

## 青森県・十二湖青池の水質について：イオン成分濃度の解析

花石竜治 菩提寺誉子<sup>1</sup>

青色に呈色する青森県・十二湖青池、およびその隣接湖沼で青色を呈さない鶏頭場ノ池の湖水について、2023年4月から10月までの毎月のイオン成分濃度を解析した。イオン濃度のクラスター解析を行った結果、両湖沼の源泉は、アルカリ土類炭酸塩型およびナトリウム塩化物型の二つと推定できた。また、両湖沼のイオン濃度の比から、鶏頭場ノ池においては、それぞれ雪解および梅雨の時期である4月および7月に、青池湖水の伏流水流入量に対する流入河川の相対的な流入量が増加し、マグネシウムイオンなどの濃度比の低下が起こったと考えられた。

Key words : Ao-ike Pond, Ionic concentration, Multivariate analysis

### 1. はじめに

湖沼の呈色は水質を反映し、水質の化学は地下水流入、湖面への降水および流入河川からの寄与などの物理的現象によって規定される。呈色のうち、青色は水体(water body)の基本的な呈色として重要であるが、青森県には青色湖沼として有名な十二湖青池（じゅうにこ・あおいけ）がある<sup>1)</sup>。

花石ら<sup>2)</sup>は、青池およびその隣接湖沼である鶏頭場ノ池（けとばのいけ）の湖水を、2023年4月から10月までの各月に採水し、その分析結果を報告した。そこでは、pH、EC（電気伝導度）、DO（溶存酸素）とともにイオン成分の測定結果を議論し、青池において植物プランクトンの影響が少ないことがその青色呈色と関係があると推定した。

既報<sup>2)</sup>では、イオン成分濃度の組成比から両湖沼の水質を概観してアルカリ土類炭酸塩型とした。測定した無機イオンは、青色呈色には直接的には関与しないが、湖水の源泉などを推定する上で基礎的な情報となりうると考えられる。イオン成分濃度の季節変動としては、既報<sup>2)</sup>では、変動が明瞭だった鶏頭場ノ池のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>以外は検討しなかった

そこで今回、陸水循環の見地から、湖水の流出入の情報を得ることを目的として、両湖沼のイオン成分濃度を多変量解析法などによって解析したので報告する。

### 2. 調査対象地域

青森県・十二湖は青森・秋田両県に跨る世界自然遺産白神山地の青森県側の山麓に位置し、青森県西津軽郡深浦町に属する。

青池は十二湖の最も高位にあり、湖面の標高が海拔243 m、湖面積975 m<sup>2</sup>の小さな湖沼である<sup>3)</sup>。その湖水は主に地下水によって涵養されているとされ、流出入河川や沢がない閉塞湖で、周囲は急峻な崖で囲まれている。湖水の水温は年間を通してほぼ10℃台で冬季に結氷しない<sup>4)</sup>。また、最大水深約9 mの湖底が見えるほど青く澄んでおり、透明度は全透である。

青池の湖水は、一部が伏流して北に隣接する鶏頭場ノ池に注いでいると考えられている。鶏頭場ノ池には崩山（くずれやま）からの流入河川もあり、その流入規模は青池からの伏流水よりも大きいとされている<sup>3)</sup>。鶏頭場ノ池は、湖面積41,200 m<sup>2</sup>、最大水深22 mとされている<sup>3)</sup>。青池と異なり湖面は目視では濁り、青くなく、また冬季に結氷する<sup>4)</sup>。

1 青森県環境政策課

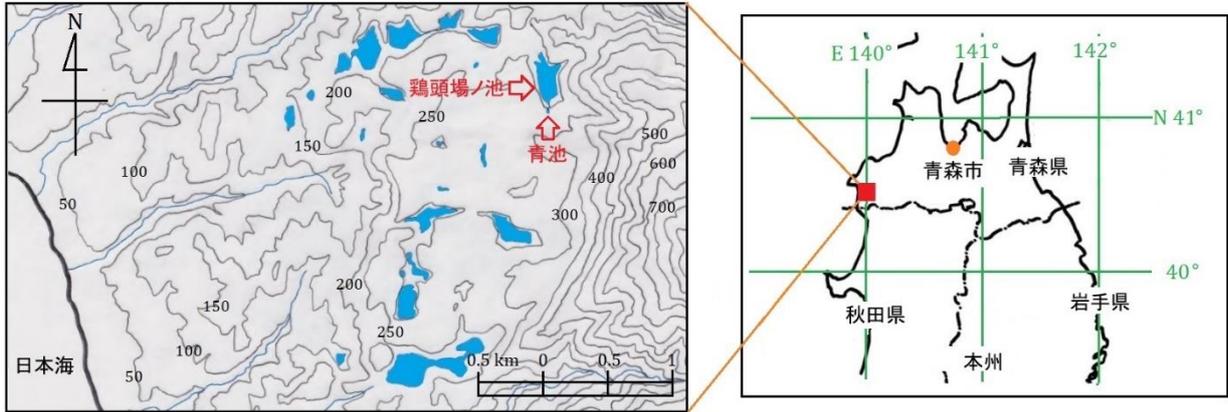


図1 調査対象地域。左の等高線図上の数値は標高(m)

### 3. 方法

イオン成分濃度は、2023年4月から10月まで月1回、湖岸から表層水を採水し、既報<sup>2)</sup>に記述した方法で測定した。測定項目のうち、分析対象としたイオンは、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  および  $\text{Mg}^{2+}$  であった。

クラスター解析および単相関解析には、早狩が作成した Excel アドインを使用した<sup>5)</sup>。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 イオン成分濃度の組成比

イオン成分濃度を概観するために、図2に、2023年4月17日における、(a)青池、(b)鶏頭場ノ池の湖水中のイオン成分濃度(等量濃度)の組成比を示す。ここでは4月の測定結果を記述したが、5月以降も同様の円グラフとなった。

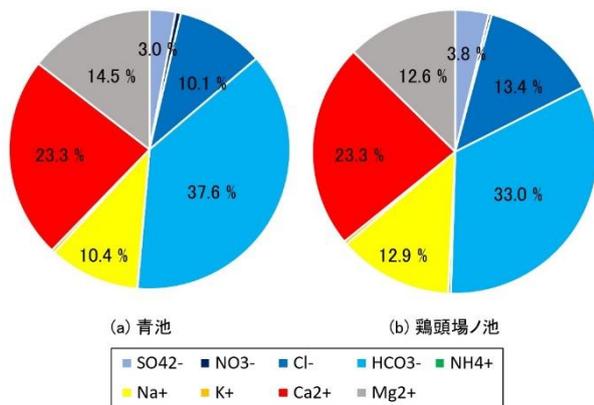


図2 2023年4月17日における青池および鶏頭場ノ池湖水のイオン成分濃度(等量濃度)の組成比

図2から、両湖沼について、組成比はほぼ同一と考えられ、このことは、水質をアルカリ土類炭酸塩

型とした既報<sup>2)</sup>の見解のとおりである。図2の円グラフの右半分は陰イオン、左半分は陽イオンとなっており、電荷均衡は既報<sup>2)</sup>のとおり、分析したイオンでおおむね説明された。

なお、この採水日における湖水の電気伝導度は、(a)青池：215  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、(b)鶏頭場ノ池：164  $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。これらの湖沼の湖水の電気伝導度の季節変動は明確ではなく、調査期間内では、青池で189( $\pm 15$  sd)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、鶏頭場ノ池で167( $\pm 11$  sd)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった(sdは標準偏差)。

鶏頭場ノ池には、青池湖水が伏流水として流入しているほか、崩山からの流入河川が注いでいる<sup>3)</sup>。この流入河川の水質、イオン成分の負荷量などは不明であるが、この影響により、鶏頭場ノ池湖水の電気伝導度が青池よりも低くなっているものと考えられる。

#### 4.2 イオン成分濃度のクラスター解析

イオン成分濃度の季節変動を解析するために、図3に(a)青池および(b)鶏頭場ノ池の湖水中のイオン成分濃度についてのクラスター解析結果を示す。2023年4月から10月までの調査期間のすべての月毎のイオン成分濃度を対象とした。クラスター間の距離には  $1 - |\text{相関係数}|$  を、クラスターの結合にはウォード法を用いてクラスター解析を行い、樹形図を作成した。

図3から、両湖沼で、陰イオンの中でも等量濃度の高い  $\text{HCO}_3^-$  は  $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  などと挙動が類似していたことが分かる。また、 $\text{NO}_3^-$  は  $\text{NH}_4^+$  と挙動が類似していた。これらの挙動が類似していたイオンは、それらの源泉で対として存在していた可能性がある。

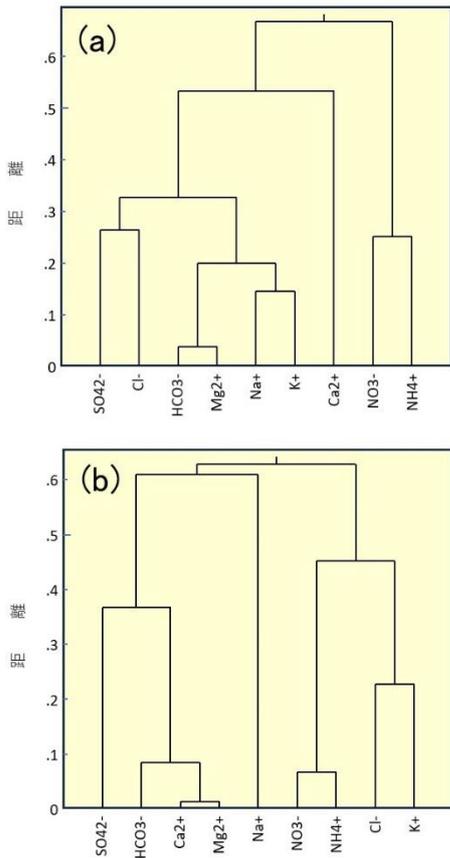


図3 水質中のイオン成分濃度のクラスター解析結果。(a) 青池、(b) 鶏頭場ノ池

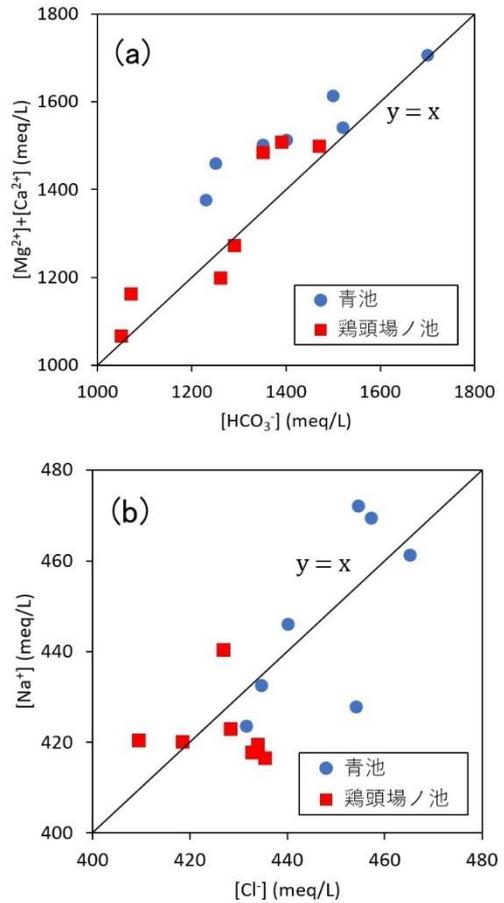


図4 イオン成分間の等量濃度のプロット

### 4.3 イオン成分濃度についてのイオン対の解析

イオン成分濃度（等量濃度）の関係を調べるために、4月から10月の各月について、 $\text{HCO}_3^-$  等量濃度に対して  $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  の等量濃度の和を図4(a)にプロットした。また、 $\text{Cl}^-$  等量濃度に対して  $\text{Na}^+$  等量濃度を図4(b)にプロットした。

図4(a)では、プロットがほぼ直線  $y = x$  の近傍に乱雑に分布した。このことから、両湖沼で  $\text{HCO}_3^-$  等量濃度と  $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  の等量濃度の和が等しく、これらがほぼ化学量論的に対をなしていることが分かった。

また、図4(b)では、プロットが直線  $y = x$  の上に分布するわけではなかったが、狭い範囲のこの直線の周辺に乱雑に分布した。このことから、両湖沼で  $\text{Cl}^-$  等量濃度と  $\text{Na}^+$  等量濃度はほぼ等しく、これらのイオンが対をなしていることが示された。

前述した図2では、陰イオンの等量濃度は、 $\text{HCO}_3^-$  と  $\text{Cl}^-$  で90%以上を占めていた。このことと上記のイオン対の解析結果から、青池および鶏頭場ノ池湖水の組成は、アルカリ土類炭酸塩型およびナトリウム塩化物型の組成の混合といえる。

### 4.4 鶏頭場ノ池へ流入する青池湖水の寄与の考察

前述のとおり、青池湖水の一部は鶏頭場ノ池に伏流水として流出していると考えられる。また、鶏頭場ノ池には流入河川が存在する<sup>3)</sup>。そこで、その各イオン濃度について、鶏頭場ノ池におけるイオン濃度の、青池における濃度に対する比（鶏頭場ノ池/青池）を求めた結果を表1に示す。ここで、 $\text{NH}_4^+$  については、両湖沼において濃度が非常に低かったため、解析から除外した。

表1から、このイオン濃度比について、調査期間中に変動しないイオン群と、例えば4月および7月に低下しているイオン群があることが分かる。この性質によりイオン群を分類するため、表1の濃度比についてクラスター解析を行った結果を図5に示す。なお、ここではクラスター間の距離として濃度比(%)のユークリッド距離を取り、ワード法でクラスターを結合した。

また、図6にはこのイオン濃度比について、イオン成分間の単相関解析結果を示す<sup>5)</sup>。

表1から、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  および  $\text{Na}^+$  のイオン濃度比はおおむね100%以下で季節変動が小さかった。濃度比が100%以下であることは、これらのイオン群

について、鶏頭場ノ池湖水のほうが希薄であり、鶏頭場ノ池への流入河川水が、青池からの伏流水よりも希薄であることを示している。

一方、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  は同一の季節変動を示し、4月と7月に濃度比が大きく低下していることが分かる。これらのイオン群の濃度比の季節変動は、鶏頭場ノ池における青池伏流水以外の源泉としての流入河川の水質中に、これらのイオン群が青池よりも低い濃度で含まれていることを示す。この流入河川の相対的な流入量が青池からの伏流水に比べて大きい時期(流入河川の流入量が一定の場合、青池からの伏流水の流入量が小さい時期)に、これらのイオン群の濃度が低下したと考えられる。

$\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  および  $\text{Na}^+$  と、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  で濃度比の挙動が異なった理由は、これらの源泉が異なっていたからと考えられる。

図5からは、イオン成分が分類され、樹形図において上記の組み合わせが抽出されていることが分かる。すなわち、挙動が同一の組み合わせが樹形図上にクラスターをなしていた。

図6の散布図において回帰直線の信頼区間の狭い組み合わせが、そのイオン濃度比間の相関係数が高い組み合わせとなっている。この結果は、前述の表1および図5の解析結果を支持しており、イオン成分の組み合わせを与える。なお、 $\text{Cl}^-$  については明瞭な相関関係がないが、これはこのイオンの濃度比がほとんど季節変動しなかったことも一因と考えられる。

以上において、両湖沼について単にイオン成分濃度を用いたクラスター解析(図3)、およびイオン濃度比に基づくクラスター解析(図5)の両方において、イオン成分を季節変動の大きさにより分類できた。そして、濃度比についての表1および図5の解析から、さらにこれらのイオン成分の流入河川水質からの相対的な流入量の季節変動を定性的に推定できた。

表1 鶏頭場ノ池における各イオン濃度の青池濃度に対する比(%)の推移(sdは標準偏差)

(a) 陰イオン

月	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-$
4月	91.1	37.7	94.9	62.9
5月	93.5	17.2	98.9	102.4
6月	90.6	0.0	93.0	86.0
7月	91.6	12.7	90.1	69.1
8月	98.2	0.0	98.2	108.0
9月	96.3	0.0	92.2	99.3
10月	97.7	4.5	99.2	108.9
sd	2.98	12.8	3.37	17.3

(b) 陽イオン

月	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$
4月	89.4	73.1	71.7	62.5
5月	93.4	82.8	89.8	82.4
6月	90.6	76.5	82.4	73.2
7月	89.0	78.9	73.4	62.9
8月	101.8	107.8	102.4	100.6
9月	98.2	99.0	102.0	95.6
10月	99.8	90.2	103.0	94.0
sd	4.91	11.8	12.7	14.6

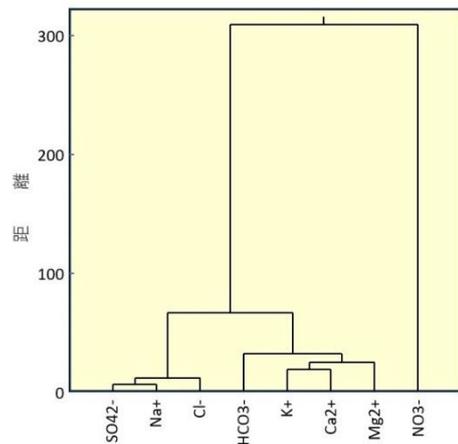


図5 イオン濃度比(鶏頭場ノ池/青池)のクラスター解析結果

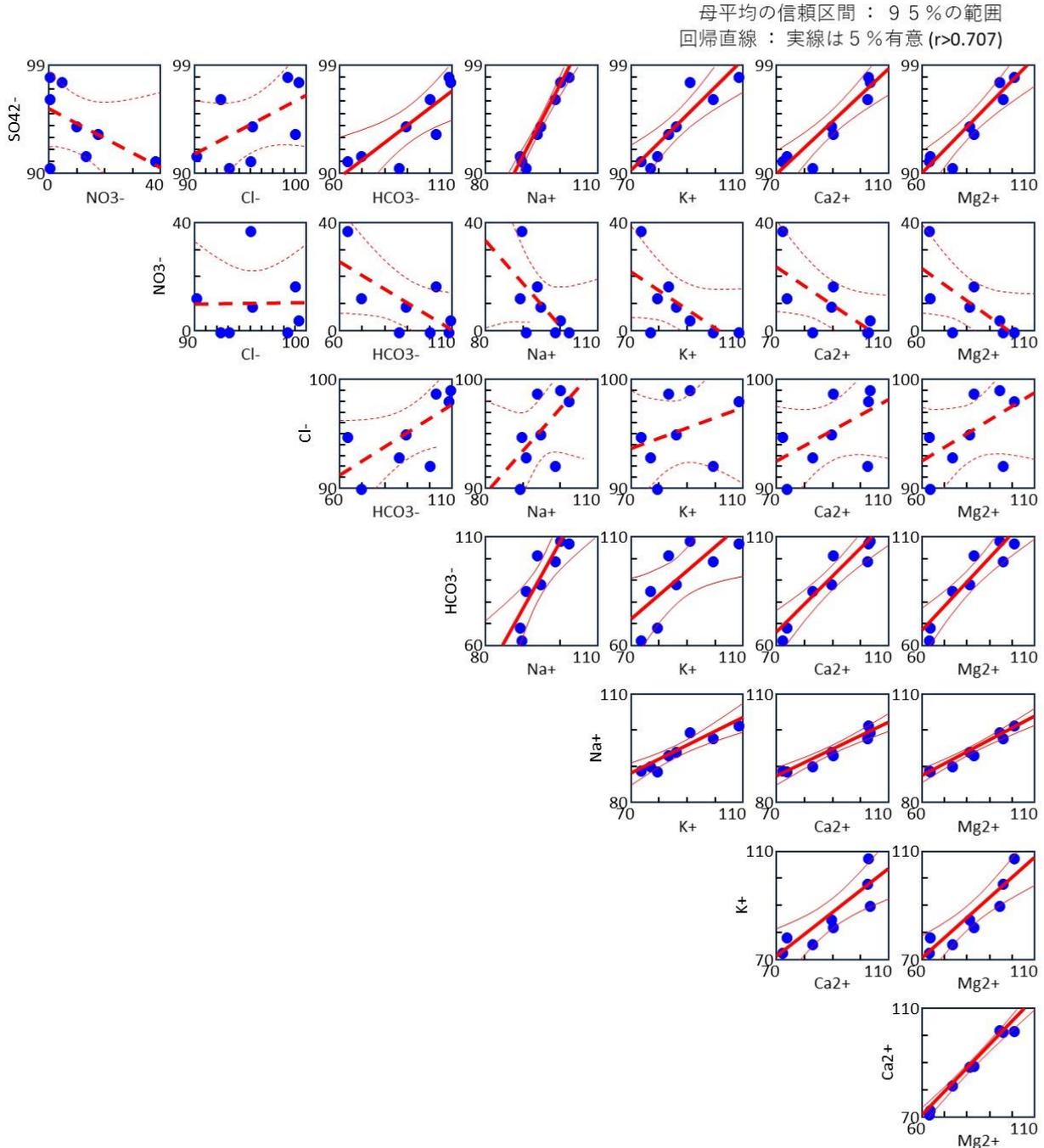


図6 イオン濃度比（鶏頭場ノ池/青池、%）の単相関解析結果

### 5. おわりに

青色を呈する青森県・十二湖青池およびそれに隣接し青くない鶏頭場ノ池湖水のイオン成分濃度の測定結果について解析を行った。

その結果、これらの水質は、アルカリ土類炭酸塩型およびナトリウム塩化物型の組成の混合であり、それぞれの源泉において、 $\text{HCO}_3^-$  は  $\text{Mg}^{2+}$  および  $\text{Ca}^{2+}$  と、 $\text{Cl}^-$  は  $\text{Na}^+$  と対をなしていると推定された。青池などの水質がアルカリ土類炭酸塩型であることは既報<sup>2)</sup>で報告したが、今回行った解析では、

源泉の組成にまで言及できた。

青池湖水は、鶏頭場ノ池へ伏流水となって流入していると考えられており、また鶏頭場ノ池には流入河川が存在する<sup>3)</sup>。青池湖水中のイオン成分濃度に対する鶏頭場ノ池湖水中の濃度の比の季節変動を解析したところ、鶏頭場ノ池への流入河川の相対的流入量が変動していたと示唆された。

今回の解析は、すべて可視領域に有意な吸光度を持たないイオンについて行ったものであり、青池の青色呈色とは直接的に関係はない。しかし、これら

の湖沼の陸水循環に関する基礎的な理解を与えるものと位置付けられる。

#### 文 献

- 1)花石竜治：青森県・十二湖青池の呈色機構研究についての総説.青森県青森環境管理事務所環境調査研究課年報,1,33-43,2025
- 2)花石竜治,他：青森県十二湖青池と隣接湖沼の水

質比較.全国環境研会誌,49,216-220,2024

3)吉村信吉,他：津軽十二湖の湖盆形態（上）津軽十二湖研究(1).地理学評論,10,968-989,1934

4)大高明史,他：津軽十二湖湖沼群・越口ノ池水系の水温環境と河川底生動物の流程分布.弘前大学深浦臨海実習所報告,16,21-47,1999

5)早狩 進：エクセルアドイン工房.  
<https://www7b.biglobe.ne.jp/~hayakari/index.html>