

P/2010 A2 (LINEAR) の衝突について

菅原賢(彗星物理水曜ゼミ)、 秋澤宏樹(姫路市星の子館 / 水曜ゼミ)

今年1月に「LINEAR」によって発見された「P/2010 A2 (LINEAR)」は、暫定軌道が求まると5番目の「メインベルト彗星」かと思われたが、核やコマが見られずに直線の尾だけに見える形態や、いわゆる雪線より内側にあってなぜ枯渇していないのかなど謎の多い新「彗星」であった。その後、Jewitt 他(Kitt Peak 3.5m)やLicandro 他(ESO 2.5m)の観測によって直線の尾の近傍に「小惑星」が発見され、小惑星など他の天体(以下、impactor)が衝突したことで一時的に彗星のような振る舞いを見せた可能性が示唆された。その後、1月末のハッブル宇宙望遠鏡の観測によって、X字型に交差した微細構造が撮像されるに至り、衝突によって形成された塵雲であることが有力視されている。

我々は、この仮説に従い、衝突によって放出されたダストの運動を数値的に追跡することで、X字型構造の一部を再現することに成功した。その結果を元に、衝突のシナリオ案をいくつか提案する。

(本稿では口頭発表の内容と重複しない部分を中心に記述した。)

1. 衝突放出モデル

NASA による Deep Impact 衝突実験の際に菅原(2006)が開発した計算プログラムを応用した。impactor の衝突地点から、彗星核に対して初速 V_0 で多数のダストが円錐の表面に沿うように飛び出すと仮定する(図1)。彗星核とダストに働く重力、ガスの抵抗力などは無視できるものとし、太陽との間の重力と光圧のみに支配されて運動すると考えると、噴出したダストの群れは、ある方向に集中的に放出されたダストからなる特殊なダストテイルとして扱うことができる。今回は、ルンゲ・クッタ法による数値積分で運動方程式を解き、観測時刻におけるダストの位置を追跡する手法をとった。

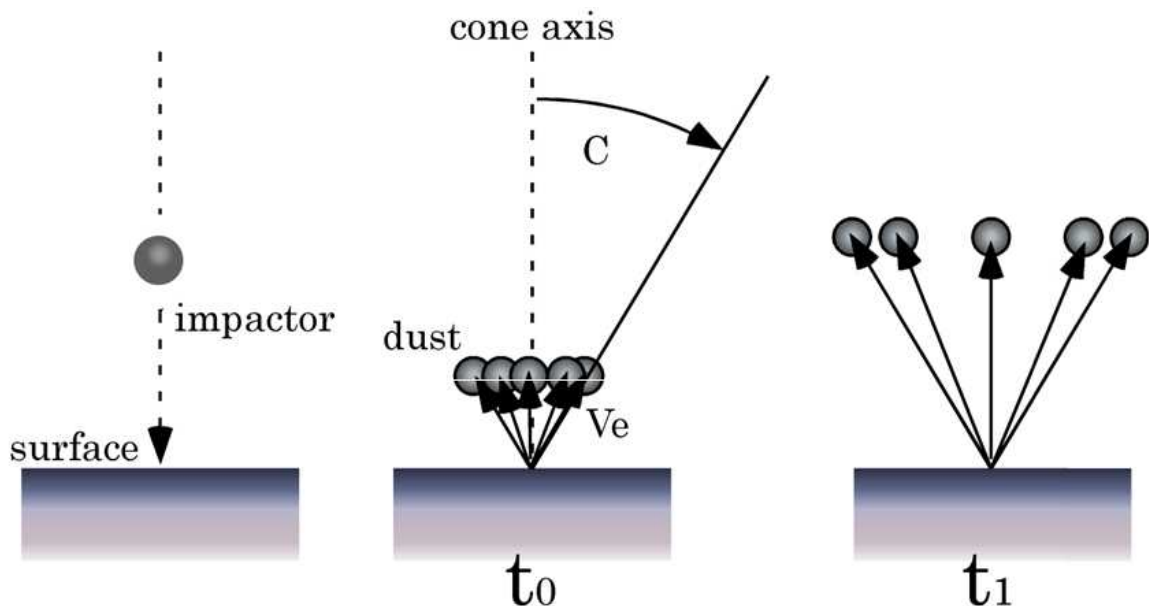


図1. cone axis に垂直な方向から眺めた様子。impactor の衝突直後、ダストは頂角 C を持つ円錐の表面に沿って、初速 V_0 で放出されると仮定する。放出当初、cone axis の方向から見下ろすとダストは円形に分布するが、斜めから見ると楕円形として観測される。

2. 具体的な計算手順

(1) ダストの放出パラメータを仮定

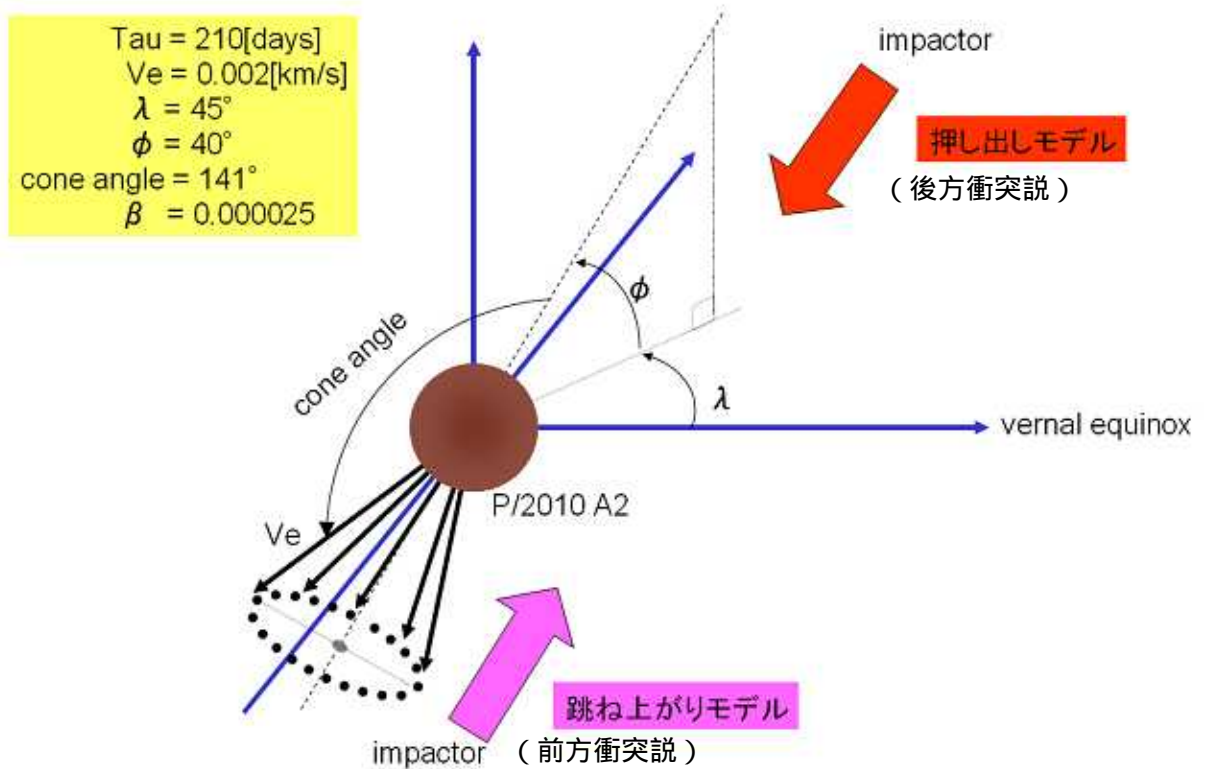


図 2. impactor の衝突方向と反対側にダストが跳ね上がる場合と、衝突方向にダストが押し出される場合が考えられる。P/2010 A2 の場合には、運動方向の前方に衝突していたら「跳ね上がりモデル」、後方なら「押し出しモデル」になる。

(2) ダストの初期条件の計算

母天体について

P_c : 位置ベクトル (日心黄道座標)

V_c : 速度ベクトル (日心黄道座標)

これは、MPC の軌道要素からケプラー方程式を解くことによって計算。

ダスト放出の速さ V_e を、仮定した円錐の形状、向きに応じて彗星を原点とした黄道座標系上の速度ベクトル V_{cd} に変換。

ダストの位置ベクトル、速度ベクトルを日心黄道座標系に変換

位置ベクトル $P_d = P_c$ (母天体に同じと近似)

速度ベクトル $V_d = V_c + V_{cd}$

(3)ダストに働く重力・光圧比 を考慮しつつ、ダストと太陽の二体問題として、放出時刻 t_e から観測時刻 t_{obs} まで数値積分し、 t_{obs} におけるダストの、

位置ベクトル $P_{d,obs}$

速度ベクトル $V_{d,obs}$

を得る。

(4)地球の日心赤道座標（太陽座標）を使って、地心赤道座標（ d_α, d_δ ）に変換する。

（今回は HST による画像データも地心から見たものとして扱った。）

(5)観測画像との比較

観測画像上に計算結果を重ねてプロットし、形状を比較する。

3. 結果

パラメータを様々に変化させることで、HST で観測された X 字状構造のうち、弧状の部分に良く一致する組み合わせが見つかった。弧が両端のつながった楕円として観測されていないのは、衝突が P/2010 A2 をかすめるように起こったとすれば説明可能である。

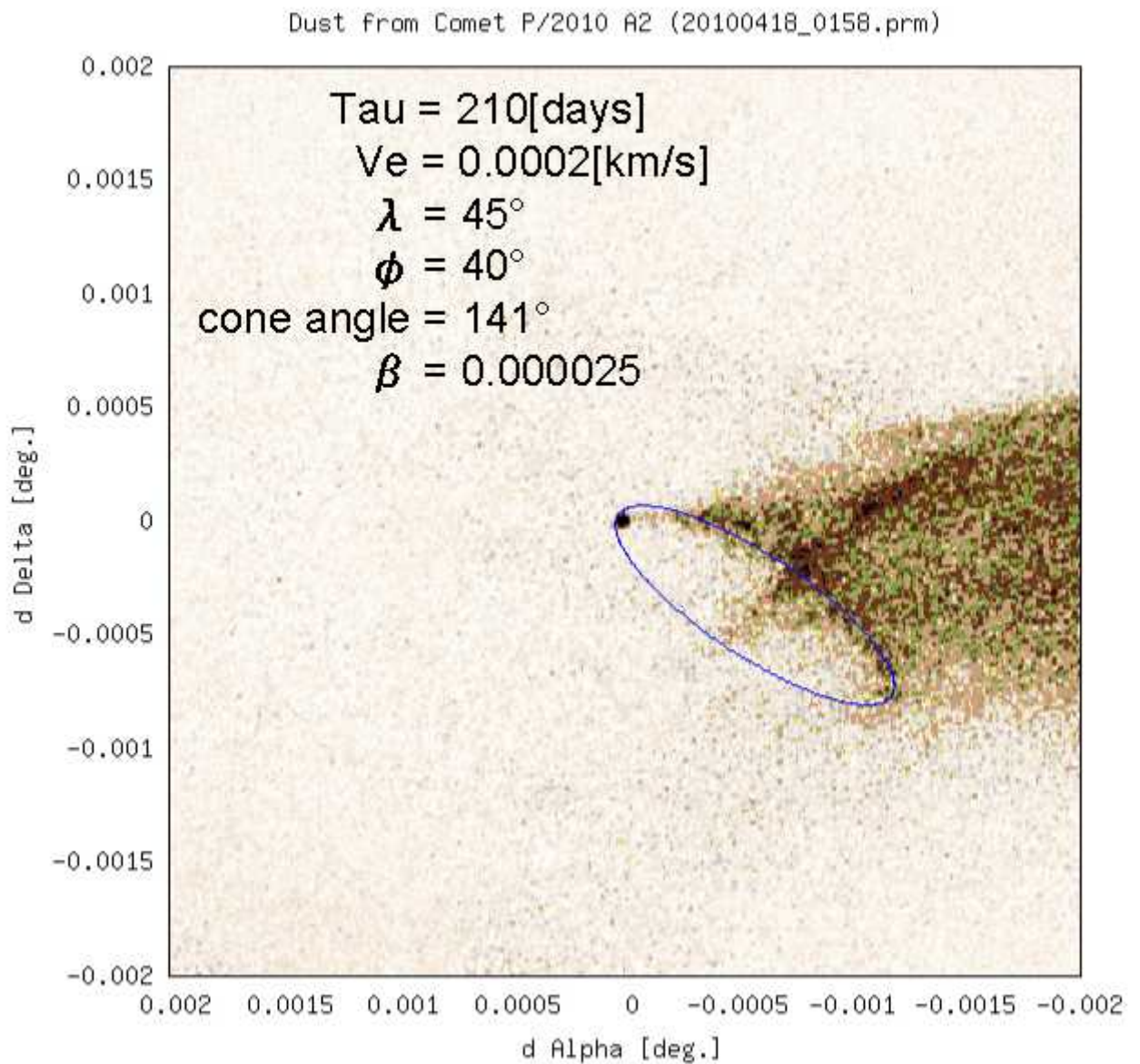
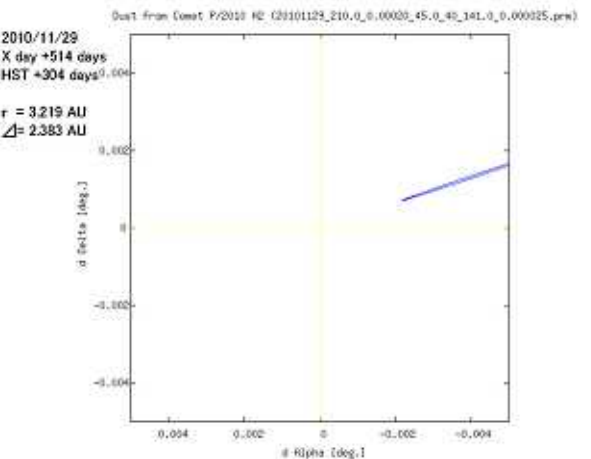
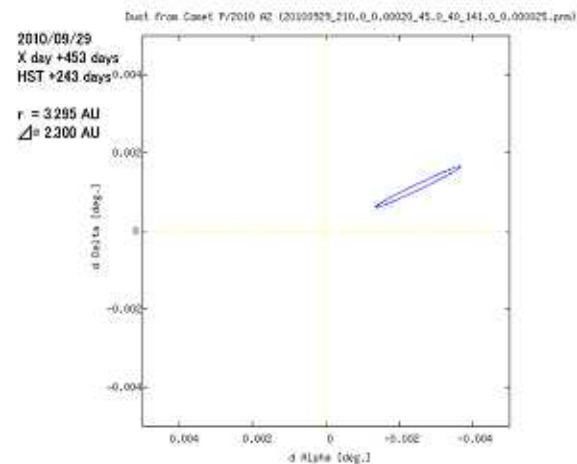
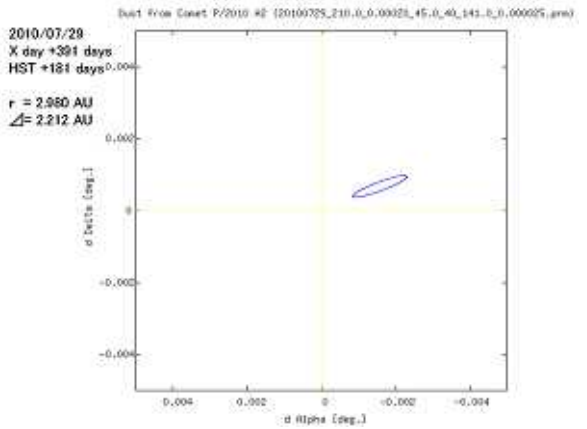
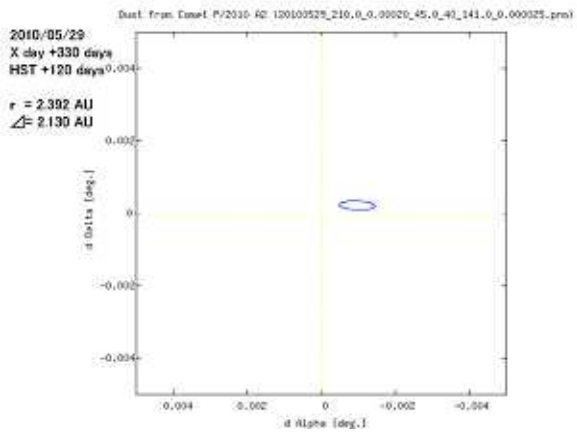
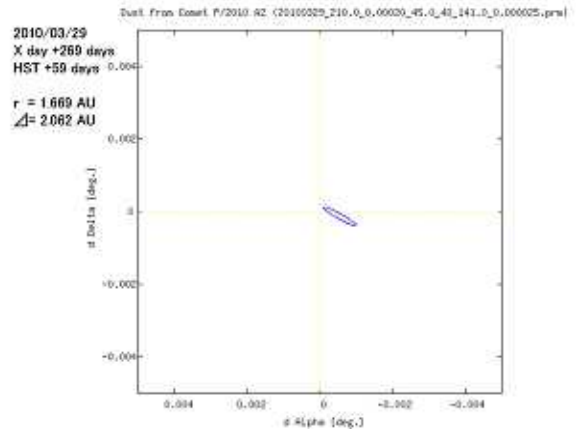
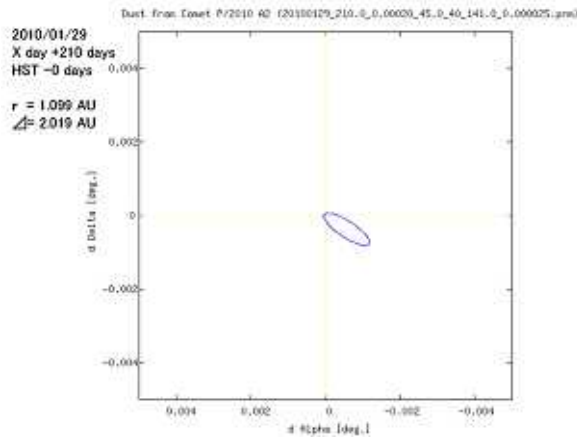


図 3. ハッブル宇宙望遠鏡による 2010 年 1 月 29 日の P/2010 A2 の画像(反転)に計算結果を重ねて、頭部付近に見られる弧状の構造にフィッティングした。概ね形状を再現できているが、このパラメータの組

合せが唯一の解であるかどうかは、未確認である。

4. 得られた衝突パラメータによる今後の形状の予測



5. まとめと今後の課題

P/2010 A2 の X 字型構造のうち、弧状の部分については、衝突によって円錐状に飛び散ったダストが形成したとするモデルでうまく再現できることが解った。衝突発生時刻は - 210 日 (2009 年 7 月 3 日)、放出速度は秒速 ~ 0.2m (時速 ~ 0.7km) ほどとなった。

今後の課題として、観測事実とモデルの整合性、単一解であることの確認、impactor 衝突方向の決定、弧の長さを用いた P/2010 A2 母天体上への衝突角度や衝突地点の推定、放出された塵雲の総質量の見積もりなどが挙げられる。

- 彗星会議で配布した資料の一部の誤植を訂正した。

ダスト放出速度

誤 0.002 [km/s]

正 0.0002 [km/s]