

カンタベリーから(1)

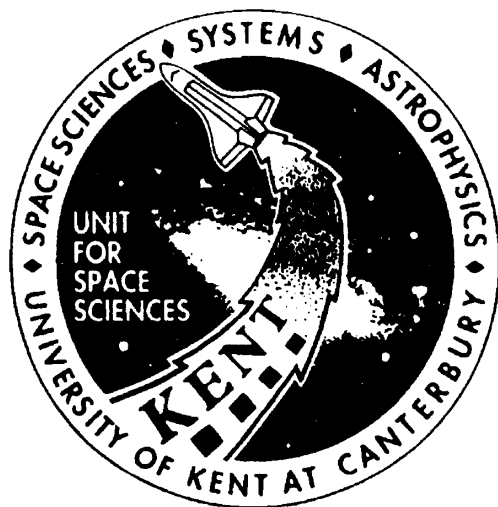
英国ケント大学カンタベリー校・宇宙科学科

矢野 創¹

英国ケント大学カンタベリー校・宇宙科学科 (University of Kent at Canterbury, Unit for Space Sciences. 以下 UKC/USS) は 1967 年の創設以来, NASA 及び ESA のミッションに宇宙固体微粒子の研究を中心とした貢献をしてきた。今までの主な計画及び現在進行中の計画には, 以下のものがある。アポロ, STS-3, ジオット, LDEF, EuReCa, DISCOS, Mars'94, ガリレオ, ユリシーズ, カッシーニ/ホイゲンズ, コロンバス, ロゼッタ。本稿では, UKC/USS の環境, 歴史, 研究分野, 研究教育の体制, 研究施設, 各ミッションの概略, 将来の計画, そして日本への期待をご紹介します。

1. 中世都市・カンタベリーとケント大学

英国イングランドの南東部に位置するケント州



は, 「イングランドの庭園」と称賛される。なだらかに広がる農地では羊の放牧やホップ栽培が営まれ, 石灰岩でできた白い屏風のような海岸線は古代から大陸への玄関を演じてきた。カンタベリーは州の東部にあり, ロンドンから 90km, ドーバーから 25km, また本年末よりロンドン・パリ間を三時間で結ぶユーロ・トンネルの玄関・フォークストンからも近距離に位置する。

カンタベリーには石器時代から集落があり, ローマ統治時代には既に都市国家がつくられていた。七世紀初頭にケント国王がイングランドで最初にキリスト教を国教と定めて以来, この街にはヨーロッパ各地より巡礼と学問を求める者達が訪れるようになった。中世には, チョーサー (G. Chaucer) が著した「カンタベリー物語」によって, その存在がさらに広く紹介された。街の中央にある大聖堂は, 現在も世界八千万人の英国国教会の総本山であり, カンタベリー大司教は, 国王・王女に王冠を授ける役割も担っている (図 1)。

UKC のキャンパスは, 城壁に囲まれた人口十三万のこの中世都市を一望できる北側の丘にある。創立は 1965 年で, 1992 年度の学生数は 5500, 教育研究者数 500 程で, 四つのカレッジを持つ。土地柄を反映して, ヨーロッパ, 旧コモンウェルス諸国からの留学生も多い。

¹ ケント大学カンタベリー校

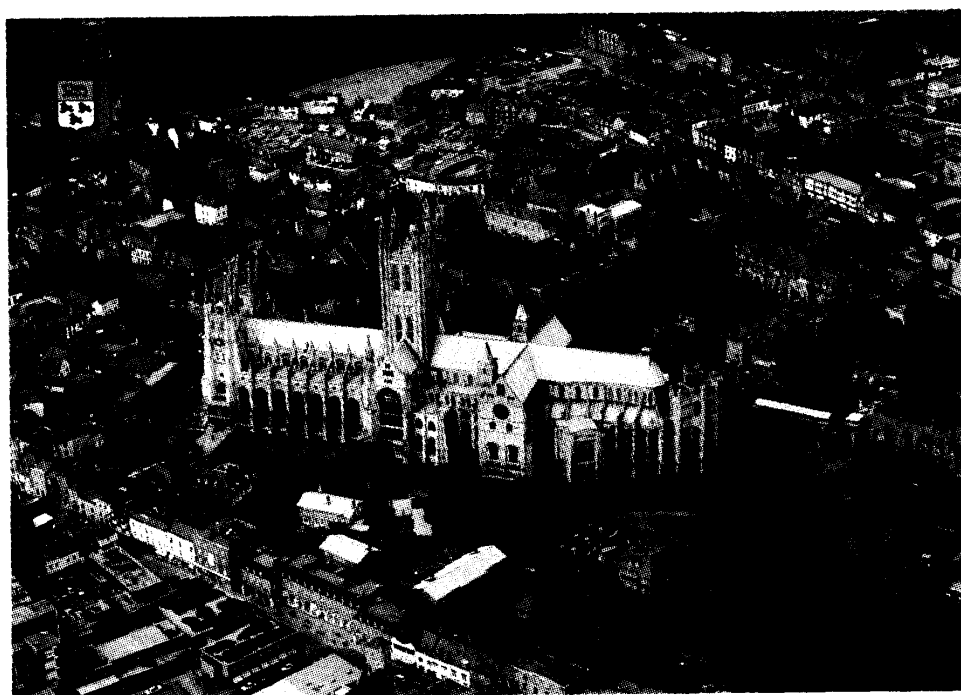


図1. カンタベリー大聖堂

2. UKC/USS の歴史と研究分野

UKC/USS の原型は、J.A.M.McDonnell 主任教授が着任した1967年に作られた。創立当時は、従来のマイクロフォンに宇宙固体微粒子が衝突する時の信号に代わって、粒子の電荷、運動量やプラズマの検出による新しい計測技術を開発した。これらの技術は後にヘリオスⅠ、Ⅱやジオットに应用された[1]。

1970年代にはアポロ計画での月岩石表面の微小クレーターの研究やパイオニア8号と9号の惑星間塵計測装置の較正に関わってきた。その後はLDEFやジオットに独自のダスト捕集装置や測定装置を搭載した。小天体探査ではベスタやCRAF等、中止されたが多くの基礎研究がなされた計画にも参加してきた。またハワイ、カナリー諸島、オーストラリアの天文台を使った小惑星の地上観測(例えばアイダ(Ida))も行っている。惑星科学では、土星とその衛星タイタンを目指すカッシー

ニ/ホイゲンス探査機と、ロシア連邦が主導する火星探査機「Mars'94」に参加している[2]。

1985年には、電子工学部から物理学部に移動・改組されて現在の体制が整った。1980年代後半からは、スペースデブリのカタログ化にも参画し、「宇宙微粒子環境」を包括的に研究するようになった。また宇宙空間での微粒子の計測は超高速衝突を招く。その物理現象を模擬するため、UKC/USSはヴァン・デ・グラフ加速器や希ガスガン、シミュレーション用コンピューターも所有している。1991年には、「Hypervelocity Impact in Space」国際シンポジウムを主催した[3]。

宇宙科学の特色の一つは、科学的疑問を解くためには同時に実験装置を自作できるエンジニアリングも必要とする点である。またヨーロッパでは、ESAの方針以外に、各加盟国が独自に研究を推進する二重構造になっている。こうした環境のもと、一大学が科学・エンジニアリング・ミッションマネージメントの全てに優れることは容易ではない。

その意味では、現在のUKC/USSはヨーロッパ内でも数少ない成功例だと言える。かつて「天国への門」と呼ばれたカンタベリーは、今また「宇宙への懸け橋」としての役割を果たしている。

3. 研究教育体制

3.1 人員構成

1993年6月現在、UKC/USSは33人で構成されている。内訳は教授陣6、研究員11、院生13(修士過程学生、研究生を含む)、専属秘書・エンジニア3である。過半数は英国人だが、国外出身者は、ギリシャ、ジブラルタル、ドイツ、日本、ニュージーランド、フランス、米国と多様である。研究スタッフは大学のみならず、RAL(Rutherford Appleton Laboratory)を始めとした研究機関や宇宙関連企業からも採用されている。

J.A.M.McDonnell教授は、これまで数々の国際ミッションの筆頭或いは共同研究者(Co-I)を努めてきている。ESAスペースデブリ・アドバイザーグループ並びにNASAのM+D SIG (Meteoroid and Debris Special Investigator Group)のメンバーでもある。尚、カッシーニ/ホイゲンズではJ.Zarniecki博士が筆頭研究者(PI)を努めている。

3.2 教育プログラム

UKC/USSは、「天文物理学専攻」と「宇宙科学・システム専攻」の二つの学部コースを組んでいる。カリキュラムとしては、数学、物理、天文学、エレクトロニクス、コンピューター、科学史等の共通基礎科目を修得した後に専門教科とプロジェクトが開始される。実験のクラスでは、太陽電池の発電効率など宇宙科学に関わるものも行なう。卒業研究は、天文物理学では可視光や電波天文台で得たデータや大学所有の12インチ屈折望遠鏡が用いられる。宇宙科学・システムでは、UKC/USSミッションの一部を研究する他に、独自

のミッションや探査機の設計にも挑戦できる。EC諸国や米国へ留学する制度も整っている。

近郊の初等・中等学校や宇宙関連団体の訪問見学も頻繁に受けている。国際学生組織SEDS (Students for Exploration and Development of Space)の支部もあり、昨年は英国年次大会をホストした。1991年には、旧ソ連と共同で行なった英国初の有人飛行、ジュノ・ミッションのため、カンタベリー高校の微小重力下の液体観察実験に協力した。翌年には、毛利衛博士も搭乗したSTS-47に搭載された、アシュフォード女子校の提案による結晶成長実験らの装置の製作に協力した。

3.3 研究施設

地球周辺の固体微粒子環境を理解するには、次の三つのアプローチが不可欠である。(a)超高速衝突の物理現象を再現する地上実験、(b)同現象及び微粒子の軌道上の運動や分布に関するコンピューターシミュレーションやモデルの構築、(c)宇宙での直接観測並びに捕集実験と回収後の分析。以下にUKC/USSが有する上記三項目のための施設をご紹介します。

(1) 2MV ヴァン・デ・グラフ加速器

この粒子加速器は 10^{-9} - 10^{-13} gの金属やケイ素の微粒子を、25km/sの速度で標的に打ち込むことが出来る(図2)。微粒子はリザーバーから狭い口径を通して、最高2MVの電位差を保つ52基のリング型電極が取り巻く長さ2mのチューブの中へ射出される。加速された微粒子は個々の質量と速度によって選択され、予めコンピューターに設定された条件に合ったもののみが標的に到着する。この施設はジオットのダスト計測装置の較正や、LDEFやEuReCaの捕集装置の開発にも使用された。また米やEC各国からの利用者も頻繁に訪れている。

(2) 希ガスガン

これも超高速衝突の模擬施設であるが、本来は装



図2. 2 MV ヴァン・デ・グラフ加速器(左). 中央には速度によって粒子を選別する装置が、右には真空チェンバーが設置されている。

甲車が被弾した時の被害を調べるといった軍事科学用に開発された。従ってヴァン・デ・グラフ加速器よりも大きなサイズ(100mg 程度)で遅い速度(5km/s 程度)の衝突を行なう。希ガスで満たされたシリンダーを、爆薬で射出されたピストンが圧縮し、ガスの膨張を使ってシリンダーの反対側に装填された硬質ナ

イロン製の弾丸を発射する。これは人工衛星へのスペースデブリの衝突を模擬したり、その衝突に耐える衛星の外壁の素材の研究等に応用されている。

(3) ハイドロコード

地上実験によって超高速衝突時の物理現象を表現する数式とパラメーターが推定されれば、実際の宇宙での衝突をコンピューターで再現できる。ハイドロコードはそうした超高速衝突の時間的変化を計算するソフトウェアで、世界中に数種類存

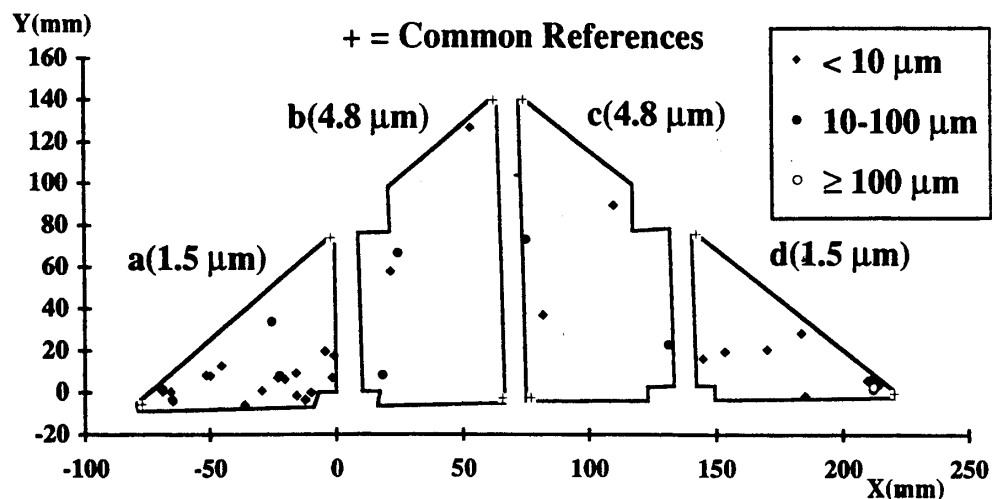


図3. LOSS によって検出された微粒子の超高速衝突による MAP 薄膜第一層の貫通孔(提供 H. Yano)

在するが、UKC/USSは「Autodyn」と「CTH」の2タイプを所有している。計算はラグランジュ法とオイラー法が選択できる。これを使って、宇宙から回収された実験衛星上の微小クレーターの形状を分析し、衝突速度や入射角度、衝突物のサイズや質量を導く努力がなされている。

(4) ESABASE/DEBRIS

ESABASE/DEBRISは、任意の飛翔体を地球周回軌道に乗せ、暴露時間に応じてその飛翔体を受ける微粒子の衝突の傾向を予測するソフトウェアである。惑星間塵にはE.GrünとN.Devineのモデルが、スペースデブリ(脚注1)にはD.Kesslerのモデルが採用されている。現在は、LDEFのダストフラックスから上記のモデルの再検討が行なわれている。またEuReCaのフラックスの予測と宇宙で得たデータの比較も進められている。ESAでは全ての宇宙飛翔体の開発にこのシステムが用いられており、プラズマや地磁気等のパッケージも存在する。

(5) LOSS

宇宙から回収された試料が保管されているクラス100のクリーンルームには、ステレオCCDを使った自動走査装置(LOSS(Large Optical Scanning System))が設置されている。

宇宙空間に晒された金属薄膜や耐熱外壁を載せたステージ(102.5cm × 42.5cm)の下から光を当てて、微粒子の貫通孔を通り抜けた光をCCDが探知して、その座標、サイズ、楕円率を記録を記録するシステムである。ステージの移動、焦点や明度の調節等は、全てクリーンルームの外にあるコンピュータで自動制御されている。走査後は、光を上から当てて、貫通孔の映像を撮ったり、電子顕微鏡観察のための「地図」が作られる(図3)。

(6) SEM/EDX

走査型電子顕微鏡(SEM(Scanning Electron

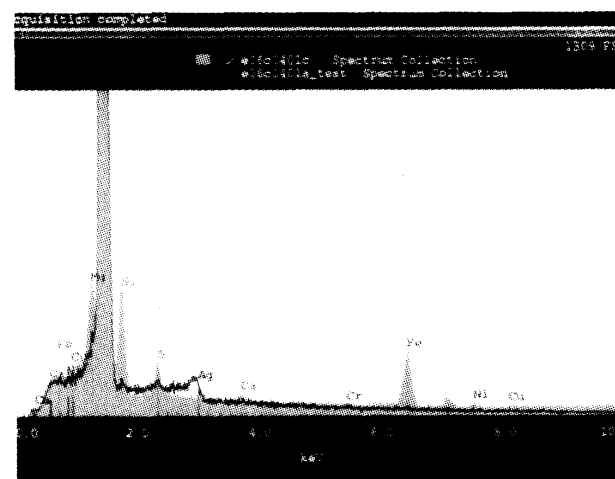
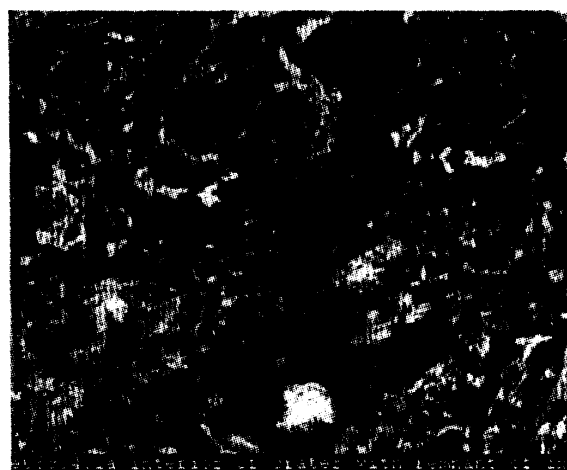
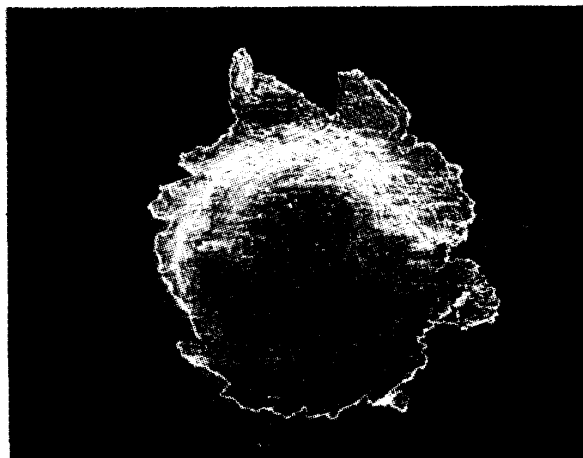


図4. LDEF南面のアルミニウム製クランプ上の微小クレーター(直径550 μ m)(上). クレーター最深部に20 μ mほどの衝突物の残骸が埋まっている(中). その元素スペクトルは宇宙微粒子の特徴を示している(下). (提供: H. Yano)

(脚注1) 人工飛翔体の衝突・爆発やロケット噴射等で宇宙に放出された破片及び既に運用が終了した人工飛翔体の総称。

Microscope))は、エネルギー分散型X線スペクトル分析器(EDX(Energy Dispersive X-ray Spectrometer))を装備したPhilips 525M型を使用している。これをSun Systemコンピュータに接続して、試料の拡大カラー撮影や元素の定性及び定量分析を行う(図4)。

4. ミッション実績史概略

4.1 アポロ・月岩石サンプル分析

アポロ探査機によって集められた月岩石の表面に形成された微小クレーター並びにその二次スパッターと太陽風との関係を明らかにした。

4.2 STS-3

1982年のスペースシャトルの第三飛行に、初の米国外実験ペイロードとして搭載された金属薄膜による宇宙微粒子の衝突観察実験。これによってLDEFでのCapture Cellによる微粒子の捕集が可能であることが判明した。

4.3 LDEF・MAP

地球指向型の姿勢制御を持つNASAの長期暴露

実験衛星・LDEF(Long Duration Exposure Facility)の東西南北・宇宙各面に、金属薄膜多層構造による微粒子捕集装置(Capture Cell)・MAP(Micro-Abrasion Package)を搭載(図5)。当初9ヶ月の予定だった暴露期間は、チャレンジャー事故によって69ヶ月に延長された。しかし宇宙微粒子を捕集する性能は暴露時間と暴露面積の積に比例するため、結果として史上最長かつ最大の微粒子実験となった(図6)。UKC/USSでは、MAPの他にも、LDEFのテフロン装着耐熱外壁や各実験装置を接続していたアルミニウム製のクランプについて微粒子の衝突の分析を行なっている[4]。

1990年の回収後、MAPはLOSSを使ってフラックスを求められ、SEM/EDXを用いて各衝突箇所

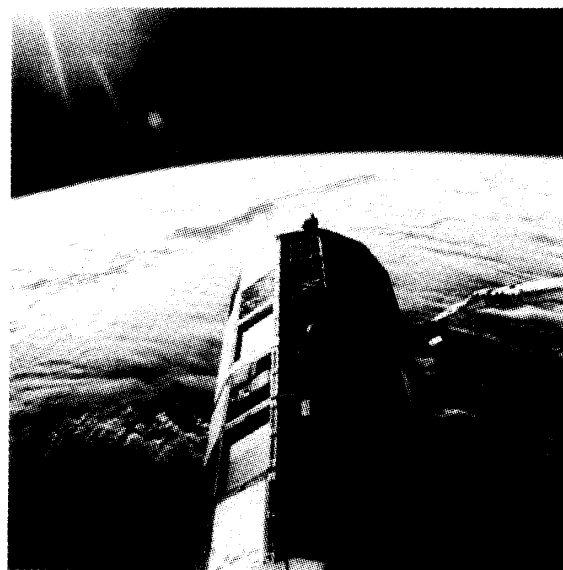


図5. LDEF(提供：NASA)

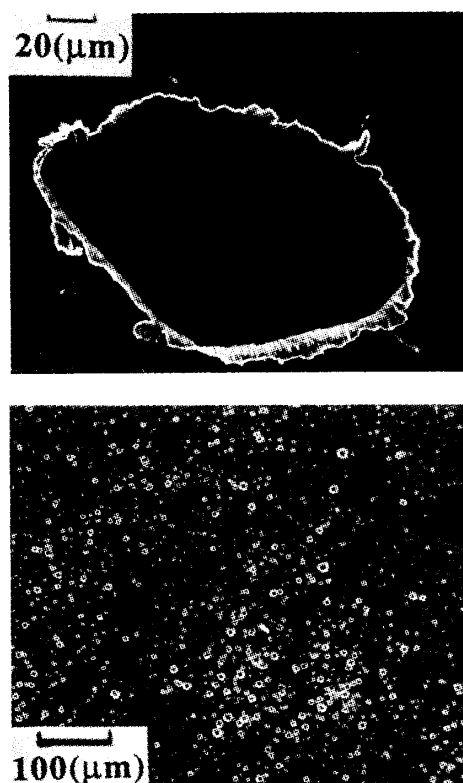


図6. 宇宙面のMAPのSEM写真。第一層(真鍮製厚さ5μm)を貫通した微粒子の超高速衝突(a)と、すぐ下の第二層(真鍮製5μm)に広がった微細なクレーター群。(提供：H. Yano)

の物理的・化学的分析が行なわれた。東(公転方向)は、走行中の車のフロントに当たる雨滴のように、最大の衝突個数が認められた。微粒子直径が $10\mu\text{m}$ 以下と 1mm 以上の範囲では、スペースデブリが惑星間塵を上回った。また同等のフラックスを持つと予測された南北面は、アルミニウム製MAP上のクレーターの深さ $25\mu\text{m}$ を境にフラックスの大小が入れ替わることが発見された(図7)。さらに大半のデブリは円軌道を持つため、LDEFの背面への衝突は稀と考えられていたが、西面の超速度衝突クレーターの少なくとも15%は、高い入射角度と長い楕円軌道を持つ移行軌道やモルニア軌道(脚注2)から派生したデブリによることも示唆された。

4.4 ジオット(Giotto)・DIDSY

1986年にハレー彗星の核の撮影に成功したジオット探査機には、ダスト衝突探知装置(DIDSY(Dust

Impact Detection System))を搭載した。円筒形の探査機の底面に設置されたDIDSYは、微粒子の衝突を複数の位置から探知して、微粒子の運動量を検出する。

1992年7月には、「ジオット延長ミッション GEM(Giotto Extended Mission)」として、グリッグ・スケジェロップ彗星(P/Grigg-Skjellerup)に相対速度 13.8km/s で彗星核から約 200km の位置まで接近した(図8)。相対速度 68.4km/s で最接近を行なったハレー彗星の時には、 $10^{-19}\text{kg} \sim 10^{-6}\text{kg}$ までの範囲の微粒子を2400余り探知したが、今回は、GEM全期間で計四つの衝突を探知しただけであった。従って質量分布の経時変化については何も語れないが、 14mg 、 $100\mu\text{g}$ 、 $20\mu\text{g}$ 、 $2\mu\text{g}$ の各質量フラックスはハレー及びIRAS(赤外線天文衛星)のデータと一致する。特に彗星核周辺で大型の微粒子

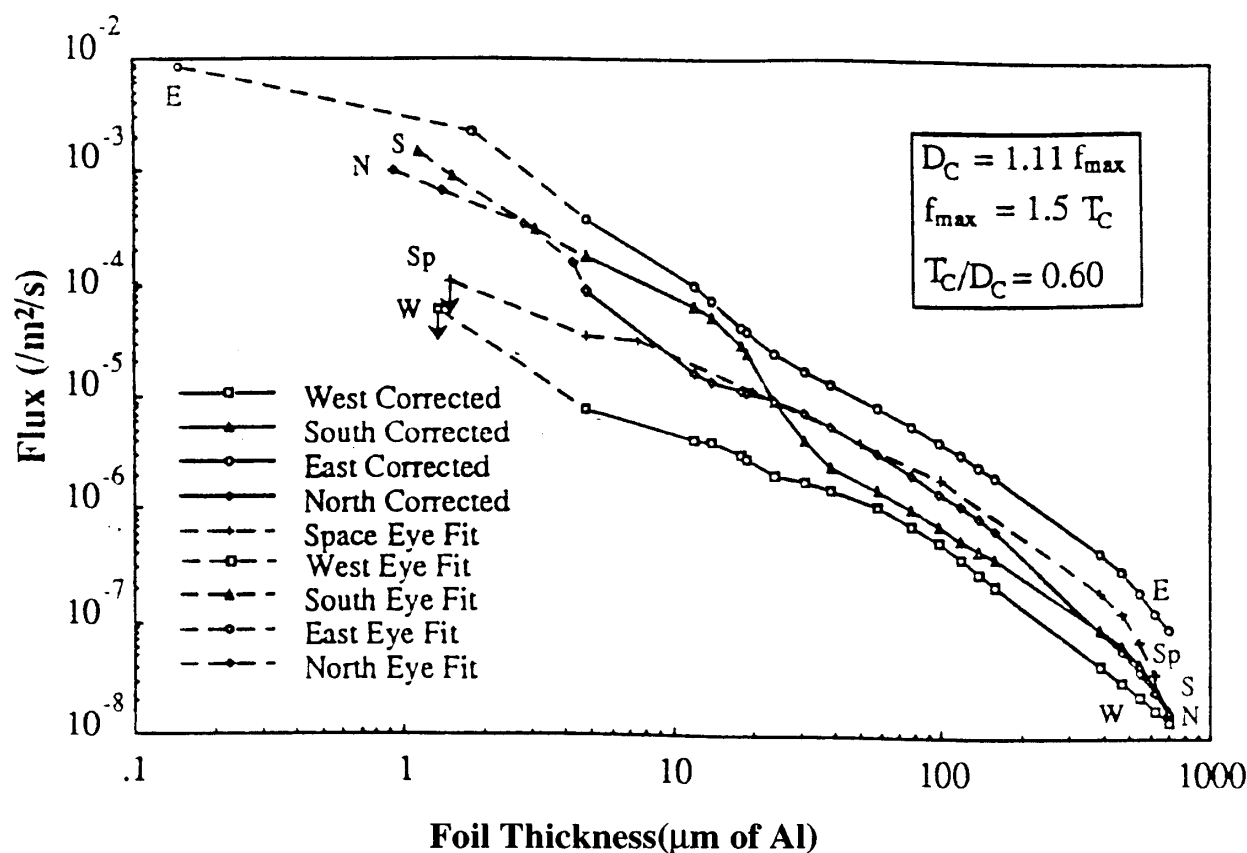


図7. LDEFの各面におけるフラックス。点線部はオフセットを修正していないので注意。(提供：J.A.M. McDonnell et al.)

(脚注2) 旧ソ連が開発した軌道角 63.5° で、近地点が高度約 1000km 、遠地点がGEO周辺にある長楕円軌道。この軌道は長軸の両端と地球の位置関係が変わらないため、人工衛星は約半日の周期の大半で、遠地点が属する側の半球上に存在することになる。多くの場合、遠地点は北半球にあり、旧ソ連から交信できるようになっている。

が確認されたことは、彗星核環境のモデルや彗星核の質量損失を考える上での新しい手掛りとなる。

4.5 DISCOS

UKC/USSが開発したDISCOS(Database and Information System Characterising Objects in Space)とは、ESAが有する人工衛星の軌道カタログをデータベース化し、それを元に現在と将来の宇宙飛翔体がスペースデブリの衝突を受ける確率を予測するシステムである。これによると1991年当時、地球低軌道上の人工衛星に決定的打撃を与える高速度衝突は直径0.1mm以上のデブリによってなされる。こうした危険性を伴う0.1～1.0mmサイズのデブリの数は350万を超える。宇宙ステーション運用を10年以内に控えた現在、世界各地でスペースデブリの実態や分布の把握、発生を抑える技術開発、国際協力による宇宙環境のモニターの確立等が急がれている。

4.6 ガリレオ(Galileo)、ユリシーズ(Ulysees)

マックス・プランク核物理学研究所のE. Grünのグループが開発した惑星間探査機用のダスト計

測装置は、現在木星探査機ガリレオと太陽探査機ユリシーズに搭載されている。UKC/USSはそれらのCo-Iとして、地球に送信されてきたデータの分析を行なっている。とくに現在太陽の南極に向かっているユリシーズは、黄道面を外れて太陽系のハローの探査を目的とした初めてのミッションである。その木星フライ・バイの際には、木星系の方角からの定期的な微細なダスト($10^{-16} \sim 10^{-14} \text{g}$)のストリームと遭遇した。これについて、イオが噴出した微粒子が木星の磁気圏によって加速されるという説をはじめ、現在多くの仮説が出ている。また初の恒星間塵を検出したという報告も出されている。

4.7 EuReCa(ヨーロッパ回収型実験衛星)

TiCCE 及びその飛行後検査

EuReCa(European Retrievable Carrier)は、「ESA版SFU」と呼べる低軌道上の再利用型フリー・フライヤーである(図9)。1992年8月にシャトルで打ち上げられ、やはりシャトルによって本年6月末に回収された。UKC/USSはこれに微粒子捕集装



図8. グリッグ・スケジェロップ彗星に接近するジオット(想像図)。(提供：ESA)

置・TiCCE(Timeband Capture Cell Experiment)を提供した。TiCCEは、定期的に移動するアルミニウム薄膜の第一層と金製プレートの第二層からなるCapture Cellと、将来の微粒子捕集装置の素材を検討するために数々のサンプル試料を乗せた部分からなっている。自動Capture Cellの特徴は、一

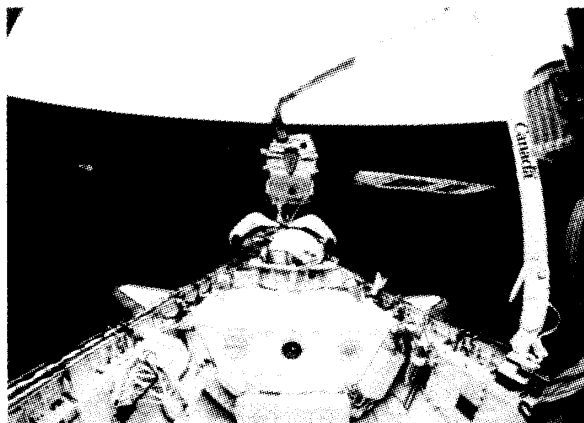


図9. 1992年8月スペースシャトルより軌道に乗せられたEuReCa. TiCCEは船尾に位置しており見えない。(提供: ESA)



図10. Mars'94 ペネトレーターの模型。地表での衝撃を柔らげるため下部1/3は地下に突入した際、ケーブルで接続された上部2/3から切り離される。(提供: H.Shaw)

定時間毎に第一層が平行移動していくため、第一層の衝突孔とそれによって生じた第二層の微小クレーターが集中した箇所の回収後の距離から、その衝突が起きた時期を推測できる点にある。

またEuReCaの回収直後の2カ月間、地上での汚染が甚だしく進まないうちに、EuReCaの全表面をCCDカメラで走査して、直径100 μ m以上のクレーターや材料の変質等を記録する作業がUKC/USSを中心としたグループによってフロリダで行なわれた。

5. 将来のミッション

5.1 Mars'94・ペネトレーター

来年打ち上げ予定のMars'94には、ロシアのYu.Surkov教授を中心として、マックス・プランク化学研究所のH.Wänke教授のグループと共に参加している。火星表面に小型ステーションとペネトレーターを投下する(図10)。UKC/USSの分担は、着地時の500Gの衝撃と熱に耐えるペネトレーター内のエレクトロニクス、加速度計、データ処理・発信のプログラムである。将来のMars-Aster計画ではペネトレーターとダスト計測装置の開発を検討中である。

5.2 カッシーニ/ホイゲンス(Cassini/Huygens)

CDA, SSP, HASI

カッシーニ/ホイゲンスはNASAとESAの共同ミッションで、今世紀末に土星とその衛星タイタンを目指して打ち上げられる。UKC/USSは母船カッシーニに微粒子の元素分析を同時に行なえるダスト計測装置CDA(Cosmic Dust Analyser)を搭載する。

またタイタンの大気突入し、着陸を試みる子機ホイゲンスには、大気を調べるHASI (Huygens Atmospheric Structure Instrument)と衛星表面(固体と液体双方に対応)を調べるSSP(Surface Science

Package)を積み込む(図11)。メタンを含むこの衛星の大気と海又は氷面は、地球の原始大気や有機物の進化を考える上での新しい視点を提供してくれるだろう。

5.3 コロンバス(Columbus)・Dust Watch

宇宙ステーション・フリーダム計画の全面的見直しは予断を許さないが、ESAは、コロンバス加圧モジュールに独自の暴露部EVP(External Viewing Platform)を付加する案を検討している。フリーダム旧案では、全長100m余り、運用期間30年を想定しており、デブリによる致命的な衝突を検証するためにも微粒子環境のモニターが必須だった。また宇宙基地では宇宙飛行士の滞在によって、LDEFやEuReCaではできなかった軌道上でのサービスが可能になる。例えば、ある流星群の前後の変化や、特定の人工衛星の破損によるデブリの発生などを測定できる。

UKC/USSはESAの求めに応じて、ダスト捕集・計測装置「Dust Watch」をEVPに提案した[5]。これはCDA同様に微粒子の元素分析をする装置と、微細孔フォームやエアロジェル等の極低密度の素材によってダストを破壊せずに捕える交換可能なパネルからなっている。EVPはコロンバスの西側に設置されるので、NASAによるモデルチェンジの影響も少ない。

5.4 ロゼッタ(Rosetta)

ロゼッタは、ESAの"Horizon 2000"計画が定めたコーナーストーンの一つで、小惑星のフライ・バイとコマが形成される前の彗星核へのランデヴーを行なう。「ロゼッタ」という呼称は、古代エジプトの象形文字とギリシャ文字が併記されていたために象形文字の解読を可能にした石碑「ロゼッタストーン」にちなむ。太陽系の原初の記録を留めた彗星と小惑星をその石碑に見立て、太陽系の進化と起源の謎を解読しようという発想である。

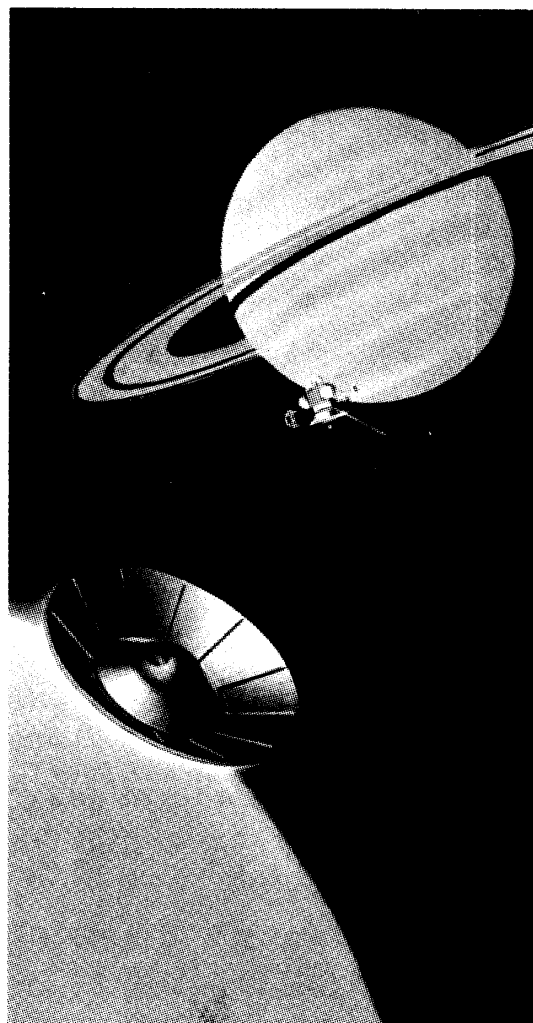


図11. タイタンの大気に突入するホイゲンズ(想像図)。(提供：ESA)

現時点での最も楽観的なシナリオは概ね以下のようである。2002年に打ち上げ、小惑星のフライ・バイを経て、5AU 辺りから彗星とランデヴーし、複数のSSPを彗星核表面に投入する。その後太陽に接近しながらオービターとSSPを用いて、コマの形成から微粒子の組成まで、彗星のあらゆる性質を調べる。近日点到達は打ち上げから9年後である。

ミッションの具体的なスケジュールと科学チームの編成は今年中に決定される見込である。現在UKC/USSでは、ダスト・フラックス計測装置並び

にペネトレーターを含めたSSPの提案を、本年末の研究募集に提出すべく全科を挙げての議論と基礎研究の最中である。

6. おわりに —日本の惑星科学界への期待—

最後に、UKC/USSの同僚に日本の惑星科学界への期待を尋ねてみたので、二つほどご紹介して結びに替えたい。

まず、スペースデブリの増加と宇宙基地の運用から、地球周辺の微粒子環境のモニターはますます重要になる。日本には国際協力の元、SFUやJEM-EF(Japan Experiment Module-Exposed Facility)を用いた微粒子計測と捕集に力を注いで頂きたい。そして得られたデータベースは過去のミッションとの比較が可能なフォーマットを用いて、データのグローバル・ネットワーク化を実現して頂きたい。

次にCRAFが中止され、ロゼッタがサンプルリターンをあきらめた今、日本が主導するSOCCERミッションは極めて貴重である。小天体探査は、火星探査と並んで、21世紀初頭の惑星科学の中心テーマになるであろう。そこで願わくはUKC/USSを含めて、より多くのヨーロッパの研究者との協力を積極的に検討して頂きたい。

7. 謝辞

末筆ながら、筆者に当学会の創立を教えて下さ

り、当誌への寄稿を勧めて下さった水谷仁・宇宙研教授に感謝申し上げます。また向井正・当誌編集長には、今号より三回にわたって、海外の研究活動に関するレポートを連載するご依頼を頂いてから、頻繁に意見交換をして頂きました。次号以降、「国際宇宙大学93年度夏季セッション」と「ヨーロッパ・スペースデブリ会議」の模様をご報告申し上げる予定です。尚、本稿の内容については、筆者の指導教官であるJ.A.M.McDonnell教授を始め、UKC/USS諸氏に確認して頂きました。

参考文献

- [1] McDonnell, J.A.M., edit., 1978: Cosmic Dust. John Wiley and Sons.
- [2] Green, S.F., edit., 1988: Dust in Space: Unit for Space Sciences, University of Kent. *J. Brit. Interplan. Soc.* **41**, 9, 385-432.
- [3] McDonnell, J.A.M., edit., 1992: Hypervelocity Impact in Space. Univ. of Kent at Canterbury.
- [4] McDonnell, J.A.M., Deshpande, S.P., Niblett, D.H., Neish, M.J., and Newman, P.J., 1993: The near Earth space impact environment - an LDEF overview. *Adv. Sp. Res.*, W.Flury, edit., Pergamon Press, in press.
- [5] Yano, H. and Ratcliff, P.R., 1993: Dust Watch as Model Payload for Columbus EVP. Proposal to ESA-SPUP.