ物理の研究にも興味を持っていただけたら幸いである。

本記事は総合研究大学院大学（国立天文台）で行った博士論文研究に基づいている。出版論文の共著者である田沼俊一博士（京大）、柴田一成教授（京大）、前澤 洵教授（宇宙研）に感謝する。また、指導教官として研究の機会とコメントを与えていただいた観山正見教授（国立天文台）、櫻井隆教授（国立天文台）に感謝する。工藤哲洋博士（西オンタリオ大）、横山央明博士（東大）ほか、柴田教授を慕う若き天体 MHD 研究者グループのすべての方々には、研究の発展段階でさまざまにコメントしていただいた。加藤直子（総研大）には本稿の投稿を強く勧めていただいた上に、本稿を何度も通読していただき、分野外からのコメントをいただいた。深く感謝する。

参考文献

- 1) Sweet P. A., 1958, The neutral point theory of solar flares, in *Electro-magnetic Phenomena in Cosmical Physics*, ed. B. Lehnert (Cambridge University Press, London) 123
- 2) Parker E. N ., 1963, *ApJ Suppl. Ser.* 8, 177
- 3) Petschek H. E., 1964, *NASA Spec. Publ.* 50, AAS-NASA Symposium on Physics of Solar Flares 425
- 4) Vasyliunas V. M., 1975, *Rev. Geophys.* 13, 303
- 5) Sato T., Hayashi T., 1979, *Phys. Fluids* 22, 1189
- 6) Priest E. R., Forbes T. G., 1986, *J. Geophys. Res.* 91, 5579
- 7) Ugai M., Tsuda T., 1977, *J. Plasma Phys.* 17, 337
- 8) Nitta S., Tanuma S., Shibata S., Maezawa K., 2001, *ApJ* 550, 1119
- 9) Nitta S., Tanuma S., Maezawa K., 2002, *ApJ* 580, 538

**A New Model of Magnetic Reconnection for Astrophysical Application**

**Shin-ya NITTA**

*Coordination Center for Research and Education, The Graduate University for Advanced Studies, Shonan Village, Hayama, Miura-gun, Kanagawa 240-0193, Japan*

**Abstract:** Magnetic reconnection is a kind of engine process which releases an enormous magnetic energy through the “reconnection” of magnetic field lines. This process is universal in plasma systems, and widely appears in astrophysical phenomena. Magnetic reconnection is famous for an elementary process of solar flares and the geomagnetospheric substorms which are related to the space-weather. In spite of its popularity and importance, any suitable model which is specified as an astrophysical model has not been established yet. We considered an astrophysics-oriented reconnection model, and established “self-similarly evolving model of magnetic reconnection.” We expect that this new model will be inspected by the next solar mission “Solar-B.”