

皆既月食時の月面の色温度と明るさの関係*

(第15回科学部研究報告)

On the Relationship between Brightness and Color Temperature of Lunar Surface during a Total Lunar Eclipse*

(The 15th Report of the Science Club of Yonago National College of Technology)

永見莉奈****, 田中佐知****, 山根優香****, 永井俊一**, 堀江洸介**,
Rina NAGAMI, Sachi TANAKA, Yuka YAMANE, Syuniti NAGAI, Kousuke HORIE,
尾上創***, 勝部桃子****, 河原匠吾***, 熊本千夏****, 前田夏奈****,
Tsukuru ONOUE, Momoko KATSUBE, Shougo KAWAHARA, Chinatsu KUMAMOTO, Kana MAEDA,
竹内彰継*****

Akitsugu TAKEUCHI

概要

皆既月食時の月面の赤褐色が色温度の何度に相当するのか調べるために2014年10月8日に起こった皆既月食の分光観測を行った。スペクトル画像を解析し、色温度を測定したところ、色温度と月面の明るさに正の相関があることがわかった。また、最近の月食では欠けぎわが青くなる「ターコイズフリンジ」という現象が報告されているが、今回の月食ではそのスペクトルデータも取得できた。

1. はじめに

皆既月食時の月面は赤褐色になる。その赤褐色の「赤さ」は大気中のチリなどによる大気混濁によって皆既月食のたびに変動する。しかし、その「赤さ」を的確に表現する簡単な尺度はいまだに存在しない。例えば、フランスの天文学者ダンジョンが定めた「ダンジョンの尺度(スケール)」は「色」と「明るさ」という2種類の物理量を単一尺度であらわすものであり、本当に色を表す尺度として利用できるのか疑問が残る。

そこで、私たち科学部は「色温度」を皆既月食時の月面の「赤さ」を表す尺度として利用することを思いついた。色温度とは物体の色を、黒体を加熱した時の色と比較して、同じ色となる黒体の温度で表す尺度であり、図1の様に青い空の色温度は12000K、白熱電球は2800K、ろうそくの炎は1800Kとなる。

私たち科学部はまず、2011年12月10～11日にかけて起こった皆既月食時に月の分光観測を行い、その色温度が1900K±100Kであることを示した。しかし、このときは天候が悪く皆既食中に1回しかデータがとれなかった。そこで、2014年10月8日に起こった皆既月食で再度分光観測を行い、そのスペクトルを解析して色温度を測定

したところ、色温度と本影内での明るさに正の相関があることが分かったので、その結果について報告する。

なお、本研究は2015年3月21日に大阪大学豊中キャンパスで行われた日本天文学会春季年会ジュニアセッションにて発表した研究テーマである。

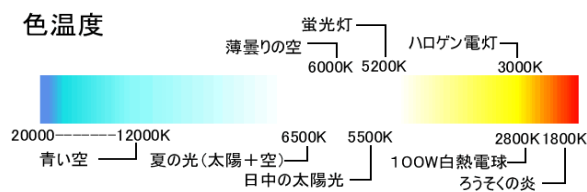


図1 色温度の例

* 原稿受理 平成27年12月4日

** 電気情報工学科 学生

*** 電子制御工学科 学生

**** 物質工学科 学生

***** 建築学科 学生

***** 教養教育科

2.観測

2-1.観測装置

本研究では反射望遠鏡ビクセン VC200L をタカハシの JP 型赤道儀に搭載し、分光器 DSS-7 と CCD カメラ ST402 を装着して観測を行った(図 2)。観測機材の仕様を以下に示す。

望遠鏡 ビクセン VC200L (D=200mm, Fl=1800mm)

分光器 DSS-7

赤道儀 タカハシ JP 型(駆動装置 PD5-XY)

CCD カメラ ST402



図 2 望遠鏡 VC200L を JP 型赤道儀に搭載し、分光器 DSS-7 と CCD カメラ ST402 を装着して観測を行った。

2-2.観測方法

私たち科学部は 2014 年 10 月 8 日に起こった皆既月食時に月の分光観測を行った。初期計画では月食が始まる 18 時 20 分から食が終わる 21 時 20 分まで 10 分間隔で連

続撮像する予定だったが、観測開始後すぐに雲が出はじめ、月食が始まった直後の 18 時 30 分から、皆既食がすでに始まっていた 19 時 50 分にかけてはデータが得られなかった。

しかし、食の最大の時間になると雲が去り、撮影を再開することができた(図 3)。こうして、20 時 00 分から 20 時 40 分の間に 10 分間隔でスペクトル撮像を行い、合計 5 コマのスペクトル画像を得た。なお、露光時間は、スペクトルデータでは 100 秒、画像データでは 0.04 秒とした。

なお、分光観測ではスリットを有名なクレーター、ティコ・ブラーエに合わせて撮像した(図 4)。これは、位置が合わせやすく、図 3 の様に月の南端が本影の中心付近を通過するからである。

その後、ハロゲンランプを用いてフラットフィールドの撮像を行った。

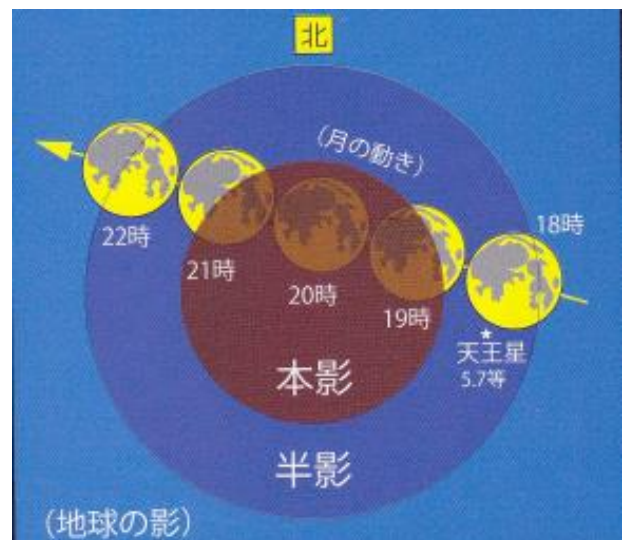


図 3 月食の経過。天文ガイド 2014 年 10 月号より。

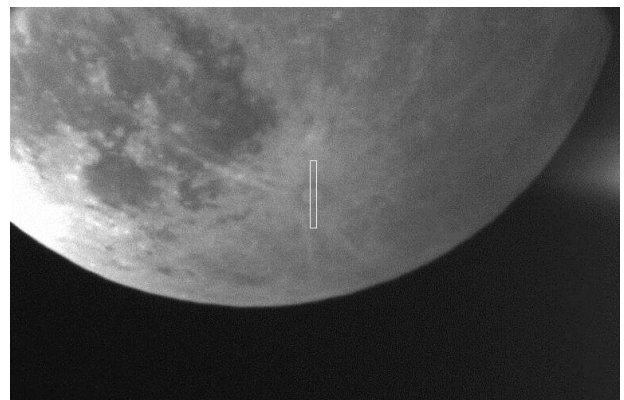


図 4 分光観測ではスリットを有名なクレーター、ティコ・ブラーエに合わせて撮像した。

3.解析

撮像したデータはIDLでダーク、フラット処理を行い、その後、地球大気中のO₂線(波長7593.7Å, 6869.95Å)で波長の較正を行った。そして、フラットフィールドの撮像で使用したハロゲンランプの光が3000Kのプランク関数で表せると仮定して、観測で得られたスペクトルデータから色温度を測定した。

図5に本影中心付近でのスペクトル(20時00分)を、図6に本影外縁部でのスペクトル(20時40分)を示す。これらの図より皆既月食時の月面のスペクトルがプランク関数で比較的良く近似されていることがわかる。このことから、色温度が月面の「赤さ」を的確に表す尺度であることが理解される。

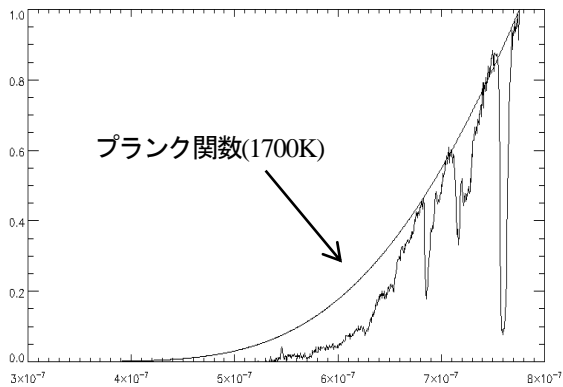


図5 本影中心付近でのスペクトル(20時00分)。

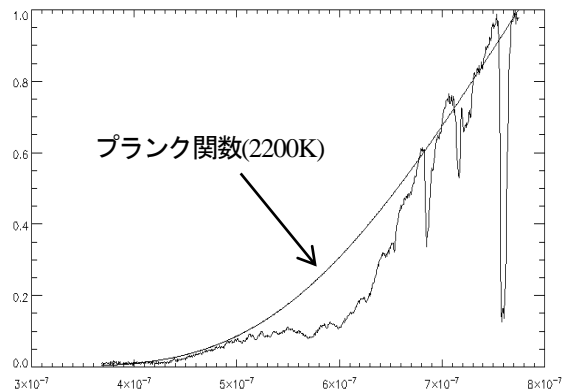


図6 本影外縁部でのスペクトル(20時40分)。

表1 皆既月食中の月面の色温度の時間変化

撮像時間	20:00	20:10	20:20	20:30	20:40
色温度[K]	1745±109	1783±107	1918±103	1968±132	2175±115

4.結果

皆既月食中の月面のスペクトルにプランク関数をフィッティングし、そのフィッティングパラメータとして色温度を決定した。具体的には、科学部の部員全員でフィッティングを行い、その平均から色温度の平均値を、またばらつきから色温度の誤差を求めた。

このようにして求めた色温度の時間変化を表1に示す。表1より色温度が時間の経過とともに高くなっていることがわかる。一方、図3より私たちのデータは皆既月食の後半半分だけである。したがって、時間の経過は本影中心からの距離の増加を表している。このことから、本影の中心から離れるにつれて色温度が高くなっていくことがわかる。

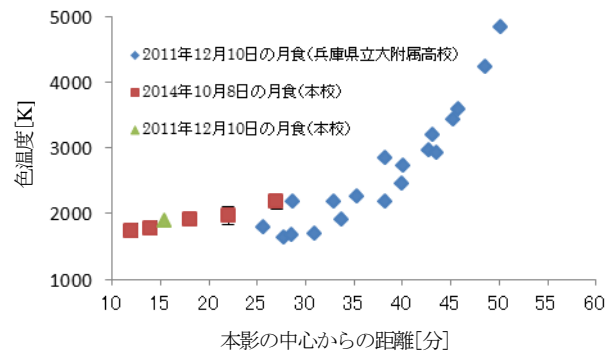


図7 皆既月食中の月面の色温度と本影中心からの距離の関係。

5.考察

前回の2011年12月10～11日にかけて起こった皆既月食では、兵庫県立大学附属高校が色指数と本影中心からの距離の関係を調べている。そこで、その色指数B-Vを以下の式を用いて色温度T_cに変換し、今回の結果と比較した(図7)。

$$B - V = 0.70 \times 10^4 \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{15000} \right) \dots (1)$$

図7を見ると、今回の月食の色温度と前回の月食の色温度が同一曲線上に乗っているように見える。このことから、今回と前回とで地球大気に大きな変化はなく、結果的に色温度と本影中心からの距離の関係が同じになったと考えられる。さらに、今回の皆既月食時の月面の色温度の測定に大きなミスはなかったと言える。

ところで、月食において重要な物理量は本影中心からの距離ではなくその時の月面の明るさである。なぜならば、月面の明るさは地球大気のチリの量で決まり、月面の赤さも同様に地球大気のチリの量で決まると考えられ

るからである。そこで、20時40分の画像の本影外に出た部分の明るさで規格化することにより、色温度と月面の明るさの関係性を調べた(図8)。その結果、色温度と月面の明るさには正の相関があることが示された。今後はこの関係が普遍的なものなのか、月食時の地球大気の状態が変わるものなのか調べていきたい。

ところで、最近「ターコイズフリッジ」という、月の欠けぎわが青くなる現象が数多く報告されている(図9)。そこで、今回の月食のスペクトルデータにターコイズフリッジが現れているか調べたところ、20時40分のスペクトルデータの波長4000~5000Åの部分に盛り上がりが見られた(図10)。波長4000~5000Åというのは青色~緑色に相当するので、月食の赤褐色とは別起源のスペクトルと考えられる。また、この波長4000~5000Åの盛り上がりは、前回の2011年12月10~11日にかけて起こった皆既月食でも存在していた。以上のことから、ターコイズフリッジのスペクトルを観測していた可能性が極めて高いと考えられる。次回の皆既月食では欠けぎわのスペクトルをさらに密に調べ、この盛り上がりはターコイズフリッジによるものなのか?もしそうであれば、本影中心からの距離によってスペクトルがどのように変化していくか調べてみたい。

6.まとめ

2014年10月8日に起こった皆既月食で分光観測を行い、月面の色温度を測定した。その結果、色温度が月面の「赤さ」を的確に表す尺度であることが示された。さらに、色温度と本影内での明るさに正の相関があることが分かった。また、ターコイズフリッジのスペクトルも得られた。

地球から見た皆既月食中の月面の赤褐色は、地球大気を通った太陽光であるため、この赤さを数値化、比較することによって地球大気の状態を知ることができる。したがって、今後は今回求めた関係が普遍的なものなのか、月食時の地球大気の状態が変わるものなのか調べて地球大気の状態をモニターしていきたい。

<参考文献>

- ・A.ウンゼルト著、小平桂一訳、「現代天文学」、1978年、岩波書店発行
- ・「天文ガイド」、2014年10月号、誠文堂新光社発行
- ・「天文年鑑」、2015年版、誠文堂新光社発行
- ・竹内彰継他、「米子工業高等専門学校研究報告」、2012年、No.48、15
- ・「第14回ジュニアセッション講演予稿集」、2012年

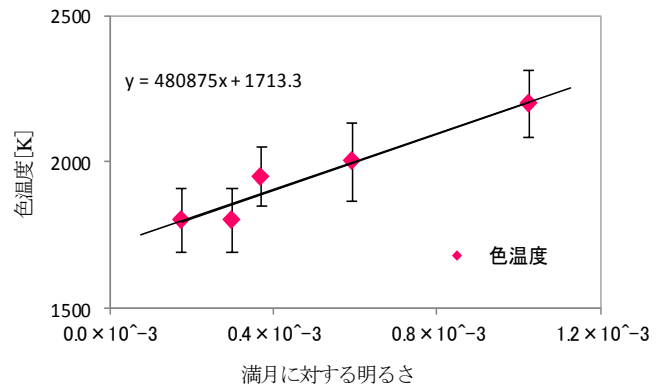


図8 皆既月食中の月面の色温度と満月に対する明るさの関係。



図9 ターコイズフリッジ。天文年鑑2015年版より。

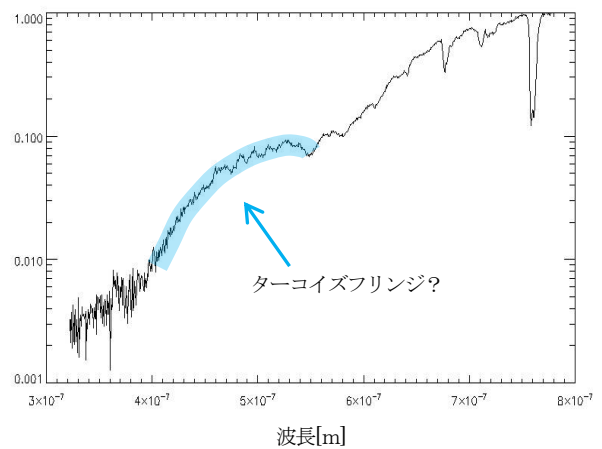


図10 ターコイズフリッジのスペクトル。