

月のシンチレーション測定～LuSciの製作～

○遠藤くるみ、小野寺幸子、尾中敬（明星大学）、大屋真、小林行泰、萩野正興、篠田一也（国立天文台）、一本潔、大辻賢一、木村剛一（京都大学）、宮良碧、野澤恵（茨城大学）、川手朋子（宇宙科学研究所）

概要(Abstract)

太陽観測が行われている観測サイトで、昼夜のシーイング変化調査のため月を使った夜の大気擾乱の評価を行う準備を進めている。測定装置は A.Tokovinin らによる先行研究で用いられた LuSci を再現し、使用予定である。月は太陽に比べ暗く LuSci はアンプ回路を内蔵している。論文に掲載されている回路図を基にまず 1 チャンネル分のテスト基板を製作し、動作を理解するための調査を行っている。その経過報告をする。

1. 観測装置 LuSci とは

LuSci (Lunar Scintillometer) は Tokovinin(2010)の開発した月光を用いたシンチレーションモニターである。[1]

フォトダイオードを光センサーにした検出器を複数個直線状に並べ、光強度を観測する装置である。図のように検出器の間に Web カメラを取り付け、月を追尾する。±15V の安定化電源も使用する。この回路は 0.1Hz 以上の信号をカットするハイパスフィルターになっている。AC/DC の増幅の比は約 45 倍である。また、30 秒程安定するまで待つ必要がある。観測では 5kHz で測定し、見る変動は 500Hz である。

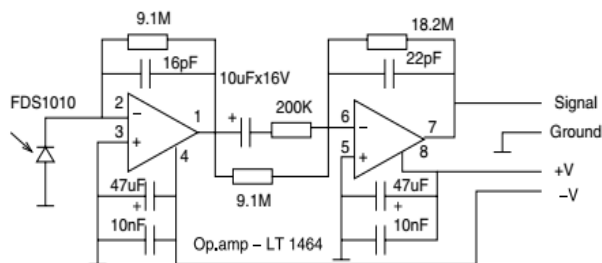


図 1. LuSci の回路図 ([1]から引用)

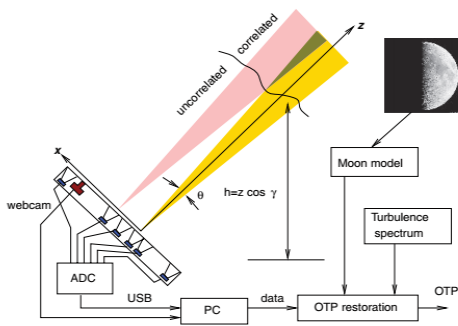


図 2. LuSci の全体図 ([1]から引用)

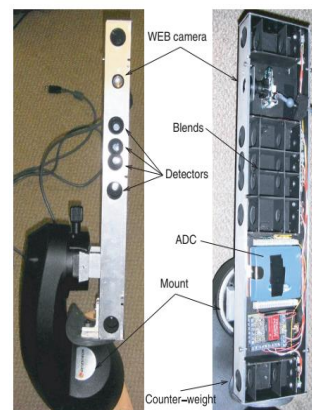


図 3. LuSci の構造 ([1]から引用)

2. 満月時の入射光量での電流値概算

満月時の入射光量でフォトダイオードが出力する電流値を計算する。なお、値はオーダーエスティメ

ートで求める。

感度曲線の三角形を面積の同じ長方形で近似する。(図4)

月をみた時何の光が PD にはいるか [W] は、【"実視等級" $m_v=0$ の"星を地球 (大気外) で観測したとき受ける放射エネルギー"】×【有効開口面積】×【PD の感度がある波長幅 $\Delta\lambda$ 】

入射した光量で PD から出力する電流 [A] は

$$2.097 \times 10^{-12} \text{ W} \times 0.35 \text{ (A/W)} = 7.339 \times 10^{-13} \text{ [A]}$$

理科年表 (2019 年版) より月の実視等級は、月齢 14.8 で平均 -12.6 等級。1 等級上がると明るさは $10^{(0.4 \times 12.6)} = 1.0965 \times 10^5$ 倍

満月時、入射した光量で PD から出力する電流 [A] は $7.34 \times 10^{-13} \text{ [A]} \times 1.0965 \times 10^5 \sim 80 \text{ nA}$

ここで Tokovinin による算出では、満月時の光電流は約 90nA とあるため差が 10nA でオーダーが合っていることが確認できた。

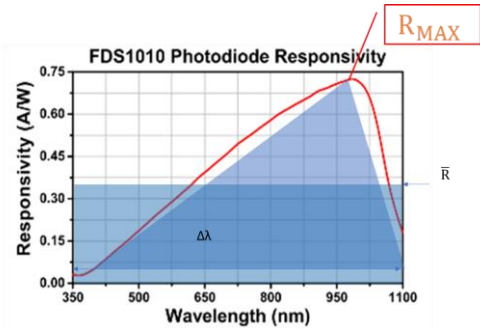


図4. フォトダイオードの感度曲線と近似した長方形

3. 結果

論文の回路図 (図1) とパーツ表 (表1) をもとに、京都大学理学研究科附属天文台と国立天文台の協力により LuSci を製作された。

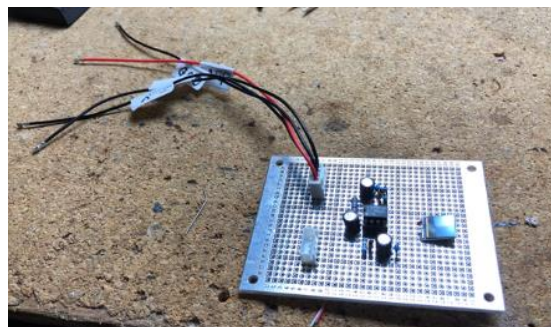


図5. 再現した LuSci の検出器

表1. LuSci の回路に使用する部品

品名・型番	個数
金属皮膜抵抗 1/2W 200kΩ	1
金属皮膜抵抗 9.1MΩ MBB02070C9104FCT00	4
電解コンデンサ 16V 10μF	1
電解コンデンサ 16V 47μF	3
積層セラミックコンデンサ 50V 0.01μF	2
セラミックコンデンサ 50V 16pF	1
セラミックコンデンサ 50V 22pF	1
Photodiode theorlabs.com FDS1010	1
Amplifier Linear Technology LT1464ACN8#PBF	1

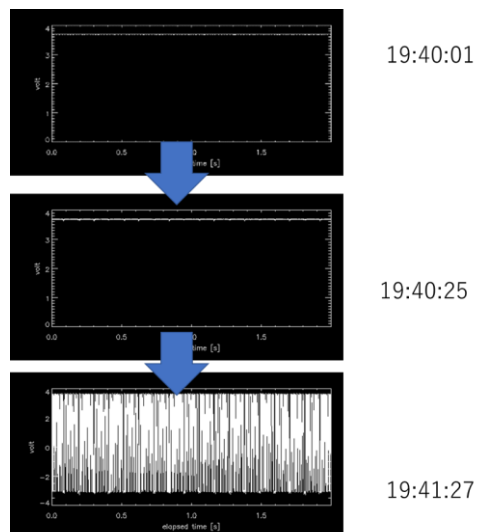


図6. 再現した図5の動作

図5のLuSciの動作を確認すると図6のようにダークの状態から30秒経たずにダークとサチレーションに張り付く現象が起こる。また、再現したLuSciはノイズ対策をしたが動作は改善されなかった。そこで動作不良の原因調査やこの観測装置自体の理解を深めるため、ICソケットを使用して回路の試験がしやすいようにした、テスト用の基板を新たに作成した。

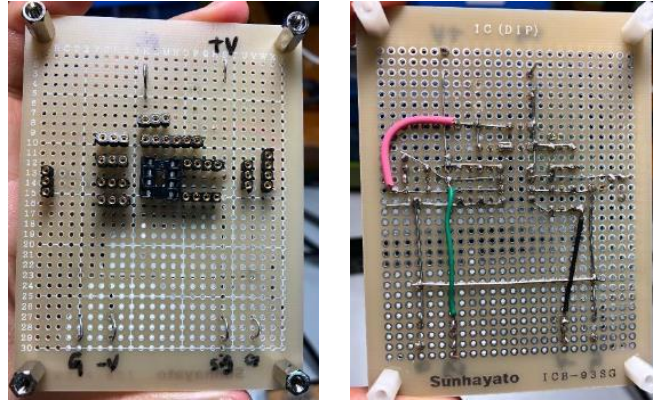


図7. 作成したテスト用基板の表、裏

作成したテスト用基板でオペアンプ動作確認試験を行なった。比較のためオペアンプと抵抗の組み合わせを変え、組んだ回路が予想した出力電圧になっているかを確認した。今回は直流の試験として図1にあるフォトダイオードの代わりに1.5Vの乾電池と抵抗をオペアンプ2番に接続した。

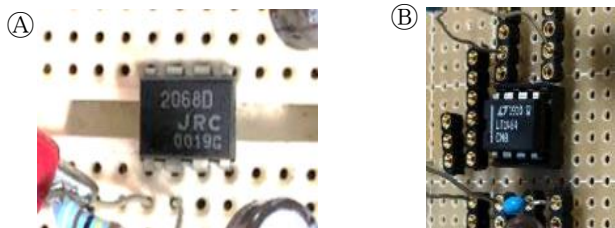


図8. 再現実験で使ったオペアンプ

オペアンプ名	ⒶNJM2068D	ⒷFDS1010
バイアス電流 (カタログ値)	1000(nA・MAX)	20(pA・MAX)

結果は表2、3である。また、図1通りに組んだ直流試験では30秒ほど待つことで抵抗の比通りの出力電圧を得られた。

表2. オペアンプⒶの動作試験結果

試験項目・増幅率	ア. 8.2kΩ	イ. 9.1MΩ
a.1段目 ×-1倍	-1.569V	-2.99V
b.2段目 ×-1倍	-1.566V	-2.99V
c.2段目 ×-2倍	-3.14V	-5.98V
d.1段目+2段目 ×+2倍	+3.13V	+3.21V
e.論文の回路 *	+3.13V	+14.41V

表3. オペアンプⒷの動作試験結果

試験項目・増幅率	ア. 8.2kΩ	イ. 9.1MΩ
a.1段目 ×-1倍	-1.569V	-1.556V
b.2段目 ×-1倍	-1.564V	-1.560V
c.2段目 ×-2倍	-3.14V	-3.11V
d.1段目+2段目 ×+2倍	+3.14V	+3.08V
e.論文の回路 *	—	+14.08V (-3.25V)

4. まとめ

再現したLuSciは動作確認で出力電圧が安定せず、ダークとサチレーションに張り付いてしまう。光には反応しているようだ。

テスト用基板で動作確認試験を行なった。直流試験の結果から、10uFの電解コンデンサは容量が大きいので、これを挿入すると30秒待つ必要があることが分かった。

今後、交流での試験も行い、正しく再現した検出器を1つ作成、のちに複製し、観測できる装置の完成を目指す。

5. 参考文献

[1] A. Tokovinin, E. Bustos and A. Berdja “Near-ground turbulence profiles from lunar scintillometer “(2010) Mon. Not. R. Astron. Soc. 404, 1186-1196

[2] 浜屋ひかり「太陽シンチレーションモニタ観測による明星大学天文台上空のフリード・パラメータの推定」(2018) 明星大学卒業論文

[3] 宮良 碧 「太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発」(2018) 明星大学卒業論文

[4] 山本大二郎 「太陽観測における茨城 SHABAR の妥当性検証及びシーイングの定量化」(2017) 茨城大学修士論文

[5] 自然科学研究機構国立天文台「理科年表 2019」

6. 謝辞

本研究は科研費「分光観測を深化させた太陽観測システムの科学教育への導入」(代表：野澤恵、研究課題番号：17K00958)により行われました。