

電子機器を用いた「ゆめ」の星空案内

柴田晋平*、秋田 守、坂中 二郎、中山 団、大野 寛、中森 健之、
高橋 正好、小林 幹也、ほか教材さぶグループメンバ

2021年1月28日

1 はじめに

コロナ感染拡大をきっかけにして、電子機器を用いた「新型の星空観望会」を模索しようと提案しました(会報 No.85, 2020年7月)。その後、zoomによる情報交換会を9月12日、10月24日、11月20日に開催し、目標に向かって進んでいます¹。今回は、途中経過を報告します。詳しい情報がウェブサイトにありますのでそちらも参考にしてください。

<https://www.shibatashinpei.jp/lib/2020Nov15-0000.html>

2 「ゆめ」の星空案内

冬の街中で、さあ新型星空案内の始まりです。

[場面 A] 眼前の風景が(電子機器を使って)映し出され(以下、参照映像と呼びます)、今見えている星空の説明が始まります。参照映像は大きいのでお客さんの距離は適当に離れていて安心できます。飛行機が飛んでいきますが、映像の方でもそれが確認できて現実味が増します。説明の指示棒は映像上でおこない、星空案内は絶好調です。

*連絡先: shibata.shimpei@gmail.com

¹引き続き、1,2ヶ月に一回のペースで勉強会を開きますのでぜひ参加ください。

肉眼で見る夜空よりも、参照映像の方が1等級ほど暗い星まで写っているので、肉眼ではちょっと怪しい「小三ツ星」や「うさぎ座」の説明もちゃんとできるのは嬉しいです。

説明は小声でも皆さんにちゃんと伝わっているようです。

[場面 A の説明]

コロナ対策: 指差しや懐中電灯の指示光だと互いに寄り添うような距離感になってしまいます。電子機器による参照映像でこれを防ぎます。拡声器があるので声を張り上げることなくウイルスの飛散がありません。

コロナを超えた利点: 肉眼で確認が難しい星も参照映像では確認できるので、「ここに本当はあるのですがよく見えませんね、、、」という苦しい星空案内を避けられます。

[場面 B] こちらで小型の望遠鏡で木星をみてみましょう。綺麗に横に並んだ小さな衛星がいくつ見えますか。みんなで映像を見ているのでいろんな意見が出てきて楽しいですね。

[場面 B の説明]

コロナ対策: 接眼レンズを覗く必要がないので目からの感染やピント合わせで機器に複数の人が触れる心配がありません。

コロナを超えた利点: 小さな子供は小さい穴を覗くということができませんが、映し出

された動画なら見るすることができます。子供に何が见えているかを案内人は把握できます。目が悪いと遠慮がちなお年寄りにも見ていただけます。

あなたの新型星空案内 ここで「ゆめ」の案内として想定してみた星空案内はほんの一つの例です。星空案内の方法は十人十色、使う装置もいろいろだと思います。いろいろな案を出し合って、実験を重ね、春には実践に写せればと思います。

[募集:](1) あなたの新型星空案内のアイデアを情報交換会でご紹介ください。(2) 肉眼で見える限界より1等級くらい暗い星まで写った視界が広い動画を撮る方法について情報提供をおねがいします。

3 場面 A はいかにして可能になるか？

まず、基本的な三つの機能について検討しました。

1. 感度のいい参照映像を撮る
2. 適当な明るさで適当な大きさの装置で参照映像を見せる
3. 小声で話ができる

3.1 参照画像の撮影

最近の電子機器は高性能なので肉眼よりも暗い星が見える動画の提供は簡単にできるだろうと安易な気持ちでこの企画を始めました。目標は肉眼よりも1等級暗い星が動画の参照映像で見えることです。

現在の検討では、(非常に暗い夜空の撮影では良いかもしれませんが、)背景が明

るい街中で目標を実現するのは容易でないことがわかってきました。ちょっといいデジカメでもほとんど肉眼と同じくらいしか映らないようです。詳しい解析は以下の説明編に書きますが、二つポイントがあります。(1) 背景光が強い(空が人工の光ために明るい)ので、背景光と目的の星のコントラストを出すためのそれなりの工夫が必要。(2) 星空案内の場面では70度くらいの広い範囲が見えてほしいところですが、70度を3000ピクセル程度で表現するとすると人間の視力より悪いことになってしまう(星の光が広がって薄まってしまい背景光に埋もれやすくなる)。

最近ではデジカメなどを使って綺麗な夜空の写真が提供されていて、それらを見ていると電子機器による映像はすごい感度がよいと思ったのですが、暗い星まで写し出すためにはそれなりの努力をしていたのでした。露出時間を長く取って、背景光の除去、コントラストの調整などを施すといった画像処理です。そうすれば肉眼以上に暗い星まで見ることができます。しかし、星空案内の現場では、視野は頻りに動きますし、それに合わせて背景光も変化します。できたら動画としてみたい(人工衛星や飛行機も見えた方がよい)ので感度も必要です。これはなかなかハードルが高いようなのです。

もう一つハードルを高くしているのは、この新型星空案内はだれもが手軽にできることを目標としていることです。たとえば、星空案内人の講座の受講生の大多数が実行に移せるようにしたい。つまり、夢の星空案内が実現したら、みんなの星空案内として普及させたいのです。操作が簡単なこととあまりお金をかけないことが条件に加わってきます。やっぱり、これは単なる夢になるのか。でも頑張るぞ。

3.2 映像を移し出す方法

つぎは、画像を映し出す部分です。液晶画面はちょっと小さいのでもう少し大きいものを目指しました。

最近普及が進んでいる小型の液晶ディスプレイが使いそうです。バッテリーで動作するので野外に持ち出せます。心配の明るさは市販されている200ルーメンのもので明るすぎるほどでした。スクリーンは安価な白い樹脂シート(65 cm1×55 cm程度)を地面に置くことで準備できます。

画像信号の送り方、機器やスクリーンの配置は機器の種類や通信環境によります。小型の液晶ディスプレイは家庭用に普及が進んでいるので価格もまだ下がりそうです。どれくらい安い製品が星空案内に耐えられるか現在検討しているところです。

3.3 ヘッドホンとスピーカ

観光ガイドツアーの時にプロの方が使っているヘッドセット拡声器が目的を叶えてくれます。試してみました。マイク入力だけでなく外部入力も受け付けるので、携帯に入れた音楽をBGMにして「気持ちよく」星空案内できるというおまけもついてきました。

4 場面Bはいかにして可能になるか?

望遠鏡を覗いたのと同じ質の画像を映し出すことが目標になります。会報No.85でもいくつか紹介がありましたね。撮像の方法は次の二つがあります:(1)望遠鏡の焦点面に光を感じる素子(CCDなど)を置

いて撮影する直焦点撮影と、(2)アイピースを目の代わりにカメラにのぞかせる感じで撮影する間接撮影(コリメート撮影)の二つです。

(1)の場合はデジタルアイピースという呼び方で市販品がいくつかあり利用可能です。このプロジェクトとしての評価はまだ出ていませんが、事前調査では視野が狭いという問題があるようです。目で見たと同じ視野にしようとする素子を大きくする必要がありますが、そうするとかなり高価になるようです。視野が狭いと天体の導入や追尾が大変になります²。



図1: コルキットをスマホにのぞいてもらって動画としてみた時の一コマ。ほぼ、肉眼で見た時と同じように動画としてみることができる。光学系の作りが甘いのでゴーストがでることがある。

(2) スマホのカメラにのぞかせることでかなり良い結果が得られることが分かりました。スマホはほぼ肉眼と同じくらい

²たとえば、やまがた天文台でやっているような撮影ですと、安定した導入と追尾ができますのでなん小さい素子でも問題はありませぬ。

の力があるようで、目で接眼レンズをのぞいたのと遜色ない写り具合であることを確認しました(図1)。このプロジェクトの特設ページにコルキットで木星の衛星をみたときの動画があるのでぜひご覧ください。

あとは、コルキットなどの小さい望遠鏡にスマホを取り付ける簡単な方法の開発だけです。いくつかの工作例がウェブページで公開されていますので参照ください。デジタルアイピースやウェブカメラを改造したものを接眼レンズとして撮影する方法はこれから研究する必要があると考えられます。

(以上)

付録

A 背景光の中で暗い星を見つける理屈

[視力1] 視力が1というのは1分角(1度の60分の1)が分離して確認できることを言うそうです(図2)。確かにそうだなとおもえたのは金星の太陽面通過の時でした。日食グラスを使って太陽の前を通過する金星をみんなで見ました。このときの金星の直径はちょうど1分角です。確かに視力が1ある人は金星が確認できて大喜び、一方、視力が1以下の人は見えずがっかりでした。なるほど視力1なら金星(1分角)を確認できると、この時、視力の意味を納得しました。

[空の明るさの単位:輝度] 夜空の明るさは、一辺が1秒角³の正方形の中の光が星として何等星の光に相当するかで

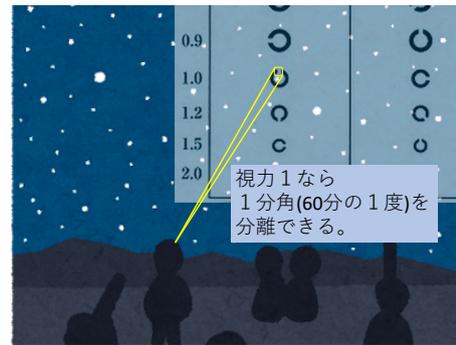


図2: 視力1とは。

測るそうです⁴。単位は、「等/平方秒角 = mag/arcsec²」です。しかし、人間の目の視力1は1分角相当なので、目で見える一点に近い一辺が1分角の正方形の面積のほうがイメージしやすいでしょう。以降では1平方分角あたりの等級ということで、「等/□」を使うことにしましょう。この単位で測るような意味での明るさを**輝度**と呼んでいます。星一つの明るさ「等級」と区別しなければなりません。

[街中でみる星のイメージ] 街中の空は明るいので、空の星は、図3(a)のように、背景光に対してちょっと明るいところ(グラフの出っ張ったところ)として見えています。背景光にたいして星が何パーセント明るいと感じるかという「コントラストの感度」が重要です。とりあえずここでは10%としましょう。4等星がほとんど見えず3等星なら見える夜空を想像して図を書いています。

[星と空の輝度] 夜空の星はキラキラしていますしこし滲んで見えますね。視力1でも星は少し広がって見えていると思います。それで直径2分角(半径1分角)ぐらいの面積を持っていると仮定します。(先日の

³ 1秒角は1分角の60分の1です。

⁴ <http://www.env.go.jp/air/life/hoshizorakansatsu/observe-2.html> 環境省「夜空の明るさを測ってみよう」

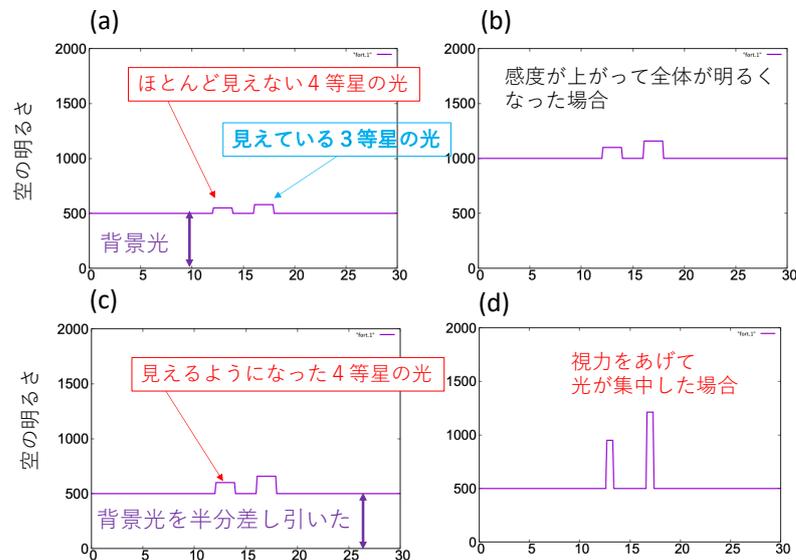


図 3: 空全体を覆う背景光のなかに星を見つけることのイメージ図。(a) 背景光の 10% くらい強度を持つ 4 等星、その約 2.5 倍明るい 3 等星。(b) 全体の感度が二倍にした場合。(c) 背景を 50% 削除した場合、(c) 3 倍望遠した場合。

木星・土星の大接近は 6 分角くらいまで近づきましたが、肉眼でもちゃんと分離して見えたと思います。この時のイメージと重ね合わせてください。) この時、星が占める空での面積は円周率 \times [半径 (分角)]² = $3.14 \times 1^2 = 3.14$ □' です。4 等星の明るさは 3.14 だけ薄まっている (等級にすると 1.24 等級暗い) ので、星のあるところの輝度は 5.24 等/□' となります。コントラストの感度が約 10% と仮定したので、逆算すると、周りの空はこの約十倍になり (等級にすると 2.5 等明るい)、夜空の輝度は 2.74 等/□' となります。以上まとめると、4 等星がほとんど見えないような夜空では、空全体べったりと 2.74 等/□' の強さの刺激を網膜が受け、その中から星による 5.24 等/□' 光を感じていると想像できます。直感的すぎる話かもしれませんが、だいたいこんなイメージで図 3(a) を描い

てみました。

視力が悪いと星が見えないですね。それは星の持つ広がりが大きくなったからで、光が薄まったので、等/□' 単位で測る面積あたりの等級、つまり、輝度が小さくなり星が周りの空と区別できなくなって見えなくなるのです。

[電子機器で状況を改善できるか] 電子機器を使ってこの状況を改善できるでしょうか。一つは網膜以上の感度を持つことです。レンズの直径を大きくしたり、露出時間を長くしたり、光検出器 (CCD など) の性能をあげることができるでしょう。すると信号の強度が図 3(b) のように上がります。しかし、背景も星も両方とも同じように上がるので、背景に対して星の光が 10% だけ大きいと言う状況は変わりません⁵。

⁵明るい部屋でディスプレイを見るときに人間

コントラストに気がつくかどうかは撮影だけでなく表示画面の性質にもより複雑な問題です。

かすかな星による光を強調する方法が二つあります。

一つは、背景の強度を差し引いて画像を作る(表示する)ことです。背景の半分を引いた場合が図 3(c)です。4等星の星のあるところの輝度は背景の20%に増加しました。これなら4等星は容易になりました。

もう一つは望遠レンズを使って視力をあげることです。望遠レンズで3倍にズームアップすると星の占める範囲は9分の1になるので星の光は集中して輝度は9倍になります。背景光の輝度は前と同じです。図 3(d)のように星がしっかりと確認できます。拡大した画像を見るという立場でいうと、背景光が薄まって星が明確になったと表現することもできます(星の像は広がって見えるかもしれませんが)。

現在まで目標の感度の動画を得ることに成功していないのですが、原因は、(1)視力が1より悪いことが多い、(2)動画で撮るので感度がまだ十分でない(露出時間が必要)、(3)動画のスピードで画像処理は可能と思われ(次の節で紹介しますが、まだみなさんに提供できていない、といったあたりだと思います。(なお、静止画であれば露出時間をかけ、画像処理もできるので、問題なく暗い星を捉えることができます。)

の目のコントラストの感度は明るさに関わらずほぼ10%で一定であることが知られています。つまり図の(a)で見えない時は(b)でも見えないということになります。検出限界に近いところでのコントラストは別に議論します。このときは、背景の揺らぎも考えなければいけません。

B 背景光の中で暗い星を見つける実践

では、理屈ではなく実践を結果の一部を紹介します。

[iPhone + アプリ]

山形の市街地にてiPhone-11に「星撮りくん」というアプリをつかって5秒露出でとったオリオン座を図 4(a)に掲げます。この夜は薄雲もあって、肉眼では、3等星は確認できますが3.5等星は背景に埋もれてギリギリ見えるか見えないかでした。写真でも状況は同じですね。画像処理をすれば3.5等の星は拾い出すことが可能でした。

[ちょっと良いウェブカメラ]

ちょっと良いウェブカメラ(素子はSony IMX322というCMOS, 200万画素 4(b))では動画として星空をみると大体目で見るものとほぼ同じ等級の星が見えました。



図 4: スマホで撮った星空。(a) iPhone11に「星撮りくん」というアプリを使って撮影した場合。(b) 実験してみたウェブカメラ。(c) iPhone11の望遠の機能では肉眼よりも暗い星を見ることができる。

[望遠効果]

望遠効果は予想通り絶大です。図 4(c) はおなじ iPhone11 で、今度は特にアプリを使わず、もともとあった iPhone の動画撮影で、最大限ズームして(視力を上げて)撮ったものです。おうし座の頭の V 字が見えると思います。(a) とほぼ同じ時刻に撮ったものですが、視力が上がったことで 4.8 等の星が確認できます。素早くズームアウト、ズームインを繰り返しながら星空案内ができれば、スマートフォンを使って肉眼より 1 等級以上暗い星を見せることが可能であることがわかります。

[コントラストの実情]

(3) 図 5(上) は流星カメラ 0.5 秒露出の像

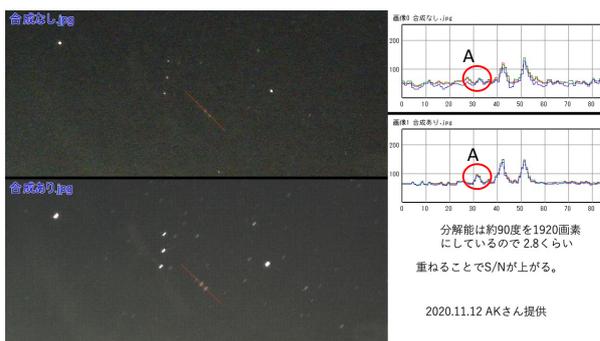


図 5: 流星カメラでの画像と信号の強度のグラフ。(データは秋田による)。

です。小三ツ星に沿って強度をグラフで表示したものが右に示してあります。一コマの画像では A と書かれた所にある星がコントラストが得られず星としてみるのが困難になっています。一方、100 枚画像を重ねた(下)の画像では多くの暗い星が浮かび上がっています。グラフをみると背景光にあったばらつきが平均化したおかげで A の部分の星が確認できています。このように数値を平均化することで「コ

ントラストの感度」が上がります。これもより暗い星をみるための方法です。100 枚の画像を重ねる処理は 0.5 秒の露出ごとにできるので、暗いところで人間の目が徐々に慣れるのと同じように、暗い星が徐々に見えてくるという見せ方で星空案内に適用できます。