

児童生徒による光害調査データ精度向上の方策に関する検討

1. 個々の児童生徒の光害測定誤差を最小限に抑えるための条件

長島康雄*・高田淑子**

Study on Measures to improve Data Accuracy by Students in Light Pollution Survey

1. Conditions to minimize Light Pollution Measurement Errors of Students

Yasuo NAGASHIMA and Toshiko TAKATA

要旨：光害教材は容易に取り組めるものの児童生徒による肉眼による測定であるため測定値にばらつきがみられるという欠点がある。それを改善するために、測定値のばらつきの原因を検討し、その改善策を提案した。月齢や天気の影響、光害を判定するための最適な星座、大気による減光率といった内容である。光害測定の前提条件を整えることが光害教材を環境教育教材として一層の普及につなげることができることを指摘した。

キーワード： 光害調査の誤差、月齢の影響、光害への天候の影響、等級順位曲線

1. はじめに

筆者らは、小中学生が夜空の明るさ調査を行い、その結果をまとめて「仙台市夜空環境マップ」を作成し、環境評価を行うという学習プログラムの開発を行ってきた（長島・成田，2002；長島ほか，2003）。光害は飲料水用の紙容器を加工した測定具で視野を統一し、その視野内の天体数を肉眼によってカウントし判定する。この方法で光害の程度を容易に測定させることができることを明らかにした。また児童生徒が夜空の観察を通して作成した「夜空環境マップの読図」によって自らが住む地域の環境についての理解を深めるといった教育的効果があることについて言及してきた（長島ほか，2004）。しかし光害調査活動を環境教育教材（仙台市天文台，2001，2006）の1つとして普及させていくためには、いくつか解決しなければならない点がある。

それは肉眼による光害測定は容易に取り組める利点を持つ一方、児童生徒の個人差が大きく、データの信頼性をどのように確保するのかについての方策が十分に確立していない点である。

また、これまでの事例研究から天候や月齢によっては近接する地点であっても測定値の異なる場合があることもわかっている。以上のような課題を解決するためには、児童生徒の1つ1つの光害データの精度を高めるための条件を検討する必要がある。

本稿では上記の課題を解決するための打開策について報告する。なお本研究を進めるにあたり平成21年度文科省科学研究助成金奨励研究費（課題番号21908021）を用いた。

2. 光害の測定データのばらつきの原因

これまでの取り組みから明らかになった光害測定によるデータのばらつきを生じさせる原因を図1は模式的に表している。5つの原因が想定できる。光害を測定するにあたり、どの天体を対象にすれば良いのか、日々変化する月の形、月齢をどのように考えるか、観測値の天気によって光害の測定値はどう影響されるか、大気の影響をどのように評価すればよいのかといった点である。特に、どの天体を視野に入れるべきなのかについて、これまでは教育課程上の順序から、

* 宮城教育大学環境教育実践研究センター客員研究員（仙台市科学館），** 宮城教育大学教育学部理科教育講座



図1. 光害測定データのばらつきの要因

便宜的に冬の星座を対象にしてきたが、それが最適であるのかどうかについて検討を加えてはこなかった。光害の測定値の精度を上げるためには避けて通ることのできない課題である。今回の研究を通していくつか提案したい。

残念ながら未だに解決できない光害測定値のばらつきを引きおこす大きな要因は、視力や見え方の程度を判定する個人差である。視力の違いを含めて検討中であるが、打開策を見出すには到っていない。

3. 研究方法

(1) 光害の測定方法

肉眼による光害の測定は、長島・渡辺(2003)で考案した紙容器を加工したものをを用いた。原理は飲料用の紙容器の長さを調節することで視野を統一し、その視野内に見える天体の個数から確認できる限界等級を判定するという方法である。

図2はその原理を模式的に示したものである。上図が紙容器の長さが長い場合、下図が短い場合である。紙容器の長さが長いほど視野が制限を受けて狭くなっていることがわかる。視野と紙容器の長さの関係は三角関数を用いて簡単に計算することができる(長島・渡辺2003, 長島・佐々木ほか, 2003)。

(2) 調査期間と調査地点

平成21年4月1日から11月31日までを調査期間

とした。月齢の影響の評価を4月に実施し、実際の光害測定は5月から開始した。なお後述する月齢との関連をふまえて調査期日を設定した。

継続光害測定地点は地点A(仙台市泉区塩ノ沢)で行った。測定地点から東方が仙台市中心地に相当する。月齢の影響、光害の判定、天気の評価等は地点Aで行った。

光害の方位の影響を検討するために地点B(仙台市青葉区・旧天文台跡地)、地点C(仙台市宮城野区井土浜)で、補助的に光害測定を行った。地点Bは、ほぼ仙台市中心市街地、地点Cが西方に仙台市の商業中

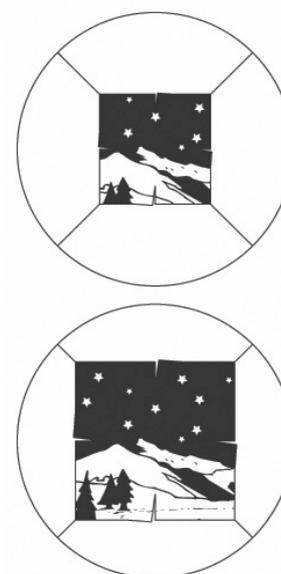


図2. 紙容器の長さと視野の関係

心地があるという位置関係になっている。図3が測定地点を示している。



図3. 調査地点

(3) 月齢と天気の影響

月の光は夜空の観測を進める上で、最も影響を与えている要素である。光害の影響のどんなに小さな自然環境の豊かな場所であっても、満月に近い月が出ていれば、ほとんどの天体を観測することはできない。その意味で月齢は光害の観測をする上で、大きな制限要因となっている。従って月齢をふまえた観測日の設定が必要になる。

児童生徒が教育上問題のない範囲で光害を測定するために想定した時間を夜間の9時から12時とした。その間の月の状態を最適、適、不適の3つに区分した。「最適」とは上述した時間帯に月が全く出ていない状態、つまり月の影響が全くない場合をいう。「適」とは一部の時間帯に月が出ている、あるいは出ていても新月から間もなく月の影響が小さいと判定される場合である。「不適」とは月が光害の測定時に出ていて正確に判定できない場合である。「最適」「適」に該当する期日に光害測定を行った。

3段階に分けた月齢基準をもとにして、長期間にかけて実際にどのくらいの日数で光害測定が可能なのかを検討した。対象となるのは5月1日から11月31日までの7ヵ月間(219日)のうち、上述した月齢区分の「最適」と「適」の2つである。

対象となった日時に実際に夜空を見あげて測定が可能か否かを3段階に分けて判定した。こちらも「最適」「適」「不適」とした。

「最適」とは天頂方向を見あげて雲がない状態、天球の8割に雲がない状態とした。これは天気予報「快晴」に相当するものである。「適」とは雲がある(雲がおおう割合が4割未満)ものの、光害の測定ができる状態とした。「不適」とは雲が4割以上ある状態、あるいは雨などで光害の測定ができない状態とした。この3段階の判定を行った。

(4) 光害を測定する上での対象となる天体

児童生徒による肉眼による光害の測定をする上で、いつ、どの天体を対象にするかは重要である。同じ対象を観測するのであれば、得られた結果を正しく解釈することができなくなってしまうからである。そのために光害を判定するための天体は間違いなく特定できるものでなければならない。

具体的には肉眼で判定することから星座が対象となる。2つの視点から検討した。1つは児童生徒が判別できる星座は、どの星座かを明らかにすることである。加茂中学校の選択理科を受講した生徒に星座の見つけ方の指導を行った後、実際に自力で見つけることができたかどうかをアンケートで答えてもらった。その結果から、実際に光害測定が可能な星座かどうかを検討した。

もう1つは、光害測定を行う際の星座を構成する恒星の等級の特徴について星座毎に等級順位曲線を描いて検討した。等級順位曲線とは、最も見つけやすい明るい等級値の小さい恒星を光害測定の枠の中心にして、星図を用いて等級の小さいものから、つまり明るい天体から暗い天体の順にならべた曲線である。等級順位曲線を描くと星座によってその曲線の形が異なるため、児童生徒にとって光害の判定に適した星座と、そうではない星座とを判別する材料を示すことができる。

(5) 大気による減光率

人里離れた山奥の地点であっても、大気による減光を避けて通ることはできない。図4は大気の減光について模式的に示している。地球上には大気があり、一定の厚さで地球全体をおおっている。宇宙から届く天体の光は、この大気層を通過して観測者の目に届く。同じ観測地点であっても、また同じ天体であっても、

その入射する角度によって光の届き方に違いが出てしまう。天頂方向からの光は大気層を最短の距離で通ることになるが、地平線方向からの光は最も長い距離の大気層を通過しなければならない。

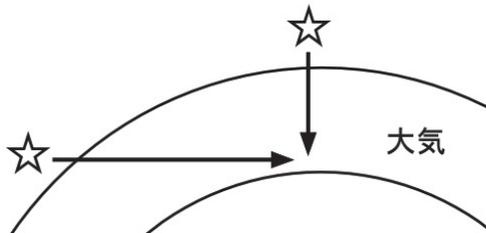


図4. 大気による減光の模式図

そこで既に明らかになっている大気の減光率を文献より援用して、光害の測定を行う上で意味のある天体の高度と星座の関係を検討した。

4. 結果と議論

(1) 月齢の影響の検討

図5は、調査方法でのべた光害測定器具を用いて確認できた天体の数の推移を示している。対象はうしかい座、しし座、おとめ座、おおぐま座である。光害の測定は平成21年4月2日から9日にかけて実施した。月齢は6.5から13.5に推移した。当初はもっと長期間にわたって連続的に月齢の影響を調べる予定であったが、天候の影響で実現しなかった。グラフの中におおよその月の形を重ねた。

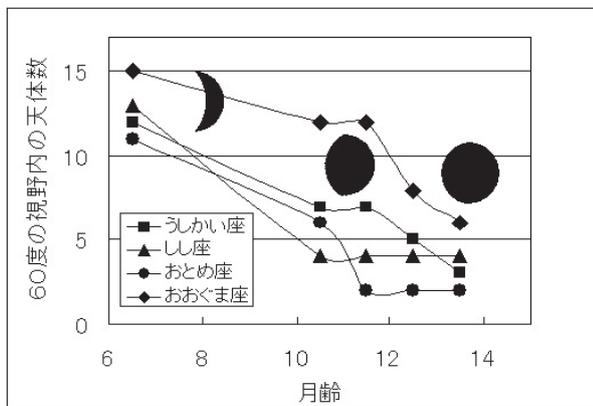


図5. 月齢と視野内の天体数（平成21年4月2日～9日）

4月2日は、月齢6.5で12時過ぎに上弦の月が西の空に沈む。位置としては冬の星座のふたご座の位置である。月から天球上で近い位置にあるしし座は既に見えにくくなっていた。4月3日（月齢7.5）ならびに4日（月齢8.5）は、雲がかかっている天体を見ることはできなかった。5日から天候が回復し継続して光害測定を実施することができた。

5日は月が天球上でしし座の位置と重なった。2等星が、かろうじて確認できる程度であった。一方北の空のおおぐま座（光害測定器具の中に全体が入らないので、実際には北斗七星周辺に相当する。）は、月の光の影響を受けにくかった。

4月8日（月齢12.5）から9日（月齢13.5）は、ほぼ満月に近い形状となり、北の空の北斗七星も見にくくなった。位置はおとめ座の位置となり、春の星座全般が確認しにくい夜空となった。グラフが示すように個々の星座に対して月の光は一樣に影響を及ぼすのではなく、月に近い位置の星座ほど影響を受けることになる。

月齢6.5から13.5までの天体の見えにくさを考慮すると、光害測定のばらつきを最小限に抑えるためには月のない夜空に行く必要があるといえる。

上記の結果をふまえて5月1日から11月31日までの7ヵ月間（219日）のうち、月齢の影響を全く受けない「最適」が69日、「適」が45日となった（表1）。

表1. 月齢と光害測定実施日

月	月齢条件「最適」	月齢条件「適」	光害測定実施日
5	12	8	5
6	10	6	1
7	9	8	0
8	9	6	4
9	9	6	3
10	10	6	10
11	10	5	4
計	69	45	27

合計114日の月齢条件「最適」「適」があったにもかかわらず、実際には27日しか光害測定が実施できなかった。特に梅雨の時期となる6月下旬から7月に

かけては1日も行うことができなかった。天体現象は天候の影響を大きく受けるため、光害測定活動も例外ではない。まとめて観測データを収集できたのは10月だけであった。

(2) 加茂中学校の生徒によるアンケート調査結果

表2、3は仙台市立加茂中学校の選択理科を受講した3年生のアンケート結果を示している。春・夏については3年間分、秋・冬は2年間分である。

選択理科は、例年15～25人程度が前期、後期の2回、年間で50人前後が受講する形となっている。平成19年度から21年度までの3年間、地学分野を中心テーマにして募集を行ってきた。具体的には、簡易望遠鏡の製作、月球儀ならびに火星儀の製作、天体観望の方法として天体望遠鏡の使い方、星座の見つけ方などを扱っている。

事前に星座の見つけ方を指導した後、実際に夜間に星座を観察させた。その際に「自信をもって確認できた」、「おそらく間違いないであろうと思う」、「見つけることができなかった」という3段階で判定をさせた。なお秋の星座に夏の大三角を構成する星座が含まれているが、日没が早まるため秋にも十分に観察対象とすることができるために便宜的に加えてある。

理科を希望して受講している生徒であっても、実際に児童生徒が識別できる星座は決して多くはないこと、そして生徒にとって星座を見わけることが予想以上に難しいかをアンケート結果は示しているといえるであろう。

春・夏については、こと座、おおぐま座、はくちょう座、しし座までは全員が確認することができたが、おとめ座になると19年度で約1～2割の生徒が見つけられなくなっている。光害測定実施前にはていねいに見つけ方を説明しておく必要がある。

秋・冬については、オリオン座、おおいぬ座、カシオペア座、ふたご座、ペガサス座といったところが見つけやすい星座という結果となった。秋から日没が早まることから、夏の大三角を構成すること座、はくちょう座、わし座などは夏だけではなく秋にも観察対象とすることができることがわかった。

表2. 中学生が識別できる星座(春・夏)

季節	星座名	平成19年度			20年度			21年度		
		○	△	×	○	△	×	○	△	×
夏	こと座	17	7	0	16	8	0	10	7	0
春	おおぐま座	11	13	0	11	13	0	12	5	0
夏	はくちょう座	12	12	0	14	10	0	8	9	0
春	しし座	11	13	0	12	12	0	8	9	0
春	おとめ座	14	7	3	10	8	6	6	8	3
夏	わし座	7	14	3	8	13	3	4	12	1
春	うしかい座	7	13	4	5	15	4	8	6	3
夏	さそり座	3	14	7	3	13	8	1	12	4
春	こぐま座	3	10	11	3	11	10	1	9	7
夏	ヘルクス座	0	5	19	0	2	22	0	1	16
春	かに座	0	1	23	0	1	23	0	1	16
夏	いて座	0	1	23	0	1	23	0	1	16
春	ケンタウルス座	0	1	23	0	1	23	0	0	17

※○は自信をもって確認できたと回答した生徒数、△がおそらく間違いないであろうと思うと回答した生徒数、×が見つけることができなかったと回答した生徒数を示す。

表3. 中学生が識別できる星座(秋・冬)

季節	星座名	平成19年度			20年度		
		○	△	×	○	△	×
冬	オリオン座	16	6	0	18	4	0
秋	はくちょう座	12	10	0	13	9	0
秋	こと座	11	11	0	13	9	0
冬	おおいぬ座	12	10	0	8	14	0
秋	カシオペア座	7	15	0	10	12	0
秋	わし座	9	13	0	6	14	2
冬	ふたご座	7	10	5	10	8	4
秋	ペガサス座	3	16	3	4	16	2
冬	おうし座	3	17	2	3	17	2
冬	こいぬ座	6	11	5	3	15	4
冬	ぎょしゃ座	2	17	3	1	13	8
秋	みなみのうお座	2	12	8	2	13	7
秋	ペルセウス座	0	3	19	0	3	19
秋	アンドロメダ座	0	3	19	0	2	20

※凡例は表2に同じ。

(3) 星座を形づくる恒星の等級順位曲線

前述したように児童生徒が認識できる星座が決して多くはないことを考慮して、光害測定の精度を上げるためには、より適した星座を検討する必要がある。そこで前述した星座のうち、児童生徒が認識しやすい星座の等級順位曲線を描いた。

図6は、しし座のレグルスを視野の中心にした星図である。図中の数値は等級を示している。最も明るい天体から暗い天体の順に視野に入る天体を並べると図7のような等級順位曲線を描くことができる。

しし座を構成する恒星を明るいものから順に並べると、レグルス (1.4 等)、デネボラ (2.1 等)、アルギエバ (2.3 等)、ゾズマ (2.6 等)、シエルダン (3.3 等)、アダフェラ (3.4 等)、ラサルス (3.9 等) といった順

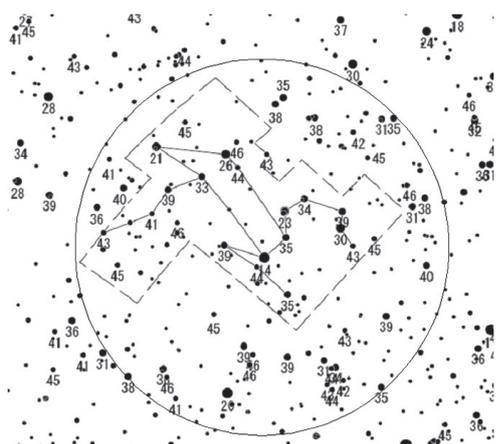


図6. しし座レグルスを中心にした星図

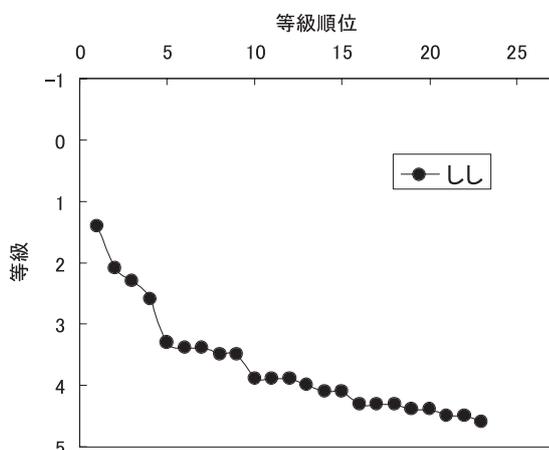


図7. しし座を視野に入れた等級順位曲線

に並べることができる。横軸に明るさの順位を、縦軸に等級をとって曲線を描くと図7のようになる。明るさ順に並べたものであるから、視野の中に何個の天体が確認できたかで、限界等級を読みとることができる。平成21年の場合は土星がしし座の中にあり、明るさは0.4等であったため、実際にはレグルスよりも明るい位置に等級順位曲線に土星を加える必要があった。土星に限らず、木星や火星が観察対象となる星座に近い位置にあるときには留意する必要がある。

惑星への配慮を怠らなければ、明るい星から順に数えていき、その個数から、視認できる限界等級を容易に読みとることができる点が等級順位曲線の利点である。

上述した加茂中学校の生徒が確認できた星座について等級順位曲線を描いたところ次のような3型に分けることができた。

生徒が見つけやすい条件に明るい天体が星座の中にあることが必要であるが、1~2個の一等星と暗い星で構成されるL字型、明るい星から暗い星までが連続している漸減型である。この2つに大きく分けることができた。漸減型のうち一等星のような明るい星を含むものを漸減型Aと呼称し、暗い星が多いものを漸減型Bと呼称する。

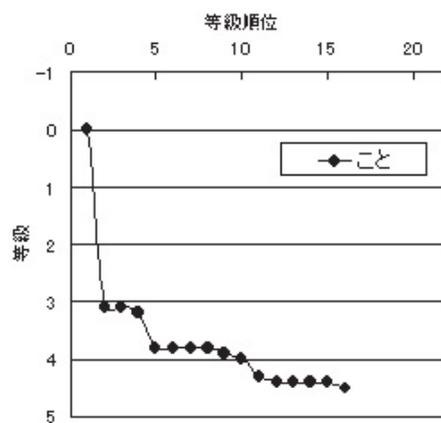
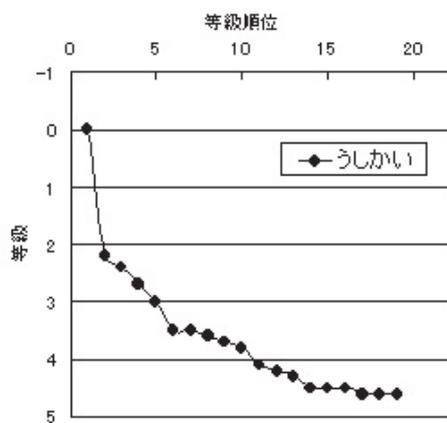
光害の測定の精度を高めるためには漸減型Aが望ましい。明るさの程度が連続していることから視認できる天体数をより細かく読みとることができるからである。図8は、代表的な星座の等級順位曲線を描いたものである。

(4) 大気による減光

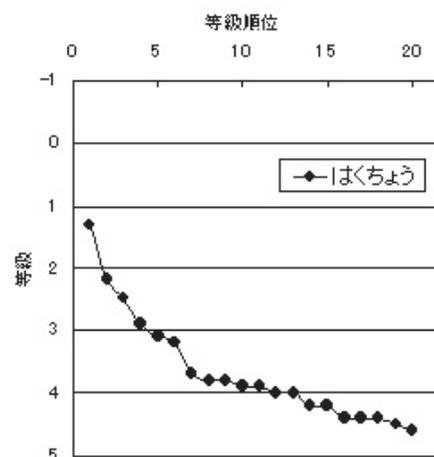
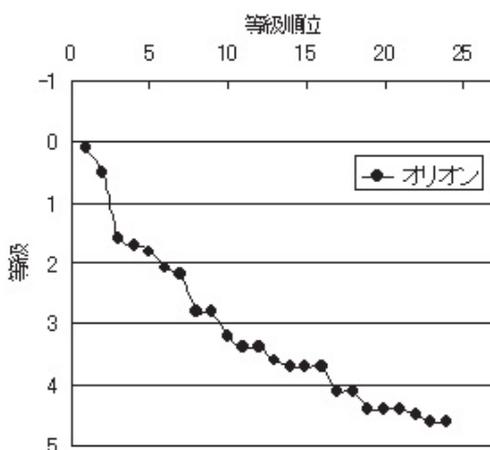
減光率については、天体写真を撮影する際に必要な数値であることから、天体写真の愛好家の要請により大筋で数値が求められている。東京三鷹にある国立天文台における実測値(国立天文台, 2009)や天文年鑑編集委員会(2009)などに数値が紹介されている。ここでは後者の数値(表4)を示す。

天頂方向から来る光を基準にすると、同じ天体が、ほぼ地平線方向(2°)にある場合には等級で3等分まで減光されてしまうことを意味している。地平線付近では2等星ですら視認することができないのである。このことは同じ星座であっても、地表からある程

L字型



漸減型A



漸減型B

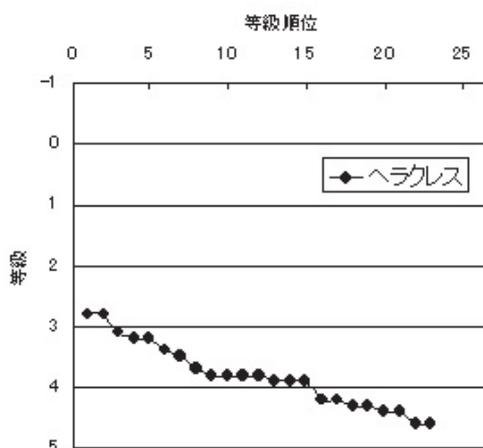
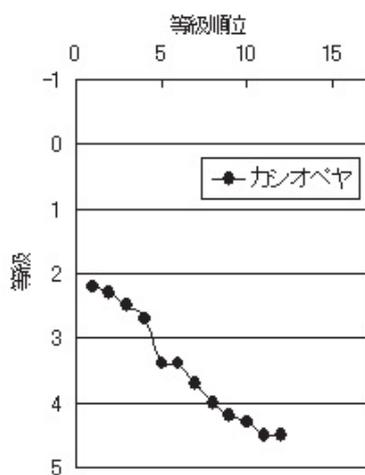


図8. 代表的な星座における等級順位曲線

表 4. 大気による減光量

高度(角度)	減光量(等級)
天頂	0.0
50	0.06
40	0.1
30	0.2
25	0.3
15	0.7
10	1.0
8	1.2
6	1.5
4	2.0
2	3.1

度の同じ高度になれば比較することができないことを意味する。光害の測定データのばらつきを押さえるためには、観測をする際の星座の位置も予め検討しておく必要がある。

観測地の緯度によって、視認できる星座の高度が異なってしまうため、大気による減光量について仙台市を例にして考えてみたい。表 4 の数値から 40° まで許容するという前提で議論する。

8 月 23 日と 24 日の両日にわたって調査地 B・C で光害測定を行った。調査地 B は旧仙台市天文台跡地に隣接する公園で、調査地 C は防潮林に隣接する農道脇で測定した。

調査地 B では直ぐ近くにマンション等が隣接しているため高度 40° では測定が難しい。仮に視野に建物が入らない場合であっても外階段の街灯の光が直接的に紙容器の筒の中に差し込んでくるからである。夜空の明るさを測定するためには高度 60° 以上が必要であった。つまり天頂附近に観察対象の天体がくるような日時設定が必要になる。

調査地 C では北西方向が仙台中心商業地域に相当する。そのため北西方向の 40° 以下は地上からの光

が夜空を照らしているため、もしその数値を調査地 C の光害測定値としてしまえば、大幅に誤差が生じることになる。つまり図 9 のような天頂方向の範囲の測定値をその地点における代表値としなければならないということである。

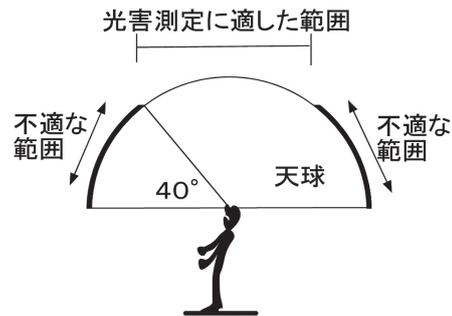


図 9. 光害測定の最適な高度

また光害測定対象の星座を選定する際にも注意が必要である。夏の代表的な星座としてさそり座を対象にしたいところではあるが、図 10 が示すようにさそり座は仙台では南中した際に一部が 30° を越えるものの、大半は 40° 以下である。

つまり光害の測定対象には用いることができない。大気の減光による補正を 1 つ 1 つの天体に対して行うことも可能であるが、測定値そのものを操作することになり、あまりお勧めすることはできない。

5. 個々の児童生徒の光害測定誤差を最小限に抑えるための条件

光害測定を始めた当初は、毎日の観測で相当に忙しくなることを予想していたが、実際には 7 ヶ月のうちで、わずか 27 日しか光害を測定することはできなかつ

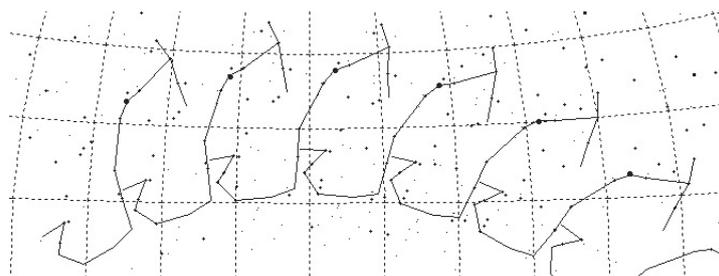


図 10. さそり座の天球上の動き (背景グリッドは高度 10° 毎。Astro arts 社ステラナビゲータ 7 で描画)

た。その理由は天候である。雨は降らなくとも雲が空をおおってしまえば光害測定を行うことはできない。児童生徒に課題として取り組ませる場合は、長期の天気予報を最大限に活用した上で、導入を進めなければならない。

まず事前の準備として、

①測定方法について理解させる。

②児童生徒の自宅周辺を中心に光害の測定に適した場所を確認させる。街灯があつて光害測定の誤差の原因にならないように徹底させる。

③保護者への協力を含め、安全面についても事前に十分に検討する。

その上で、実際の測定上の条件を整える。

④月齢と光害測定予定日から割り出した測定対象となる星座を決定する。対象となる星座の近くに惑星がないかどうか、天文年鑑等を参考にする。

⑤必要に応じて天文シミュレーションソフトを活用する。市販されたものはもちろん国立天文台が提供しているソフトウェア（無料、インターネットからダウンロード可）は、この目的のために力を発揮してくれる。

⑥光害の測定時の「雲量」について、確認させる。雲の有無も光害の測定値に影響を及ぼすので注意をうながす。

こういった光害測定の前提条件を丁寧に確認した上で、児童生徒向けの教材として用いることが光害の測定精度を向上させることにつながる。

引用文献

長島康雄・渡邊章, 2003. 小中学生のための天文教材(2) 紙パックを用いた観測フレーム. 天文教育, 第15巻. 4号. p47 - 52.

長島康雄・千島拓朗・高田淑子, 2004. 学区域から仙台市全域に拡張した光害調査活動とそのスケールアップが持つ環境教育的な意義. 環境教育研究紀要, 第7巻. P105 - 109.

長島康雄・成田忠雄, 2002. インターネット GIS を用いた星空環境の教材化. 日本環境教育学会第13大会要旨集 2F0915.

長島康雄・佐々木佳恵・高田淑子・松下真人・千島拓朗・斎藤正晴・三浦高明, 2003. 中学生が実施した光害調査活動による環境評価活動とその教育的意義. 環境教育研究紀要, 第6巻. P55 - 63.

天文年鑑編集委員会, 2009. 天文年鑑. 2010年版. 343pp. 誠文堂新光社.

国立天文台, 2009. 理科年表. 平成22年版. 1064pp. 丸善.