

平成22年6月16日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300270

研究課題名（和文）科学衛星観測データベースの宇宙科学教育への活用

研究課題名（英文）Application of Space Database to Space Science Education

研究代表者

長瀬 文昭（NAGASE FUMIAKI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・名誉教授

研究者番号：00022690

研究成果の概要（和文）：科学衛星により主にX線領域で観測された宇宙・天体の高エネルギー現象に係る観測データベースを利用して、宇宙科学の学習教材を作成した。教材はX線天文学の特徴・発展の歴史・観測手段等を簡単に解説し、本教材の各章で取り扱う学習課題を概説した解説書と、星の誕生と終焉、中性子星・ブラックホールなどの特異天体、銀河団と暗黒物質などを学習課題として取り上げ、解析実習を誘導し結果を考察させる CD-ROM 版の指導書で構成される。その CD には解析実習用に集約されたデータおよび解析実習に必要なソフトウェアを搭載しており、パソコンを保有している読者はこの CD を使って自立して学習が出来る。

研究成果の概要（英文）：We produced a teaching course material for young students to learn about high energy phenomena in space, using archival database obtained from high energy astronomical satellites. The teaching material consists of two parts; the first part is a pamphlet of introduction to high energy astrophysics, history of X-ray astronomy, instruments and satellites for high energy observations, and guidance of the topics treated in this course. The second part is the main body of the course, distributed as a CD, which gives data analysis manual and discussion on the results for each scientific topic. This course includes scientific topics such as early type stars, supernova remnants, neutron stars, black-holes, dark-matter in clusters of galaxies. The CD includes both the data and software to be used for the analysis, thus readers can learn space science themselves using this CD on their own PCs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	9,600,000	2,880,000	12,480,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 科学教育

キーワード：数学、理科、物理・化学・生物・地学、情報

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙航空研究開発機構（以後 JAXA）の宇宙科学研究所（以後宇宙研）において打ち上げられた科学衛星により取得されたデータは同宇宙研の宇宙科学情報解析センターのデータベース管理・公開システム（以後 DARTS データベース）により国内外に一般公開されている。この中には X 線天文衛星「ぎんが」、「あすか」、「すざく」、太陽観測衛星「ようこう」、「ひので」のように国際的に高く評価され、国内外の研究者に多く利用され、その中からは宇宙科学の最先端の描像を明らかにする優れた成果が多数発表されている。

(2) しかるに昨今地上の光学望遠鏡による観測データを利用した天文教育教材が出版され始めたのに反し、これまで日本の衛星観測データを用いた宇宙・天体物理に関する教育教材の出版に関しては未だ例を見ない。そこで上記の天文衛星によって取得された貴重なデータベースを研究用としてのみでなく、高校・大学における宇宙科学教育の教材としても活用するために、データ解析の実習を含む宇宙科学学習指導書を作成し、若者の宇宙への関心、宇宙の理解を深める教育資源として社会に提供することを計画した。

2. 研究の目的

(1) 研究者向け科学データベースを大学生、高校生、教師、専門外の研究者も容易にアクセスし、天体画像や分光スペクトル等のデータを抽出できるデータ・システムを構築する。

(2) 本課題で製作する教材は出来上がった天体画像とその解説のみを一方向的に提供するのではなく、利用者が用意された観測データを指導書の手順に従って自ら処理・解析することにより一流研究者が行った解析の道筋を辿り、そこで行われた創造と発見の喜びの疑似体験をできるようにデータ処理と解析の手順をガイドするシステムを構築する。

(3) そのシステムの開発には宇宙科学観測データの解析の最先端にある各大学の研究者が分担者として参加し、その指導の下で実際に DARTS データベースを利用して卒業論文、修士論文を作成しようとしている大学生・大学院生が開発に当る。これによりこのシステムを利用しようとしている学生と同じ目線

から見て利用しやすいシステムが構築できる。

(4) システムの開発と平行して、データ処理の基本手順、代表的な天体の解析手順例、抽出されるはずの結果の天体物理学的な意義の解説、発展的応用問題集等を網羅した指導書を作成し（レベルとしては高校生も理解可能なものを目指す）、各大学天文学・宇宙物理学関係者等に配布する。これにより適切な指導者のいない地方大学の学生、宇宙観測データを教材として利用したい教官はもとより、宇宙に強い関心を持つ高校生や時には他分野の研究者などにも活用されることが期待できる。

(5) 教材は解説書と実習指導書で構成され、後を提供する媒体として CD-ROM を使用する。各自のパソコンにこの CD-ROM に内蔵された資料をダウンロードすることにより、インターネットを介さずに各自のパソコン内で自立して学習を進めることができようにする

(6) 同時にこのシステムと解説書、指導書を宇宙研の DARTS データベースシステム中に常駐させて、インターネット経由でオンライン学習を可能とすると共に資料の各自のパソコンへのダウンロードも可能とする。

3. 研究の方法

(1) 開発に当っては代表者・分担者間で十分討議し、達成すべき全体計画とその中で各大学が分担する作業項目に関して共通の認識を確認し、3 年間の開発計画の基幹スケジュールの確立を行う。

(2) 宇宙研および各大学でパソコン等開発マシンの整備を行う。そしてグループ間の専用ネットワークシステムを確立し、開発資源を共有し、また作業の各ステップで随時自由に意見交換のできる体制を整える。主な分担機関は宇宙研（長瀬、海老沢、松崎、田村）、立教大（北本、矢治）、青山学院（吉田）、日本福祉大（宇野）、理科大（松下）、中央大（坪井）とする。

(3) データ処理の第 1 ステップとして「ぎんが」、「ようこう」、「あすか」等が保存されている DARTS データベースにアクセスして、

対象とするデータの検索、抽出、初期処理、バックグラウンド除去等を行い、ターゲットデータの選別等を行う。

(4) 画像作成、時系列解析、分光スペクトル解析等に関しては、まず、各分野で優れた研究発表を行っている研究者が自ら行った解析のステップをなぞり、新しい発見に至った経過を実際に体験できるように解析の手順、投入すべきコマンド順序、設定すべきパラメーターを整理する。混乱を避けるためにこの疑似体験では実際の研究における試行錯誤部分は割愛して一直線に答えが得られるよう手順の単純化を図る。

(5) 観測データの解析手法を大別すると X 線強度の時系列解析、広がった X 線天体の画像解析、特定の X 線天体のエネルギースペクトル解析、超新星残骸や銀河団における場所別分光スペクトル解析、天体画像の空間、時間、エネルギー帯による変化の解析等がある。最終的に作成する教材にはこれらの解析手法をバランス良く配置する。

(6) 解析手順をガイドし、得られた結果を考察させ、この実習課題に関する解答と解説を与える指導書を作成する。全ての章について、そこから得られる結果の天文学的、宇宙科学的意義とその背景にある物理法則や研究の歴史等の解説書を作成する。

(7) 製作した本システムの概要、利用法、個別解析例の設定パラメーター付コマンド手順ガイド、得られるべき結果とその考察とその関連事項の解説を含む本システム利用手引きを作成する。

(8) 解説書入門編はパンフレットとしてまとめる。指導書と利用手引書は CD-ROM に組み込む。その CD-ROM には集約した解析用データと解析実習用のソフトウェアを内蔵する。

(9) 完成した解説書と実習指導教材 (CD-ROM 版) を天文学、宇宙科学に関する教育資料として、広く全国の大学、理科教育に重点的に取り組む高校、宇宙・天文学の普及に取り組む天文台・科学館等に配布・周知する。また、DARTS システム等を通して一般希望者に配布する。

4. 研究成果

(1) 目標とした最大の成果物である解析実習を伴う宇宙科学教育教材はほぼ予定通りに完成した。この教材は高エネルギー (X 線) 天文学入門解説書 (A4 20 ページ程度のパンフレット) と本体というべき実習指導書 (CD-ROM 版) から構成される。副次的成果として、この研究開発の過程で理科教育専門家、高校教師、大学・大学院生等多くの協力者を得て、宇宙科学教育普及に関する恒常的で強力なネットワークが形成された事である。

(2) 解説パンフレットでは序論に続いて X 線天文学の歴史、X 線の特徴、X 線検出器、X 線観測衛星、X 線放射の基礎過程、及び本教材各章の概説を述べている。

(3) 教材本体は 8 章で構成される実習課題とこれを実行するための集約された観測データと解析ソフトウェアが CD-ROM に内蔵されている。ただし実習者は背景に収められてある観測データの構造やと解析ソフトウェアの詳細を意識する必要はなく、指導書に従ってパソコンにコマンドを打ち込めば解析が実行され、結果の図表が表示される。指導書ではその解析で導出された観測結果を考察し、そこから導き出される宇宙・天体の描像を理解出来る様に誘導される。

(4) 8 章で構成される実習課題の内容は、以下の通りである。

・**第 1 章：X 線で見る太陽—激しく活動する太陽表面**：ここでは、「ようこう」に搭載されている軟 X 線望遠鏡の太陽 X 線画像を使って、太陽の自転周期、太陽活動周期、可視光など他の波長で見た太陽との違いを学習し、太陽コロナについて理解を深める。

・**第 2 章：原始星からの X 線放射—赤ちゃん星の大きな産声**：原始星はまだ冷たくて普通はやっと電波や赤外線で見える程度です。ところが X 線天文衛星「あすか」はこのように生まれたばかりの赤ちゃん星 (原始星) が X 線を放射する様を見つけた。以上の予備知識の上で、実際にこの星の誕生の現場を X 線データの解析で見みる。

・**第 3 章：X 線で測る中性子星の半径と質量**：中性子星は質量が太陽より大きいのに半径がたったの 10 km ほどの極めて高密度の相対論的天体である。本章では太陽程度の小質量の恒星と中性子星が近接連星を構成している小質量 X 線連星が時々喚き声のように発生する X 線バーストを使って中性子星の特性を暴きだす。

・**第 4 章：高速で回転する中性子星—パルサ**

一：ここでは中性子星発見の端緒となったパルサーがX線で点滅する様子を実際のデータを使って確認する。また、正確な周期がわかっていないパルサーについて、与えられたデータからどうすればそれを求めることができ、どの程度の精度で周期を決めることができるのかを考える。

・第5章：見えない天体ブラックホールを見る：ブラックホールはシュバルツシルトがアインシュタインの一般相対性理論から重力場を記述する方程式の特異解を見つけたことに始まる。その後、「ブラックホール特有の性質」はX線観測で暴かれていったことはよく知られている。ここでは実際にX線データを使って、見えないはずのブラックホールを解き明かす。

・第6章：星の終焉：超新星残骸：始めはほとんど水素元素で出来ていた大質量星はその進化の過程で酸素、シリコン、鉄などの重元素を生成した後大爆発する。ここではあの天文学者ティコ・ブラーエの名前が冠せられた、「ティコの超新星」と呼ばれる400年前に爆発した超新星の残骸をX線で調べ、含まれている元素を調べる。

・第7章：X線で探る銀河中心—巨大ブラックホールの検証：最近天の川銀河の中心には太陽質量の200万倍以上もある巨大ブラックホールが存在することが判明した。銀河系の中心領域のX線写真から過去10年の銀河系中心のX線の活動を探り、過去にさかのぼって銀河系中心にある巨大ブラックホールの活動を調べる。

・第8章：X線で見える銀河団—暗黒物質の存在を探る：数百個から数千個の銀河が集まった銀河団では、銀河と銀河の間の空間を数千万度の高温のガス（銀河団ガス）が埋めつくしている。この章では、実際にX線衛星により観測された銀河団ガスの温度と密度から、圧力を計算し、重力とのつりあいから、銀河団の質量を求め、銀河団領域に存在すると考えられている暗黒物質を暴きだす。

(5) 今回作成した宇宙科学教材は解説パンフレットと実習用CD-ROM版とで配布用1組が構成される。この成果物を主な大学、理科教育重視の高校、地方の科学館・天文台等に配布する予定である。また、この1組の教材を宇宙研のDARTSシステムに常駐させ、オンラインでこれにアクセスして学習することも全資料を自分のパソコンにダウンロードすることも可能とする。

(6) 今回の予想外の成果は、最初に述べた、次頁に協力研究者としてリストアップしたように、研究開発の過程で各分野から多くの協力者を得たことである。この、宇宙科学教

材開発のネットワークは本科研費終了後も自主的に機能していくことを期待している。そしてアフターケアとして、宇宙研のDARTSシステムの中に本教材に関する質問コーナーを設置して、本ネットワーク参加者で学習者の質問に対応していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① 北本俊二、並木雅俊、日本物理学会第5回(2009年)ジュニア(Jr.)セッションの報告、日本物理学会会誌、vol 65、2010、印刷中
- ② Pravdo, S. H., Tsuboi, Y., Uzawa, A., Ezoe, Y., X-rays from the Power Sources of the Cepheus A Star-Forming Region, *The Astrophysical Journal*, 2009, vol. 740, p.1495-1505
- ③ 矢治健太郎、時政典孝、下条圭美、殿岡英顕、太陽観測衛星ひのでのデータを活用した教育・アウトリーチ活動、日本科学教育学会、vol.33、2009、p.393-394
- ④ Pravdo, S.H.; Tsuboi, Y.; et.al., GGD 27: X-rays from a Massive Protostar with an Outflow, *The Astrophysical Journal*, 2009, vol 690, p. 850-861

[学会発表] (計24件)

- ① 坪井陽子、鶴澤明子、Steve, H. Pravdo、江副祐一郎、Cep A 駆動領域からのX線、2009年度天文学会春季年会、2010年3月25日、広島大学
- ② 矢治健太郎、時政典孝、下条圭美、殿岡英顕、中道晶香、鈴木大輔、Communicating Solar Satellite Hinode data to the Public、Communicating Astronomy with the Public 2010、2010年3月16日、南アフリカ・ケープタウン
- ③ 吉田 鉄生、Chandra and XMM-Newton studies of ultraluminous X-ray sources in two interacting galaxies, Probing Strong Gravity near Black Holes、2010年2月15日、プラハ(チェコ)
- ④ 田村隆幸、他 教材作成WG、高エネルギー天文学のデータを利用した教育プロジェクト、FITS画像教育利用ワークショ

ップ、2010年1月10日、岐阜県 安八

- ⑤ 北本俊二、立教大学における学生による教育企画の製作と実践、教育G Pフォーラム「学生による科学ボランティア活のうの現状と今後の展望」、2009年10月31日、岡山理科大学
- ⑥ 矢治健太郎 他、太陽観測衛星「ひので」のデータを活用した教育・アウトリーチ活動、第53回宇宙科学技術連合講演会、2009年9月11日、京都大学
- ⑦ 長瀬文昭、天文衛星による観測データを用いた宇宙科学教育教材の作成、日本天文学会2009年春季年会、2009年3月24日、大阪府立大学
- ⑧ 山村秀人、矢治健太郎、他、太陽 FITS 画像による実習教材の開発と授業実践、日本天文学会2009年春季年会、2009年3月24日、大阪府立大学
- ⑨ 矢治健太郎 (立教大学)他、太陽観測衛星「ひので」画像を活用した学校教材、日本天文学会2008年春季年会、2008年3月24日
- ⑩ 海老沢研、田村隆幸、村上弘志 他、JUDO and UDON -- dedicated web-tools for browsing and quick-analysis of space astronomical data、Astronomical Data Analysis Software and System 2008、2008年11月2日-5日、カナダ・ケベックシティ
- ⑪ 矢治健太郎、太陽観測衛星ひので画像を利用した学校教材、天文教育普及研究会関東支部集会、2008年5月17日、平塚
- ⑫ 田村隆幸、長瀬文昭他、科学衛星データの科学教育への活用、天文教育普及研究会、2008年3月15日、東京

[図書] (計 1件)

- ① 矢治健太郎、PHP 研究所、太陽と地球の不思議がわかる本、2009年、208ページ

[その他]

ホームページ等

- ① 教材ホームページ

<http://www.darts.isas.jaxa.jp/classroom/>

- ② 配布用教材 CD-ROM、「衛星観測データを用いた宇宙科学」2009年度作成

6. 研究組織

(1)研究代表者

長瀬 文昭 (NAGASE FUMIAKI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 名誉教授
研究者番号：00022690

(2)研究分担者

海老沢 研 (EBISAWA KEN)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 教授
研究者番号：70421857

北本 俊二 (KITAMOTO SYUNJI)
立教大学 教授
研究者番号：70177872

吉田 篤正 (YOSHIDA ATSUMASA)
青山学院大学 教授
研究者番号：80240274

松崎 恵一 (MATSUZAKI KEIICHI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 准教授
研究者番号：20321565

田村 隆幸 (TAMURA TAKAYUKI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 助教
研究者番号：00370099

矢治 健太郎 (YAJI KENTARO)
立教大学 准教授
研究者番号：10399305

宇野 伸一郎 (UNO SHINICHIRO)
日本福祉大学 准教授
研究者番号：70319309

松下 恭子 (MATSUSHITA KYOKO)
東京理科大学 准教授
研究者番号：50366423

坪井 陽子 (TSUBOI YOKO)
中央大学 准教授
研究者番号：70349223

(3)協力研究者

平林 久 (HIRABAYASHI HISASHI)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙教育センター センター長

辻本 匡弘 (TSUJIMOTO KUNIHIRO)
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科

学研究本部 助教

馬場 彩 (BAMBA AYA)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学
学研究本部 研究員

村上 弘志 (MURAKAMI HIROSHI)

立教大学 助教

久保田 あや (KUBOTA AYA)

芝浦工業大学 准教授

飯塚 亮 (IIZUKA RYO)

中央大学 助教

古田 豊 (FURUTA YUTAKA)

立教大新座高校 教員

林 壮一 (HAYASHI SOUICHI)

立教大新座高校 教員

綾部 俊二 (AYABE SYUNJI)

立教大新座高校 教員

吉田 清典 (YOSHIDA KIYONORI)

立教大池袋高校 教員

野口 語 (NOGUCHI SATORU)

相模原高校 教員

川端 啓明 (KAWABATA YOSHIAKI)

相模原高校 教員

宮脇 亮介 (MIYAWAKI RYOUSUKE)

桜美林大学 教授

沢田 紗衣子 (SAWADA SAYOKO)

立教大学 学部生

岩本 ひとみ (IWAMOTO HITOMI)

立教大学 学部生

吉田 鉄生 (YOSHIDA TESSEI)

東京理科大 大学院生

馬場 亮輔 (BABA AKITOSHI)

東京理科大 大学院生

菅原 泰晴 (SUGAWARA YASUHARU)

中央大学 大学院生

戸塚 晃太 (TOTSUKA SHOTA)

中央大学 大学院生

朝岡 育子 (ASAOKA IKUKO)

東海大 研究員

篠原 秀雄 (SHINOHARA HIDEO)

埼玉県立蕨高等学校 教員

八木橋 伸佳 (YAGIHASHI NOBUYOSHI)

立教大学 大学院生

鶴沢 明子 (UZAWA AKIKO)

中央大学 大学院生

楠 進吾 (KUSUNOKI SHINGO)

中央大学 大学院生