国立大学法人
大阪教育大学

理数情報教育系（理科教育講座）　平川　尚毅

高校生とともに進める惑星物質科学

近年の太陽系探査と高等学校における太陽系の学習

ロゼッタやはやぶさ２，OSIRIS-Rex，MMX(Martian Moons eXploration)など，太陽系探査は社会の大きな関心ごとになった．探査機が現地の物質を分析したり，解析したりあるいはサンプルリターンすることで太陽系の歴史の解明を目指している．高等学校地学基礎・地学では太陽系の歴史について，標準モデルに基づく概要や惑星の運動などを扱うが，物質科学的な側面からの学習はあまりされていない．

太陽系の歴史を記録した物質である隕石に着目

アエンデ隕石

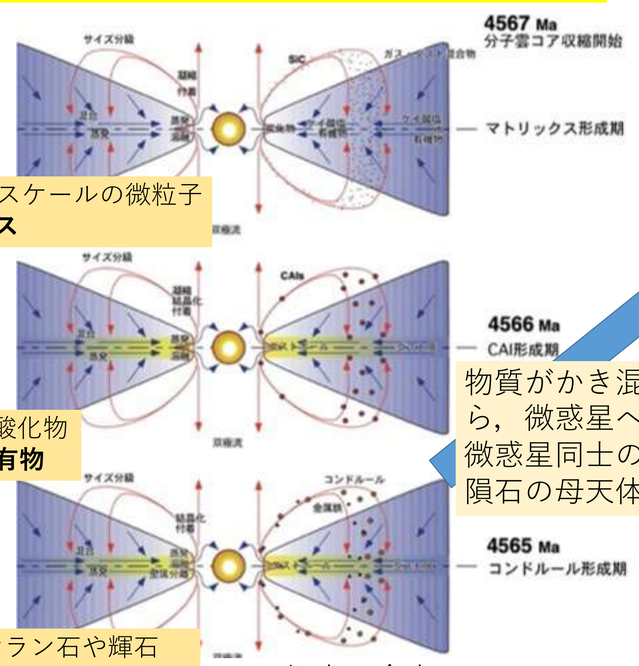
隕石を活用すれば，実感的な太陽系進化の学習を展開できるのではないか．

隕石の教育的利用＆隕石を高校生が研究

高校生対象のアウトリーチ及び，高校生と協力して隕石の研究．

物質科学的に見た初期太陽系の進化

初期太陽系の進化の各段階で様々な物質が存在



サブミクロンスケールの微粒子
→**マトリックス**

AlやCaを含む酸化物
→**難揮発性包有物**

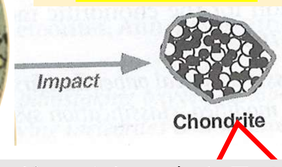
Mgに富むカンラン石や輝石
→**コンドリュール**

坂本・倉本(1998)

物質がかき混ぜられながら，微惑星へと集積．微惑星同士の衝突合体で，隕石の母天体が形成．

隕石母天体(小惑星など)

始原的な状態を保ったまま破砕され，地球に到達した石質隕石．
→ **コンドライト**



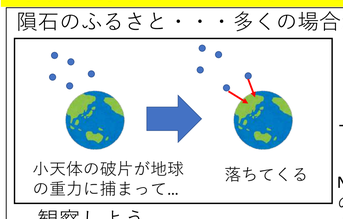
コンドライトの中を見ると．．．

マトリックス
(隙間を埋めているもの)

コンドリュール
(球粒状)

高校生向けに作成した観察のポイント

隕石のふるさと・・・多くの場合が**小惑星**



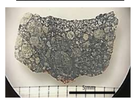
小惑星は形成途中や形成後に天体同士の衝突で破片をばらまいている

観察しよう
隕石の表面や中の様子
サンプル：Allende, NWA869

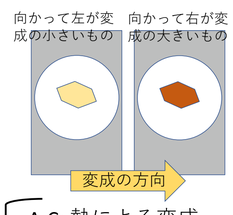
考えてみよう
NWA869(Allendeも)の表面はやきなまされてつるつるしている．
なぜだろう？

コンドライトに見られる**変成作用**

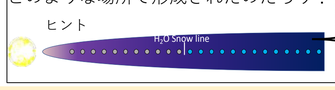
観察しよう



母天体で生じた変成作用は，岩相にどのような変化を生じさせるのだろうか？



考えてみよう
隕石の元になった天体(母天体)は，元々どのような場所で形成されたのだろう？

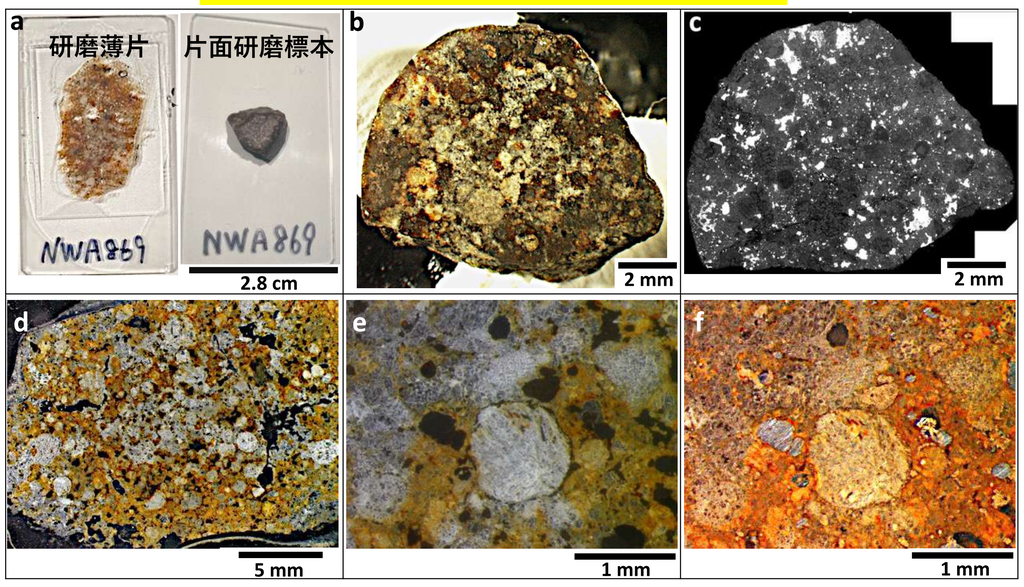


A-C: 熱による変成
D: 水による変成

初期太陽系の各段階で形成される物質を確認できる．
→ 太陽系進化の歴史を実感的に理解できる教材になるのではないか？！

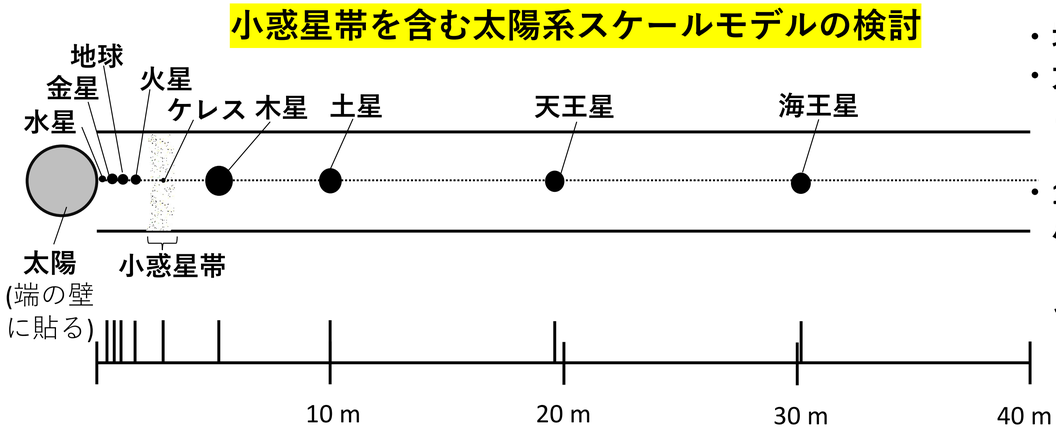
教材の開発

隕石の研磨薄片と片面研磨標本の作成



NWA869の研磨教材
a：研磨薄片と片面研磨標本，b：片面研磨標本の研磨面，c：片面研磨標本の研磨面の反射電子像，d：研磨薄片の透過光観察，e：研磨薄片中に見られるコンドリュール周辺の透過光観察，f：研磨薄片中に見られるコンドリュール周辺の反射光観察

小惑星帯を含む太陽系スケールモデルの検討



- **地球をビー玉サイズ(1.5 cm)**
- **太陽ー地球間の距離を1 mとする縮尺で模擬．**
- **16メッシュの篩を用いて，小惑星帯の小惑星を再現．**

それぞれの縮尺で生徒が計算

天体のサイズ	太陽	水星	金星	地球	火星	ケレス	木星	土星	天王星	海王星
直径 (km)	1392000	4279	12103	12742	6780	950	139822	116464	50424	49244
換算後の直径 (mm)	1639	5	14	15	8	1	165	137	59	58

天体までの距離	太陽	水星	金星	地球	火星	ケレス	木星	土星	天王星	海王星
計算で求められる距離 (au)	0.0	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	30.8
換算後の太陽からの距離 (m)	0.0	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	30.8
実際の距離 (au)	0.0	0.4	0.7	1.0	1.5	2.8	5.2	9.6	19.2	30.1

＊天体までの距離は，チチウス・ボーデの法則を使って算出

大阪教育大学附属高校天王寺校舎SSHでのアウトリーチ (雑誌 地学教育にて受理済み)

実施日：2021年7月15日
対象：高校1, 2年生の希望者38名
＊SSH「Spring8，西はりま天文台実習」の事前学習という位置付けで実施．

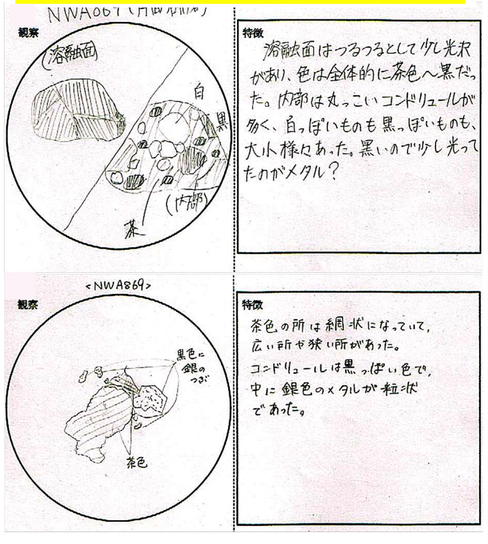
実践の展開

活動	準備物	時間配分
前半：太陽系のスケールモデルの作成実習 **講義1** 〇太陽系はどのように進化してきたのか？ ・太陽系にはどのような天体が存在するか． ・太陽系形成の標準モデル． 〇隕石の故郷 ・小惑星の紹介 ・小惑星帯の紹介 **実習1**：太陽系のスケールモデルを作成しよう ・各班で水星，金星，火星，ケレス，木星，土星，天王星，海王星の中から担当する天体を決める． ・地球をビー玉サイズとした時の縮尺で担当する天体のサイズを計算する． ・太陽ー地球間の距離を1 mとする時の縮尺で各天体の太陽からの距離を計算する． ・各班，身の回りから担当した天体の大きさ程度のものを見つけ出す．廊下の端に太陽の図を貼り，計算した距離に見つけたものを置いて，太陽系のスケールモデルを作成する． ・小惑星帯の範囲に篩がけした砂をまく．	プレゼンテーションソフトによる講義スライド ビー玉 太陽のモデル図 紙粘土 グランドの砂 篩 (16 メッシュ)	15分間 35分間
休憩		10分間
後半：隕石の観察実習 **講義2** 〇隕石はどのようなものか？ ・1969年という年について ・物質進化の観点で見た太陽系の形成史 (原始太陽系円盤でのコンドリュールや難揮発性包有物の形成などについて) 〇コンドライト ・コンドライトの母天体について ・コンドライトに含まれる包有物について ・地球の岩石の組織の復習 **実習2**：隕石を観察してみよう ・各班で観察する隕石を決める． ・肉眼や双眼実体顕微鏡により隕石の溶融痕や研磨面を観察，スケッチする．また，観察して気づいたことについて，自由記述する．	プレゼンテーションソフトによる講義スライド ・NWA869：薄片2枚，片面のみの研磨試料2個 ・Ghubara：薄片1枚，片面のみの研磨試料2個 ・Allende：片面のみの研磨試料1個 ルーペ，双眼実体顕微鏡	30分間 20分間
まとめと感想文の記入		

生徒にとって実感を伴った学習であったこと，また地学基礎・地学の内容から連続して，発展的に学習できることがわかった．

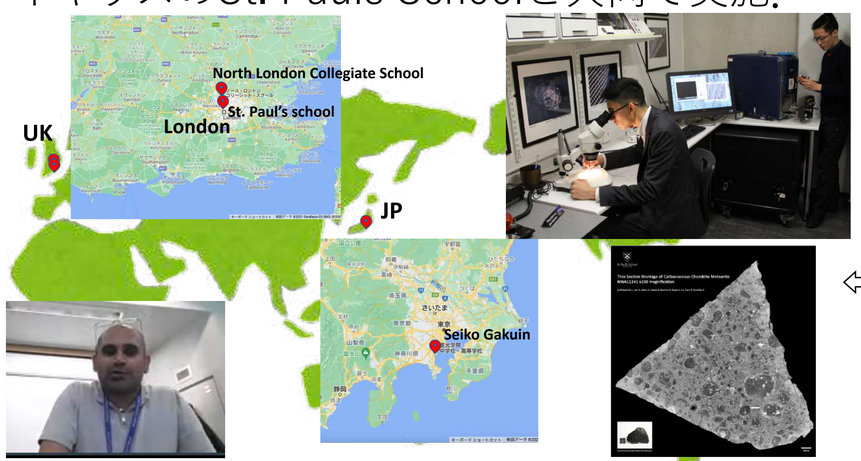
物理教室前の廊下で太陽系のスケールモデル作り

生徒が行った隕石のスケッチ



聖光学院高校での隕石の研究

走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて，高校生が隕石を分析する．
イギリスのSt. Pauls Schoolと共同で実施．



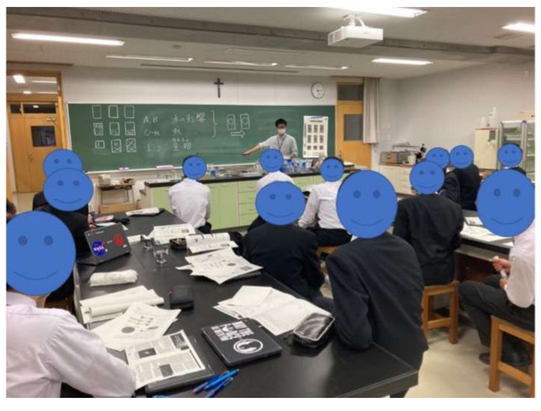
英日でSEM分析を進め，今後その成果交流を行う予定．

Hitesh Changela @ Chinese Academy of Sciences

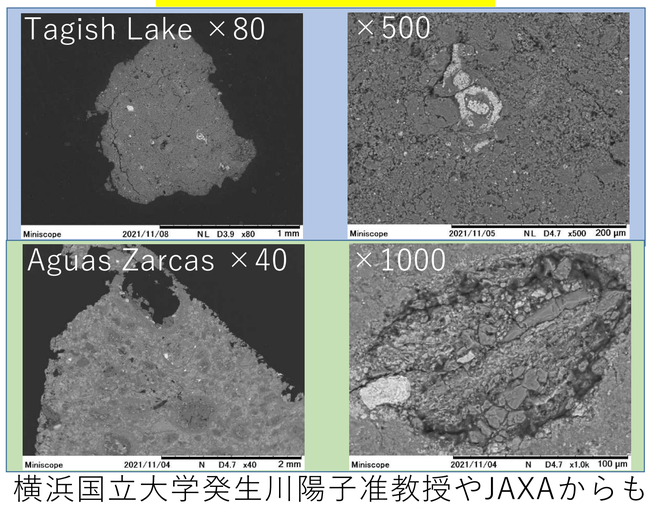
⇦St.Pauls Schoolの生徒による隕石(NWA11241)のモンタージュ写真

隕石に関するレクチャー

実施日：2021年10月14日
対象：中3～高2生の希望者38名



SEMを用いた観察



横浜国立大学癸生川陽子准教授やJAXAからも分析サンプルを提供いただき実施．