

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501082

研究課題名(和文)天体分野学習の新時代：悪天時の観察もネットツールでwel-CAM！

研究課題名(英文)A new era of studying astronomy: Wel-CAMs on the net allow observations under unfavorable weather.

研究代表者

佐藤 毅彦 (Sato, Takehiko)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：10297632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：小学校第6学年理科「月の満ち欠け」学習では、日々変わる月の形を観察・記録することが重要だが、晴れの日が続くことは日本ではなかなかない。そこで天候条件に左右されにくいよう、ネット経由で晴れているサイトの月を観察できるツールWel-CAMを開発し、教育実践や教員研修に活用した。このツールは、月の満ち欠けと同時に、月と太陽の相対的位置関係も把握することができるよう工夫されている。これにより、観察結果にもとづいて子どもたちが現象の規則性を調べ、その原理を納得・理解することができるようになることが期待される。

研究成果の概要(英文)：For the study of lunar phases (6th grade of elementary school), it is essential to observe and record daily changes of the moon. However, it is usually very rare that we have consecutive days of clear sky. Considering this, we have developed a net tool "Wel-CAM" which allows students to observe the moon by using a Wel-CAM which is at a site of good weather condition. The tool also provides the relative positions of the moon and the sun in the sky. By combining the observations with Wel-CAMs and with student's own eyes, it is expected that they can understand how the moon changes its phase every day as well as the principle of the phenomena.

研究分野：惑星大気科学

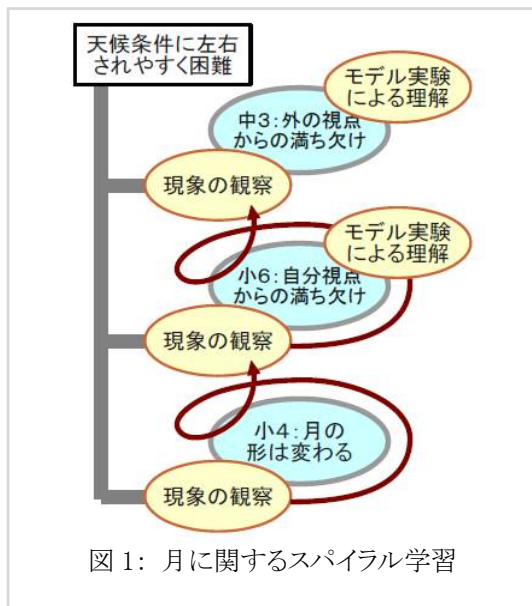
キーワード：月 満ち欠け 観察 天候 小学校 理科 ネット ツール

1. 研究開始当初の背景

平成 24 年度完全実施の新学習指導要領とそれに準拠した教科書では、理科における観察・実験重視の姿勢が鮮明である。

- 小4：「月は日によって形が変わって見える」ことを観察を通じて学び、第6学年の学習につなげる。星座は「二つ又は三つ」とする制限も除かれ、より多くの観察が想定されている。
- 小6：「月の満ち欠けを太陽との位置関係において理解する」という高度な科学内容を、観察と実験を通じて学び、中3の学習につなげる。
- 中3：太陽・恒星・惑星の観察、月の観察（公転と見え方の関係）が加えられている。

月の「満ち欠け」については、小4での変化の認識から中3で「外からの視点」を加えながら理解するレベルへ、繰り返しの通じより高度な内容へと進む「スパイラル的学習」が指向されている（図1）。この学習成否のク



ギが「よい観察」+「よいモデル実験」の繰り返しであることは論をまたないが、特に「よい観察」を確実にやりモデル実験へつなげてゆくことは、天候に左右されやすい天体観察の場合、大変に難しい。本研究計画は、その問題を軽減し教育現場のサポートへつなげてゆくものとして着想した。

前段階として H21~23 科研費基盤研究(C) (課題番号: 21500859、遠隔天体観察ツールを用いた「新学習指導要領」対応教材・カリキュラムの開発)では、宇宙天文分野の効果的な学習カリキュラム・教材を研究し、それを教育現場と連携し試行した。特に新設された小6「月の満ち欠け」に力を注いだ。本物の月そっくりに見える「満ち欠け」学習用バルーン BaMoon を開発し、USB カメラによりさまざまな視点を与えるなどする実験手法を確立した(理科教育学会において発表の他、各地の教員研修会でその方法を広めつつある)。この教材は高く評価され、教材会社

ナリカより商品化されるまでに至った。

実験室での再現実験を進展させることができたのに対し、未解決の課題となっていたのは「月の満ち欠け」観察である。それを一巡観察するためには一カ月という期間が必要であり、その間に「十分な回数の好天」に恵まれなければならない。われわれが過去に開発した星座カメラ i-CAN は「昼間の授業中に星空をリアルタイムで観察する」ことを可能とした。しかし i-CAN は広視野・高感度に過ぎて、明るい月の満ち欠けを見ることはできない。日本の晴天率を考えると満ち欠けの連続観察はかなりハードルが高い問題であり、いまのところ適切な解決はまだどこでも実現してはいないのが現状だ。

我々は星座カメラ i-CAN のヘリテージを使い、それを拡張することでこの問題の克服が可能と考え、本研究計画の発想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上で述べた未解決の課題である「月の満ち欠け」観察を十分に行えるようにすることである(ここでいう「十分」とは、観察を通じて規則性を見出し、その原理を納得・理解できる量)。宇宙天文分野は天候の影響を受け「よい観察」が難しく、それを克服する方法は未確立である。本研究計画では「月の満ち欠け・表面の様子」観察に重点を置き、遠隔観察ツール wel-CAM を開発・分散設置することで、天候に左右されず確実に「よい観察」を行える環境を構築する。我々が開発してきた星座カメラ i-CAN、インターネット天文台、それと既設公開天文台が配信する太陽画像などを組み合わせれば、小中学校理科の宇宙天文分野における観察はすべてカバーされるようになり、同分野の学習は新時代を迎える。新学習指導要領「理科」の指向するスパイラル的学習が有効に働くための、「よい観察」結果を「よいモデル実験」を通じ理解すること、その繰り返しの提供できるようにするのである。

3. 研究の方法

本研究計画の基本的な考え方は次のとおりである。

- 国内の晴れている場所の「月」を新開発のネットツール wel-CAM で観察する。
- ツール wel-CAM が提供するはその設置場所における以下の情報とする。
 - ✧ 空の様子(通常のウェブカメラと同じと考えればよい)
 - ✧ 日時計を写すことにより、太陽の方向や動きを可視化
 - ✧ 同時に小望遠鏡が月を向くことにより、太陽と月との離角を可視化
 - ✧ 小望遠鏡焦点のカメラによる月の拡大像(満ち欠けや表面模様、クレーターなど)

ツール名称はウェブ(web)上の月カメラ(lunar camera)であるから、wel-CAM と名

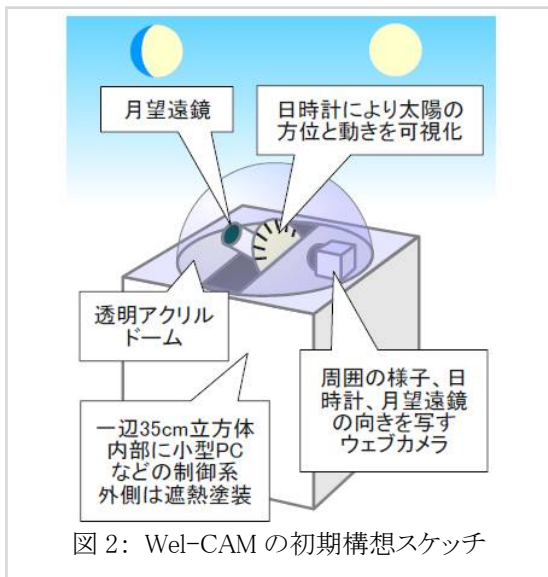


図 2: Wel-CAM の初期構想スケッチ

づけた。教育現場どこからの利用も歓迎します (welcome!)、との意味もこめている。装置の外観は図 2 のとおり、実績のある i-CAN 筐体 (透明アクリルドーム付き) を追加製作し用いる。星座カメラの場合と異なり、観察者である子どもが住んでいる場所と「時差がない」方が理解を助けるから、海外設置ではなく国内各地に分散設置する。

上述のように wel-CAM では「日時計による太陽の動き」「月の満ち欠けの様子と、太陽との位置関係」「月の表面の様子」をリアルタイム映像として提供する。星座カメラ i-CAN と合わせて用いることで、小学校理科における宇宙天文分野 (第 3、4、6 学年) の観察項目ほぼすべてをカバーできることになる。唯一カバーしないものは「太陽の表面の様子」であるが、これは公開天文台のいくつか (埼玉県川口市立科学館 HP など) が恒常的に提供しており、問題はない。

本研究計画の指向するところは、アナログ感覚とデジタル技術の適切な融合と、その有効な教育活用である。たとえば、太陽と月の離角をデジタル数値として表示することは簡単である。しかしあえて数値表示をせずに、日時計と月望遠鏡指向方向の関係として子どもたちに提示する。これは子どもたち自身が空の中に月を見つけ、その太陽からの離れ

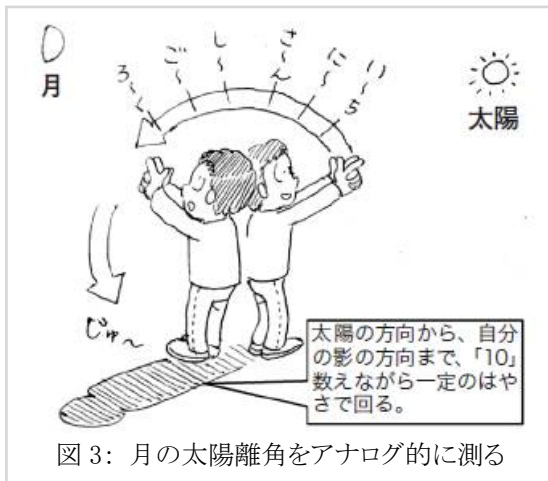


図 3: 月の太陽離角をアナログ的に測る

具合を手を伸ばして測る行為 (図 3) と同じレベルの体験を与えたいからである。晴れているときには自分たちの頭上で、そして天候がよくないときにはネット上で同じような測定を行う。これによりデータの連続性・等質性を確保し、科学データの中に存在する原理を学びとることが (天候に左右されずに) より確実にできるようになるだろう。

初年度に wel-CAM の開発・試験および次年度教育実践の準備を行う。ツール wel-CAM の開発・試験におよそ 8 ヶ月を要する。筐体内に超小型フォーク式赤道儀に望遠レンズ付のカメラ=月望遠鏡 (月が写野の 1/3 程度に写る) を組み込む。その北側の背中に日時計を設置し、アクリルドーム内の北端に設置したウェブカメラで日時計と月望遠鏡の向きを同時に撮影・配信する。したがって広角・望遠の 2 カメラを搭載するが、i-CAN と異なりインタラクティブな操作は想定しない (画像配信間隔が長くてよい) から、必要なネットワーク負荷は変わらない。開発要素は以下のとおり。

- 昼間の青空中でも月の形を良好なコントラストで撮影・配信できるようなチューニング
- 月へ向ける途中で太陽光が望遠鏡に入っても装置が壊れない安全設計
- インタラクティブな操作を必要としないレベルの、良好な指向精度・追尾性能
- 年間を通じて正しく読むことのできる日時計 (可動部分をもたない)

本 wel-CAM 設計の重要なポイントは、日時計の目盛板中心と月望遠鏡の不動点がウェブカメラから見て一致していることである (これによりはじめて、太陽と月の離角を視覚化できる)。そのために望遠鏡の搭載架台はフォーク式赤道儀としている。赤道儀は一軸の回転により月を追尾できる利点はあるものの、水平線に対する月の傾きは写野内では再現できない。学力テストでは、空のいろいろな方位において月がどのように傾いて見えるかを問う設問もあり、それを再現しないことをどのようにフォローできるか、この開発期間にはそうした「実践的な議論」も行う。我々のチームおよび協力者は教育現場に深く関わっているため、こうした議論をきちんとできる点はよいツール開発のために有利である。

星座カメラの場合と異なり、観察者の住む場所と「時差がない」方が理解を助けるから、wel-CAM は海外設置ではなく国内各地 (5 ヶ所を候補地に想定) に分散設置する。

- 北海道エリア: 北海道大学が協力
- 東北エリア: 仙台市天文台が協力
- 関東エリア: JAXA 相模原キャンパス (佐藤の勤務地)
- 西日本エリア: 島根大学 (研究分担者松本が担当)
- 九州エリア: 熊本市立熊本博物館が協力

日本列島全体が雲に覆われるような特別な天候を除き、これだけのカバレッジがあればどこかのwel-CAMを使って月の観察を実施することが可能であろう。

開発の後期には、教育実践の具体的方法、星座カメラ i-CAN、インターネット天文台 ASOB-i、月カメラ wel-CAM (+BaMoon によるモデル実験) などを用いた総合カリキュラムを教育現場のスタッフと打合せ、詳細を決定してゆく。主な教育実践実施校(協力教員)は次のとおり。

- 東京都多摩市立南鶴牧小学校(福田章人教諭)
- 東京都千代田区立富士見小学校(岩崎泰久教諭)
- 兵庫県西宮市立上ヶ原南小学校(松本榮次教諭)
- 熊本県熊本市立龍田小学校(丸山修教諭)

ここに挙げた学校は我々のグループと日常的にコンタクトのある学校である。これら以外にも、たとえば星座カメラの活用や月バルーン BaMoon の活用を通じたつながりのある学校は多く、そうした学校に紹介してゆくことでwel-CAMを含む総合カリキュラムの実施は大きく広がると期待される。

国外唯一のインターネット天文台(ガーナ共和国)は月・惑星の詳しい様子をリアルタイムで観察する貴重なツールである(H15~16 科研費基盤研究(B) 課題番号: 15403001 「地球の裏側から夜空を!初の海外インターネット天文台により変わる理科教育」により設置)。これを定期メンテナンスしながら併用する。

開発フェーズの終了後は、教育実践を通じてwel-CAMを改良し、また総合カリキュラムの完成度を高めてゆく。さらに、改良されたwel-CAMとカリキュラムによる実践を広めるため、教員研修会を積極的に行う。佐藤はJAXA 宇宙教育センターを通じて各地の教員研修会へ出講する機会が多く、石井(研究分担者)は東京都小学校理科部会の研修会を毎年主催している。研究期間の最後4ヶ月程度を成果まとめの期間とする。

4. 研究成果

まず、wel-CAMのハードウェア・ソフトウェア開発の成果について述べる。

- 広角・望遠の2カメラを搭載する計画であったが、検討したところ光学22倍ズーム CCDカメラ(MTV-64G5DHN)なら1台で広角・望遠の両視野をカバーできることが分かり、それを採用した。
- MTV-64G5DHNの制御コマンド(RS-232C インターフェイス)を詳しく調べ、遠隔制御用プログラムを作成した。ウェブブラウザ経由でこのプログラムに必要なパラメータを渡し、カメラのズーム、露出時間、コントラストを操作することに成功した。

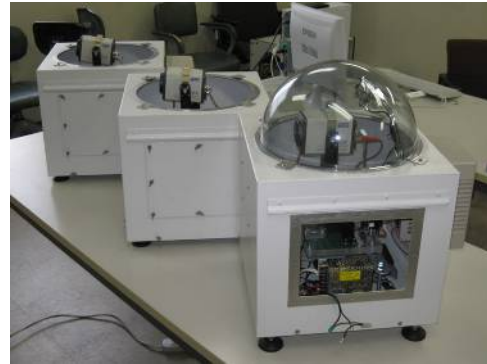


図4: 集中製作中のWel-CAM

- カメラ架台は赤道儀ではなく、経緯台とした。研究組織と現職教員らで議論の結果、カメラ写野の向きが刻々と変化するのは、やはり教材として問題が多いという結論に達したからである。経緯台の駆動部は垂直・水平ともサーボモータを採用し、プログラムが各軸の運動を制御することで、月の自動追尾機能を実現している。
- 従来の星座カメラでは屋外設置ケース中に(熱に弱い)PCを入れていたため、昼間にも使う想定の方wel-CAMを同方式にした場合、環境による劣化が心配された。
 - ✧ 屋外ケース中にはカメラ・架台は入れるものの、PCは数十メートル単位で離れた屋内に置く方法を検討した。中間をイーサネットケーブルで置き換える「USBエクステンダ」を採用することで、この方式を実現できるようになった。



図5: Wel-CAM望遠(16倍ズーム)の月(上:朝の青空、下:日の出前の空)

- ◇ カメラ・架台を少しでも熱から守るために、アクリルドーム外側へ遮熱コーティングを行い、ペルチェクーラを設置している。さらに、カメラをサバイバルシートでくるむなど可能な限りの工夫を施している。
- 太陽の光っている方位と月カメラの向いている方位の「相対的な位置関係」を示すため、オイル中で自由に回転するボールコンパスを副カメラで撮影する方法を考案し、実装した。

研究期間内に3台のWel-CAMを製作(図4)し、宇宙科学研究所(相模原市)、島根大学教育学部(松江市)、秋田大学教育文化学部(秋田市)に設置した。

開発完了したWel-CAMは光学22倍ズーム(電動)のおかげで、広角モードで「地上風景と月との位置関係」を認識、月へズームしてゆけば「満ち欠けの様子」がはっきりと見える(図5)。学習指導要領(小学校理科第6学年)では、「月の満ち欠けを太陽との位置関係において理解する」ことが求められている。そこで、月へ向いた主カメラを真上から見下ろす副カメラを併設し、カメラの向いている方向(月)と太陽方向との相対関係を理解できるようにしている。昼間の授業中に青空の中で月を観察できることが求められるため、ズームのコントロール、明るさの微調整、主カメラと副カメラとの切替はユーザがウェブブラウザから操作することができる。一方、月の導入と自動追尾はユーザには開放せず、システムおよび管理者が行う仕様とした(導入・追尾精度が「最大ズーム」時にはやや不足気味で、改良の求められるところである)。

小学校での授業実践は、研究代表者・分担者、研究協力者(現場教員)により精力的・継続的に行った。



図6: 副カメラから見たボールコンパス(太陽が映り込み、その方位が分かる)

- 兵庫県西宮市立上ヶ原南小学校(2012年7月・11月)
- 富山県富山市立浜黒崎小学校(2012年10月)
- 東京都千代田区立富士見小学校(2012年10月)
- 東京都港区立白金小学校(2012年11月)
- 北海道札幌市立新琴似緑小学校、新陽小

- 学校、倶知安町立倶知安小学校(2012年12月)
- 熊本県熊本市立龍田小学校(2012年10月に二回)
- 東京都千代田区立九段小学校(2012年7月に三回:臨海学校含む、9月に二回、2月に二回)
- 熊本県熊本市立詫麻東小学校・川尻小学校・川上小学校・西里小学校(2014年10月)
- 兵庫県神戸市立妙法寺小学校(2014年10月24日)
- 兵庫県神戸市立道場小学校(2014年11月7日)
- 島根県隠岐の島町立西郷小学校(2014年9月2日)

これら多くの授業実践を通じて、われわれの開発したカリキュラムの効果を実証した。十分な回数の「満ち欠け」観察を行った上で、実験室において再現実験を実施することにより子どもたちの理解が深まった。感想文の中に「これまであまり分らなかったけど、よく分かるようになった」という声が多数あり、開発したツールやカリキュラムの有効性を示している。

「月の満ち欠け」に関する教員研修は、2012年8月6日(東京都小学校理科部会)、2013年1月26日(岩国市教育センター)で実施した。後者は読売新聞岩国版に記事が掲載されている。また、熊本の研究協力者(熊本市立出水南小学校、丸山修教諭)の協力で、熊本市小学校理科部会の教員研修会においても同様の研修を行った(2013年8月16日)。われわれの開発してきた教材を利用した授業法の普及をはかるとともに、教育現場における「月の満ち欠け」学習の実態についての情報を取得。教材・教授法に関するニーズを知ることでもできた。

以上のように、ネットツールの開発、小学校における教育実践、教員研修会と、当初計画していた活動を実施した。それらを通じて開発ツールの教育における有用性を実証し、今後も継続的に使用・普及を行うことで、当該分野の教育に大きな効果を挙げてゆけると期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計5件)

1. 佐藤毅彦・石井雅幸・松本一郎・上田晴彦・木村かおる: 小6「月の満ち欠け」観察機会を増やすネットツールWel-CAM. 日本理科教育学会第64回全国大会, 2014年08月23日~08月24日, 愛媛大学(愛媛県松山市).
2. 武田一徹・松本一郎: 月・地球・太陽一月の満ち欠けの仕組みと視点移動一. 日本理科教育学会第64回全国大会,

2014年08月23日～08月24日、愛媛大学(愛媛県松山市)。

3. 佐藤毅彦・石井雅幸・松本一郎・上田晴彦・木村かおる・松本栄次・丸山修: 「月の満ち欠け」継続観察の機会を増やすネットツール wel-CAM. 日本理科教育学会第63回全国大会, 2013年08月10日～08月11日, 北海道大学(札幌市)
4. 吉村拳・松本一郎・佐藤毅彦: 宇宙教育教材を用いた授業実践. 日本理科教育学会第62回全国大会, 2012年08月11日～08月12日, 鹿児島県鹿児島市.
5. 石井雅幸・大倉永倫香・佐藤毅彦・篠崎潤一・木村かおる: 星の学習における、児童の観察記録技能を高める指導法について 特に、星座カメラ i-CAN を活用して. 日本理科教育学会第62回全国大会, 2012年08月11日～08月12日, 鹿児島県鹿児島市.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

1. Wel-CAM ホームページ
<http://melos.ted.isas.jaxa.jp/rika/>
2. 2013年1月26日の岩国市教員研修会(岩国市教育センター)の様子が、読売新聞岩国版に記事として掲載されている。
3. 熊本での授業実践の様子が熊本日日新聞(2014年10月15日)に掲載されている。
4. 隠岐での授業実践の様子が山陰中央新報(2014年9月5日)に掲載されている。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 毅彦 (Takehiko Satoh)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号: 10297632

(2) 研究分担者

松本 一郎 (Ichiro Matsumoto)

島根大学・教育学部・教授

研究者番号: 30335541

石井 雅幸 (Masayuki Ishii)

大妻女子大学・家政学部・准教授

研究者番号: 50453494

上田 晴彦 (Haruhiko Ueda)

秋田大学・教育文化学部・教授

研究者番号: 70272028

(3) 連携研究者

なし

ホーム > 地域 > 山口

天気 | ショッピング | 雑誌 | 交通

JAXA教授が教諭の研修会 小中学校の40人、指導法学ぶ

ツイートする | おすすめ | 0 | フォック



宇宙航空研究開発機構(JAXA(ジャクサ))の佐藤毅彦教授による教育研修会が26日、岩国市科学センターで開かれ、小中学校の教諭約40人が月の満ち欠けの仕組みの教え方を学んだ。

月を覆した風船などを使って満ち欠けの仕組みを解説する佐藤教授

教諭たちの指導力を上げるため、センターが企画した。佐藤教授は月面の陰影をプリントした風船と太陽の役割のスポットライト、地上の人間の目にあたるカメラを使って、太陽と月、地球の位置関係を解説。「難しい言葉を使わず、絵を描いたり、身近な機材を使ったりして説明してほしい」と助言した。

参加者たちは、スポットライトなどの位置を変えて三日月や満月、上弦の月をカメラで画面に映し出すなどして、指導方法を確認していた。星座をインターネット上で観測できる「星空カメラ」の紹介などもあった。

高水高付風中で理科同好会顧問を務める河村憲明さん(59)は、「研修内容を自分の授業に応用したい」と話していた。

(2013年1月27日 読売新聞)

図7: 岩国での教員研修会の様子。読売新聞オンライン版から