

図7 異なる濃度のカルバリル (0,5,10,15,20 μg/l) を含んだ対照水 (フサカのカイロモンを含まない) とカイロモン水 (カイロモンを含む) で飼育されたミジンコ (*Daphnia pulex*) の成長 (縦棒は標準誤差 (SE) を示す)

ても、成長に影響が出ないような低濃度のカルバリル (1 μg/l) が、カイロモンがあればミジンコの形態変化 (この場合は尖頭形成) に影響を与えることが確認された (文献9) (図6)。

極最近、殺虫剤によるミジンコの形態変化の誘導がオーストラリアのBentley (文献10) によっても確認された。かれは *Daphnia longicephala* の頭部膨脹 (Crest: 頭部が前後に膨脹したような形態) に

これは捕食者マツモムシのカイロモンに反応して形成される) が殺虫剤エンドスルファン (ベンソエピン) によって誘導されることを示した。この場合、カイロモンの無い条件でもエンドスルファンはミジンコの頭部を大きくした。

#### 4. ミジンコの生活史特性に及ぼす殺虫剤とカイロモンの影響

ミジンコは捕食者カイロモンに反応して形態を変化させるが、そのコストとして成熟時間の遅延や抱卵数の低下などを起こし、個体群増殖速度を低下させることを先に述べた (表1)。これらの生活史特性の変化 (その結果の増殖速度の低下) はミジンコが殺虫剤などの有毒物質にさらされたときの反応と似ている。別な見方をすれば、捕食者カイロモンが殺虫剤に似た影響をミジンコに及ぼすということができよう。

先に Hanazato and Dodson (文献8) がミジンコ (*D. pulex*) をフサカのカイロモンと殺虫剤カルバリルに同時にさらして形態変化を調べたことを述べた。そして、この二つの化学物質が複合的にミジンコの形態に影響を与えることを示した。この実験において、これらの物質がミジンコの生活史特性にも複合的な影響を与えることが観察された。

この実験ではミジンコをカイロモンを

含む水と含まない水の中で、0, 5, 10, 15, 20 μg/l のカルバリルにさらして飼育した。その成長を見ると、カイロモンを含まない水において、低濃度のカルバリル (5 ~ 10 μg/l) にさらされたミジンコの成長はカルバリルにさらされなかったミジンコ (0 μg/l) カルバリル処理) のそれと差がなく、顕著な成長阻害は 15 μg/l かそれ以上のカルバリル曝露で見られた (図7)。一方、フサカのカイロモンで飼育されたミジンコは、5 ~ 10 μg/l という低濃度のカルバリル処理でも顕著な成長阻害が観察されたのである。

また、5 ~ 10 μg/l のカルバリル処理は、カイロモンを含まない水ではミジンコの成熟時間や成熟サイズに影響を与えなかったが、カイロモンを含む水では統計的に有意に成熟時間の遅延および成熟サイズの低下を引き起こした (表3)。そして、これらの生活史特性に対するカイロモンとカルバリルの影響に、統計的に有意な相乗影響が認められた。

これらの結果は、ミジンコはフサカのカイロモンが存在すると殺虫剤の影響を受けやすくなることを示している。すなわち、カイロモンがミジンコの殺虫剤耐性を低下させたことになる。逆に、殺虫剤がミジンコをカイロモンに対して敏感にさせたということもできるだろう。

二つの化学物質の影響に相乗作用が認

表3 異なる濃度 (0, 5, 10  $\mu\text{g}/\ell$ ) のカルバリルとフサカのカイロモンとを含んだ水で飼育されたミジンコ (*Daphnia pulex*) の生活史特性

カルバリル濃度 ( $\mu\text{g}/\ell$ )	成熟時間 (日)						成熟サイズ (mm)					
	対照水			カイロモン水			対照水			カイロモン水		
	0	5	10	0	5	10	0	5	10	0	5	10
サンプル数	10	8	6	12	12	7	10	8	6	12	12	7
平均	5.2	5.1	5.3	6.3	8.3	7.7	1.67	1.63	1.63	1.56	1.49	1.49
標準誤差	0.13	0.13	0.20	0.13	0.39	0.92	0.039	0.037	0.040	0.014	0.018	0.014
P†	-	-	-	-	**	*	-	-	-	-	**	**

対照水はフサカのカイロモンを含まない。†カルバリル暴露 (5  $\mu\text{g}/\ell$  または 10  $\mu\text{g}/\ell$ ) と無暴露 (0  $\mu\text{g}/\ell$ ) の間の統計的有意差。\* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0.01$

められた理由として、以下の三つの要因が考えられる。①ミジンコがカイロモンに対する反応 (形態変化など) にエネルギーを消費したため、殺虫剤の解毒に充分なエネルギーを割けなかった。②ミジンコはカイロモンに反応して脱皮を経て大きく頭部形態を変化させる。一方、ミジンコは脱皮のときに最も殺虫剤のダメージを受けやすくなると考えられている。そこで、脱皮の際、カイロモンに反応して大きく形態を変化させることが、ミジンコを殺虫剤からのダメージを受けやすくしていると考えられる。③カイロモンにさらされたミジンコは幼体のときに脱皮間隔を延ばし、成熟時間を遅らせる。一方、ミジンコは幼体のときに最も殺虫剤に対し感受性が高いことが知られている。カイロモンはミジンコの幼体期間を延ばすことによって、殺虫剤に対して感受性の高い幼体が、より長く殺虫剤にさらされる結果を導く。

働きを持っていることになる。そこで、これはミジンコに対するカイロモンの肯定的な影響 (positive effect) ということができよう。殺虫剤はカイロモンと複合的に働いてより顕著な形態変化を誘導したが、これは殺虫剤がカイロモンの肯定的な影響を助長したと見ることができよう。

5. カイロモンと殺虫剤の複合影響 (考察)

フサカのカイロモンはミジンコの形態変化 (後頭部突起や尖頭などの形成) を誘導する。この形態変化はミジンコをフサカに食われ難くする効果を持っている。したがって、カイロモンはフサカ幼虫の存在下でミジンコの生存率を上げる

一方、フサカのカイロモンにはミジンコの成長を抑制し、個体群増殖速度を低下させる働きもあった。これはミジンコに対するカイロモンの否定的な影響 (negative effect) ということができよう。そして、ここでも殺虫剤はカイロモンと相乗的に働いて、ミジンコの個体群増殖速度をさらに低下させた。これは殺虫剤がカイロモンの否定的な影響を助長したと見ることができよう。

すなわち、殺虫剤はミジンコに及ぼすカイロモンのさまざまな影響を助長するといえる。カイロモンは、ミジンコと捕食者フサカの間のロコモニケーションに使われるいわば言葉である。したがって、野外を汚染する殺虫剤は天然の化学物質 (生物がつくる化学物質) を介したロコモニケーションを攪乱するといえるのではなからうか。

また、殺虫剤とカイロモンがミジンコの生活史特性 (成長や産卵など) に相乗的に影響を与えるということは、ミジンコはカイロモンがあると殺虫剤に対して

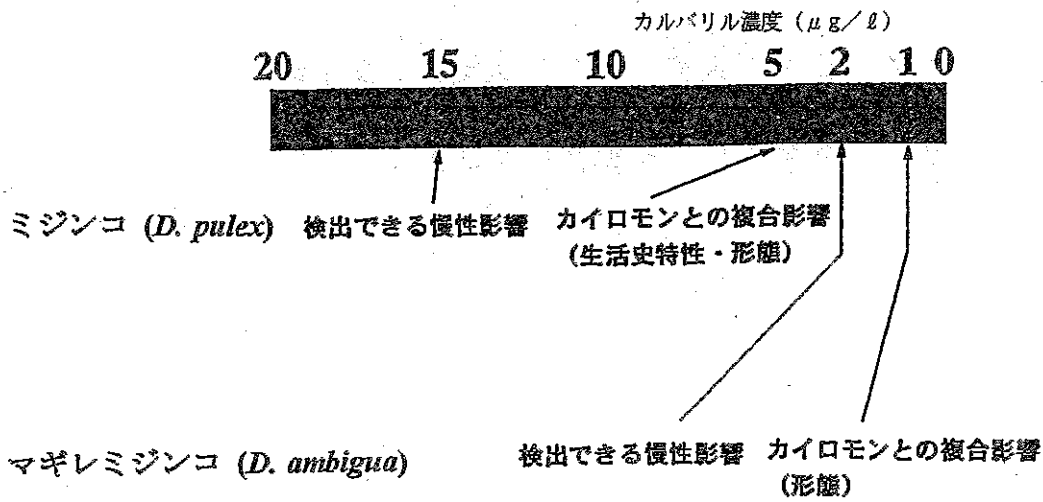


図8 二種のミジンコに対するカルバリルの慢性影響が見られる最低濃度と、カルバリルがフサカのカイロモンと複合的にミジンコの生活史特性や形態に影響を与える濃度

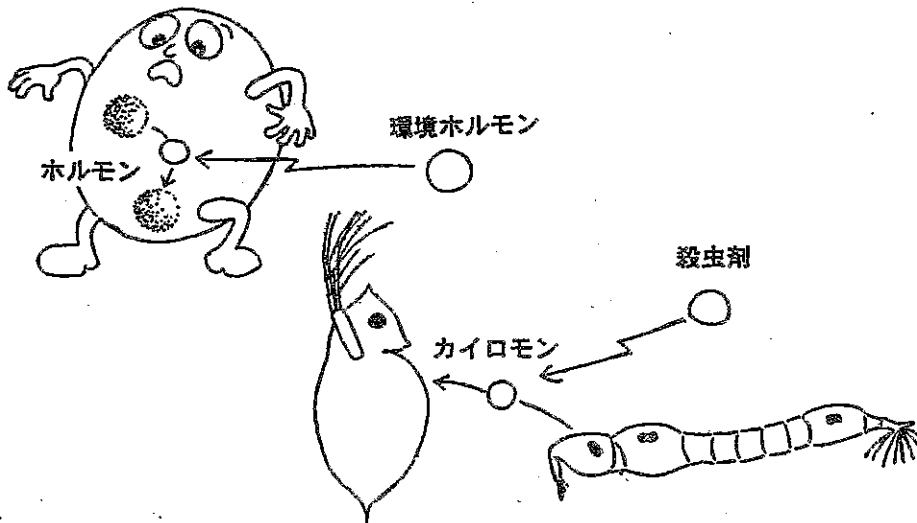


図9 動物の内分泌系に及ぼす環境ホルモンの影響と、プランクトン群集におけるカイロモンを介した捕食者-被食者関係に及ぼす殺虫剤影響の模式図  
 どちらの人工化学物質（環境ホルモン、殺虫剤）も動物個体内、あるいは生物個体間や生物種間の天然の化学物質を介したコミュニケーションを攪乱する。

はフサカのカイロモンと低酸素濃度（酸素不足）が相乗的にミジンコ個体群の増殖速度を低下させることを示した。このことは、捕食者カイロモンは殺虫剤や酸素不足などさまざまな環境ストレスに対するミジンコの耐性を低下させるということが出来る。それによって、ミジンコ個体群に影響を与えていると考えられる。これはミジンコ個体群に及ぼす捕食者の間接的な影響と見ることが出来る。野外でミジンコ個体群に対する捕食者の影響を評価する上で、この間接的影響は考慮すべき重要な点である。

Hanzato and Dodson (文献8)の実験では、フサカのカイロモンの存在下で、 $5.5 \mu\text{g}/\text{l}$ のカルバリルは顕著にミジンコ (*D. pulex*) の後頭部突起を誘導した。このカルバリル濃度は慢性毒性試験でこのミジンコに影響を与える最低の濃度 ( $15 \mu\text{g}/\text{l}$  (文献9)) の三分の一になる (図8)。また、マジレミジンコを用いた実験では、 $1 \mu\text{g}/\text{l}$ のカルバリルがフサカのカイロモンの存在下でミジンコの高い尖頭を誘導した (文献8)。これはこのミジンコに対し慢性影響が見られる最低の濃度 ( $2 \mu\text{g}/\text{l}$  (文献12)) の二分の一になる。Holtz Barry (文献11) は、*D. longicephala* に対する殺虫剤エントスルファンがこのミジンコの成長や産卵に及ぼす無影響濃度は  $40 \mu\text{g}/\text{l}$  であったが、その四百分の一に相当する  $0.1 \mu\text{g}/\text{l}$

でも頭部の形態に影響が見られたと報告している。これらのことは、殺虫剤はかなり低濃度でもミジンコと捕食者の間の天然の化学物質を介したコミュニケーションを攪乱すると結論することができよう。

もしそうならば、この作用は今大きな話題となっている環境ホルモン(外因性内分泌攪乱物質:EDS)と似ているといえそうだ。環境ホルモンは野外を汚染する人工化学物質で、ホルモンのような働きをすることから、かなりの低濃度で動物の内分泌系を攪乱する。ホルモンはいわば、動物の体の中で臓器や器官の間のコミュニケーションに介在する情報伝達物質と見ることが出来る。一方、本稿で述べてきた殺虫剤はカイロポンと似た働きをし、しかもかなり低濃度でその作用を発揮する。どちらの人工化学物質も、動物個体の中、または生物個体間あるいは生物種間の天然の化学物質を介したケミカルコミュニケーションを攪乱するといえよう(図6)。

ここで強調すべきことは、おまかせケミカルコミュニケーションに用いられる情報伝達物質(ホルモンやカイロポンなど)はかなりの低濃度で有効に働いていることである。したがって、それを攪乱する人工化学物質もかなりの低濃度で作用する可能性がある。このことは、野外を汚染している人工化学物質の生態系

への影響を評価する際に考慮すべき重要なことである。

#### 引用文献

- (1)花里孝幸、メンコシムを用いた生態系影響評価、水環境学会誌、19(3)、615-620(1996)
- (2)花里孝幸、湖沼の動物プランクトン群集におけるカイロポンを介した捕食者-被食者関係、田舎誌全集、44、61-77(1994)
- (3)D.A. Krueger and S.I. Dodson: Embryological induction and predation ecology in *Daphnia pulex*, *Limnol. Oceanogr.*, 26, 219-223(1981)
- (4)大井高、天敵由来の物質のミジンコを産むには、水産学報、1990年4号、41-44(1995)
- (5)T. Hanazato: Insecticide inducing helmet development in *Daphnia ambigua*, *Arch. Hydrobiol.*, 123, 451-457(1992)
- (6)T. Hanazato: Pesticides as chemical agents inducing helmet formation in *Daphnia ambigua*, *Freshwat. Biol.*, 26, 419-424(1991)
- (7)T. Hanazato and S.I. Dodson: Morphological responses of four species of cyclopomorphic *Daphnia* to a short-term exposure to the insecticide carbaryl, *J. Plankton Res.*, 15, 1087-1095(1993)
- (8)T. Hanazato and S.I. Dodson: Complex effects of a kairomone of *Chaoborus* and an insecticide on *Daphnia pulex*, *J. Plankton Res.*, 14, 1743-1755(1992)
- (9)T. Hanazato: Combined effect of the insecticide carbaryl and the *Chaoborus* kairomone on helmet development in *Daphnia ambigua*, *Hydrobiologia*, 310, 95-100(1995)
- (10)M. J. Barry: Endosulfan-enhanced crest induction in *Daphnia longicephala*: evidence for cholinergic innervation of kairomone receptors, *J. Plankton Res.*, 20, 1219-1231(1998)
- (11)T. Hanazato and S.I. Dodson: Synergistic effects of low oxygen concentration, predator kairomone, and a pesticide on the cladoceran *Daphnia pulex*, *Limnol. Oceanogr.*, 40, 700-709(1995)
- (12)T. Hanazato: Effects of long-term and short-term exposure to carbaryl on survival, growth and reproduction of *Daphnia ambigua*, *Environ. Pollut.*, 74, 139-148(1991)

### 水資源

▲胆沢広域水道の苦悩 胆沢ダムの完成が予定の98年から14年遅れ2013年になる。胆沢広域水道企業団は98年完成に合わせて導水管や送水管を192億円を整備し進捗率は64%になる。水道水4万3500トン/日を水沢市など2市3町の15万人に供給する予定だった。遅れによりダム建設費が1000億円ほど増える。企業団は利水者負担を建設費の22%ずつ毎年払うので痛手だ。試算によると、水道料金収入が不足する送水管整備費の借金を返すため更に借金を重ね、ダム工事が10年延びれば40億円を余分に払うことになる。負担は水道料金に反映する。初期に敷設した管の老朽化も無視される。建設費は2002年から暫定給水1万7200トン/日が可能とらわれている。しかし事業費10億円という浄水場建設は着工おくれつらい(遅れは国の事情というが、なんだ企業団もじゃないか)。2001年11月からは水不足が本格化するという。(若手日報'98.12.8)

▲小川原湖淡水化計画撤廃の代替水源 小川原湖総合開発事業審議委員会が第4回専門委員会を開いた(八戸市'12.10)。小坪川上流にダムを建設することで絞り込んでいる。青森県は明確な水需要を示していない。(東奥日報'98.12.11)

### ● Aqua えんぴつ