

## 夜空メーターの製作と星空環境の測定 その2

伊藤芳春\*・千島拓朗\*\*・三澤宇希子\*\*\*・高田淑子\*\*

### Environmental Measurement of Light Pollution by Dark Sky Meter, II

Yoshiharu ITO, Takuro CHISHIMA, Ukiko MISAWA and Toshiko TAKATA

**要旨**：「夜空メーター」を工業高校生が製作し、星空環境に関心を持つ高校生等が夜空の測定をした。実際の測定に先立ちプラネタリウムで操作方法の実習会を行った。夜空メーターによる測定方法についてはweb上でも公開した。測定結果は仙台と周辺地域では明らかな差がみられた。工業高校生は、製作した測定器が役立つことから自信につながり、星空環境に関心を持つ人には、夜空の明るさがすぐに数値で得られ教育的効果の大きいことがわかった。

**キーワード**：星空環境教育、光害、学校教育、クラブ活動、電子工作、協同観測

#### 1. はじめに

星空が見えなくなってきた原因は、大気汚染による大気の透明度の悪化と市街光による夜空の明るさの増大のためである。夜空メーターは大気の透明度ではなく、夜の大気の明るさを測定する装置である。夜空メーターの原理は、測定したい夜空に対して発光ダイオードの明るさを変化させて夜空と発光ダイオードが同じ明るさになったとき発光ダイオードを流れる電流の値を読み、夜空の明るさとする方法である。この夜空メーターには、これまでの測定実践から夜空の明るさという測定しにくい対象を数値で表すことができる便利さと、発光ダイオードが同じ明るさになったことを目で判断するという素朴さが逆に実感を伴った測定ができるというメリットのあることがわかった。

今回は、各地で協同観測し市街地と地方の夜空の明るさの違いを測定することを目的に、図1に示した夜空メーターを40台製作した。材料には、黄色発光ダイオード、黄色フィルター、デジタル電圧計等の安価で入手しやすい部品や輪転機の廃物の紙筒を使用した。

#### 2 夜空メーターの製作

夜空メーターは光学系と電子回路からなる本体部に

分かれる。製作の過程とキャリブレーション、精度について述べる。

##### 1) 光学系について

発光ダイオードには、直径10mmの黄色発光ダイオード(ZXS-L10Y 梅沢無線)、黄色フィルターにはSC48(フジフィルター)を使用した。目から発光ダイオードまでの距離は34cmである(図2)。天頂プリズムは無理な姿勢をすることなく観測するために必要である。

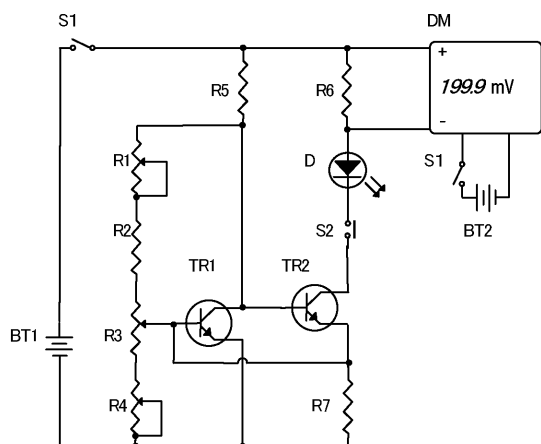


図1. 夜空メーター



図2. 夜空メーターの光学系 左より夜空、発光ダイオード、フィルター、天頂プリズム、目。

\*宮城県鶯沢工業高等学校, \*\*宮城教育大学理科教育講座, \*\*\*星空観察ネット勉強会



- TR 1、TR 2 : トランジスタ 2SC1815
- R 1 : 20 k Ω
- R 2 : 10 k Ω
- R 3 : 50 k Ω ボリューム
- R 4 : 20 k Ω
- R 5 : 100 k Ω
- R 6 : 1.00 k Ω 1%級
- R 7 : 100 k Ω
- S 1 : 主スイッチ
- S 2 : 点滅用押しボタンスイッチ
- D : 黄色発光ダイオード
- BT 1, BT 2 : 9 V 電池
- DM : デジタルメーター Max199.9mV

図 3. 電子回路図と部品

## 2) 電子回路

回路はトランジスタ 2 個と抵抗を使っただけの簡単な回路で、発光ダイオードに流れる電流を変えている。この電流を電圧に変換しデジタル表示させている。

## 3) 夜空メーターのキャリブレーションについて

R 3 のボリュームを回して発光ダイオードの明るさを変えている。デジタルメーターは 0 から 199.9 mV まで表示するので、ボリュームを最小にしたときに 0、最大にしたときに 199.9 を表示させるため、調整用に R 1 と R 4 の多回転半固定ボリュームを調整する。

R 3 を左にいっぱい回し、プッシュスイッチを押しながら R 4 の多回転半固定ボリュームを調整してデジタルメーターの表示を 0 にする。次に R 3 のボリュームを右にいっぱい回す。プッシュスイッチを押しながら、R 1 の多回転半固定ボリュームを 199.9 になるように調整する。

## 4) 実際の製作について

**光学系** 発光ダイオードが筒の中央に位置するように取り付ける。L 型金具には絶縁のためアクリルのネジで固定した。フィルターは合成樹脂製なのでサークルカッターで円形に切り天頂プリズムの先に接着した。筒には学校でよく使われている印刷機消耗品の紙パイプを利用した。工作が容易な割に強度があり、学校では入手しやすく廃物の利用になるためである。

**電子回路** 今回は多数製作するため、基板 (図 4) をつくり製作を容易にした。製作は宮城県鶯沢工業高校

の生徒が実習やクラブ活動として行った。

機械加工や製作の様子を図 5、図 6 に示す。工業高校生にとって機械加工も電子回路の組立も授業の中の

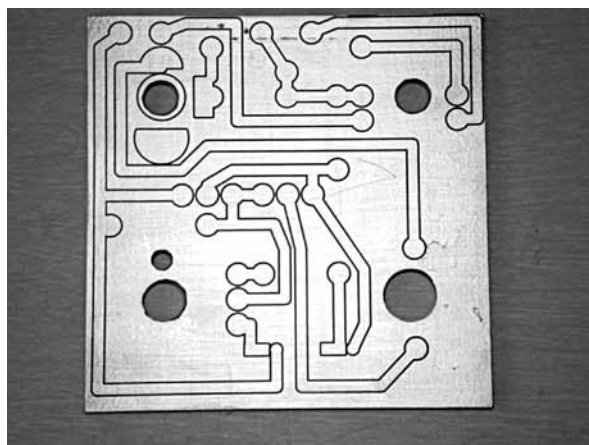


図 4. 基板 (鶯沢工業高 蘇武義廣先生設計)



図 5. 機械加工

実習よりは簡単であるが、設計図を基に完成させた満足感や多くの人々に喜んで利用してもらえということから自分たちの技術の自信につながっていた。完成した夜空メーターの電子回路を図7に示す。

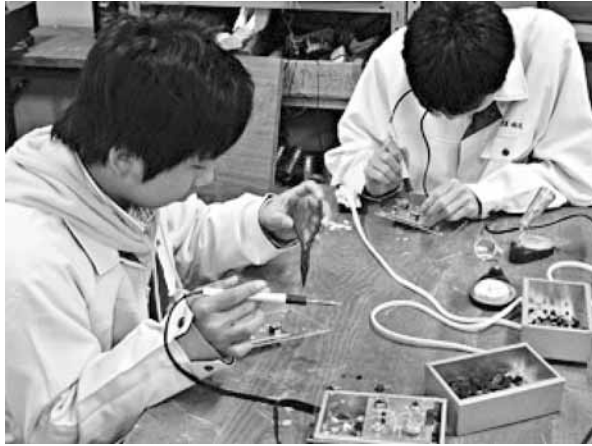


図6. 電子回路の製作

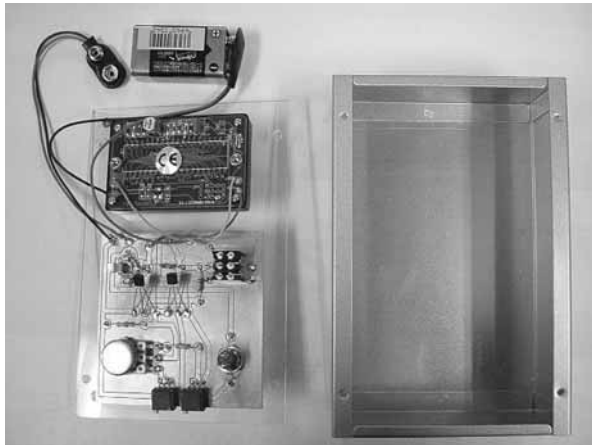


図7. 完成した電子回路

### 5) 夜空メーターの精度について

肉眼による明るさの精度は0.1等級といわれているため、夜空メーターの各部分の精度はそれ以上となるように製作した。

一般に発光ダイオードは1.6V付近から明るくなり2V程度で明るさが最大となる。さらに電圧をかけると発光ダイオードは壊れてしまう。明るさは電流に比例しているため、発光ダイオードの明るさの測定には電圧よりも電流を測定する方法がとられている。発光ダイオードにかかる電圧と電流の関係、電流と明るさの関係を測定した。発光ダイオードの明るさの測定には天体観測用の光電測光装置を用い、明るさはフォト

ンの数を基にしたカウント数で表す。

電圧については1.6Vを過ぎるとわずかな変化で急激に電流(明るさ)が増大することがわかる(図8)。

電流と明るさの関係をみると厳密には正比例ではない(図9)。したがって夜空メーターの表示が2倍なっているからといって明るさが2倍になっているわけではないことに注意が必要である。

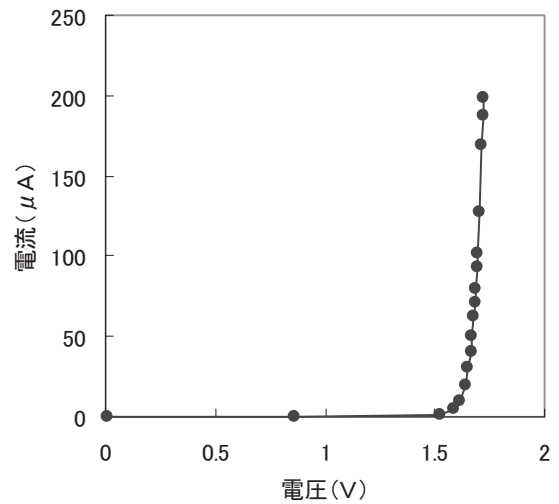


図8. 発光ダイオードの電圧と電流の関係

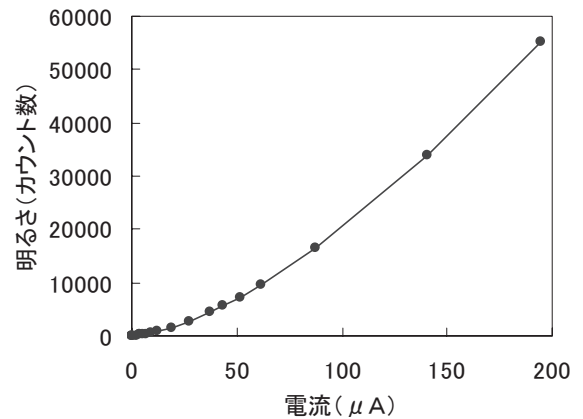


図9. 発光ダイオードの電流と明るさの関係

### 個々の発光ダイオードの明るさ

発光ダイオードを抽出して測定したところ、夜空メーターの表示で10mVのときの明るさは、最大2.1倍の違いがあった。今回の製作でも暗い発光ダイオードは使用しなかった。1台で測定するには問題ないが、他地点と同時観測して比較する場合には等質な発光ダイオードを選び使用するようにしなければならない。

### デジタルパネルメーターの精度

夜空メーターで使用しているデジタルパネルメーターは電圧計である。発光ダイオードに1%級の1kΩの抵抗を直列につなぎ抵抗の両端の電圧を測ることで発光ダイオードに流れる電流を電圧に変換して表示している。デジタルパネルメーターとデジタルマルチメーターで測定した結果を図10に示す。安価ではあるが、誤差は1%以下であり、十分な精度があることがわかった。

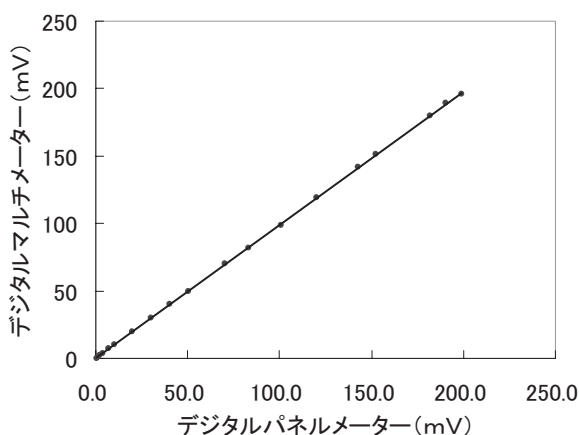


図10. デジタルパネルメーターの精度

表1. 夜空メーターの比較

測定回数	A	B
1	5.8	5.4
2	6.3	6.2
3	5.1	5.8
4	6.2	5.9
5	5.3	5.9
平均	5.74	5.84
分散	0.53	0.29

### 夜空メーターの比較

製作した夜空メーターの中から、2台を選び測定した。全く同じ仕様だがAの方が材料の紙筒の直径がやや太い。測定は7月28日21時に栗原市鶯沢で測定した。Aの夜空メーター、Bの夜空メーターの順に天頂の夜空の明るさを測定し、これを5回繰り返した。表1に示した結果をみると測定値の5%程度の誤差がある。

以上の点から、夜空メーターの精度を人間の目で判

断できる0.1等を目標とすると、発光ダイオード以外は十分な精度があった。発光ダイオードだけは、多数の中から質のそろったものを選ぶ必要がある。

## 3. 夜空メーターの使い方について

### 1) プラネタリウムでの測定実習

夜空メーターの使い方についてプラネタリウムの中で実習を行った。高校生、学生、教員、環境に関心を人など19名の参加があった。始めに夜空メーターの電源や明るさ調整など基本的なことを説明し、街明かりのある星空を投影し、各方位の明るさや北極星や天頂方向、主な一等星の方向の夜空の明るさを測定した。

測定結果をみるとばらつきは大きいですが、初めて操作しプラネタリウムの夜空の明るさを数値で表すことができたので成果があったと考える。感想として、操作は簡単だったという声もあったが、一等星がどれだか

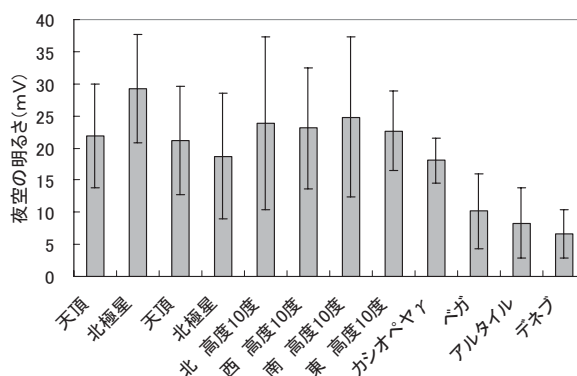


図11. プラネタリウムでの測定結果  
棒は測定値の平均、細線は分散を示す。

分らないという生徒も多かった。

プラネタリウムでの測定実習はたいへん有効であった。初めて、しかも暗いところで操作するので一斉に耳で聞いてわかること。明るい夜空や暗い夜空を演出でき、短時間でさまざまな測定練習ができること。各方位の他、一等星の方向の夜空を測定するので、初心者には測定しながら星座の学習ができること。天体観測に適した夜は月に数日しかなく、その時に安全に実習できる場所は数少ないことなどから有効である。今後は夜空メーターを複数台集めて発光ダイオードの明るさのチェックにも活用できると思われる。



## 2) 夜空メーターの web 公開

夜空メーターの使い方説明書の作成とともに、誰でも利用できるように、“星空観察ネットの広場”に夜空メーターの使い方、記録用紙のダウンロード、関係論文を紹介する web を作成し公開した。協同観測の呼びかけにも星空観察ネットのメーリングリストを活用している。

星空観察ネット勉強会、夜空メーターについて

<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/study/yozora.html>

## 4. 夜空の明るさの測定結果

### 1) 地域ごとの天頂の明るさ

2005 年には 2 回の協同観測を行い期間中にのべ 35 回測定された (表 2)。報告された測定結果の一部を図に示す。測定時刻は 21 時と 23 時である。21 時に



図 12. 9月28日～10月6日までの21時の測定結果  
海側の○は福岡市の測定結果を示す。単位はmvである。



図 13. 9月28日～10月6日までの23時の測定結果



図 14. 10月28日～11月4日までの21時の測定結果  
海側の○はロンドンの測定結果を示す。



図 15. 10月28日～11月4日までの23時の測定結果

観測できても 23 時には曇ることもしばしばあった。図中の丸印の中の濃度で夜空の明るさを示した。

結果をみると、予想通り仙台と栗原市鶯沢では夜空の明るさに明確な差が出ていた。また同じ仙台市内でも、中心部と校外では明るさの違いが出ていた。21 時に比べ 23 時では暗くなっており、仙台では商業施設や家庭の照明光が消灯されたためと考えられる。栗原市鶯沢では、ほとんど暗いまま変化がなく良好な星空環境が保たれている。

仙台で測定をした高校の地学部員は、「郊外と駅前では夜空の明るさが一桁違っていた。結果が数字になるのでわかりやすい」という感想をもっていた。

### 2) 全天の夜空の明るさの時間変化

全天の夜空の明るさの時間変化について、宮城教育大と栗原市鶯沢の測定結果を図 16・17 に示す。夜空メーターで一等星の方向などを測定し、全天を円で表

表2. 2005年夜空の明るさ協同観測結果

2005年夜空の明るさ協同観測結果

No.	測定日	時刻	測定場所	天候	天頂	北	西	南	東	北極星	ミザール	カンオペヤッ	ベガ	アルタイル	デネブ	ペガスス $\alpha$	フォーマルハルト	アルデバラン	カペラ	おひつじ $\alpha$
1	9/28	21:00	宮教大屋上	薄曇り	11	16.5	14.2	20	27.9	12.5		14.6	10.1	10.1	10	17.4			19.3	
2	9/28	23:00	宮教大屋上	晴れ	8.3	18.6	14.2	14.9	24.7	9.5		7.8	9.4	8.3	7.5	7.5	10.1	15.5	9.8	9.4
3	9/28	21:00	岩沼市藤浪		9	14														
4	9/28	21:00	青葉区芋沢	晴れ	7.3	17.9	7.4	10	27.1											
5	9/29	21:20	栗原市鶯沢	まだら雲	3.3	7.3	4.9	10.9	8.5	6.2		6.7	雲	雲	8.5	5.5	8.8			6.4
6	9/29	23:15	栗原市鶯沢	快晴	4.9	5.9	7.4	8.2	11.8	5.5		4.9	5.7	5.4	5.4	4	5.8		6.2	4.8
7	9/29	21:00	泉区北中山1	薄曇り	11.2	11.6	15.2	18.2	18.6	11.2			11.3	16.3	8.6	8.2	12.9	19.1		
8	9/29	21:00	仙台駅屋上	晴れ	44.9	50.6	82.7	51	71.2				53.6	50.9	44.3				38.7	
9	9/29	23:00	仙台駅屋上	晴れ	34.7	26.1	87	35.3	61.5			26.8				28.5			26	36.2
10	9/28	21:10	宮教大9号館屋上		15.1	23.3	21.2	26.1	24.2											
11	9/29	21:00	宮教大9号館屋上	曇り	8.3	13.4	11.1	15.4	14.1											
12	9/29	23:00	宮教大9号館屋上	曇り	16.2	25.5	19.8	17.9	22.4											
13	9/29	21:10	福岡市南区	晴れ	17			18.6	17											
14	9/29	23:00	福岡市南区	曇り				17.9	16.6											
15	9/30	21:00	岩沼市藤浪		14.2															
16	9/30	2:00	八木山エダブランド	晴れ	6.6	19.2	16.3	15.9	19.6											
17	10/5	21:00	宮教大9号館屋上	晴れ	17.2	19	17.8	19.3	25.4											
18	10/5	23:00	宮教大10号館屋上	晴れ	17.2	18	15.2	26.5	11.4											
19	10/5	21:00	若林区中倉3		10.5	14.9	12.9	13.3	13.8											
20	10/5	23:00	若林区中倉4		8.7	10.9	11.9	11.2	11											
21	10/6	21:00	若林区中倉5		9.8	13.5	12.1	14.5	14.8											
22	10/6	23:00	若林区中倉6		7.4	11.8	9.2	11	11.1											
23	10/28	21:00	広瀬川・角五郎	曇り	20.3	24.8	19.2	23.6	35.1											
24	10/28	23:00	広瀬川・角五郎	曇り	25.1	13.5	19	26.4	19.5											
25	10/30	21:00	広瀬川・角五郎		13.6	21.4	19.3	20.6	37.7											
26	10/30	23:00	広瀬川・角五郎		13.4	18.3	14.1	29.7	34.6				17.7	14.5		11.9				12.4
27	10/31	21:00	広瀬川・角五郎		12.3	24.2	16.9	20.3	26.2	16.1		12.6	17.8	19.3	15.7	12	18.2	22.5	19	13.3
28	10/31	23:00	広瀬川・角五郎	快晴	7.9	15.9	11.5	12.8	21.3	13.7		11.1				12.9		12.9	13.6	10.4
29	11/2	22:00	仙台駅屋上	晴れ	40.3															
30	11/2	21:10	電力ビル前		42.4															
31	11/2	21:29	評定河原橋		10.8															
32	11/2	21:17	片平消防署		13.1															
33	11/2	21:02	西公園交差点		17.8															
34	11/4	21:00	栗原市鶯沢	晴れ	5	8.3	9.6	9.4	14.7	5.1		5	6.8	8.9	6.5	4.1		8.4	6.8	5.2
35	11/4	21:00	ロンドン		5.5	13.9	11.2	14.6	22										18.4	

した図に示した。外側の円が地平線を表し、中心に向かって高度30度、60度、中心が天頂である。方位は、上が北で右回りに西、南、東である。測定結果から方位・高度に対応する位置の丸印の中に、夜空の明るさを濃度で示した。測定のないところは、周りの測定値から推定した。塗り方は、Windowsに付属するペイ

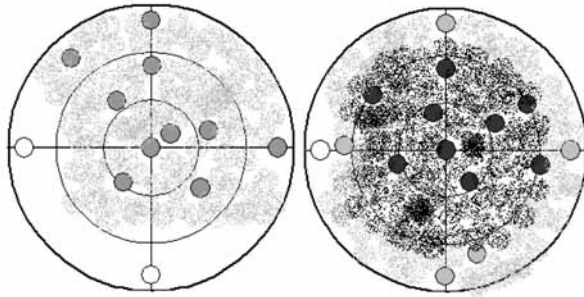


図16. (左) 9月28日21時, (右) 23時 宮教大夜空の明るさは10mV未満を黒で表し, 10mVごとに薄くした。

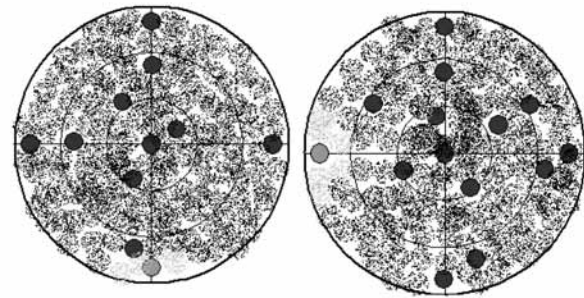


図17. (左) 9月29日21時, (右) 23時 栗原市鶯沢

ントソフトのスプレーによるものなので、学校等でも容易に同様の図を作成できる。

この結果からも、仙台と栗原市鶯沢では夜空の明るさに明確な差が出ている。仙台の中心部からやや離れている宮教大では21時は東から南の方角が明るく、23時になると夜空環境が比較的良くなっている。栗原市鶯沢ではどの方角でも良好な星空環境が保たれている。

## 5. まとめ

夜空メーターの製作と測定では、工業高校と普通高校との連携があり、工業高校生にはものづくりに対する自信と普通科高校生には日本で初めて製作された測定機による研究の面白さを体験させる事ができた。夜空メーターの測定精度は眼視での測定には十分な精度

のあることがわかった。研究会で夜空メーターについて発表し、また新聞に掲載されたことから多くの反響があり、夜空の明るさに関心を持ち実際に測定してみたいという人の多いことがわかった。今後もデータを蓄積していくとともに、現在夜空の明るさはミリボルトで表示しているが星の明るさ同様に等級で表す方法を確立したい。

夜空メーターの測定実習にあたり仙台市天文台のご協力をいただきました。仙台市天文台の皆様に感謝いたします。

**Abstract:** Students at a technical high school developed "Night sky meters" which measure the brightness of the night sky. Earth science club members of another high school, who are interested in the light pollutions, measured the brightness of the night sky. To understand the operation of the night sky meter, a practice meeting was held in the planetarium before an actual measurement. In addition, the explanation and the measuring method of the night sky meter were opened to the public on the website. As the result of measurements, a clear difference was seen in Sendai and the surrounding area. The brightness of the night sky can be obtained by the numerical value at once, and it results in the large educational effects. Moreover, students in technical high school feel confidences as their products are used widely.

## 参考文献

Gote Flodqvist : Pitch-Black Meter, February 2001, Sky & Telescope.

伊藤芳春、高田淑子：夜空メーターの製作と星空環境の測定、宮城教育大学環境教育研究紀要 第7巻 (2004)

## ホームページ

Avery Davis : Light Pollution Meter Information Page by Avery Davis

<http://avery.home.mindspring.com/LPmeter.htm>