

見えないはずの湖沼遷移を“見える化”する

－阿寒カルデラ湖沼群の生態系の特異性－

1. 論文発表に至る経緯

1-1. マリモの保護研究を通じて得られた新たな知見

Q1 マリモはなぜ阿寒湖に分布するのか？

本来はバルト海や釧路湿原のような汽水域が主な生活場所

A1: **火山活動**によってもたらされるミネラルが山湖での生育を可能にしている

Q2 マリモはなぜ阿寒湖で球化するのか？

A2: **火山活動**によって形成された特異な地形(湾入した遠浅の湾、南風が卓越する山と谷の配置、マリモの回転に適した波浪を発生させる湖盆規模)と夏季に太平洋から吹き込む海風が、マリモを浅瀬で回転させ、球状に発達させる

Q3 阿寒湖のマリモはなぜ貴重なのか？

A3: マリモは北半球に広く分布するものの球化できる環境を備えた湖は極めて限られ、**大きな球状マリモが群生するのは世界でも阿寒湖だけ**

マリモは阿寒湖の自然環境を象徴する生物

マリモを育む阿寒湖には、秘められた生態学的な特性・価値があるのではないか？

従前の阿寒地域の自然の見方：『森と湖と火山の国立公園』

阿寒湖の環境が世界的に顕著で普遍的な価値を有している可能性

マリモの保護研究で得られた知見を基礎として、**世界自然遺産の観点から当該地域の自然環境を抜本的に見直す**



平成25年から調査・研究活動を開始

1-2. 世界自然遺産のつくり（クライテリア）から見た阿寒の自然環境

クライテリア ix 生態系、x 生物多様性については十分な知見がない

- 景観の特徴を表した『森と湖と火山の国立公園』を踏まえ、これらの関係性や実態に迫る ix 生態系、および x 生物多様性の研究が必要
- 阿寒摩周地域の vii 自然景観（原生林）および viii 地形・地質（火山・カルデラ地形）については、カルデラ壁は一部分断されていて学術的観点での価値が低く、国立公園指定されているものの厳しい規制がかかる区域の割合は低いとして、既にネガティブな評価

クライテリア（vii単独を除き、このうちの1つ以上に適合すること）

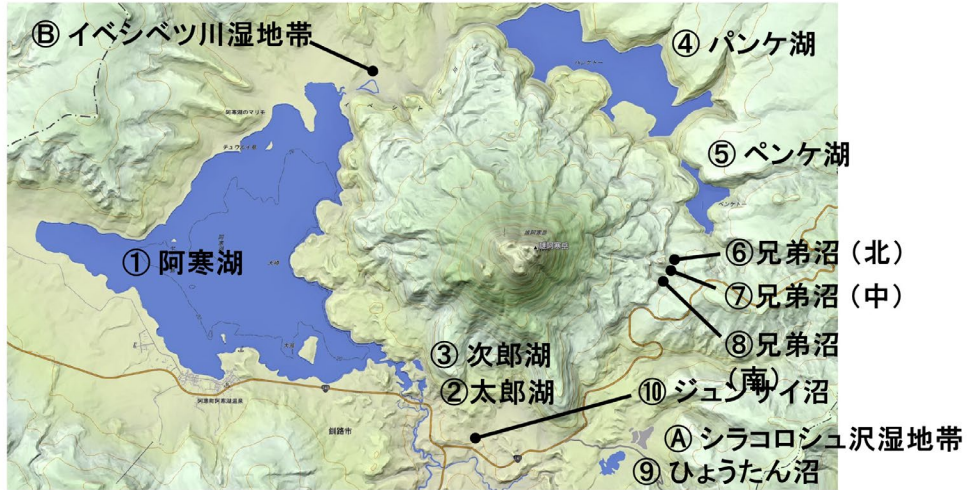
- vii. **自然景観**: 類を見ない自然美および美的重要性をもった、最上級の自然現象あるいは地域を包含すること
- viii. **地形・地質**: 生命の記録、地形形成における重要な進行中の地質学的過程、あるいは重要な地形学的または自然地理学的特徴を含む、地球の歴史の主要な段階を表す顕著な見本であること
- ix. **生態系**: 陸上・淡水域・沿岸・海洋の生態系や動植物群の進化発展における、重要な進行中の生態学的・生物学的過程を表す顕著な見本であること
- x. **生物多様性**: 学術的・保全的観点から見て、顕著な普遍的価値をもつ、絶滅のおそれのある種を含む、生物学的多様性の本来の状態における保全のために最も重要な自然の生息生育地を包含すること

さらに真実性（オーセンティシティ）や完全性（インテグリティ）の条件を満たし、締約国の国内法によって、適切な保護管理体制がとられていること

- 重要な関連する自然要素のすべて、あるいはほとんどを含むこと・・・調和型のすべての湖沼型、湖沼－湿地－草地－林地の湿性遷移系列
- 十分な規模と必要な要素を含むこと・・・阿寒カルデラ地域 245km² + 雌阿寒・オンネトー地域 245km²
- 際立ってすぐれた美的価値を持ち、美的価値の長期的維持に不可欠な地域を含むこと・・・湖沼群および水生植物群集の水中景観
- 属する生物地理区分及び生態系における最も多様性に富んだ動植物相の特徴を維持するための生息地を含むこと・・・世界唯一の大型球状マリモ群落
- 管理計画が必要・・・マリモ保護管理計画をバージョンアップ
- 法律、規則、制度による長期的で適切な保護が必要・・・主要地域は阿寒摩周国立公園の特別保護地区
- 生物多様性の保全において最も重要な地域であるべき・・・本来の分布域を異にする生物群集（温暖・寒冷・海生生物の退避あるいは隔離分布地）

1-3. 阿寒地域の生態系の構造的な特徴

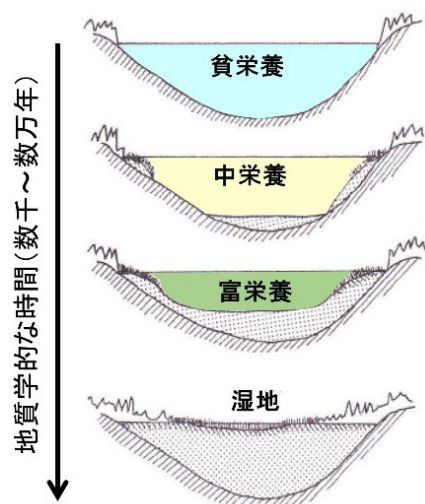
阿寒カルデラ内には多様な環境（大きさ、水質、生物相など）を備えた湖沼や湿地などが点在



1-4 湖沼の生態遷移とは

水質の富栄養化*と土砂堆積による浅化によって、生物相の変化を伴いながら湖盆が浅くなる現象で、最終的には沼沢や湿地となる

- 湖沼生態遷移の過程は、人間の青年期から老年期への加齢（エイジング）になぞらえて説明され、高校の生物学の教科書に掲載されるなど一般に広く知られているが、実際には非常に長い時間がかかるため継続的に観察することは困難
- このため、長期的な遷移に関する理解は、栄養状態の異なる多くの湖沼の比較や、小規模な水系での調査、堆積過程の再構成などから間接的に得られてきたが、大きな湖沼の遷移はよくわかっていない



*富栄養化：湖沼や内湾で栄養物質（栄養塩や有機物）の濃度が上昇すること

1-5 阿寒カルデラの湖沼・湿地の多様性

様々な湖沼生態遷移の段階を示している可能性

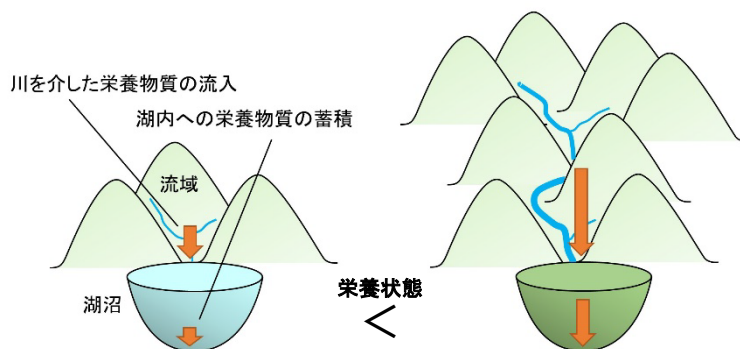
- もし、一連の遷移段階のシリーズであるなら、生態学の教科書に出てくる概念としての湖沼生態遷移の過程を実際に見られる場として、極めて重要な事例となる（世界には数え切れない湖沼があるが、これまでに類似の事例は知られていない）
- クライテリア「ix 生態系」の「淡水域の生態系や動植物群の進化発展における、重要な進行中の生態学的・生物学的過程を表す顕著な見本であること」に照らすと、該当する可能性がある
- 既存の世界自然遺産で湖沼の生態遷移に該当する物件はない

2. 論文の概要

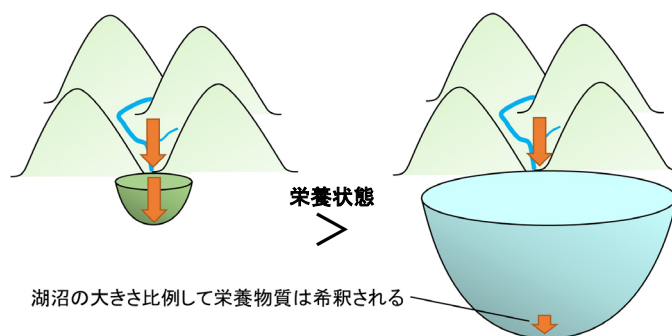
2-1. 富栄養化のメカニズム

湖沼生態遷移の主過程である富栄養化は、湖沼への栄養物質の流入と蓄積によって進行する

① 栄養物質の流入速度は流域の広さに比例する



② 栄養物質の蓄積速度は湖沼の大きさに反比例する



- 湖沼の栄養状態（栄養物質の蓄積量）は、理論的には「湖沼の大きさに対する流域の広さの比」によって決まると考えられる
- 普通、流域の環境は多様で、栄養物質の供給量が地域によってばらつくため、一般化できない
- けれども、もし流域の環境が一樣で、栄養物質の供給量に地域差がなければ、湖沼の栄養状態と「湖沼の大きさに対する流域の広さの比」との間に、比例関係（相関）が成り立つと期待される
- さらに湖沼の形成時期が同じなら、初期状態を等しくする湖沼が様々な栄養状態（遷移段階）に進化していると見なすことができる

2-2. 阿寒カルデラ湖沼群の特徴

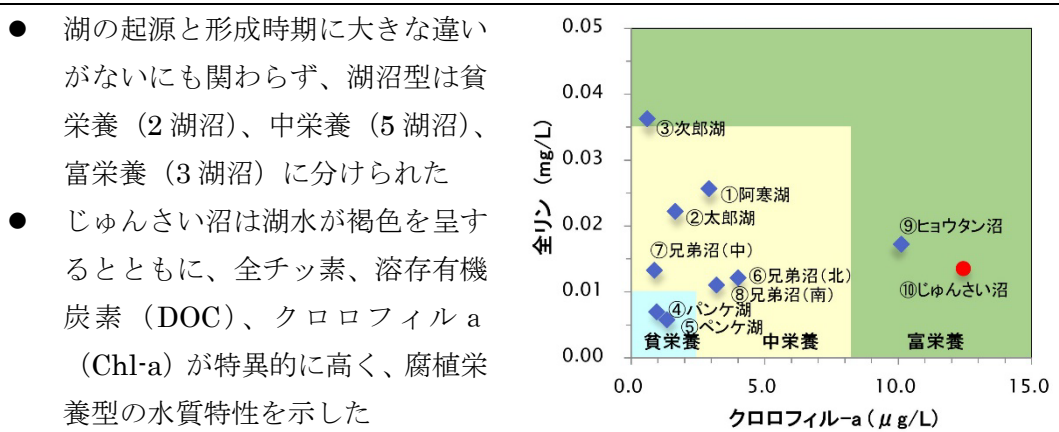
湖沼の形成時期が同じで初期状態を等しくし、流域の環境も一樣

- カルデラ内の雄阿寒岳を囲むように大小 10 個の湖沼が点在する
- 巨大なカルデラ湖（古阿寒湖）が数千年前の雄阿寒岳の噴火によって大小の湖沼に分割されて形成された
- 湖沼の生成時期はほぼ同じで、初期の環境も類似していたと考えられる
- 流域はカルデラ壁（赤い点線）によって外界から隔絶されている
- 陸域は阿寒湖温泉を除きほとんどが亜寒帯林で覆われているため、環境が一樣で、栄養物質の供給量に地域差が少ないと考えられる
- 2-1 で述べた、湖沼の栄養状態と「湖沼の大きさに対する流域の広さの比」との間に、比例関係（相関）が成り立つかどうかを検証するのに適した条件を備えている



2-3. 水質からみた阿寒カルデラ湖沼群の多様性

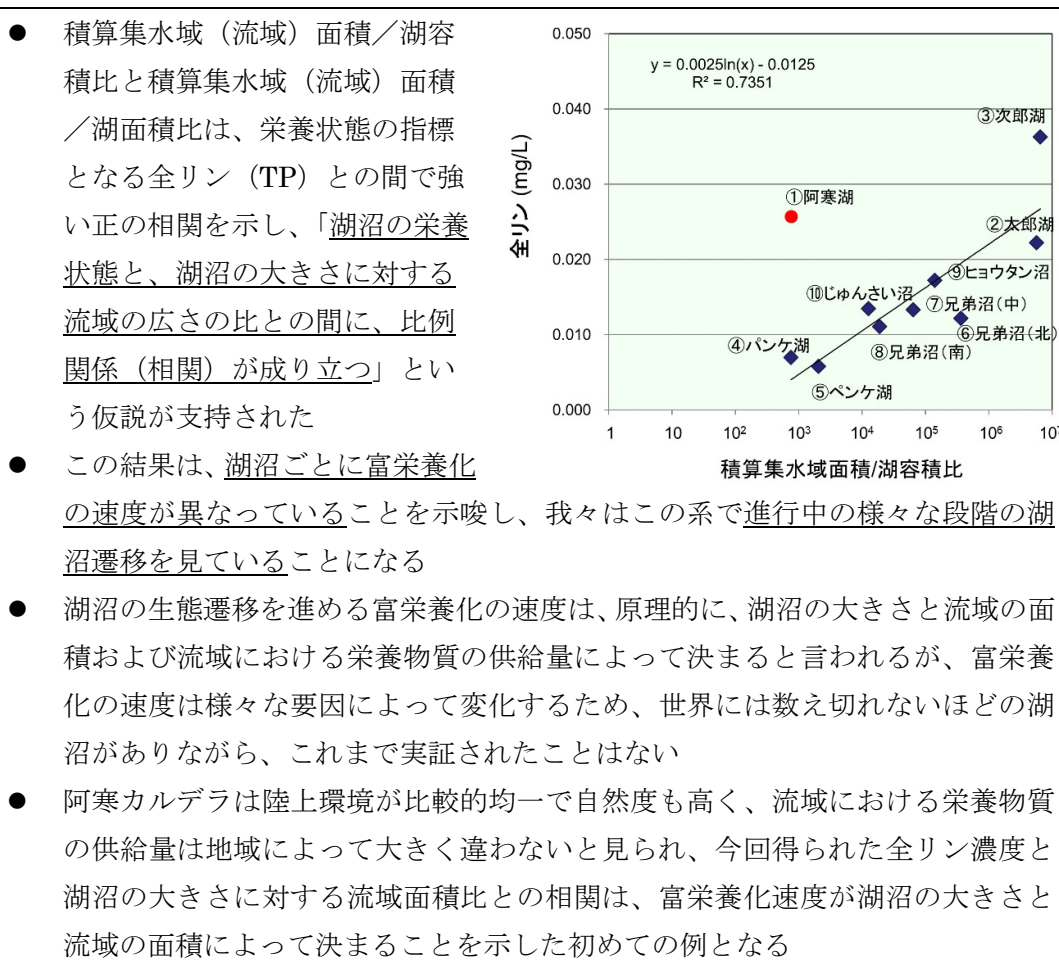
栄養状態が多様で、湖沼型のシリーズが揃っている



※湖沼型：湖沼の生物生産の類型で、貧栄養、中栄養、富栄養などに分けられる

2-4. 多様性を生じるメカニズム

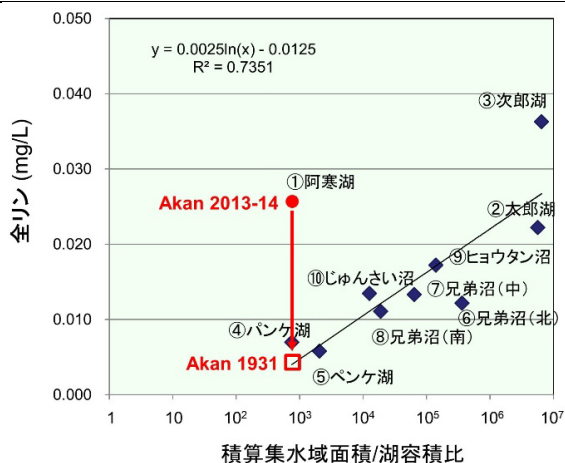
栄養状態（全リン）は「湖沼の大きさに対する流域の広さの比」に比例して上昇



2-5. 富栄養化する前の阿寒湖の全リン濃度

1931年の観測値から求めた推定値は回帰直線に近づく

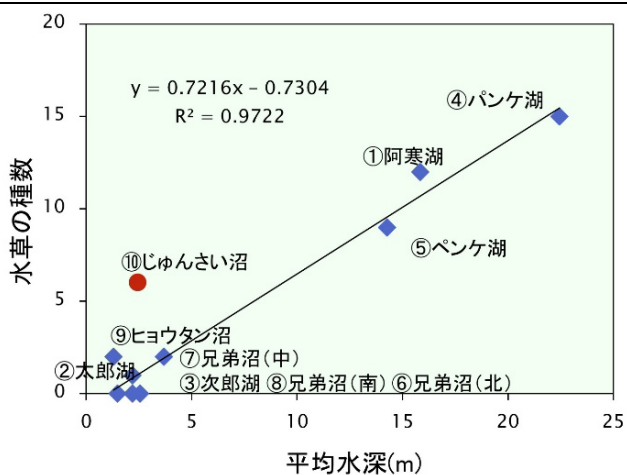
- 上の2-4で阿寒湖が外れ値となったのは、20世紀後半に人為的な富栄養化の影響を受けて全リン濃度が上昇したためと考えられたため、阿寒湖で最も古い1931年の観測値を用いて富栄養化する前の全リン濃度を推定した
- 算出された全リン濃度は、回帰直線に近づき、富栄養化前には極めて低濃度であったことが示唆されるとともに、Akan 2013-14の観測値とAkan 1931の推定値との差は富栄養化による増加分と見られた



2-6. 水草の生育分布状況

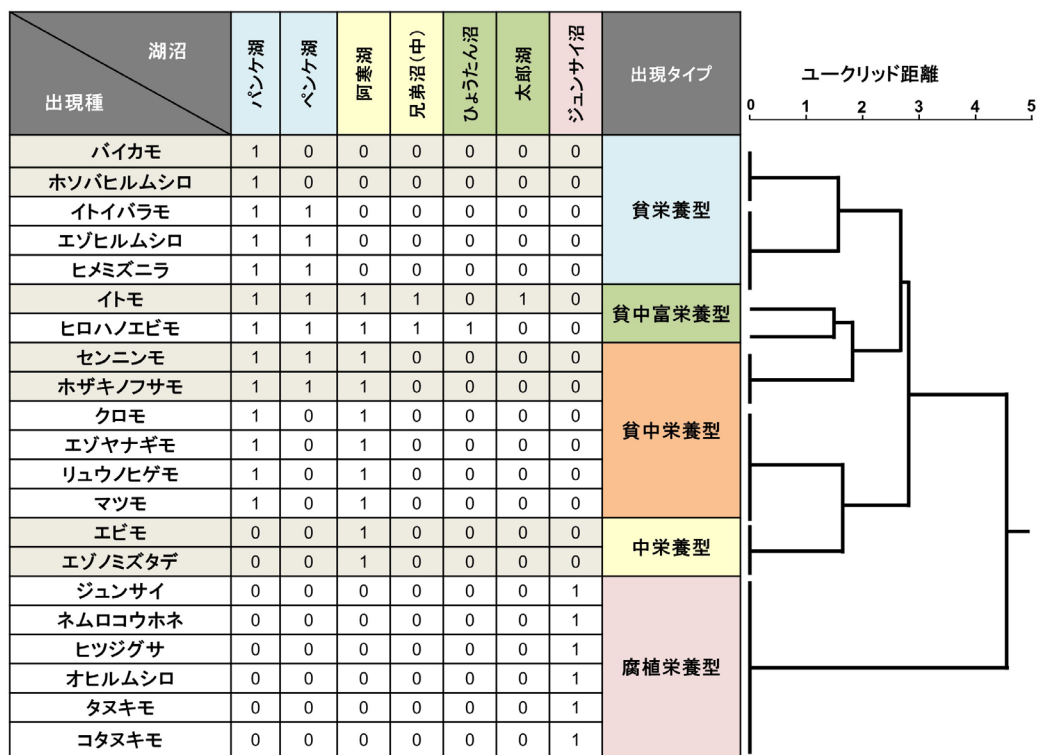
水草の種数は湖の大きさに比例して増加

- 湖沼遷移のもう一つの指標となる水草の出現状況を調べた結果、7湖沼で21種の水草が確認され、種数は平均水深の他、最大水深、湖岸長、枝節量、滞留時間といった湖沼の規模が大きくなるにつれて直線的に増加した
- この結果は、大きな島は小さな島よりも生物多様性が高いとするマッカーサーとウイilsonの「島嶼の生物地理理論」を支持する
- これは大きな湖を加えたことによって得られた新知見の一つである
- 外れ値のじゅんさい沼は水質が腐植栄養であるため、沈水植物（植物体が水中に水没する種）が優占するこれ以外の湖沼と異なり、浮葉植物（水面に葉を浮かべる種）と浮遊植物（根が水底に固着せず浮遊する種）が優占した



2-7. 水草の種構成からみた阿寒カルデラ湖沼群の多様性

水草は湖水の栄養状態に応じて5つの出現タイプに分類



水草種の在不在を二元データ (1/0) に変換しクラスター分析を行った

- 水草の分布の様態には、種によって貧栄養湖、中栄養湖、腐植栄養湖のいずれかに分布する場合と、貧-中栄養湖、貧-中-富栄養湖に広く分布する場合があります、各湖沼における種構成は、これらの組み合わせによって決まっていた
- 水草の種構成の決定機構については、従来、栄養状態の違いを始めとする様々な環境要因に影響されると考えられてきたが、今回の結果は、同一水系に属する湖沼群の多様な栄養状態（湖沼型）と水草の固有な栄養要求性が整然と対応している点で極めて特異的であり、この知見も過去に例がない

2-8. 富栄養化する前の阿寒湖の水草相

マリモ発見時（1897年）のデータを使って富栄養化による植生の変化を推定

- 富栄養化以前、阿寒湖の全リン濃度は現在よりも低かったと考えられることから、阿寒湖の現在の水生植物データを1897年に行われた最古の植生調査の結果と比較した
- 今回の調査では、阿寒湖で10種の水草が観察されたが、1897年に記録された貧栄養種のバイカモとヒメミズニラの2種は見つからず、中栄養種のエビモが存在することが明らかにされた

- これらの結果は、時間の経過とともに、より富栄養な植生タイプへの移行が起こったことを示唆している (2-9 の図参照)

2-9. 水草の種構成の決定機構

各湖沼における水草の種構成は、栄養状態に応じて分類された5つの出現タイプの組み合わせで決まる

- 水草の多くの種は、栄養状態を含む生育地の環境特性によって様々な出現タイプに分類されているが、本研究では、固有の栄養型と出現幅を有する5つの出現型に分類された
- 貧栄養、中栄養、および腐植栄養出現型の水草は、それぞれ貧栄養型、中栄養型、および腐植栄養型の湖沼にのみ分布した
- 一方、貧-中栄養、および貧-中-富栄養出現型の水草は、貧-中栄養型、および貧-中-富栄養型の湖沼に広く出現した
- したがって、貧栄養型および中栄養型の湖沼における水草の種構成は、出現タイプ、すなわち貧栄養/貧-中栄養/貧-中-富栄養および中栄養/貧-中栄養/貧-中-富栄養の組み合わせによって決まり、貧-中-富栄養、および腐植出現型は、それぞれ富栄養湖と腐植栄養湖に分布する

水草の出現型	水草の種	湖沼型(湖水の栄養状態)			
		貧栄養	中栄養	富栄養	腐植栄養
貧栄養	バイカモ ホソバヒルムシロ イトイバラモ エゾヒルムシロ ヒメズニラ				
中栄養	エビモ エゾノミズタデ				
貧-中栄養	センニンモ ホザキノフサモ クロモ エゾヤナギモ リュウノヒゲモ マツモ				
貧-中-富栄養	イトモ ヒロハノエビモ				
腐植栄養	ジュンサイ ネムロコウホネ ヒツジグサ オヒルムシロ タヌキモ コタヌキモ				

2-10. まとめ—阿寒カルデラ湖沼群の特異性

- 一般に、自然環境の構成要素は多元的であるため、例えば今回取り上げた湖沼の富栄養化機構や、そこに生育する水草の分布機構を単純・明瞭に表示することは容易でない。この点で、阿寒カルデラ湖沼群の事例は、カルデラという環境が比較的均一な巨大な入れ物を火山噴火によって大小の流域や水域に分断し、数千年かけて進化した湖沼の現状を示す大規模な実験に例えることができ、さらに湖沼生態遷移の過程が系列として揃っている淡水生態系の標本庫と捉えることができる。
- このような特徴は、世界自然遺産に要求される登録基準(クライテリア) ix生態系の「陸上・淡水域・沿岸・海洋の生態系や動植物群の進化発展における、重要な進行中の生態学的・生物学的過程を表す顕著な見本であること」に該当する可能性が高く、当該地域の生態系を始めとする自然環境について、さらに理解を深めてゆくことが必要。
- また、今回の成果は、湖沼研究に起源と生成時期を同じくする湖沼群の比較研究という新規なアプローチをもたらしたことに加え、生態学の研究・教育のフィールドとして、阿寒地域が極めて優れたポテンシャルを持っている可能性を示した。今後は、こうした観点からも、阿寒の自然環境に秘められた「顕著で普遍的な価値」を見出し、磨き上げてゆくことが大切である。