

裏磐梯湖沼群の分光放射特性

渡邊 明・鈴木悠也（福島大学・共生システム理工学研究所）

要 旨

裏磐梯湖沼群の水色を分光放射特性の観点から明らかにするため、分光放射計を用いてその特性を計測した。各湖沼水面からの反射分光特性は太陽高度や天気によって変化するため、白色板を用いて水面からの反射分光放射量と白色板による反射分光放射量との比を波長毎に求めることで基準化し、放射特性を求めた。その結果、青系の 450 nm 以下の短波長の卓越する湖沼として竜沼、緑色 - 黄色 - 赤色系の 550 nm から 600 nm の長波域が卓越している湖沼として青沼、瑠璃沼、赤沼、深泥沼、弁天沼、ほぼ可視領域で一様な分光反射強度比を示す湖沼として毘沙門沼、柳沼、弥六沼があげられ、3 つに区分された。

I. はじめに

湖沼の色がそれぞれ異なった裏磐梯湖沼群は、その水色の美しさが観光資源として貴重な役割を有し、季節、天気、時刻によって変化する。裏磐梯の湖沼群の水色については、これまで分析化学的視点から多くの研究がされており、特に、千葉 (1989) は湖水に含まれるアロフェンの散乱が沼の青白色の原因であることを指摘しているが、アロフェン粒子の散乱光のみが湖沼の色を決めているわけではない。湖沼の水の色は可視光線領域の電磁波の反射、散乱光で決まるもので、凡そ 350 nm から 750 nm の波長を有する電磁波の強さに依存している。従って、水深が浅い湖沼では底質など周辺環境や季節、天気、時刻によっても変化している。渡邊ほか (2013) は、こうした観点から分光放射計を用いた観測し、裏磐梯湖沼群の分光放射特性から湖沼群を区分している。ここでは、2012 年に続き、それぞれの湖沼がどのような反射・散乱特性があるか、直接分光放射計を用いて計測することで、それぞれの湖沼の水色の特性を理解することを目的として、観測を継続してきた。ここではその結果について報告する。

II. 測定方法

測定方法については、渡邊ほか (2013)、渡邊

(2012) と同様で、350 nm から 1050 nm の可視光線領域を中心とする分光放射観測として英弘精機株式会社製 MS-720 の携帯型を用いた。この MS-720 分光放射計は、ドイツの Zeiss 社製の分光器を用いた回転格子により分光した入射光を 256ch のシリコンフォトダイオードアレーによって検出するもので、波長分解能 3.3 nm で計測できる。なお、温度補正機能を有しているものの、観測精度としては 5% 程度の温度依存性がある。さらに、入射筒を差し替えることによって入射角 180°、90°、10° の三段階で計測可能になっているが、ここでは限定された領域の放射量を計測するため、入射光を 10° に設定し、限定した水面からの分光放射量を計測した。なお、太陽高度角や天気等によって放射量が変わるため、時間差を 1 分以内で標準白色板（日本色彩研究所製、380 nm～780 nm の電磁波の反射率 90.0%）の反射光を同装置により測定を行い、ここでは湖沼水面からの反射・散乱光と白色板からの反射光との比率で基準化することで、各湖沼の反射・散乱特性を抽出することを試みた。

III. 測定結果

図 1 に裏磐梯湖沼群のうち今回対象とした五色沼湖沼群の位置を示す。このうち毘沙門沼、赤

沼、深泥沼、竜沼、弁天沼、瑠璃沼、青沼、柳沼、弥六沼の9つの沼で2013年5月25日、11月22日に観測を実施した。



1. 毘沙門沼

図2は5月25日と11月22日に毘沙門沼で測定した水面からの分光放射強度である。実際に水色として見ている分光放射強度で、可視領域では450 nmから550 nmの波長が相対的に卓越している。すなわち、目視では季節によらず青から緑色に見えることを示すものである。しかし、この分光放射強度は太陽高度や季節、周辺環境に依存する反射光や散乱光が含まれている。従って、毘沙門沼水固有の反射・散乱特性を計測するため白板の反射光との比を波長毎に比較することによって、太陽高度や季節、周辺環境の影響を除くことができる。

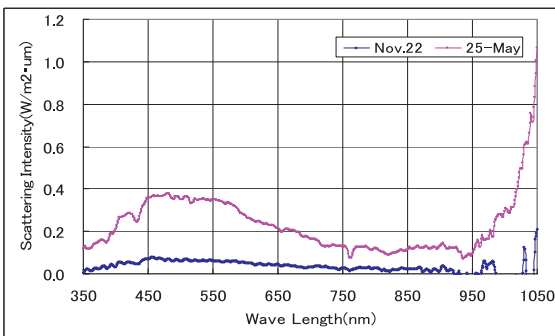


図2 毘沙門沼水面からの分光放射強度

図3は、水面からの分光放射強度を、白色板の分光放射強度で割った、波長ごとの比を示したものである。毘沙門沼の5月22日の東部、西部と11月22日の分光放射強度の比を示す。分光放射

強度比の分布形態は非常によく類似し、450 nm付近の波長域の比が相対的に大きくなっている。しかし、分光放射強度比の大きさが観測毎に大きく異なっている。特に5月25日の観測では同じ沼で水質が同じにもかかわらず、全波長帯域で差が生じているのは、水生植物の繁茂や沼底の環境の変化によるものと考えられる。

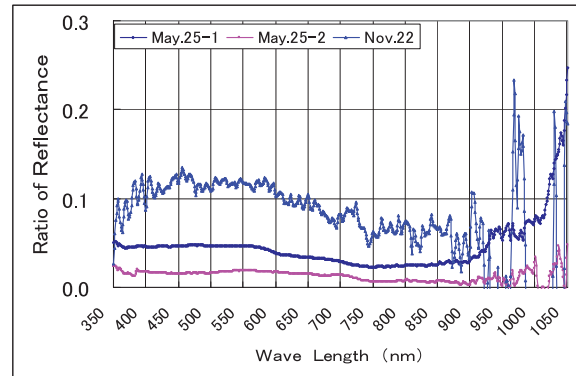


図3 毘沙門沼水面と白色板との分光放射強度比

2. 赤沼

図4に赤沼で観測した水面からの分光放射強度と水面と白色板の分光放射強度比を示す。5月25日と11月22日の分光放射強度を比較すると、570 nm付近に1つのピークがあり、緑から黄色系の色が卓越していることが分かる。また、5月の観測では700 nm以上の波長帯域で放射強度が減衰しているが、11月では大きくなっている。これは赤色系の色が卓越していることを示すものである。5月22日の観測での白色板との比では500 nm付近と700 nm付近に相対的に分光放射強度比の大きいところが検出され、緑と赤色領域で白色板に対して反射強度が大きくなっている。これは、基本的に沼水に赤色系を散乱する粒子が含まれているわけではなく、酸化鉄などの沈着による沼底の色や、水中植物による反射が関与しているものと考えられる。すなわち、分光放射観測結果を見る限り、赤沼の色は沼底からの反射光によるものと考えられる。

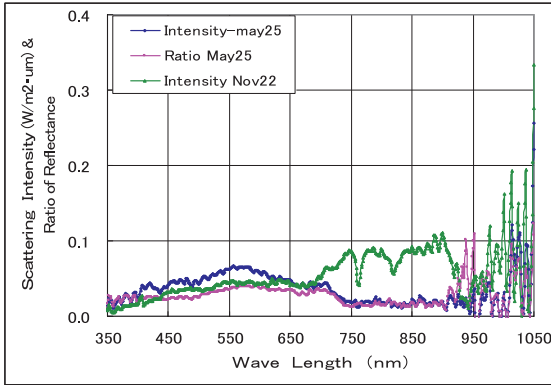


図4 赤沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

3. 深泥沼

前述同様に深泥沼の測定を行い、図5に深泥沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比を示す。5月25日の分光放射強度観測では、550 nmと750 nmにピークが出現している。しかし、11月22日の観測では770 nm付近にピークを持つ分光放射強度が観測された。5月と比較しても大きな違いを有している。また、渡邊ほか(2013)の昨年度の観測結果とも大きく異なっている。すなわち、これは水質による分光放射強度の変化というより沼水中の環境変化が分光放射強度を大きく変化させているものと考えられる。5月25日の水面と白色板との分光放射強度比では550 nm付近の深泥を表す緑色系と700 nm付近の赤色系で相対的に大きい反射率を示している。

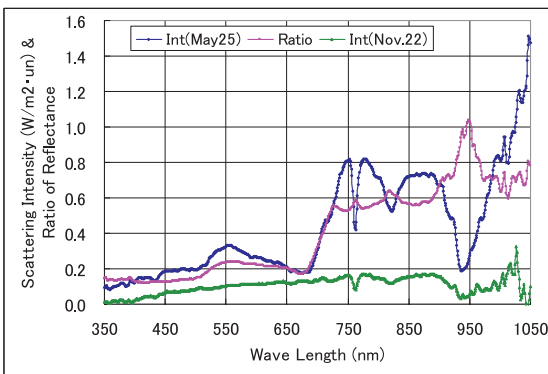


図5 深泥沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

4. 竜沼

竜沼の水面からの分光放射強度と水面からの分光放射強度と白色板からの反射分光放射強度の比を図6に示す。5月25日と11月22日の分光放射強度を比較すると、5月の観測に比べて11月の分光放射は非常に弱い。また、5月の観測では450 nmから650 nm付近の短波長域で相対的に強くなっており、青から赤系の色が卓越している。11月はピークもなく全波長帯域で弱くなっている。また、分光放射強度比では、相対的に短波長域ほど強く、400 nm付近の青色帯の波長域で相対的に強く反射している。また、もう一つのピークとして、いずれの観測にも700 nm付近で相対的に強くなっている。これは、渡邊ほか(2013)でも指摘されていることであり、竜沼の水質的な特徴と考えられる。

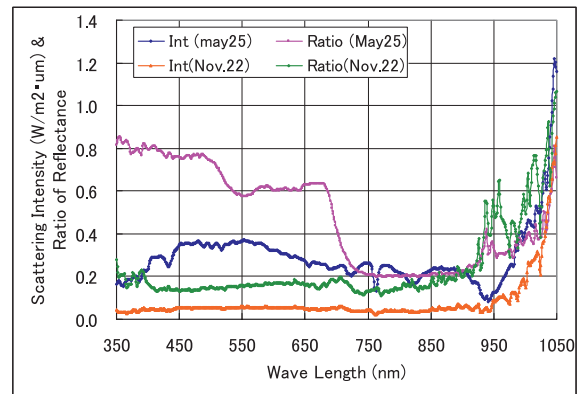


図6 竜沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

5. 弁天沼

弁天沼の水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比を図7に示す。5月25日の分光放射強度と11月22日の分光放射強度は大きく異なっているものの560 nmと700 nm付近にピークを持つ強度分布を示す。また、白色板との放射強度比では380 nm, 570 nm, 730 nm付近に相対的に大きい強度比を示している。渡邊(2012)は、2012年の分光放射強度の観測で560 nm付近のピークがあることを指摘しており、今回の5

月の観測と一致している。また、11月の観測では分光放射強度は強くないが、分光放射強度比は相対的に400 nm, 600 nm, 710 nm付近で大きくなっており、2012年の観測で430 nmから630 nm付近で分光放射強度比が卓越していたことと対応している。従って、水質依存性が強いと考えられる。すなわち、水中にこの波長帯域を反射・散乱する粒子が含まれている可能性が高いと考えられる。

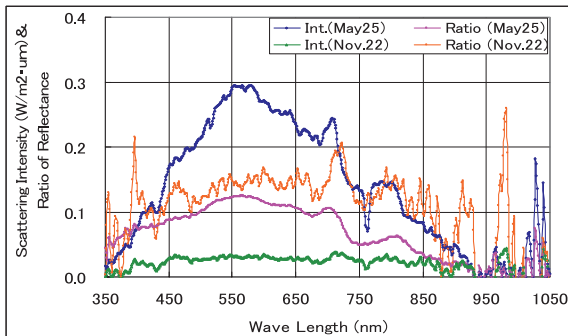


図7 弁天沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

6. 瑠璃沼

瑠璃沼の水面からの分光放射量と白色板との分光放射強度比を図8に示す。瑠璃沼の水面からの分光放射量は550 nm付近にピークを有し、渡邊ほか(2013)の2012年の観測結果と類似している。また、白色板の分光放射強度比では、630 nm付近の帯域で相対的に大きくなっている。これは、2012年の観測でも顕著に出現していた波長帯域である。さらに、370 nm付近の帯域でも2012年の観測と同様、可視光の中で相対的に顕著なピークが出現している。水色としては緑色が卓越していることになるが、反射・散乱強度比として赤系列が相対的に強くなっていることがわかる。これらの特性は季節等によらないことから、瑠璃沼の水質の特徴としてこうした帯域の反射・散乱させる粒子の存在が推察される。

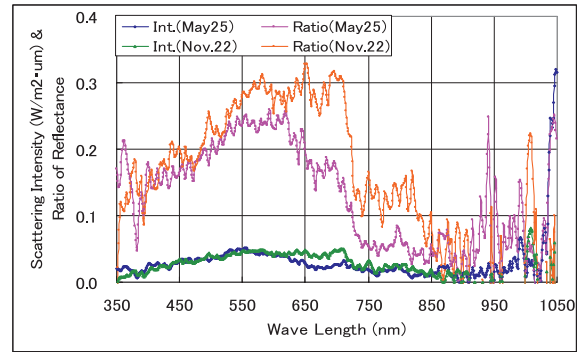


図8 瑠璃沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

7. 青沼

青沼の水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比を図9に示す。分光放射強度では、700 nmより長い波長帯域で相対的に強くなっているが、分光放射強度比では370 nm(紫色)付近に10%程度のピークが存在し、青色に対応する放射特性を示している。これは、2012年の観測でも同様で、水中にこれらの波長域を反射・散乱させる粒子が存在することを示すものと推察される。

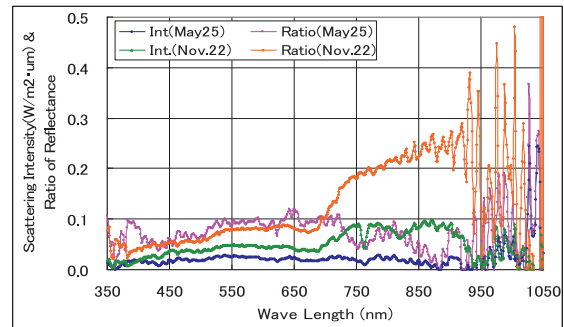


図9 青沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

8. 柳沼

柳沼の水面からの分光放射量と白色板との分光放射強度比を図10に示す。分光放射強度では、全体的に顕著なピークは見られないものの、やや550 nm付近にピークが出現している。また、分光放射強度比でも、近赤外領域を除いて、550 nm付近をピークになっているものの、特別顕著な比

を示す波長帯域は存在しない。特徴的な反射・散乱波長帯域が認められないのは 2012 年の観測と一致しており、特に水色を決める散乱・反射する粒子状物質が含まれているとは考えられない。

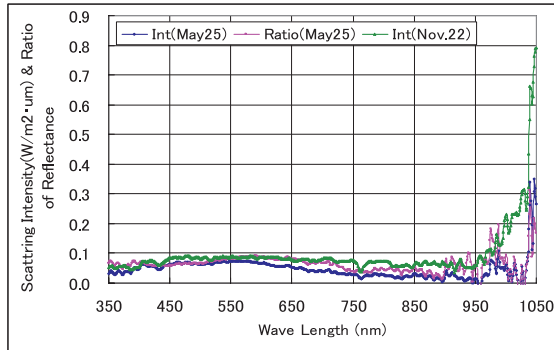


図 10 柳沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

9. 弥六沼

弥六沼の水面からの分光放射量と白色板との分光放射強度比を図 11 に示す。弥六沼では短波長から長波長にかけてほぼ同じ分光放射強度を示すと同時に、白色板との分光放射強度比も、可視領域の全波長帯域で 10%前後とほぼ同じ値を示す。

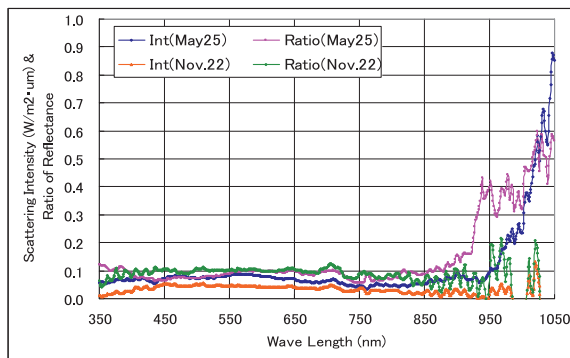


図 11 弥六沼水面からの分光放射強度と白色板との分光放射強度比

IV. まとめ

裏磐梯湖沼群の水色を分光放射特性の観点から明らかにするため、分光放射計を用いてその特性を計測した。各湖沼水面からの反射分光特性は太陽高度や天気によって変化するため、白色板を用いて水面からの反射分光放射量と白色板によ

る反射分光放射量との比を波長毎に求めることで基準化し、放射特性を求めた。その結果、青系の 450 nm 以下の短波長の卓越する湖沼として竜沼、緑色 - 黄色 - 赤色系の 550 nm から 600 nm の長波域が卓越している湖沼として青沼、瑠璃沼、赤沼、深泥沼、弁天沼、ほぼ可視領域で一様な分光放射強度比を示す湖沼として毘沙門沼、柳沼、弥六沼があげられ、3 つに区分された。この区分は千葉 (1989) や國井ほか (2013) が示した、水質特性とは異なる区分になっている。また、五色沼は全体的に青色が顕著な湖沼群であるが、可視領域の短波長側に分光放射強度比が大きい沼は竜沼だけと少なかった。また、渡邊ほか (2013) は、近外赤外の比の大きさから竜沼、弁天沼に対して、次いで大きい比を示す青沼、弥六沼、柳沼、最も小さい瑠璃沼、深泥沼、赤沼、毘沙門沼と 3 つに区分している。今回の測定結果はそれとも異なっている。今後これらの結果を含めて、裏磐梯湖沼群の分光放射特性を明らかにする必要がある。

引用文献

- 千葉 茂 (1989) 裏磐梯五色沼の水質と水色, 科学と教育, Vol.37, No.5, 42-45.
- 國井芳彦・渡邊 実・佐久間智彦 (2013) 裏磐梯五色沼湖沼群の湖水の化学的な成分に関する調査結果, 共生のシステム, Vol.13, 26-37.
- 渡邊 明・鈴木悠也・酒井貴紘・高貝慶隆・松枝 誠 (2013) 分光放射観測による五色沼の水色, 共生のシステム, Vol. 13, 151-156.
- 渡邊 明 (2012) 分光放射計を用いた水色の解析, 裏磐梯五色沼湖沼群の環境調査中間報告, 31-33.