

# 中禅寺湖・湯の湖の 動・植物プランクトン相に関する解析\*

小山次朗\*\*・福田訓真\*\*

## 1. はじめに

中禅寺湖および湯の湖は、日光国立公園内に位置し、その景観美等によって重要な観光資源となっている。しかし、湯の湖はすでに中栄養から富栄養の段階にあり、中禅寺湖はまだ貧栄養の段階にあるものの、*Uroglena americana* の大量発生<sup>1)</sup>およびアワの大量発生<sup>2)</sup>等の問題が起り、最近その富栄養化の進行が懸念されているところである。そこで本報告では、両湖の動・植物プランクトン相の概要について述べ、さらに各種指数を使ってその変化傾向の解析を行った。

## 2. 調査方法

### 2・1 プランクトン調査方法

プランクトンの採集は、毎年4月から11月まで両湖の湖心（中禅寺湖 C-6、湯の湖 Y-5）で行った。植物プランクトンは、中禅寺湖で水深5m、湯の湖で表層の湖水を採集してこれを試料とし、動物プランクトンは、中禅寺湖で0～30m、湯の湖で0～10mを網目 NXX 13 のプランクトンネットで垂直びきして試料を得、それぞれのプランクトンを計数した。なお、計数方法等の詳細については文献<sup>3)</sup>を参照されたい。

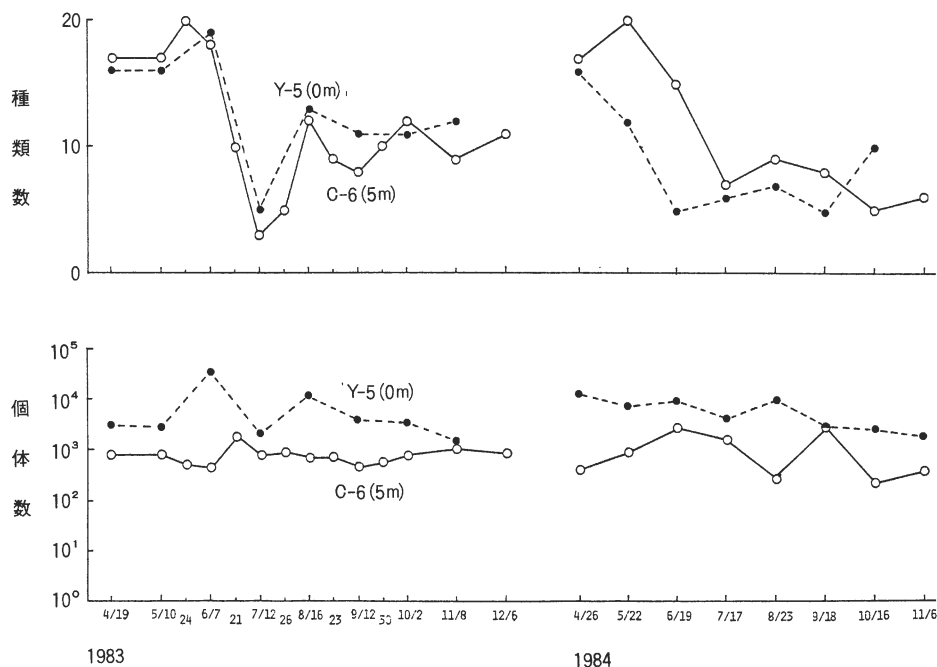


図1 湯の湖、中禅寺湖の植物プランクトンの種類及び個体数の変化

\* A Discussion of the Seasonal Changes of Zooplankton and Phytoplankton in Lakes Chuzenji and Yunoko

\*\* Jiro KOYAMA, Kunimasa FUKUDA (栃木県公害研究所) The Tochigi Prefectural Research Institute for Environmental Pollution

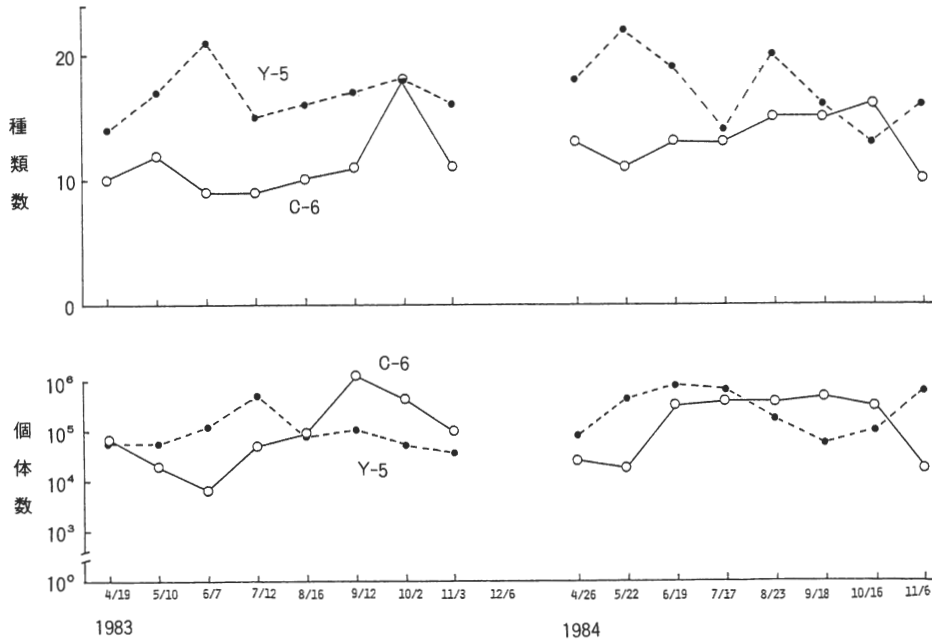


図2 湯の湖, 中禅寺湖の動物プランクトンの種類及び個体数の変化

## 2・2 解析方法

本報告では, プランクトン相の変化傾向の解析に Simpson の多様性指数 (以後  $DI$  と略記) および森下の類似度指数<sup>4)</sup> (Morishita's  $C\lambda$ , 以後,  $C\lambda$  と略記) を用いたが, その計算式は下記のようなものである。

$$\text{Simpson's } DI = 1 - \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

Morishita's  $C\lambda$

$$= \frac{2\sum n_1 n_2}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 N_2} \left( \lambda = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right)$$

$N$ : 総個体数 (個/ml)

$n$ : 各種類の個体数 (個/ml)

多様性指数は生物群集構造の多様性を示すものであり, 一般に種類数が多く, 多種類が均等に分布しているほど, その値が高くなる<sup>5)</sup>。本報告では  $DI$  を各月の動, 植物プランクトンの多様性および各種類の均等性の目安として用いた。また, Morishita の  $C\lambda$  は2つの生物群集の組成の類似性を数値で表わしたものであり, その値は0~1の範囲をとり, 1に近いほど類似性が高いものである。本報告では  $C\lambda$  を各調査時期間相互のプランクトン相の類似性の目安とした。

## 3. 結果および考察

1983, 1984年における湯の湖, 中禅寺湖の動, 植物

プランクトンの種類および個体数の時期変化を図1, 2に示し, 両湖の動, 植物プランクトン優占種の時期変化を表1, 2に示した。

### 3・1 植物プランクトン

中禅寺湖では種類数3~20, 個体数200~3,000個体/ml, 湯の湖では種類数5~19, 個体数200~3,600個体/mlで推移した。また, 両湖の植物プランクトンの種類数は6ないし7月に減少し, その後, 漸増する傾向がみられたが, 個体数の変動に一定の傾向は認められなかった。この植物プランクトン種類数の減少は, 図3に示す  $DI$  にもその傾向を表わしている。つまり, 中禅寺湖および湯の湖とも6ないし7月に  $DI$  値の著しい低下が認められており, 植物プランクトン相の多様性および種の分布の均等性の低下したことがうかがわれる。これは, この時期に両湖で *Uroglena americana* が全個体数の50~90%を占めていたためと考えられる。また, 表1に示した1983~1985年の両湖の植物プランクトン優占種の推移によると, 中禅寺湖では4~6月に *Melosira italica*, *Cyclotella meneghiniana*, *Asterionella formosa* あるいは *Synedra* spp. を中心とするケイ藻, 7, 8月に *U. americana*, 9月に *Crucigenia* sp., *Oocystis parva*, *Quadrigula chodatii* あるいは *Sphaerocystis schroteri* を中心とする緑藻, 10, 11月に *Fragilaria crotonensis*, *U. americana* あるいは, *Melosira* sp. が主に出

表1 中禅寺湖植物プランクトン優占種 ( )内は占有率(%)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1983	<i>Melosira italica</i> (45)	<i>M. italica</i> (47)	<i>M. italica</i> (26)	<i>Uroglena americana</i> <i>Oocystis parva</i> (32)	<i>U. americana</i> (55)	<i>Crucigenia</i> sp. (34) <i>O. parva</i> (26)	<i>Fragilaria crotonensis</i> (58) <i>U. americana</i> (20)	<i>F. crotonensis</i> (65)
1984	<i>M. italica</i> (36) <i>Cyclotella meneghiniana</i> (20)	<i>Asterionella formosa</i> (40) ( <i>Synedra</i> spp.(19)	<i>A. formosa</i> (43) ( <i>Synedra</i> spp.(24)	<i>U. americana</i> (82)	<i>U. americana</i> (54)	<i>Sphaerocystis schroteri</i> (58) <i>F. crotonensis</i> (31)	<i>S. schroteri</i> (67)	<i>Melosira</i> sp. (60)
1985	<i>M. italica</i> (84)	<i>M. italica</i> (57)	<i>U. americana</i> (69)	<i>U. americana</i> (83)	<i>U. americana</i> (51) <i>Quadrigula chodatii</i> (40)	<i>Crucigenia</i> sp. (38) <i>Q. chodatii</i> (26)	<i>F. crotonensis</i> (53) <i>U. americana</i> (26)	<i>U. americana</i> (48) <i>F. crotonensis</i> (30)

湯の湖植物プランクトン優占種

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1983	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> fo. <i>spiralis</i> (41) <i>Diatoma elongatum</i> (14)	<i>U. americana</i> (14) <i>Synedra acus</i> (13) ( <i>Stephanodiscus</i> spp. (19))	<i>U. americana</i> (77) <i>A. formosa</i> (11)	<i>U. americana</i> (93)	<i>U. americana</i> (94)	<i>U. americana</i> (59) <i>Cryptomonas ovata</i> (34)	<i>C. ovata</i> (47) <i>U. americana</i> (40)	<i>U. americana</i> (31) <i>C. ovata</i> (30)
1984	<i>Diatoma elongatum</i> (21) <i>A. formosa</i> (12) ( <i>Stephanodiscus</i> spp. (56))	<i>Synedra acus</i> (51)	<i>U. americana</i> (91) <i>A. formosa</i> (38)	<i>U. americana</i> (50) <i>A. formosa</i> (38)	<i>U. americana</i> (92)	<i>U. americana</i> (99)	<i>U. americana</i> (53) <i>C. ovata</i> (24)	<i>C. ovata</i> (66) <i>U. americana</i> (19)
1985	<i>Synedra acus</i> (33) ( <i>Stephanodiscus</i> spp. (41))	<i>S. acus</i> (41) ( <i>Stephanodiscus</i> spp.(40))	<i>A. formosa</i> (63) <i>U. americana</i> (34)	<i>A. formosa</i> (71) <i>U. americana</i> (25)	<i>A. formosa</i> (67) <i>U. americana</i> (24)	<i>U. americana</i> (48) ( <i>Fragilaria</i> spp.(44))	<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i> fo. <i>spiralis</i> . (88)	<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i> fo. <i>spiralis</i> (90)

表2 中禅寺湖動物プランクトン優占種

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1983	<i>Kellicolia longispina</i> (62) <i>Notholca</i> sp. (35)	<i>K. longispina</i> (73)	<i>Acanthodiaptomus pacificus</i> (53) <i>Daphnia longispina</i> (32)	nauplius (34) <i>Daphnia longispina</i> (32)	<i>Ceratum hirundinella</i> (64)	<i>C. hirundinella</i> (96)	<i>C. hirundinella</i> (84)	<i>K. longispina</i> (58) <i>C. hirundinella</i> (33)
1984	<i>K. longispina</i> (94)	<i>K. longispina</i> (91)	<i>K. longispina</i> (88)	<i>K. longispina</i> (88)	<i>K. longispina</i> (73) <i>C. hirundinella</i> (21)	<i>C. hirundinella</i> (54) <i>K. longispina</i> (43)	<i>C. hirundinella</i> (78)	<i>C. hirundinella</i> (40) <i>D. longispina</i> (23) <i>K. longispina</i> (21)
1985	nauplius (40) <i>A. pacificus</i> (17)	<i>A. pacificus</i> (56)	nauplius (51) <i>A. pacificus</i> (28)	nauplius (59)	<i>C. hirundinella</i> (47) <i>D. longispina</i> (24)	<i>C. hirundinella</i> (86)	<i>C. hirundinella</i> (73)	<i>D. longispina</i> (44) <i>A. pacificus</i> (23)

湯の湖動物プランクトン優占種

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
1983	<i>Keratella quadrata</i> (88) <i>divergens</i> (88)	<i>K. quadrata</i> (71) <i>divergens</i> (71)	<i>K. quadrata</i> (86) <i>divergens</i> (86)	<i>K. quadrata</i> (47) <i>Bosmina longirostris</i> (25)	<i>K. quadrata</i> (29) <i>divergens</i> (29) <i>Carchesium</i> sp. (27) <i>D. longispina</i> (25)	<i>Asplanchna prionota</i> (43)	<i>B. longirostris</i> (30) nauplius (28) copepodid (25)	copepodid (37) nauplius (31)
1984	<i>Filinia longiseta</i> (64)	<i>K. quadrata</i> (44) <i>divergens</i> (44) <i>F. longiseta</i> (33)	<i>K. quadrata</i> (70) <i>divergens</i> (70)	<i>K. quadrata</i> (83) <i>divergens</i> (83)	<i>K. quadrata</i> (39) <i>divergens</i> (39)	<i>B. longirostris</i> (32)	<i>B. longirostris</i> (62)	<i>K. quadrata</i> (54) <i>divergens</i> (54)
1985	<i>Dijffugia</i> sp. (60) <i>K. quadrata</i> (24) <i>divergens</i> (24)	<i>K. quadrata</i> (40) <i>divergens</i> (40)	<i>K. quadrata</i> (61) <i>divergens</i> (61) <i>B. longirostris</i> (25)	<i>K. quadrata</i> (36) <i>divergens</i> (36) <i>B. longirostris</i> (31)	<i>Epistylis</i> sp. (39) <i>K. quadrata</i> (28) <i>divergens</i> (28)	<i>Epistylis</i> sp. (56)	<i>Polyarthra trigla</i> (39) <i>F. longiseta</i> (27)	<i>P. trigla</i> (46)

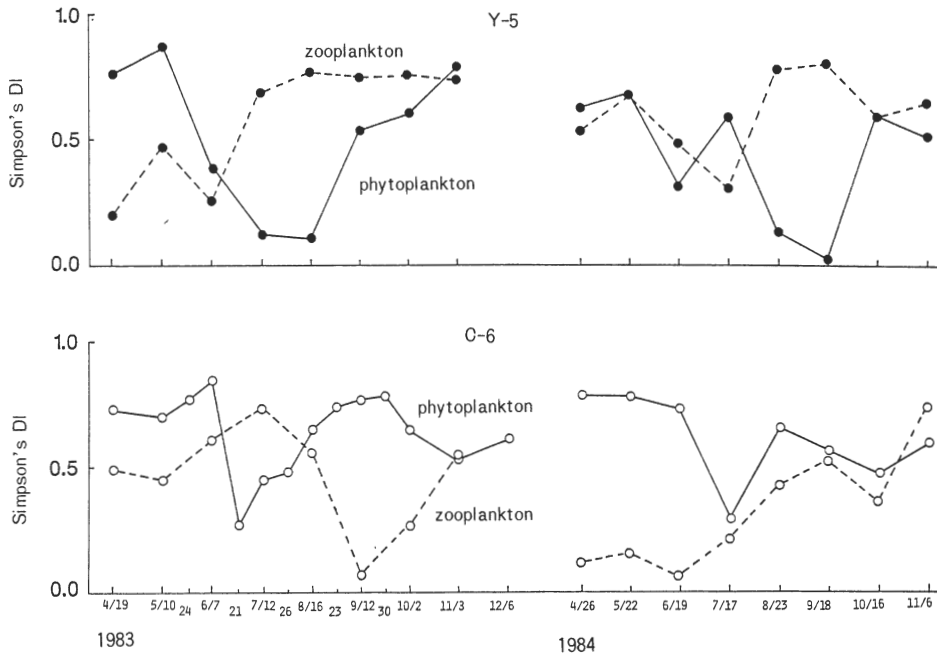


図3 湯の湖, 中禅寺湖の動・植物プランクトンの多様性指数の変化

現した。また、湯の湖では4, 5月に *Melosira granulata var. angustissima fo. spiralis*, *Diatoma elongatum*, *Synedra acus*, *A. formosa* あるいは *Stephanodiscus* spp. を中心とするケイ藻, 6 ~ 9月に *U. americana* および *A. formosa*, 10, 11月に *U. americana*, *Cryptomonas ovata* あるいは *M. granulata var. angustissima fo. spiralis* が主に出現した。図3に示すように両湖の植物プランクトンのDI値の変化をみると、前述したように *U. americana* が優占した時期(特に7月前後)に著しい低下を示した。

このように両湖において *U. americana* が、それらの植物プランクトン相に重要な位置を占めることがわかる。そこで以下に両湖の *U. americana* 出現状況について述べる。図4に中禅寺湖C-4の水深5m, 湯の湖Y-5表層の1983年における *U. americana* 群体および両湖の表層水温を示した。これによると *U. americana* の群体が最も多い時期は、湯の湖では5~6月, 中禅寺湖では6~7月であった。また, *U. americana* の増殖適温である15℃に水温が達する時期は、湯の湖で5~6月, 中禅寺湖で6~7月で前述の *U. americana* 群体数の最も多い時期と一致している。さらに湯の湖から発し、中禅寺湖に流入する湯川の末流で多数の *U. americana* が認められた<sup>1)</sup>ことから、中禅寺湖の *U. americana* は、湯の湖から湯川を介して供給され、水温が増殖適温である15℃となる6~7月にか

けて活発に増殖したものと考えられる。

### 3・2 動物プランクトン

中禅寺湖では種類数9~18, 個体数6,300~1,280,000個体/m<sup>3</sup>, 同様に湯の湖で種類数10~22種, 個体数17,000~800,000個体/m<sup>3</sup>で推移しており、湯の湖の種類数の多いことがわかる。種類数、個体数とも明瞭な変動傾向を示さないものの、両湖の個体数を比較した場合、春~夏季には湯の湖 > 中禅寺

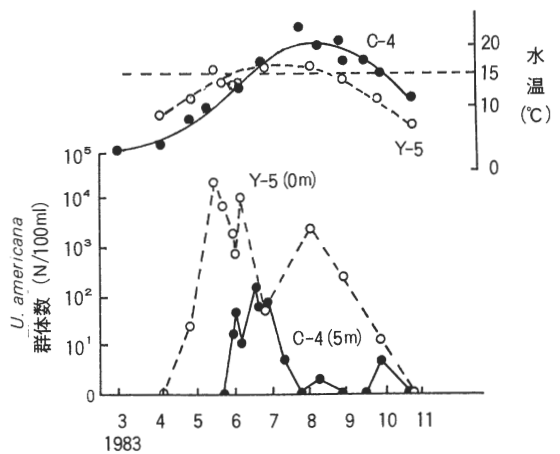


図4 湯の湖(Y-5)及び中禅寺湖(C-4)の *Uroglena americana* の群体数及び表層水温の変化(1983年)

湖, 夏季~秋季には湯の湖 < 中禅寺湖であった。また, 両湖の動物プランクトン優占種の推移を表 2 に示した。1985 年 4~7 月に中禅寺湖では橈脚目の幼生である nauplius が最も多く出現した。中禅寺湖に現在まで出現している橈脚目の主なものは *Acanthodiatomas pacificus* であることから, この nauplius 幼生も *A. pacificus* と考えられる。したがって中禅寺湖では, 4, 5 月に *Kellicotia longispina* および *A. pacificus*, 6, 7, 8 月に *K. longispina*, *Daphnia longispina*, *Ceratum hirundenella* あるいは, *A. pacificus*, 9, 10 月に *C. hirundenella*, 11 月に前述の 4 者が主に出現した。また湯の湖では 4~8 月まで主に *Keratella quadrata divergens* あるいは, *Bosmina longirostris* が出現した。一方, 9~11 月の優占種は, 年によって異なっていた。両湖の動物プランクトンの DI 値の時期変化には一定の傾向は認められなかったものの, 両湖とも DI 値が著しく低下する時には, 中禅寺湖では *K. longispina* が 90% 前後の占有率を示し, 湯の湖では, *K. quadrata divergens* が 80% 以上の占有率を示すことがわかる。

3・3 プランクトン相の時期間類似性

次に両湖の動, 植物プランクトンの調査時期相互の類似度を Cλ を使って解析した結果を表 3~6 までに示した。なお, 表中破線で囲んだ部分は Cλ の値が高いことを示し, その期間のプランクトン相が比較的類似していたことを示すものである。このような Cλ による時期間プランクトン相の類似性とその時期のプランクトン優占種を組み合わせて各湖のプランクトン相の推移について, 以下に解析を行った。

表 3 に示す中禅寺湖の植物プランクトンの場合, 1983 年 3 月~6 月まで Cλ が 0.6~0.97 と高い値を示しておりこの時期は, *M. italica* を主とするケイ藻が優占した時期と一致する。また, 同年 10 月~12 月にも Cλ が 0.6~0.95 であったが, これは *F. crotoneensis* が優占した時期と一致するものである。一方, 6 月 7 日と 6 月 21 日の間の Cλ が 0.079 と著しく低い値を示し, 逆に 6 月 21 日と 7 月 12 日の間に Cλ が 0.92 と高い値を示し, その値の変動が激しい時期があるが, これは優占種がケイ藻から *U. americana* に急変したためと考えられる。また, 1984 年では, 5 月 30

表 3 中禅寺湖における植物プランクトンの時期間類似度(Morishita's C 2)

	1983 3/16	4/19	5/10	5/24	6/7	6/21	7/12	7/26	8/9	8/23	9/12	9/30	10/12	11/ 8	12/6
1983															
3/16 C-4-5		0.744	0.606												
4/19 C-6-5			0.884	0.835											
5/10 C-6-5				0.966	0.592										
5/24 C-6-5					0.701	0.416									
6/ 7 C-6-5						0.079	0.144								
6/21 C-6-5							0.919	0.031							
7/12 C-6-5								0.516	0.951						
7/26 C-6-5									0.256	0.321					
8/ 9 C-6-5										0.772	0.580				
8/23 C-6-5											0.713	0.779			
9/12 C-6-5												0.513	0.292		
9/30 C-6-5													0.598	0.661	
10/12 C-6-5														0.946	0.795
11/8 C-6-5															0.826
12/6 C-6-5															
	1984 4/26	5/30	6/19	7/17	8/23	9/18	10/16	11/6							
1984															
4/26 C-6-5		0.482	0.317												
5/30 C-6-5			0.954	0.095											
6/19 C-6-5				0.116	0.147										
7/17 C-6-5					0.857	0.159									
8/23 C-6-5						0.030	0.004								
9/18 C-6-5							0.989	0.218							
10/16 C-6-5								0.228							
11/6 C-6-5															

日と6月19日, 7月17日と8月23日, 9月18日と10月16日の間でCλが0.86~0.99と高い値を示した。これは, それぞれ*A. formosa*, *U. americana*, *S. schroteri*が優占した時期と一致する。また, 6月から7月にかけてCλが著しく低下したのは, 1983年と同様に優占種がケイ藻から*U. americana*に急変したた

めと考えられる。

表4に示した湯の湖の植物プランクトンの場合, 1983年6月~11月, 1984年6月~10月までCλの高い値が認められた。これは, *U. americana*の優占していた時期と一致する。

表5に示した中禅寺湖の動物プランクトンの場合,

表4 1983および1984年湯の湖における植物プランクトンの時期間類似度(Morishita's Cλ)

		1983 4/19	5/10	6/ 7	7/12	8/16	9/12	10/12	11/8
1983									
4/9	Y-5-0		0.489	0.302					
5/10	Y-5-0			0.312	0.264				
6/7	Y-5-0				0.971	0.968	0.859	0.644	0.597
7/12	Y-5-0					1.000	0.847	0.641	0.559
8/16	Y-5-0						0.836	0.625	0.546
9/12	Y-5-0							0.937	0.843
10/12	Y-5-0								0.986
11/8	Y-5-0								
		1984 4/26	5/22	6/19	7/17	8/23	9/18	10/16	11/6
1984									
4/26	Y-5-0		0.164	0.093					
5/22	Y-5-0			0.126	0.119				
6/19	Y-5-0				0.857	0.974			
7/17	Y-5-0					0.731	0.714	0.746	0.366
8/23	Y-5-0						0.997	0.797	0.275
9/18	Y-5-0							0.776	0.261
10/16	Y-5-0								0.624
11/ 6	Y-5-0								

表5 中禅寺湖動物プランクトンの時期間類似度(Morishita's Cλ)

1983	C-6	4/19	5/10	6/ 7	7/12	8/ 9	9/12	10/12	11/8
4/19			0.861	0.147					0.756
5/10				0.270	0.166				
6/ 7					0.433	0.150			
7/12						0.599	0.319		
8/ 9							0.899	0.933	0.538
9/12								0.986	0.473
10/12									0.582
11/8									
1984	C-6	4/26	5/22	6/19	7/17	8/23	9/18	10/16	11/6
4/26			0.999	0.998	0.995	0.939	0.601	0.225	0.349
5/22				0.997	0.996	0.944	0.608	0.229	
6/19					0.994	0.938	0.612	0.245	
7/17						0.966	0.664	0.298	
8/23							0.813	0.483	0.583
9/18								0.890	0.839
10/16									0.789
11/6									

表6 湯の湖動物プランクトンの時期間類似度(Morishita's C $\lambda$ )

1983	Y-5	4/19	5/10	6/7	7/12	8/16	9/12	10/12	11/8
	4/19		0.969	0.997	0.754	0.506	0.355		0.153
	5/10			0.974	0.806	0.562	0.408	0.246	
	6/7				0.776	0.518	0.361		
	7/12					0.653	0.672	0.425	0.292
	8/16						0.398	0.279	
	9/12							0.361	0.442
	10/12								0.910
	11/8								
1984	Y-5	4/26	5/22	6/19	7/17	8/23	9/18	10/16	11/6
	4/26		0.763	0.288					0.321
	5/22			0.758	0.752	0.790			
	6/19				0.979	0.819	0.488	0.223	
	7/17					0.737	0.391		
	8/23						0.794	0.440	
	9/18							0.806	0.553
	10/16								0.222
	11/6								

1983年8月～10月, 1984年4月～9月までC $\lambda$ の高い値が認められた。前者は*C. hirundenella*, 後者は*K. longispina*の優占していた時期と一致する。

表6に示した湯の湖の動物プランクトンの場合, 1983年4月～7月, 1984年5月～8月に高い値が認められた。これは, 両者とも*K. quadrata divergens*の優占していた時期とよく一致する。

#### 4. ま と め

以上のことから, 中禅寺湖および湯の湖のプランクトン相の変化傾向をまとめると次のようになる。つまり, 中禅寺湖の植物プランクトンは, 4月～6月に*M. italica*および*A. formosa*等を主とするケイ藻, 7月, 8月に*U. americana*, 9月に*Crucigenia* sp., *S. schroteri*等を主とする緑藻, 10月, 11月に*F. crotonensis*を主とするケイ藻が出現する。また, 湯の湖の植物プランクトンは, 4月, 5月あるいは11月に*M. granulata var angustissima*等を主とするケイ藻が優占することがあるが, 大部分の時期に*U. americana*が主として出現する。

一方, 中禅寺湖の動物プランクトンは, 4月～8月に*K. longispina*あるいは*A. pacificus*等9月～11月に*C. hirundenella*が主に出現したが, 1983年～1985年にかけてその出現時期がかならずしもよく一致してはいなかった。また, 湯の湖の動物プランクトンは, 4月～8月にかけて*K. quadrata divergens*が主に出現したが, 9月～11月にかけて主に出現する種は年によって異なった。

#### —引用文献—

- 1) 小山次朗, 福田訓真, 小林紀男: 中禅寺湖および湯の湖における*Uroglana americana*の異常発生, 陸水誌, 48(2), 85～90 (1987).
- 2) 世取山守, 小山次朗, 池田浩三, 小林紀男: 中禅寺湖のアワ発生機構(1) アワ成分とその起源についての検討, 水質汚濁研究, 10(1), 31～38 (1987).
- 3) 小山次朗, 福田訓真, 中禅寺湖における植物プランクトン及び動物プランクトンの季節変化, 国公研研究報第69号, 69～76 (1984).
- 4) M. Morishita: Measuring of Interspecific Association and Similarity between Communities, Men. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E (Biol.), 3(1), 65～80 (1959).
- 5) 森谷清樹: 多様性指数による水域環境の生態学的評価, 用水と廃水, 18(6), 729～748 (1976).