

沼地の富栄養化による植生の遷移と トンボ相の変化

— 人為的に造られた自然の多様性を維持するために —

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

はじめに

私達が住む北海道札幌市北区あいの里は30年ほど前から開発が進み、振興住宅地として発展を続けている。私達は本校東側にある拓北川（通称：トンネウス沼）で1990年から2003年までの14年間にわたってトンボの生態調査、植生調査、水質調査を行ってきた。研究のきっかけは、私達の目の前にあるトンネウス沼にたくさんのトンボが飛んでいるのを見て、どのようなトンボがどれくらい生息しているか興味を持ったからである。そして、この沼では富栄養化による水質の悪化や植生の遷移がおり、トンボ相が単純化していることに気が付いた。そこで、私達は植生の遷移と人為的な改変によってトンボ相がどのように変化するかを調べることで、水辺の自然環境における生物種の多様性を診断できるのではないかと考えた。

さらに、私達はその診断結果を地域の方々に伝え、多くの生物が生息できる自然の多様性を維持するために、繁茂した植物群落の伐採、ヘドロの除去などの人為的な働きかけを行うことを呼びかけ、そして、実践している。



図1 札幌拓北高校とトンネウス沼

沼である。この沼は本校のすぐ東側に位置し、開拓当時に造られた水路であったが、雨水調節地として25年程前に改修工事が行われた。最深で約2m、周囲約1km、面積は約3haで、主な植物はヒシ、コウホネ、エゾノヒツジグサ、エビモ、フトイ、ミクリ、サンカクイ、ヨシ等である。

水源は唯一町の中を流れる雨水下水である。沼の水の出入りは（図3参照）、A,B地点が流入点で、ここから雨水下水が流れ込んでいる。そして、C地点は流出点で、茨戸川とつながっている。雨天日とその後数日を除くと水の流れはほとんどない止水域である。そのため、雨水下水の中に含まれる砂泥や植物遺体の堆積等によって年々富栄養化が進み、フトイ、ヨシ、ミズドクサなどの抽水植物が増加し、沼の陸化が進んできている。これに対して、人力によってヨシなどの植物を取り除く開削作業や、ヤナギの伐採、重機による大規模な浚渫を行い、ヘドロや増えすぎた植物が取り除かれている。

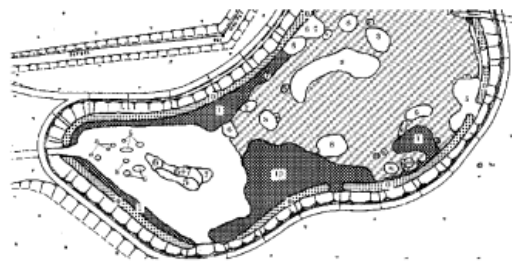


図2 調査地点の位置 北海道札幌市北区あいの里周辺の地図

調査地域

調査地域は北緯43° 9' 48"、東経 141° 24' 44"、札幌市北区あいの里公園内にあるトンネウス

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために—

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

調査方法

(1) 植生調査

植生調査は1991年、'94年、2000年、'02年、'03年の5回行った。水際から水深1m程度の沼内を胴付き長靴を履いて歩き回り、目視によって植物群落の種類、位置、規模を調査した。また、沼の中心部については、ボートに乗って群落の種類などを確認した。沼の植物をヨシ、ガマ、マコモ、サンカクイ・スゲ・オモダカ類、フトイ、ミクリ、ミズドクサ、コウホネ、エゾノヒツジグサ、ヒシ、ヨシ-ドクゼリ、ヤナギの12群落に分け、植生図を作成した。この植生図をもとにして各植物群落の面積を算出した。

(2) 水質調査

調査地点は沼に水が流入するA,B地点、逆に流出するC地点、沼の中心部に近いD地点の4地点である。調査期間は1993年,'94年,'95年,'99年,2003年の6月~10月の間である。

- ・水温 : 各地点の沼岸から1m、水深10cmの地点で測定した。
- ・pH : パックテストを用いて測定した。
- ・透視度 : 測定範囲50cmの透視度計を用いた。測定値を越えた場合は50cmとした。
- ・COD : 低濃度パックテスト (8mg/lまで) を用いた。数値が高すぎて測定不能のものは検水を純水で10倍に希釈して測定した。
- ・DO : DOメーターを用いて測定した。

(3) トンボの行動調査

調査期間は2000年5月上旬~8月中旬である。調査地点は5月上旬に沼岸に5×5 (m) の範囲をロープとポールにより囲み、C1~C3、O1~O3の合計

6地点の方形区を設置した。方形区の植生状態を2つのタイプに分け、水面が抽水植物で覆われていればC (close)、開放水面、またはヒシなどの浮葉植物で覆われていればO (open) の記号で表わした。方形区内と周囲の植生の状態によってCC,CO,OC,OOの4種類の方形区を設けた。(表1、図3参照)

調査方法は6月下旬より各方形区内に飛翔してきたトンボ類について時間・科(種)・行動(通過、停止、交尾、産卵、採餌、争い、パトロール)・飛翔の高さを記録した。種の同定は目視と採集して行った。トンボ類が植物を利用する行動が見られた場合、そのつど記録した。1方形区30分ごとの観察で1日で全方形区を回り調査した。また、その他に8月上旬には各方形区での終日観察を行った。調査は計

表1 各方形区の植生の状態

Cは水面が抽水植物で覆われている状態。Oは開放水面または浮葉植物で覆われている状態を表わす。

方形区	区内	周囲	記号
C1	C (close)	C (close)	CC
C2	C (close)	C (close)	CC
C3	C (close)	O (open)	CO
O2	O (open)	C (close)	OC
O1	O (open)	O (open)	OO
O3	O (open)	O (open)	OO

12回行い、各方形区13~14時間となった。

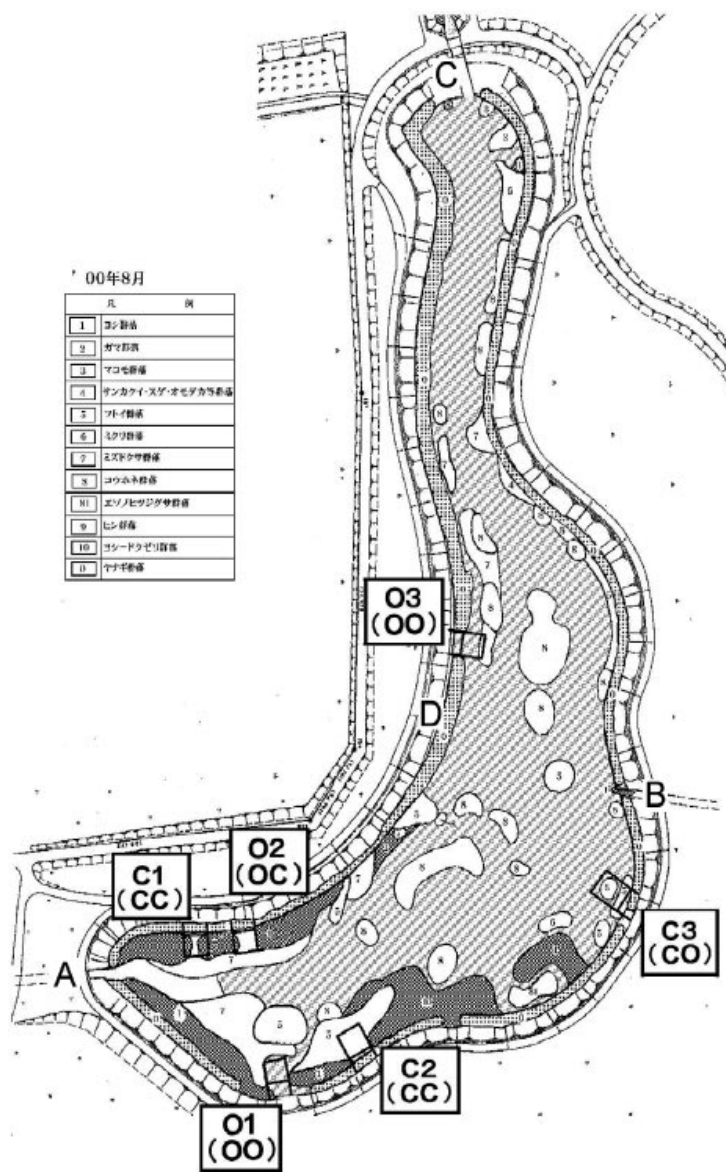


図3 各方形区の位置と水質調査地点
各方形区は沿岸の各地点に5×5mで設置
A、B地点が流入口、C地点が流出口。A～Dは水質調査地点を示す。

(4) トンボの生息状況調査

トンボの採集は、沼を一周して見つけたトンボをすべて採集する見つけ取り法で行った。調査期間

は1990年～'95年、'98年、'99年、2000年、'02年、'03年の5月下旬から9月下旬までの間で上旬、中旬、下旬の月3回行った。しかし、10月下旬まで採集した年もあった。調査時間は9:00～17:00の間の2時間程度である。

採集したトンボは同定し、すべて乾燥標本にした。なお、飛翔速度が速く採集できなかったヤンマ類などは正確に同定できなかったもののみデータとした。

結果と考察

(1) 植生の遷移と人為的な改変

①1990年～94年の富栄養化による陸化（図4の1991年、'94年植生図参照）

1991年はヒシ等の浮葉植物が沼の80%以上を占めていた、沼の南部には比較的小さなミクリ、フトイ、ヨシなどの抽水植物群落が見られた（図4参照）。富栄養化による遷移によって陸化が進み、'94年にはヨシ、フトイ群落などが沼の南部を埋め

つくした。ヒシ群落が65%程に減少し、陸化が進んだ。また、この時期にはヤナギなどの木本植物はまだ丈が小さく、沼の水面を覆う状態ではなかった。

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

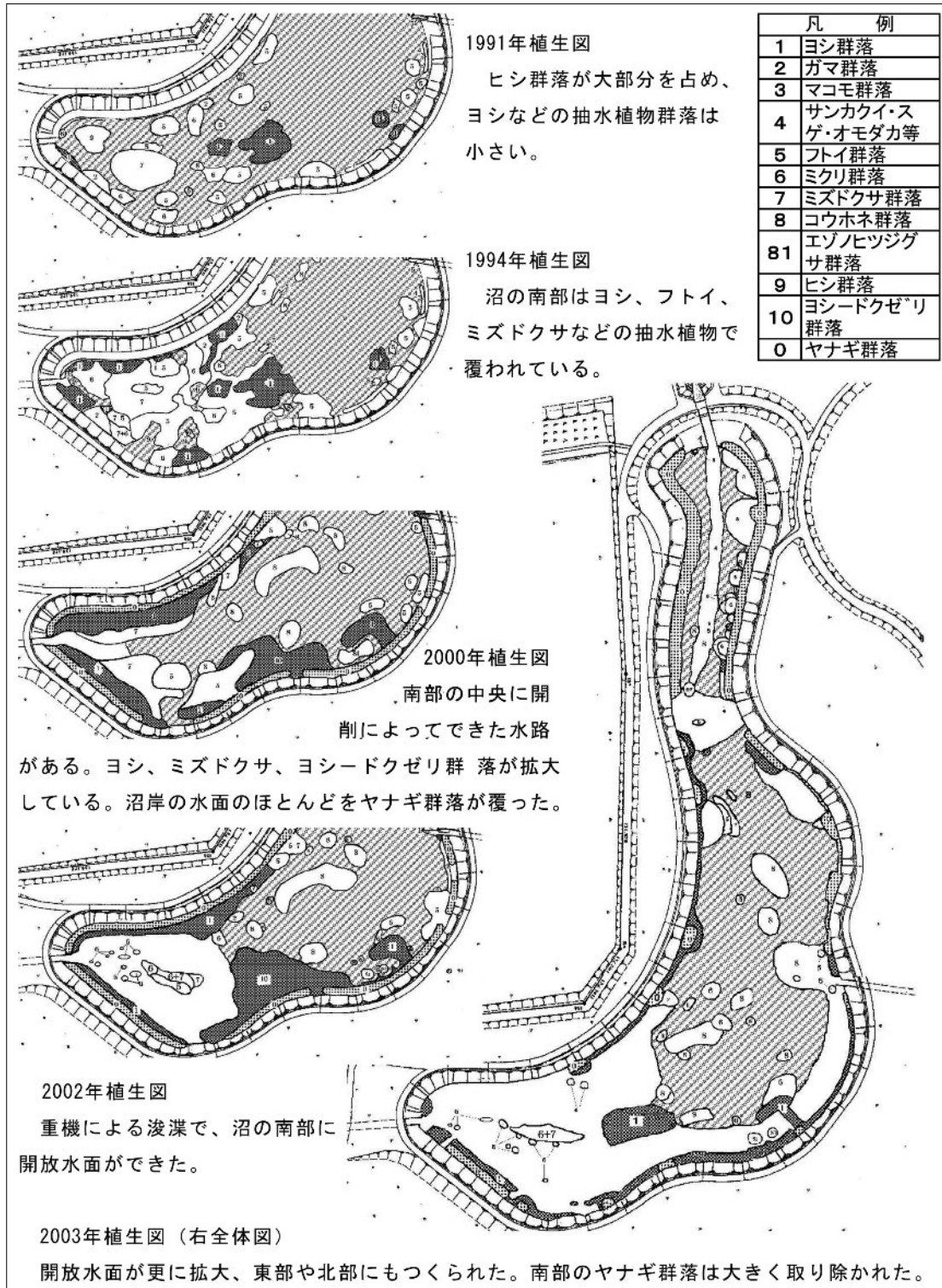


図4 1991年～2003年までの植生の遷移
遷移の激しかった沼の南部を中心表している。植物群落を12群落に分けて分布を示した。

②1995年～2001年の人為的な開削（図4の2000年植生図参照）

1995年には水の流れをつくり水質を改善するために、私達の他に地域の方々、札幌市河川課の方々と手作業でヨシやミズドクサなどを取り除く開削作業を行い水路を造った。南側の流入口から中央部にかけて幅が約3mの水路である。その後、1996～'98年までは開削が中断された。1999年から再開され、水路の確保と周辺のヨシ群落の除去が行われた。

2000年・'01年には南部に開削によって造られた水路が残っているが、その両側ではヨシ、ミズドクサ、ヨシ-ドクゼリ群落が増え、沼の中央部ではコウホネ群落が増えた。また、ヤナギ群落が増え沼岸の水面を覆った。



図5 1995年9月のトンネウス沼写真左側の植物群落中央部に開削して造った水路が褐色の線状に写っている。



図6 1995年の水路の開削作業の様子

③2002年、'03年の大規模な浚渫（図4の2002年、03年植生図参照）

2002年・03年は、札幌市河川課の協力を得て、重機による大規模な浚渫工事を行った。沼の南部を中心に、沼底に堆積したヘドロや増加しすぎたヨシ、ミズドクサ群落を撤去した。その結果、抽水植物で埋まっていた場所に広々とした開放水面ができた。

2003年は沼岸を中心に沼全体の3分の2程度で更に大規模な浚渫作業を行った。南部の開放水面がより広がり、東部や北部にも開放水面が広がった。また、北部を残して沼岸のヤナギ群落はほとんど伐採された。（図7参照）



図7 2002年、03年の重機による浚渫部分

④植物群落の推移

各植物群落を浮葉植物、抽水植物1、抽水植物2、木本植物の4つの群落に分けて（表2参照）その面積の推移を考察した。浮葉植物群落はヒシ、コウホネ、エゾノヒツジグサ群落である。水面に葉を

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために—

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

表2 植物群落の分類

沼の植物を4種類の群落に分類したもの。通常コウホネは抽水植物に分類されるが、葉の形状が浮葉植物に似ているため浮葉植物に分類した。

浮葉植物	抽水植物1 (群落密度低い)	抽水植物2 (群落密度高い)	木本植物
コウホネ エゾノヒツジグサ ヒシ	サンカクイ ミクリ フトイ ガマ	マコモ ミズドクサ ヨシ ドクゼリ	ヤナギ

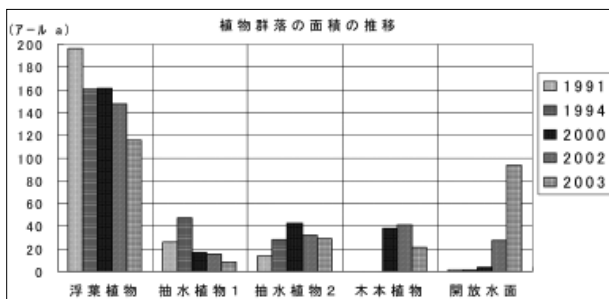


図8 植物群落の面積の推移 4種類に分類した植物群落の面積の年変化を表わす。

浮かべている群落であり、コウホネは通常抽水植物に分類されるが、葉の形状が浮葉植物に似ているため浮葉植物に分類した。抽水植物1群落はフトイ・ミクリ・サンカクイ・スゲ・オモダカ、ガマ群落である。それほど草丈が高くない密度の低い群落である。抽水植物2群落はヨシ、ミズドクサ、ヨシ-ドクゼリ、マコモ群落である。草丈が高く、非常に密生している群落である。木本植物群落はヤナギ群落である。沼岸に密生し、付近の水面を覆っている。トンボの行動調査の結果、浮葉植物と抽水植物1は多くのトンボにとって利用しやすい植物で、抽水植物2、木本植物は増えすぎるとトンボの行動を妨げる植物である。

これらの植物群落の面積の推移については、図8のようになっている。1991年から'94年は抽水植物1、2の面積が約2倍に増加し、浮葉植物は減少している。1995年から2000年の間には木本植物が成長し、面積が8.3aに増加している。また、富栄養化による遷移のため抽水植物2が増加し、抽水植物1が減少したが、浮葉植物についてはほとんど変

化がなかった。2002、'03年では大規模な浚渫工事を行った。その結果、抽水植物1、2、沼岸を覆う木本植物が減少した。特に木本植物は2000年の約2分の1にまで減少した。開放水面は2002年では27.6a、'03年では93.3aと増加している。これらをまとめると、次のようになる。

- 1991年～'94年 : 富栄養化による遷移によって抽水植物1、2が大幅に増加、浮葉植物が減少。
- 1995年 : 手作業による開削を行い、沼の南部に水路を造る。ミズドクサ群落がやや減少。
- 1996年～'98年 : 開削中断、再び遷移が進行。
- 1999年 : 手作業による開削を再開、以後毎年継続したが、抽水植物2を減少させられなかった。
- 2000年 : 抽水植物1が減少、抽水植物2と木本植物が増加。
- 2002、'03年 : 札幌市の協力により、重機を使った大規模な開削を行なう。抽水植物1、抽水植物2、木本植物減少、開放水面が大幅に増加。

(2) 水質調査結果

1993年から1994年にかけてはCODの値が増加、DOの値が減少、pHが高まった。これらのことから富栄養化による水質の悪化が起こっていることがわかった。1995年にはCODの値が減少、DOの値が増加、pHの値が低くなった。これは開削によって水路を造り、水の流れをよくしたことで水質が改善されたと考えられる。その後、1999年に人力による開削を再開し、2002年、'03年は重機による大規模な浚渫を行っているにも関わらず、CODが増加、pHが高くなっており、水質はより悪化し

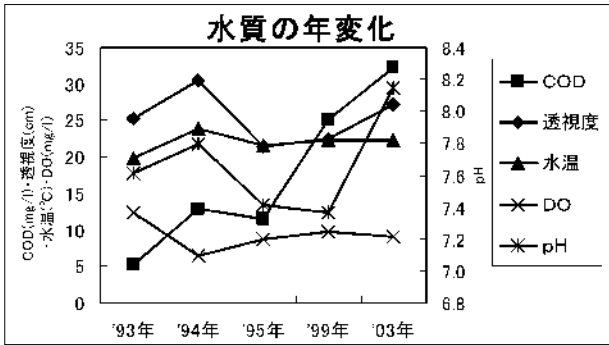


図9 水質の年変化
各調査項目ごとの年変化を表わす。値は各調査地点の平均をもとに年ごとに平均した。

ていることがわかった（図9参照）。

(3) トンボが利用する水域

全方形区内で観察されたトンボはのべ986個体であった。この中で最も多くの個体数を占めているのはイトトンボ科の662個体、次にトンボ科の270個体、ヤンマ科の42個体となっている（表3参照）。

これはトンネウス沼のトンボ相とほぼ一致し、この3科を中心に考察する。

方形区ごとに見ていくと、CO区（前の文字は方形区内、後ろの文字は方形区周辺を表し、Cは抽水植物群落、Oは開放水面・浮葉植物群落を表している）、OO区にトンボの個体数が多く、CC区、

表3 方形区内で観察された種とのべ個体数全方形区での個体数の合計。()内は%を表わす。

科名	種名	のべ個体数
モノサシトンボ科	モノサシトンボ	1 (0.1)
アオイトトンボ科	アオイトトンボ	8 (0.8)
イトトンボ科	アジアイトトンボ	20 (2.0)
	エゾイトトンボ	8 (0.8)
	オオイトトンボ	144 (14.6)
	キタイトンボ	35 (3.7)
	クロイトトンボ	76 (7.7)
	ルリイトトンボ	2 (0.2)
	セスジイトトンボ	1 (0.1)
	(合計 662)	不明
ヤンマ科	オオルリボシヤンマ	34 (3.4)
(合計 42)	不明	8 (0.8)
エゾトンボ科	オオトラフトンボ	3 (0.3)
トンボ科	アキアカネ	34 (3.4)
	ノシメトンボ	184 (18.7)
	ヒメリスアカネ	1 (0.1)
	シオカラトンボ	13 (1.3)
	ウスバキトンボ	15 (1.5)
	(合計 270)	不明
総計		986 (100.0)

OC区は少ない（図10参照）。つまり、抽水植物群落の周囲が開放水面・浮葉植物群落で被われている水域では、その抽水植物群落周辺にも、また、開放水面・浮葉植物群落にもたくさんのトンボが活動しているということである。そして、開放水面であっても、その周辺がヨシなどの抽水植物群落で囲まれてしまうと活動するトンボの個体数は大幅に減少する。

イトトンボ科ではのべ個体数の約8割が周辺が閉鎖されていない開放水面・ヒシなどの浮葉植物群落で、静止、植物の組織内に産卵している。（表4参照）これは、水域でのイトトンボ科の飛翔高度が水面ぎりぎりで大変低いため、水面が開けるとイトトンボ科は飛翔しやすく、多くの個体が飛び回るが、ヨシのように草丈が高く密度の高い植物群落で水域が被われたりで囲まれてしまうと、その中には入って行くことができないため、個体数は減少する。尚、CC区（抽水植物群落）内で観察できたイトトンボ科は抽水植物がまだ小さかった6月下旬に観察されたものであり、7月に入ると

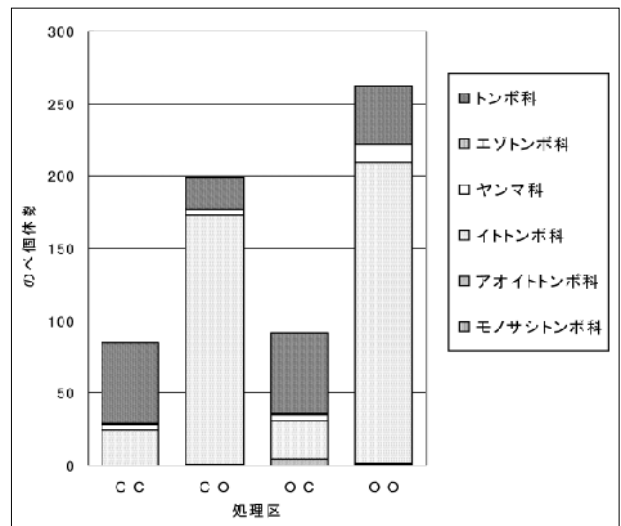


図10 各方形区の植生と科ごとの個体数
方形区内と周囲の植生により4種に分類した方形区ごとののべ個体数を科ごとに表わした。

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

表4 各方形区における行動の個体数
 各科ごとの方形区内の個体数を行動別に合計した。CCは調査方形区C1とC2の個体数の平均。
 OOはO1とO3の個体数の平均。

方形区 行動	モノサントンボ科				アオイトンボ科				イトンボ科			
	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2
通過	-	-	-	-	-	1	2	1	20.5	164	22	194
停止	-	-	-	-	-	-	2	0.5	1	5	3	5.5
採餌	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
争い	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	3
交尾	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	1.5
産卵	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	2	3.5
パトロール	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	-	-	-	0.5	-	1	4	1.5	24	172	27	207.5

方形区 行動	ヤンマ科				エントンボ科				トンボ科			
	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2	CC (C1+C2) /2	CO C3	OC C2	OO (O1+O3) /2
通過	4	3	2	11	0.5	-	-	0.5	54	18	53	31
停止	-	-	-	-	-	-	1	-	0.5	1	-	7.5
採餌	-	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	0.5
争い	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
交尾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
産卵	0.5	1	-	-	-	-	-	-	2	1	3	0.5
パトロール	-	-	2	1	-	-	-	-	-	2	-	-
合計	4.5	4	4	12.5	0.5	-	1	0.5	56.5	22	56	39.5

ほとんど観察されることはなかった。

トンボ科は各地点にやや平均的に見られた(図10参照)、特にCC区とOC区で抽水植物群落の上を通過した個体が多かった(表4参照)。これは、ノシメトンボやアキアカネがヨシやフトイなどの丈の高い植物によく停止しするため、特に、7月中旬～下旬には、まだ連結しないトンボが単独で植物に停止することが多かった。また、全ての調査区でトンボ科の産卵行動(打空産卵や打水産卵)が観察されていることから、トンボ科の産卵行動は植物の有無の影響をほとんど受けないことが分かった。さらに、シオカラトンボの縄張り保持のためのパトロール飛行とアキアカネの産卵行動は開放水面の多い場所で観察された。

ヤンマ科は個体数は少ないものの、全調査区で見られ、その行動のほとんど通過であった(図10、表4参照)。これはヤンマ科の雄が縄張りを維持・拡大するために、パトロール飛行をしているため

である。その飛行範囲は開けた水面や浮葉植物の上空、水面から2m程の高さであり、抽水植物を目印にしているため、開けた場所と抽水植物群落の両方を活動範囲にしているのである。雌は枯れ草や倒れたサンカクイやフトイ、ヨシなどに植物組織内産卵を行うため、CC区・CO区のように抽水植物の多い場所で活動個体が観察されることがわかった。

以上より、トンボ類3科について、その行動を次の表にまとめた。

表5 トンボ類の活動場所と主な行動
 個体数の多い3科について活動個体数が多い場所と行動をまとめたもの。行動の後の（ ）内の植物名はトンボに利用される主な植物。

科名	活動場所	主な行動(主な植物名)
イトトンボ	開放水面・浮葉植物群落	止まる(ヒシ)、植物組織内産卵(ヒシ)
トンボ	抽水植物群落	止まる(ヨシ、フトイ)、打空産卵
	開放水面	打空産卵・打水産卵
ヤンマ	抽水植物群落	産卵(ヨシ、フトイ、サンカクイ、ミクリ)
	開放水面	パトロール飛行

<イトトンボ科>

- ・ 飛翔高度が低いため、行動は植物高やその密度の影響を受ける。
- ・ 植物高の高い植物が生育する地点は利用しづらく、低い地点は利用しやすい。
- ・ 開けた地点では、水面を覆うヒシを選択的に利用し、止まったり産卵をする。

<トンボ科>

- ・ 飛翔高度が高いため、植物高の影響は少ない。
- ・ 停止には高めのヨシ、フトイを利用する。
- ・ 産卵には植物は直接関係しない(打空産卵、打水産卵のため)。

<ヤンマ科>

- ・ 雄は高い植物を目印として、開けた地点でパトロールをして、縄張りを形成する。
- ・ 雌は抽水植物の生体や、倒れた植物や水面に浮かぶ枯れ草などに産卵する。

開けた場所に点在するヨシなどの抽水植物の生体や枯れた茎につかまって産卵する行動が見られるなど、抽水植物も必要である事がわかった。これらをまとめるとトンボ類の生息に適した場所とは、広い開放水面とヒシなどの浮葉植物群落があり、ところどころにフトイ、ヨシなどの抽水植物の群落がある沼や池などであることがわかった。

(4) トンボ相の変化

① トンボ相の種類構成

14年間の総採集個体数は表6のとおりである。1990年から今年までの総採集個体数は9,354個体である。データには入っていないが、2000年にヒメリスアカネ、2001年にキトンボを1個体採集したのでそれを含めると、トンネウス沼には7科33種のトンボの生息が確認された。1998,'99年は調査回数が少ないため、個体数が少なかった。

モノサシトンボ科、アオイトトンボ科については、生態が似ていることから同じ均翅亜目のイトトンボ科と同様の行動をとっていると考えられる。これらの科も含めて全体的に見るとトンボ類の多くにとっては、開放水面またはヒシなどの浮葉植物で覆われている開けた場所が必要であることがわかった。特にイトトンボ科では産卵や静止にヒシを多く利用しており、その傾向が強かった。一方、

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために—

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

表6 トンボの総採集個体数

各調査年ごとに種別の採集個体数をまとめたもの。表にはないが、ヒメリスアカネは2000年、キトンボは2001年に1個体ずつ採集。

年度	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'98	'99	'02	'03
イトトンボ科 合計	215	478	301	349	190	466	104	178	355	441
1 アジアイトトンボ	17	163	19	17	5	128	2	4	42	2
2 ルリイトトンボ	23	33	12	28	3	20	89	25	162	172
3 クロイトトンボ	68	116	24	44	14	19	1	9	14	15
4 セスジイトトンボ	17	9	3	14	17	9		5	18	32
5 オオイトトンボ	64	81	99	183	116	222	8	15	82	62
6 エゾイトトンボ	26	69	108	61	35	62	3	92	27	142
7 オゼイトトンボ		5		1			1	5	2	3
8 キタイトンボ		2	36	1		6		23	8	13
モノサシトンボ科 合計	48	10	16	3	8	22	-	26	31	89
9 モノサシトンボ	48	10	16	3	8	22		26	31	89
アオイトトンボ科 合計	31	228	135	85	12	50	3	27	192	104
10 アオイトトンボ	14	24	26	23	10	2	3	20	63	59
11 エゾアオイトトンボ									2	
12 オツネイトンボ	17	204	109	62	2	48		7	127	45
ヤンマ科 合計	50	60	23	35	42	23	21	19	16	2
13 マダラヤンマ	1	7	7	2	18	9	6	3	1	
14 オオルリボシヤンマ	19	19	6	21	17	9	15	16	9	1
15 ルリボシヤンマ									2	
16 ギンヤンマ	30	34	10	11	7	5			4	1
17 アオヤンマ				1						
サナエトンボ科 合計	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
18 コサナエ								1		
エソトンボ科 合計	5	1	2	1	-	2	-	-	1	2
19 オオトラフトンボ	5	1	2	1		2			1	2
トンボ科 合計	297	419	593	695	582	818	144	369	327	234
20 シオカラトンボ	52	74	17	6	4	10	2	1	2	17
21 ヨツボシトンボ		1								
22 ミヤマアカネ					1					
23 ナツアカネ				1	2					
24 アキアカネ	127	225	302	571	418	559	34	122	173	99
25 タイリクアカネ			1			1				
26 タイリクアキアカネ					1					
27 マユタテアカネ		1	4		10	27		5	10	23
28 マイコアカネ			1			1	2	1	2	
29 コシメトンボ			1		1	1				
30 ノシメトンボ	118	106	257	117	136	198	106	239	139	95
31 ウスバキトンボ		12	10		9	21		1	1	
32 キトンボ										
33 ヒメリスアカネ										
総個体数	646	1,196	1,070	1,168	834	1,381	272	620	922	872
総種数	16	21	22	20	21	22	13	20	23	18

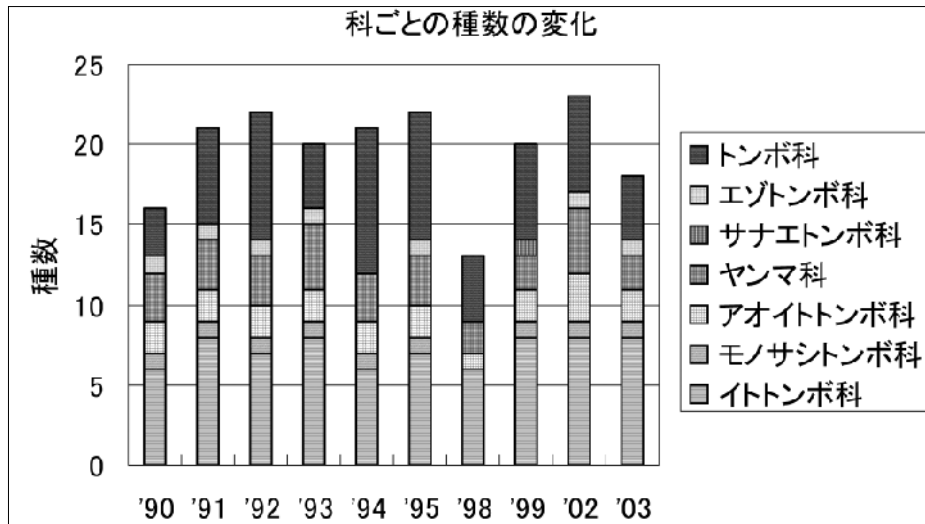


図11 科ごとの種数の変化
調査年ごとの種数を科別にまとめたもの。1998年は採集個体数が少ないため種数が少ない。

科ごとの種数の変化については（図11参照）、総種数は1998年を除くと種数の平均が20.3種で大きな変動はなく、沼の富栄養化が種数を減少させるほどに至っていないことがわかる。ただし科別に見ると、イトトンボ科については富栄養化による遷移が進んだ1994、'98年は6種と減少し、開削が行われた'99年以降は8種に増加している。このよ

うにイトトンボ科は富栄養化による遷移と人為的な植生の変化に大きく影響を受けている。

科別における個体数の推移についてはトンボ科については一貫した傾向は見られない。イトトンボ科、モノサシトンボ科、アオイトトンボ科は1990~'94年の富栄養化が進行している時期に減少し、開削が行われた'95年は増加した。開削が中断

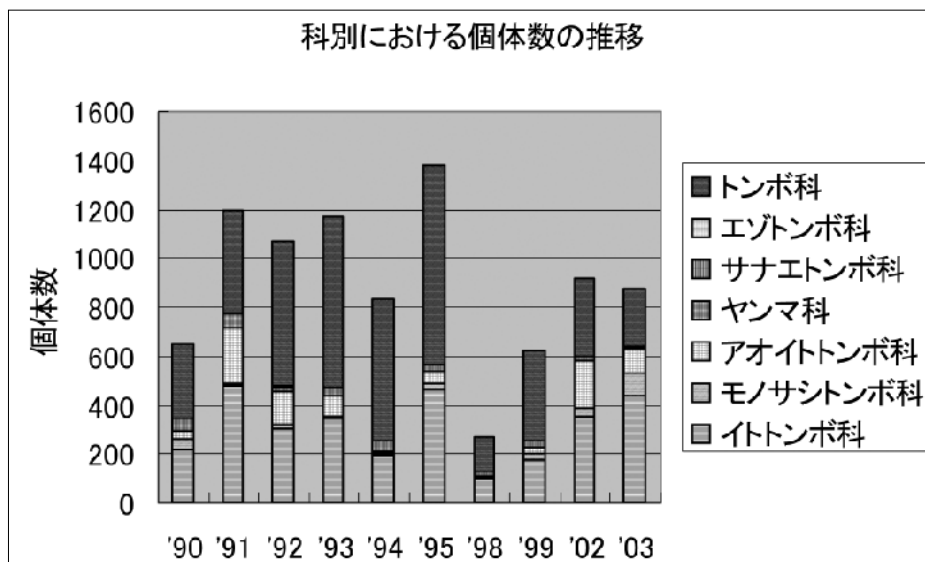


図12 科ごとの個体数の変化
調査年ごとの科別の個体数を表わす。

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために—

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

された1998年には減少したが、開削が継続して行われた1999年～2003年は増加した。ヤンマ科については減少の傾向を示しているが、大規模な開削が行われた2002年、'03年は回復の兆しを見せ始めている（図12参照）。このように、個体数の推移においては富栄養化と人為的な植生の影響が表れている。

②Simpsonの単純度指数

Simpsonの単純度指数を知ったきっかけは、数学の授業でくじなどが当たる確率を示す期待値というものについて学習したことである。トンボ相が単純化し、採集調査においても同じ種のトンボばかり捕まる状態は、当たりの多いくじを引いているのと同じではないかと考えたのである。その考えを顧問の先生に話したところ、種構成の多様性を示す値としてSimpsonの単純度指数を教えてくださいました。

全個体数をN、i番目の種の個体数を n_i とすると、 $n_i(n_i-1)/N(N-1)$ はi番目の種を2回連続で採集する確率を示している。この値を1番目の種から最後の種まで合計することにより、2回連続で同じ種を採集する確率が計算できる。Simpsonの単純度指数 λ は下記の式で求められる。

$$\lambda = \sum_i n_i(n_i-1) / N(N-1)$$

トンボ相が単純化すると特定の種の個体数だけが多くなり、その種を2回連続で採集する確率が高くなる。すなわち単純度指数が高くなる。このようにSimpsonの単純度指数は高くなるとトンボの種構成が単純化したことを、低くなると多様性が高まったことを示す。

富栄養化による遷移が進む1991年から'94年の時期は単純度指数が高くなったことからトンボ相の単純化が進んでいることがわかる。手作業によ

る開削が行われた1995年には一度指数が低下し多様性は回復した。開削を中断した1998年にかけては単純度が再び高くなった。開削を再開した1999年から指数は低下し、2002年、'03年は調査開始当時の指数にまで戻り、トンボ相の多様性が回復したと考えられる（図12参照）。

種数の推移はほとんど変化が見られなかったが、このように単純度指数の推移を見ると、富栄養化による抽水植物2のヨシ群落、ミズドクサ群落、木本植物のヤナギ群落の増加と浮葉植物のヒシ群落の減少により、イトトンボ科、モノサシトンボ科、アオイトトンボ科、ヤンマ科の個体数が減少し、トンボ相が単純化したことがわかった。さらに、開削などの人為的な働きかけを行い、抽水植物や木本植物を減少させ、開放水面を増加させることにより、イトトンボ科、モノサシトンボ科、アオイトトンボ科、ヤンマ科の個体数が増加し、トンボ相の多様性が回復する事がわかった。

③優占種の推移

各種の個体数%を多い順に累計し、その値が80%を越える種までを優占種とした。そして、この優占種数が多いほどトンボ相の多様性が高いと考えた。なぜなら少数の種の個体数が全体の大部分を占める単純化した状態では優占種数は少なく、多くの種の個体が偏りなく含まれる多様性の高い

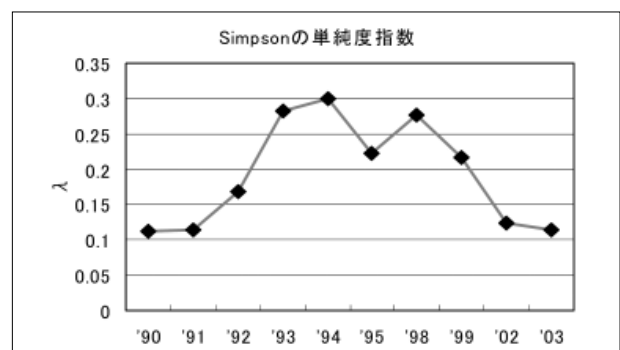


図12 科ごとの個体数の変化
調査年ごとの科別の個体数を表わす。

状態では優占種数は多くなるからである。

優占種数の推移を見ると、1990年に4科8種あったものが'94年は2科3種に減少している。1995年は2科4種に増加したが、'98年には再び2科3種に減少した。1999年以降は優占種数が増加し、2003年には4科7種となった(表7参照)。これらは、富栄養化による遷移が進む時期はトンボ相の単純化が進行し、開削などの人為的働きかけによってトンボ相の多様性が回復したことを示しており、Simpsonの単純度指数の推移と同様であった。このことから、優占種数の推移によってもトンボ相の多様性を判断できる事がわかった。

優占種の種類構成について見ると、ほぼ毎年優占種に入っているアキアカネ、ノシメトンボ、オオイトトンボはトンネウス沼における普通種と考えられる。それ以外の優占種を調査開始当時の1990年、'91年と2002年、'03年を比較すると、モノサシトンボ、オツネントンボ、エゾイトトンボのように共通した種も見られるが、'90年、'91年には見られたクロイトトンボ、アジアイトトンボ、ギ

ンヤンマ、シオカラトンボは'02年、'03年には見られず、新たにルリイトトンボ、アオイトトンボが優占種となっている。このことから、優占種数およびSimpsonの単純度指数からトンボ相の多様性は回復してきたと考えられるが、種類構成は1990年、'91年のものとは変化していることがわかった。

④種における推移

Simpsonの単純度指数および優占種数の推移から、富栄養化による遷移が進行するとトンボ相が単純化し、開削などの人為的な働きかけによって開放水面が増加するとトンボ相の多様性が高まる事がわかった。富栄養化により個体数が減少し、開削によって増加する傾向を示す種はイトトンボ科のルリイトトンボ、クロイトトンボ、エゾイトトンボ、モノサシトンボ科のモノサシトンボ、アオイトトンボ科のアオイトトンボ、オツネントンボ、エゾトンボ科のオオトラフトンボ、ヤンマ科ギンヤンマ、トンボ科のシオカラトンボである。しかし、ヤンマ科のマダラヤンマは逆の傾向を示

表7 優占種の年変化 各調査年ごとの優占種の種類構成を表わす。

順位	'90年	'91年	'92年	'93年	'94年	'95年	'98年	'99年	'02年	'03年
1	アキアカネ	アキアカネ	アキアカネ	アキアカネ	アキアカネ	アキアカネ	ノシメトンボ	ノシメトンボ	アキアカネ	ルリイトトンボ
2	ノシメトンボ	オツネントンボ	ノシメトンボ	オオイトトンボ	ノシメトンボ	オオイトトンボ	ルリイトトンボ	アキアカネ	ルリイトトンボ	エゾイトトンボ
3	クロイトトンボ	アジアイトトンボ	オツネントンボ	ノシメトンボ	オオイトトンボ	ノシメトンボ	アキアカネ	エゾイトトンボ	ノシメトンボ	アキアカネ
4	オオイトトンボ	クロイトトンボ	エゾイトトンボ	オツネントンボ		アジアイトトンボ		モノサシトンボ	オツネントンボ	ノシメトンボ
5	シオカラトンボ	ノシメトンボ	オオイトトンボ	エゾイトトンボ				ルリイトトンボ	オオイトトンボ	モノサシトンボ
6	モノサシトンボ	オオイトトンボ							アオイトトンボ	オオイトトンボ
7	ギンヤンマ	シオカラトンボ								アオイトトンボ
8	エゾイトトンボ									

※個体数%の累積が80%を越えるまでの種を優占種とした。

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

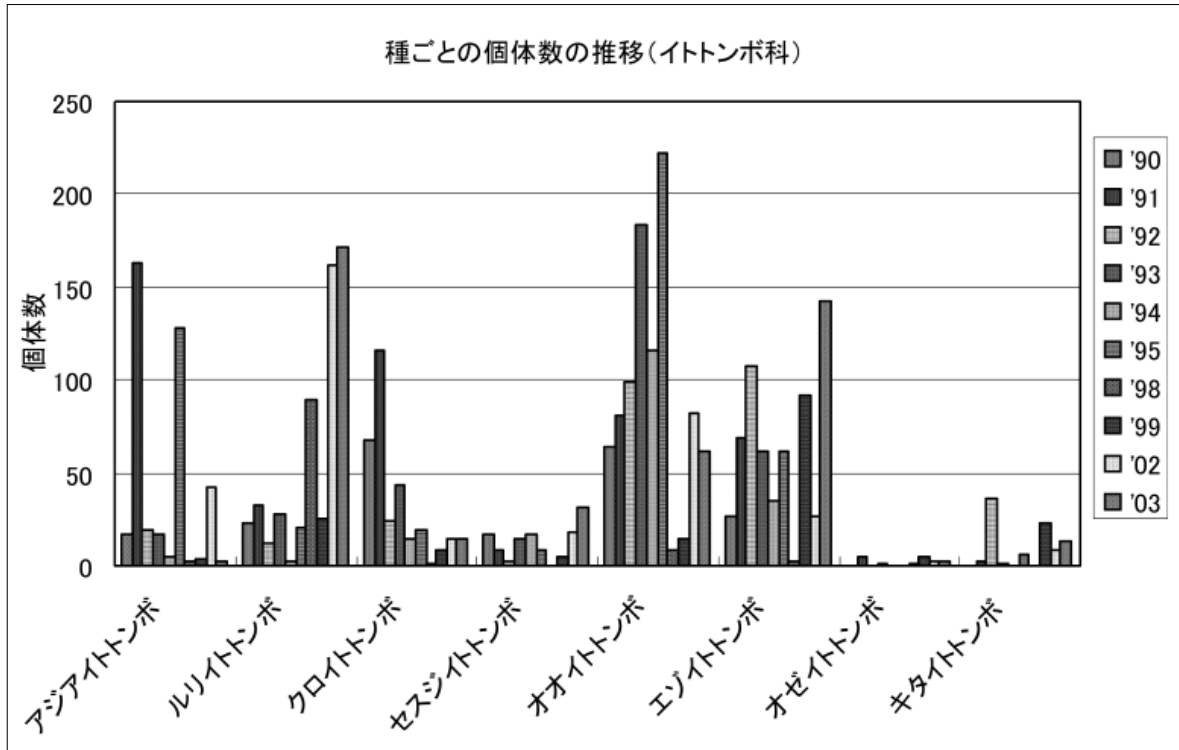


図14 種ごとの個体数の推移 (1)
イトトンボ科の各種の個体数の年変化を表わしたものを。

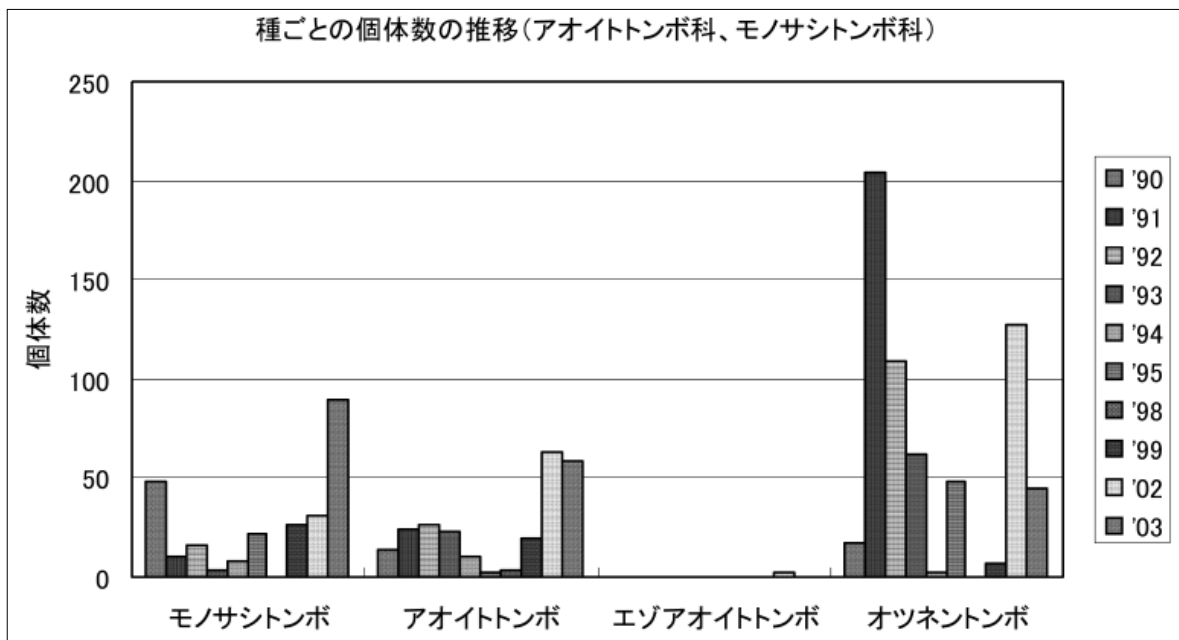


図15 種ごとの個体数の推移 (2)
モノサシトンボ科・アオイトトンボ科の各種の個体数の年変化を表わしたものを。

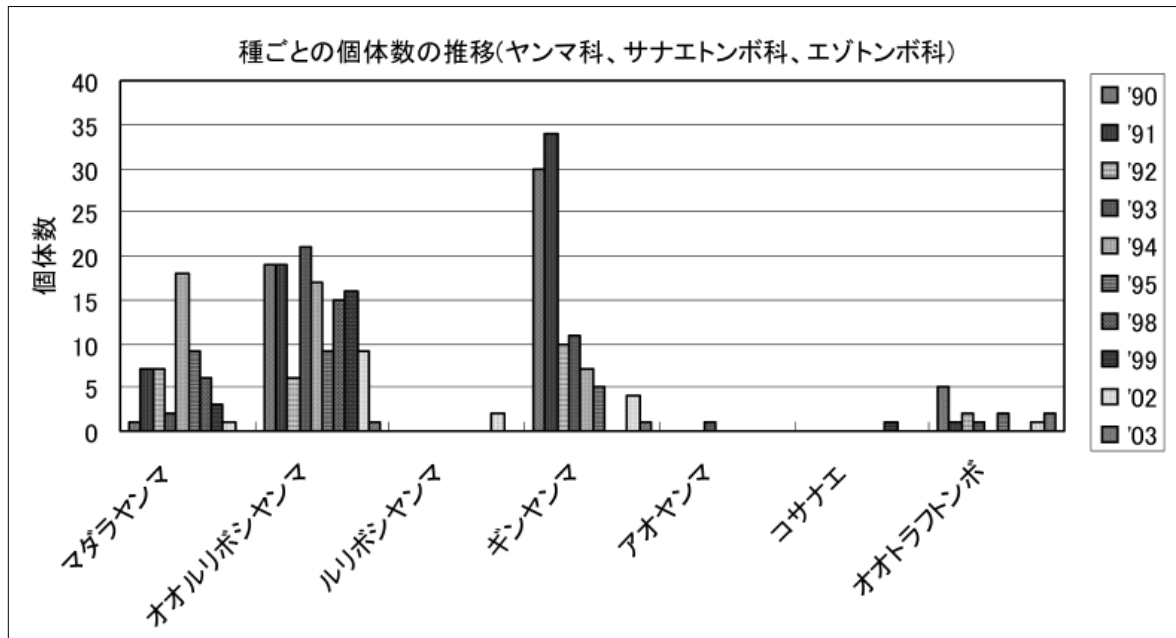


図16 種ごとの個体数の推移 (3)
ヤンマ科・サナエトンボ科・エゾトンボ科の各種の個体数の年変化を表わしたもの。

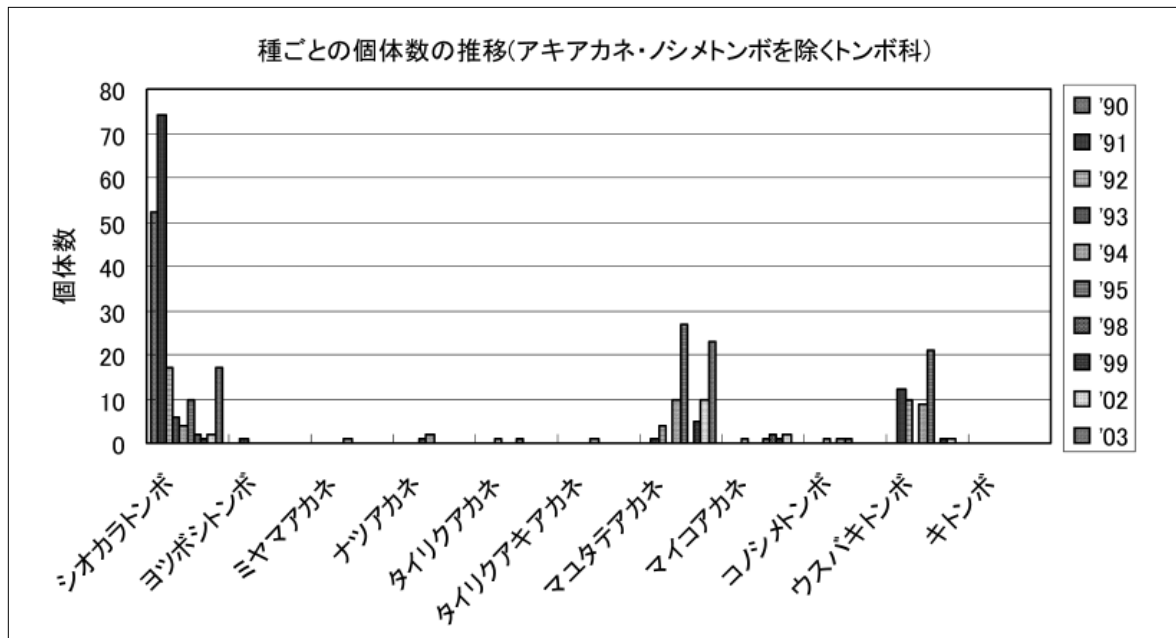


図17 種ごとの個体数の推移 (4)
アキアカネ・ノシメトンボを除くトンボ科の各種の個体数の年変化を表わしたもの。

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために—

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

し、イトトンボ科のアジアイトトンボ、セスジイトトンボ、キタイトトンボ、ヤンマ科のオオルリボシヤンマ、トンボ科のマユタテアカネは植生の変化の影響をあまり受けていないことがわかった。(図14～17参照)

富栄養化による遷移によって、個体数が減少する種についてその要因を考えてみる。モノサシトンボ科、アオイトトンボ科、イトトンボ科の種は、生殖活動を行う際に水面近くを利用しているため、ヨシなどの抽水植物²が増加するとそれが妨げとなる。さらに、浮葉植物が減少することにより、静止、交尾、産卵などの場が少なくなるため個体数が減少する。ヤンマ科のギンヤンマ、トンボ科のシオカラトンボのオスは、縄張りに開放水面や浮葉植物の上空を利用しているため、抽水植物の増加によって広い空間が確保できなくなる。また、オスの縄張りはメスにとっては産卵場所である。ヤンマ科については植物組織内に産卵するが、群落密度が高くなると産卵行動が妨げられ、トンボ科については打水産卵を行うため、開放水面を必要とする。これらにより抽水植物²が増加すると縄張り、産卵の場が少なくなり個体数が減少する。

以上のことから、開削などを行い、抽水植物²、木本植物を減少させることで減少していた種の個体数が増加し、トンボ相の多様性が回復することがわかった。

まとめ ～人工的な水環境（ビオトープ）と人の関わり～

近年、日本においてもようやく自然環境の重要性が注目され、大型の開発事業なども見直しが行われ、工事が凍結や中止されるようになった。地域においてもビオトープづくりなど人の手によって豊かな自然を作ろうという取り組みが試みられるようになった。一般的に自然保護活動とは、もと

もとある自然の形をそのままに人が手を加えないようにして守る活動と考えられている。しかし、人が手を加えてしまった河川や池沼などにおいては、手を加えてからしばらくの間は生物の多様性は増していくが、その後は遷移により特定の種の植物群落が大部分を占めるようになり、動物相も影響を受け限られた種しか生存できなくなる。こうした単純化した生態系は気候などの環境の変化によって、そこに住む生物が大量に死亡することがある。また、生物種の激減は水質の悪化、気温の上昇など無機的环境の変化も引き起こし、多くの生物にとってますます住みづらい環境となる。そのような状態になるのを防ぐには、人為的な働きかけを行い多様性を維持する必要がある。

トンネウス沼においては人が手を加えない状態にしておくも富栄養化による遷移が起り、浮葉植物が減少、抽水植物が増加することがわかった。その影響を受け、イトトンボ科、モノサシトンボ科、アオイトトンボ科、ヤンマ科の産卵、交尾などの場が失われて個体数が減少し、トンボの種類構成が単純化した。これに対して増えすぎたヨシ、ミズドクサなどの抽水植物を取り除く開削などの人為的な働きかけによって植生を変化させることで、トンボ相の多様性が回復することがわかった。

つまり、人工的に作られた水環境において、生物の多様性が維持されているかどうかはトンボ相から判断できるのである。そして、その結果に基づいて、遷移により単純化した植生に人為的に手を加えて多様性の高い植物群落をつくるのである。つまり、増えすぎた植物を開削などにより取り除き、様々な種の植物群落が存在する状態にして、多くの種の動物が生息できる環境をつくるのである。

ただし、こうした取り組みを行う上においては、1996年～'98年の開削中断によって沼の富栄養化

が再び進行し、トンボ相の単純化が進んだことから、人為的な働きかけは定期的にはかも継続的に行う必要があることがわかった。また、研究の結果から富栄養化による遷移によって増加し、開削などによって減少した種もいることがわかった。そのため、全面的に開削を行うのではなくヨシなどの抽水植物が繁茂する部分も残すなど、多様な植生が作られるよう配慮しなければならない。

私達は、トンネウス沼の開削の必要性を地域に呼びかけてきた。その結果、地域の方々、カラカネイトトンボを守る会の方々、札幌市河川課の方々など、実に多くの方々の協力を得て開削や浚渫などを行なうことができた。こうした努力の結果、ようやくトンネウス沼が多様性の高い自然に変わってきた。

また、私達はこうした取り組みを地域に住む人々と共に行うことにより、多くの方が沼の自然と触れ合い、親しめる場をつくることを目指している。このような場を日本の伝統的な地域の「里山」にならって私達は「里沼」と呼びたい。「里沼」とは身近な自然であり、人々が定期的手を加えて整備することにより、多様性の高い自然が保たれ、人間とその他の生物が共存できる場所である。また、人々にとっては憩いの場、様々な生物にふれ合う場、生物や自然に関する調査、教育の場として利用できる場所である。私達は今後もこのような「里沼」をつくるために多くの方々と協力して取り組んでいきたい。

最後に、いつもご支援してくださっている札幌市河川課及び北区町づくりコンテスト、カラカネイトトンボを守る会、あいの里地区の各町内会の皆様、トンネウス沼の航空写真ご提供くださった(株)道央フォートの荒木武司氏、いつもご教授下さる旭川大学女子短期大学部講師の斎藤和範氏、

岡山大学(元北海道教育大学札幌校)安永友秀氏に心から感謝しております。そして、14年間、本校理科研究部でトンボの研究活動を代々受け継がれてこられた先輩の方々、大竹章仁氏、賀数久美子氏、近藤徹氏、梅田譲氏、尾井真由美氏、原田智宏氏、竹内由美氏、善積明美氏、柳沼朋美氏、松本康一氏、佐藤潤氏、若林美紀氏、川口貴之氏、佐藤弘樹氏、佐々木章子氏、中村紀子氏、坪田守正氏、高橋尚子氏、円山富貴氏、鹿能真由美氏、田口真澄氏、吉沼利晃氏、亀田亜希子氏、山田梢恵氏、太田賢吾氏、倉内洋平氏、館下誉志陸氏、植村武氏には心から尊敬いたします。ありがとうございました。また、5年間我が部の指導をして下さった田村早奈英先生には家族より長い時間ご一緒して下さい、具体的な指導をして下さりました。今春から顧問として、いつも私達に適切な指導をして下さった加藤聡先生、そして14年間、創部の時から部の指導をして下さり、なにより私にも入部したときから昼夜を惜しまず今も指導して下さい、綿路昌史先生、本当に感謝いたします。

尚、本研究は(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業によって実施しました。

参考文献

- ・浜田 康・井上 清(1985)日本産トンボ大図鑑。講談社
- ・杉村光俊・石田昇三・小島圭三・青木典司(1999)原色日本トンボ幼虫・成虫大図鑑 北海道大学図書刊行会
- ・石田昇三・小島圭二・石田勝義・杉村光俊(1988)日本産トンボ幼虫
- ・成虫検索図説。東海大学出版会
- ・牧野 富太郎(1967)学生版 牧野日本植物図鑑。北隆館
- ・日本分析化学会編・北海道支部編解説(1967)水の分析。化学同人
- ・川辺昌子(1993)だれでもできるやさしい水のしらべかた。合同出版
- ・山田常雄 前川文夫 江上不二夫 八杉竜一 小関治男 古谷雅樹 日高敏隆(1983)岩波生物学辞典。岩波書店 第3版
- ・綿路昌史・北海道札幌拓北高等学校理科研究部(1993)

沼地の富栄養化による植生の遷移とトンボ相の変化

一人為的に造られた自然の多様性を維持するために―

北海道札幌拓北高等学校 理科研究部 山上佳祐

-
- トンネウス沼に生息するトンボ類の種類構成と季節消長について 北海道トンボ研究会報 Vol.6
 - ・綿路昌史・北海道札幌拓北高等学校理科研究部 (1996)
トンネウス沼におけるトンボ相の遷移. 北海道トンボ研究会報 Vol.8
 - ・綿路昌史・北海道札幌拓北高等学校理科研究部 (1996)
石狩支庁でタイリクアキアカネを発見. 北海道トンボ研究会報 Vol.8
 - ・綿路昌史・北海道札幌拓北高等学校理科研究部 (1997)
トンネウス沼に生息するトンボ類の種類構成と採集データ. 北海道トンボ研究会報 Vol.9
 - ・綿路昌史・北海道札幌拓北高等学校理科研究部 (2000)
石狩川下流域における原トンボ相とその移り変わり. 北海道トンボ研究会報 Vol.12
 - ・北海道札幌拓北高校理科研究部 (2001)
トンボ類は水辺の植物をどのように利用するか
全道高等学校理科研究発表大会発表資料