

教室で行う宇宙の実験 - 9 : 月・金星・全天の インターネットライブ天体観察システムの開発

*高田 淑子・**齋藤弘一郎・***千島 拓朗・****木村 雄太
****鈴木 雄太・*****宮地 竹史

Space experiments in classrooms-9: Development of Starry Observation System Using Internet Live Broadcasting of the Moon, Venus, and the Sun

TAKATA Toshiko, SAITO Koichiro, CHISHIMA Takuro, KIMURA Yuta,
SUZUKI Yuta and MIYAJI Takeshi

Abstract

小・中学校理科の学習指導要領の天文分野の単元では、月・太陽・金星等を「観察すること」と記載されている。しかし、実際の教育現場では観察指導がほとんど行われずに授業が実施されている。そこで、教員が理科の授業中に活用できるように、今、現在の月・金星・太陽を撮像しホームページ上に公開し、誰でもどこからでも観察できる天体ライブ配信システムを構築した。これにより、天体望遠鏡等の共用が可能のほか、教員が高度な技術を使わずとも授業中に映像を通して天体の観察が可能となる。さらに、映像データベースの構築により、太陽の天球上における軌跡が四季によって移り変わることや金星の満ち欠けの変化など、長期間の観察を要する事象も映像として提供することが可能となった。

Key words : Internet Telescope (インターネット望遠鏡)

Astronomy education (天文教育)

Information education (情報教育)

Science education (科学教育)

Starry observation (星観察)

はじめに

初等教育における理科の学習指導要領(文部科学省、1998)には、多くの単元で「観察/実験を行うこと」と記載されている。特に、天文/気象分野では、小・

中学校で表1に示される単元において昼夜の空・天体の観察を行うよう記されているが、実際に天文・気象分野の観察を実施している教員は極めて少ない(高田他、2008、齋藤、2009)。学校教育現場では観察なしに授業を進めている実情が伺える。

* 宮城教育大学教育学部理科教育講座
** 宮城教育大学理科教育専修、美里町立不動堂中学校
*** 気仙沼市立松岩中学校
**** 宮城教育大学教育学部卒業
***** 国立天文台

表1 学習指導要領の天文/気象分野の観察内容と対応する天体ライブシステム

対象学年	対象とする学習単元	観察対象	天体ライブ
小学校3年	地球と宇宙：太陽の動き、日なたと日陰	空全域、太陽の位置	全天
小学校4年	地球と宇宙：月や星の動き、月の見かけの形と天球上の位置	月の見かけの形、クレーター地形	月
中学校2年	天気とその変化：気象観測と天気の変化	天気・雲量	全天
中学校3年	地球と宇宙：天体の動きと地球の自転・公転	太陽の日周・年周運動	全天
中学校3年	太陽系と惑星：惑星の公転	金星の見かけの形、太陽との位置関係	金星

一方、パソコン等のIT機器が学校教室に普及してきたが、IT機器やインターネットの持つ可能性を十分活用している現場の教員は少ない。

天文分野は、主に夜観察できる1日・1年という長期に渡る宇宙の事象を、授業という限られた時空間で学習しなければならない、天気に左右され観察実施が困難であることから、IT機器の活用が効果的である分野である。天体の運動等、アニメーションのデジタルコンテンツやシミュレーションソフトは普及してきたが、'本物'を授業中に見る機会はほとんどない。治安の関係で夜間の観察・宿題もおざなりで、子供達が夜空を眺める機会が極端に減っているのが現状である。

我々は、小中学校の授業時間中に星の観察が行えるように、宮教大インターネット天文台で昼間に星の観察をする授業を提案・展開してきた(高田他、2004)。これにより、授業時間中に児童自らが宮教大の望遠鏡を遠隔操作して星を観察し、天文台にいる解説員による遠隔学習ができる。教室の1台のコンピュータを通してリアルタイムでグローバルな世界とつながることが可能なのである。また、共同利用による天体望遠鏡の財産の共有化も図れ、新しい天体学習の形を提案した。

しかし、授業時間数や学習のねらいが限られた理科の授業の中で、インターネット望遠鏡の遠隔操作などの自由度が逆に制約となるという問題点も浮き彫りにした。授業中では「観察対象」が短時間でその場観察できるように特化した機能でなければ利用が困難で、教材としての意味をなさない。教師が授業中に教科書の内容に沿って簡単に利用できるよう、ホームページを開けば対象天体が観察できるようなシステムが望まれる。

そこで、小・中学校で学習する「月」・「金星」・「太陽」の3つの天体に観察対象を絞り授業時間中の昼間に、今の「月」・「金星」・「太陽」の姿をインターネッ

トで紹介する統合天体ライブシステムを構築した(図1)。

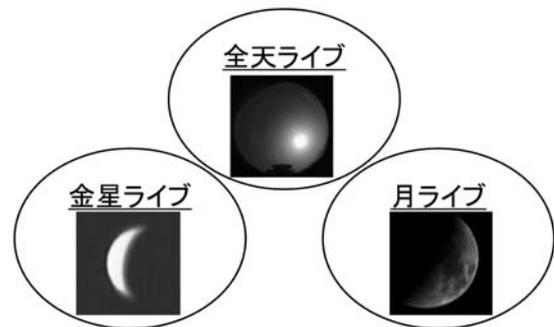


図1 統合天体ライブシステム。金星ライブ、月ライブ、全天ライブの3つのシステムで構成している。

天体ライブの観察対象

現行の小中学校で詳細に学習・観察する天体は、「月」、「金星」、「太陽」である(表1)。公共天文台では、インターネットを通じて太陽面のライブ中継や日食や月食等のイベント型ライブ中継はしばしば実施される。しかし、学校教育で活用されるためには、教科書の内容に沿った情報が必要である。そこで、学習内容からシステム要件を検討した。

(1) 月

現在、小学校4年生の地球と宇宙、月や星の動きの単元で、月の満ち欠けと太陽と月の位置関係を観察する。そして、月面で太陽光が反射するために月が満ち欠けし、月の形は太陽と地球と月の位置関係によるものであることを理解し、月が地球を公転していることを導く。本内容は、現行学習指導要領では一部削減されているが、2011年度より復活し、中学校の学習内容にも含まれる。

肉眼でも月は観察できるが、授業のある昼間に肉眼

で見える月の位相は限られている。そこで、月ライブでは月の全景を提供すると共に、肉眼では見えにくいクレーター等の地形を観察し、望遠鏡で観察する利点を享受できるようにする。

(2) 金星

金星は、中学校3年生理科第2分野において太陽系と惑星、惑星の公転の単元で学習する。金星の観察を通して、金星の大きさや満ち欠けの変化から、金星が太陽の周りを公転する惑星であることを理解する。金星は、最大でも約1分角（月の約30分の1）の大きさでしか見えず、肉眼では満ち欠けの様子もわからない。夕方か明け方、金星に天体望遠鏡を向けて初めて満ち欠けや大きさが観察できる。金星の会合周期は約1.5年で、教科書に記載されている長期間にわたる金星の位相の変化を観察するのは学校現場で現実的ではない。ただし、金星は約-4等星と明るく、太陽に接近していない限り自動制御の天体望遠鏡を用いれば昼間でも観察できる。そこで、光学系は金星の全景を提供できる焦点距離の望遠鏡を選定した。

(3) 太陽

小学校3年生の地球と宇宙の単元でまず太陽の動きを学習し、中学校3年生の地球と宇宙の単元で太陽を学習すると共に、透明半球などを用いて太陽の天球上の軌跡を観察し、それが季節とともに変化することから太陽の日周・年周運動を学習し、地球の自転・公転を理解する内容となっている。これらの学習のためには、太陽像自体の観察と、天球上の太陽の位置とその変化が観察できることが重要である。公共天文台が太陽の像をインターネットで一般公開しているところも多い。そこで、太陽の位置が示せる全天の視野（千島、2007、高田他、2005）を通して太陽の位置変化が観察

できることを優先した。

以上を踏まえ、月、金星、全天の生映像を配信する、「月ライブ」、「金星ライブ」、「全天ライブ」の3つの天体ライブ観察システムを構築した。

天体ライブ観察システム概要

天体ライブ観察システムは、宮教大インターネット天文台に設置されている（図2）。また、全天ライブシステムについては、国立天文台石垣島 VERA 観測所にも1台設置し、緯度経度の違いによる天体の動きの比較が可能である。表2に「月ライブ」、「金星ライブ」、「全天ライブ」のサブシステムの各光学系、制御系、通信系の構成を示す。

(1) 月ライブシステム（千島他、2007、千島、2007、木村他、2007）

月全景とクレーター等の地形が観察できるように、それぞれ低倍率（画像視野角37×50分）の月望遠鏡と中倍率（画像視野角12×15分）の地形望遠鏡を1台の赤道儀に搭載する（図3）。これにより、同一対象を



図2 宮教大インターネット天文台全景

表2 天体観察ライブシステムの構成

ライブシステム	月ライブ		金星ライブ	全天ライブ
	月望遠鏡	地形望遠鏡		
光学系	F5.7, f=255 mm トミー, miniBORG45ED	F8, f=816 mm 高橋製作所 TSA-102	F5, f=1500 mm 高橋製作所 MT-300	魚眼コンバータレンズ 画角180°
制御系	Software Bisque社 THE SKY		Cartes du Ciel	コレガ ネットワークカメラ CG-NCMNV2
	赤道儀 高橋製作所 EM-200		赤道儀 高橋製作所 EM-500	
通信系	メディアエンコーダー、メディアサービス（マイクロソフト社）			http/ftp



図3 月ライブ光学系。鏡筒は、左の小型望遠鏡から、ファインダー、月望遠鏡、地形望遠鏡である。月望遠鏡、小型望遠鏡の接眼部にウェブカメラを設置して映像を配信している。

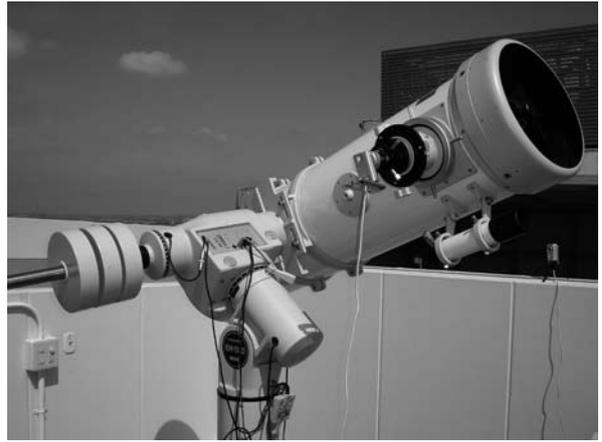


図4 金星ライブ光学系。焦点距離1.5mの中型望遠鏡の接眼部にウェブカメラを設置し映像を配信している。

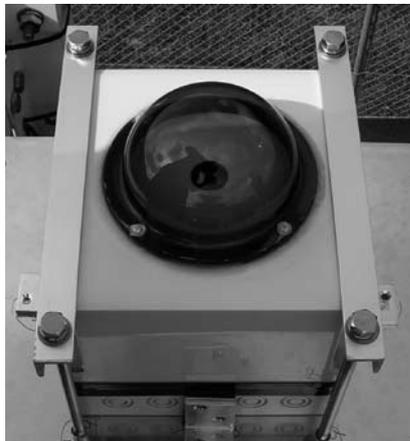


図5 全天ライブカメラ。(左) ネットワークカメラに魚眼コンバータレンズを設置して天頂に向けている。(右) カメラにケースと透明半球をかぶせて設置した状態。

異なる倍率で観察できる。

ただし、月は、約27日で地球を公転し、白道と黄道も約5度ずれていることから、天球上で恒星と異なる固有の運動をする。そのため、常時月が映像視野内に入るように、望遠鏡制御ソフトウェアを用いて観測の都度追尾速度を指定し赤道儀を制御しなければならない。

月の映像は、各望遠鏡の接眼部につけられたウェブカメラ（フィリップ社 ToUCam ProII）で撮像し、ライブストリーミング方式（マイクロソフト社メディアエンコーダー）で配信する。

(2) 金星ライブシステム（千島他、2006、千島、2007、木村他、2007）

基本的に、月望遠鏡と制御・通信方法は同様であるが、月より高倍率の光学系が必要なため、焦点距離

1.5mの中型望遠鏡を用いて画像視野角6×8分を確保している（図4）。

(3) 全天ライブシステム（齋藤・高田、2008、齋藤、2009）

全天カメラは、お天気アイシステム（仙台市科学館、2006）で使用しているカメラと同様に、ネットワークカメラ（コレガ社、CG-NCMN2）とデジカメ用の魚眼コンバータレンズ（フィット社）を光軸を合せて天頂に向けて設置している。これにより高度5度以上の全天の視野が撮像できる（図5）他、昼間の太陽の位置が明確になるように、カメラの明るさ、コントラスト、色彩の調節が可能である。

このネットワークカメラは、http、ftpによる画像配信機能があり、ホームページで常時全天のモニタリングが可能である。

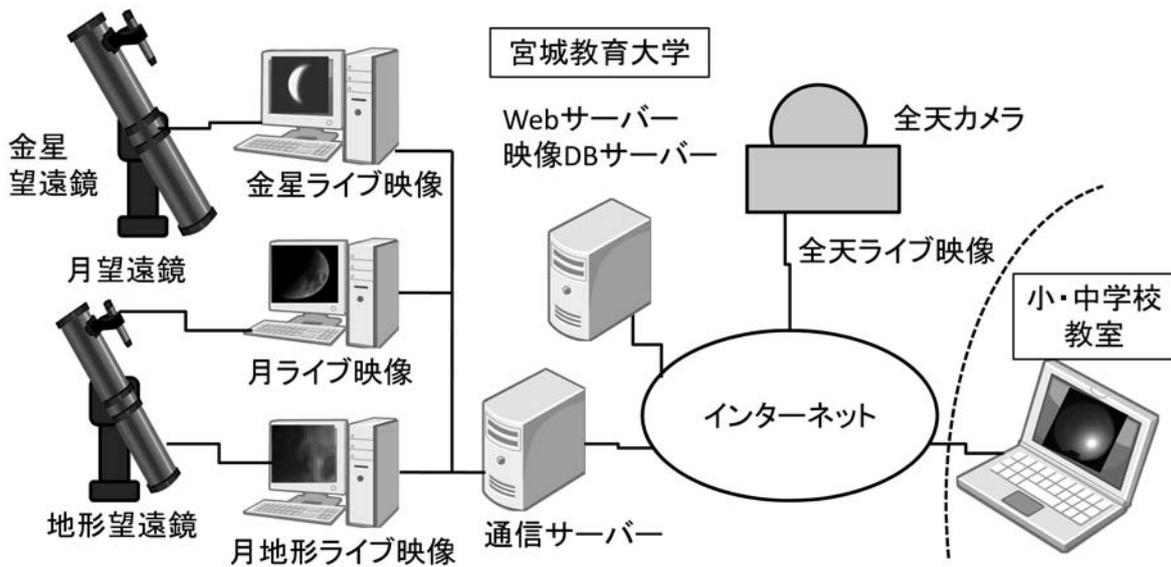


図6 天体観察ライブシステムの構成。月ライブ映像は月望遠鏡と地形望遠鏡で、金星ライブ映像は金星望遠鏡でそれぞれとらえた映像を通信サーバー経由でインターネット配信する。全天ライブ映像はネットワークカメラから直接配信すると同時に、映像DBサーバーに画像を蓄積している。すべてのライブ映像はホームページの一つの窓口からアクセス可能である。

月ライブ予定表 2008

7月																																				
曜日	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
月齢	27	28	29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
月の出	1:42							8:47	9:53	10:56	11:57	12:59																								
月の没	17:24							21:43	22:07	22:30	22:54	23:21																								
ライブ	10-15							10-15	12-15	12-15	13-15	14-15																								

8月																																				
曜日	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
月齢	29	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	0			
月の出																										24:18	—	0:26	1:39	2:39	3:29	4:10	4:51	5:23	5:56	
月の没																										14:04	15:05	15:57	16:39	17:15	17:51	18:18	18:45	19:12	19:39	
ライブ																										10-13	10-14	10-15	10-15							

9月																																				
曜日	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
月齢	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1					
月の出			8:30	9:34	10:36			13:31	22:32																22:17	13:00	—	0:40	1:51	3:02	4:13	5:24	6:35	7:46	8:57	
月の没			19:22	19:50	20:22			22:32																	14:38	15:14	15:44	16:14	16:44	17:14	17:44	18:14	18:44	19:14	19:44	
ライブ			10-15	11-15	12-15			14-15																	10-12	10-13	10-14	10-15								

- 配信日
- 新月 空間に観察不可能
- 休日

ライブは、月齢が3-8、22-27日の登校期間中実施します。
 配信日は小学校の授業時間に月が観察できる日を設定しています。
 満月をはさんだ土・日曜(月齢約9~21)は小学校の授業時間に月が出ていません。夜間は月が出ていますので、自分の目で確認してみてくださいね。
 新月をはさんだ土・日曜(月齢約28~2)は月が太陽に近すぎるため観察が困難です。
 月の出後、月没前、それぞれ約1時間は月の高度が低いので、望遠鏡による月の観察が困難です。

参照 月齢・月の出・入り時刻・・・国立天文台天文情報センター暦計算室 <http://www.nao.ac.jp/koyomi/> (宮城県仙台市、月齢は正午を基準としています)

図7 月ライブ配信予定例。2008年度の月ライブの配信予定をホームページに掲載。1ヶ月のうちに配信可能な日は6-8日に限られる。金星ライブは、内合外合付近以外、全天ライブは常時、配信可能である。

天体ライブ観察システムの運用

本天体ライブ観察システムは、小中学校での活用を目的としているため、昼間の授業時間中に配信して観察に利用できる体制が必要である。

月ライブは、月を学習する期間が小学校4年生の夏

休み前後であることから、配信実施期間を7-9月と設定した。また、月は、新月に近いと細すぎて映像でとらえられず、また、月が空に出ているか否かは月齢によって決まる。そこで、①登校日の、②10時から15時の間で、③月の出約1時間から月の入り前約1時間の間の、④月齢が新月の±2日間以外、の晴天時に

公開することとし、月ライブ配信予定表を作成、公開し、観望者が観察予定を立てやすくした(図7)。

金星は、太陽の近くに位置すると太陽の散乱光で見えづらく、外合の前後1-2ヶ月、内合の前後1-2週間はウェブカメラでの撮像が困難である。ただし、それ以外は長期的に観察が可能なため、中学校で金星を学習する冬期に合わせて、①11-1月の期間、②登校日の、③10時から15時までで、④金星の高度が10度以上ある時間帯に、金星ライブを配信する。2007年度の冬期は、明けの明星で午後2-3時には金星が沈み、午後の配信が十分にできなかったが、2006年度は、宵の明星で予定通り配信した。

全天カメラは、透明半球を付したケース内にすべて器材が納められており、天体追尾や天体ドームの開閉

も不要なため、全日を通して常時観察が行える。

撮像画像データベースとホームページによる公開

現在、「月ライブ」、「金星ライブ」、「全天ライブ」は、インターネットでリアルタイムに配信するほか、画像を蓄積し、比較できるようにしている。「月」と「金星」については、ライブ開始時に数秒間の映像が自動取得される。これらを整理保存し、さまざまな位相の天体像が得られる。金星は、「金星観察日記」として観察記録を残し、長期的な位相の変化と形の比較ができるようにしている。月も過去の画像を公開している。現在、ライブ映像ならびに過去の映像、画像や観察情報は、ブログ形式で公開している。これらは更新の手間

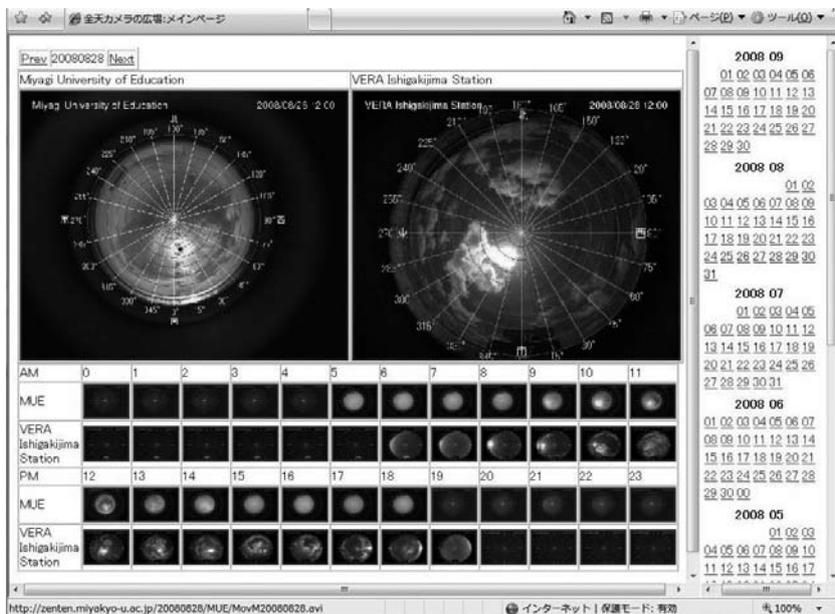


図8 天体ライブホームページ。
 (上左) 月ライブ。月の映像とともに観察日記のブログ、月の位置・月齢等も掲載している。
 (上右) 金星ライブ。金星の映像と共に、映像記録の観察日記や金星の位置検索等にリンクしている。
 (下) 全天ライブ。緯度が約15度南、経度が約15度西に位置する石垣島に設置した全天映像(画面右)との比較ができる。

を省き利用者との双方向コミュニケーションが可能であるからである。

全天ライブ映像は、ネットワークカメラから直接配信すると同時に、自動的に画像をhttpで映像DBサーバーに10分単位に蓄積している。保存された画像を1日単位で合成し、1日の太陽の運動の映像として保存公開している。四季それぞれの全天映像を比較することにより、太陽の軌跡の季節による移り変わりが観察でき、また、異なる地域の全天映像を比較すれば、緯度における太陽の軌跡の違いも観察できる(齋藤、2009)。これにより、天候を気にせず、長期間の全天観察データの蓄積が可能となった。

まとめ——今後に向けて

今や、無償映像配信サイトやインターネットTVの教育利用も普及しているが、時々刻々と変化する現象を実映像として生中継できることが、これらと一線を画している。また、映像・画像を記録した、映像データベースの構築により天球上における太陽の軌跡の移り変わりや金星の満ち欠けの変化など、年単位で長期間観察が必要となる事象も映像として提供することが可能となった。

また、これらのすべてのライブ映像は「星空観察ネットの広場」と称するホームページ1窓口 (<http://www.hosizora.miyakyou.ac.jp/>) からアクセスが可能である。

本システムの運営に当たり、最大の問題点は、金星ライブ、月ライブが天候に左右されることである。仙台の8月の晴天率は2日と、2008年度の月ライブは、2ヶ月間の実施予定期間12日に対して、1日しか公開していない。天候は、実際の観察でも障害になるが、より天気の良い地域におけるライブ発信やバックアップ体制等が求められる。

さらに、金星・月ライブについては望遠鏡のセッティングに人手が介在するが、これらの自動化や専用天文台の設置も望まれる。

小学校では、月、金星、太陽の天体の他に、星座とその運動を学習する。星座が形を変えずに東から西へ移動すること、四季で観察できる星座が異なることを観察するが、昼間に星座を観察することは難しい。星座観察ができるように、異地点での高感度カメラによ

る全天ライブ(たとえば、Pickering, 2006)や、星空観察システムも提供されている(佐藤他、2006)が、これらの長期運用、メンテナンス等については課題も残る。

また、学習指導要領では現実には観察が難しい天体の観察の実施を促しているが、今後、これらの学習対象の見直しも含めて星の観察授業に対する方策も議論すべきであろう。

引用文献

- 木村雄太、鈴木雄太、千島拓朗、太田孝弘、齋藤弘一郎、高田淑子、成田晋吾、大滝学、2007、月・金星ライブ2007、2007年天文教育普及研究会年会集録、21、20-22。
- 齋藤弘一郎、2009、天文・気象分野における定点観測教材の開発と実践、宮城教育大学修士論文、印刷中。
- 齋藤弘一郎・高田淑子、2008、全天ライブシステムの構築とその活用、宮城教育大学情報処理センター年報、15、E1-5。
- 佐藤毅彦、松山明道、木村かおる、奥野光、阪本成一、今井一雅、2006、星座カメラi-CANプロジェクト、天文月報、99、644-650。
- 仙台市科学館、2006、お天気アイ〜気象観測ネットとwebカメラで天気の変化を調べよう〜、科学技術振興機構地域科学館連携支援事業、平成18年度報告書、3。
- 高田淑子、佐々木佳恵、松下真人、長島康雄、齊藤正晴、千島拓朗、中堤康友、2004、教室で行う宇宙の実験-5：宮教大インターネット望遠鏡を用いた昼間の星観察、宮城教育大学紀要、39、125-131。
- 高田淑子、千島拓朗、齊藤正晴、伊藤芳春、野田貴洋、高橋知美、黒木充、市川仁、Mike M. Dworetzky、Ian A. Crawford、2005、教室で行う宇宙の実験-7：全天カメラを用いた太陽の日周運動の映像教材の開発、宮城教育大学紀要、40、101-106。
- 高田淑子、齋藤弘一郎、佐藤 淳、長島康雄、2008、中学校理科の実験・観察指導に関する調査報告書、pp. 42。
- 千島拓朗、2007、IT機器を利用した天文教育プログラム開発、宮城教育大学修士論文。
- 千島拓朗、高田淑子、三澤宇希子、齊藤正晴、佐藤拓也、中條裕、成田晋吾、齋藤亘弘、北野伸一、伊藤芳春、佐藤崇、松下真人、2006、学校教育での利用を目的とした宮教大インターネット天文台の活用、天文教育、82、18-21。
- 千島拓朗・成田晋吾・大滝学・高田淑子・鈴木雄太・木村雄太・太田孝弘、天体のライブ映像を教材とした理科

教育実践とその評価、2007、宮城教育大学情報処理
センター年報、14、30-36。

文部科学省、1998、小学校学習指導要領、文部省告示第175号。

文部科学省、1998、中学校学習指導要領、文部省告示第176号。

Pickering, T. E., 2006, The MMT All-Sky Camera, Proc.
SPIE, 6267, 62671A, DOI:10.1117/12.672508.

(平成20年9月29日受理)