

大洞沢、貝沢の付着藻類植生

吉武佐紀子*・坂本照正*

Attached algae in small streams, Ohborasawa and Kaisawa,
Kanagawa Prefecture

Sakiko YOSHITAKE and Terumasa SAKAMOTO

要 旨

かながわ水源環境保全・再生5か年計画の一環として大洞沢、貝沢が相模川水系の対照流域法のフィールドとして選ばれた。我々はその生物調査、とくに付着藻類について調査した。ここでは主に植生と細胞密度の変動について調査した結果を報告する。両溪流は流速が大であることから水流に対し適応した特殊な種類しか生育できず生物の多様性も低い。また、細胞密度も非常に低くその原因として流速、光量子の不足、浮遊砂泥による藻類フィルムの剥離、河床の不安定性などが考えられる。またC₁₈法による群落構造の比較から藻類群落が微環境の変化に強く影響されることが明らかになった。生物の多様性を高めるためには溪流の安定した環境を保持せねばならず、そのためには溪畔林の保全対策が必要であることが付着藻類の側面からも明らかになった。

キーワード：付着藻類、細胞密度、藻類植生

I はじめに

神奈川県民の利用する上水道の約9割は相模川と酒匂川の2水系から供給されているが、それらの水源開発にはダムの建設が大きな役割を果たしている。このダムに貯えられる水の量および質はダムの上流域の森林や河川などの水源地域の環境と深く関連している。良質な水、安定した水量はこれらの水源地域の環境の保全がなくては得られない。神奈川県では20年間の取り組みを視野に入れた「かながわ水源環境保全・再生施策大綱」を策定した。さらにこの施策を実施するため「かながわ水源環境保全・再生5か年計画」が立案された。この計画の一環として水源地域ダム上流の生態系調査のモニタリング調査が実施されることとなった。この水環境モ

ニタリング調査の方法として対照流域法が採用された。この方法では地形その他の自然環境が似ている隣接した流域を選定し、それぞれ異なる森林施策を行いその変化を比較するものである。相模川水系で今回選定されたのは、丹沢大山地域で中津川上流の溪流である大洞沢と相模湖に流入する溪流の貝沢である。

大洞沢の水域においてはシカによる森林への影響が深刻であることから、林床植生の回復と光環境の改善のための施策として植生保護柵と森林整備を行う。これにより安定した水量と良質な水質の保全につながることを目指す。

貝沢においては森林整備の施策という観点から溪流環境の変化を調査していく。一方、対照流域として設定した流域と実施流域とは必ずしも同一の環境条

* 湘南短期大学 (〒238-8580 横須賀市稲岡町82番地)

件ではない場合もあり、施策実施前に各流域の特性を事前に十分調査しておく必要がある。本調査はそのような視点に立って、付着藻類の側面から調査を実施した。

II 調査方法

1 調査の時期

2007年から2010年まで4年にわたって調査をおこなった。2008年7月（大洞沢、貝沢）、10月（貝沢）、2009年2月（貝沢）の調査結果を一部取り入れながら、本報告は四季ごとに調査が実施できた2009・2010年度のデータを基に報告する。調査日は以下のものである。大洞沢においては2009年11月8日（秋季）、2010年2月16日（冬季）、2010年4月29日（春季）、2010年8月4日（夏季）に実施した。また貝沢においては2009年11月7日（秋季）、2010年2月15日（冬季）、2010年4月28日（春季）、2010年8月3日（夏季）に実施した。

2 調査地点

大洞沢は丹沢山を主稜とする山地の一角から発する布川の左岸に位置する沢である。境沢、地獄沢と合流して布川となり、塩水川、本谷川、唐沢川と共に中津川となり他の多くの支流と合流して宮ヶが瀬ダムを経て相模川となる。流域面積は48haで標高は最高878m、最低435mである。流域の平均傾斜は 36.1° である。周囲はスギ、ヒノキ林を主に広葉樹が混交している。実施流域（St.1：上流部、St.2：下流部）、対照流域（St.3：上流部、St.4：下流部）の計4地点で調査を実施した（図1）。

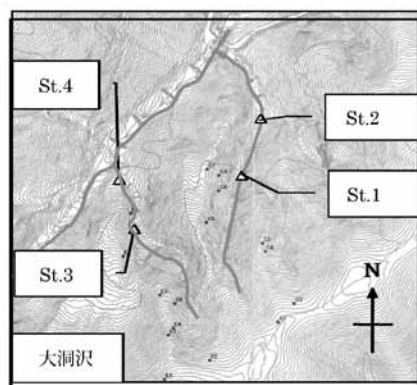


図1 大洞沢調査地（自然環境保全センター資料より引用）

貝沢は相模湖の北面に位置し相模湖に直接流入する沢である。流域面積は約96haで標高は最高633m、最低170mで標高差463mである。流域の平均傾斜は 22.4° で大洞沢より緩い。周囲はスギ林、ヒノキ林を主にマツ林、広葉樹が混交している。上流部の2地点、実施流域（St.1）、対照流域（St.2）で調査を実施した（図2）。

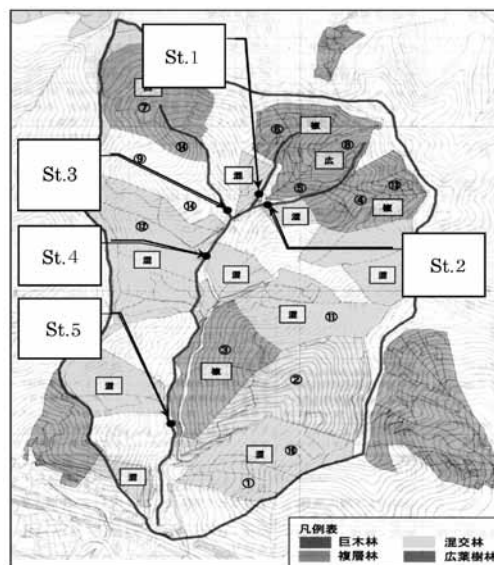


図2 貝沢調査地点（自然環境保全センター資料より引用）

調査地点の川幅は季節、降雨の有無によってかなり異なるが四季の平均は大洞沢においては実施流域では36cm、対照流域では99cmであった。また貝沢では実施流域では59cm、対照流域では49cmであった。

3 環境因子の測定（表1）

環境因子として水温、気温、pH、電気伝導率を測定した。水温および気温は棒状温度計および携帯型デジタル温度計を利用した。pHはガラス電極式ツインメーターを使用した。電気伝導率はポケット型電気伝導率計で測定した。

4 試料の採取

付着藻類の採取は溪流の瀬で常に安定した水位の水域からこぶし大程度の石礫なるべく表面が平らなものを選びその表面に生育している付着藻類を採取した。

定量的解析のため石礫表面 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の方形枠内

表 1 大洞沢、貝沢の環境因子

調査年月日	調査地点	水温(°C)	気温(°C)	pH	電気伝導率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
2009・11/8 (秋季)	大洞沢 実施流域				
	St.1 (上流部)	11.8	13.2	7.3	87
	St.2 (下流部)	11.7	12.2	6.6	89
	対照流域				
	St.3 (上流部)	12.6	15.0	7.6	116
2010・2/16 (冬季)	St.1	3.5	1.0	6.8	74
	St.2	4.0	0.2	6.4	80
	St.3	8.8	2.0	7.5	108
	St.4	7.8	1.3	7.7	108
	St.4	7.8	1.3	7.7	108
2010・4/29 (春季)	St.1	11.0	13.0	7.5	65
	St.2	11.5	15.0	7.0	83
	St.3	11.5	12.0	7.9	85
	St.4	11.5	12.0	7.9	95
	St.4	11.5	12.0	7.9	95
2010・8/4 (夏季)	St.1	17.0	23.0	6.4	99
	St.2	18.0	22.5	7.3	125
	St.3	14.5	22.5	7.3	124
	St.4	16.0	25.0	7.3	120
	St.4	16.0	25.0	7.3	120

調査年月日	調査地点	水温(°C)	気温(°C)	pH	電気伝導率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
2009・11/7 (秋季)	貝沢 実施流域				
	St.1	12.0	13.8	6.8	168
	対照流域				
2010・2/15 (冬季)	St.2	11.5	12.0	6.8	112
	St.2	11.5	12.0	6.8	112
2010・4/28 (春季)	St.1	3.5	5.2	7.3	210
	St.2	3.2	5.0	7.6	126
2010・8/4 (夏季)	St.1	10.2	12.5	6.8	72
	St.2	10.0	11.6	7.5	68
2010・8/4 (夏季)	St.1	20.5	27.8	7.2	124
	St.2	20.0	26.2	7.2	138

の藻類を剥離採集し、試料は現地でホルマリン固定した。その後、光学顕微鏡を用いて種の同定、定量的計数を行った。細胞密度の測定は基本的には細胞数に基づいて行ったが、細胞数の計数が困難な糸状藍藻については糸状体数を計数した。特に珪藻については正確な同定のために硫酸または次亜塩素酸ナトリウムおよび苛性ソーダーを主成分とする液で有機物を分解し珪藻殻だけにした。その後精製水で分解液を洗浄し、フレオラックスで封じ永久プレパラートを作成し光学顕微鏡撮影した写真を基に同定した。珪藻の種名同定は主に Hustedt, F. 1930, Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., 1986, 1988, 1991a, 1991b, Smith, G. M., 1950, 渡辺仁治 (編) 2005 に基づいて行った。

Ⅲ 調査結果

1 環境因子

(1) 気温・水温 (表 1)

気温、水温は測定時刻、天候が影響をおよぼすが、調査対象の 2 流域は隣接しているので実施流域と対

照流域の測定時刻にはおおきな隔たりはない。そのような状況下の季節ごとの気温、水温の変化は以下のようなものである。

大洞沢の気温は 0.2°C ~ 25.0°C、水温は 3.5°C ~ 18.0°C の範囲にあった。水温の季節ごとの変化をみると秋季は St.1 から St.4 の平均は 12.2°C、冬季は 6.0°C、春季は 11.4°C、夏季は 16.4°C で、さらに実施流域と対照流域では大きな相違は認められなかった。なお冬季には多量の積雪があり調査流域に残存していた。

貝沢の気温は 5.0°C ~ 27.8°C、水温は 3.2°C ~ 20.5°C の範囲にあった。水温の季節ごとの変化は秋季は 11.8°C (St.1 と St.2 の平均水温、以下同様)、冬季は 3.4°C、春季は 10.1°C、夏季は 20.3°C で、実施流域と対照流域では大きな相違は認められなかった。また、大洞沢と貝沢においても両流域間に大きな差はない。

(2) pH、電気伝導率 (表 1)

大洞沢の pH は 6.4 ~ 7.9 で、地点的には対照流域が高い傾向があり季節的には春季が少し高い傾向であるが有意差は認められない。電気伝導率は 65

～125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ に分布し、地点的には対照流域が実施流域より高い傾向が見られ、季節的には秋季、夏季がやや高い傾向が認められた。四季をつうじて対照流域のほうがpH、電気伝導度ともに高い傾向が確認された。原因として降雨や森林土壌からの影響が考えられるが、この点のデータが不足しているので推察の域を出ない。

貝沢のpHは6.8～7.6の範囲にあり、若干St.1(実施流域)が酸性に傾いているが有意差は認められない。一般的に嫌気分解が進んでいるような水域ではpHの低下はしばしば観察される現象であり、森林土壌(微生物)の浄化機能が低下しつつある兆候を示している可能性もあるので、間伐後も含めて今後の観察の継続と原因の究明が必要と考えられる。電気伝導率は68～210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にある。また冬季においてはSt.1が他の季節に比べて著しく高い値を示している。春季の調査は降雨直後であったが、そのような場合には電気伝導率は低下する傾向が認められた。

2 付着藻類細胞密度の変動

(1) 大洞沢(表2、図3)

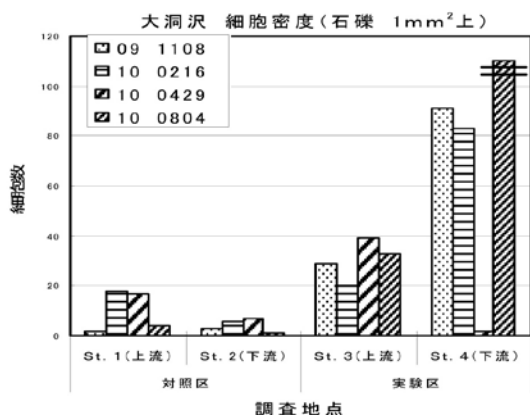


図3 大洞沢付着藻類密度

実施流域(St.1, 2): 2009年11月は上流(St.1)、下流部(St.2)における2地点の細胞密度の平均は2.4細胞/ 1mm^2 であった。2010年2月の平均は12.2細胞であった。両季節とも対照流域と比較すると細胞密度は低い値を示している。11月に非常に低い値を示しているのは、藻類の付着基盤となっている石礫が落葉により被覆されていたのが一因と考えられる。2010年4月、8月の上、下流部

の平均はそれぞれ11.8細胞、2.4細胞であった。8月に低い密度がみられるのは溪畔林の樹冠完成期のため透過光量の減少によるものであろう。調査した4季節を通して対照流域と比較すると細胞密度は実施流域の4季節の平均が7.2細胞であるのに対し対照流域は124.6細胞であり、大きな差が認められる。実施流域では溪流の両側からの土砂の流入が考えられ付着藻類にとって光条件、剥離作用など不安定な河床状態になることが一因であると考えられる。

対照流域(St.3, 4): 2009年11月は上流(St.3)、下流部(St.4)における2地点の細胞密度の平均は60.2細胞であった。2010年2月の平均は51.8細胞であった。両季節とも細胞密度に大差はなくSt.3の上流部のほうが両季節とも低い値を示している。下流部は藍藻の*Chamaesiphon minutus*、*Homoeothrix janthina*が群体で出現していることによるものである。2010年4月、8月の上、下流部の2地点の平均はそれぞれ20.5細胞、265.9細胞であった。8月に細胞密度が高いのは群体を形成する藍藻の*Chamaesiphon minutus*が生育していた影響である。対照流域においては8月のSt.4を例外として全般的に上流部のほうが4季節を通して細胞密度は低い値を示している。

(2) 貝沢(表3、図4)

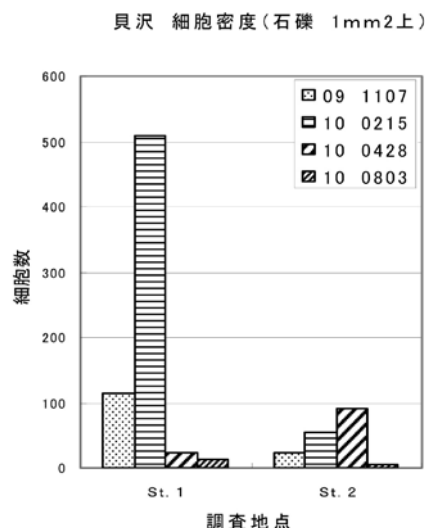


図4 貝沢付着藻類密度

実施流域(St.1): 2009年11月は113.9細胞、2010年2月は509.8細胞で、この地点は叢状に群体を形成して生育する藍藻の*Homoeothrix janthina*の出現が細胞数密度を高める作用をしている。2010

表 2-1 大洞沢－出現種の個体数（石礫 1mm² 上）と出現率

	大洞沢	2009 11/8							
分類	生物種名	St1		St.2		St.3		St.4	
		cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%
藍藻	<i>Chamaesiphon minutus</i>							63.7	70.0%
	<i>Homoeothrix janthina</i>					0.5	1.7%	9.4	10.4%
紅藻	<i>Audouinella</i> sp.			0.2	6.2%				
緑藻	<i>Chlamydomonas</i> sp.			0.1	4.6%				
	<i>Scotiella nivalis</i>	0.0	1.4%						
珪藻	<i>Achnanthes japonica</i>	0.1	5.6%	0.1	4.6%	3.1	10.6%	2.8	3.0%
	<i>Ach. lanceolata</i>	0.6	29.2%	0.6	24.6%	1.6	5.5%	3.9	4.3%
	<i>Ach. minutissima</i> var. <i>gracillima</i>			0.0	1.5%				
	<i>Ach. minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	0.0	1.4%						
	<i>Ach. subhudsonis</i>	0.1	2.8%						
	<i>Cocconeis placentula</i>	1.3	58.3%	1.6	63.1%	23.6	80.5%	10.6	11.6%
	<i>Cymbella sinuata</i>	0.0	1.4%			0.2	0.7%		
	<i>Cym. silesiaca</i>							0.2	0.3%
	<i>Eunotia pectinalis</i> var. <i>pectinalis</i>							0.2	0.3%
	<i>Gomphonema clevei</i>					0.1	0.3%	0.2	0.3%
	<i>Nitschia inconspicua</i>					0.2	0.7%		
	total	2.1		2.6		29.3		91.0	

	大洞沢	2010 2/16							
分類	生物種名	St.1		St.2		St.3		St.4	
		cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%
藍藻	<i>Chamaesiphon minutus</i>					10.4	51.6%	42.9	51.4%
	<i>Homoeothrix janthina</i>					0.8	4.0%	16.6	19.9%
緑藻	<i>Ulothrix</i> sp.			4.3	71.7%				
珪藻	<i>Achnanthes japonica</i>	3.6	19.6%	0.1	1.7%	0.3	1.6%	2.2	2.6%
	<i>Ach. lanceolata</i>	2.7	14.7%	0.4	6.7%	1.6	7.9%	1.3	1.6%
	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	1.3	7.1%	0.3	5.0%				
	<i>Ach. min.</i> var. <i>scotica</i>	0.2	1.1%						
	<i>Ach. pyrenaica</i>	0.4	2.2%					0.3	0.4%
	<i>Cocconeis placentula</i>	2.9	15.8%	0.4	6.7%	6.1	30.2%	17.6	21.1%
	<i>Cymbella minuta</i>							0.3	0.4%
	<i>Cym. turgidula</i> var. <i>nipponica</i>	0.2	1.1%					0.3	0.4%
	<i>Diatoma mesodon</i>					0.6	3.2%		
	<i>Eunotia bilunaris</i>	0.2	1.1%						
	<i>Gomphonema clevei</i>	5.4	29.3%	0.2	3.3%	0.3	1.6%	1.0	1.2%
	<i>Hantzschia amphioxys</i>							0.3	0.4%
	<i>Navicula bryophila</i>	0.2	1.1%						
	<i>Nav. tridentula</i>							0.3	0.4%
	<i>Nav. ventralis</i>							0.3	0.4%
	<i>Nav. sp.</i>			0.3	5.0%				
	<i>Nitschia inconspicua</i>	1.3	7.1%						
	total	18.4		6.0		20.2		83.4	

表2-2 大洞沢－出現種の個体数（石礫 1mm² 上）と出現率

大洞沢		2010 4/29							
	生物種名	St.1		St.2		St.3		St.4	
		cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%
藍藻	<i>Chamaesiphon minutus</i>			0.2	2.3%			0.0	2.0%
	<i>Homoeothrix janthina</i>			0.3	4.5%			0.3	13.4%
	<i>Phormidium</i> sp. A			0.0	0.6%				
緑藻	<i>Ulothrix</i> sp.			4.4	66.7%			0.2	11.4%
珪藻	<i>Achnanthes japonica</i>	0.6	3.7%			0.7	1.7%	0.0	2.0%
	<i>Achnanthes lanceolata</i>	10.5	61.9%	0.1	1.7%	23.7	60.7%	0.3	14.9%
	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	3.3	19.6%	0.4	5.7%	9.7	24.9%	0.5	26.4%
	<i>Ach.min.</i> var. <i>scotica</i>	0.1	0.5%	0.1	1.2%				
	<i>Achnanthes subhudsonis</i>	0.1	0.5%					0.0	2.0%
	<i>Amphola pediculus</i>					0.9	2.3%		
	<i>Cocconeis placentula</i>	0.5	2.6%	0.3	5.1%	0.9	2.3%	0.4	20.9%
	<i>Cymbella silesiaca</i>			0.0	0.6%				
	<i>Diatoma mesodon</i>	0.2	1.1%	0.2	2.9%	2.0	5.2%		
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>			0.1	1.2%				
	<i>Gomphonema clevei</i>	0.2	1.1%	0.2	3.5%	0.5	1.2%		
	<i>Gomphonema micropus</i>	0.5	3.2%						
	<i>Gomphonema parvulum</i>	0.7	4.2%	0.2	3.5%	0.5	1.2%	0.1	4.0%
	<i>Navicula contenta</i>	0.2	1.1%						
	<i>Nav. cryptotenella</i>							0.0	2.0%
	<i>Navicula decussis</i> ?	0.1	0.5%	0.0	0.6%				
	<i>Nitzschia dissipata</i>					0.2	0.6%		
	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>							0.0	2.0%
	total	17.0		6.6		39.1		2.0	

大洞沢		2010 8/4							
	生物種名	St.1		St.2		St.3		St.4	
		cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%
藍藻	<i>Chamaesiphon minutus</i>	1.1	29.6%	0.2	21.7%	29.6	91.1%	489.6	98.1%
	<i>Oscillatoria</i> sp. A			0.0	1.1%				
	<i>Oscillatoria</i> sp. B							0.5	0.1%
紅藻	<i>Audouinella</i> sp.	0.1	1.8%						
珪藻	<i>Achnanthes japonica</i>	0.3	6.6%	0.0	3.3%	0.9	2.6%	0.5	0.1%
	<i>Achnanthes lanceolata</i>	0.2	5.8%			0.3	1.0%	0.9	0.2%
	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>gracillima</i>			0.0	1.1%				
	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	0.3	6.6%					2.6	0.5%
	<i>Achnanthes subhudsonis</i>							0.3	0.1%
	<i>Amphola pediculus</i>							0.2	0.0%
	<i>Cocconeis placentula</i>	1.8	46.4%	0.7	72.8%	1.7	5.2%	0.7	0.1%
	<i>Cymbella microcephala</i>	0.0	1.1%						
	<i>Diatoma mesodon</i>							0.2	0.0%
	<i>Eunotia minor</i>	0.0	1.1%						
	<i>Fragilaria capitellata</i>							1.2	0.2%
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>							0.2	0.0%
	<i>Frustulia vulgaris</i>							0.2	0.0%
	<i>Gomphonema clevei</i>							1.2	0.2%
	<i>Nav. cryptocephala</i>							0.2	0.0%
	<i>Navicula ventralis</i>							0.2	0.0%
	<i>Nitzschia linearis</i>							0.2	0.0%
	<i>Nitzschia frustulum</i>	0.0	1.1%						
	<i>Synedra unla</i> var. <i>ulna</i>							0.7	0.1%
	total	3.8		0.9		32.5		499.3	

表3 貝沢－出現種の個体数（石礫 1mm² 上）と出現率

分類	貝沢 生物種名	2009 11/7				2010 2/15			
		St.1		St.2		St.1		St.2	
		cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%	cells/mm ²	%
藍藻	<i>Homoeothrix janthina</i>					40.0	7.8%		
	<i>Oscillatoria</i> sp.	1.6	1.4%			1.7	0.3%		
珪藻	<i>Phormidium</i> sp.			0.2	0.8%				
	<i>Achnanthes japonica</i>	2.2	1.9%	0.2	0.8%	5.2	1.0%	0.3	0.6%
	<i>Ach. lanceolata</i>	10.3	9.0%	1.5	6.7%	60.9	11.9%	20.8	38.5%
	<i>Ach. min.</i> var. <i>minutissima</i>					3.5	0.7%		
	<i>Ach. pyrenaica</i>							0.3	0.6%
	<i>Ceratoneis recta</i>					5.2	1.0%		
	<i>Cocconeis placentula</i>	99.4	87.2%	12.9	56.7%	393.2	77.1%	32.3	59.8%
	<i>Cymbella minuta</i>			0.2	0.8%				
	<i>Navicula capitata</i> var. <i>capitata</i>	0.5	0.5%						
	<i>Nav. gregaria</i>			3.2	14.2%				
	<i>Nav. tridentula</i>			2.9	12.5%				
	<i>Nitzschia fonticola</i>			1.1	5.0%				
	<i>Nitz. palea</i>			0.4	1.7%				
	<i>Synedra pulchella</i> var. <i>lanceolata</i> f. <i>constricta</i>			0.2	0.8%				
	<i>Synedra ulna</i> var. <i>oxyrhynchus</i>							0.3	0.6%
	total	113.9		22.8		509.8		54.1	

	貝沢 生物種名	2010 4/28				2010 8/3			
		St.1		St.2		St.1		St.2	
		cells/mn	%	cells/mn	%	cells/mn	%	cells/mn	%
藍藻	<i>Chamaesiphon minutus</i>			22.9	25.3%	5.5	47.7%		
	<i>Clastidium setigerum</i>							0.1	1.3%
	<i>Homoeothrix janthina</i>	3.4	14.2%						
	<i>Oscillatoria</i> sp. A							0.1	2.4%
	<i>Oscillatoria</i> sp. B					0.2	1.8%	0.9	22.8%
	<i>Oscillatoria</i> sp. C					0.1	0.9%		
	<i>Phormidium</i> sp. A							0.1	1.3%
	<i>Phormidium</i> sp. B			3.8	4.2%			0.4	9.5%
緑藻	<i>Oedogonium</i> sp.			1.0	1.1%				
珪藻	<i>Achnanthes japonica</i>	0.5	2.3%	1.0	1.1%	0.1	0.9%		
	<i>Achnanthes lanceolata</i>	1.5	6.3%	27.8	30.7%	0.2	1.8%	0.1	2.4%
	<i>Ach. minutissima</i> var. <i>minutissima</i>	0.1	0.6%	12.8	14.2%	0.1	0.9%	0.2	4.8%
	<i>Ach. min.</i> var. <i>scotica</i>			0.7	0.8%				
	<i>Achnanthes pyreneica</i>							0.1	1.3%
	<i>Achnanthes subhudsonis</i>			0.7	0.8%				
	<i>Amphora pediculus</i>							0.1	1.3%
	<i>Celaphora japonica</i>					0.1	0.9%	0.1	1.3%
	<i>Cocconeis pediculus</i>							0.1	1.3%
	<i>Cocconeis placentula</i>	17.0	71.0%	4.9	5.4%	4.9	42.3%	1.2	31.0%
	<i>Cymbella silesiaca</i>			0.7	0.8%				
	<i>Cymbella sinuata</i>			0.4	0.4%				
	<i>Diatoma mesodon</i>			1.0	1.1%				
	<i>Eunotia minor</i>	0.1	0.6%	0.4	0.4%			0.1	1.3%
	<i>Gomphonema angustum</i>			0.4	0.4%				
	<i>Gomphonema clevei</i>	0.1	0.6%	0.4	0.4%				
	<i>Gomphonema micropus</i>			0.7	0.8%				
	<i>Gomphonema parvulum</i>	0.3	1.1%	4.5	5.0%				
	<i>Navicula contenta</i>			0.4	0.4%				
	<i>Navicula cryptotenella</i>	0.1	0.6%	0.4	0.4%				
	<i>Navicula decussis</i> ?	0.1	0.6%						
	<i>Navicula menisculus</i>	0.3	1.1%			0.1	0.9%		
	<i>Navicula veneta</i>							0.1	1.3%
	<i>Nitzschia dissipata</i>			0.4	0.4%				
	<i>Nitzschia linearis</i>					0.1	0.9%	0.1	2.4%
	<i>Nitzschia rumpens</i>			1.7	1.9%				
	<i>Synedra ulna</i> var. <i>oxyrhynchus</i>	0.3	1.1%	3.8	4.2%	0.1	0.9%	0.5	14.3%
	total	24.0		90.6		11.5		3.8	

年4月は24.0細胞、8月は11.5細胞で11月、2月に比して密度は低くなっている。溪畔林の樹冠完成期のための透過光量の減少が一因であると考えられる。

対照流域 (St. 2) : 2009年11月は22.8細胞、2010年2月は54.1細胞である。いずれもSt. 1と比較すると低い値である。4月は90.6細胞、8月は3.8細胞で4季節中、最も低い値を示している。

細胞密度はSt. 1では冬季、St. 2では春季に高い傾向がみられる。両流域とも共通して夏季に減少している。この傾向はクロロフィルaとも共通している。樹冠形成に伴う光量不足が一因であると考えら

れる。

3 付着藻類植生および優占種

(1) 大洞沢 (表2、表4、図5)

実施流域 : 2009年11月はSt. 1では珪藻7種、St. 2では紅藻1種、緑藻1種、珪藻4種の合計6種が出現した。St. 1、St. 2ともに *Cocconeis placentula* — *Achnanthes lanceolata* が優占しておりこの2種で付着藻類群落の9割近くを占めている。2010年2月はSt. 1では珪藻11種、St. 2は緑藻1種、珪藻6種の合計7種が出現した。St. 1の優占種は *Gomphonema clevei* — *Achnanthes japonica* 群

表4 優占的な出現種 (出現率約10%以上)

大洞沢						貝沢	
	第1優占種	第2	第3	第4	第5	第1優占種	第2
2008 7/16 St.1						<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. jap.</i>
7/15 St.2	<i>Stigeo. sp.</i>	<i>Cocco. plac.</i>				52.4%	14.3%
St.3	88.9%	11.1%				<i>Cocco. plac.</i>	
St.4	<i>Diat. mes.</i>	<i>Syn. uln.</i>				93.9	
	41.5	31.1					
2008 10/25 St.1						<i>Cocco. plac.</i>	
St.2						99.4	
						<i>Cocco. plac.</i>	
						94.5	
2009 2/7 St.1						<i>Cocco. plac.</i>	
St.2						85.1	
						<i>Ach. minut.</i>	<i>Gom. clevei</i>
						47.1	21.6
2009 11/8 St.1	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>				<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>
11/7 St.2	58.3	29.2				87.2	9.0
St.3	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>				<i>Cocco. plac.</i>	<i>Nav. gregar.</i>
St.4	63.1	24.6				56.7	14.2
	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. jap.</i>					
	80.5	10.6					
	<i>Chamae. min.</i>	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Homoeo. jan.</i>				
	70.0	11.6	10.4				
2010 2/16 St.1	<i>Gom. clev.</i>	<i>Ach. jap.</i>	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>		<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>
2/15 St.2	29.3	19.6	15.8	14.7		77.1	11.9
St.3	<i>Uloth. sp.</i>					<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>
St.4	71.7					59.8	38.5
	<i>Chamae. min.</i>	<i>Cocco. plac.</i>					
	51.6	30.2					
	<i>Chamae. min.</i>	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Homoeo. jan.</i>				
	51.4	21.1	19.9				
2010 4/29 St.1	<i>Ach. lanceo.</i>	<i>Ach. minut.</i>				<i>Cocco. plac.</i>	<i>Homoeo. jan.</i>
4/28 St.2	61.9	19.6				71.0	14.2
St.3	<i>Uloth. sp.</i>					<i>Ach. lanceo.</i>	<i>Chamae. min.</i>
St.4	66.7					30.7	25.3
	<i>Ach. lanceo.</i>	<i>Ach. minut.</i>					
	60.7	24.9					
	<i>Ach. minut.</i>	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Ach. lanceo.</i>	<i>Homoeo. jan.</i>	<i>Uloth. sp.</i>		
	26.4	20.9	14.9	13.4	11.4		
2010 8/4 St.1	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Chamae. min.</i>				<i>Chamae. min.</i>	<i>Cocco. plac.</i>
8/3 St.2	46.4	29.6				47.7	42.3
St.3	<i>Cocco. plac.</i>	<i>Chamae. min.</i>				<i>Cocco. plac.</i>	<i>Oscillat. sp.</i>
St.4	72.8	21.7				31.0	22.8
	<i>Chamae. min.</i>						
	91.1						
	<i>Chamae. min.</i>						
	98.1						

注) 日付の上段は大洞沢、下段は貝沢の調査日

学名の下段の数字は出現率(%)

珪藻 *Ach. jap.* : *Achnanthes japonica*, *Ach. lanceo.* : *Achnanthes lanceolata*, *Ach. min.* : *Achnanthes n. Ach. subhud.* : *Achnanthes subhudsoni*s, *Cocco. plac.* : *Cocconeis placentula*, *Diat. mes.* : *Gom. clevei* : *Gomphonema clevei*, *Nav. gregar.* : *Navicula gregaria*, *Nav. trident.* : *Nav. Syn. uln.* : *Synedra ulna*, *Synedra ulna* v. ox. : *Synedra ulna* var. *oxyrhynchus*

藍藻 *Chamae.* : *Chamaesiphon minutus*, *Homoeo. jan.* : *Homoeothrix janthina*, *Oscillat. sp.* : *Phormidium sp.*

緑藻 *Stigeo. sp.* : *Stigeoclonium sp.*, *Uloth. sp.* : *Ulothrix sp.*

落が 49% を占め *Cocconeis placentula* — *Achnanthes lanceolata* は約 31% を占めている。St. 2 は緑藻 1 種、珪藻 6 種の合計 7 種が出現した。緑藻の *Ulothrix* sp. が約 72% を占めている。*Cocconeis placentula* — *Achnanthes lanceolata* 群落は約 13% で上流部とは異なった様相を示している。4 月は St. 1 では珪藻 12 種を確認した。*Achnanthes lanceolata* — *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* 群落で約 82% を占めている。St. 2 では藍藻 3 種、緑藻 1 種、珪藻 10 種

の合計 14 種が確認できた。優占種は 2 月同様、緑藻の *Ulothrix* sp. が約 67% で第 2 優占種は出現頻度は低い *Achnanthes minutissima* var. *minutissima* の約 6% である。8 月は St. 1 では藍藻 1 種、紅藻 1 種、珪藻 7 種の合計 9 種を確認した。第 1 優占種は *Cocconeis placentula* の約 46% で藍藻の *Chamaesiphon minutus* が 30% で第 2 優占種となっている。St. 2 は藍藻 2 種、珪藻 3 種の合計 5 種の出現が確認された。第 1 優占種は *Cocconeis placentula*

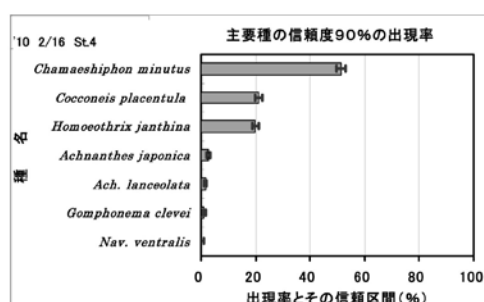
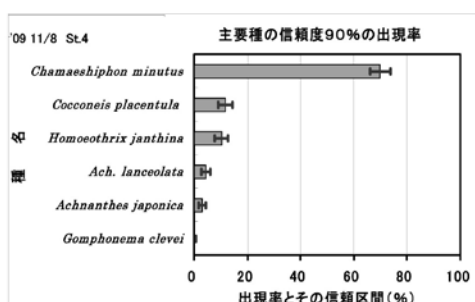
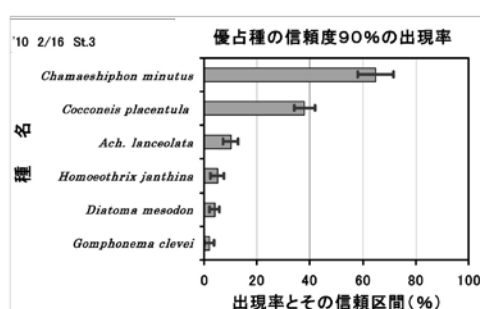
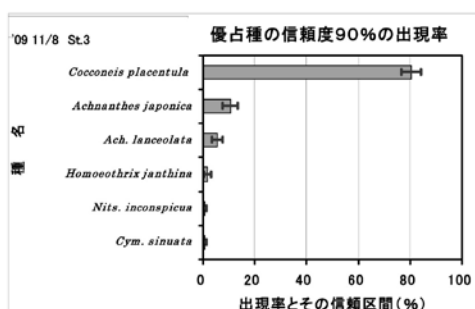
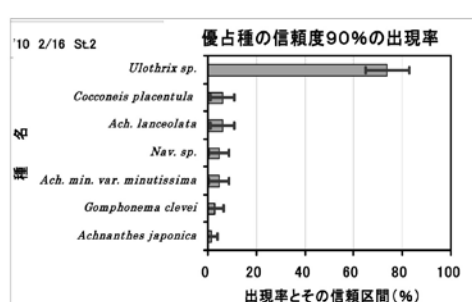
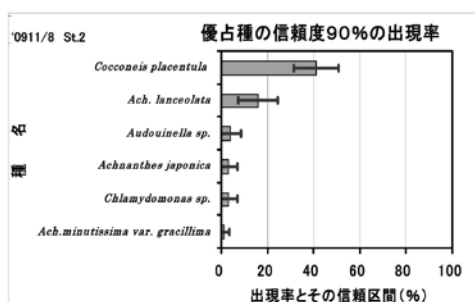
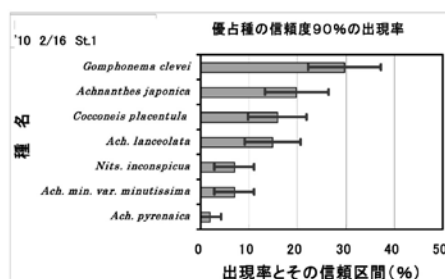
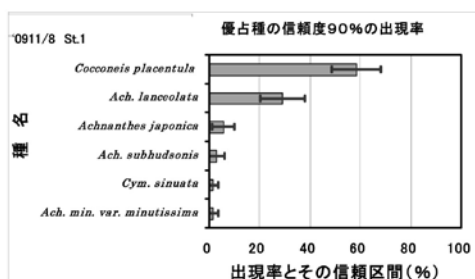


図 5-1 信頼度 90% の出現率 大洞沢 2009 11/8, 2010 2/16

の約73%、第2優占種は *Chamaesiphon minutus* の22%である。これは上流部のSt.1と類似した傾向を示している。

対照流域: 2009年11月はSt.3では藍藻1種、珪藻6種の合計7種が出現した。*Cocconeis placentula*—*Achnanthes japonica* 群落 が91%を占めている。St.4では藍藻2種、珪藻6種の合計8種が出現した。*Chamaesiphon minutus*—*Cocconeis placentula* 群落 が約82%を占めている。2010年2月はSt.3では藍藻2種、珪藻5種の合計7種が出現

した。*Chamaesiphon minutus*—*Cocconeis placentula* 群落 が約82%を占めている。St.4では藍藻2種、珪藻10種の合計12種が確認された。*Chamaesiphon minutus*—*Cocconeis placentula* 群落 が約72%を占めている。優占種の構成は上流部と類似している。4月はSt.3では珪藻9種が確認できた。*Achnanthes lanceolata*—*Achnanthes minutissima* var. *minutissima* 群落 で約86%を占めている。St.4では藍藻2種、緑藻1種、珪藻8種の合計11種が確認できた。第1、第2優占種は *Achnanthes minutissima* var.

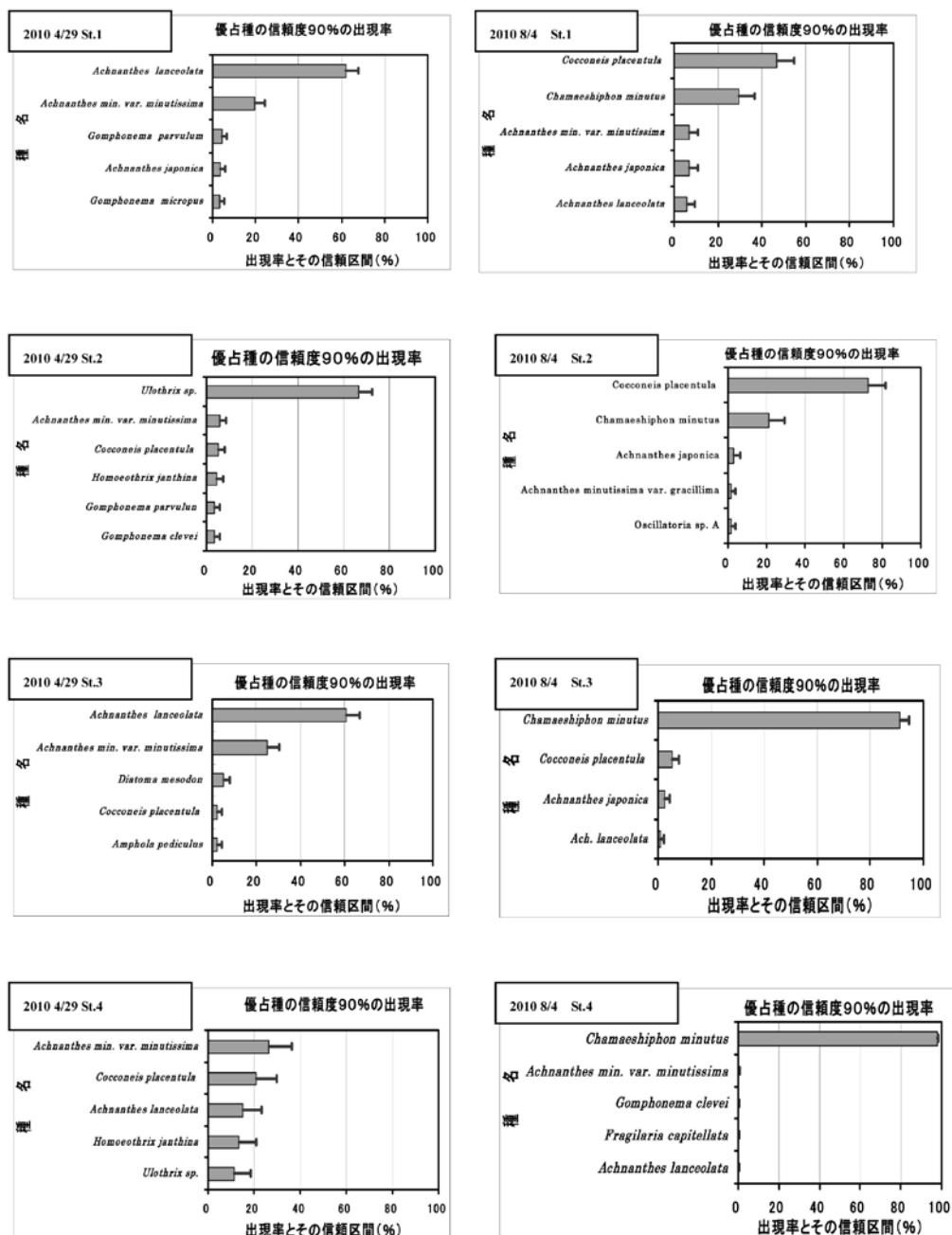


図5-2 信頼度90%の出現率 大洞沢 2010 4/29, 2010 8/4

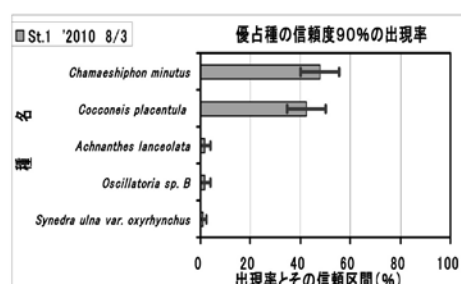
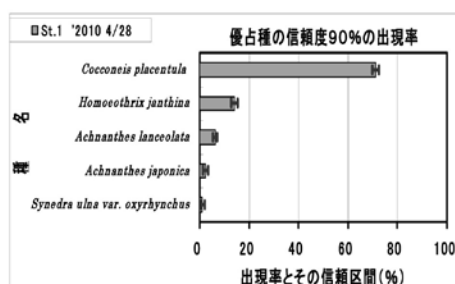
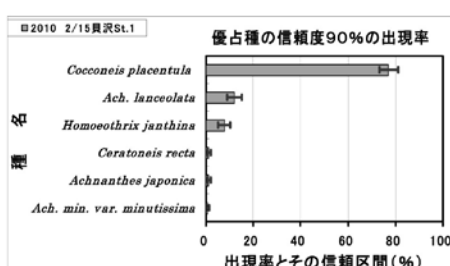
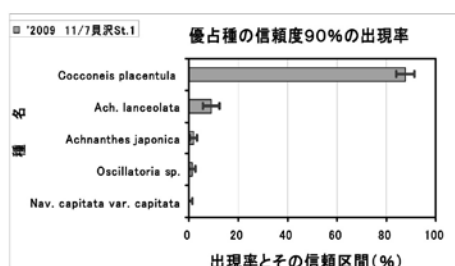
minutissima — *Cocconeis placentula* 群落で約 47 % を占めている。8 月は St. 3 では藍藻 1 種、珪藻 3 種の合計 4 種が確認できた。藍藻の *Chamaesiphon minutus* が 91% を占め、第 2 優占種として *Cocconeis placentula* が約 5% 出現している。St. 4 では藍藻 2 種、珪藻 15 種の合計 17 種が確認できた。付着藻類群落の大部分は藍藻の *Chamaesiphon minutus* で占められており (約 98%)、珪藻は出現種類数が多いが細胞

密度は非常に低い。

(2) 貝沢 (表 3、表 4、図 6)

実施流域 (St. 1) : 2009 年 11 月は藍藻 1 種、珪藻 4 種の合計 5 種が出現した。*Cocconeis placentula* — *Achnanthes lanceolata* 群落 が約 96 % を占めている。2010 年 2 月は藍藻 2 種、珪藻 5 種の合計 7 種が確認できた。*Cocconeis placentula* — *Achnanthes lanceolata* 群落 が約 89 % を占めている。4 月は

St.1



St.2

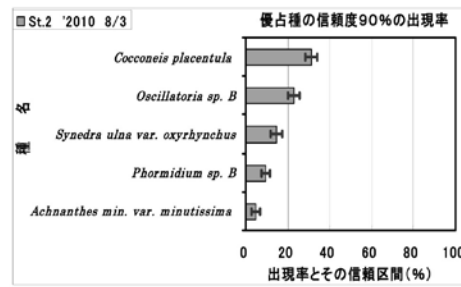
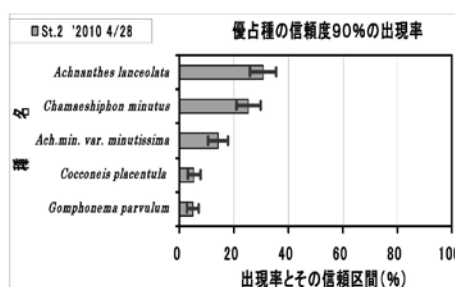
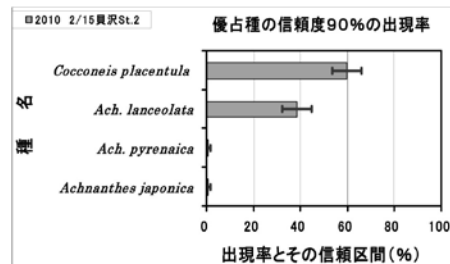
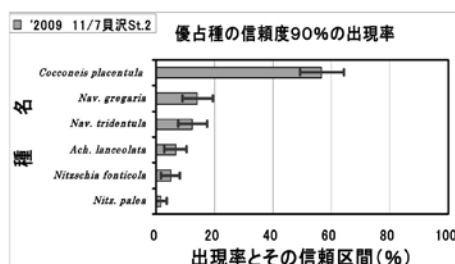


図 6 信頼度 90% の出現率 貝沢 2009 11/7, 2010 2/15, 4/28, 8/3

藍藻1種、珪藻11種の合計12種が確認できた。*Cocconeis placentula*—*Homoeothrix janthina* 群落 が約85%を占めている。8月は藍藻3種、珪藻8種の合計11種を確認した。*Chamaesiphon minutus*—*Cocconeis placentula* が90%を占めている。この地点は調査した4季節を通して主として珪藻の*Cocconeis placentula*が優勢に生育している。また2008年7月、2008年10月、2009年2月の調査時においても本種が優占種として出現している(表4)。

対照流域(St.2):2009年11月は藍藻1種、珪藻9種の合計10種が出現した。*Cocconeis placentula*—*Navicula gregaria* 群落が約71%を占めている。2010年2月は珪藻5種が確認できた。*Cocconeis placentula*—*Achnanthes lanceolata* 群落 が約98%を占めている。両季節とも付着藻類群落は50%以上が珪藻の*Cocconeis placentula*によって構成されている。4月は藍藻2種、緑藻1種、珪藻19種の合計22種が確認できた。*Achnanthes lanceolata*—*Chamaesiphon minutus* が56%を占めている。8月は藍藻5種、珪藻11種の合計16種が出現した。*Cocconeis placentula*—*Oscillatoria* sp.B 群落が約54%を占めている。

今回の4季節の調査では対照流域、実施流域を通して両溪流とも付着藻類群落は主に*Cocconeis placentula*によって構成されている。本種は珪藻の中でも付着基盤への付着力が強く剥離作用に対して抵抗性を有している。換言すれば本種のような特性を持った種しか生育できない環境であると考えられることとできる。

IV 考 察

水源環境保全のための施策のための基礎資料として対照流域法により大洞沢、貝沢の付着藻類を指標生物として選定し事前調査を行った。出現した種類数(表5)は4から22種類で大洞沢の平均は9種、貝沢は11種で両沢とも非常に少ない。珪藻の出現が多く両沢とも優占種は珪藻の*Cocconeis placentula*が季節を問わず第一優占種となっている地点が多い(表4)。調査した2溪流は流速が早く流速の変化は付着藻類の構成と密度に影響を及ぼす。この状

表5 大洞沢、貝沢の付着藻類の出現種類数

調査日	調査地点	大洞沢	貝沢
2009、11/8 11/7	St.1	7	5
	St.2	6	10
	St.3	7	
	St.4	8	
2010、2/16 2/15	St.1	11	7
	St.2	7	5
	St.3	7	
	St.4	12	
4/29 4/28	St.1	12	12
	St.2	14	22
	St.3	9	
	St.4	11	
8/4 8/3	St.1	9	11
	St.2	5	16
	St.3	4	
	St.4	17	

注)日付の上段は大洞沢、下段は貝沢の調査日

況をMcIntire (1966, 1968)やZimmerman (1961)は人工水路によって確認している。同様な結果は野外でも観察されている(Jones 1951, Gruntow 1955, Whitford 1956, Blum 1960, Reisen and Spender 1970, Keithan and Lowe 1985)。Mark & Rex (1987)は珪藻を付着基質への付着パターンで分類し流速との関係を観察している。その報告によると流速が早い場合には基質に密着するタイプと直立から側生タイプが適応する。今回の調査で一番出現率が高かった*Cocconeis placentula*はこのタイプにはいる。Stevenson (1966)は流れが速いときには細胞の長軸を付着させる付着性の小型の珪藻が出現すると報告している。今回優占種として出現した*Achnanthes lanceolata*や*Achnanthes minutissima* var. *minutissima*、*Achnanthes japonica*などはこの範疇に入る。McIntire (1968)は人工水路を使った実験で底生藻類の構造的特性を調べ、珪藻の*Nitzschia linearis*、*Achnanthes lanceolata*、*Navicula cryptocephala*、*Navicula minima*、*Navicula seminulum*、*Synedra ulna*、*Gomphonema parvulum*、*Gomphonema angustatum*、*Cocconeis placentula*が流れが急なところ(35 cm/s)で増殖しているのを観察している。さらにPatrick (1964)は流速の速いところでは*Achnanthes*、*Cocconeis*が見られると報じている。今回出現した珪藻は*Synedra ulna* var. *ulna*および*Synedra ulna* var. *oxyrhynchus*や*Nitzschia linearis*は比較的大型の珪藻であるが全般的に小型の珪藻が多い。流れが急なところに生育する珪藻の特徴と考えられる。流れが急なところで生育可能な種に限定さ

れたことが出現種類数の減少の一因として考えられる。また多様性の面から考えてみると特殊な生育環境で限定された種しか増殖できないことを考えると当然高い多様性は考えられない。多様性指数は群集を形成している種類の豊富さや多様性の比較ができるとされている。一つの場所の諸条件に、より多くの変化があるほどそこに生育する生物群集を構成する種類数は多い。またその場所の諸条件が最適条件から遠ざかるほど生物を構成する種は少なくなり、かつそこに残る種の個体数は多くなる（ティーンマンの法則）。これによると清浄な水域には豊かな種が個体数に極端な差がなく生育しており特定の種のみが異常に個体数が多いということはない。このことは群集の多様性が高く群集に安定性があることを示している。水質の汚濁など環境が特殊になると種類数が減少し、少数の種の個体数が極端に多くなる。したがって多様性が低く群集の安定性が悪い。今回

の調査した二つの溪流は水質の汚濁という特殊環境ではないがこの例に入る。一方多様性が高いところが必ずしも水が清浄で低いところが汚濁しているとは一概に言えない（福島, 1968）。一般に多様性指数の算出にはシャノンの多様性指数 (bit) を用いるが、今回は第一優占種の百分率で算出する方法—純率（元村, 1943）を用いて付着藻類の多様性を推定してみた（図7、8）。この値とシャノンの多様性指数との間には強い負の相関関係がある（福島・小林・寺尾, 1980）。純率は値が低いほど多様性が高く、付着藻類の安定性が高いことを表す。大洞沢は26から98の間に分布しており実施流域の平均は62、対照流域の平均は64で有意の差は認められない。貝沢については31から99の間に分布しており実施流域の平均は74、対照流域の平均は59で若干対照流域のほうが多様性は高くなっている。多様性においては両溪流ともに高くなく、付着藻類植生は

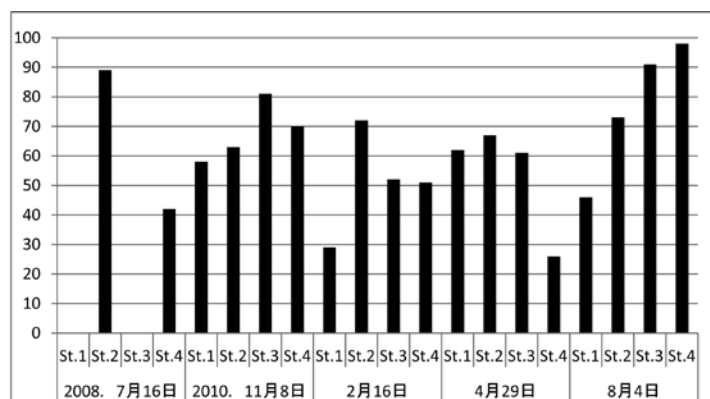


図7 付着藻類の多様性を示す純率—大洞沢

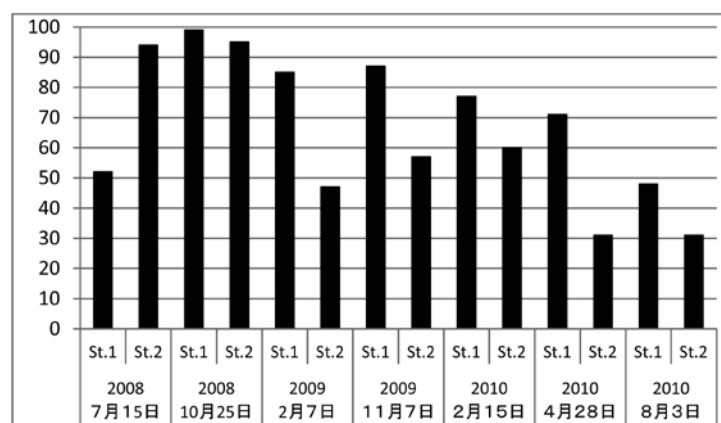


図8 付着藻類の多様性を示す純率—貝沢

安定性に欠ける。これには様々な要因が考えられるが、溪畔の林床からの土壌の流入、藻類の増殖に影響を与える光量子数、流速、森林を構成する樹種、栄養塩類などの問題が考えられる。付着微生物の剥離には河川の流速が大きく影響し、流速が早い場合には付着微生物は水流の掃流力が増加することにより強制的に剥離され下流部へ排出される。また、流水の掃流力だけでなく、河床上を移動する流砂が接触することによって、付着微生物の強制剥離はさらに促進されることが考えられる（山本等，2003）。この報告のように今回調査した流域はいずれも溪畔の林床が安定しておらず、流砂等が付着基盤の礫に衝撃を与え、このことが付着藻類のストレスとなっている。また、河床を構成し付着基盤となっている石礫が動くことも藻類の増殖を妨げる要因となっている。両溪流の付着藻類を細胞密度からみてみると非常に低い。糸状藍藻、緑藻が出現すると細胞密度は高く表示されるので珪藻だけで細胞密度を表すと表6のようになる。大洞沢での細胞密度の季節間の推移は春→冬→秋→夏の順に減少する。ただし春、冬、秋の値には有意の差は認められない。夏の低密度は溪畔林の樹冠完成期のため透過光量の減少が原因であると考えられる。大洞沢の実施流域の細胞密度の4季節の平均は5.8細胞であり対照流域は16.6細胞である。大洞沢の土壌は火山灰の影響を強く受けた脆

弱な地形であり、実施流域では溪流の両側からの土砂の流入が考えられ付着藻類にとって不安定な環境であることが一因であろう。貝沢では珪藻の細胞密度は冬→秋→春→夏の順に密度が低くなっている。この順位は藻類全体の順位と一致している。ほとんどの季節で珪藻が優占種となっているのが原因である。貝沢の実施流域の細胞密度の4季節の平均は151.7細胞であり、対照流域の平均は35.4細胞で実施流域のほうが高い細胞密度を示している。両流域は間伐工事作業に伴い河床が荒れてかく乱されており特に対照流域は溪流中への倒木も多くみられ、また溪畔林の林床の不安定さも確認できる。これらが付着藻類密度を減じる要因として働いているとも考えられるが、間伐の影響、効果をみるにはさらに調査をする必要がある。一方、全般的には大洞沢より貝沢のほうが細胞密度は高い傾向がある。日本の河川の付着藻類密度の平均的な値は2,000～6,000細胞/mm²とされているが、これからみると両溪流の密度は非常に低い値を示している。ただし今回調査した2溪流は河川上流部、源流部という特殊性もあり単純に日本の平均値と比較することはできない。

付着藻類群落構造の比較を森下のCλ法（Morishita, 1959）を用いて2溪流それぞれの季節間の比較および溪流間の比較を試みた。この値は1に近いほど比較する二つの群落構造が類似していることを示す。

大洞沢（表7）：同一流域における上流部と下流部の比較をしてみると高い類似性を示しているのは8ケース中4ケースで、同じ流域のわずかの距離を隔てたところでも類似性が低いところもあり溪流環境の不安定さを示唆している。同一季節の実施流域と対照流域を比較すると2009年11月のように *Cocconeis placentula* が優占している地点に高い類似性がみられたが、他の季節の付着藻類群落は両流域で類似性は低い。また同一地点における季節間の比較をするといずれも類似性は低い。出現種を考慮にいれると同じ種が出現してもその比率が季節ごとに異なっているということになる。

貝沢（表7）：同一季節の流域間を比較をしてみると秋季および冬季における群落構造は高い類似性を示している。しかし樹冠形成が発達し始める4月は

表6 大洞沢、貝沢の付着珪藻類細胞密度（cells/mm²）

			大洞沢		貝沢	
			珪藻	藻類全体	珪藻	藻類全体
2009	11/8	St.1	2.1	2.1	112.3	113.9
	11/7	St.2	2.3	2.6	22.6	22.8
		St.3	28.8	29.3		
		St.4	17.9	91.0		
	平均		12.8	31.3	67.5	68.4
2010	2/16	St.1	18.4	18.4	468.1	509.8
	2/15	St.2	1.7	6.0	54.0	54.1
		St.3	9.0	20.2		
		St.4	23.9	83.4		
	平均		13.3	32.0	261.1	282.0
2010	4/29	St.1	17.0	17.0	20.6	24.0
	4/28	St.2	1.7	6.6	62.9	90.6
		St.3	39.1	39.1		
		St.4	1.5	2.0		
	平均		14.8	16.2	41.8	57.3
2010	8/4	St.1	2.6	3.8	5.7	11.5
	8/3	St.2	0.7	0.9	2.2	3.8
		St.3	2.9	32.5		
		St.4	9.8	499.3		
	平均		4.0	134.1	4.0	7.7

注) 日付の上段は大洞沢、下段は貝沢の調査日

表7 C λ法による藻類群落構造の類似性 (値が1に近いほど類似度が高い)

大洞沢

・同一流域における上流部と下流部の比較

2009 11/8		
	St.1(上流)	St.2(下流)
St.2	1.0	
2010 4/29		
	St.1(上流)	St.2(下流)
St.2	0.1	
2009 11/8		
	St.3(上流)	St.4(下流)
St.4	0.2	
2010 4/29		
	St.3(上流)	St.4(下流)
St.4	0.6	

2010 2/16		
	St.1(上流)	St.2(下流)
St.2	0.1	
2010 8/4		
	St.1(上流)	St.2(下流)
St.2	1.0	
2010 2/16		
	St.3(上流)	St.4(下流)
St.4	1.0	
2010 8/4		
	St.3(上流)	St.4(下流)
St.4	1.0	

・対照流域と実施流域間の比較

実施流域			
	St.1	St.2	
2009 11/8	St.3	0.9	0.9
対照流域	St.4	0.2	0.2
2010 4/29	St.1	St.2	2010 8/4
	St.3	1.0	0.1
	St.4	0.5	0.4
	St.1	St.2	
	St.3	0.5	0.3
	St.4	0.5	0.3

・同一流域の同一地点における季節間 (2009 11/8, 2010 2/16, 4/29, 8/4) の比較

	2009.11	2010.2	2010.4	2010.8
St.1	2009.11	0.5	0.5	0.8
	2010.2		0.4	0.4
	2010.4			0.2
St.2	2009.11	0.1	0.1	0.9
	2010.2		1.0	0.1
	2010.4			0.1
St.3	2009.11	0.5	0.1	0.1
	2010.2		0.1	0.8
	2010.4			0.0
St.4	2009.11	0.9	0.2	0.9
	2010.2		0.2	0.8
	2010.4			0.0

貝沢

・同一季節の流域間 (St.1-St.2) の比較

2009 11/7		
	St.1	St.2
St.1		0.9
2010 4/28		
	St.1	St.2
St.1		0.2
2010 2/15		
	St.1	St.2
St.1		0.9
2010 8/3		
	St.1	St.2
St.1		0.6

・同一流域の同一地点における季節間 (2009 11/7, 2010 2/15, 4/28, 8/3) の比較

	2009.11	2010.2	2010.4	2010.8
St.1	2009.11	1.0	1.0	0.6
	2010.2		1.0	0.6
	2010.4			0.7
St.2	2009.11	0.8	0.2	0.7
	2010.2		0.4	0.6
	2010.4			0.2

類似性は低くなり8月になると多少回復してくる。同一流域の季節間の比較をしてみるとSt.1は平均0.8であり、季節を通して藻類群落構造は類似していると考えられる。St.2は平均0.5で季節間でやや類似しているとみられる。

大洞沢および貝沢において類似性の低いところはいずれも叢状群体を形成する藍藻の *Chamaesiphon minutus* や *Homoeothrix janthina* および糸状体を形成する緑藻の *Ulothrix* sp. が優占的に出現している地点である。藻類群落が主に珪藻で形成されている地点の類似性は高くなる傾向がある。また出現種が類似していても各種の出現率が異なると群落構造の類似性は低くなる。その大きな原因が上記した群体形成する藍藻の出現である。このようなことにより両沢は微妙な環境の差異で藻類群落組成が変化し結果として類似性は低くなる傾向が生じる。

今回調査した大洞沢、貝沢のような山地溪流の源流部は水深も浅く川幅も狭く、環境の小さな変化にもそこに生育する底生生物は大きな影響を受ける。流速に関しては流速に応じて適応した藻類の発達が見られるが、多様性は低い。付着藻類細胞密度は極端に低い。これは流速の影響のみならず、浮遊砂による剥離、光量子の不足などが関係していると考えられる。今回の付着藻類の調査から対象とした2溪流は非常に不安定な環境下にあることが明らかになり、これらを解決するためには森林、特に溪畔林の整備、それに関係した林床環境の保全、特に大洞沢に対しては下草保全の対策が急務である。今後の課題としては、付着藻類は前述したように微環境の変化に影響をうけるので環境の指標生物としては優れているが、採集においては毎回統一した条件下で採集することが正確な解析に必要であると考ええる。

V 謝 辞

本調査実施にあたり現場の詳細な情報を提供してくださった神奈川県自然環境保全センターの연구원の方々に感謝申し上げます。特に珪藻の同定に関しては藻類研究所の福島博博士には多大なるご助言をいただき厚くお礼を申し上げます。また、データ解析にあたりコンピュータソフトの開発およびデータの整理にご尽力下さった元湘南短期大学講師の高井耕一

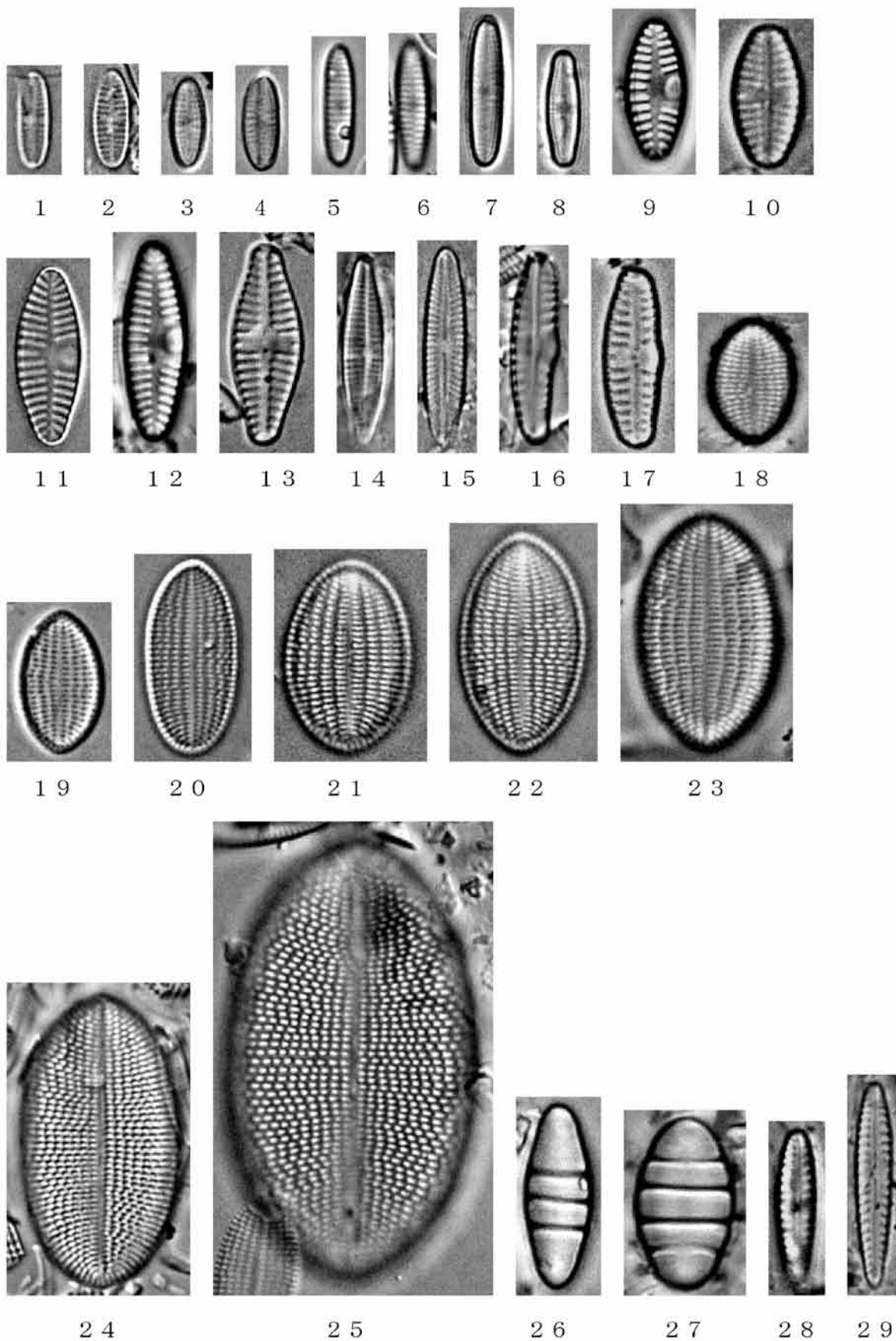
先生に感謝する。

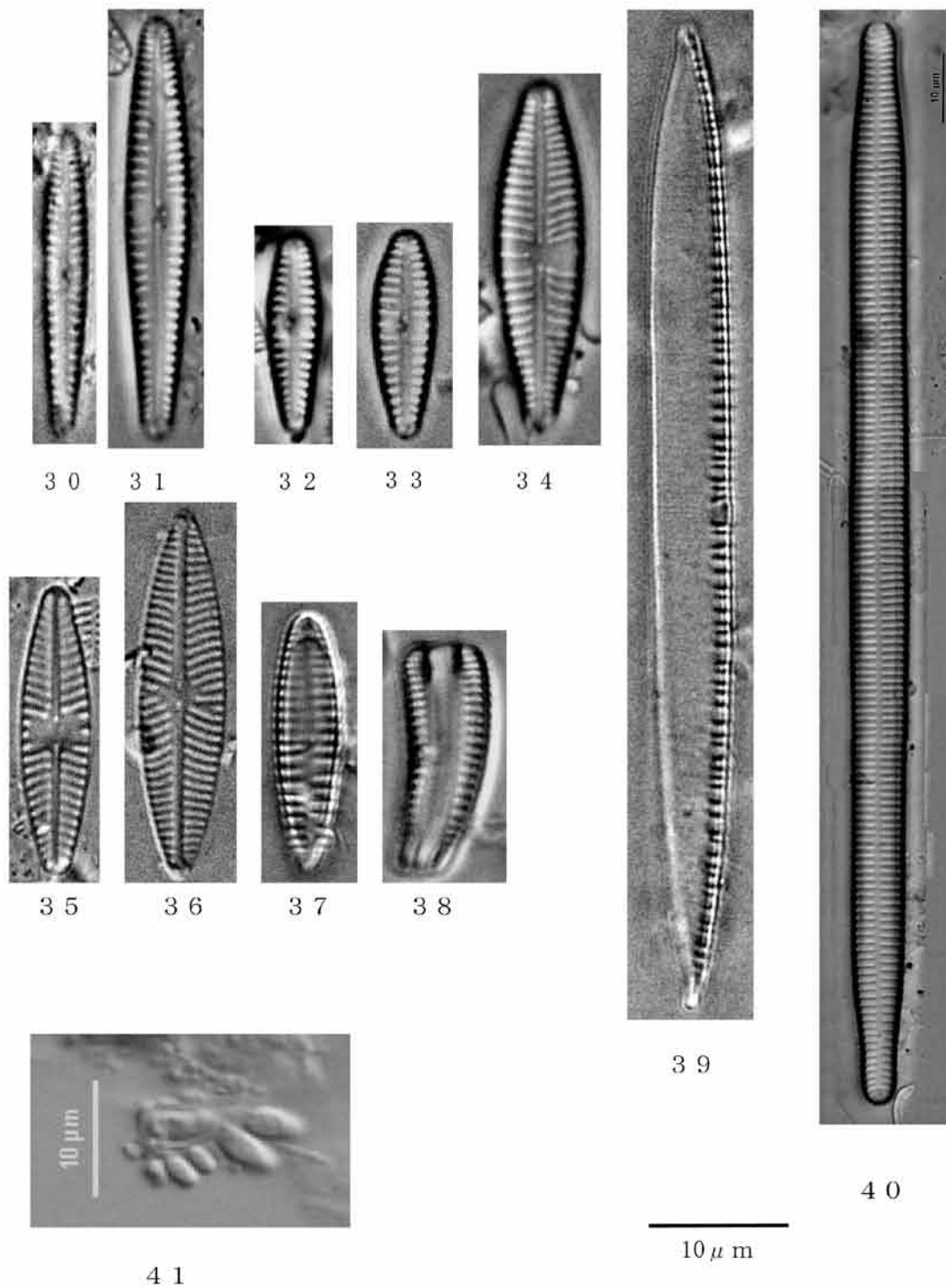
VI 参考文献

- Blum, J. L. (1960) Algal population in flowing waters. Spec. Publs. Pymatuning Lab. Fld. Biol. 2:11-21.
- 福島博 (1968) 生物学的水質判定. 横浜市立大学論叢 自然科学系列 20 (1) : 33-92.
- 福島博・小林艶子・寺尾公子 (1980) 付着藻の優占種と多様性指数、とくに優占種により群集構造を比較する方法. 日本水処理生物誌 12 (1・2) : 30-32.
- Gumtow, R. B. (1955) An investigation of the periphyton in a riffle of the West Gallatin River, Montana. Trans. Amer. Microsc. Soc. 74:278-292.
- Hustedt, F. (1930) Bacillariophyta. In (Pascher, A. ed.) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Heft 10. 466pp. Gustav Fischer, Jena.
- Jones, J. R. E. (1951) An ecological study of the River Towy. J. Anim. Ecol. 20:68-86.
- Keithan, E. D. and R. L. Lowe (1985) Primary productivity and spatial structure of phytolith growth in streams in the Great Smoky Mountains National Park, Tennessee. Hydrobiologia 123:59-67.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 1. Teil : Naviculaceae. 876pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 2. Teil : Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. 610pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991a) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 3. Teil : Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. 576pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991b) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae 4. Teil : Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. 437pp. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

- Mark A. Lamb and Rex L. Lowe (1987) Effect of current velocity on the physical structuring of diatom (Bacillariophyceae) community. *Ohio J. Sci.* 87 (3) : 72-78.
- McIntire, C. D. (1966) Some effects of current velocity on periphyton communities in laboratory streams. *Hydrobiologia* 27: 559-570.
- McIntire, C. D. (1968) Structural characteristics of benthic algal communities in laboratory streams, *Ecology* 49: 520-537.
- Morishita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E. (Biol.)*, 3 (1) : 65-79.
- 元村 勲 (1943) 群集の統計的取扱について (続報). *生態学研究* 9 (2) : 117-119.
- Patrick, R. (1964) Ecology of freshwater diatoms and diatom communities. In D. Werner (ed.) *The biology of diatoms*. 284-356. Blackwell Sci. Pub.
- Reisen, W. K. and D. J. Spencer (1970) Succession and current demand relationships of diatoms on artificial substrates in Prater's Creek, South Carolina. *J. Phycol.* 6: 117-121.
- Smith, G. M. (1950) *The fresh-water algae of the United States*. 719pp. McGraw-Hill, New York.
- Stevenson, R. J. (1996) The stimulation and drag of current. In Stevenson RJ, Bothwell ML, Lowe RL (eds) *Algal ecology*. Academic Press, San Diego, pp321-340.
- Whitford, L. A. (1956) The communities of algae in the springs and spring streams of Florida. *Ecology* 37: 433-442.
- 渡辺仁治編著 (2005) 淡水珪藻生態図鑑、666pp. 内田老鶴圃、東京.
- 山本亮介・松梨史郎・下垣久 (2003) 移動粒子を伴う流れの付着藻類剥離効果. *水工学論文集* 47 : 1069-1074.
- Zimmerman, P. (1961) Experimentelle Untersuchungen über die ökologische wirkung der Stromgeschwindigkeit auf die Levensgemeinschaft des fliessenden Wassers, Schweiz. *Z. Hydrol.* 23: 1-81.

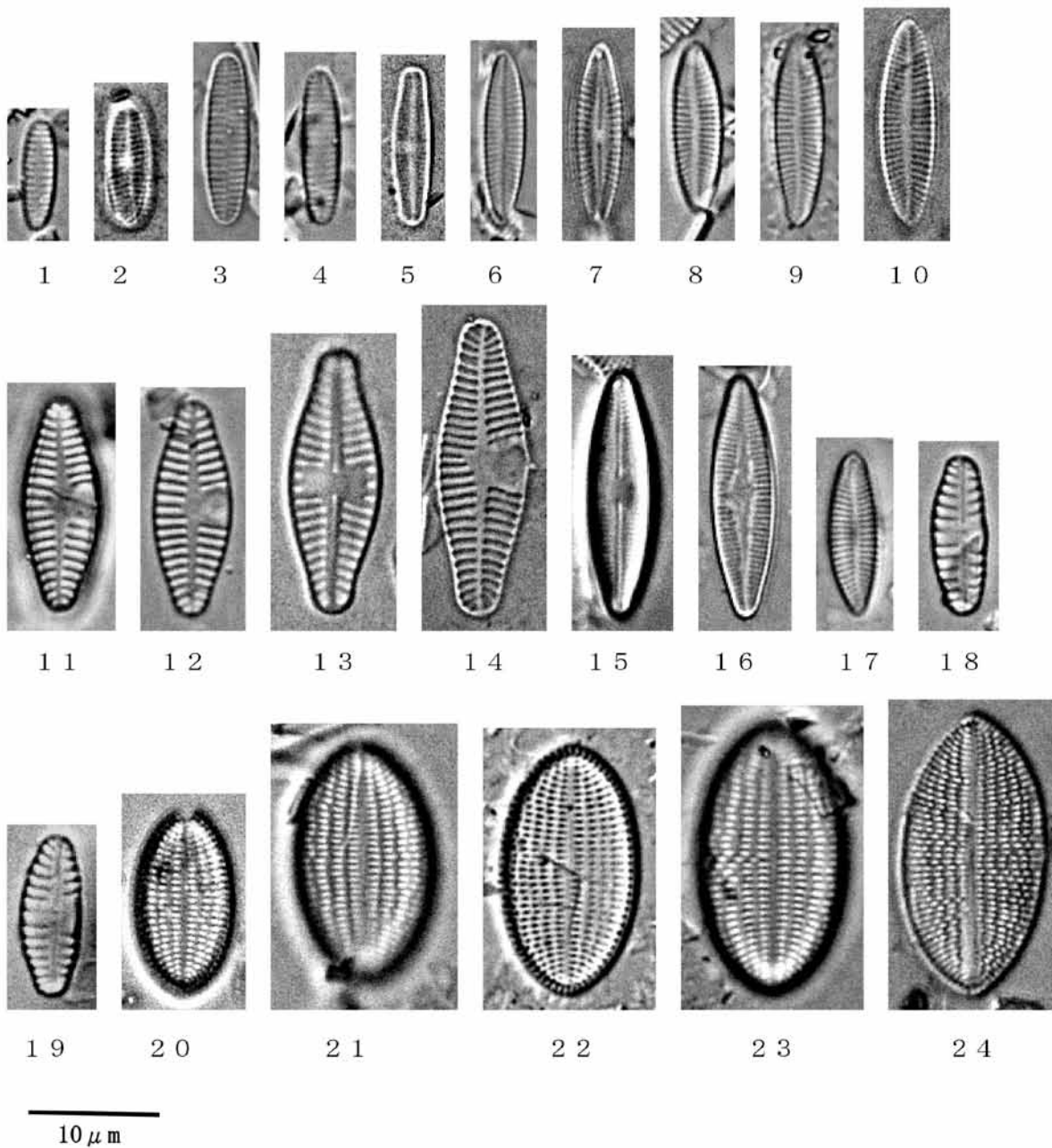
大洞沢に出現した主な付着藻類 (×2,000)



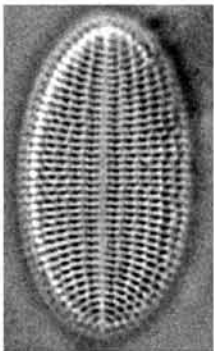


1-7: *Achnanthes japonica*, 8: *Ach. minutissima* var. *minutissima*, 9-13: *Ach. lanceolata*, 14-15: *Ach. subhudsonis*, 16-17: *Cymbella sinuate*, 18-23: *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, 24-25: *Cocconeis placentula* var. *lineata*, 26-27: *Diatoma mesodon*, 28-31: *Gomphonema* spp., 32-34: *Gomphonema parvulum*, 35: *Navicula veneta*, 36: *Nav. cryptotenella*, 37-38: *Rhoicosphenia abbreviata*, 39: *Nitzschia linearis*, 40: *Synedra ulna*, 41: *Chamaesiphon minutus*

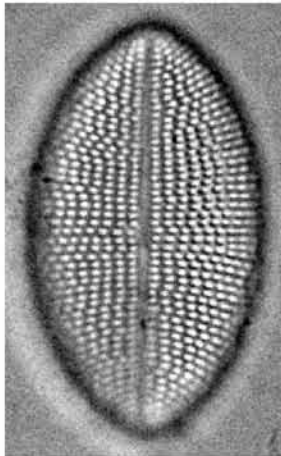
貝沢に出現した主な付着藻類 (×2000)



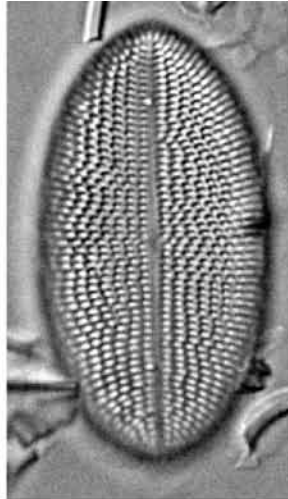
1-4: *Achnanthes japonica*, 5: *Ach. minutissima* var. *minutissima*, 6-10, 17: *Ach. subhudsonis*
 11-14: *Ach. lanceolata*, 15-16: *Ach. lapidosa*, 18-19: *Cymbella sinuata*, 20-24: *Cocconeis*
placentula var. *euglypta*



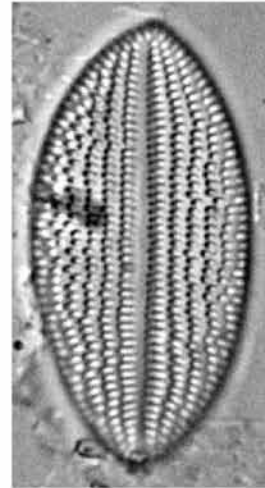
25



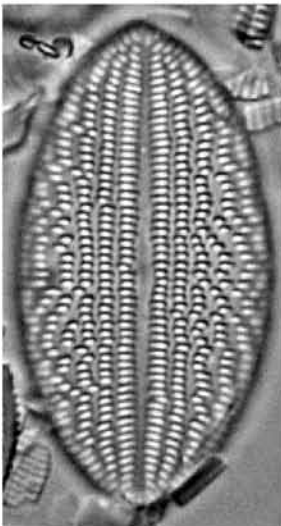
26



27



28



29



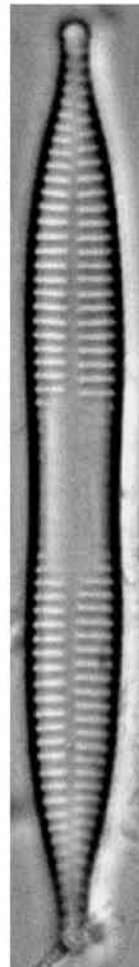
30



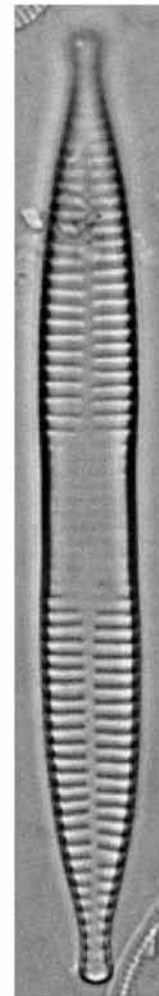
31



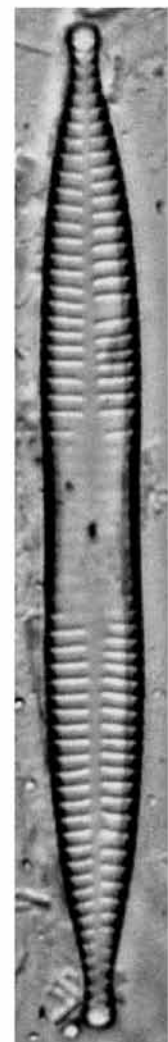
32



33



34



35

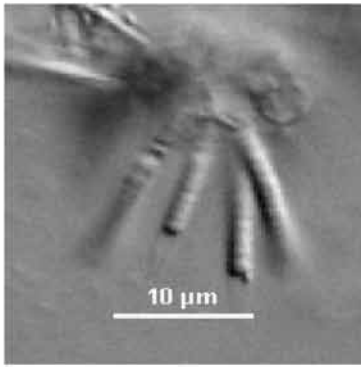
10 μ m

25-27: *Cocconeis placentula* var. *lineata*

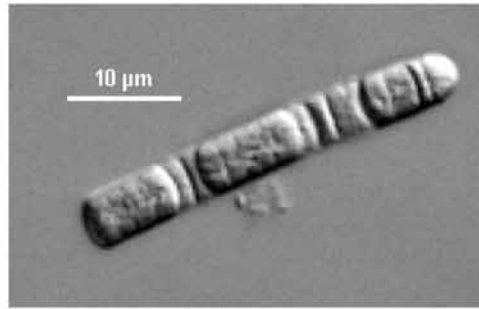
28-29: *Cocconeis placentula* var. *euglypta*

30-32: *Gomphonema parvulum*

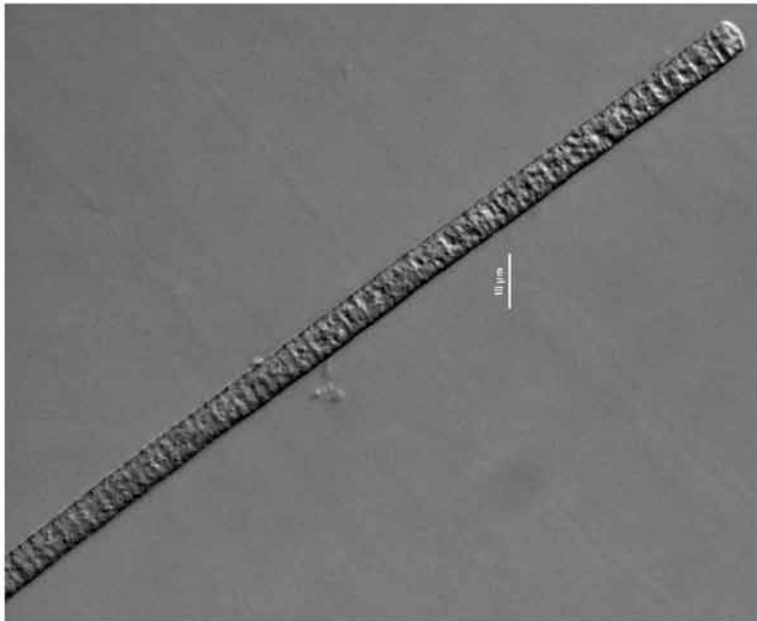
33-35: *Synedra ulna* var. *oxyrhynchus*



3 6



3 7



3 8

36: *Homoeothrix janthina*, 37-38: *Oscillatoria* sp.

山地溪流の付着生物群集への生態学的アプローチ

坂本照正*・吉武佐紀子*

Ecological approach to the periphyton communities in small stream of mountainous forest, Kanagawa Prefecture

Terumasa SAKAMOTO and Sakiko YOSHITAKE

要 旨

対照流域法による水環境のモニタリング調査を平成 19 年から 4 ヶ年に亘って実施した。河床付着膜の藻類が利用できる光量は全日射量の 4 %程度で、その現存量は秋冬季に増加し、夏季に減少する傾向を示した。大洞沢と貝沢はともに水質的には良好であるが、その河床付着生物群集は多様性と安定性に欠けており、森林の間伐・伐採により光密度が増すと藍藻類から珪藻類や緑藻類に、低温種から高温種へ移行する可能性がある。森林からもたらされる物質が湖沼等の水界に大きく影響し、河床付着生物の現存量と降雨量との間には負の相関が認められ、現在の森林環境は降雨等の環境変動に対して、十分な修復機能が保持されていないことが示唆された。対照流域法での施策効果を検証（環境作用の影響と施策効果を分離・識別）するための方法論を提示した。

キーワード：付着生物、クロロフィル、評価指数、光密度、増殖比

I はじめに

現在、地球上のあらゆる場所で温暖化の影響がとりざたされており、今後のさらなる進捗が懸念されている。森林の流域を評価する方法には単独流域法や対照流域法などがあるが、いずれもその効果の検証には困難を極めている。特に、森林が短期間で再生し、その効果が表面化する可能性は低く長期的な展望に立っての視点が求められている。さらに、森林機能の水界生物への影響を調査した事例は底生動物によるものが長坂他 (2000) ⁽¹⁾ 等数例が存在するのみで、付着藻類を対象にしたものはほとんど見当たらない。山地溪流の環境変化は著しく生物の現存量は小さいうえ、その変化は環境変動の中に取り

込まれるのが現実である。このような実情を踏まえ新たな方法論を創生し、この局面に対応することが求められている。特に、将来に亘って、神奈川県民の生活を育む“豊かな緑と豊かで安全な水を確保していくためには、現象論的段階から本質・形態論的段階への発想の転換が事業遂行の方法論上に求められなければ、真の山地・水源環境の再生に結びつけることは出来ないであろう。

今回は「水源環境保全・再生実行 5 か年計画」の中の神奈川県自然環境保全センター事業“対照流域法による水環境モニタリング調査計画”の一環として、溪流の付着生物群集に関する調査を平成 19 年度から 22 年度までの 4 ヶ年に亘って実施したので、その概要を報告する。

* 湘南短期大学 (〒 238-8580 横須賀市稲岡町 82 番地)

II 調査方法

対照流域法は施策効果の検証を目的とする調査であり、しかも、調査対象とする貝沢と大洞沢は山地の源流域に存在し環境変動が著しい場所にある。水生生物群集の現状把握にも極めて困難が想定されることから、降雨等の影響（環境の作用力）を見る特異的調査と季節変動の状況（群集の応答力）を把握する周年調査に分けて実施した。

1 調査時期

(1) 大洞沢における特異的調査は平成19年度から20年度に計3回（平成19年12月6日、平成20年3月26日、同年7月16日）、周年調査は平成21年度から22年度に亘って、四季ごとに計4回（平成21年11月8日、平成22年2月16日、同年4月29日、同年8月4日）行った。

(2) 貝沢における特異的調査は平成20年から21年にかけて計3回（平成20年7月15日、同年20年10月25日、平成21年2月7日）、周年調査は平成21年度から22年度に亘って、四季ごとに計4回（平成21年11月7日、平成22年2月15日、同年4月28日、同年8月3日）実施した。

2 調査地点

大洞沢は図1の4地点、実施流域として上流側にSt.1を下流側にSt.2を、対照流域には同様にSt.3とSt.4を設定した。また、貝沢は図2の5地点、実施流域としてSt.1、対照流域としてSt.2を、さらにその下流に参照流域としてSt.3、St.4、St.5を設定し調査した。

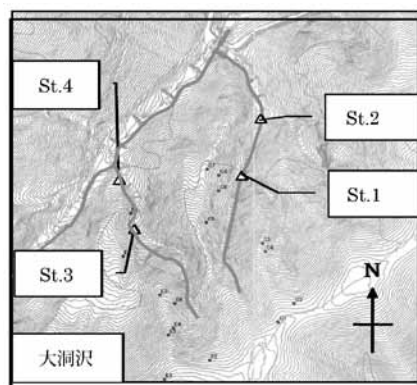


図1 大洞沢調査地（自然環境保全センター資料より引用）

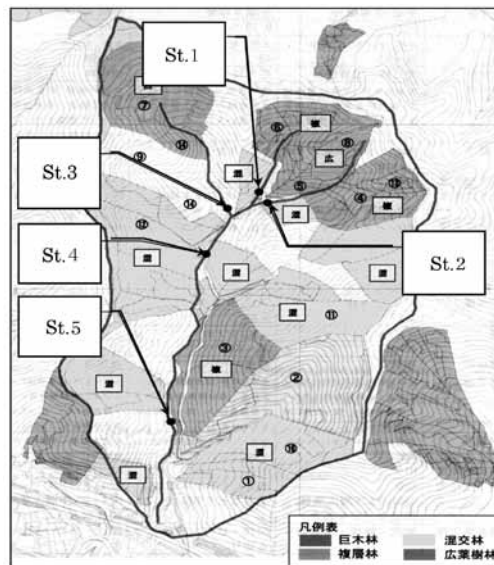


図2 貝沢調査地点（自然環境保全センター資料より引用）

3 調査方法

(1) 環境因子の測定

生息域の河床勾配、流速、流量、光量子束密度（以下光密度という）を測定し、周辺の森林環境の植生等について簡単な調査を実施した。河床勾配はレベルメーター、流速は浮子法、流量は3点の平均流速と断面積により算出する方法で行った。気中および水中の光密度の測定にはデータロガー付き光量子センサーおよび水中光量子センサーを使用した。

(2) 試料の採取と分析方法

石面上の堆積物と付着生物の採取は以下の方法で行った。コドラート面積は常法に準じて 5×5 cmを用いた。トレーに移した石の表面上にコドラートを設定し、初めにコドラート外側の付着物（定性用試料）をブラシで洗い落とし、内側の付着物（定量、分析用試料）を同様に処理して試料とした。付着物の有機物量と無機物量は上水試験方法(2005)⁽⁴⁾の磁性ルツボに換えてガラス繊維ろ紙を用いる変法で測定した。前もって 480°C で1時間焼成したGF/Cガラス繊維ろ紙で定量用試料の一定量をろ過し、 110°C で2時間乾燥し計測した後、 600°C で30分焼成し飽和炭酸アンモニウム液で処理、再焼成、放冷後計測し、その前後の値より試料の強熱残渣と強熱減量を算出し、それぞれ、付着生物膜の無機物量および有機物量とみなして使用した。有機炭素量はGF/Cガラス繊維ろ紙で同量をろ過し乾燥後、CHNコーダーにより分析した。付着生物のクロロフィ

ルの測定はガラス繊維ろ紙 (GF/C) で定量用試料の一定量をろ過し、ろ紙上に捕捉された試料に 90% アセトンを加えガラス乳鉢内で破碎し、その色素抽出液の吸光度を測定する SCOR/UNESCO (1975) ⁽²⁴⁾ の方法で、フェオ色素はクロフィル測定後の抽出液を 2 N 塩酸で処理する LORENZEN, C. J. (1967) ⁽⁶⁾ の方法で行った。また、森林流出水の河川、湖沼への影響評価に関しては現地採取試料を用いる A G P (藻類増殖能) 試験法 ⁽⁷⁾ の一部を改変 (以下改変 A G P 法という) して行った。

(3) 環境の評価手法

水界の生物群集の評価方法として、従来から広く用いられてきたものに汚濁指数 (Saprobic index) とシャノンの多様性指数 (Shannon' s diversity index) がある。これらを用いて有機汚染との関係を追及した報告が多いが、いずれも群集の種構成の変化を基に論理を展開したものである。その指数の算出の根拠となる種の同定に関しては経験が主要な質的要素となり、さらに量的要素としての定量には同一レベル (細胞数、個体数、糸状体等の計数レベルの統一が不可)、同一次元 (種によって、サイズ、内容物や活性度等が異なり、環境への影響度が相違する) で実施することが出来ないという欠点がある。特に、両指数ともに、急激な環境の変化を表現するものとは言いがたい。従って、本報では水質汚染の影響を示す改変汚濁指数は厳密な種構成ではなく、重み付け的な要素が強いので、個体数 (糸状体も含む) レベルで、場の種構成の変化に基づく多様性指数には細胞レベル (珪藻類に限定) の値を適用して算出した。さらに、降雨等による環境の急激な変化を視野にいれ、環境の変化が生物の増殖速度と活性度を規定するという考え方に基づいた安定性指数を新たに案出し、以上の 3 指数 (改変汚濁指数、多様性指数および安定性指数) の平均からなる環境評価指数 (EAI) を用いて施策前の溪流環境の評価を試みた。

多様性指数は

$$\textcircled{1} \text{多様性指数} : H = - \sum P_i \cdot \ln(P_i),$$

$$\text{ただし、} P_i = n_i / N_i$$

ただし、 n_i は i 番目の種の細胞数、 N_i は出現した全細胞数、 P_i は i 種の出現率を示す。

改変汚濁指数は従来から用いられている汚濁指数

を三指数の次元を統一するために表 1 のように改変した。

$$\textcircled{2} \text{改変汚濁指数 (m SI)} = \sum (n_i \cdot s_i) / N_2$$

ただし、 s_i : i 種の改変汚濁指数、 n_i は i 番目の種の個体数、 N_2 は出現した全個体数である。汚濁指数 Saprobity は HERMAN V. D., ADRIENNE M. & JOS S. (1994) ⁽¹¹⁾ 外によった。その SI は 5 クラスに区分されており、これを根拠に表 1 の 4 クラスに再区分して、今回の改変汚濁指数 (mSI) の基準とした。

表 1 (有機) 汚濁階級と改変汚濁指数

階級	汚濁指数 (SI)	汚濁階級	改変汚濁指数 (mSI)
1	1	Oligosaprobous	4
2	2	β -mesosaprobous	3
3	3	α -mesosaprobous	2
4	4, 5	polysaprobous	1

安定性指数は従来から使用されている独立栄養指数 (=有機物量 / Chl. a 量) の有機物の代わりに有機炭素 (Organic carbon) を用い、地点ごとに各試料 (石 : $i \sim n$) の (有機炭素量 / Chl. a 量) の比 (C_i) の平均値 (C_{AV}) を求め、その値が含まれる表 2 の階級値を安定性指数 (StI) と定義し適用した。

$\textcircled{3}$ 安定性指数 (StI) $\cdots (C_{AV} = \sum C_i / N)$ に該当する階級値

ただし、 N は試料数である。

表 2 安定性指数と (有機炭素量 / Chl. a 量) 比

階級	安定性指数 StI	C_{AV} : (有機炭素量 / Chl. a 量) 比
1	4	0~30
2	3	30~70
3	2	70~120
4	1	120<

なお、この安定性指数は神奈川県内の数ヶ所の水源において、安定していると考えられる流域ほど降雨量の変動に係らず流出水の濁度上昇が認められないこと、しかも、降雨により河床が攪乱されないことで河床付着生物膜の剥離が少なくなることなどから、(有機炭素量 / Chl. a 量) 比が低くなる結果が得

られている（未発表資料）。前述した①、②と③の3指数の平均値を環境評価指数と定めて本調査に適用した。

環境評価指数 (EAI) = (DI + mSI + StI) / 3

なお、本指数の環境生態系に対する意義付けは今後の課題である。

Ⅲ 調査結果

大洞沢では平成19年から22年の4ヵ年、貝沢では平成20年から22年の3ヵ年に亘って実施した調査結果は以下のとおりである。

1 光環境への林冠形成の影響

光密度の減衰に及ぼす林冠形成の影響を知るために、大洞沢で周日調査を平成22年6月2～3日と同年8月3～4日に2回実施した。その時の光密度の減衰傾向を図3に示した。

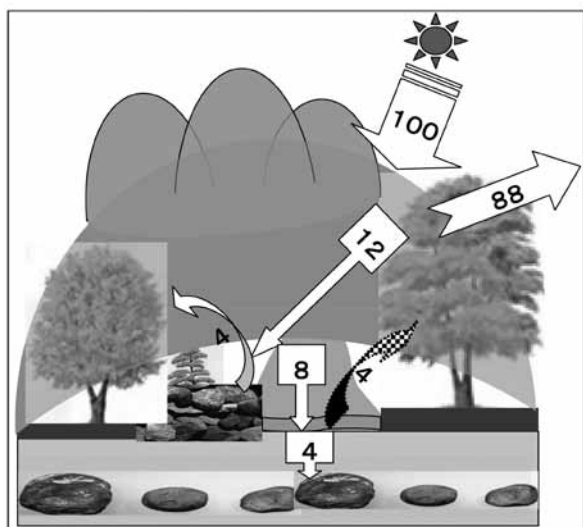


図3 光密度の減衰（図中の数字：％）

太陽からの光合成有効放射の減衰特性は以下のようになった。

全天日射量を100とした時の分散率は、

- | | |
|-------------|-----|
| ①林冠での遮蔽量 | 88% |
| ②林冠通過光量 | 12% |
| ③低木・地形での遮蔽量 | 4% |
| ④水面の吸収・反射量 | 4% |
| ⑤付着基盤到達光量 | 4% |

であった。なお、当日および定期調査日の光密度の（東京天文台による）日積算値は大洞沢が14.9 mol/m²/h（2009・1108）、4.9 mol/m²/h（2010・0216）、47.6 mol/m²/h（2010・0429）、43.0 mol/m²/h（2010・0804）で、貝沢のそれが23.6 mol/m²/h（2009・1107）、3.5 mol/m²/h（2010・0215）、7.7 mol/m²/h（2010・0428）、42.7 mol/m²/h（2010・0803）であった。林冠形成期の河床石面上の付着藻類が利用できる光量は全天日射量の4%程度のみであった。また、林冠が形成されない所や時期には水表面や水中での光消散はあるが、ほぼ30%程度の利用は可能であると考えられる。

調査日の渓流水表面上の光密度の平均は大洞沢が64 μmol/m²/sで、貝沢は32 μmol/m²/sであった。貝沢はSt 1が35 μmol/m²/s およびSt 2が30 μmol/m²/sで、時期でも同様に大きな相違は認められなかった。大洞沢は実施流域が58 μmol/m²/sで、対照流域が70 μmol/m²/s、上流部が52 μmol/m²/sで、下流部が76 μmol/m²/sであった。また、林冠形成期が43 μmol/m²/sで、形成されていない時期が75 μmol/m²/sであった。溪流の光環境には調査地の植生および林冠形成の状態が関係し、その付着藻類の増殖に大きな影響を与えていることが伺える。

2 河床付着生物膜の構造

大洞沢と貝沢における河床石面上の付着物および付着生物群集を調査した結果は以下のとおりである。

（1）大洞沢

ア 有機物と無機物の周年変動

図4に無機物、図5に有機物の周年変動を図示した。

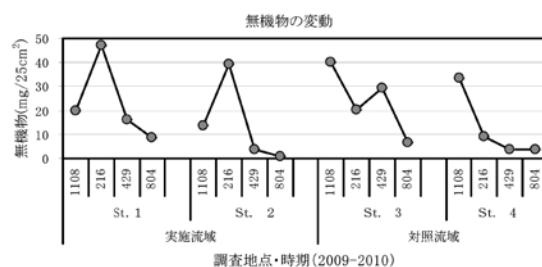


図4 無機物の周年変動

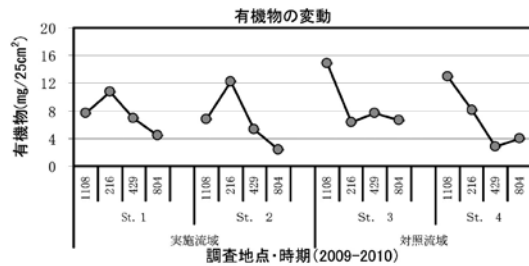


図5 有機物の周年変動

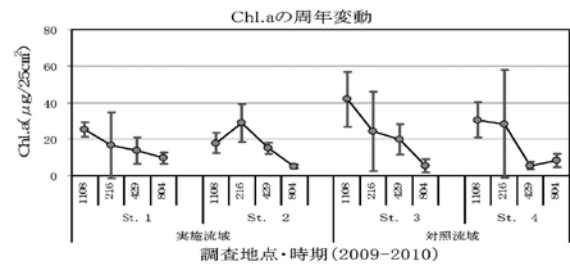


図6 クロロフィルaの周年変動

無機物量は実施流域が $0.7 \sim 47.0 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ 、対照流域が $3.8 \sim 40.0 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ で、平均は $18.6 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ と $18.4 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ であった。無機物量は冬季に多く夏季に減少し、流域では大きな相違は認められないが、上流に多く下流で減少する傾向が認められた。

有機物量は実施流域が $2.4 \sim 12.2 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ 、対照流域が $2.7 \sim 14.9 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ で、平均はそれぞれ $7.0 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ と $7.9 \text{ mg}/25 \text{ cm}^2$ であった。有機物量は秋冬季に多く春夏季に減少し、地形（流域および地点間）的には大きな相違は認められない。有機物および無機物ともに秋冬季に多く春夏季に減少する傾向があった。

イ 現存量（クロロフィルa：Chl.a）の挙動

生物群集の評価は質的および量的な観点から行うことが重要であり、現存量（一定地域の単位空間内に存在する生物量）の解析においても同様である。現存量の質的な評価は種構成を基盤とする群集構造の解析によって一般的に行われている。量的な評価は定量という手法によって生物量を数的に算出する方法もあるが、生物の種類によって、その形態、体積やサイズが異なっているだけでなく、同一基準（細胞数、個体数等）によって、全ての生物を計数することが困難である。クロロフィルaは全ての緑色植物や藻類に共通して含まれており、環境での生育時の生理状態も反映するので、藻類を量的に把握するにはこの色素量の測定が最も有効である。クロロフィルaは活性のある藻類の細胞中に含まれており、その分解産物であるフェオ色素（Phaeo. P.）は活性のない死亡して間もない細胞中で検出される。

(ア) 周年変動

大洞沢の河床付着生物膜のクロロフィルaの周年

変動（2009～2010）を図6に示した。

実施流域におけるクロロフィルa量は $5.0 \sim 28.8$ （平均 16.5 ） $\mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ 、フェオ色素は主として夏季に約 $3.0 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ 検出された程度であった。また、対照流域のクロロフィルa量は $5.4 \sim 41.9$ （平均 20.6 ） $\mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ で、フェオ色素は主に夏季に $2.0 \sim 2.9 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ 程度検出された。これまでの報告内容も踏まえて考えると、一般的に、光合成色素の値は実施流域（ $16.5 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）よりも対照流域（ $20.6 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）が高い傾向にあった。これは対照流域が実施流域よりも、少し光条件に恵まれ藻類の増殖に適した環境にあったことも考えられるが、現存量としての有意差は認められない。さらに、両流域の上下流でも大きな相違はない。両流域ともに秋冬季の落葉期に多く、春夏季の林冠完成期に減少する傾向（秋季は夏季の3～5倍）が認められた。

(イ) 経年変動

大洞沢の河床付着生物膜のクロロフィルaの過去4年間（2007～2010）の挙動を図7、図8に示した。表3はそれぞれの平均値を示している。図中の写真は各地点上空の林冠の開放状況（林冠開放度）を表している。各地点ともに冬季は夏季の数倍の開口度があり光条件に恵まれていることが分かる。

クロロフィルa量は実施流域（ $16.3 \sim 16.8 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）よりも対照流域（ $22.9 \sim 26.3 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）で多く、源流の上流側（ $22.9 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）よりも光密度の高い下流側（ $26.3 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）で少し増加する傾向が認められるが、通年で実施した結果と同様に大きな相違はない。また、季節的には秋冬季（ $40.6 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）に多く、夏季（ $5.9 \mu \text{ g}/25 \text{ cm}^2$ ）に減少する傾向があり、通年で行った調査とほぼ同様な結果が得られた。

ウ 溪流生態系の環境評価

大洞沢における2009～2010年度の評価指数の周年変動を図9に示した。大洞沢の環境評価指数は1.5～2.5の範囲であった。調査地域の全地点の平均値として捉え、大洞沢の環境評価指数(EAI)が年平均で1.9であり、その詳細は水質(有機汚染)的には良好(mSI:3.0)であるが、多様性(DI:1.3)と安定性(StI:1.5)に欠ける溪流生態系が構築されていたと考えられる。

次に、それぞれの沢の調査流域別に見ると、大洞沢のEAIは実施流域、対照流域ともに1.8と1.9で

差はなかった。実施流域は多様性指数(DI)が1.3、改変汚染指数(mSI)が2.9、安定性指数(StI)が1.4で、対照流域はそれぞれ、DI:1.3、mSI:3.1、StI:1.7であった。水質的には両流域ともに良好であるが、実施流域は多様性と安定性に欠け、対照流域も実施流域とほぼ同様であるが、実施流域よりも少し安定していたと考えられる。

(2) 貝沢

ア 有機物と無機物の周年変動

付着生物群集の有機物と無機物の周年変動を図

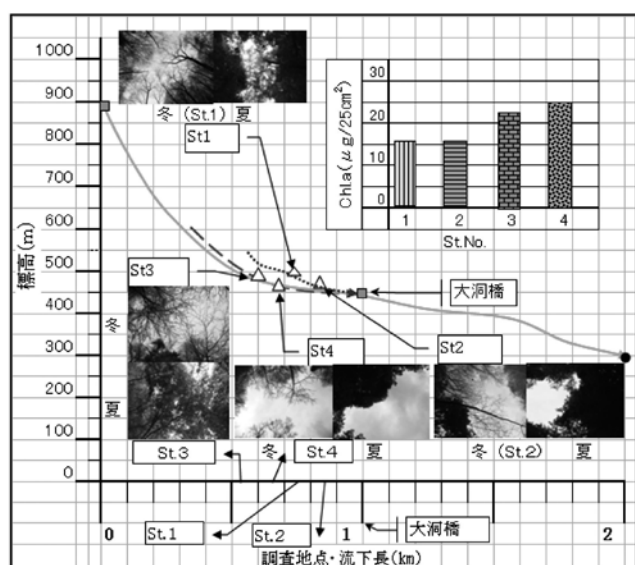


図7 クロロフィルaの地点変化

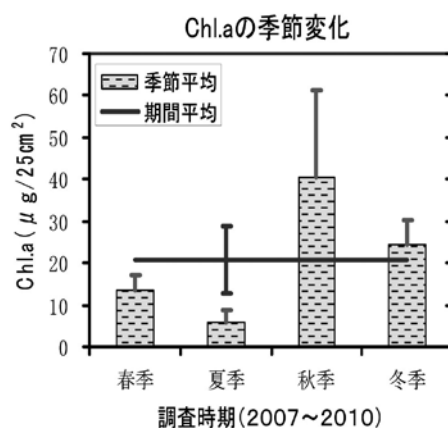


図8 クロロフィルaの季節変化

表3 クロロフィルaの挙動

大洞沢	実施流域		対照流域		春季	夏季	秋季	冬季
Chl.a	St.1	St.2	St.3	St.4	3～4月	7～8月	11～12月	1～2月
$\mu\text{g}/25\text{cm}^2$	16.3	16.8	22.9	26.3	13.5	5.9	40.6	24.6

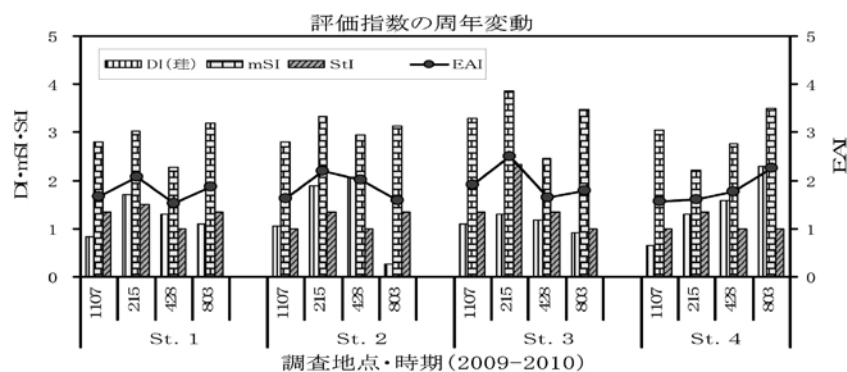


図9 評価指数の周年変動

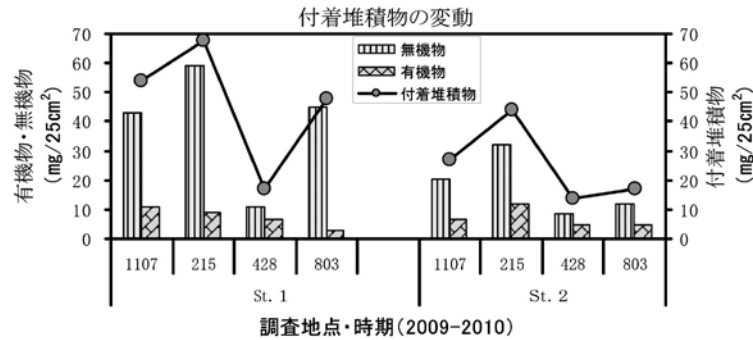


図 10 無機物・有機物の周年変動

10 に示した。

無機物量は $8.7 \sim 59.1 \text{ mg} / 25 \text{ cm}^2$ の範囲にあり、年平均は $28 \text{ mg} / 25 \text{ cm}^2$ であった。無機物は付着堆積物と同様に秋冬季に多く春夏季に減少する傾向があり、春季は冬季の約 21% で、対照流域 St 2 のその量は実施流域 St 1 の 1/2 程度であるが有意差は認められない。

有機物量は $2.8 \sim 12.0 \text{ mg} / 25 \text{ cm}^2$ の範囲にあり、年平均は $7.4 \text{ mg} / 25 \text{ cm}^2$ であった。有機物量は秋冬季に多く、春夏季に減少する傾向があり、夏季のその量は冬季の約 38% であった。有機物は無機物よりも対照流域と実施流域での差が少なく流域間に有意差は認められない。

イ 現存量（クロロフィル a : Chl. a）の挙動

(ア) 周年変動

河床付着生物群集のクロロフィル a の周年変動を図 11 に示した。

クロロフィル a 量は $11.3 \sim 54.2 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$ の範囲にあり、年平均は $29.5 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$ であった。クロロフィル a の増加は実施流域では春秋に、対照流域では冬季にみられたが、夏季に減少する傾向は両流域に共通して認められた。さらに、春秋と夏季間の藻類の現存量には有意差があるが、地点間には有意差は認められない。春秋の現存量は夏季の 1.8 ～ 2.9 倍で、対照流域は実施流域の 1.6 倍であった。調査時の状況から判断して、St 2 では森林の事業計画（間伐等）と落葉期が重なって光量が増し、藻類の増殖が助長された可能性がある。また、夏季の現存量は流域間には大きな相違はなく、他の季節の約 1/2 ～ 1/3 程度であった。夏季における現存量の減少傾向は平成 21 ～ 22 年においては降

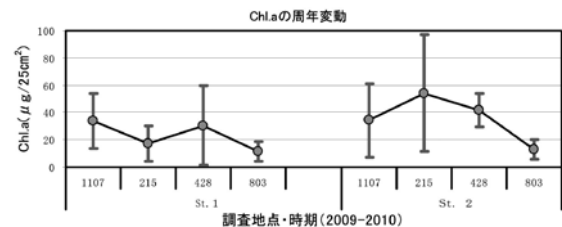


図 11 クロロフィル a の周年変動

雨等による河床攪乱・掃流の影響が考えられないので、低木類等の遮蔽による光量不足やその他の因子が影響した可能性が示唆される。

(イ) 経年変動

貝沢の河床付着生物膜のクロロフィル a の過去 3 年間（2008 ～ 2010）の挙動を図 12・図 13 に示した。表 4 はそれぞれの平均値を示している。図中の写真は St 1 と St 2 は夏季の上空の林冠の開放状況（林冠開放度）を St 3 ～ St 5 は調査地点の様子を表している。なお、St 1 と St 2 の林冠の開放状況は年間を通じて夏季と大きな差はなかった。

クロロフィル a 量は 3 カ年の平均値でみると、実施流域 St 1 ($22.2 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$) よりも対照流域 St 2 ($30.1 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$) で多く、場が開け光密度の高い St 3 ($50.1 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$) と St 4 ($56.2 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$) で増加し最大となって、その下流の St 5 ($33.3 \mu \text{g} / 25 \text{ cm}^2$) で減少する傾向を示した。また、河床のクロロフィル a 量は降雨が少なく、河床の安定する秋冬季に増加し最大となり、降雨の影響が大きい夏季は著しく減少した。しかし、大洞沢よりも貝沢の現存量は多く、森林の降雨等へのより高い安定性を示している。

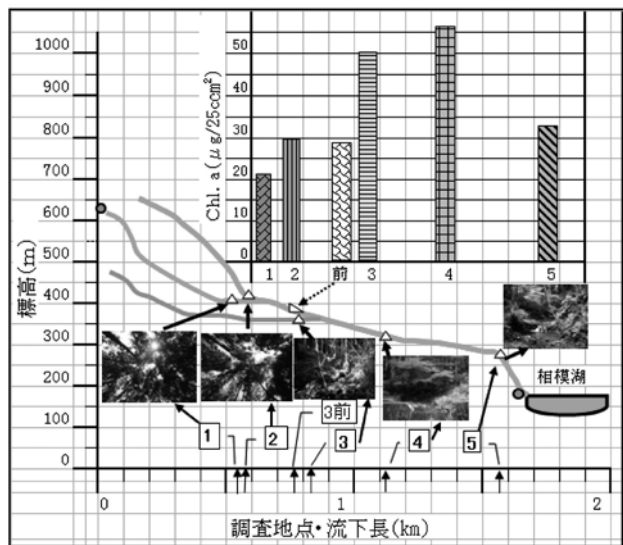


図12 クロロフィルaの地点変化

ウ 溪流生態系の環境評価

貝沢における2009～2010年度の評価指数の周年変動を図14に示した。

貝沢の環境評価指数(EAI)は1.5～2.1の範囲であった。調査地域の全地点の平均値として捉えらると、貝沢の各指数の年平均はEAI:1.8、mSI:2.8、DI:1.0、StI:1.6であった。次に、それぞれの沢の調査流域ごとに見ると、EAI(実施流域St1:1.7、対照流域St2:1.9)、DI(St1:0.6、St2:1.3)、mSI(St1:3.0、St2:2.7)、StI(St1:1.5、St2:1.8)であり、水質的には良好であるが多様性と安定性に欠けており、特にSt1の多様性の低さが顕著であった。

表4 クロロフィルaの挙動

Chl. a 量	St1	St2	St3	St4	St5	春季	夏季	秋季	冬季
$\mu\text{g}/25\text{cm}^2$	22.2	30.1	50.1	56.2	33.3	33.2	33.2	33.2	33.2

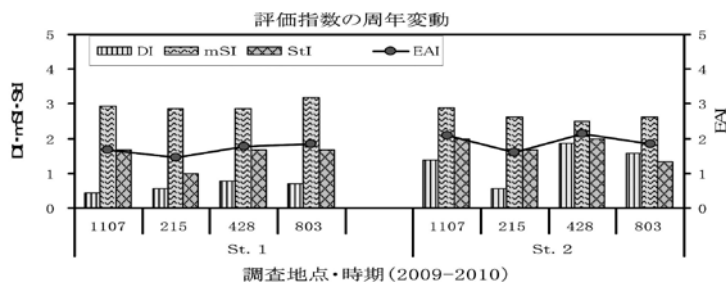


図14 評価指数の周年変動

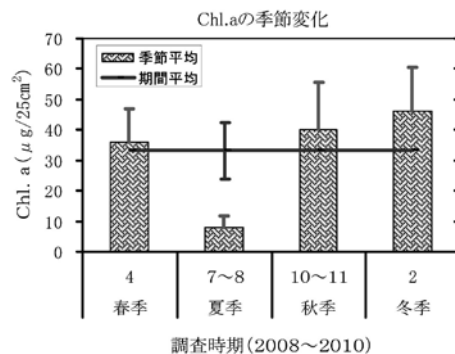


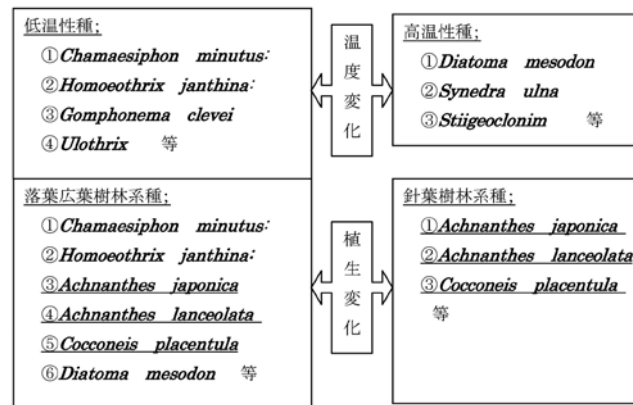
図13 クロロフィルaの季節変化

3 森林生態系の変動に伴う河床付着生物群集の遷移

森林形態によって付着生物群集の様相(構成種およびその量)が大きく変容する。今回の指標種の選定に当たっては森林構造の様式が2種類(雑木落葉広葉樹林:大洞沢、針葉樹林:貝沢)しかなく、流出水の栄養塩類等のデータが不足しているので、温度と樹林形態という次元での指標種の選定に留めざるをえなかった。その結果を表5に記した。低温性種としては*Chamaesiphon minutus*外4種、高温性種としては*Diatoma mesodon*外3種、落葉広葉樹林系種として*Chamaesiphon minutus*外6種、針葉樹林系種としては*Achnanthes japonica*外3種が挙げられる。このうち、*Achnanthes japonica*、*Achnanthes lanceolata*、*Cocconeis placentula*の3種は両樹林系の広範囲な流域に四季を通じて出現する共通種であった。

河床付着生物群集の多様性指数は貝沢のSt1:

表5 森林の環境変化に伴う遷移とその指標種



0.6、St 2 : 1.3 で、大洞沢の実施流域 : 1.3、対照流域 : 1.3 であり、大洞沢の対照流域、実施流域、貝沢の針葉樹林系の St 2 では大きな相違はないが、St 1 では多少低下する。その地点の優占種は珪藻類の *Cocconeis* で、ほぼ単一種の状態であった。この原因としては大洞沢も含めて光密度が制約される場所や時期には、この現象に似た傾向を示していることから光制限下にあるか、針葉樹林からの特有な溶脱・流亡物質の影響を受けている可能性が考えられる。

また、森林の間伐・伐採により光密度が増し水温が上昇すると藍藻類から珪藻類や緑藻類に、低温種から高温種へ移行する可能性が表6および培養試験の結果から推定される。今回は少ないデータによる推論であり、指標種の遷移と森林系の関係を構築するには、より多くのデータの集積が望まれる。

4 河床付着藻類（の適応性）による森林生態系の診断

調査した溪流の各流域に出現する生物はその環境に適応する反面、その環境の特性によって制約されるので、環境の変化やその状態を反映していると考えられる。流域に出現する種から森林生態系の様相を判定した。表6は貝沢・大洞沢の優占種が出現した地点の流速、光密度と水温の検出範囲を記したもので、図15はその関係を図示したものである。さらに、その上に各森林系（調査地）のみに出現した種の領域を線で囲って（区画領域とよぶ）表示した。貝沢の St 1 と St 2 は優占種およびその環境条件にも差がないので貝沢に統一して記した。

表6 指標種の適応性

区分・分類	種名	適応性		
		水温 ℃	流速 cm/s	光密度 $\mu\text{mol/s/m}^2$
(1)低温性(冬季型)				
藍藻類	<i>Chamaesiphon minutus</i>	5~7	30~35	15~55
	<i>Homoeothrix janthina</i>		30~35	15~55
緑藻類	<i>Ulothrix zonata</i>		25~35	15~25
(2)広範囲性(周年型)				
珪藻類	<i>Achnanthes japonica</i>	5~20	30~60	100~130
	<i>Achnanthes lanceolata</i>		30~60	80~240
	<i>Cocconeis placentula</i>		10~60	10~250
(3)高温性(夏季型)				
珪藻類	<i>Diatoma mesodon</i>	16~18	40~80	70~100

図15より、安定期にあるか、特異的制約下にある森林系（貝沢の針葉樹林）ほど区画領域が狭まり、不安定で変遷途上にある森林系（大洞沢の落葉広葉樹林）ほど区画領域が拡大する傾向が認められる。ただし、針葉樹林系はその特性により出現種は貧弱であるが、安定性が高く量的には広葉樹林系よりも豊富であった。従って、付着藻類の指標種と環境因子の関係をプロットする面積法（以下、生物学的面積診断法という）と前述の環境評価の安定性指数の結果を結びつけると、安定性が高い森林系ほど面積法で示した図上の区画面積が小さくなる。すなわち、森林の安定性の程度は、図中の区画面積が小（貝沢）>同面積が中（大洞沢対照流域）>同面積が大（大洞沢実施流域）という結果となった。

5 森林流出水の河川・湖沼（の藻類増殖）に及ぼす影響

森林生態系に降る降雨は表層流として、また、土壌に浸透した水は湧水や地下水として、風化や腐植によって生じた各種の物質を集積・溶脱し溪流や河

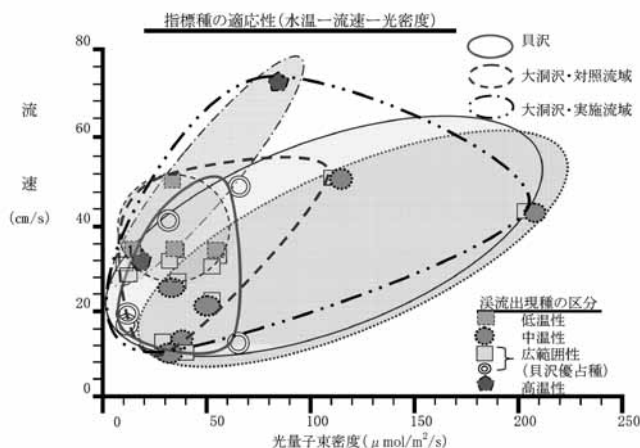


図15 指標種の分布

川に流亡させている。従って、源流の森林流出水中には風化や腐植によって生じた珪酸、鉄等の金属やフミン酸等の微量有機物などの各種の物質が含まれている可能性がある。土砂を含んだ流出水の河川や湖沼に与える影響は多大であるが、外見的に清浄に見える流出水についても、その影響が懸念される。今回は大洞沢の源流域に湧出する水が流下する河川や湖沼の藻類の増殖に及ぼす影響について検討し、藻類の増殖量の濃度比により増殖速度の評価を行った。 N_0 ：接種時の藻類量、 N ： t 時間後の藻類量とするとその初期濃度比 (R_g) は $R_g = N/N_0$ で示される。藻類の増殖は温度、光強度 (光密度) や栄養塩類濃度の影響を受け、藻類の種類によっても相違する。今回の培養条件は温度が 18°C と 25°C 、光密度は $120 \sim 130 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ に調整した。接種藻類は現地で採取した付着・浮遊生物を用い環境試験装置内で静置 (1日1回攪拌) して行った。なお、抗生物質を添加して細菌類の増殖を制御し、試料水に培地相当濃度になるように栄養塩類 ($N \cdot P$) を添加して調整し、操作は全て無菌的に行った。流出水の付着藻類に対する増殖特性を図16、浮遊藻類に対する増殖特性を図17に示した。

図16の凡例項目はDW-NP無：蒸留水のみで $N \cdot P$ の添加は無、DW-NP添：蒸留水に規定量の $N \cdot P$ を添加、沢-NP無：流出水のみで $N \cdot P$ の添加は無、沢-N添：流出水に規定量の N を添加、沢-P添：流出水に規定量の P を添加、沢-N・P添：流出水に規定量の $N \cdot P$ の添加を表している。同様に、図17の凡例項目はDW+N・P添：蒸留水に規定量の $N \cdot P$

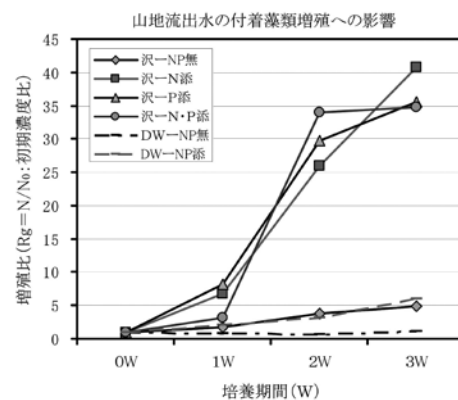


図16 付着藻類の増殖特性

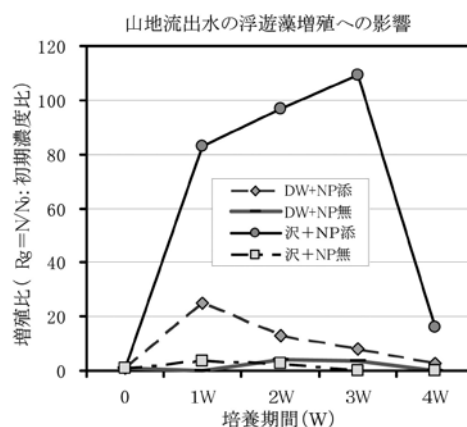


図17 浮遊藻類の増殖特性

P を添加、DW+N・P無：蒸留水のみで $N \cdot P$ の添加は無、沢+N・P添：流出水に $N \cdot P$ を添加、沢+N・P無：流出水のみで $N \cdot P$ の添加は無、培養時間 (W) は週を表している。

接種藻類として河床の付着藻類および湖沼の浮遊藻類を用いた改変 AGP 試験により、窒素とリンのど

ちらがより強い制限因子になっているかは明確でないが、流出水に窒素またはリンが添加されることにより付着・浮遊藻類の増殖が助長された。流出水および窒素・リンのみでも増殖はほとんど起きず、流出水内の成分と窒素またはリンが合わさった時のみ藻類の増殖が促進されることが明らかになった。このことにより、森林からの流出水に含まれる物質が藻類の増殖に関与（言い換えれば、窒素・リンの豊富な河川や湖沼に流出水が流入することによって富栄養化を助長）することは明らかである。その原因物質の本格的な究明は今後の課題であるが、筆者らのその後の実験から判断すると珪酸、鉄または微量の腐食性有機物質等が示唆される。

IV 考 察

対照流域内の森林と溪流の相互関係について考察する。

1 森林生態系の光環境の改善

伊藤ら（2007）⁽¹³⁾ は西丹沢の支流において溪流水表面に到達する日射の遮断率は90～98%であったことを報告しているが、大洞沢においてもほぼ同様（88～96%）の結果が得られた。その他の調査結果と多少のずれはあるが、着生基盤石上では水面の反射や吸収により、水表面に到達した光密度の約1/2（53～65%消散）が減少し、河床石面上に到達する光密度は全天日射量の4～5%であることが明らかになった。この太陽エネルギーの供給が河川生態系の生産性を規定する要因の一つになっており、他の河川に比して大洞沢の現存量が微弱である原因の一つに、この現象が係っているものと考えられる。

野崎ら（2000）⁽²⁰⁾ は糸状緑藻の *Cladophora glomerata* の光合成活性を調査し、その最大光合成速度は0.52～2.45mg C/mg Chl. a/h を報告している。このときの光密度を算出すると、9月から3月期がほぼ150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、4月から8月期が約300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ である。今回の調査と種の相違や光以外の要因の関与もあるが、大洞沢の調査で得られた秋冬期の平均90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、夏季の約40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の光密度からすると、大洞沢において溪流の付着生物の増殖に必要な最適な光環境が維持さ

れるためには現状の数倍程度の光量を増加する改善策が必要である。しかし、皆伐や間伐により溪流に供給される光エネルギーが増加すれば良いのであろうか。光エネルギーの増加とそれに伴う付着生物の生産性や現存量の増加〔秋山ら（1986）⁽²⁾、Biggs（1996）⁽⁵⁾〕と最適な森林生態系の維持とは必ずしも一致する問題ではないと思われる。樹冠による日射の遮断は溪流の水温上昇を抑制し、高温に弱い魚類の好適な生息環境を提供し低水温の維持に寄与する。間伐や皆伐は光エネルギーを増加させるが、条件によっては土砂流出や水中の浮遊砂濃度の上昇を誘発し、付着生物の剥離や衰退を助長〔秋山（1986）⁽²⁾、北村ら（2000）⁽¹⁷⁾、Yamada, H・Nakamura, F（2002）⁽³¹⁾〕し、土壌の栄養塩類の流亡を促進する可能性もある。また、河川への流出（それに伴う土砂流出も）は付着生物の適度な剥離や増殖の活性化を促進〔小部ら（2005）⁽²¹⁾、田代（2004）⁽²⁵⁾〕し、底生生物や魚類等の大型生物の餌料源を増加するので、河川生態系の生産構造の維持にも重要である。さらに、山地からの栄養塩類の流出は海洋資源の確保や海洋生態系の維持向上にも必要不可欠である。太陽エネルギーの調整は正負両面の効果をもたらすので、溪流を含む森林環境に関与する多様な因子間のバランスが取れた山地森林生態系の維持管理手法の構築が必要である。

2 溪流環境の生物学的評価

本調査で適用した指数による大洞沢と貝沢の環境評価の結果は前述（大洞沢；実施流域：1.8、対照流域：1.9、貝沢 St 1：1.7、St 2：1.9）したとおりである。

丹沢山地大洞沢の藻類群落構造からみると、この流域は水質的には良好であるが、多様性と安定性に欠けており、対照流域は実施流域よりも少し安定した状況にあるが、実施流域、対照流域ともに大きな相違はない。両流域の差は特に認められないうえ、環境変動の溪流への影響が著しく、藻類群落も多様性のない貧弱な構造であった。現在の丹沢山地大洞沢の森林生態系は外的作用としてもたらされる環境変動に対して、その影響を吸収するに十分な修復機能が保持されていないことを示している。貝沢も水質的には良好であるが、大洞沢と同様の傾向があり、

多様性と安定性に欠けており、特に、St 1 の多様性の低さが顕著である。それには針葉樹林という森林系の特性と不十分な光環境が影響しているものと思われる。今回の調査で河床石面上の付着生物膜の物質構成は図 18 に示したような結果となった。

河床付着堆積物の成分構成比は表 7 のとおりで、有機物の割合は貝沢よりも大洞沢の方が少し高い傾向が認められた。溪流の付着生物群集の構成物質の大半が無機物であることは周辺の環境からもたらされ堆積した土砂の多さを示している。このことは降雨に対する森林の土砂流出抑止力の低下、林床崩壊地の存在、藻類の増殖に必要な光エネルギーの供給不足等を示している。貝沢に比して大洞沢の河床付着生物群集は多少有機的な傾向にあるが、これは森林形態と光環境の相違によるものと考えられる。さらに、有機物および無機物ともに秋冬季に多く春夏季に減少する傾向がある。この現象は河床の安定性と降雨やそれにより森林からもたらされる流出物の影響に因ることを示している。また、堆積物が上流で多く下流で減少する傾向は採取地点間の局所的な河床勾配や流速等の水利学的な要因の相違によるものと考えられる。

大洞沢と貝沢の両溪流ともに、クロロフィル a 量は秋冬季に多く、夏季に減少する傾向が周年・経年調査ともに認められた。秋冬季におけるこの現象は樹木の落葉による光環境の改善（光密度は秋季は夏季の 2～3 倍）や降雨が少なく気候が安定し河床の攪乱が生じなかったことなどに起因している。

Biggs, B. J. F. (1996)⁽⁵⁾ は付着藻類の発達に影

表 7 河床付着生物群集の物質構成

調査地	無機物	有機物	クロロフィル a
貝沢	1,000	300	1
大洞沢	1,000	370	1

響する因子を集約し、付着藻類発達の支配要因として、成長に栄養塩、光、水温、外的作用に流速、流砂量、摂食に底生動物・魚類等の生息密度などをあげている。井上・海老瀬 (1993)⁽¹⁴⁾ の報告にもあるように、河床の付着藻類群落の生物膜は気象条件が安定する秋季から増加し始め、降雨が少なく流量が安定し水温の低下が著しくない初冬にかけて肥厚し、その量を増加させ最大となる。その後、減少し冬季の 1 月から 2 月の気候が比較的安定し渇水期に当たる時期は水温が低く増殖に適さないため、現存量は低く抑えられる。春季から夏季は温度が増殖に適しているが、降雨等による環境変動が著しく、増加・減少を繰り返すので量的に低く抑えられる。この付着生物の現存量が夏季に低くなる原因を丹保ら (1984)⁽²⁸⁾ は流量増加に伴う剥離が主な原因であると報告している。夏季のこのような条件下では、増殖し衰弱・死滅した不活性の藻体だけでなく、活性の高いものも降雨の掃流作用により剥離され流下する。降雨後、その影響が小さい場合には、残存する藻体を基に次世代の活性の高い藻類群落が短期間で形成される。影響が大きい場合には壊滅状態になることもあるが、細菌が付着し藻類の増殖が始まり、徐々に付着生物群落が回復していくのが一般的な現象である。水深が浅く、流速が遅く微細懸濁物質の堆積が起こる場所では、剥離などの影響を受けにくい付着藻類群落が発達し、安定した河床が形成されるという中井ら (2009)⁽¹⁸⁾ の報告にもあるように、有機物の比率が増加する傾向は主として付着生物の生育状況に依存する。Brookes, A. (1986) は細粒土砂が付着藻類の呼吸の妨げとなることを述べているが、これは付着藻類の光合成作用への影響を示すもので、山地溪流だけでなく土壌の微細粒子の細胞表面への吸着、遮光作用により藻類群落が不活化をきたすことは河川や湖沼などの環境でも一般的に観察される共通の現象である。

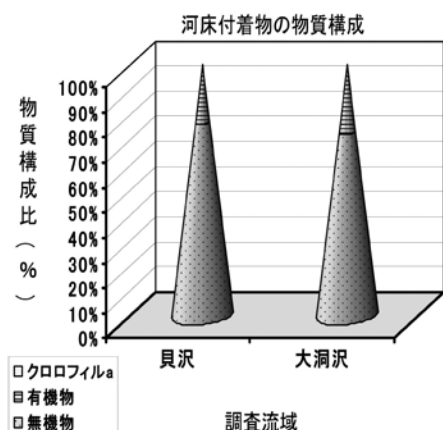


図 18 河床付着生物群集の物質構成

3 河床付着生物群集への降雨（森林の緩衝作用）の影響

森林の構造や機能によって変化する付着生物群集の実状とその変化の原因について考察する。森林生態系の溪流には降雨時の表層流として、あるいは土壌に浸透した水が湧水や地下水として、風化や腐植によって生じた各種の物質を集積・溶脱し流亡させるので、そこに生息する生物は森林系の地表部や地下部からの影響を総合的に集約した結果として現場に現れている。従って、今後さらなる情報の収集を余儀なくされるが、溪流に生息する生物の状況を調査し捉えることによって、森林生態系の今後の変移の方向性や程度の掌握が可能となるものと考えられる。

大洞沢における降雨量と河床付着藻類の現存量の関係を図 19a と図 19b に示した。

降雨が溪流生態系の河床付着生物群落に与える影響について検証した。図 19 より降雨量の増大とともに河床付着藻類の現存量が著しく減少し、両者間に負の相関が認められた。これから溪流生態系に降雨が大きな影響を与えていることが分かる。

次に、図 20 は大洞沢、貝沢の調査期間中の降雨量と石面上に残存していた藻類の現存量との関係を示したものである。

降雨量が増大するほど現存量が減少する傾向を示している。この傾向は「付着生物膜の増殖は光が河床まで届く流量の少ない時期に起るが、20 mm以上の降雨で流量が増大する時に河床付着生物膜の剥離が生じ、降雨量が多くなれば膜現存量が少なくなることを平地の調査で報告している」井上ら（1993）⁽¹⁴⁾ の見解と一致する。また、図 20 で、現存量への降雨の影響が有から無に変わる変曲域（Chl. a 量：1.5 ～ 2.0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ）に相当する降雨量（調査前 30 日間の積算降雨量）は 70 ～ 120 mm 程度と思われる。これが現在の大洞沢・貝沢の森林機能が維持され溪流生態系への影響が抑制される限界降雨量と推定される。降雨と河床付着生物との関係を論じた報告は、降雨による剥離現象を実際の河川で評価し、河床付着物の掃流の程度は生活様式、付着物量、デトリタスや有機物量の割合、細粒土砂等の無機物量などが影響し、付着生物の増殖は流量の安定する時期に認められるという Biggs, S. J. F. ら（1989）⁽⁴⁾ や

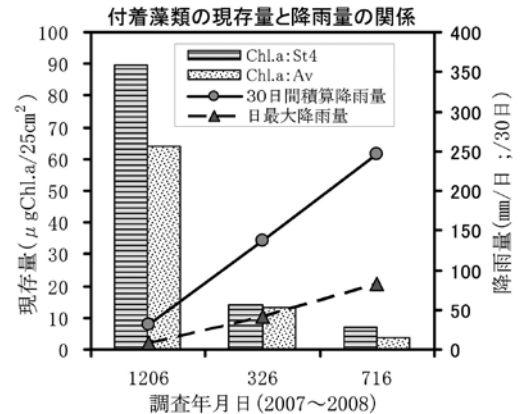


図 19 a 降雨量と河床付着藻類の現存量の関係

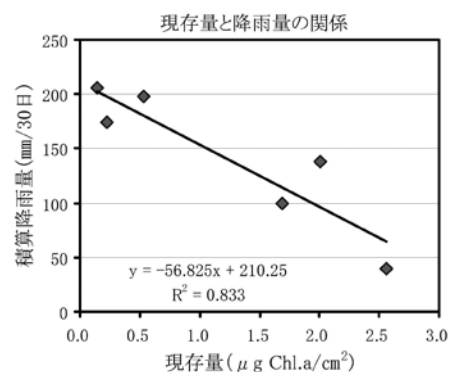


図 19 b 降雨量と河床付着藻類の現存量の関係

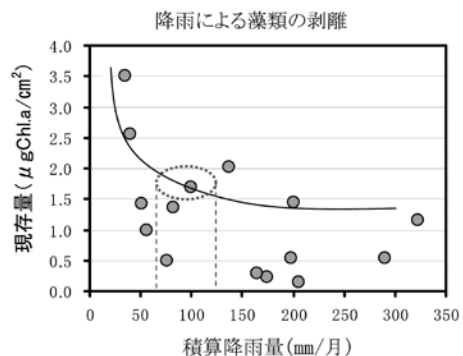


図 20 現状の森林の限界降雨量

井上・海老瀬（1993）⁽¹⁴⁾ 等と極めて少なく、山地森林生態系の溪流における付着生物と降雨との関係については、ほとんど検証されておらず未解決な問題として残っている。

次に、河川の流速と付着藻類の剥離現象について考えてみると、クロロフィル a 量から算出した付着藻類の剥離率を $\{1 - \text{残存藻類量} / \text{初期藻類量}\} \times$

100 (%) で表し、剥離と流速の関係(相模川中流域における過去の資料: 未発表) から判断すると、流速 $0.6 \sim 0.7 \text{ m/s}$ が(種類によっても異なるが)藻類の限界付着力であろうと考えている。これが源流域で適用できるかは今後の課題であるが、この値は Richard R. H. ら (1990) の流速 $0.6 \sim 0.75 \text{ m/s}$ 以上になると急激に剥離量が増加するという報告値と近似している。また、箱石ら (2001) ⁽¹⁰⁾ も藻類が付着している付近の流速が 0.7 m/s 程度以上になると藻類のクロロフィル量および細胞数が顕著に減少し、実験開始から $5 \sim 10$ 分程度で最も剥離が目立つことを、橘ら (1988) ⁽²⁷⁾ は流速が速くなると付着生物膜の無機物の割合が河川で減少することを報告している。

塚原ら (2000) はダムフラッシュ放流によるデトリタスの掃流、付着藻類の剥離効果を検証し、藻類の剥離は流速に依存し、その流下時間は大きく影響しないことを報じている。河川の流速が速くなるほど河床付着生物膜の剥離が進行し、着生基盤石上の有機物や無機物が減少すると考えられる。

次に、付着藻類の剥離に及ぼす河川流速と微細粒子の相乗効果についてみると、Horner, R. R. ら (1990) ⁽¹²⁾ も流速の急激な変化 ($0.2 \sim 0.6 \text{ m/s}$) が短時間に起こると大量の剥離が生じるが、これに微細粒子が付加されると、より剥離量が増加すると同様の傾向を報じている。付着藻類の剥離は接触粒子との摩擦に起因し、粒子数が多く、流速が速いほど進行が速くなると考えられるが、Graham, A. A. (1990) ⁽⁹⁾ は細粒土砂が付着藻類の有機物含有量の低下に影響することを、山田ら (2000) ⁽³⁰⁾ は微細粒子が河床付着生物膜上に堆積すると付着藻類を死滅させるので、デトリタス等が増加し群落構造の変化が生じることを報じている。一方、中井ら (2009) ⁽¹⁸⁾ のように、人口水路を用いた実験から、微細粒子を添加した水路では微細粒子が藻類細胞と共に堆積し、間隙の少ない密な構造が形成され、この構造が光合成による気泡の発生および水流による付着藻類の剥離を抑えた増殖へのプラス効果を報じたものもある。

森林にもたらされる降雨の程度と流出水に含まれる掃流砂礫は、より遅い流速で流れ易い $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ 程度の粒径の土砂が大きく関与する可能性がある

と考えられる。しかし、この機構に関しては、徳道 (2002) ⁽²⁹⁾、田中ら (2003) ⁽²⁶⁾、小部ら (2005) ⁽²¹⁾ のダムの人為的なフラッシュ放流効果の検証として、さらに河川水中に含まれている細粒土砂の付着生物に及ぼす影響や剥離効果に関して、いくつかの調査が行われているのみで詳細な報告はない。従って、データ数が少なく結論には至らないが、小水路で勾配を変えながら行った中井ら (2009) ⁽¹⁰⁾ の室内実験のデータに、土砂の移動・堆積理論を考慮して判断すると付着藻類の剥離率に最も影響する土砂の粒径 (50%通過質量粒径: 平均粒径) は $1 \sim 3 \text{ mm}$ 程度のものと推定される。

貝沢の実施流域 St 1 の冬季におけるクロロフィル量および有機物量に対する色素量の比率の減少 ($30 \sim 40\%$) は間伐や降雨の影響により森林からの微細な懸濁態有機物の流出や堆積が生じ、山田ら (2000) ⁽³⁰⁾ の報告に類似した群落構造の変化が生じた可能性を伺わせる。着生基盤である石表面の(無機物/有機物)比が増加するほど、クロロフィル a が減少する。言い換えれば、石面上に無機物が堆積する(周辺の森林土壌の崩壊・流出が起こる)ほど、付着藻類の増殖が抑制されることが今回の調査でも明らかになった。

さらに、河床付着生物の現存量に及ぼす大型動物の摂食・摂餌行動についてみると、付着藻類の現存量の多い場所ではなく、流速が速く無機物が少ないところには一次生産性の高い付着藻類群落が発達するので、Power, M. E. (1984) ⁽²³⁾ の報告にもあるように、藻食性生物が多く集まる。従って、付着藻類の光合成により河床付着物は平面的な構造から立体的な構造へと発達するが、底生動物や魚類による摂食が付着藻類の現存量を減少し、糸状体藻類で構成される立体的な構造への遷移を抑制する [A. J. ホーンら (1999) ⁽³⁾] こともある。

降雨と河床付着生物の剥離の関係を明らかにしておくことによって、降雨後の河床付着生物群集の状況を調査することにより、急峻な山地や流量測定施設のないところでも、森林植生や土壌機能の損傷、森林崩壊やその保持状況などの総合的な判断に繋げられる可能性がある。

4 森林流出水の水界への影響

今回の改変AGP試験の結果は温暖化とともに疲弊した森林生態系（溪流を含む）が水道の障害生物の増殖の助長源として作用する可能性を示唆している。さらに、深見ら（2007）⁽¹²⁾ は河川水への栄養塩の供給源としての森林土壌の重要性を明らかにするため、山地への降水が森林土壌を通過することでどれくらい栄養塩が付加されるのか、また、供給された栄養塩が河川水中や河口域に生息する微細藻類の動態にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにしようとして調査を実施している。その結果、降水が森林土壌を通過することで栄養塩濃度が激増すること、特にケイ素は数百倍にも増加したことから森林土壌は河川水へのケイ素のきわめて重要な供給源であると報告している。森林の落葉・落枝は土壌生物群集の作用により腐植化し植物の養分を回帰し森林の機能を支えている。森林系にもたらされる降雨は地表流となってシルト、泥、砂、礫やカルシウム Ca^{2+} 、マグネシウム Mg^{2+} 、カリウム K^+ や硝酸 NO_3^- 等の化学物質を溪流に流出し、さらに、地下に浸透した水は土壌や腐植層から各種の栄養塩を集積・溶脱しながら溪流に流亡させ溪流生態系、特に、石礫上の付着生物群集の機能や構造に大きな影響を与えている。森林土壌から溪流に溶脱・流亡する物質は鉄、アルミニウムなどの金属類、ケイ酸等の外に、藻類の増殖に不可欠な窒素、リンや微量元素を含んでおり、河川・湖沼生態系の富栄養化への影響（生物量の減少や増加）が懸念される。また、藻類の増殖に関与する鉄等の微量元素が藻体内に取り込まれるためには各種の腐植物質とキレート結合していることが必要であり、 Fe^{2+} や Al^{3+} は磷酸と凝集反応を起こし植物の生育や藻類の増殖に対する阻害、さらに、栄養塩の回帰にも深く関係している。このように森林系と溪流系は密接な関係にあり、内的外的な作用により、連続的に変化する多様な機能や構造を有する生態系を形成している。さらに、人為的排水系からのものは無論のこと、森林からもたらされる各種物質の増減が河川や湖沼生態系に影響を及ぼし、飲料水等の安定・安全性や海洋の豊かな資源の供給にも大きく関与している。

5 対照流域法による施策効果検証のための調査手法の検討

本調査および収集した知見をもとに対照流域法による施策効果の検証に利用できる因子とその方法について検討した。群集の多様性は群集を構成する構成要素の比率で規定され、環境や群集の変化の状態を表すもので、変化の程度を表すものではない。従って、森林再生に求められる森林の変移の方向性や環境作用の程度を評価するためには、ある殊の工夫が必要となる。従って、本報では環境評価指数を案出し適用した。しかし、この指数には対照流域法で実施する施策とその流域を含む環境作用の両影響が合算された形で指数化される。従って、①対照流域法の目的である施策の評価をするためには環境（作用）の影響と施策の効果を分離・識別することが必要となる。環境の影響と施策の効果を分離して捉えるための量的評価は、基本的な部分で森林や施策の影響を受けないと考えられる位置で測定が可能な因子を用いることが必要で、それには降雨量（本号の「水源地域の森林における水や土砂の流出特性」を参照）、日射量（太陽エネルギー）等が該当する。②次にその太陽エネルギーを変換し、施策の状況に直接反応する生物とその尺度が必要となる。この要件に合致するものが太陽エネルギーを吸収し成長する一次生産者である緑色植物と藻類（河床の付着藻類）である。③地上に到達し、測定される光密度は場所、時間、遮蔽物等によって大きく変動し安定しない。従って、全天日射量に対応する量として捉えるためには、一定期間（約30日単位）の全積算量としての値が必要となる。④この積算量に対応できる生物尺度は現存量ではなく、生産量でなければならない。現存量はある場所のある一定面積内に存在する有機物量であり、時間という次元や群落の遷移の履歴が加味されていない。従って、全天日射量に対応する河床付着藻類の生産量で施策効果の検証の可能性が考えられるが、それには、履歴の補正が加味されなければならない。それには、⑤降雨により付着生物群落は多大の影響を被るので、第一は降雨によって生じる河床の付着藻類群落の剥離・掃流と藻食性動物による摂食等に関係する外的因子の補正であり、第二は剥離を受けた群落の成長段階における生産性（活性度）の内的因子の補正等が考えられ

る。⑥群落構造は光量、降雨等の自然的要因と外部からの人為的要因に左右されるので、目的に応じた最適な調査地点（1固定点に限定）を選定し、最適な方法（着生基盤による方法）で実施することが必要である。⑦生産量の測定においては、自然石よりも人工付着版（素焼きタイル）が最適で、それには設置から回収までの履歴が明確で、被付着面の条件を統一でき、面積測定が容易になる等の条件を統一できる利点がある。⑧全積算日射量（光密度）に対応する生産量を算出するには長期に亘る一貫した調査が必要である。一回の生産量を測定するためには、改変AGP試験から判断して、少なくとも、約1ヶ月の期間を設定することが望ましい。⑨生産量による検証は程度（量的）の評価であり、環境として良否の方向性は環境評価指数と合わせて判断することが必要である。

V まとめ

対照流域法による水環境のモニタリング調査（事前調査）を大洞沢では平成19年から22年の4ヵ年、貝沢では平成20年から22年の3ヵ年に亘って実施し、その概要を集約した。

①林冠形成期の河床石面上の付着藻類が利用できる光量は全天日射量の4%程度で、林冠が形成されない所や時期には約30%程度の利用は可能である。この太陽エネルギーの供給の程度が溪流生態系の生産性を規定する重要な要因の一つになっている。

②生物群集の現存量は降雨が少なく、河床の安定する秋冬季に増加し最大となり、降雨の影響が大きい夏季は著しく減少した。大洞沢よりも貝沢の現存量は多く、降雨等へのより高い安定性を示している。

③大洞沢・貝沢ともに水質的には良好であるが多様性と安定性に欠けており、各沢の（対照・実施）流域間には大きな相違はないが、特に貝沢の実施流域の多様性の低さが顕著であった。

④大洞沢、貝沢ともに大きな相違はないが、貝沢のSt1の優占種は珪藻類の*Cocconeis*で、ほぼ単一種の状態であった。その多様性の低さの原因は、光制限下にあるか、森林からの物質の影響を強く受けている可能性が示唆される。また、森林の間伐・伐採により光密度が増すと藍藻類から珪藻類や緑藻類

に、低温種から高温種へ移行する可能性がある。

⑤森林の安定性は、貝沢（針葉樹林）>大洞沢対照流域（広葉樹林）>大洞沢実施流域（同）となった。

⑥渓流水に含まれる森林由来の珪酸等の微量物質と下流の河川や湖沼における窒素やリンが合わさることで、付着・浮遊藻類の増殖が助長された。このため、飲料水等の安定・安全性や海洋の豊かな資源の供給と上流の森林における物質循環や藻類の増殖との相互影響についても関連づけてとらえる必要がある。⑦河床付着生物の現存量と降雨量との間には負の相関が認められ、降雨は溪流生態系に大きな影響与えるが、その影響が抑制される現在の大洞沢・貝沢の限界降雨量（調査前30日間の積算降雨量）は70～120mm程度と推定される。

⑧藻類群落構造からみると、現在の丹沢山地の森林生態系は外的作用としてもたらされる大きな環境変動に対して、その影響を吸収するに十分な修復機能が保持されていないことが示唆される。

⑨降雨と河床付着生物の関係を明らかにしておくことによって、降雨後の河床付着生物群集の状況を調査することにより、森林の機能判断に繋げられる可能性がある。

⑩対照流域法による施策効果検証のための方法について検討した。対照流域法の目的である施策効果を評価するためには、環境（作用）の影響と施策の効果を分離・識別することが必要で、それには日射量（太陽エネルギー）に直接反応する尺度は現存量ではなく、生産量でなければならない。その算出には降雨等の外的因子や群落の活性度等の内的因子による補正が不可欠であり、結果は環境評価指数と合わせて考えることが必要である。

VI 謝 辞

本調査に対する有益なご助言とデータ解析にあたり、コンピューターソフトの開発およびデータの整理に御尽力くださった元湘南短期大学の高井耕一先生に御礼申し上げます。また、調査の実施にあたり現場の詳細な情報を提供していただいた神奈川県自然環境保全センターの方々に深謝する。さらに、調査にご協力をいただいた元横浜市水道局佐々木真一氏、神奈川県企業庁水道水質センター北村壽朗氏、

横浜市立大学学生諸氏にも感謝する。

VII 参考文献

- (1) 相崎守弘 (1980) 富栄養化河川における付着微生物群集の発達にともなう現存量および光合成量の変化. 陸水学雑誌 41 : 225-234.
- (2) 秋山 優・有賀祐勝・坂本 充・横浜康継 (1986) 藻類の生態. 627、内田老鶴圃、東京.
- (3) アレキサンダー, J. ホーン・チャールス, R. ゴールドマン (1999) 陸水学、手塚泰彦訳: 陸水学、京都大学学術出版会.
- (4) Biggs, S. J. F. and Close, M. E. (1989) Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers : the relative effects of flows and nutrients, *Freshwater Biology* 22 : 209-231.
- (5) Biggs, B. J. F. (1996) Patterns in benthic algae of streams. *Algal Ecology-Freshwater Benthic Ecosystems* (Eds. J. Stevenson, M. L. Bothwell and R. Lowe). 31-56, Academic Press, San Diego.
- (6) C. J. Lorenzen (1967) Determination of Chlorophyll and Pheo-Pigments • Spectrophotometric Equations. *Limnol. Oceanogr.* 12 : 343-346.
- (7) EPA (1971) Algal assay procedure. Bottle test.
- (8) 深見 公雄・玉置 寛・和 吾郎 (2007) 高知県仁淀川における森林土壌からの栄養塩供給および微細藻類へのその影響. 黒潮圏科学 (Kuroshio Science) 1 : 96-104.
- (9) Graham A. A. (1990) Siltation of stone-surface periphyton in rivers by clay-sized particles from low concentration in suspension. *Hydrobiologia* 199 : 107-115.
- (10) 箱石憲明外 (2001) 水流による藻類の剥離に関する実験的研究. ダム技術 173 : 32-41.
- (11) HERMAN V. D., ADRIENNE M. & JOS S. (1994) NETHERLANDS JOURNAL OF AQUATIC ECOLOGY 28(1) : 117-133.
- (12) Horner, R. R. et al. (1990) Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology* 24 : 215-232.
- (13) 伊藤かおり・石垣逸朗・井上公基・内山佳美 (2007) III 溪流保全区域の幅の違いが溪流環境に与える影響—西丹沢大又沢支流と世附川支流—. 丹沢大山総合調査学術報告書、416-424.
- (14) 井上隆信・海老瀬潜一 (1993) 河床付着生物膜現存量の周年変化と降雨に伴う剥離量の評価. 水環境学会誌 16 (7) : 507-515.
- (15) J. D. H. Strickland and T. R. Parsons (1968) A Practical Handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Board of Canada* 167 : 311.
- (16) 厚生労働省監修 (2005) 上水試験方法. 827、日本水道協会.
- (17) 北村忠紀・加藤万貴・田代喬・辻本哲郎 (2000) 砂利投入による付着藻類カワシオグサの剥離除去に関する実験的研究. 河川技術に関する論文集 6 : 125-130.
- (18) 中井大介・大塚泰介・中原鉦之・中野伸一 (2009) 人工水路において添加された微細粒子の堆積が付着藻類の群落構造に与える影響. 陸水学雑誌 69 : 209-221.
- (19) 長坂晶子・中島美由紀・柳井清治・長坂有 (2000) 河床の砂礫構成が底生動物の生息環境に及ぼす影響—森林および畑地河川の比較—. 応用生態工学 3 : 243-254.
- (20) 野崎健太郎・内田朝子 (2000) 河川における糸状緑藻の大発生. 矢作川研究 4 : 159-168.
- (21) 小部貴宣・浅見和弘・大杉奉功・浦上将人・伊藤尚敬 (2005) 三春ダムにおけるフラッシュ放流によるダム下流河川の環境改善について. 応用生態工学 8 (1) : 15-34.
- (22) Pantle, R. and Buck, H. (1955) Die biologisch Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas.-u. Wasserfach.* 96 : 604.
- (23) Power, M. E. (1984) Habitat quality and the distribution of algal-grazing catfish in a Panamanian stream. *J. Anim. Ecol.* 53 : 357-374.
- (24) Scor/Unesco (1975) Determination of Photosynthetic Pigments in Seawater. *Monogr. Oceano. Methodol.* 1 : 1-69.
- (25) 田代喬・辻本哲郎 (2004) 矢作川中流における付着藻類の増殖・剥離過程に関する群落動態モデルを用いた数理解析. 矢作川研究 8 : 65

- ～ 74.
- (26) 田中則和外 (2003) 生物の生息環境改善に資するフラッシュ放流計画手法、河川技術論文集 9 : 103-108.
- (27) 橘治国・森口朗彦・井上隆信・木村直人・大室敏 (1988) 河床生物膜の組成と水質浄化能ー都市内河川を例として、都市工学研究論文集 24 : 1-11.
- (28) 丹保憲仁・芳賀卓・庵谷晃 (1984) 冬季の藻類活動による河水 p H の変動ー大雪山麓の忠別川における高 p H の出現ー . 水道協会雑誌 602:20-28.
- (29) 徳道修二 (2002) 宮ヶ瀬ダムの中フラッシュ放流. ダム技術 191 : 62-66.
- (30) 山田裕之・中村太士 (2000) 真駒内川における微細砂堆積と付着藻類の現存量に関する研究. 日本林学会北海道支部論文集 48 : 136 - 138.
- (31) Yamada, H. and F. Nakamura (2002) Effect of fine sediment deposition and channel works on periphyton biomass in the Makomanai River, northern Japan. River Research and Applications 18 : 481-493.

源流河川の底生動物

石綿進一*・守屋博文**・倉西良一***・清水高男****・小林貞*****・
司村宜祥*****

The macroinvertebrate fauna of headwater streams in Tanzawa mountains, Kanagawa Prefecture

Shin-ichi ISHIWATA*, Hirofumi MORIYA**, Ryoichi B. KURANISHI***,
Takao SHIMIZU****, Tadashi KOBAYASHI***** and Noriyoshi SHIMURA*****

I はじめに

河川に生息する底生動物は、河川のモニタリングの対象生物として、これまで国や自治体で広く利用されてきた。生物的調査が理化学検査と対比して車の両輪と例えられているように、いくつかの特徴と利点がある。一例として、個体数、種類数がきわめて多く、マクロ的生物であることから採集しやすく、他の動物と比較して定量化が容易であること、長期的な変化が捉えやすいなどをあげることができる。このモニタリングは、水質環境の評価手法として主に発展してきたが、生物群集に対する影響は、水質のみではない。移動性が少なく、流水環境に適応してきた底生動物については、生息場所の改変などの生態的影響は、時として水質環境に対するものより著しいこともある。したがって、生息場所の劣化などの変化に伴う生物群集、とりわけ多様性に与える評価は今後さらに調査されるべきモニタリング手法と考える。例えば、森林環境を保全するための各施策は、これまで数多く実施されてきており、効果的な施策は、水量の恒久的確保、多様な河川環境の創造といったことが期待できるであろう。その結果として、水界に生息する多くの生物種に対して、それ

ぞれの生活史に係わる生息場所が提供され、多様な生物の存在が想定される。従って、これらのことを利用し、環境や生物の経年的変化を調査することによって、森林環境の長期的モニタリングを実施することが可能であると考ええる。これらは、近年、ダムなど人工構造物の建設、あるいは森林の伐採など環境のモニタリングとして有用視されつつあるが、森林環境、とりわけ、源流環境の水源モニタリングとして、溪流生物を対象とした調査は稀で、情報量が極めて少ないのが現状である。ここでは、今後、実施される各施策を検証するための具体的な手法を検討するためのモニタリングの基礎資料として、相模川水系の大洞沢（上流沢及び下流沢）及び貝沢、酒匂川水系ヌタノ沢の底生動物の調査を実施し、源流域の生物相の特徴を明らかにすることを目的とした。なお、この本報は中間報告とし、調査対象水域4河川の基礎調査が終了した段階で結果を報告する予定である。

II 方 法

1 調査項目

相模川水系の大洞沢（上流沢及び下流沢）及び貝

* 神奈川工科大学 (〒 243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)
** 相模原市立博物館 (〒 252-0221 神奈川県相模原市中央区高根 3-1-15)
*** 千葉県中央博物館 (〒 260-8682 千葉県千葉市中央区青葉町 955-2)
**** 淡水ベントス研究所 (〒 385-0034 長野県佐久市平賀 2666-24)
***** (〒 214-0034 神奈川県川崎市多摩区三田 3-2-4-303)
***** (〒 226-0027 神奈川県横浜市緑区長津田 2-38-14 第3 サンハイム 106)

沢、酒匂川水系のヌタノ沢（A 沢及びB 沢）の底生動物を対象とした。昆虫の成虫調査はヌタノ沢でのみ実施した。

2 調査時期

大洞沢は2007年12月6～7日、2008年4月5～6日、2008年7月20日に実施した。貝沢は2008年8月19日、2009年3月12日に実施した。なお、追加調査を2010年2月22～23日に実施した。ヌタノ沢は2011年1月から2012年3月にかけて毎月1回の調査を実施した。

3 調査地点及び調査方法

調査地点及び経緯度をそれぞれ図1、表1に示した。大洞沢では上・下流域の瀬及び淵で3検体ずつ、計12検体の定量採集（25cm コドラート、目合0.5mm）とハビタートを視野にいた定性採集を実施した。貝沢は流域の5地点の瀬及び淵で1検体ずつ、計10検体の定量採集（コドラート、目合は同上）

と定性採集を実施した。なお、追加調査については、支流の合流点（No.1とNo.2）及びNo.4のそれぞれの直下に調査地点を設置しNo.1+2及びNo.4'とした（図1）。ヌタノ沢では定性調査（7地点）を基本とした。ヌタノ沢における成虫調査は3地点（A 沢：St.2、B 沢：St.5、St.6）で実施した（表1、図1）。

大洞沢、貝沢の定性採集は、原則として「平成18年度版 河川水辺の国勢調査マニュアル〔河川版〕（底生動物調査編）（国土交通省水管理・国土保全局河川環境課（2006）に従った。採集は、ハンドネットを用いて行い、状況に応じて現場、あるいは

表1 調査地点の緯経度及び標高

沢名	大洞沢		貝沢				
	上流沢	下流沢	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
地点名							
緯度	35.46931	35.47046	35.63035	35.62983	35.63002	35.62842	35.62485
経度	139.2095	139.2111	139.1833	139.1837	139.182	139.1816	139.1808
標高	480m	480m	368m	359m	344m	322m	251m

沢名	ヌタノ沢A沢			ヌタノ沢B沢			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
地点名							
緯度	35.46708	35.46699	35.46685	35.46759	35.46759	35.46722	35.46705
経度	139.0609	139.0611	139.0628	139.0619	139.0619	139.0628	139.0628
標高	616m	607m	561m	615m	597m	578m	578m

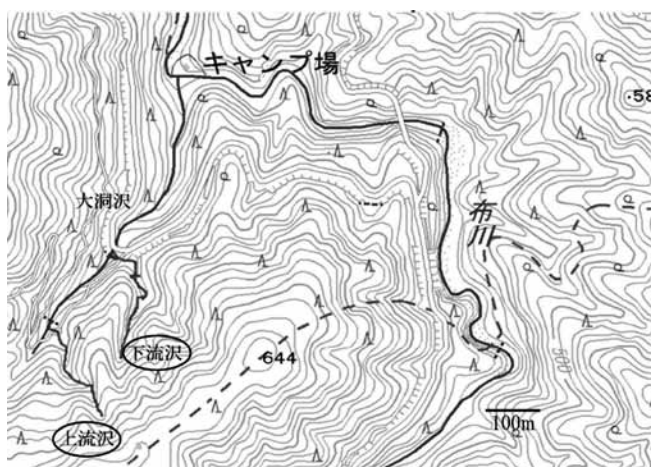
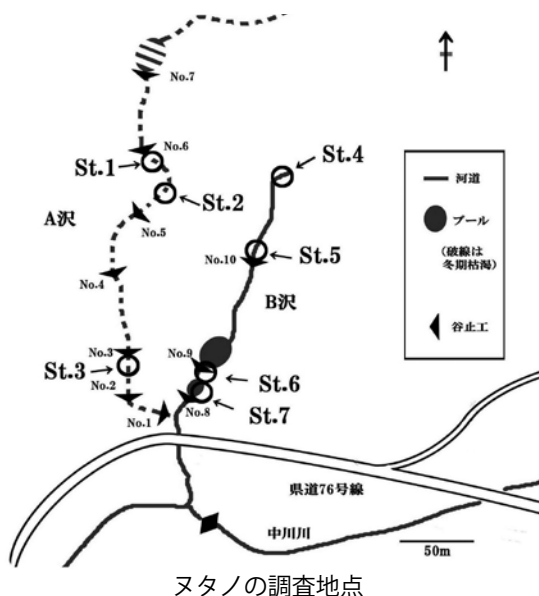
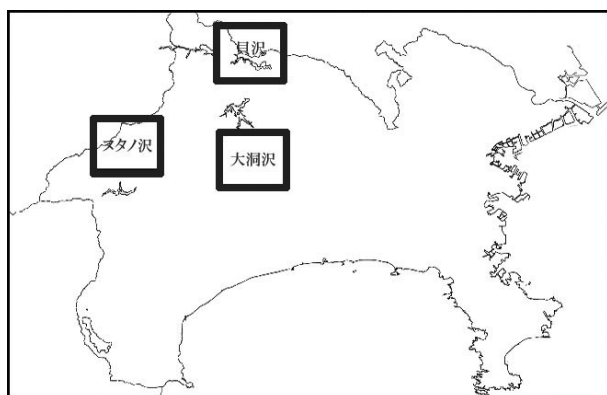


図1 調査地点図

は室内でソーティングを行った。なお、水系規模が小さなヌタノ沢における調査では、各地点あたり約 30 分間採集し、定性調査とした。これは、採集圧によるデータに対する影響が懸念されたためである。

成虫調査では、灯火による調査に基づいた。灯火採集では、日没から翌日の日の出まで灯火に集まる昆虫の成虫を採集した。灯火による採集方法は携帯 LED ライトトラップ (LED 捕虫灯 CR-1007 有・コスモ理研) (図 2) を使用した。方法は、白色のバツ



図 2 灯火採集風景

ト (20cm × 30cm) に界面活性剤 (洗剤 10ml) を均一に溶かした溶液を 1cm の深さまで入れ、容器の中央に灯火採集機を置き、点灯後、一晩放置し、溶液中に落下した昆虫類を採集し試料とした。採集した水生動物は、70 パーセントのエタノールで固定した後、室内で同定を行った。

分類・同定については、実施可能な限り最新の情報をもとに下位分類単位にまで精査した。その他、化性など生活史他の情報については、日本産水生昆虫 (川合・谷田編, 2005)、日本産幼虫図鑑 (石綿他監修, 2005) によった。種の配列は「河川水辺の国勢調査のための生物リスト平成 22 年度版」(国土交通省, 2010) に従い、ダニ目は「日本産ミズダニ類目録」(安倍, 2006) に、ゲンゴロウ科は「改訂版図説日本のゲンゴロウ」(森・北山, 2002) に従った。希少種などの選定は、「環境省報道発表資料 汽水・淡水魚類、昆虫類、貝類、植物 I 及び植物 II のレッドリストの見直しについて」(環境省, 2007 以下環境省 RDB と略)、「神奈川県レッドデータ生物調査報告書 (神奈川県, 2006) に従った。

III 結果及び考察

大洞沢、貝沢及びヌタノ沢の各地点で採集された底生動物を付表 1 に示した。付表 1 よりそれぞれの沢の底生動物の出現生物リストを示した (付表 2)。また、灯火で採集された水生昆虫類の成虫等を付表 3 に示した。以下に、底生動物相の特徴及び注目種についてまとめた。

1 底生動物相の特徴

①種類組成からみた底生動物相の特徴

大洞沢、貝沢及びヌタノ沢で採集された底生動物は、大洞沢 152taxa、貝沢 153taxa、ヌタノ沢 162taxa、全体で 277taxa (同定したすべての分類群を合計した数値。以下種とする) であった (付表 2)。この内訳は、ミミズ綱 6 種、軟甲綱 2 種、昆虫綱 261 種 (カゲロウ目 26 種、トンボ目 16 種、カワゲラ目 26 種、カメムシ目 5 種、ヘビトンボ目 3 種、アミメカゲロウ目 2 種、トビケラ目 61 種、ハエ目 99 種、コウチュウ目 23 種) あり、底生動物のうち昆虫綱が全体の 90% 以上を占めた。

表 2 ヌタノ沢、貝沢、大洞沢の主な出現種、共通種等

大洞沢 152 種	貝沢 153 種	ヌタノ沢 162 種	全体 277 種
大洞沢のみ出現種 35 種 (13.4%)	貝沢のみ出現種 33 種 (12.6%)	ヌタノ沢のみ出現種 77 種 (29.5%)	共通種 58 種 (22.2%)
フタバコカゲロウ、オオクマダラカゲロウ、ウエノカワゲラ、アミメシマトビケラ属、ゼイナガレトビケラ、クロツツトビケラ、サワダマゲンゴロウなど	オビカゲロウ、ミヤマカワトンボ、アサヒナカワトンボ、オジロサナエ、トウゴウカワゲラ属、クレメンスナガレトビケラ、ヨツメトビケラ、ツヤヒメドロムシなど	マルタンヤンマ、タカネトンボ、クロオナシカワゲラ、オオアメンボ、ウルマーシマトビケラ、ヒロアタマナガレトビケラ、カタツムリトビケラ属、ミズスマシなど	ヨシノコカゲロウ、シロハラコカゲロウ、ミルンヤンマ、ヒメクロサナエ、キブネミヤマシマトビケラ、セリーシマトビケラ、ウスバガガンボ属など

相模川水系及び酒匂川水系の 2 河川のそれぞれの種類数を整理するために、3 沢より下流域の水系全域で実施された水源環境保全・再生実行 5 カ年計画のモニタリング結果 (鳥居他, 2011, 2012) を水系別に整合させると、相模川水系 511 種、酒匂川水系 509 種であることがわかった。国内におけるこれまで一級河川のモニタリング結果では、多摩川が最高で 403 種記録されている (国土交通省, 2012)。また、相模川では、過去の記録を整理し 503 種とされている (石綿, 2010)。本調査結果は、国や自治

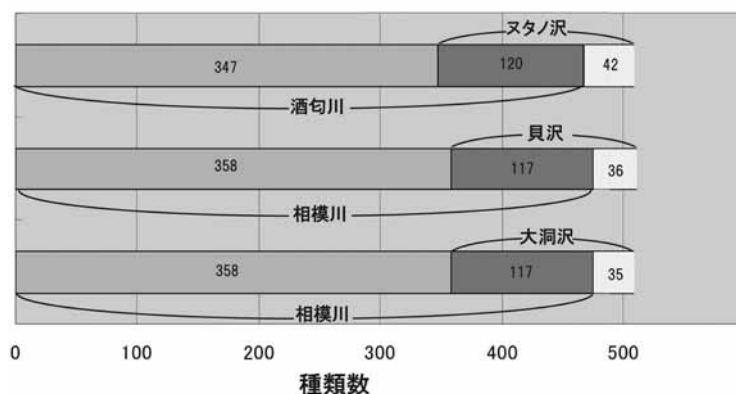


図3 各沢と本川の底生動物

相模川、酒匂川の底生動物の種類数は、鳥居他(2011, 2012)を引用し、その結果と本調査データの種類の組成を整合させ種類数を求めた(数字は、左から本川のみで確認された種類数、本川及び各沢で共通に確認された種類数、各沢のみで確認された種類数)

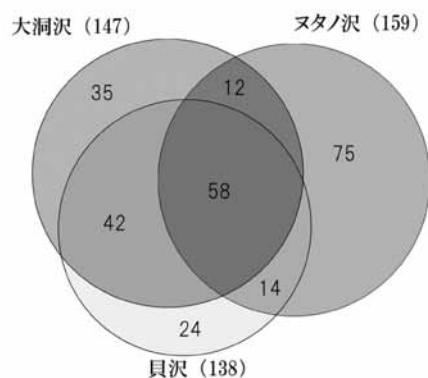


図4 3沢の底生動物(昆虫類)の共通及び固有な種の種類数(括弧内の数字:総種類数)

体レベルで実施されているモニタリング結果のなかでは、最も高い数値であるといえる。また、各々の沢に存在する昆虫類のうち、本川との関連で共通種がどのくらい占めるかを調べると、大洞沢147種のうち、112種、約76.2%が相模川水系と共通であることがわかった(以下112/147、約76.2%と記す)。貝沢では、105/138、約76.1%、ヌタノ沢では117/159、約73.6%で、それぞれ相模川水系及び酒匂川水系と共通であることが判明した(図3)。なお、底生動物では、大洞沢117/152、約77%；貝沢117/153、約76.5%；ヌタノ沢120/162、約74%がそれぞれの水系と共通であった。いずれの沢も、本川と異なる種が20%以上存在し、源流域の生物相が特徴づけられることがわかった。次に、各沢の生物相を比較する(表2、図4)。大洞沢、貝沢及びヌタノ沢で確認された種のうち、共通種は58種22.2%であった。これらの種はヨシノコカゲ

ロウ、シロハラコカゲロウ、ミルンヤンマ、ヒメクロサナエ、キブネミヤマシマトビケラ、セリーシマトビケラ、ウスバガガンボ属など山地の小溪流に普通に生息している種であった。大洞沢のみの確認種は35種13.4%、貝沢のみの確認種は33種12.6%、ヌタノ沢のみの確認種は77種29.5%であった。大洞沢のみの出現種はオオクママダラカゲロウ、ウエノカワゲラ、アルプスコモドアミカ、サワダマメゲンゴロウなどやや規模の大きい溪流や山地の細流に生息する種であった。貝沢のみの出現種はアサヒナカワトンボ、トウゴウカワゲラ属、オジロサナエ、ヨツメトビケラ、カワニナなどで丘陵地の細流や低山地の小溪流に主に生息する種であった。ヌタノ沢のみの出現種はマルタンヤンマ、タカネトンボ、オオアメンボ、ミズスマシ、クロオナシカワゲラ、カタツムリトビケラ属、ウルマーシマトビケラ、ヒロアタマナガレトビケラなどで、止水やしたたり(飛沫帯、湿潤区、岩清水)に生息する種のほか、規模の大きい河川に普通の種も含まれていた。これらの違いは各地域の標高の違い(大洞沢470~480m、貝沢251~368m、ヌタノ沢561~616m)や異なるハビタートに対応したものと考えられる。

②生活史(化性・生息場所)

水生動物の多くを占める水生昆虫類の化性は、1化性や年2~3化性の種が多いと考えられているが、4~5回の多化性種もある。ユスリカのように小型のグループでは、カワゲラ類、カゲロウ類、トビケラ類と比べてライフサイクルが短い種が多いと考えられる。一方、大型のグループでは数年を要す

表3 沢（ヌタノ沢、大洞沢、貝沢）別水生昆虫（トンボ目、カワゲラ目、ヘビトンボ目）のリスト及び化性（1化2, 年以上のみ●印）

目名	科名	種和名	学名	1化2年 以上	大洞沢		貝沢	ヌタノ沢		
					上流沢	下流沢		A沢	B沢	
トンボ目	カワトンボ科	ミヤマカワトンボ	<i>Calopteryx cornelia</i>				2			
		アサヒナカワトンボ	<i>Mnais pruinosa</i>				24			
		カワトンボ属	<i>Mnais</i> sp.						2	
	ムカシトンボ科	ムカシトンボ	<i>Epiophlebia superstes</i>	●	2		38			
	ヤンマ科	マルタンヤンマ	<i>Anaciaeschna martini</i>						1	
		ミルンヤンマ	<i>Planaeschna milnei</i>	●	19	9	78		27	
		ヤブヤンマ	<i>Polycanthagyna melanictera</i>					3		
		ヤンマ科	Aeschnidae						1	
	サナエトンボ科	クロサナエ	<i>Davidius fujama</i>	●	1		31			
		ヒメクロサナエ	<i>Lanthus fujicus</i>	●	3		93		14	
		オジロサナエ	<i>Stylogomphus suzukii</i>	●			14			
		サナエトンボ科	Gomphidae	●			1		1	
オニヤンマ科	オニヤンマ	<i>Anotogaster sieboldii</i>	●			21	1	39		
エゾトンボ科	タカネトンボ	<i>Somatochlora uchidai</i>	●				6	28		
カワゲラ目	クロカワゲラ科	クロカワゲラ科	Capniidae		31	288	92	1	5	
	ホソカワゲラ科	ホソカワゲラ科	Leuctridae		1	6	75	5	8	
	オナシカワゲラ科	フサオナシカワゲラ属	<i>Amphinemura</i> sp.		228	166	26	3	11	
		クロオナシカワゲラ	<i>Indonemoura nohirae</i>					45	73	
		オナシカワゲラ属	<i>Nemoura</i> sp.		76	474	141	185	187	
		ユビオナシカワゲラ属	<i>Protonemura</i> sp.		5	8	9			
	ヒロムネカワゲラ科	ノギカワゲラ	<i>Cryptoperla japonica</i>		9		2			
	シタカワゲラ科	シタカワゲラ科	Taeniopterygidae		1					
	ミドリカワゲラ科	セスジミドリカワゲラ属	<i>Sweltsa</i> sp.					2	3	
		ミドリカワゲラ科	Chloroperlidae		65	5	57	7	16	
	カワゲラ科	エダオカワゲラ	<i>Caroperla pacifica</i>		2	3	8			
		コナガカワゲラ属	<i>Gibosia</i> sp.			2				
		クロヒゲカワゲラ	<i>Kamimuria quadrata</i>	●	8	1			35	
		ウエノカワゲラ	<i>Kamimuria uenoi</i>		1					
		カミムラカワゲラ属	<i>Kamimuria</i> sp.						1	
		ナガカワゲラ	<i>Kiotina pictetii</i>	●	2	2	1			
		フタツメカワゲラ属	<i>Neoperla</i> sp.		32	2	161	4	13	
		ヤマトカワゲラ	<i>Niponiella linbatella</i>	●	41	7	13			
		オオヤマカワゲラ	<i>Oyamia lugubris</i>	●			3			
		トウゴウカワゲラ属	<i>Togoperla</i> sp.	●			18			
	アミメカワゲラ科	カワゲラ科	Perlidae		68	9	4			
		セスジクサカワゲラ	<i>Isoperla towadensis</i>		2	2	4			
		クサカワゲラ属	<i>Isoperla</i> sp.					5	2	
		コグサヒメカワゲラ属	<i>Ostrovus</i> sp.		2					
		ヒロバネアミメカワゲラ	<i>Pseudomegarcys japonica</i>		111	112		11	6	
	ヘビトンボ目	ヘビトンボ科	アミメカワゲラ科	Perlodidae		8				
			タイリククロスジヘビトンボ	<i>Parachauliodes continentalis</i>	●					1
ヤマトクロスジヘビトンボ			<i>Parachauliodes japonicus</i>	●	6	6	4	3	3	
ヘビトンボ			<i>Protohermes grandis</i>	●			1		1	
総個体数					724	1102	921	281	478	
種類数					24	17	26	14	23	
1化2年以上の種類数					8	5	13	3	9	

る。ここで、幼虫で越冬し、生育に2年以上を要し、幼虫の成長には餌としての多くの生きた動物を必要とする大型のトンボ目、大型のカワゲラ目及びヘビトンボ目に注目してみたい。

各沢で採集された前記3目のリストを示した(表3)。表のうち、生育に2年以上を必要とする水生昆虫類(以下、1化2年以上と略)は、貝沢(13種)が最も種類数が多く、次いでヌタノ沢B沢(8種)、大洞沢上流沢(8種)、大洞沢下流沢(5種)と続き、ヌタノ沢A沢(3種)が最も少なかった(図5)。

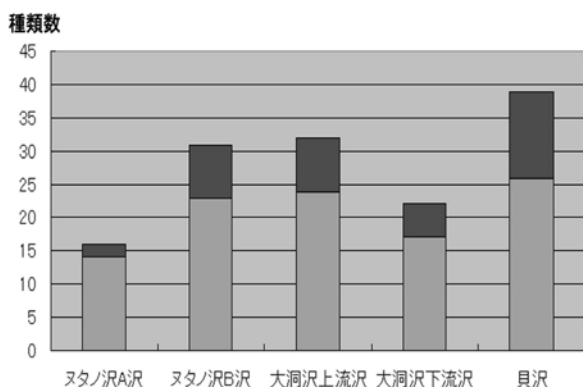


図5 沢(ヌタノ沢、大洞沢、貝沢)別水生昆虫類(トンボ目、カワゲラ目、ヘビトンボ目)の種類数(濃色部+淡色部)及び化性において、1化2年以上の習性をもつ昆虫類の種類数(濃色部)

ヌタノ沢の例では、オニヤンマやヘビトンボ類は、B沢では普通に確認されているが、A沢では少なく、例え採集されていても小型の幼虫のみで、十分に生育した終齢幼虫の採集例はなかった。このことは、長い幼虫期を水環境に依存するこれらのグループにとって、冬期に表流水、プールなどが枯渇する一時的な水域は、リスクの伴う生息環境となっているものと考えられる。この傾向は、流水性のトンボ目に影響しているようで、カワトンボ科、ムカシトンボ科、サナエトンボ科の幼虫は、A沢及び大洞沢下流沢において、確認されないかあるいは極めて少なかった。

カワゲラ目のうち、大型で動物食であるカワゲラ科のクロヒゲカワゲラとアミメカワゲラ科のヒロバネアミメカワゲラの2種については、ヌタノ沢A沢において生息していないか、あるいは生息密度が低いことがうかがえた。クロヒゲカワゲラは、山地の枝沢などに多く生息する種であって、成虫は夏から

秋にかけて羽化し、幼虫はほぼ通年を表層水で見いだすことができる。また、ヒロバネアミメカワゲラは早春に成虫が羽化するが、幼虫が表層水を利用し始めるのは晩夏から秋口であり、冬季に成長することが知られている。ともに、冬季を成長期とし、大型であるということから、成長においてより安定したハビタットを必要としている可能性があり、流水環境の少ない水域では幼虫期を過ごすのに困難を伴うのであろう。

コウチュウ目においても、ヌタノ沢A沢から採集された種類数は少なかった。水生のコウチュウ目のほとんどが幼生期を水中で生活するグループであるため、冬季に枯渇する傾向のあるヌタノ沢A沢では生息が難しく、採集個対数が少ない結果が得られたものと考えられる。唯一A沢で確認されたコクロマメゲンゴロウは、沢自体が枯渇しても水分を含んだ落ち葉の下や小さな水たまりでも生活できる種で、幼虫と成虫ともに細流の淀みや登山道側縁沿いにできた、水のしみ出しているような場所から見出すことができる。冬季に枯渇傾向のあるA沢においても、部分的に湿潤な場所が存在することが、この種の生息を可能にしていると思われる。マルガムシは幼虫、成虫ともに水生で、もっぱら歩き回り遊泳しない流水性の水生コウチュウである。流水の石の間や落ち葉の溜まった中などから見出される。幼虫及び成虫の生態から、冬季に枯渇する沢での生息は難しい。マルハナノミの仲間は幼虫が水生で、成虫は陸生となる。流れの淀みに溜まった落ち葉の中や、岩盤のしたたりなど、種類により多くの水域から確認することができる。A沢からはまったく確認できず、反対にB沢では個体数も多く優占していることは、このことを物語っている。ハバビロドロムシは神奈川県内でもあまり確認されていない種で、成虫は半水生で水のない場所でも生息可能であるが、幼虫は完全な水生で、水域が枯渇しさらに溶存酸素量の少ない場所では生息は不可能であると思われる。

水生昆虫類の生活史は複雑で多義にわたっているが、一生のうち、一部あるいはほとんどを水生の生活をおくる。従って、第一義的には、水界の存在はそれぞれの生活史を円滑におくる上で重要である。しかし、表流水が一時的に枯渇あるいは伏流するような源頭部(一次谷)の環境や垂直岩盤などのした

たりを積極的に利用する水生昆虫が存在する(三枝・倉西, 2005)。例えば、前者はガガンボカゲロウ、後者はカワゲラ目オナシカワゲラ類、トビケラ目ナガレトビケラ類はこのような水域の代表種である。断続的な流水域やしたたりには魚類など大型の捕食者の存在が少なく、安全な水域として積極的に利用されていると考えられる。これらのうち、ガガンボカゲロウやオナシカワゲラ類は、有翅の昆虫で、成虫期に飛翔し移動できるにもかかわらず他地域との交流がなく遺伝的にもかなり孤立した分類群といえる(石綿他, 1997; 東城・石綿, 2007)。一方、同じカゲロウ類においても、広域的に分布するナミヒラタカゲロウは、隣り合う沢間での遺伝子の交流があるといった報告もある(Takemon, *et al.*, 1998)。トビケラ類についても、移動分散する報告も多く、例えば、成虫採集におけるヌタノ沢 A 沢ではウルマーシマトビケラのような広域分散種のみが、B 沢では移動性の低い種が多く採集された。また、オニヤンマやタカネトンボのように B 沢に普通にみられる種の産卵行動が A 沢でしばしば確認されていることや、上流の一時的なプールにムラサキトビケラの筒巣が確認されていることなど、沢間の交流はかなり普通なことと考えられる。

以上のことから、大型のトンボ目、大型のカワゲラ目、ヘビトンボ目及びコウチュウ目は、源流モニタリングにおける表流水の有無など水環境の指標生物として有用であろう。一方、これら以外の水生動物であっても、源頭部の飛沫帯や止水域など特異な環境に生息場所をもつ水生動物は、調査対象水域の生息場所をモニタリングする際の指標生物として利用できるであろう。

2 注目種

新たな水域の調査では、ファウナ上の新知見とともに、国内初記録及び未記載種などの新知見が期待される。本項では、特に注目すべき種として、日本未記録種および神奈川県 RDB 種(神奈川県, 2006)として指定された昆虫類を中心にまとめた。なお、環境省のレッドリスト(環境省, 2007)に指定された昆虫は確認されなかった。

一般に、昆虫分類は、成虫の交尾器によることが多く、幼虫のような未成熟段階の形質を用いること

は、精度上の問題が多い。分類上、未整理分野の多い水生昆虫類においてもその例外ではなく、幼虫と成虫の関連や各形質の比較研究が必要とされるため、成虫調査の実施は重要である。ヌタノ沢の底生動物調査と平行して実施した灯火採集によって確認された水生昆虫の成虫(カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目)のなかで(付表 3)、日本未記録種のうち未記載種と考えられるものは、カゲロウ目 2 種、カワゲラ目 5 種、トビケラ目 2 種であった。このうち、カゲロウ目の 2 種は本報告とは別に石綿他(2013)によって報告された。一方、灯火採集と飼育調査をとおして確認されたハエ目ユスリカ科については、2 種が未記載種と考えられ、そのうち 1 種が Kobayashi (2012) によって新種として報告された。また、ヌタノ沢のユスリカ科については、本報告とは別に小林(2013)によって、106 種が記録され日本初記録種あるいは希少な種として 15 種が明らかにされた。この他の知見については、他の分類群を含め、現在、精査、検討中である。

神奈川県の RDB 種として指定された種は、ガガンボカゲロウ、ニホンカワトンボ、ミルンヤンマ、タカネトンボ、オオアメンボ、ハバビロドロムシ、ミズスマシ、クロズマメゲンゴロウの 8 種であり、それぞれの種について以下に概説した。

ガガンボカゲロウ *Dipteromimus tipuliformis* McLachlan (図 6)



図 6 ガガンボカゲロウ
Dipteromimus tipuliformis McLachlan、成虫

ガガンボカゲロウは、日本特産で奄美大島から本州にかけて分布する。成虫の体長は、最長 20mm ほどで、カゲロウでは大型である(石綿・竹門,

2005)。他府県の分布の例では、低山地の源流域で普通であるが、丹沢では、源頭部付近の小さな流れやプールに確認されることが多く、幼虫は人目に付きにくい種である。いずれの場所も、魚類など大型の捕食者の影響が少ない溪流の上部に生息場所をもっていることが多い。分布の東限は神奈川県とされていて、そのことと地域性が高いことから(後述)、神奈川県版 RDB 種の注目種とされている。成虫は、水域にごく近い岸よりの 30cm から 2m ほどの低い草木の葉表で確認されることが多い。

今回の調査で、幼虫が、貝沢及び大洞沢から採集された。これまでの東限の記録が早川水系の大平とされているので(東城・石綿, 2007)、大洞沢で採集されたことは、分布がさらに東の水域で確認されたことになる。なお、最近、津久井湖に注ぐ小河川(三井名手)でも確認されているので(守屋・窪田, 2012)、今後、県東部の低山地でも採集される可能性がある。

東城・石綿(2007)は、本種の地域個体群内での遺伝的多様性の低さや、個体群間でのハプロタイプの孤立化を指摘し、この背景として、ガガンボカゲロウの生息環境そのものが局所的な分布となる河川源流域であることに加え、極めて低い移動・分散力が、各地域個体群間の遺伝的な交流を妨げ、遺伝的にも孤立した個体群が維持されてきたものとしている。一般に、希少な種の保全の方策として、種レベルで検討されることが多いが、多様性の保全には、地域個体群レベルでの保全が必要であろう(東城・石綿, 2007)。水生昆虫類には、本種のほかに、カワゲラ、トビケラなどに見られるように、源流域に生息場所をもつものも少なくない。したがって、源流域の保全には、河川はもとより森林管理も含めた多方面での施策が重要と考えられる。

ニホンカワトンボ *Mnais costalis* Selys (図7)

ニホンカワトンボは、日本では北海道から本州にかけて分布し、国外ではロシア(千島列島)に分布する。成虫の全長は、雄で 50 ~ 68mm、雌で 47 ~ 61mm。幼虫期間は 1 ~ 2 年程度で、平地から丘陵地の近くに樹林のある抽水植物や沈水植物の繁茂する清流に生息する(尾園他, 2012)。また、杉村他(2008)は、本種が近縁のアサヒナカワトンボと比べ比較的

水量が多く開放的な流れを好むとしている。神奈川県内では、多摩丘陵、相模原台地を南下し、相模川以西では大磯丘陵沿いに酒匂平野まで分布しているが、県東部では都市開発のためかつての産地の多くで絶滅し、市民の森などの保全緑地の源流部に残存している状況であることから、神奈川県版 RDB の準絶滅危惧種とされている(荏部他, 2006)。

今回の調査で、尾鰭の形状から本種と同定される幼虫がヌタノ沢の B 沢の緩やかな流れで採集された。荏部他(2010)は、酒匂川の中・下流部ではニホンカワトンボ及び伊豆個体群が分布するとし、酒匂川の上流部から近縁種の記録がないとした。その後、神奈川県のモニタリング調査によって、世附川(一の沢・一の沢橋)で同属の種が確認されたが(鳥居他, 2012)、標本が不完全であるため種の同定は困難である(齋藤, 私信)。



図7 ニホンカワトンボ *Mnais costalis* Selys、成虫

ミルンヤンマ *Planaeschna milnei* (Selys) (図8, 9)

ミルンヤンマは、日本特産種で北海道南部から九州にかけて分布し、佐渡島など複数の離島にも産する。成虫の全長は、雄で 61 ~ 78mm、雌で 61 ~ 80mm。幼虫期間は半年 ~ 3 年程度だが卵期間が 5 ~ 8 ヶ月と長い。丘陵地から山地の森林に囲まれた溪流に生息する(尾園他, 2012; 杉村他, 2008)。神奈川県内のほぼ全域に生息するが、都市部では開発により危機的な状況にあるほか、地下水の枯渇のためか水源が途絶える地点が増え、今後の減少が危惧されるため神奈川県版 RDB の要注意種とされている(荏部他, 2006)。

大洞沢、貝沢及びヌタノ沢で幼虫が採集された。ヌタノ沢の A 沢は冬季に大部分が伏流水となるた

め、卵～幼虫期の長い本種の幼虫は成長出来ないと考えられる。



図8 ミルンヤンマ *Planaeschna milnei* (Selys)、成虫



図9 ミルンヤンマ *P. milnei*、幼虫

タカネトンボ *Somatochlora uchidai* Förster (図 10)



図10 タカネトンボ *Somatochlora uchidai* Förster、成虫

タカネトンボは、日本では北海道から屋久島にかけて分布し、国外では中国、ロシア（千島列島）に分布する。成虫の全長は、雄雌ともに 53～65mm。幼虫期間は2～3年程度で、おもに丘陵地や山地の樹林に囲まれた薄暗い池沼に生息する（尾園他, 2012. 杉村他, 2008）。神奈川県ほぼ全域に生息するが、近年、湘南および県東部における減少が顕著であり、生息環境が人工的な改変により消滅する例が多いため、神奈川県版 RDB の要注意種とされて

いる（荏部他, 2006）。

今回の調査で、ヌタノ沢の A 沢および B 沢の止水環境で幼虫が採集され、同水域でパトロールする成虫も観察された。

オオアメンボ *Aquarius elongatus* (Uhler) (図 11)



図11 オオアメンボ *Aquarius elongatus* (Uhler)、成虫

オオアメンボは、日本では本州から九州にかけて分布し、国外では韓国、中国、台湾に分布する。成虫の体長は 19～27mm で日本最大種。池沼などの止水水域、緩流に生息し、日陰となる水面を好む（林・宮本, 2005）。県内では広く記録されているが、近年、生息地の改修工事や水質汚染により相模川以東での減少が激しく、分布域の縮小が顕著なため神奈川県版 RDB の準絶滅危惧種とされている（荏部, 2006）。

今回の調査で、ヌタノ沢の A 沢及び B 沢の止水環境で成虫が多数観察された。同属の幼虫も観察されていることから、調査地点で繁殖している可能性は高い。

ハバビロドロムシ *Dryopomorphus extraneus* Hinton (図 12)



図12 ハバビロドロムシ *Dryopomorphus extraneus* Hinton、成虫

ハバビロドロムシは、本州から九州にかけて分布する。ヒメドロムシ科の中では体長約4mmと大型で、同属のヒメハバビロドロムシは少し小型となる。ほとんどが河川源流部から発見されており、神奈川県内からは過去に2例の記録があるのみである。座間市では湧水流から（西川・丸山，1993）、相模原市緑区鳥屋の早戸川上流部に流れ込む細流でこの記録であるが（守屋，1994）、神ノ川支流の矢駄沢に流れ込む細流の湧き出し口からも発見されている（守屋，未発表）。本科の幼虫、成虫はほとんどが水生であるが、一部の属では半水生と思われるグループもあり、本種の含まれる属でもこのことがいえる。本属の成虫は、水の中から採集するというよりは、水際にたまった落ち葉や木の枝、コケ類などからよく採集されることからこのことが伺える。

本種は一ヶ所で数多く確認されることはなく、また近隣に同条件の場所があっても確認することが難しく、広い範囲で分布が確認できない。情報が少ないものの、生息環境の悪化や変化などにより簡単に絶滅してしまう可能性の高い水生コウチュウと思われる。ヌタノ沢では幼虫も確認されており、現在神奈川県内で記録されている地点の中では最も標高が高く、本来の生息場所として位置づけることができるかもしれない。丹沢山地河川源流域の環境が、森林整備などにより安定した状態で保全されていくことが、本種の生息の存続に欠かすことのできない条件と思われる。

動が特徴的である。幼虫・成虫ともに肉食で、成虫は活動しながら水面に落ちた昆虫や、水中の水面近くにいる昆虫などを食べている。幼虫は水生で、他の水生昆虫や小動物を大きなあごで捕え食べている。

神奈川県内では比較的広い範囲で確認されている（平野，2004）が、本種の生活場所である止水域が減少し、神奈川県のレッドデータ生物調査報告書においても準絶滅危惧種に指定されている（荻部，2006）。丹沢山麓が主な生息場所となっており、平野部では姿を消してしまったようである。自然状態で池や湿地が減少、消滅している現状では、山間地の小規模な水溜りなどで確認できようであるが決して多くはない。

自然状態での池や湿地といった止水域が減少しているなか、皮肉なことに人間により造られた砂防ダムでできた止水環境や、人工湖により形成された湖岸の入り江が、ミズスマシにとって条件のそろった場所になっているようである。このことは、今回の調査によりヌタノ沢の砂防ダムで確認されたことから裏付けられている。ミズスマシは、平野部での生息場所を追われ、山間部に残され、造られた環境に適応し、したたかに生きているが、砂防ダムという不安定な環境において、種をいかに維持していくことができるかは確実とはいえない。止水性の水生昆虫にとって、このような環境が現状で存在することは幸いではあるが、決して保障されない場所であることも事実である。

ミズスマシ *Gyrinus japonicus* Sharp (図13)



図13 ミズスマシ *Gyrinus japonicus* Sharp、成虫

ミズスマシは北海道から九州まで分布している水生コウチュウで、水面をクルクル回りながら動く行

クロズマメゲンゴロウ *Agabus conspicuus* Sharp (図14)



図14 クロズマメゲンゴロウ *Agabus conspicuus* Sharp、成虫

クロズマメゲンゴロウは北海道から九州に分布し、主に山間地の水溜りや池などで見られる。体長約 1cm と中型の部類に入るゲンゴロウで、同属のマメゲンゴロウとは容易に区別することができる。

神奈川県内では平野部の河川や池などから確認されているが（平野，2004）、現在では数ヶ所のみになっており、神奈川県レッドデータ生物調査報告書では絶滅危惧Ⅱ類とされている（荏部，2006）。流水性のゲンゴロウやミズスマシは、生息場所も安定し生存している種も多くいるが、ミズスマシ同様止水性の昆虫類にとっては、その環境さえ存在しない状態となってしまう、絶滅危惧や情報不足、絶滅といったカテゴリーが多くみられる。

比較的小規模な止水域でも見られ、県内での筆者の一人の知る記録地は、増水時河川敷に残された川岸の水溜りである。県外での採集経験では、湿地の水溜りや砂防ダム、林道の水溜りなどがあり、ヌタノ沢でも砂防ダムで確認されている。他の場所から飛翔して移動してきたことも考えられるが、条件の合う場所がなくては繁殖することはできず、貴重な場所となっていることに違いはない。

ミズスマシ同様、止水性の水生昆虫にとって山間地の水域は貴重な場所である。神奈川県内における水辺の環境悪化と止水域の壊滅的な状況から、皮肉にも山間部の砂防ダムの環境は、止水性昆虫にとって残された生息域として、安定的な場所になりうることも考えられる。適切な管理に基づく森林整備は、止水性動物の生息場所の保全という観点からも重要であり、さらには、生物多様性の保全に繋がることを意味するであろう。

IV まとめ

- ・源流河川（大洞沢、貝沢及びヌタノ沢）の底生動物を 2007 年～2012 年にかけて調査した。
- ・その結果、大洞沢 152 種、貝沢 153 種、ヌタノ沢 162 種、全体で 277 種が確認された。下流域で実施された水源環境保全・再生実行 5 ヶ年計画の底生動物のモニタリング結果と合わせると相模川水系の底生動物は 511 種、酒匂川水系のそれは 509 種であった。
- ・大洞沢では山地の溪流や細流、貝沢では丘陵地の

細流や低山地の小溪流、ヌタノ沢では止水、湿潤区、岩清水や規模の大きい河川の普通種がそれぞれ生息することがわかった。

・大型水生昆虫類（トンボ目、カワゲラ目、ヘビトンボ目）及びコウチュウ目は、冬季に枯渇する傾向の沢（ヌタノ沢 A 沢、大洞沢下流沢）では少ない傾向であることがわかった。このことは、これらの動物が源流モニタリングにおける水環境の指標生物として有用であることが指摘された。

・未記載種としてカゲロウ目 2 種、カワゲラ目 5 種、トビケラ目 2 種、ハエ目ユスリカ科 2 種が確認された。この他、ユスリカ科において日本初記録種あるいは希少な種として 15 種が確認された。

・注目すべき種（神奈川県 RDB 種など）として、ガガンボカゲロウ、ニホンカワトンボ、ミルンヤンマ、タカネトンボ、オオアメンボ、ハバビロドロムシ、ミズスマシ、クロズマメゲンゴロウが採集された。

V 謝 辞

トンボ目の写真は山村聖氏、嶋崎えつ子氏から提供していただいた。また、この調査を実施するにあたり、神奈川県自然環境保全センターの元研究連携課課長山根正伸氏、主任研究員内山佳美氏、横山尚秀氏から調査の協力や貴重な情報をいただいた。感謝する次第である。

VI 引用文献

- 安倍弘（2006）日本産ミズダニ類目録（Acari: Prostigmata: Hydracarina）. 日本ダニ学誌 15（1）: 1-16.
- 林正美・宮本正一（2005）半翅目 Hemiptera. 291-378. 日本産水生昆虫 科・属・種への検索. 川合禎次・谷田一三（共編）1342pp、東海大学出版会、神奈川.
- 平野幸彦（2004）コウチュウ目. 神奈川県昆虫誌、神奈川昆虫談話会、pp. 335-835.
- 石綿進一他（監修）（2005）日本産幼虫図鑑. 336pp. 学習研究社、東京.
- 石綿進一・竹門康弘（2005）カゲロウ目 Ephemeroptera. 31-98. 日本産水生昆虫 科・

- 属・種への検索. 川合禎次・谷田一三 (共編) 1342pp、東海大学出版会、神奈川.
- 石綿進一 (2010) 水生昆虫を中心とした水生動物. 141-144. 相模川流域誌 本編 (上). 相模川流域誌編纂委員会 (編)、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所、東京.
- 石綿進一・野崎隆夫・清水高男 (1997) IV. 水生昆虫からみた丹沢の沢. 530-538. 神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員会 (編)、丹沢大山自然環境総合報告書、神奈川県環境部.
- 石綿進一・藤谷俊仁・司村宜祥 (2013) ヌタノ沢のカゲロウ類. 神奈川県自然環境保全センター報告、10: 177-185.
- 神奈川県 (2006) 神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006. 高桑正敏・勝山輝男・木場英久 (編)、神奈川県立生命の星・地球博物館、小田原.
- 環境省 (2007) 環境省報道発表資料 平成 19 年 8 月 3 日 哺乳類、汽水・淡水魚類、昆虫類、貝類、植物 I 及び植物 II のレッドリストの見直しについて: <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=8648> (downloaded on 2012-3-1).
- 荻部治紀 (2006) 水生半翅類. 337-339. 高桑正敏・勝山輝男・木場英久 (編)、神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006、神奈川県立生命の星・地球博物館、神奈川県.
- 荻部治紀 (2006) 水生甲虫. 385-392. 高桑正敏・勝山輝男・木場英久 (編)、神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006、神奈川県立生命の星・地球博物館.
- 荻部治紀・川島逸郎・岸一弘 (2006) トンボ類. 311-330. 高桑正敏・勝山輝男・木場英久 (編) 神奈川県レッドデータ生物調査報告書 2006、神奈川県立生命の星・地球博物館、神奈川県.
- 荻部治紀・守谷博文・林文男 (2010) 神奈川県を中心としたカワトンボ属の分布. 神奈川県立博物館研究報告 39: 25-34.
- 川合禎次・谷田一三 (編) (2005) 日本産水生昆虫. 東海大学出版会、東京.
- Kobayashi, T (2012) A new distinctive species of the genus *Orthocladius* with hairy eyes from Japan (Diptera: Chironomidae). *Zotaxa* 3230: 52-58.
- 小林貞 (2013) 西丹沢ヌタノ沢のユスリカ科 (Chironomidae). 神奈川県自然環境保全センター報告、10: 195-201.
- 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 (2006) 平成 18 年度版 河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル【河川版】. http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/mizukokuweb/system/Download/H24_manual_river/00.gaiyou.pdf#search='%E6%B2%B3%E5%B7%9D%E6%B0%B4%E8%BE%BA%E3%81%AE%E5%9B%BD%E5%8B%A2%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E3%83%9E%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%82%A2%E3%83%AB' (downloaded on 2012-12-1).
- 国土交通省 (2010) 河川水辺の国勢調査ための生物リスト. <http://www3.river.go.jp/system/seibutsuList.htm#> (downloaded on 2012-3-1).
- 国土交通省 (2012) 河川水辺の国勢調査 1 ~ 4 巡回調査結果総括検討【河川版】(生物調査【魚類・底生動物】編) 平成 24 年 3 月 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 <http://mizukoku.nilim.go.jp/ksnkankyo/mizukokuweb/download/pdf/gaiyo/1-4sokatsu2012.pdf> (downloaded on 2013-1-15).
- 森正人・北山昭 (2002) 改訂版図説日本のゲンゴロウ. 文一総合出版、東京.
- 守屋博文 (1994) 鞘翅目. 84-88. 相模川水系の水生昆虫 I、相模原市教育委員会.
- 守屋博文・窪田迅郎 (2012) カゲロウ目 Ephemeroptera. 12-17. 相模原市立博物館史編さん班 (津久井町史担当) (編)、津久井町の昆虫Ⅲ津久井町史調査報告書、相模原市.
- 西川正明・丸山清 (1993) 座間市の甲虫目. 219-308. 座間市の動物、座間市教育委員会.
- 尾園暁・川島逸郎・二橋亮 (2012) ネイチャーガイド 日本のトンボ. 531pp、文一総合出版、東京.
- 三枝豊平・倉西良一 (2005) 岩清水と昆虫、昆虫と自然 40(10): 2-5.
- 杉村光俊・小坂一章・吉田一夫・大浜祥治 (2008) 中国・四国のトンボ図鑑. 255pp、いかだ社、東京.
- Takemon Y., H. Kanayama, K. Tanida, S.H. Baik, M. Ishigami & Kato M (1998) RAPD analysis on subpopulations of a mayfly species, *Epeorus*

ikanonis (Heptageniidae: Ephemeroptera). *Viva Origino* 26: 283-292.

東城幸治・石綿進一 (2007) 3. ミトコンドリア DNA 塩基配列からみた丹沢地域におけるガガンボカゲロウの遺伝的多様性. 丹沢大山総合調査学術報告書: 337 - 339.

鳥居高明・齋藤和久・樋村正雄 (2011) 相模川水系の底生動物相および底生動物群集を用いた水系の類型化、神奈川自然誌資料 32: 91-100.

鳥居高明・齋藤和久・樋村正雄 (2012) 酒匂川水系の底生動物相および底生動物群集を用いた水系の類型化、神奈川自然誌資料 33: 55-64.

ヌタノ沢のカゲロウ類

石綿進一*・藤谷俊仁**・司村宜祥***

Mayflies from Nutanozawa stream, Kanagawa Prefecture, Japan

Shin-ichi ISHIWATA*, Toshihito FUJITANI** and Noriyoshi SHIMURA***

Abstract

The mayflies collected in the Nutanozawa stream (first-order stream, tributary of Sakawagawa river, Kanagawa prefecture, Japan) are reported. Some ecological data are given on the distribution of the species in the investigated area. Sixteen species of mayflies are recorded in this stream. *Electrogena* sp. is recorded for the first time in Japan. Eggs of 7 species are described. Nymphal characters of some baetid species are redescribed using electron microscopy.

I はじめに

カゲロウ類は河川の底生動物群集のうち、個体数が多くしばしば優占種となり河川のモニタリング上、重要な分類群と言える。しかし、分類・同定上の問題点が少なくなく、分類精度に支障をきたすこともある。ここでは、ヌタノ沢（西丹沢、酒匂川水系）で確認されたカゲロウ類について、分類上得られた新知見について述べるとともに、分布・生態についても概説する。新知見とは、未記録種及び既知種における新たに見出された形質を意味する。ここで、新たに見出された形質には、電子顕微鏡写真による再記述を含む。なお、未記録種については、記号で整理し特徴の一部について記述する。

II 調査方法

酒匂川水系ヌタノ沢(A沢及びB沢)において(Fig. 1)、主に2011年1月から2012年3月まで実施した調査結果(石綿他, 2013)をもとに、カゲロウを

対象に精査した。対象とするカゲロウのステージは、幼虫、成虫及び卵とした。卵は終齢幼虫あるいは飼育した雌成虫の腹部を開き採取し試料とした。図は原則としてヌタノ沢産のカゲロウの標本に基づいたが、他水系のものをを用いた場合は、それぞれの産地を記述した。なお、上記調査期間以外にヌタノ沢で採集したカゲロウについては採集記録(成虫あるいは幼虫の個体数、採集場所、採集年月日、採集者)を記述した。

III 結果及び考察

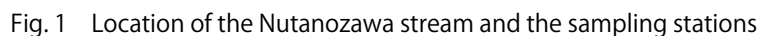
1 水域環境の概要

ヌタノ沢は、酒匂川の支川、河内川の右岸に注ぐ小渓流で、2本の沢により構成されている一次谷である(Table 1, Fig. 1)。2本の沢のうち、下流から上流を臨み、左の沢をA沢、その右の沢をB沢とする。この合流点からの河川水は、県道76号線の暗渠の下を通り、河内川に注ぐ。暗渠から流出した河川水は、滝様に岸斜面の岩盤を流れ、右岸のコン

* Kanagawa Institute of Technology (1030 Shimo-ogino Atsugi Kanagawa 243-0292 JAPAN)

** Civil Engineering and Eco-technology Consultants Co., Ltd (1-1-606B, Nishikicho, Okayama 700-0902 JAPAN)

*** (2-38-14 Daisansanhaimu106, Nagatsuta, Midori-ku Yokohama-shi, Kanagawa, 226-0027, JAPAN)



沢名 地点 番号	A沢			B沢			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
緯度	N35° 28' 01.5"、 E139° 3' 39.34"	N35° 28' 01.18"、 E139° 3' 40.06"	N35° 28' 0.66"、 E139° 3' 46.04"	N35° 28' 3.31"、 E139° 3' 42.91"	N35° 28' 3.31"、 E139° 3' 42.91"	N35° 28' 1.98"、 E139° 3' 46.21"	N35° 28' 1.39"、 E139° 3' 46.21"
経度							
周辺 環境	川岸から土砂の供給大	川岸から土砂の供給大	川岸から土砂の供給大	垂直岩盤	川岸から土砂の供給大	川岸から土砂の供給大	川岸から土砂の供給大
標高	616m	607m	561m	615m	597m	578m	578m
流れ幅	20cm	20cm	0-200cm	100-300cm	20-60cm	20-60cm	
水深	1cm	1-2cm	1cm	1cm	1-3cm	1-3cm	1-40cm
底質	砂・礫	砂・礫	堰堤の垂直面	岩盤	砂・礫	砂・礫	砂・礫
備考	本川上流部の砂防ダム壁面。冬季は滲出水のみの場合あり。	常時、表流水あり。左岸は灯火採集の定点	堰堤上の木製の堰。冬季枯渇する場合あり。	常時、表流水あり	常時、表流水あり。堰堤上は灯火採集の定点	常時、表流水あり。池に流れ込む細流。上流の堰堤上は灯火採集の定点	池。常時、水あり

[illegible]

クリート護岸に達した後、河内川に合流する。暗渠から河内川までの高低差は約 15m ある。A 沢は冬の渇水期には河川水が減少し、最上流の谷止工にできた一時的なプールやそれに注ぐ細流や湧水、その他の多くの地点で枯渇することがある。一方、B 沢は通年表流水があり、枯渇することがない。A、B 沢はともに周辺からの土砂の流入が多く、とくに A 沢においては著しい。

2 ヌタノ沢のカゲロウ相

ヌタノ沢の各調査地点で確認されたカゲロウ目を Table 2 に示した。Table 2 のカゲロウ目各種は、同沢で採集された底生動物のリスト（石綿他、2013）からカゲロウのみを抽出したものである。

恒常的に水が存在する B 沢と一時的な水域を含む A 沢との比較では、B 沢で確認された種類数が多かった。しかし、A 沢の調査地点 St. 2 は、表流水が断続的でしばしば枯渇するものの、調査期間中、唯一、小規模ではあるが常に流水が確認される地点である（前記、水域環境の概要を参照）。このことが、St. 2 が溪流性の水生昆虫の生息場所として利用される理由と解釈できる。

確認されたカゲロウ目のうち 8 種が A、B 両沢に共通で個体数も多い。このうち、フタスジモンカゲロウの幼虫は河床の砂泥中で生息する。従って、表流水が枯渇してもそれが長期間に及ぶことがなく河床間隙水域が存在しているのならば、生息が可能であると考えられる。他の 7 種の幼虫は、すべて流水中の礫底を生息場所とする。このうちヒラタカゲロウ科マダラタニガワカゲロウ属（新称、後述）の一種は、厳冬期に幼虫が確認されていないことや 9、10 月に羽化することから卵越冬と考えられる。A 沢のような厳冬期に枯渇するような一時的な水域に適応するには、卵越冬は安全性の高いステージといえるのであろう。トビイロカゲロウ科の 3 種、ヒメフタオカゲロウ属の一種及びコカゲロウ科の 2 種の幼虫は、ともに流水中に生息することが知られていて、若齢の幼虫の生息場所の詳細については未だ不明であるが、おそらく河床間隙水域をその生息場所としているのであろう。あるいは、トビイロカゲロウ科のナミトビイロカゲロウ、ヒメフタオカゲロウ属の一種を除き、その他の 4 種は、それぞれの生活史に

おいて 1 年に複数回羽化を繰り返す 2 化あるいは多化性を示すことから、例えば水が枯渇し、それによって世代が途絶えても、他水域（例えば B 沢から）から成虫が飛翔してくることで世代を繋ぎ繰り返すことができる可能性も指摘できる。

ヨシノマダラカゲロウ及び I コカゲロウは、河川の中下流域に広く分布する種であることから、他水域から成虫が飛翔し、一時的に発生したものと考えられる。イワヒラタカゲロウは、その幼虫が堰堤や滝の飛沫帯、急峻な枝沢に生息することから、同様に、成虫の飛翔、産卵によって一時的に発生したものと考えられる。

カゲロウ目は体のつくりが脆弱で、蛹期がないという特異なライフサイクルをもつ。A 沢のような、厳冬期に一時的に枯渇するような水域に生息するための方策として、卵越冬及び化性において 2 化あるいは多化性といった特性を持つことは、効率の良い、より安全性の高いことといえるのであろう。一方、マダラタニガワカゲロウ属の一種のように、一次谷に生息域をもつカゲロウにとっては、源頭部のような枯渇 - 不安定といった環境は、卵越冬の他に、生活史上獲得した重要な因子があるのかもしれない。

3 カゲロウ類の形態的特徴

確認されたカゲロウ類 16 種（Table 2）のうち 7 種について形態的特徴を述べる。

ナミトビイロカゲロウ *Paraleptophlebia japonica* (Matsumura, 1931) (Fig. 2)

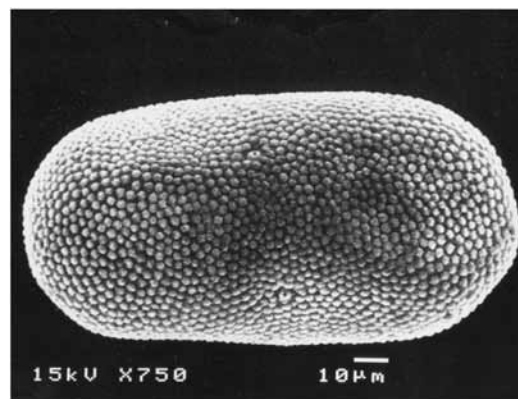


Fig. 2 Egg, *Paraleptophlebia japonica*

幼虫については、近縁種の 2 種（トゲトビイロカゲロウ、トビイロカゲロウの一種）との区別は難し

いが、雄成虫については交尾器で容易に区別される。卵の形は長球型で表面には丸い細かな突起が密集する。極冠 (polar cap) をもたない。なお、日本産本属の卵形態は酷似していて (石綿, 未発表)、この突起の密度は種によって異なる傾向を示すようであるが、他地域の卵の分析を含め、さらに詳細な検討が必要であろう。

北海道、本州、四国、九州には普通に分布し、河川の上流から中流にかけて広く分布する普通種である。丹沢やその他の丘陵地帯の一次谷では個体数が多い (石綿, 2002)。ヌタノ沢では、本種の成虫は以下に述べるトビイロカゲロウの一種に先立ち早春に羽化し発生時期は短い。ヌタノ沢の調査では岩盤、池、流水域で普通に採集された。図は酒匂川水系白石沢の標本に基づいた。

ウェストントビイロカゲロウ *Paraleptophlebia westoni* Imanishi, 1937 (Fig. 3、4)

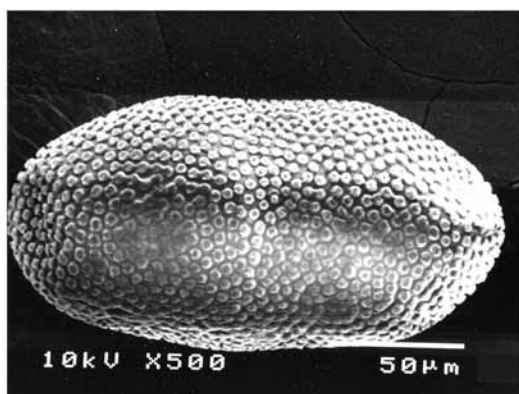


Fig. 3 Egg, *Paraleptophlebia westoni*

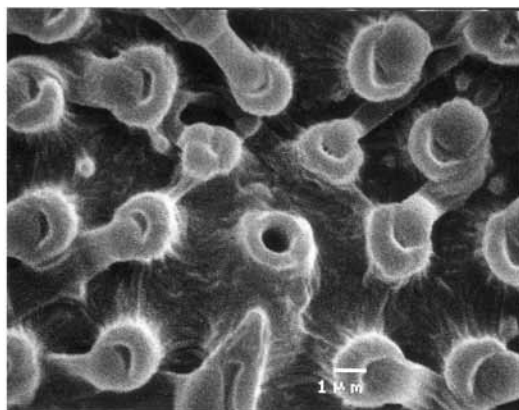


Fig. 4 Egg in part, *Paraleptophlebia westoni*

幼虫及び雄成虫のいずれのステージでも区別は容易である。また、亜成虫については、翅の色が茶褐色

色であり、前種及び次種が黒色であることから同属の他種から区別される。卵の形態はナミトビイロカゲロウに似ている。卵表面の突起 (Fig. 4) は水中で先端部がキノコの傘のように膨張し、多くの基質に付着しやすい構造になるとされている (Koss, 1968)。

本州、四国、九州には普通に分布していて、丹沢やその他の丘陵地帯に記録がある (石綿, 2002)。ヌタノ沢では、本種の成虫の発生時期は次種トビイロカゲロウ属の1種に次いで採集され、終齢の幼虫が初夏から秋まで及ぶことから発生時期は長いものと思われる。神奈川県内の他の河川でも、この傾向がある (石綿, 未発表)。ヌタノ沢の調査では岩盤、池、流水域で普通に採集された。図は相模川水系早戸川鳥谷の標本に基づいた。

トビイロカゲロウ属の一種 *Paraleptophlebia* sp.1 (Fig. 5、6)

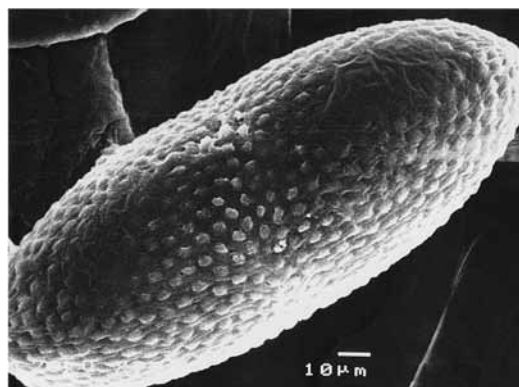


Fig. 5 Egg, *Paraleptophlebia* sp.1

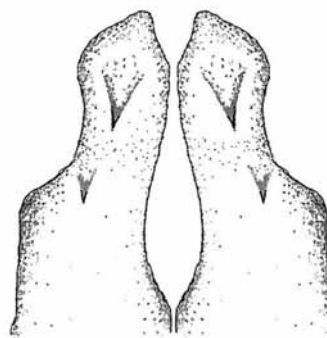


Fig. 6 Penes, *Paraleptophlebia* sp.1

成虫、幼虫ともに体長は6mm程度、トビイロカゲロウ属のなかでは小型である。体色は黒色、黒褐色

である。幼虫については、近縁種の2種（ナミトビイロカゲロウ、トゲトビイロカゲロウ）との区別は難しいが、雄成虫については、交尾器腹面に2対の突起があることで容易に区別される。また、雄成虫の腹節はナミトビイロカゲロウのように透明に透けることはない。その他のステージについては、分類は難しい。卵の形態はナミトビイロカゲロウに似ている。

本州から九州にかけて普通に分布していて、丹沢やその他の丘陵地帯の一次谷では個体数が多い（石綿、未発表）。ヌタノ沢では、本種の成虫はナミトビイロカゲロウに次いで採集され、終齢の幼虫が初夏から秋まで見られることから発生時期は長いものと思われる。神奈川県内の他の河川でも、この傾向がある（石綿、未発表）。ヌタノ沢の調査では岩盤、池、流水域で普通に採集された。図は相模川水系早戸川鳥屋の標本に基づいた。未記載種と考えられる。

ヨシノマダラカゲロウ *Drunella ishiyamana* Matsumura, 1931 (Fig. 7)

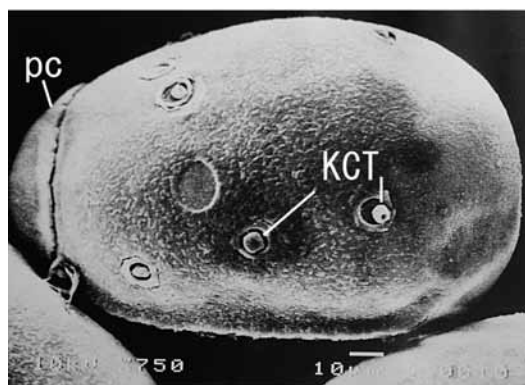


Fig. 7 Egg, *Drunella ishiyamana*

幼虫及び雄成虫のいずれのステージでも区別は容易である。卵は長径の一端に一つの極冠と短径の周辺にコイル状付着糸をもち、鶏卵型で表面には細長い点刻様模様が密集する。日本産本属の卵の形態は酷似しており、近縁種間の区別は難しい（石綿、未発表）。

北海道、本州、四国、九州には普通に分布する。上流から下流にかけて河川に広く分布する普通種であるが、ヌタノ沢では少なく、1個体のみ採集された。図は酒匂川水系白石沢の標本に基づいた。

ヒメフタオカゲロウ属の一種 *Ameletus* sp. (Fig. 8)

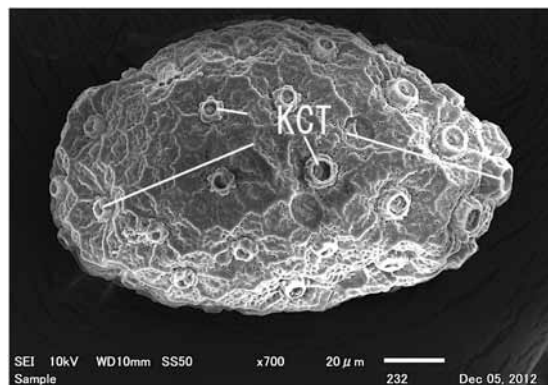


Fig. 8 Egg, *Ameletus* sp.

幼虫のため同定は不可能である。ヒメフタオカゲロウ科の幼虫は区別が難しいが、既知の雄成虫では交尾器で区別される。しかし、未記載種が多いため注意が必要である。卵の形態は、長球型で表面に隆起する網目模様がある。表面に散在するコイル状付着糸は片方の極(図、卵右端)には大型、他方の極(図、卵左端)には小型のものが分布する。極冠をもたない。なお、本種に近縁な種も卵の形態がよく似ている（石綿、未発表）。

本州、四国、九州には普通に分布していて、丹沢では個体数が多い。ヌタノ沢では、終齢の幼虫が初夏に認められることから発生時期は短い。ヌタノ沢の調査では流水域で普通に採集された。

ヨシノコカゲロウ *Alainites yoshinensis* (Gose, 1980) (Fig. 9)

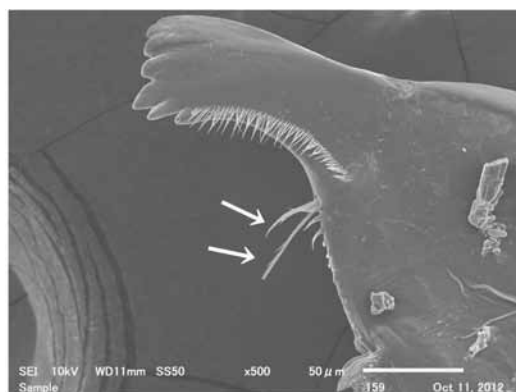


Fig. 9 Right mandible, *Alainites yoshinensis*; Allows showing canine

この種の幼虫の特徴として、御勢 (1980a)、小林 (1987)、石綿 (2001) によって、上唇の側縁の長い毛、2本の刺状に変化した右大顎の犬歯 (Fig. 9)、6対の鰓、内縁の後端が伸長した肛側板などが指摘されている。肛側板の内縁の後端が伸長することは、シリナガコカゲロウ属の特徴である (Waltz *et al.*, 1994)。

雄成虫の後翅の縦脈は3本で、第2縦脈の分岐の間に間脈が2本あるが (御勢, 1980b)、間脈の不明瞭な個体もある (藤谷, 2006)。把持子の末節は卵円形で、基節の間には1対の突起が認められる (石綿, 2001)。

北海道から南西諸島まで分布し、幼虫が河川の源流、上流から中流の瀬でよく見られる種である (藤谷, 2006)。ヌタノ沢の調査では、堰堤の垂直面からも採集された。

サホコカゲロウ *Baetis sahoensis* Gose, 1980

この種の幼虫の特徴として、御勢 (1980a)、小林 (1987)、Fujitani *et al.*, (2004) によって、下唇髭の先端がまるいことや、腹部第2節から第4節および第6節から第8節の背面は暗褐色の地に1対の楕円形の淡褐色斑紋があり、第5節は全体的に淡褐色の部分が広がること、尾毛と中尾糸に帯斑があることなどが指摘されている。

雄成虫の後翅の縦脈は3本で、分岐しない (御勢, 1980b)。把持子の基節内縁後端には小さな突起が認められ、腹部第1節から第6節まで、背面には褐色の斑紋がない (Fujitani *et al.*, 2004)。

北海道から九州まで分布し、幼虫が河川の中流から下流にかけて、瀬や河岸の水草の根元に見られる (藤谷, 2006)。有機汚濁耐性があるとされ (御勢, 1982)、都市部を流れる川にも生息していることがある。奈良県の佐保川での観察では、冬季は幼虫が確認されなかった (本庄, 1998)。ヌタノ沢の調査では、池の流入部や、池の中で採集された。

フタモンコカゲロウ *Baetis taiwanensis* Müller-Liebenau, 1985

この種の幼虫はサホコカゲロウによく似ているが、腹部第4節と第6節の斑紋が不明瞭になる点でサホコカゲロウから区別できる (Fujitani *et al.*,

2004)。

雄成虫の後翅の縦脈は2本で分岐せず、把持子の基節内縁後端には、小さな突起が認められる (Fujitani *et al.*, 2004)。腹部第1節から第9節まで、背板の後縁に、1対の褐色の斑紋がある (Fujitani *et al.*, 2004)。成虫は、夏の夜になると、川に近い自動販売機や街灯に集まっていることが多い。

北海道から九州まで分布し、幼虫が河川の中流から下流にかけての平瀬や河岸の水草の根元など、流れが緩い場所に多い (藤谷, 2006)。ヌタノ沢の調査では、池の流入部で採集された。

シロハラコカゲロウ *Baetis thermicus* Uéno, 1931 (Fig. 10-12)

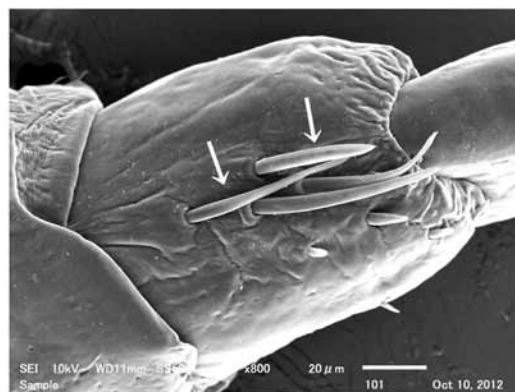


Fig. 10 Antennal pedicel, *Baetis thermicus*; Allows showing long spines

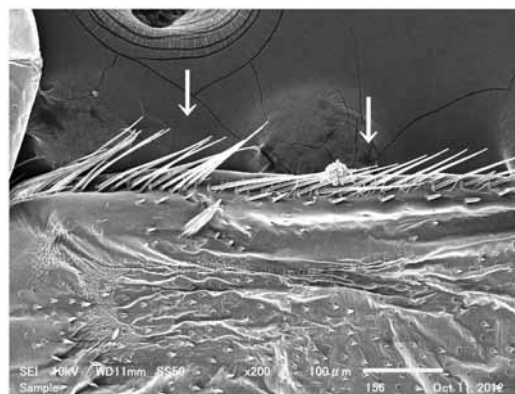


Fig. 11 Femur, *Baetis thermicus*; Allows showing long spines

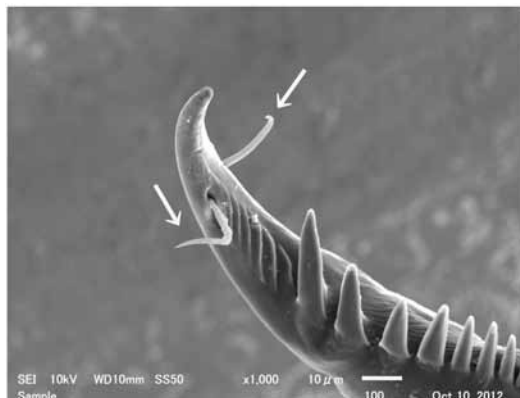


Fig. 12 Claw, *Baetis thermicus*; Allows showing subapical setae

この種の幼虫の特徴として、御勢（1980a）と小林（1987）によって、上唇前縁に沿って12～14本の刺毛が並ぶこと、触角の第2節目の長い刺があること（Fig. 10）、腕の腿節に沿って細い刺毛が密に生えること（Fig. 11）、爪の先端部に1対の毛が生えること（Fig. 12）などが指摘されている。

雄成虫は、胸部の側面に、濃褐色の斑紋が3つ存在し、腹部第1節から第7節まで、背板の後縁に沿って褐色の線が入る（Uéno, 1931）。

北海道から沖縄島まで分布し、幼虫が河川の源流、上流から下流までの瀬に広く見られる普通種であるが（藤谷, 2006）、ヌタノ沢では、垂直な堰堤からも採集された。緒方ら（2003）は、シロハラコカゲロウは上流から中流で多く、源流域で少ないと報告したが、ヌタノ沢では源流に近い岩盤や垂直な堰堤などに極めて普通に生息していた。

フタバカゲロウ属の一種 *Cloeon* sp.

フタバカゲロウ属の幼虫では、腹部第1節から第6節までの鰓は2枚からなり、第1節から第5節については、鰓の形がほぼ同じである（川合・谷田編, 2005）。

雄成虫は、前翅の間脈が1本ずつで、把持子の末節が細く、基節の間が山形に突出する（川合・谷田編, 2005）。

フタバカゲロウ属は、日本から7種が記録されているが、成虫と幼虫との対応がついているのはフタバカゲロウとタマリフタバカゲロウの2種のみである（川合・谷田編, 2005）。今後、分類学的な知見を整理する必要がある分類群である。

幼虫は、淵、堰の湛水域、池、タマリ、ワンドなどの、流れが緩い場所や無い場所に生息する。ヌタノ沢の調査では、池の流入部や、池の中で採集された。

Iコカゲロウ *Nigrobaetis* sp.I (Fig. 13)

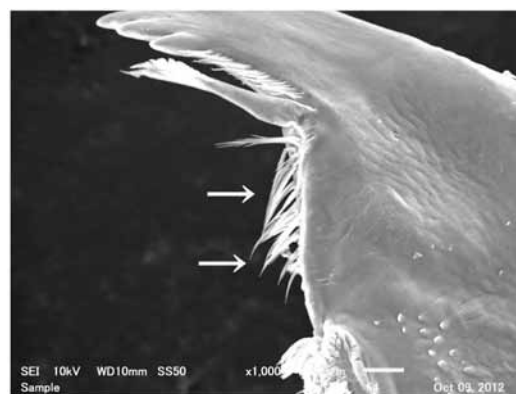


Fig. 13 Right mandible, *Nigrobaetis* sp.I; Allows showing fine spines Sp. I

この種の幼虫の特徴として、小林（1987）によって、大顎の内縁に並んだ細い刺（Fig. 11）などが指摘されている。幼虫の腹部第1節から第9節までの背板は褐色、第10節の背板は淡褐色である。

トビイロコカゲロウ属の幼虫は、ヨシノコカゲロウが属するシリナガコカゲロウ属と同様に細長い体をしているが、肛側板の内縁の後端に伸長する部分が認められないことで、シリナガコカゲロウ属から区別できる（Waltz *et al.*, 1994）。

北海道から九州まで分布し、幼虫が河川の中流から下流にかけての水際植生の根元や淵など、緩流部や止水を生息場所としている（藤谷, 2006）。個体数は多くない。

ヒメウスバコカゲロウ属 *Proclaeon* sp. (Fig. 14)

ヒメウスバコカゲロウ属の幼虫では、腹部第1節から第6節までの鰓は1枚または2枚からなり、2枚の場合は、それぞれのサイズが異なる（川合・谷田編, 2005）。腹部第10節の後縁の両端には、長い刺状の突出部が見られる（Fig. 14）（川合・谷田編, 2005）。

雄成虫は、前翅の間脈が1本ずつで、把持子の末節が細く、基節の間が平らである（川合・谷田編,

2005)。

幼虫は河川の中流から下流にかけて、水際の植生の根元や、淵などの緩流部や止水を生息場所とする(川合・谷田編, 2005)。ヌタノ沢の調査では、池の流入部や、池の中で採集された。

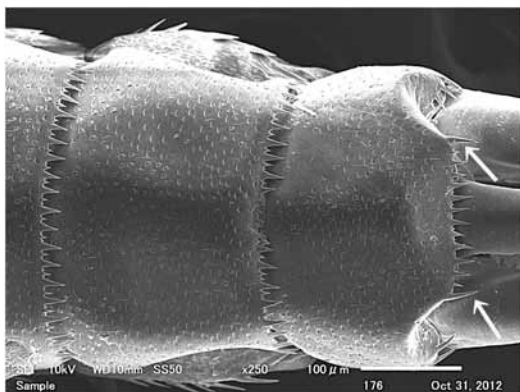


Fig. 14 Apex of abdomen, *Procloeon* sp.; Allows showing posterolateral spines on abdominal segment 10

マダラタニガワカゲロウ属(新称)の一種 *Electrogena* sp.1 (Fig. 15-19)



Fig. 15 Nymph, *Electrogena* sp.1

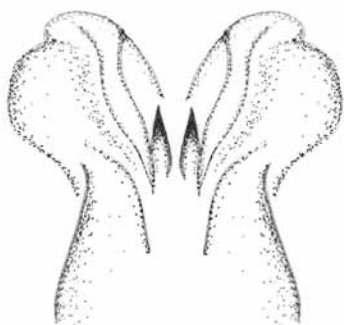


Fig. 16 Penes, *Electrogena* sp.1

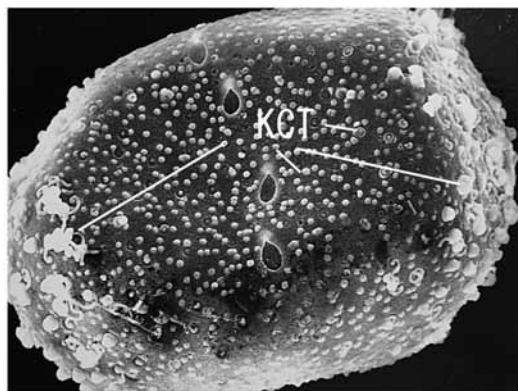


Fig. 17 Egg, *Electrogena* sp.1

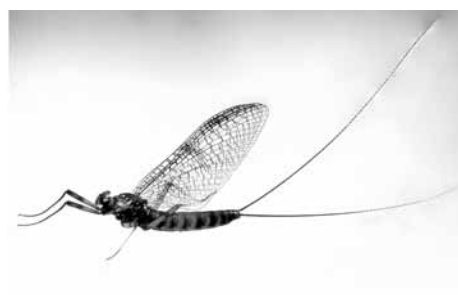


Fig. 18 Female imago, *Electrogena* sp.1

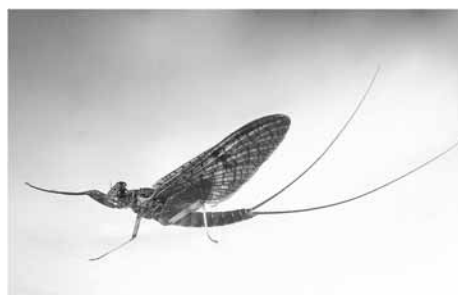


Fig. 19 Male subimago, *Electrogena* sp.1

大型のヒラタカゲロウで、幼虫の体長は約 20mm に達する (Fig. 15)。雄成虫の交尾器各片が円形でありそれぞれが左右に大きく広がること (Fig. 16)、卵の表面構造の特徴がマダラタニガワカゲロウ属(新称)のそれに合致する。このことからマダラタニガワカゲロウ属の一種 *Electrogena* sp.1 とした。卵は、卵の表面構造がヒラタカゲロウ科の他属と異なり、球形の中小の突起が卵の表面全体を覆う。コイル状付着糸は表面に散在するが、両極に密集する。極冠をもたない (Fig. 17)。

なお、属和名は成虫、亜成虫の体表面の斑紋が濃淡のマダラ模様があることに基づいた (Fig. 18, 19)。ヌタノ沢の調査では、池などの止水

域や岩盤を除く流水部で採集された。本属は本州初記録で、未記載種と考えられる。

イワヒラタカゲロウ *Epeorus cumulus* Imanishi, 1939 (Fig. 20)

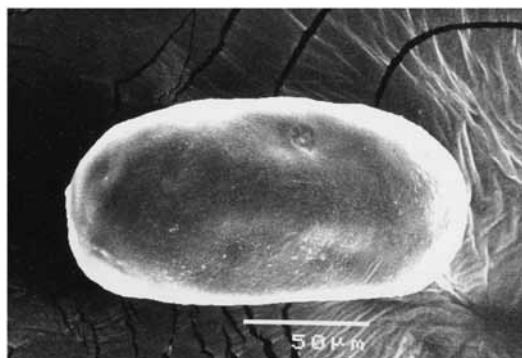


Fig. 20 Egg, *Epeorus cumulus*

幼虫及び雄成虫のいずれのステージでも区別は容易である。卵の形態は長球様ジャガイモ型である。表面は滑らかで著しい陥没部や突起はない。コイル状付着糸及び極冠をもたない (Fig. 20)。丹沢では、幼虫は堰堤や滝の飛沫帯、急峻な枝沢で確認されているが、ヌタノ沢では少ない。図は酒匂川水系白石沢の標本に基づいた。

被検標本：1 幼虫、ヌタノ沢 St. 1、26. X. 2010、石綿進一、ハンドネット（タモ網）。

IV 謝 辞

本報告書を作成するにあたり、守屋博文氏（相模原市立博物館）、神奈川県自然環境保全センターの元研究連携課課長山根正伸氏、主任研究員内山佳美氏、横山尚秀氏から調査の協力や貴重な情報をいただいた。感謝する次第である。

V 引用文献

- 藤谷俊仁 (2006) 日本産コカゲロウ科 (カゲロウ目) の 7 属への検索及び所属する種の分類と分布・ハビタットに関する情報. 陸水学雑誌 67 : 185-207.
- Fujitani, T., Hirowatari, T., and Tanida, K. (2004) First record of *Baetis taiwanensis* Müller-Liebenau from Japan, with descriptions of the imago and subimago (Ephemeroptera: Baetidae). Entomological Science (7) : 39-46.
- 御勢久右衛門 (1980a) 日本産カゲロウ類 6. 分類と検索 5. 海洋と生物 2 : 76-79.
- 御勢久右衛門 (1980b) 日本産カゲロウ類 7. 分類と検索 6. 海洋と生物 2 : 122-123.
- 御勢久右衛門 (1982) 自然水域における肉眼的底生動物の環境指標性について. 9-16. 文部省「環境科学」研究報告集 B121-R12-10.
- 本庄眞 (1998) サホコカゲロウの生活史について. 陸水学報 13 : 21-23.
- 石綿進一 (2001) 千葉県のカゲロウ類. 千葉県中央博自然誌研究報告 6 : 163-200.
- 石綿進一 (2002) 神奈川県のカゲロウ類. 神奈川県虫報 138 : 1-46.
- 石綿進一・守屋博文・倉西良一・清水高男・小林貞・司村宜祥 (2013) 源流河川の底生動物, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10 : 163-175
- 川合禎次・谷田一三 (編) (2005) 日本産水生昆虫. 東海大学出版会. 東京.
- 小林紀雄 (1987) 環境指標昆虫としてのコカゲロウ. 41-60. シンポジウム「水域における生物指標の問題点と将来」報告集. 安野正之・守屋博文編、国立公害研究所、東京.
- Koss R. W (1968) Morphology and taxonomic use of Ephemeroptera eggs. Annals of Entomological Society of America 61 (3) : 696-721.
- 緒方健・杉泰昭・山崎正敏 (2003) 福岡県下の河川源流部の大型底生動物相. 福岡県保健環境研究所年報 30 : 159-166.
- Uéno, M (1931) Einige neue Ephemeropteren und Plecopteren aus Mittel-Japan. Annotationes Zoologicae Japonenses (13) : 91-104.
- Waltz, R.D., McCafferty, W.P., and Thomas, A. (1994) Systematics of *Alainites* n.gen., *Diphetero*, *Indobaetis*, *Nigrobaetis* n.stat., and *Takobia* n.stat. (Ephemeroptera, Baetidae). Bulletin de la Society d'Histoire Naturelle, Toulouse (130) : 33-36.

源流河川のトビケラ目昆虫 - ヌタノ沢で採集されたアミメシマトビケラ科 とナガレトビケラ科の形態と遺伝子情報 -

倉西良一 *

Caddisfly species of headwaters. Morphology and genome profile of the arctopsychid and rhyacophilid species, collected in Nuta-no-zawa, Tanzawa, Kanagawa

Ryoichi B. KURANISHI*

要 旨

ヌタノ沢に生息する源流性のトビケラ 4 種 (アミメシマトビケラ科 1 種とナガレトビケラ科 3 種) の形態と遺伝子情報を検討した。遺伝子はアミメシマトビケラ科ではミトコンドリア COI 領域、ナガレトビケラ科ではミトコンドリア 16S 領域の解析を行った。シロフツヤトビケラ属では、検討した成虫と幼虫の遺伝子に極めて高い相同性が認められ、同一種と推定された。

キーワード : 分子同定、ミトコンドリアゲノム、COI、16S

I はじめに

源流部に生息する水生昆虫相は、源流を取り巻く森林環境を強く反映すると考えられる。源流部の周辺の森林が貧弱で源流の流水が途絶えたり、降雨の折りに源流で大量の土砂が動いたりする場合、その場所には健全な源流部の生物相が構成されないと想定される。このような視点に立つと源流部流域のモニタリング対象生物として源流に生息する底生動物は非常に有効であると考えられる。モニタリングには生物種の同定が不可欠であるが、源流部に生息するトビケラ目昆虫の幼虫 (底生動物) の同定は大きな困難を伴う。この状況は幼虫と成虫の整合性が不十分なことによるもので、すなわち成虫形態は新種で記載される折りに論文中で定義されるが、その幼虫は不明なまま放置されることによる。

従来、成虫と幼虫の関係は形態を精査した幼虫を飼育することによって一致させる方法や成虫の生息

種を完全に調べた上で幼虫を網羅的に採集し消去法で推定する方法などがあった。しかしナガレトビケラ科やカワトビケラ科のように、一つの地点に同属 (幼虫間の形態的な差が少ない) の複数種が生息すると考えられる場合、幼虫と成虫を一致させることは極めて困難であった。この状況を解決する方法として、遺伝子情報を使った方法が考えられる。この方法の原理は、細胞中のミトコンドリアの遺伝子を成虫と幼虫で (蛹や雌雄間においても) 比較すれば、同一種であればほとんど同じ遺伝子構造となると考えられることによる。このように遺伝子をつかった成虫と幼虫など種内や種間の関係推定は理論的には明瞭であり、欧米ではこの手法をもとにトビケラ目昆虫の成虫と幼虫の一致が試みられている (Johanson, 2007)。

本稿では、ヌタノ沢の源流部に生息するトビケラの幼虫の同定をより正確なものとするを目的に幼虫や成虫の遺伝子を解析し比較もしくは形態デー

* 千葉県立中央博物館 (〒 260-8682 千葉市中央区青葉 955-2) E メール : kuranishi@chiba-muse.or.jp

タに加えた。これらの情報は、今後の客観的な種の同定に貢献するものと考えられる。

II 材料と方法

今回検討したトビケラ目昆虫は、神奈川県山北町中川ヌタノ沢（北緯 35° 46′; 東経 139° 06′。標高 560 m から 616 m）で 2011 年と 2012 年に採集されたものである。成虫は源流溪流の灌木に静止している個体を掬い取りで採集した。幼虫は水がしたたる岩盤上での見つけ採り採集や一般の底生動物などと一緒に小型の D- フレームネットで採集した。採集した成虫や幼虫は 95% エチルアルコールに固定して研究室に持ち帰り、一日後に新しい 95% エチルアルコールと入れ替え冷蔵で保存して、形態や遺伝子解析の材料とした。

形態解析のための写真は、実体顕微鏡 (OLYMPUS SZX16) に装着した写真撮影装置 (DP20) を使用し、被写体深度を大きくする場合には画像合成ソフト (Helicon Focus) を利用した。遺伝子の抽出には、成虫・幼虫ともに右の後脚組織を使用し、幼虫が小型個体の場合は組織量を増やすために前脚・中脚も使用した。組織は 1.5 ml のエッフェンドルフチューブに入れた状態でペッスルを使い粉碎した。遺伝子の抽出は Qiagen 社の遺伝子抽出キット (DNeasy Blood and Tissue Kit) を使用した。PCR 反応は、Takara の Z-taq を使用し、ミトコンドリアのシトクロームオキシターゼサブユニット (CO1) ではプライマー Jerry (F: 5′-CAA CATT TA TTT TGA TTT TTT GG- 3′) と Pat (R: 5′-TCC AAT GCA CTA ATC TGC CAT ATT A- 3′) 16S 領域は、16sARL (F: 5′-CGC CTG TTT ATC AAA AAC AT- 3′) と 16sBRH (F: 5′-CCG CTG TTT ATC AAA AAC AT- 3′) を使用した。PCR の温度と時間条件は、初めに 94℃まで加熱し、その状態を 2 分間保った後、二本鎖 DNA を熱変成で解離させるため 98℃を 1 秒間、プライマーが一本鎖 DNA とアニーリング (結合) するために 50℃を 5 秒間、DNA を伸長させるために 72℃を 15 秒間保つという「熱変成 - アニーリング (結合) - 伸長」のサイクルを 30 回繰り返した。PCR 反応を行う器材としては、ASTECH 社製 GeneAmp 322 を使用した。PCR 産物は、ExoSAP-IT (GE Healthcare UK, Buckinghamshire)

を使用して精製しシーケンス反応のテンプレートとして使用した。シーケンス反応には、BigDye Terminator v1.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, California) を使用し、ABI 3130xl 全自動シーケンサー (Perkin Elmer/Applied Biosystems, California) で解析した。塩基配列データは、CLC Workbench software (CLC bio, Aarhus) を使って整列させ、塩基データの整合性は MEGA v5 (Tamura et al. 2011) を使って検討した。

検討標本は個体の令期や性、採集地点、採集日、採集者、標本番号、Total DNA 番号の順に記載した。

III 結果と考察

Family Arctopsychidae アミメシマトビケラ科

1 *Parapsyche* sp. シロフツヤトビケラ属の一種

【検討標本】雌成虫，ヌタノ沢 B 沢，2012-IX-10，司村宜祥，RBK-11248，R539.

【形態】図 1. 頭部は黄色がかった茶色。頭部の隆起や前胸は暗黄色。前翅の斑紋は、Ulmer (1907) の記載と一致する。

【注釈】本標本が雌個体であること、また日本産のシロフツヤトビケラ属の分類には混乱がみられることから現状では種名の確定ができない。

【遺伝子情報 (CO1)】CTCCGATAGCTCTAAAAAGAATCA
TTTGGAAGACTTAGAATAATTTATGCAATAATCTCAATTGGTCTT
TTAGGATTTCGTAGTTTGAGGTCATCATATTTACAGTAGGAATA
GACGTTGACACTCGCGCTATTATACATCTATTACTATAATTATT
GCTATTCCTACAGGAATTAATAATTTTCAGTTGACTTGCTAATTT
AAATGGAACCCCTCTCGTATTTAAACCCCTCTATTATGAACCTC
TCGGATTTCATCTTTTATTTACAATTGGAGGACTAACCGGAATC
ATCTTATCTAATTCTTCTATTGACACTGTCCTTCACGACACCTAT
TATGTAGTTGCTCATTTTCATTATGTCCTATCTATAGGGGCAGTA
TTTGCCATCATAGCAGGAATACTTCATTGATACNCCCTTATTTAC
AGGATTAATATTAAACAAAAAATACTTATAATTCAATTTTTTTC
CATATTTTTAGGTGTAAATTTAACTTTTTTCCCCAACACTTTC
TCGGCCTTGCTGGTATACCTCGACGTTATTCANANTACACAGA

2 *Parapsyche* sp. シロフツヤトビケラ属の一種

【検討標本】幼虫，ヌタノ沢 B 沢岩盤，2011-VII-25，司村宜祥，RBK-11246，R538.

【形態】図 2. 頭部背面には明瞭な斑紋はない。頭部

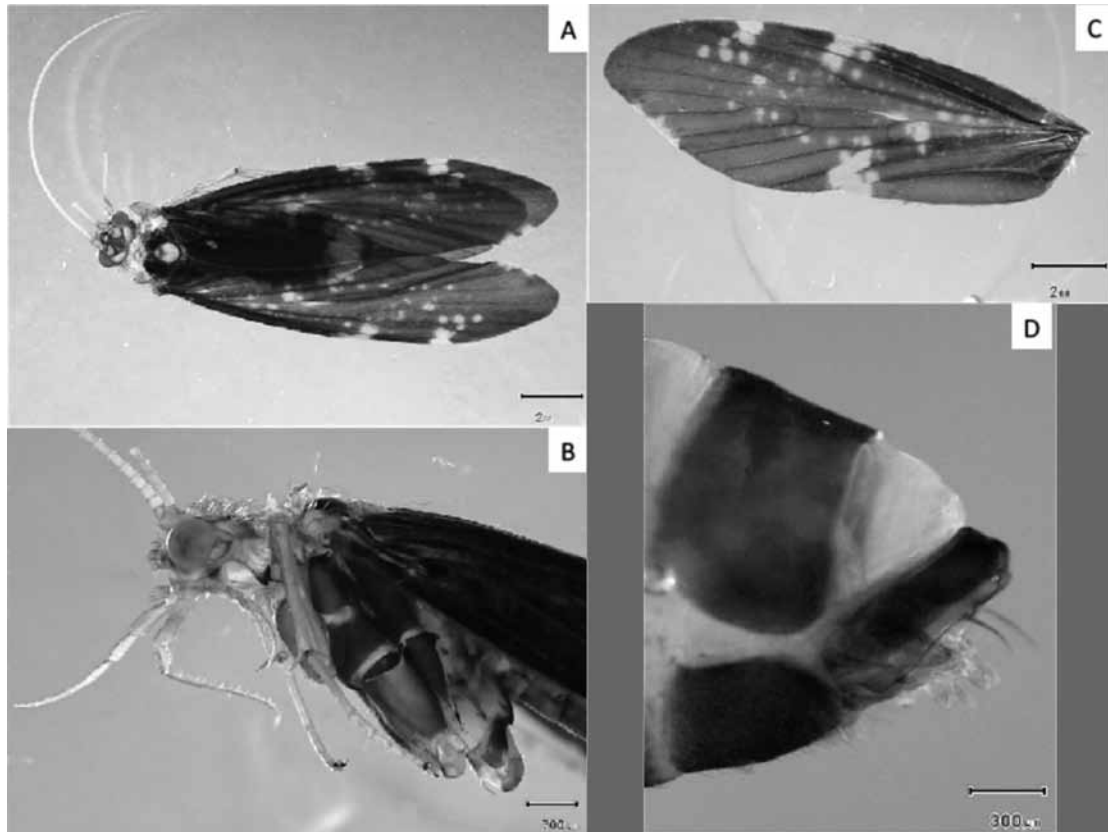


図 1. シロフツヤトビケラ属の一種の成虫 .RBK-11248
A: 雌成虫全形, B: 頭部・胸部側面, C: 前翅, D: 腹部末端

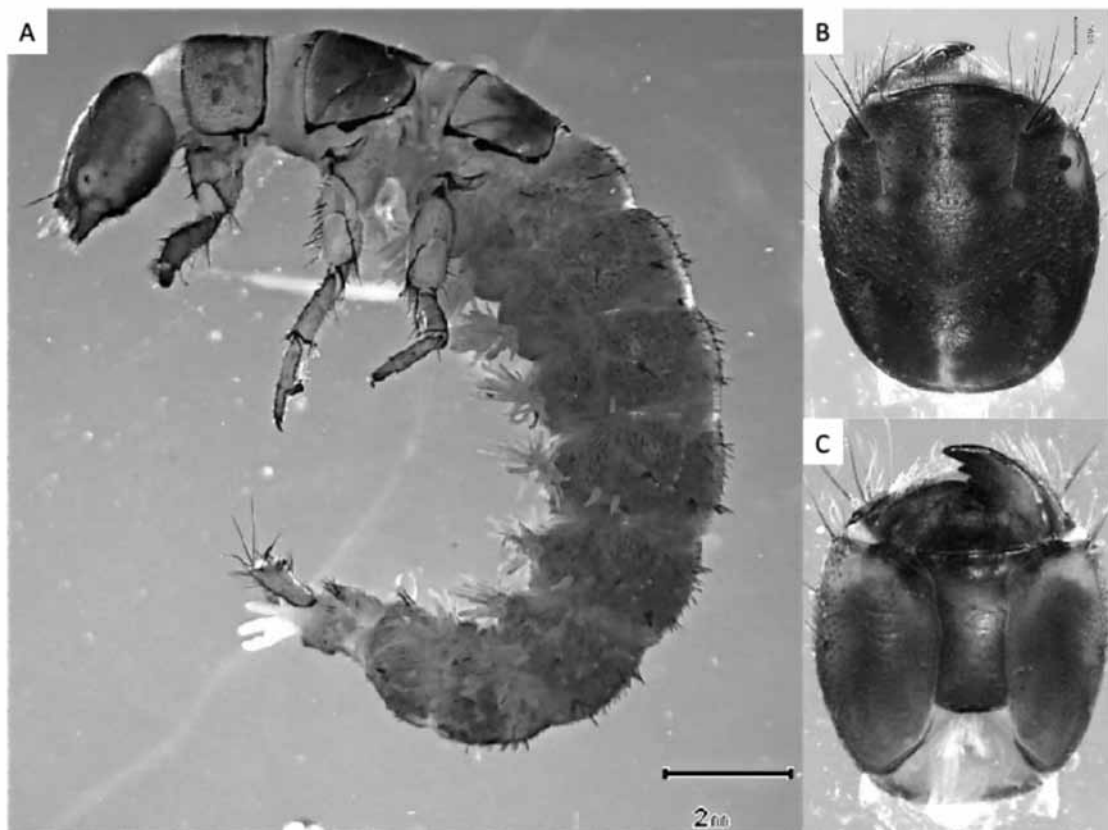


図 2. シロフツヤトビケラ属の一種の幼虫 .RBK-11246
A: 幼虫全形 (側面), B: 頭部背面, C: 頭部腹面 . B・C は同じスケール

背面の咽頭板はほぼ長方形。腹部は櫛状刺毛で被われる。腹部側面の気管鰓はすべて単一棒状。

【注釈】上記の雌成虫個体 (RBK-11248) との C01 遺伝子の相同部分を比較した所、533 塩基中異なるのは 5 塩基であり、99.1% の塩基配列の一致から 2 個体は同一種であると判断することができた。幼虫で遺伝子が解析できた (RBK-11252) もほぼ同じ遺伝子構造であった。

【遺伝子情報 (C01)】

TTGGAAGACTTAGAATAATTTATGCAATAATCTCAATTGGTCTT
TTAGGATTCGTAGTTTGAGGTCATCATATATTTACAGTAGGAATA
GACGTTGACACTCGCGCTATTATACATCTATTACTATAATTATT
GCTATTCCTACAGGAATTAATTTTTCAGTTGACTTGCTAATTTA
AATGGAACCCCTCTCGTATTTAACCCCTCTATTATGAATCTC
GGATTCATCTTTTTATTTACAATTGGAGGACTAACTGGAATCATC
TTATCTAATTCCTTATTGACACTGTCCTTCACGACACCTATTAT
GTAGTTGCTCATTTTCATTATGTCCTATCTATGGGGCAGTATTT
GCCATCATAGCAGGAATACTTCATTGATACCCCTTATTTACAGG
ATTAATATTAACAAAAAATACTTATAATTCAATTTTTTTCCA
TATTTTTAGGTGTAAATTTAATTTTTCCCCAACACTTTCTCG
GTCTTGCTGGTATACCTCGACGTATTTCAGATTACCCAGATTCTT
TTTTATCCTGAAATGTAGTATCTTCCCTGGGATCAATAATCTCTA
TTATTAGAATTATAATCCTAATCTATATCATTTGAGAAAGAATAA
TTAATAAAAAATTAATTATTTTTACCTAATACTACCCCATCAA
NGAAGGCTTCATTTTACCCCTCC

Family Rhyacophilidae ナガレトビケラ科

3 *Rhyacophila* sp.1. ナガレトビケラ属の一種

【検討標本】幼虫, ヌタノ沢 B 沢, 2011-I-26, 司村宜祥, RBK-11255, R594.

【形態】図 3. 頭部は赤みがかった茶褐色で顕著な斑紋はない。頭部は細長く (頭長 HL/ 最大幅 HW)=1.52。頭幅の最大幅は後半にある。前脚腿節の内側に顕著な突起があり、その先端には刺毛が生ずる。気管鰓はない。尾肢鉤爪は無歯、副爪はない。

【注釈】典型的な崖湿地の生息種である。湿った岩盤に貼り付くようにしている状態で採集されることが多い。服部 (2005) では、*Rhyacophila* sp. RM? と扱われている。成虫は未知である。他のナガレトビケラ幼虫にはない前脚腿節の内側に顕著な突起があることから、新種群のナガレトビケラである可能性が高い。今後遺伝子情報での成虫との一致が望

まれる。

【遺伝子情報 (16S)】

CGCCTGTTTATCAAAAACATGGCTTTTGAATATAATTTGAGGTC
TGACCTGCCACTGAGGATTTAAATGGCCGCGGTATTTTGACCGT
GCTAAGGTAGCATAATCATTAGTTTTTTAATTGAAAGCTGGAATG
AAGGGTTGGATGAAAAAGGGACTGCTTTTGAATTATTTTGAAAGA
ATTTTATTTTTAAGTAAAAAGCTTAAATTTTTTTAAAGACGAG
AAGACCCTATAGAGTTTTATATAAGATAAATATTTATCTTTAAGT
ATTTTAACTAAGTGTTTATTTTGTATTTGATTGGGGTGACTAAA
AAATTTGTAGAACTTTTTATTTTAGACCATTATTTATGAAAAA
TTGATCCATAGTTAGTGATTAAGAAAAAATTACCTTAGGGAT
AACAGCGTAATTTTTTTAAGAGTTCAAATCGAAAAAAGATT
GCGACCTCGATGTCGAATAAAGTGANTCATTGGAGTTGTCAGTG
GCAGTTCA

【遺伝子情報に関する注釈】

今回検討したナガレトビケラ科の種に関しては、ミトコンドリア C01 領域での遺伝子検討ができなかった。これは使用したユニバーサルプライマーがあてはまるナガレトビケラの塩基配列に変異があり、プライマーが機能しなかったと推定される。このためナガレトビケラ科ではミトコンドリアの 16S 領域を解析した。ミトコンドリアの 16S も C01 と同様に種間や個体群間において変異が認められる領域で、成虫と幼虫との関係を検討するのには有効であると考えられる。

4 *Rhyacophila* sp.2. ナガレトビケラ属の一種

【検討標本】幼虫, ヌタノ沢 A 沢細流, 2012-VII-9, 司村宜祥, RBK-11262, R597.

【形態】図 4. 頭部は黄色がかかった茶褐色で斑紋はない。頭部は細長い (頭長 HL/ 最大幅 HW)=1.83。頭幅は前半と後半ではほとんど変わらない。前脚腿節末端腹面の刺毛は刺状。気管鰓はない。尾肢鉤爪は二歯、末端の一歯は大きい、もう一歯は小さい。尾肢に副爪はない。

【注釈】細流の生息種。服部 (2005) の検索表では、*Rhyacophila shikotsuensis* シコツナガレトビケラに該当する。本種はシコツナガレトビケラである可能性が極めて高いが種名の確定には遺伝子情報での成虫との一致を待ちたい。

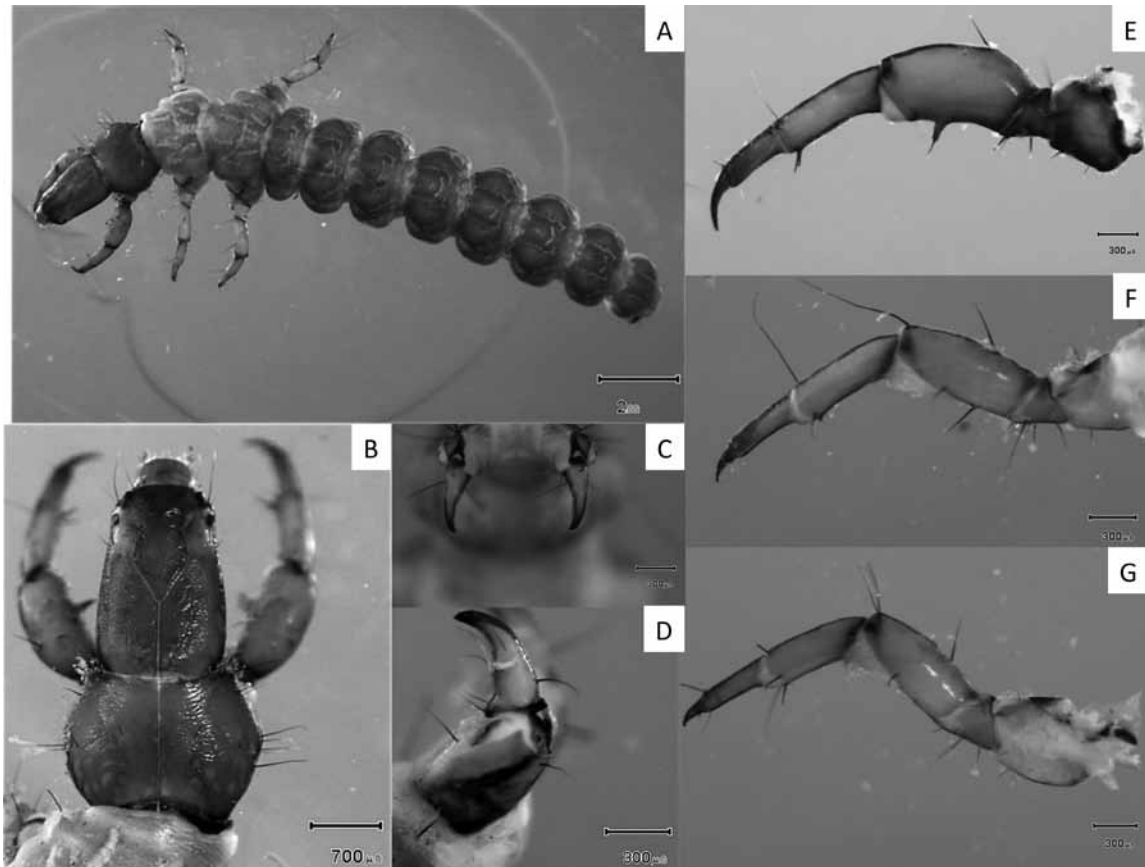


図 3. ナガレトビケラ属の一種の幼虫 (*Rhyacophila* sp.1).RBK-11255

A: 幼虫全形（背面）, B: 頭部・前胸部背面, C: 腹部末端後面, D: 腹部末端尾肢側面, E: 前脚後面, F: 中脚後面, G: 後脚後面

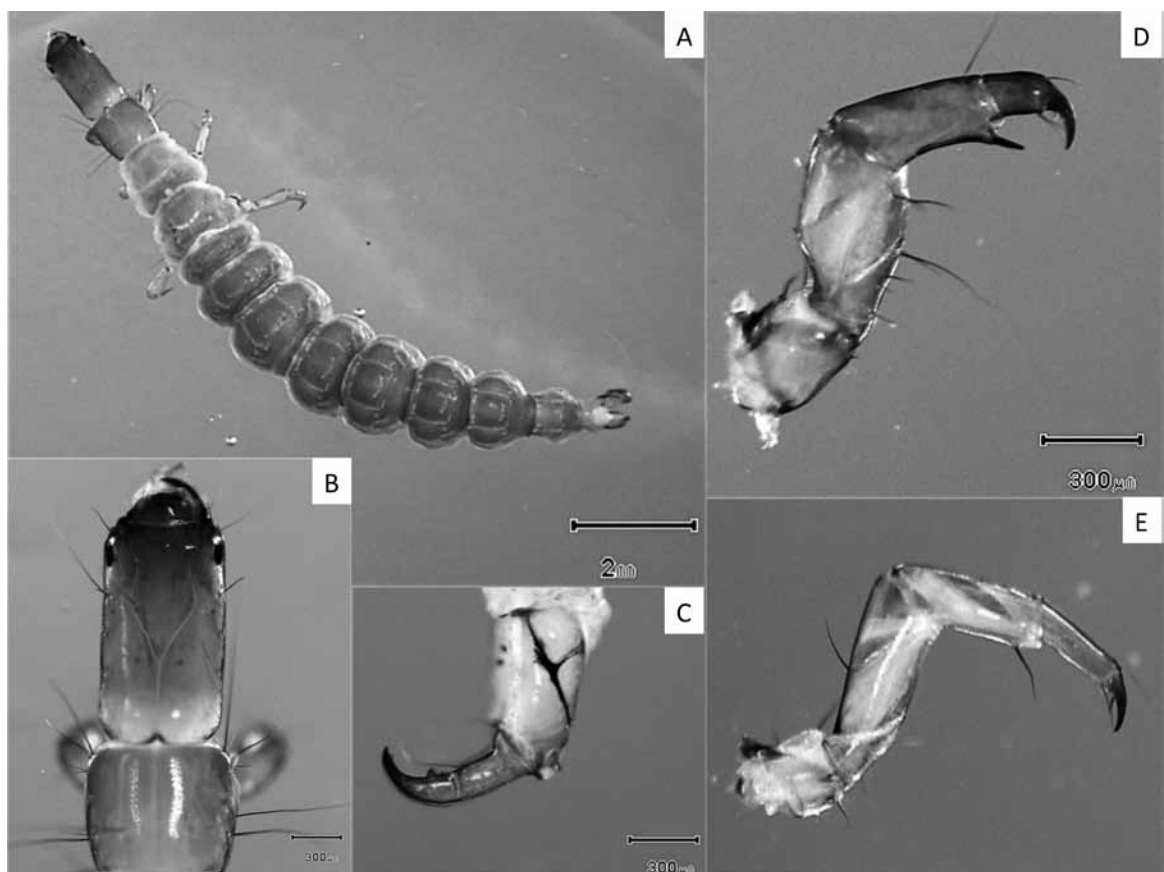


図 4. ナガレトビケラ属の一種の幼虫 (*Rhyacophila* sp.2).RBK-11262

A: 幼虫全形（背面）, B: 頭部・前胸部背面, C: 腹部末端尾肢側面, D: 前脚後面, E: 中脚後面. D・E は同じスケール

【遺伝子情報 (16S)】 AACATGGAGGTGGCAATCTTAAATTT
CAATAAGAACTTAAATTTAAATTACGCTGTTATCCCTAAGGTAA
CTTAATCTATTAATCAGTATTACAGGATCAATAAACTCAAAAATT
TTTGTTAAATTTATAAAAAGTTCAATTAATTTTAAATCACCCC
AATTCAATTACTAAAGCTATAAAATTGTAAATCTTATAAACTTA
AATAATAAGATCTATAGGGTCTTCTCGTCTTTTATAACTATTT
TAGCTTTTTAACTAAAAAATTAAATCTATATTATTAATtTGAA
ACAGTTATTATCTCGTCCAATCATTCCAGTCTTTAATTA
AGACTATTTATTATGCTACCTTCGCACAGTCAAAATACTGCAGCC
CTTCAAATTTAATTTAGTGGGAGATTAGACTTAAATTTATTA
TCAATAAGACATGTTTTTGATAAACAGGCG

5 *Rhyacophila* sp.3. ナガレトビケラ属の一種

【検討標本】 幼虫，ヌタノ沢 B 沢，2012-IX-10，司村宜祥，RBK-11266，R599.

【形態】 図 5. 頭部の地色は、黄色がかった茶褐色であるが頭部前方には顕著な黒色部があり、頭部全体

に複雑な黒い小斑紋がある。頭部は細長くない（頭長 HL/ 最大幅 HW）=1.04、頭幅はほぼ中央で最大幅となる。前・中・後脚の爪の基部には顕著な刺がある。前脚脛節末端後面の刺毛は刺状。気管鰓はない。尾肢鉤爪は二齒。尾肢に副爪はない。尾肢側板の腹面基部は鉤爪状となって突出する。基部キチン板との間は弱くキチン化する。

【注釈】 服部 (2005) の検索表では、*Rhyacophila nakagawai* ナカガワナガレトビケラに該当する。ヌタノ沢では、ナカガワナガレトビケラの成虫がこれまで採集されていないことから種名の確定には遺伝子情報での成虫との一致を待ちたい。

【遺伝子情報 (16S)】

GGTCGCAAACTTAAATTTTCNTAAGAACTTAAATTTAAATTACGC
TGTTATCCCTAAGGTAACCTAATCTAATAATCTATAATATAGGAT
CAATAACTCAAAAATTTTGTTAATAAAATTCAAAAAGTtTGATAA
ATTTTAAATCACCCCAATTAATATTTAAAAATTTAATTTATT
AATAAATTAATAATTTAAATATAAAGATCTAtAGGGTCTTCTCGTC



図 5. ナガレトビケラ属の一種の幼虫 (*Rhyacophila* sp.3).RBK-11255

A: 幼虫全形 (斜め背面), B: 頭部背面, C: 腹部末端側面, D: 前脚後面, E: 中脚後面, F: 後脚後面. E・F は同じスケール

TTTTATAAATATTTAAACTTtTTAATTTAAAAATTAAATCTATT
TAAATAAATgTGAGACAGTTTTATTTCGTCCAATCATTCAATACC
AGTCTTCAATTTAAAGACTATTTATTATGCTACCTTCGCACAGTC
AAAATACTGCAGCCCTTTAAATTTAATTTTCAGTGGGCAGATTA
CTTTAAATTATTAATCAAAAAGACATGTTTTTGATAAA

IV 謝 辞

スタノ沢の現地調査では、石綿進一さん、司村宜祥さんに大変お世話になった。アミメシマトビケラ科、ナガレトビケラ科の分類学的な問題に関しては、野崎隆夫さん、服部壽夫さんから助言をいただいた。東城幸治さん、佐土哲也さんには遺伝子解析に関する手法について教示いただいた。自然環境保全センターの元研究連携課課長山根正伸氏、主任研究員内山佳美氏から調査の協力や貴重な情報をいただいた。ここに記して感謝いたします。

本研究の一部は、公益財団法人とうきゅう環境財団 2012 年度多摩川およびその流域の環境浄化に関する調査・試験研究助成金の助成を受けて行われた。

V 引用文献

- 服部壽夫．（2005）ナガレトビケラ科． 415-437.
日本産水生昆虫 科・属・種への検索。川合禎次・谷田一三（共編）1342pp, 東海大学出版会, 神奈川。
- Johanson, K, A. (2007). Association and description of males, females and larvae of two New Caledonian *Xanthochorema* species (Trichoptera: Hydrobiosidae) based on mitochondrial 16S and COI sequences. Entomological Science. 10: 179-199.
- Tamura, K, Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., Kumar, S. (2011) MEGA5: Molecular evolutionary genetic analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. Molecular Biology and Evolution. 28:2731-2739.
- 谷田一三．（2005）アミメシマトビケラ科． 478-481. 日本産水生昆虫 科・属・種への検索。川合禎次・谷田一三（共編）1342pp, 東海大学出版会, 神奈川。
- Ulmer, G. (1907) Trichopteren. Part.1. Collection of Zoologiques de Baron edm, de Selys Longchamps, Fasc, 6, 1-102.

西丹沢ヌタノ沢のユスリカ科 (Chironomidae)

小林 貞*

Chironomidae of Nutano-sawa, West Tanzawa, Kanagawa Prefecture

Tadashi KOBAYASHI *

要 旨

2010 年 11 月から 2012 年 3 月まで、西丹沢、山北町の中川上流に連なるヌタノ沢で、定期的に、①飼育羽化、②ライトトラップ、③底質からの幼虫の採集、の 3 方法により、ユスリカを採集し、成虫の一部は、永久プレパラートにして、検鏡、同定した。作成した永久プレパラートは 1,647 点で、5 亜科 46 属 106 種が記録された。うち、日本初記録種あるいは希少な種が 15 種に及び、また 1 種が新種「タンザワエリユスリカ」として記載された。

Key words: ユスリカ科 (Chironomidae)、ヌタノ沢、西丹沢

I はじめに

ユスリカ科 (Chironomidae) ほど、地球上あらゆる水域に生息する昆虫はない。幼虫は、河川・湖沼などの陸水はもちろん、海生の種もあり、ヒマラヤやグリーンランドの氷河、pH 1.4 の強酸性の温泉、深さ 50m の湖底など、他の昆虫が生息できないような環境にも生息する。南極から記録されている有翅昆虫はユスリカ科の 2 種だけである (石川良輔 1996)。昨年、衛生動物関係の方から、大震災による宮城県気仙沼市沿岸の陥没で、満潮ごとに海水に浸かる汚泥の堆積した場所から発生し、港湾で作業する漁業者を悩ませているユスリカの同定依頼があり、シオユスリカ *Chironomus salinarius* を同定した。このような場所にもいち早く大繁殖するのもユスリカである。

ところが、ユスリカ科は、成虫の体長は数 mm で、日本最大のオオユスリカでも 10mm ほどしかなく、肉眼での同定はほとんど不可能に近い。また、カのように「害虫」ともいえない。そのために、分類学が遅れ、日本で大きく進展してきたのは、1970 年

代後半以降である。現在、日本では 2000 余種、世界では万を超える種が記録されている。このような、水生昆虫が、環境モニタリングに活用されないわけではなく、日本でもその例は枚挙にいとまがない (例えば Hirabayashi ら 2011 など一連の研究)。

ユスリカを用いての環境アセスメントといっても、全種調査、特定の種を選んだの重金属などに対する耐性調査、河川流域ごとの community 変化、種 (属) に指数を与えての調査など、さまざまな方法がある (Rosenberg 1992)。ここでは、一般によく行われる全種調査を行った。一般に種数が多いほど、環境が多様であることを示す。また、種により幼虫の生息環境が異なることが知られているので、それらを手がかりとして環境を評価することができる、などの利点がある。

特に、今回のように、森林内溪流の調査は、今まであまり行われていなかったもので、その点でも、非常に意義ある研究であった。1 年余の比較的短期間の調査だったが、106 種、うち未記載種が少なくとも 1 種、そして新種 1 種を記録した。

ユスリカ科は現在世界で 8 亜科に分けられている

* 〒214-0034 神奈川県川崎市多摩区三田 3-2-4-303

が、うち、日本産はイソユスリカ亜科、ケブカユスリカ亜科、モンユスリカ亜科、ヤマユスリカ亜科、オオヤマユスリカ亜科、エリユスリカ亜科、ユスリカ亜科（ユスリカ族とヒゲユスリカ族に分ける）の7亜科が知られている。今回の調査では、イソ、オオヤマを除く5亜科が観察された。

II 調査法

ライトトラップ（LED 捕虫灯 CR-1007 有．コスモ理研）による採集（担当石綿）、底質からの幼虫の拾い出し（担当司村）、底質からの飼育羽化成虫の採取（担当小林）の3方法により原則月1回採集を行った。飼育羽化は、直径30cm、深さ15cmの円形

水槽に底質約1ℓを入れて水を入れ、エアポンプで通気し、水槽の口を40メッシュのナイロンネットで被い、毎日羽化する成虫を吸虫管で採取した。1つのセットで約2ヶ月羽化成虫を採集した。標本はエタノール保存し、日本ユスリカ研究会編「1-2 標本の作り方」により、永久プレパラートにして検鏡観察、同定、記録した。プレパラートはすべて、国立科博の佐々コレクションの一部として寄託した。

III 結果と考察

永久プレパラートにした亜科（族）別成虫数は以下のとおりだった。

モンユスリカ亜科 Tanypodinae 144 点、ケ

表1 ヌタノ沢のユスリカ

TAN: Tanypodinae モンユスリカ亜科, POD: Podonominae ケブカユスリカ亜科, DIA: Diamesinae ヤマユスリカ亜科, ORT: Orthocladiinae エリユスリカ亜科, CHI-C: Chironominae Chironomini ユスリカ亜科ユスリカ族, CHI-T: Chironominae Tanytarsini ユスリカ亜科ヒゲユスリカ族

亜科	学名	和名	採集法		
			飼育	ライト	幼虫
TAN	<i>Ablabesmyia longistyla</i> Fittkau, 1962	オナガタンダラヒメユスリカ	R	LT	
	<i>Ablabesmyia</i> sp.	ヒメユスリカ属の一種		LT	L
	<i>Alotanypus</i> sp.	ミスコケヌマユスリカ属の一種			L
	<i>Conchapelopia esakiana</i> (Tokunaga, 1939)	キソヒメユスリカ	R		
	<i>Conchapelopia quatuormaculata</i> Fittkau, 1957	セボシヒメユスリカ	R		L
	<i>Macropelopia paranebulosa</i> Fittkau, 1962	ホカシヌマユスリカ		LT	L
	<i>Natarsia</i> sp.	モンヌマユスリカ属の一種		LT	
	<i>Paramerina cingulata</i> (Walker, 1856)	オヒメユスリカ	R		
	<i>Paramerina divisa</i> (Walker, 1856)	コシアキヒメユスリカ	R		L
	<i>Procladius culiciformis</i> (Linnaeus, 1767)	アミカユスリカ		LT	L
	<i>Psectrotanypus orientalis</i> Fittkau, 1962	クロハヌマユスリカ	R		
	<i>Trissopelopia longimana</i> (Staeger, 1839)	ハヤセヒメユスリカ	R		L
	<i>Zavrelimyia monticola</i> (Tokunaga, 1937)	ヤマヒメユスリカ	R		L
POD	<i>Boreochlus thienemanni</i> Edwards, 1938	ティネマンキタケブカユスリカ	R	LT	
	<i>Paraboreochlus okinawanus</i> Kobayashi et Kuranishi, 1999	オキナワニセキタケブカユスリカ		LT	
DIA	<i>Diamesa plumicornis</i> Tokunaga, 1936	フサケヤマユスリカ	R	LT	L
	<i>Pagastia</i> sp.	オオユキユスリカ属の一種			L
ORT	<i>Brillia japonica</i> Tokunaga, 1939	ニッポンケブカエリユスリカ	R		
	○ <i>Bryophaenocladus psilacrus</i> Sæther, 1982	ケナシマドオエリユスリカ(新称)		LT	
	<i>Bryophaenocladus vernalis</i> (Goetghebuer, 1913)	ハルマドオエリユスリカ(新称)		LT	
	<i>Chaetocladius agnolobus</i> Makarchenko et Makarchenko, 2009	オオトゲツメユスリカ(新称)		LT	
	<i>Chasmatonotus akanseptimus</i> (Sasa et Kamimura, 1987)	アカンヤマユスリカ(新称)		LT	
	<i>Corynoneura lacustris</i> Edwards, 1924	ミスウミコナユスリカ(新称)	R	LT	
	<i>Corynoneura lobata</i> Edwards, 1924	クロムネコナユスリカ	R	LT	
	<i>Corynoneura</i> sp.	コナユスリカ属の一種	R	LT	L
	<i>Cricotopus (Pseudocricotopus) tamadigitus</i> Sasa, 1981	ホリケツツユスリカ	R		
	<i>Cricotopus</i> sp.	ツヤユスリカ属の一種		LT	L
	<i>Diplocladius</i> sp.	フタユスリカ属の一種			L
	<i>Epoicocladus</i> sp.	エラブリユスリカ属の一種			L
	<i>Eukiefferiella coerulescens</i> (Kieffer, 1926)	テンマクエリユスリカ	R		
	<i>Eukiefferiella yasunoi</i> Sasa, 1979	ヤスノテンマクエリユスリカ	R	LT	
	<i>Eukiefferiella</i> sp.	テンマクエリユスリカ属の一種		LT	L
	<i>Heleniella osarumaculata</i> Sasa, 1988	ウンモンエリユスリカ		LT	
	<i>Heleniella</i> sp.	ウンモンエリユスリカ属の一種		LT	
	○ <i>Hydrobaenus conformis</i> (Holmgren, 1869)	トガリフユスリカ		LT	
	<i>Hydrobaenus monodentatus</i> Makarchenko et Makarchenko, 2005	ヒトハフユスリカ(新称)		LT	
	<i>Hydrobaenus</i> ?sp.	フユスリカ属(?)の一種		LT	
	<i>Krenosmittia</i> sp.	シミスビロウトエリユスリカ属の一種			L
	<i>Limnophyes edwardsi</i> Sæther, 1990	エドワードムナトゲユスリカ(新称)		LT	
	<i>Limnophyes gurgicola</i> (Edwards, 1929)	ウスマキムナトゲユスリカ(新称)		LT	
	<i>Limnophyes minimus</i> (Meigen, 1818)	コムナトゲユスリカ	R	LT	
	<i>Limnophyes natalensis</i> (Kieffer, 1914)	ナタレンムナトゲユスリカ(新称)	R		
	<i>Limnophyes</i> sp.	ムナトゲユスリカ属の一種	R		

	○ <i>Metriocnemus brusti</i> Saether, 1989	ブラストケバネユスリカ(新称)	R	LT	
	<i>Neobrylia longistyla</i> Kawai, 1991	ホソケバネユスリカ(新称)	R	LT	L
	○ <i>Orthocladus filamentosa</i> (Tokunaga, 1939)	イトユスリカ(新称)	R		
	<i>Orthocladus glabripennis</i> (Goetghebuer, 1921)	ヒロバネユスリカ	R	LT	L
	<i>Orthocladus kanii</i> (Tokunaga, 1939)	カネユスリカ	R	LT	
	○ <i>Orthocladus kuroijeus</i> Sasa, 1996	クロバネユスリカ(新称)		LT	
	○ <i>Orthocladus piloculatus</i> Kobayashi, 2012	タンザワユスリカ(新称)		LT	
	○ <i>Orthocladus setosus</i> Makarchenko et Makarchenko, 2006	トゲユスリカ(新称)		LT	
	<i>Orthocladus (Eudactylocladius) sp. A</i>	ユスリカ属の一種A	R		
	<i>Orthocladus (Eudactylocladius) sp. B</i>	ユスリカ属の一種B	R		
	<i>Parachaeocladus sp.</i>	ケナカケバネユスリカ			L
	○ <i>Parametriocnemus borealpinus</i> Gouin, 1942	キタニセケバネユスリカ(新称)		LT	
	○ <i>Parametriocnemus kurilensis</i> Makarchenko et Makarchenko, 2006	チシマニセケバネユスリカ(新称)	R		
	<i>Parametriocnemus stylatus</i> (Kieffer, 1924)	キヨロケバネユスリカ	R	LT	L
	<i>Paratrachocladus rufiventris</i> (Meigen, 1930)	クロツヤユスリカ	R	LT	
	<i>Paratrissocladus sp.</i>	ニセサンカクユスリカ属(新称)の一種			L
	○ <i>Parorthocladus concretus</i> Liu et Wang, 2005	チチミトオユスリカ(新称)		LT	L
	○ <i>Prosmittia rectangularis</i> Tuiskunen, 1985	カクキタビロウトユスリカ(新称)		LT	
	○ <i>Pseudorthocladus curtistylus</i> Goetghebuer, 1921	タンカクニセユスリカ(新称)		LT	
	○ <i>Pseudorthocladus oyabecrassus</i> Sasa, Kawai et Ueno, 1988	オヤベニセユスリカ		LT	
	<i>Pseudosmittia forcipata</i> (Goetghebuer, 1921)	ニセビロウトユスリカ属		LT	
	<i>Pseudosmittia nishiharaensis</i> Sasa et Hasegawa, 1988	ミナミニセビロウトユスリカ		LT	
	<i>Pseudosmittia topei</i> Lehmann, 1979	トペイニセビロウトユスリカ(新称)		LT	
	<i>Rheocricotopus chalybeatus</i> (Edwards, 1929)	カタシロナガレツヤユスリカ	R	LT	
	<i>Rheocricotopus kamimonji</i> Sasa et Hirabayashi, 1993	カミモンジナガレツヤユスリカ	R	LT	
	<i>Rheocricotopus sp.</i>	ナガレツヤユスリカ属の一種		LT	L
	<i>Smittia aterrima</i> (Meigen, 1818)	ビロウトユスリカ		LT	
	<i>Smittia kojimagrandis</i> Sasa, 1989	コジマビロウトユスリカ(新称)	R	LT	
	<i>Smittia pratorum</i> (Goetghebuer, 1927)	ヒメクロユスリカ		LT	
	<i>Smittia sp.</i>	ビロウトユスリカ属の一種		LT	
	<i>Stilocladus sp. A</i>	コケユスリカ属の一種	R	LT	
	<i>Synorthocladus sp.</i>	ムナクホユスリカ属の一種		LT	
	<i>Thienemanniella sp.</i>	スカユスリカ属の一種	R	LT	L
	○ <i>Tokunagaia kamicedea</i> (Sasa et Hirabayashi, 1993)	カミコウチクナガユスリカ(新称)		LT	
	<i>Tvetenia tamaflava</i> (Sasa, 1981)	タマニセテンマクユスリカ	R	LT	L
CHI	<i>Chironomus flavipilum</i> Tokunaga, 1940	ヒシモンユスリカ	R		
	<i>Cryptochironomus sp.</i>	カマカタユスリカ属の一種			L
	<i>Demicryptochironomus sp.</i>	スジカマカタユスリカ属の一種			L
	<i>Harnischia sp.</i>	コブナシユスリカ属の一種			L
	<i>Paracadoopelma nudiappendiculata</i> Kawai, 1991	ケバコブユスリカ属	R		
	<i>Polypedium (Tripodura) tamahinoense</i> Sasa et Ichimori, 1983	タマビノハモンユスリカ(新称)	R		
	<i>Polypedium (Tripodura) unifascium</i> (Tokunaga, 1938)	ヒロオビハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium (Tripodura) sp.</i>	ミゾオハモンユスリカ属の一種	R		
	<i>Polypedium (Uresipedium) convictum</i> (Walker, 1856)	キミドリハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium (Uresipedium) cultellatum</i> Goetghebuer, 1931	ウスイロハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium (Uresipedium) hiroshimaense</i> Kawai et Sasa, 1985	ニセキミドリハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium (Uresipedium) pedatum</i> Townes, 1945	ウスグロハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium arundineti</i> Goetghebuer, 1921	キオビハモンユスリカ		LT	
	<i>Polypedium asakawaense</i> Sasa, 1980	アサカワハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium kyotoensis</i> (Tokunaga, 1938)	ミヤコハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium pedestre</i> (Meigen, 1860)	ソメワケハモンユスリカ	R	LT	
	<i>Polypedium tamaharaki</i> Sasa, 1983	ニセソメワケハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium toganudum</i> Sasa et Okazawa, 1991	トカケナシハモンユスリカ(新称)	R		
	<i>Polypedium tsukubaense</i> (Sasa, 1979)	ツクバハモンユスリカ	R		
	<i>Polypedium sp.</i>	ハモンユスリカ属一種	R		L
	<i>Sergentia sp.</i>	キザキユスリカ属の一種			L
	<i>Stenochironomus satorui</i> (Tokunaga et Kuroda, 1936)	フタオビユスリカ		LT	L
	<i>Stictochironomus akizukii</i> (Tokunaga, 1940)	アキヅユスリカ		LT	
CHI-T	<i>Cladotanytarsus vanderwulpi</i> (Edwards, 1929)	ムナグロエタヒゲユスリカ	R		L
	<i>Micropsectra chuzelonga</i> Sasa, 1984	ニコウナガスネユスリカ(新称)	R	LT	
	<i>Micropsectra tamaprima</i> Sasa, 1980	タマナガスネユスリカ	R	LT	L
	<i>Rheotanytarsus sp.</i>	ナガレユスリカ属の一種			L
	<i>Tanytarsus shouautumnalis</i> Sasa, 1988	アキヒゲユスリカ(新称)	R	LT	
	<i>Tanytarsus shoudigitus</i> Sasa, 1989	ショウユビヒゲユスリカ(新称)	R		
	<i>Tanytarsus tushimatneous</i> Sasa & Suzuki, 1999	ツシマヒゲユスリカ(新称)	R		
	○ <i>Tanytarsus sp. Nutanosawa</i> (未記載種)	ヒゲユスリカ属の一種(未記載種)	R		
	<i>Tanytarsus sp.</i>	ヒゲユスリカ属の一種	R		L
種数	106		58	59	33

ブカユスリカ亜科 Podonominae 3 点、ヤマユスリカ亜科 Diamesinae 3 点、ユスリカ亜科 Orthocladiinae 608 点、ユスリカ亜科 Chironominae 889 点(うちユスリカ族 Chironomini

522 点、ヒゲユスリカ族 Tanytarsini 367 点)、合計 1,647 点。採集された亜科別個体数は、およそこれに比例的である。すなわち、ユスリカ亜科とユスリカ亜科が大半を占め、次いでモンユスリカ

表2 底質からのみ採集された属

亜科	属名	和名
TAN	<i>Alotanyus</i> sp.	ミズゴケヌマユスリカ属
DIA	<i>Pagastia</i> sp.	オオユスリカ属
ORT	<i>Diplocladius</i> sp.	フタユスリカ属
	<i>Epoicocladius</i> sp.	エラノリユスリカ属
	<i>Krenosmittia</i> sp.	シミズビロウドエリユスリカ属
	<i>Parachaeotcladius</i> sp.	ニセトゲアシエリユスリカ属
	<i>Paratrisocladius</i> sp.	ニセサンカクエリユスリカ属 (新称)
CHI	<i>Cryptochironomus</i> sp.	カマガタユスリカ属
	<i>Demicryptochironomus</i> sp.	スジカマガタユスリカ属
	<i>Harnischia</i> sp.	コブナシユスリカ属
	<i>Sergentia</i> sp.	キザキユスリカ属
CHI-T	<i>Rheotanytarsus</i> sp.	ナガレユスリカ属

亜科、あとの2亜科はわずかだった。

5亜科46属106種(一部分類群)が記録された(表1)。亜科別ではモンユスリカ亜科が13種、ケブカユスリカ亜科2種、ヤマユスリカ亜科2種、エリユスリカ亜科62種、そしてユスリカ亜科32種(うち、ユスリカ族24種、ヒゲユスリカ族8種)だった。また、採集法別では、飼育羽化によって58種、ライトトラップで59種、幼虫では35種(属)が採集された。

採集法別による採集率(採集方法による種数/全種数)を求めると、飼育羽化で(58/106)55%、ライトトラップで(59/106)56%、底質からの幼虫の拾い

表3 飼育羽化の結果

亜科	種 名	和 名	沢	2010												2011												Total	
				N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F										
TAN	<i>Ablabesmyia longistyla</i>	オナカダンタヒムスリカ	A																								0		
			B										1														1	1	
	<i>Conchapelopia esakiana</i>	キノヒムスリカ	A										2														2		
			B		1					1	1		1		5	4	1										14	16	
	<i>Conchapelopia quatuormaculata</i>	セホシヒムスリカ	A													3		1	1								1	6	
TAN	<i>Paramerina cingulata</i>	オビヒムスリカ	A																								1		
			B										4														1	5	
	<i>Paramerina divisa</i>	コシアキヒムスリカ	A					1	8																		1	10	
			B									5							2								7	17	
	<i>Psectrotanyus orientalis</i>	クロハヌムスリカ	A					1																			1		
TAN	<i>Trissopelopia longimana</i>	ハヤセヒムスリカ	A													3											3		
			B																								0	3	
	<i>Zavrelimyia monticola</i>	ヤマヒムスリカ	A					12	19																		31		
			B					1																			1	32	
	<i>Pentaneurini</i> sp.	ヤマヒムスリカ族の一種	A																								0		
POD	<i>Boreochlus thienemanni</i>	ティーネマンキタフカユスリカ	A																								1	1	
			B				1																				0		
	<i>Diamesa plumicornis</i>	フサケヤマユスリカ	A																								1	1	
			B																								0	1	
	DIA	<i>Brillia japonica</i>	ニッポンツカエリユスリカ	A		1	1												2									4	
			B		3				3	1								29	7	3	4						2	52	56
<i>Corynoneura lacustris</i>		ミズウミコナユスリカ(新称)	A					3																			3		
			B			1	23	8	2																		34	37	
<i>Corynoneura lobata</i>		クロムネコナユスリカ	A						3																		3		
ORT	<i>Corynoneura</i> sp.	コナユスリカ属の一種	A				1	1																			2	5	
			B																								0		
	<i>Cricotopus (Pseudocricotopus) tamadigitus</i>	ホトケツヤユスリカ	A					2																			2	2	
			B									1															10	11	
	<i>Eukiefferiella coerulescens</i>	テンマクエリユスリカ	A					2		2																	4		
ORT	<i>Eukiefferiella yasunoi</i>	ヤス/テンマクエリユスリカ	A		1	2			1																		2	6	
			B		15	8	8														1	1	2				35	41	
	<i>Eukiefferiella</i> sp.	テンマクエリユスリカ属の一種	A																								0		
			B					2	1																		3	3	
	<i>Limnophyes minimus</i>	コムナツケユスリカ	A																								0		
ORT	<i>Limnophyes natalensis</i>	ナレムナツケユスリカ(新称)	A																								1	1	
			B															1									1	1	
	<i>Limnophyes</i> sp.	ムナツケユスリカ属の一種	A																								0		
			B				1																				1	1	
	<i>Metriocnemus brusti</i>	ブラストケハネユスリカ(新称)	A									3															3		
ORT	<i>Neobrylia longistyla</i>	ニイヅマホソツカエリユスリカ	A								1																1		
			B																								0	1	
	<i>Orthocladus filamentosa</i>	イトエリユスリカ(新称)	A		1																						1		
			B					1																			1	2	
	<i>Orthocladus glabripennis</i>	ヒロハネユスリカ	A			1																					11	12	
ORT	<i>Orthocladus kanii</i>	カニエリユスリカ	A		1																						1		
			B																								0	1	
	<i>Orthocladus</i> sp. A	エリユスリカ属の一種A	A							3										1							4		
			B				1																				1	5	
	<i>Orthocladus</i> sp. B	エリユスリカ属の一種B	A																								0		
ORT	<i>Parametriocnemus kurilensis</i>	チシマニセケハネユスリカ(新称)	A																								1	1	
			B																								0		
	<i>Parametriocnemus stylatus</i>	キヨロケハネユスリカ	A					3																			3		
			B				9	3																			8	20	23
	<i>Paratrichocladus rufiventris</i>	クロツヤエリユスリカ	A													3			4								7		
ORT	<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>	カシシロナカツヤユスリカ	A							6																	0	7	
			B																								0	6	
	<i>Rheocricotopus kamimorji</i>	カミモンシナカツヤユスリカ	A					2	1																		1	4	
			B					1	3																		4	8	
	<i>Stilocladus</i> sp.	コケエリユスリカ属の一種	A																								0		
ORT	<i>Thienemanniella</i> sp.	スエリユスリカ属の一種	A																								2	2	
			B				1																				1		
	<i>Tvetenia tamaflava</i>	タマニセツマクエリユスリカ	A					1		1																	3		
			B		3			4	3																		1	11	14

総括的にいえる特徴は、①エリユスリカ亜科が 62 種で、ユスリカ亜科の 32 種に比べて、かなり多いが、これは調査地が流水環境のために、流水生の種が多いエリユスリカ亜科が多かったためと考えら

れる。②日本初記録あるいは希少種が15種もあったこと(表1)。調査地のような環境が、過去にあまり調査されていなかったためと思われる。初記録の種は多くがロシア極東で記載された種だったが、これはヌタノ沢のユスリカ相には北方系の要素が含まれることを示している。③新種記載された種が1種、タンザワエリユスリカ *Orthocladius piloculatus*、未記載種が1種採集されたこと(後述)。④山地溪流性のケブカユスリカ亜科 Podonominae とヤマユスリカ亜科 Diamesinae が予想外に少なく、それぞれ2種で個体数も僅少であったこと。これは、ヌタノ沢が大きな礫が多く急峻で、あきらかに源流型の溪流ではあるが、気候帯は暖温帯であり、標高

CHI	<i>Orthocladus</i> sp. B	エリユスリカ属の一種B	A															0		
			B				1											1		
	<i>Parametricnemus kurlensis</i>	チシマニセハネエリユスリカ(新称)	A															0		
			B			1								1				2		
	<i>Parametricnemus stylatus</i>	キロカハネエリユスリカ	A				3											3		
			B				9	3								8	20	23		
	<i>Paratrachocladus rufiventris</i>	クロツキエリユスリカ	A								3			4				7		
			B															0		
	<i>Rheocricotopus chalybeatus</i>	カタシロナカレツキユスリカ	A					6										6		
			B															0		
<i>Rheocricotopus kamimoriji</i>	カミモンシナカレツキユスリカ	A				2	1									1	4	4		
		B					1	3										4		
<i>Stilocladus</i> sp.	コケエリユスリカ属の一種	A																0		
		B					1								1			2		
<i>Thienemanniella</i> sp.	スクユスリカ属の一種	A																0		
		B																1		
<i>Tvetenia tamaflava</i>	タマニセテンマクエリユスリカ	A				1		1						1				3		
		B				3		4	3								1	11		
Orthocladinae sp.	エリユスリカ亜科の一種	A			1		9		4	1	1							16		
		B			7	1			5	5				2	1	2		23		
CHI-T	<i>Chironomus flaviplumus</i>	ヒシモンユスリカ	A												2			2		
			B															53		
	<i>Paracladoelma nudipendiculata</i>	ハタカハコユスリカ(新称)	A															0		
			B													10		10		
	<i>Polypedium (T.) unifascium</i>	ヒロオビハモンユスリカ	A						1									1		
			B						9				20	41	98	7		175		
	<i>Polypedium (T.) sp.</i>	ミツオハモンユスリカ属の一種	A															0		
			B						1	1					2			4		
	<i>Polypedium asakawaense</i>	アサカハモンユスリカ	A										3					3		
			B															0		
<i>Polypedium convictum</i>	キミドリハモンユスリカ	A				1											1			
		B															0			
<i>Polypedium cultellatum</i>	ウスイロハモンユスリカ	A				1											1			
		B															0			
<i>Polypedium hiroshimaense</i>	ニセキミドリハモンユスリカ	A						2		1							3			
		B															0			
<i>Polypedium kyotoensis</i>	ミヤコムモンユスリカ	A															0			
		B											1				1			
<i>Polypedium pedatum</i>	ウスグロハモンユスリカ	A					2	11	8					2	2		1	26		
		B					4		12	3				12	6		6	43		
<i>Polypedium pedestre</i>	ソマゲクハモンユスリカ	A			21		4	2	132		6			92	4			261		
		B						3	4	8	1		2	1	25	3		47		
<i>Polypedium tamaharaki</i>	ニセソマゲクユスリカ	A								39	36				1			76		
		B							5	5	1				2			13		
<i>Polypedium tamahinoense</i>	タマヒノハモンユスリカ(新称)	A															0			
		B							1									1		
<i>Polypedium toganudum</i>	トガケナシハモンユスリカ(新称)	A															0			
		B										19						19		
<i>Polypedium tsukubaense</i>	ツクバハモンユスリカ	A						1	203	15	24			20	6			269		
		B						223		2	95	7		2	3	8	84	351		
<i>Polypedium</i> sp.	ハモンユスリカ属の一種	A																0		
		B							1	1					2			4		
<i>Chironomini</i> sp.	ユスリカ族の一種	A												1				1		
		B							1									1		
CHI-T	<i>Cladotanytarsus vanderwulpi</i>	ムナグロエダヒゲユスリカ	A															0		
			B												1			4		
	<i>Cladotanytarsus</i> sp. nov. (未記載種)	エダヒゲユスリカ属の一種	A															0		
			B															1		
	<i>Micropsectra chezelonga</i>	ニッコウナガスネユスリカ(新称)	A														1	1		
			B														8	9		
	<i>Micropsectra tamaprima</i>	タマナガスネユスリカ(新称)	A			2	18		25	8	35	15			3	2		5	113	
			B			18	13	93	65	237	26				5	14	50	96	102	
	<i>Tanytarsus shouautumnalis</i>	アキヒゲユスリカ(新称)	A																0	
			B										19	1					20	
<i>Tanytarsus shoudigitus</i>	ショウユビヒゲユスリカ(新称)	A																1		
		B												2				2		
<i>Tanytarsus tusinatneous</i>	ツシマヒゲユスリカ(新称)	A						6	3									9		
		B													1	3		4		
<i>Tanytarsus</i> sp. nov. (未記載種)	ヒゲユスリカ属の一種	A																1		
		B																0		
<i>Tanytarsus</i> sp.	ヒゲユスリカ属の一種	A																0		
		B								3								3		
<i>Tanytarsini</i> sp.	ヒゲユスリカ族の一種	A																0		
		B								2	2							4		
	65																			
		A		29	21	28	61	443	88	52	2	0	16	0	118	21	3	0	34	916
		B		259	33	148	138	363	49	0	105	6	50	167	515	42	57	101	137	2170

500-600mの低山帯にあるため、高山帯、亜高山帯の溪流とは環境を異にするためと考えられる。⑤飼育羽化は水槽（止水環境）を用いているので、エリユスリカ亜科のような流水生の種が多い亜科は成育しにくいのではないかとと思われる。そのために、エリユスリカ亜科の種数が飼育羽化では相対的に少なく、ライトトラップでは多い結果になったと考えられる。

飼育羽化の沢別、月別の羽化結果を表3に示した。A沢から50分類群916個体、B沢からは57分類群2,170個体が採集された。B沢の方が分類群、個体数ともに多かった。

IV 新種 タンザワエリユスリカ *Orthocladius piloculatus* Kobayashi, 2012 について

ライトトラップによって、雄成虫17個体が2010年12月16日、B沢（上）で採集された。体長2mm半から3mmほどの黒い成虫である。検鏡の結果、交尾器（図1）、翅、その他の特徴は、どう見ても、明らかにエリユスリカ属（*Orthocladius*）の亜属 *Euorthocladius* であることを示していた。一見して、冬期によく見られるカニエリユスリカ *O.(E.) kanii* (Tokunaga, 1939) によく似ていた。ところが、なんと、複眼の個眼の間に長い毛がたくさん生えている（図2）。エリユスリカ属の成虫の複眼には毛はない（‘eye bare’、あってもごく短い微毛）のが特徴のひとつとされている（図3）。複眼の毛の有無は属（例えばツヤユスリカ属 *Cricotopus* は‘eye hairy’である）の重要なkeyのひとつである。この標本で、複眼に毛がないと仮定して、いくつかの検索表をたどってみると、どの検索表でもエリユスリカ属に落ちた。そこで、できるだけ多くのエリユスリカの文献で、複眼に毛のある種があるかを探してみた。が、そのような種は全くない。もし、これを「エリユスリカ属」として発表すれば、「複眼に毛はない」という従来の属の定義に重い修正を加えることになる。そこで、2011年8月ごろ、ユスリカ分類学の世界的権威、ノルウェー・ベルゲン大学名誉教授のセーザー（O. A. Sæther）博士に尋ねてみた。数回のやりとりの後、やはり、これはエリユスリカ属の新種であるとのこと、そして、種小名は



図1 タンザワエリユスリカ *Orthocladius piloculatus* の交尾器

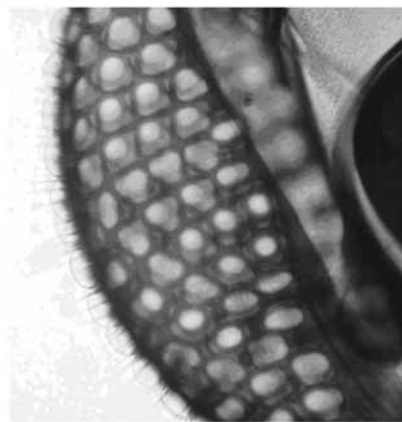


図2. タンザワエリユスリカの複眼

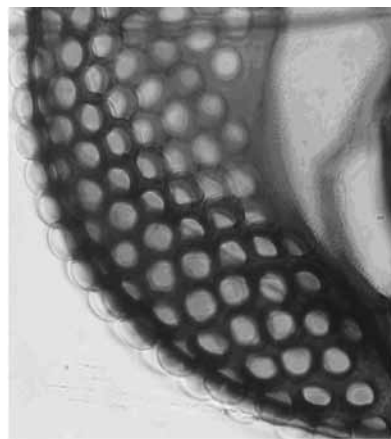


図3 カニエリユスリカ *Orthocladius kanii* の複眼

「目に毛がある」という意味の *piloculatus* が良いだろうとの返事までもらった。つまり、この学名はセーザー博士が名付け親である。因みに、博士はその半年後、2012年1月に（享年74才）逝去された。論文は、2012年3月、Zootaxa 誌 3230号に掲載された。タイプ17点は国立科博に寄託した。石綿、司

村岡氏の協力で、雌成虫、さなぎ、幼虫の採集を試みたが、成功していない。

V 未記載種 ヒゲユスリカ属の一種 *Tanytarsus* sp. Nutanosawa について

通常、ヒゲユスリカ属雄成虫の尾針背側には、数個の小さなトゲのかたまり (cluster of spinules) がほぼ1列、あるいは不規則に並んでいるが、この種は、エダヒゲユスリカ属 (*Cladotanytarsus*) のようにトゲのかたまりの数が多く、不規則に散在している (図4)。エダヒゲでは中底節突起の毛が途中で枝分かれするが、この標本では枝分かれがないのでヒゲユスリカ属 (*Tanytarsus*) である。2011年と12年のそれぞれ春に、飼育羽化によって、A沢から雄4、雌3個体、B沢から雄10個体、雌8個体が採集された。今後の詳細な検討が必要である。

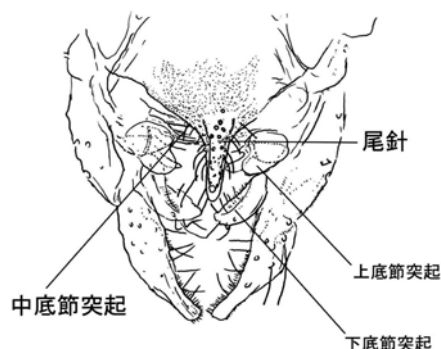


図4 ヒゲユスリカ属の一種 *Tanytarsus* sp. Nutanosawa の交尾器

VI 謝 辞

貴重な調査の機会と、財政的支援を与えられた神奈川県自然環境保全センターおよび、元研究連携課課長山根正伸様、主任研究員内山佳美様に深甚の謝意を表します。また、同じ調査メンバーとして活動

された石綿進一様、司村宜祥様の支えがなければ、この研究は成しえませんでした。また、野崎隆夫様には、IT関連で多くの懇切な助言をいただきました。ここに心からの御礼を申し上げます。Ole A. Sæther 博士には、多くの貴重なご教示をいただきました。ここに深い謝意を表し、博士のご冥福をお祈りします。

VII 参考文献

- 石川良輔 (1996) 昆虫の誕生 中公新書 210pp. 中央公論社, 東京.
- Kobayashi, T. (2012) A new distinctive species of the genus *Orthocladius* with hairy eyes from Japan (Diptera: Chironomidae). *Zotaxa* 3230: 52-58.
- Hirabayashi, K., K. Yoshizawa, N. Yosid, K. Ariizumi & F. Kazama (2011) Population dynamics of chironomid larvae in a eutrophic-mesotrophic lake, Lake Kawaguchi, Japan. *Contemporary Chironomid Studies. Proceedings of the 17th International Symposium on Chironomidae* (eds. Wang, X. & W. Liu) 296-307.
- 日本ユスリカ研究会 (編) (2010) 図説日本のユスリカ. 文一総合出版, 東京, 353pp.
- Rosenberg, D. M. (1993) Freshwater biomonitoring and Chironomidae. In: (eds.: W. J. van de Bund and M. H. S. Kraak) *Proceedings of the 11th International Symposium on Chironomidae*. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 26 (2-4): 101-122.
- Tokunaga, M. (1939) Chironomidae from Japan (Diptera) XI. New or little-known midges, with special reference to the metamorphoses of torrential species. *Philippine Journal of Science* 69 (3): 297-345.

