

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00971

研究課題名(和文) 時間変動現象に主眼を置いた自主学習型天文解析体験プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of Self-Directed Learning Materials about Astronomical Time-Variation Phenomena

研究代表者

伊藤 信成 (ITOH, NOBUNARI)

三重大学・教育学部・教授

研究者番号：60344272

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：天文分野は理科の中でも興味・関心が高い分野であるが、一方で高校での地学開講率は低く、天文学に関心を持つ高校生が系統的な学習をする機会は必ずしも多くない。本研究では、これまで我々が開発してきた教材ではカバーしていなかった宇宙における時間変動現象に焦点を当てた教材の開発を行った。天体の時間変動は主として天体の位置変化と明るさ・色の変化の2種に大別でき、各々から天体の運動情報、サイズや表面温度の情報等を推定することができる。そこでテーマをこの2つのカテゴリーに分け、テーマ毎に時間変動現象に関する基本的な考え方・解析手法を習得できるようにした。開発した教材は順次公開していく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本計画で主眼とする「時間変化」についての教材と研究代表者らがこれまで作成してきた教材を統合することで、現代天文学の基盤となる3種の柱(空間・時間・波長)の概念を網羅した教材を完成させることができた。本研究では地球の自転・公転を証明するという非常に基本的な内容から銀河系内での太陽の運動という発展的な内容まで系統的に扱い、一通りの実習を行うことで、現代天文学の基礎的研究手法を習得できるようになっている。作成した教材はウェブでの公開を原則とするので、データのみでなく、ドキュメント、解析用ソフトウェアもセットで公開することで、いつでも・どこでも・誰でも利用可能な教材となる。

研究成果の概要(英文)：The high school students have few opportunities for studying astronomy in a high school because the number of lectures taken in a high school is small though astronomy is much popular field in science. In this study, teaching materials focused on time-variation phenomena in astronomy which were not covered in our project for developing astronomical teaching materials. Time variation phenomena is roughly divided into two categories, change of positions of astronomical objects and luminosity and/or color variations of objects. We selected 10 subjects, 7 themes are related with change of positions and three are luminosity variations. Each subject were composed of an introduction of a phenomenon, explanation of data-reduction procedure, analysis data, tips for interpreting analyzed data. Developed materials will be opened sequentially.

研究分野：天文学

キーワード：天文教育 時間変動 自主学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、天文・宇宙分野では、すばる望遠鏡や人工衛星等の大型機器を用いた研究が進められ、多くの成果を上げている。ハヤブサの成功以降も、すばる望遠鏡やALMA(アルマ)など大型観測機器を用いた研究成果が報道され、宇宙に関するテレビ番組が作成される等、一般市民も高い関心を寄せる分野となっている。しかしながら、高校における地学の開講率は、物理・化学・生物に比べると極端に低く¹⁾、宇宙に興味・関心を持つ高校生が在学中に天文学の基礎を学習できる機会は必ずしも多くない。天文連合(IAU)は、天文学を学ぶ意義として、単に専門分野の知識習得にとどまらず、技術開発、歴史認識、国際協力など多方面で天文学的思考の重要性を指摘している。その観点から見ても、高校地学の履修者数の低レベルでの推移は、次代を担う研究者、技術者の減少だけではなく、宇宙科学を正しく理解し、その普及を支える市民の減少を招くことにもつながる。

H23年度の学習指導要領の改定により、高校で理科3分野を履修することとなったため、基礎科目ではあるが地学の履修者はこれまでよりも増加している。履修者が増加傾向により、宇宙への興味・関心が芽生えた高校生に対し、効果的な教材を提供することは、天文教育・普及の観点から重要である。また、理科の3科目必修化に伴い、地学を専門としない教員が指導を行う場合が増えることが予想される。天文分野の実習では、夜間観察や画像解析が必要になるが、そのような経験を持つ教員が必ずしも多くない。このような教員を支援する面からも、効果的な教材の開発は不可避である。

このような問題意識の下、これまで撮像データを主として扱う教材、分光データを主として扱う教材、の2種について開発を進めてきた。その結果、各々13テーマ、10テーマについて教材している。

2. 研究の目的

これまでの取り組みから、撮像・分光データを用いた解析体験教材については、一通り作成できたものと考えられる。一方で、天文現象の理解は、現象の空間的広がり、時間変動、波長間の比較の3種の観点が必要である。これまで作成してきた教材は、主として空間的広がり(撮像データ)、および波長間比較(分光データ)に相当するため、時間変動に関する現象の教材化が進んでいない状況であった。そこで、本研究ではこれまで開発してきた教材に足りなかった時間変動を伴う天文現象を主とした教材開発を行うことを目的とした。

時間変化する現象としては、大きく天体の位置変化と明るさの変化(色の变化も含む)に大別することができる。前者の位置変化は宇宙空間での天体の運動と結びつけることができ、後者は天体の発光機構と結び付けられる。また、いずれの現象も変化を伴うため、実習者の興味を引くものと考えられる。

本研究で取り上げた具体的なテーマを表1に示す。各テーマに対し、学術背景および解析方法についてのドキュメントと観測データを1つのまとまりとして配布する。また、一連のテーマは個別・独立に実習が行えるように整備するとともに、一連のテーマの実習を行うことで、データから得られる情報、解析原理、情報抽出の考え方を系統的に学習できるような教材のパッケージ化を試みた。

表1:教材として取り上げたテーマ

	テーマ	分類
1	人工衛星の軌道高度の推定	位置 変化
2	地球の自転周期の推定	
3	地球の公転周期の推定	
4	日食を利用した視差検出	
5	小惑星の軌道推定	
6	太陽近傍星の固有運動検出	
7	運動星団の距離推定	
8	小惑星の自転周期の推定	光度 変化
9	脈動変光星の光度曲線	
10	超新星の光度変化	

3. 研究の方法

本研究では自主学習型の教材開発を目的としており、またデータ解析を大きな柱としている。そのため、テーマ毎に、解析に用いるデータの提供、テーマについての解説、解析方法の原理の説明と具体的な手順の指示が必要となる。

解析用に使用するデータは、国立天文台によって運営されている天文データアーカイブ SMOKA (Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive) から主として抽出した。ただし、固有運動等のテーマについては長期に渡るデータが必要なため、パロマー天文台の掃天観測データをデジタル化したアーカイブ(DSS)、Sloan Digital Sky Surveyのアーカイブも利用した。また、我々自身が観測により収集したデータも一部利用している。

教材に適したデータは、研究用に特化して取得されたデータとは必ずしも一致しない。特に、本研究で開発する教材は、次の4点を特長とするものを目指したため、データ抽出においては、アーカイブ・システムでデータの仕様を確認した上で、実際にダウンロードし、解析・校正を行ってみる必要があり、この作業に多くの時間が必要となった。

4. 研究成果

本研究では表1に示した(1)~(10)の10種類のテーマについて教材を開発した。各テーマは4章立てとなっており、1章で各テーマ全体の概要を、2章では解析で基盤となる測定原理につい

て解説し、3章で実際に画像データを用いて解析を行うようになっている。以下9種のテーマについて作成した教材の概要を示す。表1に示した10種のテーマの内、(1)、(2)、(5)、(6)、(8)、(9)については作成者の立ち合いの下で教育学部所属の学部生に試行してもらい、おおむね良好な結果が得られている。ただし、(1)や(5)のような計算を必要とするテーマ、固有運動という高校までに学習していない新しい概念に関するテーマについては、理解度が低くなる傾向もあるため、改善策を検討する必要がある。今後も各テーマについて試行を行い教材としての完成度を高めていく必要がある。以下、幾つかのテーマについて内容を紹介する。

テーマ1：人工衛星の軌道高度の推定

低い軌道高度で周回する人工衛星は、肉眼でも観察でき、その軌道を円軌道と仮定すれば高校の物理・数学の知識で軌道高度を算出することができる。そのため、位置変化から運動を求める入門的教材として適している。一方で、低軌道の人工衛星は地球を周回する周期が短く角速度が速いため、天体観測用の観測装置の視野に収めるのは難しい。本研究では天体観測用の撮像装置としては比較的広視野である東京大学木曽観測所の2kCCDカメラのアーカイブの中から、人工衛星が視野内に写っている画像を検索し教材として用いた。画像の例を図1に示す。図中に線状に写っているものが人工衛星の軌跡である。教材では、露出時間と軌跡の長さを測ることによって人工衛星の見かけの角速度を測定する。この角速度は地表面から見た場合であるので、地球の中心からの角速度に変換した上で、人工衛星の軌道が円であると仮定すると、万有引力の法則と観測結果を同時に満たす軌道高度を一意に決めることができる。今回教材として用いた人工衛星の軌跡は、観測装置の特性上、静止軌道にあるものが多かったため、円軌道の仮定は適当である。

テーマ5：小惑星の軌道推定

太陽系天体は天球上を移動していく。そのため、時間間隔をおいて同じ天域を撮影した画像を比較し、位置が変化している天体を探すことで小惑星を検出することができる。また、軌道を円と仮定した場合、その角速度を測ることで比較的簡単な幾何を用いて小惑星までの距離を推定することができる。小惑星は黄道面に多数存在すること、衝の位置で検出することで幾何関係が簡単になる。これまで小惑星の検出には複数の画像を短時間に切り替えて表示することで位置変化をしている天体を検出するブリンク法が一般的であった。それに対し、我々は異なる時刻に撮影された3枚の画像をR、G、Bの3色に割り振った上でカラー合成することで位置変化を検出する方法を考案した(RGBカラー合成法)。この手法で検出した小惑星の例を図2に示す。位置変化のない天体はRGBの混色となるため白色となるが位置変化をした星はR、G、Bが単色で表示される。また時系列によって色の変化の順番が固定されるため誤検出も起きにくい。このRGBカラー合成法を用いることで、従来のブリンク法に比べ、小惑星の検出率が向上した(表2)。

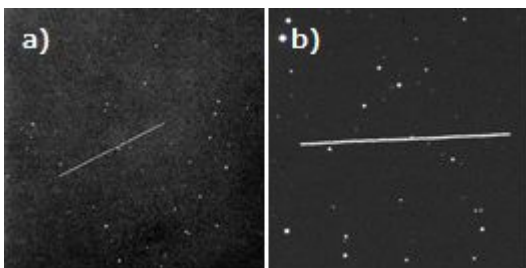


図1：人工衛星軌跡の例。a) おうし座付近での取得画像、b) うしかい座付近での取得画像



図2：RGBカラー合成法を用いた小惑星検出例

表2：小惑星検出率の比較

chip	ブリンク	RGB合成
#2	3個	5個
#3	4個	8個
#4	2個	6個
#5	2個	2個

テーマ6：太陽近傍星の固有運動検出

我々の銀河系が、銀河中心に対して回転対称であると仮定し、銀河系内の各地点で、それぞれ一定の回転運動をしているとした場合に、太陽近傍の回転の基準をLocal Standard of Rest (LSR) という。LSRの動きの様子は、太陽近傍にある恒星や星間物質の運動の様子(固有運動、視線速度等)から統計的に求めることができる。統計的な平均値であるので、個々の恒星の運動は必ずしもLSRの動きと一致しているわけではない。太陽についての、LSRに対する相対的なずれを太陽運動(solar motion)という。太陽運動は太陽近傍の恒星の平均的な動き(即ちLSR)が太陽運動と逆の方向に固有運動(及び、視線速度)を示すことになることから求めることができる。ただし、固有運動は非常に小さいため、その検出には長い時間間隔をおいた画像を用いる必要がある。図5は1955年4月19日撮影のパロマーシュミットデータ(POSS1)、1988年4月20日撮影のUKシュミットデータ(UKSTU)、1996年5月6日撮影のパロマーシュミットデータ(POSS2)を用いて固有運動の検出を試みた例である。固有運動の検出にはこのテーマで示したRGBカラー合成法を用いている。図3aの赤枠の星が位置変化を検出できた星である。一方で図3bは2013年に打ち上げられたGaia衛星による固有運動の検出結果である。両者の比較から、RGBカラー合成画像では、40年間の撮影間隔の合成で、概ね $1''.5\sim 2''$ 以上、即ち40mas/year以上の固有運動であれば、その恒星の固有運動が検出できていることがわかった。RGBカラー合成法が微小位置変化

の検出に利用できることがわかったことから、太陽運動の検出という高度な概念についても教材として取り上げることが可能となった。

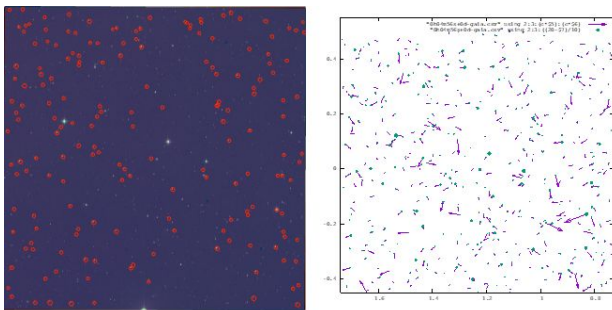


図 3: 固有運動の検出例 .a) 赤経 0h, 赤緯 0° 付近 1 平方度での RGB カラー合成法による固有運動検出結果 .b) 同領域における Gaia 衛星の固有運動検出結果 .

テーマ 8 : 小惑星の自転周期の推定

小惑星は時間とともに天球上の位置が変化していくことに加え、自転によって明るさが変化する。これは小惑星の形状が球形ではなく不規則形状をしていることに起因する。この光度変化から自転周期とともに小惑星の形状を推定することもできる。小惑星の自転周期を求める場合、明るさの基準となる星を設定し、その星（比較星）との比較によって明るさの変化を求めていく。一方で、小惑星の位置は変化する。そのため、小惑星の移動速度が速い、あるいは自転周期が長い場合には、同じ星を比較星として利用することが難しくなる。さらに自転周期を求めるためには、1 回の自転の間に十分な頻度で観測が行われていること、1 周期を超える時間に渡って観測が行われていることが必要である。これらの条件に合致する天体を SMOKA で検索し、教材用データとした。自転周期の測定例を図 4 に示す。1990FV の光度曲線は 1 周期の中で 2 回の減光期があり、減光幅がわずかに異なっていることがわかる。

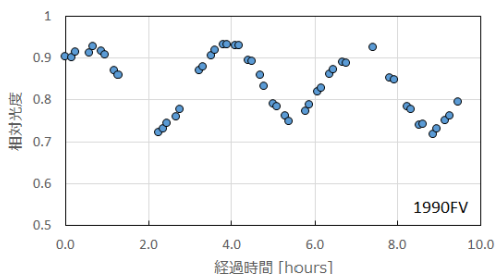


図 4 : 小惑星 1990FV(自転周期 6.6 時間)の光度曲線

テーマ 10 : 超新星の光度変化

超新星は高校生にも馴染みがある天体現象であり、光度変化が大きいため時間変動がわかりやすいという利点がある。また相対測光が可能であるため測定も比較的容易であることから、教材として取り上げた。図 5 に示した SN1993J の例は、超新星発生後約 9 ヶ月のデータがあり、時間とともに超新星が減光していく様子がよくわかる教材となっている。

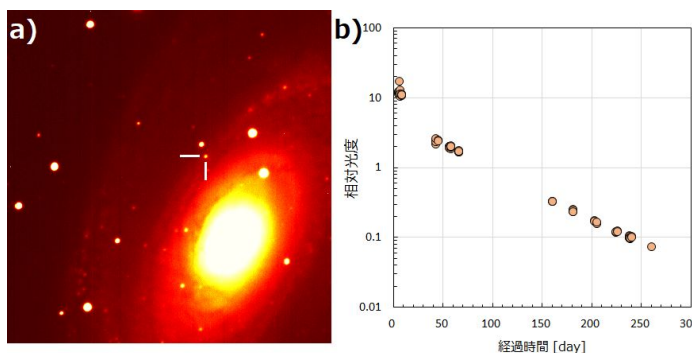


図 5 : 超新星 SN1993J の光度曲線例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 西浦慎悟, 宮野彩, 根本明宗, 長谷川優子	4. 巻 70
2. 論文標題 木曽105cmシュミット鏡と木曽広視野CCDカメラKWFCによる広視野多色狭帯域撮像観測	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 東京学芸大学紀要 自然科学系	6. 最初と最後の頁 73-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 伊藤信成, 加藤明音, 中山将大, 野呂健吾	4. 巻 31(1)
2. 論文標題 月食写真で三重県を描こうプロジェクト2 ~2018.1.31の皆既月食での取り組み~	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 天文教育	6. 最初と最後の頁 35-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 山縣朋彦, 伊藤信成, 西浦慎悟, 浜部 勝	4. 巻 51
2. 論文標題 RGBカラー合成による移動天体の検出について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 文教大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 69-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 伊藤信成, 越村真帆, 萩原拓也, 加藤明音	4. 巻 69
2. 論文標題 熊野市の夜空の明るさ計測 - 夜空の明るさと色の関係 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 三重大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 31-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤信成	4. 巻 70(3)
2. 論文標題 部分日食画像を利用した月の視差検出の試み - 撮影地点の相対位置関係の推定 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地学教育	6. 最初と最後の頁 95-111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 石井菜摘, 千葉督, 西浦慎悟, 伊藤信成, 山縣朋彦, 濱部勝
2. 発表標題 理科を専門とする教員養成系学部学生における天文学に対するイメージ調査～2kCCDによる画像を用いて
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千葉督, 石井菜摘, 西浦慎悟, 柏木雄太, 三澤瑠花
2. 発表標題 木曾105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラによる狭帯域撮像データの解析方法の再考
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西浦慎悟, 山縣朋彦, 伊藤信成, 濱部勝
2. 発表標題 時間変動データを用いた自主学習型解析体験教材の開発～小惑星探査と視差
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西浦慎悟, 宮野彩, 根本明宗, 長谷川優子
2. 発表標題 木曾105cmシュミット鏡とKWFCによる広視野多色狭帯域撮像観測
3. 学会等名 木曾シュミットシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井菜摘, 千葉督, 西浦慎悟, 伊藤信成, 山縣朋彦, 濱部勝
2. 発表標題 理科を専門とする教員養成系学部学生における天文学に対するイメージ調査
3. 学会等名 日本天文学会 2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西浦慎悟, 宮野彩, 根本明宗, 長谷川優子
2. 発表標題 木曾105cmシュミット鏡/KWFCによる広視野多色狭帯域撮像観測
3. 学会等名 日本天文学会 2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤信成, 加藤明音, 中山将太, 野呂健吾
2. 発表標題 月食画像を用いた観測地点の位置推定の試み-2018年1月31日の皆既月食について-
3. 学会等名 日本地学教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤信成, 加藤明音, 高橋龍大, 布田帆風
2. 発表標題 デジタルカメラを用いた夜空の明るさ測定2
3. 学会等名 日本地学教育学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤明音, 伊藤信成
2. 発表標題 発達段階に着目した望遠鏡観察対象への認識の調査
3. 学会等名 天文教育普及研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越村真帆, 萩原拓也, 加藤明音, 奥井喬史, 伊藤信成
2. 発表標題 熊野市の夜空の明るさ調査
3. 学会等名 天文教育普及研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤信成
2. 発表標題 Webカメラ定点観測システム開発状況報告
3. 学会等名 天文教育普及研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobunari ITOH
2. 発表標題 Trial Experiment for mapping relative positions of observation points by measuring lunar parallaxes in a solar and a lunar eclipse with commercial digital cameras
3. 学会等名 Asia-Pacific Regional IAU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西浦慎悟、伊藤信成、山縣朋彦、浜部 勝
2. 発表標題 観測データの教材化とTomoe-Gozen時代の観測実習
3. 学会等名 木曽シュミットシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤信成
2. 発表標題 Webカメラを用いた太陽高度測定-1年の長さの測定可能性-
3. 学会等名 地学教育学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 越村真帆・萩原拓也・加藤明音・伊藤信成
2. 発表標題 デジタルカメラを用いた夜空の色測定 - 色の推定方法と熊野市での結果 -
3. 学会等名 地学教育学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤信成
2. 発表標題 Webカメラを用いた日の出位置季節変化撮影
3. 学会等名 理科教育学会東海支部会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 越村真帆、萩原拓也、加藤明音、高橋龍大、布田帆風、伊藤信成
2. 発表標題 デジタルカメラを用いた光害の測定
3. 学会等名 理科教育学会東海支部会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西浦慎悟、山縣朋彦、浜部 勝、伊藤信成
2. 発表標題 時間変動データを用いた自主学習型解析体験教材の開発I
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	浜部 勝 (Hamabe Masaru) (00156415)	日本女子大学・理学部・教授 (32670)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	西浦 慎悟 (Nishiura Shingo) (50372454)	東京学芸大学・教育学部・講師 (12604)	
研究 分担者	山縣 朋彦 (Yamagata Tomohiko) (70383213)	文教大学・教育学部・教授 (32408)	