

星座カメラ i-CAN プロジェクト

佐藤 毅 彦

〈熊本大学・教育学部 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪 2-40-1〉

松山 明 道

〈人吉市立中原小学校 〒868-0085 熊本県人吉市中神町 548〉

木村 かおる, 奥野 光

〈科学技術館・事業部 〒102-0091 東京都千代田区北の丸公園 2-1〉

阪本 成 一

〈国立天文台・ALMA 推進室 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

今井 一 雅

〈高知工業高等専門学校・電気工学科 〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1〉

小中学校「理科」授業に使いやすい天文学習デジタルツールとして、星座カメラ i-CAN を開発し 3 カ国の 4 カ所に設置、授業や研修会での活用を開始した。インタラクティブに操作しながらリアルタイムに星座観察を行える i-CAN は、インターネット天文台と対をなし、「地球の裏側から夜空を教室へ」提供する。対象や現象を実際に観察することで学習内容の理解が深まるであろうし、子どもたちの宇宙への興味、そして学習の意欲をも増すと期待される。

1. はじめに

「地球の裏側から夜空を教室へ！」を合言葉に筆者らがインターネット天文台プロジェクトを開始したのは、1998年のことであった^{1), 2)}。インターネット経由の天体観察ツール「インターネット天文台」を開発・設置し、教育実践に活用してきている^{3), 4)}。国内3カ所（神奈川、千葉、熊本）に続き、2003年12月に初の海外インターネット天文台（ガーナ共和国）を完成、「昼間の授業中に、夜空を観察しながら星や宇宙について学ぶ」という夢の実現にこぎつけた^{5), 6)}。

それ以前のインターネット望遠鏡には、希望天体の画像取得リクエストを受け付ける⁷⁾、あるいは天文台オペレーターが介在して天体を「見せて

くれる」⁸⁾ものがあった。それらは、精密なデータの提供や、天文台スタッフによる有益なインタラクティブを伴うという点で価値がある。一方、われわれのインターネット天文台は、ユーザーが望遠鏡・カメラなどすべてをインターネット経由で「自ら操作する」点が特徴だ。「自分たちで操作し見る」という主体的・能動的な感触が、子どもたちを天体観測の世界に引き込み、学習対象である星々への興味や学習意欲をも増すと期待している。インターネット天文台を用いた教育実践を通じ、その効果は実証されてきた^{9), 10)}。

小中学校理科では望遠鏡による天体の拡大像が活躍する場面は多くはなく^{11), 12)}、望遠鏡などを使わずに、空の広い範囲を眺めて学習する事項のほうがずっと多い。学校あたりの天体望遠鏡の台数



図1 インターネット天文台を使った小学校理科の授業風景. 前方スクリーンを全員が見ることで、体験を共有する一体感が生まれる。

やそれを扱う教員の技術レベル，天体観測会の実施頻度⁹⁾，さらには一般家庭への望遠鏡の普及度が配慮されているのだろう。こうした背景に基づき天文分野の学習には，星空の広い範囲を眺められる広視野カメラを世界中に設置し用いることが有用と考え，本計画「星座カメラ i-CAN」プロジェクトを開始した（図1）。

2. 星座カメラ i-CAN の開発

2.1 基本コンセプト

「世界各地の広視野カメラを利用した星空観察を学習に取り入れる」というだけであれば，そのためのウェブ・ページ nightskylive.net がすでに存在する。米国ミシガン工科大学が National Science Foundation の補助を受けて公開しているもので，CONCAM と呼ばれる全天カメラ¹³⁾を世界の各地に設置し，常時夜空を提供している。夜空を見るだけならばこれを利用すればよいのであり，新しく開発するシステムはしたがって，それとの差別化が必要だ。その鍵をわれわれは，

- リアルタイム性
- インタラクティブ性
- 適度な広視野
- カラー

の4点と考えた。

はじめの「リアルタイム性」は，動画ストリーミングにより星空を放映することで，それを実現する。CONCAM が提供するの定期的更新される静止画のみであり，「いまの星空を見ている」という実感は薄い。

次の「インタラクティブ性」は，インターネット天文台の開発当初からわれわれが最重要視してきた特徴^{1), 2)}である。子どもたち自らカメラを自由に動かし，さまざまな星座のうちから見たいものを見る，その楽しさが重要で，それを確保しようと考えたのである。

リアルタイムかつインタラクティブであれば，カメラがいちどきに全天をとらえる必要はない。全天カメラに写るオリオン座は小さく，本来の雄大なスケールを完全に喪失している。星座カメラには「星空のスケール感を損わない」程度の視野が好ましい。夏・冬の大三角，カシオペア～北極星や北斗七星～北極星など「星座どうしの位置関係」が重要となる対象を収められる視野の広さが適切だ。

そして，天体の色まで再現できれば理想的である（小学校理科¹⁴⁾では，星にはさまざまな明るさや色のものがあることを学ぶ）。CONCAM はモノクロだが，ぜひカラーのカメラが欲しい。

以上の4点を満たすことを目指し，星座カメラ i-CAN を開発した。i-CAN とは，Interactive Camera Network を縮めた呼び名である。と同時に，「自分でできる (I can)」とかけている。

2.2 i-CAN の映像システム

i-CAN は，星空を映し出すほどの高感度であること，限られたネットワーク帯域幅でも使えることを除けば，「チルトとパン機構を備えたウェブカメラ」といえる。ここではその映像システムについて述べる。

星空に使えるカラー高感度ビデオカメラの選択肢はいくつかあり，i-CAN では Mintron 製 MTV-63VIN を用いる（1/3 インチ CCD）。このカメラ

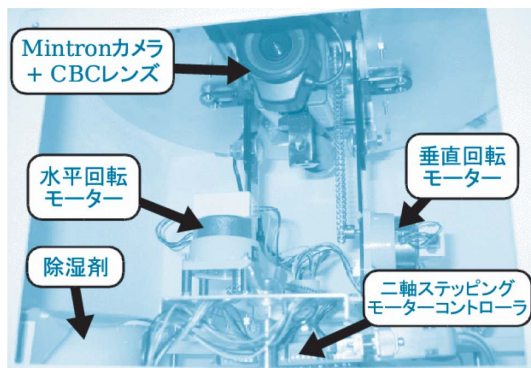


図2 i-CAN の内部構造. 広視野高感度カメラとチルト・パン機構, 制御 PC がコンパクトに収められている.

は最大 128 倍のフレーム積算によるスターライト・モードにより, 天の川まで映し出すことができる. その際の映像は, 動画というよりは 2 秒に 1 コマのバラバラ漫画的であるが, 夜空はそもそも動きに乏しいので問題にはならない. 欠点は画面左上隅に「淡い緑色の光芒」が発生する(増幅アンプの発光) ことと, 非冷却 CCD を長時間積分することによるホットピクセルの増大(星像と紛らわしい) が挙げられる. メーカーによれば, 欠陥ピクセルが極少の天文仕様もある¹⁴⁾とのことだが, 未入手である. レンズは, 流星のビデオ観測などでおなじみとなった CBC 製 C マウント・レンズ(焦点距離 3.8 mm 口径比 F0.8, ビデオアイリス機構)を組み合わせる. 対角画角 70 度ほどの広視野を得ている.

星空映像は, ビデオキャプチャ・デバイス経由で PC へ入力, RealVideo9 形式に変換されて映像配信サーバへと送り込まれる. インターネット天文台と同様の手法であり, ユーザ側には動画を見るための RealPlayer が必要となる^{1), 2)}. i-CAN の内蔵 PC は, その寸法が 170 mm(W) × 176 mm(D) × 60 mm(H) という省スペース PC (E-Let's 製) に Linux をインストールしたもの. ビデオキャプチャ・デバイスは USB 接続の Novac 社 Catch View (残念ながら販売終了) を用いる. こ

のあたりの選択肢も Linux では乏しく, 知る限り現行製品で簡単に使えるものはない. 将来にわたり i-CAN を増殖・展開していくには不安な部分だ.

2.3 機械部分と全天候型ケース

チルトとパン機構には日本サーボ製の小型ステッピングモーターを用いる. 駆動パルス発生には, 二軸独立制御で, かつ PC からシリアル回線経由のコマンドを受け付ける便利なコントローラ(浅草ギ研製)を使用している. 上記 E-Let's 製 PC は小型ながらシリアル・ポート一つを背面に備え, ケーブル 1 本でコントローラと接続できる. モーター出力は, 協育歯車製のスプロケット & ラダーチェーンを介して各軸へ動力を伝達している(図 2).

カメラ, チルト・パン機構, 制御 PC を含むすべては, 最上部にアクリル透明半球を備えたアルミ・ケース(図 3: アストロ光学製, 一辺約 35 cm の立方体に近い)に収められる. アルミ部分はすべて遮熱塗装を施した. 炎天下, アルミ地肌であれば触れられないほどに熱くなるものが, この塗装により「暖かい」程度に表面温度を抑えることができるのである. 星座の観測はアクリルドームを通して行われる. 日中は, カメラのチルトと連動するシャッターが全閉となり, マイクロスイッチによりカメラ電源がオフにされる. 強い光によるダメージを防ぐとともに, 筐体内部の温度上昇を抑えることも意図している.

運用を開始してみて, 湿度の高い夜にはアクリルドームに夜露のつくことが判明した. 第一段階として, アクリルドーム最下部にニクロム線ヒータを設置(12 V 供給時に約 10 W), そしてドーム内の空気滞留を防ぐ循環ファン設置という改修を施した(防露効果についてはランニング・テスト中). さらなる改善が必要となる可能性も考え, 奥野を中心に, ペルチェクーラーを用いた高機能防露システムをもテスト中である.

i-CAN 全体が屋外に常設される一つの「全天候

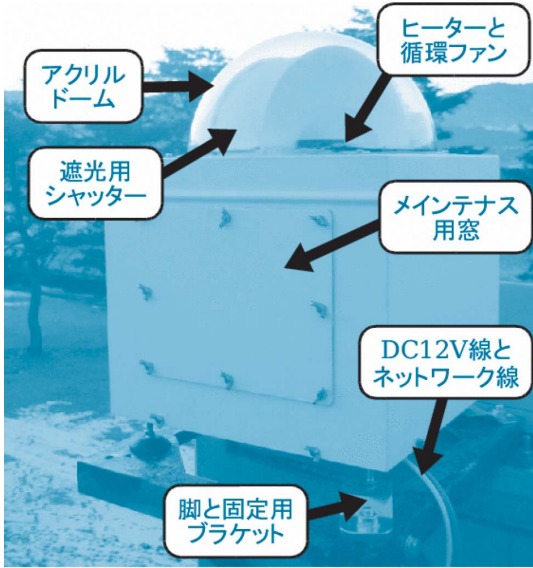


図3 i-CANの外観 (R2D2とも呼ばれる)。これは、南阿蘇ルナ天文台に設置された1台。

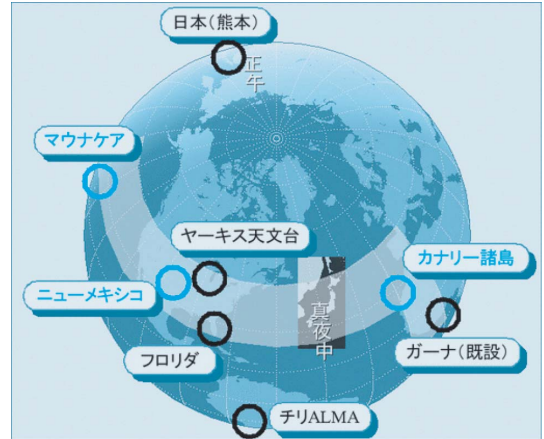


図4 i-CANの設置サイト (黒文字は設置完了, 青文字は平成18年度設置を予定しているサイト)。

型天文台」といえる。定期的な除湿剤の交換やアクリルドームの清掃は必要であり、完全なメンテナンス・フリーとはなり難い。設置作業は、この全体を観測に適した屋外に置き、屋内ユニットと結線 (DC12V 供給線とネットワークケーブル) するだけでよい。屋内ユニットは、直流安定化電源装置とネットワークハブなどである。将来的に、太陽光発電とバッテリーにより電源ラインの省略、そして無線 LAN により屋内と結ぶことで、結線作業の一切を省くことも構想している。

2.4 i-CANのソフトウェア

インタラクティブに操作しながらリアルタイム映像を観察するという意味では、i-CAN はインターネット天文台と変わらない。そのため、これまでインターネット天文台制御に用いてきた制御ソフト^{1), 2), 4)}に小改良を加え、流用している。

インターネット天文台との大きな違いは、「できるだけ簡単にする」方針でそれが作られていることである。i-CAN に必要なのは「カメラの向きを変える」操作だけなので難しいことはなく、直感的なインターフェイスが可能だ。インターネッ

ト天文台のほうはというと、ちょっと難しい部分をわざと残してある。子どもたちが操作し「やった」「できた」という征服感・達成感を得ることに配慮と期待をしているのである。一方で、そのような難しさが、学校の先生の中でも理科をあまり得意とされない方々をインターネット天文台利用から遠ざけていた、という側面のあることは否定できない。そこで i-CAN に関しては、操作の徹底的な簡単化を目指した。また、気軽に体験してもらえよう、空いていれば即座に利用開始できる「ゲスト利用」機能も完備している。

3. i-CANの設置とその利用

3.1 i-CANの設置サイト

本稿執筆時点で、4台の i-CAN が稼動している。第1号機は、米国ウィスコンシン州のシカゴ大学ヤーキス天文台に設置された (2005年9月)。木村が現地へ赴き、同天文台スタッフらとともに設置作業を実施。輸送中の振動・衝撃により装置に軽度の損傷を生じるトラブルはあったものの、現地スタッフの献身的な協力をも得て、ぶじに稼動を開始した。設置後いち早く、同天文台で開催の Astronomy Resources Connecting School ワー

クショップで i-CAN を紹介，熊本大学に仮設置されていた 3 号機を用いて，リアルタイムの夜空を披露した。

初めて実現した「地球の裏側から届けられるリアルタイムの星空」は感動的であった。カメラのパフォーマンスも期待どおり，透明度の良い晩には冬の天の川をも見せてくれる。映像配信レートは，画質とネットワーク負荷を折衷して 25 kbps に抑えている。レートを高めれば画質は向上するが，非ブロードバンド環境でも使えるという「低速ゆえの利点」は無視できない。ネット・セキュリティの厳しい学校では，RealPlayer で動画を見ることが難しいケースは少なくない。そのような局面を，筆者のノート PC+PHS のインターネット接続 (64 kbps) で切り抜けたことは，一度や二度ではないのである。

ヤーキスに続き 2005 年 12 月には，国立天文台の協力を受けて南米チリのアタカマ，電波天文台 ALMA 山麓施設へ第 2 号機の設置を完了した。設置の実際は，阪本と現地スタッフが行った (ヤーキスのときと同じく，決してストレートには進まなかったが)。南半球唯一の i-CAN として，南十字星や大小マゼラン雲など南天の星々を提供し，人々の目を楽しませてくれている。

第 3 号機は国内サイトであり，南阿蘇ルナ天文台の協力により，同天文台のドーム横に設置した (佐藤)。日本の教室へ夜空を届けられるように協力してくれた海外の仲間への恩返しであるし，世界中の子どもたちに i-CAN を通した夜空を楽しんでほしいのである。

第 4 号機サイトはフロリダ大学のローズマリー・ヒル天文台で，今井がフロリダ大学スタッフと事前アレンジを行い，2006 年 2 月に木村・佐藤と現地スタッフにより設置が完了した。

平成 18 年度にも，さらに i-CAN を増やしていく予定だ。スペインのカナリー諸島へ設置するため，英国ブラッドフォード大学の研究者らとの協力も進めている。また，「同じ緯度帯に数多くの



図 5 i-CAN を用いた授業を受ける小学生 (2005 年 11 月，熊本市にて)。

i-CAN を設置する」という方法により，学校現場での利用のしやすさを向上させたい。広大な北米大陸に数多くの協力者 (サイト) を求め，そこに i-CAN を置いていくのである。この構想の背景は，最後に述べる。

3.2 i-CAN を用いた教員研修

すでに各地の i-CAN を用いた教育実践が重ねられており，別稿に報告している¹⁵⁾。学校現場における活用の促進にも，積極的に取り組んでいる。例えば，「理数大好きモデル地域事業 (科学技術振興機構)」の指定モデル地域の一つである熊本市では，インターネット天文台や星座カメラおよびプラネタリウムを授業に有効活用することをテーマに，教員資質向上研修会を催した (図 5: 2005 年 11 月，熊本博物館にて)。

研修会では，ヤーキス i-CAN からの星空を投影し，一つの星にレーザーポインターを固定して「星の動き」を実感していただいた。集まった小中学校の先生方は「星が動く」ことは当然知っていたが，視覚化されたその意外な速さに驚きを隠さなかった。こうした新鮮な驚き，リアルタイムに星空を見るからこそ得られる体験と実感を，ぜひ学校の教室へ持ち帰り，授業を通じて子どもたちに与えてもらいたい。

4. ま と め に

星座カメラ i-CAN を学校現場で活用する際の諸問題は、別稿に論じている¹⁵⁾。ここでは、天候の問題を回避していく戦略について述べておこう。どんなサイトでも天候の影響は必ずあり、誰にも責任のないことながら、それに起因する不便さは少しでも軽減したい。ハード自体が廉価な i-CAN だから、数多く設置することができ、「どこか晴れているサイトを使い、予定どおりに授業を行う」ことは可能である。しかし、そこにも問題点は残る。すなわち、バックアップ・サイトと利用予定サイトとでは、「見える星空が異なる」という事実である。

筆者自身が、例えばヤーキス i-CAN を用いる予定で授業を組み立てて、その当日に「こちらが晴天だから」という理由により南米チリの i-CAN を使えと言われたら、それで予定の授業内容を実施できる自信はない。同じ緯度帯で、経度が多少異なるのであれば、常識的な天文知識・理解で追いつくであろう。「北米大陸に多くの i-CAN を設置したい」と考える理由は、そこにある。星座の昇り具合や傾き具合は変わるにしても、基本は「同じ星空の異なる時間を見ている」という単純な天球の回転に相当するわけで、天文を専門とされない先生方であっても少しの努力で対処していただけるのではないかと期待するのである。

星座カメラ i-CAN、そしてインターネット天文台を用いることにより、観察を取り入れた天体授業が可能となった。これらをもってしても、「それは本当の星空体験ではない」という批判は可能だ。実際、ある公開授業の後にそのような声も聞いたし、それはわれわれ自身、痛いほど承知していることである。これまでの授業実践でも、「i-CAN で見たから十分」とは言ってこなかった。むしろできる限り、「こうして星座を覚えたから、この次はぜひ自分の目で見ようね」という言葉を、子どもたちに対して繰り返してきたのであ

る。幸いにして、子どもたちは IT ツールを用いた授業の後でも「自分の目で天体を見たい」という願いをもつ、あるいは授業前よりも強めているようである¹⁵⁾、¹⁶⁾。正しく使えば、IT ツールによる疑似体験であっても、自然へ目を向けそれを愛する心情を育てていくことは可能と信じる。

学習指導要領の次期改訂をも視野に、天文教育再考のムーブメント¹⁷⁾があるが、その中にぜひ「観察を伴った」学習を含めたい。疑似体験を上手に使うことは、実体験をさらに魅力的なものにできると信じている。そして本物の星空体験を含め、博物館・プラネタリウム・公共天文台などにおける社会教育活動¹⁸⁾、¹⁹⁾と手を取り合い、子どもたちに（そして大人にも）豊かな自然体験をもってもらいたい、と願うのである。

i-CAN ホームページ

<http://rika.educ.kumamoto-u.ac.jp/i-CAN/>

謝 辞

星座カメラ i-CAN プロジェクトは、科学研究費補助金特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」公募研究として実施しています。設置・運用にあたり、各サイト現地スタッフをはじめ、多くの方々のご協力をいただいています。

参 考 文 献

- 1) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 1999, 天文月報 92, 312
- 2) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 2000, 天文月報 93, 313
- 3) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 2000, 電気通信普及財団研究調査報告書 14(I), 195
- 4) 佐藤毅彦, 他, 2002, 熊本大学教育学部紀要(自然科学編) 51, 1
- 5) 佐藤毅彦, 他, 2003, 天文月報 96, 565
- 6) 佐藤毅彦, 他, 2005, 熊本大学教育学部紀要(自然科学編) 54, 103
- 7) Asbell-Clarke J., et al., 1996, ASP Conference Series 89,

- 8) 曾我真人, 他, 1998, 教育システム情報学会第 23 回全国大会 393
- 9) 松山明道, 2004, 熊本大学教育学部卒業論文
- 10) 濱田夕架, 2005, 熊本大学教育学部卒業論文
- 11) 文部科学省, 1998, 小学校学習指導要領 (大蔵省印刷局)
- 12) 文部科学省, 1998, 中学校学習指導要領 (ぎょうせい)
- 13) Nemiroff R. J., Rafert J. B., 1999, PASP 111, 886
- 14) <http://www.mintron.com/>
- 15) 佐藤毅彦, 前田健悟, 松山明道, 2006, 理科の教育, 印刷中
- 16) 松山明道, 2006, 熊本大学大学院教育学研究科修士論文
- 17) 松田卓也, 2005, 天文月報 98, 446 を巻頭言とするシリーズ「いま天文教育を考える」
- 18) 木村かおる, 2003, 天文月報 96, 579
- 19) 木村かおる, 2006, 常磐大学大学院コミュニティ振興学研究科修士論文

Constellation Camera i-CAN Project

Takehiko SATOH

*Faculty of Education, Kumamoto University,
2-40-1 Kurokami, Kumamoto-shi, Kumamoto
860-8555, Japan*

Akimichi MATSUYAMA

*Nakahara Elementary School, 548 Nakagami-
machi, Hitoyoshi-shi, Kumamoto 868-0085, Japan*

Kaoru KIMURA and Hikaru OKUNO

*Science Museum, 2-1 Kitanomaru-koen, Chiyoda-
ku, Tokyo 102-0091, Japan*

Seiichi SAKAMOTO

*ALMA Project Office, National Astronomical
Observatory, 2-21-1 Osawa, Mitaka-shi, Tokyo
181-8588, Japan*

Kazumasa IMAI

*Department of Electrical Engineering, Kochi
National College of Technology, 200-1 Monobe-
otsu, Nankoku-shi, Kochi 783-8508, Japan*

Abstract: We have developed the constellation camera “i-CAN,” a digital tool for studying astronomical subjects at “rika” classes of elementary/secondary schools. The i-CANs have been installed at 4 sites in 3 countries and have been utilized at classes and seminars. The i-CAN, an interactive and real-time constellation viewing tool, and the Internet Observatory are complementary with each other and altogether provide night skies from the other side of the Earth. Students may better understand their subjects by observing the objects and phenomena at classes, and will get more interested in subjects and the willingness to study may increase as well.