

# 光害調査における スカイ・クオリティ・メーターの実用性について

2009年12月7日  
塩尻星の会

## 概要 -----

塩尻星の会では、2003～2009年まで、定期的に光害調査を行ってきた。そのうち、2003～2005年の3年間をリバーサルフィルムを用いた写真撮影の方法で、2006～2009年の4年間をスカイ・クオリティ・メーター（以降 SQM と記述）による方法で行った。これら2つの方法を実施した経験から、SQM のメリット、デメリットを明らかにし、SQM が光害調査に有効であることを示したいと思う。

## 1. はじめに -----

### 1.1 SQM 導入の契機

塩尻星の会では、リバーサルフィルムを用いた写真撮影の方法<sup>\*1</sup>で光害調査を行ってきたが、より簡単に夜空の明るさを測定できる SQM が発売されたため、2006年度より、試しに導入してみるようになった。

この機器は、短時間（数秒～数10秒）で測定できる上、それまで実施していた写真撮影による測定と同じ（全国星空継続観察の星空の写真撮影と同じ）測定単位での数値（1平方秒あたりの等級）を得られ、写真による測定結果と比較できるということも導入の理由となった。

### 1.2 導入の背景：以前の写真による計測方法と課題

SQM 導入前の光害調査は、天頂をリバーサルフィルムで撮影し、そのフィルムの濃度を測定する方法で、明るさの数値を測定していた。しかしこの写真撮影による方法には、以下の問題点があった。

- (1) 80秒/150秒/300秒の3コマの撮影を必要とし、1箇所の測定に時間がかかる。また、露光中に雲が出てしまうとデータにならなくなってしまう。
- (2) フィルム濃度の測定に装置が必要なため、自前で測定できない。
- (3) 撮影後、現像と測定が必要なために明るさの数値を得られるまで時間がかかる。

特に、(1)の時間的な問題は、同一夜で測定できる地点が限られてしまうため、シーイングや透明度など同じ条件で測定できる地点が少なくなってしまうことを意味する。

また、(2)のフィルム測定についても、長野市立博物館のご好意で、デンシトメーターによる測定していただいていたため、あまり地点を増やすことができないという事情もあった。

このような理由から、多くの地点の測定を行うことができ、簡単に測定結果が得られるという可能性を持つ、SQM の導入に踏み切った。

\*1 環境省が行っている全国星空継続観察の写真撮影による調査方法と同じ方法で、撮影したフィルムの濃度から1平方秒あたりの等級を測定する。

## 2. 計測方法 -----

### 2.1 SQM の使用方法

SQM の構造は単純(図 1)で、直方体の1面にスイッチ、1面にセンサーと表示部分がある構造になっている。

測定は、センサー部分を天頂に向けスイッチを押すと、ピッピッと音と共に測定する。音が止まると測定が終了し、表示部分に測定値を表示する。

測定時間は、周囲の明るさにより差があり、比較的明るい場所での測定には短時間で計測できるが、暗い空の測定には長めの時間を要する。また、一定時間(仕様としては 80 秒)で測定できない場合は、エラーを表示する。



図 1\*2

SQM は、センサー部 80° の感知角度(図 2)があるため、この範囲に街灯などの光源が影響しないよう、注意して測定する必要がある。

特に、街灯が近い場所では測定値がばらつくことがあるため、かなり広い範囲の光源が影響すると思われる。

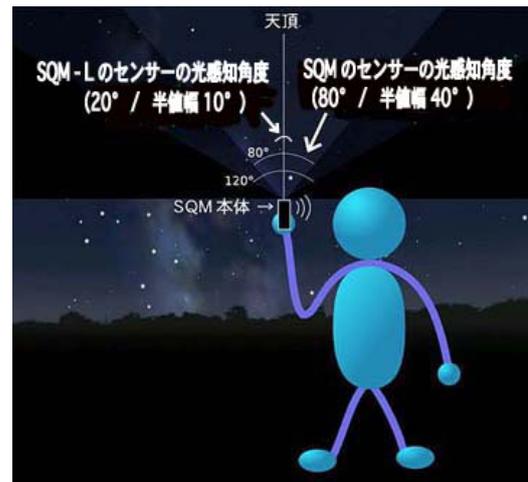


図 2\*3

### 2.2 SQM による光害調査の方法

まず、先行して 2005 年に 2 台を購入し、使用してみた。2 台同時に同じ場所で計測したところ、2 台ともほぼ同じ数値を示すものの、測るたびに数値が多少ばらつくことが分かった。このため、5 回計測した値のうち、最大値と最小値を除いた 3 回分の平均値を測定値とすることにした。なお、計測に要す時間の上限は便宜的に 3 分程度とした(実際は、1~2 分で測定可能)。

2 台での確認の後、追加で 5 台のスカイ・クオリティ・メーターを購入し、光害調査を実施し、以下の調査シートにまとめるようにした。

☆ 塩尻星の会 Sky Quality Meter 光害調査記録用紙										2009年実施		
1	氏名											
2												
3												
4	No.	月	日	時刻	調査地点	測定値					平均値	備考欄
5						第 1 回	第 2 回	第 3 回	第 4 回	第 5 回		
6	1	5月19日	21時15分		塩尻情報プラザ前	17.95	18.19	18.13	18.01	18.04	18.06	街灯の光を避けて測定 曇り。透明度5
7	2		21時25分		中部電力前	18.66	18.63	18.56	18.65	18.53	18.61	
8	3		21時30分		塩尻インターチェンジ付近	18.98	19.11	19.14	19.10	19.15	19.12	街灯の光を避けて測定
9	4		21時37分		南熊井中挟集落センター	19.10	19.14	19.08	19.08	19.10	19.09	街灯の光を避けて測定
10	5		21時41分		田川馬橋東集会所	19.14	19.19	19.14	19.10	19.12	19.13	
11	6		21時52分		片丘小学校東側	19.37	19.32	19.39	19.34	19.32	19.34	
12	7	5月20日	21時25分		長野県畜産試験場	19.14	19.25	19.26	19.32	19.24	19.25	
13	8		21時32分		塩尻インターチェンジ付近	19.07	19.08	19.10	19.09	19.10	19.09	

最大値、最小値を除いた3回の平均値

図 3: 調査シート

\*2 国際光器のウェブページより引用

\*3 国際光器のウェブページより引用

### 3. 計測結果 -----

#### 3.1 光害調査の結果

2003年から行っている、塩尻市内の調査地点は表1のとおりである。

調査地点	地区	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
北小野善知島峠伊藤石材裏	北小野		20.89		19.80	19.62	20.13	19.27
白滝上林間広場	洗馬		20.74		20.74		20.99	19.93
塩尻峠	塩尻東		20.39		19.45	19.17	19.34	19.42
中西奈構造改善センター	塩尻東		20.31		19.45	19.22	19.31	19.05
洗馬小貫部沓沢湖南	洗馬	20.74	20.21		20.09	20.04	20.04	19.48
アステイ片丘下	片丘		20.21	20.03	19.75	19.74	19.86	19.59
宗賀小学校校庭	宗賀		20.18		19.44	19.57	19.20	18.85
片丘小学校東側	片丘		20.03	19.27	18.91	18.92	19.03	19.00
平出遺跡公園	宗賀		20.00		19.25	18.79	19.09	19.26
今景南テクノヒルズ	片丘	19.59	19.98	19.77	19.25	19.48	19.06	19.09
SNR 予定地・人材育成エリア	片丘	19.51	19.95	19.87	19.24	19.45	19.52	19.33
長野県総合教育センター北側	片丘	19.35	19.85	19.53	19.35	19.47	19.65	19.39
信州スカイパーク・ファミリースポーツゾーン	洗馬		19.72	18.87	18.89	19.33	18.98	19.26
広丘小学校校庭	広丘	19.08	19.72	17.02	18.27	17.21	18.85	18.76
リバーサイドパーク堅石・左岸	広丘	19.45	19.69	18.62	18.38	19.33	19.00	19.08
高ボッチ	片丘	20.44		20.79	20.22	19.53	19.47	19.68
町区公民館北側	塩尻東		19.61			19.02	19.21	19.04
中央スポーツ公園運動広場	高出		19.32	16.95	18.66	18.37	18.97	18.80
市立体育館駐車場	大門		19.32	17.74	18.18	17.84	18.26	18.25
吉田東公民館東側	吉田		19.19		18.50			
塩尻情報プラザ前	大門	19.19	19.06	17.51	18.33	17.55	18.47	18.06
赤木山	片丘	19.32		17.54	18.99	18.96	18.82	18.98
長者原公園グラウンド	吉田		18.95	19.19	18.12	18.26	18.46	18.44
野村グラウンド	広丘		18.84	18.13	18.85	18.95	18.40	18.57
吉田郷の子池	吉田		18.19	18.28	18.51	18.43	18.72	18.44
桔梗荘	広丘			18.76	18.12	18.79	18.77	19.04
岩垂原	洗馬			20.13	19.47	19.57	19.31	19.56
野村八幡水苑	広丘		18.16		18.56	18.18	18.83	18.14
北小野地区センター	北小野				19.73	19.42	18.21	18.99
南熊井中採集落センター	片丘				18.81	19.23	18.76	19.09
吉田小学校校庭	吉田				18.31	18.38	18.34	18.45
塩尻駅前	大門				16.54	14.56	17.09	16.31
中部電力前	大門				18.66	18.55	18.56	18.61
塩尻インターチェンジ付近	塩尻東				19.04	19.23	18.93	19.12
櫛川小学校校庭	櫛川				20.71	19.05	20.23	20.06
本山そばの里西側	宗賀				19.73	19.89	20.03	20.04
塩尻東地区センター	塩尻東				18.70	19.16	19.21	19.12
片丘常光寺	片丘					19.37	18.49	19.30
田川中花見橋	高出					19.07	19.18	19.17
長野県畜産試験場	片丘					19.66	19.62	19.25
片丘大宮八幡宮	片丘					18.62	18.40	19.04
産の湯上大沢堤	片丘					19.40	20.25	19.63
高ボッチスカイライン松本線林道入口1	片丘					19.51	20.68	19.85
勝弦、信濃変電所入口	北小野					19.67	19.66	19.60
いこいの森公園	北小野				19.40	20.08	19.64	19.54
チロルの森南側	北小野					20.25	20.16	19.61
霧訪山登山道駐車場	北小野					20.31	20.03	19.28
大芝鉾山入口	北小野					20.25	20.42	19.74
伯茂会館前	洗馬					20.45	20.37	19.63
洗馬小学校	洗馬					19.57	19.49	19.01
奈良井川ライスセンター	洗馬					18.90	19.28	19.37
総合グラウンド	宗賀					18.90	19.01	18.88
高出簡易郵便局	高出					18.33	18.79	18.63
糞川小学校跡地	櫛川					19.79	19.90	20.12
糞川駅前北側	櫛川					19.59	19.80	19.33
くらしの工芸館	櫛川					20.34	20.24	19.70
奈良井宿 SL 前	櫛川					20.10	19.52	19.43
奈良井ダム上流	櫛川					21.05	21.31	20.79
桜沢取水場下流の橋上	櫛川					20.52	20.41	19.90
小坂田公園道の駅	塩尻東					14.73	18.01	17.59
みどり湖直下	塩尻東				19.24	18.94	19.31	19.25
東山霊園	塩尻東					20.03	19.82	19.76
高ボッチスカイライン塩尻線林道入口2	片丘					19.82	19.74	19.93
高ボッチスカイライン塩尻線林道入口3	片丘					19.80	19.61	20.02
野村九里巾集会所前	広丘					17.96	17.64	18.97
堅石原工業団地	広丘					18.68	18.81	18.86
田川高校	吉田					18.86	18.74	18.81
吉田原保育園	吉田					18.67	18.70	18.47
下吉田橋	吉田					19.03	18.97	18.85
下西祭ランド	塩尻東						19.71	19.69
日出塩桜の丘公園	宗賀						19.98	16.45
平出公民館東	宗賀						19.48	19.34
田川馬橋東集会所	片丘						19.38	19.13
塩嶺 CC 入り口	北小野						20.14	19.65
勝弦北側グラウンド	北小野						19.59	19.82
北小野郵便局東側	北小野						18.79	19.11
長興寺東側	洗馬						19.84	19.33
東漸寺南側(奈良井側林道入り口)	洗馬						19.41	19.23
宗賀南部浄化センター南側	宗賀						19.78	19.88
みどり湖・福祉センター前	塩尻東						19.34	19.45
霧訪山登山道入り口	北小野							19.32
北熊井郵便局前	片丘							19.10
宗賀小下	宗賀							18.75
木曾櫛川中学校前	櫛川							20.16
櫛川支所	櫛川							20.08
櫛川保健福祉センター	櫛川							20.03
西部中裏	宗賀							19.48

表 1: 光害調査結果一覧

まずここで注目したいのは、各地点の光害の変化ではなく、写真測定からSQMに切り換えたことによる調査地点の数の影響と、測定値全体の傾向についてである。

調査地点の数は、その年の天候(注:2005年は天候に恵まれなかった)や調査メンバーの人数による影響もあり、一概には判断できないが、少なくとも、写真測定による調査を行っていた2005年までは20箇所程度であるが、SQMによる調査に切り換えた2006年以降は調査地点を増やすことができています。

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
調査地点の数	9	24	18	38	67	79	86

表 2: 光害調査地点の数の推移

写真測定で調査地点の多かった2004年と最新の2009年の調査地図(図4)を比較すると、調査地点の数の差が明らかである。



図 4: 2004年の調査地図



図 4: 2009年の調査地図

調査地点の多い2009年の地図では、市街地と郊外で明るさが違う様子がよくわかり、国道19号沿いに明るい地区が広がっている実態が把握できるようになった(図5)。

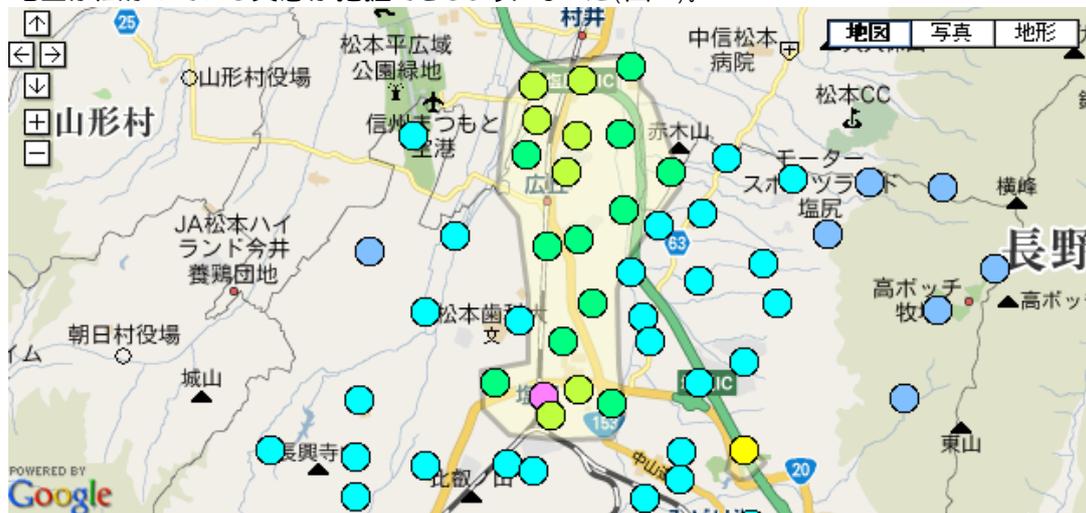


図 5: 2009年の調査地図・拡大

また、調査地点が多いことは、地区ごとの傾向を見る上でも有効であった。

以下、光害調査を実施した塩尻市の 10 ある地区ごとについて、年度別に平均値を算出したものである。

調査地点	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年
吉田地区		18.78	18.74	18.36	18.61	18.66	18.58
広丘地区	19.27	19.10	18.13	18.44	18.44	18.61	18.77
洗馬地区	20.74	20.22	19.50	19.80	19.64	19.75	19.42
片丘地区	19.64	20.00	19.54	19.32	19.33	19.36	19.30
大門地区	19.19	19.19	17.63	17.93	17.13	18.10	17.81
宗賀地区		20.09		19.47	19.29	19.51	18.99
塩尻東地区		20.10		19.18	19.01	19.30	19.29
北小野地区		20.89		19.64	19.94	19.68	19.45
榎川地区				20.71	20.05	20.20	19.96

表 3: 光害調査 地区別平均

地区別平均値のうち、2005 年までの写真測定と 2006 年以降の SQM 測定の傾向が分かる 5 地区について、グラフにまとめた(図 6)。

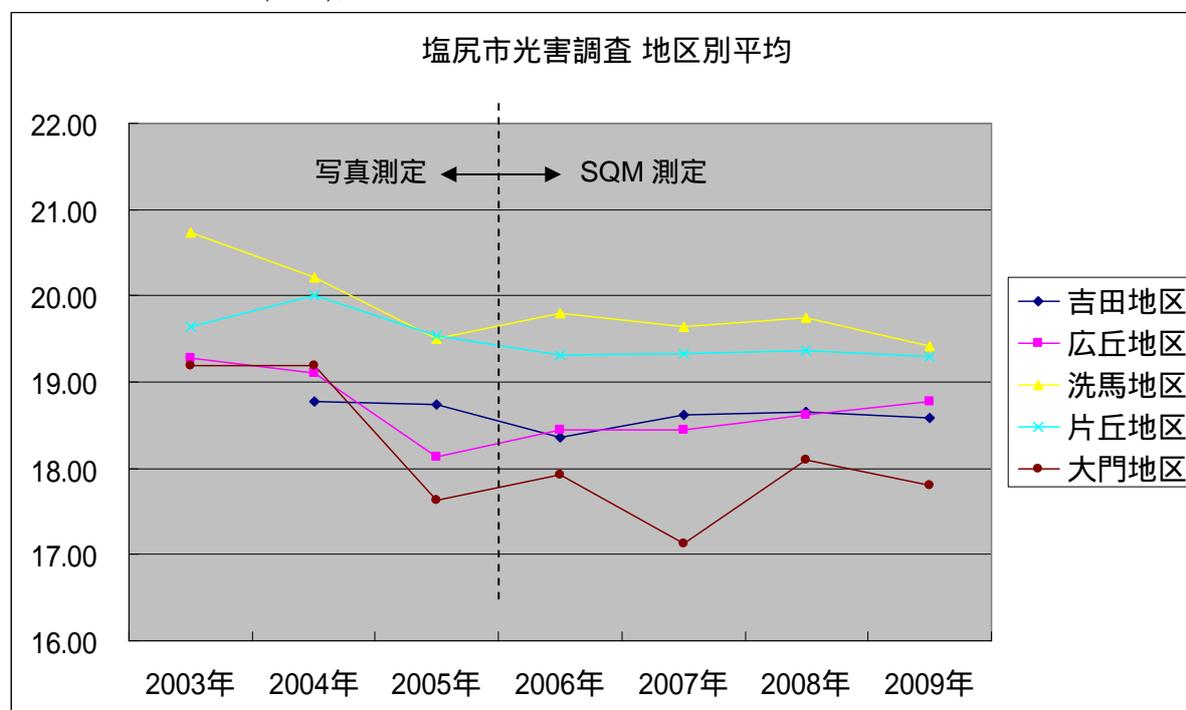


図 6: 光害調査 地区別平均のグラフ

グラフの推移を注目すると明らかであるが、写真測定(2003~2005年)の年ごとの数値のばらつきに対し、SQM(2006~2009年)での年ごとの数値のばらつきが少なく、傾向を確認するために、より有効なデータとなっていることがわかる。これは、調査地点が多いことで、極端に明るい地点など突出したデータの影響が少なくなり、地区全体の傾向をつかめるようになったためと考えられる。

また、懸念していた写真測定と SQM 測定による差についても、2005 年と 2006 年の差を見る限り、差は大きくなく、経年変化による差を考慮すれば、継続したデータとして利用しても問題なさそうな傾向であることが分かった。

### 3.2 写真計測との比較(計測数値)

2005年8月には、試行として2台のSQMを用意し、SQM同士の個体差と、SQM測定と写真測定との比較を行っている。その結果、SQMの個体差、SQMと写真による差はわずかであった。写真による調査は、長野市立博物館のデンストメーターによる測定を依頼した(表4)。

調査地点	日時	SQM1	SQM2	写真
塩尻市広丘	2005/8/29 21:45	18.93	18.99	19.07

表4: SQM調査と写真調査

これらの比較より、塩尻星の会では、SQM測定の数値を写真測定の継続として利用できると判断した。

### 3.3 写真計測との比較(操作性・計測時間)

SQMと写真とでは、測定の簡易性や計測時間において、明らかにSQMに優位性がある。

写真では、カメラ操作による撮影行為が必要な上、さらにフィルムの現像、フィルムの濃度測定などの後処理が必要になる。比較してSQMは、スイッチを押し、測定値を読み取るだけの簡単な操作で計測できる。計測時間についても、露出の必要な写真撮影では、カメラの設置から3コマ露出を含めると1箇所10分以上の時間を要す。一方SQMは、調査用紙への記入を含めても2~3分で調査が終了する。このため、同一夜に測定できる地点を増やすことができるようになった。

### 3.4 測定方法に関する今後の課題

SQM測定を2006年以降4年間継続してみて、いくつか、次のような検討課題が上がっている。

- (1) 感知角度が80°と広いため、直接光が当たってなくても、周囲の光源の影響を受けやすく、複数計測の数値もばらつく(明るさを拾いやすい)。
- (2) 当初行ったSQMの個体差については良好な結果が得られたが、追加購入したSQMの中には個体差が0.15~0.20程度出ることがある。
- (3) 暗い場所での数値が写真計測の値より低いように思われる(SQMでは経験的に21等後半より良い数値が出ないが、全国星空継続観察の結果では、22等や23等という報告がある)。

(1)の感知角度については、改良されたSQM-Lが20°に限定されていることを考え合わせても、測定時に周りを囲うなどの何らかの工夫をした方が良いでしょう。ただ、SQM特有の差よりも、実際の夜空の明るさ(透明度やシーイング、測定時刻の違いなど)の差の影響のほうが大きいので、どの程度の誤差が許容できるかなども、検討する必要があると思われる。

(参考)同一地点で日時を変えて測定した調査サンプル(表5)。

No.	月日	時刻	空の状況	調査地点	地区	測定平均値	SQM 固体番号
1	2009/5/18	21時00分	薄雲	桔梗荘	広丘	18.21	No.2
2	2009/5/19	21時50分	快晴			18.92	
3		21時53分				19.04	No.1
4	2009/9/20	23時30分	快晴	乗鞍・3P	乗鞍	21.21	No.3
5		23時45分		乗鞍・三本滝		21.28	
6	2009/9/21	1時20分				21.58	
7		2時00分				21.62	
8		3時05分				乗鞍・3P	

表5: 同じ場所での調査(調査日時の違い)

1~3については、1と2を比較すると、測定日の条件の違いによる差は0.7あるが、2と3を比較すると、SQMの個体差が0.12と少ないことが分かる。

また、5~7の比較、4と8の比較では、深夜になるにつれ、夜空が暗くなることが分かる。

#### 4. 結論 -----

冒頭申し上げたとおり、塩尻星の会では2003～2005年の3年間、リバーサルフィルムを用いた写真撮影の方法で、2006～2009年の4年間をSQMによる方法で光害調査を継続してきた。

SQM(旧製品)の感知角度仕様による光源の影響を受けやすい欠点や個体差、また写真測定値との多少の差異を考慮しても、以下の優位性により、導入の効果は大きいと考える

- (1) 扱いが容易
- (2) 同一夜(同じ条件)で多くの測定地点を回れる
- (3) 現像やフィルム測定の後処理が不要

特に(2)の同一夜の測定地点を増やせるメリットは、透明度など夜空の条件も揃えたデータを得ることができ、光害マップを作る目的の調査のように面的に多くの地点を測定することが必要な場合に有利である(図5:2009年の調査地図・拡大)。さらに、地区別の明るさの傾向を把握するためにも、より有効なデータが得られそうである。実際、調査結果のグラフ(図6:光害調査 地区別平均のグラフ)では、写真測定(2003～2005年)の年ごとの数値のばらつきに対し、SQM(2006～2009年)での年ごとの数値のばらつきが少なく、地域全体の傾向を示しているように思われる。これは、調査地点を増やせたことにより、各地区全体の傾向をつかめるようになったためと考えられる。

以上のようなことから、SQMは夜空の明るさを測る計測装置として、写真測定に置き換えられると判断できる。

塩尻星の会では、感知角度や個体差など、懸念事項となっている対処についても検討しつつ、引き続きSQM測定による光害調査を続けていく予定である。