

卒業論文題目

星空ライブカメラによるリアルタイム天体観察システムの開発

宮城教育大学 教育学部
生涯教育総合課程 自然環境専攻

D8630 門脇 駿

要旨

現行の学習指導要領（平成21年12月現在）において、星に関する学習は小学校第4学年での「月と星」、中学校第3学年での「地球と宇宙」の単元で学習することとなっている。どちらの単元においても「星の観察を通して考えさせる」という趣旨の文言が記されているが、星の観察は夜間行われるのがほとんどであり、さらに天体の日周運動を観察する場合は長時間に渡る観察が必要になることから、星の観察が十分に行われていないというのが現状である。授業時間内に星の観察を行うことが可能となれば、星の観察を通じた学習を行うことができる。

そこで本研究では、全天の星空を撮影する定点カメラ「星空ライブカメラ」を開発、設置した。開発する目的の1つに「月と星」、「地球と宇宙」の単元で行う観察の中でリアルタイムに観察することができていない「明るさの違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」、「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」をインターネットを利用してリアルタイムに観察できるようにすることを挙げた。この目的を達成するために「星空ライブカメラ」を開発するにあたって以下の5つの要件を満たすシステムの開発を目指した。

- ① 全天の星空を撮影する
- ② 3等星まで撮影する
- ③ リアルタイムの画像をインターネットで公開する
- ④ 1時間ごとに撮影した画像を公開する
- ⑤ 春夏秋冬の星空画像を蓄積するためのアーカイブを作成する

高感度カメラと魚眼レンズを組み合わせることで全天の星空を撮影し、かつ3等星の微弱な光を撮影することが可能な感度を持つカメラを設置した。撮影した星空の画像は、インターネットを介してリアルタイムに観察できるようにし、それと同時に24時間以内に撮影した1時間ごとの星空画像をホームページに表示することで、授業時間内に昨夜の星空の画像を観察して学習することを可能とした。また、撮影した画像は10分ごとにサーバーに保存される。ホームページ上では閲覧できないが、日周運動や年周運動を観察する際や、春夏秋冬の代表的な星座を観察する際にサーバーから画像を取得することで、実際の星空の画像を用いた学習が行えるようになることが期待される。第2章では上記の要件を満たすために行った機器の比較検討及び映像の公開方法を記載した。

また、第3章では「星空ライブカメラ」で撮影した画像を基に、撮像範囲と感度に関する性能評価を行い、第4章では撮影した画像を教材として利用する方法を記載した。

目次

論文要旨

第1章 序論	1
1-1 学習指導要領に記載されている星に関する観察事項	
1-2 天文分野の実験・観察実施の実態	
1-3 研究のねらい	
第2章 全天カメラの開発	4
2-1 無線LAN型全天カメラへの交換	
2-2 カメラハウジングの交換と保護アングルの製作	
第3章 星空ライブカメラの開発	11
3-1 既存する星空カメラ	
3-1 (1) 日本国内の星空カメラ	
3-1 (2) 海外の星空カメラ	
3-2 星空ライブカメラのシステムに関する比較検討	17
3-2 (1) カメラの比較検討	
3-2 (2) レンズの比較検討	
3-2 (3) 映像配信方法の検討	
3-2 (4) 接続ケーブルの比較検討	
3-2 (5) カメラハウジングの検討及び保護アングルの製作	
3-2 (6) CCD保護方法の検討	
3-3 星空ライブカメラの運用	31
3-3 (1) カメラシステムの概要	
3-3 (2) 機器の設定内容	
3-3 (3) サーバーへの画像転送	
3-3 (4) ホームページの作成と公開	
3-4 星空ライブカメラの撮像範囲と感度の検証	39
3-4 (1) 魚眼レンズの撮像範囲の検証	
3-4 (2) 画像から確認できる等級の検証	
第4章 星空ライブカメラの教材としての利用方法	46
4-1 画像による星座観察	
4-2 天体の日周運動・年周運動の観察	
4-3 将来的な利用方法	
第5章 結論	49
謝辞	50
参考文献	51
付録	52

第1章 序論

1-1 学習指導要領に記載されている星に関する観察事項

星に関する学習は、小学校第4学年の「月と星」(表1-1)、中学校第3学年の「地球と宇宙」(表1-2)で行うと学習指導要領に記載されている。

表1-1 小学校学習指導要領における星に関する学習。第4学年 B 生命と地球 (4) 月と星

<p>(4) 月と星</p> <p>月や星を観察し、月の位置と星の明るさや色及び位置を調べ、月や星の特徴や動きについての考えをもつことができるようにする。</p> <p>ア 月は日によって形が変わって見え、1日のうちでも時刻によって位置が変わること。</p> <p>イ 空には、明るさや色の違う星があること。</p> <p>ウ 星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること。</p>

表1-2 中学校学習指導要領における星に関する学習。第2分野 (6) 地球と宇宙

<p>(6) 地球と宇宙</p> <p>身近な天体の観察を通して、地球の運動について考察させるとともに、太陽や惑星の特徴及び月の運動と見え方を理解させ、太陽系や恒星など宇宙についての認識を深める。</p> <p>ア 天体の動きと地球の自転・公転</p> <p>(ア) 日周運動と自転</p> <p>天体の日周運動の観察を行い、その観察記録を地球の自転と関連付けてとらえること。</p> <p>(イ) 年周運動と公転</p> <p>星座の年周運動や太陽の南中高度の変化などの観察を行い、その観察記録を地球の公転や地軸の傾きと関連付けてとらえること。</p>

星に関する学習は、小学校・中学校どちらにおいても観察を通して考え、学ぶことが目標として記載されている。月の形の変化は昼間の月を利用して観察を行えるが、星の観察は授業時間内では行えず、視聴覚教材で代用したり、自宅観察やプラネタリウムによる疑似体験で観察を補っている学校が多い(中堤,2002)。

星の観察は、実際の星を観察することが最も望ましいが、指導要領に記載されている観察は、インターネットを介して教室でリアルタイムに観察することが可能である。既にリ

リアルタイムに観察することが出来るものが月と太陽である。月は日によって形が変わって見えるというのは、昼間見える月を撮影し、インターネットでリアルタイムに配信している「月ライブ」を利用することで授業時間内に教室で観察することが可能である（鈴木,2007）。また、太陽の南中高度の観察は、「全天カメラ」を利用することでリアルタイムに太陽の高度を知ることができ、南中高度の変化も過去の「全天カメラ」の画像と比較することで観察が可能である（斉藤,2009）。

本研究では「月と星」、「地球と宇宙」の単元で行う観察の中でリアルタイムに観察することが出来ない「明るさの違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」、「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」をインターネットを利用してリアルタイムに観察できるようにすることを目的の1つとする。

1-2 天文分野の実験・観察実施の実態

学習指導要領では星の観察を通じた学習が目標であるが、実際に学校現場で星の観察がどのようにどの程度行われているのか実態を知る必要がある。過去に行われた中学校での天文分野の実験・観察の実施状況の実態調査から次のようなことがわかっている。

まず中堤（2002）では、夕刻に星の観察をしている学校は17校中3校であり、生徒に自宅観察を課しているという学校は17校中13校であった。また、視聴覚教材やプラネタリウムを利用した擬似観察により観察を補っているという学校が多く見られた。星の観察が授業時間内で行うことが困難なため、擬似観察に頼らざるを得ないことになっていると考えられる。しかし擬似観察ではコンピューターグラフィックスで再現したものや過去に撮影した画像、プラネタリウムに投影した星を観察することになり、実際の星をリアルタイムに観察できていないことが問題として挙げられる。

次に斉藤（2009）では、透明半球を使って天体の動きを調べる観察の実施率が生徒の観察、教師による演示を合わせて43.2%であることが報告された。この結果からもわかるように夜間に天体の動きを観察することは困難である。しかし擬似観察や教師による演示ではなく、生徒自らが天体の動きを観察するほうが、理解が深まると考えられる。現状では授業で天体の動きを観察することは困難な状況であるため、授業時間内で天体の動きを観察できる教材が必要であるのは明確である。

これらの実態調査から、擬似観察ではなく実際の星空を観察して学習することは困難であることがわかる。中学校の実態調査で観察の実施率が低いことから小学校での観察の実施率も同様に低いことが予想される。星の見え方は観察する地点によって異なるが、星の並びは変わらないため、観察する地点の経度が異なっても同じ星空の観察が可能である。そこで日本で授業が行われる昼の時間帯に夜の時間帯となっている地域に星空を撮影するカメラを設置し、授業時間内にリアルタイムの星空を観察を行うことが可能になるため、星空ライブカメラの開発を行った。

1-3 研究のねらい

本研究では、学習指導要領で観察するように記載されている「明るさの違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」、「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」をインターネットを介してリアルタイムに観察が行えるようにするために「星空ライブカメラ」を開発する。

カメラで撮影した画像は、リアルタイムでインターネット上に公開するとともに、10分間ごとの映像をアーカイブとしてサーバーに保存する。ホームページ(<http://sky.miyakyo-u.ac.jp>)にはリアルタイムの映像の他に昨晚の1時間ごとの画像を公開する。インターネットで画像を公開することでインターネットを利用できる環境さえあれば、どこからでもリアルタイムの星空を観察することができ、翌日でも昨晚の星空とその動きを確認することが可能となる。

撮影した画像から「明るさの違う星があること」を理解すること、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」と「天体の日周運動の観察」についても疑似観察ではなく授業時間内に実際の星空を観察し学ぶこと、さらに撮影を重ねて1年分のアーカイブ映像が揃えて年周運動の観察に活用することが可能となる。また、昨晚の画像から今夜見える星空をあらかじめ授業で確認することで、生徒が自宅観察する際の手助けになることも期待される。

このように本研究では星空ライブカメラの映像を教育現場で活用できる教材にすることを目的としている。昼間の太陽の動きを観察する全天カメラの夜タイプとしての機能と星の明るさ、星座の形を確認する機能を持ち、教育のために全天の星空を撮影してインターネットで画像を公開することや画像データの蓄積による授業支援を行い、天文教育の充実につながる教材を目指している。

第2章 全天カメラの開発

2-1 無線 LAN 型全天カメラへの交換

宮城教育大学には太陽の動きをリアルタイムで観察することが可能な「全天カメラ（斎藤,2009）」が設置されている。全天カメラは Panasonic 社製 BL-C1 を使用し、フィット社製のデジタルカメラ用魚眼コンバータレンズ魚露目 8 号を取り付けたカメラである。魚露目 8 号は 180 度広角撮影が可能な魚眼レンズで、これを利用することにより全天の撮影が可能となる。撮影した画像は、カメラに有線 LAN を接続してインターネットを介してリアルタイムの映像を配信している。しかし 2009 年 1 月にカメラハウジングの一部として利用していた透明半球が破損し、その部分から浸水したことでカメラの運用が停止せざるを得ない状態となった。そこで使用するカメラを無線 LAN に対応している corega 社製のネットワークカメラ CG-NCMNV2 に変更し、カメラハウジングも新たなものに変更してカメラの再設置を行った。

無線 LAN を使用するために、まず宮城教育大学 9 号館屋上の天文台内に無線 LAN の親機を設置する必要があった。無線親機の設定は次の通りである。

まず無線 LAN 親機とルーター、無線 LAN 親機とパソコンを有線 LAN で接続する。次に付属の CD-ROM から無線 LAN 設定用ユーティリティ（エアステーション設定ツール）をインストールし、簡単スタートを行う。簡単スタート終了後、設定ツールから WEB 設定を行う。WEB 設定を行う前にパソコンの IP アドレスを 192.168.11.2 に設定する。WEB 設定で行うことは、大きく分けると基本設定・セキュリティ設定・WAN ポート設定・LAN ポート設定・管理設定の 5 つで、設定内容は表 2-1 の通りである。

表 2-1 無線 LAN 親機に設定したデータ

基本設定	大学で指定された SSID (M1TT1) を設定する。
セキュリティ設定	無線を暗号化するために認証方式を WPA-PSK に設定し、さらに暗号化方式を TKIP 方式に設定し、共有キーを mitzenten2009 と設定する。
WAN ポート設定	大学で指定されたアドレスを設定する。 IP アドレス:160.28.190.130 サブネットマスク:255.255.255.0 デフォルトゲートウェイ:160.28.190.1 DNS サーバ:160.28.10.8
LAN ポート設定	IP アドレスを入力する欄があるが、ここでは初期設定 (192.168.11.1) を使用する。
管理設定	管理ユーザー:root、管理パスワード:mit2009 時刻の設定

無線 LAN 親機の設定の次にネットワークカメラ本体の設定を行う。パソコンとネットワークカメラを有線 LAN で接続する。次にパソコンの IP アドレスを 192.168.1.3 に設定し、デバイス名、ログイン設定、IP アドレスの設定、ワイヤレス設定を表 2-2 のように行う。

表 2-2 ネットワークカメラに設定したデータ

デバイス名	zenten.mue
ログイン	ログイン名:zenten パスワード:mit2009
IP アドレス設定	IP アドレス:192.168.11.2 サブネットマス:255.255.255.0 デフォルトゲートウェイ:192.168.11.1
DDNS	無効
ワイヤレス設定	通信モード:インフラストラクチャモード SSID:M1TT1 暗号化:WPA-PSK 共有キー:mitzenten2009
セカンドポート	81

このように無線 LAN 親機とネットワークカメラの設定を行い、カメラで撮影した画像を無線 LAN を利用してインターネット上に配信することが可能となった。また、カメラの無線化により全天カメラネットワークシステムは図 2-1 から図 2-2 へ変更した。

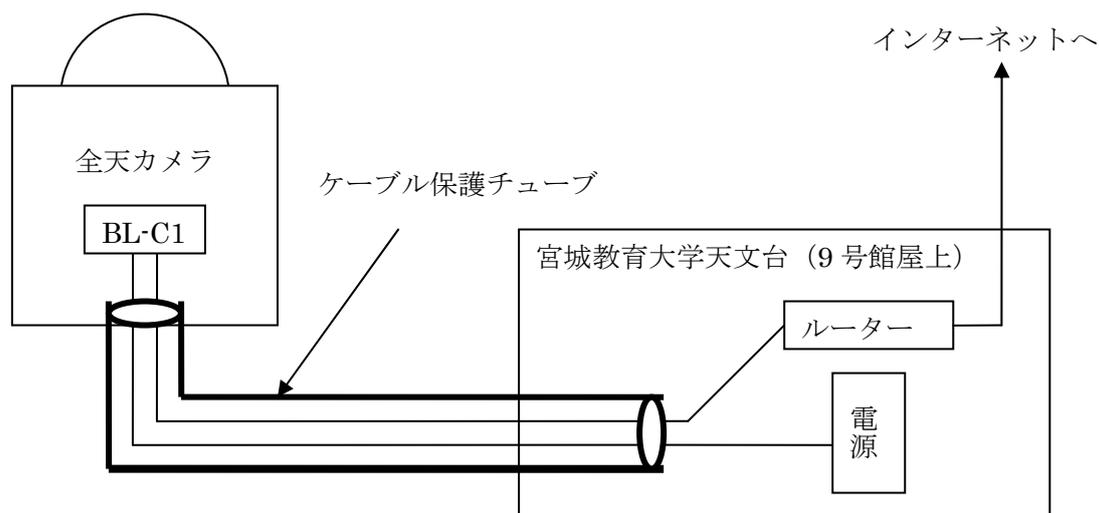


図 2-1 有線 LAN 型全天カメラのネットワーク。屋外に設置している全天カメラから LAN ケーブルと電源ケーブルの 2 本を天文台内に引いていた。2 本のケーブルの保護と一体化のためにケーブル保護チューブでケーブルを覆っていた。

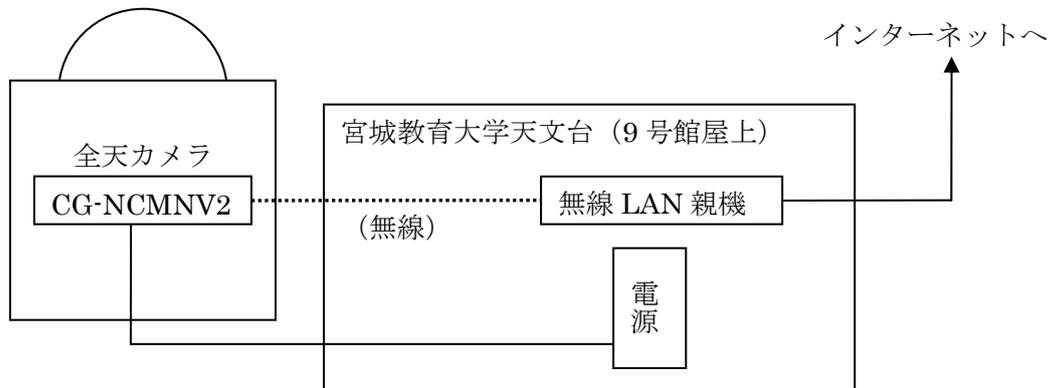


図 2-2 無線 LAN 型全天カメラのネットワーク。無線 LAN を採用したことで全天カメラに接続するケーブルは電源ケーブル 1 本のみとなった。

図 2-1 で使用していた電源ケーブルと LAN ケーブルは屋内向けの一般的なケーブルであったため、ケーブルを保護する必要があった。無線 LAN 型のカメラを再設置する際、電源ケーブルを屋外で使用可能なものに変更した。

採用した屋外用電源ケーブルは、富士電線工業社製の 2CT (図 2-3) である。これを採用した理由は、導線を保護するゴムシースが耐摩耗性に優れ、かつゴムシースの厚さが 1.8mm と厚いことから屋外の風雨にさらされる状態でも、劣化による漏電などの可能性が低く、十分使用可能と判断したからである。また、1m 当たり 170 円と安価なこともあり採用した。ホームセンターなどで市販されている屋外用ケーブルは、この 2CT に比べて細く、プラグ・コネクタは雨水を防ぐため極端に大きくなっている。全天カメラではプラグとコネクタはボックス内、屋内で使用するため防水機能を持つ必要がなく、大きなコネクタをボックスに入れることが困難なため採用しなかった。

2CT 2種天然ゴム絶縁天然ゴムキャブタイヤケーブル



シースが耐摩耗性に優れていますので、屋外での使用に適しています。

図 2-3 富士電線工業社製電源ケーブル 2CT。ゴムシースが 1.8mm と厚く耐摩耗性に優れており、屋外での使用が可能。ケーブルにはプラグとコネクタが付いていないため、別売のものを購入し加工をしてコンセントに接続できるようにした。

(http://www.fujiewc.co.jp/product/pdf_catalog/ct.pdf)

2-2 カメラハウジングの交換と保護アングルの製作

全天カメラの交換に合わせてカメラを保護するカメラハウジングの交換も行った。カメラハウジングには、石垣島に設置している全天カメラのカメラハウジングと同様のタカチ電機工業社製(SABP181815)を採用した。この SABP181815 は防水・防塵ボックスで、屋外で風雨にさらされる環境においてもカメラを保護することができ、また ABS 樹脂製なのでレンズロを空けるなどの加工が施しやすいボックスであるのでカメラハウジングとして使用した。

カメラハウジングとして強度を高めるため、防水・防塵ボックスを囲むようにアルミ製 L 字アングルを加工してボックス保護アングルを製作した。保護アングル製作用を含めカメラ再設置のために使用した材料は表 2-3 の通りである。

表 2-3 全天カメラを再設置するために使用した材料

アルミ製 L 字アングル	縦×横×長さ=25mm×25mm×1000mm	2 本
ステンレス板	縦×横×厚さ=20cm×30cm×1mm	1 枚
ネジ	ステンレス製 M5×15mm	14 本
	ステンレス製 M4×12mm	4 本
	プラスチック製 M4×12mm	4 本
コンクリートブロック	縦×横×高さ=190mm×390mm×150mm	2 個
	縦×横×高さ=190mm×195mm×150mm	2 個
	縦×横×高さ=150mm×150mm×150mm	1 個
カメラ保護ボックス	タカチ電機工業社製 SABP181815	1 箱
ケーブルグランド	MG-20	1 個
	GPM-20	1 個
透明半球	アクリルドームインジェクション成型	
	外径×フランジ×厚さ=100mm×10mm×2mm	1 個
ゴム板	縦×横×厚さ=120mm×120mm×1mm	1 枚
シリコン	バスコーク	1 本
電源ケーブル	富士電線工業社製 2CT	20m

カメラハウジング製作手順は以下の通りである。

① ステンレス板に保護ボックスを固定する。

ステンレス板にネジ穴を空ける箇所に印をつけ、ポンチを使ってドリルが滑らないように凹みを作り、ボール盤(図 2-5(右))を使用してステンレス板に保護ボックスを固定するネジ穴 (M4 径 4ヶ所) とアルミアングルを固定するネジ穴 (M5 径 6ヶ所) を空ける。ネジ穴よりも大きなドリルを使用して面取りを行い、保護ボックスをステンレス板に固定する。

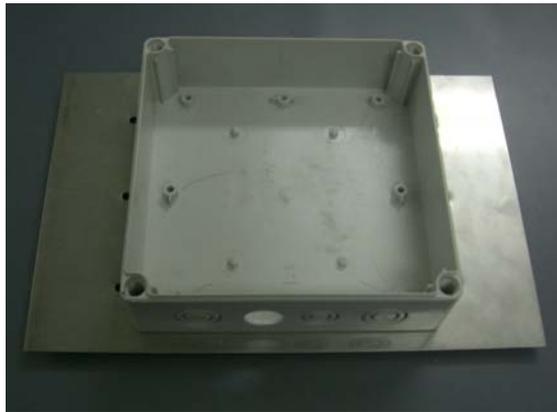


図 2-4 ステンレス板に固定した保護ボックス。

② アルミアングルを切断する。

バンドソー(図 2-5(左))を使用してアルミ製 L 字アングルを、長さ 226mm を 4 本、長さ 150mm を 4 本、長さ 175mm を 2 本に切断する。やすりを使い、長さの微調整及び面取りを行う。

③ アルミアングルにネジ穴を空ける。

切断したアルミアングルとアルミアングルを固定できるようにネジ穴 (M5 径 2~4 ヶ所ずつ) を空ける。ステンレス板と同様にポンチで凹みを作り、ボール盤で穴をあけ、やすりで面取りを行う。



図 2-5 アルミアングルの切断に使用したバンドソー(左)とネジ穴を空けるために使用したボール盤(右)。バンドソーを用いて長さ 1m の 2 本のアルミアングルを 10 本に切断した。ボール盤を用いてステンレス板、アルミアングル、透明半球と保護ボックスに穴を空ける作業を行った。

④ 透明半球と保護ボックス上部に透明半球を固定するネジ穴を空ける。

保護ボックス上部に透明半球を固定するためにネジ穴（M4 径 4 ヶ所）を空ける。保護ボックス上部に対角線を 2 本引き、中心で交わった点から 55mm 離れた対角線上に印をつけた後、透明半球と保護ボックスをテープで固定する。ポンチで凹みは作らずそのまま透明半球と保護ボックスにボール盤で穴を空け、面取りをする。アクリル製のため、ポンチを使用するとひびが入る恐れがあるためポンチは使用しない。

⑤ ゴム板を環形に加工する。

透明半球とボックスの間の密着性を高めるために厚さ 1mm のゴム板を挟む。ゴム板を直径 120mm の環形に切り、内径 90mm の環形の穴を空ける。

⑥ ケーブル口を空ける。

保護ボックスにはケーブルグランドの太さに合わせてケーブル口が指定されている。使用するケーブルグランドが直径 20mm のものなので指定されている直径 20mm のケーブル口をマイナスドライバーとハンマーを使用して穴を空ける。

⑦ カメラハウジングを組み立てる。

①～⑥までの作業を終えたらハウジングを組み立てる。まず①のボックスを固定したステンレス板に長さ 226mm のアルミアングルを使用して 2 本固定する（アルミアングルを固定する際は M5 のネジを使用する）。固定したアルミアングルのそれぞれの両端に長さ 150mm のアルミアングルを立てて固定する。

次にボックス上部にゴム板を両面テープで貼り、その上に透明半球を置き、M4 のプラスチックネジで 4 ヶ所固定する。固定する際は浸水を防ぐためにバスコークをネジ穴に入れてからネジで固定する。また透明半球とボックスの間の隙間を塞ぐためにバスコークを貼付する。バスコークが固まるまで 1 日程時間をおき、水道で水をかけるなど浸水することがないことを確認する。

ボックスの防水性が確認されたら透明半球を固定したボックス上部とボックス下部とを付属のネジで固定し、ボックス上部の 2 辺を押さえるように長さ 226mm のアルミアングルを固定する。最後にボックス上部を囲むように 175mm のアルミアングルで固定し、カメラハウジングが完成する。実際に使用する際にカメラをボックス内部に固定し、電源ケーブルを接続する際にケーブルをケーブルグランドに通してボックスに固定して使用する。

注：透明半球をボックスに固定する際はこの時使用した保護ボックスには元々レンズ口と透明半球を固定するためのネジ穴が空いていた。またカメラをボックス内で固定する固定具も製作されていたためそれらの作業（斎藤，2009 に記載）は省略した。

カメラを無線 LAN 型にすることでカメラハウジングの中にはカメラのみ、カメラと天文台をつなぐケーブルは電源ケーブルのみというシンプルな構造の全天カメラを再設置した(図 2-6)。設置したカメラの画像は、ホームページ(<http://zenten.miyakyo-u.ac.jp>)でリアルタイムに見ることが可能である。また有線 LAN 型全天カメラが設置された 2008 年 3 月からの画像や石垣島に設置してある全天カメラの映像も公開している。



図 2-6 無線 LAN 型全天カメラの内部(左)と設置した全天カメラの外観(右)。無線 LAN にしたことでカメラ内部がシンプルになり、接続するケーブルは 1 本のみとなった。カメラハウジングを支えているステンレス板をブロックで挟み、固定している。

第3章 星空ライブカメラの開発

3-1 既存する星空カメラ

星空のリアルタイム画像は、既に日本国内を含め世界中でインターネットを通じて公開されている。公開されている星空は、全天を撮影して公開しているものと全天ではなく固定された方角を撮影しているもの(cf.八ヶ岳星空カメラ)、利用者がカメラの向きを変えて東西南北の星空を個別に観察することが可能なもの(cf.i-CAN)など様々なものがある。しかし、その多くは現在調整中になっており画像を見ることができない(cf.みさとの空、CONCAMなど)。そこで日本国内・海外に分けて既存する星空カメラを整理し、カメラがどのように運用されているか調査した。

3-1 (1) 日本国内の星空カメラ

日本国内では9ヶ所で星空カメラを設置している。それらの設置目的、設置場所、システム構成などについて表3-1にまとめた。

表3-1 日本国内に既存する星空カメラ一覧

システム名	設置目的	設置場所	システム構成	その他
星空ライブカメラ (図3-1(左))	光害調査	名古屋市 科学館	カメラ： Nikon社製 D50 レンズ： F2.8 魚眼レンズ	<ul style="list-style-type: none"> ・10分おきに画像更新 ・100分前の画像まで閲覧可能 ・カラー画像 ・魚眼レンズで撮影しているが公開されている画像は環形になっていない http://zakkyo.com/live/
みさとの空	雲量等 天候 確認用	和歌山県 みさと 天文台	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・調整中 http://www.obs.jp/misato/040427/
スカイ モニター (図3-1(右))	雲量等 天候 確認用	国立天文台 岡山天体 物理研究所	カメラ：ビットラ ン社製 BT-20 レンズ：Nikon社 製AIフィッシュア イニッコール8mm F2.8S	<ul style="list-style-type: none"> ・11分おきに画像保存 ・カラー画像だが、星が青く映っている ・全天型カメラ http://www.oao.nao.ac.jp/weather/skymonitor/

星空ライブ カメラ	星空撮影	仙台市 天文台	カメラ： Watec 社製 WAT-120N+ レンズ： FUJINON 社製 FE185C086HA-1	<ul style="list-style-type: none"> ・白黒画像 ・魚眼レンズを使用しているが、公開されている画像は環形になっていない http://www.sendai-astro.jp/observation/live/live01.html
篠山の空	星空撮影	兵庫県 篠山市	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・カラー画像だが、星の色が実際とは異なる ・全天画像ではない http://www.asahi-net.or.jp/%7ECH9Y-SBTN/live.html
Star-Live Otsu City	星空撮影	滋賀県 大津市	カメラ： コニカ社製 e-mini レンズ：不明	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ位置：方位 206.5 度、高度 48.8 度 ・1 分おきに画像更新 ・全天画像ではない http://www.scn.tv/user/hobby/contents/star_live.html
八ヶ岳 星空カメラ	星空撮影	山梨県 八ヶ岳	カメラ：Sony 社製 XC-ST51 レンズ：不明	<ul style="list-style-type: none"> ・北カメラ、南カメラ 2 台で広角撮影をしている ・どちらのカメラも同じカメラを使用 http://homepage2.nifty.com/fspace/
i-CAN	天文教育 教材	熊本県ルナ 天文台 (他、海外に 多数設置さ れている)	カメラ： Mintron 社製 MTV-63V1N レンズ：CBC 社製 C マウントレンズ (f=3.8cm,F=0.8)	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネットで利用者がカメラを自ら操作可能 ・対角画角 70 度 ・カラー画像 ・熊本大学が開発、設置 http://melos.ted.isas.jaxa.jp/i-CAN/jpn/index.html

星空 モニター カメラ	星空撮影	富山市 天文台	不明	・ 2分おきに画像更新 http://www.tsm.toyama.toyama.jp/tao/live/nightsky/index.htm
-------------------	------	------------	----	--

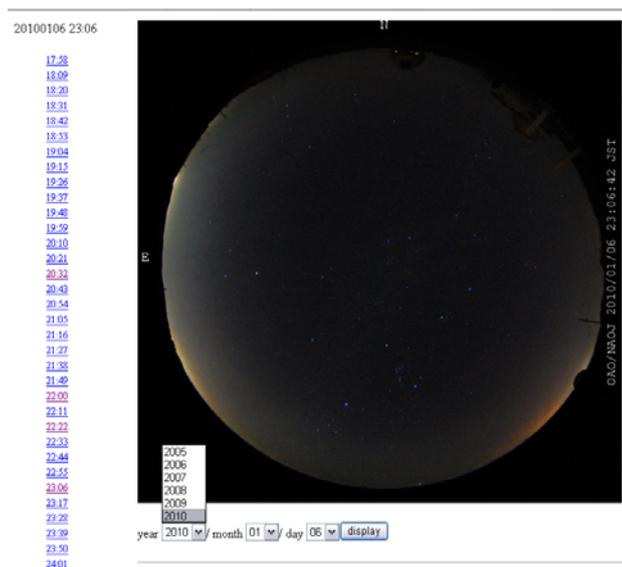


図 3-1 名古屋市科学館「星空ライブカメラ」(左)と国立天文台岡山天体物理研究所「スカイモニター」(右)のホームページ画像。名古屋市科学館の画像の下には撮影時刻、F 値、露出時間、ISO 感度が表示されている。国立天文台のスカイモニターでは、ほとんどの星が青く光って写っており、実際の星と色が異なる場所に注意する必要がある。また画面左下で日付を指定し、画面左の時間をクリックすることで 2005 年 8 月 11 日までの画像を遡って見ることができる。

日本国内の星空カメラはみさと天文台に設置されているみさとの空以外は現在も運用されていることが確認された。その中で魚眼レンズを使用し、全天を撮影・公開しているカメラは、国立天文台岡山天体物理観測所に設置されているスカイモニターのみであることが判明した。また、教育的な利用を目的として設置しているカメラは、熊本県ルナ天文台に設置されている i-CAN のみであり、教育目的に設置されているカメラの少なさがわかる。教育目的かつ全天の星空を撮影・公開しているカメラは、まだ日本国内には設置されておらず本研究による開発が初めてである。

3-1 (2) 海外の星空カメラ

海外にも星空カメラは多数既存している。その中には同じシステムを数ヶ所に設置し、撮影しているカメラもある。それらを日本国内の星空カメラと同様に表 3-2 にまとめた。

表 3-2 海外に既存する星空カメラ一覧

システム名	設置目的	設置場所	システム構成	その他
キルナの空	オーロラ観測	キルナ市 (スウェーデン)	不明	<ul style="list-style-type: none"> 調整中 和歌山県みさと天文台が設置 http://www.obs.jp/misato/040427/
Kiruna All Sky Camera (図 3-2 (左))	オーロラ観測	キルナ市 (スウェーデン)	カメラ： 富士フィルム社製 FinePix S2Pro レンズ：Nikon 社製 Nikkor8mm1:2.8 魚眼レンズ	<ul style="list-style-type: none"> スウェーデン王立宇宙物理研究所が設置 全天型カラーカメラ http://www.irf.se/allsky/rtasc.php
New Mexico Skies (Fair Dinkum Skies 同システム)	星空撮影	メイヒル (アメリカ、ニューメキシコ州)	不明	<ul style="list-style-type: none"> 全天型モノクロカメラだが、南北が画面から切れている http://www.nmskies.com/
Fair Dinkum Skies (New Mexico Skies と同システム)	星空撮影	モルック (オーストラリア)	不明	<ul style="list-style-type: none"> 全天型モノクロカメラだが、画面から切れている http://www.newmexicoskies.com/fairdinkumwx2.php

North American All-Sky Camera Network	流星・地球の教育教材	カナダ国内に 33ヶ所 アメリカ国内に 32ヶ所設置されている	カメラ：Sony 社製 HiCamHB-710E レンズ：Rainbow 社製 L163VDC4P 1.6-3.4mm F1.4 など設置箇所によって採用している カメラ、レンズが異なる	<ul style="list-style-type: none"> ・多くのカメラがインターネットでは公開されていないか、もしくは調整中だが、カナダ国内の数ヶ所のカメラはインターネットで公開されている ・ホームページには先生用のワークシートが掲載されている ・全天型カメラだが、画面から切れている部分がある ・公開されている画像はモノクロ画像 http://allsky.ca/NAdatabase.html
Tromso All Sky Camera	オーロラ観測	トロンソ（ノルウェー）	カメラ：不明 レンズ：Nikon 社製 魚眼レンズ F1.4	<ul style="list-style-type: none"> ・国立極地研究所が設置しているオーロラ観測全天型カラーカメラ ・30秒おきに画像が保存されている ・同様のカメラが南極点基地、アイルランドにも設置されている http://polaris.nipr.ac.jp/~acauroora/aurora/Tromso/
CONCAM	天文教育教材	マウナケア山(ハワイ州) ウィルソン天文台(カリフォルニア州) など 12ヶ所	カメラ：SBIG 社製 ST-8 レンズ：CBC 社製 Computar 2/3" M8513 F1.3 魚眼レンズ	<ul style="list-style-type: none"> ・全てのカメラが現在調整中でリアルタイム画像は公開されていない ・過去に撮影した画像のみ閲覧可能 ・全天型モノクロカメラ http://nightskylive.net/mk/
The MMTO Sky Camera (図 3-2 (右))	星空撮影	MMT 天文台 (アメリカ、アリゾナ州)	カメラ：Watec 社製 WAT-120N レンズ：YV2.2×1.4A-SA2	<ul style="list-style-type: none"> ・全天型モノクロカメラ ・リアルタイム画像が公開されており、過去の画像は動画で公開されている ・天の川まで観察することが可能 http://skycam.mmto.arizona.edu/

i-CAN	天文教育教材	すばる望遠鏡(ハワイ州)をはじめ、世界4カ国8ヶ所に設置されている。	カメラ：Mintron社製 MTV-63V1N レンズ：CBC社製 Cマウントレンズ (f=3.8cm,F=0.8)	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネットで利用者がカメラを自ら操作可能 ・対角画角 70 度 ・カラー画像 ・熊本大学教育学部が開発、設置 ・日本では熊本県ルナ天文台に設置されている http://melos.ted.isas.jaxa.jp/i-CAN/jpn/index.html
-------	--------	------------------------------------	--	---

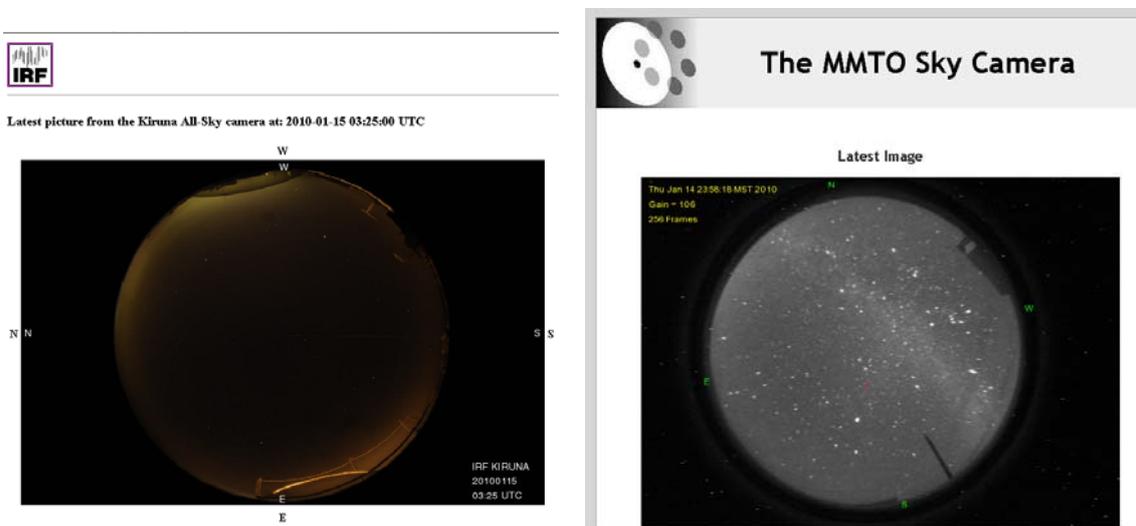


図 3-2 Kiruna All Sky Camera(左)MMT 天文台の星空カメラ(右)のホームページの画像。Kiruna のホームページでは画像の右下に現地時間が表示されており、1 分おきに映像が更新されている。MMT 天文台のホームページでは左上に現地時間、ゲイン値、シャッタースピードが表示されており、トップページの映像は、10 秒おきに更新されている。

既存の星空カメラの設置目的としては、星空を撮影するために設置されているものが多いが、中には雲量等天候を確認するために設置しているもの(cf.国立天文台岡山天体物理観測所スカイモニター、みさとの空)もある。また、オーロラ観察をするために設置しているもの(cf.Kiruna All Sky Camera, Tromso All Sky Camera)も多い。火球を撮影する目的で設置された North American All-Sky Camera Network の画像からは火球しか確認できず、星は確認されなかったが、目的は達成されている。このように既存のカメラはそれぞれの様々な目的に合わせて設置されていることが判明した。

星空カメラが多数既存する中で表 3-1、表 3-2 からわかるように教育的な利用を目的として設置されたカメラが少ないということがわかる。既存のカメラで教育的利用を目的としているのは熊本大学教育学部が開発・設置した i-CAN カメラと世界規模のネットワーク

を持つ CONCAM カメラである。両カメラの特徴は、i-CAN カメラがインターネットを介してカメラを遠隔操作し、東西南北の星空を個別に観察することができ、CONCAM カメラは全天の星空を撮影しているという点である。また i-CAN カメラは世界 8 ヶ所、CONCAM カメラは世界 12 ヶ所に設置されている点も特徴的で、授業を行う時間帯に夜の時間帯で晴れている地点に設置されているカメラの画像を利用してリアルタイムで星空を観察することができる。CONCAM カメラ全てが現在調整中でリアルタイムに利用することができないが、過去の画像のアーカイブがあることで授業を行うことが可能である。

これらの既存の星空カメラを参考に本研究の目的である天文教育的に利用価値がある星空カメラはどのような特徴が必要かシステム要件を検討した上で開発を進め、運用する。

3-2 星空ライブカメラのシステムに関する比較検討

本研究で開発する星空ライブカメラは教育用の教材として開発する。「明るさの違う星があること」は広角画像を観察すれば確認できるが、「星の集まりは、1 日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」、「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」をするには全天画像を撮影する必要がある。そこで魚眼レンズを使用して東西南北、360 度全天の星空を撮影する。また、画像から星座の形が確認できるようにするため、1 等星程が写る程度の画像では星座の形を確認することができず、3 等星程の星を撮影することが可能なカメラを選択する。日周運動の観察を行う際は、1 時間に 15 度ずつ星が動くという特徴を観察することが求められるため、撮影した画像を 1 時間おきに保存しておく必要もある。これらの撮影した映像をインターネットで公開し、教育現場で活用することが目的であるため、映像公開用ホームページを製作し、星空のリアルタイム画像と保存した昨晚の画像を公開する。

このようなシステムを構成するための要件をまとめる。

- ① 全天の星空を撮影する。
- ② 3 等星まで撮影する。
- ③ リアルタイムの画像をインターネットで公開する。
- ④ 1 時間ごとに撮影した画像を公開する。
- ⑤ 春夏秋冬の星空画像を蓄積するためのアーカイブを作成する。

これらの要件を満たす星空ライブカメラを開発する。

3-2 (1) カメラの比較検討

星の光は微弱であり、その光を捕らえることが可能な性能を持つカメラを選定する必要がある。最低被写体照度が小さければ小さいほど微弱な光を撮影することができるため、カメラを選定する際に最も重要な性能である。さらに 3 等星まで撮影可能という要件を満たし、かつ安価なカメラを選定する。これらの要件を満たすカメラを探し、表 3-3 の 5 種類のカメラを比較検討した。

表 3-3 星空ライブカメラのカメラとして採用候補となった高感度カメラの比較

カメラ名	Watec 社製 WAT-120N+	Mintron 社製 MTV-63V6HN	Mintron 社製 MTV-63V9HN	五藤光学社製 NC-R550a	日興電機通 信社製 NC-680
画像素子	1/2 型インターライン転送 CCD	1/3 インチ CCD イメージセンサー	1/3 インチ CCD イメージセンサー	電子増倍型 CCD(EM-CCD)ペルチェ型電子冷却素子により、-20 度まで冷却	1/2 型フレームインタライン転送方式 EM-CCD
有効画素数	768×494 約 38 万画素	811×508 約 41 万画素	811×508 約 41 万画素	約 33 万画素	658×496 約 33 万画素
解像度	570TV 本	580TVL	540TVL	800TV 本	450TV 本
最低被写体照度	0.00002lx F1.4	0.008lx F0.8	0.0003lx F1.2	0.000003lx F1.2	0.00002lx F1.2
レンズマウント	CS マウント	C,CS マウント	C,CS マウント	バヨネットマウント	C マウント
レンズアイリス	オートアイリス (DC/ビデオ) 対応	オートアイリス (A.E.S./DC/ビデオ)対応	オートアイリス (A.E.S./DC/ビデオ)対応	不明	オートアイリス(DC/ビデオ)対応
カラー	モノクロ	カラー(被写体照度が小さい時はモノクロ)	カラー(被写体照度が小さい時はモノクロ)	カラー	カラー(被写体照度が小さい時はモノクロ)

これら 5 種類のカメラの中で WAT-120N+、MTV-63V6HN、NC-680 のデモ機を借り、テスト撮影を行った。テスト撮影には FUJINON 社製の魚眼レンズ YV2.2 × 1.4A-SA2 を WAT-120N+、MTV-63V6HN に使用し、NC-680 には FUJINON 社製魚眼レンズ FE185C086HA-1 を使用して撮影した。

その結果、MTV-63V6HN(図 3-3(左))と NC-680 では撮影した映像から月は確認できたが、ノイズが多く 1 等星程の明るさの星しか確認できなかった。

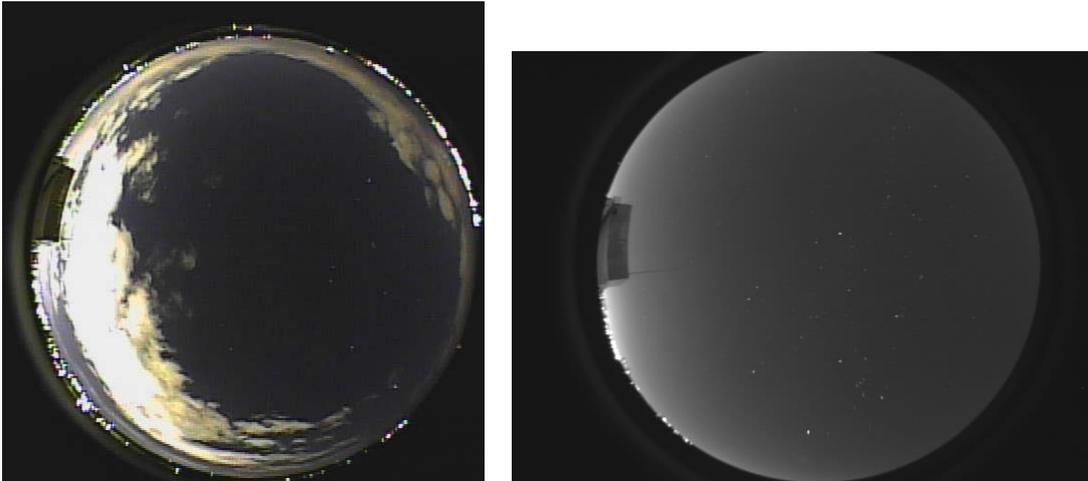


図 3-3 MTV-63V6HN で撮影した星空(左)と WAT-120N+で撮影した星空(右)。MTV-63V6HN の画像は、2009 年 3 月 2 日 23 時 2 分に撮影した。月明かりがない状況下で撮影したが、1 等星しか確認できない。WAT-120N+の画像は、2008 年 11 月 2 日 1 時 59 分に撮影した。同じく月明かりがない状況下で 2 等星程まで撮影できた。

WAT-120N+では月が出ている環境下で 1 等星程まで、月が出ていない環境では 2.5 等星まで撮影することに成功し、星座の形も確認することができた(図 3-3(右))。最低被写体照度の性能が同等の WAT-120N+と NC-680 だが、撮影時のノイズの量が圧倒的に少ないのが WAT-120N+であった。ノイズが少ないことで微弱な星の光を撮影することができた。また、デモ機として借りた 3 種類のカメラで全天ではなく画角を狭くして撮影した際は、どのカメラも 2 等星～3 等星の星を撮影することに成功した。つまり、魚眼レンズを使用して全天を撮影した際に星を撮影できる性能があるカメラが WAT-120N+であることが判明した。

このテスト撮影の結果から MTV-63V6HN の後継型の MTV-63V9HN は、最低被写体照度が MTV-63V6HN に比べて小さいが WAT-120N+と比較すると WAT-120N+のほうがさらに 10 分の 1 の明るさの光まで撮影可能であり、システム要件に 3 等星以上の星を撮影すると定めているため、より微弱な光でも撮影可能な感度の良い WAT-120N+が適していると判断した。また、NC-R550a は常時屋外に設置して撮影するには高額なため採用は見送った。表 3-3 に記載した機種以外にも Mintron 社製の MTV-63W3N,MTV-64G26EHN,MTV-64G5DHN-K,MTV-63W5HN など検討したが、最低被写体照度が MTV-63V6HN よりも大きいため全天の星を撮影するためには性能が不十分であると判断した。

これらの比較検討の結果、星空ライブカメラには Watec 社製の WAT-120N+を選定した(図 3-4(左))。WAT-120N+には、附属のコントローラー(図 3-4(右))があり、コントローラーでシャッタースピード、ゲイン、ガンマの調整を行うことができる。



図 3-4 Watec 社製 WAT-120N+(左)とカメラコントローラー(右)。WAT-120N+には FUJINON 社製 YV2.2×1.4A-SA2 を取り付けた状態。カメラとレンズを接続しているケーブルはオートアイリスケーブルで、被写体の明るさに応じてレンズの絞りが自動で適正絞りに調整される。コントローラーでは、シャッタースピード・ゲイン・アイリス制御・ガンマの調整が可能である。

カメラコントローラーによりカメラのシャッタースピードは、15 パターン設定することが可能である(表 3-4)。

表 3-4 カメラのシャッタースピード (WAT-120N+取扱説明書より)

シャッターモード	シャッタースピード(秒)	
高速シャッター	1	1/60
	2	1/125
	3	1/250
	4	1/500
	5	1/1000
	6	1/2000
低速シャッター	1	0.033
	2	0.066
	3	0.132
	4	0.264
	5	0.528
	6	1.056
	7	2.112
	8	4.224
	9	8.448

また、ゲイン調整ダイヤルでは電気信号の増幅度を 8 dB～38dB の範囲で調整可能。コントローラに付いているダイヤルの印はあくまで目安であり、ゲイン LO に設定した場合 8dB、ゲイン HI に設定した場合 38dB を示す。アイリスレベル制御切換スイッチには OPEN と CTL (CONTROL) があり、OPEN に設定すると被写体の明るさに関わらずオートアイリスレンズの絞りを開放状態になり、CTL に設定するとオートアイリス機能が作動し、被写体の明るさに応じてレンズの絞りが調整される。ガンマ補正切換スイッチには OFF、LO、HI があり、それぞれ $\gamma=1.0$ 、 $\gamma=0.45$ 、 $\gamma=0.35$ に切り換えることが可能である。

WAT-120N+ の感度は、可視光線の波長領域のみではなく近赤外線領域の光も感知することができる。これにより人間の目では確認できない暗い星も撮影可能になることが期待される。

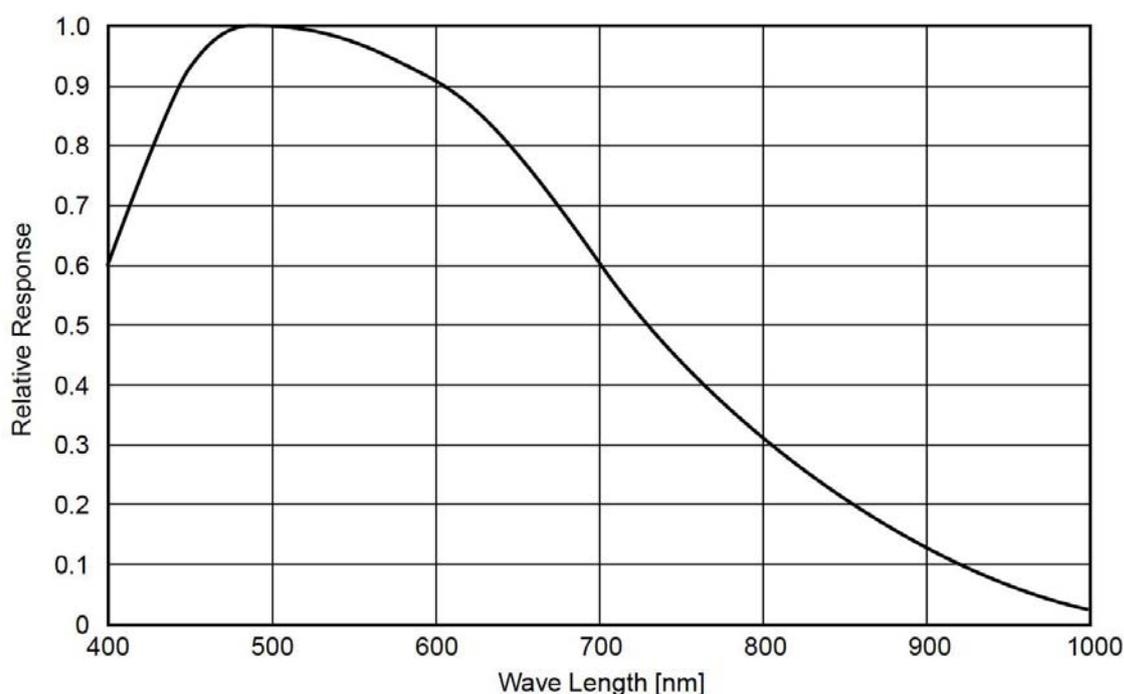


図 3-5 WAT-120N+ で撮影可能な波長領域。可視光線の波長は 380 μm ～780 μm であるが、このカメラの感度は可視光線の波長よりも長い 1000 μm の近赤外線付近まで感知することができる(Watec株)。

3-2 (2) レンズの比較検討

星空カメラで全天の星空を撮影するため、レンズには画角 180 度の魚眼レンズを採用する必要がある。魚眼レンズの中には画角が 180 度に満たないものや 180 度以上のものもあることや、オートアイリス機能が搭載されているもの、いないものがあるなど様々な特長を持つ。また、星の微弱な光を撮影するために F 値が小さいレンズを採用する必要もある。

オートアイリス機能とは、被写体の明るさに応じてレンズの絞りが自動で適正絞りに調

整される機能である。オートアイリスには DC ドライブ型とビデオドライブ型あり、DC ドライブ型はカメラ側からコントロール信号が送られ、レンズの絞りが駆動する。ビデオドライブ型ではカメラ側から電源とビデオ信号が送られ、ビデオ信号と設定された信号レベル差を増幅して絞りを駆動する仕組みになっている。また、F 値はレンズの明るさを示し、値が小さいほど明るいレンズであることを意味しており、F 値は式 3-1 で求めることができる。

$$F \text{ 値(レンズの明るさ)} = f \text{ (焦点距離)} / d \text{ (レンズの有効口径)} \dots \dots \dots \text{(式 3-1)}$$

レンズを選定するにあたり、比較検討したレンズの性能をまとめた (表 3-5)。

表 3-5 星空カメラのレンズとして採用候補となった魚眼レンズの比較

レンズ名	焦点距離	F 値	画角	アイリス	マウント	射影方式
FUJINON 社製 FE185C046HA-1	1.4mm	1.4~16	185°	手動	C	不明
FUJINON 社製 FE185C057HA-1	1.8mm	1.4~16	185°	手動	C	不明
FUJINON 社製 FE185C086HA-1	2.7mm	1.8~16	185°	手動	C	不明
FUJINON 社製 YV2.2 × 1.4A-2	1.4~3.1mm	1.4~C	185~ 94°	手動	CS	不明
FUJINON 社製 YV2.2×1.4A-SA2	1.4~3.1mm	1.4~360	185~ 94°	オート (DC)	CS	1.24fsin(θ /1.24)
FIT 社製 FI-11	1.088mm	2.7	185°	手動	C	fθ
FIT 社製 FI-12	1.215mm	2.8	185°	手動	C	2fsin(θ /2)
FIT 社製 FT-14	1.43mm	2.5	185°	手動	C	fθ
FIT 社製 FT-21	2.145mm	2.8	185°	手動	C	2ftan(θ /2)
FIT 社製 FI-31	3.11mm	2.0	185°	手動	C	2fsin(θ /2)
Freeways Network 社製 HX1.5FE21	1.4mm	1.4	187°	手動	CS	不明

C、CS マウントに対応する魚眼レンズは主に FUJINON 社と FIT 社が開発している。それらの魚眼レンズの中でオートアイリス機能が搭載されているレンズは、FUJINON 社製の YV2.2×1.4A-SA2 のみであった。開発当初はオートアイリス機能を使用することで昼間は太陽を撮影し、夜間に星の撮影を行う昼夜の天体の動きを 1 台で撮影する全天カメラを開発する予定であったが、太陽と星の照度が大きく異なるため、オートアイリス機能だけでは対応できず断念した経緯がある。しかしそれでもオートアイリス機能を重視し、月が出ている環境下でも月の光に合わせて絞りを調節し、星を撮影可能なシステムを目指した。YV2.2×1.4A-SA2 の F 値は F1.4 と比較したレンズの中で最も小さい値を示しているため、微弱な光も撮影することが可能な明るいレンズであると言える。これらの理由から星空ライブカメラのレンズには FUJINON 社製の YV2.2×1.4A-SA2(図 3-1(左))を選定した。

3-2 (3) 映像配信方法の検討

WAT-120N+で撮影した映像は、コンポジット映像信号として出力される。これはテレビやビデオ機器に使われているアナログコンポジット信号と同様でこのままではインターネット上に公開することができない。公開するためにはアナログコンポジット信号をデジタル信号に変換する必要がある。

アナログコンポジット信号をデジタル信号に変換する機器には Panasonic 社製のネットワークカメラサーバー、BB-HCS301 を使用した。WAT-120N+のアナログコンポジット信号をデジタル信号に変換し、LAN ケーブルを通じてインターネット上に公開する性能を有している。WAT-120N+で撮影された映像は、映像ケーブルによってネットワークカメラに接続し、デジタル信号に変換され、変換された映像は LAN ケーブルを通じてインターネット上へ配信される(図 3-6)。このネットワークカメラサーバーには IP アドレス(160.28.190.110)が割り振っており、このアドレスを URL に入力することで映像を見ることが可能である(<http://160.28.190.110>)。この URL を入力するとユーザー名とパスワードが要求される。それぞれ以下のように設定した。ログインするとカメラで撮影した映像を確認することができる。(ユーザー名 : nightsky、パスワード : mit2009)



図 3-6 ネットワークカメラサーバーとカメラの接続。左からネットワークカメラサーバー、カメラ本体、カメラのコントローラー。カメラから映像ケーブルをカメラサーバーに接続し、カメラサーバーに LAN ケーブルを接続することでインターネット上に配信する。

3-2 (4) 接続ケーブルの比較検討

星空ライブカメラに使用するカメラ WAT-120N+を動作させるために必要なケーブルが電源ケーブルと映像配信用ケーブルである。全天カメラ(第2章)を再設置した際は、映像を無線 LAN で配信したため、必要なケーブルは電源ケーブル 1 本(2CT)のみであったが、星空ライブカメラには 2 本のケーブルが必要となる。だが、全天カメラのようにカメラハウジングの中にはカメラのみ、接続ケーブルは 1 本のみという簡易な構造にし、長期に渡って運用可能にするため屋外に設置する機器を最小限に抑えることを目指した。そこでカメラを動作させるために以下の 3 つ接続方法を考え、比較検討を行った(表 3-6)。

表 3-6 星空ライブカメラの接続ケーブルとして候補となったケーブルの比較。

①屋外用映像ケーブルと電源ケーブル 2 本使用しての接続	<p>全天カメラに使用した富士電線工業社製の 2CT を電源ケーブルとして使用し、映像配信用ケーブルには関西通信電線社製の 1.5C-2VS を使用する。1.5C-2VS は屋外で使用可能な同軸ケーブルであり、カメラとカメラサーバーを接続し、映像配信が行える。</p> <p>これらのケーブルを使用することでカメラを動作させ、撮影した映像を配信することは可能となるが、ケーブルを 2 本使用することでカメラハウジングにケーブル口を 2 ヶ所空けなければならず、防水対策を施す箇所が増えるというデメリットがある。</p>
②電源・映像配信用一体型ケーブルによる接続	<p>コロナ電業社製の C-20VP は、防犯カメラ用延長ケーブルで電源・映像配信用ケーブルが一体となっている。C-20VP も屋外で使用可能である。このケーブルを利用することでカメラ設置に使用するケーブルはこの 1 本のみとなり、カメラハウジングに空けるケーブル口も 1 ヶ所で済むメリットがある。</p>
③無線 LAN 型ネットワークビデオサーバーによる接続	<p>カメラに接続するケーブルを電源ケーブルのみにし、映像配信は無線 LAN によって行う案である。電源ケーブルには全天カメラと同様の 2CT を使用し、映像配信には GRANDTEC 社製の GDMPIPCAMSVW を使用する。GDMPIPCAMSVW はカメラから出力されたアナログコンポジット信号をデジタル信号化し上で無線 LAN で配信することが可能な無線 LAN 型ネットワークカメラサーバーである。このカメラサーバーをカメラハウジング内に設置することで使用するケーブルは電源ケーブルのみとなるメリットがある。このカメラサーバーのサイズは、縦×横×高さ=117mm×82mm×26mm とコンパクトではあるが、全天カメラに比べ大きなカメラハウジングが必要となる。また、カメラハウジングの内部ではあるが屋外の環境下に置かれる設置する機器が増えるというデメリットがある。</p>

これら 3 つの案を比較検討した結果、②の電源・映像配信用一体型ケーブルによる接続を採用することとした。しかし、実際には C-20VP ではなく C-20AVP を採用した。C-20AVP は、C-20VP の電源・映像ケーブルの他に音声ケーブルが一体となったケーブルである。C-20VP の在庫がなく、入手困難なため C-20AVP を採用し、音声ケーブルの両端子を切断し電源・映像ケーブルのみを使用した。これによりカメラハウジングの内部にはカメラのみ設置し、カメラに接続するケーブルは 1 本のみという全天カメラ同様簡易構造の星空ライブカメラの設置が可能となった。

3-2 (5) カメラハウジングの検討及び保護アングルの製作

星空ライブカメラのカメラハウジングは、2 種類の案で検討した。1 つ目の案は、全天カメラに使用したタカチ電機工業社製の防水・防塵ボックス SABP181815 を星空ライブカメラにも同様に使用する。2 つ目の案は、Pelco 社製の防犯カメラ用防水・防塵ハウジング EH2515(図 3-7(右))を使用する案である。EH2515 は防犯カメラ用に作られているため、レンズロが空いており、レンズロには透明カバーも付属しているためレンズロを空けることや透明半球を取り付けるなどの加工をする必要はない。しかし、防犯カメラ用なので本来壁に取り付け水平方向を撮影するために使用するハウジングを星空ライブカメラでは天頂を向け、垂直方向に設置することとなる。垂直方向に設置するため新たな支柱や土台などを準備するよりも全天カメラに使用したハウジングを同様に使用し、昼・夜のライブカメラのハウジングを一体として運用することがメンテナンスの面でも同じ方法でメンテナンスが可能というメリットもあり、長期運用につながると判断し、全天カメラと同様にタカチ電機工業社製の SABP181815 をハウジングとして採用することとした。



図 3-7 全天カメラに使用したカメラハウジング(左)と Pelco 社製 EH2515(右)。この 2 つのカメラハウジングを星空ライブカメラのカメラハウジングとして採用するか検討した結果、長期運用やメンテナンスの関係から全天カメラと同じカメラハウジングを使うこととした。

カメラハウジングの製作方法は、全天カメラのカメラハウジングの交換と保護アングルの製作(2-2)と同様である。同様のカメラハウジングを使用するが、カメラ内部のカメラ固定方法やレンズ口の大きさが異なる。星空ライブカメラのカメラの固定のために使用した材料は以下の通りである(表 3-7)。

表 3-7 星空ライブカメラのカメラ固定に使用した材料。

アルミ板	縦×横×厚さ=300mm×35mm×10mm	1枚
	縦×横×厚さ=200mm×20mm×2mm	2枚
アクリルアングル	縦×横×高さ×厚さ=100mm×100mm×175mm×4mm	2個
ねじ	ステンレスタッピング M4×20mm	6本
	ステンレスねじ M5×15mm	4本
	ステンレスねじ M3.5×10mm	8本
	ステンレスねじ U1/4×6mm	2本
ゴム板	厚さ 1mm	必要に応じて使用

カメラの固定方法は次の通りである。

- ①長さ 300mm のアルミ板を切断し、150mm のアルミ板 2 本とする。
- ②2 つのアクリルアングルの片方の面を切断し、縦×横=60mm×100mm を底面として、高さ 175mm のアクリルアングルとする。
- ③アルミ板に M4 用のねじ穴 3 ヶ所と M5 用のねじ穴 2 ヶ所、アクリルアングルには U1/4 用のねじ穴を 1 ヶ所ずつ空ける。
- ④アクリルアングルとアルミ板を固定してからアルミ板を保護ボックスに固定する。
- ⑤固定した 2 つのアクリルアングルの間にカメラを挟み、あらかじめ空けておいた U1/4 用のねじ穴とカメラのねじ穴を合わせて固定する。
- ⑥厚さ 2mm のアルミ板を両端から 74.5mm のところで折り曲げ、コの字型にし、カメラの左右に合わせてアクリルアングルと固定する。アクリルアングルとアルミ板の固定は、M3.5 のねじを使用するが、アルミ板を折り曲げた後にアルミ板に空いている穴の位置に合わせてアクリルアングルにあらかじめ M3.5 用のねじ穴を空けておく。
- ⑦⑥までの作業でカメラの固定作業は完了するが、カメラを垂直にするためカメラに水準器を置き、垂直になるように調整する。垂直が保てない場合はカメラとカメラ左右のアルミ板の間に厚さ 1mm のゴム板を挟んで固定する。

保護ボックスからカメラのレンズを出すため、保護ボックス上部に直径 45mm の環形の穴を空けた。レンズにはフォーカス調整レバーとズーム調整レバーがあり、それらがボックス上部と接触しないようにレンズのレバーに当たる部分はさらに 5mm 穴を広げた。保護ボックス上部にあけた穴からの浸水を防ぐため、保護ボックス上部に直径 10cm の透明半球

を取り付け、保護ボックスと透明半球の隙間を、シリコンを使用して塞ぐことで浸水を防いでいる(図 3-8(右))。透明半球を使用することでレンズに入る光を遮るものがなく、かつ防水の役割も果たしているため撮影への支障はほとんどない。

また、接続ケーブルを通す穴は、既定されているケーブル口直径 20mm の部分に穴をあけた。ケーブル口にはオプションの MG 型 M ネジケーブルグランド MG-20 を使用することでケーブル口からの浸水を防いでいる。しかし、全天カメラに使用した電源ケーブル CT-20 は環形のケーブルであったが、星空ライブカメラに使用するケーブル C-20AVP は、電源・映像・音声ケーブルが一体となっているため、環形ではない。それによりケーブルグランドを使用してもケーブルとグランドに隙間ができてしまう。そこでケーブルとケーブルグランドの隙間をシリコンで埋めることで浸水を防いだ(図 3-8(左))。

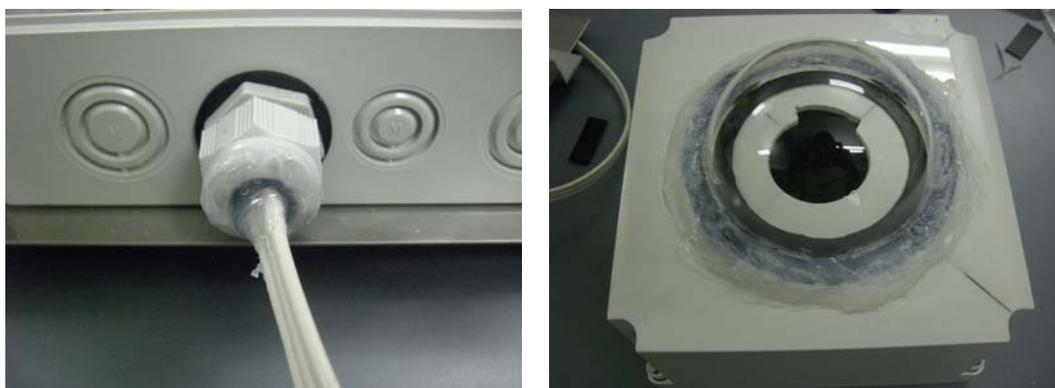


図 3-8 カメラハウジングのケーブル口(左)とレンズ口と固定した透明半球(右)。ケーブルとケーブルグランドの隙間を埋めるためにシリコンで塞いだ(左)。保護ボックスにレンズ口をあけ、それを覆うように透明半球を固定した。浸水を防ぐため、透明半球と保護ボックスの隙間をシリコンで塞いだ(右)。

保護ボックス内にはカメラ本体とコントローラーだけというシンプルな構造とした(図 3-9)。それ以外の機器は屋内に設置し、屋外に設置する機器を最小限に抑えた。保護ボックス内の湿度が高い場合、結露する可能性がある。保護ボックス内は乾燥状態を保つ必要があり、乾燥剤を入れて防湿する。



図 3-9 保護ボックス内部の様子(左：上部から、右：側面から)。カメラはアクリル製 L 字アングルにねじで固定している。さらに垂直を維持し、横ずれを防ぐためにアルミ板を加工して取り付けて固定している。ボックス内にはカメラ本体とコントローラーのみ入れ、その他の機器は屋内に設置した。

完成した星空ライブカメラは、全天カメラと同様に保護ボックスを固定しているステンレス板を挟むようにブロックを置き、設置する。

3-2 (6) CCD 保護方法の検討

星空ライブカメラに用いるカメラは、星の明るさを撮影するように設定するため、日光などの強い光が当たる環境では CCD の性能が低下する恐れがある。長期運用するためには撮影する時間帯以外はカメラに光が当たらないようにする必要があると考えた。そこでカメラの電源を日没後に ON、日の出前に OFF にし、さらに日光がレンズに当たらないように透明半球を覆う遮光ルーフを設置することを検討した。遮光ルーフは、日中は透明半球を覆い、日没後にルーフが動いて透明半球から覆いがなくなり、撮影を行い、日の出前に再びルーフが動いて透明半球を覆うもの考えた。しかし、ルーフ制御のための機器が必要になるとともに、星空ライブカメラが撮影した画像にルーフが写らないようにしなければならぬなど技術的に困難であった。

星空ライブカメラのカメラ・レンズとして採用した WAT-120N+と YV2.2×1.4A-SA2 にはオートアイリス機能が搭載されており、カメラの電源を ON、OFF するだけでそれに連動してレンズの絞りが閉まる機能も付いている。この機能だけで CCD を日光から保護できるのではないかと考え、遮光ルーフの設置は必要ないと判断した。

日没後にカメラの電源を ON にし、日の出後に OFF にするためのタイマーが必要である。そこで REVEX 社製の 24 時間プログラムタイマー PT24(図 3-10)を使用し、電源をコントロールすることとした。このタイマーを使用することで 24 時間のうち何時から何時まで電源を ON にし、また OFF にするという設定を 15 分間隔で行うことが可能となる。



図 3-10 プログラムタイマー(PT24)。24 時間の目盛りが環形に分けられており、青い目盛りを上下させることで ON、OFF の時間を設定することが可能。右側の赤い矢印に現在の時間の目盛りを合わせ、コンセントに挿すことでタイマーがスタートする。プログラムタイマーにカメラの AC アダプタを接続することでカメラの電源がコントロールされる。

実際に電源の ON、OFF をコントロールするだけで 1 ヶ月間テスト運用した。テスト運用期間では、カメラの電源が 18 時に ON になり、翌朝 5 時に OFF になるように設定した。10 分に 1 枚の映像を撮影していたため、10 分未満の誤差は不明だが、設定したタイマーの時間は 1 ヶ月間で 10 分以上の誤差は見られなかった。カメラ性能の面でも撮影した画像にノイズが増えるなどの悪影響は見られなかった。長期運用していくことでどの程度の影響が現れるか不明なところはあるが、CCD を保護する方法としてはプログラムタイマーを用いて撮影時間以外は電源を OFF にすることとした。

3-3 星空ライブカメラの運用

星空ライブカメラを開発するために選定したカメラ・レンズ・ハウジング・ネットワークカメラサーバーなど(表 3-8)を基にシステム開発し、運用を開始した。星空ライブカメラは、宮城教育大学 9 号館屋上 (N38° 15' 31" 76,E140° 49' 46") に設置した(図 3-11、3-12)。

表 3-8 星空ライブカメラ開発のために選定した機器一覧

カメラ	Watec 社製 WAT-120N+
レンズ	FUJINON 社製 YV2.2×1.4A-SA2
ネットワーク カメラサーバー	Panasonic 社製 BB-HCS301
カメラ ハウジング	タカチ電機工業社製 SABP181815 他ステンレス板、アルミアングルなどと組み合わせて作成
接続ケーブル	コロナ電業社製 C-20AVP
電源コントロール タイマー	REVEX 社製 PT-24



図 3-11 設置した星空ライブカメラ(左)と天文台内のネットワークカメラサーバーとプログラムタイマー(右)。星空ライブカメラからのびているケーブルは、天文台内で 2 本に分かれてそれぞれネットワークカメラサーバーと AC アダプタに接続している。AC アダプタをプログラムタイマーに接続し、タイマーをコンセントに接続する。

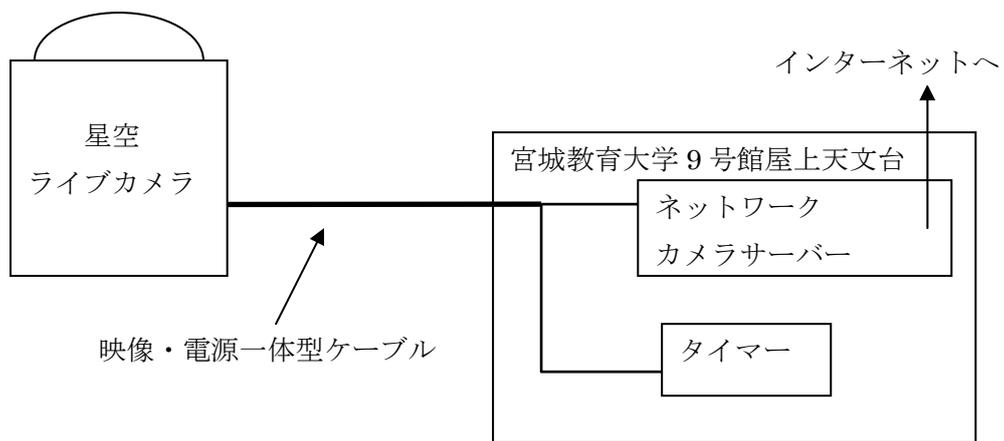


図 3-12 星空ライブカメラの配線図。星空ライブカメラには映像・電源が一体となったケーブル 1 本のみ接続し、映像はネットワークカメラサーバーでデジタル画像に変換されてインターネットへと配信される。電源ケーブルはプログラムタイマーに接続しており、カメラの起動時間をタイマーによって夜間のみ制限している。

3-3 (1) カメラシステムの概要

星空ライブカメラは、超高感度モノクロカメラに魚眼レンズを取り付けて全天の星空を撮影した画像を、ネットワークカメラサーバーを経由してインターネット上に公開している。撮影は微弱な星の光を撮影する設定にしているため、昼間の日光から CCD を保護するためにプログラムタイマーを使用してカメラの起動時間を設定し、撮影は夜間のみ行っている。また、カメラは屋外に設置するため風雨にさらされる環境下に置かれる。そのためカメラを防水・防塵のカメラハウジングの中に入れて、天候に関係なく屋外で長期間撮影が行えるようにした。カメラハウジングは強風による破損被害を防ぐため、ボックスの保護アングルを製作し、強風対策も十分に行った。カメラ電源や画像配信には各ケーブルが必要であるが、このカメラでは電源ケーブルと映像ケーブルが一体化したケーブルを使用することで、カメラ設置に必要なケーブルは1本のみに簡素化した。星空ライブカメラのシステム図は、図 3-13 の通り。

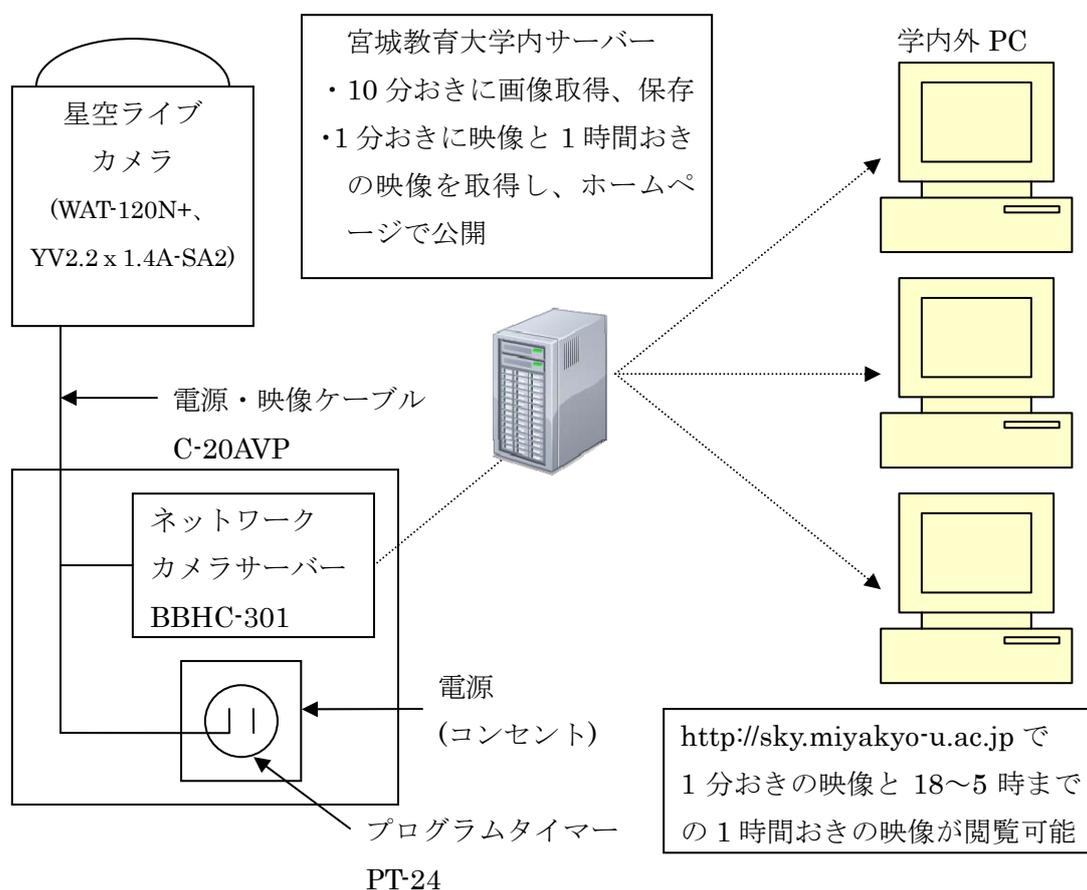


図 3-13 星空ライブカメラのシステム図。カメラで撮影した映像は、ネットワークカメラサーバーでデジタル化される。宮城教育大学内のサーバーが10分おきに映像を取得し、日付ごとのフォルダに保存する。サーバーは1分おき、18～5時までは1時間おきにも映像を取得し、それらの映像をホームページで公開している。1分おきの映像は1分おきに、18～5時まで取得している1時間おきの映像は24時間おきに上書きされる。

3-3 (2) 機器の設定内容

I、プログラムタイマーの設定。

プログラムタイマーPT-24は15分間隔で電源のON、OFFを制御するタイマーであり、この機能を用いてカメラの撮影時間の設定を行う。冬季は夜の時間が長いため、17時45分に電源がONになり、翌朝5時15分にOFFになるように設定している。18時から翌朝5時まで毎時0分の画像を保存するが、18時に電源がONになるように設定するとタイマーの誤差により撮影されない場合がある。そのため15分前の17時45分から撮影を開始し、撮影終了は5時15分に設定した。また、撮影時間は季節により異なる。夏季の撮影はまだ行っていないが、夜が短いため20時～3時までの毎時0分の画像を撮影する予定である。そのために19時45分に電源をONにし、3時15分まで撮影を行う。タイマーの設定時間の変更は手動操作になるため、季節ごとに設定を変更する必要がある。

II、魚眼レンズの設定

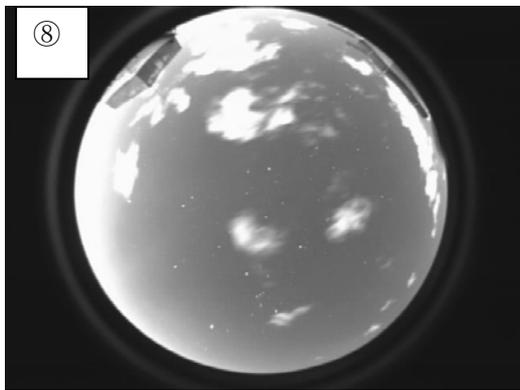
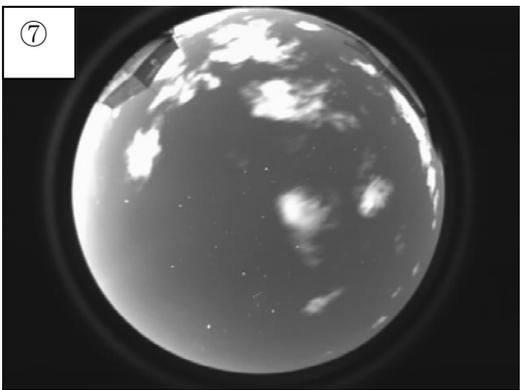
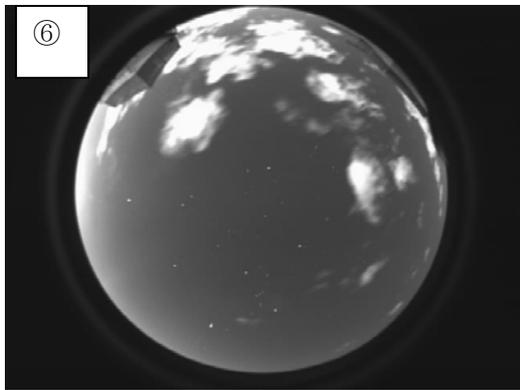
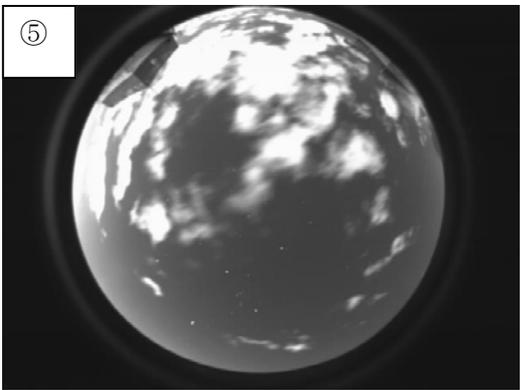
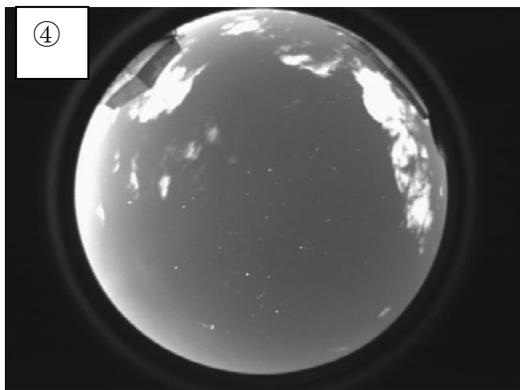
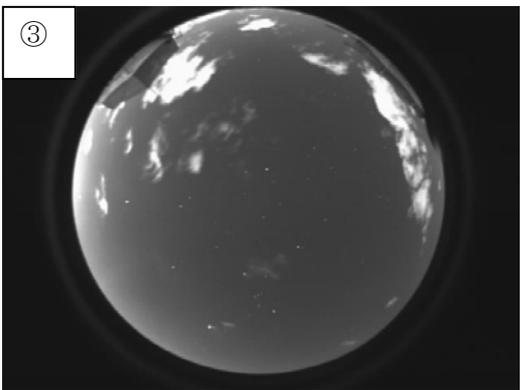
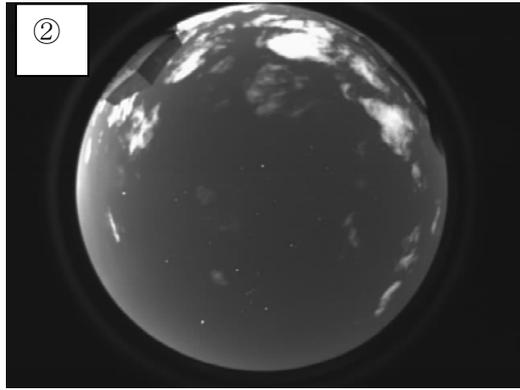
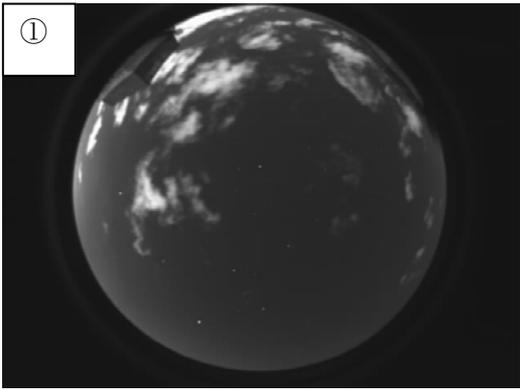
魚眼レンズにはフォーカスとズームを調整するレバーがある。これを調整して全天画像が画像サイズ内に収まるように設定する必要がある。レバーには目盛りがないため、撮影中の画面を見ながら調整し、位置を決めたレバーの位置に印をつけた。

III、カメラの設定

システム要件の1つとなっている3等星までの撮影を実現するためにはカメラ設定は重要である。カメラのコントローラーでシャッタースピード、ゲイン、ガンマの設定を行う。どのような設定が最も適切か判断するために設定条件を変えて36通りの条件で撮影を行った。その結果、ガンマをLOまたはHIに設定した画像では画像全体が明るくなり、昼間撮影しているような白い画像になる。夜間に撮影していることから、より夜空に近い画像にするためガンマはOFFで撮影することとした。ガンマLO,HIの条件で24通り撮影しているため、ガンマOFFに設定していた12通りの中から適切な設定を決めるために検証を行った。12通りの設定は表3-9の通りである。またそれぞれの条件で撮影した画像が図3-14である。

表 3-9 カメラの設定を検証のための撮影条件。下記以外の条件で撮影すると画像が明るすぎるか暗いため星の撮影に向かないため除外した。

シャッタースピード7(2.112秒)	① ゲインレベル8	② ゲインレベル9	③ ゲインレベル10	④ ゲインレベル11
シャッタースピード8(4.224秒)	⑤ ゲインレベル7	⑥ ゲインレベル8	⑦ ゲインレベル9	⑧ ゲインレベル10
シャッタースピード9(8.448秒)	⑨ ゲインレベル5	⑩ ゲインレベル6	⑪ ゲインレベル7	⑫ ゲインレベル8



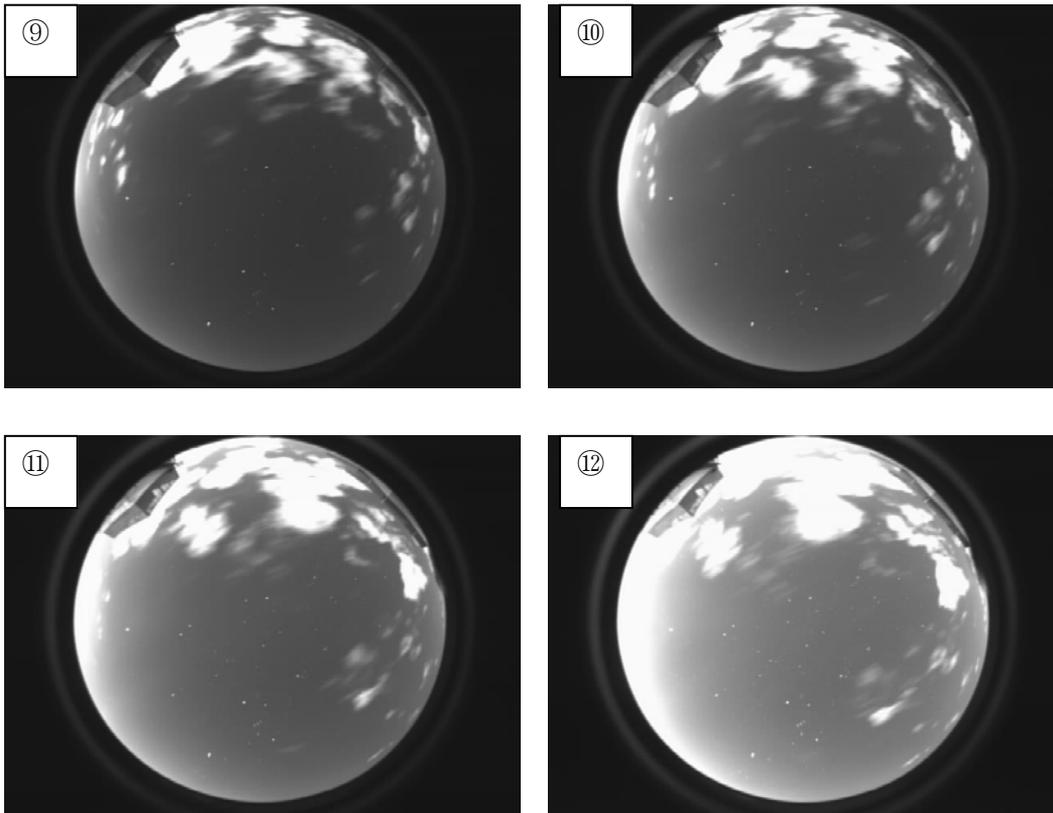


図 3-14 各設定条件で撮影した星空。画像左上の番号は表 2-7 と対応する。全て 2010 年 1 月 14 日 21 時～22 時の間に撮影した画像である。

図 3-14 から設定条件によって明るすぎる画像(cf,④⑦⑧⑪⑫)、暗すぎる画像(cf,①②⑤⑨)があることがわかる。明るすぎる画像は、画像左側の仙台市街地の明かりが増幅されて星の観察の障害となっている。また、これらの画像は月明かりがない条件下で撮影を行ったが、月明かりがある条件下ではますます画像が明るくなることは明らかである。反対に暗い画像ではシステム要件の 1 つである 3 等星まで撮影するという要件が満たされないため設定条件としては望ましくない。それらを除いた③、⑥、⑩の設定条件から最も適切な条件を選択する。③、⑥、⑩の設定条件が 3 等星まで撮影可能な感度で撮影されていた確認するため、各画像に撮影されているオリオン座を構成する星 10 個を対象に輝度値の測定を行った(表 3-10)。

表 3-10 各条件下でのオリオン座の輝度値。

名称	等級	③ 輝 度 値	星の輝度値 — 背景の輝度値 (64.9)	⑥ 輝 度 値	星の輝度値— 背景の輝度値 (71.5)	⑩ 輝 度 値	星の輝度値— 背景の輝度値 (68.6)
メイサ	3.39	確認不可		75	3.5	75	6.4
ベテルギウス	0.45	190	125.1	185	113.5	204	135.4
ベラトリクス	1.64	98	33.1	106	34.5	105	36.4
アルニタク	1.74	100	35.1	96	24.5	100	31.4
アルニラム	1.69	91	26.1	96	24.5	101	32.4
ミンタカ	2.25	79	14.1	83	11.5	89	20.4
サイフ	3.35	確認不可		74	2.5	74	5.4
ハチサ	2.75	88	23.1	96	24.5	96	27.4
15 κ	2.07	81	16.1	93	21.5	92	23.4
リゲル	0.18	145	80.1	172	100.5	175	106.4

表 3-10 より設定条件③においては 3.39 等星のメイサと 3.35 等星のサイフは画像から確認することができなかった。しかし、2.75 等星のハチサは輝度値と背景の平均輝度値の差が 23 あり、確認することができた。同様に⑥、⑩の設定条件を見るとメイサとサイフの輝度値と背景の平均輝度値の差がごくわずかであり、確認できるとは言い難いが撮影感度は撮影日の環境にも左右されるため⑥、⑩のどちらかの設定条件で撮影を行うこととした。

⑥と⑩の設定条件を比較すると、設定条件⑥がシャッタースピード 4.224 秒、ゲインレベル 8 で設定条件⑩はシャッタースピード 8.448 秒、ゲインレベル 6 である。これら 2 つの条件の大きな違いはシャッタースピードが倍異なるということである。露出時間が長いことで小さな光を捉えることが可能となるが、同時に明るい光がより強調されてしまう問題もある。今回撮影した日は、月明かりの影響がなかったが、月明かりがある環境下で撮影を行うと露出時間が 4 秒と 8 秒では明らかに 8 秒の設定条件のほうが月明かりが強調され、他の星の撮影の妨げになることが考えられる。そこでカメラの設定条件は⑥のシャッタースピード 4.224 秒、ゲインレベル 8 とすることとした。

後日改めて同条件で撮影を行い、設定条件⑥で 3 等星が撮影されるかどうか確認を行った。図 3-15 は 2010 年 1 月 17 日 21 時 30 分に撮影した画像である。雲や月明かりのない環境下で撮影を行った。また、撮影した画像中のオリオン座の輝度値を測定し、表 3-11 に示した。

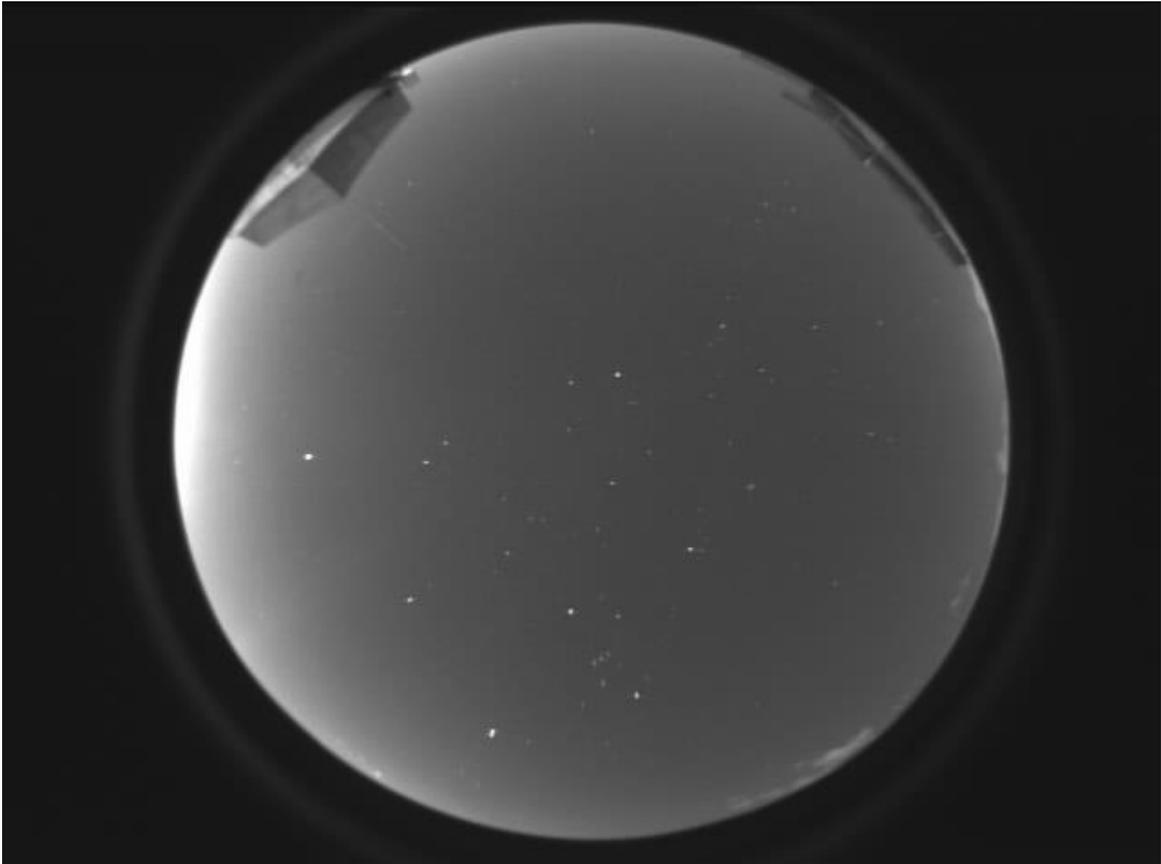


図 3-15 シャッタースピード 4.224 秒、ゲインレベル 8 で撮影した画像。撮影日は 2010 年 1 月 17 日 21 時 30 分。

表 3-11 図 3-15 中のオリオン座の輝度値。

名称	等級	輝度値	星の輝度値 - 背景の 輝度値(70.5)
メイサ	3.39	79	8.5
ベテルギウス	0.45	200	129.5
ベラトリクス	1.64	111	40.5
アルニタク	1.74	109	38.5
アルニラム	1.69	103	32.5
ミンタカ	2.25	93	22.5
サイフ	3.35	79	8.5
ハチサ	2.75	103	32.5
15 κ	2.07	94	23.5
リゲル	0.18	184	113.5

表 2-9 より 3.39 等星のメイサと 3.35 等星のサイフの輝度値と背景の平均輝度値の差が 8.5 と 14 日に撮影した画像よりも値が大きくなった。同じ設定条件でも撮影環境により感度が増し、3 等星以上の星でも撮影可能であることが確認された。このことからカメラの設定は、シャッタースピード 4.224 秒、ガンマレベル 8、ガンマ OFF に設定することとした。

3-3 (3) wget による画像取得

撮影した星空画像は、全天カメラの画像取得方法と同様に HTTP 経由でファイル取得を行う wget を使用している(斎藤,2009)。全天カメラで使用している perl 言語で作成されてあるプログラムを基に星空ライブカメラ用のプログラムを作成した。作成したプログラム、sky.pl によって宮城教育大学内のサーバーが 10 分おきに取得し、日付ごとに保存している。sky.pl は、定時実行する crontab によって 10 分おきに画像の取得を行っている。

sky.pl では、画像取得の他に日付ごとのフォルダを作成している。日付ごとのフォルダは、/var/www/sky/global_html/Images/内に作成され、そのフォルダ内に 10 分おきの画像が保存されている。このプログラム以外にも 1 分おきに画像を取得する skynow.pl、ホームページサムネイル用の画像として 1 時間おきに取得する skynow18.pl、サムネイルを選択することで表示される大きな画像を 1 時間おきに取得する sky1800.pl を作成した。skynow18.pl と sky1800.pl の 18、1800 の部分は時間を表しており、5 時まで 1 時間おきにそれぞれ 12 個のプログラムを作成した。それぞれのプログラムを定時実行するためにそれぞれに crontab を設定している。skynow.pl で取得した画像は、/var/www/sky/global_html/内に now.jpg として保存され、1 分おきに上書きされる。skynow18.pl で取得した画像は、/var/www/sky/global_html/内に 18.jpg として保存され、24 時間ごとに上書きされる。また、sky1800.pl で取得した画像は、/var/www/sky/global_html/lastnight/内に 1800.jpg として保存され、24 時間ごとに上書きされている。それぞれのプログラム名と画像の保存先、ファイル名は表 3-12 の通り。

表 3-12 作成したプログラムと映像の保存先とファイル名。

プログラム名	役割と保存先	ファイル名
sky.pl	日付ごとのフォルダの作成 10 分おきに画像取得 /var/www/sky/global_html/Images/MUE/	年・月・日・時間.jpg 例、201001210000.jpg
skynow.pl	1 分おきに画像取得 /var/www/sky/global_html/	now.jpg
skynow18.pl (数字は時間を表し、18~5 までである)	ホームページ内サムネイル用の画像を 1 時間ごとに取得。ただし、取得は夜間 18~5 時の間のみ。 /var/www/sky/global_html/	時間(2 桁).jpg 例、18.jpg

sky1800.pl (数字は時間を表し、18～5 までである)	ホームページ内サムネイルを選択した際に表示される画像を1時間ごとに取得。ただし、取得は夜間18～5時の間のみ。 /var/www/sky/global_html/lastnight	時間(4桁).jpg 例、1800.jpg
-------------------------------------	---	--------------------------

3-3 (4) ホームページの作成と星空映像の公開

サーバーが取得した星空画像を公開するために星空ライブカメラ用ホームページを作成し、画像を公開している。ホームページは全天カメラのホームページ(斎藤,2009)のソースをベースに作成し、1分おきのリアルタイム星空画像と18～5時まで撮影した昨夜の星空を以後24時間公開している。ホームページのURLは、<http://sky.miyakyo-u.ac.jp> である。メインの画像ではリアルタイムに宮城教育大学から見える星を観察することができ、サムネイルを比較することで、一晩で星座がどのように動いたのか観察することが可能となる。

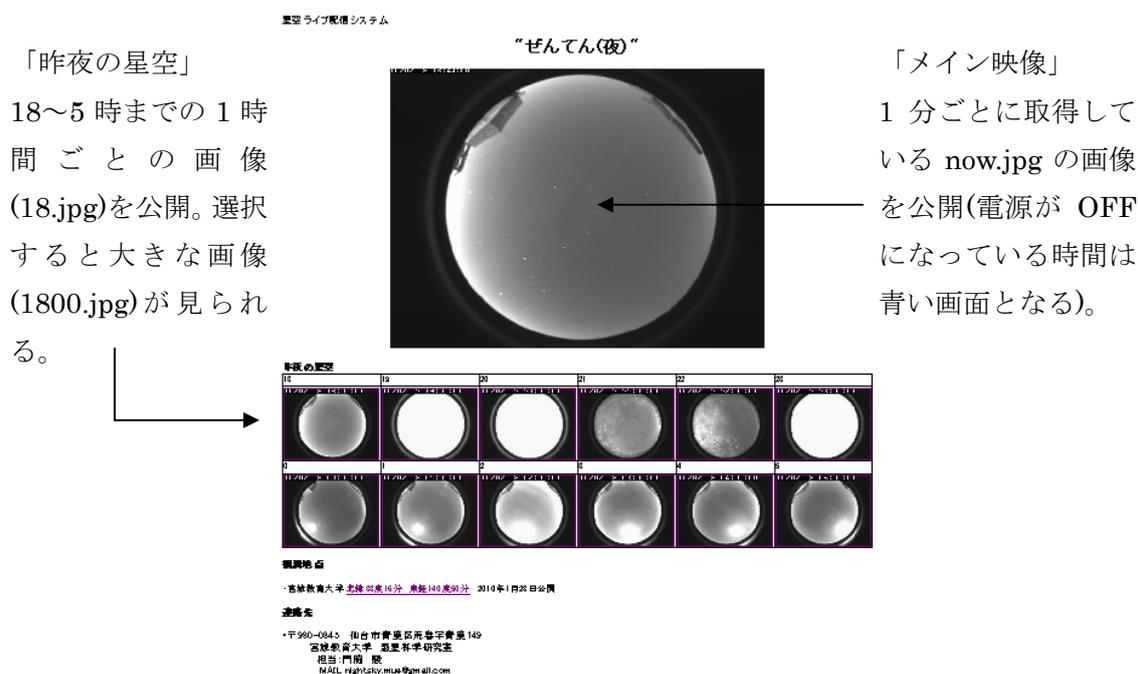


図 3-16 星空ライブカメラのホームページ。メインの画像(now.jpg)は1分おきに更新される。ただし、自動更新ではないので手動で更新する必要がある。サムネイルには夜間1時間ごとの画像(例、18.jpg)を18～5時まで12枚公開している。これらの画像は24時間おきに更新される。サムネイルを選択すると大きな画像(例、1800.jpg)が表示される。

3-4 星空ライブカメラの撮像範囲と感度の検証性能

システム要件として定めた全天を撮影すること、3等星以上の星を撮影する要件を設置した星空ライブカメラが満たしているか確認する必要がある。まず全天を撮影しているのか撮像範囲を検証し、次に画像から確認できる星の等級を検証する。

3-4(1) 魚眼レンズの撮像範囲の検証

星空ライブカメラに使用している魚眼レンズは、最大で画角が 185 度の撮影が可能である。しかし、撮影した画像を確認すると高度が低い星が撮影できていない。これは全天の星空が画像内に収まるように画角を狭めていることが原因として考えられる。レンズにズーム、フォーカスレバーがあり、それらの調整は手動で行っており、目盛りなど印になるものもないため撮像範囲が不明である。そこで撮像範囲を検証した。

まず雲 1 つなく、月明かりがない環境下で撮影した星空ライブカメラの画像を選択する(図 3-15)。次に撮影した画像の天頂を決め、天頂からそれぞれの星までの画像上の距離を計算し、実際の高度と比較して撮像範囲を検証する。

天頂を決めるために画像をすばる画像解析ソフト「マカリ」で表示し、星空画像の円の境界を東西・南北の輝度値のグラフを使用して定める(図 3-17)。定めた円の境界は表 3-13 の通りである。

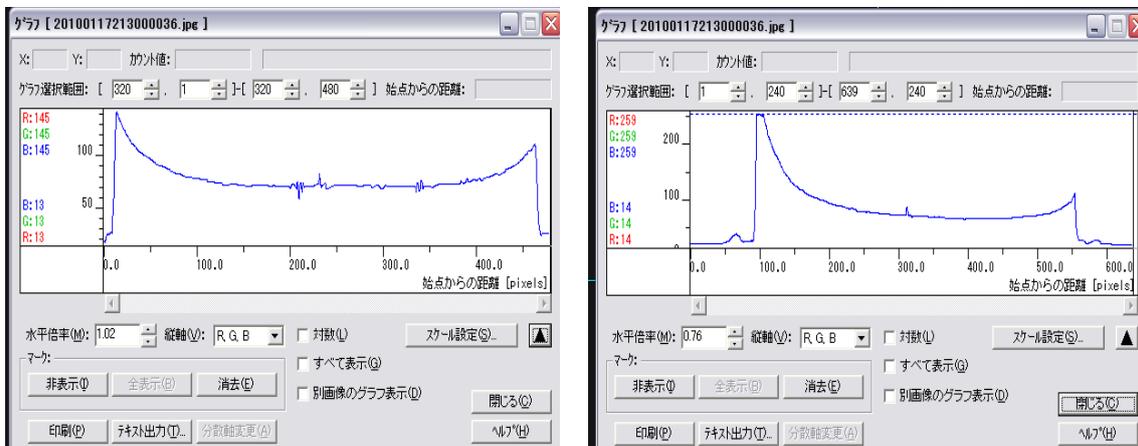


図 3-17 マカリで測定した星空ライブカメラの画像の南北の輝度値変化のグラフ(左)と東西の輝度値変化のグラフ(右)。南北のグラフでは左が北、右が南の輝度値である。東西のグラフでは左が東、右が西の輝度値である。それぞれ輝度値が急激に変化する前の最小値と最大値の中間のピクセルを画像の円の境界として定めた。

表 3-13 撮影した星空映像の境界

上(北の空)	X=320,Y=12
下(南の空)	X=320,Y=468
左(東の空)	X=95,Y=240
右(西の空)	X=558,Y=240

定めた境界に合わせて Photoshop で境界に沿って四角い画像に変換する。

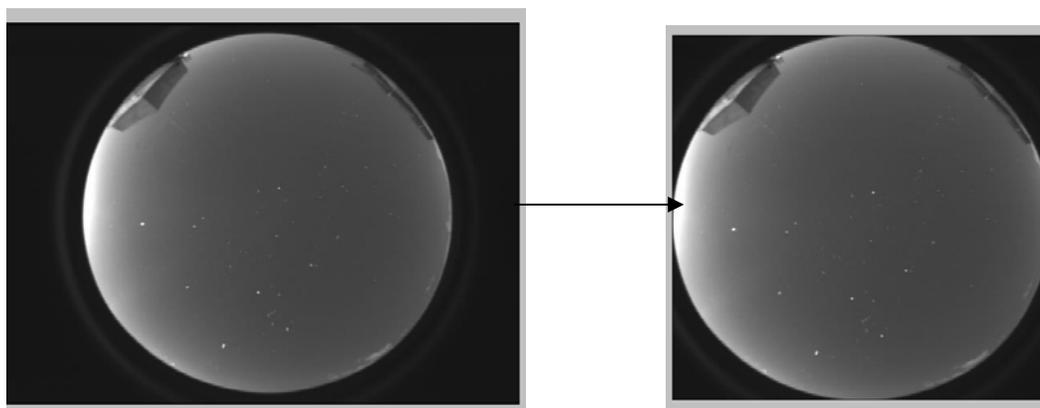


図 3-18 星空映像の円の直径に合わせて変換した画像。2010/01/17 21:30 の画像(左)と Photoshop で円の直径に合わせて変換した画像(右)。

図 3-18 (右)の画像は、縦×横=470px×460px のサイズで中心は(X,Y)=(235,230)である。中心ピクセルをこの画像内の天頂とし、それぞれの星までの画像上の距離を測った。星の位置を決める際は、「マカリ」を利用して星の映像を拡大し、それぞれの星を映しているピクセルの中で最も輝度値が大きいピクセルを星の中心として計測した。ステラナビゲータから得た天頂角の情報と天頂からの計測した画像上の距離の関係を表したのが図 3-19、3-20 である。図 3-19 では、一次関数の近似曲線を使用しているが相関係数が $R^2=0.9903$ であり、図 3-20 では二次関数の近似曲線を使用し、 $R^2=0.9929$ であるので図 3-20 のような二次関数の近似曲線を基に撮像範囲を求める。また、図 3-20 に表示しているピンクの直線は、二次関数の近似曲線の原点における接線である。この接線は $y=f\theta$ で表すことができ、これを基にレンズの焦点距離 f を求めることが可能である。

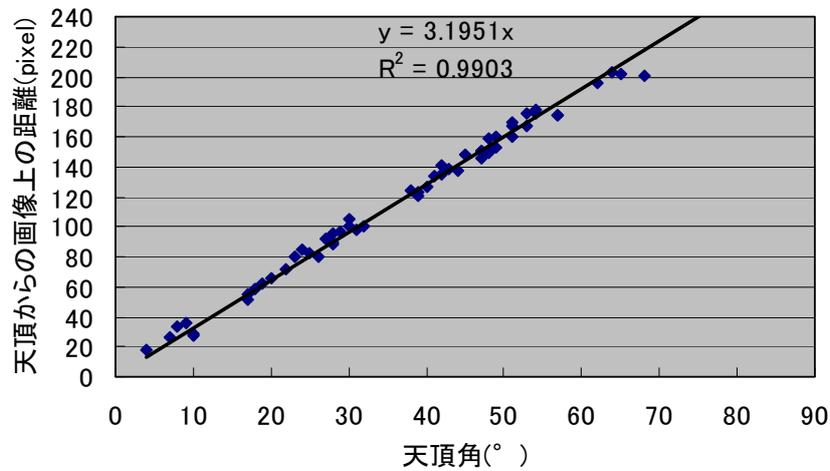


図 3-19 天頂角と天頂からの距離の関係(一次関数の近似曲線)。

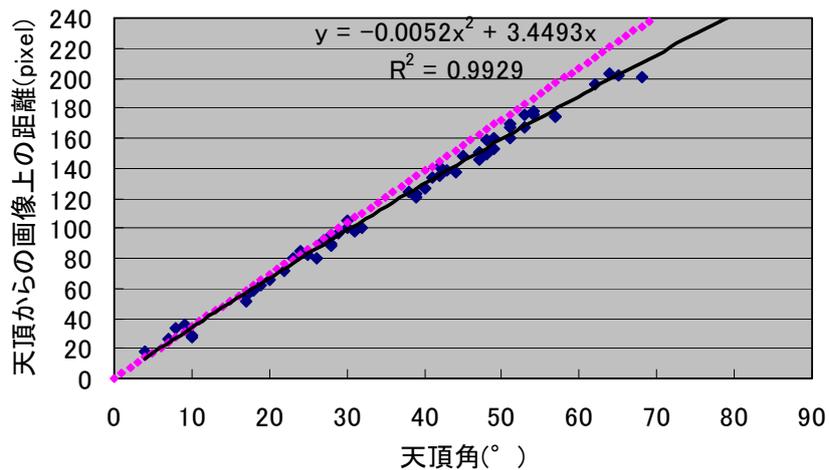


図 3-20 天頂角と天頂からの距離の関係(二次関数の近似曲線)。

図 3-19、3-20 からわかるように星空ライブカメラで撮影した星は、天頂からの距離と天頂角がほぼ比例関係にあると考えられる。これは等距離射影方式という魚眼レンズの射影方式の 1 つである。

また、図 3-20 の近似曲線の式に円の半径である 230 を代入すると以下のような結果となる。

$$y = -0.0052x^2 + 3.4493x \quad (\text{式 3-2})$$

$$230 = -0.0052x^2 + 3.4493x \quad (\text{式 3-3})$$

$$x = 75.2 \quad (\text{式 3-4})$$

$x=75.2$ であるため、星空ライブカメラで撮影した画像は天頂角 75 度までの範囲で撮影されており、高度 15 度以下の星は撮影されておらず、全天が撮影されていないことが判明した。

次に図 3-20 の接線からレンズの焦点距離 f を求める。まず 1rad である 57.29578 度を近似式に代入する。

$$y=-0.0052x^2+3.4493x \quad (\text{式 3-5})$$

$$y=-0.0052 \times 57.29578^2 + 3.4493 \times 57.29578 \quad (\text{式 3-6})$$

$$y=181 \quad (\text{式 3-7})$$

WAT-120N+の CCD の 1 ピクセルの大きさは $10 \mu\text{m}$ である。181 ピクセルを mm に換算すると以下のようにになる。

$$181\text{px} \times 10 \mu\text{m} = 1810 \mu\text{m} \quad (\text{式 3-8})$$

$$1810 \mu\text{m} / 1000 = 1.81\text{mm} \quad (\text{式 3-9})$$

従って、星空ライブカメラの魚眼レンズの設定下ではレンズの焦点距離は 1.81mm であることがわかった。

3-4 (2) 画像から確認できる等級の検証

星空ライブカメラで撮影した映像で観察可能な星は何等星までであるか、また星座の形がどの程度判別できるのか確認する必要がある。

まず何等星まで観察可能であるか、2010 年 1 月 17 日 21 時 30 分の星空映像を基に検証した。検証方法は、星空映像を「マカリ」で開き、ステラナビゲータと星空画像を比較し、ピクセルの明るさを示すカウント値が周囲よりも 10 カウント大きいものを星が観察可能であると仮定して行った。対象とした星は、2010 年 1 月 17 日 21 時 30 分に見られる 4 等星より明るい星である。検証結果は表 3-14 の通りである。

表 3-14 星空ライブカメラの映像で観察可能な星の等級。確認できなかった恒星の高度もしくは等級を赤くした。これは高度が低すぎるために撮影できなかった、もしくは暗い星のために撮影できなかったと原因だと考えられる数値を赤字にしている。

星座名	恒星名	等級	X(ピクセル)	Y(ピクセル)	中心からの距離	高度	カウント値
ペガスス	シェアト	2.44	確認不可			10	
	マルカブ	2.49	確認不可			3	
	アルゲニブ	2.83	確認不可			16	
アンドロメダ	アルフェラッツ	2.07	421	155	203	22	93
	HIP3092	3.27	確認不可			29	
	ミラク	2.07	390	166	170	37	90
	アルマク	2.1	354	169	136	49	106
さんかく	HIP10064	3	365	193	138	48	77
	カプトリアングリ	3.42	383	203	154	43	74
	HIP10670	4.03	確認不可			49	
ペルセウス	HIP14328	2.91	306	152	105	60	82
	アルゲニブ	1.79	303	168	92	63	113
	HIP17358	3.01	297	179	81	67	83
	アルゴル	2.1	325	193	100	61	100
	HIP14352	3.32	330	199	103	60	81
	HIP18532	2.9	297	207	69	70	86
	HIP18246	2.84	307	233	76	68	80
	アティク	3.84	確認不可			66	
おひつじ	ハマル	2.01	385	228	154	43	95
	シェラタン	2.64	395	232	164	39	77
カシオペヤ	カフ	2.28	338	88	175	36	89
	シェダル	2.24	343	103	166	39	90
	ツイー	2.15	327	100	158	42	96
	ルクバー	2.66	322	110	147	45	87
	セギン	3.35	306	108	140	48	79
こぐま	ポラリス(北極星)	1.97	231	60	166	39	105

	コカブ	2.07	188	33	198	26	117
ぎょしゃ	カペラ	0.08	245	195	34	81	178
	アルマーズ	3.03	確認不可			81	
	メンカリナン	1.9	220	200	28	82	126
	ホエドウス II	3.18	253	211	27	83	90
	HIP28380	2.65	218	226	13	86	97
	ハッサレー	2.69	263	238	34	80	88
おうし	アルデバラン	0.87	286	292	86	64	184
	HIP26451	2.97	234	281	55	73	93
	エルナト	1.65	242	256	32	80	133
	すばる		319	258	94	62	100
オリオン	メイサ	3.39	236	319	93	62	79
	ベテルギウス	0.45	219	327	102	59	200
	ベラトリクス	1.64	246	330	105	58	111
	アルニタク	1.74	233	356	130	50	110
	アルニラム	1.69	236	353	127	51	104
	ミンタカ	2.25	240	351	125	51	92
	ハチサ	2.75	237	367	141	46	103
	HIP27366	2.07	226	379	153	42	93
	リゲル	0.18	256	374	150	43	184
おおいぬ	シリウス	-1.44	176	394	177	33	237
	ミルザム	1.98	196	400	177	33	98
	ウエズン	1.83	確認不可			22	
	アダラ	1.5	確認不可			20	
こいぬ	プロキオン	0.4	130	321	139	47	185
	ゴメイサ	2.89	141	312	124	52	91
ふたご	ポルックス	1.16	140	244	93	62	188
	カストル	1.58	150	233	81	66	129
	ワサト	3.5	確認不可			63	
	メブスタ	3.06	183	264	61	71	91
	アルヘナ	1.93	185	295	83	65	116
	テジャトポリテリオ ル	2.87	197	275	60	72	90
	プロプス	3.31	204	276	57	73	89

りゅう	ギアンサル	3.82	確認不可			36	
	HIP61281	3.85	確認不可			31	
おおぐま	アルカイド	1.85	確認不可			12	
	ミザール	2.23	確認不可			18	
	アリオト	1.76	確認不可			22	
	メグレズ	3.32	確認不可			27	
	フェクダ	2.41	確認不可			28	
	メラク	2.34	114	100	172	36	119
	ドゥベ	1.81	130	89	170	37	121
しし	アルギエバ	2.01	40	214	191	28	163
	レグルス	1.36	34	244	198	25	181
くじら	メンカル	2.54	365	311	159	41	81
惑星	火星	-0.6	75	241	157	41	252

表3-2よりさんかく座のカプトトリアングリが3.42等星で確認できた星の中で最も暗い星である。仙台で肉眼で星を観察すると3等星以下の明るさの星は観測できない。つまりこの星空ライブカメラで撮影した画像には、肉眼で観察した時よりも多くの星が撮影されている。これはカメラの撮影波長領域が可視光線のみならず、近赤外線領域の光まで撮影可能なためであると考えられる。その他にも7つの3等星が確認された。確認できなかった星は、3.5等星以上の暗い星であるか、高度が低かった星である。また、東の空は仙台市街地の街明かりによって天頂付近よりも明るくなっている。それによりおおぐま座、しし座付近の星が確認できなかったと考えられる。

第4章 星空ライブカメラの教材としての利用方法

4-1 画像による星座観察

本研究のねらいは、星空ライブカメラで実際の星空を撮影し、その映像を基に星の学習を行うための教材を開発する目的で設置した。小学校第4学年では「明るさの違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」を学習する。まず明るさが違う星があることと星の集まり、つまり星座について着目する。図4-1は星空ライブカメラで撮影したオリオン座を4.5倍拡大した画像である。オリオン座の画像から1等星の②ベテルギウスと⑩リゲルが他の星よりも明るいことが確認できる(オリオン座を構成する星の等級は表4-1の通り)。また、映像からオリオン座の形を確認することもできる。

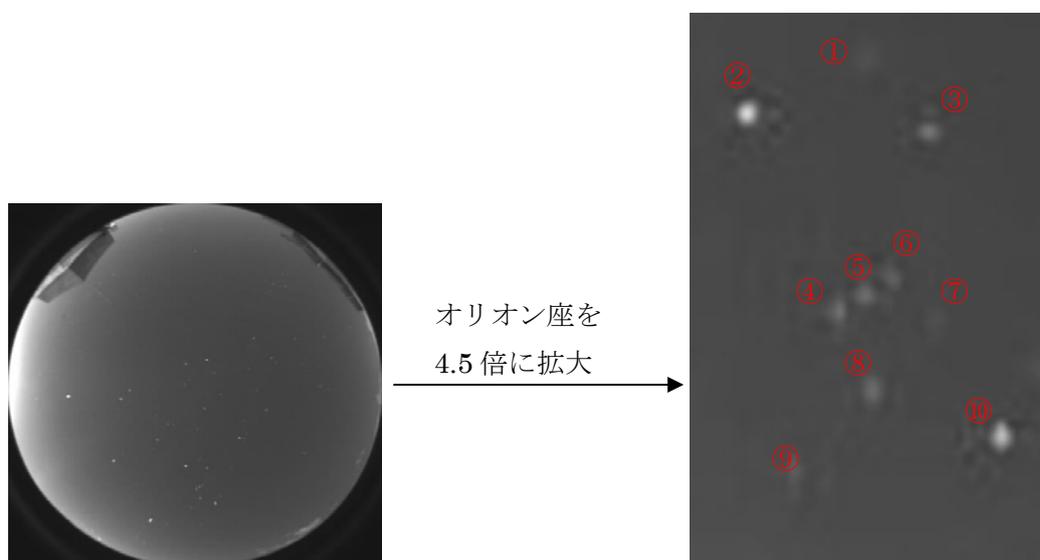


図4-1 星空ライブカメラで撮影した2010年1月17日21時30分の星空(左)とその画像からオリオン座を4.5倍に拡大した映像(右)。拡大したオリオン座から10個の星の明るさが異なることとオリオン座の形を確認することができる。

表4-1 オリオン座を構成する星の等級

図4-1(右)中の星番号	星の名前	等級
①	メイサ	3.39
②	ベテルギウス	0.45
③	ベラトリクス	1.64
④	アルニタク	1.74
⑤	アルニラム	1.69

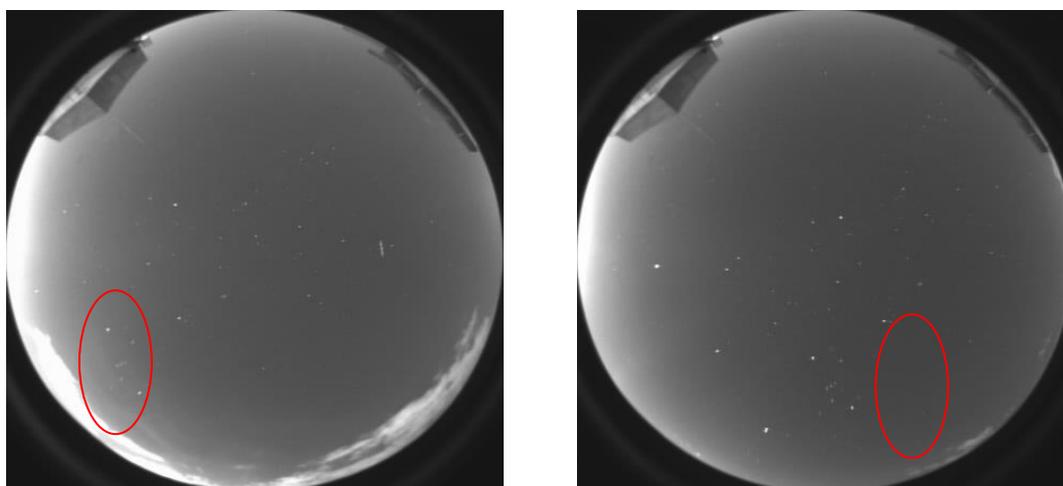
⑥	ミンタカ	2.25
⑦	サイフ	3.35
⑧	ハチサ	2.75
⑨	15κ	2.07
⑩	リゲル	0.18

図4-1、表4-1から3.3等星の暗い星まで確認することができる。オリオン座と同様に他の星座についても星空ライブカメラの画像が星座の形と星の明るさの違いを学習する補助となることが期待される。授業時間内に実際の星空の画像から星座の形について学ぶことで生徒に自宅観察を課す際に生徒が星座を見つけやすくなり、映像で見た星座を自ら発見できたという喜びにもつながると考えられるため、小学校に限らず中学校においても星座の形を学習するためには星空ライブカメラで撮影した映像が効果的である。

4-2 天体の日周運動・年周運動の観察

小学校第4学年で学習する「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」と中学校第2分野で学習する「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」については長時間の観察が必要となる。夜間の観察となるため、安全面でも問題となり、実際の星空を観察して日周運動を学習することは困難である。

星空ライブカメラの画像は、ホームページ上で昨夜の1時間おきの画像を公開しており、時間が経過すると星がどのように動くのか、映像を比較することで学習することができる。また、授業の前夜が悪天候であった場合でも毎日画像を10分おきにサーバーに保存しているため、晴れた日の映像をサーバーから取り出し、利用することでいつでも実際の星空の映像を基に日周運動の学習を行うことが可能となる(図4-2)。また、年周運動も同様にサーバーから過去の画像を取り出し、同時刻でも見える星は変化するという年周運動の観察を行うこともできる。



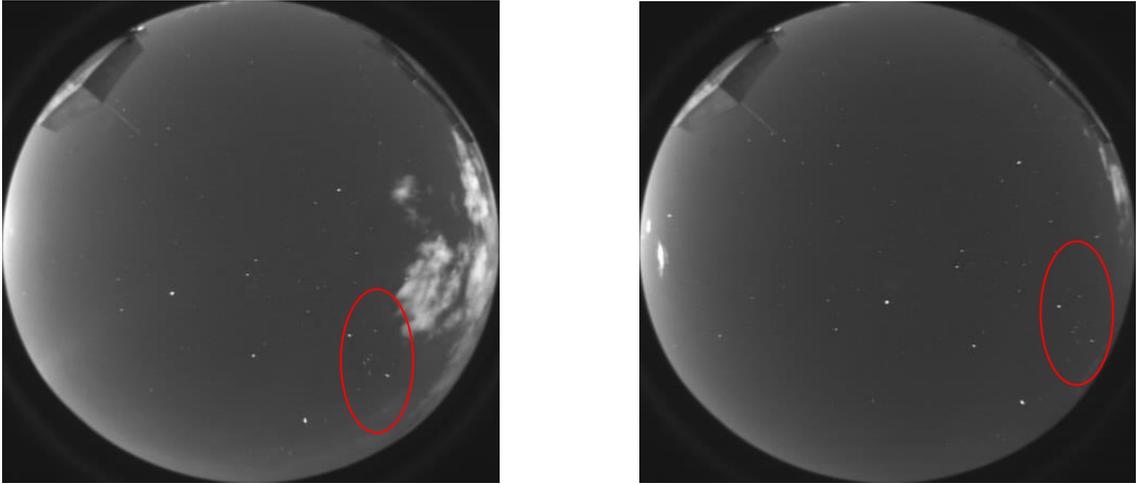


図 4-2 2010 年 1 月 17 日のオリオン座の日周運動。左上は 19 時、右上は 21 時 30 分、左下は 23 時 30 分、右下は 18 日 1 時。オリオン座の形は変わらないが位置が変わる様子が観察できる。

運用を開始してから日数が経過していないため、年周運動の観察に必要な映像が十分ではない。数ヶ月運用していくことで映像も蓄積され年周運動の観察に必要な映像が集まることが期待される。

4-3 将来的な利用方法

実際の星空をリアルタイムに観察することが学習する上で理解しやすいが、現在星空ライブカメラは宮城教育大学のみを設置しているため、リアルタイムの星空を授業時間内に観察することができない。星空ライブカメラを日本で授業が行われている時間帯に星空が撮影可能な地域に設置することで授業時間内にリアルタイムで星空を観察することが可能となる。また、緯度が異なる地域に設置することでその緯度によって北極星の高度が異なることや宮城では観察することができない南十字星やカノープスなどの観察も星空ライブカメラで撮影することで可能となる。

そこでロンドン大学天文台と国立天文台石垣島 VERA 観測所に星空ライブカメラを設置することを考えている。イギリスロンドンと日本は時差が 9 時間あり、例えば日本で午前 10 時頃に授業が行われている場合、ロンドンでは午前 1 時なので星空を撮影することができる。また、石垣島 VERA 観測所は緯度 24 度なので北極星が高度 24 度のところに見え、南の星座も観察することが可能である。将来的にこれら 2 地点にも星空ライブカメラを設置することでさらに天文教育に役立つ教材となることが期待される。

第5章 結論

星空ライブカメラを開発するにあたり、5つのシステム要件を定めていた。①全天の星空を撮影すること、②3等星まで撮影することの2要件に関しては、数種類のカメラ、レンズの中から高感度カメラ WAT-120N+と魚眼レンズ YV2.2×1.4A-SA2 を選定したことにより要件を満たした。③リアルタイムの画像をインターネットで公開すること、④1時間ごとに撮影した画像を公開すること、⑤春夏秋冬の星空画像を蓄積するためのアーカイブを作成することに関しては、星空ライブカメラが撮影した画像を、wget を使ってサーバーに転送し、保存することでリアルタイムの画像を1分おきに更新し、1時間ごとに撮影した画像を24時間ホームページ上で公開することができた。星空ライブカメラの運用を開始してからまだ1ヶ月しか経過していないことがあり、春夏秋冬の星空画像を蓄積することはこれから撮影を続けていくことで可能となることが期待される。このように開発にあたって定めた5つのシステム要件を満たした。

システム要件を満たしたことにより、小学校第4学年「月と星」、中学校第2分野「地球と宇宙」の単元で行う観察の中でリアルタイムに観察することができていない「明るさの違う星があること」、「星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること」、「天体の日周運動の観察」、「星座の年周運動の観察」をインターネットを利用してリアルタイムに観察できるようにするという目的がほぼ達成できた。

今後の課題としては、開発した星空ライブカメラの長期的な運用を行うことが最も重要である。長期的に運用していくことで星空の画像も蓄積され、教材として利用されることが期待される。また、ホームページ上でサーバーに10分おきに保存している画像を閲覧可能にすること、星空ライブカメラの設置場所を増やし、様々な地点での星空を観察することができるようにすることも重要である。特に日本で授業を行っている時間帯に夜の時間帯で、星空の撮影が可能な地域への設置が必要であり、これが実現すれば授業時間内に実際の星空を教材として観察することが可能となる。

このように今後様々な課題があるが、本研究で教育目的に合わせたシステム要件の下に全天の星空を撮影する星空ライブカメラの開発をすることができた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心にそして丁寧に指導して下さった高田淑子教授に感謝致します。全天カメラ開発者である美里町立不動堂中学校教諭斎藤弘一郎さんには全天カメラの開発のノウハウを教えていただき、アドバイスも幾度となくしていただき感謝しています。またカメラ、レンズなどの選定にあたっては各メーカー様にもご協力いただきました。カメラハウジングの製作には阿部博政さんに丁寧に指導していただき、無事にカメラハウジングを製作し、カメラを設置することができました。最後に惑星科学研究室のメンバーである相田知輝君、桑原永介君、菊池佳子さんには精神的に支えられ、私の研究に関する意見をくれるなどとても助かりました。ありがとうございました。

参考文献

- ・ 小学校学習指導要領 第2章理科 第4学年
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/syo/ri.htm#4gakunen
- ・ 中学校学習指導要領 第2章理科 第2分野
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/ri.htm#2bunya
- ・ 中堤康友(2002) 「インターネット望遠鏡を用いた天文教育プログラムの開発」
(宮城教育大学卒業論文)
- ・ 鈴木雄太(2008) 「月ライブシステムの再構築と小学校理科への活用と評価」
(宮城教育大学卒業論文)
- ・ 斎藤弘一郎(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)

付録

・ sky.pl のプログラム

全天カメラの画像取得プログラム zen.pl(斎藤, 2009)を基に星空ライブカメラの画像取得用に部分的に書き換えて作成した。

```
#!/usr/local/bin/perl -w
##### wget
use strict;
use POSIX 'strftime';
my $date=strftime "%Y%m%d",localtime;
my $datehourmin = strftime "%Y/%m/%d %H:%M",localtime;
my $Tomorrow = strftime "%Y%m%d",localtime(time+60*60*24);
my $SaveDir1 = "/var/www/sky/global_html/Images";
my $SaveDir2 = "$date";
my $DirT = "$Tomorrow";
my $SaveDir3 = "MUE";
my $SaveDirAll = "$SaveDir1/$SaveDir2/$SaveDir3";
mkdir ("$SaveDir1/$DirT");
mkdir ("$SaveDir1/$DirT/$SaveDir3");
mkdir ("$SaveDir1/$SaveDir2");
mkdir ("$SaveDirAll");
my $FileName ="M";
print "$datehourmin¥n";
my $time = strftime"%H%M",localtime;
print "$time¥n";
my $datetime = "$date-$time";
print "$datetime¥n";
#mkdir("$SaveDir1");
my $url="http://160.28.190.110/SnapshotJPEG?Resolution=640x480&Quality=Clarity";
system("/usr/local/bin/wget -O$SaveDirAll/$FileName$datetime.jpg $url");
sleep 1;
```

このプログラムを定時実行する crontab は以下のように設定している。

```
* /10 * * * * /var/www/sky/nightsky/sky.pl >/dev/null 2>&1
```

・ skynow.pl のプログラム

```
#!/usr/local/bin/perl -w
##### wget
use strict;
my $url="http://160.28.190.110/SnapshotJPEG?Resolution=640x480&Quality=Clarity";
system("/usr/local/bin/wget -O/var/www/sky/global_html/now.jpg $url");
sleep 1
```

このプログラムを定時実行する crontab は以下のように設定している。

```
* /1 * * * * /var/www/sky/nightsky/skynow.pl >/dev/null 2>&1
```

・ skynow18.pl のプログラム

```
#!/usr/local/bin/perl -w
##### wget
use strict;
my $url="http://160.28.190.110/SnapshotJPEG?Resolution=160x120&Quality=Clarity";
system("/usr/local/bin/wget -O/var/www/sky/global_html/1800.jpg $url");
sleep 1
```

このプログラムを定時実行する crontab は以下のように設定している。

```
00 18 * * * /var/www/sky/nightsky/skynow18.pl >/dev/null 2>&1
```

18 は 18 時を表しており、19、20、21、22、23、00、01、02、03、04、05 時の各プログラムを作成し、crontab で実行時刻を設定した。

・ sky1800.pl のプログラム

```
#!/usr/local/bin/perl -w
##### wget
use strict;
my $url="http://160.28.190.110/SnapshotJPEG?Resolution=640x480&Quality=Clarity";
system("/usr/local/bin/wget -O/var/www/sky/global_html/lastnight/1800.jpg $url");
sleep 1
```

このプログラムを定時実行する crontab は以下のように設定している。

```
00 18 * * * /var/www/sky/nightsky/sky1800.pl >/dev/null 2>&1
```

1800 は 18 時を表しており、1900、2000、2100、2200、2300、0000、0100、0200、0300、0400、0500 時の各プログラムを作成し、`crontab` で実行時刻を設定した。

- ・ 星空ライブカメラホームページの HTML

全天カメラのホームページ(斎藤, 2009)のソースを部分的に書き換えて星空ライブカメラ用のホームページを作成した。

```
<HTML>
<HEAD>
<META http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=Shift_JIS">
<TITLE>NightSky: トップページ</TITLE>
</HEAD>
<BODY>
<BaseFont Size="4">
<p class="ti">星空ライブ配信システム<p>
<div align="center">
<h1>"ぜんてん(夜) "</h1>
</div>
<div align="center">

</div>
<h3><a href="top.html"></a></h3>
<table border="1" cellspacing="0">
<h3>昨夜の星空</h3>
<tbody>
<tr>
<td>18</td>
<td>19</td>
<td>20</td>
<td>21</td>
<td>22</td>
<td>23</td>
</tr>
<tr>
<td><div align="center"><a href="lastnight/1800.jpg"><imgsrc="1800.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/1900.jpg"><imgsrc="1900.jpg"></div></td>
```

```

<td><div align="center"><a href="lastnight/2000.jpg"><imgsrc="2000.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/2100.jpg"><imgsrc="2100.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/2200.jpg"><imgsrc="2200.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/2300.jpg"><imgsrc="2300.jpg"></div></td>
</tr>
<tr>
<td>0</td>
<td>1</td>
<td>2</td>
<td>3</td>
<td>4</td>
<td>5</td>
</tr>
<tr>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0000.jpg"><imgsrc="0000.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0100.jpg"><imgsrc="0100.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0200.jpg"><imgsrc="0200.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0300.jpg"><imgsrc="0300.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0400.jpg"><imgsrc="0400.jpg"></div></td>
<td><div align="center"><a href="lastnight/0500.jpg"><imgsrc="0500.jpg"></div></td>
</tr>
</tbody>
</table>
<h3>観測地点</h3>
<p>
<table class="main">
<tbody>
<tr>
<td>・ 宮城教育大学<br></td>
<td><a
href="http://maps.google.co.jp/maps?ie=UTF8&ll=38.258901,140.829535&spn=0.06335
2,0.115356&z=13">北緯 38 度 16 分 東経 140 度 50 分</a></td>
<td></td>
<td></td>
<td>2010 年 1 月 23 日公開</td>
</tr>

```

</tbody>

</table>

<h3>連絡先</h3>

<p>

・ 〒980-0845

仙台市青葉区荒巻字青葉 149

宮城教育大学 惑星科学研究室

担当：門脇 駿

MAIL nightsky.mue@gmail.com

</p>

</BODY>

</HTML>

